



**MINISTERIO DE AGRICULTURA  
AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA  
DIRECCIÓN DE CONSERVACIÓN Y PLANEAMIENTO  
DE RECURSOS HÍDRICOS**



# “ESTUDIO DE MÁXIMAS AVENIDAS EN LAS CUENCAS DE LA VERTIENTE DEL PACÍFICO - CUENCAS DE LA COSTA NORTE”

## **INFORME FINAL**

**Msc. Cayo Leonidas Ramos Taipe**

*Asistente:* **Ing. Marcelo Portuguez Maurtua**

**Lima, Diciembre del 2010**



## ÍNDICE

<b>I. ASPECTOS GENERALES</b>	<b>7</b>
1.1 Introducción	7
1.2 Justificación	8
1.3 Objetivos	8
1.3.1 Objetivo General	8
1.3.2 Objetivo Específico	8
1.4 Metodología de Trabajo	8
1.4.1 Actividades preliminares	8
1.4.2 Trabajos de Campo	9
1.4.3 Trabajo de Gabinete	9
1.5 Información Básicas	10
1.5.1 Recopilación de Información Básica	10
1.5.2 Información Hidrometeorológica	10
1.5.3 Información Cartográfica	13
<b>II. EVALUACIÓN DE ESTUDIOS EXISTENTES</b>	<b>13</b>
<b>III. DESCRIPCIÓN GENERAL Y DIAGNÓSTICO DE LAS CUENCAS</b>	<b>14</b>
3.1 Ubicación y demarcación de la cuenca	14
3.1.1 Ubicación geográfica	16
3.1.2 Demarcación hidrográfica	16
3.1.3 Demarcación política	19
3.2 Cobertura Vegetal	20
3.3 Características Fisiográficas	22
3.3.1 Generalidades	22
3.3.2 Parámetros de forma y relieve de la cuenca	22
3.4 Hidrografía de las cuencas	26
3.4.1 Descripción general de las cuencas	26
3.4.2 Principales afluentes	33
<b>IV. INFRAESTRUCTURAS HIDRAULICAS</b>	<b>34</b>
4.1 Infraestructura Hidráulica en los cursos principales	34
4.1.1 Sistema Hidrico de Chira-Piura	34
4.1.2 Sistema Hidrico de la cuenca de río Santa Integrado (Chavimochic y Chinecas)	36



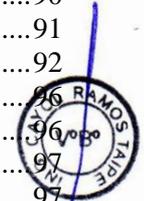
4.1.3 Sistema Hidrico en la cuenca del rio Jequetepeque	39
4.1.4 Sistema Hidrico de la cuenca Chancay-Lambayeque	39
<b>V. ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN HIDROLÓGICA</b>	<b>41</b>
5.1 Generalidades	41
Método del Vector Regional (MVR)	41
5.2 Analisis de la precipitacion maxima en 24 horas	46
5.2.1 Análisis de la tormenta	46
5.3 Variabilidad espacial y temporal de la precipitacion	51
5.4 Analisis de información de caudales máximos registrados	56
5.5 Analisis de años humedos	58
<b>VI. EVENTOS HIDROLOGICOS EXTREMOS EN LAS CUENCAS</b>	<b>60</b>
6.1 Analisis de máximas avenidas en el valle	60
6.1.1 Función de Distribución de Probabilidad	60
a) Distribución Pearson Tipo III	60
b) Distribución Log Pearson Tipo III	62
c) Distribución Gumbel	62
6.1.2 Ajuste de Funciones de Probabilidad	63
6.1.3 Determinación de caudales máximos para diferentes períodos de retorno	64
6.1.4 Resultados	64
6.2 Análisis de máximas avenidas en la cuenca	67
6.2.1 Ajuste de funcion de probabilidad	67
6.2.2 Características físicas de las microcuencas	71
6.2.3 Modelo precipitación-escorrentía	75
Modelación de cuencas grandes	75
6.2.4 Modelamiento hidrológico en año Niño	80
6.2.5 Modelamiento hidrológico de la Cuenca Tumbes - Hec HMS	81
6.2.6 Modelamiento hidrológico de la Cuenca Chira - Hec HMS	88
6.2.7 Modelamiento hidrológico de la Cuenca Piura - Hec HMS	96
6.2.8 Modelamiento hidrológico de la Cuenca Chancay Lambayeque - Hec HMS	102
6.2.9 Modelamiento hidrológico de la Cuenca Jequetepeque - Hec HMS	108
6.2.10 Modelamiento hidrológico de la Cuenca Motupe - Hec HMS	113



6.2.11	Modelamiento hidrológico de la Cuenca Moche - Hec HMS	119
6.2.12	Modelamiento hidrológico de la Cuenca Chicama - Hec HMS	124
6.2.13	Modelamiento hidrológico de la Cuenca Santa - Hec HMS	130
6.2.14	Modelamiento en años Niño	137
6.3	Regionalización de caudales máximos en función del área	139
<b>VII.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>143</b>
7.1	CONCLUSIONES	143
7.2	RECOMENDACIONES	143

### INDICE DE CUADROS

Cuadro No 1	Información recopilada de estaciones hidrométricas	11
Cuadro No 2	Información de estaciones Pluviométricas	12
Cuadro No 3	Dominio (Coordenadas Geográficas) y Rango de Altitudes por cuencas	16
Cuadro No 4	Demarcación Política de las cuencas de interés	19
Cuadro No 5	Parámetros Geomorfológicos de las cuencas de interés	25
Cuadro No 6	Parámetros Geomorfológicos de las cuencas de interés	34
Cuadro No 7:	Serie de precipitaciones máximas 24h	49
Cuadro No 8:	Serie de precipitaciones máximas 24h	50
Cuadro No 9:	Precipitaciones máximas 24h y periodos de retorno	51
Cuadro No 10:	Caudal máximos anuales registrado en las estaciones hidrométricas	57
Cuadro No 11:	Caudales máximos estimados para diferentes periodos de retorno	65
Cuadro No 12:	Caudales máximos estimados para diferentes periodos de retorno determinado por INRENA 1999	66
Cuadro 13:	Constantes regionales del Perú para el método de Creager	67
Cuadro 14:	Caudales máximos calculados aplicando método Creager, por subcuenca	69
Cuadro 15:	Características físicas de las Sub-Cuencas del río Tumbes	71
Cuadro 16:	Características físicas de las Sub-Cuencas del río Chira	72
Cuadro 17:	Características físicas de las Sub-Cuencas del río Piura	72
Cuadro 18:	Características físicas de las Sub-Cuencas del río Motupe	73
Cuadro 19:	Características físicas de las Sub-Cuencas del río Chancay Lambayeque	73
Cuadro 20:	Características físicas de las Sub-Cuencas del río Jequetepeque	73
Cuadro 21:	Características físicas de las Sub-Cuencas del río Chicama	74
Cuadro 22:	Características físicas de las Sub-Cuencas del río Moche	74
Cuadro 23:	Características físicas de las Sub-Cuencas del río Santa	74
Cuadro 24:	Parámetros de pérdida en las subcuencas	82
Cuadro 25:	Parámetros de las subcuencas e hidrograma Snyder	82
Cuadro 26:	Cálculo de flujo de base	83
Cuadro 27:	Cálculo de parámetros de Muskingum	83
Cuadro 28:	Lámina de precipitación máxima calculado para cada subcuenca	84
Cuadro 29:	Caudales máximos simulados para diferentes períodos de retorno – cuenca Tumbes	88
Cuadro 30:	Parámetros de pérdida en las subcuencas	88
Cuadro 31:	Parámetros de las subcuencas e hidrograma Snyder	89
Cuadro 32:	Cálculo de flujo de base	90
Cuadro 33:	Cálculo de parámetros de Muskingum	91
Cuadro 34:	Lámina de precipitación máxima calculado para cada subcuenca	92
Cuadro 35:	Caudales máximos simulados para diferentes períodos de retorno – cuenca Chira	97
Cuadro 36:	Parámetros de pérdida en las subcuencas	97
Cuadro 37:	Parámetros de las subcuencas e hidrograma Snyder	97
Cuadro 38:	Calculo de flujo base	97



Cuadro 39: Cálculo de parámetros de Muskingum.....	98
Cuadro 40: Lámina de precipitación máxima calculado para cada subcuenca.....	99
Cuadro 41: Caudales máximos simulados para diferentes períodos de retorno – cuenca Piura .....	102
Cuadro 42: Parámetros de pérdida en las subcuencas.....	102
Cuadro 43: parámetros de las subcuencas e hidrograma Snyder .....	103
Cuadro 44: Cálculo de flujo de base.....	103
Cuadro 45: Cálculo de parámetros de Muskingum.....	103
Cuadro 46: Lámina de precipitación máxima calculado para cada subcuenca.....	105
Cuadro 47: Caudales máximos simulados para diferentes períodos de retorno – cuenca Chancay Lambayeque.....	108
Cuadro 48: Parámetros de pérdida en las subcuencas.....	108
Cuadro 49: parámetros de las subcuencas e hidrograma Snyder .....	109
Cuadro 50: Cálculo de flujo de base.....	109
Cuadro 51: Cálculo de flujo de base.....	109
Cuadro 52: Lámina de precipitación máxima calculado para cada subcuenca.....	110
Cuadro 53: Caudales máximos simulados para diferentes períodos de retorno – cuenca Jequetepeque ..	113
Cuadro 54: Parámetros de pérdida en las subcuencas.....	114
Cuadro 55: Parámetros de las subcuencas e hidrograma Snyder .....	114
Cuadro 56: Calculo de flujo base .....	114
Cuadro 57: Cálculo de parámetros de Muskingum.....	115
Cuadro 58: Lámina de precipitación máxima calculado para cada subcuenca.....	116
Cuadro 59: Caudales máximos simulados para diferentes períodos de retorno – cuenca Motupe .....	118
Cuadro 60: Parámetros de pérdida en las subcuencas.....	119
Cuadro 61: Parámetros de las subcuencas e hidrograma Snyder .....	119
Cuadro 62: Calculo de flujo base .....	120
Cuadro 63: Cálculo de parámetros de Muskingum.....	120
Cuadro 64: Lámina de precipitación máxima calculado para cada subcuenca.....	121
Cuadro 65: Caudales máximos simulados para diferentes períodos de retorno – cuenca Moche.....	124
Cuadro 66: Parámetros de pérdida en las subcuencas.....	124
Cuadro 67: parámetros de las subcuencas e hidrograma Snyder .....	125
Cuadro 68: Cálculo de flujo de base.....	125
Cuadro 69: Cálculo de parámetros de Muskingum.....	125
Cuadro 70: Lámina de precipitación máxima calculado para cada subcuenca.....	127
Cuadro 71: Caudales máximos simulados para diferentes períodos de retorno – cuenca Chicama .....	130
Cuadro 72: Parámetros de pérdida en las subcuencas.....	130
Cuadro 73: parámetros de las subcuencas e hidrograma Snyder .....	131
Cuadro 74: Cálculo de flujo de base.....	132
Cuadro 75: Cálculo de parámetros de Muskingum.....	132
Cuadro 76: Lámina de precipitación máxima calculado para cada subcuenca.....	133
Cuadro 77: Caudales máximos simulados para diferentes períodos de retorno – cuenca Santa.....	136
Cuadro 78: Relación regional de máximas avenidas calculadas y áreas de cuencas, según los periodos de retorno.....	140

## INDICE DE FIGURAS

Figura No 2 Mapa de Regionalización de la precipitación mensual en las cuencas vertientes del Pacífico .....	14
Figura 3 Mapa de Ubicación de la zona de estudio y Cuencas Hidrográficas de la Costa Norte del Perú .....	15
Figura 4 Mapa de cobertura vegetal de las cuencas de interés.....	21
Figura 5 Hidrografía de las cuencas: Tumbes, Chira, Piura y Jequetepeque.....	31
Figura 6 Hidrografía de las cuencas: Chancay-Lambayeque, Motupe, Chicama y Moche (continuación) .....	32
Figura 7 Hidrografía de la cuenca del rio Santa (continuación).....	33
Figura 8: Infraestructura hidráulica del Sistema Chira-Piura.....	35
Figura 9: Infraestructura hidráulica del Sistema Santa (Chavimochic y Chincenas) .....	43
Figura 10: Vector regional Zona 1 – Índices anuales y de las estaciones y curvas de doble acumulación.....	44
Figura 11: Vector regional Zona 2 – Índices anuales y de las estaciones y curvas de doble acumulación.....	44



Figura 12: Vector regional Zona 2 – Índices anuales y de las estaciones y curvas de doble acumulación.	45
Figura 13: Vector regional Zona 4 – Índices anuales y de las estaciones y curvas de doble acumulación.	45
Figura 14: Serie de precipitaciones máximas 24h, Estación El Tigre .....	47
Figura 15: Relación precipitación-altitud, cuenca del río Tumbes.....	53
Figura 16: Relación precipitación-altitud, cuenca del río Chira y Piura .....	53
Figura 17: Relación precipitación-altitud, cuenca del río Lambayeque y Motupe .....	53
Figura 18: Relación precipitación-altitud, cuenca del río Jequetepeque y Chicama .....	53
Figura 19: Relación precipitación-altitud, cuenca del río Moche y Santa .....	54
Figura 20: Anomalía estandarizada de temperatura superficial del océano pacífico del este (área roja >1 Niño, área azul >1 Niña). .....	54
Figura 21: Anomalía de precipitación durante los años Niño, a partir de datos de reanálisis .....	55
Figura 22: Curvas de doble acumulación de caudales medios anuales .....	56
Figura 23: Curvas de doble acumulación de caudales máximos anuales .....	56
Figura 24: Mapa de regionalización de las Avenidas del Perú .....	68
Figura 25: Mapas usados para el cálculo del CN.....	77
Figura 26: Elección del método de tránsito .....	79
Figura 27: Modelo de cuenca e interconexión de subcuencas - Tumbes .....	84
Figura 28: Perfil de la tormenta máxima de SCS tipo I.....	85
Figura 29: Perfil de la tormenta máxima para 25 TR y para las subcuencas - Tumbes.....	85
Figura 30: Hidrograma de avenida para 25, 50, 75, 100 y 200 años de período de retorno y por subcuencas - Tumbes .....	86
Figura 31: Modelo de cuenca e interconexión de subcuencas - Chira .....	92
Figura 32: Perfil de la tormenta máxima para 50 TR y para las subcuencas - Chira.....	93
Figura 33: Hidrograma de avenida para 25, 50,75, 100 y 200 años de período de retorno y por subcuencas - Chira.....	94
Figura 34: Modelo de cuenca e interconexión de subcuencas - Piura.....	98
Figura 35: Hidrograma de avenida para 25, 50,75, 100 y 200 años de período de retorno y por subcuencas - Piura.....	100
Figura 36: Modelo de cuenca e interconexión de subcuencas – Chancay Lambayeque .....	104
Figura 37: Hidrograma de avenida para 25, 50,75, 100 y 200 años de período de retorno y por subcuencas – Chancay Lambayeque .....	106
Figura 38: Modelo de cuenca e interconexión de subcuencas – Jequetepeque .....	110
Figura 39: Hidrograma de avenida para 25, 50,75, 100 y 200 años de período de retorno y por subcuencas - Jequetepeque.....	111
Figura 40: Modelo de cuenca e interconexión de subcuencas - Motupe.....	115
Figura 41: Hidrograma de avenida para 25, 50,75, 100 y 200 años de período de retorno y por subcuencas - Motupe.....	117
Figura 42: Modelo de cuenca e interconexión de subcuencas - Moche .....	121
Figura 43: Hidrograma de avenida para 25, 50,75, 100 y 200 años de período de retorno y por subcuencas - Moche .....	122
Figura 44: Modelo de cuenca e interconexión de subcuencas - Chicama .....	126
Figura 45: Hidrograma de avenida para 25, 50,75, 100 y 200 años de período de retorno y por subcuencas - Chicama .....	128
Figura 46: Modelo de cuenca e interconexión de subcuencas - Santa .....	133
Figura 47: Hidrograma de avenida para 25, 50,75, 100 y 200 años de período de retorno y por subcuencas - Santa .....	135
Figura 48: Hidrograma de tormentas local para las cuencas Tumbes y Chira .....	137
Figura 49: Hidrograma de avenida Niño 1998 – cuenca Chira.....	138
Figura 50: Hidrograma de avenida Niño 1998 – cuenca Tumbes .....	138



## **PRESENTACIÓN Y RESUMEN**

El presente estudio presenta un análisis estadístico de los caudales máximos y sus valores a diferentes periodos de retorno, previo ajuste a una función de probabilidad. Esta metodología fue posible aplicar en estaciones de aforo en las nueve cuencas, las mismas que se encuentran ubicadas en la cabecera de los valles a la salida de las cuencas, no se ha encontrado información en las subcuencas.

Para el cálculo de los caudales de avenida dentro de la cuenca (subcuencas) se aplicaron dos metodologías: el primero fue la aplicación de la ecuación envolvente de Creager y el segundo fue la construcción de un modelo precipitación escurrimiento en HEC HMS y GeoHMS, la cual nos permite conocer el caudal en todas las subcuencas.

Este tipo de modelos normalmente son construidos para áreas menores a 1000km<sup>2</sup>, por ello muchas subcuencas que superan esta área fueron subdivididas en varias microcuencas.

Son parte de este informe, cuatro anexos en formato digital que contienen: la Base de datos en Hydraces, las Isoyetas, los archivos de Geo HMS y los archivos del modelo hidrológico en HecHMS.

## **I. ASPECTOS GENERALES**

### **1.1 Introducción**

El presente estudio se desarrolla a solicitud de la Autoridad Nacional del Agua, dentro del marco de la modernización de la gestión de la Agricultura y en cumplimiento del Artículo 119° de la Ley 29338, donde la Autoridad Nacional del Agua, conjuntamente con los Consejos de Cuenca respectivos, fomenta programas integrales de control de avenidas, desastres naturales o artificiales y prevención de daños por inundaciones o por otros impactos del agua y sus bienes asociados, promoviendo la coordinación de acciones estructurales, institucionales y operativas necesarias.

Este estudio ayudará a conocer el comportamiento hidrológico de las cuencas y las crecidas máximas, en los periodos de avenidas, a fin de promover las medidas preventivas necesarias, delimitar los cauces de los ríos, fajas marginales.



En este sentido, la Autoridad Nacional del Agua (ANA) viene implementando, la elaboración de Estudios de Evaluación de Máximas Avenidas con el objeto de evaluar el comportamiento de estos procesos, a fin de plantear los programas de prevención y mitigación por estos fenómenos.

## **1.2 Justificación**

En las cuencas vertientes al Pacífico, las inundaciones producidas durante las crecidas y los episodios de El Niño, han provocado la destrucción de muchos puentes y km de carretera. Muchas otras obras fueron dañadas y numerosas ciudades inundadas, ocasionando cuantiosas pérdidas económicas.

El conocer la magnitud de las máximas avenidas que originan estas inundaciones justifica la realización del presente estudio.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

- Describir, evaluar y cuantificar los procesos hidrológicos en períodos de avenidas en las cuencas de la vertiente del Pacífico en la zona norte del país.

### **1.3.2 Objetivo Especifico**

- Determinar los parámetros hidrológicos y meteorológicos regionales para estimar los caudales máximos de avenidas
- Evaluación del comportamiento de las precipitaciones y transformación Lluvia-caudal en la cuenca y sub-cuencas.
- Determinación de caudales máximos para diferentes períodos de retorno.

## **1.4 Metodología de Trabajo**

### **1.4.1 Actividades preliminares**

Comprende la revisión de la información existente y acopio de información meteorológica, hidrológica y cartográfica.



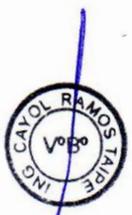
### 1.4.2 Trabajos de Campo

En esta etapa las visitas de campo son importantes para efectuar el reconocimiento de las estaciones de registro de caudales y la naturaleza de los ríos principales, sin embargo estos no contaron con disponibilidad presupuestal.

### 1.4.3 Trabajo de Gabinete

Consiste en el procedimiento para estimar las crecidas en las cuencas de la zona norte del país:

- Primero, caracterización de la cuenca, lo que incluye los parámetros geomorfológicos, características físicas (pendiente, longitud y otros), tipo de suelo que permita estimar la característica de la infiltración, cobertura del suelo o uso de suelo para determinar la impermeabilidad de la cuenca.
- Segundo, Análisis de tormentas máximas, el patrón típico y su variabilidad espacial durante los eventos ENSO y no ENSO y cálculo de tormentas extremas para diferentes periodos de retorno por subcuenca.
- Tercero, Cálculo de los caudales de máxima avenida en las cuencas y subcuencas. Se aplica una ecuación regional y el modelamiento hidrológico (aplicando Hec HMS).
- Cuarto, Calibración del modelo con valores existentes en las estaciones con registro de eventos de avenida, a falta de ella se ajustará con el caudal máximo calculado para un determinado periodo de retorno.
- Quinto, ajuste de una ley estadística en la serie de los caudales máximos existentes.
- Sexto, Utilización del Modelo para estimar los caudales de crecidas máximas aplicando las tormentas calculadas para diferentes periodos de retorno y comparar los valores obtenidos con las estadísticas de caudales para igual periodo de retorno a nivel de toda la cuenca.



## **1.5 Información Básicas**

### **1.5.1 Recopilación de Información Básica**

Se recolectaron datos de:

- Caudales diarios
- Precipitación diaria,
- Mapa de suelos
- Información climática

### **1.5.2 Información Hidrometeorológica**

La información recopilada de registros de descargas corresponde a las estaciones hidrométricas descritas en el Cuadro No 01.

La información recopilada de registros de precipitación diaria corresponde a las estaciones pluviométricas influentes en la zona de estudio, descritas en el Cuadro No 02



**Cuadro No 1 Información recopilada de estaciones hidrométricas**

CUENCAS	ESTACIONES	COORDENADAS GEOGRAFICAS		DPTO	PROV.	DISTR.	PERIODO DE REGISTROS
		LONGITUD	LATITUD				
RIO TUMBES	PUENTE TUMBES	80.47	3.58	TUMBES	TUMBES	TUMBES	1960-2008
	EL TIGRE	80.47	3.72	TUMBES	TUMBES	SAN JACINTO	1963-2009
RIO CHIRA	EL CIRUELO						1967-2007
	ARDILLA (RESERVORIO POECHOS)	80.43	4.52	PIURA	SULLANA	LANCONES	1990-2009
	PUENTE SULLANA	80.7	4.87	PIURA	SULLANA	MARCAVELICA	1960-2007
RIO PIURA	PUENTE ÑACARA	80.17	5.11	PIURA	MORROPON	CHULUCANAS	1958-2005
	CORRAL DEL MEDIO						1958-1983
	CARRASQUILLO						1958-1990
	PUENTE SANCHEZ						1990-2007
	TAMBO GRANDE	80.32	4.95	PIURA	PIURA	TAMBO GRANDE	1972-2003
RIO MOTUPE	MARRIPON	79.65	6.1	LAMBAYEQUE	LAMBAYEQUE	MOTUPE	1962-2008
	PUENTE MOTUPE						1999-2008
RIO CHANCAY-LAMBAYEQUE	RACARUMI						1960-2009
RIO JEQUETEPEQUE	VENTANILLAS	79.27	7.28	CAJAMARCA	CONTUMAZA	TEMBLADERA	1960-1999
	YONAN	79.1	7.25	CAJAMARCA	CONTUMAZA	CHILETE	1988-1999
	PAMPALARGA						1999-2009
RIO CHICAMA	SALINAR	78.97	7.67	LIBERTAD	OTUSCO	COMPIN	1960-1982
	TAMBO	78.63	7.57	CAJAMARCA	CONTUMAZA	CASCAS	1983-2009
RIO MOCHE	POROTO						2000-2008
	QUIRIHUAC	78.87	8.08	LIBERTAD	TRUJILLO	TRUJILLO	1960-2008
RIO SANTA	CONDORCERRO	78.25	8.65	ANCASH	SANTA	SANTA	1977-2009
	BOCATOMA CAÑON DEL PATO						2000-2002
	LA HUACA						2002-2005
	LA VIBORA						2002-2003
	BOCATOMA PECHAVIN						1994-2000
	PUENTE CARRETERA	78.63	8.97	ANCASH	SANTA	SANTA	1960-1993

Fuente: Elaboración propia



**Cuadro No 2 Información de estaciones Pluviométricas**

Item	Estaciones	Coordenadas Geográficas			Departamento	Provincia	Distrito	Periodos de Registros
		Longitud	Latitud	Altitud				
1	ALJA	77°36'25.1"	09°46'52.9"	3360.00	ANCASH	ALJA	ALJA	1961-2010
2	ASUNCION	78°31'00.0"	07°19'00.0"	2229.00	CAJAMARCA	CAJAMARCA	ASUNCION	1963-2010
3	AYABACA	79°43'00.0"	04°38'00.0"	2700.00	PIURA	AYABACA	AYABACA	1963-2010
4	BERNAL	80°45'00.0"	05°38'00.0"	30.00	PIURA	SECHURA	BERNAL	1963-2010
5	CABO INGA	80°26'00.0"	03°58'00.0"	205.00	TUMBES	TUMBES	SAN JACINTO	1993-2010
6	CALLANCAS	78°28'38.4"	07°46'02.6"	1593.00	LA LIBERTAD	OTUZCO	CHARAT	1971-2010
7	CAÑAVERAL	80°39'00.0"	03°56'00.0"	145.00	TUMBES	CONTRALMIRANTE VILLAR	CASTIAS	1974-2010
8	CAPACHIQUE	78°19'00.0"	07°51'00.0"	3341.00	LA LIBERTAD	OTUZCO	USQUIL	1966-1987
9	CASA GRANDE	79°11'00.0"	07°45'00.0"	240.00	LA LIBERTAD	ASCOPE	CHOCOPE	1975-1989
10	CASCAS	78°49'00.0"	07°29'00.0"	1330.00	LA LIBERTAD	GRAN CHIMU	CASCAS	1964-1983
11	CHANCAY BAÑOS	78°52'02.0"	06°34'30.0"	1677.00	CAJAMARCA	SANTA CRUZ	CHANCAY BAÑOS	1987-2010
12	CHIGNIA	79°42'00.0"	05°36'00.0"	360.00	PIURA	HUANCABAMBA	HUARMACA	1972-1992
13	CHILETE	78°51'00.0"	07°13'00.0"	850.00	CAJAMARCA	CONTUMAZA	CHILETE	1963-2010
14	CHIQUIAN	77°09'00.0"	10°09'00.0"	3350.00	ANCASH	BOLOGNESI	CHIQUIAN	1964-2010
15	CHUGUR	78°44'00.0"	06°40'00.0"	2744.00	CAJAMARCA	HUALGAYOC	CHUGUR	1964-2010
16	CHUSIS	80°50'00.0"	05°31'00.0"	14.00	PIURA	SECHURA	SECHURA	1963-2010
17	CONTUMAZA	78°49'00.0"	07°21'00.0"	2452.00	CAJAMARCA	CONTUMAZA	CONTUMAZA	1964-2010
18	COSPAN	78°23'00.0"	07°26'00.0"	2450.00	CAJAMARCA	CAJAMARCA	COSPAN	1963-2005
19	CUEVA BLANCA	79°21'22.0"	06°09'35.0"	2900.00	LAMBAYEQUE	FERREÑAFE	INCAHUASI	1964-2010
20	EL SALTO	80°19'00.0"	03°26'00.0"	2.80	TUMBES	ZARUMILLA	ZARUMILLA	1968-2010
21	FERREÑAFE	79°47'32.0"	06°37'56.0"	63.70	LAMBAYEQUE	FERREÑAFE	FERREÑAFE	1964-2010
22	HUAMBOS	78°57'47.0"	06°27'13.0"	2293.60	CAJAMARCA	CHOTA	HUAMBOS	1965-2010
23	HUANCABAMBA	79°43'00.0"	05°15'00.0"	1950.00	PIURA	HUANCABAMBA	HUANCABAMBA	1959-2010
24	HUANCAMARCAN	78°17'34.7"	08°07'17.3"	4123.00	LA LIBERTAD	SANTIAGO DE CHUCO	QUIRUVILCA	1971-2010
25	HUARA DE VERAS	79°34'00.0"	04°35'00.0"	1680.00	PIURA	AYABACA	AYABACA	1963-1992
26	JAYANCA (LA VIÑA)	79°46'06.0"	06°19'58.0"	102.70	LAMBAYEQUE	LAMBAYEQUE	JAYANCA	1964-2010
27	LA ESPERANZA	81°03'38.0"	04°55'04.0"	12.00	PIURA	PAITA	COLAN	1967-2010
28	LAMBAYEQUE	79°55'16.0"	06°42'12.0"	18.00	LAMBAYEQUE	LAMBAYEQUE	LAMBAYEQUE	1964-2010
29	LIVES	79°02'00.0"	07°05'00.0"	2000.00	CAJAMARCA	SAN MIGUEL	AGUA BLANCA	1963-2010
30	LLAPA	78°49'00.0"	06°59'00.0"	2798.00	CAJAMARCA	SAN MIGUEL	LLAPA	1963-2010
31	MALLARES	80°42'52.9"	04°51'25.6"	47.00	PIURA	SULLANA	MARCAVELICA	1961-2010
32	MATAPALO	80°13'00.0"	03°42'00.0"	54.00	TUMBES	ZARUMILLA	MATAPALO	1981-2010
33	MILPO	77°14'00.0"	09°53'00.0"	4400.00	ANCASH	POMABAMBA	CATAC	1980-2010
34	MIRAFLORES	80°37'00.0"	05°10'00.0"	30.00	PIURA	PIURA	CASTILLA	1971-2010
35	MOLLEPATA	77°57'15.2"	08°11'29.6"	2726.00	LA LIBERTAD	SANTIAGO DE CHUCO	MOLLEPATA	1963-2010
36	MORROPON	79°58'41.0"	05°10'47.0"	150.00	PIURA	MORROPON	MORROPON	1963-2010
37	MOTUPE	79°44'55.0"	06°12'57.1"	152.00	LAMBAYEQUE	LAMBAYEQUE	MOTUPE	1964-2005
38	NIEPOS	79°08'00.0"	06°55'00.0"	2454.00	CAJAMARCA	SAN MIGUEL	NIEPOS	1963-2010
39	OLMOS	79°43'42.0"	05°59'31.0"	225.90	LAMBAYEQUE	LAMBAYEQUE	OLMOS	1964-2006
40	OYO TUN	79°19'00.0"	06°50'00.0"	352.00	LAMBAYEQUE	CHICLAYO	OYO TUN	1963-1995
41	PACASMAYO	79°34'00.0"	07°24'00.0"	3.00	LA LIBERTAD	PACASMAYO	PACASMAYO	1973-2010
42	PACAYPAMPA	79°39'46.0"	04°59'35.0"	2041.00	PIURA	AYABACA	PACAYPAMPA	1963-2010
43	PANANGA	80°53'00.0"	04°33'00.0"	480.00	PIURA	SULLANA	MARCAVELICA	1963-2010
44	PAPAYAL	80°14'00.0"	03°34'00.0"	60.00	TUMBES	ZARUMILLA	PAPAYAL	1963-2010
45	PARARIN	77°32'00.0"	10°03'00.0"	3416.00	ANCASH	POMABAMBA	PARARIN	1964-1996
46	PIRA	77°42'25.1"	09°34'59.7"	3570.00	ANCASH	HUARAZ	PIRA	1963-2010
47	PIRCA	76°39'00.0"	11°14'00.0"	3255.00	LIMA	HUARAL	ATAVILLOS ALTO	1967-2010
48	PUCHACA	79°28'00.0"	06°21'00.0"	500.00	LAMBAYEQUE	FERREÑAFE	INCAHUASI	1971-2010
49	QDA HONDA	78°39'00.0"	06°54'00.0"	3550.00	CAJAMARCA	SAN MIGUEL	S. SILVESTRE DE COCHAN	1963-1997
50	QUILCATE	78°44'38.0"	06°49'12.0"	3100.00	CAJAMARCA	SAN MIGUEL	CATILUC	1964-1997
51	QUIRUVILCA	78°18'27.8"	08°00'15.2"	3950.00	LA LIBERTAD	SANTIAGO DE CHUCO	QUIRUVILCA	1965-2010
52	SALPO	78°36'25.6"	08°00'19.2"	3458.00	LA LIBERTAD	OTUZCO	SALPO	1963-2008
53	SAN BENITO	78°56'00.0"	07°23'00.0"	1200.00	CAJAMARCA	CONTUMAZA	SAN BENITO	1963-2010
54	SAN JUAN	78°29'44.9"	07°17'26.6"	2353.00	CAJAMARCA	CAJAMARCA	SAN JUAN	1964-2010
55	SANTA CRUZ	78°56'51.0"	06°37'59.0"	2026.00	CAJAMARCA	SANTA CRUZ	SANTA CRUZ	1963-2010
56	SANTIAGO DE CHUCO	78°10'00.0"	08°08'00.0"	3129.00	LA LIBERTAD	SANTIAGO DE CHUCO	SANTIAGO DE CHUCO	1964-1987
57	SAPILICA	79°59'00.0"	04°47'00.0"	1456.00	PIURA	AYABACA	SAPILICA	1963-2010
58	SAUSAL DE CULUCAN	79°45'42.0"	04°44'52.0"	980.00	PIURA	AYABACA	AYABACA	1963-2010
59	SIHUAS	77°39'00.0"	08°34'00.0"	2716.00	ANCASH	SIHUAS	SIHUAS	1963-2010
60	SINSICAP	78°45'21.4"	07°51'03.3"	2307.00	LA LIBERTAD	OTUZCO	SINSICAP	1963-2010
61	SUYO	80°00'00.0"	04°32'00.0"	250.00	PIURA	AYABACA	SUYO	1963-1993
62	TOCMOCHE	79°21'21.0"	06°24'29.0"	1450.00	CAJAMARCA	CHOTA	TOCMOCHE	1964-2010
63	TOLUCE	79°22'00.0"	05°29'00.0"	2000.00	PIURA	HUANCABAMBA	SONDIRILLO	1963-2010

Fuente: Elaboración propia



### 1.5.3 Información Cartográfica

Se cuenta con Información Cartográfica:

- Carta Nacional a escala 1/100,000; con curvas de nivel a 50 m; elaboradas por el Instituto Geográfico Nacional.

Para un mejor manejo de esta información cartográfica, ha sido digitalizada como un Sistema de Información Geográfico (SIG), con asistencia de los programas de cómputo ARCGIS y CAD.

## II. EVALUACION DE ESTUDIOS EXISTENTES

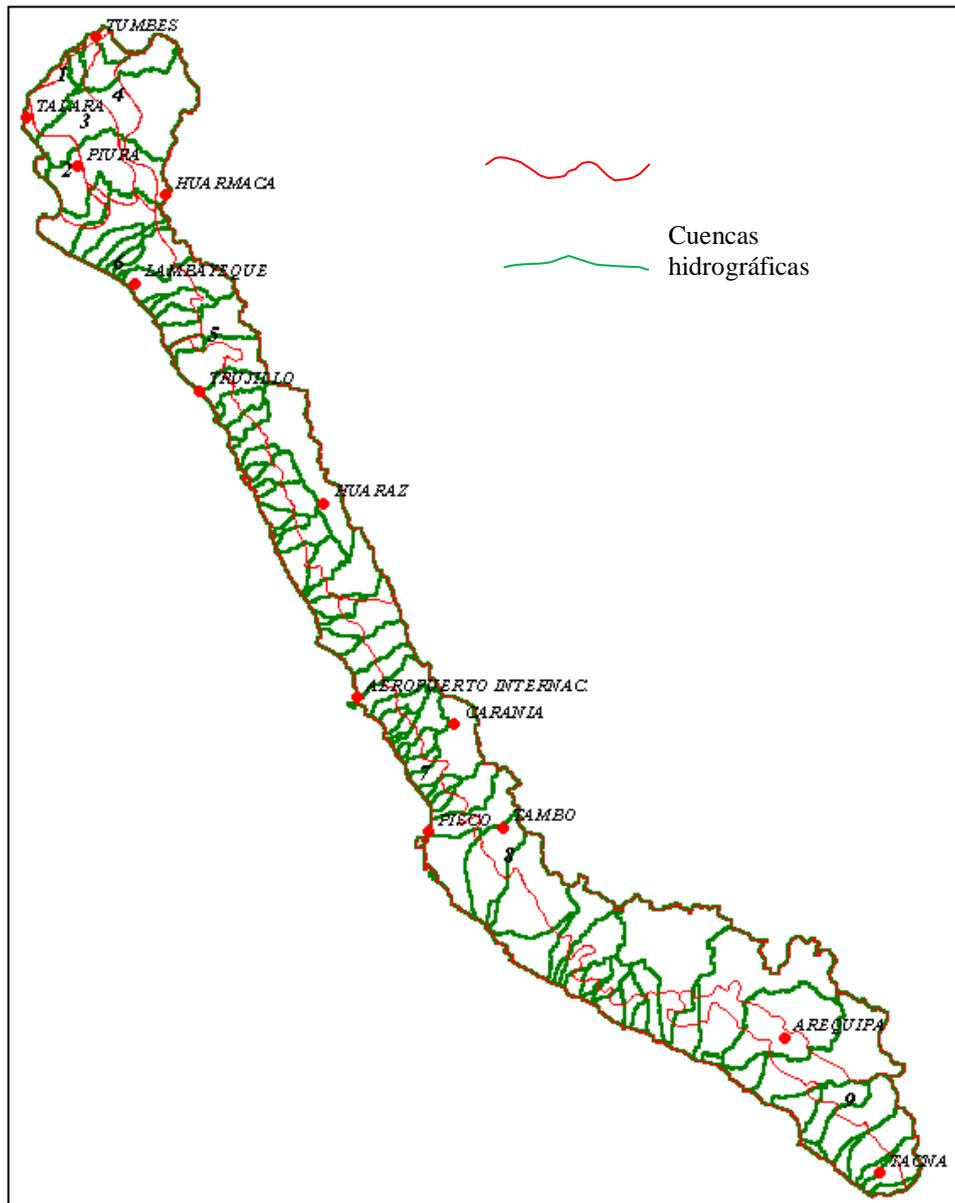
Existe muy poca información referida a estudios de máximas avenidas en los ríos de la costa norte.

El único estudio disponible analizado fue el desarrollado por ORSTOM, 1999, en la cual desarrolla un amplio estudio de regionalización de la precipitación mensual mas no así de las lluvias diarias y encuentran que en las cuencas vertientes al pacifico se puede agrupar las lluvias en 9 regiones muy marcadas como se muestra en la Figura No 1.

Describen los mecanismos climatológicos que gobernaron los eventos Niño de los años 1998 y 1983, construyeron un modelo precipitación escorrentía del tipo determinístico agregado para estimar caudales de las cuencas priorizadas por el estudio.



**Figura No 1 Mapa de Regionalización de la precipitación mensual en las cuencas vertientes del Pacífico**



Fuente: ORSTOM, 1999

### III. DESCRIPCIÓN GENERAL Y DIAGNÓSTICO DE LAS CUENCAS

#### 3.1 Ubicación y demarcación de la cuenca

El área de estudio se encuentra ubicada en la Costa Norte del Perú, correspondientes a los ríos vertientes al Océano Pacífico, específicamente los ríos de las cuencas: Tumbes, Chira, Piura, Jequetepeque, Lambayeque, Motupe, Moche, Chicama y Santa Como se muestra en la Figura No 2

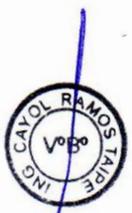
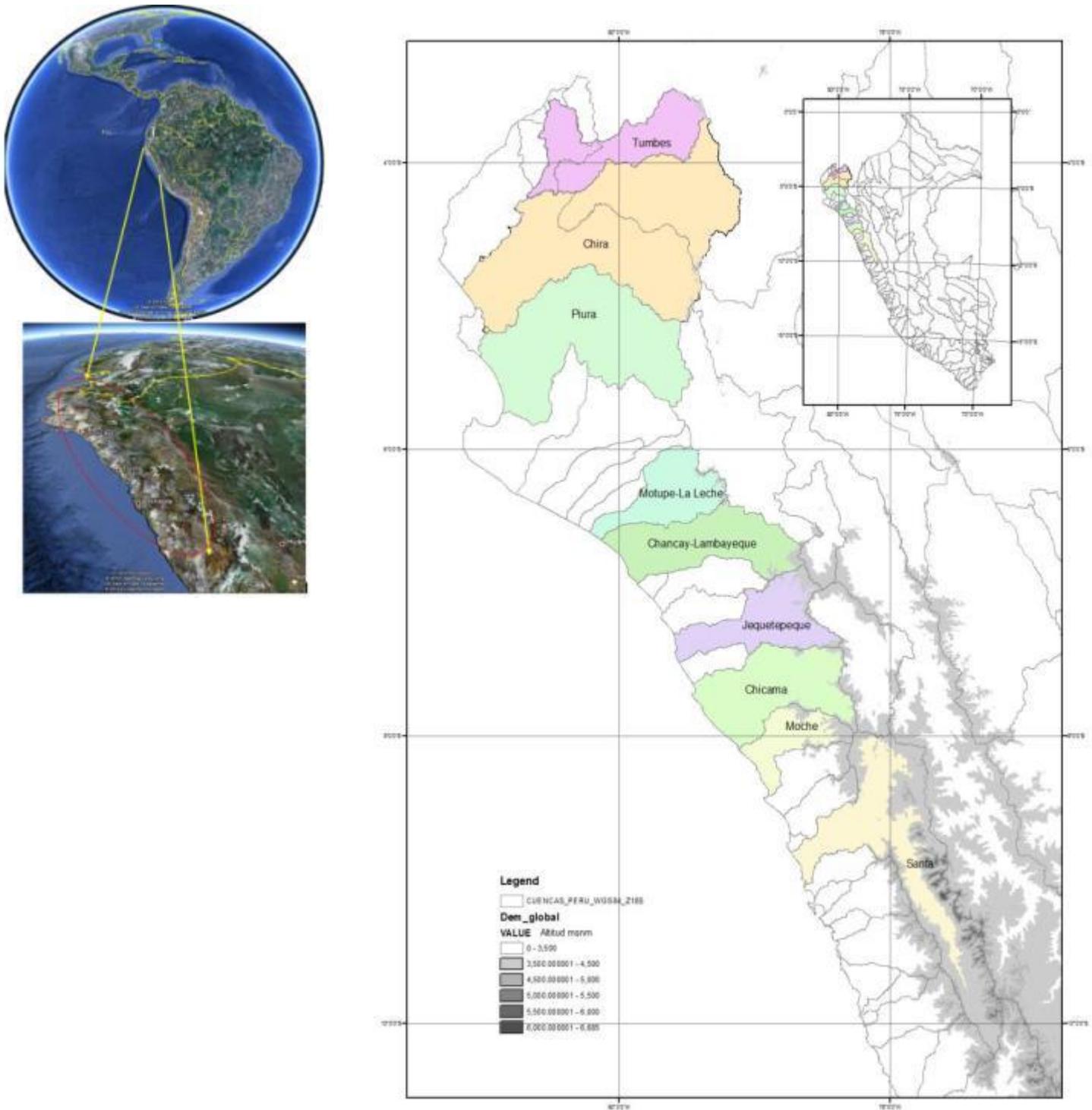


Figura 2 Mapa de Ubicación de la zona de estudio y Cuencas Hidrográficas de la Costa Norte del Perú



### 3.1.1 Ubicación geográfica

Las cuencas en estudio se encuentran comprendidas entre las coordenadas geográficas en conjunto desde 3°49' - 10°21' de latitud sur y entre 78°27' - 81°13' de longitud Oeste. A continuación se detalla en el Cuadro No 3 las ubicaciones geográficas para cada cuenca.

**Cuadro No 3 Dominio (Coordenadas Geográficas) y Rango de Altitudes por cuencas**

Cuenca	Latitud - Sur		Longitud - Oeste		Altitud msnm	
	Tumbes	3°49'	4°18'	79°35'	80°67'	500
Chira	3°69'	5°09'	79°11'	81°13'	150	3000
Piura	4°76'	5°71'	79°46'	80°95'	200	3000
Motupe	5°97'	6°51'	79°20'	80°19'	200	3500
Lambayeque	6°35'	6°92'	78°65'	79°97'	200	4000
Jequetepeque	6°81'	7°39'	78°50'	79°57'	200	4000
Chicama	7°34'	7°97'	78°32'	79°33'	500	4000
Moche	7°77'	8°40'	78°27'	79°01'	200	4000
Santa	7°97'	10°21'	77°58'	78°68'	200	4500

### 3.1.2 Demarcación hidrográfica

A continuación se describe la demarcación hidrográfica de cada una de las cuencas en estudio:

Cuenca	Río Tumbes	Río Chira	Río Piura	Río Motupe	Río Chancay-Lambayeque
Norte	Cuenca Zarumilla	Cuenca Tumbes	Cuenca Chira	Cuenca Olmos, Chamaya,	Cuenca Chamaya y Motupe
Este	Cuenca del Ecuador	Cuenca del Ecuador	Cuenca Chamaya., Cuenca Chinchipe	Cuenca Chancay- Lambayeque y Chamaya	Intercuenca Alto Marañón IV, Cuenca Jequetepeque
Oeste	Cuenca Bocapan, Cuenca Quebrada Seca y Océano Pacífico	Océano Pacífico	Océano Pacífico	Océano Pacífico	Océano Pacífico e intercuenca 13771
Sur	Cuenca Chira	Cuenca Piura	Cuenca Cascajal	Cuenca Chancay- Lambayeque e intercuenca 13771	Cuenca Zaña y Jequetepeque

#### ➤ Cuenca del Río Tumbes

La cuenca del río Puyango-Tumbes se encuentra en territorio de Ecuador y Perú.

La cuenca del río Puyango-Tumbes limita por el norte con la cuenca Zarumilla, por el sur con la cuenca Chira, por el este con cuencas del Ecuador y por Oeste con las cuencas Bocapan y Quebrada Seca.



➤ ***Cuenca del Rio Chira***

La cuenca del río Chira hidrográficamente se encuentra entre los países del Perú y el Ecuador. Esta cuenca limita por el norte con la cuenca del río Tumbes; por el este con la cuenca del país del Ecuador; por el oeste con el Océano Pacífico y por el sur con la cuenca del río Piura.

➤ ***Cuenca del Rio Piura***

Hidrográficamente la cuenca del Río Piura limita por el Norte con la cuenca del río Chira, por el sur con la cuenca del río Cascajal, por el este con la cuenca del río Huancabamba y por el oeste con el océano Pacífico. Tiene un área total de 12 216 Km<sup>2</sup> hasta la desembocadura al mar por el Estuario de Virrilá.

Esta cuenca está subdividida en 9 subcuencas las cuales son: Alto Piura, Bigote, Corrales, Medio Alto Piura, Medio Piura, Medio Bajo Piura, San Francisco y Bajo Piura.

➤ ***Cuenca del Rio Motupe***

Hidrográficamente la cuenca del río Motupe limita por el norte con la cuenca del río Olmos, cuenca del río Chayama y la cuenca del río Cascajal; por el este limita con la cuenca con la cuenca del río Chancay – Lambayeque; por el oeste con la cuenca del río Zarumillas y por el sur con el Océano Pacífico.

Esta cuenca está subdividida en 8 subcuencas como son: Choloque, Alto Motupe, Medio Alto Motupe, Motupe, Salas, La Leche, Medio Bajo Motupe y Bajo Motupe.

➤ ***Cuenca del Rio Chancay – Lambayeque***

La cuenca del río Chancay – Lambayeque hidrográficamente limita por el norte con la intercuenca del río Alto Marañón; por el este con la cuenca del río Jequetepeque; por el sur con la cuenca del río Zaña y el Océano Pacífico y por el Oeste con la cuenca del río Motupe.



Esta cuenca posee 8 subcuencas como son: Alto Chancay-Lambayeque, Cañad, Medio Alto Chancay-Lambayeque, Maichil, Juana Rios, Medio Bajo Chancay-Lambayeque, Monteria y Bajo Chancay-Lambayeque.

Cuenca	Rio Jequetepeque	Rio Chicama	Rio Moche	Rio Santa
Norte	Cuenca Chancay-Lambayeque, Intercuenca Alto Marañón IV, chaman y Zaña	Cuenca Jequetepeque	Cuenca Chicama	Cuenca Moche, Cuenca Crisnejas, Chicama, Viru Alto Marañón y Huamanzaña.
Este	Cuenca Crisnejas y Alto Marañón	Cuenca Crisnejas	Cuenca Crisnejas y Santa	Intercuenca Marañón, Pativilca
Oeste	Océano Pacifico	Océano Pacifico	Océano Pacifico	Océano Pacifico, Cuenca Huarney, Casma, Nepeña, Lacramarca y Viru
Sur	Cuenca Chicama e intercuena 13773	Cuenca Moche	Cuenca Viru	Cuenca Pativilca, Fortaleza

➤ **Cuenca del Rio Jequetepeque**

Esta cuenca hidrograficamente limita por el norte con la cuenca del rio Chancay – Lambayeque y la Intercuenca del Rio Marañón; por el este con la cuenca las Crisnejas; por el Oeste con el Oceano Pacifico y por sur con la cuenca del rio Chicama.

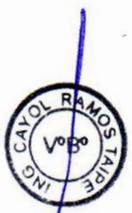
Esta cuenca se subdivide en 8 subcuencas como son: San Miguel, Alto Jequetepeque, Pañac, Contumaza, Medio Alto Jequetepeque, Medio Jequetepeque, Chausis y Bajo Jequetepeque.

➤ **Cuenca del Rio Chicama**

Hidrográficamente la cuenca del Rio Chicama limita por el Norte con la cuenca del río Jequetepeque, por el sur con la cuenca del río Moche, por el este con la cuenca del río Santa y por el oeste con el océano Pacífico.

Posee 06 sub-cuenca, las cuales son: Sub-cuenca Río Huancay, Sub-cuenca Río Chuquillanqui, Sub-cuenca Río Ochape, Sub-cuenca Río Santanero, Sub-cuenca Río Quirripiano, Sub-cuenca Media y Sub-cuenca Baja.

➤ **Cuenca del Rio Moche**



Limitada por el norte con la cuenca Chicama, por el este con Crisnejas y Santa, por el oeste el Océano Pacífico y por el sur la cuenca de Viru.

Posee 08 sub-cuencas, las cuales son: Alto Moche, Moche, Medio Alto Moche, Otuzco, Medio, La Cuesta, Bajo Moche y Medio Bajo Moche.

#### ➤ *Cuenca del Río Santa*

Pertenece a la vertiente hidrográfica del Pacífico, drena un área total de 12 200 km<sup>2</sup>. Está conformada por una hoya hidrográfica alargada de fondo profundo y quebradas de fuerte pendiente. Limita por el norte con la cuenca Moche, Crisnejas, Viru y alto Maraño, por el sur la cuenca Pativilca y Maraño, por el este la Intercuenca Maraño y Pativilca y por el oeste el Océano Pacífico, la cuenca Huarney, Casma, Nepeña, Lacramarca y Viru.

### 3.1.3 Demarcación política

El cuadro No 5 describe la ubicación de las cuencas respecto a los límites políticos, en la cual destaca las cuencas de Tumbes y Chira por que presentan áreas en territorio ecuatoriano.

En resumen las cuencas se circunscriben entre el departamento de Ancash y Tumbes y hasta la cordillera de los Andes, donde se encuentran los departamentos de Ancash y .

**Cuadro No 4 Demarcación Política de las cuencas de interés**

Cuenca	Departamento	Provincia
Tumbes	Tumbes- Ecuador	Tumbes, Sullana- Ecuador
Chira	Piura- Ecuador	Paíta, Talara, Sullana, Piura, Ayabaca- Ecuador
Piura	Piura	Sechura, Paíta, Piura, Sullana, Morropon, Huamcabamba, Ayabaca
Motupe	Lambayeque, Cajamarca	Lambayeque, Ferreñafe- Chota
Lambayeque	Lambayeque, Cajamarca	Lambayeque, Chiclayo, Ferreñafe-Chota, Santa Cruz, San Miguel
Jequetepeque	La Libertad, Cajamarca	Pacasmayo, Chepen- Contumaza, San Miguel, San Pablo, Cajamarca
Chicama	La Libertad, Cajamarca	Ascope, Santiago de Chuco, Otuzco, Gran Chimú- Cjamarca, Contumaza
Moche	La Libertad	Trujillo, Otuzco
Santa	La Libertad, Ancash	Viru, Santiago de Chuco-Pallasca, Corongo, Santa, Yungay, Caraz, Huaraz, Recuay



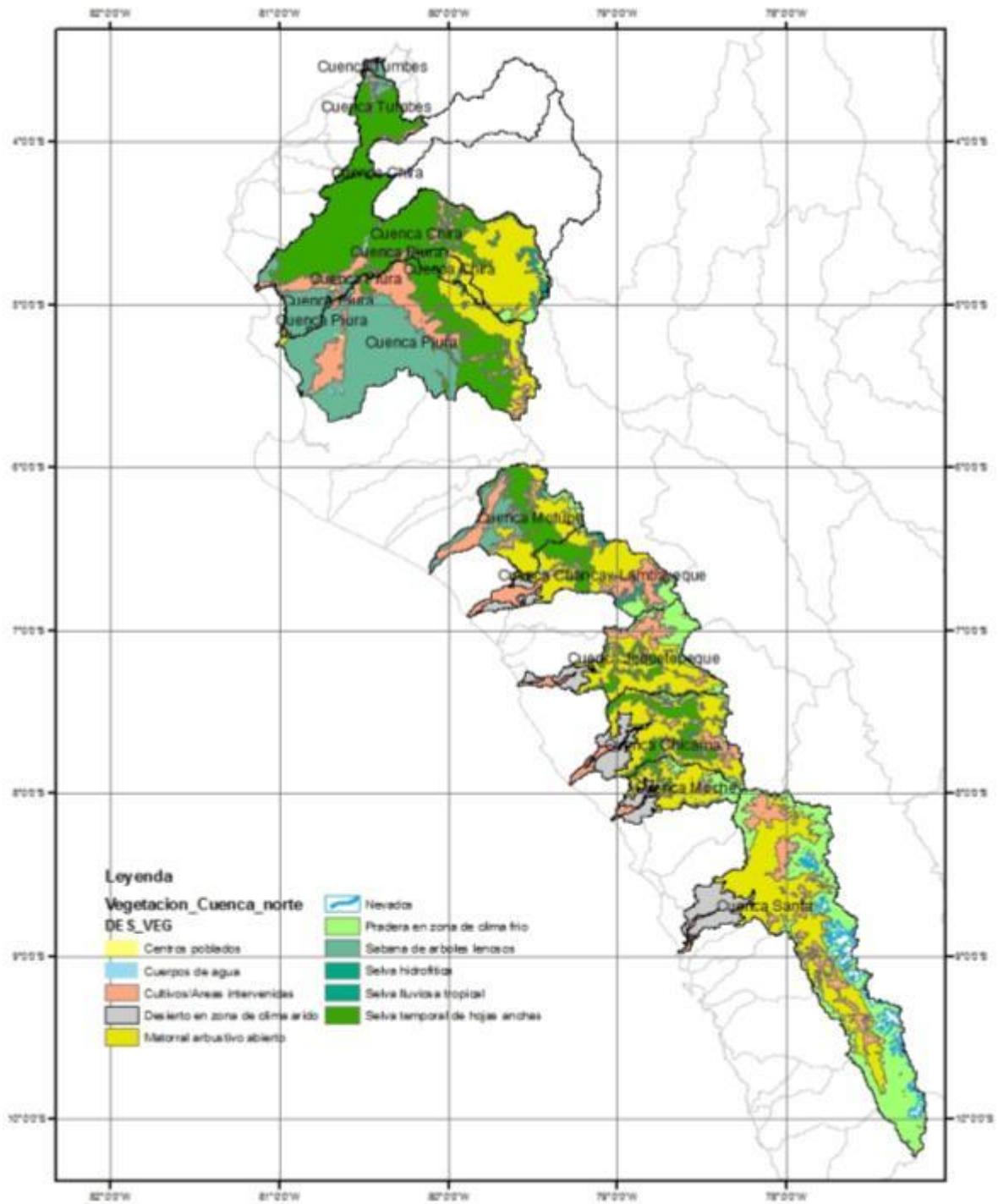
### **3.2 Cobertura Vegetal**

La cobertura vegetal en la zona de estudio está dominado por Matorral arbustivo abierto, praderas altoandinas frías en las zonas altas y medias de las cuencas y por zonas costeras y sabanas de árboles leñosos en la parte baja de las cuencas.

De manera transversal se ubica cercano a las fuentes de agua las zonas de cultivo o áreas intervenidas. (ver Figura No 3).



Figura 3 Mapa de cobertura vegetal de las cuencas de interés



### 3.3 Características Fisiográficas

#### 3.3.1 Generalidades

El Cuadro No 5 resume los principales parámetros geomorfológicos para cada una de las cuencas.

#### 3.3.2 Parámetros de forma y relieve de la cuenca

Las características físicas y funcionales de una cuenca hidrográfica pueden ser definidas como los diversos factores que determinan la naturaleza de la descarga en un curso de agua. El conocimiento de esas características, determina la naturaleza de descarga de los ríos, pueden ser agrupados en factores que dependen de las características físicas y de uso de la cuenca hidrográfica o factores fisiográficos y factores que dependen del clima, factores climáticos.

A continuación se describen los parámetros geomorfológicos por cuenca:

##### ➤ *Cuenca del Río Tumbes*

Esta cuenca binacional comprende sectores de Perú y Ecuador y drena una cuenca de 5 503 Km<sup>2</sup> de extensión, cerca del 67% de la cuenca colectora está en Ecuador y el 33% en Perú donde el área total es 1 806 Km<sup>2</sup>. Tiene una altitud media de 929 msnm , una pendiente media en el orden de 23 % y de acuerdo a la curva hipsométrica mostrada corresponde a un río maduro. El Factor de Forma determinado es 0,13 lo cual nos estaría indicando que esta cuenca tiene buena respuesta a las crecidas, asimismo el Coeficiente de Compacidad determinado es 2,28 y que corresponden a cuencas de forma alargada (ver mapa de parámetros).

##### ➤ *Cuenca del Río Chira*

Esta cuenca binacional comprende sectores de Perú y Ecuador y drena una cuenca de 17 940 Km<sup>2</sup> de extensión, cerca del 41% de la cuenca colectora está en Ecuador y el 59% en Perú donde el área total es 10 535 Km<sup>2</sup>. Tiene una altitud media de 1 171 msnm , una pendiente media en el orden de 23 % y de acuerdo a la curva hipsométrica mostrada corresponde a un río maduro. El Factor de Forma determinado es 0,19 lo cual nos estaría indicando que esta



cuenca tiene buena respuesta a las crecidas, asimismo el Coeficiente de Compacidad determinado es 1,84 y que corresponden a cuencas de forma alargada (ver mapa parámetros).

➤ ***Cuenca del Rio Piura***

Esta cuenca tiene un área de 10 872 Km<sup>2</sup>, una altitud media de 465 msnm y una pendiente media en el orden de 19 % y de acuerdo a la curva hipsométrica mostrada corresponde a un río maduro. El Factor de Forma determinado es 0,20 lo cual nos estaría indicando que esta cuenca tiene buena respuesta a las crecidas, asimismo el Coeficiente de Compacidad determinado es 1,76 y que corresponden a cuencas de forma alargada (ver mapa de parámetros).

➤ ***Cuenca del Rio Motupe***

Esta cuenca tiene un área de 3 653 Km<sup>2</sup>, una altitud media de 893 msnm y una pendiente media en el orden de 29 % y de acuerdo a la curva hipsométrica mostrada corresponde a un río maduro. El Factor de Forma determinado es 0,43 lo cual nos estaría indicando que esta cuenca tiene regular respuesta a las crecidas, asimismo el Coeficiente de Compacidad determinado es 1,76 y que corresponden a cuencas de forma alargada (ver mapa de parámetros).

➤ ***Cuenca del Rio Chancay – Lambayeque***

Esta cuenca tiene un área de 4 022 Km<sup>2</sup>, una altitud media de 1 622 msnm y una pendiente media en el orden de 35 % y de acuerdo a la curva hipsométrica mostrada corresponde a un río maduro. El Factor de Forma determinado es 0,27 lo cual nos estaría indicando que esta cuenca tiene buena respuesta a las crecidas, asimismo el Coeficiente de Compacidad determinado es 1,92 y que corresponden a cuencas de forma alargada (ver mapa de parámetros).

➤ ***Cuenca del Rio Jequetepeque***

Esta cuenca tiene un área de 3 935 Km<sup>2</sup>, una altitud media de 2 251 msnm y una pendiente media en el orden de 42 % y de acuerdo a la curva hipsométrica mostrada corresponde a un río joven. El Factor de Forma determinado es 0,30 lo cual nos estaría indicando que esta cuenca tiene buena respuesta a las crecidas,



asimismo el Coeficiente de Compacidad determinado es 2,09 y que corresponden a cuencas de forma alargada (ver mapa de parámetros).

➤ ***Cuenca del Rio Chicama***

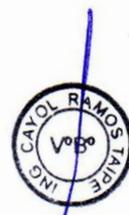
Esta cuenca tiene un área de 4 494 Km<sup>2</sup>, una altitud media de 1 855 msnm y una pendiente media en el orden de 48 % y de acuerdo a la curva hipsométrica mostrada corresponde a un río joven. El Factor de Forma determinado es 0,37 lo cual nos estaría indicando que esta cuenca tiene regular respuesta a las crecidas, asimismo el Coeficiente de Compacidad determinado es 1,79 y que corresponden a cuencas de forma alargada (ver mapa de parámetros).

➤ ***Cuenca del Rio Moche***

Esta cuenca tiene un área de 2 115 Km<sup>2</sup>, una altitud media de 2 317 msnm y una pendiente media en el orden de 40 % y de acuerdo a la curva hipsométrica mostrada corresponde a un río joven. El Factor de Forma determinado es 0,34 lo cual nos estaría indicando que esta cuenca tiene regular respuesta a las crecidas, asimismo el Coeficiente de Compacidad determinado es 1,61 y que corresponden a cuencas de forma oval oblonga a rectangular oblonga (ver mapa de parámetros).

➤ ***Cuenca del Rio Santa***

Esta cuenca tiene un área de 14 954 Km<sup>2</sup>, una altitud media de 3 379 msnm y una pendiente media en el orden de 46 % y de acuerdo a la curva hipsométrica mostrada corresponde a un río maduro. El Factor de Forma determinado es 0,12 lo cual nos estaría indicando que esta cuenca tiene buena respuesta a las crecidas, asimismo el Coeficiente de Compacidad determinado es 2,50 y que corresponden a cuencas de forma alargada (ver mapa de parámetros).



**Cuadro No 5 Parámetros Geomorfológicos de las cuencas de interés**

Parámetros	Cuencas									
	Rio Tumbes	Rio Chira	Rio Piura	Rio Motupe	Rio Chancay-Lambayeque	Rio Jequetepeque	Rio Chicama	Rio Moche	Rio Santa	
Area (Km <sup>2</sup> )	5502.75	17940.38	10872.09	3653.47	4022.26	3935.43	4493.74	2115.41	14954	
Perimetro (Km)	604.92	880.9	655.44	380.12	433.95	467.33	427.8	264.28	283.71	
Altitud Media (m)	929.06	1170.77	464.92	893.23	1622.28	2250.81	1854.93	2316.77	2098.51	
Pendiente Media (%)	23.45	23.23	19.04	29.52	34.74	42.22	47.99	39.91	44.39	
Coefficiente de Compacidad (Kc)	2.28	1.84	1.76	1.76	1.94	2.09	1.79	1.61	1.46	
Factor de Forma	0.13	0.19	0.2	0.43	0.27	0.3	0.37	0.34	0.45	
Rectangulo Equivalente	Longitud Mayor (Km)	283.02	395.04	290.26	168.36	196.51	215.39	190.28	113.5	11.28
	Longitud Menor (Km)	19.44	45.41	37.46	21.7	20.47	18.27	23.62	18.64	25.58
Longitud del Cauce Principal	208.06	304.16	233.6	92.52	116.11	94.6	129.97	59.51	310.18	
Pendiente Media del Cauce Principal (%)	0.33	0.33	0.06	0.16	0.85	0.75	1.04	3.83	1.17	

Fuente: Elaboración propia



### 3.4 Hidrografía de las cuencas

#### 3.4.1 Descripción general de las cuencas

Las cuencas en estudio tienen en común el drenaje hacia el Océano Pacífico, comenzando desde las alturas de la cadena montañosa con aporte glaciar en el caso del Santa y desde zonas con bosques tropicales en las cuencas del Chira y Tumbes.

La mayoría de las cuencas discurren de Este a Oeste, esto se distingue claramente en las cuencas de Chira, Jequetepeque, Motupe, Chancay Lambayeque, Chicama y Moche. En cambio en las otras cuencas se presenta cambio en la dirección del escurrimiento, así en Tumbes la dirección de flujo se inicia de Este a Oeste y a la altura de la estación El Tigre vira hacia el Norte. En el caso de la cuenca del Piura sucede lo opuesto el escurrimiento empieza de Este a Noroeste y a la altura de la quebrada San Francisco gira hacia Oeste y en unos kilómetros hacia Sur. Finalmente la cuenca del río Santa tiene un escurrimiento peculiar inicia discurriendo hacia el Norte flanqueado por la Cordillera Blanca y Negra y a la altura de la quebrada Chunyay cerca a la Hidroeléctrica Cañón del Pato gira hacia el Oeste.

A continuación se describe la hidrografía de cada una de las cuencas:

##### ➤ *Cuenca del Río Tumbes*

El río Puyango-Tumbes, mide aproximadamente 230 Km de longitud, tiene un área de drenaje alrededor de 4,800 Km<sup>2</sup>, hasta su desembocadura. Esta formado por numerosas quebradas que discurren principalmente desde la cordillera de Chilla y Cerro Negro en el Ecuador. En su parte alta el río es llamado a menudo Río Pindo o Río Grande. Toma el nombre de Puyango a partir de su confluencia con el Yaguachi cerca de Balsas. Siguiendo la dirección occidental por unos 100 Km, el río Puyango alcanza la quebrada Cazaderos para formar el río Tumbes. Gira entonces hacia el Norte unos 80 Km hasta llegar al Océano Pacífico cerca de la ciudad de Tumbes.

La cuenca alta del río Puyango-Tumbes, está rodeada por terrenos montañosos con altitudes de alrededor de 3,500 msnm. Cuatro tributarios principales: el río



Calera, el río Amarillo, el río Luis y el río Ambocas, dan origen y forman el río Pindo. El río Pindo y sus tributarios tienen una pendiente pronunciada de cerca de 7 por mil. La mayor parte del río Puyango tiene una pendiente moderada de 3 por mil. Bajando hacia el mar forma la llanura del río Tumbes, en donde la pendiente del cauce es inferior al 2 por mil.

➤ ***Cuenca del Río Chira***

La red hidrográfica tiene características dendríticas lo que muestra un buen drenaje. Su curso principal es el río Catamayo-Chira. A partir de la unión del río Catamayo y el río Macará, el curso principal de la cuenca toma la denominación de Chira, aguas abajo recibe las contribuciones de los ríos Quiroz, que recorre de sureste hacia noroeste, el río Alamor a su vez tiene como tributario al río Quillusara y aguas más abajo el Chira recibe la contribución del río Chipillico y de otros pequeños arroyuelos que se activan en épocas de lluvia.

➤ ***Cuenca del Río Piura***

El río Piura, así como el Chira pertenecen al Sistema Hidrográfico del Pacífico, tiene como nacientes a numerosas quebradas que corren principalmente desde los cerros Jaway, Querpon y Patrón, entre otros, alimentando sus cursos de agua principalmente con las precipitaciones estacionales que ocurren en el flanco occidental de la Cordillera de Los Andes.

El río Piura es muy irregular y caprichoso, por lo que ha recibido el nombre de "Río Loco", tiene sus nacientes en el cerro Sogorón a 2 680 m.s.n.m, con el nombre de río San Martín que después cambia a río Huarmaca, para luego de recibir las aguas del río Puzmalca por su margen derecha, tomar el nombre de río Piura. En su recorrido hasta la zona La Peñita tiene una dirección Sureste - Noroeste y a partir de aquí cambia de rumbo en dirección Noreste – Suroeste, hasta desembocar en el océano Pacífico pasando antes por la ciudad de Piura. Sus principales afluentes se ubican por su margen derecha, siendo los más importantes, los ríos: San Martín, Puzmalca, Río Seco, Bigote, Corral del Medio, La Gallega, Charanal y Yapatera.



Desde sus nacientes el río adopta el nombre de Piura, su longitud aproximada es de 292,5 kms, sus aguas normalmente llegan hasta la laguna Ramón-Ñapique, y el último año que llegaron hasta el mar, fue durante el evento El Niño de 1924/25.

➤ ***Cuenca del Río Motupe***

El río Motupe tiene sus orígenes en la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes, en una densa red hidrográfica de tipo dendrítico cuyos componentes principales son –de norte a sur- los ríos Olmos, Chiniama, Chóchope, Chotoque, Motupe, Apule, Salas, Papayo, La Pescadera, contando además con innumerables quebradas grandes y pequeñas.

La cuenca tiene un área de recepción, dentro de la cual discurren en dirección suroeste (SW) los diferentes cursos componentes de la red hídrica, de los cuales solamente los ríos Chiniama y Chóchope tienen régimen regular, siendo los ríos y quebradas restantes de régimen irregular en los que la presencia de agua solamente ocurre durante horas o días en los períodos de lluvia (entre febrero y abril).

➤ ***Cuenca del Río Chancay-Lambayeque***

La cuenca del río Chancay-Lambayeque, está conformada por la cuenca natural del río Chancay (Vertiente del Pacífico) y parte de la cuenca alta de los ríos Chotano y Conchano (Vertiente del Atlántico) .

El río Chancay, de régimen irregular, nace en la laguna Mishacocha, a 3900 msnm, ubicada en la Cordillera Occidental de los Andes. Tiene una longitud de 205 km; en su recorrido recibe los aportes de los ríos Huambayaco, Cirato, Cumbil y Qda. Chancay por la margen derecha; y los ríos Cañad y San Lorenzo por la margen izquierda.

El río Chotano tiene origen en la confluencia de las quebradas, río Grande y Yanayacu, su longitud es de 35 km hasta su derivación al río Chancay. Sus principales afluentes son: por la margen derecha la quebrada Doña Ana, cauce donde desemboca el túnel Conchano y por la margen izquierda, río Jalqueño.



El río Conchano, descarga sus aguas en el río Marañón, por medio del río Silaco, tiene su origen en varios afloramientos de agua de procedencia subterránea, cuya extensión es de 2 km<sup>2</sup>.

➤ ***Cuenca del Río Jequetepeque***

La cuenca del río Jequetepeque tiene como dren principal al río del mismo nombre, el cual descarga sus aguas al mar, después de un recorrido de 150 km de longitud, bajando desde los 4 000 m s.n.m., en dirección Este-Oeste y en forma transversal a la Cordillera Occidental de los Andes, reuniendo a una red de drenaje de más de 30 ríos secundarios y un gran número de riachuelos y quebradas menores, con características hídricas variadas, es decir, con regímenes continuos, temporales, periódicos y ocasionales (lechos secos).

➤ ***Cuenca del Río Chicama***

El río Chicama nace en las alturas de las provincias de Otuzco, Gran Chimú y Contumazá, en el cerro Collacuyan. Sus principales afluentes son los ríos Pinchaday, Huanca y San Felipe. La dirección general del río es de N.E. a S.O. La desembocadura del río Chicama está situada a 148 km al Norte de la desembocadura del río Santa, y a 32 km, al Norte del valle Santa Catalina.

La estación de aforo principal del río Chicama se encuentra en El Salinar, que controla 3 642 km<sup>2</sup> de cuenca.

➤ ***Cuenca del Río Moche***

El río Moche nace en las alturas de la provincia de Otuzco, en la Laguna Grande a 4 000 m.s.n.m, en las proximidades del pueblo de Quiruvilca, tiene una longitud de 102 km, hasta la desembocadura en el Océano Pacífico, con una pendiente promedio de 4,5 % y está formado principalmente por los ríos Otuzco y Simbal.

La estación de aforos en Quirihuac ubicada a 30 km, de la desembocadura y a 200 m.s.n.m, controla 1 864 km<sup>2</sup> de la cuenca, cubre la totalidad de la cuenca húmeda que es 1 418 km<sup>2</sup>. En este tramo el río es de tipo torrentoso, de régimen muy irregular.



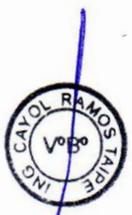
➤ **Cuenca del Rio Santa**

El río Santa nace a 4 080 m s.n.m. en la Laguna Conococha, tiene un desarrollo longitudinal de Sur a Norte hasta el Cañón del Pato donde cambia de dirección a Este – Oeste hasta su desembocadura en el Océano Pacífico con un recorrido total de 316 km; tiene una pendiente promedio de 1,4 % .

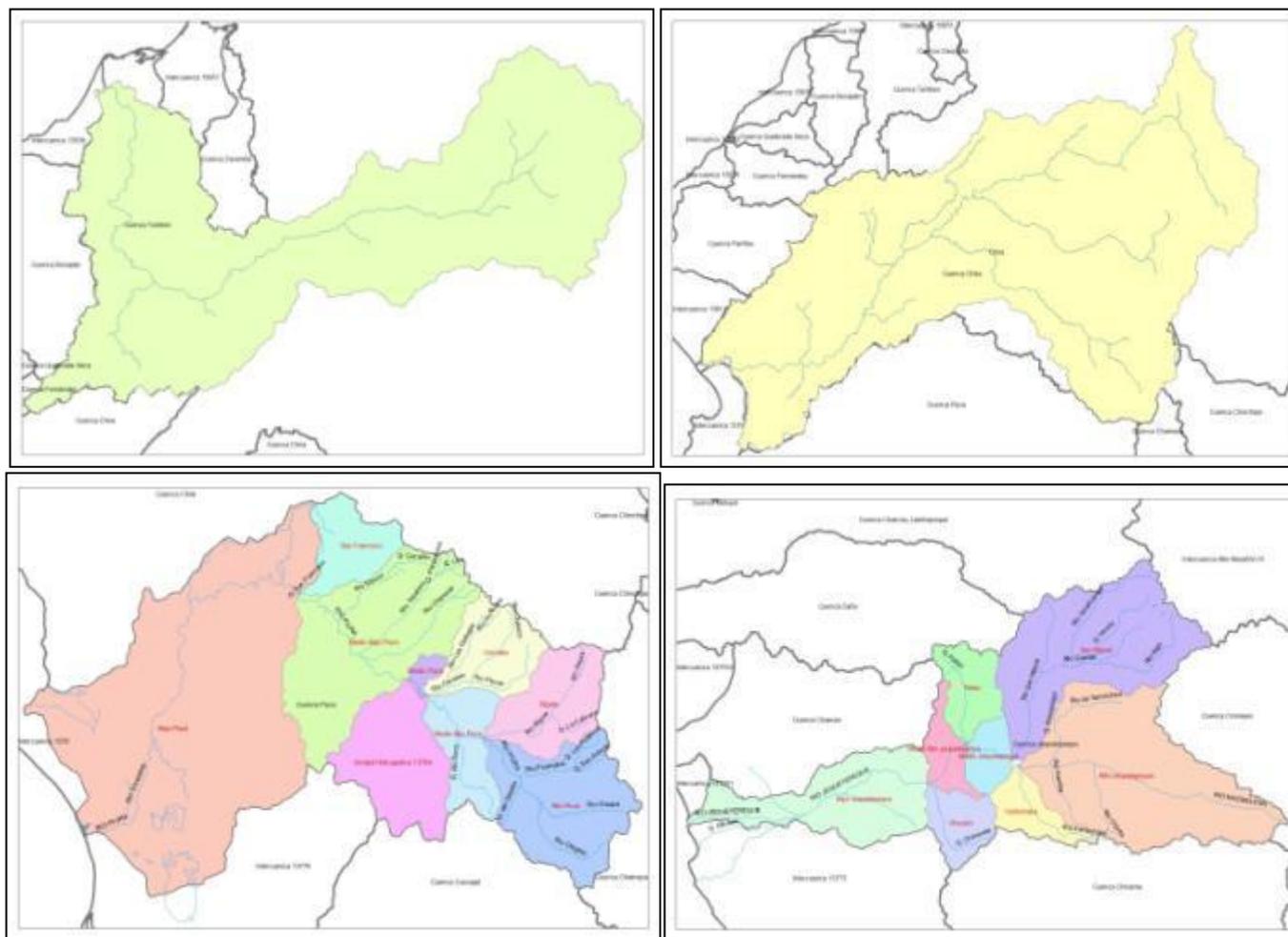
El valle alto del Santa, más conocido como el Callejón de Huaylas está limitado por el Oeste por la Cordillera Negra y hacia el Este por la Cordillera Blanca.

El escurrimiento superficial del río Santa, originado de las precipitaciones ocurridas en la parte alta y de los deshielos de los nevados de la Cordillera Blanca, produce una masa promedio anual de 4 442,87 MMC, siendo uno de los más importantes de la Costa y el más caudaloso de la vertiente del Pacífico.

Los glaciares de la Cordillera Blanca que cubren un área de 724 km<sup>2</sup>, así como las 180 lagunas que existen en el ámbito del Parque Nacional Huascarán, tienen un efecto regulador de las descargas del río Santa en el período de estiaje. De acuerdo al inventario de 1997 ejecutado por imágenes de satélite, realizado por el Instituto Andino de Glaciología y Geoambiente, la Cordillera Blanca debido a procesos de erosión del hielo, en los últimos 50 años, los glaciares habían reducido en 15 % su volumen



**Figura 4 Hidrografía de las cuencas: Tumbes, Chira, Piura y Jequetepeque**



**Figura 5 Hidrografía de las cuencas: Chancay-Lambayeque, Motupe, Chicama y Moche (continuación)**

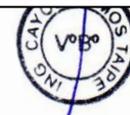
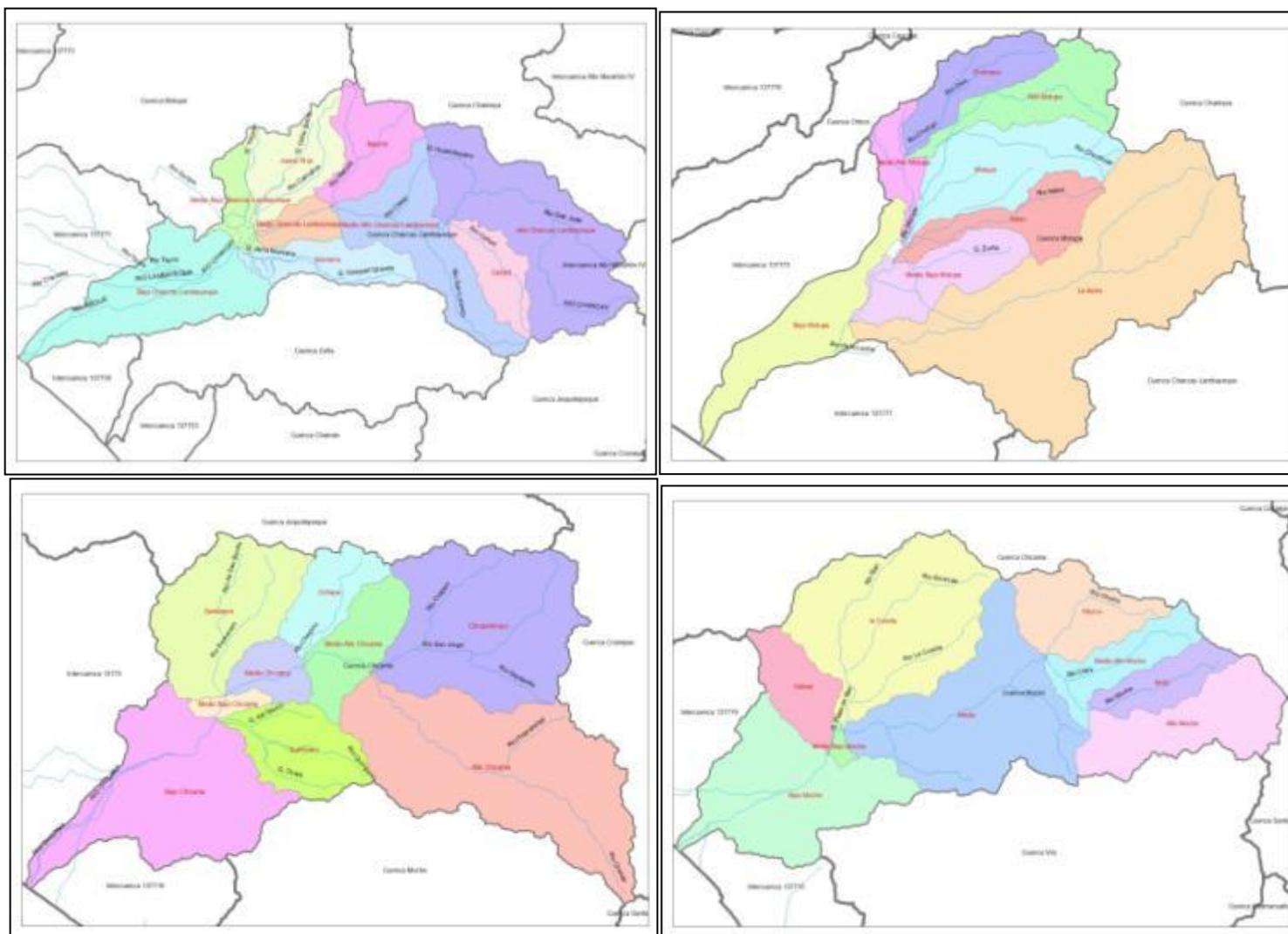
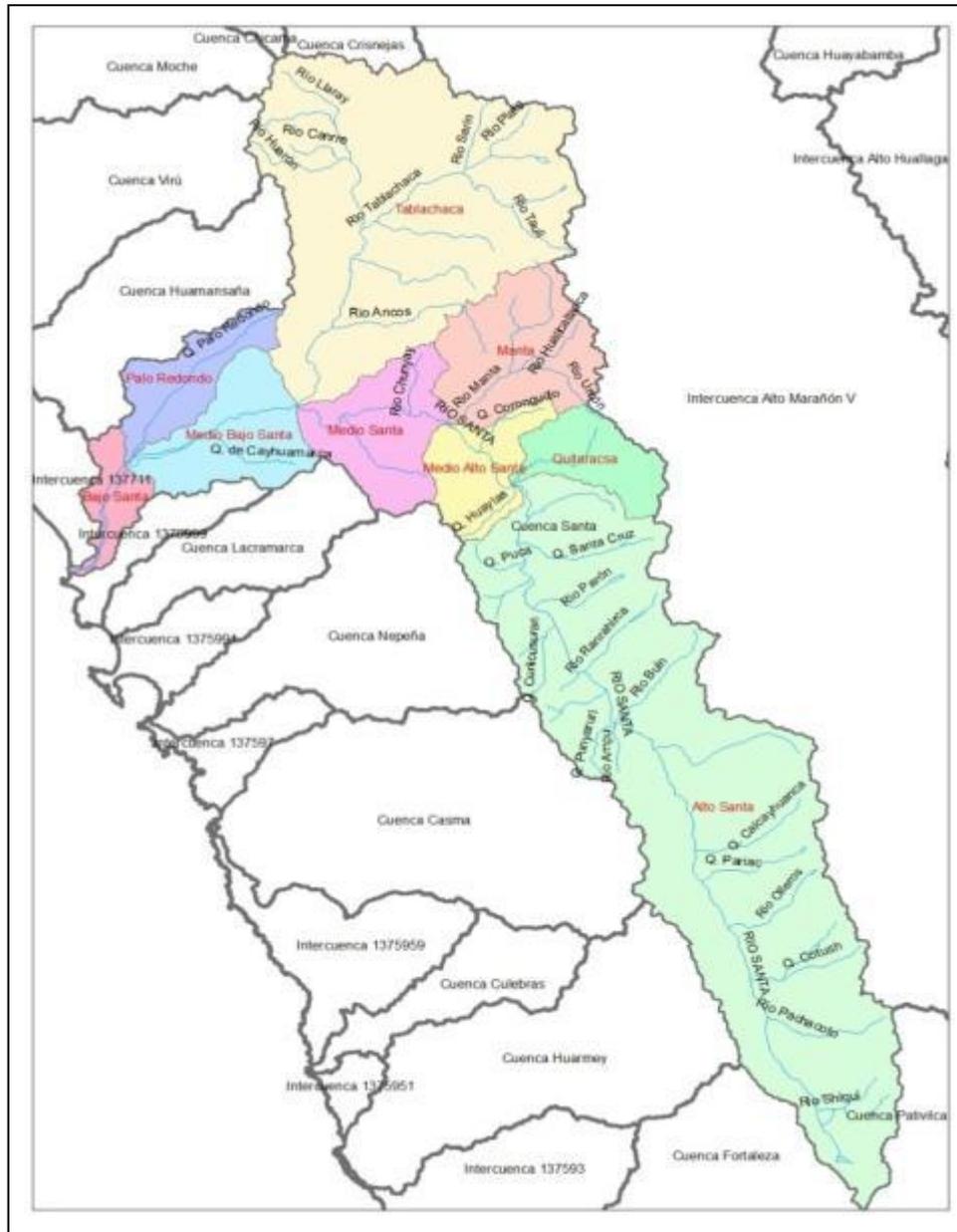


Figura 6 Hidrografía de la cuenca del río Santa (continuación)



### 3.4.2 Principales afluentes

Las cuencas en estudio tienen como principales afluentes a los ríos y quebradas mostradas en el cuadro No 6.

**Cuadro No 6 Parámetros Geomorfológicos de las cuencas de interés**

No	Cuenca hidrográfica	Rio Principal	Principales Afluentes	
			Margen Derecha	Margen Izquierda
1	Tumbes	Rio Tumbes	Qda Balsama	Qda Cusco
2	Chira	Rio Chira	Qda Solana, Qda Jabonillos, Qda Seca, Qda Encantada, Rio Saman.	Rio Calvas, Qda Remolinos, Qda Suyo, Rio Quiroz, Rio Chipillico.
3	Piura	Rio Piura	Rio Pusmalca, Rio Bigote, Rio Corrales, Rio Charanal, Rio Yapatera, Rio Sancor, Qda San Francisco.	Rio Chalpa, Rio Chignia, Qda del Garabo, Qda Rio seco.
4	Motupe	Rio Motupe	Rio Ojos, Rio Chotopi, Qda Pan de Azucar.	Rio Chochope, Rio Salas, Qda Zurita.
5	Chancay-Lambayeque	Rio Chancay	Rio San Juan, Rio Cirato, Rio Maichil, Rio Camellon, Rio Taymi.	Rio Cañad, Rio San Lorenzo, Qda de la Monteria.
6	Jequetepeque	Rio Jequetepeque	Rio de Yaminchad, Rio San Miguel, Qda Pallac.	Rio Madgalena, Rio Chanta, Rio Huertas, Rio Contumaza, Qda Chiminote
7	Chicama	Rio Chicama	Rio San Jorge, Rio Cospàn, Rio Chepino, Rio Santanero.	Rio Huaranchal, Rio Grande, Rio Quirripiano.
8	Moche	Rio Moche	Rio Chira, Rio Otuzco, Rio La Cuesta, Qda Playa de Ñari.	Qda Chanchacap, Qda Potrerillo.
9	Santa	Rio Santa	Rio Pachacoto, Rio Olleros, Qda Cotush, Qda Calcayhuanca, Rio Buin, Rio Ranrahirca, Rio Paron, Qda Santa Cruz, Qda Coronguillo, Rio Manta, Rio Chunyay, Rio Ancos, Qda Palo Redondo.	Rio Shiqui, Rio Ampu, Qda Punyaruri, Qda Curllcusuran, Qda Puca, Qda Huaylas, Qda de Cayhuamarca.

Fuente: elaboración propia

#### IV. INFRAESTRUCTURAS HIDRAULICAS

##### 4.1 Infraestructura Hidraulica en los cursos principales

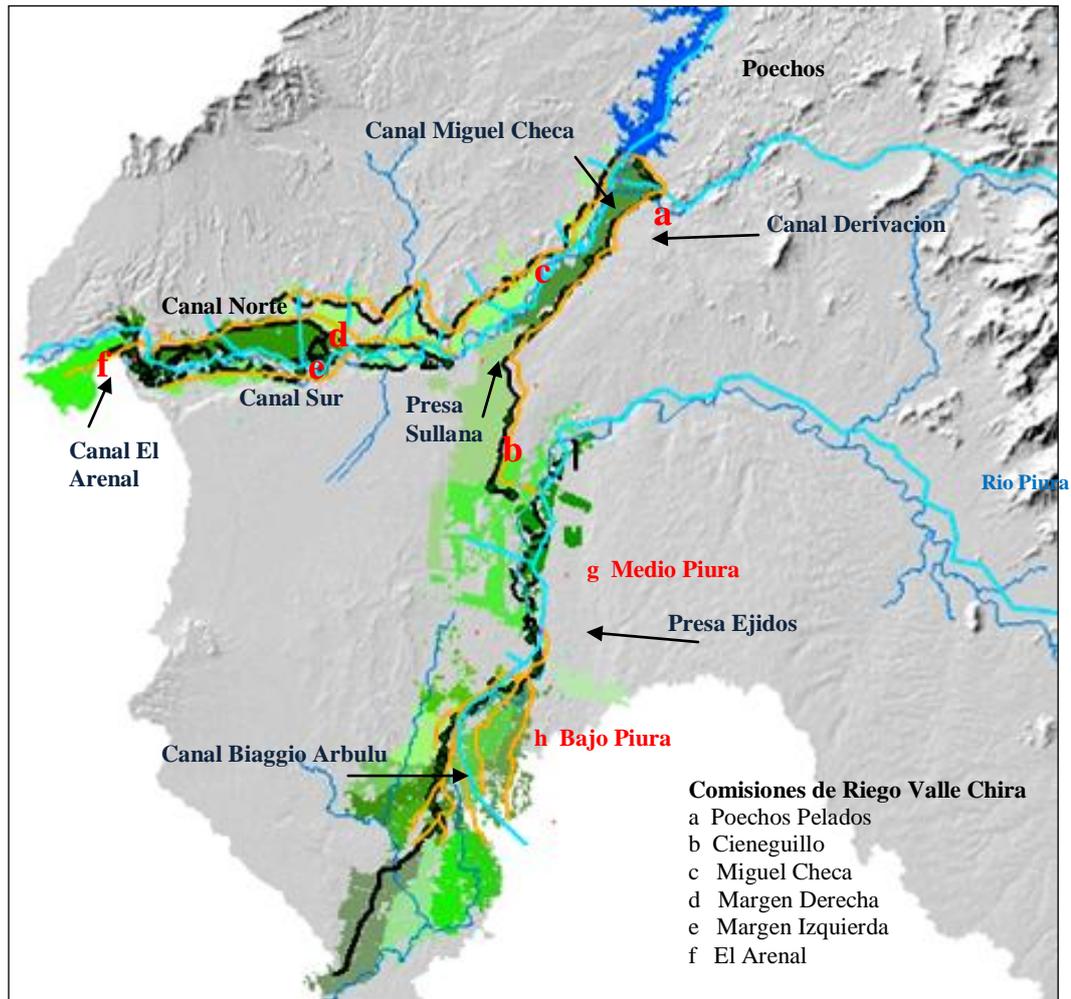
###### 4.1.1 Sistema Hidrico de Chira-Piura

El aprovechamiento de los recursos hídricos y suelo en los valles del rio Chira y Piura (Figura No 7), reviste cada vez mayor importancia y a partir de 1971 se construyó el Sistema Chira-Piura, con el objetivo de posibilitar el aprovechamiento óptimo de los recursos hídricos y de suelos en ambos valles para la producción agrícola.

Las principales obras hidráulicas de control, conducción y distribución de aguas de este sistema son:

- a) La represa Poechos con embalse del mismo nombre, ubicada en el cauce del río Chira. Su capacidad de almacenamiento según diseño fue de 840 Hm<sup>3</sup>; para regulación anual y eventualmente dos años de las aportaciones del río Chira controlada por la represa (1976), las características del reservorio actualmente son:
- Volumen de almacenamiento (**Dic. 2008**) a nivel 103: 441,04 Hm<sup>3</sup>
  - Volumen total de sedimentos sobre la cota 78,5 (**Dic. 2008**): 443,96 Hm<sup>3</sup>.
  - Área de espejo a nivel 103 msnm: 75 Km<sup>2</sup>,
- b) Canal de Derivación Chira-Piura (canal Daniel Escobar), deriva las aguas de la presa Poechos al río Piura, para el valle de Piura, tiene una longitud de 54 Km y una capacidad de conducción máxima de 70 m<sup>3</sup>/s
- c) Presa derivadora de los Ejidos, aguas arriba de la ciudad de Piura en el cauce del río Piura, que capta las aguas provenientes de Poechos y las del río Piura, derivándolas por el canal Biaggio Arbulú para irrigar el valle del Bajo Piura.
- d) Presa derivadora de Sullana, ubicada en el cauce del río Chira, a 0,5 Km aguas abajo de la ciudad de Sullana. También alojadas en el cuerpo de la presa dos bocatomas: Margen Izquierda - canal Jíbito, Margen Derecha - Canal Norte y Sur con una minicentral hidroeléctrica. Con la puesta en funcionamiento de la Presa Sullana, se forma un embalse el cual tiene una capacidad de almacenamiento de 6 Hm<sup>3</sup> a un nivel de fondo de 36,5 msnm, para compensación diaria de aguas soltadas del embalse Poechos.
- e) Canales de riego principales, "Miguel checa", capta las aguas de la salida del embalse Poechos y atiende la parte alta del valle de Chira, tiene una longitud de 78.5 km y una capacidad de 19 m<sup>3</sup>/s, "Norte", capta las aguas reguladas por el embalse Sullana y entrega parte de sus aguas a los canales "Sur" y "El Arenal" a través de dos sifones, y en conjunto atienden la parte baja del valle de Chira.

**Figura 7: Infraestructura hidráulica del Sistema Chira-Piura**



Fuente: elaboración propia

#### 4.1.2 Sistema Hídrico de la cuenca de río Santa Integrado (Chavimochic y Chinecas)

El ámbito de la cuenca de gestión del Santa incluye el ámbito de gestión de dos Proyectos Especiales (1) CHAVIMOCHIC y (2) CHINECAS, teniendo como recurso hídrico común compartido los aportes de la cuenca del río Santa. Adicionalmente el Proyecto CHAVIMOCHIC utiliza en forma exclusiva los recursos hídricos aportados por las cuencas de los ríos Chao, Virú, Moche y Chicama y El Proyecto CHINECAS utiliza en forma exclusiva los recursos hídricos aportados por las cuencas de los ríos Lacramarca, Nepeña, Casma y Sechin (Ver Figura N° 8).

Las obras hidráulicas del Proyecto Especial CHAVIMOCHIC en el cauce del río Santa son:

- Bocatoma 412 msnm ubicada en la margen derecha del río Santa, Desarenador.

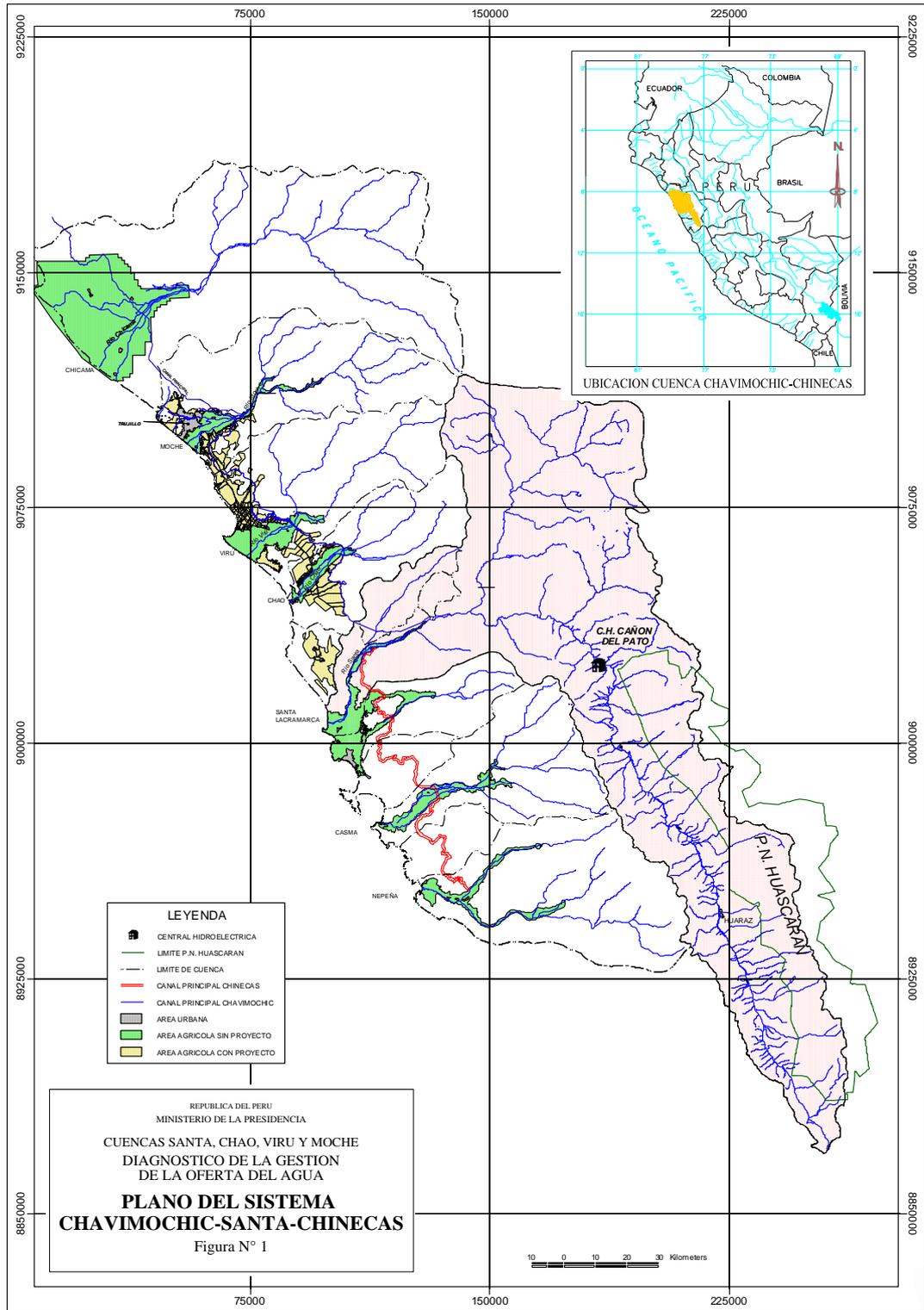
Las obras hidráulicas del Proyecto Especial CHINECAS considera a los Sistemas de riego: **Sistema La Huaca y Sistema Santa**. El Sistema La Huaca contempla la derivación de las aguas del río Santa, mediante obras hidráulicas con características técnicas que a continuación se detallan:

- Bocatoma La Huaca con un caudal de  $Q = 35 \text{ m}^3/\text{s}$  ubicada a una Cota = 232 msnm,
- El Sistema Santa, incluye la Bocatoma La Víbora con un  $Q = 12 \text{ m}^3/\text{s}$  a una Cota = 119 msnm;

Otra de las obras hidráulicas más importantes en la cuenca del Santa es la **Central Hidroeléctrica Cañón del Pato** que se encuentra conformada por las siguientes estructuras:

- Represa: Es del tipo de gravedad y tiene como objeto desviar las aguas del río hacia la bocatoma y elevar el lecho del río en unos 20 metros.
- Dos Bocatomas: La primera de una capacidad aproximada de  $48 \text{ m}^3/\text{s}$  construida desde el inicio de operación de la central, ubicada en la margen derecha del río Santa.
- Túnel de Aducción: Une la bocatoma con el desarenador y tiene una longitud de 555 m y  $30 \text{ m}^3$  de sección.

Figura 8: Infraestructura hidráulica del Sistema Santa (Chavimochic y Chinecas)



#### 4.1.3 Sistema Hídrico en la cuenca del río Jequetepeque

Las estructuras del Sistema hídrico del río Jequetepeque que se encuentran en el cauce del río son: la represa de Gallito Ciego, la Bocatoma Talambo – Zaña, A continuación se describe las infraestructuras:

- **Represa Gallito Ciego**, La Represa "Gallito Ciego", un volumen útil 392,02 MMC, Altura de la Presa 105,44 m, Volumen Total del embalse medido en su nivel máximo de crecida (410.3 msnm) 573,62 M.M.C. 02 válvulas de servicio del tipo HOWELL BUNGER (Capacidad máx.) 85 m<sup>3</sup>/seg c/u

Según los estudios realizados por el Proyecto Especial Jequetepeque – Zaña, el proceso de sedimentación durante la explotación de la presa 1987/1988 – 1999/2000 se ha reducido el volumen útil del embalse de 426,80 MMC a 392,02 MMC.

- **Bocatoma Talambo – Zaña**, está ubicada en el Río Jequetepeque, aproximadamente en la progresiva Km 32+340, permite captar las aguas del Río Jequetepeque y distribuirlas hacia el Canal de Empalme Guadalupe y el Canal Talambo – Zaña.

La Bocatoma ha sido diseñada para captar un caudal máximo de 86 m<sup>3</sup>/s y evacuar un caudal de avenidas de 900 m<sup>3</sup>/s

- **Bocatoma Jequetepeque**  
Esta estructura hidráulica se ubica a la margen izquierda del Río Jequetepeque, ha sido diseñada para captar 2.60 m<sup>3</sup>/s para distribuirlas hacia el Canal del mismo nombre.

#### 4.1.4 Sistema Hídrico de la cuenca Chancay-Lambayeque

En el Sistema Chancay-Lambayeque se diferencian tres zonas, que se describen a continuación.

A continuación se describe la Infraestructura de Riego del Sistema Tinajones.

- **Reservorio Tinajones**

Se encuentra ubicado en la margen derecha del río Chancay, ha sido construido en un área de 20 km<sup>2</sup>, con una capacidad de almacenamiento de 320 MMC, formándose el embalse por medio de un dique principal, de estructura de tierra zonificada de 41 m de altura y 2.38 km de longitud y tres diques secundarios.

- **Bocatoma Raca Rumi**

Es la obra principal y está ubicada a la altura de la cota 280 msnm del río Chancay, su estructura permite la captación de las aguas del río Chancay de hasta 75 m<sup>3</sup>/s, hacia el Canal Alimentador de Tinajones. Esta estructura ha soportado los eventos extraordinarios de los Fenómenos El Niño 1983 y 1998. Fue construida en el período 1966-1968 y están en servicio desde el año 1969.

- **Canal de Alimentación**

Conduce las aguas derivadas del río Chancay hacia el reservorio Tinajones. Se inicia en la Bocatoma Raca Rumi, inmediatamente después de la estructura de salida del desarenador, termina en la estructura de entrega al Reservorio Tinajones, tiene una longitud de 16.080 km y una capacidad máxima de 70 m<sup>3</sup>/s.

- **Obras de derivación:**

Túnel Chotano, esta obra permite derivar las aguas del Chotano al río Chancay, tiene una longitud de 4.766 km, con una capacidad de conducción de 32 m<sup>3</sup>/s, revestido de concreto simple; permite el trasvase de 200 MMC (incluyendo las aguas de trasvase del río Conchano de 90 MMC). Fue construida entre los años 1954 y 1960.

Túnel Conchano, permite derivar las aguas del río Conchano (90 MMC) al cauce del río Chotano, tiene una longitud de 4 213 m, su capacidad máxima es de 13 m<sup>3</sup>/s, la sección es circular de 2,5 m de diámetro y revestido de concreto, y obras conexas. Fue construida entre los años 1975 y 1982.

## V. ANÁLISIS Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN HIDROLÓGICA

### 5.1 Generalidades

Toda la información que se encontró a nivel diaria fue recopilada, analizada y almacenada en la base de datos de hydraces, considerando la duración, datos faltantes, tipo de estación (sinóptica, climatológica, etc.).

El análisis de la calidad de la información hidrológica, específicamente la pluviometría fue desarrollado aplicando el Método del Vector Regional (MVR) que toma en cuenta la información de una región climáticamente homogénea.

#### Método del Vector Regional (MVR)

El vector regional es modelo simple orientado al análisis de la información pluviométrica de una región y a la síntesis de esa información. Este método fue desarrollado por el IRD (Instituto de investigación para el desarrollo) en los años 70 con el objetivo de homogenizar los datos pluviométricos. Existen dos métodos para el cálculo del Vector Regional el primero dado por **G. Hiez** y el segundo por **Y. Brunet Moret**.

El método del vector regional se basa en la construcción de una estación ficticia en base a la información disponible, tal que sea representativa de la zona de estudio. En cada estación se calcula un promedio extendido para todo el período de estudio, y para cada año, se calcula un índice. (>1 año con superávit, <1 año deficitario). A esta serie de índices anuales se le llama Vector Regional, ya que toma en cuenta la información de una región que se supone es climáticamente homogénea.

El método es aplicado a datos mensuales, considerando el mismo concepto.

Con la ayuda del vector regional, se analiza lo siguiente:

- Calidad de los datos de cada estación por curvas de dobles acumuladas con los índices del vector regional.
- Correlación de los datos de una estación con los índices del vector regional.

- Evaluar los datos faltantes de una estación multiplicando el índice de un año del vector regional por el promedio extendido de la estación sobre el período de estudio.

La calidad del vector regional depende de la calidad de los datos de entrada. Aunque los algoritmos utilizados por los dos métodos intentan minimizar la influencia de los datos erróneos, el vector calculado al comienzo sigue contaminado por los errores que existen en los datos de las estaciones. Sólo de manera iterativa, eliminando los datos visiblemente imaginarios y corrigiendo poco a poco los errores más evidentes sobre los datos de entrada, se llegará a un vector regional de buena calidad.

Para mayores detalles sobre este método se debe revisar la bibliografía publicada por el IRD sobre los autores **Brunet Moret** o **Hiez**. Algunas de estas publicaciones se encuentran disponibles libremente en la página web del IRD ([www.ird.fr](http://www.ird.fr)).

Consideraciones para elaborar el vector regional:

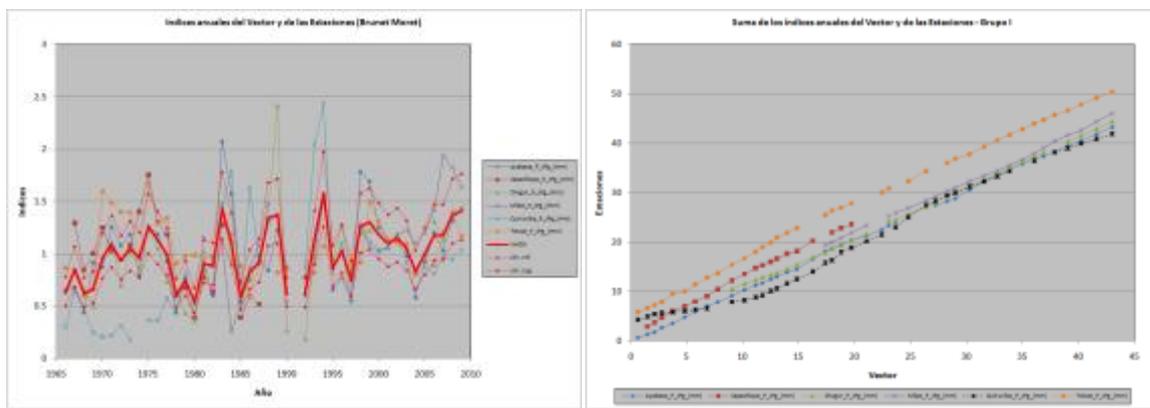
- Para el cálculo del vector regional debemos tener como mínimo 3 estaciones por año, y 3 años como mínimo por estación.
- La hipótesis principal de este método es el principio de “pseudo-proporcionalidad”, por lo cual los datos deben tener el mismo comportamiento (cantidad y variación temporal), es decir deben tener una tendencia climática regional única.
- La pseudo-proporcionalidad de una zona es medida por el valor del coeficiente de correlación media entre las estaciones y el vector correspondiente (1 representa buena proporcionalidad). Este coeficiente en el software Hydraccess aparece como “Correl./Vector”.
- Hemos considerado una zona como homogénea si los coeficientes de correlación anual entre el vector y la estación son superiores o iguales a 0.7; debido a que la poca densidad de la red de estaciones, no nos permite ser más estrictos y reducir la zona.
- Teniendo en cuenta las consideraciones antes descritas, se encontraron zonas homogéneas. Una zona árida (zona 5) correspondiente a la parte baja de la cuenca y tres zonas donde existe aporte pluviométrico (zona 4, zona 3 y zona 2) y zona 1, zona con altas precipitaciones



## Zona 1

En esta zona hemos analizado la precipitación de las estaciones con valores superiores y cercanos a 1000 mm/año y por encima de los 3800 msnm, las cuales cumplen con la hipótesis de pseudos-proporcionalidad. Varias estaciones se dejaron de lado debido a la incoherencia en los valores de precipitación, es decir no son muy confiables. La representación gráfica para la Zona 1 de los índices del vector (final) y de las estaciones (corregidas) podemos observarla en la Figura 9. Las curvas de dobles acumulados para todas las estaciones podemos observar en la figura 9.

**Figura 9:** Vector regional Zona 1 – Índices anuales y de las estaciones y curvas de doble acumulación



## Zona 2

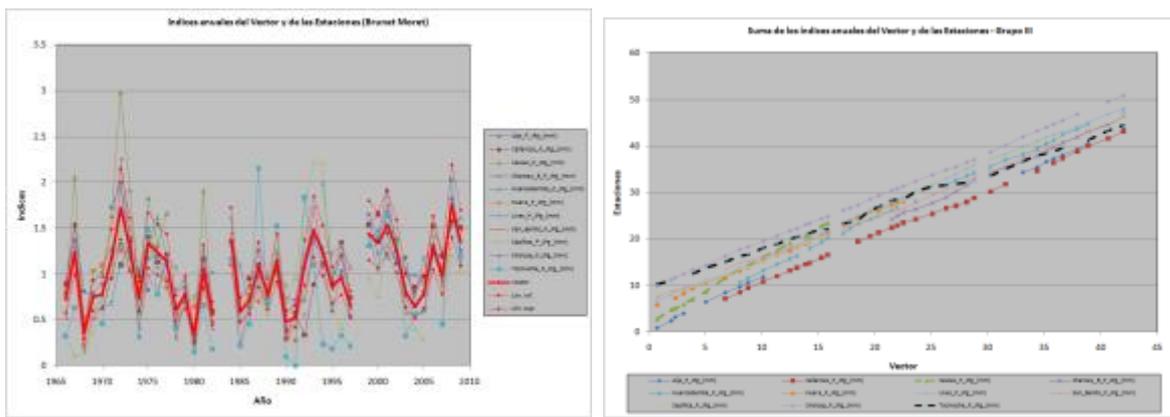
Esta zona está caracterizado por precipitaciones que varían entre 500 – 1000 mm y entre las cotas de 2000 a 4100 msnm.

Analizando la precipitación de las estaciones: las cuales cumplen con la hipótesis de pseudo-proporcionalidad, tal como podemos observar en la Figura 10.

Una vez identificadas las estaciones pertenecientes a esta zona homogénea, se ha calculado el vector para esta zona. La representación gráfica de los índices anuales del vector y las estaciones podemos observarla en la Figura 10.

Fácilmente podemos deducir que una de las estaciones presentan problemas de calidad de datos en algunos años. Estos errores son detectados también en el gráfico de dobles acumuladas y en el análisis de parámetros de detección dados por el software Hydraccess.

**Figura 10: Vector regional Zona 2 – Índices anuales y de las estaciones y curvas de doble acumulación**



### Zona 3

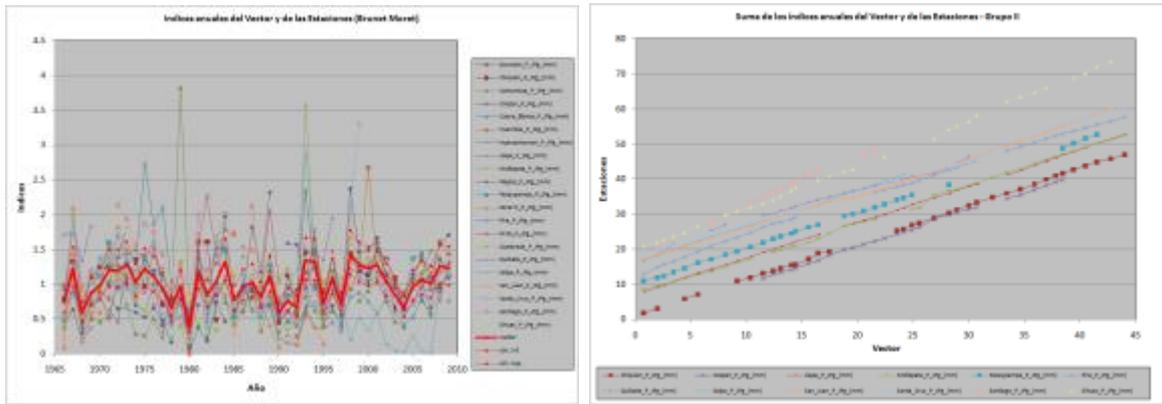
Esta zona esta caracterizado por precipitaciones que varían entre 300 – 800 mm y entre las cotas de 1000 a 2000 msnm.

En esta zona hemos analizado la precipitación de las estaciones: las cuales cumplen con la hipótesis de pseudo-proporcionalidad, tal como podemos observar en la Figura 11.

Una vez identificadas las estaciones pertenecientes a esta zona homogénea, se ha calculado el vector para esta zona. La representación gráfica de los índices anuales del vector y las estaciones podemos observarla en la Figura 11.

Fácilmente podemos deducir que una de las estaciones presentan problemas de calidad de datos en algunos años. Estos errores son detectados también en el grafico de dobles acumuladas y en el análisis de parámetros de detección dados por el software Hydraccess.

**Figura 11: Vector regional Zona 2 – Índices anuales y de las estaciones y curvas de doble acumulación**

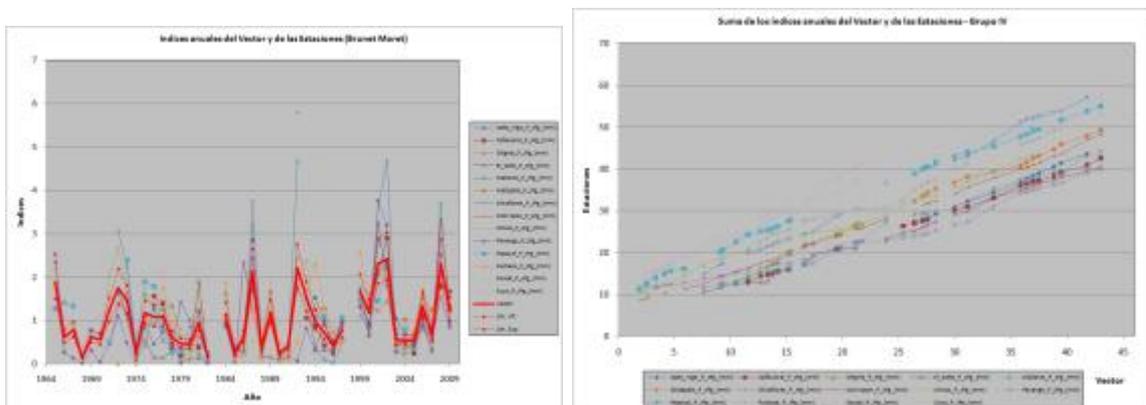


### Zona 4

Esta zona corresponde a la parte baja de la cuenca, pero con precipitaciones mayores a 250 mm y menores de 700 mm, donde su característica principal es la escasez o ausencia de precipitaciones, se trata de la zona árida de la cuenca.

En esta zona el método del vector regional, acusa que hay una estación con información de dudosa calidad básicamente en los años iniciales. (Ver Figura 12)

**Figura 12: Vector regional Zona 4 – Índices anuales y de las estaciones y curvas de doble acumulación**



## **Zona 5**

Esta zona corresponde a la parte baja de la cuenca, donde su característica principal es la escasez o ausencia de precipitaciones, se trata de la zona árida de la cuenca ( $pp < 250$  mm).

En esta zona no se ha aplicado el método del vector regional, debido a la ausencia de precipitaciones.

## **5.2 Análisis de la precipitación máxima en 24 horas**

### **5.2.1 Análisis de la tormenta**

Por la falta de datos disponibles sobre las intensidades de lluvia y las relaciones « frecuencia – intensidad – duración », se prestó una especial atención a las precipitaciones diarias.

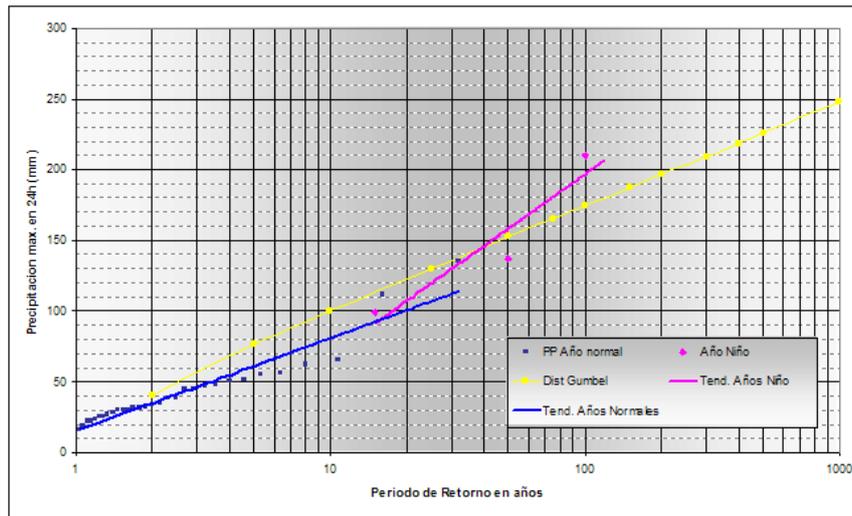
El cálculo del periodo de retorno no es imple, si se considera por una parte, la presencia de años Niño que son efectivamente los de mayores lluvias en todas las escalas temporales, y por otro lado, las leyes de ajuste son leyes truncadas (esencialmente leyes Gamma, ley de las fugas y más escasamente ley lognormal y ley exponencial), la multiplicación de los valores bajos introducidos por los años de no « fuertes Niños o fuertes Niñas » podría tener influencia significativa sobre el resultado final.

La verdadera dificultad reside, en realidad, en la representatividad de estos períodos de retorno.

Por cierto una ley estadística ajustada sobre toda muestra de datos, permite atribuir a toda cantidad un período de retorno. Pero en el caso del Norte del Perú, parece bueno que existan 2 sistemas climáticos diferentes y complementarios, el de los años « normales » y el de los años Niño, y en menor medida de la Niña.

En ese caso estamos lejos de distribuciones estocásticamente independientes, o incluso de la primera condición de toda estadística que exige, sobre el período de estudio, la estabilidad del clima del cual es estudiada con la pluviometría uno de sus componentes.

**Figura 13:** Serie de precipitaciones máximas 24h, Estación El Tigre



En consecuencia, para el presente estudio se optó por analizar la serie de los años normales y los años Niño por separados.

En el primer caso las estaciones con información de tormentas de 24 horas, fueron seleccionados, analizadas y ajustadas a una función de probabilidad.

En el segundo caso se usaron las estaciones con valores para los años Niño fuerte (82-83 y 97-98), en las zonas donde se manifiesta la influencia de Este fenómeno.

Los valores de lluvias de 25, 50, 75, 100, 200 calculados con las funciones de probabilidad seleccionados y las lluvias de los años Niño, permitieron configurar los mapas de isoyetas, los cuales se muestran en el cuadro 9 y el Anexo 2.

Dicho mapa permite visualizar las variaciones importantes de lluvia y espacializar a nivel de cuenca para obtener los caudales de avenida aplicando el modelo precipitación escorrentía en Hec HMS.

Al utilizar los valores de este mapa, se tendrá que tomar en cuenta las debidas precauciones y coeficientes de seguridad, en función de los objetivos propios de cada estudio.

Con el propósito de facilitar el análisis, se ha desarrollado el cálculo de las lluvias para los diferentes periodos de retorno sin considerar los años Niño y se presentan un análisis independiente con los valores registrados durante los años Niño, incluyendo la modelación hidrológica; reconocemos que esto podría estar subestimando los resultados, pero representan la mayor parte del funcionamiento hidrológico de las cuencas.



Cuadro No 7: Serie de precipitaciones máximas 24h

AÑOS	ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS																																		
	AYBACA	CAPACHQUE	CHIGURI	MILPO	GIBRANILCA	TOLUCE	ASUNCION	CHIGURI	CONTUMBIZA	COSEPA	CEWA BLANCA	HUMADOS	ELMAMAR CAM	LLAPA	ROLLEPATA	REPOS	FRANCISCA	PARANIN	PISA	PIVCA	QDA HONDA	QILCATE	SALPO	SAN JUAN	SANTA CRUZ	SANTO DE CRISTO	SHUAS	ALJA	CALLANCA	CASCAS	CANCAY BARGO				
1980																																			
1981																																			
1982																																			
1983																																			
1984																																			
1985																																			
1986																																			
1987																																			
1988																																			
1989																																			
1990																																			
1991																																			
1992																																			
1993																																			
1994																																			
1995																																			
1996																																			
1997																																			
1998																																			
1999																																			
2000																																			
2001																																			
2002																																			
2003																																			
2004																																			
2005																																			
2006																																			
2007																																			
2008																																			
2009																																			
2010																																			



Cuadro No 8: Serie de precipitaciones máximas 24h

AÑOS	ESTACIONES PLUVIOMETRICAS																																	
	HEMANCABAN SA	HEMARA DE VERAS	LIVES	SAN BENITO	SARILICA	SMSKAP	TOCMOCH	CABO INGA	CAÑAVERAL	ONGRA	EL SALTO	MALLARES	MATAPALO	MIRAFLORES	MORROPO	OLIMOS	PANANSA	PAPAVAL	PUCHACA	SAUSAL DE CULUCAN	BUYO	BERNAL	CASA GRANDE	CHILETE	CHISIS	FERRERÁFE	JAPANCA (LA VIRAJ)	LA ESPERANZA	LAMBAYOGU E	MOTILE	ONDON			
1960	22.0																																	
1961																																		
1962																																		
1963	14.0																																	
1964			15.3	26.8											26.0						18.5		2.0							1.9				
1965		60.8	38.8	19.4	88.6	24.1	89.0							61.0	86.3	186.8	28.8				21.0	83.0	16.2	22.2	22.8	18.7	21.8		8.6	30.8	13.8			
1966			35.8	12.6	29.8	21.3	53.0							31.0	35.8	25.3	27.8			26.1	96.0	4.3		15.3	2.6	2.6	3.6		6.5	11.4	26.8			
1967		60.0	42.0	49.8	28.5	86.4	34.0							45.4	11.8					26.5	41.0	14.0		36.5	18.8	18.4	13.6		6.1	48.8	49.8			
1968		22.8	19.8		12.8	18.8								10.2	10.8						16.0	22.0	3.0			2.3	8.0	3.8	6.0	12.7	19.8			
1969		66.4	16.8	22.8	29.4	16.8	48.0							21.2	26.5	89.8	26.2			22.8	27.0	3.0		18.8	18.8	8.2	2.8	26.8	6.6	26.3	18.8			
1970	21.5	47.8	15.8		26.6	18.3	20.0								21.2	26.5	89.8	26.2		44.8	26.5	6.0		15.8	18.8	3.2	3.4	6.0	1.0	13.1				
1971	26.7	68.0	35.5	28.8	48.2	23.2	45.0								41.8	28.8	27.5			28.8	88.4	10.1		20.5	12.8	27.7	28.8	6.0	25.8	22.8	25.8			
1972	38.8	71.2	82.8	184.2	68.2	86.4	88.0				118.8	88.8		68.2	82.8	122.8	86.4	38.8			88.0	28.8		22.4	28.8	88.2	118.8	188.2	28.8	88.2				
1973	22.2	24.8	30.8	28.2	28.2	47.5	28.0				88.4	24.8		28.8	82.8	12.7	24.8	62.2			88.6	21.2	15.2		22.6	42.8	18.8	18.8	22.0	11.8	28.2	11.4		
1974	21.7	46.3	27.8	22.8	28.5	14.2	28.0			15.1					28.8						14.6	71.2	15.2		22.6	42.8	18.8	18.8	4.3	2.0	15.8	18.8		
1975	26.0	81.8	88.2	42.8	22.7	42.8	28.0								88.0	24.8	82.8	47.8	88.2		21.2	28.1	6.8		28.8	8.8	28.2	18.8	4.8	27.8	16.4			
1976	88.0	42.8	26.8	14.8	24.2	21.3	28.0							48.8	44.2	28.8	18.4	28.8		62.7	28.0		68.0	8.8	22.7	26.8	8.8	14.8	48.0	2.7	27.8	14.8		
1977	30.8	48.8	30.5	20.8		35.6	198.0							44.1	66.5					28.4	88.6	18.4	87.0	16.5	1.4	30.5	15.2	9.7	8.3	13.0	37.3	11.8		
1978	23.8	49.2	27.8	27.8	28.2	26.5	48.0							21.9	26.2		27.7			18.8	191.8	28.4	34.2	6.0	9.8	27.8	2.4	18.4	8.7	1.8	25.8	22.8		
1979	49.2	28.8	62.8	22.8	84.1	88.0								24.8	28.8	19.8				28.8	88.1	21.8	1.8	18.8	17.8	2.8	8.8	3.8	2.8	1.8				
1980	26.5	40.7	27.8	15.8	17.1	28.0								28.3	96.2					58.8	15.1	21.6	48.8	3.0	3.2	12.7		3.8	4.8	18.7	1.8			
1981	27.8	24.8	49.2	25.7	28.8	18.0	28.0							88.4	170.8	88.8	14.8			68.8	28.3	26.5	12.5	1.2	4.8	22.7	25.0	3.2	9.0	82.2	12.8			
1982	24.8	28.8	28.8	28.8		22.7	88.0							18.2							22.2	24.8			12.8	4.8	18.8	1.2	1.2	18.8				
1983	24.8	22.8	28.7		28.2	28.0								191.8	182.2						188.6	88.8				138.2	8.8	198.0	124.8	82.8				
1984	42.8	64.8	47.8	34.8	21.3	28.6	28.0							55.2	32.8	47.3											5.8	28.2	4.6	6.2				
1985	11.1	41.7	48.5	18.8	18.4	14.1	28.0							29.7	87.8						18.8						24.8	7.6	11.5					
1986	28.8	42.8	22.8	28.8	22.1	14.2	28.0							18.2	88.8						28.8	10.2	28.3	8.2		18.2	28.8	2.8	2.8	2.8				
1987	26.0	47.8	42.6	24.2	26.1	28.6	48.0							27.7	77.8	84.8	88.8	24.8			88.2	28.6		41.6	7.8	25.1	8.8	18.7	22.8	2.8	49.3	26.3		
1988	26.6	28.8	25.2	46.8	18.8	28.4	28.0							28.8	22.8	15.7					21.9	33.8	6.1	6.3	11.8	8.8		3.2	2.1		12.5			
1989	21.2	42.4	27.8	27.8	28.8	21.4	48.0							48.8	12.8						28.8	28.7	81.4	7.8		18.8			2.8					
1990	14.8	21.3	22.8	18.8	24.8	12.4	18.0							8.8	18.3						28.6	18.8	4.6			18.2		6.8	2.1	2.2				
1991	26.7	26.7	35.8	58.8	27.4	28.6								22.4		15.4						41.6	3.5			28.1		6.4	1.5	6.9	14.8	6.8		
1992		22.8	28.8	88.8	42.8	81.0								181.1							66.5		48.4			14.4		8.8	28.1	14.2	14.8			
1993	42.8		78.7	68.8	88.8	27.2	47.0	88.0						26.8							79.3					27.7		8.8	27.1	8.8		16.4		
1994	42.8		65.3	87.8	88.8	24.2	43.0	88.8						26.6	88.8	15.4					28.8	88.7			8.4	28.2	7.8	22.6	2.8	48.4	28.8			
1995	24.8		42.8	25.8	24.5	18.5	7.8	47.8	22.8					55.5	88.8	22.5	22.7	28.5			28.5	88.3	28.6		3.0	27.4	12.8	18.8	8.8	6.7	11.5	28.8		
1996	24.8		82.8	27.8	24.2	28.0	22.8	28.8						88.8							18.8	28.7	28.1	26.7	2.2		18.8	2.2	2.1	2.8				
1997	24.8		82.8	88.8	18.8	21.8	88.0	82.2						182.7	88.8	84.6	48.6				88.8	18.8	21.4	118.8	28.8	24.8		8.2	28.7	17.8	8.8	18.2	28.7	
1998	28.1		15.8	62.7	64.4	198.0				99.3					99.8	175.1					218.8	158.2	24.6			42.2	188.3	182.8	98.5	96.6	21.5	28.8		
1999	28.1		22.8	42.8	28.8	52.3	28.0	81.8						88.8		81.2	18.0	22.0	52.8		88.8	88.8	28.7	28.8		21.8	48.8	12.8	12.4	28.8	22.8	48.3		
2000	21.2		87.8	21.2	22.8	198.0	88.8	88.8						128.8	18.7	84.8	12.8	28.8			88.8	88.8	28.7	28.8		28.2	12.8	18.8	2.1	12.8	6.2	8.7	88.2	
2001	88.1		18.4	88.8	84.7	47.0	78.0	88.5	88.6					88.1	82.6	87.7	81.5	23.6	48.4		88.2	82.3	124.8	23.1		24.8	14.8	28.6	41.6	14.6	48.8	88.8		
2002	23.5		81.8	81.8	81.8	88.0	96.0	98.0						94.8	47.1	75.1	81.5	130.8	112.8		180.7	88.3	28.1	35.1		64.8	14.7	45.1	48.8	52.1	22.4	15.2	61.7	
2003	28.7		28.8	28.2	28.2	28.2	82.0	81.2	48.8					22.8	22.8	47.3	28.0	22.0	28.3		41.8	28.8	88.3	14.7		47.8		6.2	28.8	8.8	14.7	28.8		
2004	24.8		28.8	28.8	22.2	28.7	28.8	28.8						28.1	28.8	28.7					48.1	28.2	22.8	21.5		2.8	2.8	8.2	6.2	2.8	24.8			
2005	21.8		24.7		16.7	28.0		98.0	14.8					48.2		26.3	6.6				67.9	25.3	47.2	28.6	28.7		16.0		8.4	8.4	1.5			
2006	24.7		28.2	28.8	88.3	83.8		23.3	81.8					54.8	88.6	12.0	24.8				22.8					16.0		27.3	28.7	8.4	48.1	16.0		
2007	28.8		28.4	18.8	48.2	22.8	22.8	87.8						22.2	88.8						28.4	27.7					2.2	2.8	2.4	2.7	2.8			
2008			87.7	47.2	84.6	48.0	198.4							62.6	28.6	28.2					28.2						11.6		24.8	82.2	22.0	11.7		
2009	21.4		24.3	48.6		24.4	57.0							62.2		46.5												24.8		18.8	6.7			
2010																																		



### Cuadro No 9: Precipitaciones máximas 24h y periodos de retorno

Item	Estaciones	Coordenadas Geograficas			Departamento	PP media anual (mm) Sin Niño	PP media anual (mm) Con Niño 83	PP media anual (mm) Con Niño 98	Tiempos de Retorno				
		Longitud	Latitud	Altitud					25 años	50 años	75 años	100 años	200 años
1	AUA	77°36'25.4"	09°46'52.9"	3360.00	AICASH	464.7			31.10	34.89	37.06	38.66	42.44
2	ASUNCIÓN	78°31'00.0"	07°19'00.0"	2229.00	CAJAMARCA	816.8	653.8	2120.1	68.59	76.89	81.66	85.14	93.36
3	AYABACA	79°43'00.0"	04°39'00.0"	2700.00	PIURA	1200.7	2665.1	2292.0	85.41	92.90	97.19	100.33	107.74
4	BERNAL	80°45'00.0"	05°38'00.0"	30.00	PIURA	81.4		1238.8	37.78	44.88	48.96	51.93	58.95
5	CABO INGA	80°26'00.0"	03°58'00.0"	295.00	TUMBES	690.7			131.14	146.48	155.28	161.71	176.88
6	CALLANCAS	78°26'38.4"	07°46'02.6"	1593.00	LA LIBERTAD	432.7		966.5	41.85	46.01	48.40	50.13	54.25
7	CAÑAVERAL	80°39'00.0"	03°56'00.0"	145.00	TUMBES	479.8		2691.5	95.28	108.51	116.10	121.65	134.73
8	CAPACHIQUE	78°19'00.0"	07°51'00.0"	3341.00	LA LIBERTAD	1186.8	1628.4		56.41	63.05	66.85	69.63	76.19
9	CASA GRANDE	79°11'00.0"	07°45'00.0"	240.00	LA LIBERTAD	17.2			0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
10	CASCA S	78°49'00.0"	07°29'00.0"	1330.00	LA LIBERTAD	252.9			43.39	48.96	52.23	54.65	60.48
11	CHANCA Y BAÑOS	78°52'02.0"	06°34'30.0"	1677.00	CAJAMARCA	838.2		1155.5	77.87	85.53	89.93	93.14	100.72
12	CHIGNA	79°42'00.0"	05°38'00.0"	360.00	PIURA	339.0	1640.9		97.64	111.87	120.03	125.99	140.06
13	CHILETE	78°51'00.0"	07°13'00.0"	850.00	CAJAMARCA	200.3		470.9	40.93	45.66	48.37	50.35	55.03
14	CHIQUAN	77°09'00.0"	10°09'00.0"	3350.00	AICASH	700.4	312.5	925.0	37.29	41.22	43.47	45.12	49.00
15	CHIGUR	78°44'00.0"	06°40'00.0"	2744.00	CAJAMARCA	1466.3	2220.3	1785.9	86.91	97.13	102.99	107.26	117.37
16	CHUSI	80°50'00.0"	05°31'00.0"	14.00	PIURA	91.0	607.2	1027.4	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
17	CONTUMAZA	78°49'00.0"	07°21'00.0"	2452.00	CAJAMARCA	733.4	3043.4	1928.4	80.57	92.28	98.98	103.87	115.39
18	COSPA N	78°23'00.0"	07°28'00.0"	2450.00	CAJAMARCA	880.1	1485.5	1916.9	56.20	58.74	60.03	60.93	62.85
19	CUEVA BLANCA	79°21'22.0"	06°09'35.0"	2900.00	LAMBAYEQUE	930.2	1078.0	900.2	80.23	95.43	105.08	112.51	131.78
20	EL SALTO	80°19'00.0"	03°28'00.0"	2.80	TUMBES	427.7		3051.3	140.49	162.25	174.65	183.66	204.85
21	FERRERAFE	79°47'32.0"	06°37'56.0"	63.70	LAMBAYEQUE	56.8		533.9	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
22	HUAMBOS	78°57'47.0"	06°27'13.0"	2293.00	CAJAMARCA	766.0		685.0	83.22	92.37	97.55	101.30	110.07
23	HUANABAMBA	79°43'00.0"	05°15'00.0"	1950.00	PIURA	488.3	487.4	579.6	45.00	49.36	51.86	53.68	57.99
24	HUANAMARCAN	78°17'34.7"	08°07'17.3"	4123.00	LA LIBERTAD	853.1	1005.5	1353.0	59.61	67.75	72.43	75.84	83.90
25	HUARA DE VERAS	79°34'00.0"	04°35'00.0"	1680.00	PIURA	772.5	1865.6		87.38	96.39	101.56	105.33	114.24
26	JAYANCA (LA VIÑA)	79°46'06.0"	06°19'58.0"	1027.00	LAMBAYEQUE	179.0	1462.9	1488.7	69.91	80.67	86.85	91.36	102.00
27	LA ESPERANZA	81°03'38.0"	04°55'04.0"	12.00	PIURA	130.2	1815.9	963.4	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
28	LAMBAYEQUE	79°55'16.0"	06°42'12.0"	18.00	LAMBAYEQUE	43.9	351.5	310.8	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
29	LIVES	79°02'00.0"	07°05'00.0"	2000.00	CAJAMARCA	483.8	1059.4	2047.5	72.10	80.33	84.95	88.29	96.05
30	LLAPA	78°49'00.0"	06°59'00.0"	2788.00	CAJAMARCA	947.9	1428.5	1533.9	58.84	62.24	65.34	67.61	72.95
31	MALLARES	80°42'52.9"	04°51'25.6"	47.00	PIURA	242.0	2139.1	1971.0	94.76	110.18	119.03	125.49	140.74
32	MATAPALO	80°13'00.0"	03°42'00.0"	54.00	TUMBES	630.3		3275.1	126.57	141.27	149.71	155.87	170.41
33	MILPO	77°14'00.0"	09°53'00.0"	4400.00	AICASH	1095.1	1102.4	1278.4	56.41	63.28	67.23	70.11	76.91
34	MIRAFLORES	80°37'00.0"	05°10'00.0"	30.00	PIURA	226.2	2237.1	2023.2	116.45	162.96	196.87	226.00	306.98
35	MOLLEPATA	77°57'15.2"	08°11'29.6"	2726.00	LA LIBERTAD	555.4	900.0	927.4	44.76	49.54	52.29	54.30	59.06
36	MORROPON	79°58'41.0"	05°10'47.0"	150.00	PIURA	409.2	2986.7	265.2	135.94	157.76	170.27	178.38	200.90
37	MOTUPE	79°44'55.0"	06°12'57.1"	152.00	LAMBAYEQUE	208.3			73.90	84.92	91.24	95.85	106.75
38	NIEPOS	79°08'00.0"	06°55'00.0"	2454.00	CAJAMARCA	941.7	818.9	2574.1	89.38	101.51	108.47	113.55	125.54
39	OLMOS	79°43'42.0"	05°59'31.0"	225.90	LAMBAYEQUE	282.4	1910.2	2405.0	115.77	133.87	144.26	151.85	169.76
40	OYOTUN	79°19'00.0"	06°50'00.0"	352.00	LAMBAYEQUE	185.8	1546.8		83.02	120.50	149.07	173.45	248.23
41	PACASMAYO	79°34'00.0"	07°24'00.0"	3.00	LA LIBERTAD	8.7			0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
42	PACAYPAMPA	79°39'46.0"	04°59'35.0"	2041.00	PIURA	921.6	1967.6		83.51	91.38	95.90	99.19	106.97
43	PANAHA	80°53'00.0"	04°33'00.0"	480.00	PIURA	291.7	2335.7	3059.7	88.12	101.11	108.57	114.01	126.86
44	PAPAYAL	80°14'00.0"	03°34'00.0"	60.00	TUMBES	377.9		2445.5	109.93	126.06	135.32	142.07	158.02
45	PARARIN	77°32'00.0"	10°03'00.0"	3416.00	AICASH	659.0	2006.1		60.31	68.39	73.05	76.45	84.53
46	PIRA	77°42'25.1"	09°34'59.7"	3570.00	AICASH	707.5		1065.2	44.19	49.41	52.41	54.60	59.81
47	PIRCA	76°39'00.0"	11°14'00.0"	3255.00	LIMA	596.7	751.8	649.4	30.81	34.00	35.84	37.17	40.33
48	PUCACA	79°28'00.0"	06°21'00.0"	500.00	LAMBAYEQUE	251.4	1878.6	2355.7	141.40	163.48	176.15	185.40	207.23
49	QDA HONDA	78°39'00.0"	06°54'00.0"	3560.00	CAJAMARCA	835.1		52.89	59.84	63.83	66.74	73.82	
50	QUILCATE	78°44'38.0"	06°49'12.0"	3100.00	CAJAMARCA	604.2			57.20	74.36	86.25	95.88	122.90
51	QUIRIVILCA	78°18'27.8"	08°00'15.2"	3950.00	LA LIBERTAD	1298.6	2224.3	1913.7	45.34	48.00	49.39	50.36	52.50
52	SALPO	78°36'25.6"	08°00'19.2"	3458.00	LA LIBERTAD	577.1	992.3		47.00	54.15	58.53	61.83	70.14
53	SAN BENITO	78°56'00.0"	07°23'00.0"	1200.00	CAJAMARCA	363.1	1763.7	2480.6	77.80	88.20	94.18	98.53	108.82
54	SAN JUAN	78°29'44.9"	07°17'26.6"	2353.00	CAJAMARCA	885.8	890.2	1831.8	60.42	65.65	68.64	70.83	76.00
55	SANTA CRUZ	78°56'51.0"	06°37'59.0"	2026.00	CAJAMARCA	712.6		1603.8	58.59	64.55	67.94	70.41	76.19
56	SANTIAGO DE CHUCO	78°10'00.0"	08°08'00.0"	3129.00	LA LIBERTAD	575.1			41.22	45.33	47.76	49.54	53.89
57	SAPILLICA	79°59'00.0"	04°47'00.0"	1456.00	PIURA	659.1		2082.8	89.75	110.35	123.63	133.95	161.01
58	SAUSAL DE CULUCAN	79°45'42.0"	04°44'53.0"	980.00	PIURA	313.3	725.4	670.9	41.74	44.95	46.70	47.94	50.76
59	SIHUAS	77°39'00.0"	08°34'00.0"	2716.00	AICASH	870.1		2428.8	53.22	61.18	65.92	69.45	77.99
60	SINISCAP	78°45'21.4"	07°51'03.3"	2307.00	LA LIBERTAD	357.1	1361.3	1415.8	77.63	88.87	95.32	100.02	111.14
61	SUYO	80°00'00.0"	04°32'00.0"	250.00	PIURA	354.1			113.25	128.66	137.51	143.96	159.21
62	TOCOCHE	79°21'21.0"	06°24'29.0"	1450.00	CAJAMARCA	691.2	4284.0	3194.0	109.38	124.59	133.33	139.70	154.74
63	TOLUCE	79°22'00.0"	05°29'00.0"	2000.00	PIURA	1213.2			68.91	77.44	82.34	85.91	94.35

### 5.3 Variabilidad espacial y temporal de la precipitación

Las series de precipitaciones en el país son de corta duración y la calidad de la información no es buena.

En los cuadros 7 y 8, están reunidas, para el período de observación, las precipitaciones promedio mensuales y máximas anuales, de las estaciones consideradas para caracterizar la Costa. Estas tablas confirman la extrema diversidad de las pluviometrías con 2 transiciones mayores: en primer lugar el crecimiento de las precipitaciones de la



costa hacia la zona andina, en segundo lugar a lo largo de la costa la rápida disminución de las precipitaciones desde el norte hacia el centro del país.

Así, en Tumbes la precipitación anual varía entre 4 y 3 899 mm, en Piura entre 0 y 2 136 mm. Más al sur, las precipitaciones anuales costeñas máximas disminuyen (380 mm en Chiclayo, 62 mm en Trujillo, 20 mm en Lima - Callao, 12 mm en Pisco) mientras que las mínimas son iguales o cercanas a cero.

En el Norte, el mes de más fuerte precipitación promedio interanual es el mes de febrero en Tumbes y de marzo en Talara, Piura y hasta Chimbote hacia el Sur.

### **La incidencia del fenómeno el Niño en la costa peruana,**

Con la información recopilada se tuvo la posibilidad de analizar la ocurrencia del fenómeno El Niño, calificados como Niños excepcionales de 1982-83 y de 1997-98, desde Tumbes hasta Santa, de ellas el segundo evento es el que tiene mejor registro.

- **Incidencia geográfica**

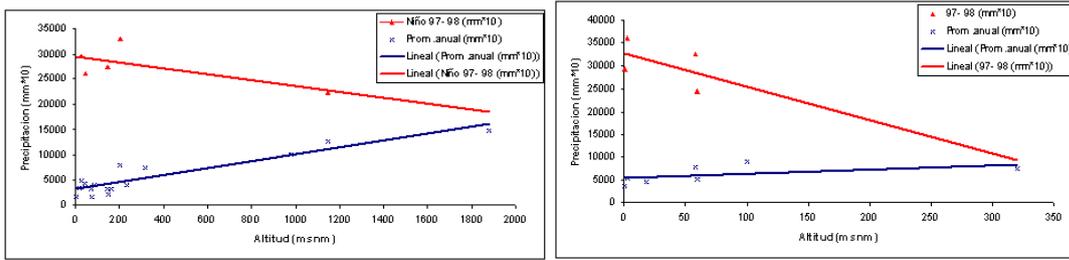
La única región donde El Niño tiene una influencia indiscutible sobre la pluviometría, es la costa Norte del Perú (cuencas de los ríos Tumbes, Chira y Piura). Allí los Niños corresponden generalmente a un incremento de las precipitaciones, que según su intensidad, puede ser benéfico para la agricultura o provocar inundaciones que pueden ser devastadoras como fue el caso de 1983 y 1998.

En esta zona, durante los años Niños excepcionales las precipitaciones llega a cambiar entre 1500 y 3000 mm, en una región donde la media varía entre menos de 200 mm y 600 mm.

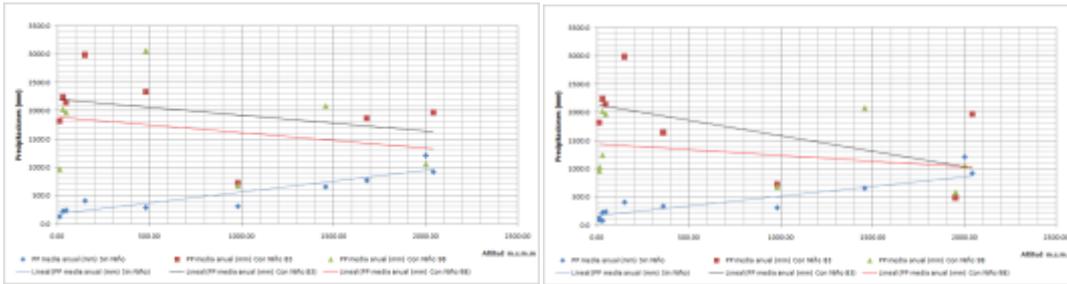
La mayor influencia, como se aparecía en las Figuras 14 – 18, se presentan en las cuencas Tumbes, Chira y Piura, en los cuales la gradiente de precipitación respecto a la altura se invierte durante estos periodos, lo que demuestra que la costa recibe las mayores precipitaciones y las partes altas de la cuenca tienden a una disminución sensible de la precipitación.



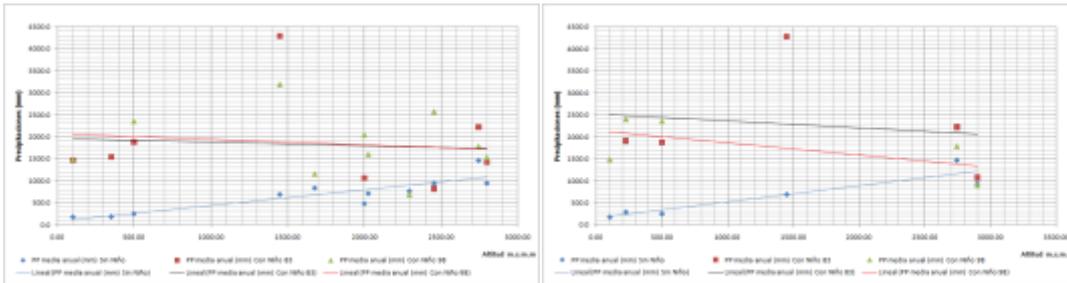
**Figura 14:** Relación precipitación-altitud, cuenca del río Tumbes



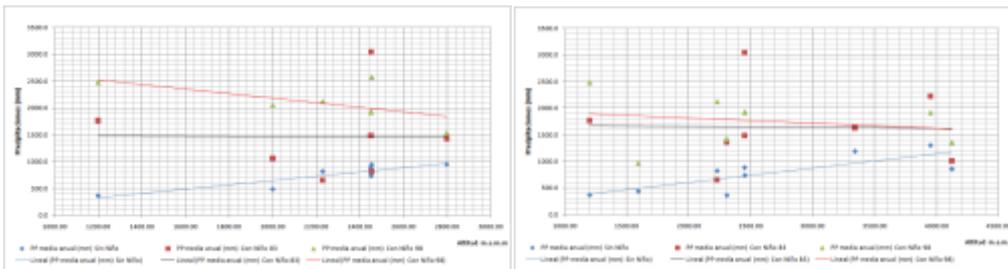
**Figura 15:** Relación precipitación-altitud, cuenca del río Chira y Piura



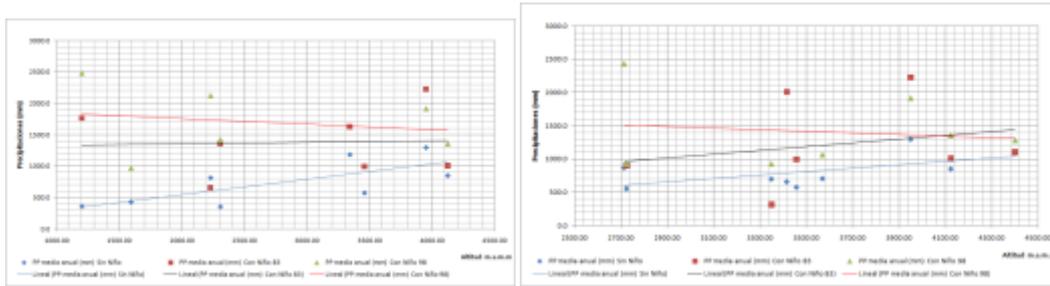
**Figura 16:** Relación precipitación-altitud, cuenca del río Lambayeque y Motupe



**Figura 17:** Relación precipitación-altitud, cuenca del río Jequetepeque y Chicama



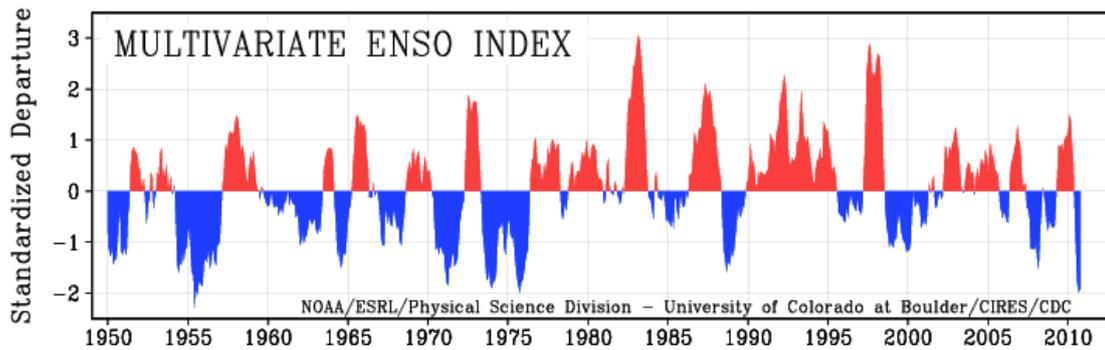
**Figura 18:** Relación precipitación-altitud, cuenca del río Moche y Santa



- **Incidenca temporal**

La potencia de los eventos El Niño y La Niña está caracterizada por el valor de un índice « SOI » (South Oscillation Index), Figura 19, que es el valor normalizado centrado reducido de la diferencia entre las presiones de la atmósfera en Tahiti (Polinesia francesa) y Darwin (norte de Australia). Estos valores son conocidos (reconstituídos) desde 1889 a escala mensual.

**Figura 19:** Anomalía estandarizada de temperatura superficial del océano pacífico del este (área roja >1 Niño, área azul >1 Niña).

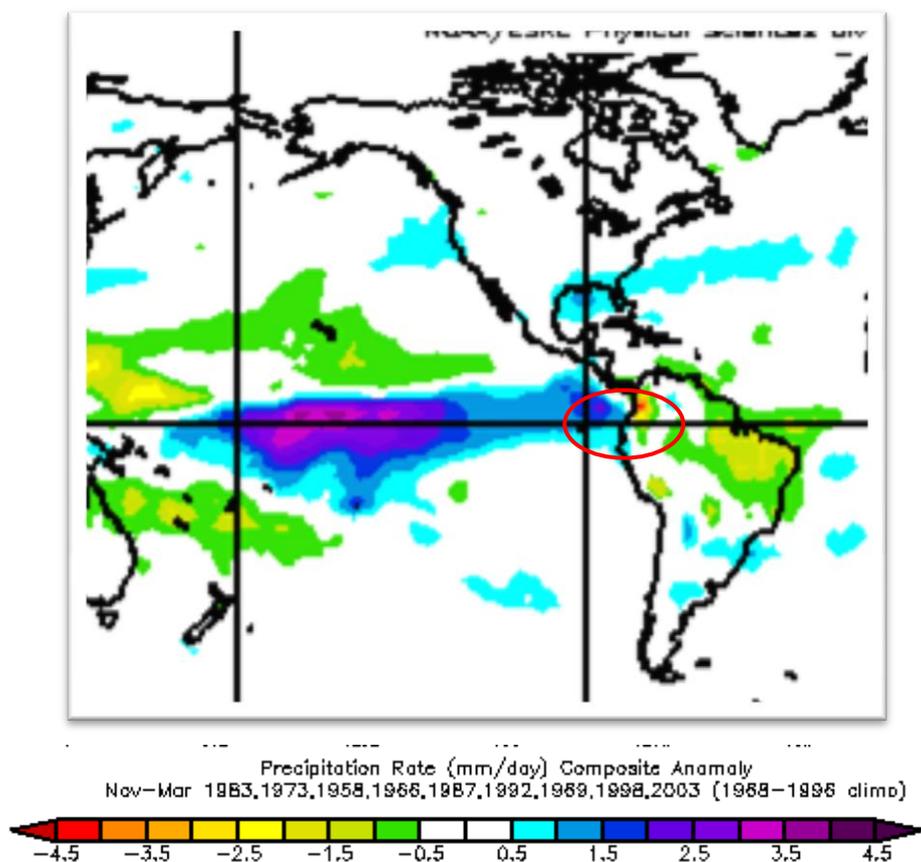


Fuente <http://www.cdc.noaa.gov>

La Figura 20, muestra el patrón de las lluvias característico durante los eventos Niño, en ella se observa una mayor precipitación reflejo de una anomalía positiva (aumento de precipitación) en las inmediaciones de las zonas denominadas Niño en el Océano, en la costa norte de Perú y el Ecuador. Al mismo tiempo hay la presencia de anomalías negativas (disminución de la precipitación), que se presentan localizadas hacia el este, en el interior de la cuenca y la Amazonia.



**Figura 20:** Anomalía de precipitación durante los años Niño, a partir de datos de reanálisis



El estudio de BCOM, reporta que a partir de la recolección de informaciones evaluadas, que han trabajado sobre zonas del Sur y del Norte de la costa peruana a partir de datos históricos, arqueológicos, sedimentológicos e paleoclimatológicos, se puede decir, con todas las reservas del caso, que cada 500 ó 1000 años, el Perú ha sido golpeado por una catástrofe mayor (Mega Niño), capaz de remodelar paisajes y desorganizar o provocar la desaparición de sociedades. Niños Muy Fuertes como los de 1925, 1983 o 1997 sobrevendrán aproximadamente cada 50 años.

Niños normales o canónicos sobrevendrán en promedio cada 3 ó 4 años. Estos tienen a menudo efectos benéficos sobre los cultivos y la generación del recurso agua, pero provocan daños considerables (en promedio cada diez años).

Por otro lado, hay que recordar que en el Perú, las inundaciones no siempre son provocadas por el fenómeno del Niño. Los huacicos a menudo catastróficos, son muchas veces vinculados por deslizamientos de terreno provocados por temblores, accidentes glaciares o exceso de lluvias relacionadas con el Niño o no.

Se debe también reubicar el fenómeno del Niño en el contexto de las posibilidades del cambio climático. Muchos de los expertos coinciden en pensar en la hipótesis de un



recalentamiento global del clima del planeta, de ser así se correría el riesgo de que “Los Niños Muy Fuertes” sean más frecuentes.

#### 5.4 Análisis de información de caudales máximos registrados

Los caudales registrados corresponden a las estaciones de aforo mostradas en el cuadro No 10, las mismas que fueron extraídas a partir de la información de registro diario, así como los valores de caudal medio anual.

Una comparación de estas estaciones muestra una buena proporcionalidad acumulada de la mayoría de las estaciones, Figura No 21 y 22 excepto del río Tumbes (Tigre), Piura (Puente Ñacara) y Motupe (Marripon), que presentan un salto en el año 1983, por la presencia del Niño.

Figura 21: Curvas de doble acumulación de caudales medios anuales

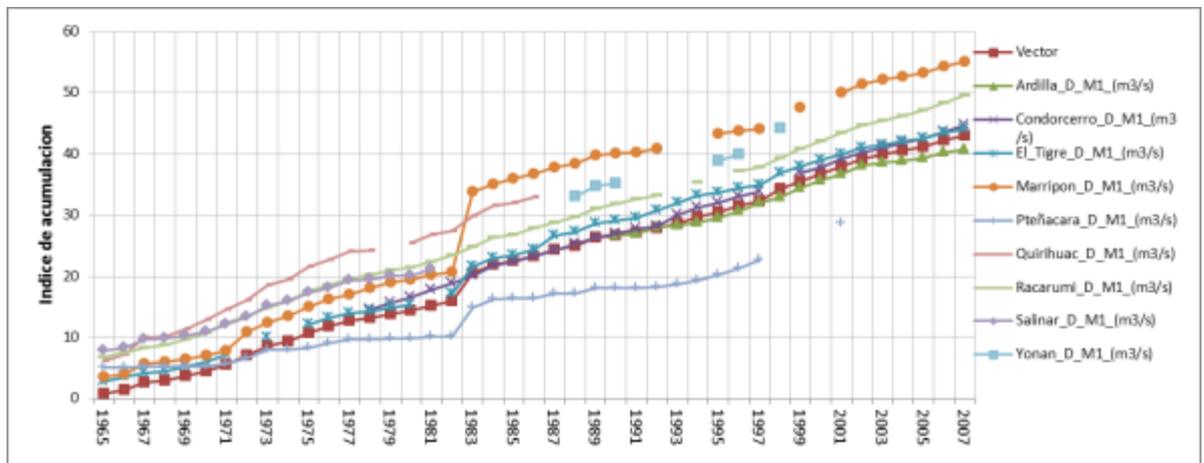
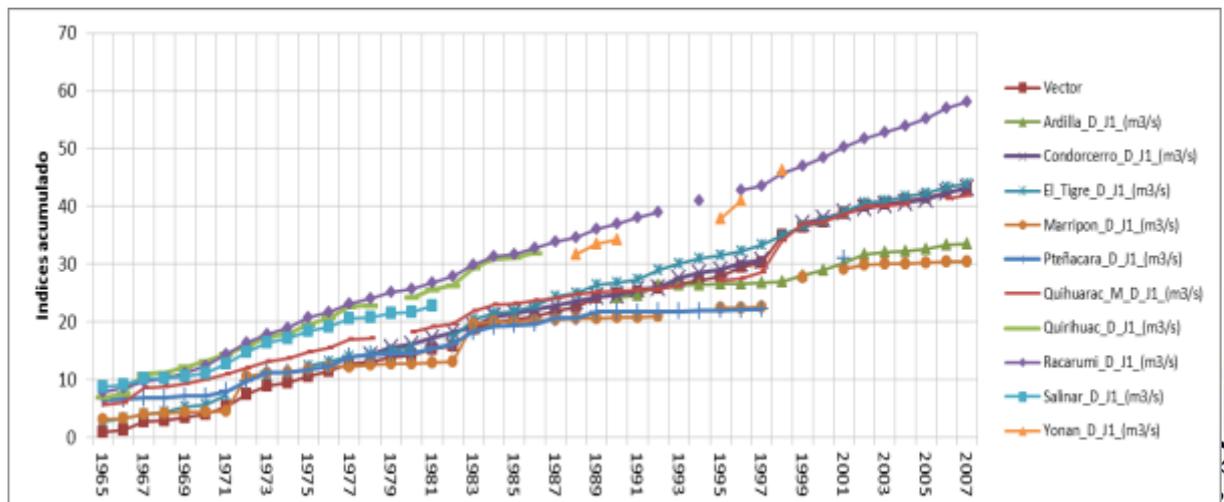


Figura 22: Curvas de doble acumulación de caudales máximos anuales



**Cuadro No 10: Caudal máximos anuales registrado en las estaciones hidrométricas**

AÑOS	ESTACIONES HIDROMETRICAS								
	EL TIGRE	ARDILLA	PUENTE ÑACARA	MARRIPON	RACARUMI	YONAN	SALINAR	QUIRIHUAC	CONDORCERRO
1958									
1959			442.70						
1960			140.50		103.58		203.53	198.63	
1961			111.38		127.02		106.80	43.92	
1962			75.14	8.00	145.38		203.53	180.30	
1963			17.91	1.26	92.66		180.76	117.57	
1964	537.00		11.58	2.53	92.12		163.07	119.18	
1965	669.30		1479.02	6.00	152.84		203.53	78.40	
1966	427.50		37.50	2.30	101.60		86.57	58.45	
1967	582.00		100.77	33.82	155.75		304.96	336.60	
1968	278.80			1.50	78.74		22.29	23.42	
1969	866.70		204.80	10.00	138.24		101.72	91.81	
1970	370.10			1.92	193.85		138.00	96.10	
1971	1370.20		520.36	9.44	284.75		427.09	117.63	
1972			1081.67		278.15		556.72	138.25	
1973	1191.40		758.17	19.20	210.99		466.69	152.96	
1974			36.63	3.43	158.84		192.40	50.29	
1975	1224.60		197.02	23.18	289.24		406.90	170.88	
1976	645.60		325.50	10.69	148.85		256.02	112.85	
1977	723.00		956.42	8.06	214.20		382.00	201.52	
1978	371.40		163.20	10.00	137.41		49.44	24.00	337.29
1979	578.20		106.08	9.14	162.05		181.52		931.10
1980	358.60		15.00	3.70	86.38		58.20	56.00	369.84
1981			542.42	9.68	174.11		326.50	160.00	780.82
1982	406.00		350.00	3.36	164.18			90.00	718.08
1983	2950.30		1166.40		278.50			280.00	796.08
1984	1095.90		416.00	12.50	223.05			152.00	1225.05
1985	320.40		150.00	5.24				20.80	396.00
1986	896.40		74.00	4.43	191.10			72.00	463.32
1987	1605.70		575.00	7.20	175.92			64.00	505.15
1988	500.60		18.00	4.20	117.54	90.51		98.53	485.34
1989	1251.70		571.00	5.50	235.94	205.42		40.00	592.62
1990	344.60	253.40		2.85	113.07	80.19		22.64	228.93
1991	452.00	441.40	30.20	1.13	156.54	155.21		44.50	840.42
1992	1378.10	3133.50		10.00	142.42	99.03		26.02	204.63
1993	1128.80					290.00		66.97	1250.00
1994	752.10				218.65	432.20			684.00
1995	373.70			6.40		120.20		23.84	366.40
1996	690.30			2.04	166.05	343.19		64.00	730.22
1997	914.60			3.20	119.66	174.29		200.00	450.00
1998	1916.10	286.40			313.75	509.45		850.00	
1999	1418.80	1927.00		12.50	193.16	379.02		371.80	1032.00
2000	813.10	1303.20			197.72			66.94	637.00
2001	1477.70	2264.80	744.70	22.25	249.05	12.92		149.98	764.81
2002	1694.50	2822.00		37.25	231.88			303.00	545.00
2003	432.90	585.00		4.14	149.95			42.51	454.90
2004	500.00	294.00		1.71	167.42			39.42	291.67
2005	622.60	629.14		5.32	182.55				374.93
2006	1010.50	1089.96		7.78	267.67			46.60	849.57
2007	575.50	431.09		4.08	203.75			47.95	592.50
2008		3141.94			347.16				
2009									
2010									



## 5.5 Análisis de años húmedos

En las cuencas del norte, los años húmedos están normalmente asociados a la ocurrencia de los eventos Niños de diferente categoría, la ZCIT (zona de convergencia intertropical) y la PDO (Oscillación Decadal del Pacífico).

Una combinación fatal y catastrófica no deseada pero posible de ocurrir, es la combinación de un evento Niño y grandes traspasos de humedad del oeste (Amazonia) por efectos de succión que podría generar el cambio de temperatura y presión en las inmediaciones de la costa peruana, originadas por el calentamiento de las aguas y cambios grandes de calor latente en la atmósfera.

Sin embargo podemos describir los principales mecanismos que pueden producir las precipitaciones en esta zona y son:

### Flujo del Este

En estas latitudes, el flujo general de los vientos que viene del Este en la parte baja y media de la atmósfera es detenido por la barrera de los Andes. Estas masas de aire descargan su humedad mediante precipitaciones, al levantarse por el lado amazónico de la cordillera. En la parte alta de los Andes, su humedad es aún suficiente como para generar precipitaciones, pero generalmente éstas no alcanzan la vertiente occidental; aún si lo pudieran, perderían rápidamente su poder de generar precipitaciones, reduciéndose y calentándose.

### El Océano Pacífico y el Anticiclón del Pacífico Sur

Las aguas del Pacífico que bordean el Perú son anormalmente frías a causa de la corriente de Humboldt que se extiende a lo largo de la costa del Perú, trayendo aguas frías del Sur y por la presencia del « upwelling » (Surgencia de aguas frías del fondo del Océano).

Estas aguas frías hacen que las capas inferiores de la atmósfera sobre el océano y la parte baja de la zona costera sean anormalmente frías (fenómeno de inversión térmica) que impide la formación de nubes de origen convectivo que podría provocar lluvias. Esta inversión térmica origina nubes bajas y estables (estratos) e incluso neblinas que permanecen frecuentemente cerca del océano y provocan garúas o llovizna.



Además, al sud-oeste del Perú se estaciona el Anticiclón permanente del Pacífico Sur que impide en general que las perturbaciones del Norte o del Sur alcancen esta zona del Perú.

### **Perturbación del Norte: La Zona de Convergencia Intertropical (ZICT)**

Esta Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), llamada a veces Ecuador Térmico, está generalmente situada más al Norte (Caribe, Panamá, Colombia) donde genera lluvias abundantes y frecuentes. Hacia fines del verano austral esta ZCIT desciende hacia el Sur y puede provocar lluvias en la parte Norte de la Zona Costera. La influencia de la ZCIT se acentúa en el transcurso de los años Niño y puede provocar fuertes lluvias e inundaciones en lugares normalmente desérticos.

### **Perturbaciones del Sur**

En condiciones normales el Anticiclón Permanente del Pacífico Sur impide las incursiones de perturbaciones y de frentes que vienen del Sur, ligadas a las incursiones del aire polar. Algunos años, esta influencia puede hacerse sentir en el Sur del Perú, generalmente por encima de cierta altura. Estas incursiones no son directamente controladas por el Fenómeno de El Niño, pero las condiciones climáticas anormales inducidas por las situaciones, del El Niño o a veces La Niña, pueden favorecer estas incursiones.

### **Las precipitaciones extremas y las crecidas en la Vertiente del Pacífico del Perú**

El Fenómeno El Niño, generalmente cuando es muy acentuado, tiene una indudable influencia sobre la Vertiente del Pacífico del Perú. Pero esta influencia es compleja, varía de Norte a Sur, según la altura y según los años.

Para comprender esta influencia, se necesita comprender cómo el Fenómeno El Niño influye sobre los mecanismos climáticos regionales y locales que provocarían finalmente las precipitaciones.



### Extrema irregularidad de las precipitaciones

La irregularidad de las precipitaciones que dependen en parte de esas poderosas oscilaciones que encuentran su origen en el otro lado del Pacífico a más de 10.000 km. es muy grande en el Perú. Además las anomalías de precipitaciones parecen mayores cuando el clima es desértico. De este modo, una anomalía de precipitación de 100 mm corresponderá a 200 % de aumento en una región árida o desértica donde el promedio es de 50 mm, mientras que esta misma anomalía sólo representará el 10 % del total de las precipitaciones de una región donde el total es de 1000 mm.

Los ríos que desembocan en el Pacífico alcanzaron caudales muy importantes. Algunos de los cuales alcanzaron los siguientes caudales:

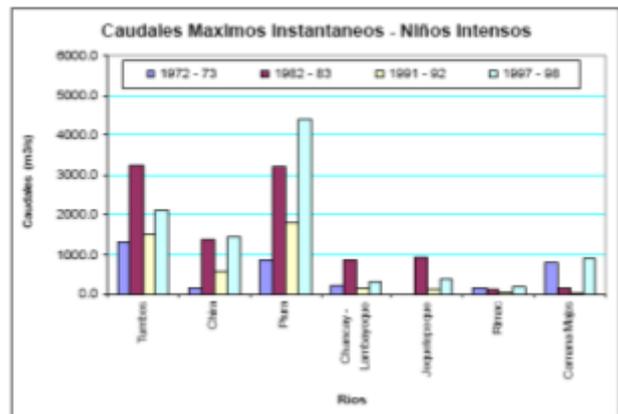
Río Tumbes 2300 m<sup>3</sup>/seg

Río Piura 4424 m<sup>3</sup>/seg

Río Chicama 1200 m<sup>3</sup>/seg

Río Ica 620 m<sup>3</sup>/seg

Río Rímac 200 m<sup>3</sup>/seg



## VI. EVENTOS HIDROLOGICOS EXTREMOS EN LAS CUENCAS

### 6.1 Análisis de máximas avenidas en el valle

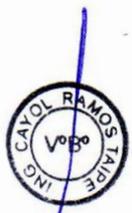
#### 6.1.1 Función de Distribución de Probabilidad

Para estimar la magnitud del evento asociado a un periodo de retorno, es necesario el análisis de frecuencias y el ajuste de la serie de caudales máximos a una función de distribuciones de probabilidad.

Las funciones de distribución de probabilidades usadas son: Pearson Tipo III, Log Pearson Tipo III y Gumbel.

#### a) Distribución Pearson Tipo III

La función de densidad de probabilidad es:



$$f(x) = \frac{1}{\alpha_1 \Gamma(\beta_1)} \left[ \frac{x - \delta_1}{\alpha_1} \right]^{\beta_1 - 1} e^{-\frac{x - \delta_1}{\alpha_1}}$$

Donde:

$\alpha_1, \beta_1, \delta_1$  = son los parámetros de la función

$\Gamma(\beta_1)$  = función Gamma.

Los parámetros  $\alpha_1, \beta_1, \delta_1$  se evalúan a partir de los datos observados (lluvia máxima de 24 horas), mediante el siguiente sistema de ecuaciones.

$$\bar{x} = \alpha_1 \beta_1 + \delta_1; \quad S^2 = \alpha_1^2 \beta_1; \quad \gamma = \frac{2}{\sqrt{\beta_1}}$$

Donde:

$\bar{x}$  = es la media de los datos;  $S^2$  = variancia de los datos

$$\gamma = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^3 / n}{S^3}$$

$\gamma$  = coeficiente de sesgo, definido como:

La función de distribución de probabilidad es:

$$F(x) = \frac{1}{\alpha_1 \Gamma(\beta_1)} \int_0^x e^{-\frac{x - \delta_1}{\alpha_1}} \left( \frac{x - \delta_1}{\alpha_1} \right)^{\beta_1 - 1} dx$$

Sustituyendo

$y = \frac{x - \delta_1}{\alpha_1}$ , la ecuación anterior se escribe como:

$$F(y) = \frac{1}{\Gamma(\beta_1)} \int y^{\beta_1 - 1} e^{-y} dy$$



Esta última ecuación es una función de distribución chi cuadrada con  $2\beta_1$  grados de libertad y también  $\chi^2 = 2y$ , es decir:

$$F(y) = F(\chi^2 | \nu) = F\chi^2(2y | 2\beta_1)$$

La función chi cuadrado se encuentra en tablas estadísticas.

### b) Distribución Log Pearson Tipo III

Si se toman los logaritmos de la variable aleatoria (precipitación máxima 24 horas), se tiene la función Log Pearson Tipo III. Para la solución se sigue el mismo procedimiento que la distribución Pearson Tipo III.

### c) Distribución Gumbel

Esta distribución representa el valor extremo de los máximos, ejemplo el máximo diario, el máximo mensual y el máximo anual, el valor extremo de un grupo de valores máximos. Se basa en la teoría de valores extremos que indica que es probable que sea útil si la muestra de datos tiene una distribución normal o exponencial. La función de distribución acumulada es:

$$F(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}}$$

La función de densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \alpha e^{[-\alpha(x-\beta) - e^{-\alpha(x-\beta)}]}$$

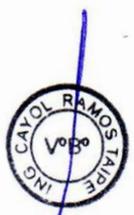
Donde  $\alpha$  y  $\beta$  son los parámetros de la función.

Los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$ , se estiman para muestras muy grandes, como:

$$\alpha = \frac{1.2825}{S}; \quad \beta = \bar{x} - 0.45S$$

Para muestras relativamente pequeñas, se tiene:

$$\alpha = \frac{\sigma_y}{S}; \quad \beta = \bar{x} - u_y / \alpha$$



los valores de  $\mu_y$  y  $\sigma_y$  se encuentra en tablas.

### 6.1.2 Ajuste de Funciones de Probabilidad

Permite conocer el mejor ajuste de una función de distribución teórica con los datos de precipitación. Para ello se usa la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov. Esta prueba consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia  $D$  entre la función de distribución de probabilidad observada  $F_0(X_m)$  y la estimada  $F(X_m)$ .

$$D = \text{máx}|F_0(X_m) - F(X_m)|$$

Y se compara con un valor crítico “ $d$ ” que depende del número de datos y del nivel de significación seleccionado.

Si  $D < d$ , se acepta la hipótesis nula

Los valores del nivel de significación  $\alpha$  que se usan normalmente son del 10%, 5% y 1%. Para un nivel de significación de 5%, y para una muestra de  $n = 27$ , el valor de “ $d$ ” crítico es 0.25.

El valor de  $\alpha$ , en la teoría estadística, es la probabilidad de rechazar la hipótesis nula

$H_0$  = La función de distribución de probabilidad es  $D(\alpha, \beta, \dots)$ , cuando en realidad es cierta, es decir de cometer un error tipo I

La función de distribución de probabilidad observada se calcula como:

$$F_0(X_m) = 1 - \frac{m}{n+1}$$

donde “ $m$ ” es el número de orden del dato  $X_m$  en una lista de mayor a menor y “ $n$ ” es el número total de datos.



### 6.1.3 Determinación de caudales máximos para diferentes períodos de retorno

Con la función de distribución seleccionada de acuerdo a las pruebas de ajuste, se determinaron los caudales máximos para períodos de retorno, aplicando los coeficientes de frecuencia:

$$P_{max} = \bar{P} + k\sigma$$

Donde:  $P_{max}$  Precipitación máxima,  $\bar{P}$  Precipitación media,  $\sigma$  desviación estándar de la precipitación y  $k$  coeficiente de frecuencia.

### 6.1.4 Resultados

Los valores obtenidos están en función directa de la cantidad de información existente, es probable que algunas estaciones estén subestimadas, como es el caso de la estación Motupe, donde los registros existentes acusan valores bastante bajos; sin embargo esto se puede mejorar con la modelación hidrológica.

Los resultados de los cálculos se muestran en el Cuadro No 11.

Como referencia se presentan en el cuadro No 12, los caudales máximos estimados por INRENA, en el año 1999.



**Cuadro No 11: Caudales máximos estimados para diferentes periodos de retorno**

CUENCAS	ESTACIONES HIDROMETRICAS	PRUEBA DE KOLMOGOROV-SMIRNOV			DISTRIBUCION ACEPTADA	Tiempos de Retorno							
		PEARSON TIPO III	LOG PEARSON TIPO III	GUMBEL		2 años	3 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	200 años
RIO TUMBES	EL TIGRE	0.1938	0.07469	0.1163	LOG PERASON TIPO III	714.88	924.89	1195.54	1595.13	2202.14	2734.98	3342.64	4035.8
RIO CHIRA	ARDILLA (RESERVORIO POECHOS)	0.1330		0.1603	PEARSON TIPO III	1130.3	1614.6	2149.41	2809.78	3619.42	4203.86	4772.79	5330.73
RIO PIURA	PUENTE ÑACARA	0.2306	0.15726	0.1657	LOG PERASON TIPO III	198.4	362.17	617.1	1048.89	1764.41	2410.21	3141.41	3953.47
RIO MOTUPE	MARRIPON	0.3053	0.3052	0.1828	GUMBEL	7.3	10.7	14.47	19.21	25.21	29.66	34.07	38.47
RIO CHANCAY-LAMBAYEQUE	RACARUMI	0.0756	0.05875	0.0518	GUMBEL	172.46	198.4	227.16	263.37	309.12	343.07	376.76	410.33
RIO JEQUETEPEQUE	YONAN	0.1111	0.18397	0.0703	GUMBEL	200.69	283.9	376.18	492.37	639.18	748.09	856.19	963.91
RIO CHICAMA	SALINAR	0.0939	0.20501	0.1144	PEARSON TIPO III	205.81	270.15	339.58	423.58	524.6	596.48	665.76	733.14
RIO MOCHE	QUIRIHUAC		0.06000	0.2331	LOG PERASON TIPO III	82.99	121.57	177.87	272.78	440.06	606.89	817.29	1080.92
RIO SANTA	CONDORCERRO	0.0790	0.09542	0.0460	GUMBEL	579.52	699.39	832.31	999.68	1211.15	1368.04	1523.76	1678.91



**Cuadro No 12: Caudales máximos estimados para diferentes periodos de retorno determinado por INRENA 1999**

Item	Río	Estación	Area de Capacitación	Modelo de Distribucion de Probabilidades	Método de Ajuste	CAUDALES MAXIMOS ESTIMADOS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO						
						T = 2 años (m3/s)	T = 5 años (m3/s)	T = 10 años (m3/s)	T = 25 años (m3/s)	T = 50 años (m3/s)	T = 100 años (m3/s)	T = 200 años (m3/s)
1	Tumbes	Pte. Carretera	5,508	GEV	Mom. Pond.	781	1,345	1,844	2,667	3,455	4,428	5,632
2	Chira	El Ciruelo	10,000	GEV	Mom. Pond.	608	1,122	1,563	2,270	2,930	3,716	4,690
3	Motupe	Marripón		Log-Pearson III	Unificado	5	18	39	102	204	387	726
4	La leche	Puchaca	750	GEV	Mom. Pond.	43	73	102	153	206	275	366
5	Chancay Lambayeque	Raca Rumi		GEV	Mom. Pond.	155	216	256	305	341	377	412
6	Zaña	Batán	673	GEV	Mom. Pond.	34	61	85	124	161	206	261
7	Jequetepeque	Ventanillas	3,723	GEV	Mom. Pond.	167	327	478	739	1,004	1,344	1,786
8	Jequetepeque	Yonán		GEV	Mom. Pond.	151	262	352	489	611	752	916
9	Chicama	Salinar	3,635	GEV	Mom. Pond.	164	305	422	605	771	966	1,197
10	Moche	Quinhuac	1,839	GEV	Mom. Pond.	86	151	200	269	327	389	458
11	Virú	Huacapongo	1,013	GEV	Mom. Pond.	37	81	120	184	245	320	412
12	Santa	Pte. Carretera	12,200	GEV	Mom. Pond.	758	1,119	1,386	1,759	2,064	2,392	2,748
13	Sechín	Pte. Quillo		GEV	Mom. Pond.	12	25	36	53	69	88	111
14	Nepeña	San Jacinto		GEV	Mom. Pond.	24	50	73	113	151	200	261



## 6.2 Análisis de máximas avenidas en la cuenca

### 6.2.1 Ajuste de función de probabilidad

Los caudales se calcularon aplicando la ecuación envolvente de Creager, ecuación que incorpora el periodo de retorno, el área y coeficientes que depende de la zona del país, en este caso para el contexto hidrológico de la Costa Peruana.

La envolvente Creager de descargas máximas se calcula en función del área de cuenca y el periodo de retorno, mediante la expresión:

$$Q_{max} = (C_1 + C_2) * \text{Log}(T) * A^{mA^{-n}}$$

Dónde:

$Q_{max}$ : Caudal máximo

T: Periodo de retorno

A: Área de la cuenca

$C_1, C_2, m, n$ : Constantes para las diferentes regiones del Perú.

Los valores de las constantes  $C_1, C_2, m, n$  se presentan en el Cuadro 13. En el Mapa de regionalización de las Avenidas del Perú, Figura 23, podemos observar la clasificación de regiones.

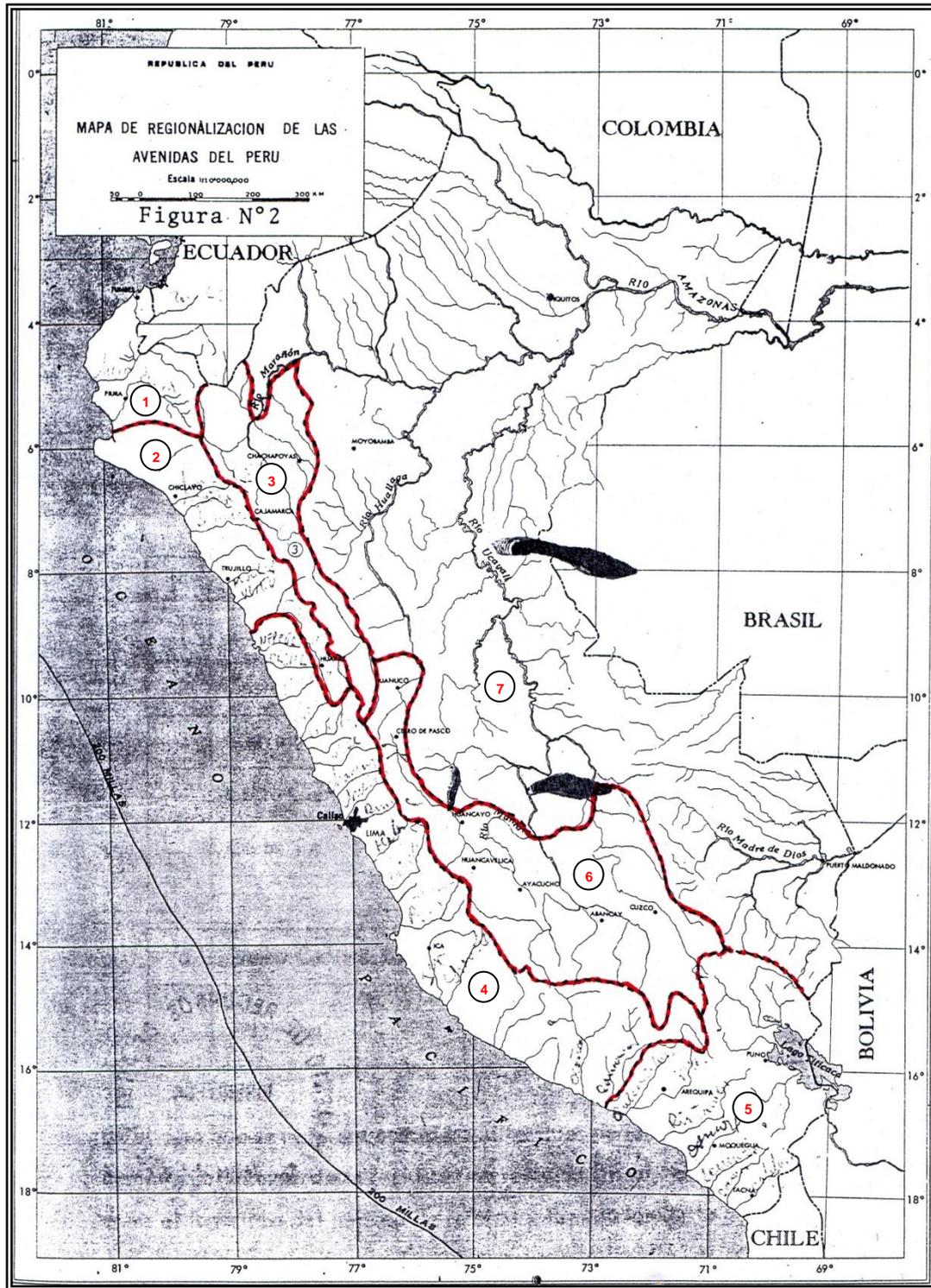
**Cuadro 13: Constantes regionales del Perú para el método de Creager**

Region	$C_1$	$C_2$	m	n
1	1.01	4.37	1.02	0.04
2	0.10	1.28	1.02	0.04
3	0.27	1.48	1.02	0.04
4	0.09	0.36	1.24	0.04
5	0.11	0.26	1.24	0.04
6	0.18	0.31	1.24	0.04
7	0.22	0.37	1.24	0.04

\*Fuente: Análisis regional de las avenidas en los ríos del Perú; Trau W. y Gutierrez R.; 1979



Figura 23: Mapa de regionalización de las Avenidas del Perú



\*Fuente: Análisis regional de las avenidas en los ríos del Perú; Trau W. y Gutierrez R.; 1979



**Cuadro 14: Caudales máximos calculados aplicando método Creager, por subcuenca**

Cuenca	Subcuencas	CODIGO	Área	Q25	Q50	Q75	Q100	Q200
RIO CHICAMA	Chuquillanqui	Chuquillanqui	914.751	384.46	467.25	515.68	550.04	632.83
	Alto Chicama	Alto Chicama	1186.33	444.46	540.17	596.15	635.87	731.58
	Medio Alto Chicama	Medio Alto Chicama	272.05	186.15	226.24	249.68	266.32	306.41
	Ochape	Ochape	216.21	160.73	195.35	215.59	229.96	264.57
	Medio Chicama	Medio Chicama	135.59	118.15	143.60	158.48	169.04	194.48
	Quirripango	Quirripango+MBCH	399.11	236.20	287.06	316.82	337.93	388.79
	Santanero	Santanero	566.71	291.56	354.34	391.07	417.13	479.91
	Cuenca Rio Chicama	Cuenca Rio Chicama	3690.75	803.44	976.45	1077.66	1149.46	1322.47
RIO SANTA	Alto Santa	Alto Santa	4916.77	923.64	1122.54	1238.89	1321.44	1520.33
	Quitaracsa + Medio Alto Santa	W1720	856.31	370.35	450.10	496.75	529.85	609.60
	Manta	W1500	791.45	354.08	430.33	474.93	506.57	582.82
	Tablachaca	Tablachaca	3195.99	748.01	909.09	1003.31	1070.16	1231.24
	Medio Santa	W1610	637.02	312.30	379.55	418.89	446.80	514.05
	Palo Redondo	W1490	417.64	242.82	295.11	325.70	347.40	399.69
	Medio Bajo Santa	W1590	613.91	305.62	371.43	409.92	437.24	503.05
	Bajo Santa	W1830	516.02	275.79	335.18	369.92	394.57	453.96
	Cuenca Rio Santa	Cuenca Rio Santa	11945.1	1387.16	1685.87	1860.60	1984.58	2283.28
RIO PIURA	Alto Piura	Alto Piura	1165.4	440.12	534.89	590.33	629.66	724.44
	Bigote	Bigote	686.51	326.21	396.45	437.54	466.70	536.94
	Medio Alto Piura	Medio Alto Piura	508.95	273.53	332.43	366.89	391.33	450.24
	Corrales	Corrales	572.16	293.21	356.35	393.29	419.49	482.63
	Unidad	Unidad	878.77	375.83	456.76	504.10	537.69	618.62
	Medio Piura	Medio Piura	109.58	102.22	124.24	137.11	146.25	168.26
	Medio Bajo Piura	Medio Bajo Piura	1854.43	565.51	687.28	758.52	809.06	930.84
	San Francisco	San Francisco	383.52	230.51	280.15	309.19	329.79	379.43
	Bajo Piura	Bajo Piura	1512.9	507.38	616.64	680.55	725.89	835.15
	Cuenca Rio Piura	Cuenca Rio Piura	7672.22	1137.74	1382.74	1526.05	1627.74	1872.73
RIO TUMBES	Alto Tumbes	Alto Tumbes	3646.26	3113.57	3784.04	4176.24	4454.51	5124.98
	Tumbes 1	W660	698.34	1284.39	1560.97	1722.76	1837.55	2114.13
	Tumbes Bajo 1	W410	660.87	1243.90	1511.76	1668.45	1779.62	2047.48
	Tumbes Bajo 2	W1490	354.68	856.50	1040.93	1148.82	1225.37	1409.80
	Cuenca Rio Tumbes	Cuenca Rio Tumbes	5360.15	3752.29	4560.30	5032.96	5368.31	6176.33



Cuenca	Subcuencas	CODIGO	Área	Q25	Q50	Q75	Q100	Q200
RIO CHIRA	Chira Alto	Chira Alto	4209.84	856.94	1041.47	1149.42	1226.00	1410.54
	Chira 2	Chira 2	2840.37	704.91	856.70	945.50	1008.50	1160.29
	Chira Medio	w1360	345.12	216.02	262.53	289.75	309.05	355.57
	Chira 3	Chira 3	3155.86	743.30	903.36	996.99	1063.42	1223.48
	Chira 4	Chira 4	1197.62	446.78	542.99	599.27	639.20	735.41
	Chira 5	W1470	238.41	171.16	208.02	229.58	244.87	281.73
	Chira 6	W1520	71.444	75.78	92.10	101.65	108.42	124.74
	Chira 7	Chira 7	1217.02	450.75	547.81	604.59	644.87	741.94
	Chira 8	Chira 8	1171.86	441.46	536.52	592.13	631.59	726.65
	Chira 9	W1700	431.32	247.62	300.94	332.13	354.26	407.58
	Chira Bajo	W1740	499.42	270.46	328.70	362.77	386.94	445.18
Cuenca Rio Chira	Cuenca Rio Chira	15378.3	1547.05	1880.19	2075.07	2213.34	2546.48	
RIO MOCHE	Alto Moche	Alto Moche	249.57	176.23	214.18	236.38	252.13	290.08
	Motil	Motil	100.82	96.52	117.31	129.46	138.09	158.87
	Medio Alto Moche	Medio Alto Moche	131.91	115.98	140.96	155.57	165.93	190.91
	Otuzco	Otuzco	180.37	142.84	173.60	191.60	204.36	235.12
	Medio	Medio	473.09	261.82	318.20	351.18	374.58	430.96
	La Costa	La Cuesta	482.84	265.05	322.12	355.51	379.20	436.27
	Catuay	Catuay	108.36	101.44	123.29	136.06	145.13	166.97
	Medio Bajo Moche	Medio Bajo Moche	5.4429	9.70	11.79	13.01	13.88	15.96
	Bajo Moche	Bajo Moche	149.43	126.11	153.27	169.15	180.43	207.58
	Cuenca Rio Moche	Cuenca Rio Moche	1881.83	569.90	692.62	764.41	815.34	938.06
RIO MOTUPE	Alto Motupe	Alto Motupe	243.84	173.64	211.03	232.90	248.42	285.81
	Cholope	Cholope	218.01	161.60	196.40	216.75	231.19	265.99
	Motupe	Motupe	350.329	218.03	264.98	292.44	311.93	358.88
	Medio Alto Motupe	Medio Alto Motupe	175.49	140.29	170.50	188.17	200.71	230.92
	Salas	Salas	306.66	200.71	243.93	269.21	287.15	330.37
	Bajo Motupe	Bajo Motupe	147.739	125.16	152.11	167.87	179.06	206.01
	Cuenca Rio Motupe	Cuenca Rio Motupe	1442.07	494.42	600.89	663.17	707.36	813.83
RIO CHANCA Y LAMBAY EQUE	Alto Chancay	Alto Chancay	1192.5	445.73	541.71	597.86	637.69	733.68
	Cañad	Cañad	109.6	102.24	124.25	137.13	146.27	168.28
	Medio Alto Chancay	Medio Alto Chancay	640.6	313.32	380.79	420.26	448.26	515.74
	Medio Chancay	Medio Chancay	155.83	129.69	157.61	173.95	185.54	213.47
	Macchil	Macchil	348.51	217.33	264.13	291.50	310.93	357.72
	Juana de Ríos	Juana de Ríos	394.51	234.53	285.04	314.58	335.54	386.05
	Monteria	Monteria	294.61	195.73	237.88	262.54	280.03	322.18
	Medio Bajo Chancay	Medio Bajo Chancay	148.3	125.47	152.49	168.30	179.51	206.53
	Bajo Chancay	Bajo Chancay	163.16	133.70	162.50	179.34	191.29	220.08
	Cuenca Rio Chancay-Lambayeque	Cuenca Rio Chancay	3447.62	776.80	944.08	1041.93	1111.35	1278.63



Cuenca	Subcuencas	CODIGO	Área	Q25	Q50	Q75	Q100	Q200
RIO JEQUETEPE EQUE	Alto Jequetepeque	Alto Jequetepeque	1512.42	507.29	616.53	680.43	725.77	835.01
	San Miguel	San Miguel	1046.11	414.53	503.79	556.01	593.06	682.32
	Medio Jequetepeque	Medio Jequetepeque	144.48	123.30	149.85	165.39	176.41	202.96
	Pallac	Pallac	237.35	170.67	207.42	228.92	244.17	280.93
	Chausis	Chausis	207.6	156.56	190.28	210.00	223.99	257.71
	Medio Alto	Medio Alto	154.55	128.98	156.75	173.00	184.52	212.30
	Bajo	Bajo	648.23	315.50	383.44	423.18	451.37	519.31
	Cuenca Río Jequetepeque	Cuenca Río Jequetepeque	3950.74	830.77	1009.67	1114.32	1188.57	1367.46

### 6.2.2 Características físicas de las microcuencas

Las microcuencas que componen cada una de las cuencas estudiadas son en gran parte las subcuencas delimitadas a través de la metodología de Pfafstetter, siempre que su área no exceda los 1 000 km<sup>2</sup>, en ese caso fue necesario dividir en dos o tres microcuencas, debido a los límites de aplicación de los modelos de transformación de precipitación a escorrentía.

Las principales características que se analizaron de las microcuencas son: área, cauce más largo (L), longitud del cauce hasta el centroide (Lc), pendiente media de la cuenca (S), longitud de tramo del río Principal (RivLen) y pendiente del tramo del río principal (River S).

Las características se muestran por cuencas en los cuadros 15 -23

**Cuadro 15: Características físicas de las Sub-Cuencas del río Tumbes**

Subcuencas	Rios	L (m)	Lc (m)	S (m/m)	RivLen (m)	River S (m/m)
W400	R70	40616.95	18315.42	0.04902	20993.11	0.04902
W410	R230	58530.76	28728.12	0.00272	55953.10	0.00272
W430	R50	41268.83	19670.17	0.02971	19350.53	0.02971
W440	R180	41648.77	9288.62	0.00379	10554.53	0.00379
W520	R220	41261.68	14863.56	0.00407	32695.95	0.00407
W550	R130	44121.96	13467.15	0.00565	12750.32	0.00565
W580	R290	51049.76	23089.67	0.00260	41177.54	0.00260
W640	R300	27259.16	7379.83	0.00170	14149.46	0.00170
W650	R310	35945.24	15100.99	0.00961	15605.94	0.00961
W660	R320	82235.85	30601.90	0.00268	20886.49	0.00268
W1490	R20	43478.03	16731.77	0.00051	23584.74	0.00051



**Cuadro 16: Características físicas de las Sub-Cuencas del río Chira**

<b>Subcuencas</b>	<b>Ríos</b>	<b>RivLen (m)</b>	<b>River S (m/m)</b>	<b>L (m)</b>	<b>Lc (m)</b>	<b>S (m/m)</b>
W970	R20	25887.95	0.03670	44942.12	18285.79	0.040000
W990	R120	28580.74	0.00724	42307.23	14953.49	0.040000
W1020	R110	38269.57	0.00614	55632.10	11652.42	0.030000
W1030	R60	35327.09	0.00742	51015.23	18308.66	0.040000
W1040	R100	28537.71	0.01864	105019.28	63452.04	0.018640
W1140	R230	27257.23	0.00723	30422.61	15950.22	0.040000
W1150	R150	28935.46	0.00899	46914.79	18094.46	0.050000
W1220	R280	55854.99	0.00619	63457.95	36701.59	0.040000
W1230	R350	29016.88	0.01320	45416.41	15547.80	0.013200
W1240	R490	18482.91	0.00206	50527.31	28400.65	0.010000
W1250	R240	10502.18	0.00714	51708.22	14410.16	0.007140
W1260	R260	12684.23	0.03327	48834.78	16547.82	0.033270
W1360	R410	36608.36	0.00238	44112.65	24086.39	0.020000
W1370	R520	34026.05	0.01026	45230.53	14557.10	0.050000
W1470	R500	14207.59	0.00176	38791.78	12361.87	0.010000
W1490	R540	39819.51	0.00417	43990.92	24233.32	0.020000
W1520	R650	9743.11	0.00021	20079.17	8910.58	0.010000
W1560	R710	36444.40	0.00768	43370.84	21602.76	0.050000
W1580	R600	18249.91	0.00685	46627.51	23709.19	0.060000
W1590	R640	26730.36	0.00224	53497.17	26184.16	0.010000
W1680	R770	29794.57	0.00279	36104.21	15499.55	0.010000
W1690	R730	5005.88	0.00439	102741.28	43397.18	0.004390
W1700	R760	27685.98	0.00173	45655.99	14668.18	0.000010
W1740	R920	34202.85	0.03196	45443.54	17042.63	0.000010
W1810	R810	32936.67	0.01400	57297.74	24128.06	0.070000
W5060	R880	19999.12	0.02915	57182.60	19161.93	0.029150
W5080	R870	10823.18	0.01026	37714.44	15349.32	0.070000

**Cuadro 17: Características físicas de las Sub-Cuencas del río Piura**

<b>Subcuencas</b>	<b>Ríos</b>	<b>RivLen (m)</b>	<b>River S (m/m)</b>	<b>L (m)</b>	<b>Lc (m)</b>	<b>S (m/m)</b>
San Francisco	R60	29371.60	0.002860	48372.06	24712.50	0.002860
Bajo Piura 2	R30	25315.32	0.000356	54235.69	14650.32	0.000360
Medio Bajo Pira 1	R90	29392.16	0.000646	65343.98	20292.39	0.000010
Bajo Piura 1	R270	56028.50	0.003891	76711.29	36297.47	0.000010
Corrales	R260	14164.56	0.057750	48994.88	39801.11	0.057750
Medio Piura	R310	13584.21	0.000883	21382.93	11262.61	0.030000
Medio Bajo Piura 2	R170	19699.47	0.000812	54590.41	17065.82	0.060000
Bigote	R340	3127.00	0.022066	57089.38	30895.46	0.022070
Unidad 13784	R370	16392.94	0.000976	65008.45	40818.16	0.000980
Medio Alto Piura	R380	25573.53	0.001290	56015.89	24038.70	0.020000
Alto Piura	R480	19093.12	0.003038	69512.91	43834.68	0.003040



**Cuadro 18: Características físicas de las Sub-Cuencas del río Motupe**

<i>DrainID</i>	<i>SUBCUENCAS</i>	<i>RÍOS</i>	<i>RivLen (m)</i>	<i>River S (m/m)</i>	<i>L (m)</i>	<i>Lc (m)</i>	<i>S (m/m)</i>
88	chotope	R20	1168.07	0.15324	33543.82	17656.39	0.057507
97	Alto Motupe	R40	196.55	0.07632	44498.60	28714.14	0.065395
110	Motupe2	R260	8226.90	0.01033	39411.30	19116.26	0.095201
120	Motupe1	R530	20598.08	0.00282	23507.98	11751.66	0.050408
121	Medio Alto Motupe	R520	22518.64	0.00240	26818.36	13680.59	0.041539
132	Salas	R440	1183.97	0.13092	49250.93	30573.40	0.057197
139	Bajo Motupe2	R680	11270.56	0.00133	33730.83	16915.72	0.036910
154	Bajo Motupe1	R770	22402.70	0.00138	31546.84	14065.58	0.001807

**Cuadro 19: Características físicas de las Sub-Cuencas del río Chancay Lambayeque**

<i>DrainID</i>	<i>Subcuencas</i>	<i>Río</i>	<i>L (m)</i>	<i>Lc (m)</i>	<i>Slp (m/m)</i>	<i>RivLen</i>	<i>River S (m/m)</i>
84	Machil	R20	37376.18	18666.85	0.09945	7792.13	0.077771
104	Juana Ríos	R200	48944.46	20756.82	0.07989	16483.67	0.022386
107	Medio Chancay	R390	28116.10	13908.51	0.03411	21985.19	0.007823
117	Alto Chancay 1	R60	75018.52	31447.84	0.03611	7105.16	0.051090
118	Medio Alto Chancay	R230	70851.75	28216.61	0.04672	31916.33	0.022904
129	Cañad	R420	39773.18	18397.04	0.06424	9056.14	0.040635
140	Monteria	R530	52883.67	28412.69	0.05037	3567.80	0.024665
301	Alto Chancay 2	R320	22823.74	7718.66	0.06169	11602.80	0.019392
308	Bajo Chancay	R630	29391.36	11358.89	0.03569	15769.29	0.003234
311	Medio Bajo Chancay	R520	32673.24	16553.51	0.03465	8353.28	0.003951

**Cuadro 20: Características físicas de las Sub-Cuencas del río Jequetepeque**

<i>DrainID</i>	<i>SUBCUENCAS</i>	<i>Ríos</i>	<i>L (m)</i>	<i>Lc (m)</i>	<i>S (m/m)</i>	<i>RivLen (m)</i>	<i>River S (m/m)</i>
115	Alto Jequetepeque 1	R320	54021.31	18887.25	0.05624	18306.11	0.11138
113	Alto Jequetepeque 2	R350	43114.79	10171.84	0.07144	2607.52	0.02148
114	Bajo	R660	75506.77	42203.33	0.02859	41335.71	0.00537
137	Chausis	R570	30825.02	11275.21	0.10323	6595.56	0.04715
104	Medio Alto	R430	31972.54	10872.80	0.08032	11833.08	0.00946
103	Medio Jequetepeque	R250	21095.08	6060.18	0.12377	2144.24	0.00979
91	Pallac	R160	28517.95	14393.70	0.10607	5862.26	0.16700
82	San Miguel 1	R20	52538.26	18726.59	0.04309	2078.73	0.08996
93	San Miguel 2	R300	31202.23	15776.01	0.09259	13676.87	0.04051



**Cuadro 21: Características físicas de las Sub-Cuencas del río Chicama**

<i>DrainID</i>	<i>SUBCUENCAS</i>	<i>RÍOS</i>	<i>RivLen (m)</i>	<i>River S (m/m)</i>	<i>L (m)</i>	<i>Lc (m)</i>	<i>S (m/m)</i>
141	Alto Chicama1	R450	25842.19	0.018729	41367.51	17685.46	0.084148
154	Alto Chicama2	R610	1604.21	0.007480	54137.58	23130.77	0.055470
106	Chuquillanqui1	R400	10666.94	0.021749	18334.61	8535.99	0.101338
88	Chuquillanqui2	R20	4714.75	0.065751	31452.82	15308.78	0.100436
109	Chuquillanqui3	R60	6545.94	0.108006	44869.79	21305.60	0.071919
121	Medio Alto Chicama	R350	18166.56	0.009303	39670.08	13646.44	0.091933
119	Medio Chicama	R440	19240.05	0.008316	24127.50	11297.70	0.064574
84	Ochape	R230	17938.22	0.073140	32729.68	17129.53	0.111611
130	Qirripano	R520	8242.80	0.005338	41950.58	18600.77	0.094349
99	Santanero	R70	5159.40	0.062023	40173.43	17612.56	0.069922

**Cuadro 22: Características físicas de las Sub-Cuencas del río Moche**

<i>DrainID</i>	<i>SUBCUENCAS</i>	<i>RÍOS</i>	<i>RivLen (m)</i>	<i>River S (m)</i>	<i>L (m)</i>	<i>Lc (m)</i>	<i>S (m/m)</i>
46	Medio Alto Moche	R110	11484.94	0.02830	29560.21	13442.20	0.050000
48	Otuzco	R40	3868.24	0.04783	26824.95	9144.14	0.050000
54	Catuay	R300	13381.64	0.04260	22961.92	10365.12	0.080000
55	Motil	R200	17580.20	0.03493	26470.22	13186.45	0.040000
56	La Costa	R20	921.90	0.09871	40926.71	19817.66	0.090000
59	Medio	R280	36870.43	0.05842	51734.56	23210.82	0.070000
70	Alto Moche	R160	7443.99	0.02566	38590.58	17908.44	0.030000
109	Medio Bajo Moche	R310	2144.24	0.02378	5587.59	2814.73	0.070000
112	Bajo Moche	R370	9112.35	-0.24198	20186.35	7379.30	0.110000

**Cuadro 23: Características físicas de las Sub-Cuencas del río Santa**

<i>DrainID</i>	<i>SUNCUENCAS</i>	<i>RÍOS</i>	<i>L (m)</i>	<i>Lc (m)</i>	<i>S (m/m)</i>	<i>RivLen (m)</i>
124	W1240	R60	37130.01	20881.27	0.05667	11470.40
128	W1280	R80	39903.65	14931.01	0.07365	11154.06
132	W1320	R20	52475.80	26726.27	0.05174	6070.05
139	W1390	R210	35113.51	16343.32	0.09535	22132.12
145	W1450	R280	57229.16	23941.62	0.06809	26816.43
148	W1480	R360	55718.17	27240.53	0.07089	24296.11
149	W1490	R400	52715.95	25834.80	0.07408	4404.99
150	W1500	R300	56290.57	24268.41	0.06934	8817.92
159	W1590	R540	47914.81	25425.24	0.07046	42292.13
161	W1610	R450	48256.36	21887.31	0.08262	38157.16



172	W1720	R490	73406.69	31163.66	0.06408	33492.60
183	W1830	R770	52845.06	23532.39	0.04133	35414.52
194	W1940	R690	44082.45	14886.05	0.07715	26388.81
202	W2020	R920	58898.09	18647.10	0.06029	13762.94
208	W2080	R800	52259.26	25767.36	0.08563	35684.54
216	W2160	R960	61086.73	18279.77	0.05707	27333.99
227	W2270	R1020	50401.73	16199.68	0.05049	33549.61
230	W2300	R1110	31806.98	22073.18	0.06568	9089.87
235	W2350	R1140	79921.07	29732.35	0.02441	9998.59

### 6.2.3 Modelo precipitación-escorrentía

#### Modelación de cuencas grandes

La modelación hidrológica de cuencas grandes, mayores a 1000 millas cuadradas (2589 km<sup>2</sup>), son comúnmente desarrollados con métodos determinísticos. Estos métodos dependen principalmente de los principios físicos, útiles para diseñar las diferentes interrelaciones hidrológicas que permiten determinar los hidrogramas de avenida.

En estas cuencas, la estimación de las abstracciones hidrológicas son complicadas debido al rango de condiciones anteriores de humedad, así mismo la selección de los parámetros que gobiernan el tránsito en los cauces y la distribución espacial y temporal de la tormentas que producirán el pico máximo de la avenida son grandemente complicados y requieren de una estimación cuidadosa.

El desarrollo del método determinístico ha dado grandes avances, apoyado en el desarrollo de la computación y los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

#### Modelación hidrológica - Hec Hms

HEC-HMS es un modelo hidrológico desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC), del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos, que simula el proceso de precipitación - escorrentía.



HEC-HMS dispone de las siguientes opciones para esta simulación:

Varias alternativas para la determinación de las abstracciones.

Métodos agregados o lineales de transformación de la escorrentía distribuida.

Opciones de tránsito hidrológico

Un sistema de optimización de parámetros.

### **Determinación de abstracciones**

Las abstracciones se refieren a la cantidad de lluvia infiltrada en la tierra. HEC-HMS emplea los métodos más comunes para calcular las pérdidas o abstracciones (como el initial/constant, C N de SCS, C N gridded SCS y el Green y Ampt) y provee una opción de abatimiento de la humedad para simular en los períodos de tiempo extendidos.

El método que mejor se ajusta para el presente trabajo es el SCS (Soil conservation Service), en base a la curva numero característico, calculado a partir la cobertura de la cuenca.

Los valores de Numero de Curva de las subcuencas fueron calculadas a partir de los planos de cobertura vegetal, mapa de uso de suelo y el mapa de pendientes (ver Figura No 25) el valor final resulta de la ponderación de los valores individuales distribuidos espacialmente asignados según la tabla de Ven Te Chow.

Los datos de vegetación se obtuvieron a partir de la imagen Landsat TM, los datos de uso de suelo fueron reunidos desde las publicaciones existentes y el plano de pendientes se desarrolló a partir del modelo de elevación digital (DEM).





### **Transformación de escorrentía (Runoff Transformation)**

Este módulo convierte el exceso de precipitación en la subcuenca a escorrentía directa en la salida. Tiene disponible los métodos agregados y distribuidos. En el método agregado, la escorrentía es determinada usando hidrogramas unitarios tales como: Clark, Snyder o SCS o métodos de onda cinemática.

En las cuencas estudiadas se emplea el método del Hidrograma Unitario de Snyder, es un hidrograma que toma en cuenta las características del cauce y de la subcuenca, como parámetros de cálculo del hidrograma, lo cual hace que sea más representativa.

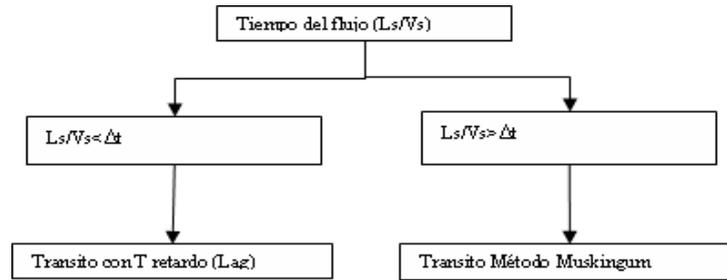
### **Tránsito en cauces (Channel Routing)**

El tránsito en cauces permite la conocer el movimiento del flujo en el tramo del cauce desde las salidas de la subcuenca hasta la salida de la cuenca. Las opciones para el tránsito son: Muskingum, el Pulso Modificado, la Onda Cinemática y el métodos de Muskingum-Cunge.

La selección de la técnica a emplearse se basa en el tiempo de flujo del cauce y el delta de tiempo empleado para la simulación. Si el tiempo de traslado del flujo en el cauce es menor al delta de tiempo analizado ( $\Delta t$ ) el tránsito en el canal se desarrolla con el método de desfase puro (pure lag), en caso contrario el tránsito se desarrolla con el método Muskingum, (ver Figura No 25).



**Figura 25:** Elección del método de tránsito



En la simulación de las cuencas del Norte se han empleado un  $\Delta T$  igual a 30 min, debido a que este es menor al valor más pequeño del tiempo de concentración, requisito necesario para la estabilidad del modelo. Evaluada con ello la condición del tránsito según la Figura 26,  $Ls/Vs$  siempre resulta mayor, por lo cual el tránsito en los cauces será desarrollado con el método de Muskingum, empleando las siguientes ecuaciones:

$$O_2 = C_1 I_2 + C_2 I_1 + C_3 O_1$$

Donde, I y O son los caudales de ingreso y salida al inicio y final del intervalo de tiempo, x y K son parámetros de Muskingum.

x es un factor de ponderación que varía entre 0.0 a 1.0

K representa el tiempo de viaje en el cauce.

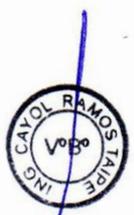
$\Delta t$  es el intervalo de tiempo de análisis y las constantes C1, C2 y C3 se encuentran con:

$$C_1 = \frac{0.5\Delta t - Kx}{K - Kx + 0.5\Delta t}$$

$$C_2 = \frac{0.5\Delta t + Kx}{K - Kx + 0.5\Delta t}$$

$$C_3 = \frac{K - Kx - 0.5\Delta t}{K - Kx + 0.5\Delta t}$$

$$C_1 + C_2 + C_3 = 1$$



Cuando uno de los canales es determinado largo, este se sub-divide en varios sub tramos en

base a la ecuación  $n = \text{int} \left[ \frac{L}{3\Delta t V} \right] + 1$  (Olivera 1998)

Donde n es el número de subtramos, L es la longitud del cauce,  $\Delta t$  es el intervalo de tiempo de análisis, V es la velocidad promedio del flujo en el cauce.

Esta subdivisión de cauces es recomendable para los cauces largos donde se quiere evitar la inestabilidad numérica. Aquí los cauces largos se refieren a esos donde falla la condición:

$$K/3 < \Delta t < K .$$

#### 6.2.4 Modelamiento hidrológico en año Niño

En períodos Niño se presenta tormentas de alta intensidad y corta duración, lluvias intensas que cubre áreas locales ubicadas en la zona baja de la cuenca, aproximadamente hasta la cota 800-1000, considerando el análisis de las Figuras 14 - 18.

La precipitación orográfica, producido por las masa de humedad trasportadas de la Amazonía se presentan principalmente como tormentas menos intensas pero duración más prolongada cubriendo gran parte de la cuenca.

Se plantea construir el modelo en HMS, que permite calcular el hidrograma característico máximo en la estación El Tigre en Tumbes y en Poechos para Chira, usando eventos de precipitación máxima extraordinaria ocurrida en la zona de influencia durante el Fenómeno El Niño.

Por el tamaño de la cuenca, la selección de la distribución espacial y temporal es crítica y estará en función del tipo de tormenta.



### 6.2.5 Modelamiento hidrológico de la Cuenca Tumbes - Hec HMS

En la simulación con el Sistema de Modelamiento Hidrológico (HEC HMS) de la cuenca del río Tumbes se determinó el modelo de cuenca, el modelo meteorológico y el control de simulación.

#### a. Modelo de cuenca

El área total de la cuenca es subdividido en: subcuencas desde la parte superior hasta la estación de aforo Puente Tumbes, como se muestra en la Figura No 26.

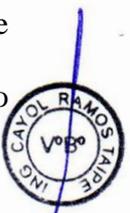
El área de proyecto completo y la red de ríos asociados, fueron configuradas en 11 unidades vertientes o subcuencas y 11 tramos de cauce. A cada tramo se le proporcionó números topológicos de tres dígitos acompañado por la letra R y a las subcuencas un nombre compuesto por números y letras asociados la cuenca (W) en forma secuencial.

Los parámetros de ingreso se encuentran detallados en los Cuadros No 24 – 27, para las subcuencas y la interconexión de cauces.

El cuadro No 24, presenta información de los parámetros de cálculo de la abstracción en la cuenca a través del método de SCS, la misma que se encuentra en función del número de curva (CN), el almacenamiento potencial (S) y la abstracción inicial (Ia).

El cuadro No 25 resume el cálculo de los parámetros de transformación de la precipitación en esorrentía a nivel de subcuencas, aplicando el método del Hidrograma de Snyder. Donde L es la longitud de cauce más largo, Lc es la longitud al centroide a través del cauce y Ct, Cp y Tp son parámetros de forma del hidrograma de Snyder.

El cuadro No 26, presenta el cálculo de los parámetros de caudal base aplicando el método de recesión, teniendo como tasa de decaimiento (k) y el valor límite de rendimiento como flujo base, representado como el punto de inflexión (Treshold Q).



El cuadro No 27, muestra los parámetros calculados para efectuar el tránsito de las ondas formadas en las subcuencas a través de los cauces hasta llegar a la salida de la cuenca. El método seleccionado es el método de Muskingum.

**Cuadro 24:** Parámetros de pérdida en las subcuencas

Cuenca	AREA	CN	S (pulg)	S (mm)	la
W400	528.48	79.56	2.56913022	65.26	13.051
W410	660.87	75.72	3.20606909	81.43	16.287
W430	535.82	79.56	2.56913022	65.26	13.051
W440	371.07	78.54	2.73236567	69.40	13.880
W520	709.18	79.56	2.56913022	65.26	13.051
W550	510.02	80.58	2.4100273	61.21	12.243
W580	433.19	79.87	2.52017313	64.01	12.802
W640	257.14	79.33	2.60630265	66.20	13.240
W650	301.36	79.56	2.56913022	65.26	13.051
W660	698.34	78.56	2.72839838	69.30	13.860
W1490	354.68	66.22	5.1001472	129.54	25.909

**Cuadro 25:** Parámetros de las subcuencas e hidrograma Snyder

Codigo	Parametros de subcuenca				Parametros Hidrograma Snyder		
	L (ft)	L (milla)	Lc (ft)	Lc (milla)	Ct	Tp (hr)	Cp
W400	133257.7	25.2	60090.0	11.4	2	10.927	0.6
W410	192030.1	36.4	94252.3	17.9	2	13.956	0.6
W430	135396.4	25.6	64534.7	12.2	2	11.217	0.6
W440	136642.9	25.9	30474.5	5.8	2	8.981	0.6
W520	135373.0	25.6	48765.0	9.2	2	10.312	0.6
W550	144757.1	27.4	44183.6	8.4	2	10.215	0.6
W580	167486.1	31.7	75753.5	14.3	2	12.545	0.6
W640	89432.9	16.9	24212.1	4.6	2	7.381	0.6
W650	117930.6	22.3	49543.9	9.4	2	9.941	0.6
W660	269802.7	51.1	100399.9	19.0	2	15.750	0.6
W1490	142644.4	27.0	54894.3	10.4	2	10.854	0.6



**Cuadro 26: Cálculo de flujo de base**

Cuenca NAME	Flujo inicial (Q inicial)	K (Coef. Recesion)	Q inflexión (Threshold Q)
W400	8.08	0.85	11.83
W410	10.11	0.85	14.80
W430	8.20	0.85	12.00
W440	5.68	0.85	8.31
W520	10.85	0.85	15.88
W550	7.80	0.85	11.42
W580	6.63	0.85	9.70
W640	3.93	0.85	5.76
W650	4.61	0.85	6.75
W660	10.68	0.85	15.63
W1490	5.43	0.85	7.94

**Cuadro 27: Cálculo de parámetros de Muskingum**

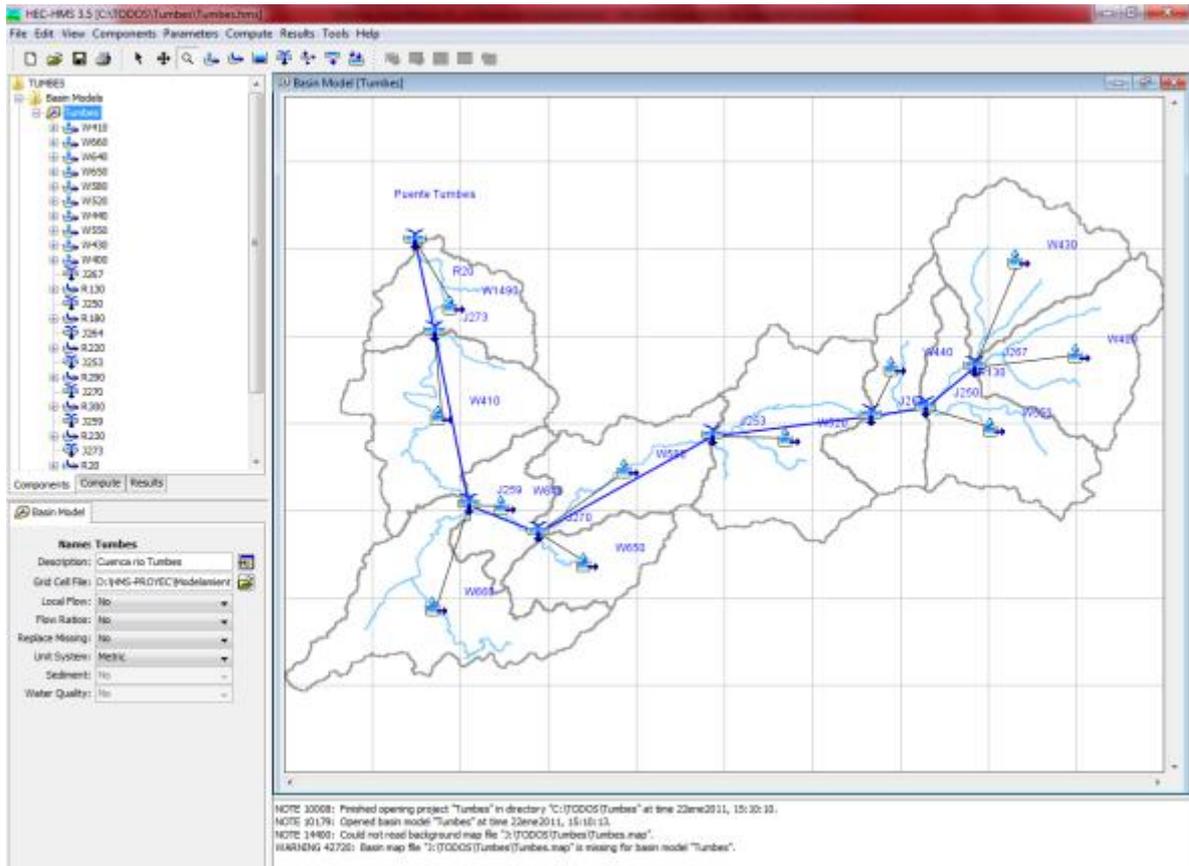
Cauce	Velocidad (m/s)	Longitud (m)	Ls/Vs	$\Delta T$ (seg)	Método de tránsito	Parámetros de Muskingum		
						n (sub tramos)	Ks	X
R70	1.00	20993.11	20993.11	900	Muskingum	8	5.8314	0.2
R230	1.00	55953.10	55953.1	900	Muskingum	21	15.5425	0.2
R50	1.00	19350.53	19350.53	900	Muskingum	8	5.3751	0.2
R180	1.00	10554.53	10554.53	900	Muskingum	4	2.9318	0.2
R220	1.00	32695.95	32695.95	900	Muskingum	13	9.0822	0.2
R130	1.00	12750.32	12750.32	900	Muskingum	5	3.5418	0.2
R290	1.00	41177.54	41177.54	900	Muskingum	16	11.4382	0.2
R300	1.00	14149.46	14149.46	900	Muskingum	6	3.9304	0.2
R310	1.00	15605.94	15605.94	900	Muskingum	6	4.3350	0.2
R320	1.00	20886.49	20886.49	900	Muskingum	8	5.8018	0.2
R20	1.00	23584.74	23584.74	900	Muskingum	9	6.5513	0.2

La delimitación de la cuenca aportantes hasta la estación Puente Tumbes y las subcuencas integrantes se desarrolló aplicando el Geo HMS.

Los nombres de las subcuencas y los cauces lo genera automáticamente el geo HMS, así como las características físicas de la cuenca y los cauces, sin embargo se tomó en cuenta los límites de las subcuencas previamente delimitadas según la metodología de Pfafstetter.



**Figura 26:** Modelo de cuenca e interconexión de subcuencas - Tumbes



**b. Modelo meteorológico**

El modelo meteorológico se construyó con la información de las isoyetas de precipitación para diferentes periodos de retorno, interpolando el valor para el centroide de la subcuenca.

**Cuadro 28:** Lámina de precipitación máxima calculado para cada subcuenca

Subcuencas	PP_Medio	PP_25	PP_50	PP_75	PP_100	PP_200
W400	701.15	114.27	123.73	133.31	138.86	150.39
W410	645.29	124.44	139.83	148.52	154.96	170.17
W430	619.04	116.56	126.13	136.95	143.14	155.92
W440	673.92	119.28	129.03	138.33	144.07	155.62
W520	680.10	124.32	136.30	145.92	151.37	162.39
W550	725.42	116.36	126.22	135.19	140.61	151.70
W580	703.22	133.62	148.23	156.50	162.43	176.48
W640	706.97	135.01	150.64	159.32	165.81	180.98
W650	666.30	135.52	151.08	159.39	165.67	180.36
W660	611.23	128.40	144.22	153.31	159.93	175.61
W1490	540.59	122.24	138.84	148.21	155.13	171.54

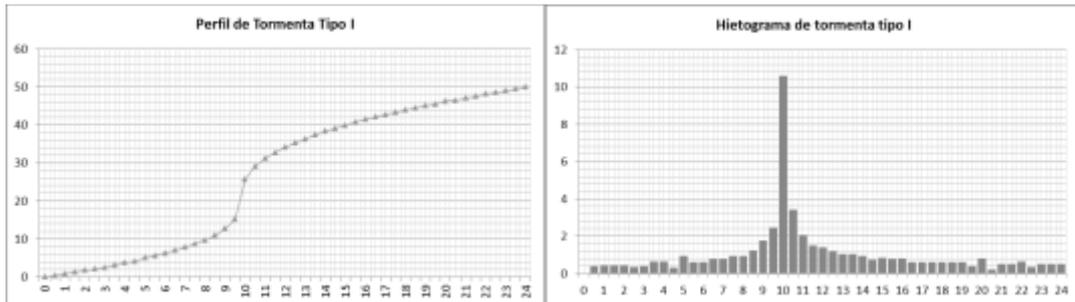
Cada valor de lámina de precipitación máxima mostrada en el cuadro No 27, fue transformado



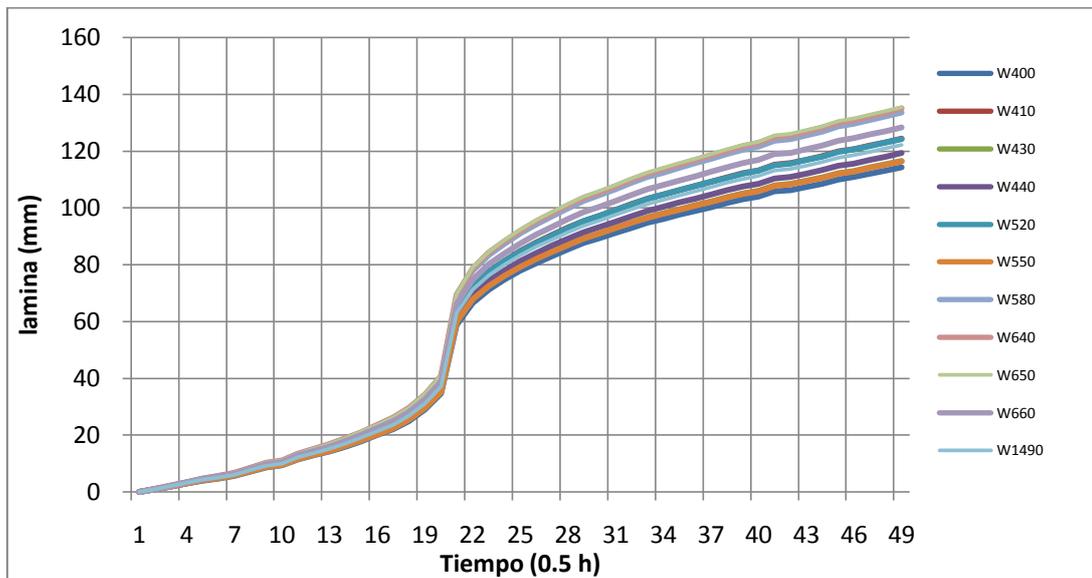
a perfiles de tormenta (hietograma) usando los perfiles de tormenta de la SCS tipo I, por ausencia de perfiles de tormenta en la zona.

Normalmente la duración de las tormentas en los andes peruanos tienen una duración variable entre 8 horas y 14 horas. Si analizamos la tormenta tipo I de SCS, notaremos que la duración de la precipitaciones más intensas se encuentran entre las 8 – 15h, (ver Figura 27) un lapso de 7 horas, que podría ser coincidente con las duraciones antes señaladas.

**Figura 27:** Perfil de la tormenta máxima de SCS tipo I



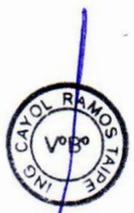
**Figura 28:** Perfil de la tormenta máxima para 25 TR y para las subcuencas - Tumbes



### c. Modelo de control

El periodo de simulación es variable, se encuentra en el rango de 24 horas a 7 días, dependiendo del tamaño de la subcuenca.

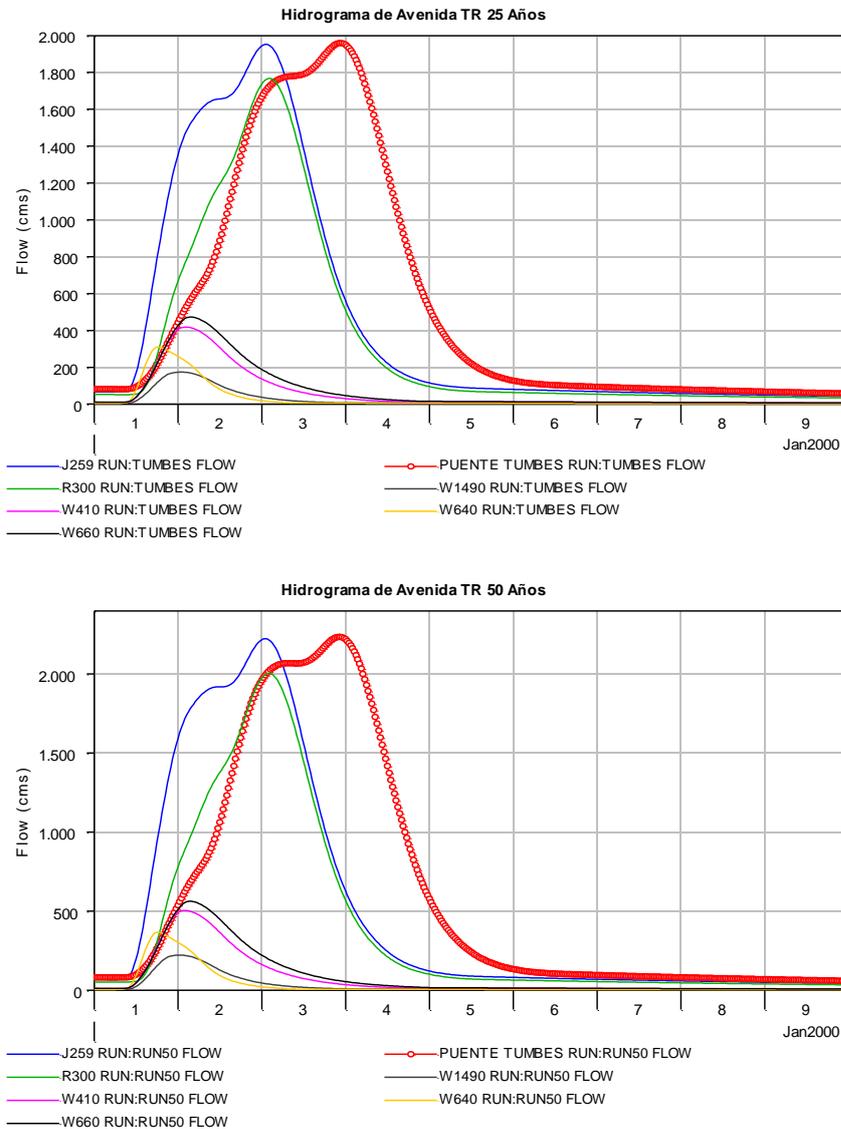
### d. Hidrogramas resultantes

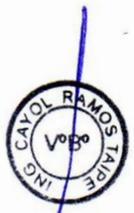
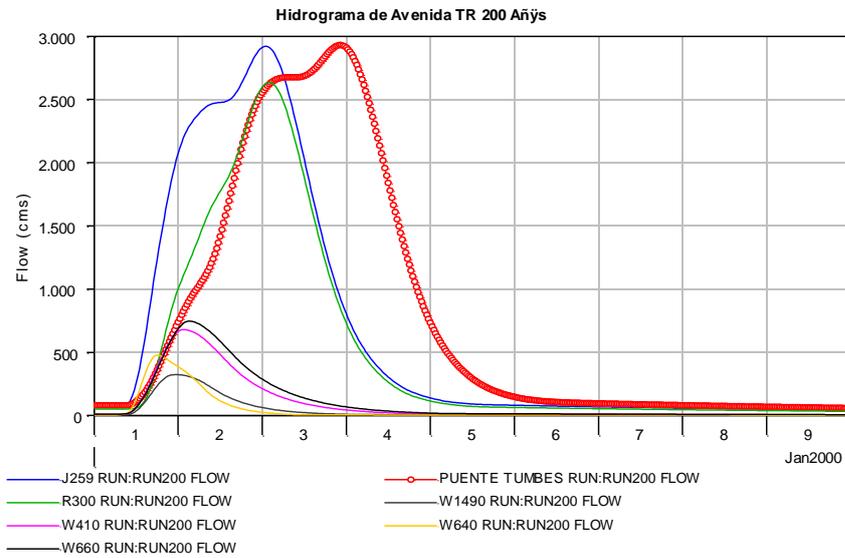
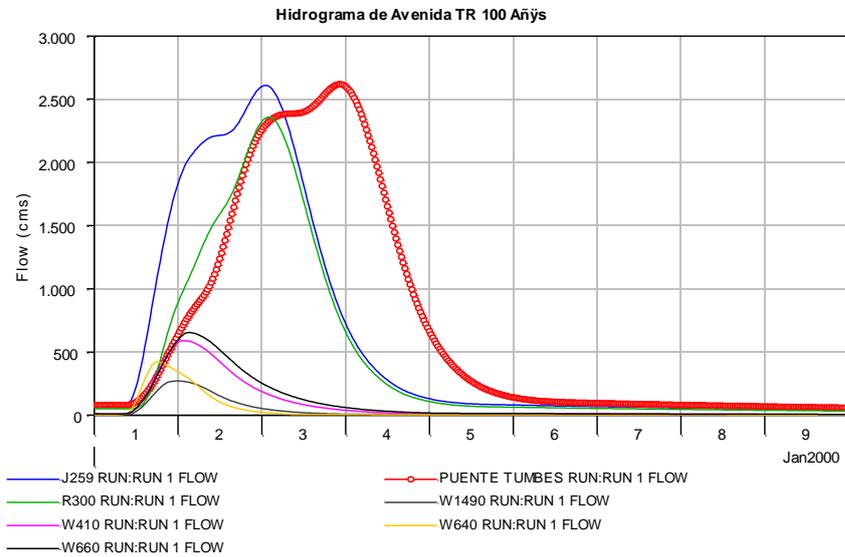
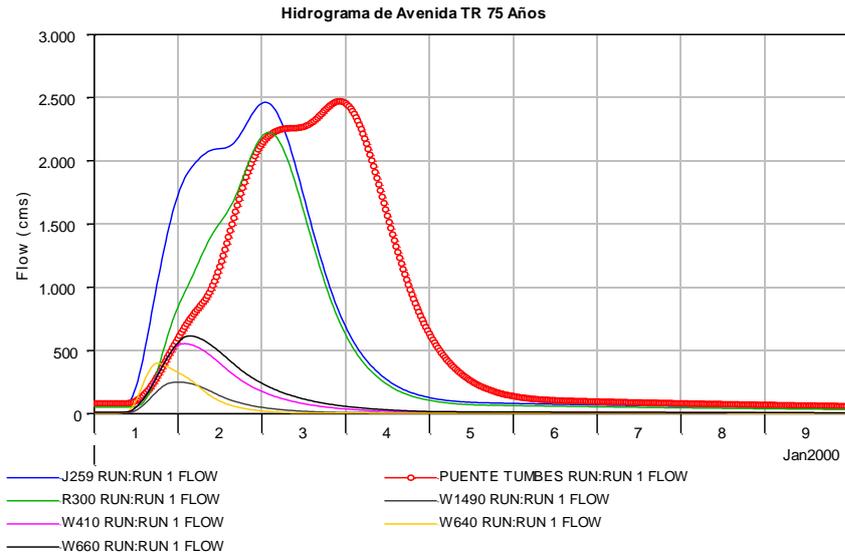


Los hidrogramas de avenida fueron calculados para períodos de retorno de 25, 50, 75, 100 y 200 años, y son presentados en las Figura 29. Así mismo se presentan los caudales máximos del hidrograma en el Cuadro 29.

El hidrograma total es acompañado por los hidrogramas parciales o de las subcuencas. En el caso del Tumbes, el hidrograma total se obtiene en la estación el Tigre y el registrado en la estación Puente Tumbes es básicamente el hidrograma transitado, no existe aporte importante entre estos dos puntos, como puede apreciarse en J259 y Puente Tumbes Run.

**Figura 29:** Hidrograma de avenida para 25, 50, 75, 100 y 200 años de período de retorno y por subcuencas - Tumbes





**Cuadro 29: Caudales máximos simulados para diferentes períodos de retorno – cuenca Tumbes**

Cuenca	Subcuencas	CODIGO	Área	Q25	Q50	Q75	Q100	Q200
RÍO TUMBES	Alto Tumbes	Alto Tumbes	3646.26	2077.0	2370.9	2623.7	2780.7	3115.6
	Tumbes 1	W660	698.34	472.5	562.5	615.2	653.8	746.9
	Tumbes Bajo 1	W410	660.87	418.2	503.8	553.3	590.4	679.6
	Tumbes Bajo 2	W1490	354.68	173.7	221.3	249.6	271.0	323.6
	<b>Cuenca Río Tumbes</b>			5360.15	1959.6	2235.5	2471.6	2618

### 6.2.6 Modelamiento hidrológico de la Cuenca Chira - Hec HMS

En la simulación de la cuenca del río Chira con el Sistema de Modelamiento Hidrológico (HEC HMS) se emplearon los siguientes pasos.

#### a. Modelo de cuenca

La cuenca fue subdividida en subcuencas desde la parte superior hasta la estación de aforo Ardilla. Ver Figura No 30.

Los parámetros fueron calculados para todas las subcuencas y la interconexión de cauces y se encuentran detallados en los Cuadros No 30 – 33.

**Cuadro 30: Parámetros de pérdida en las subcuencas**

Cuenca	CN	S (pulg)	S (mm)	la
W970	76.00	3.157894737	80.21	16.04
W990	78.00	2.820512821	71.64	14.33
W1020	79.00	2.658227848	67.52	13.50
W1030	78.00	2.820512821	71.64	14.33
W1040	78.00	2.820512821	71.64	14.33
W1140	68.00	4.705882353	119.53	23.91
W1150	68.00	4.705882353	119.53	23.91
W1220	77.88	2.840596831	72.15	14.43
W1230	78.00	2.820512821	71.64	14.33
W1240	60.00	6.666666667	169.33	33.87
W1250	61.00	6.393442623	162.39	32.48
W1260	76.00	3.157894737	80.21	16.04
W1360	77.21	2.951019245	74.96	14.99
W1370	81.15	2.323314479	59.01	11.80
W1470	52.00	9.230769231	234.46	46.89
W1490	77.10	2.970505071	75.45	15.09



W1520	70.78	4.128085221	104.85	20.97
W1560	78.73	2.701961183	68.63	13.73
W1580	82.00	2.195121951	55.76	11.15
W1590	48.00	10.833333333	275.17	55.03
W1680	51.00	9.607843137	244.04	48.81
W1690	63.00	5.873015873	149.17	29.83
W1700	48.00	10.833333333	275.17	55.03
W1740	45.61	11.9259779	302.92	60.58
W1810	80.87	2.365066215	60.07	12.01
W5060	73.92	3.528138528	89.61	17.92
W5080	83.05	2.040359284	51.83	10.37

**Cuadro 31:** Parámetros de las subcuencas e hidrograma Snyder

Código	Parámetros de subcuenca				Parámetros Hidrograma Snyder		
	L (ft)	L (milla)	Lc (ft)	Lc (milla)	Ct	Tp (hr)	Cp
W970	84933.2	16.1	59992.0	11.4	2	9.541	0.6
W990	93767.7	17.8	49059.4	9.3	2	9.253	0.6
W1020	125554.8	23.8	38229.3	7.2	2	9.372	0.6
W1030	115901.1	22.0	60067.1	11.4	2	10.478	0.6
W1040	93626.5	17.7	208173.5	39.4	2	14.269	0.6
W1140	89425.5	16.9	52329.5	9.9	2	9.301	0.6
W1150	94931.5	18.0	59364.3	11.2	2	9.834	0.6
W1220	183249.1	34.7	120410.6	22.8	2	14.810	0.6
W1230	95198.6	18.0	51009.2	9.7	2	9.404	0.6
W1240	60638.7	11.5	93176.9	17.6	2	9.842	0.6
W1250	34455.5	6.5	47276.9	9.0	2	6.777	0.6
W1260	41614.4	7.9	54290.1	10.3	2	7.475	0.6
W1360	120104.7	22.7	79022.6	15.0	2	11.499	0.6
W1370	111632.7	21.1	47758.9	9.0	2	9.672	0.6
W1470	46612.3	8.8	40556.8	7.7	2	7.086	0.6
W1490	130639.8	24.7	79504.7	15.1	2	11.814	0.6
W1520	31965.2	6.1	29233.8	5.5	2	5.736	0.6
W1560	119566.8	22.6	70874.3	13.4	2	11.114	0.6
W1580	59874.3	11.3	77785.1	14.7	2	9.287	0.6
W1590	87697.0	16.6	85905.0	16.3	2	10.729	0.6
W1680	97750.0	18.5	50850.9	9.6	2	9.471	0.6
W1690	16423.3	3.1	142377.5	27.0	2	7.553	0.6
W1700	90832.2	17.2	48123.4	9.1	2	9.112	0.6
W1740	112212.7	21.3	55913.4	10.6	2	10.156	0.6
W1810	108058.6	20.5	79159.4	15.0	2	11.145	0.6
W5060	65613.1	12.4	62866.4	11.9	2	8.955	0.6
W5080	35508.7	6.7	50358.1	9.5	2	6.969	0.6



**Cuadro 32:** Cálculo de flujo de base

<b>Cuenca NAME</b>	<b>AREA</b>	<b>Flujo inicial (Q inicial)</b>	<b>K (Coef. Recesión)</b>	<b>Q inflexión (Threshold Q)</b>
W970	485.20	3.140641310	0.85	4.082833703
W990	715.53	4.631539729	0.85	6.021001647
W1020	803.59	5.201541529	0.85	6.762003988
W1030	522.35	3.381108797	0.85	4.395441436
W1040	819.54	5.304783963	0.85	6.896219152
W1140	189.45	1.226287090	0.85	1.594173217
W1150	688.33	4.455477396	0.85	5.792120615
W1220	805.39	5.213192713	0.85	6.777150527
W1230	805.39	5.213192713	0.85	6.777150527
W1240	378.08	2.447266419	0.85	3.181446344
W1250	665.40	4.307054261	0.85	5.599170539
W1260	788.20	5.101923908	0.85	6.632501081
W1360	345.12	2.233920298	0.85	2.904096388
W1370	613.08	3.968393187	0.85	5.158911143
W1470	238.41	1.543199288	0.85	2.006159075
W1490	300.85	1.947365907	0.85	2.531575679
W1520	71.44	0.462448429	0.85	0.601182958
W1560	553.68	3.583904123	0.85	4.659075359
W1580	704.49	4.560079135	0.85	5.928102875
W1590	551.62	3.570569990	0.85	4.641740987
W1680	260.14	1.683854968	0.85	2.189011458
W1690	911.72	5.901454029	0.85	7.671890238
W1700	431.32	2.791882543	0.85	3.629447305
W1740	499.42	3.232685661	0.85	4.202491360
W1810	875.83	5.669142371	0.85	7.369885082
W5060	1075.70	6.962876869	0.85	9.051739930
W5080	349.80	2.264213376	0.85	2.943477389

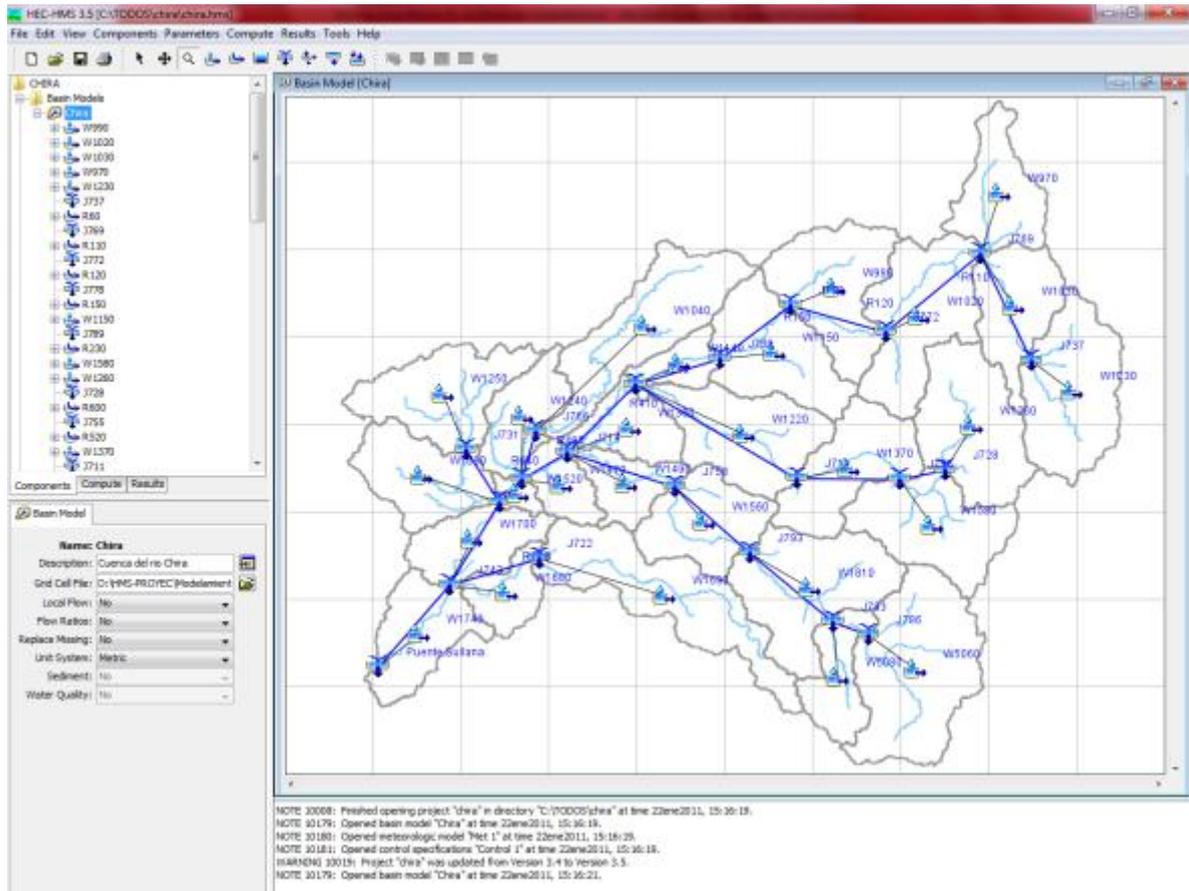


**Cuadro 33:** Cálculo de parámetros de Muskingum

Cauce	Velocidad (m/s)	Longitud (m)	Ls/Vs	$\Delta T$ (seg)	Método de tránsito	Parámetros de Muskingum		
						n (subtramos)	Ks	X
R20	1.00	25887.95	25887.95015	900	Muskingum	10	7.1911	0.2
R120	1.00	28580.74	28580.74075	900	Muskingum	11	7.9391	0.2
R110	1.00	38269.57	38269.57387	900	Muskingum	15	10.6304	0.2
R60	1.00	35327.09	35327.08517	900	Muskingum	14	9.8131	0.2
R100	1.00	28537.71	28537.70549	900	Muskingum	11	7.9271	0.2
R230	1.00	27257.23	27257.22684	900	Muskingum	11	7.5715	0.2
R150	1.00	28935.46	28935.46494	900	Muskingum	11	8.0376	0.2
R280	1.00	55854.99	55854.99451	900	Muskingum	21	15.5153	0.2
R350	1.00	29016.88	29016.8793	900	Muskingum	11	8.0602	0.2
R490	1.00	18482.91	18482.9072	900	Muskingum	7	5.1341	0.2
R240	1.00	10502.18	10502.17781	900	Muskingum	4	2.9173	0.2
R260	1.00	12684.23	12684.2343	900	Muskingum	5	3.5234	0.2
R410	1.00	36608.36	36608.36269	900	Muskingum	14	10.1690	0.2
R520	1.00	34026.05	34026.05322	900	Muskingum	13	9.4517	0.2
R500	1.00	14207.59	14207.59226	900	Muskingum	6	3.9466	0.2
R540	1.00	39819.51	39819.50506	900	Muskingum	15	11.0610	0.2
R650	1.00	9743.11	9743.10936	900	Muskingum	4	2.7064	0.2
R710	1.00	36444.40	36444.4042	900	Muskingum	14	10.1234	0.2
R600	1.00	18249.91	18249.90511	900	Muskingum	7	5.0694	0.2
R640	1.00	26730.36	26730.36161	900	Muskingum	10	7.4251	0.2
R770	1.00	29794.57	29794.57241	900	Muskingum	12	8.2763	0.2
R730	1.00	5005.88	5005.881514	900	Muskingum	2	1.3905	0.2
R760	1.00	27685.98	27685.9817	900	Muskingum	11	7.6906	0.2
R920	1.00	34202.85	34202.85042	900	Muskingum	13	9.5008	0.2
R810	1.00	32936.67	32936.67117	900	Muskingum	13	9.1491	0.2
R880	1.00	19999.12	19999.11546	900	Muskingum	8	5.5553	0.2
R870	1.00	10823.18	10823.17907	900	Muskingum	5	3.0064	0.2



**Figura 30:** Modelo de cuenca e interconexión de subcuencas - Chira



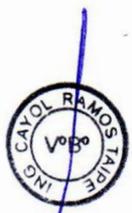
Para la delimitación de la cuenca aportante y las subcuencas integrantes se desarrolló aplicando el Geo HMS, para exportar directamente al HMS.

**b. Modelo meteorológico**

El modelo meteorológico se construyó con la información de las isoyetas de precipitación para diferentes períodos de retorno, interpolando el valor para el centroide de la subcuenca

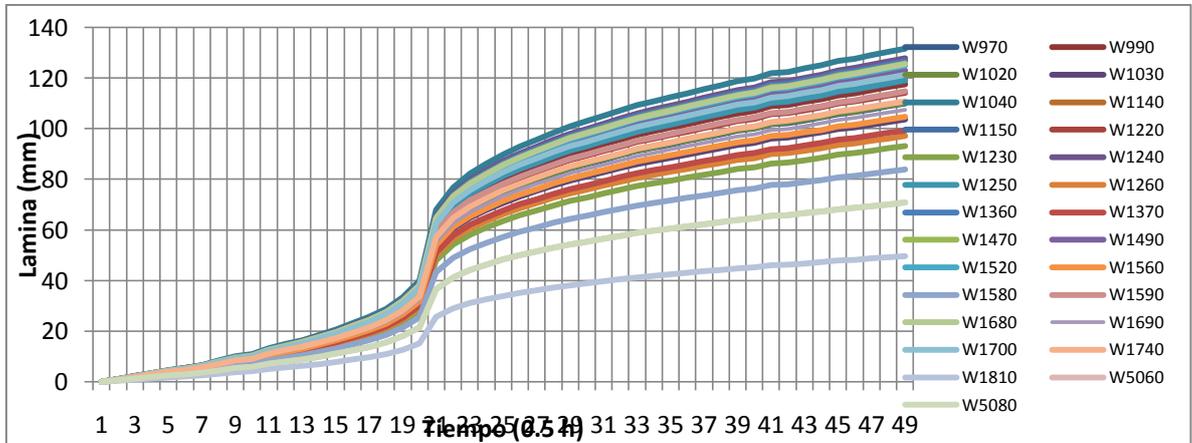
**Cuadro 34:** Lámina de precipitación máxima calculado para cada subcuenca

<i>Cuencas</i>	<i>PP_medio</i>	<i>PP_25</i>	<i>PP_50</i>	<i>PP_75</i>	<i>PP_100</i>	<i>PP_200</i>
W970	772.16	109.93	120.39	127.97	132.73	143.47
W990	787.16	117.58	129.12	136.40	141.16	152.09
W1020	851.67	110.23	121.25	127.58	132.11	142.91
W1030	855.46	103.70	114.02	119.87	124.11	134.47
W1040	609.20	131.67	146.83	154.76	160.72	174.67
W1140	569.61	127.02	141.72	149.29	155.05	168.36
W1150	732.22	119.01	131.80	138.38	143.37	154.73
W1220	591.47	114.19	127.62	134.67	139.95	152.11



W1230	888.26	93.14	102.29	107.20	110.89	120.16
W1240	451.98	127.81	145.50	155.81	163.38	181.64
W1250	465.65	119.17	135.58	145.12	152.11	168.87
W1260	856.03	97.14	107.12	112.46	116.51	126.54
W1360	415.26	126.60	143.16	152.41	159.25	175.44
W1370	935.05	99.32	109.80	115.48	119.78	130.12
W1470	366.96	125.74	145.37	157.09	165.83	187.53
W1490	352.26	123.05	141.33	152.07	160.03	179.44
W1520	367.07	124.83	145.12	157.32	166.48	189.50
W1560	417.00	104.80	121.10	130.81	137.99	155.51
W1580	781.37	83.92	92.25	97.06	100.56	108.88
W1590	369.08	114.73	132.36	142.69	150.39	169.44
W1680	352.18	125.44	151.16	167.34	180.00	213.72
W1690	564.27	107.47	129.99	144.23	155.22	183.98
W1700	346.78	121.36	142.98	156.12	166.18	192.16
W1740	282.38	110.91	132.67	146.28	156.89	185.07
W1810	556.30	49.70	53.74	56.08	57.79	61.72
W5060	895.32	70.82	76.47	79.73	82.08	87.47
W5080	697.34	72.09	79.30	83.51	86.59	93.94

**Figura 31:** Perfil de la tormenta máxima para 50 TR y para las subcuencas - Chira

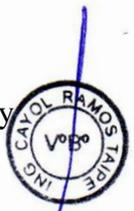


### c. Modelo de control

El período de simulación es variable, se encuentra en el rango de 24 horas a 7 días, dependiendo del tamaño de la subcuenca.

### d. Hidrogramas resultantes

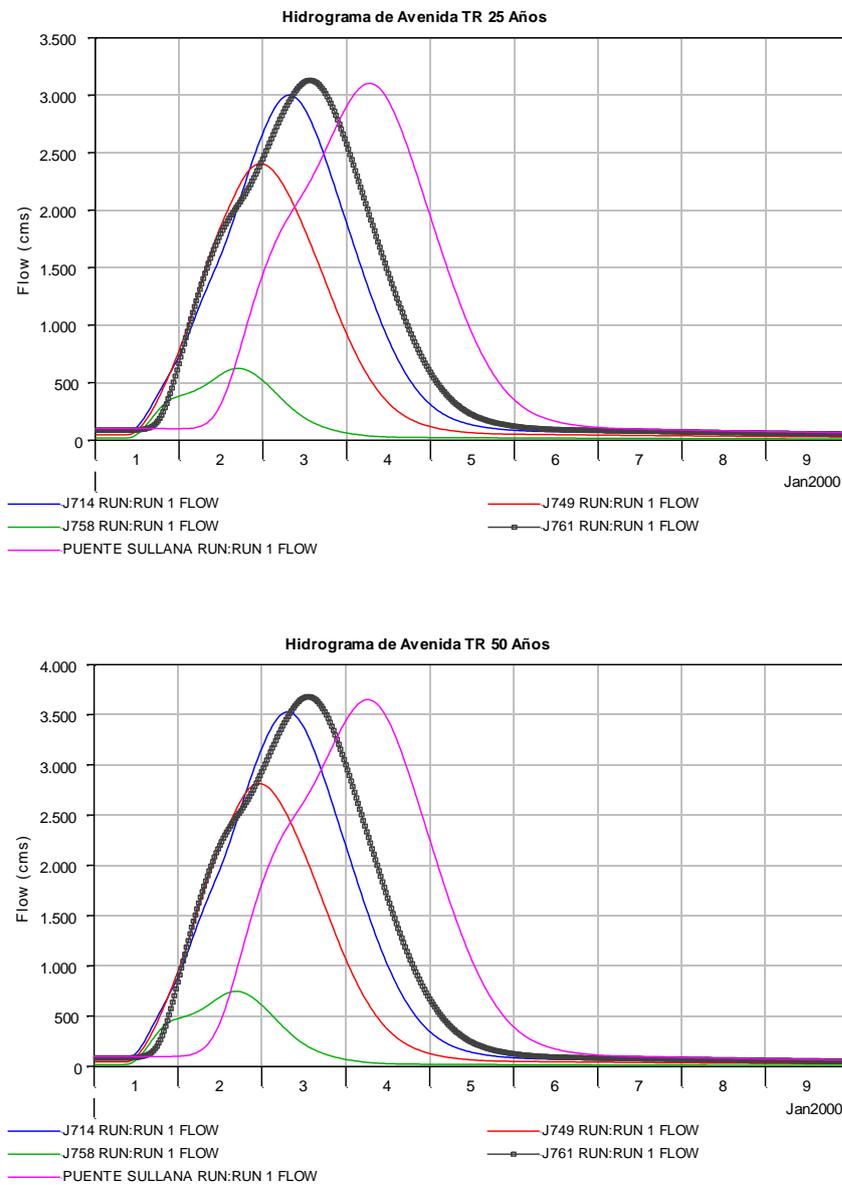
Los hidrogramas de avenida fueron calculados para períodos de retorno de 25, 50, 75, 100 y 200 años, y son presentados en las Figuras 32.

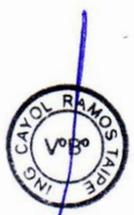
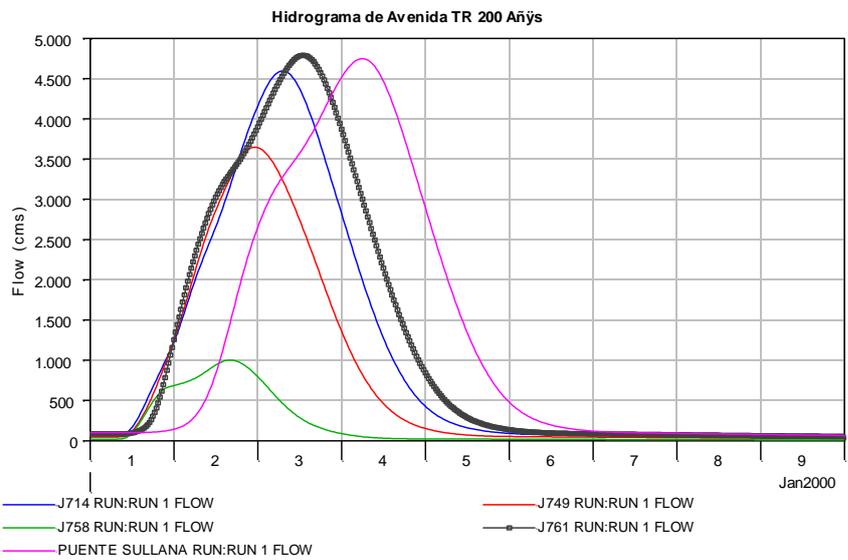
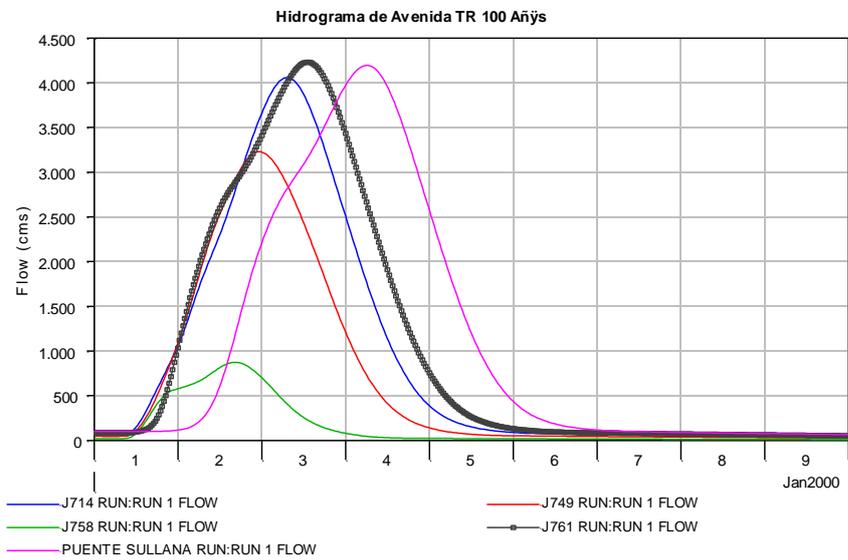
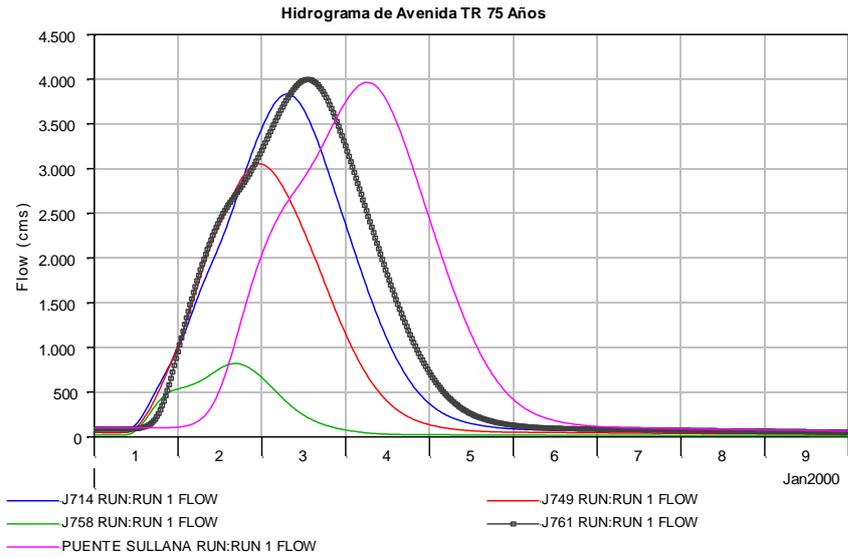


Los caudales máximos de los hidrogramas se muestran en el Cuadro 35.

El hidrograma de avenida en la estación Ardilla corresponde al hidrograma denominado J761 RUN, y aquella que se muestra a la altura de la estación Puente Sullana es un hidrograma transitado, considerando la ausencia del embalse Poechos, esto debido a la falta de información de la geometría del embalse.

**Figura 32:** Hidrograma de avenida para 25, 50, 75, 100 y 200 años de período de retorno y por subcuencas – Chira





**Cuadro 35: Caudales máximos simulados para diferentes períodos de retorno – cuenca Chira**

Cuenca	Subcuencas	CODIGO	Área	Q25	Q50	Q75	Q100	Q200
RÍO CHIRA	Chira Alto	Chira Alto	4209.84	1374.3	1617.2	1750.1	1850.6	2090.5
	Chira 2	Chira 2	2840.37	1400.6	1654.6	1795.5	1902.3	2161.2
	Chira Medio	W1360	345.12	265.1	321.8	354.3	378.6	436.8
	Chira 3	Chira 3	3155.86	827.2	1001.7	1104.3	1180.7	1366.7
	Chira 4	Chira 4	1197.62	622.2	744.1	810.9	861.7	983.8
	Chira 5	W1470	238.41	9.5	17.4	22.9	27.5	40.2
	Chira 6	W1520	71.444	16.9	24.2	29.1	33.0	43.5
	Chira 7	Chira 7	1217.02	65.2	100.1	124.3	143.6	195.7
	Chira 8	Chira 8	1171.86	76.1	137.7	184.2	224.0	342.4
	Chira 9	W1700	431.32	5.8	14.7	22.2	28.8	49.2
	Chira Bajo	W1740	499.42	3.2	6.4	11.7	17.0	35.8
	<b>Cuenca Río Chira</b>			15378.2	3102.4	3649.2	3962.4	4193.4

**6.2.7 Modelamiento hidrológico de la Cuenca Piura - Hec HMS**

En la simulación con el Sistema de Modelamiento Hidrológico (HEC HMS) de la cuenca del Piura se emplearon los siguientes parámetros:

**a. Modelo de cuenca**

El área total de la cuenca es subdividido en: subcuencas desde la parte superior hasta la estación de aforo Puente Ñacara, como se muestra en la Figura No 33.

Los parámetros fueron calculados para todas las subcuencas y la interconexión de cauces y se encuentran detallados en los Cuadros No 36 – 39.

**Cuadro 36: Parámetros de perdida en las subcuencas**

Ríos	CN	S (pulg)	S (mm)	la
R60	47.743	10.94547892	278.02	55.60
R30	56.565	7.678776629	195.04	39.01
R90	54.889	8.218586602	208.75	41.75
R270	47.214	11.18015843	283.98	56.80
R260	80.26	2.459506604	62.47	12.49
R310	57.354	7.435575548	188.86	37.77
R170	62.759	5.93396963	150.72	30.14
R340	80.57	2.411567581	61.25	12.25
R370	48.699	10.53430255	267.57	53.51
R380	70.705	4.143271339	105.24	21.05
R480	78.526	2.734635662	69.46	13.89



**Cuadro 37:** Parámetros de las subcuencas e hidrograma Snyder

Codigo	Nombre Subcuenca	Parámetros de subcuenca				Parámetros Hidrograma Snyder		
		L (ft)	L (milla)	Lc (ft)	Lc (milla)	Ct	Tp (hr)	Cp
R60	San Francisco	96362.4	18.3	81076.8	15.4	2	10.847	0.6
R30	Bajo Piura 2	83054.5	15.7	48064.8	9.1	2	8.868	0.6
R90	Medio Bajo Pira 1	96429.8	18.3	66575.3	12.6	2	10.226	0.6
R270	Bajo Piura 1	183818.3	34.8	119084.7	22.6	2	14.775	0.6
R260	Corrales	46471.1	8.8	130579.5	24.7	2	10.055	0.6
R310	Medio Piura	44567.1	8.4	36950.4	7.0	2	6.799	0.6
R170	Medio Bajo Piura 2	64630.0	12.2	55989.5	10.6	2	8.610	0.6
R340	Bigote	10259.1	1.9	101361.8	19.2	2	5.923	0.6
R370	Unidad 13784	53782.0	10.2	133916.2	25.4	2	10.585	0.6
R380	Medio Alto Piura	83901.6	15.9	78866.2	14.9	2	10.319	0.6
R480	Alto Piura	62640.7	11.9	143812.8	27.2	2	11.320	0.6

**Cuadro 38:** Calculo de flujo base

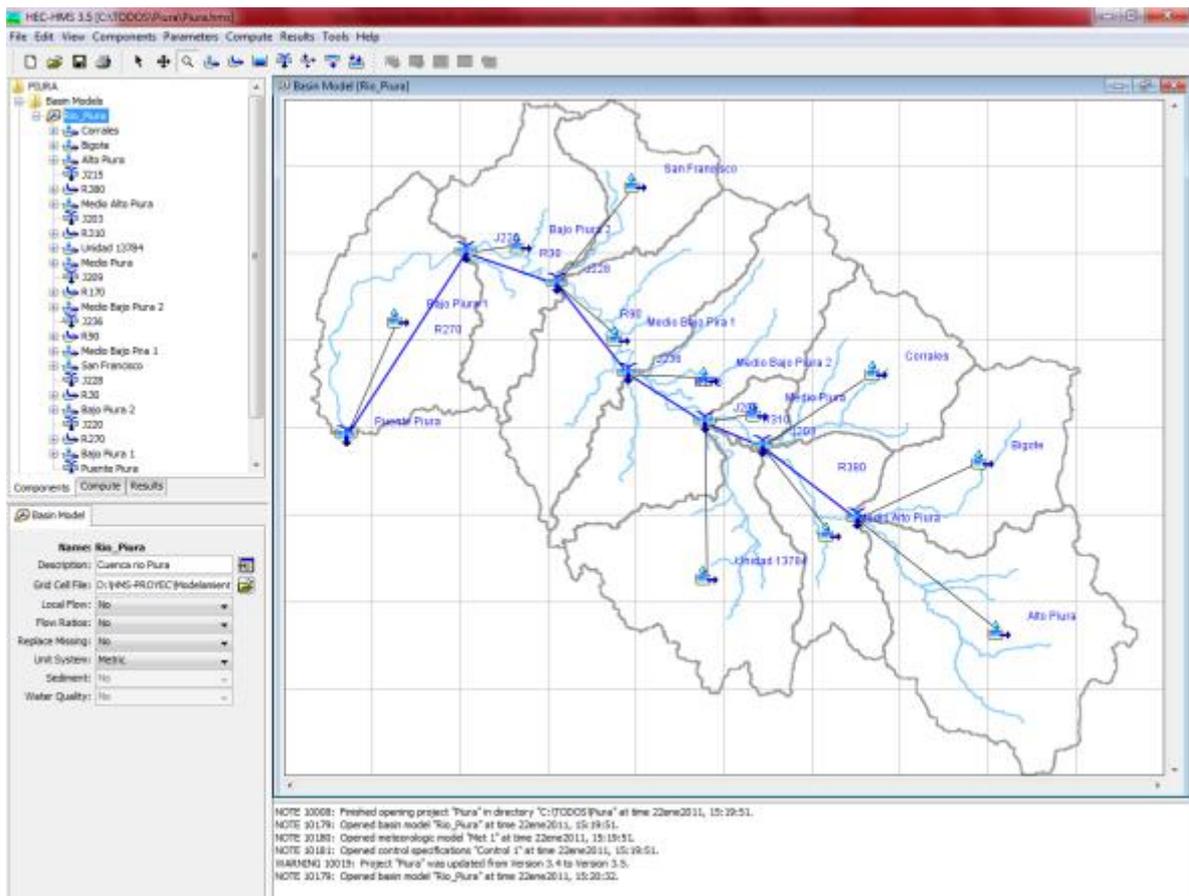
Ríos	Area	Flujo inicial (Q inicial)	K (Coef. Recesion)	Q inflexión (Therhold Q)
R60	383.52	1.249703476	0.85	3.499169732
R30	699.93	2.280728394	0.85	6.386039504
R90	867.28	2.826039921	0.85	7.912911778
R270	812.97	2.649070282	0.85	7.41739679
R260	572.16	1.864388665	0.85	5.220288261
R310	109.58	0.357067446	0.85	0.999788849
R170	987.15	3.216637427	0.85	9.006584796
R340	686.51	2.2369992	0.85	6.263597759
R370	878.77	2.863480192	0.85	8.017744538
R380	508.95	1.658418294	0.85	4.643571222
R480	1165.40	3.797466705	0.85	10.63290677



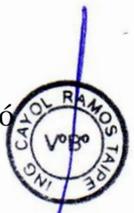
**Cuadro 39:** Cálculo de parámetros de Muskingum

Cauce	Velocidad (m/s)	Longitud (m)	Ls/Vs	$\Delta T$ (seg)	Método de tránsito	Parámetros de Maskingum		
						n (subtramos)	Ks	X
R60	1.00	29371.60	29371.60349	900	Muskingum	11	8.1588	0.2
R30	1.00	25315.32	25315.32214	900	Muskingum	10	7.0320	0.2
R90	1.00	29392.16	29392.15679	900	Muskingum	11	8.1645	0.2
R270	1.00	56028.50	56028.49931	900	Muskingum	21	15.5635	0.2
R260	1.00	14164.56	14164.557	900	Muskingum	6	3.9346	0.2
R310	1.00	13584.21	13584.2144	900	Muskingum	6	3.7734	0.2
R170	1.00	19699.47	19699.46638	900	Muskingum	8	5.4721	0.2
R340	1.00	3127.00	3127.000496	900	Muskingum	2	0.8686	0.2
R370	1.00	16392.94	16392.94116	900	Muskingum	7	4.5536	0.2
R380	1.00	25573.53	25573.53371	900	Muskingum	10	7.1038	0.2
R480	1.00	19093.12	19093.11543	900	Muskingum	8	5.3036	0.2

**Figura 33:** Modelo de cuenca e interconexión de subcuencas - Piura



Para la delimitación de la cuenca aportante y las subcuencas integrantes se desarrolló aplicando el Geo HMS, para exportar directamente al HMS.



Los nombres de las subcuencas y los cauces lo genera automáticamente el Geo HMS, así como las características físicas de la cuenca y los cauces.

### b. Modelo meteorológico

El modelo meteorológico se construyó con la información de las isoyetas de precipitación para diferentes períodos de retorno, interpolando el valor para el centroide de la subcuenca

**Cuadro 40:** Lámina de precipitación máxima calculado para cada subcuenca

<b>Cuencas</b>	<b>Ppmedio</b>	<b>PP_25</b>	<b>PP_50</b>	<b>PP_75</b>	<b>PP_100</b>	<b>PP_200</b>
San Francisco	492.81	123.36	150.47	167.83	181.48	218.12
Bajo Piura 2	374.20	132.58	165.88	187.93	205.63	254.77
Medio Bajo Pira 1	387.17	136.35	168.25	189.17	205.88	251.93
Bajo Piura 1	283.87	123.79	161.51	187.69	209.12	270.77
Corrales	561.63	91.51	103.21	109.76	114.45	125.34
Medio Piura	416.96	134.69	156.45	169.18	178.61	201.84
Medio Bajo Piura 2	417.37	137.89	163.73	179.67	191.93	223.95
Bigote	564.52	49.26	53.66	55.83	57.28	60.01
Unidad 13784	202.01	115.01	135.81	148.75	158.85	185.76
Medio Alto Piura	280.31	104.75	120.05	128.83	135.29	151.01
Alto Piura	440.87	82.87	94.23	100.66	105.31	116.12

### c. Modelo de control

El período de simulación es variable, se encuentra en el rango de 24 horas a 7 días, dependiendo del tamaño de la subcuenca.

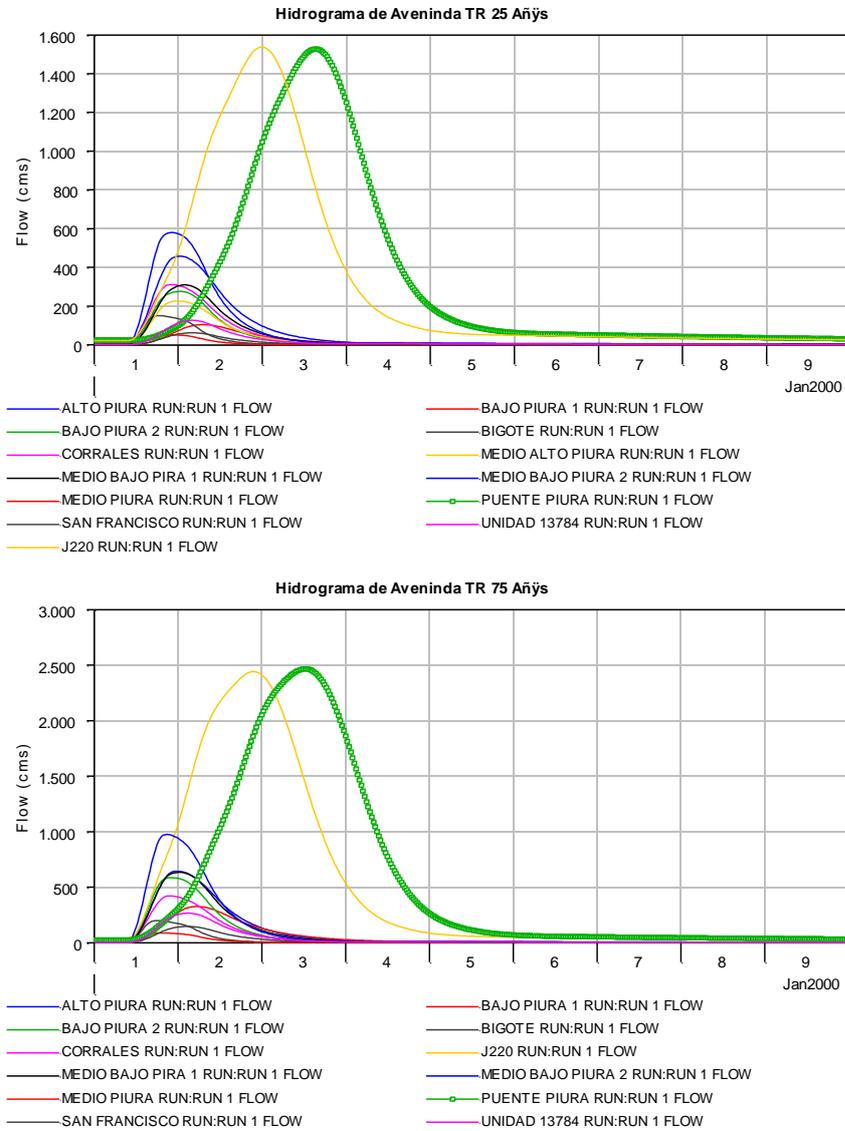
### d. Hidrogramas resultantes

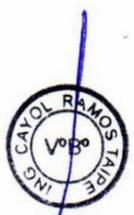
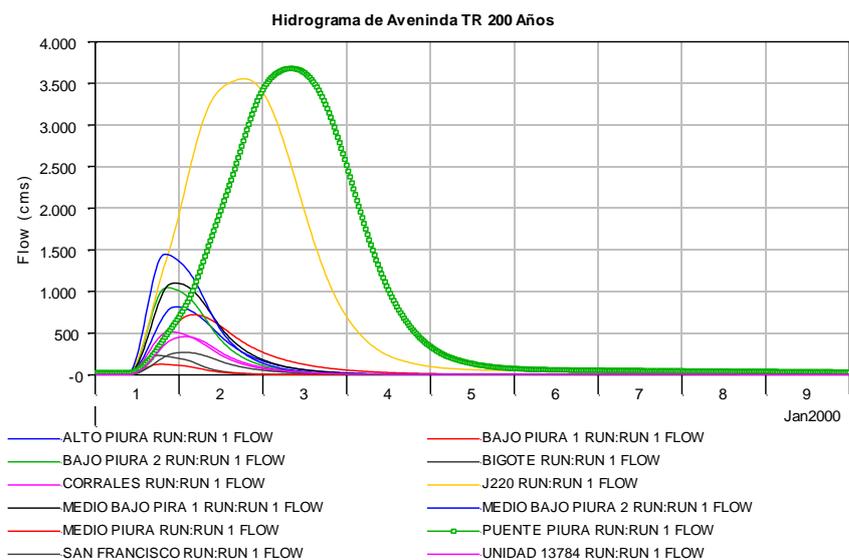
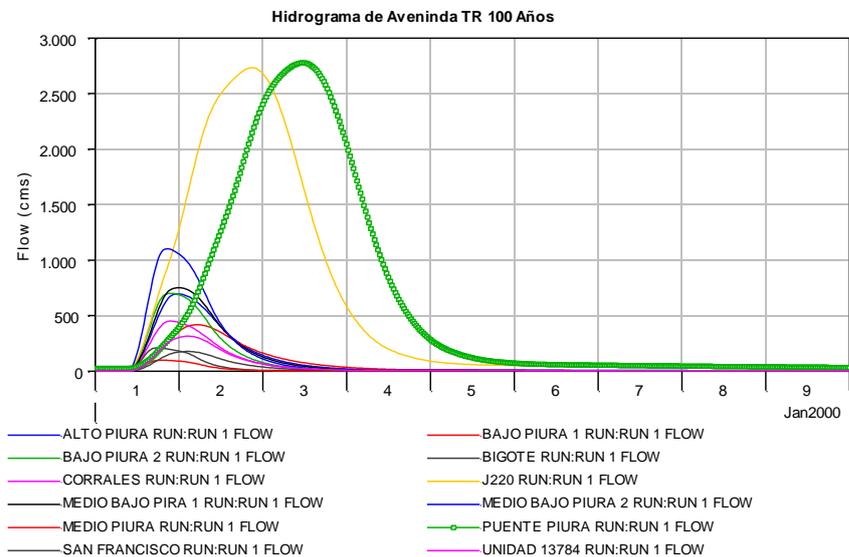
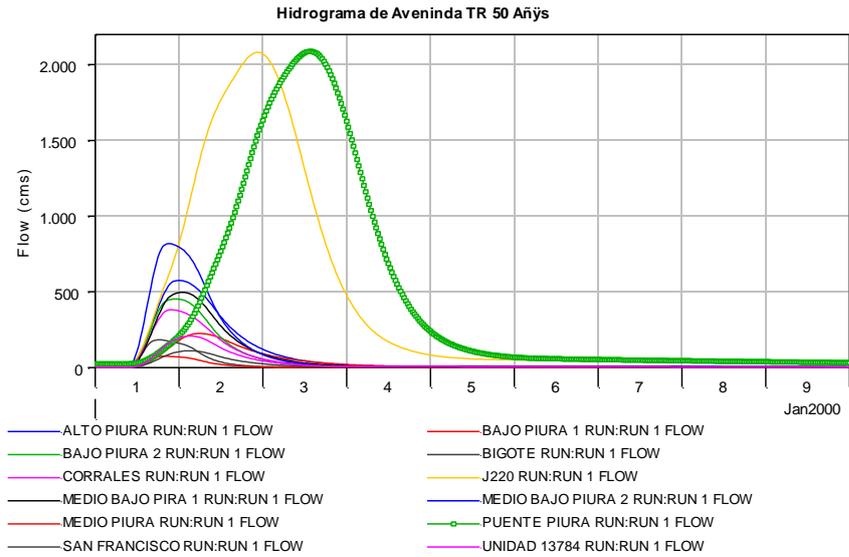
Los hidrogramas de avenida fueron calculados para períodos de retorno de 25, 50, 75, 100 y 200 años, y son presentados en la Figura 34.

Los máximos caudales modelados en los hidrogramas se muestran en el Cuadro 41. El hidrograma J220, representa la Estación Ñacara y el Puente Piedra es el hidrograma transitado hasta la salida de la cuenca.



**Figura 34:** Hidrograma de avenida para 25, 50,75, 100 y 200 años de período de retorno y por subcuencas - Piura





**Cuadro 41: Caudales máximos simulados para diferentes períodos de retorno – cuenca Piura**

Cuenca	Subcuencas	CODIGO	Área	Q25	Q50	Q75	Q100	Q200
RÍO PIURA	Alto Piura	Alto Piura	1165.4	457.9	574.6	643.3	693.9	814.8
	Bigote	Bigote	686.51	151.0	182.5	198.9	210.1	231.7
	Medio Alto Piura	Medio Alto Piura	508.95	226.4	293.3	333.8	364.5	441.8
	Corrales	Corrales	572.16	311.6	381.0	421.1	450.3	519.0
	Unidad	Unidad	878.77	127.6	208.3	266.0	314.5	457.6
	Medio Piura	Medio Piura	109.58	52.4	73.7	87.4	98.0	125.9
	Medio Bajo Piura	Medio Bajo Piura	1854.43	890.5	1314.4	1609.2	1851.7	2546.4
	San Francisco	San Francisco	383.52	62.8	110.6	146.4	177.0	268.3
	Bajo Piura	Bajo Piura	1512.9	380.9	676.8	911.1	1117.7	1765.8
	<b>Cuenca Río Piura</b>			7672.22	1528	2088.4	2466.7	2776.7

**6.2.8 Modelamiento hidrológico de la Cuenca Chancay Lambayeque - Hec**

**HMS**

En la simulación con el Sistema de Modelamiento Hidrológico (HEC HMS) de la cuenca del Chancay Lambayeque se siguieron los siguientes pasos.

**a. Modelo de cuenca**

El área total de la cuenca es subdividida en subcuencas desde la parte superior hasta la estación de aforo Raca Rumi. Ver Figura No 35.

Los parámetros de ingreso se encuentran detallados en los Cuadros No 42 – 45, para las subcuencas y la interconexión de cauces.

**Cuadro 42: Parámetros de pérdida en las subcuencas**

Cuenca	CN	S (pulg)	S (mm)	la
Medio Alto Chancay	66.20	5.105648908	129.68	25.937
Alto Chancay 1	67.81	4.747174441	120.58	24.116
Medio Bajo Chancay	58.69	7.037923009	178.76	35.753
Bajo Chancay	56.67	7.644806516	194.18	38.836
Medio Chancay	58.07	7.220121367	183.39	36.678
Machil	66.22	5.100106154	129.54	25.909
Cañad	65.22	5.33201478	135.43	27.087
Alto Chancay 2	69.32	4.425892746	112.42	22.484
Juana Ríos	61.25	6.325464459	160.67	32.133
Monteria	57.38	7.428647119	188.69	37.738



**Cuadro 43:** parámetros de las subcuencas e hidrograma Snyder

Código	Nombre Subcuenca	Parámetros de subcuenca				Parámetros Hidrograma Snyder		
		L (ft)	L (milla)	Lc (ft)	Lc (milla)	Ct	Tp (hr)	Cp
84	Machil	122625.3	23.2	61243.0	11.6	2	10.719	0.6
104	Juana Ríos	160578.9	30.4	68099.8	12.9	2	11.998	0.6
107	Medio Chancay	92244.4	17.5	45631.6	8.6	2	9.010	0.6
117	Alto Chancay 1	246123.7	46.6	103175.3	19.5	2	15.448	0.6
118	Medio Alto Chancay	232453.3	44.0	92574.2	17.5	2	14.699	0.6
129	Cañad	130489.4	24.7	60357.7	11.4	2	10.873	0.6
140	Monteria	173502.9	32.9	93217.5	17.7	2	13.492	0.6
301	Alto Chancay 2	74881.0	14.2	25323.7	4.8	2	7.093	0.6
308	Bajo Chancay	96428.3	18.3	37266.7	7.1	2	8.592	0.6
311	Medio Bajo Chancay	107195.7	20.3	54309.4	10.3	2	9.930	0.6

**Cuadro 44:** Cálculo de flujo de base

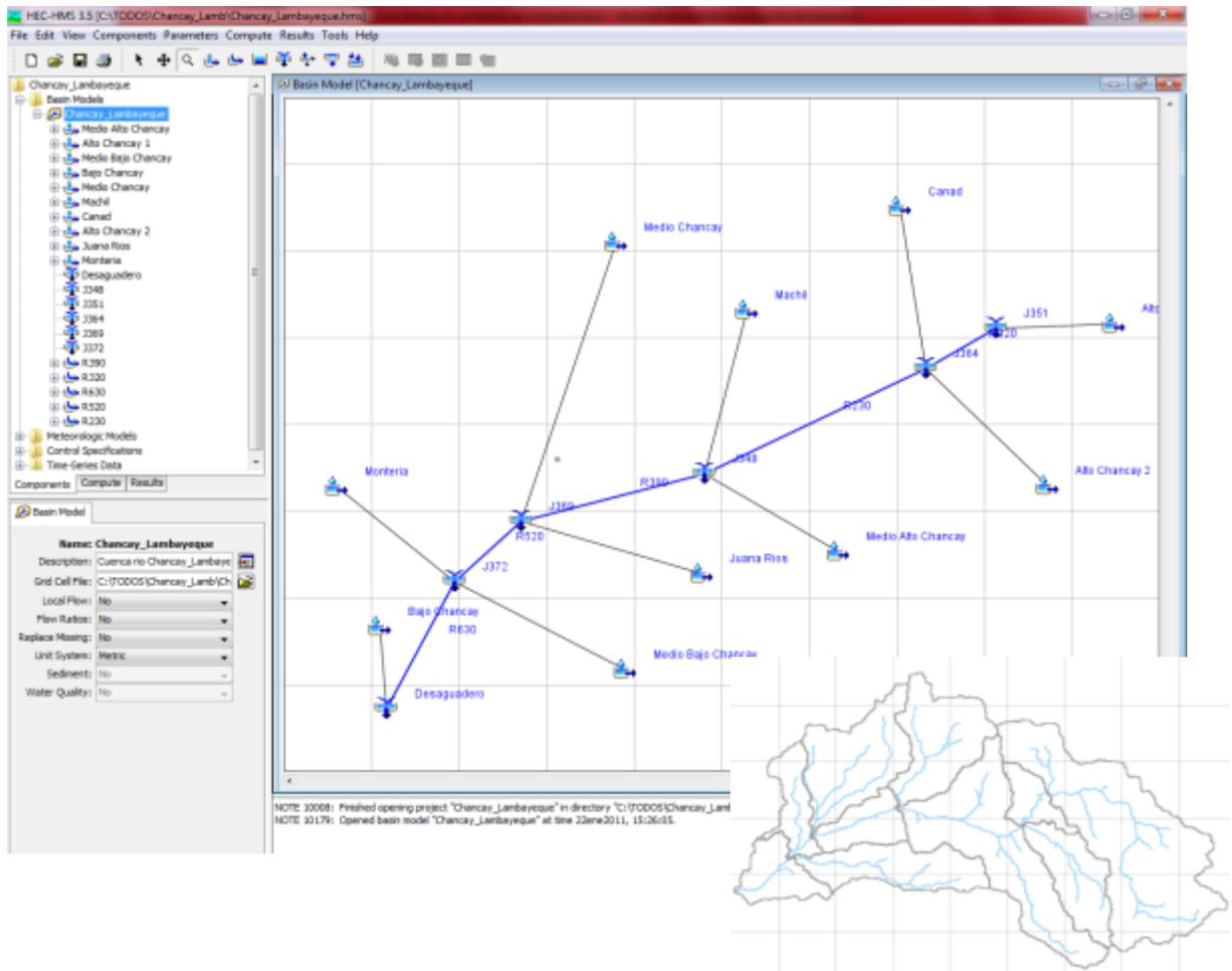
Cuenca NAME	AREA	Flujo inicial (Q inicial)	K (Coef. Recesion)	Q inflexión (Therhold Q)
Machil	348.51	1.799350857	0.85	2.993189824
Juana Ríos	394.51	2.036848028	0.85	3.388262367
Medio Chancay	155.83	0.804547485	0.85	1.338351181
Alto Chancay 1	941.52	4.861050812	0.85	8.086276098
Medio Alto Chancay	640.6	3.307406269	0.85	5.501814585
Cañad	250.98	1.295805222	0.85	2.155550148
Monteria	294.61	1.521066127	0.85	2.530267866
Alto Chancay 2	109.6	0.565862827	0.85	0.941303276
Bajo Chancay	163.16	0.842392143	0.85	1.401305132
Medio Bajo Chancay	148.3	0.765670230	0.85	1.273679524

**Cuadro 45:** Cálculo de parámetros de Muskingum

Cauce	Velocidad (m/s)	Longitud (m)	Ls/Vs	ΔT (seg)	Método de tránsito	Parámetros de Maskingum		
						n (subtramos)	Ks	X
R20	1.00	7792.13	7792.12632	900	Muskingum	3	2.1645	0.2
R200	1.00	16483.67	16483.6678	900	Muskingum	7	4.5788	0.2
R390	1.00	21985.19	21985.1852	900	Muskingum	9	6.1070	0.2
R60	1.00	7105.16	7105.15989	900	Muskingum	3	1.9737	0.2
R230	1.00	31916.33	31916.3327	900	Muskingum	12	8.8656	0.2
R420	1.00	9056.14	9056.14293	900	Muskingum	4	2.5156	0.2
R530	1.00	3567.80	3567.79521	900	Muskingum	2	0.9911	0.2
R320	1.00	11602.80	11602.8008	900	Muskingum	5	3.2230	0.2
R630	1.00	15769.29	15769.2905	900	Muskingum	6	4.3804	0.2
R520	1.00	8353.28	8353.27937	900	Muskingum	4	2.3204	0.2



Figura 35: Modelo de cuenca e interconexión de subcuencas – Chancay Lambayeque



Para la delimitación de la cuenca aportante y las subcuencas integrantes se desarrolló aplicando el Geo HMS, para exportar directamente al HMS.

Los nombres de las subcuencas y los cauces lo genera automáticamente el geo HMS, así como las características físicas de la cuenca y los cauces.

### b. Modelo meteorológico

El modelo meteorológico se construyó con la información de las isoyetas de precipitación para diferentes períodos de retorno, interpolando el valor para el centroide de la subcuenca



**Cuadro 46:** Lámina de precipitación máxima calculado para cada subcuenca

<i>DrainID</i>	<i>Subcuencas</i>	<i>PP_Med</i>	<i>PP_25</i>	<i>PP_50</i>	<i>PP_75</i>	<i>PP_100</i>	<i>PP_200</i>
84	Machil	680.63	91.60	105.45	114.35	120.93	137.21
104	Juana Ríos	477.44	106.55	127.34	141.07	151.53	178.90
107	Medio Chancay	336.94	94.77	122.26	141.85	157.61	201.68
117	Alto Chancay 1	1034.54	73.31	83.12	88.31	92.39	102.99
118	Medio Alto Chancay	687.67	69.73	82.78	88.16	93.77	109.02
129	Cañad	847.17	63.38	73.65	76.89	80.63	91.43
140	Montería	381.72	87.47	116.79	137.28	154.48	203.27
301	Alto Chancay 2	673.68	63.90	71.26	75.47	78.68	86.41
308	Bajo Chancay	116.17	74.95	104.89	127.32	145.71	198.63
311	Medio Bajo Chancay	215.02	98.21	124.16	142.20	156.44	195.55

**c. Modelo de control**

El período de simulación es variable, se encuentra en el rango de 24 horas a 7 días, dependiendo del tamaño de la subcuenca.

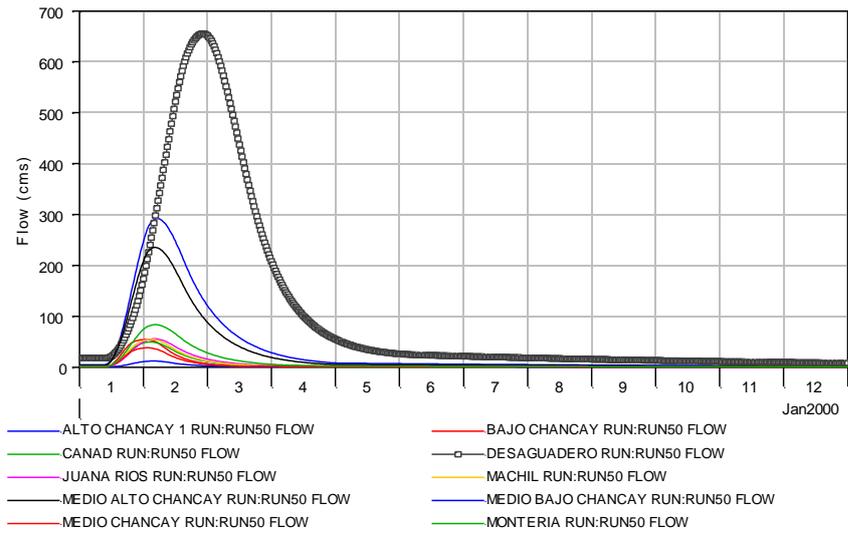
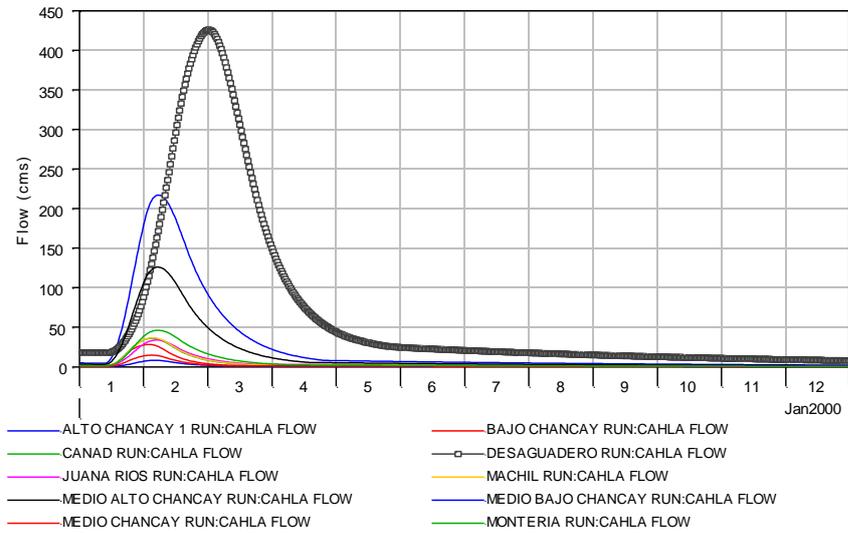
**d. Hidrogramas resultantes**

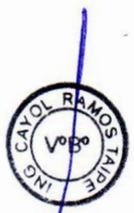
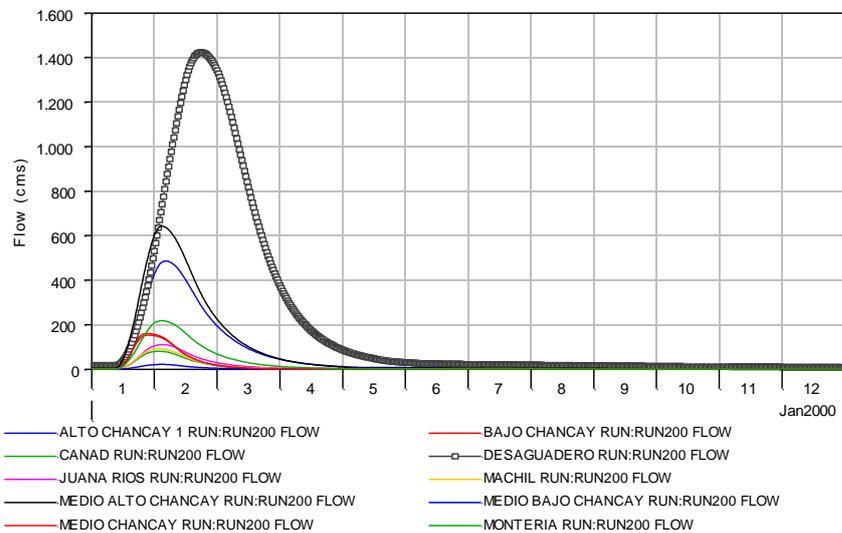
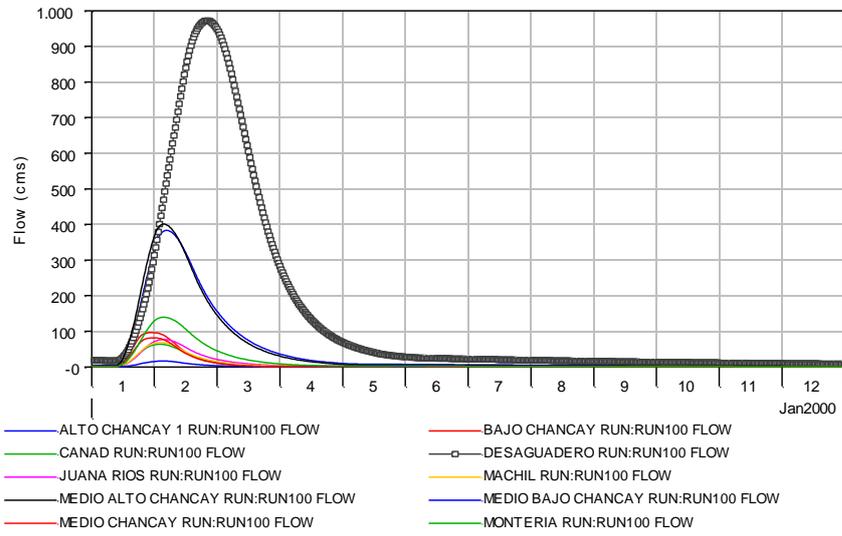
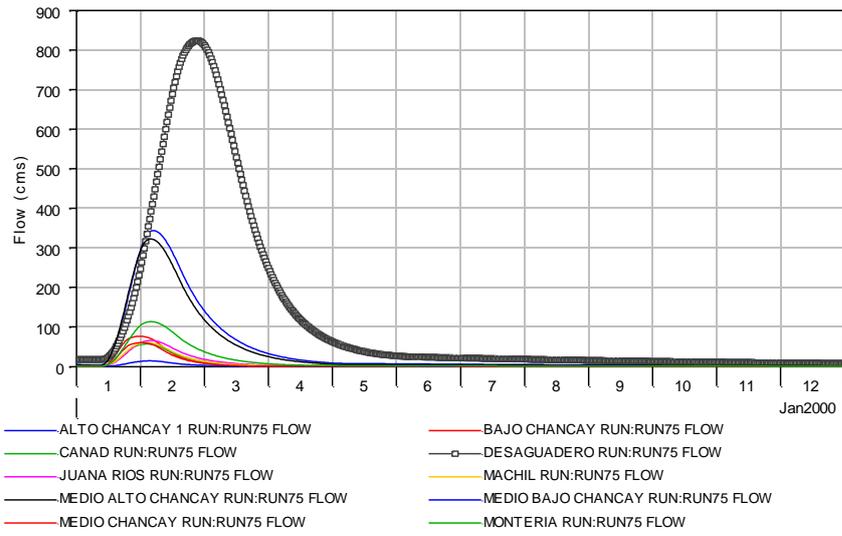
Los hidrogramas de avenida fueron calculados para períodos de retorno de 25, 50, 75, 100 y 200 años, y son presentados en la Figura 36. El hidrograma denominado desaguadero corresponde a la estación Raca Rumi.

Los caudales máximos calculados en los hidrogramas de avenida se muestran en el Cuadro 47.



**Figura 36:** Hidrograma de avenida para 25, 50,75, 100 y 200 años de período de retorno y por subcuencas – Chancay Lambayeque





Cuadro 47: Caudales máximos simulados para diferentes períodos de retorno – cuenca Chancay  
 Lambayeque

Cuenca	Subcuencas	CODIGO	Área	Q25	Q50	Q75	Q100	Q200
RÍO CHANCA Y LAMBAYEQ UE	Alto Chancay	Alto Chancay	1192.5	274.3	373.8	442.9	496.4	637.3
	Cañad	Cañad	109.6	36.0	49.3	57.0	63.3	80.6
	Medio Alto Chancay	Medio Alto Chancay	640.6	126.1	235.2	322.4	400.8	642.0
	Medio Chancay	Medio Chancay	155.83	14.8	38.1	60.5	81.5	153.1
	Macchil	Macchil	348.51	36.7	54.6	60.8	68.2	91.3
	Juana de Ríos	Juana de Ríos	394.51	34.0	55.6	65.7	76.9	110.5
	Monteria	Monteria	294.61	46.2	83.4	113.6	139.5	218.0
	Medio Bajo Chancay	Medio Bajo Chancay	148.3	8.3	12.0	14.5	16.4	21.6
	Bajo Chancay	Bajo Chancay	163.16	28.3	54.2	76.4	96.2	159.8
	<b>Cuenca Río Chancay-Lambayeque</b>			3447.62	425.7	655.7	944	971.9

## 6.2.9 Modelamiento hidrológico de la Cuenca Jequetepeque - Hec HMS

### a. Modelo de cuenca

El área total de la cuenca es subdividida en subcuencas desde la parte superior hasta la estación de aforo Yonan. Ver Figura No 37.

Los parámetros de ingreso se encuentran detallados en los Cuadros No 48 – 51, para las subcuencas y la interconexión de cauces.

Cuadro 48: Parámetros de perdida en las subcuencas

Cuenca	CN	S (pulg)	S (mm)	la
Alto Jequetepeque 1	81.00	2.34567901	59.58	11.916
Alto Jequetepeque 2	71.26	4.0332954	102.45	20.489
Bajo	78.25	2.77961804	70.60	14.120
Chauisis	67.85	4.7393059	120.38	24.076
Medio Alto	68.92	4.50900792	114.53	22.906
Medio Jequetepeque	70.03	4.27884004	108.68	21.737
Pallac	77.28	2.93987487	74.67	14.935
San Miguel 1	90.38	1.06380719	27.02	5.404
San Miguel 2	71.76	3.93477688	99.94	19.989



**Cuadro 49:** parámetros de las subcuencas e hidrograma Snyder

Codigo	Nombre Subcuenca	Parámetros de subcuenca				Parámetros Hidrograma Snyder		
		L (ft)	L (milla)	Lc (ft)	Lc (milla)	Ct	Tp (hr)	Cp
115	Alto Jequetepeque 1	177235.3	33.6	61966.0	11.7	2	12.013	0.6
113	Alto Jequetepeque 2	141452.7	26.8	33372.2	6.3	2	9.325	0.6
114	Bajo	247725.6	46.9	138462.4	26.2	2	16.906	0.6
137	Chausis	101132.0	19.2	36992.2	7.0	2	8.697	0.6
104	Medio Alto	104896.8	19.9	35671.9	6.8	2	8.697	0.6
103	Medio Jequetepeque	69209.6	13.1	19882.5	3.8	2	6.442	0.6
91	Pallac	93562.8	17.7	47223.4	8.9	2	9.142	0.6
82	San Miguel 1	172369.6	32.6	61438.9	11.6	2	11.883	0.6
93	San Miguel 2	102369.5	19.4	51758.6	9.8	2	9.654	0.6

**Cuadro 50:** Cálculo de flujo de base

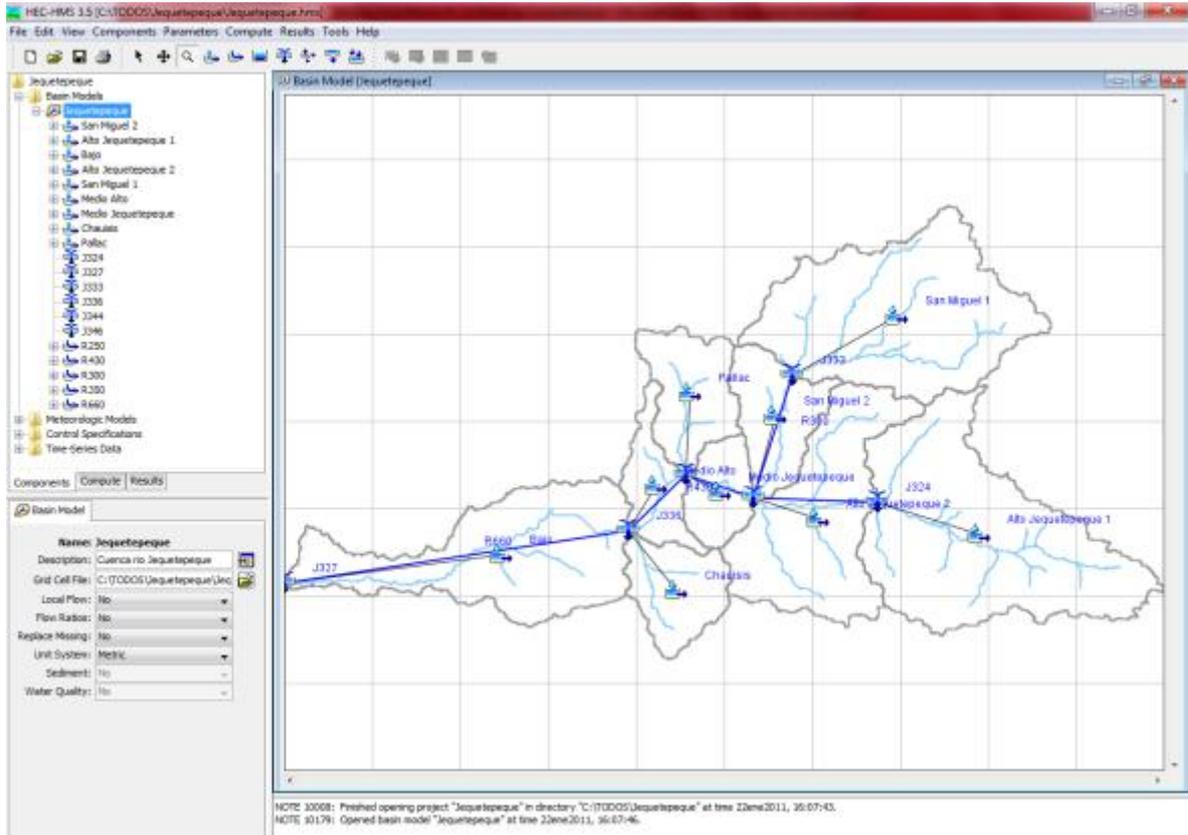
Cuenca NAME	AREA	Flujo inicial (Q inicial)	K (Coef. Recesion)	Q inflexión (Therhold Q)
Alto Jequetepeque 1	945.52	2.871927791	0.85	6.461837529
Alto Jequetepeque 2	566.9	1.721905263	0.85	3.874286842
Bajo	648.23	1.968937465	0.85	4.430109296
Chausis	207.6	0.630565413	0.85	1.418772179
Medio Alto	154.55	0.469431043	0.85	1.056219847
Medio Jequetepeque	144.48	0.438844368	0.85	0.987399829
Pallac	237.35	0.720928231	0.85	1.622088520
San Miguel 1	816.8	2.480952935	0.85	5.582144105
San Miguel 2	229.31	0.696507490	0.85	1.567141852

**Cuadro 51:** Cálculo de flujo de base

Cauce	Velocidad (m/s)	Longitud (m)	Ls/Vs	$\Delta T$ (seg)	Método de tránsito	Parámetros de Maskingum		
						n (subtramos)	Ks	X
R320	1.00	18306.11	18306.11	900	Muskingum	7	5.0850	0.2
R350	1.00	2607.52	2607.5189	900	Muskingum	1	0.7243	0.2
R660	1.00	41335.71	41335.713	900	Muskingum	16	11.4821	0.2
R570	1.00	6595.56	6595.5556	900	Muskingum	3	1.8321	0.2
R430	1.00	11833.08	11833.075	900	Muskingum	5	3.2870	0.2
R250	1.00	2144.24	2144.2423	900	Muskingum	1	0.5956	0.2
R160	1.00	5862.26	5862.2615	900	Muskingum	3	1.6284	0.2
R20	1.00	2078.73	2078.7251	900	Muskingum	1	0.5774	0.2
R300	1.00	13676.87	13676.87	900	Muskingum	6	3.7991	0.2



**Figura 37:** Modelo de cuenca e interconexión de subcuencas – Jequetepeque



Para la delimitación de la cuenca aportante y las subcuencas integrantes se desarrolló aplicando el Geo HMS, para exportar directamente al HMS.

Los nombres de las subcuencas y los cauces lo genera automáticamente el geo HMS, así como las características físicas de la cuenca y los cauces.

### b. Modelo meteorológico

El modelo meteorológico se construyó con la información de las isoyetas de precipitación para diferentes períodos de retorno, interpolando el valor para el centroide de la subcuenca

**Cuadro 52:** Lámina de precipitación máxima calculado para cada subcuenca

<i>DrainID</i>	<i>SUBCUENCAS</i>	<i>PP_Medi</i>	<i>PP_25</i>	<i>PP_50</i>	<i>PP_75</i>	<i>PP_100</i>	<i>PP_200</i>
115	Alto Jequetepeque 1	740.34	62.68	69.90	74.27	77.34	84.53
113	Alto Jequetepeque 2	330.22	51.23	57.66	61.27	63.79	69.22
114	Bajo	250.07	43.81	50.33	55.79	60.59	74.53
137	Chausis	285.49	68.98	77.65	83.14	87.17	97.11
104	Medio Alto	342.08	67.68	75.64	80.94	84.75	94.16
103	Medio Jequetepeque	264.74	59.88	66.81	70.70	73.44	79.49
91	Pallac	577.42	69.74	77.11	79.87	82.20	87.37



82	San Miguel 1	780.72	51.88	58.93	64.07	67.83	77.80
93	San Miguel 2	487.15	53.27	57.98	59.90	61.23	63.54

**c. Modelo de control**

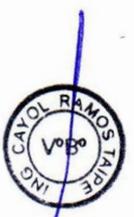
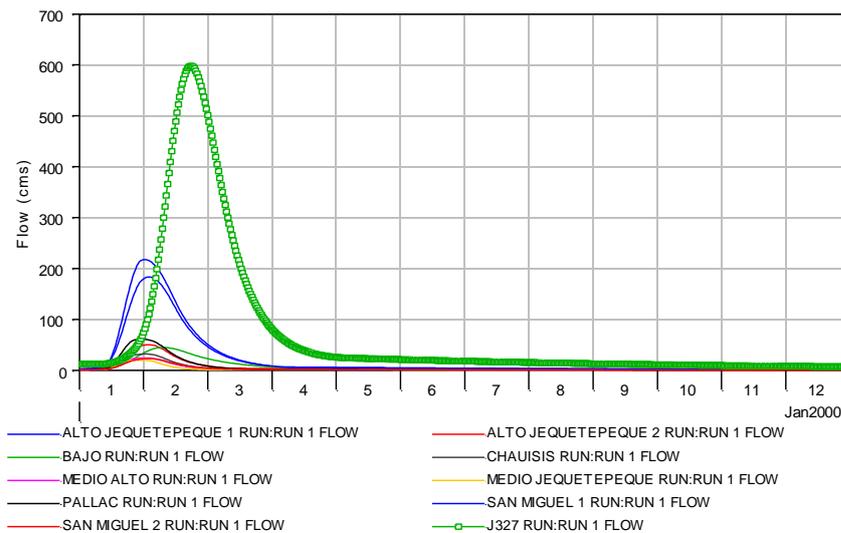
El período de simulación es variable, se encuentra en el rango de 24 horas a 7 días, dependiendo del tamaño de la subcuenca.

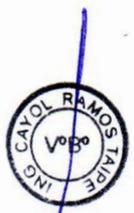
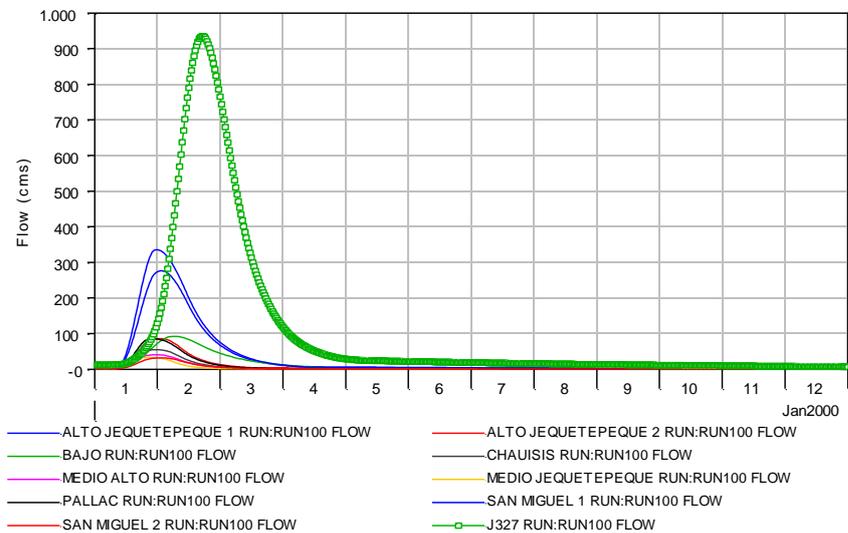
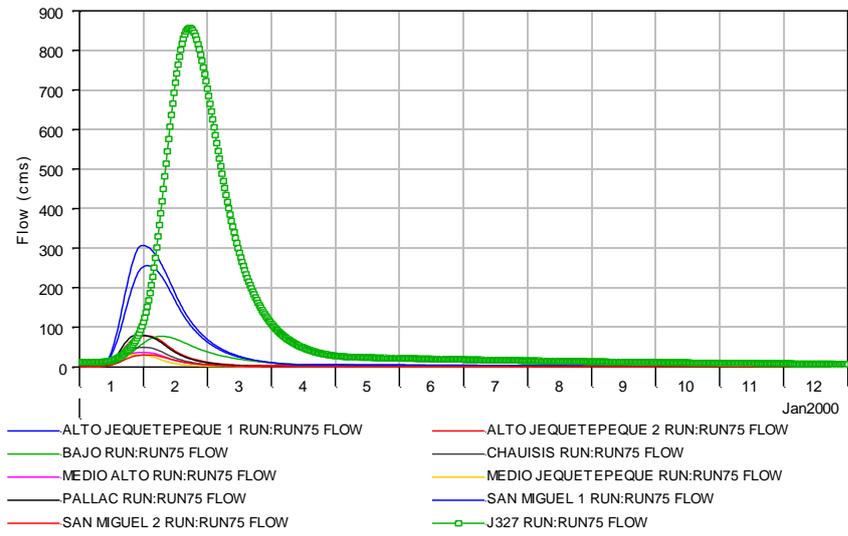
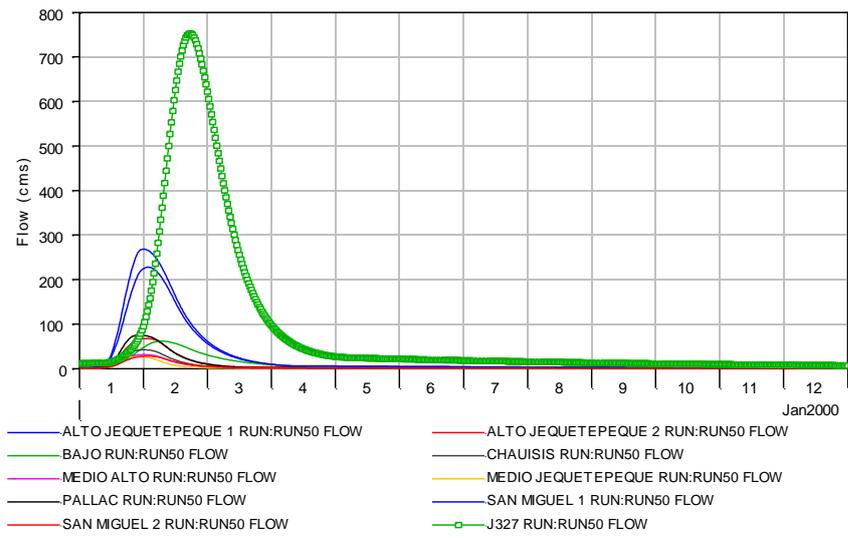
**d. Hidrogramas resultantes**

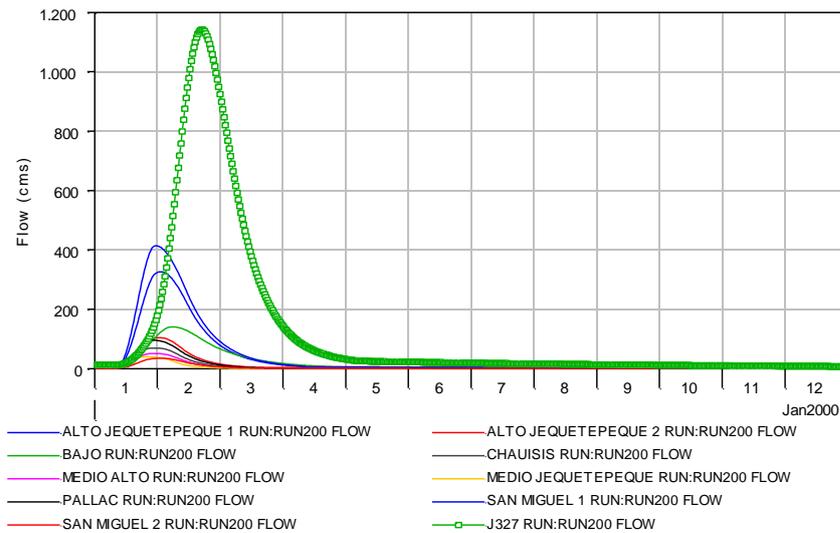
Los hidrogramas de avenida fueron calculados para períodos de retorno de 25, 50, 75, 100 y 200 años, y son presentados en las Figuras 38. El hidrograma J327 corresponde a la Estacion Yonan.

Los caudales máximos que acusan los hidrogramas calculados en el modelo se muestran en el Cuadro 53.

**Figura 38:** Hidrograma de avenida para 25, 50,75, 100 y 200 años de período de retorno y por subcuencas - Jequetepeque







**Cuadro 53: Caudales máximos simulados para diferentes períodos de retorno – cuenca Jequetepeque**

Cuenca	Subcuencas	CODIGO	Área	Q25	Q50	Q75	Q100	Q200
RÍO JEQUETEPEQUE	Alto Jequetepeque	Alto Jequetepeque	1512.42	233.3	294.9	334.0	362.4	430.1
	San Miguel	San Miguel	1046.11	240.1	296.2	336.9	367.2	448.4
	Medio Jequetepeque	Medio Jequetepeque	144.48	19.9	26.2	30.1	32.9	39.7
	Pallac	Pallac	237.35	61.2	75.1	80.5	85.2	95.9
	Chausis	Chausis	207.6	31.8	42.1	49.2	54.7	69.3
	Medio Alto	Medio Alto	154.55	24.1	31.3	36.5	40.4	50.8
	Bajo	Bajo	648.23	44.7	61.6	77.4	92.3	140.2
	<b>Cuenca Río Jequetepeque</b>			<b>3950.74</b>	<b>597.9</b>	<b>752.6</b>	<b>856.1</b>	<b>935.2</b>

### 6.2.10 Modelamiento hidrológico de la Cuenca Motupe - Hec HMS

En la simulación con el Sistema de Modelamiento Hidrológico (HEC HMS) de la cuenca del Motupe se emplearon los siguientes parámetros:

#### a. Modelo de cuenca

El área total de la cuenca es subdividido en: subcuencas desde la parte superior hasta la estación de aforo Marrison, como se muestra en la Figura No 39.

Los parámetros calculados se presentan en los cuadros 54 – 57.



**Cuadro 54:** Parámetros de pérdida en las subcuencas

Ríos	CN	S (pulg)	S (mm)	la
R20	62	6.129032258	155.68	31.14
R40	68	4.705882353	119.53	23.91
R260	63	5.873015873	149.17	29.83
R530	61.179	6.345478024	161.18	32.24
R520	71.206	4.043760357	102.71	20.54
R440	71.739	3.939419284	100.06	20.01
R680	62.564	5.98363276	151.98	30.40
R770	65.298	5.314404729	134.99	27.00

**Cuadro 55:** Parámetros de las subcuencas e hidrograma Snyder

Codigo	Nombre Subcuenca	Parámetros de subcuenca				Parámetros Hidrograma Snyder		
		L (ft)	L (milla)	Lc (ft)	Lc (milla)	Ct	Tp (hr)	Cp
R20	Chocope	3832.2	0.7	57927.1	11.0	2	3.727	0.6
R40	Alto Motupe	644.8	0.1	94205.4	17.8	2	2.526	0.6
R260	Motupe2	26990.8	5.1	62716.6	11.9	2	6.855	0.6
R530	Motupe1	67578.2	12.8	38554.8	7.3	2	7.802	0.6
R520	Medio Alto Motupe	73879.1	14.0	44883.3	8.5	2	8.387	0.6
R440	Salas	3884.4	0.7	100305.2	19.0	2	4.412	0.6
R680	Bajo Motupe2	36976.4	7.0	55497.1	10.5	2	7.263	0.6
R770	Bajo Motupe1	73498.8	13.9	46146.3	8.7	2	8.445	0.6

**Cuadro 56:** Calculo de flujo base

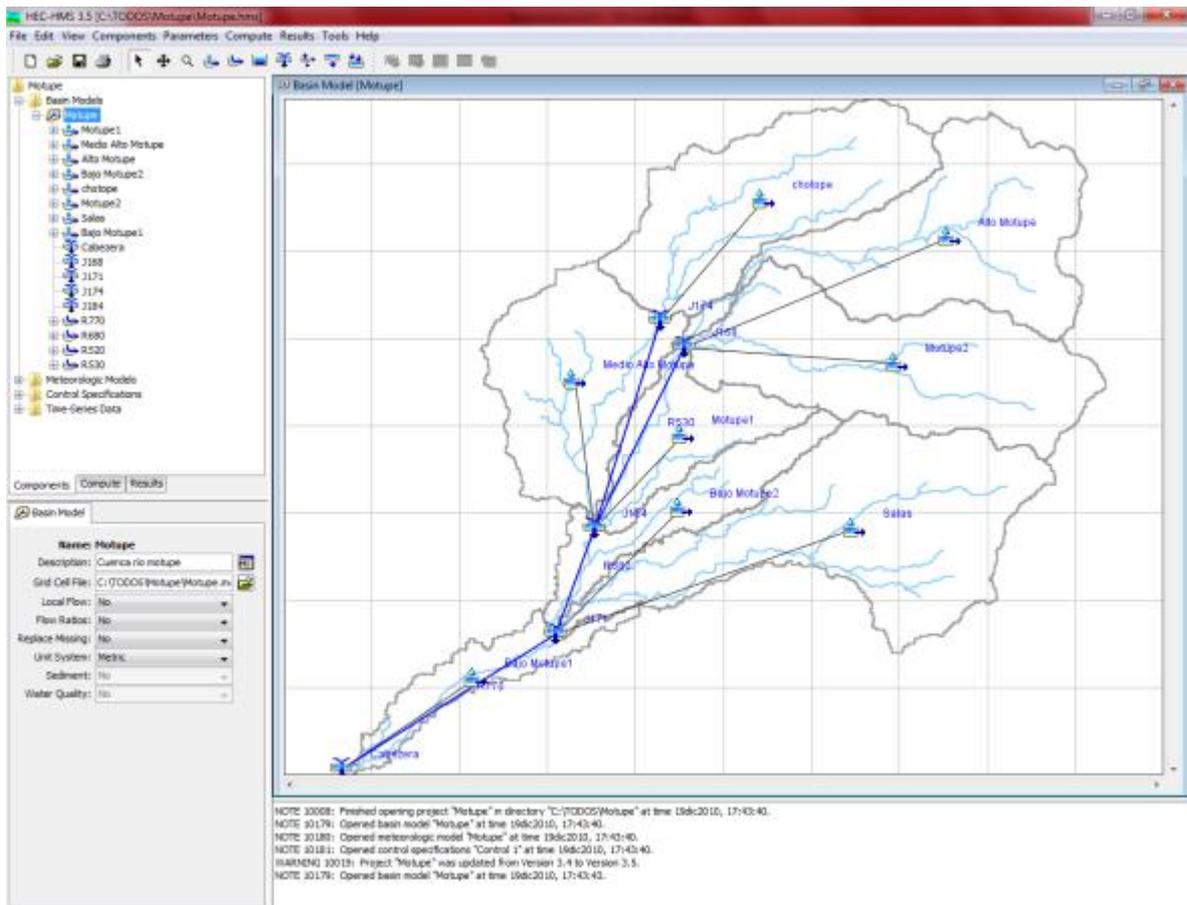
Ríos	Area	Flujo inicial (Q inicial)	K (Coef. Recesion)	Q inflexión (Threshold Q)
R20	218.01	0.241885958	0.85	0.332593193
R40	243.84	0.270544801	0.85	0.371999101
R260	257.01	0.285157149	0.85	0.39209108
R530	93.32	0.103539084	0.85	0.142366241
R520	175.49	0.194709265	0.85	0.267725239
R440	306.66	0.340244704	0.85	0.467836468
R680	87.20	0.096747726	0.85	0.133028124
R770	60.54	0.067171312	0.85	0.092360554



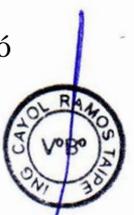
**Cuadro 57:** Cálculo de parámetros de Muskingum

Cauce	Velocidad (m/s)	Longitud (m)	Ls/Vs	ΔT (seg)	Método de tránsito	Parámetros de Maskingum		
						n (subtramos)	Ks	X
R20	1.00	1168.07	1168.06888	900	Muskingum	1	0.3245	0.2
R40	1.00	196.55	196.5516428	900	Muskingum	1	0.0546	0.2
R260	1.00	8226.90	8226.901102	900	Muskingum	4	2.2853	0.2
R530	1.00	20598.08	20598.08272	900	Muskingum	8	5.7217	0.2
R520	1.00	22518.64	22518.63524	900	Muskingum	9	6.2552	0.2
R440	1.00	1183.97	1183.966022	900	Muskingum	1	0.3289	0.2
R680	1.00	11270.56	11270.55859	900	Muskingum	5	3.1307	0.2
R770	1.00	22402.70	22402.69908	900	Muskingum	9	6.2230	0.2

**Figura 39:** Modelo de cuenca e interconexión de subcuencas - Motupe



Para la delimitación de la cuenca aportante y las subcuencas integrantes se desarrolló aplicando el Geo HMS, para exportar directamente al HMS.



Los nombres de las subcuencas y los cauces lo genera automáticamente el geo HMS, así como las características físicas de la cuenca y los cauces.

### **b. Modelo meteorológico**

El modelo meteorológico se construyó con la información de las isoyetas de precipitación para diferentes períodos de retorno, interpolando el valor para el centroide de la subcuenca

**Cuadro 58:** Lámina de precipitación máxima calculado para cada subcuenca

DrainID	SUBCUENCAS	PP_med	PP_25	PP_50	PP_75	PP_100	PP_200
88	Chocope	408.52	109.37	126.81	136.86	144.23	161.84
97	Alto Motupe	614.13	103.97	121.26	131.44	139.02	157.71
110	Motupe2	456.37	110.04	127.73	137.92	145.42	163.44
120	Motupe1	242.05	88.75	102.30	109.91	115.43	128.17
121	Medio Alto Motupe	208.12	81.07	93.06	99.76	104.58	115.57
132	Salas	267.96	118.05	136.62	147.19	154.90	173.12
139	Bajo Motupe2	216.20	87.68	101.19	108.83	114.37	127.33
154	Bajo Motupe1	143.48	54.11	61.79	66.10	69.16	76.22

### **c. Modelo de control**

El período de simulación es variable, se encuentra en el rango de 24 horas a 7 días, dependiendo del tamaño de la subcuenca.

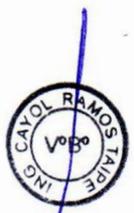
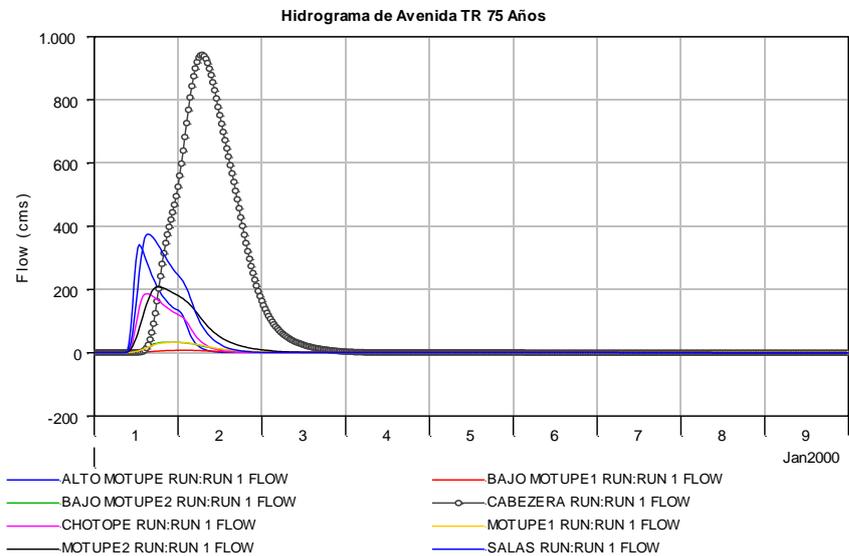
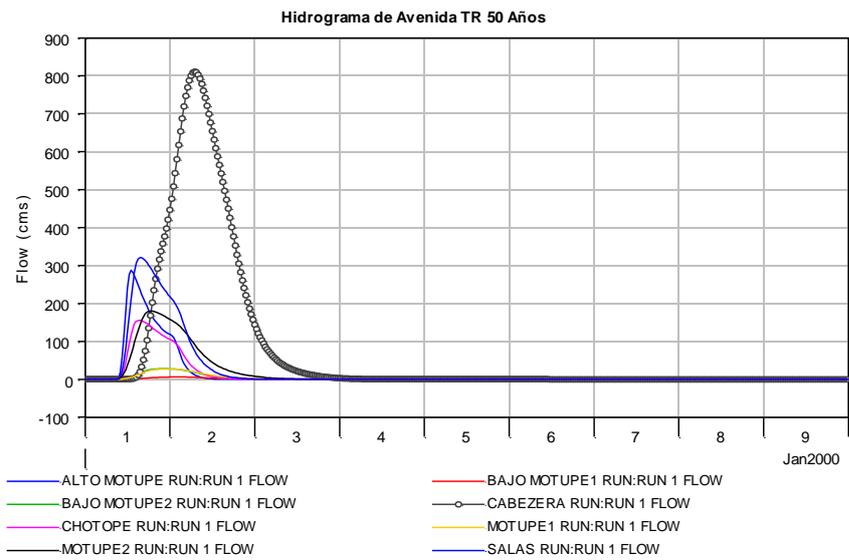
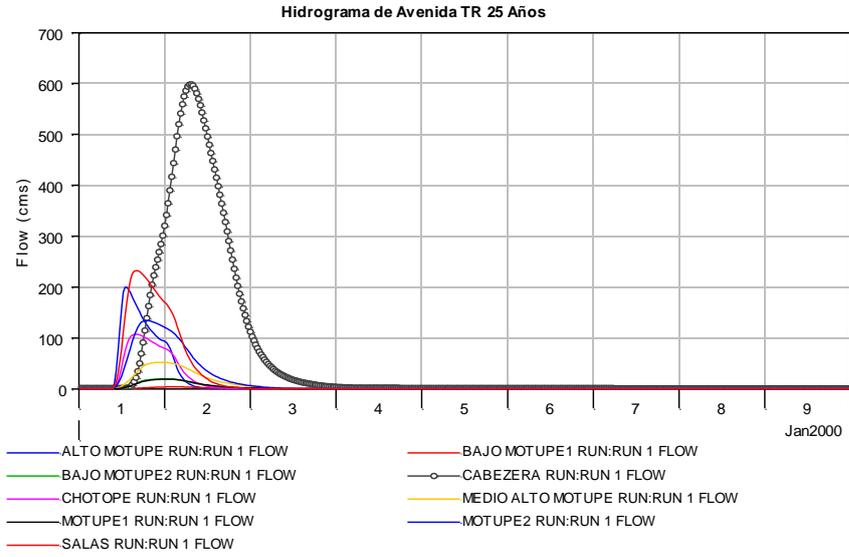
### **d. Hidrogramas resultantes**

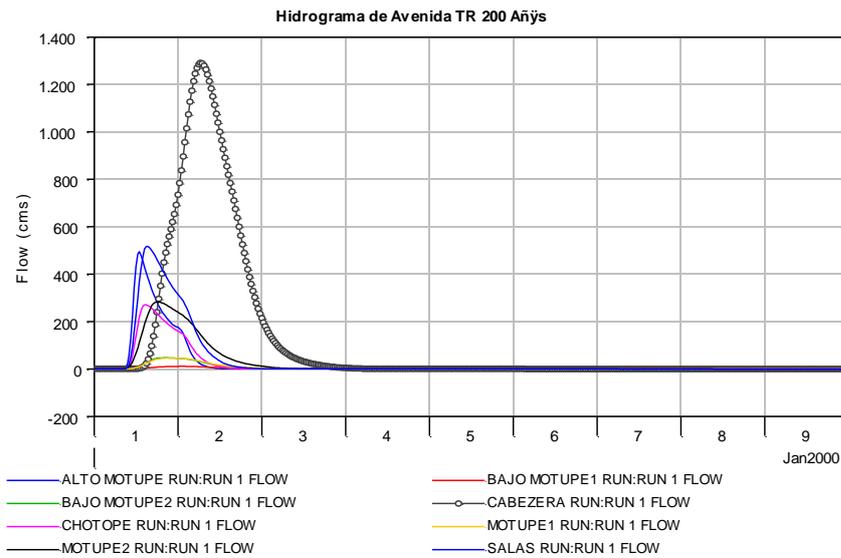
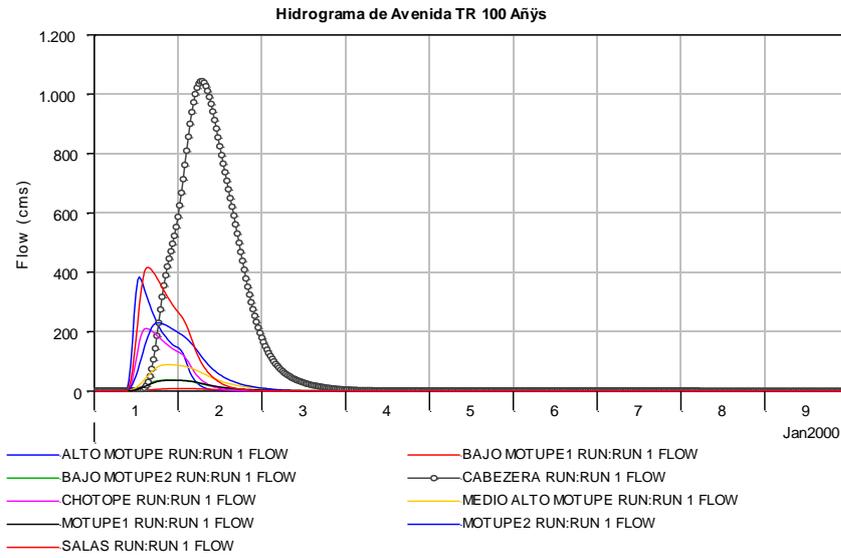
Los hidrogramas de avenida fueron calculados para períodos de retorno de 25, 50, 75, 100 y 200 años, y son presentados en la Figura 40. El hidrograma denominado Cabezera corresponde a la estación Marripon

Los caudales máximos de los hidrogramas calculados se presentan en el cuadro 59.



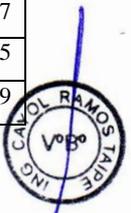
**Figura 40:** Hidrograma de avenida para 25, 50,75, 100 y 200 años de período de retorno y por subcuencas - Motupe





**Cuadro 59: Caudales máximos simulados para diferentes períodos de retorno – cuenca Motupe**

Cuenca	Subcuencas	CODIGO	Área	Q25	Q50	Q75	Q100	Q200
RÍO MOTUPE	Alto Motupe	Alto Motupe	243.84	200.2	287.0	342.0	384.5	494.0
	Cholope	Cholope	218.01	107.3	155.2	186.2	210.1	271.0
	Motupe	Motupe	350.329	153.1	206.8	240.0	265.3	328.8
	Medio Alto Motupe	Medio Alto Motupe	175.49	52.1	69.9	80.7	88.7	107.8
	Salas	Salas	306.66	232.4	320.9	375.3	416.0	516.7
	Bajo Motupe	Bajo Motupe	147.739	23.4	33.6	40.1	45.1	57.5
	<b>Cuenca Río Motupe</b>			<b>1442.06</b>	<b>598.5</b>	<b>812.8</b>	<b>944</b>	<b>1043.4</b>



### 6.2.11 Modelamiento hidrológico de la Cuenca Moche - Hec HMS

En la simulación con el Sistema de Modelamiento Hidrológico (HEC HMS) de la cuenca del Moche se emplearon los siguientes parámetros:

#### a. Modelo de cuenca

El área total de la cuenca es subdividido en: subcuencas desde la parte superior hasta la estación de aforo Quirihuac, como se muestra en la Figura No 41.

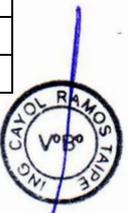
Los parámetros de los elementos de la cuenca se describen en los cuadros 60 – 63.

**Cuadro 60:** Parámetros de pérdida en las subcuencas

Ríos	CN	S (pulg)	S (mm)	la
R110	78.4	2.755102041	69.98	14.00
R40	73.114	3.677271111	93.40	18.68
R300	73.472	3.610627178	91.71	18.34
R200	80.204	2.468206075	62.69	12.54
R20	71.299	4.025442152	102.25	20.45
R280	73.010	3.696716255	93.90	18.78
R160	79.923	2.512042841	63.81	12.76
R310	82.83	2.072920439	52.65	10.53
R370	83.005	2.04746702	52.01	10.40

**Cuadro 61:** Parámetros de las subcuencas e hidrograma Snyder

Codigo	Nombre Subcuenca	Parámetros de subcuenca				Parámetros Hidrograma Snyder		
		L (ft)	L (milla)	Lc (ft)	Lc (milla)	Ct	Tp (hr)	Cp
R110	Medio Alto Moche	37679.8	7.1	44101.2	8.4	2	6.817	0.6
R40	Otuzco	12690.9	2.4	30000.1	5.7	2	4.382	0.6
R300	Catuay	43902.5	8.3	34005.9	6.4	2	6.602	0.6
R200	Motil	57677.1	10.9	43262.1	8.2	2	7.702	0.6
R20	La Costa	3024.6	0.6	65017.8	12.3	2	3.594	0.6
R280	Medio	120964.5	22.9	76150.1	14.4	2	11.396	0.6
R160	Alto Moche	24422.2	4.6	58754.0	11.1	2	6.524	0.6
R310	Medio Bajo Moche	7034.8	1.3	9234.6	1.7	2	2.578	0.6
R370	Bajo Moche	29895.8	5.7	24210.0	4.6	2	5.313	0.6



**Cuadro 62:** Calculo de flujo base

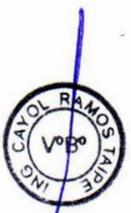
Ríos	Area	Flujo inicial (Q inicial)	K (Coef. Recesion)	Q inflexión (Therhold Q)
R110	131.91	0.070096553	0.85	0.140193106
R40	180.37	0.095848043	0.85	0.191696085
R300	108.36	0.057582158	0.85	0.115164317
R200	100.82	0.053575426	0.85	0.107150853
R20	482.84	0.256579636	0.85	0.513159271
R280	473.09	0.251398517	0.85	0.502797034
R160	249.57	0.132620702	0.85	0.265241404
R310	5.44	0.00289234	0.85	0.005784679
R370	149.43	0.079406625	0.85	0.158813251

**Cuadro 63:** Cálculo de parámetros de Muskingum

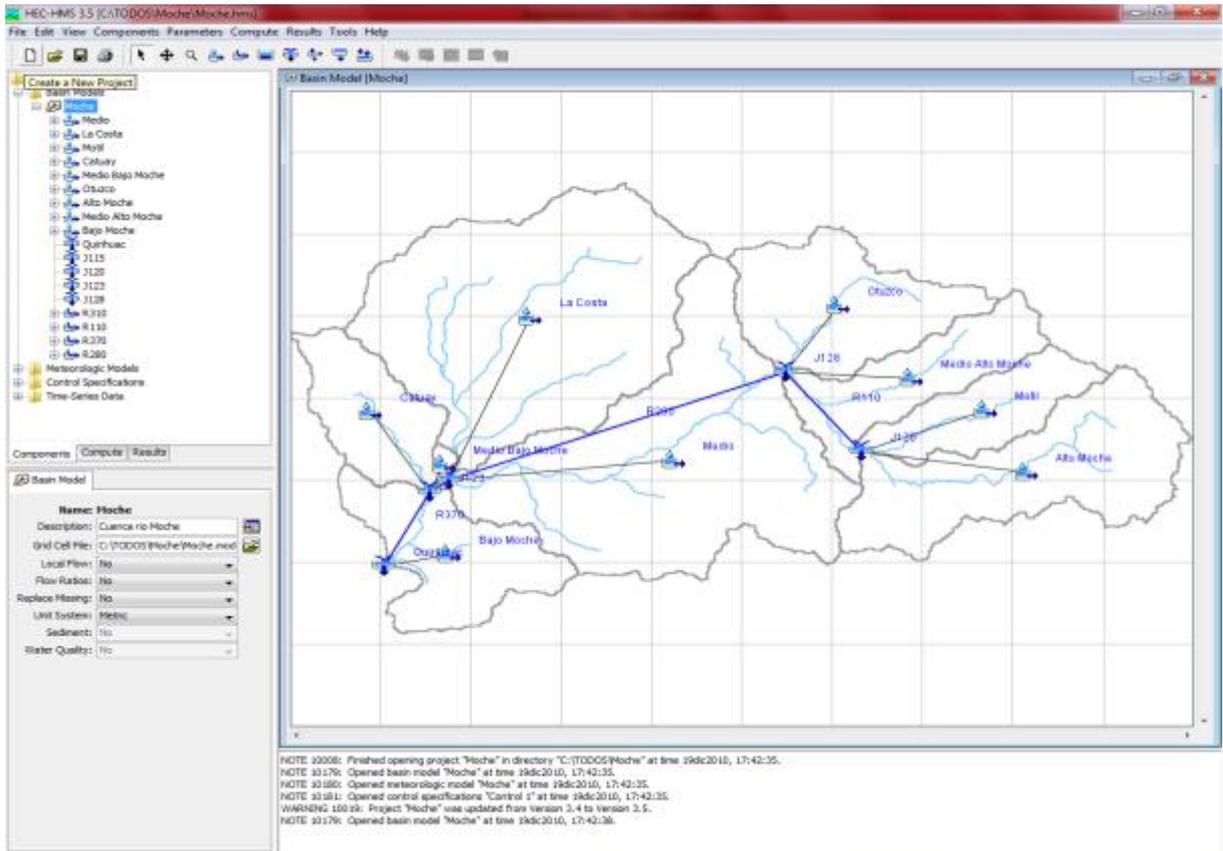
Cauce	Velocidad (m/s)	Longitud (m)	Ls/Vs	$\Delta T$ (seg)	Método de tránsito	Parámetros de Maskingum		
						n (subtramos)	Ks	X
R110	1.00	11484.94	11484.93603	900	Muskingum	5	3.1903	0.2
R40	1.00	3868.24	3868.243159	900	Muskingum	2	1.0745	0.2
R300	1.00	13381.64	13381.64283	900	Muskingum	5	3.7171	0.2
R200	1.00	17580.20	17580.19958	900	Muskingum	7	4.8834	0.2
R20	1.00	921.90	921.8971646	900	Muskingum	1	0.2561	0.2
R280	1.00	36870.43	36870.43155	900	Muskingum	14	10.2418	0.2
R160	1.00	7443.99	7443.986937	900	Muskingum	3	2.0678	0.2
R310	1.00	2144.24	2144.242282	900	Muskingum	1	0.5956	0.2
R370	1.00	9112.35	9112.347818	900	Muskingum	4	2.5312	0.2

Para la delimitación de la cuenca aportante y las subcuencas integrantes se desarrolló aplicando el Geo HMS, para exportar directamente al HMS.

Los nombres de las subcuencas y los cauces lo generan automáticamente el geo HMS, así como las características físicas de la cuenca y los cauces.



**Figura 41:** Modelo de cuenca e interconexión de subcuencas - Moche



**b. Modelo meteorológico**

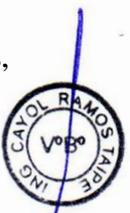
El modelo meteorológico se construyó con la información de las isoyetas de precipitación para diferentes períodos de retorno, interpolando el valor para el centroide de la subcuenca

**Cuadro 64:** Lámina de precipitación máxima calculado para cada subcuenca

DrainID	SUBCUENCAS	PP_med	PP_25	PP_50	PP_75	PP_100	PP_200
46	Medio Alto Moche	778.54	47.01	53.46	55.74	59.54	65.80
48	Otuzco	556.55	48.96	55.81	59.58	62.48	69.03
54	Catuay	279.36	51.46	58.66	63.34	66.63	74.17
55	Motil	971.10	48.20	54.11	54.38	59.56	65.24
56	La Costa	350.55	73.15	83.75	89.95	94.57	105.30
59	Medio	518.11	52.46	60.35	64.62	68.63	77.69
70	Alto Moche	1045.44	49.12	54.72	54.08	59.85	65.18
109	Medio Bajo Moche	350.42	53.79	61.34	66.02	69.58	78.02
112	Bajo Moche	376.66	47.45	54.04	57.92	60.91	69.04

**c. Modelo de control**

El período de simulación es variable, se encuentra en el rango de 24 horas a 3 días, dependiendo del tamaño de la subcuenca.

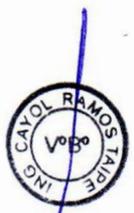
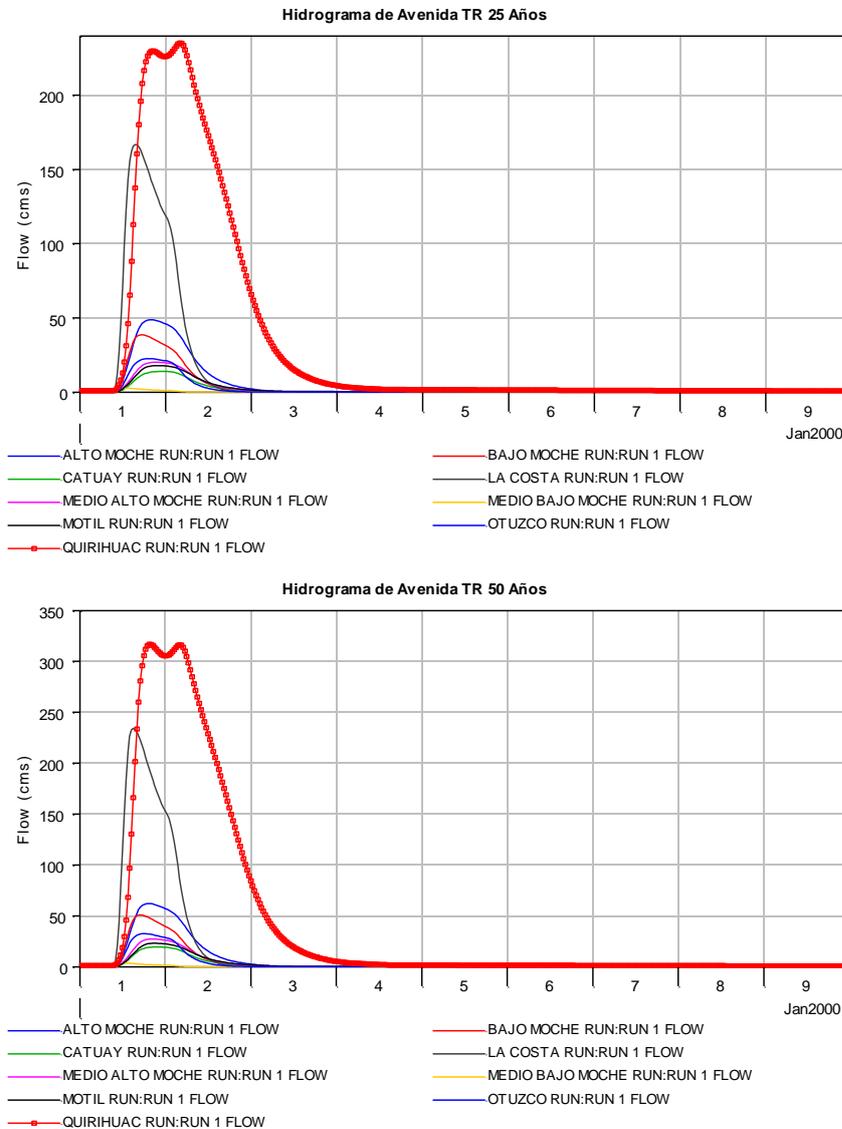


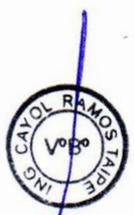
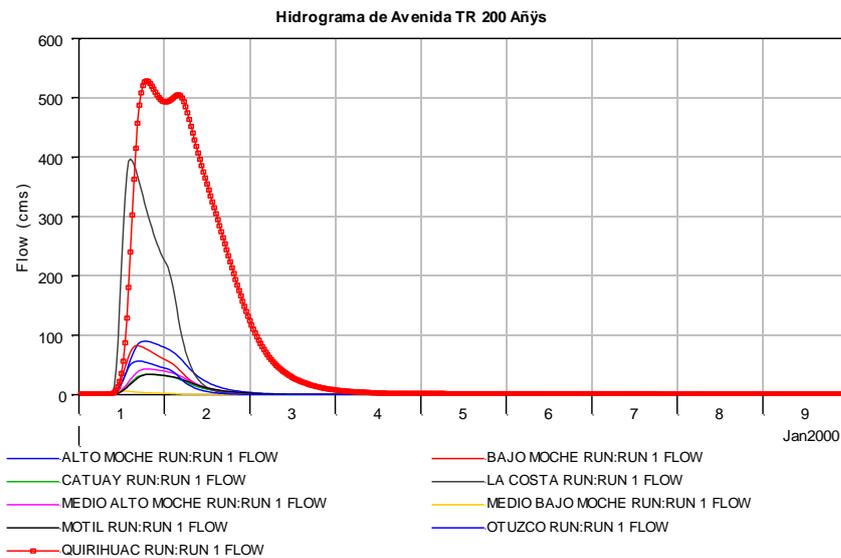
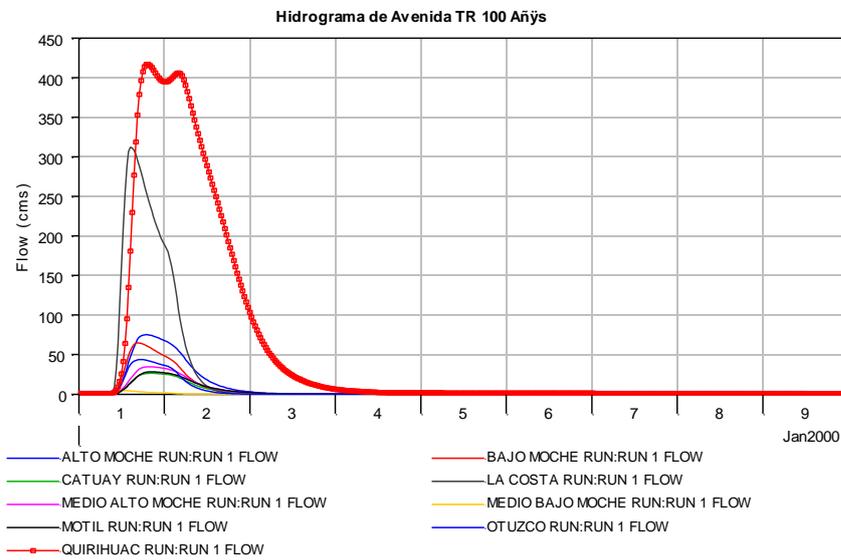
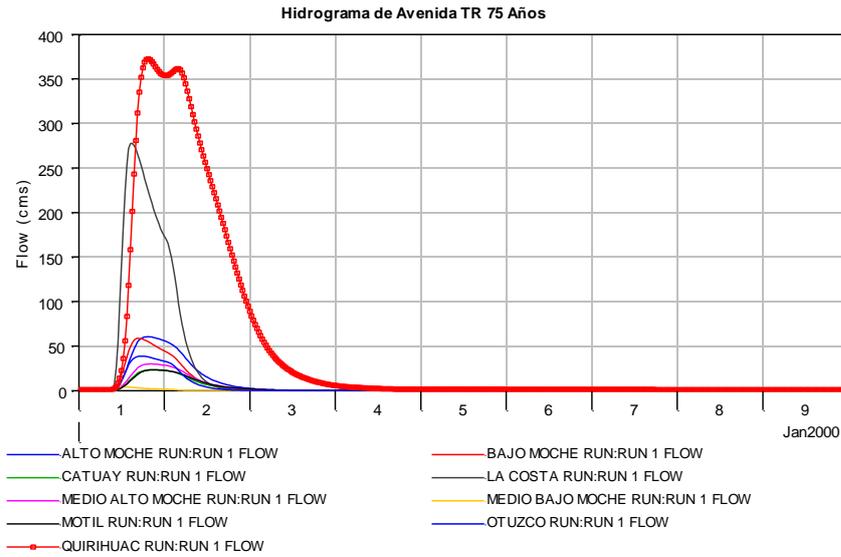
#### d. Hidrogramas resultantes

Los hidrogramas de avenida fueron calculados para períodos de retorno de 25, 50, 75, 100 y 200 años, y son presentados en las Figuras 42.

El hidrograma de avenida en la estación Quirhuac es llamado también Quirhuac y el resto corresponde a los hidrogramas de las subcuencas.

**Figura 42:** Hidrograma de avenida para 25, 50, 75, 100 y 200 años de período de retorno y por subcuencas - Moche





**Cuadro 65: Caudales máximos simulados para diferentes períodos de retorno – cuenca Moche**

Cuenca	Subcuencas	CODIGO	Área	Q25	Q50	Q75	Q100	Q200
RÍO MOCHE	Alto Moche	Alto Moche	249.57	48.7	62.0	60.5	75.2	89.8
	Motil	Motil	100.82	17.9	23.1	23.3	28.2	33.9
	Medio Alto Moche	Medio Alto Moche	131.91	2.7	27.2	29.9	34.6	42.9
	Otuzco	Otuzco	180.37	22.5	32.5	38.6	43.7	56.2
	Medio	Medio	473.09	48.5	69.0	81.0	93.0	121.8
	La Costa	La Cuesta	482.84	166.8	234.3	277.6	311.9	396.8
	Catuay	Catuay	108.36	13.9	19.4	23.4	26.4	33.8
	Medio Bajo Moche	Medio Bajo Moche	5.4429	2.7	3.6	4.2	4.7	5.8
	Bajo Moche	Bajo Moche	149.43	38.6	50.9	58.6	64.8	82.4
	<b>Cuenca Río Moche</b>			1881.83	235.3	316.8	372.4	416.8

### 6.2.12 Modelamiento hidrológico de la Cuenca Chicama - Hec HMS

En la simulación con el Sistema de Modelamiento Hidrológico (HEC HMS) de la cuenca del Chicama se emplearon los siguientes parámetros:

#### a. Modelo de cuenca

El área total de la cuenca es subdividido en: subcuencas desde la parte superior hasta la estación de aforo Salinar, como se muestra en la Figura No 43.

Los parámetros calculados se presentan en los cuadros 66 – 69.

**Cuadro 66: Parámetros de pérdida en las subcuencas**

Cuenca	CN	S (pulg)	S (mm)	la
Alto Chicama1	77.943	2.82994941	71.88	14.376
Alto Chicama2	84.058	1.89648301	48.17	9.634
Chuquillanqui1	79.790	2.53285347	64.33	12.867
Chuquillanqui2	75.318	3.27707377	83.24	16.648
Chuquillanqui3	84.000	1.9047619	48.38	9.676
Medio Alto Chicama	75.999	3.15809514	80.22	16.043
Medio Chicama	80.411	2.43603989	61.88	12.375
Ochape	74.364	3.44743934	87.56	17.513
Qirripano	74.210	3.47536367	88.27	17.655
Santanero	75.189	3.29976473	83.81	16.763



**Cuadro 67:** parámetros de las subcuencas e hidrograma Snyder

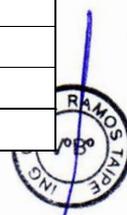
Código		Parámetros de subcuenca				Parámetros Hidrograma Snyder		
		L (ft)	L (milla)	Lc (ft)	Lc (milla)	Ct	Tp (hr)	Cp
141	Alto Chicama1	135720.2	25.7	58023.2	11.0	2	10.872	0.6
154	Alto Chicama2	177616.7	33.6	75888.4	14.4	2	12.775	0.6
106	Chuquillanqui1	60152.9	11.4	28005.2	5.3	2	6.845	0.6
88	Chuquillanqui2	103191.7	19.5	50225.7	9.5	2	9.590	0.6
109	Chuquillanqui3	147210.6	27.9	69900.3	13.2	2	11.781	0.6
121	Medio Alto Chicama	130151.2	24.6	44771.8	8.5	2	9.933	0.6
119	Medio Chicama	79158.5	15.0	37065.9	7.0	2	8.085	0.6
84	Ochape	107380.8	20.3	56199.2	10.6	2	10.038	0.6
130	Qirripano	137633.1	26.1	61026.2	11.6	2	11.085	0.6
99	Santanero	131802.6	25.0	57784.0	10.9	2	10.764	0.6
141								

**Cuadro 68:** Cálculo de flujo de base

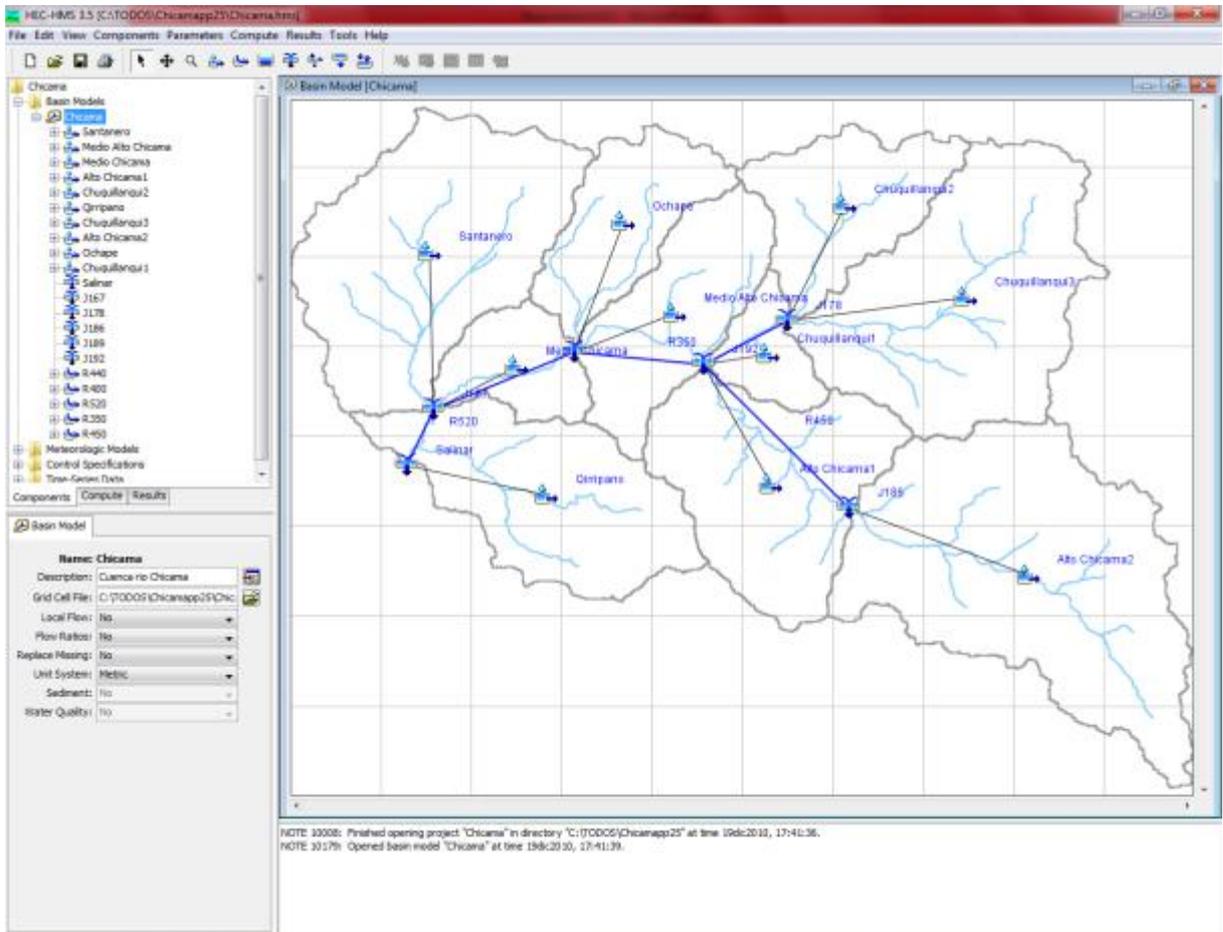
Cuenca NAME	AREA	Flujo inicial (Q inicial)	K (Coef. Recesion)	Q inflexión (Threshold Q)
Alto Chicama1	413.08	1.152807112	0.85	2.260845015
Alto Chicama2	773.25	2.157955115	0.85	4.232106149
Chuquillanqui1	89.731	0.250417679	0.85	0.491110400
Chuquillanqui2	241.65	0.674387137	0.85	1.322584482
Chuquillanqui3	583.37	1.628045620	0.85	3.192866167
Medio Alto Chicama	272.05	0.759226239	0.85	1.488967963
Medio Chicama	135.59	0.378399139	0.85	0.742103165
Ochape	216.21	0.603390204	0.85	1.183347779
Qirripano	399.11	1.113820195	0.85	2.184385238
Santanero	566.71	1.581551560	0.85	3.101683641

**Cuadro 69:** Cálculo de parámetros de Muskingum

Cauce	Velocidad (m/s)	Longitud (m)	Ls/Vs	$\Delta T$ (seg)	Método de tránsito	Parámetros de Muskingum		
						n (subtramos)	Ks	X
R450	1.00	25842.19	25842.187	900	Muskingum	10	7.1784	0.2
R610	1.00	1604.21	1604.2074	900	Muskingum	1	0.4456	0.2
R400	1.00	10666.94	10666.935	900	Muskingum	4	2.9630	0.2
R20	1.00	4714.75	4714.7459	900	Muskingum	2	1.3097	0.2
R60	1.00	6545.94	6545.9355	900	Muskingum	3	1.8183	0.2
R350	1.00	18166.56	18166.562	900	Muskingum	7	5.0463	0.2
R440	1.00	19240.05	19240.047	900	Muskingum	8	5.3445	0.2
R230	1.00	17938.22	17938.216	900	Muskingum	7	4.9828	0.2
R520	1.00	8242.80	8242.7982	900	Muskingum	4	2.2897	0.2
R70	1.00	5159.40	5159.3979	900	Muskingum	2	1.4332	0.2



**Figura 43:** Modelo de cuenca e interconexión de subcuencas - Chicama



Para la delimitación de la cuenca aportante y las subcuencas integrantes se desarrolló aplicando el Geo HMS, para exportar directamente al HMS.

Los nombres de las subcuencas y los cauces lo genera automáticamente el geo HMS, así como las características físicas de la cuenca y los cauces.

### **b. Modelo meteorológico**

El modelo meteorológico se construyó con la información de las isoyetas de precipitación para diferentes períodos de retorno, interpolando el valor para el centroide de la subcuenca.



**Cuadro 70:** Lámina de precipitación máxima calculado para cada subcuenca

<i>DrainID</i>	<i>SUBCUENCAS</i>	<i>PP_med</i>	<i>PP_25</i>	<i>PP_50</i>	<i>PP_75</i>	<i>PP_100</i>	<i>PP_200</i>
141	Alto Chicama1	342.71	57.26	64.38	68.43	71.26	78.00
154	Alto Chicama2	763.54	47.72	52.68	55.53	57.74	62.77
106	Chuquillanqui1	437.14	55.13	61.28	64.73	67.26	73.22
88	Chuquillanqui2	675.90	63.64	70.74	74.78	77.73	85.07
109	Chuquillanqui3	686.81	54.40	58.34	60.57	62.09	66.20
121	Medio Alto Chicama	396.40	53.69	60.21	63.83	66.50	72.58
119	Medio Chicama	192.06	47.13	53.13	56.53	59.02	64.53
84	Ochape	516.11	61.36	69.57	74.19	77.55	85.39
130	Qirripano	207.56	57.12	64.92	69.42	72.77	80.29
99	Santanero	266.77	58.03	65.62	69.99	73.23	80.74

### c. Modelo de control

El período de simulación es variable, se encuentra en el rango de 24 horas a 5 días, dependiendo del tamaño de la subcuenca.

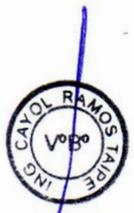
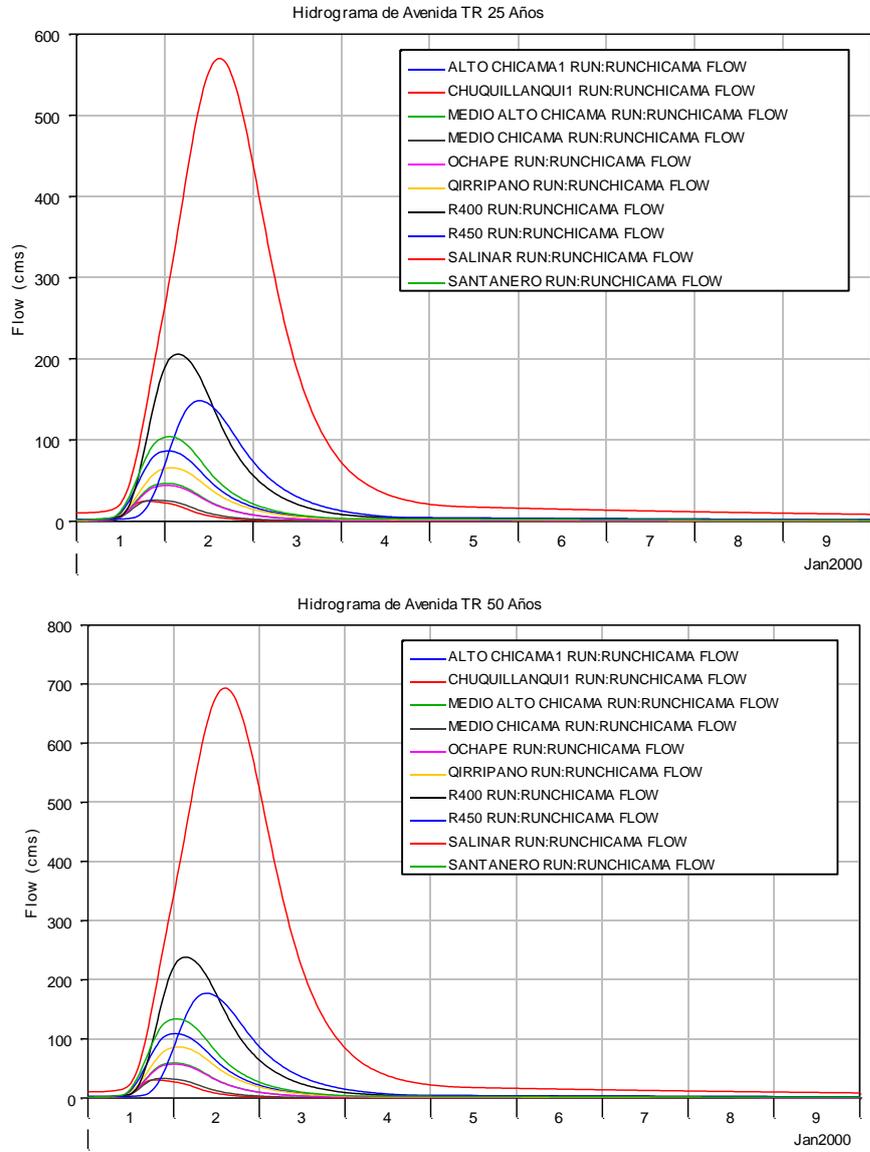
### d. Hidrogramas resultantes

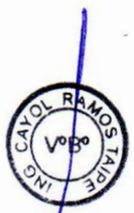
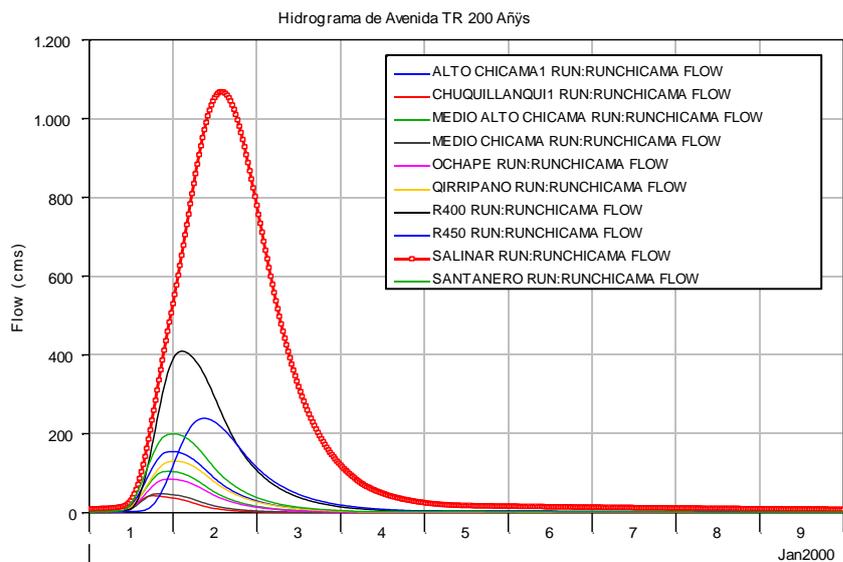
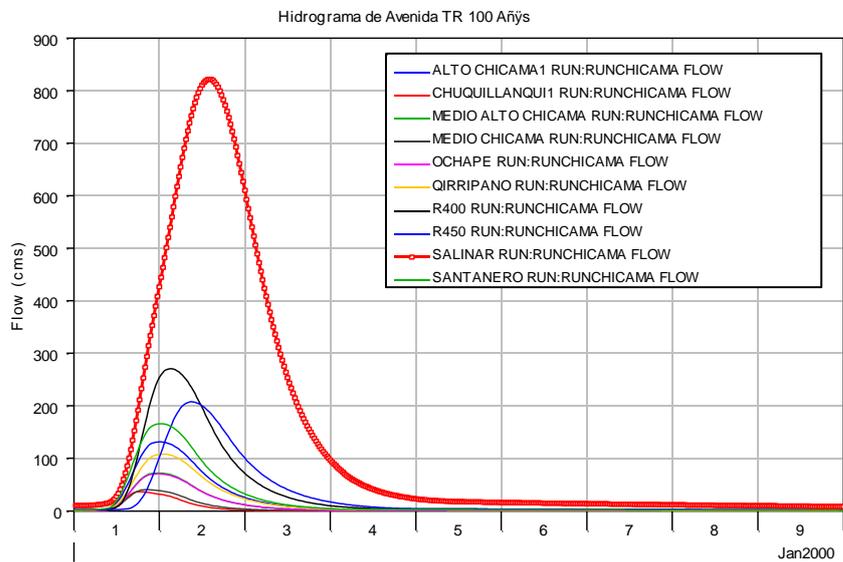
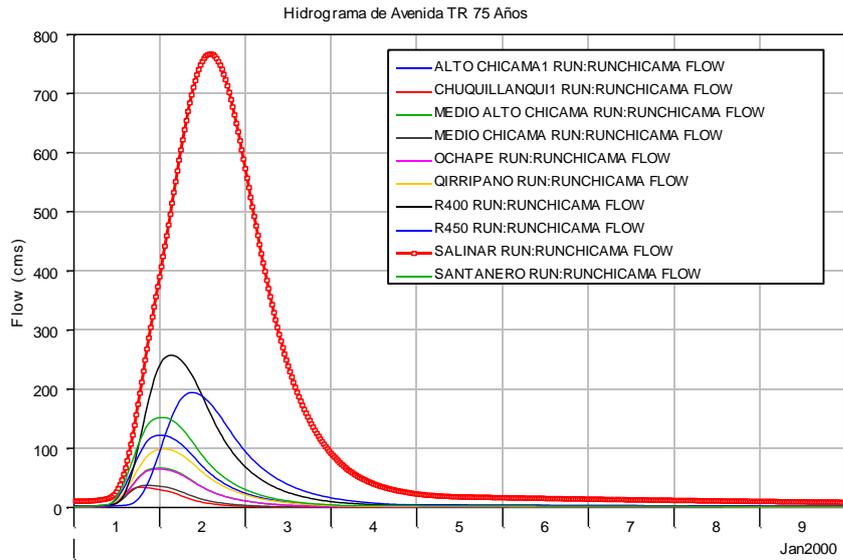
Los hidrogramas de avenida fueron calculados para períodos de retorno de 25, 50, 75, 100 y 200 años, y son presentados en la Figura 44. El hidrograma de salida es el llamado Salinar.

Los caudales máximos de los hidrogramas calculados se presentan en el cuadro 71.



**Figura 44:** Hidrograma de avenida para 25, 50,75, 100 y 200 años de período de retorno y por subcuencas - Chicama





**Cuadro 71: Caudales máximos simulados para diferentes períodos de retorno – cuenca Chicama**

Cuenca	Subcuencas	CODIGO	Área	Q25	Q50	Q75	Q100	Q200
RÍO CHICAMA	Chuquillanqui	Chuquillanqui	914.751	230.3	268.5	290.9	307.1	452.0
	Alto Chicama	Alto Chicama	1186.33	234.8	284.0	316.1	339.1	394.1
	Medio Alto Chicama	Medio Alto Chicama	272.05	46.5	59.0	66.4	72.1	104.5
	Ochape	Ochape	216.21	44.1	57.0	64.7	70.5	84.6
	Medio Chicama	Medio Chicama	135.59	25.8	32.9	37.2	40.4	47.9
	Quirripango	Quirripango+MBC H	399.11	65.8	86.1	98.5	108.2	130.8
	Santanero	Santanero	566.71	104.0	133.8	151.9	165.9	199.6
	<b>Cuenca Río Chicama</b>			3690.75	569.9	693.2	766.7	821.7

### 6.2.13 Modelamiento hidrológico de la Cuenca Santa - Hec HMS

En la simulación con el Sistema de Modelamiento Hidrológico (HEC HMS) de la cuenca del Santa se emplearon los siguientes pasos:

#### a. Modelo de cuenca

El área total de la cuenca es subdividido en: subcuencas desde la parte superior hasta la estación de aforo, como se muestra en la Figura No 45.

Los parámetros calculados se muestran en los cuadros 72 – 75.

**Cuadro 72: Parámetros de perdida en las subcuencas**

Cuenca	CN	S (pulg)	S (mm)	la
W1240	70.618	4.16069064	105.68	21.14
W1280	73.925	3.52728063	89.59	17.92
W1320	75.799	3.19279109	81.10	16.22
W1390	73.675	3.57309492	90.76	18.15
W1450	74.336	3.45241118	87.69	17.54
W1480	73.887	3.53425517	89.77	17.95
W1490	76.063	3.14703441	79.93	15.99
W1500	74.011	3.51144032	89.19	17.84
W1590	76.380	3.09244567	78.55	15.71
W1610	74.015	3.51074489	89.17	17.83
W1720	75.630	3.22219627	81.84	16.37
W1830	73.541	3.59787938	91.39	18.28
W1940	77.404	2.91927369	74.15	14.83
W2020	76.868	3.00923097	76.43	15.29



W2080	75.773	3.19726817	81.21	16.24
W2160	77.188	2.95545856	75.07	15.01
W2270	77.947	2.82929781	71.86	14.37
W2300	79.125	2.63828132	67.01	13.40
W2350	82.657	2.09818009	53.29	10.66

**Cuadro 73:** parámetros de las subcuencas e hidrograma Snyder

Codigo	Parametros de subcuenca				Parametros Hidrograma Snyder		
	L (ft)	L (milla)	Lc (ft)	Lc (milla)	Ct	Tp (hr)	Cp
W1240	121817.6	23.1	68508.1	13.0	2	11.063	0.6
W1280	130917.5	24.8	48986.3	9.3	2	10.223	0.6
W1320	172164.7	32.6	87684.6	16.6	2	13.216	0.6
W1390	115201.8	21.8	53619.8	10.2	2	10.108	0.6
W1450	187759.7	35.6	78548.6	14.9	2	13.124	0.6
W1480	182802.4	34.6	89371.8	16.9	2	13.533	0.6
W1490	172952.6	32.8	84759.9	16.1	2	13.100	0.6
W1500	184680.3	35.0	79620.8	15.1	2	13.112	0.6
W1590	157200.8	29.8	83416.1	15.8	2	12.670	0.6
W1610	158321.4	30.0	71808.8	13.6	2	12.138	0.6
W1720	240835.6	45.6	102243.0	19.4	2	15.306	0.6
W1830	173376.2	32.8	77206.0	14.6	2	12.748	0.6
W1940	144627.5	27.4	48838.7	9.2	2	10.523	0.6
W2020	193235.2	36.6	61178.1	11.6	2	12.282	0.6
W2080	171454.3	32.5	84538.6	16.0	2	13.056	0.6
W2160	200415.8	38.0	59973.0	11.4	2	12.343	0.6
W2270	165360.0	31.3	53148.6	10.1	2	11.236	0.6
W2300	104353.6	19.8	72418.6	13.7	2	10.739	0.6
W2350	262208.2	49.7	97547.1	18.5	2	15.481	0.6

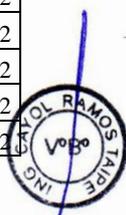


**Cuadro 74: Cálculo de flujo de base**

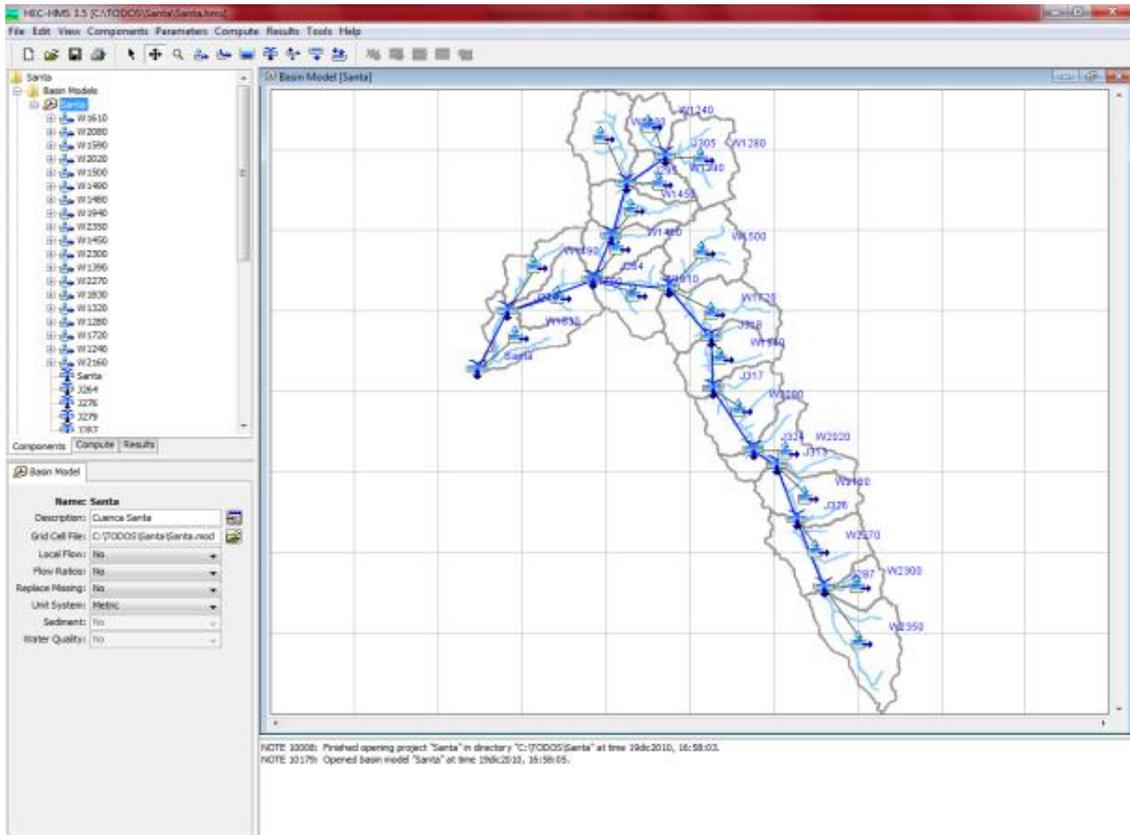
Cuenca NAME	AREA	Flujo inicial (Q inicial)	K (Coef. Recesion)	Q inflexión (Therhold Q)
W1240	354.54	1.65915475	0.85	2.2943231
W1280	716.81	3.35448389	0.85	4.6386691
W1320	732.00	3.42556912	0.85	4.7369677
W1390	347.72	1.62723893	0.85	2.2501891
W1450	536.63	2.51128847	0.85	3.4726762
W1480	508.29	2.37866466	0.85	3.2892805
W1490	417.64	1.95444630	0.85	2.7026601
W1500	791.45	3.70377962	0.85	5.1216845
W1590	613.91	2.87293872	0.85	3.9727757
W1610	637.02	2.98108749	0.85	4.1223267
W1720	856.31	4.00730751	0.85	5.5414109
W1830	516.02	2.41483904	0.85	3.3393034
W1940	661.46	3.09546032	0.85	4.2804845
W2020	711.27	3.32855813	0.85	4.6028183
W2080	814.27	3.81057127	0.85	5.2693588
W2160	681.46	3.18905510	0.85	4.4099098
W2270	826.62	3.86836605	0.85	5.3492790
W2300	277.32	1.29778529	0.85	1.7946119
W2350	944.37	4.41940535	0.85	6.1112707

**Cuadro 75: Cálculo de parámetros de Muskingum**

Cauce	Velocidad (m/s)	Longitud (m)	Ls/Vs	$\Delta T$ (seg)	Método de tránsito	Parámetros de Maskingum		
						n (subtramos)	Ks	X
R60	1.00	11470.40	11470.403	900	Muskingum	5	3.1862	0.2
R80	1.00	11154.06	11154.058	900	Muskingum	5	3.0983	0.2
R20	1.00	6070.05	6070.0541	900	Muskingum	3	1.6861	0.2
R210	1.00	22132.12	22132.117	900	Muskingum	9	6.1478	0.2
R280	1.00	26816.43	26816.432	900	Muskingum	10	7.4490	0.2
R360	1.00	24296.11	24296.113	900	Muskingum	9	6.7489	0.2
R400	1.00	4404.99	4404.9856	900	Muskingum	2	1.2236	0.2
R300	1.00	8817.92	8817.9198	900	Muskingum	4	2.4494	0.2
R540	1.00	42292.13	42292.132	900	Muskingum	16	11.7478	0.2
R450	1.00	38157.16	38157.164	900	Muskingum	15	10.5992	0.2
R490	1.00	33492.60	33492.603	900	Muskingum	13	9.3035	0.2
R770	1.00	35414.52	35414.519	900	Muskingum	14	9.8374	0.2
R690	1.00	26388.81	26388.807	900	Muskingum	10	7.3302	0.2
R920	1.00	13762.94	13762.94	900	Muskingum	6	3.8230	0.2
R800	1.00	35684.54	35684.537	900	Muskingum	14	9.9124	0.2
R960	1.00	27333.99	27333.985	900	Muskingum	11	7.5928	0.2
R1020	1.00	33549.61	33549.607	900	Muskingum	13	9.3193	0.2
R1110	1.00	9089.87	9089.8659	900	Muskingum	4	2.5250	0.2
R1140	1.00	9998.59	9998.5934	900	Muskingum	4	2.7774	0.2



**Figura 45:** Modelo de cuenca e interconexión de subcuencas - Santa



Para la delimitación de la cuenca aportante y las subcuencas integrantes se desarrolló aplicando el Geo HMS, para exportar directamente al HMS.

Los nombres de las subcuencas y los cauces lo genera automáticamente el geo HMS, así como las características físicas de la cuenca y los cauces.

**b. Modelo meteorológico**

El modelo meteorológico se construyó con la información de las isoyetas de precipitación para diferentes períodos de retorno, interpolando el valor para el centroide de la subcuenca

**Cuadro 76:** Lámina de precipitación máxima calculado para cada subcuenca

DrainID	SUNCUENCAS	PP_med	PP_25	PP_50	PP_75	PP_100	PP_200
124	W1240	664.77	41.94	46.07	47.91	50.83	52.68
128	W1280	609.63	45.31	50.34	53.42	55.57	60.94
132	W1320	681.30	45.99	51.19	54.36	56.03	61.81
139	W1390	448.70	46.41	52.63	56.12	52.63	64.62
145	W1450	382.40	50.42	57.78	62.01	51.48	72.59
148	W1480	303.81	56.82	65.89	71.04	54.45	83.73
149	W1490	291.90	48.51	56.19	60.74	40.51	71.77



150	W1500	567.41	61.82	71.67	77.33	75.40	91.43
159	W1590	209.87	50.55	58.73	63.49	43.07	75.01
161	W1610	228.63	69.94	81.61	88.35	75.92	104.78
172	W1720	360.03	91.61	107.03	115.93	120.03	137.85
183	W1830	144.01	36.17	41.98	45.31	31.47	53.07
194	W1940	264.00	101.71	118.94	128.87	136.77	153.37
202	W2020	662.59	80.46	92.38	99.28	105.48	116.59
208	W2080	391.59	90.28	105.26	113.92	121.46	135.56
216	W2160	808.05	69.68	78.67	83.87	88.05	96.89
227	W2270	814.48	53.51	59.66	63.18	65.73	71.93
230	W2300	1001.78	55.74	62.42	66.25	69.02	75.77
235	W2350	910.62	55.65	62.76	66.87	69.94	77.06

### c. Modelo de control

El período de simulación es variable, se encuentra en el rango de 24 horas a 7 días, dependiendo del tamaño de la subcuenca.

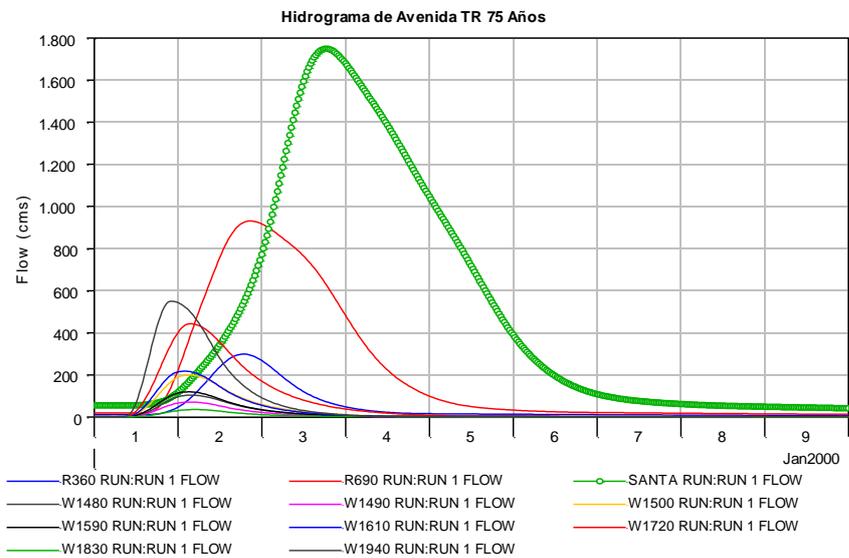
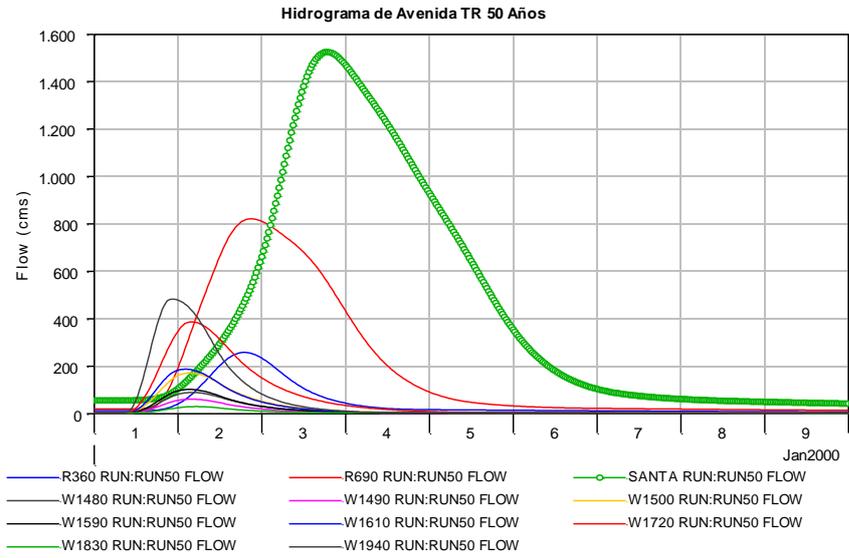
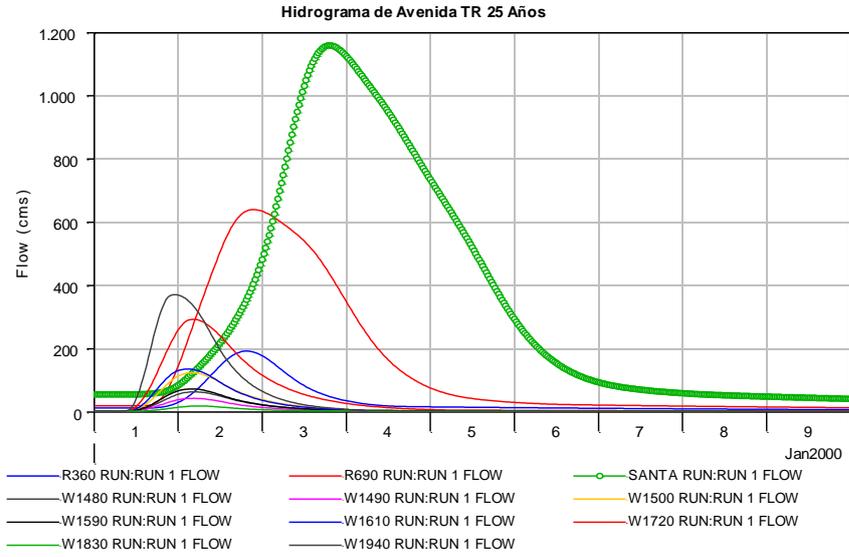
### d. Hidrogramas resultantes

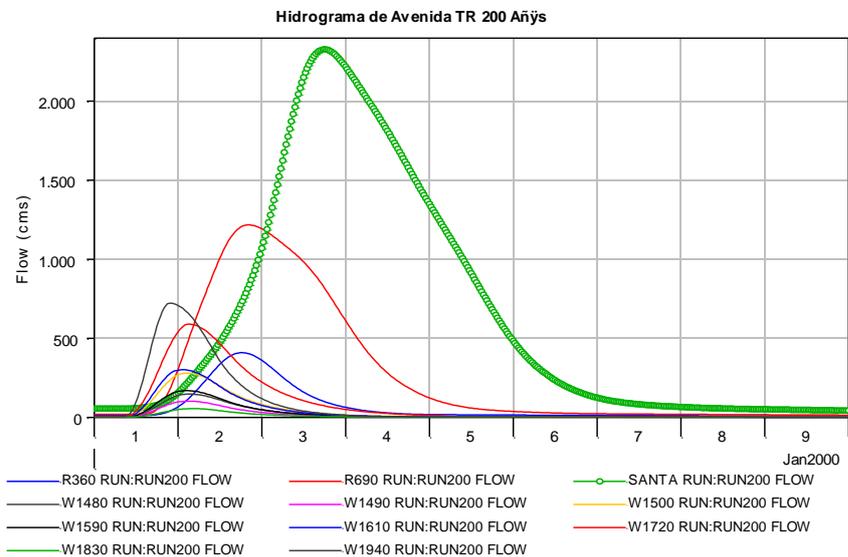
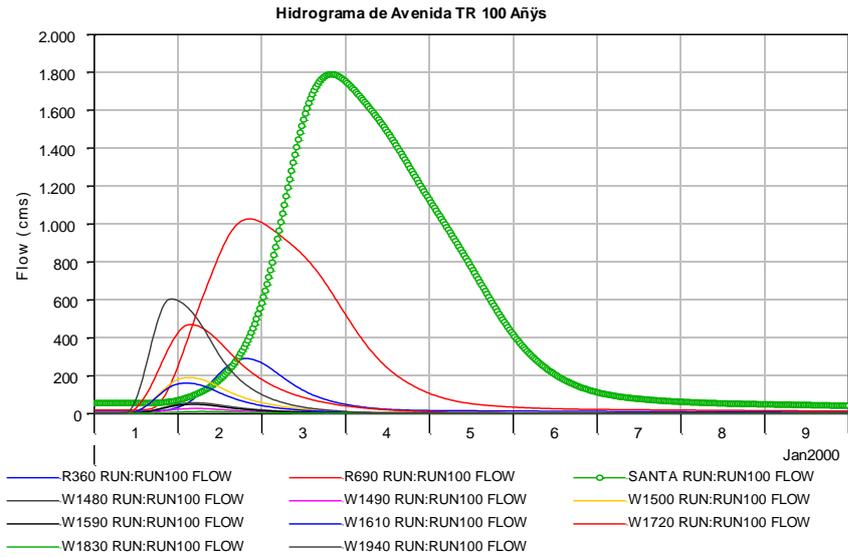
Los hidrogramas de avenida fueron calculados para períodos de retorno de 25, 50, 75, 100 y 200 años, y son presentados en las Figuras siguientes:

El hidrograma de avenida en la estación Condorcero corresponde al hidrograma denominado SantaRUN, y el resto corresponde a las subcuencas.



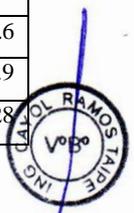
**Figura 46:** Hidrograma de avenida para 25, 50,75, 100 y 200 años de período de retorno y por subcuencas - Santa





**Cuadro 77: Caudales máximos simulados para diferentes períodos de retorno – cuenca Santa**

Cuenca	Subcuencas	CODIGO	Área	Q25	Q50	Q75	Q100	Q200
RÍO SANTA	Alto Santa	Alto Santa	4916.77	1011.1	1304.5	1481.0	1631.4	1940.0
	Quitaracsa + Medio Alto Santa	W1720	856.31	292.9	386.7	443.2	469.9	588.9
	Manta	W1500	791.45	123.8	171.0	190.1	200.3	278.8
	Tablachaca	Tablachaca	3195.99	256.1	347.0	348.3	404.1	555.9
	Medio Santa	W1610	637.02	135.9	187.0	161.5	218.6	300.7
	Palo Redondo	W1490	417.64	43.0	60.6	27.2	72.0	101.9
	Medio Bajo Santa	W1590	613.91	72.6	101.8	49.1	120.2	168.6
	Bajo Santa	W1830	516.02	18.8	29.4	11.8	36.4	54.9
	<b>Cuenca Río Santa</b>			11945.1	1159.3	1525.3	1748.6	1789.8



#### 6.2.14 Modelamiento en años Niño

Para la simulación de los Año Niño se ha elegido el año 1998, por que aparentemente tiene registros mas fiables comparado al del 1983. Las cuencas simuladas son el Tumbes y el Chira.

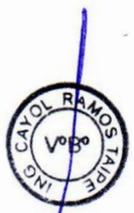
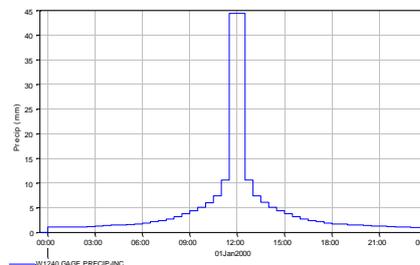
El modelo construido en Hec HMS, emplea los mismos parámetros de cuenca de determinados para años normales.

El modelo meteorológico, toma en cuenta la recomendación de Ponce et al, que menciona que los patrones de precipitación regional, para cuencas grandes como el Puyango-Tumbes y el Chira, es necesario considerar una combinación de dos tormentas: tormenta general y tormenta local. Las tormentas generales son de baja intensidad, pero tienen a cubrir gran parte de la cuenca. Las tormentas locales son tormentas concentradas en áreas más pequeñas (localizadas) y son comúnmente de alta intensidad y corta duración.

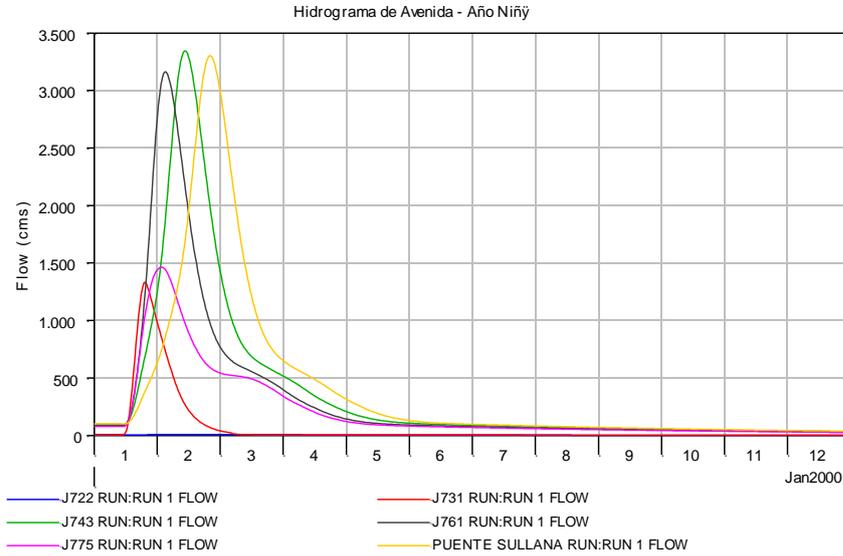
En consecuencia, una tormenta general (en el contexto de este estudio) es definido como una tormenta que cubre toda la cuenca con una lluvia distribuido uniformemente en el tiempo y una tormenta local definida como la tormenta que cubre sólo el área de influencia del fenómeno del Niño en la cuenca ( $\approx 1,036 \text{ km}^2$ , para el Tumbes y  $\approx 1068 \text{ km}^2$  para el Chira).

Los resultados se muestran en la siguiente figura:

**Figura 47:** Hietograma de tormentas local para las cuencas Tumbes y Chira

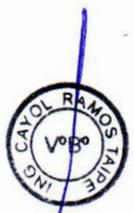
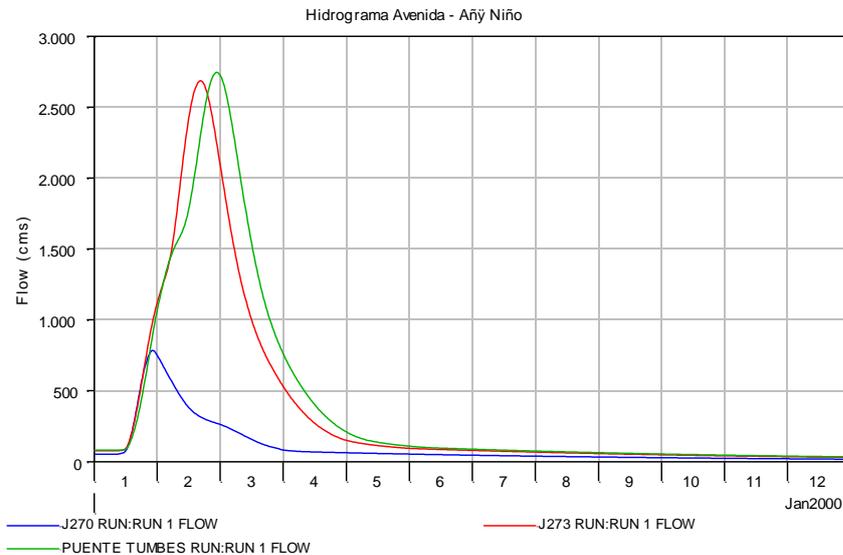


**Figura 48:** Hidrograma de avenida Niño 1998 – cuenca Chira



El caudal máximo generado en el hidrograma de ingreso a Poechos es (J743) 3343.8 m<sup>3</sup>/s y en el Puente Sullana 3302 m<sup>3</sup>/s. esto muestra que un año Niño puede generar tanto caudal como una avenida de 50 años de periodo de retorno.

**Figura 49:** Hidrograma de avenida Niño 1998 – cuenca Tumbes



El caudal máximo generado en el hidrograma de la estación Puente Tumbes es 2744.1 m<sup>3</sup>/s y en Ardilla 2685.9 m<sup>3</sup>/s. esto muestra que un año Niño puede generar tanto caudal como una avenida de 100 años de periodo de retorno.

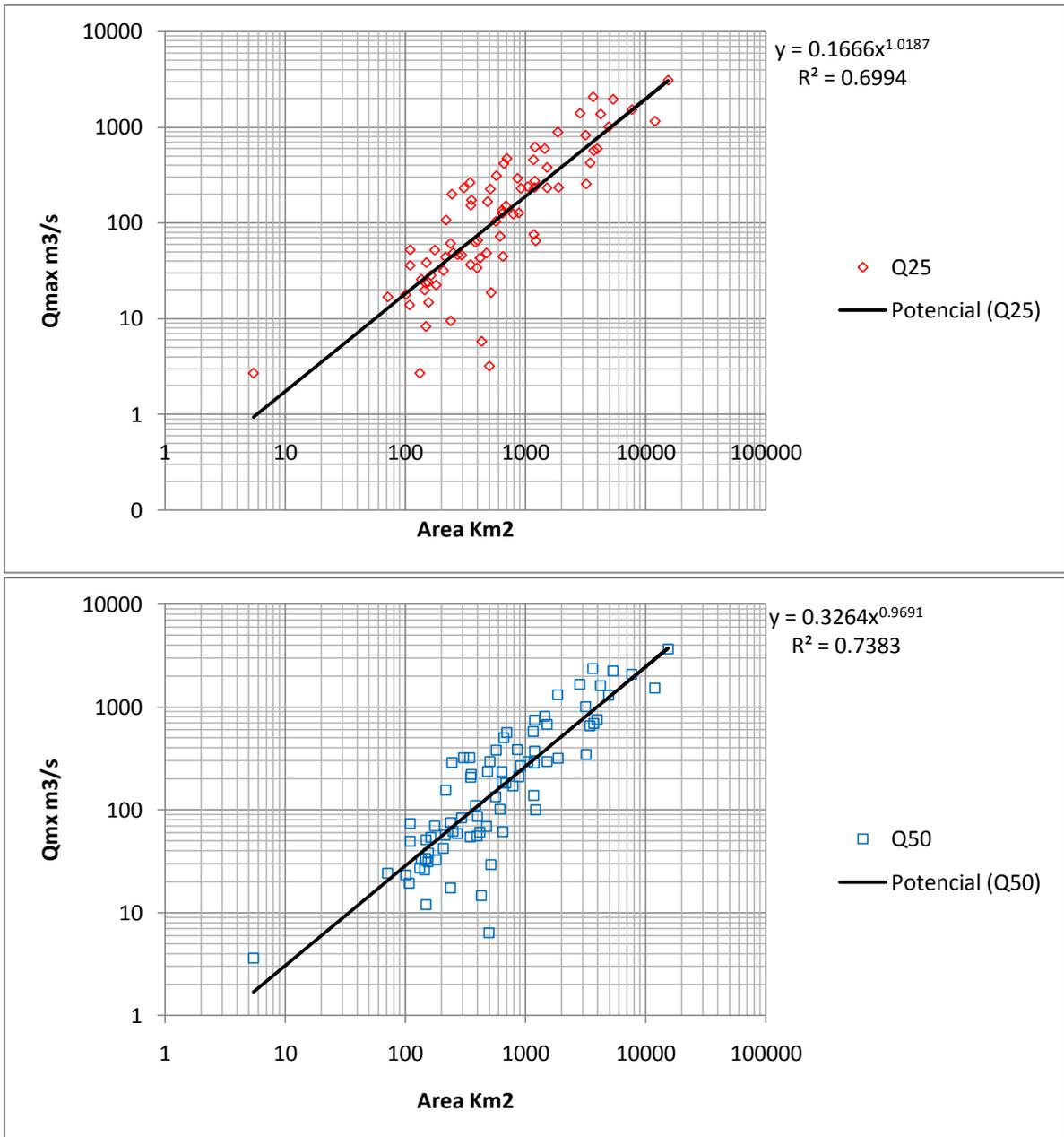
### **6.3 Regionalización de caudales máximos en función del área**

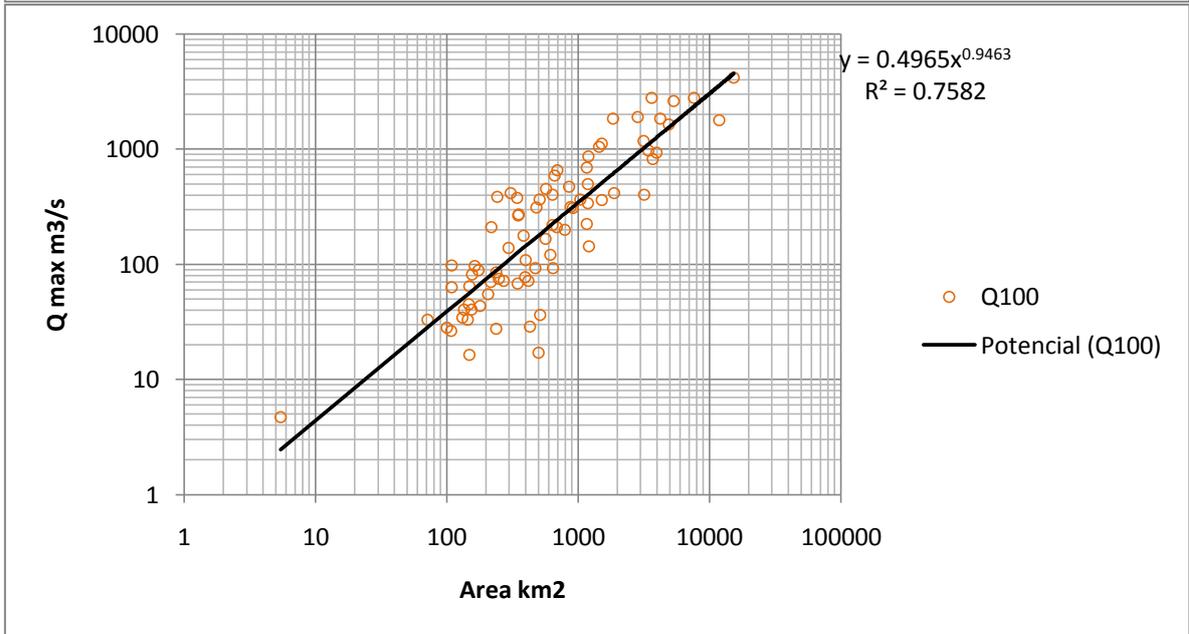
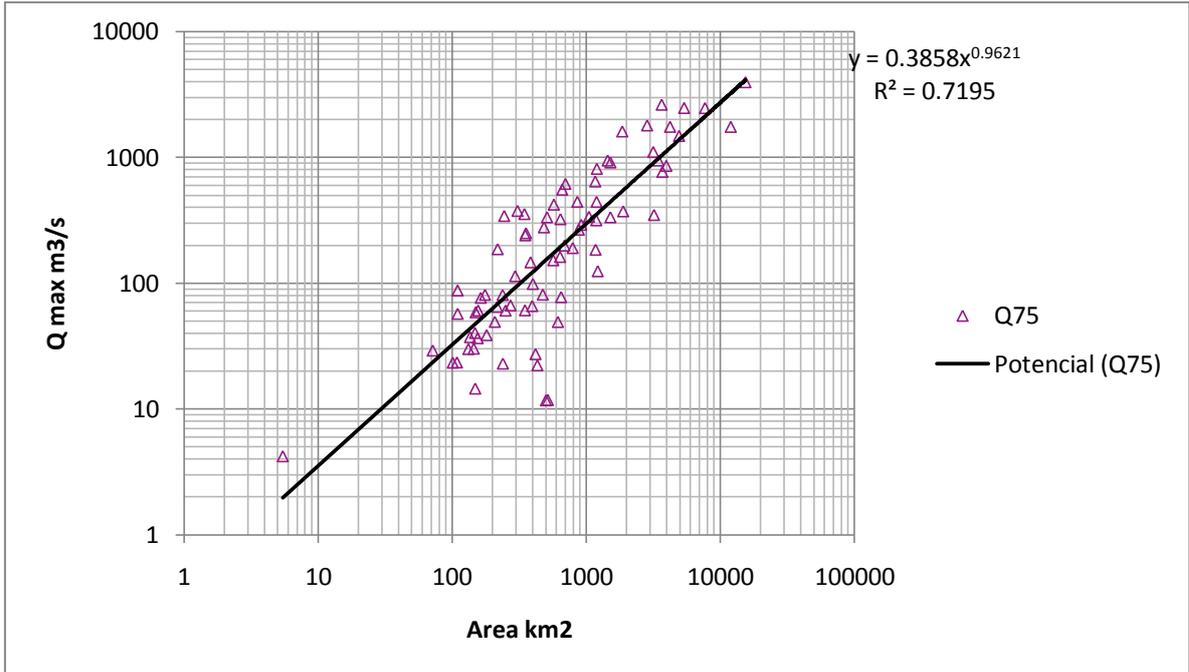
Para la regionalización de los caudales máximos, se construyeron curvas entre (Figura 78) los valores de caudal máximo calculado con el modelo precipitación – escorrentía para diferentes periodos de retorno (25, 50, 75, 100 y 200 años) y el área de drenaje.

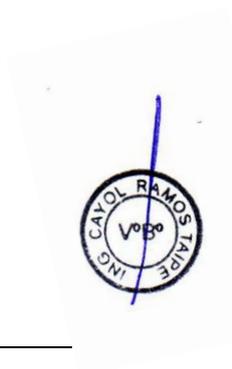
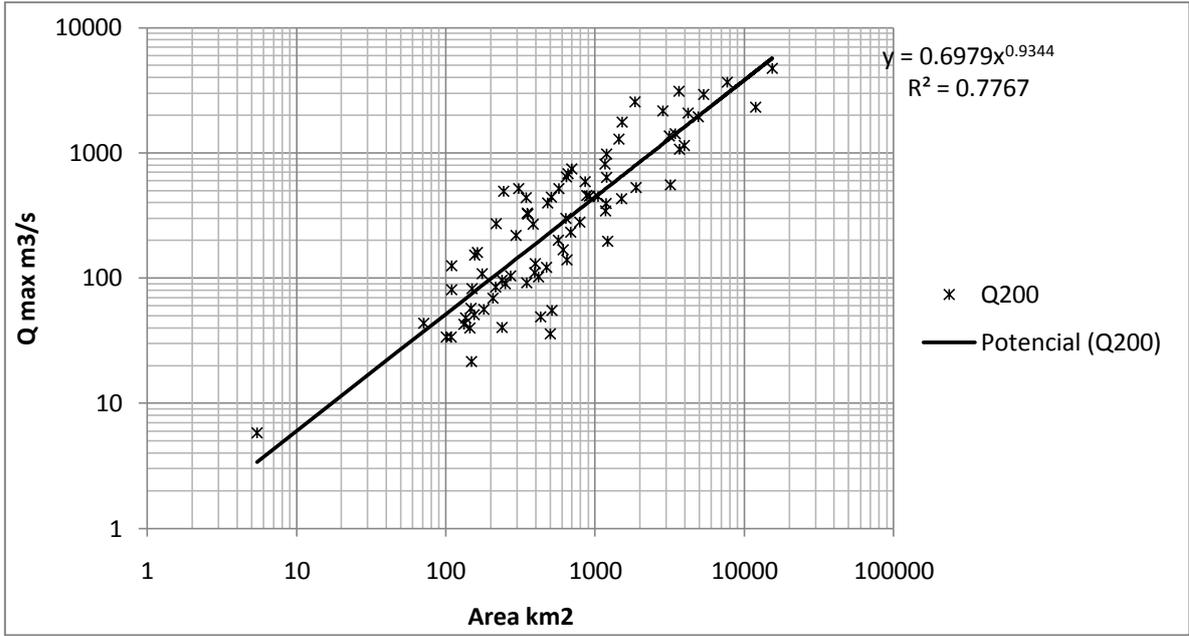
Estas curvas pueden ayudar a encontrar caudales máximos de avenida en cuencas y subcuencas de características similares a las estudiadas.



**Cuadro 78:** Relación regional de máximas avenidas calculadas y áreas de cuencas, según los periodos de retorno







## VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 CONCLUSIONES

- Los caudales máximos estimados por métodos estadísticos, al estar dependiendo de la información existente, pueden arrojar resultados, muchas veces subestimados.
- Los modelos hidrológicos permiten mejorar la aproximación de los valores máximos y además se puede contar con el hidrograma completo de avenidas.
- Dado que el modelamiento hidrológico está desarrollado con precipitación de 24 horas, es recomendable aplicar un factor de ajuste (1.3 – 1.45) para determinar los valores máximos instantáneos.

### 7.2 RECOMENDACIONES

- La mayoría de las tormentas en el Perú, tienen una duración menor de 24 horas, sin embargo los registros están estandarizados en PP24h, por ello se hace urgente desarrollar un estudio acerca de los perfiles de tormenta para el Perú.
- Generar información simultánea de precipitación y escorrentía con fines de calibración de los modelos precipitación escorrentía, valores que actualmente se carecen.



## **Referencia bibliográfica**

1. BCEOM – ORSTOM. 1999 Estudio Hidrológico – Meteorológico en la vertiente del Pacífico del Perú con fines de evaluación y pronóstico del fenómeno El Niño para prevención y mitigación de desastres.
2. SENAMHI, \_\_\_\_, Evaluación del comportamiento Hidrico de la vertiente del Océano Pacífico durante los eventos ENOS.
3. Maidment, 1993, Handbook of Hydrology, McGraw-Hill, USA.
4. Ponce, Victor, 1989, Engineering Hydrology, principles and practices, San Diego, USA.



## **ANEXOS**

Anexo 1: Base de datos en Hydracces (formato digital)

Anexo 2: Mapa de Isoyetas (formato digital)

Anexo 3: Archivos de Geo HMS en formato ArcGIS

Anexo 4: Archivos del Modelo HecHMS

