Agencia de Cooperación Internacional
Del Japón

PROGRAMA DE PROTECCION DE VALLES Y POBLACIONES RURALES Y VULNERABLES ANTE INUNDACIONES EN LA REPUBLICA DEL PERU

HIDROLOGIA DE MAXIMAS AVENIDAS DEL RIO CAÑETE

Apéndice-2

Diciembre de 2012

Yachiyo Engineering Co., Ltd.
NIPPON KOEI CO.,LTD.
LATIN AMERICA - CARIBBEAN
NIPPON KOEI LAC CO., LTD.
Ingenieros Consultores

HIDROLOGIA DE MAXIMAS AVENIDAS DEL RIO CAÑETE

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN 8

II. ASPECTOS GENERALES 8

2.1 Ubicación 8

2.1.1 Ubicación Política 8

2.1.2 Ubicación Geográfica 9

2.2 Antecedentes 9

2.3 Justificación del Proyecto 9

2.4 Objetivos del Estudio 10

III. DESCRIPCION DEL PROYECTO 10

3.1 Sistema Hidrográfico del río Cañete 10

3.1.1 Descripción General de la Cuenca 10

3.1.2 Hidrografía de la Cuenca del Río Cañete 11

3.2 Climatología 12

3.2.1 Precipitación 12

3.2.2 Temperatura 31

3.3 Hidrometría 32

3.4 Comentarios sobre la red de estaciones hidrológicas e hidrométricas de la Cuenca del Río Cañete. 34

3.4.1 Sobre las Estaciones Pluviométricas 34

3.4.2 Sobre las Estaciones Hidrométricas 35

3.4.3 Recomendaciones 35

IV. HIDROLOGIA DE MAXIMAS AVENIDAS 38

4.1 Consideraciones Previas 38

4.2 Caracterización Hidrológica, Análisis de la Información Pluviométrica e Hidrométrica 39

4.2.1 Caracterización Hidrológica 39

4.2.2 Análisis de las Precipitaciones Máximas en 24 Horas 39

4.2.2.1 Funciones de Distribución 42

4.2.2.2 Calculo de Ajuste y Periodo de Retorno para las Precipitaciones Máximas en 24 Horas 45

4.2.2.3 Selección de Distribución Teórica con mejor Ajuste a la Serie de Precipitaciones Máximas en 24 Horas 45

4.2.2.4 Determinación de Precipitaciones Máximas para Diferentes Periodos de Retorno en el Punto Base *53*

4.2.2.5 Determinación de Precipitaciones Máximas para Diferentes Periodos de Retorno en las Subcuencas del río Cañete *53*

4.2.3 Análisis de Descargas Máximas Diarias 56

4.2.4 Modelo de Simulación, Aplicación del Software HEC-HMS 59

4.2.4.1 Modelo Hidrológico *59*

4.2.4.2 Modelamiento con el Programa HEC – HMS *62*

4.3 Resultados de la Simulación, Caudales Máximos en el Punto Base 74

V. REFERENCIAS **75**

ANEXOS **76**

HIDROLOGIA DE MAXIMAS AVENIDAS DEL RIO CAÑETE

RELACIÓN DE CUADROS

Cuadro Nº 3.1. Características de las Estaciones Pluviométricas de la cuenca del río Cañete y cuencas vecinas 13

Cuadro Nº 3.2. Características de las Estaciones Pluviométricas de la cuenca del río Cañete y cuencas vecinas 15

Cuadro Nº 3.3. Resultados del ajuste lineal de las estaciones de Carania y Huangascar 16

Cuadro Nº 3.4. Temperatura Media Mensual [ºC] de las estaciones de la cuenca del río Cañete y cuencas vecinas 32

Cuadro Nº 4.1. Características Geomorfológicas de la cuenca en el Punto Base (estación Socsi) 39

Cuadro Nº 4.2. Precipitación Máxima en 24 Horas Anual de las Estaciones ubicadas en el Ámbito del Estudio 40

Cuadro Nº 4.3. Coeficiente de Determinación para cada Función de Distribución y para cada Estación Pluviométrica 45

Cuadro Nº 4.4. Precipitaciones Máxima en 24 Horas de cada Estación Pluviométrica y para cada Periodo de Retorno 46

Cuadro Nº 4.5. Precipitaciones Areales Máximas en 24 Horas en el Punto Base (Estación Socsi) para cada Periodo de Retorno 53

Cuadro Nº 4.6. Precipitaciones para Diferentes Periodos de Retorno en cada Subcuenca del río Cañete 55

Cuadro Nº 4.7. Descargas Máximas Diarias de la estación Socsi, río Cañete (m3/s) 56

Cuadro Nº 4.8. Descargas Máximas para cada Periodo de Retorno, en la estación Socsi, río Cañete (m3/s) 58

Cuadro Nº 4.9. Tiempo de Concentración y de Viaje para el Punto Base (estación Socsi) 59

Cuadro Nº 4.10. Precipitaciones Máximas para Duraciones de Tormenta de 10 horas (mm), según Dick - Peschke 60

Cuadro Nº 4.11. Histograma para diferentes Periodos de Retorno, Duración de Tormenta de 10 horas 61

Cuadro Nº 4.12. Curva Numero (CN) en Función del Uso del Suelo y del Grupo Hidrológico del Suelo 61

Cuadro Nº 4.13. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 2 Años 67

Cuadro Nº 4.14. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 5 Años 68

Cuadro Nº 4.15. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 10 Años 70

Cuadro Nº 4.16. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 25 Años 71

Cuadro Nº 4.17. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 50 Años 73

Cuadro Nº 4.18. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 100 Años 74

Cuadro Nº 4.19. Resumen de los Caudales Máximos en el Punto Base para cada Periodo de Retorno 75

HIDROLOGIA DE MAXIMAS AVENIDAS DEL RIO CAÑETE

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura Nº 3.1. Mapa de Ubicación de la cuenca del río Cañete 11

Figura Nº 3.2. Periodo y Longitud de la información disponible de las Estaciones Pluviométricas 13

Figura Nº 3.3. Ubicación de las Estaciones Pluviométricas en la Cuenca del río Cañete y Cuencas Vecinas 14

Figura Nº 3.4. Histograma Mensual de las Estaciones Pluviométricas consideradas en el Ámbito del Estudio 15

Figura Nº 3.5. Tendencia de la Precipitación Anual de las Estaciones Consideradas en el Ámbito del Estudio 17

Figura Nº 3.6. Isoyeta del mes de Enero de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Cañete 18

Figura Nº 3.7. Isoyeta del mes de Febrero de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Cañete 19

Figura Nº 3.8. Isoyeta del mes de Marzo de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Cañete 20

Figura Nº 3.9. Isoyeta del mes de Abril de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Cañete 21

Figura Nº 3.10. Isoyeta del mes de Mayo de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Cañete 22

Figura Nº 3.11. Isoyeta del mes de Junio de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Cañete 23

Figura Nº 3.12. Isoyeta del mes de Julio de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Cañete 24

Figura Nº 3.13. Isoyeta del mes de Agosto de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Cañete 25

Figura Nº 3.14. Isoyeta del mes de Septiembre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Cañete 26

Figura Nº 3.15. Isoyeta del mes de Octubre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Cañete 27

Figura Nº 3.16. Isoyeta del mes de Noviembre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Cañete 28

Figura Nº 3.17. Isoyeta del mes de Diciembre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Cañete 29

Figura Nº 3.18. Isoyeta Anual de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Cañete 30

Figura Nº 3.19. Distribución de la Temperatura Media Mensual de las Estaciones Meteorológicas Ubicadas en la Cuenca del Río Cañete 32

Figura Nº 4.1. Estaciones Pluviométricas consideradas para la aplicación del Software HEC-HMS 41

Figura Nº 4.2. Isoyetas para un Periodo de Retorno de 2 años en la cuenca del río Cañete 47

Figura Nº 4.3. Isoyetas para un Periodo de Retorno de 5 años en la cuenca del río Cañete 48

Figura Nº 4.4. Isoyetas para un Periodo de Retorno de 10 años en la cuenca del río Cañete 49

Figura Nº 4.5. Isoyetas para un Periodo de Retorno de 25 años en la cuenca del río Cañete 50

Figura Nº 4.6. Isoyetas para un Periodo de Retorno de 50 años en la cuenca del río Cañete 51

Figura Nº 4.7. Isoyetas para un Periodo de Retorno de 100 años en la cuenca del río Cañete 52

Figura Nº 4.8. Subcuenca del río Cañete 54

Figura Nº 4.9. Modelo de Cuenca del río Cañete en el Software HEC-HMS 65

Figura Nº 4.10. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Cañete, Periodo de Retorno de 2 años 66

Figura Nº 4.11.Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Cañete, Periodo de Retorno de 5 años 66

Figura Nº 4.12. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Cañete, Periodo de Retorno de 5 años 67

Figura Nº 4.13.Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Cañete, Periodo de Retorno de 5 años 68

Figura Nº 4.14. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Cañete, Periodo de Retorno de 10 años 69

Figura Nº 4.15.Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Cañete, Periodo de Retorno de 10 años 69

Figura Nº 4.16. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Cañete, Periodo de Retorno de 25 años 70

Figura Nº 4.17.Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Cañete, Periodo de Retorno de 25 años 71

Figura Nº 4.18. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Cañete, Periodo de Retorno de 50 años 72

Figura Nº 4.19.Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Cañete, Periodo de Retorno de 50 años 72

Figura Nº 4.20. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Cañete, Periodo de Retorno de 100 años 73

Figura Nº 4.21.Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Cañete, Periodo de Retorno de 100 años 74

HIDROLOGIA DE MAXIMAS AVENIDAS DEL RIO CAÑETE

I. INTRODUCCIÓN

En los dos últimos eventos extraordinarios (Fenómeno del Niño) ocurridos en los años 1983 y 1998, se presentaron lluvias de gran intensidad en la zona de estudio, que trajo como consecuencia la activación de una serie de ríos y quebradas adyacentes al río Cañete, ocasionando severos daños en centros poblados, infraestructura de riego y drenaje, predios agrícolas, así mismo, inundaciones con daños de carácter catastrófico en las zonas de San Vicente de Cañete, Nuevo Imperial, Socsi, Pacarán y Lunahuana.

El Fenómeno del Niño es definido como la presencia de aguas anormalmente más calidas en la costa occidental de Sudamérica por un periodo mayor a 4 meses consecutivos, tiene su origen en el Pacifico Central Ecuatorial. El fenómeno esta asociado a las condiciones anormales de la circulación atmosférica en la región Ecuatorial del Pacifico. Considerándose como condiciones anormales cuando el esquema de circulación ecuatorial toma las siguientes tres posibilidades: puede intensificarse, debilitarse o cambiar de orientación.

El presente estudio contiene un diagnostico del problema, con el objetivo de explicar las causas del evento y orientar las acciones que se han de ejecutar para proveer mayor seguridad a la población, infraestructura de riego, zonas agrícolas, etc. El informe contiene el análisis hidrológico que permite caracterizar en términos técnicos el acontecimiento. Con estos análisis ha sido posible delinear alternativas de soluciones estructurales y medidas no estructurales.

II. ASPECTOS GENERALES

2.1 Ubicación

2.1.1 Ubicación Política

El ámbito de estudio se localiza en la provincia de Cañete y Yauyos del departamento de Lima.

2.1.2 Ubicación Geográfica

La zona de estudio se localiza aproximadamente en las coordenadas UTM 345,250 y 444,750 en Coordenadas Este y 8’543,750 y 8’676,000 en Coordenadas Norte (Zona 18).

2.2 Antecedentes

Como parte del proyecto: “Protección de Valles y Poblaciones Rurales y Vulnerables ante Inundaciones”, se requiere contar con un documento técnico sustentatorio de máximas avenidas del río Cañete, que permita definir las propuestas del planeamiento hidrológico e hidráulico del sistema fluvial del río Cañete.

La ocurrencia de eventos extremos como el Fenómeno del Niño en la costa norte y sur del Perú trae como consecuencia la presencia de lluvias torrenciales, el incremento del caudal de los ríos y la activación de quebradas aportantes al curso principal, tal como los ocurridos en los dos últimos eventos de 1983 y 1998, en que los desbordes del río Cañete, produjeron la inundación de extensas zonas de cultivo y ciudades como San Vicente de Cañete, Nuevo Imperial, Socsi, Pacarán y Lunahuana, ocasionando daños a la agricultura, infraestructura vial, vivienda e infraestructura de riego y drenaje. En la actualidad existen zonas vulnerables en tramos del río que requieren la aplicación de medidas estructurales para mitigar los efectos de avenidas.

Se ha efectuado una evaluación de las avenidas máximas en base a los datos de la estación hidrométrica Socsi. Con los resultados obtenidos, se procederá a dimensionar la caja hidráulica del río en función al periodo de retorno escogido, en zonas específicas y el dimensionamiento de las estructuras de protección.

2.3 Justificación del Proyecto

El río Cañete permite el drenaje de las avenidas producto de las precipitaciones y aportes de los diversos cursos que conforman la cuenca.

Con la aparición de eventos hidrológicos normales, ocasionan ciertos daños en zonas agrícolas, infraestructura de riego y drenaje, caminos de servicio y centros poblados, por dicho motivo, se requiere contar con medidas estructurales que permitan la atenuación de los eventos extremos hasta cierto grado de magnitud.

2.4 Objetivos del Estudio

Determinar los caudales máximos instantáneos del río Cañete para diversos periodos de retorno; que permitan dimensionar adecuadamente la sección hidráulica de encauzamiento de río y diseño de las obras de protección, atenuando los daños por posibles eventos hidrológicos extremos.

III. DESCRIPCION DEL PROYECTO

3.1 Sistema Hidrográfico del río Cañete

3.1.1 Descripción General de la Cuenca

Políticamente, la cuenca del río Cañete forma parte de las provincias de Cañete y Yauyos, pertenecientes al departamento de Lima.

Sus límites son: por el Norte con las Cuencas del río Mantaro, por el Sur con la cuenca del río San Juan (Chincha) y el Océano Pacífico, por el Este con la Cuenca del río Mantaro y por el Oeste con la Cuenca del río Mala y el Océano Pacífico.

Posee un área total de 6,068.5 Km² y sus aguas vierten hacia el Océano Pacífico con un recorrido predominante del curso principal hacia el Suroeste.

El valle de Cañete, área afectada por las inundaciones, está situado en la parte baja de la cuenca entre las latitudes 11º58’19” – 13º18’55” Sur y Longitudes 75º30’26” – 76º30’46” Oeste. Políticamente pertenece a la provincia de Cañete, departamento de Lima.

En la Figura Nº 3.1 se muestra la ubicación y el ámbito de la cuenca del río Cañete.

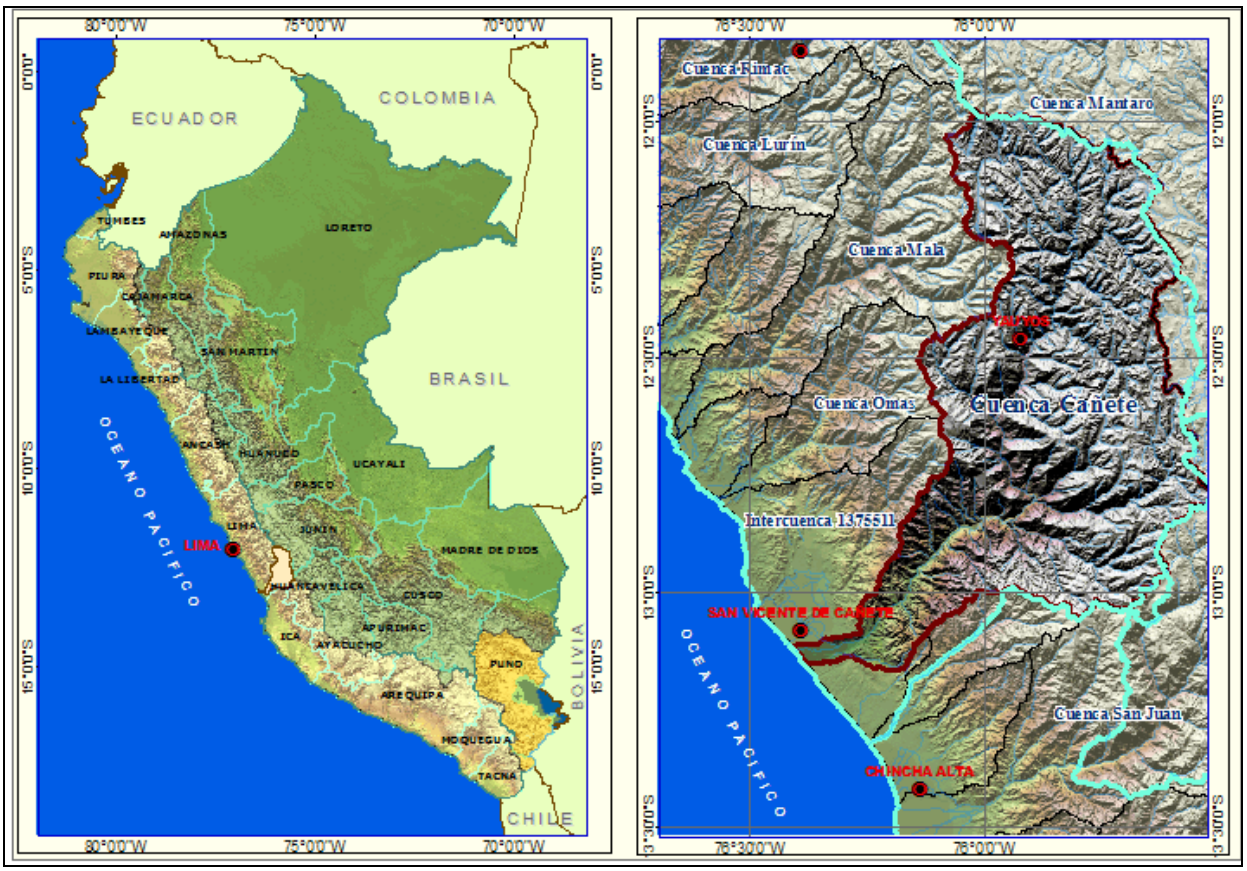


Figura Nº 3.1. Mapa de Ubicación de la cuenca del río Cañete

3.1.2 Hidrografía de la Cuenca del Río Cañete

La Cordillera de los Andes divide hidrográficamente al país en dos vertientes principales que drenan sus aguas hacia los Océanos Pacifico y Atlántico, respectivamente, constituyendo así la divisoria continental de las aguas. Existe, también, una tercera vertiente en la región sur-oriental del país, constituida por una alta cuenca interandina cuyas aguas drenan al Lago Titicaca.

La vertiente del Pacifico u Occidental tiene una extensión aproximada de 290,000 Km², equivalente al 22% del área total del país y da origen, como consecuencia de las precipitaciones y del deshielo de los nevados y glaciares en su parte alta, a 52 ríos de cierta importancia que discurren al Océano Pacifico siguiendo una dirección predominante hacia el suroeste. El río Cañete es uno de ellos, encontrándose situado en la región central de esta vertiente.

El río Cañete tiene un régimen intermitente y de carácter torrentoso, sus descargas se presentan en los meses de enero – abril. La descarga máxima mensual aforada ha sido de 900.00 m^3/s (Febrero-1972) y la mínima de 5.20

m^3/s (Setiembre-1992), con una descarga media anual de 52.16 m^3/s equivalente a un volumen medio anual de 1629.36 MMC.

La oferta de agua para el valle de Cañete es regulada, debido al régimen intermitente del río Cañete que presenta las mayores descargas entre los meses de Enero a Abril, durante el resto del año el río disminuye considerablemente. En este periodo, época de estiaje, se descargan las aguas de regulación de las lagunas entre los meses de Agosto a Diciembre.

3.2 Climatología

3.2.1 Precipitación

La precipitación, como parámetro principal de la generación de la escorrentía, es analizada en base a la información disponible de estaciones ubicadas tanto en el interior de la cuenca del río Cañete, como en las cuencas vecinas de Mala, Mantaro y San Juan (Chincha).

Se dispone de información pluviométrica de 13 estaciones hidrométricas ubicadas en la cuenca del río Cañete y en las cuencas vecinas. Estas estaciones son operadas y mantenidas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

En el Cuadro Nº 3.1, se muestra la relación de las estaciones consideradas en el presente estudio con sus respectivas características de código, nombre y ubicación. Los registros históricos de la precipitación total diaria, precipitación total mensual y sus respectivos histogramas se presentan en el Anexo. En la Figura Nº 3.2, se muestra el periodo y la longitud de la información disponible de las estaciones pluviométricas y en la Figura Nº 3.3, se muestra su ubicación en la cuenca del río Cañete y en las cuencas vecinas.

Cuadro Nº 3.1. Características de las Estaciones Pluviométricas de la cuenca del río Cañete y cuencas vecinas

CODIGO	ESTACION	DEPARTAMENTO	LONGITUD	LATITUD	ENTIDAD OPERADORA
636	YAUYOS	LIMA	75° 54'38.2	12° 29'31.4	SENAMHI
155450	YAURICOCHA	LIMA	75° 43'22.5	12° 19'0	SENAMHI
155169	TOMAS	LIMA	75° 45'1	12° 14'1	SENAMHI
156106	TANTA	LIMA	76° 01'1	12° 07'1	SENAMHI
6230	SOCSI CAÑETE	LIMA	76° 11'40	13° 01'42	SENAMHI
638	PACARAN	LIMA	76° 03'18.3	12° 51'43.4	SENAMHI
6641	NICOLAS FRANCO SILVERA	LIMA	76° 05'17	12° 53'57	SENAMHI
156112	HUANTAN	LIMA	75° 49'1	12° 27'1	SENAMHI
156110	HUANGASCAR	LIMA	75° 50'2.2	12° 53'55.8	SENAMHI
156107	COLONIA	LIMA	75° 53'1	12° 38'1	SENAMHI
156109	CARANIA	LIMA	75° 52'20.7	12° 20'40.8	SENAMHI
156104	AYAVIRI	LIMA	76° 08'1	12° 23'1	SENAMHI
489	COSMOS	JUNIN	75° 34'1	12° 09'1	SENAMHI

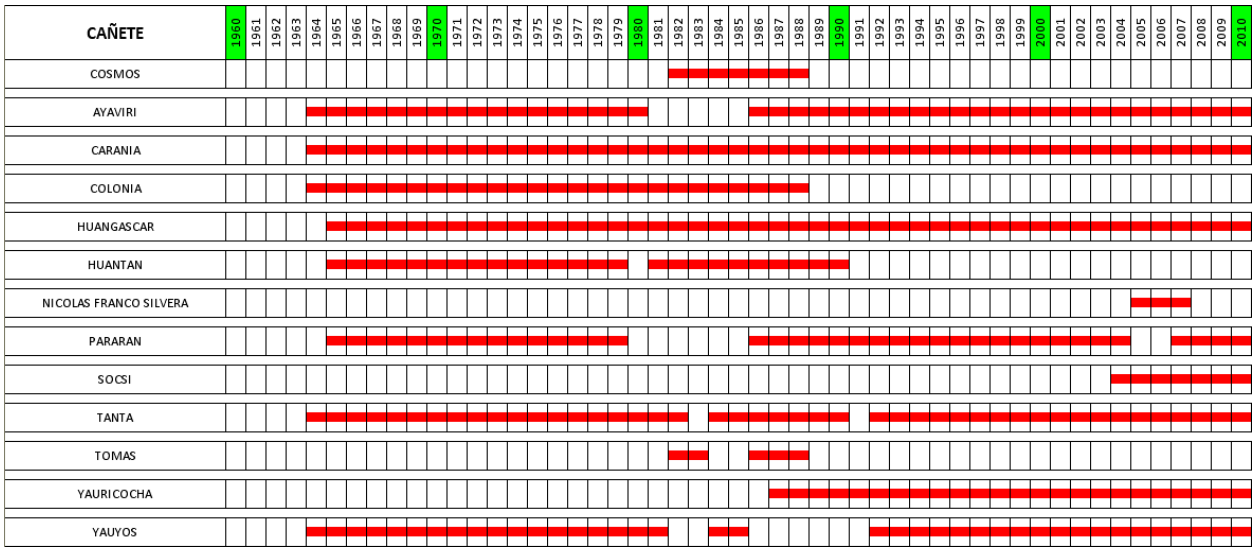


Figura Nº 3.2. Periodo y Longitud de la información disponible de las Estaciones Pluviométricas

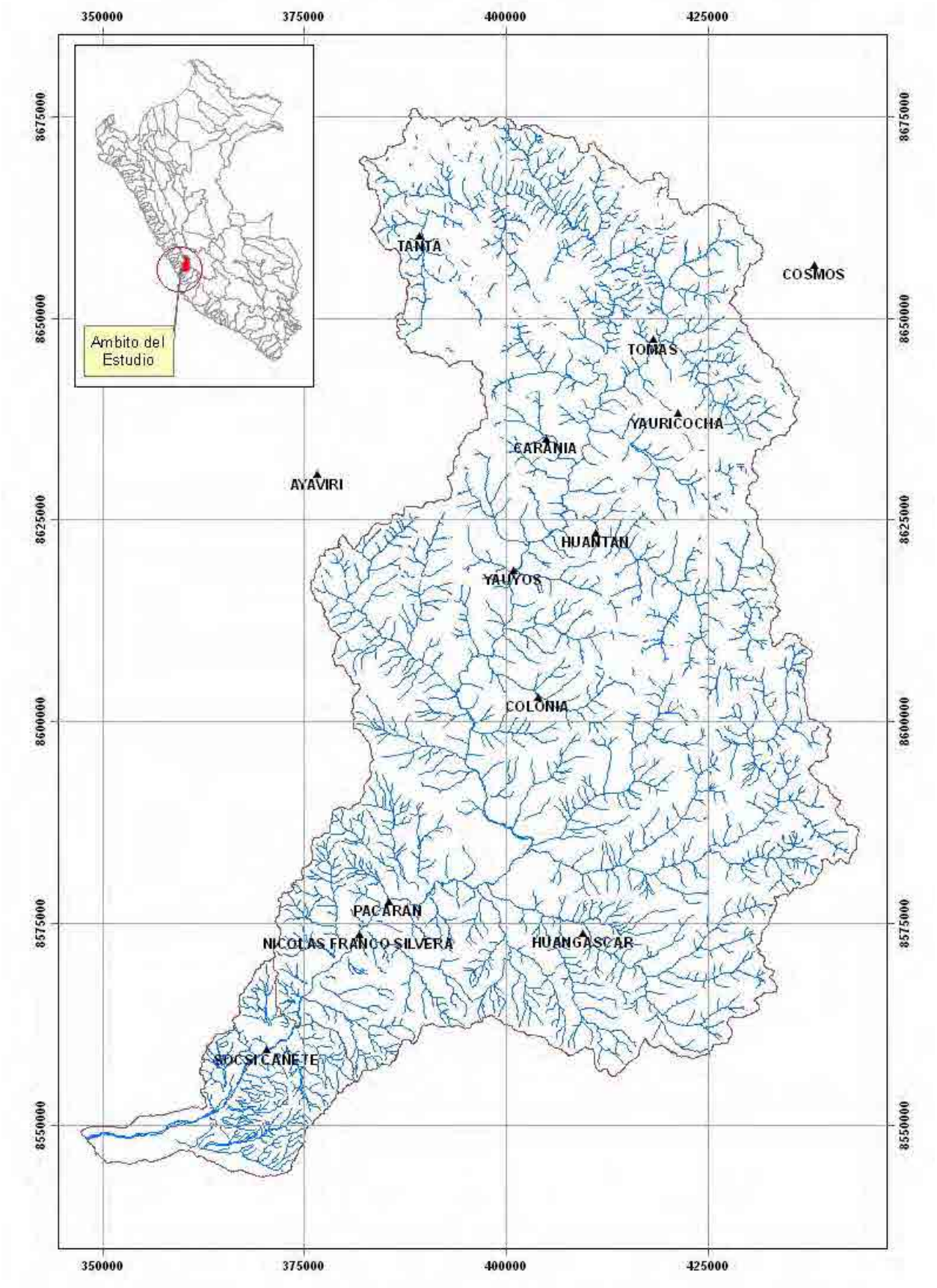


Figura Nº 3.3. Ubicación de las Estaciones Pluviométricas en la Cuenca del río Cañete y Cuencas Vecinas

En el Cuadro Nº 3.2 se muestra los valores medios mensuales de las estaciones consideradas en el estudio y en la Figura Nº 3.4 se muestra la variación media mensual de la precipitación de cada estación; en el Anexo se muestran las series históricas de cada estación, así como también se muestra las graficas de las variaciones mensuales y anuales de cada estación.

Cuadro Nº 3.2. Características de las Estaciones Pluviométricas de la cuenca del río Cañete y cuencas vecinas

ESTACION	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
YAUYOS	71.36	83.70	83.26	20.35	3.36	0.52	0.15	0.92	3.10	12.94	19.68	44.46	343.80
YAURICOCHA	178.17	168.19	169.94	92.76	20.76	9.40	10.52	20.85	37.28	88.02	81.24	138.64	1,015.78
TOMAS	128.45	119.02	100.86	67.50	21.93	17.36	11.13	14.36	35.34	44.19	55.36	86.90	702.39
TANTA	151.80	157.83	162.22	91.07	25.07	7.23	5.52	11.23	29.59	60.70	78.74	110.98	891.99
SOCSI CAÑETE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.47	0.00	0.00	0.00	0.00	1.47
PACARAN	4.21	4.70	3.83	0.29	0.10	0.04	0.01	0.07	0.09	0.41	0.41	1.93	16.09
NICOLAS FRANCO SILVERA	1.80	4.57	2.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40	2.33	11.50
HUANTAN	195.68	236.82	196.02	72.60	7.82	1.09	1.77	2.17	2.61	50.73	62.07	98.77	928.15
HUANGASCAR	59.94	72.77	85.06	9.93	0.63	0.20	0.03	0.25	0.43	2.23	6.45	24.95	262.87
COLONIA	84.62	109.69	127.22	27.47	3.15	0.35	0.79	0.56	3.81	15.23	21.41	64.96	459.25
CARANIA	118.12	118.97	126.34	43.37	12.69	3.80	3.19	4.98	11.01	27.60	32.47	79.56	582.10
AYAVIRI	119.80	137.90	151.32	46.06	5.25	0.02	0.28	0.83	1.93	10.36	17.37	56.67	547.80
COSMOS	110.38	99.85	110.09	53.48	24.93	4.10	7.03	13.01	32.87	49.44	52.59	95.53	653.29

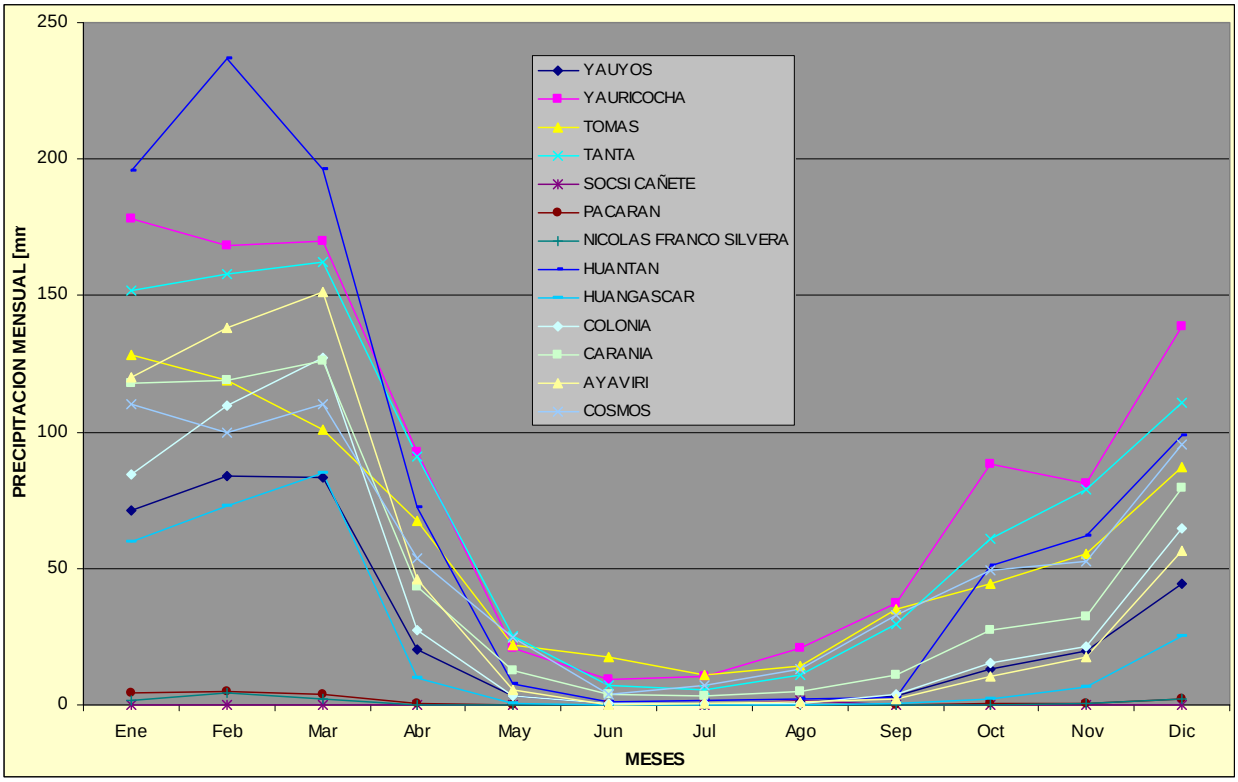


Figura Nº 3.4. Histograma Mensual de las Estaciones Pluviométricas consideradas en el Ámbito del Estudio

En el Cuadro Nº 3.2 y Figura Nº 3.4 observamos que del mes de octubre a abril se presentan las mayores precipitaciones y en los meses de mayo a septiembre

se presentan las menores precipitaciones, así mismo observamos que la precipitación anual en la cuenca del río Cañete varia de 1,016 mm (estación de Yauricocha) a 1.47 mm (estación Socsi).

En la Figura 3.5 se presenta la variación de la precipitación total anual de las estaciones consideradas en el estudio con sus respectivas tendencias.

Tomando en consideración sólo las estaciones Carania y Huangascar que tienen 46 años de registro hasta el año 2009 se estableció una ecuación lineal de tipo P = mt + b en donde P es la precipitación anual y t es el tiempo en años. Las variables m y b son las variables que proporcionan el mejor ajuste en una ecuación lineal. Los resultados se presentan en el cuadro 3.3, arrojando los siguientes valores de tendencia:

Cuadro Nº 3.3. Resultados del ajuste lineal de las estaciones de Carania y Huangascar

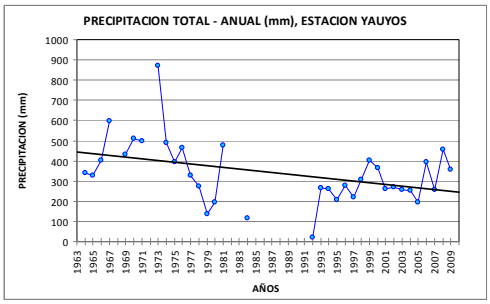
Estación	m	b	R^2
Carania	2.3017	525.70	0.0287
Huangascar	-1.6105	304.75	0.0228

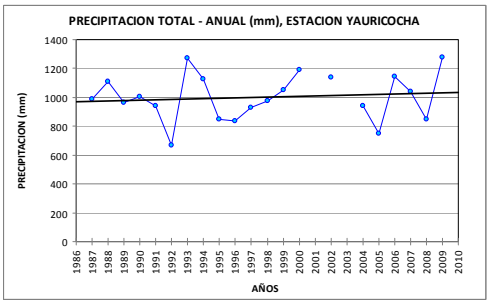
El valor de los coeficientes de regresión R^2 es muy bajo. En el caso de la Estación Carania habría una muy débil tendencia creciente y en la estación Huangascar una muy débil tendencia decreciente. Los valores de R^2 indican que las tendencias no son significativas y se puede afirmar que en las estaciones que cuentan con mayor número de datos no existe una tendencia clara al aumento o disminución de la precipitación.

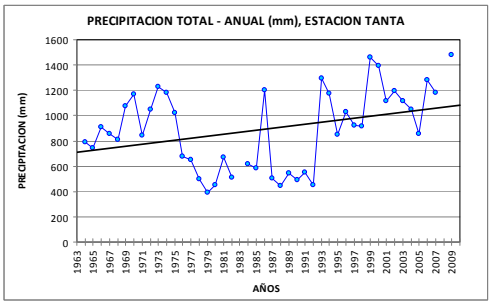
Con la información mostrada en el Cuadro Nº 3.2 y con el apoyo del software ArcGIS se ha generado los mapas de isoyetas mensual (de enero a diciembre) y anual que se muestra en las Figuras Nº 3.6 a 3.17 y 3.18 respectivamente.

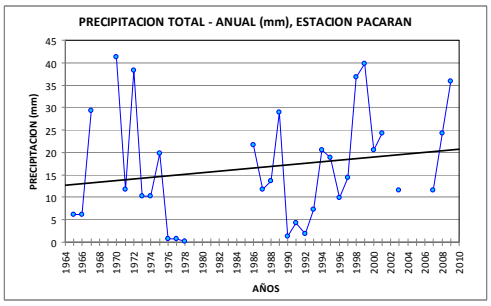
De las Isoyetas mostradas, observamos que las mayores precipitaciones en la cuenca se presentan en el mes de febrero y marzo y varían de 20 mm a 160 mm; y las menores precipitaciones se presenta en el mes de Julio y varia de 10 mm en la zona alta de la cuenca a 0 mm en la parte baja de la cuenca.

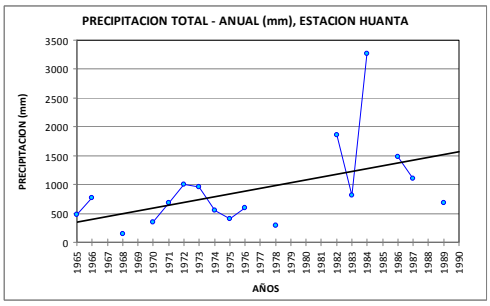
La precipitación total anual en la cuenca del río Cañete varía de 1,000 mm a 200 mm, tal como se puede observar en la Figura Nº 3.18.

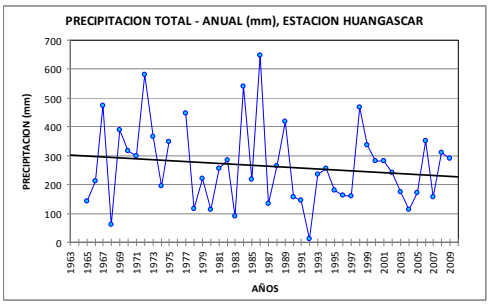


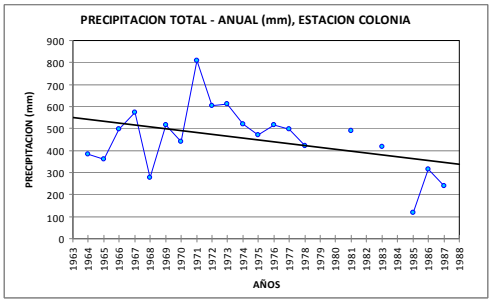


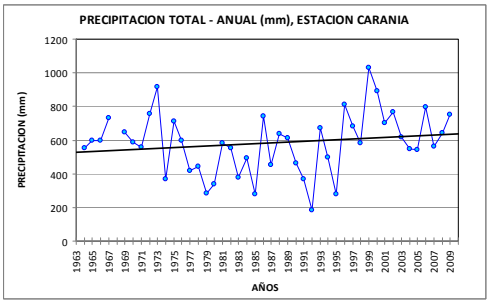












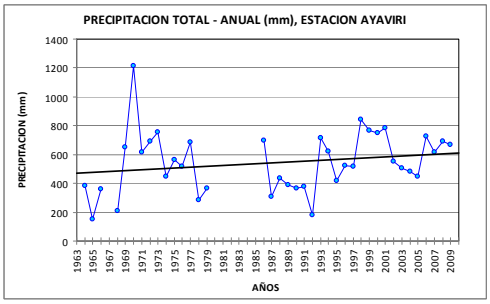


Figura Nº 3.5. Tendencia de la Precipitación Anual de las Estaciones Consideradas en el Ámbito del Estudio

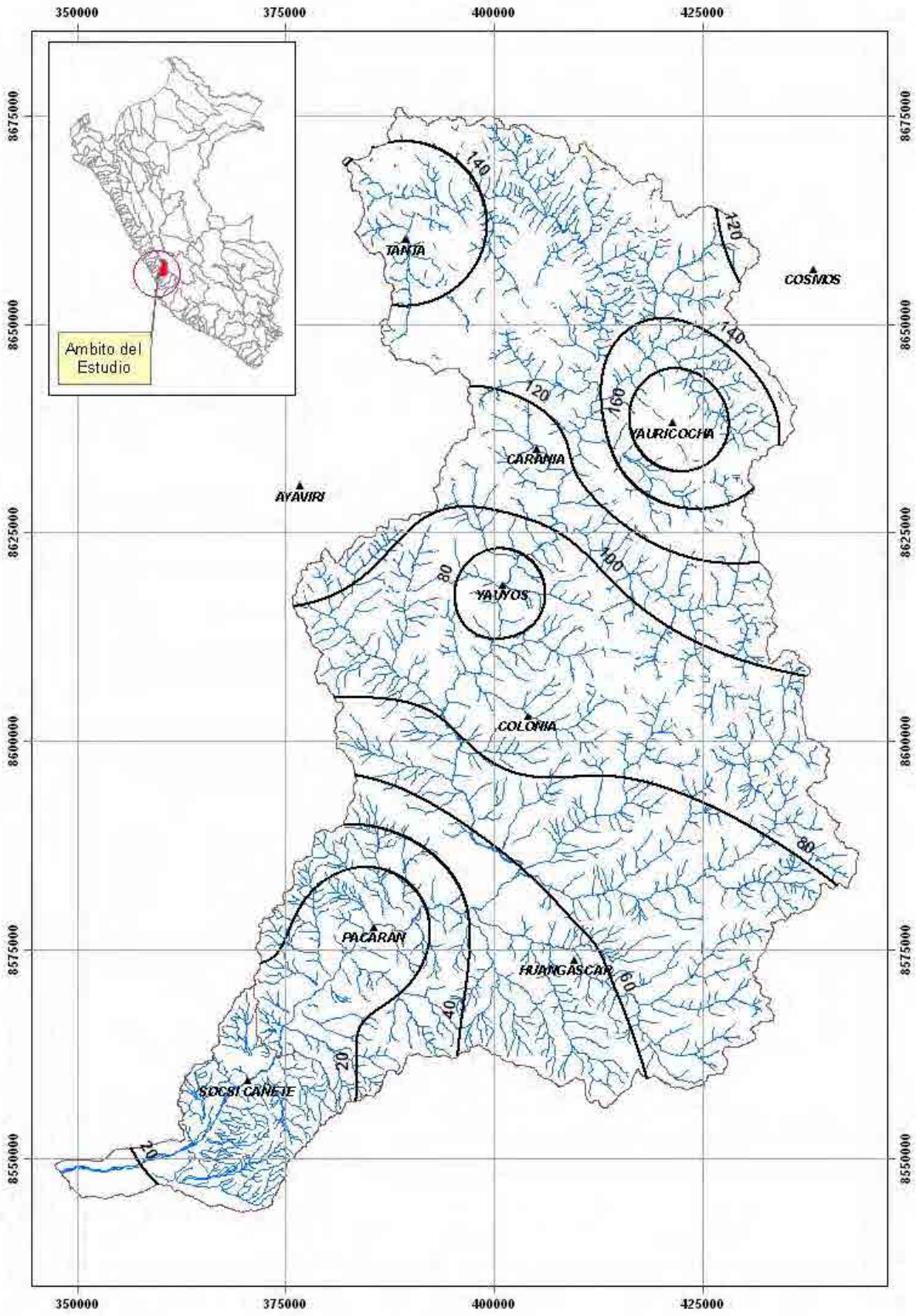


Figura Nº 3.6. Isoyeta del mes de Enero de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Cañete

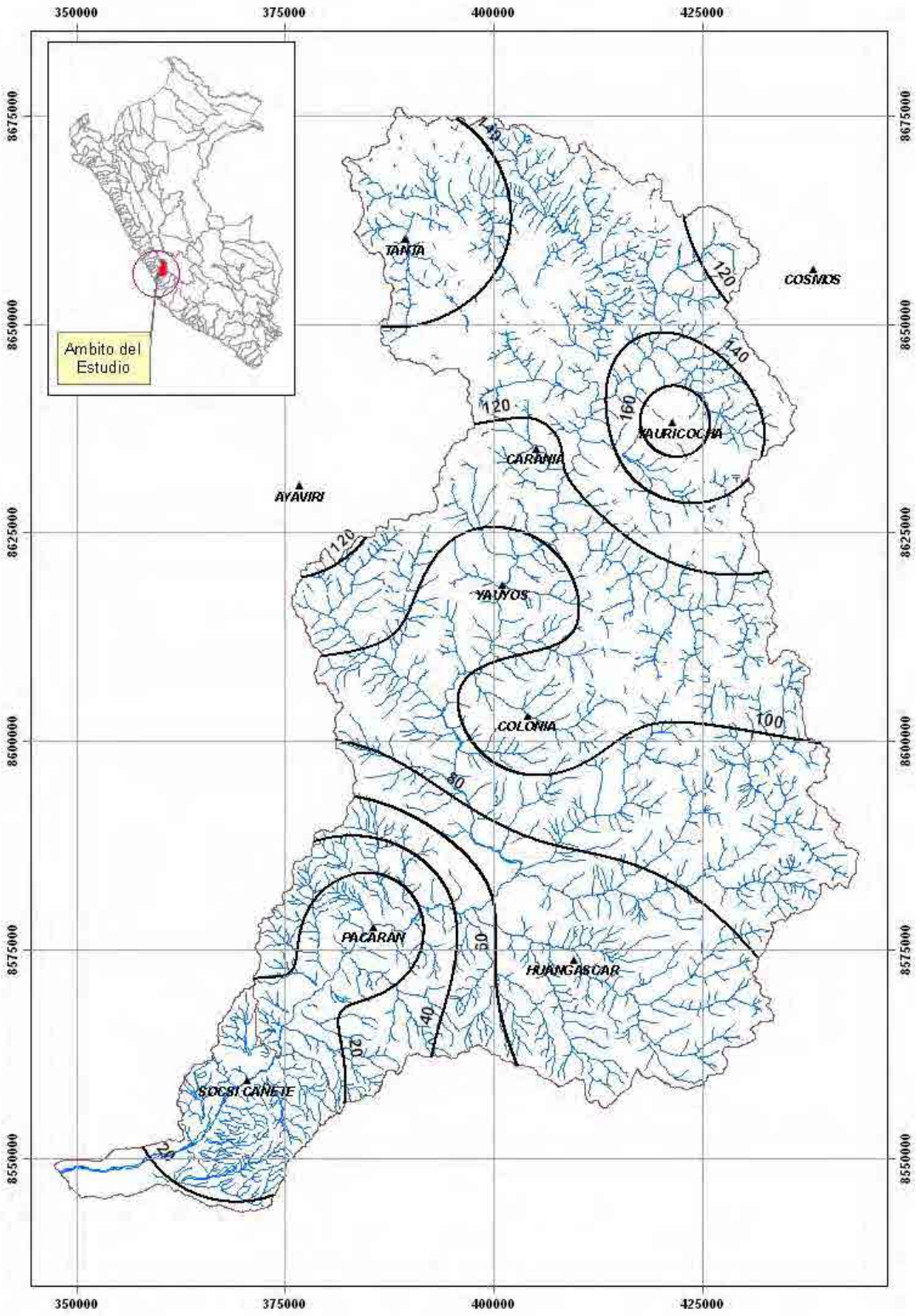


Figura Nº 3.7. Isoyeta del mes de Febrero de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Cañete

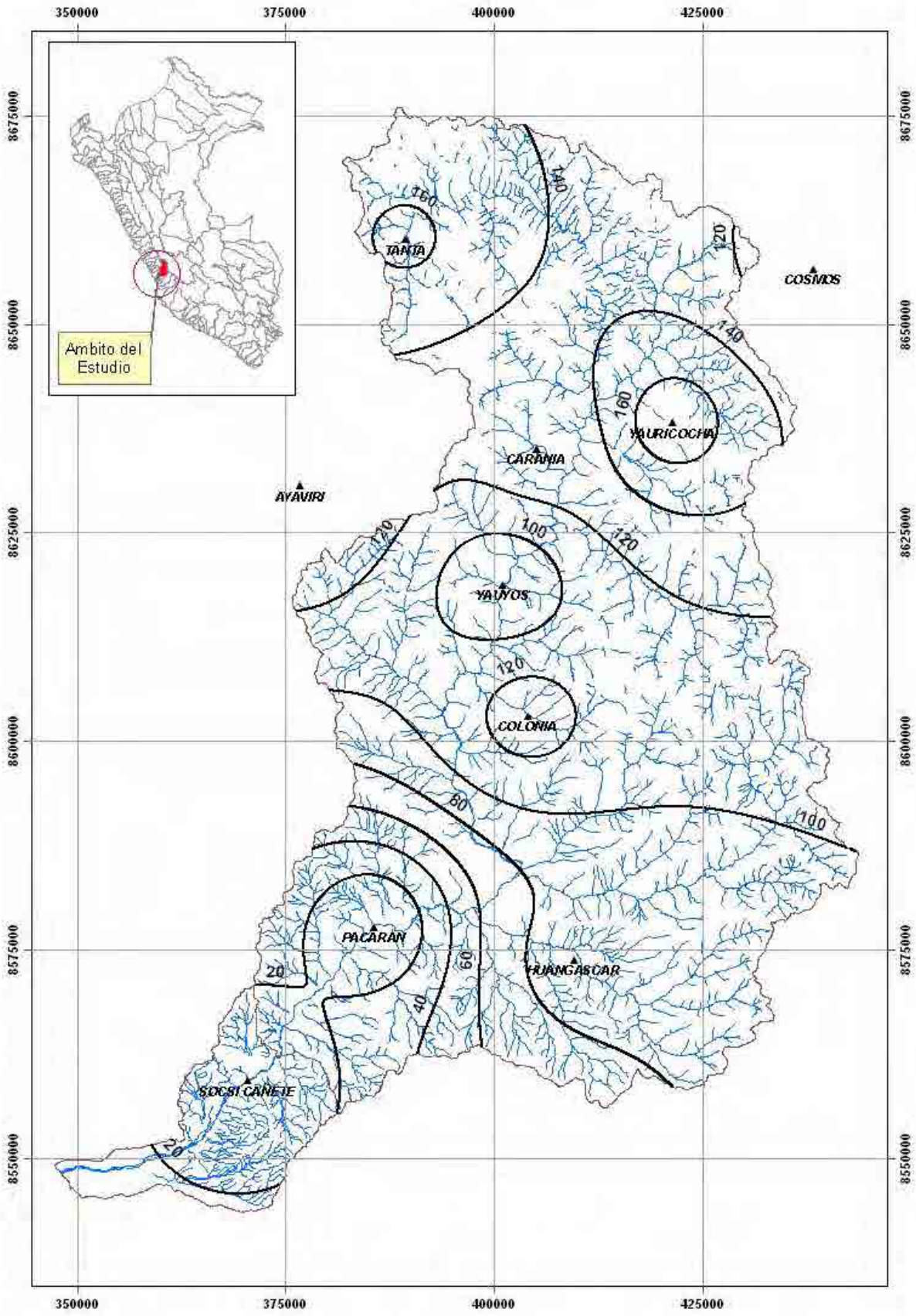


Figura Nº 3.8. Isoyeta del mes de Marzo de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Cañete

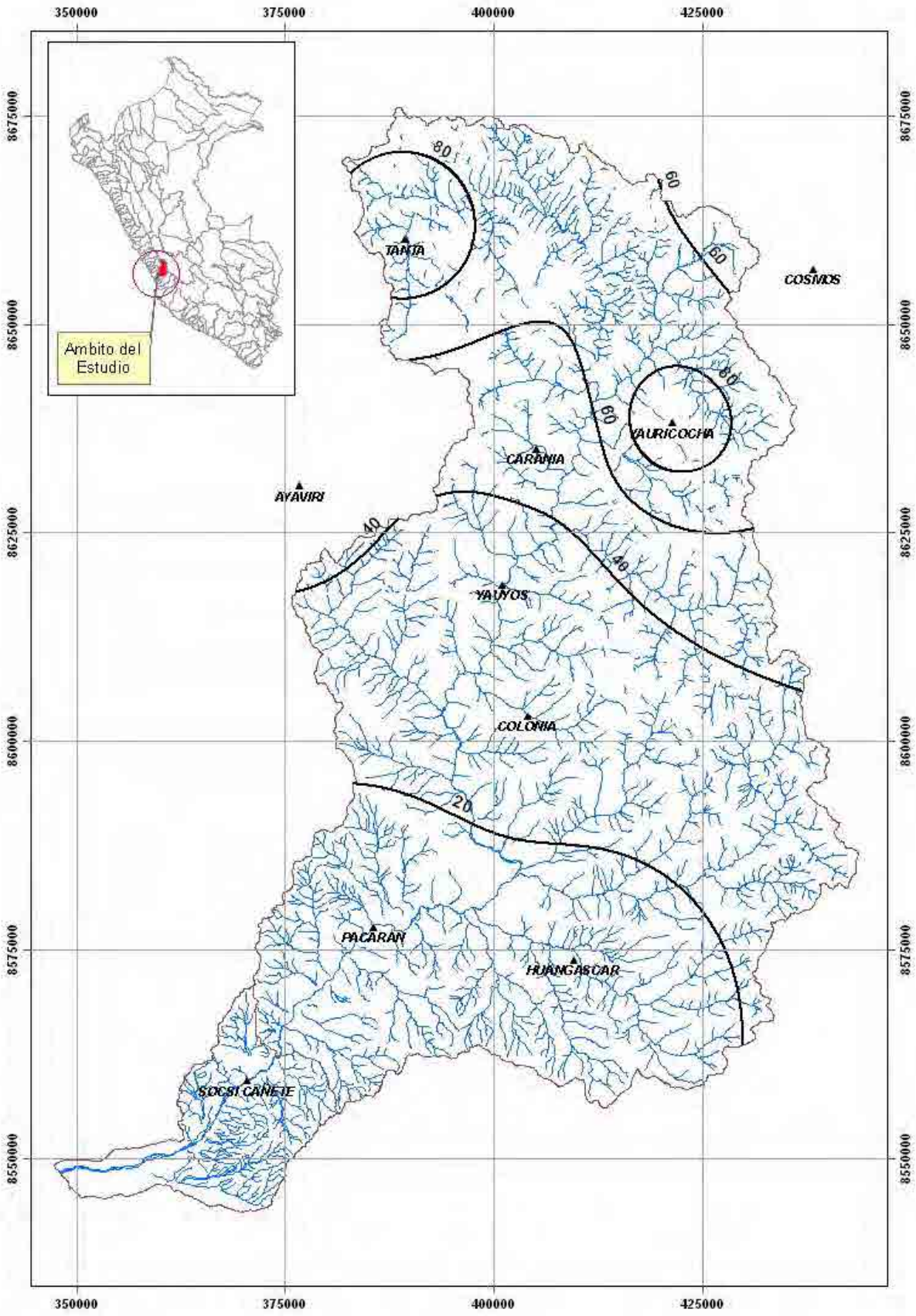


Figura Nº 3.9. Isoyeta del mes de Abril de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Cañete

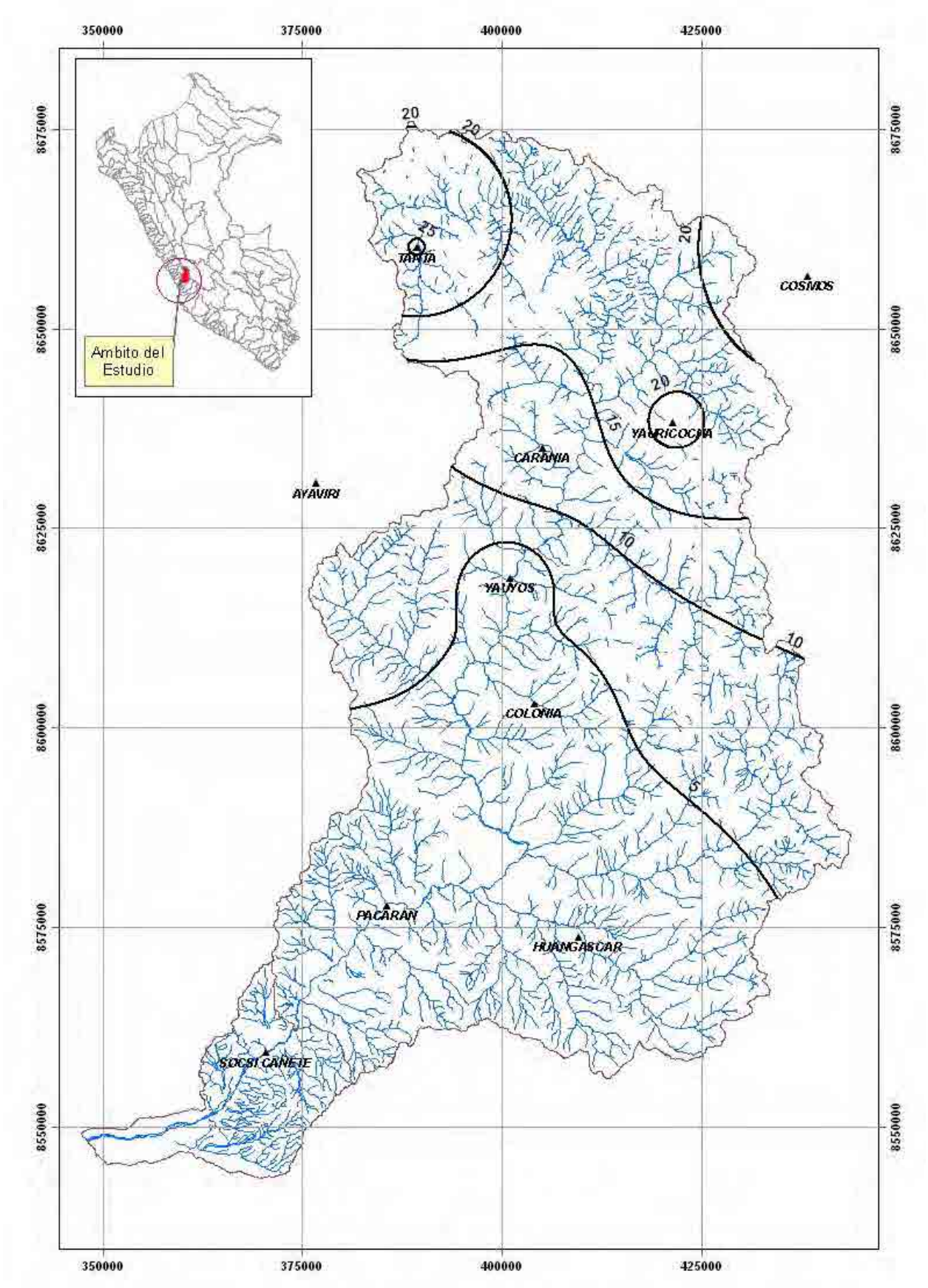


Figura Nº 3.10. Isoyeta del mes de Mayo de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Cañete

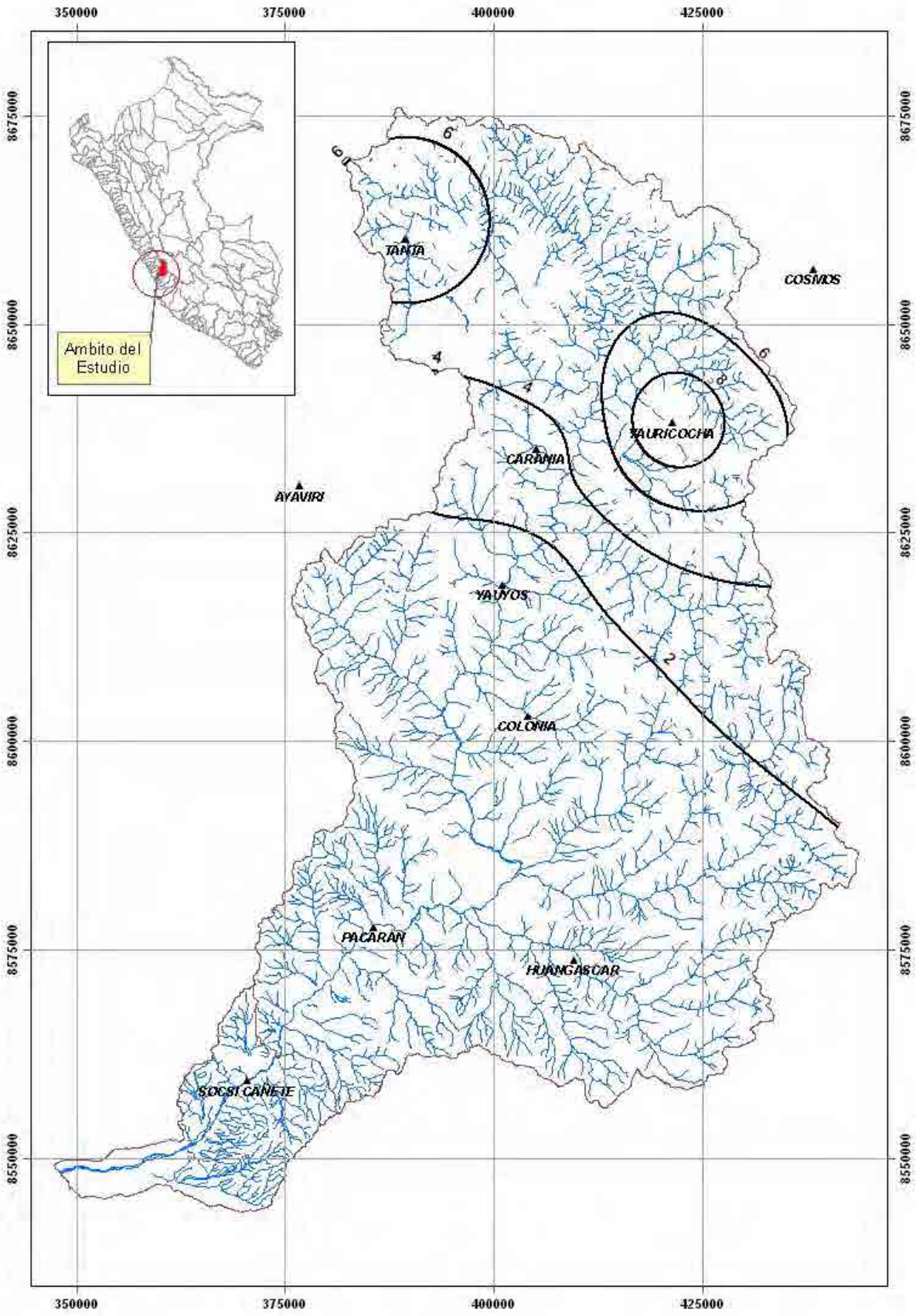


Figura Nº 3.11. Isoyeta del mes de Junio de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Cañete

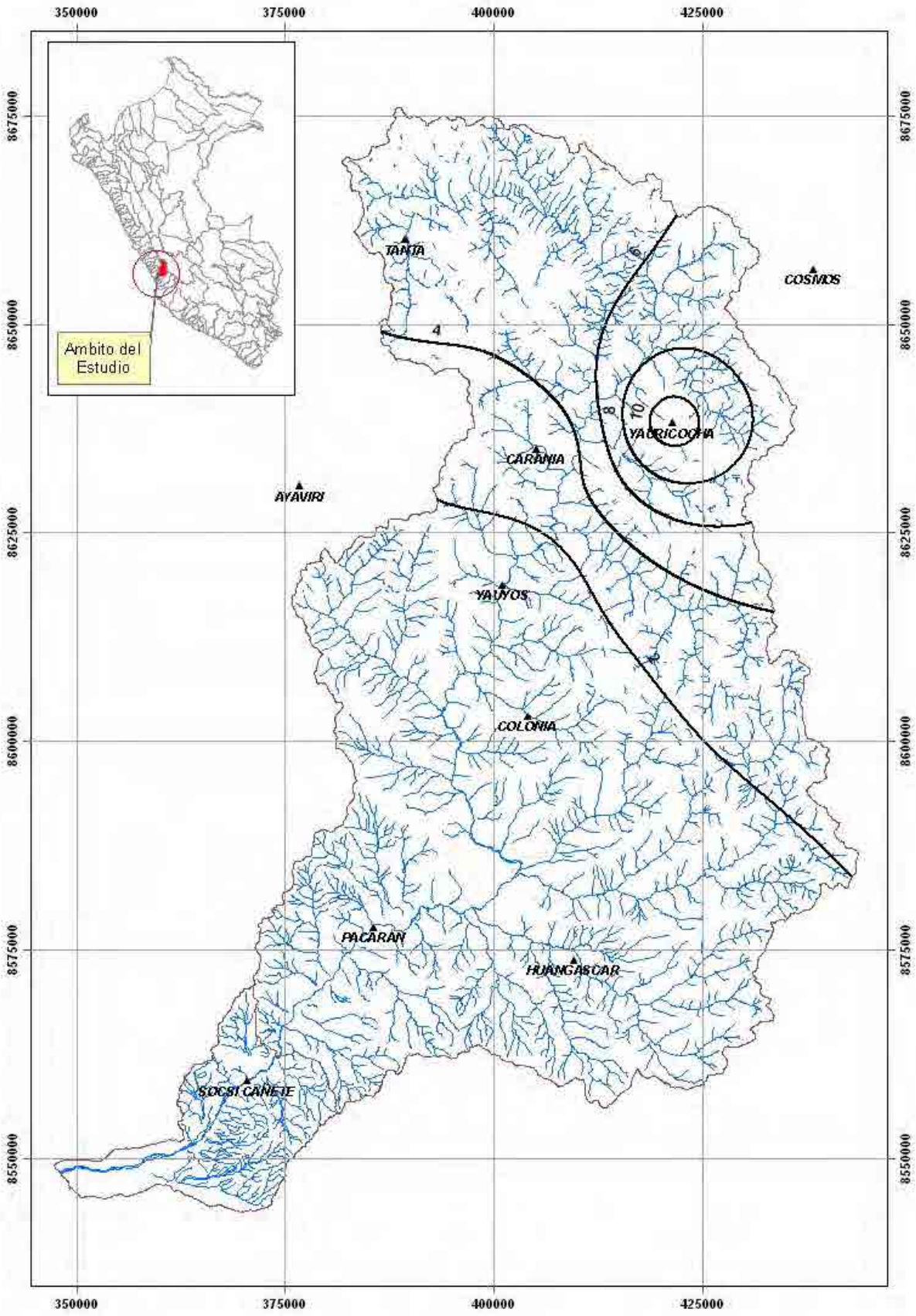


Figura Nº 3.12. Isoyeta del mes de Julio de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Cañete

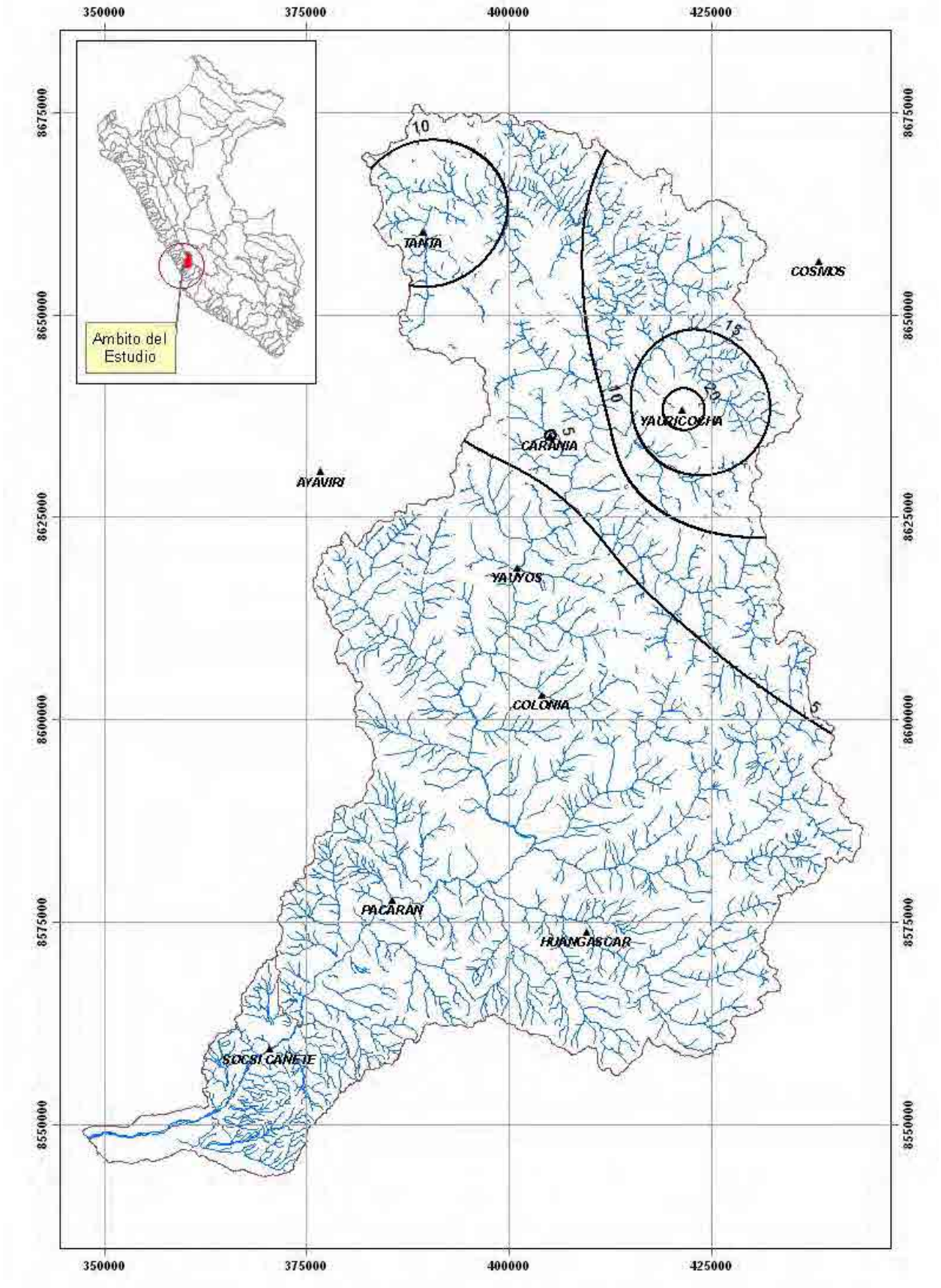


Figura Nº 3.13. Isoyeta del mes de Agosto de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Cañete

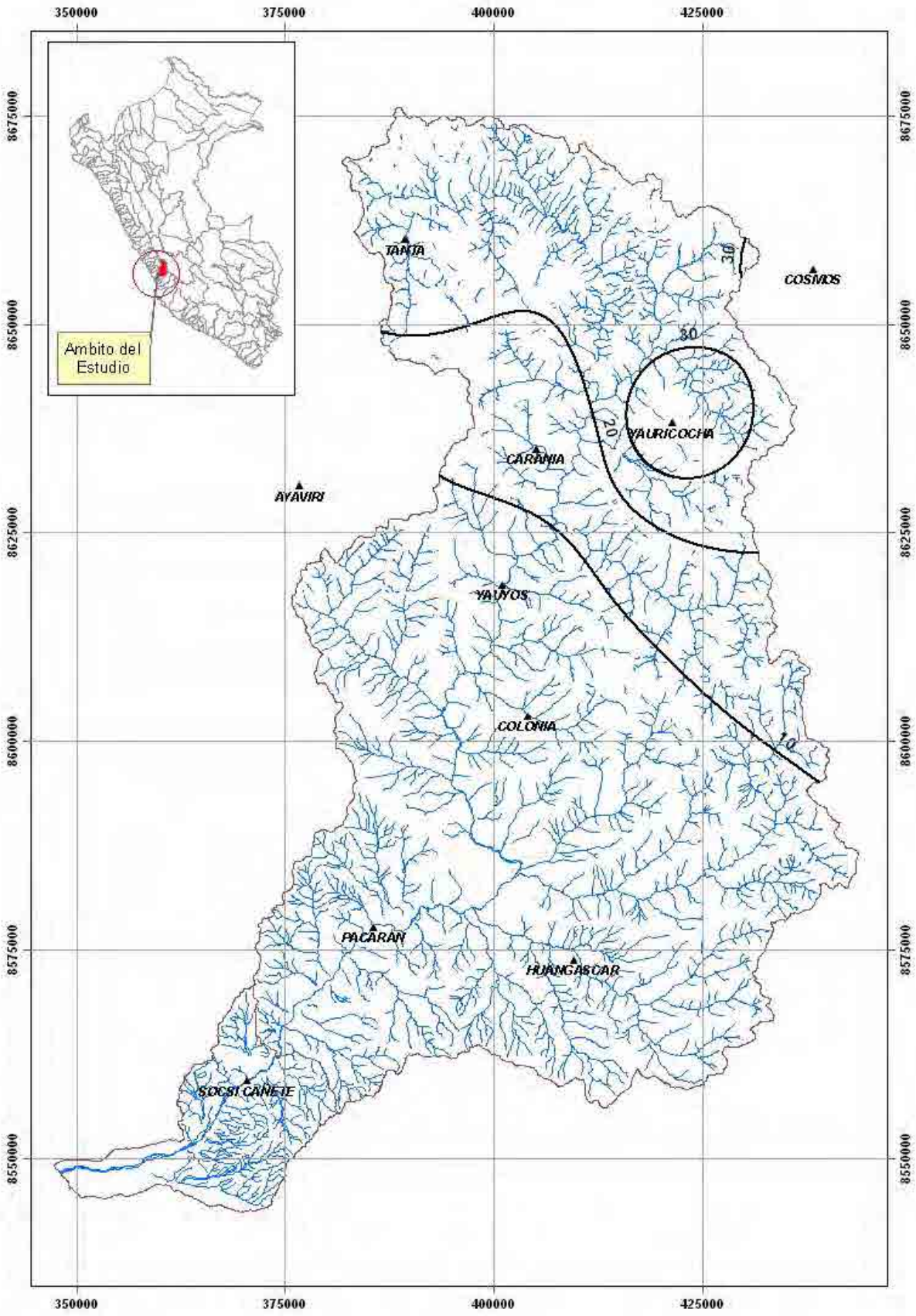


Figura Nº 3.14. Isoyeta del mes de Septiembre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Cañete

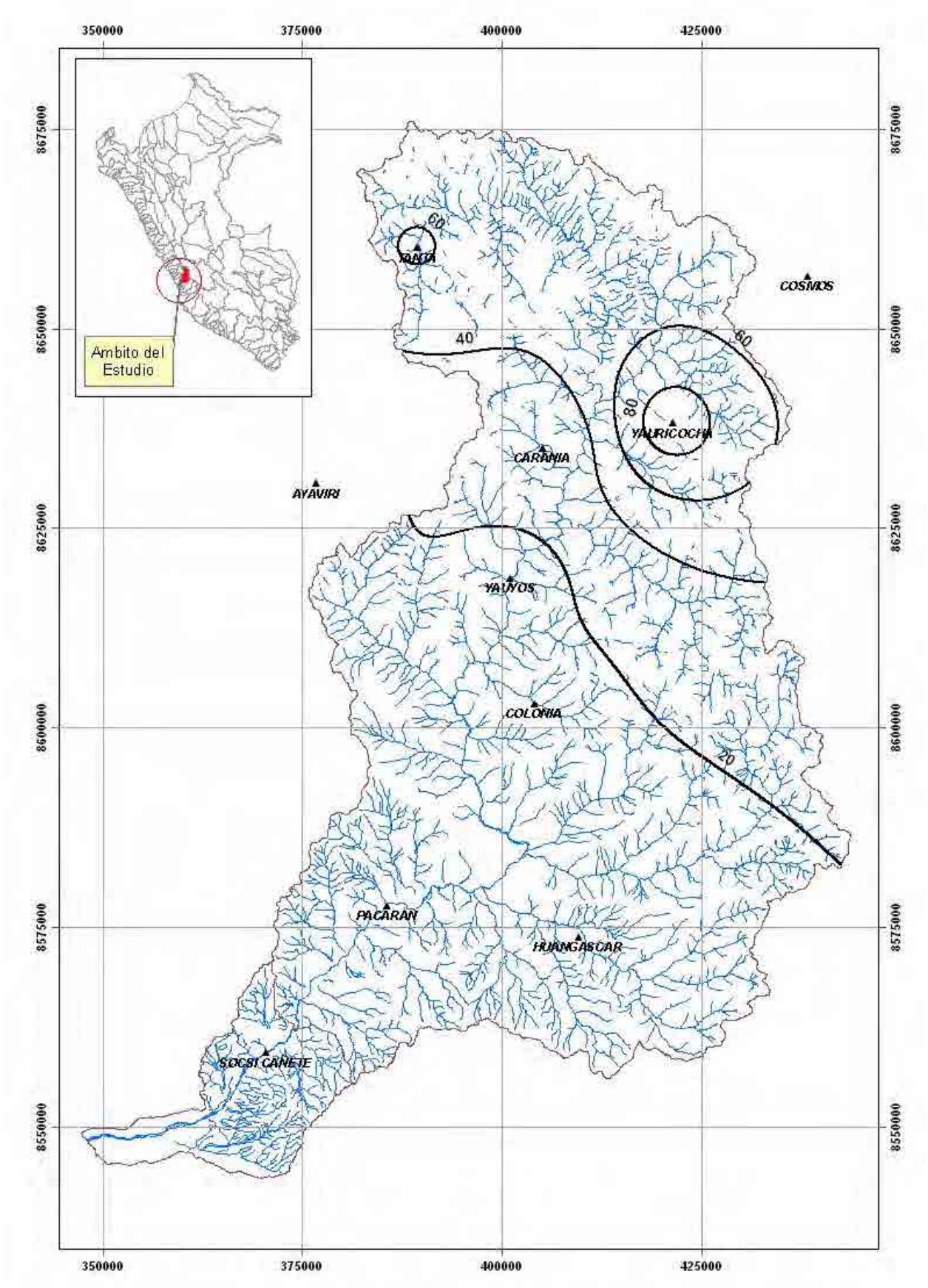


Figura Nº 3.15. Isoyeta del mes de Octubre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Cañete

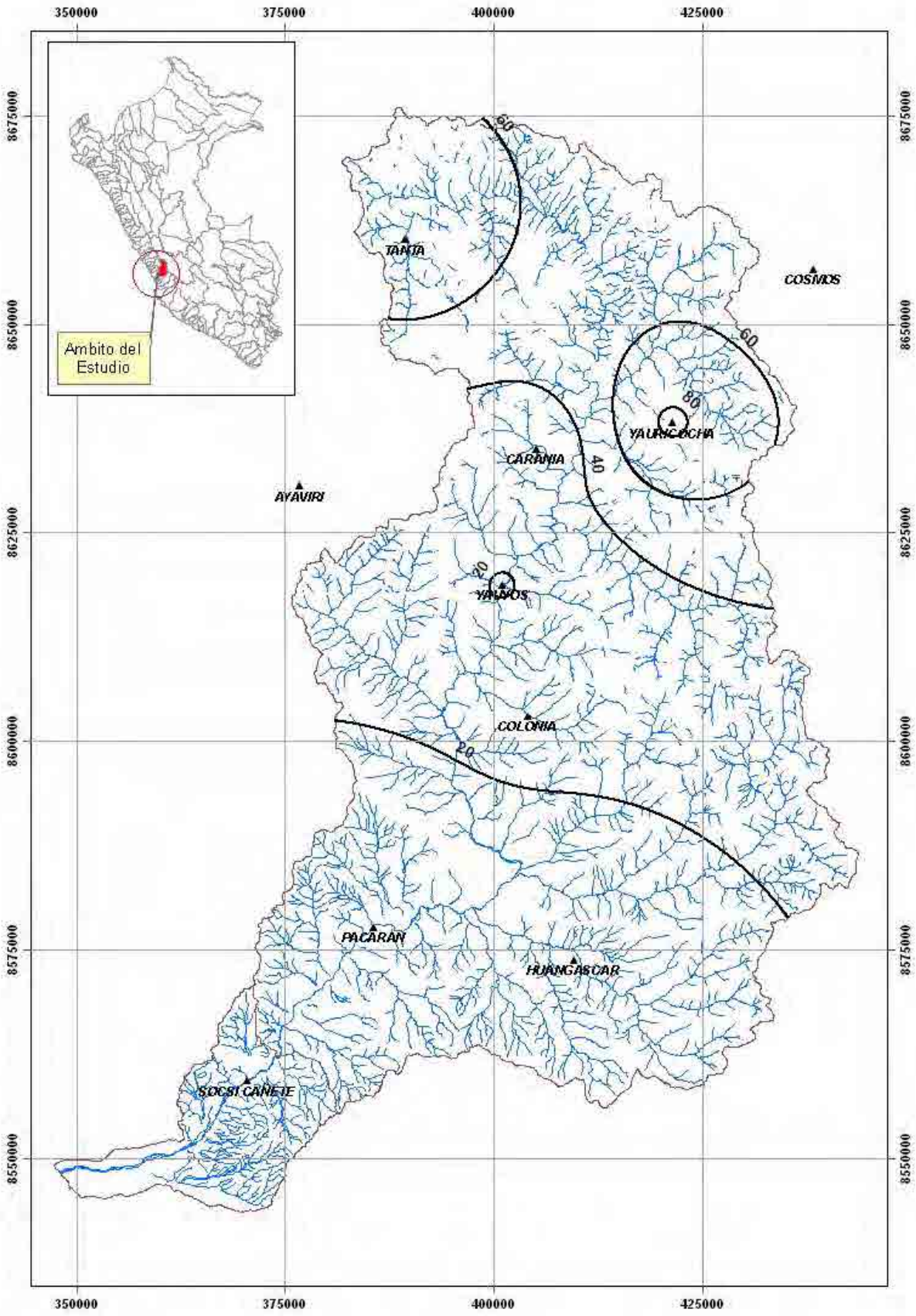


Figura Nº 3.16. Isoyeta del mes de Noviembre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Cañete

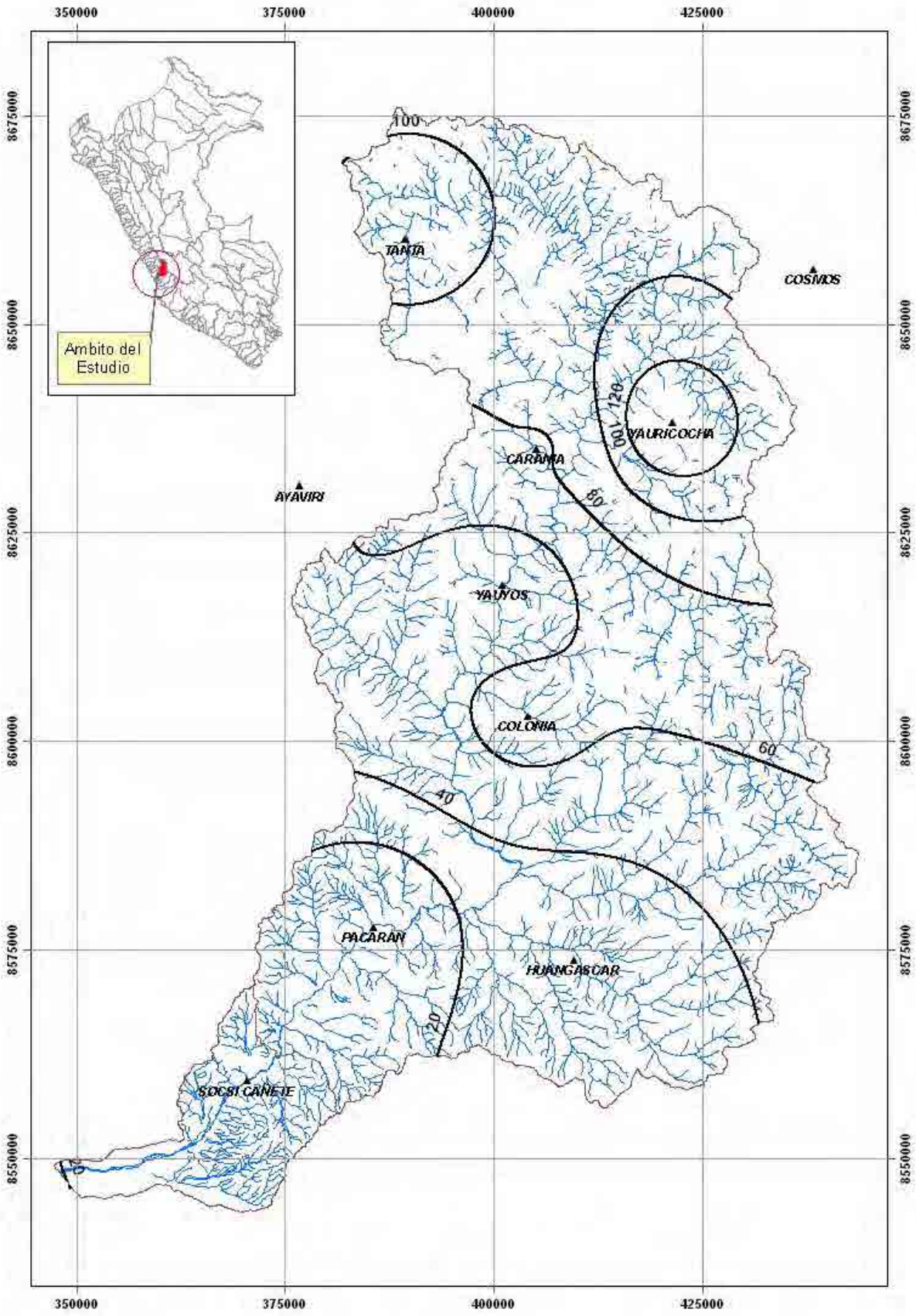


Figura Nº 3.17. Isoyeta del mes de Diciembre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Cañete

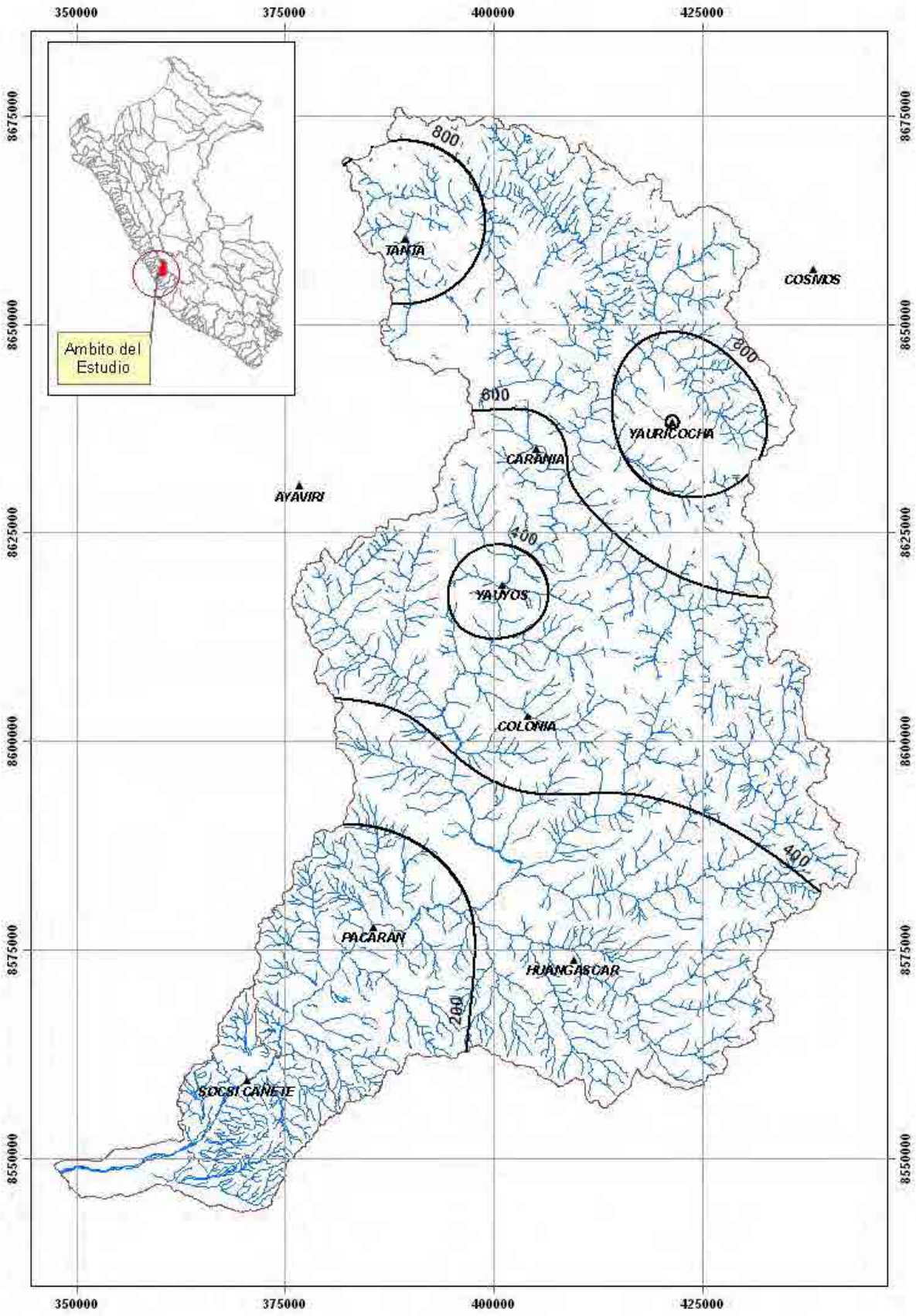


Figura Nº 3.18. Isoyeta Anual de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Cañete

3.2.2 Temperatura

La temperatura del aire y sus variaciones diarias y estaciónales son muy importantes para el desarrollo de las plantas, constituyendo uno de los factores primordiales que influyen directamente en la velocidad de su crecimiento, longitud de su ciclo vegetativo y en las fases de desarrollo de plantas perennes.

En el ámbito de la cuenca del río Cañete, esta variable climática es registrada por tres estaciones meteorológicas, la estación Cañete, Pacarán y Yauyos, las que se resumen en el Cuadro N°3.4, en donde se muestra los valores medios históricos de la temperatura media mensual de dichas estaciones.

Como se observa en el Cuadro Nº 3.4 y Figura Nº 3.19, no existe gran variabilidad en los valores dados por las estaciones de Pacarán y Cañete, teniendo ambos un promedio mensual anual de 20.7 y 20.0 ºC. La estación de Yauyos ubicada a una altitud de 2290 m.s.n.m., registra un menor promedio mensual anual de 17.6ºC.

Como se aprecia la distribución anual de la Temperatura media mensual es análoga para las estaciones de Pacarán y Cañete, con temperaturas máximas en los meses de enero a abril, mientras que esta distribución a una mayor altitud, controlada por la estación Yauyos, muestra un comportamiento inverso, es decir mayores valores de la temperatura en los meses de septiembre a noviembre.

En el valle de Cañete la temperatura máxima promedio mensual se presenta en los meses de enero a abril, y es del orden de los 28ºC. La temperatura mínima promedio mensual generalmente ocurre en los meses de julio a setiembre, con valores que promedian los 14ºC. Los valores extremos históricos que se han presentado tanto para la máxima como para la mínima temperatura son de 33ºC (febrero) y 11.6 ºC (septiembre) respectivamente.

En la Figura Nº 3.19, se muestra la distribución de la Temperatura Media Mensual de las estaciones meteorológicas ubicadas en la cuenca del río Cañete.

Cuadro Nº 3.4. Temperatura Media Mensual [ºC] de las estaciones de la cuenca del río Cañete y cuencas vecinas

ESTACION :	YAUYOS											ALTITUD : 2,290 msnm	
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	MEDIA
Máx	18.6	18.9	18.3	18.7	18.6	17.9	18.7	18.3	17.9	18.6	18.8	18.8	18.2
Min	15.6	16.5	16.6	16.9	17.1	16.6	16.9	17.5	17.3	17.1	17.1	17.3	17.1
Prom.Mes	17.1	17.4	17.5	17.5	17.7	17.1	17.5	17.8	17.7	18.1	17.9	17.8	17.6
ESTACION :	PACARAN											ALTITUD : 700 msnm	
Máx	24.2	25.0	25.0	23.8	20.9	19.5	19.2	19.0	20.0	20.5	20.9	22.8	21.2
Min	21.8	22.9	23.2	22.2	19.9	16.5	16.0	17.0	18.6	19.5	19.7	21.5	20.2
Prom.Mes	22.8	23.7	23.9	22.9	20.3	17.9	17.3	17.6	19.1	20.0	20.5	22.0	20.7
ESTACION :	CAÑETE											ALTITUD : 150 msnm	
Máx	23.4	24.1	24.0	22.8	21.9	22.1	21.4	21.0	21.0	20.7	22.0	24.7	22.3
Min	22.6	23.6	23.4	21.2	18.4	15.8	15.6	16.2	16.6	17.6	18.3	21.1	19.2
Prom.Mes	23.4	24.1	24.1	22.4	18.0	17.0	16.7	16.7	17.3	18.3	19.8	21.8	20.0

Fuente: Evaluación y Ordenamiento de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Río Cañete. IRH-INRENA-MINAG, 2003

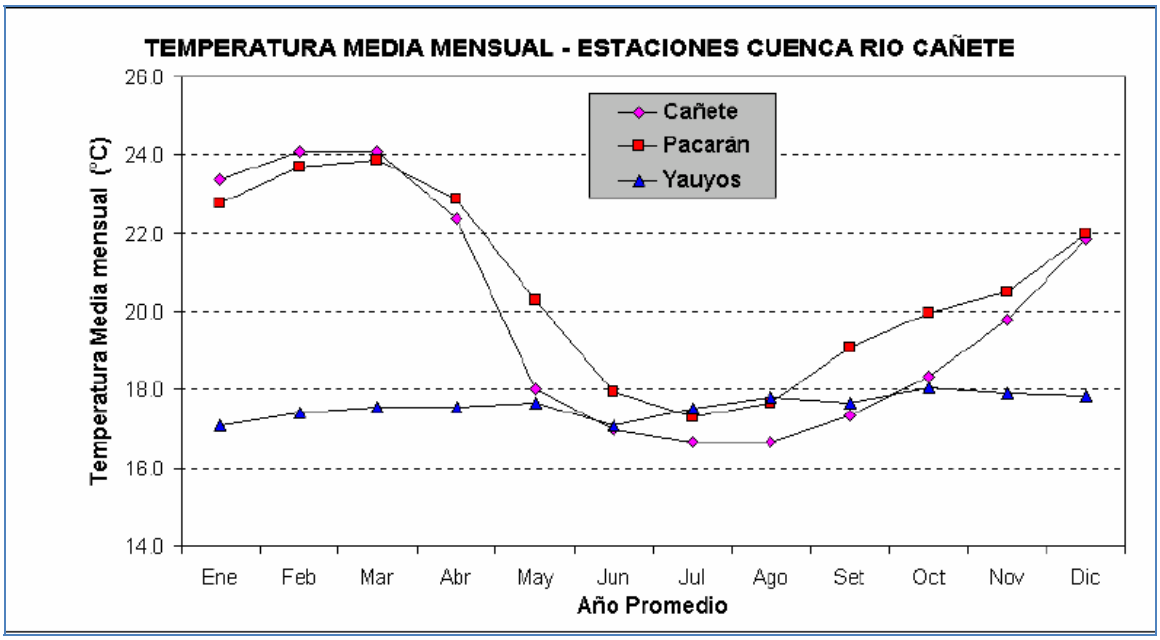


Figura Nº 3.19. Distribución de la Temperatura Media Mensual de las Estaciones Meteorológicas Ubicadas en la Cuenca del Río Cañete

Fuente: Evaluación y Ordenamiento de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Río Cañete. IRH-INRENA-MINAG, 2003

3.3 Hidrometría

Existen 04 estaciones hidrométricas ubicadas a lo largo de la cuenca del río Cañete y sus cuencas vecinas. Estas estaciones son operadas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

En la Tabla No. 3.5 se muestra la lista de estaciones incluidas en el presente estudio indicándose sus principales características tales como código, nombre y

ubicación. En el Anexo se presentan los registros históricos de lluvia total mensual y los histogramas correspondientes.

Tabla Nº 3.5. Principales Características de las Estaciones Hidrométricas en la Cuenca del río Cañete y cuencas vecinas.

CODIGO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	CATEGORIA	CUENCA	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD (msnm)	CONDICION	Periodo de Operación	
											INICIO	FIN
203301	TOMA IMPERIAL	HLM	CAÑETE	LIMA	CAÑETE	LUNAHUANA	76° 13'1	13° 00'1	918	Cerrada	1926-01	1971-02
203302	SOCSI	HLM	CAÑETE	LIMA	CAÑETE	LUNAHUANA	76° 11'41.3	13° 01'42.9	312	Operativa	1965-01	1994-08
203303	PACARAN	HLM	CAÑETE	LIMA	CAÑETE	PACARAN	76° 03'17	12° 51'58	694	Operativa	No Disponible	
203305	CATAPALLA	HLG	CAÑETE	LIMA	CAÑETE	LUNAHUANA	76° 06'34.7	12° 55'27.3	575	Cerrada	No Disponible	

HLM = Estación Hidrométrica con mira limnimetrica. Se mide la altura de agua manualmente (06:00, 10:00, 14:00 y 1800 horas) para calcular caudales diarios.
HLG = Estación Hidrométrica con limnimetro y limnigrafo mecánico. Se mide la altura de agua en las horas de observación (06:00, 10:00, 14:00 y 1800 horas). Se registran además de manera continua (horaria) los niveles de agua en papel.

En la Figura No 3.20 se muestra el periodo y longitud de la data disponible en las estaciones hidrométricas. En la Figura No. 3.21 se muestra su ubicación en el ámbito de la cuenca del río Cañete y cuencas vecinas.

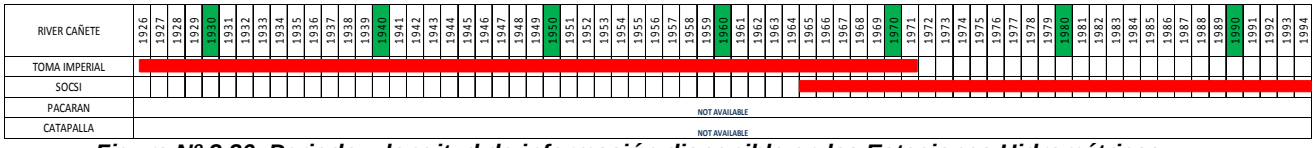


Figura Nº 3.20. Periodo y longitud de información disponible en las Estaciones Hidrométricas

Se empleará la información de la estación hidrométrica Socsi para la calibración del modelo hidrológico que será descrito en el ítem 4.2.4. Esta estación se ubica aguas abajo de la "porción húmeda" de la cuenca, por lo tanto los flujos registrados por esta estación son prácticamente los mismos que descargan hacia el Oceano Pacífico.

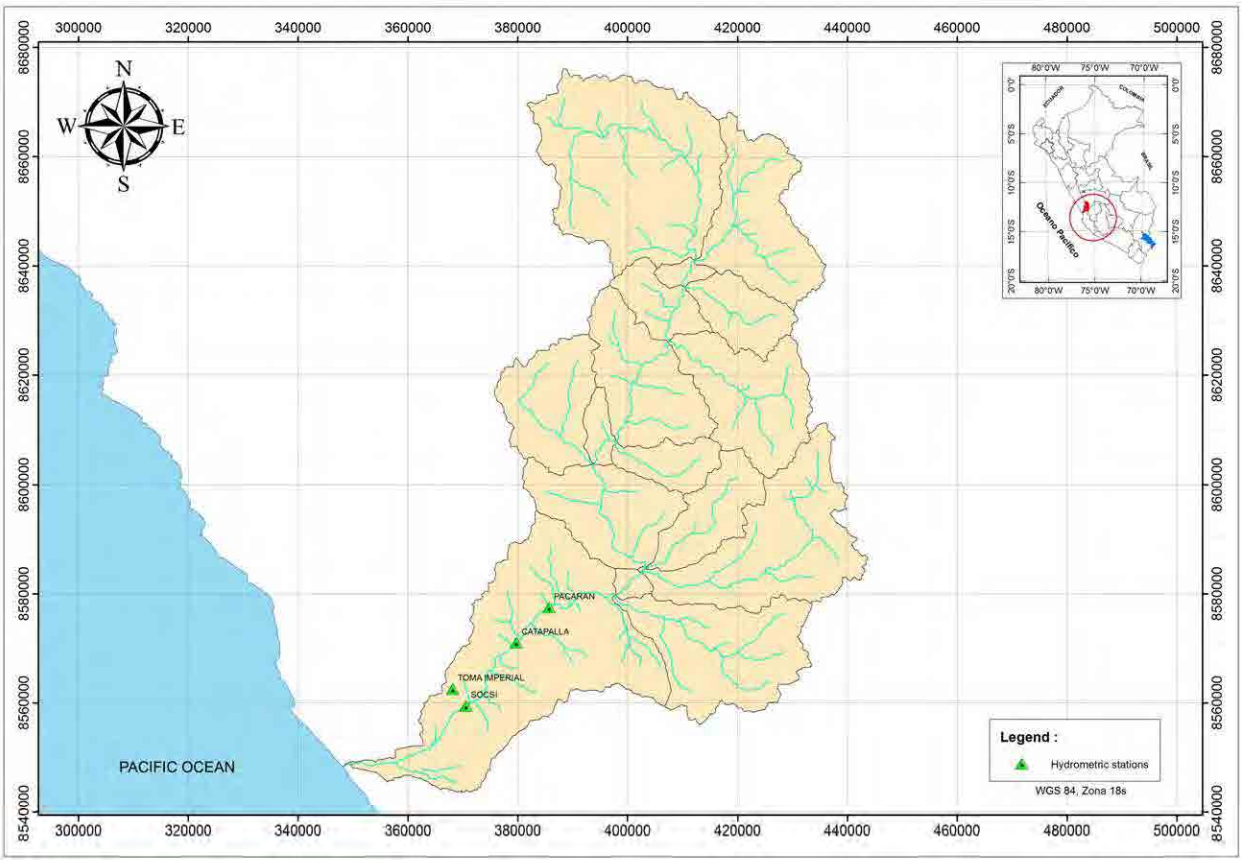


Figura Nº 3.21. Ubicación de la estación hidrométrica Socsi en la Cuenca del Río Cañete

3.4 Comentarios sobre la red de estaciones hidrológicas e hidrométricas de la Cuenca del Río Cañete.

3.4.1 Sobre las Estaciones Pluviométricas

Como se mencionó previamente la información pluviométrica empleada en el análisis fue proporcionada por el SENAMHI. De las 13 estaciones, 08 estaciones tienen información hasta el año 2010, 01 estación tiene información hasta el año 2007, 01 estación tiene información hasta el año 1990 y 03 estaciones tienen información hasta el año 1998.

Las estaciones con información anterior al año 2007 ya no están operativas, se presume que las estaciones restantes están actualmente operativas. Si bien

podría pensarse que la información correspondiente a estaciones que tienen información anterior a 1991 corresponde a información desfasada y no representativa, esta información ha sido utilizada debido a que la longitud de sus registros superan los 12 años y se ha considerado que aún pueden ser utilizadas para análisis estadísticos. De las 13 estaciones, 10 fueron utilizadas para los análisis de descargas pico, las estaciones restantes no fueron utilizadas debido a su corto periodo de información y a la baja calidad de su información.

Las mediciones de lluvia se realizan empleando pluviómetros manuales, estos dispositivos acumulan la lluvia durante cierto periodo de tiempo luego del cual la lluvia acumulada es medida manualmente. En algunos casos, las lecturas se realizan una vez al día (a las 7 am); en otros casos, dos veces al día (a las 7 am y a las 7 pm), no se conoce el intervalo exacto de tiempo de las mediciones efectuadas en las estaciones usadas en el presente estudio.

3.4.2 Sobre las Estaciones Hidrométricas

Si bien las estaciones hidrométricas fueron operadas y mantenidas por SENAMHI, la información hidrométrica empeada en los análisis fue proporcionada por la Dirección General de Infraestructura Hidráulica (DGIH) del Ministerio de Agricultura.

De las 04 estaciones hidrométricas, 01 estación tiene información hasta el año 1994 y 01 estación tiene información hasta el año 1971, la información de las dos estaciones restantes no estuvo disponible.

Para los fines del presente estudio se empleó la información de la estación Socsi. En esta estación los niveles de agua se midieron leyendo el nivel en una regla graduada, las lecturas fueron transferidas a una libreta y las descargas fueron determinadas empleando una ecuación del tipo:

$$Q = aH^{b}$$

Donde Q es la descarga en m^3/s y H is la lectura en metros. Este tipo de estaciones no registran las descargas máximas instantáneas debido a que las lecturas no son continuas ni automáticas sino manuales. Se toma cuatro lecturas al día. Estas lecturas se realizan a las 6 am, 10 am, 14 pm y 18 pm. La mayor de estas lecturas es llamada máxima descarga diaria, sin embargo este valor no es la máxima descarga instantánea diaria.

3.4.3 Recomendaciones

Desde un punto de vista técnico se pueden dar las siguientes recomendaciones:
Sobre el Equipo:

- A fin de tomar en cuenta las variaciones climáticas a lo largo de la cuenca debido a efectos orográficos, se debe incrementar el número de estaciones climatológicas e hidrométricas.

- A fin de registrar los valores máximos instantáneos de lluvia y descargas, se debe automatizar la estaciones climatológicas e hidrométricas existentes.

- Se debe modernizar el equipo limnigráfico de las estaciones hidrométricas pasando de las bandas de papel convencional a las bandas de tipo digital.

- Sería deseable que la información recolectada este disponible en tiempo real.

- Se recomienda estudiar la posibilidad de establecer sistemas de alerta temprana basados en la mejora y el incremento de las estaciones hidrométricas y pluviométricas existentes.

- Para la realización de estudios complementarios se recomienda adquirir:

  - Equipo de muestreo de sedimentos.
  - Equipo para la medición de parámetros físicos de calidad de agua (pH, OD, turbidez y temperatura).

- Establecimiento de Bench Mark (BM) para estaciones climatológicas e hidrométricas usando GPS diferenciales. Esta información será útil para reponer la estación en caso de destrucción por vandalismo o desastres naturales.

Sobre la Operación y Mantenimiento del Equipo

- Las estaciones climatológicas e hidrometrícas en el área de estudio deben ser inspeccionadas frecuentemente.
- El mantenimiento del equipo debe estar a cargo de técnicos calificados certificados por los fabricantes.
- Se deben hacer calibraciones periodicas de los equipos en función del número de horas de uso.

Sobre la Calidad de los Datos Medidos

- Los datos tomados manualmente por los operadores de SENAMHI deben ser verificados independientemente.
- A fin de garantizar la calidad de la información recolectada en años previos, el gobierno debería implementar un programa de verificación de la información recolectada.
- Se debería instalar estaciones duplicadas en determinadas ubicaciones a fin de comparar las lecturas obtenidas en ambos equipos y verificar la calidad de la información obtenida.

- Cuando se tengan disponibles estaciones automáticas, se deberí a verificar la consistencia de sus lecturas instalando estaciones manuales y comparando las lecturas de ambas estaciones.

Es necesario mencionar que actualmente existe un acuerdo entre la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y el SENAMHI a fin de proveer de equipamiento a las estaciones climatológicas operadas por SENAMHI mediante financiamiento externo. Se recomienda tomar acciones a fin de incluir a la cuenca del río Cañete en este acuerdo.

-

IV. HIDROLOGIA DE MAXIMAS AVENIDAS

4.1 Consideraciones Previas

En este capitulo se describe la metodología de trabajo desarrollada para la generación de los caudales de avenida en el denominado Punto Base (punto de interés, estación Socsi), para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

La estimación de las descargas máximas se ha realizado a partir de la información de precipitación máxima de 24 horas mediante un modelo precipitación – escorrentía, utilizando el Software HEC-HMS. El modelo ha sido calibrado mediante los registros históricos de caudales máximos diarios anuales de la estación Socsi.

Reconocimiento de Campo:

El reconocimiento de campo ha comprendido una revisión de las características generales de la estación hidrométrica Socsi y del punto base (punto de interés, en donde se estimara las descargas máximas), de las principales características topográficas y del uso de suelo de la cuenca vertiente a la zona de estudio, lo cual ha servido de apoyo para la definición de algunos parámetros a considerar para la generación de los caudales de avenida.

Metodología y Procedimiento:

La metodología y procedimiento empleado para la estimación de las descargas máximas, se resume a continuación:

- Identificación y delimitación de la subcuenca vertiente al punto de interés (Estación Hidrométrica Socsi), que ha sido realizada en base a las Cartas a escala 1:100000 y/ó 1:25000 e imágenes satélites.
- Selección de estaciones pluviométricas existentes en el área del estudio y recopilación de registros históricos de precipitación máxima en 24 horas.
- Análisis de frecuencias de las precipitaciones máximas en 24 horas para cada estación y selección de la función de distribución con mejor ajuste.
- Cálculo de la precipitación areal de la cuenca vertiente al punto de interés a partir de los mapas de isoyetas elaborados para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

- Determinación de la precipitación máxima para una duración de tormenta no menor al tiempo de concentración; (tiempo en el cual toda la cuenca aporta a la descarga) mediante el modelo Dick y Peschke.

- Mediante el modelo precipitación escorrentía se generan los caudales de avenida para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, utilizando el software HEC – HMS, se modelo la cuenca mediante los siguientes pasos:

  - A partir de la serie histórica de caudales máximos diarios anuales se calcula mediante métodos estadísticos la Ley de frecuencia de caudales.

  - Calibración del modelo precipitación escorrentía, con la ley de frecuencia de caudales.

4.2 Caracterización Hidrológica, Análisis de la Información Pluviométrica e Hidrométrica

4.2.1 Caracterización Hidrológica

Las características geomorfológicas de la cuenca al punto base (estación Socsi) se muestra en el Cuadro Nº 4.1.

Cuadro Nº 4.1. Características Geomorfológicas de la cuenca en el Punto Base (estación Socsi)

Caracteristica	Valor
Area de la Cuenca (km2)	5,676.120
Longitud Max. De Recorrido (km)	187.000
Cota Mayor (msnm)	4,760.000
Cota Menor (msnm)	405.000
Pendiente (m/m)	0.023

4.2.2 Análisis de las Precipitaciones Máximas en 24 Horas

En el Cuadro Nº 3.1 y Figura Nº 3.3. se muestra las estaciones ubicadas en el ámbito del estudio (cuenca del río Cañete y cuencas vecinas) las precipitaciones máximas en 24 horas anual de estas estaciones se muestra en el Cuadro Nº 4.2; la información diaria y máxima en 24 horas se muestra en el Anexo.

De la información mostrada en el Cuadro Nº 4.2 y observando la Figura Nº 3.3 y Nº 3.4, en los siguientes análisis no se va a considerar la información de las estaciones Tomas y Nicolas Franco Silvera por tener información de pocos

años y la estación Huantan por tener información inconsistente con estaciones vecinas.

Cuadro Nº 4.2. Precipitación Máxima en 24 Horas Anual de las Estaciones ubicadas en el Ámbito del Estudio

Año	Estaciones												
	YAUYOS	YAURICOCHA	TOMAS	TANTA	SOCSI CAÑETE	PACARAN	NICOLAS FRANCO SILVERA	HUANTAN	HUANGASCAR	COLONIA	CARANIA	AYAVIRI	COSMOS
1960													
1961													
1962													
1963													
1964	19.50			25.40						14.20	28.40	12.00	
1965	31.40			34.50		2.10		41.60	15.00	43.50	44.30	13.00	
1966	23.30			26.60		2.51		20.00	25.10	34.40	25.00	28.50	
1967	23.60			28.00		8.80			35.30	62.80	18.60		
1968				23.70				17.70	12.90	18.10		19.70	
1969	17.40			33.00					21.30	17.20	29.30	33.50	
1970	26.80			37.90		20.30		21.20	28.00	24.20	16.60	29.90	
1971	33.00			24.50		6.30		18.50	19.60	31.50	18.00	22.70	
1972				26.10		4.80		29.30	70.50	16.30	20.10	33.00	
1973	28.20			18.20		6.00		30.20	27.20	15.80	22.60	37.60	
1974	21.50			19.30		2.40		20.00	12.70	15.70	16.80	30.50	
1975	19.00			15.10		3.30		40.10	34.60	14.10	16.00	34.80	
1976	20.00			17.50		0.40		32.40		23.20	19.30	16.10	
1977	14.80			16.40		0.80			29.40	24.90	17.40	34.40	
1978	20.10			16.30		0.20		22.00	49.80	25.20	16.10	33.40	
1979	16.90			11.70					18.10		15.10	11.20	
1980	15.50			14.40					8.50		17.10		
1981	22.80			13.10					21.00	17.60	17.50		
1982			16.80	13.30				61.20	17.20		15.60		19.30
1983			9.80					33.60	9.70	21.50	16.60		15.50
1984	10.00			11.30				53.40	14.90		14.20		27.00
1985				12.40					13.80	8.00	12.90		
1986			17.50	18.00		3.51		36.20	19.00	26.50	20.00	32.70	33.70
1987		37.60	13.10	16.80		4.80		35.50	13.10	12.50	20.90	31.90	29.30
1988		28.80	13.60	13.80		3.30			20.40		33.10	23.80	
1989		26.10		13.90		6.00		27.70	20.00		24.40	39.40	
1990		30.80		15.80		1.20			20.00		26.00	25.60	
1991		24.00		11.50		1.50			19.00		12.40	27.40	
1992	6.30	21.50		16.00		1.21			5.00		15.10	29.90	
1993	17.30	40.50		41.60		3.00			20.00		16.00	29.70	
1994	31.50	21.80		26.40		9.00			24.00		14.10	30.20	
1995	12.20	20.20		27.00		6.20			30.00		13.50	30.20	
1996	24.30	16.60		31.70		2.60			23.00		16.10	24.60	
1997	18.80	28.20		27.40		3.60			25.30		14.60	46.20	
1998	14.70	27.60		41.80		5.50			33.80		14.10	32.40	
1999	19.90	24.40		24.50		11.20			24.30		15.60	23.10	
2000	12.90	58.60		28.90		3.80			30.60		27.00	35.40	
2001	13.30	20.60		22.70		5.60			12.80		14.90	24.00	
2002	11.60	25.80		28.20					24.80		17.70	28.70	
2003	14.40	60.40		28.00		4.40			15.00		18.90	18.20	
2004	14.20	41.30		32.90					17.70		21.40	29.20	
2005	13.60	30.40		22.00	0.00		6.40		13.00		20.50	21.00	
2006	20.60	26.20		29.50	0.00		3.00		25.10		30.10	26.50	
2007	19.80	29.00		33.60	0.00	2.30			14.60		23.40	34.20	
2008	19.90	15.40			0.00	2.60			24.00		21.90	30.40	
2009	15.10	26.90		69.20	8.00	6.00			14.80		20.50	27.30	
2010													

En la Figura Nº 4.1 se muestra las estaciones consideradas para los siguientes análisis que van ser aplicado en el software HEC-HMS.

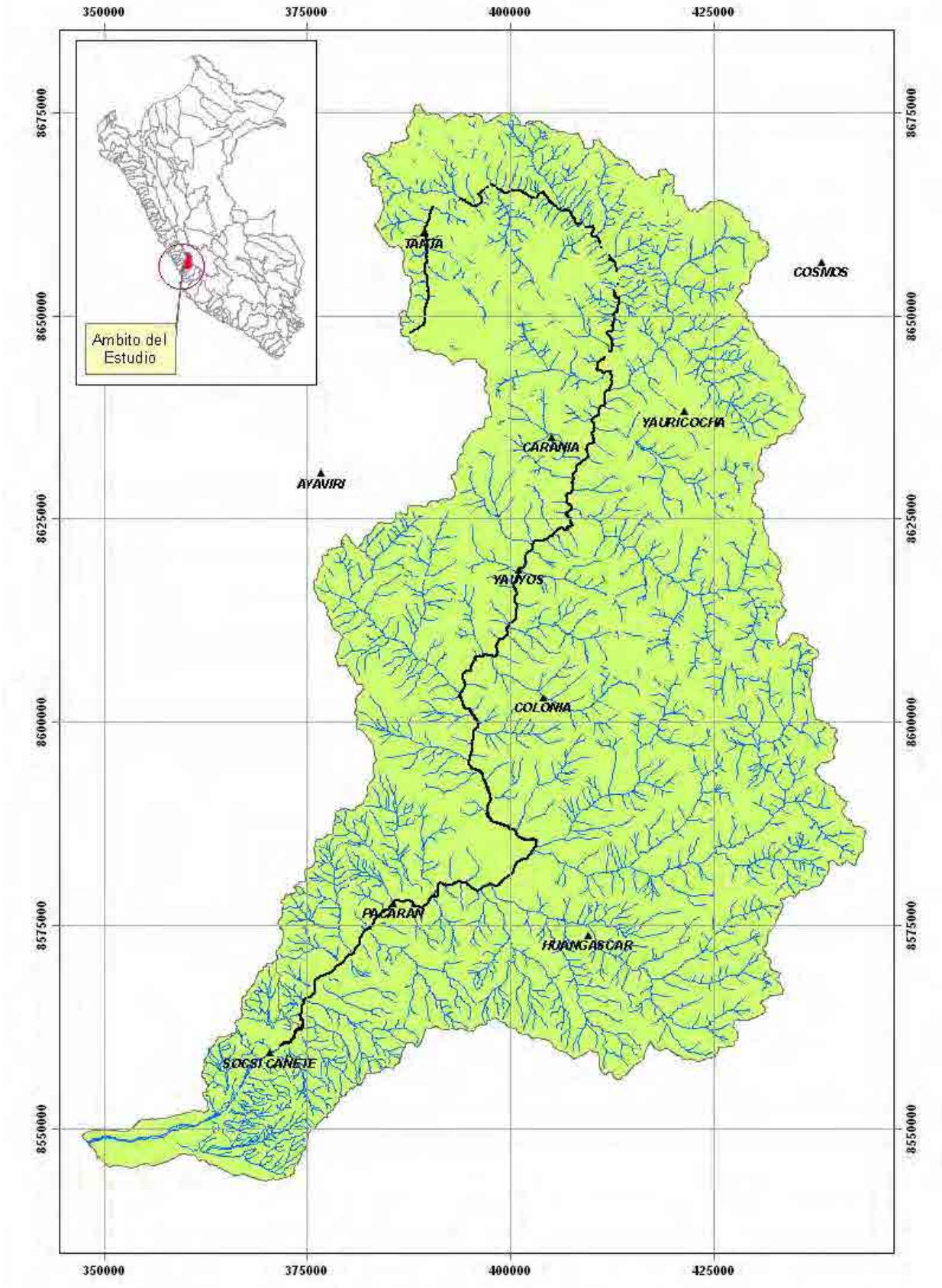


Figura Nº 4.1. Estaciones Pluviométricas consideradas para la aplicación del Software HEC-HMS

Cada serie de precipitación máxima anual de las diez (10) estaciones pluviométricas seleccionadas va a ser ajustadas a un tipo de distribución, por lo que a continuación se describe las funciones de distribución más comunes que se aplica a los estudios hidrológicos de eventos extremos.

4.2.2.1 Funciones de Distribución

A continuación se describe las funciones de distribución:

1. Distribución Normal ó Gaussiana

   Se dice que una variable aleatoria X, tiene una distribución normal, si su función densidad es,

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi S}} EXP\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x - X}{S}\right)^2\right]$$

   Para $-\infty < x < \infty$

   Donde:

   f(x) = Función densidad normal de la variable x.

   x = Variable independiente.

   X = Parámetro de localización, igual a la media aritmética de x.

   S = Parámetro de escala, igual a la desviación estándar de x.

   EXP = Función exponencial con base e, de los logaritmos neperianos.

2. Distribución Log – Normal de Dos Parámetros

   Cuando los logaritmos, ln(x), de una variable x están normalmente distribuidos, entonces se dice que la distribución de x sigue la distribución de probabilidad log – normal en que la función de probabilidad log – normal f(x) viene representado como:

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma_y\sqrt{2\pi S}} EXP\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{\ln x - \mu_y}{\sigma_y}\right]^2\right\}$$

   Para $0<x<\infty$, se tiene que $x \sim \log N(\mu_y, \sigma_y 2)$

Donde:

μ_y, σ_y = Son la media y desviación estándar de los logaritmos naturales de x, es decir de ln(x), y representan respectivamente, el parámetro de escala y el parámetro de forma de la distribución.

3. Distribución Log – Normal de Tres Parámetros

Muchos casos el logaritmo de una variable aleatoria x, del todo no son normalmente distribuido, pero restando un parámetro de límite inferior x_o, antes de tomar logaritmos, se puede conseguir que sea normalmente distribuida.

La función de densidad, de la distribución log – normal de tres parámetros, es:

$$f(x) = \frac{1}{(x - x_o)\sigma_y\sqrt{2\pi}} EXP\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{ln(x - x_o) - \mu_y}{\sigma_y}\right]^2\right\}$$

Para $x_o \leq x < \infty$

Donde:

x_o = Parámetro de posición en el dominio x.

μ_y, = Parámetro de escala en el dominio x.

σ_y^2 = Parámetro de forma en el dominio x

4. Distribución Gamma de Dos Parámetros

Se dice que una variable aleatoria X, tiene una distribución gamma de 2 parámetros si su función densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{x^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\gamma}\Gamma_{\gamma}}$$

Para

$0 \leq x < \infty$

$0 < y < \infty$

$0 < \beta < \infty$

Siendo:

γ = Parámetro de forma (+)

β = Parámetro de escala (+)

$\Gamma_{(\gamma)}$ = Función gamma completa, definida como:

$\Gamma_{(\gamma)} = \int x^{\gamma-1} e^{-x} dx$, que converge si $\gamma>0$

5. Distribución Gamma de Tres Parámetros o Pearson Tipo III

La distribución Log Pearson tipo 3 (LP3) es un modelo muy importante dentro de la hidrología estadística, sobre todo, luego de las recomendaciones del Consejo de Recursos Hidráulicos de los Estados Unidos (Water Resources Council – WRC), para ajustar la distribución Pearson tipo 3 (LP3) a los logaritmos de las máximas avenidas. Pues, la distribución LP3, es una familia flexible de tres parámetros capaz de tomar muchas formas diferentes, por consiguiente es ampliamente utilizado en el modelamiento de series anuales de máximas avenidas de los datos no transformados.

Se dice que una variable aleatoria X, tiene una distribución gamma de 3 parámetros o distribución Pearson Tipo III, si su función densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{(x - x_0)^{\gamma-1} e^{\frac{(x - x_0)}{\beta}}}{\beta^{\gamma} \Gamma_{\gamma}}$$

Para

$x_0 \leq x < \infty$

$-\infty < x_0 < \infty$

$0 < \beta < \infty$

$0 < \gamma < \infty$

4.2.2.2 Calculo de Ajuste y Periodo de Retorno para las Precipitaciones Máximas en 24 Horas

El análisis de frecuencia de la precipitación máxima en 24 horas de cada estacion (ver Cuadro Nº 4.2) se ha efectuado con el Software Hidrológico de Eventos Extremos "CHAC" (Software elaborado por el CEDEX – España), este software calcula la precipitación máxima en 24 horas para diferentes períodos de retorno considerando las funciones de distribución de probabilidades como: la Normal, la Log – Normal de 2 ó 3 parámetros, la Gamma de 2 ó 3 parametros, la Log – Pearson III, la Gumbel, la Log – Gumbel y Valores Extremo Generalizados.

La informacion generada para cada funcion de distribucion se elije la de que tiene mejor ajuste mediante la prueba de bondad de Kolmogórov – Smirnov y los periodos de retorno considerados para el presente estudios es de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

4.2.2.3 Selección de Distribución Teórica con mejor Ajuste a la Serie de Precipitaciones Máximas en 24 Horas

Según el análisis efectuado con el software CHAC observamos que los datos se ajustan a la función de distribución de Valores Extremos Generalizados (GEV), según el coeficiente de distribución, ver Cuadro Nº 4.3. Los valores de cada estación pluviométrica y para cada periodo de retorno se muestran en el Cuadro Nº 4.4.

Cuadro Nº 4.3. Coeficiente de Determinación para cada Función de Distribución y para cada Estación Pluviométrica

Estacion	Coeficiente de Determinacion para cada Funcion de Distribucion				
	Log Pearson III	GEV	SQRT	Gumbel	Log-Normal
AYAVIRI	0.95	0.95	0.92	0.92	0.91
CARANIA	0.91	0.92	0.91	0.91	0.89
COLONIA	0.95	0.96	0.93	0.93	0.91
COSMOS	0.92	0.93	0.91	0.90	0.90
HUANGASCAR	0.93	0.95	0.92	0.93	0.91
PACARAN		0.93	0.92	0.93	0.92
SOCSI CAÑETE		0.94		0.90	0.91
TANTA	0.90	0.92	0.91	0.92	0.90
YAURICOCHA	0.92	0.94	0.93	0.92	0.89
YAUYOS	0.96	0.97	0.95	0.95	0.92

Cuadro Nº 4.4. Precipitaciones Máxima en 24 Horas de cada Estación Pluviométrica y para cada Periodo de Retorno

NOMBRE DE ESTACION	PERIODO DE RETORNO T [AÑOS]						
	PT_2	PT_5	PT_10	PT_25	PT_50	PT_100	PT_200
AYAVIRI	29.0	35.0	37.0	39.0	40.0	41.0	42.0
CARANIA	18.0	23.0	27.0	33.0	39.0	45.0	52.0
COLONIA	21.0	30.0	37.0	48.0	56.0	66.0	77.0
COSMOS	23.0	31.0	35.0	40.0	43.0	45.0	47.0
HUANGASCAR	20.0	29.0	35.0	44.0	51.0	59.0	67.0
PACARAN	4.0	7.0	9.0	12.0	15.0	18.0	21.0
SOCSI CAÑETE	0.0	1.0	2.0	4.0	7.0	12.0	21.0
TANTA	23.0	32.0	38.0	46.0	52.0	58.0	65.0
YAURICOCHA	27.0	36.0	43.0	54.0	64.0	75.0	88.0
YAUYOS	18.0	23.0	27.0	31.0	34.0	37.0	40.0

Con la información mostrada en el Cuadro Nº 4.4., y con la herramienta IDW (Inverse Distance Weighted) de Interpolate to Raster del modulo Spatial Analyst del software ArcGIS se ha generado la distribución espacial de la precipitación para cada periodo de retorno.

Para la generación de los mapas de isoyetas se ha empleado la herramienta Contour de Surface Analysis del modulo Spatial Analyst del software ArcGIS, cuyos resultados se muestra en las Figuras Nº 4.2. al 4.7.

A partir de los mapas de isoyetas para cada periodo de retorno se ha estimado la precipitacion maxima para el area de la cuenca delimitada para el Punto Base (Estacion Socsi), la metodologia y los resultados se describe en el item 4.2.2.4.

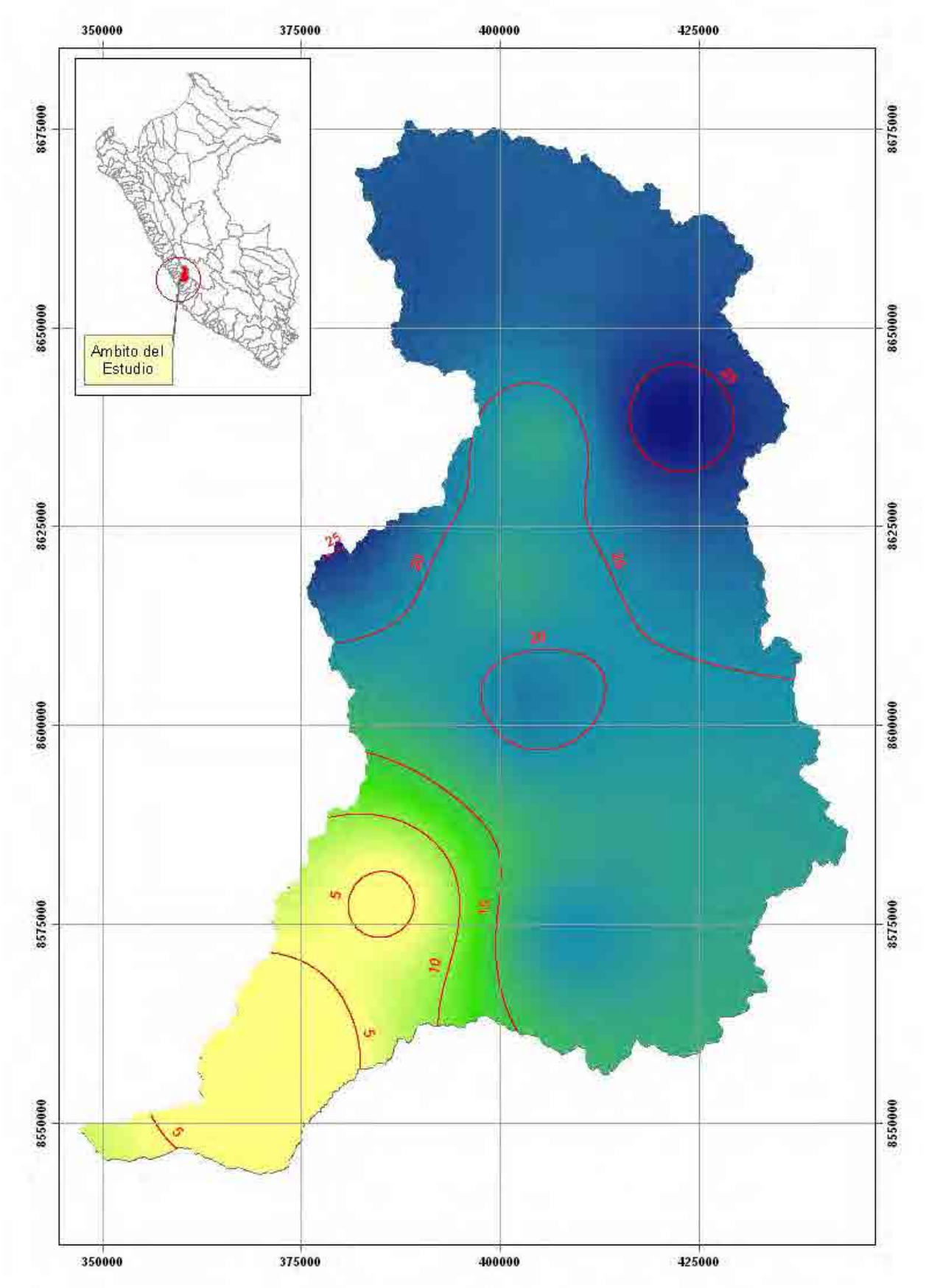


Figura Nº 4.2. Isoyetas para un Periodo de Retorno de 2 años en la cuenca del río Cañete

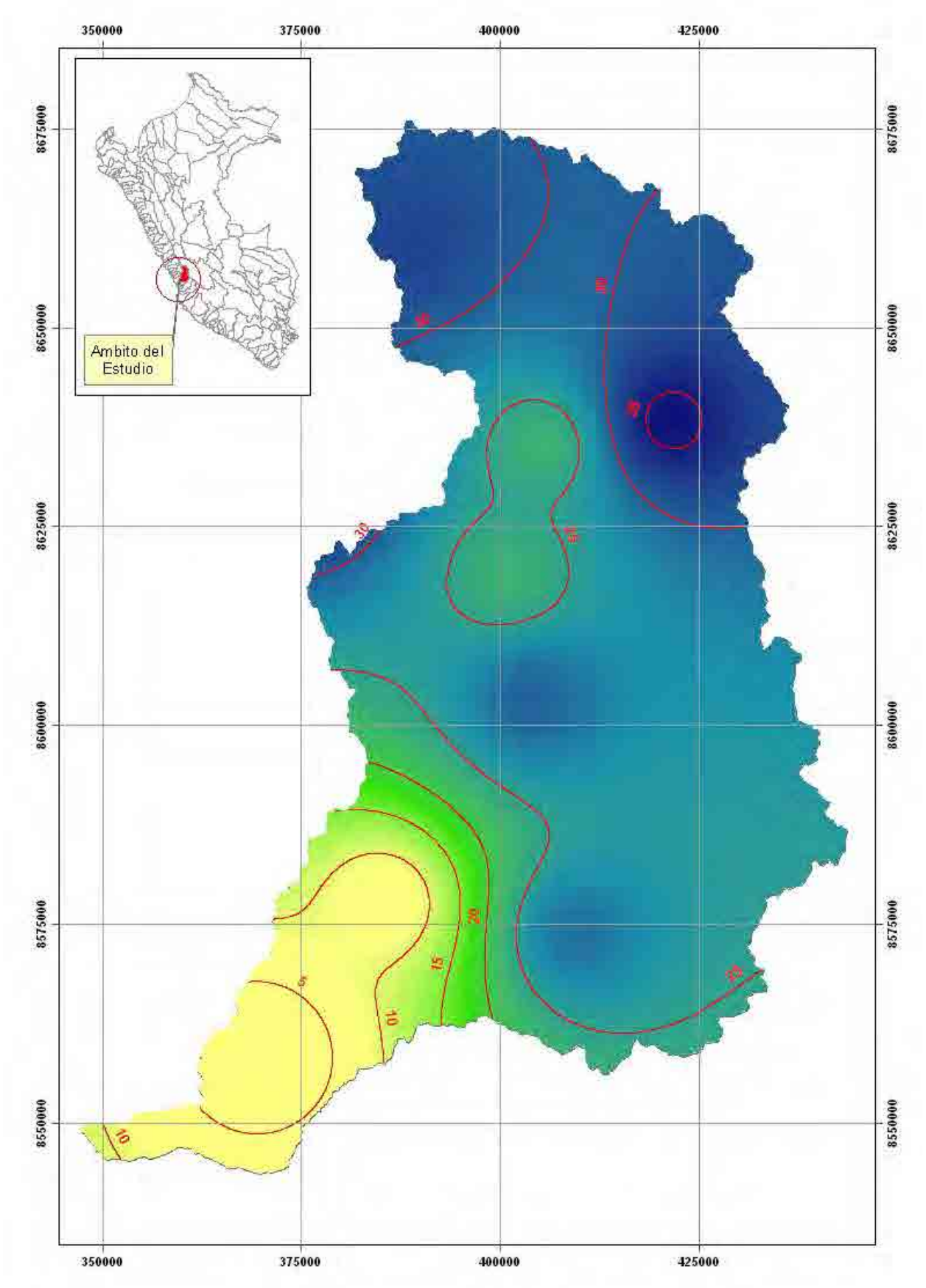


Figura Nº 4.3. Isoyetas para un Periodo de Retorno de 5 años en la cuenca del río Cañete

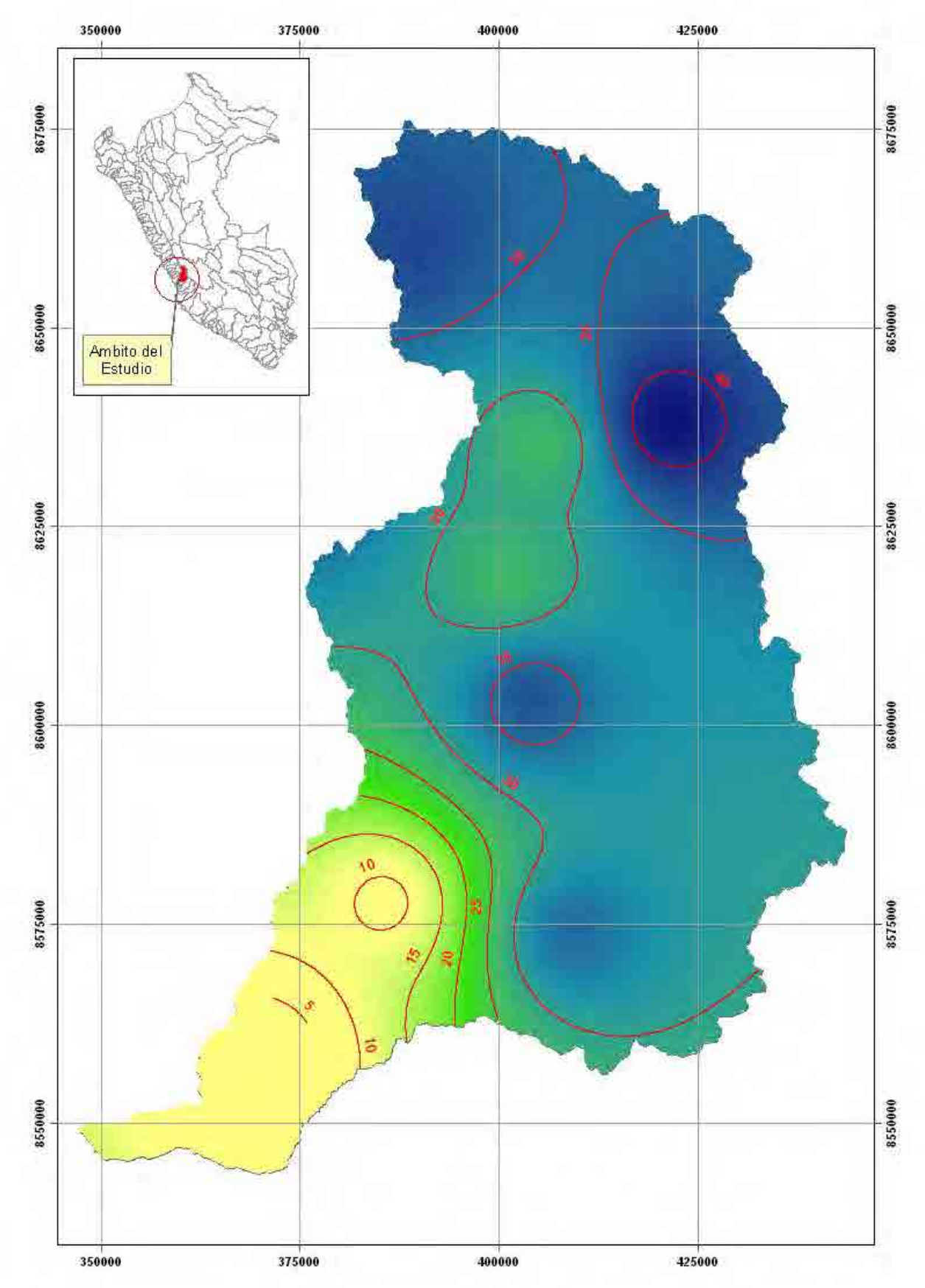


Figura Nº 4.4. Isoyetas para un Periodo de Retorno de 10 años en la cuenca del río Cañete

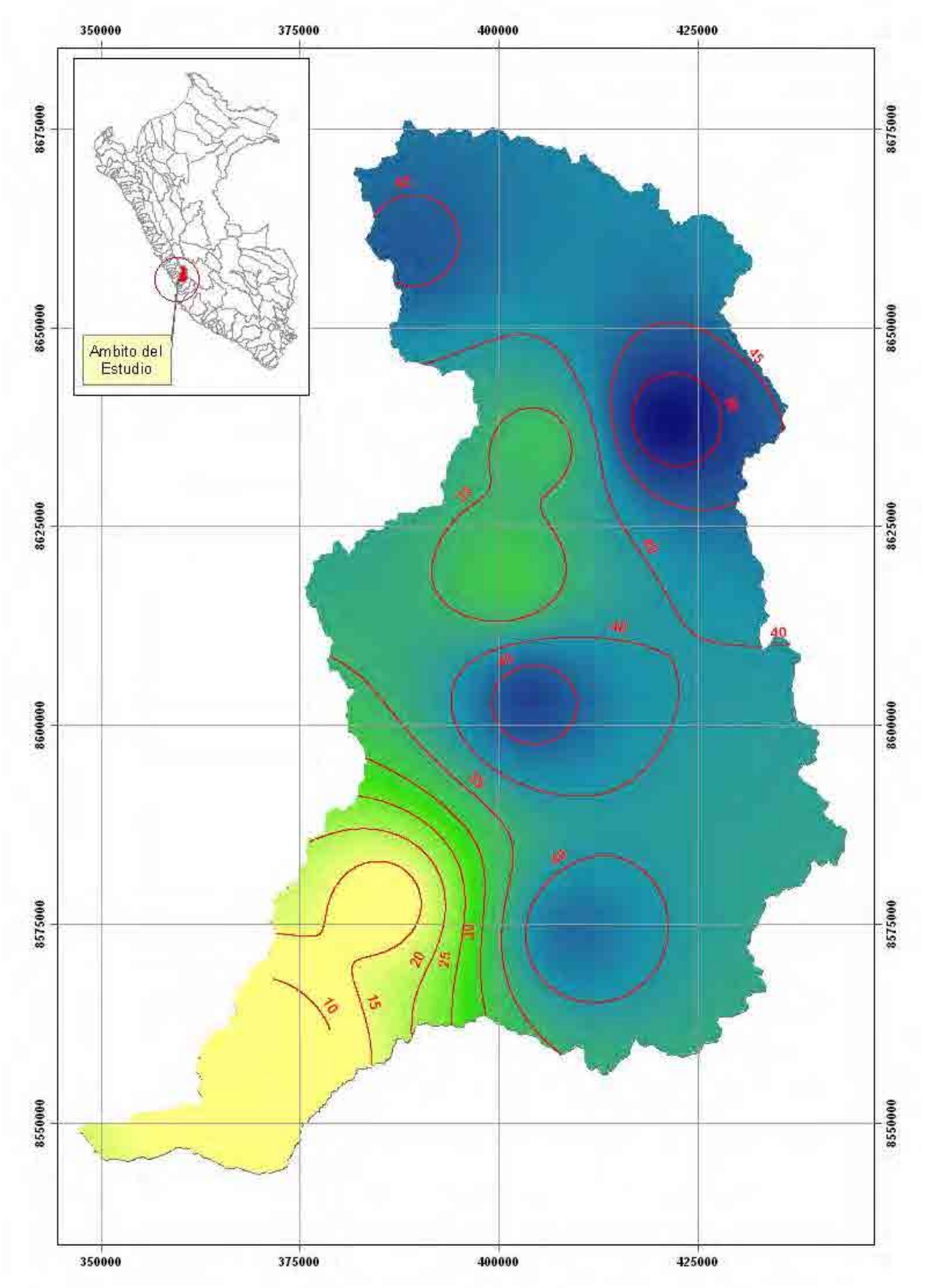


Figura Nº 4.5. Isoyetas para un Periodo de Retorno de 25 años en la cuenca del río Cañete

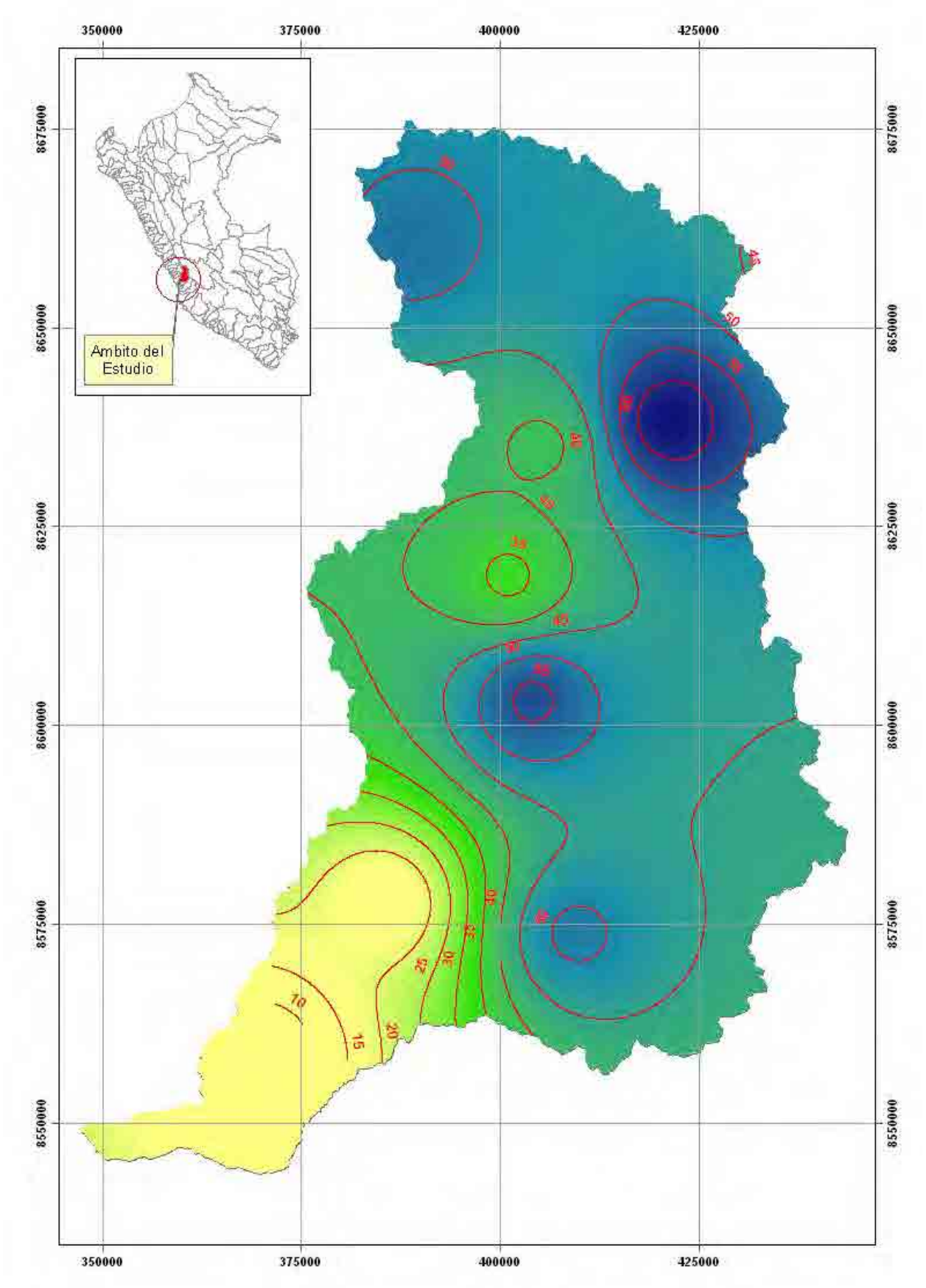


Figura Nº 4.6. Isoyetas para un Periodo de Retorno de 50 años en la cuenca del río Cañete

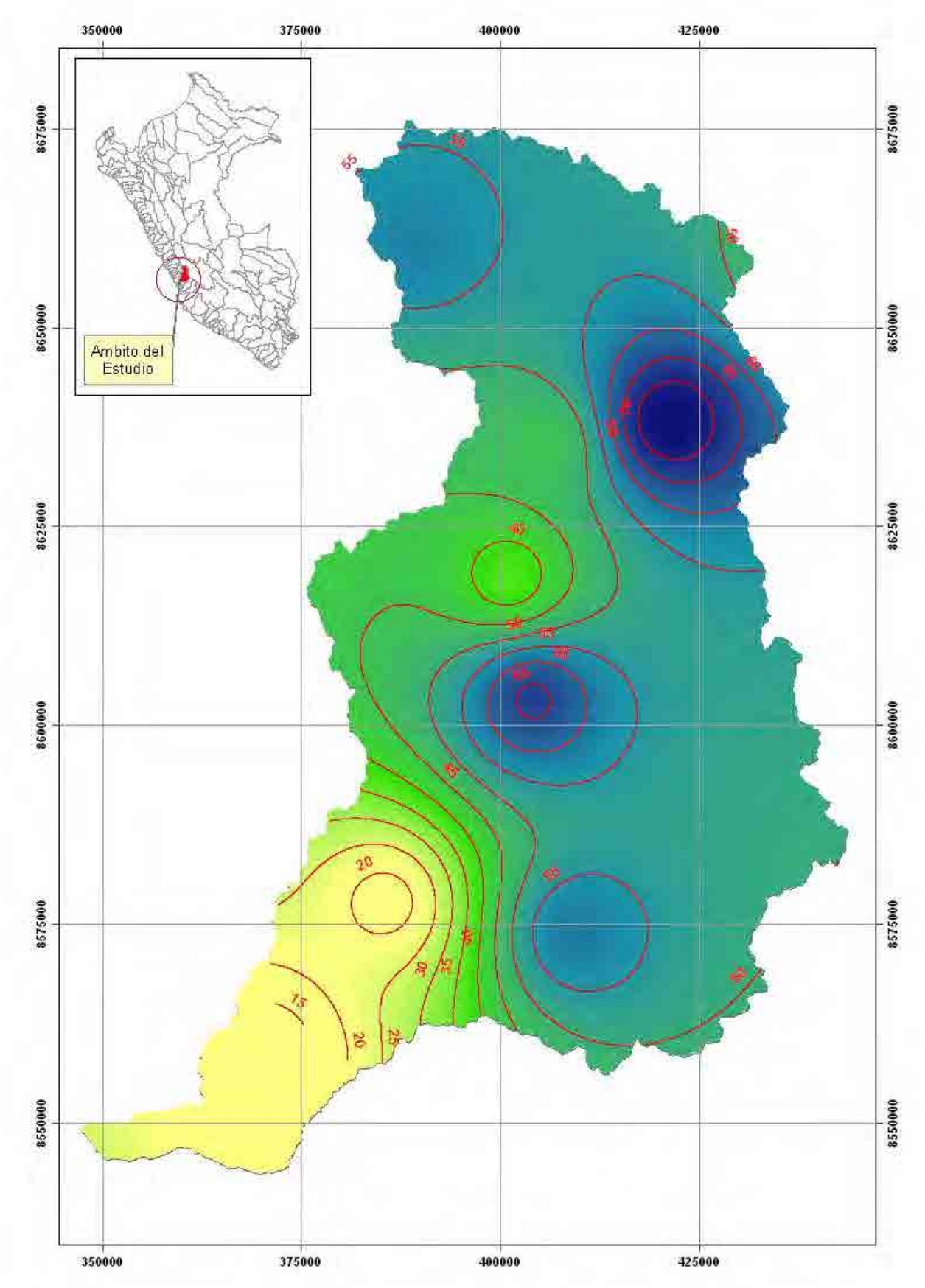


Figura Nº 4.7. Isoyetas para un Periodo de Retorno de 100 años en la cuenca del río Cañete

4.2.2.4 Determinación de Precipitaciones Máximas para Diferentes Periodos de Retorno en el Punto Base

A partir de los mapas de isoyetas para cada periodo de retorno (2, 5, 10, 25, 50 y 100 años) y con la herramienta Zonal Statistics del modulo Spatial Analyst del software ArcGIS se ha calculado la precipitacion areal maxima de 24 horas en el punto base (estacion Socsi) para cada periodo de retorno, los resultados se muestran en el Cuadro Nº 4.5.

Cuadro Nº 4.5. Precipitaciones Areales Máximas en 24 Horas en el Punto Base (Estación Socsi) para cada Periodo de Retorno

T [Años]	Pp Areal Max 24 Horas [mm]
2	18.6
5	25.5
10	30.3
25	37.3
50	43.1
100	49.4

4.2.2.5 Determinación de Precipitaciones Máximas para Diferentes Periodos de Retorno en las Subcuencas del río Cañete

Adicionalmente al estudio hidrológico de los caudales máximos del río Cañete se requiere estimar las precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno en las subcuencas del río Cañete. Esta ha sido estimada en base a los mapas de isoyetas mostrados en las Figuras Nº 4.2. a 4.7 y a la metodología descrita brevemente en el ítem 4.2.2.4.

En la Figura Nº 4.8, se muestra las subcuencas del río Cañete a las que se ha estimado las precipitaciones máximas para cada periodo de retorno y para cada subcuenca cuyos resultados se muestra en el Cuadro Nº 4.6.

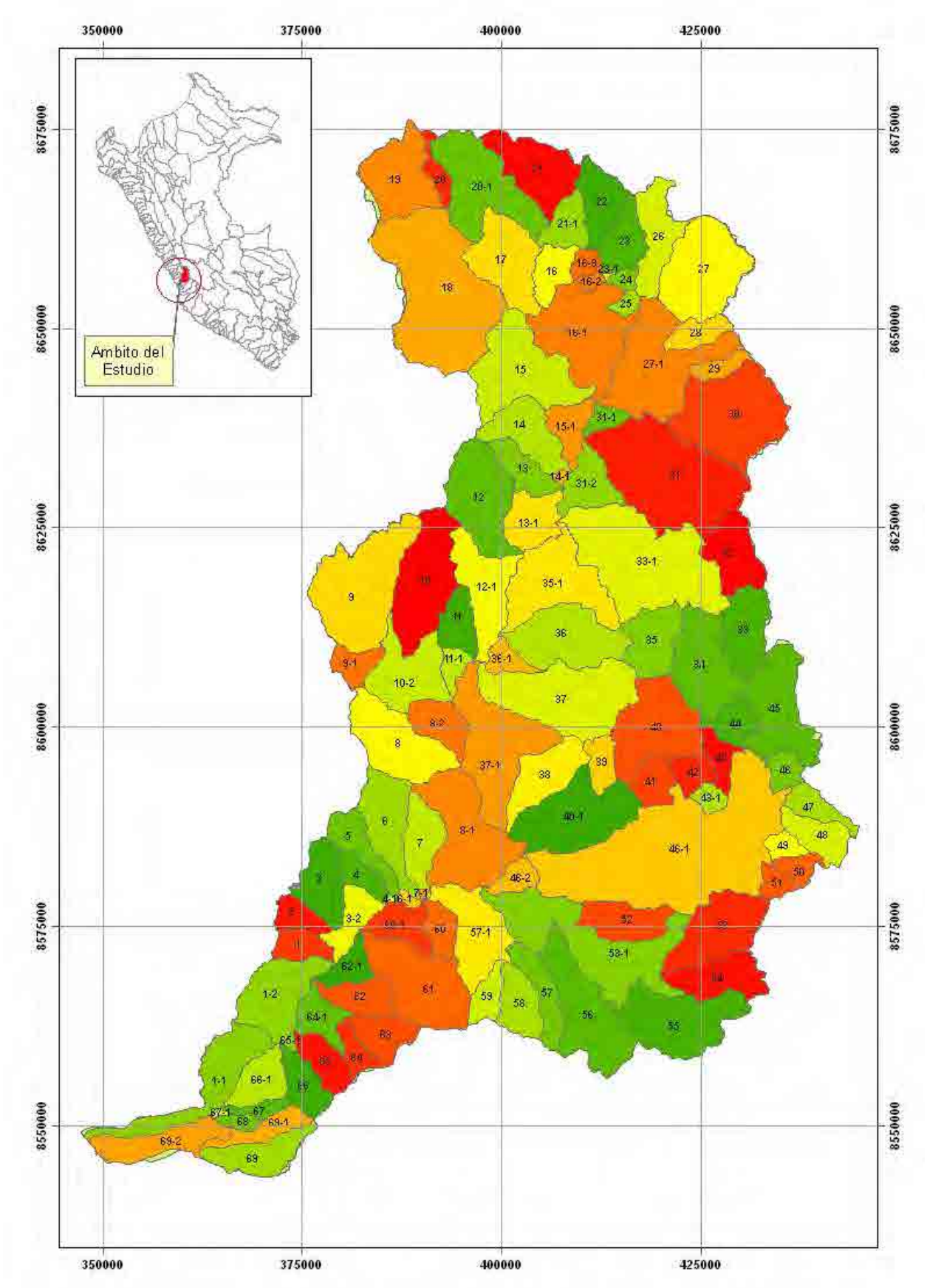


Figura Nº 4.8. Subcuenca del río Cañete

Cuadro Nº 4.6. Precipitaciones para Diferentes Periodos de Retorno en cada Subcuenca del río Cañete

SUBCUENCA	AREA [m²]	PERIODO DE RETORNO T [AÑOS]					
		PT_2	PT_5	PT_10	PT_25	PT_50	PT_100
1	23,147,500	5.6	8.8	11.0	14.5	18.0	22.3
10	99,153,800	20.1	26.1	30.3	35.6	39.8	44.3
10-2	70,237,800	18.9	25.4	30.1	36.6	41.7	47.5
11	31,142,000	19.2	25.4	30.0	35.9	40.5	45.6
1-1	78,972,200	2.3	4.1	5.5	8.1	11.4	16.4
11-1	13,827,500	19.4	26.3	31.5	38.8	44.4	50.9
12	89,313,800	19.5	25.2	29.3	34.8	39.4	44.2
1-2	72,163,700	2.6	4.6	6.1	8.8	12.1	16.9
12-1	70,463,200	18.7	24.3	28.6	33.6	37.4	41.5
13	31,367,400	18.7	24.1	28.3	34.3	40.1	45.9
13-1	42,137,500	19.0	24.6	28.9	34.3	39.0	43.9
14	54,650,700	18.7	24.0	28.2	34.3	40.2	46.1
14-1	2,579,850	18.8	24.3	28.5	34.7	40.6	46.7
15	110,794,000	20.6	27.0	31.7	38.3	44.2	50.3
15-1	29,864,500	19.3	25.0	29.4	35.9	42.1	48.5
16	28,933,500	22.1	29.6	34.7	41.8	47.7	53.8
16-1	115,763,000	22.1	29.2	34.4	41.8	48.3	55.1
16-2	5,852,460	22.3	29.7	34.8	42.0	48.1	54.4
16-3	11,163,600	22.3	29.7	34.8	42.0	47.9	54.1
17	76,294,400	22.3	30.2	35.6	42.9	48.7	54.6
18	211,788,000	22.5	30.7	36.1	43.5	49.2	54.9
19	64,858,300	22.7	31.2	36.9	44.4	50.2	56.0
2	21,011,000	6.5	9.9	12.3	16.0	19.5	23.7
20	14,588,700	22.6	31.1	36.7	44.2	50.0	55.8
20-1	104,300,000	22.5	30.7	36.2	43.6	49.3	55.1
21	67,786,400	22.3	30.1	35.3	42.4	48.0	53.8
21-1	30,166,600	22.2	29.9	35.0	42.1	47.8	53.7
22	43,677,300	22.3	29.8	34.9	41.9	47.5	53.2
23	35,324,400	22.4	30.0	35.0	42.1	47.9	53.8
23-1	893,202	22.4	29.9	35.0	42.3	48.4	54.6
24	7,548,340	22.6	30.1	35.2	42.6	48.7	55.1
25	8,179,220	22.8	30.3	35.5	43.2	49.7	56.4
26	47,884,700	22.6	30.2	35.2	42.2	47.8	53.5
27	104,899,000	23.0	30.8	35.6	42.3	47.5	52.6
27-1	124,017,000	24.5	32.6	38.5	47.5	55.5	64.1
28	23,403,400	23.9	31.8	37.3	45.3	52.1	59.2
29	15,008,000	24.6	32.8	38.6	47.3	54.9	62.9
3	47,658,400	6.7	10.4	12.9	16.6	20.1	24.0
30	128,021,000	25.0	33.3	39.5	48.8	56.9	65.7
31	180,056,000	23.9	31.7	37.6	46.5	54.5	63.2
31-1	13,039,600	22.3	29.3	34.6	42.7	50.0	57.9
31-2	39,773,800	20.1	26.2	30.9	37.6	43.8	50.3
32	52,009,900	21.9	29.2	34.6	42.4	49.0	56.2
3-2	31,314,700	5.0	8.2	10.4	13.7	17.0	20.4
33	52,648,100	20.5	27.7	32.8	40.3	46.4	53.2
33-1	185,838,000	20.7	27.5	32.5	39.6	45.6	52.1
34	84,179,000	20.0	27.1	32.3	39.9	45.9	52.7
35	52,094,800	20.0	27.1	32.4	40.0	46.0	52.8
35-1	99,091,900	18.9	24.7	29.2	34.7	39.0	43.6
36	88,427,000	19.7	26.8	32.1	39.7	45.5	52.2
36-1	16,706,700	20.0	27.6	33.5	42.1	48.4	56.1
37	134,150,000	20.3	28.6	34.9	44.5	51.7	60.4
37-1	118,354,000	19.0	26.8	32.6	41.5	48.2	56.2
38	55,311,100	18.9	26.7	32.5	41.3	47.9	56.0
39	21,906,100	19.3	27.1	32.8	41.5	48.1	55.9
4	21,422,100	5.4	8.8	11.0	14.4	17.7	21.1
40	97,596,400	19.5	26.9	32.4	40.5	46.7	54.0
40-1	103,460,000	18.1	25.6	31.0	39.0	45.3	52.5
41	25,810,500	18.9	26.3	31.7	39.7	45.9	53.1
4-1	960,631	4.1	7.1	9.1	12.1	15.1	18.1
42	21,371,300	19.0	26.3	31.6	39.3	45.4	52.4
43	19,427,800	19.1	26.4	31.6	39.2	45.2	52.1
43-1	11,757,600	18.8	26.1	31.3	38.9	44.9	51.9
44	25,792,000	19.5	26.6	31.8	39.3	45.3	52.1
45	87,978,100	19.7	26.8	31.9	39.3	45.2	51.9
46	17,937,900	19.1	26.2	31.3	38.7	44.6	51.2
46-1	333,392,000	18.6	26.2	31.5	39.3	45.5	52.6
46-2	17,979,500	16.0	23.1	27.9	35.2	41.0	47.6
47	18,444,100	18.9	26.0	31.0	38.3	44.1	50.7
48	33,608,200	18.7	25.7	30.7	38.0	43.8	50.4
49	12,810,600	18.5	25.7	30.7	38.1	44.0	50.7
5	34,390,600	7.6	11.5	14.2	18.1	21.8	25.7
50	15,473,600	18.4	25.6	30.5	37.9	43.7	50.4
51	13,740,700	18.3	25.5	30.5	37.9	43.8	50.6
52	45,403,700	19.2	27.7	33.4	42.0	48.7	56.4
53	77,545,100	18.2	25.7	30.9	38.6	44.7	51.7
53-1	147,352,000	18.6	26.8	32.4	40.7	47.2	54.6

54	50,099,700	17.9	25.3	30.5	38.1	44.1	51.0
55	96,938,800	17.6	25.1	30.3	37.9	43.9	50.9
56	99,022,600	17.9	25.8	31.2	39.2	45.5	52.7
57	37,032,300	17.4	25.1	30.3	38.1	44.4	51.5
57-1	72,431,600	12.1	17.8	21.7	27.5	32.4	37.9
57-2	540,355	6.2	9.9	12.3	16.0	19.5	23.2
58	38,487,100	15.9	23.0	27.8	35.0	40.8	47.5
59	21,680,700	13.7	19.9	24.2	30.5	35.8	41.8
6	63,213,200	9.8	14.4	17.5	22.2	26.2	30.7
60	23,807,900	7.9	12.1	15.0	19.3	23.1	27.4
60-1	33,284,000	5.1	8.4	10.6	14.0	17.2	20.6
61	99,516,800	8.3	12.5	15.5	19.9	23.9	28.4
6-1	4,236,010	4.6	7.8	9.9	13.1	16.3	19.5
62	34,471,000	5.9	9.1	11.4	15.0	18.6	23.1
62-1	22,790,000	5.6	8.8	11.0	14.5	18.0	22.1
63	33,513,100	6.6	10.0	12.5	16.4	20.2	25.0
64	17,449,300	4.7	7.4	9.4	12.7	16.3	21.2
64-1	30,391,000	3.1	5.2	6.9	9.7	13.0	17.9
65	30,594,300	2.4	4.3	5.8	8.5	11.8	16.8
65-1	2,586,310	0.6	1.8	2.9	5.0	8.1	13.1
66	32,456,400	1.7	3.3	4.7	7.1	10.3	15.3
66-1	36,758,000	0.7	2.0	3.1	5.3	8.4	13.4
67	11,483,200	1.8	3.4	4.8	7.2	10.4	15.5
67-1	1,476,050	2.5	4.3	5.8	8.5	11.8	16.8
68	9,270,090	2.5	4.3	5.9	8.5	11.8	16.8
69	42,492,200	4.0	6.4	8.2	11.3	14.7	19.8
69-1	26,182,700	2.9	4.9	6.5	9.2	12.6	17.6
69-2	50,858,000	5.2	7.9	9.9	13.2	16.8	21.9
7	42,214,200	9.5	14.1	17.2	21.9	26.0	30.6
7-1	1,125,050	5.8	9.3	11.7	15.2	18.6	22.2
8	85,368,700	16.4	22.6	27.0	33.4	38.4	44.3
8-1	114,221,000	13.5	19.4	23.5	29.7	34.7	40.5
8-2	35,785,400	18.3	25.3	30.5	38.1	43.9	50.8
9	132,743,000	22.0	28.1	31.8	36.6	40.2	44.2
9-1	22,038,200	19.1	25.3	29.5	35.2	39.7	44.8

4.2.3 Análisis de Descargas Máximas Diarias

Para el análisis de máximas descargas diarias del río Cañete se empleó la información de la estación hidrométrica Socsi. Esta estación tiene un área de contribución de 5676 km2. En la Figura 3.21 se muestra su ubicación en el ámbito de la cuenca del río Cañete.

La Dirección General de Infraestructura Hidráulica (DGIH) del Ministerio de Agricultura ha proporcionado la información de descargas máximas diarias anuales de la estación Socsi cuyos valores se muestran en el Cuadro Nº 4.7.

Cuadro Nº 4.7. Descargas Máximas Diarias de la estación Socsi, río Cañete (m3/s)

AÑO	CAUDAL MAXIMO (m3/seg.)	
	SENAMHI	JUNTA DE USUARIOS
1926	-	455.00
1927	-	120.00
1928	-	198.00
1929	-	342.00
1930	-	263.00
1931	-	148.60
1932	-	850.00
1933	-	176.00
1934	-	305.00
1935	-	386.00

1936	-	265.00
1937	-	283.76
1938	-	401.99
1939	-	308.53
1940	-	141.28
1941	-	301.13
1942	-	319.22
1943	-	324.13
1944	-	396.65
1945	-	350.00
1946	-	354.00
1947	-	353.00
1948	-	279.00
1949	-	198.00
1950	-	244.74
1951	-	485.00
1952	-	360.00
1953	-	555.00
1954	-	657.00
1955	-	700.00
1956	-	470.00
1957	-	228.32
1958	-	270.40
1959	-	700.00
1960	-	488.75
1961	-	597.62
1962	-	566.24
1963	-	242.37
1964	-	153.06
1965	214.70	214.70
1966	207.00	201.00
1967	343.00	343.00
1968	154.00	154.00
1969	316.00	316.00
1970	408.00	408.00
1971	430.00	430.00
1972	900.00	900.00
1973	484.20	450.10
1974	-	326.00
1975	-	298.00
1976	294.92	332.00
1977	-	249.00
1978	-	216.00
1979	-	182.80
1980	-	100.10
1981	-	257.10
1982	-	120.00
1983	-	228.00
1984	-	425.50
1985	-	165.60
1986	-	370.50
1987	-	487.30
1988	206.00	420.30
1989	-	377.00

1990	-	189.00
1991	-	372.00
1992	-	164.30
1993	-	390.00
1994	-	550.00
1995	-	500.00
1996	-	310.00
1997	-	350.00
1998	-	348.00
1999	-	420.00
2000	-	350.00
2001	-	255.00
2002	-	204.00
2003	-	215.00
2004	-	196.00
2005	-	167.00
2006	-	250.00

Estos valores han sido analizados con las distintas funciones de distribución que se describe en el ítem 4.2.1.1. y mediante la prueba de Kolmogorov – Smirnov se ajusta mejor a la distribución Log – Normal de 3 parámetros cuyos resultados se muestran en el Cuadro Nº 4.8.

Cuadro Nº 4.8. Descargas Máximas para cada Periodo de Retorno, en la estación Socsi, río Cañete (m3/s)

Periodo de Retorno [Años]	Caudal Máximo
2	312.67
5	453.80
10	547.24
25	665.30
50	752.89
100	839.83

Es necesario mencionar que a partir de un análisis de la capacidad hidráulica de la sección del río Cañete en la ubicación de la estación hidrométrica Socsi, se concluyó que esta estación no puede medir descargas mayores a 900 m^3/s. Este valor coincide con la máxima descarga registrada en el año 1972.

A partir de un análisis de la capacidad hidráulica de la sección del río Cañete en la ubicación del puente de la carretera Panamericana se obtuvo que la sección puede transportar un caudal máximo de 2800 m^3/s. El nivel correspondiente a esta descarga concuerda con los niveles referidos por los pobladores locales.

4.2.4 Modelo de Simulación, Aplicación del Software HEC-HMS

4.2.4.1 Modelo Hidrológico

Tiempo de Concentración y Tiempo de Viaje

Se ha empleado el modelo del Hidrograma Unitario Sintético del USDA/SCS, se calcularon los parámetros siguientes:

Tiempo de Concentración (Tc) con la fórmula de Bransby – Williams:

$$Tc = 0{,}95*(L^3/H)^{0{,}385}$$

Donde:

L = El Mayor Recorrido de la gota de lluvia en el cauce principal (Km)

H = Desnivel (m)

Tc = Tiempo de Concentración (Hr)

Tiempo de Viaje = 0,6*Tc

Cuadro Nº 4.9. Tiempo de Concentración y de Viaje para el Punto Base (estación Socsi)

L =	187.00	Km
H =	4,355.00	Mts
Tc =	**15.87**	Hrs
Tv =	**9.52**	Hrs

Duración de la Lluvia de Diseño

Debido a que la información de precipitación proporcionada por SENAMHI se encuentra a nivel diario, no es posible saber la duración de las tormentas correspondientes. Por este motivo, basado en información de duración de tormentas en Perú mencionadas en el "Estudio de la Hidrología del Perú" (Referencia "d"), se adoptó una duración de tormenta de 10 horas.

Este valor es menor que el tiempo de concentración de 15.87 horas calculado en el ítem previo, esto indica que los valores pico de las descargas estimadas en la estación hidrométrica Socsi no corresponden a la contribución simultánea de la escorrentía de la

cuenca completa del río Cañete hasta la ubicación de la estación hidrométrica Socsi.

Magnitud de la Lluvia de Diseño

La magnitud de las lluvias de diseño para una duración de 10 horas fueron calculadas usando la ecuación de Dick y Peschke (Referencia "c") que permite estimar la magnitud de la lluvia para una determinada duración de tormenta a partir de la magnitud de la lluvia correspondiente a una duración de 24 horas. Los cálculos de la magnitud de las lluvias de diseño utilizaron los valores de precipitaciones máximas en 24 horas mostrados en la Tabla 4.5 que corresponden a lluvias medias areales de la cuenca hasta la estación Socsi.

Ecuacion de Dick y Peschke:

$$Pd = Pd_{24}*(Tc/1440)^{0,25}$$

Donde:

Pd = Precipitacion maxima para una duracion "d"

Pd_{24}= Precipitacion maxima de 24 horas

Tc= Tiempo de Concentracion (minutos)

Cuadro Nº 4.10. Precipitaciones Máximas para Duraciones de Tormenta de 10 horas (mm), según Dick - Peschke

T [Años]	Pp Areal Max 24 Horas [mm]	Pp Max [mm]
2	18.6	16.81
5	25.5	23.04
10	30.3	27.38
25	37.3	33.70
50	43.1	38.95
100	49.4	44.64

Las precipitaciones máximas diarias para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años son de 19, 26, 30, 37, 43 y 49 mm respectivamente, y para una duración de tormenta de 10 horas le corresponden precipitaciones de 17, 23, 27, 34, 39 y 45 mm respectivamente.

En el estudio citado en párrafos anteriores (Estudio de la Hidrología del Perú, 1982), para una frecuencia de intervalos de 1 hora en una duración de tormenta máxima para 10 horas, se tiene la distribución de intensidades, ver Cuadro Nº 4.11.

Cuadro Nº 4.11. Histograma para diferentes Periodos de Retorno, Duración de Tormenta de 10 horas

T [Años]	Hora										PP total [mm]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
2	1	2	2	3	2	2	2	1	1	1	16.81
5	1	2	3	4	3	3	2	2	1	1	23.04
10	1	2	4	5	4	3	3	2	2	1	27.38
25	2	3	4	6	5	4	3	3	2	1	33.70
50	2	4	5	7	5	5	4	3	2	2	38.95
100	2	4	6	8	6	5	4	4	3	2	44.64

Elección del Número de Curva

Cuando se tiene registros de hidrogramas de máximas avenidas y hietogramas de tormentas que ocurrieron en el mmismo periodo de tiempo, los números de curva pueden ser estimados mediante calibración.

Típicamente, la selección del número de curva (CN) se realiza basandose en grupo hidrológico del suelo y en la descripción del uso de terreno. Los grupos hidrológicos que considera la metodología son:

Grupo A: Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.

Grupo B: Suelos poco profundos depositados por el viento, marga arenosa.

Grupo C: Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con alto contenido de arcilla.

Grupo D: Suelos expansivos, arcillas altamente plásticas.

En el Cuadro Nº 4.12 se presentan los números de curva (CN) en función de los grupos hidrológicos del suelo y el uso de la tierra.

Cuadro Nº 4.12. Curva Numero (CN) en Función del Uso del Suelo y del Grupo Hidrológico del Suelo

Uso del Suelo			Grupo hidrológico del suelo			
			A	B	C	D
Tierras cultivadas	sin tratamiento de conservación		72	81	88	91
	con tratamiento de conservación		62	71	78	81
Pastizales	condiciones pobres		68	79	86	89
	condiciones óptimas		39	61	74	80
Praderas (Vegas de rios: condiciones óptimas)			30	58	71	78
Bosques	troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas		45	66	77	83
	cubierta buena		25	55	70	77
Espácios abiertos, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.	óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más		39	61	74	80
	condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%		49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)			89	92	94	95
Zonas industriales (72% impermeables)			81	88	91	93
Zonas residenciales	Tamaño lote (m^2)	% impermeable				
	500	65	77	85	90	92
	1000	38	61	75	83	87
	1350	30	57	72	81	86
	2000	25	54	70	80	85
	4000	20	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.			98	98	98	98
Calles y carreteras	pavimentados con cunetas y alcantarillados		98	98	98	98
	grava		76	85	89	91
	tierra		72	82	87	89

Fuente:

El número de curva adoptado resultó de un proceso de calibración donde el valor fue ajustado para producir descargas pico similares a las máximas descargas diarias. Siguiendo este procedimiento se obtuvo un número de curva de 79, este valor es similar a los números de curva obtenidos en cuencas vecinas.

4.2.4.2 Modelamiento con el Programa HEC – HMS

El modelo HEC-HMS fue creado por el centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros del Ejercito de los EEUU. El modelo cuenta con una variedad de opciones para simular procesos de precipitación – escorrentía a nivel eventual, continuo, tránsito de avenidas, etc. (Referencia “e”).

El modelo HEC-HMS comprende una interfaz gráfica para el usuario (GUI), componentes de análisis hidrológicos, capacidades para manejo y almacenamiento de datos, y facilidades para expresar los resultados mediante gráficas y reportes tabulados. Cuenta asimismo con una guía que provee los medios necesarios para especificar los

componentes de la cuenca, introducir los respectivos datos de estos componentes y para visualizar los resultados .

Modelo de cuenca Socsi.- Para estimar las perdidas se utilizó el método del Número de la Curva del SCS, para la transformación de la precipitación efectiva en caudal se utilizó el método del Hidrograma Unitario del SCS. Las estimaciones de caudal se realizaron para un tamaño de cuenca de 5676 km^2.

Modelo Metereológico.- De acuerdo a lo calculado en el item. Nº 3.2 Análisis de la Informacion Pluviométrica y Ley de Frecuencias, el modelo meteorológico se ingresan los hietogramas para la avenida de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, para una duracion de tormenta de 10 horas.

Especificaciones de Control.- Para realizar la simulacion de la avenida se especifica una fecha de inicio y final dentro de este rango se presentaran los resultados de la simulacion y el hidrograma de avenida, para este caso la fecha de inicio es el 04 de febrero del 2010 a las 00:00 horas y la fecha de fin es el 06 de febrero del 2010 a las 12:00 pm. Según las recomendaciones del Manual de Referencias Técnicas del modelo HEC-HMS, el mínimo intervalo de tiempo computacional se calcula como 0.29 veces el tiempo de retardo de la cuenca. Aproximando el tiempo de retardo como 0.6 veces el tiempo de concentración, se obtiene un tiempo de retardo de 9.52 horas y un mínimo intervalo de tiempo computacional de 2.72 horas. Con un criterio conservador se ha empleado un intervalo de tiempo computacional de 1 hora.

Calibración del Modelo. Dado que no existian registros simultaneos de hietogramas de tormentas e hidrogramas de caudales que permitirían calibrar los parámetros del modelo para efectuar predicciones, el modelo fue calibrado basado en información de las máximas descargas diarias estimadas.

Como se mencionó anteriormente, el concepto de la calibración fue ajustar un número de curva que produzca valores de descargas pico similares a las máximas descargas diarias estimadas. Este

procedimiento fue aplicado para estimar descargas menores de 900 m^3/s, que, como fue mencionado en la sección 4.2.3, es la máxima descarga que puede ser medida en la estación hidrográfica Socsi. Siguiendo este procedimiento se obtuvo un número de curva de 79 para la cuenca.

En la Figura Nº 4.9 se muestra la cuenca considerada por el modelo HEC-HMS para la simulación. En las Figuras No. 4.10 a 4.21 se muestran los resultados de las simulaciones para las avenidas de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años de periodo de retorno.

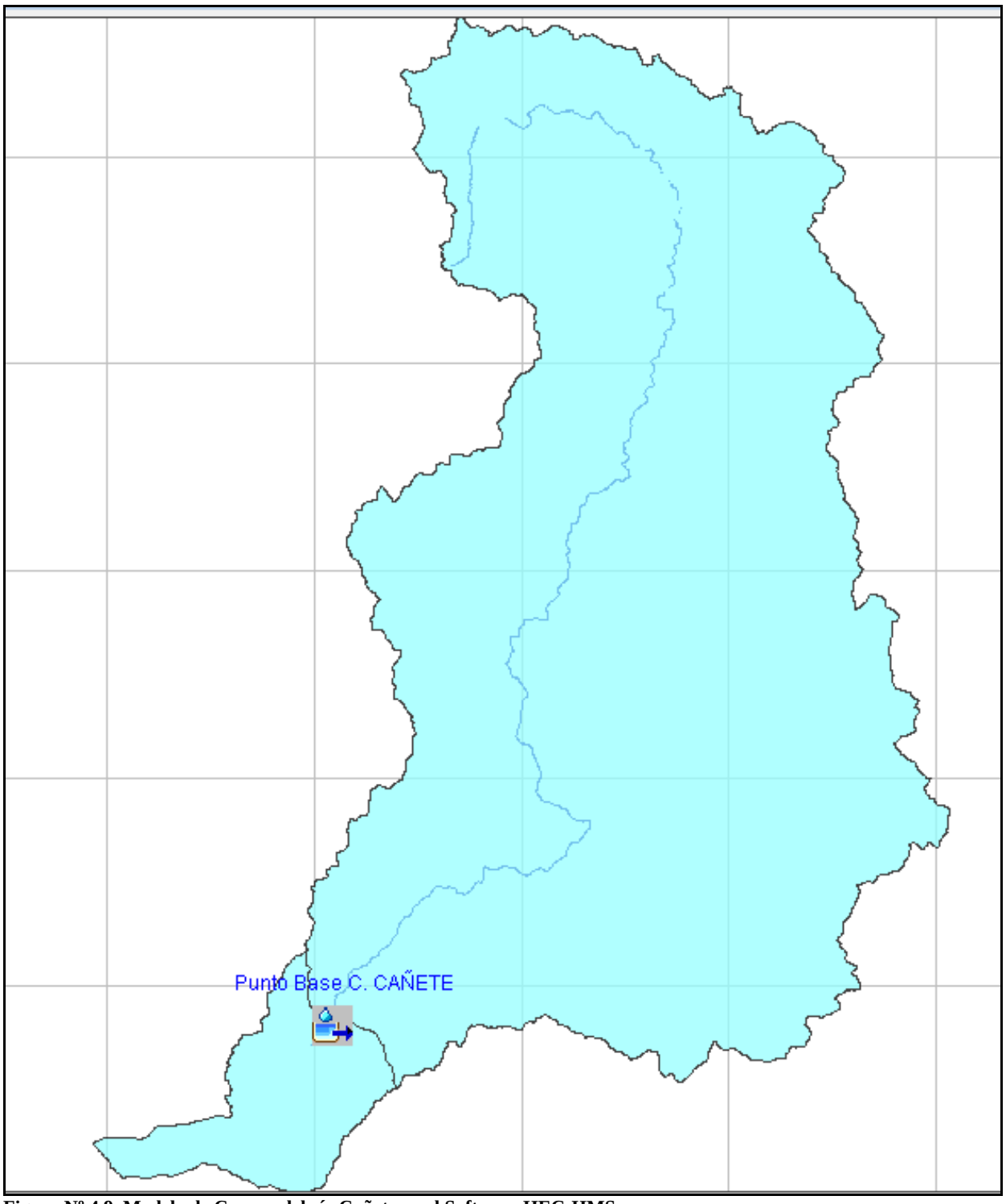


Figura Nº 4.9. Modelo de Cuenca del río Cañete en el Software HEC-HMS

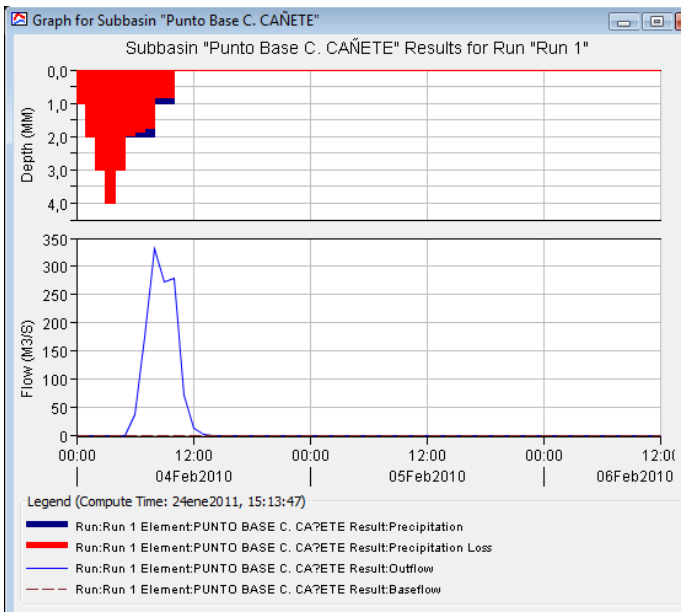


Figura Nº 4.10. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Cañete, Periodo de Retorno de 2 años

En la parte superior de la Figura 4.10 se muestra el hietograma de diseño, la porción en rojo corresponde a la lluvia infiltrada, la porción en azul corresponde a la lluvia efectiva. La infiltración ha sido calculada con el programa HEC-HMS empleando el método del Número de la Curva de antiguo Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos.

La tormenta analizada como precipitación luego de un proceso de infiltración se traslada como escorrentía y termina su escurrimiento luego de casi 13 horas de su inicio.

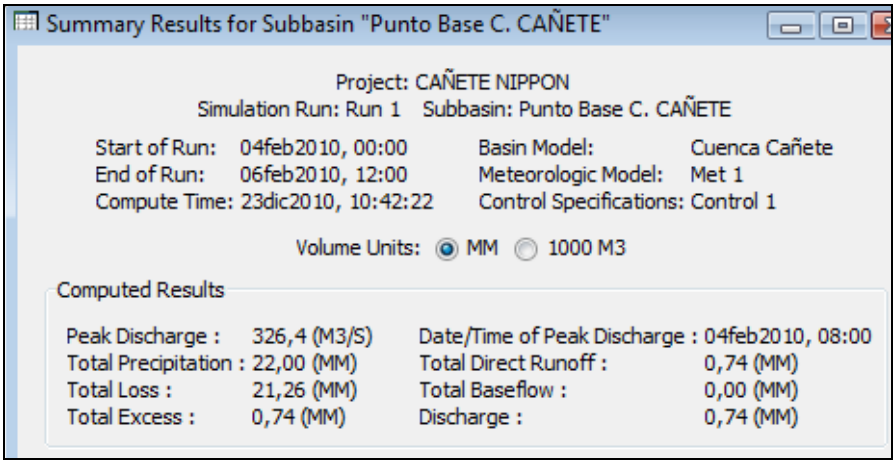


Figura Nº 4.11.Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Cañete, Periodo de Retorno de 5 años

En la Figura Nº 4.11 se tiene el caudal máximo calculado para un periodo de retorno de 2 años de 330.9 m^3/s. La descarga máxima pasa aproximadamente a las 08 horas después de iniciada la tormenta en el tributario (para las condiciones extremas antes definidas).

En el Cuadro Nº 4.13 se presenta los valores del hidrograma de la avenida de un periodo de retorno de 2 años

Cuadro Nº 4.13. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 2 Años

Fecha	hora	Precipitación (mm)	Perdida (mm)	Exceso (mm)	Escorrentía (m3/s)
04-Feb-10	00:00				0,0
04-Feb-10	01:00	1,00	1,00	0,00	0,0
04-Feb-10	02:00	2,00	2,00	0,00	0,0
04-Feb-10	03:00	3,00	3,00	0,00	0,0
04-Feb-10	04:00	4,00	4,00	0,00	0,0
04-Feb-10	05:00	3,00	3,00	0,00	0,0
04-Feb-10	06:00	2,00	1,97	0,03	38,0
04-Feb-10	07:00	2,00	1,86	0,14	174,3
04-Feb-10	08:00	2,00	1,76	0,24	330,9
04-Feb-10	09:00	1,00	0,84	0,16	271,9
04-Feb-10	10:00	1,00	0,82	0,18	278,3
04-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	71,9
04-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	13,5
04-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	2,3
04-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	0,0

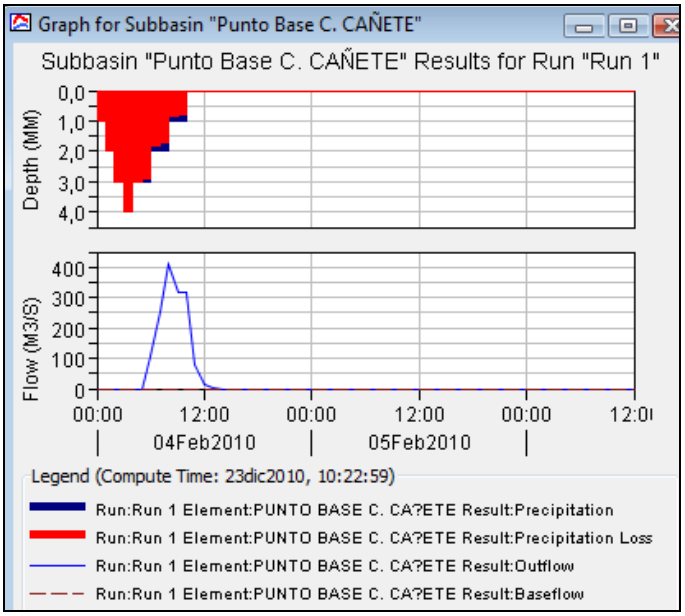


Figura Nº 4.12. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Cañete, Periodo de Retorno de 5 años

La tormenta analizada como precipitación luego de un proceso de infiltración se traslada como escorrentía y termina su escurrimiento luego de casi 13 horas de su inicio.

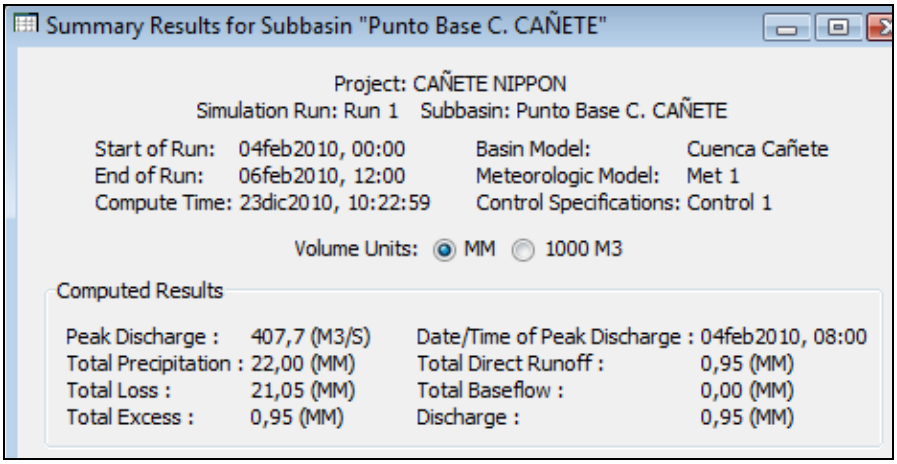


Figura Nº 4.13.Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Cañete, Periodo de Retorno de 5 años

En la Figura Nº 4.13 se tiene el caudal máximo calculado para un periodo de retorno de 5 años de 407.7 m^3/s. La descarga máxima pasa aproximadamente a las 08 horas después de iniciada la tormenta en el tributario (para las condiciones extremas antes definidas).

En el Cuadro Nº 4.14 se presenta los valores del hidrograma de la avenida de un periodo de retorno de 5 años.

Cuadro Nº 4.14. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 5 Años

Fecha	hora	Precipitacion (mm)	Perdida (mm)	Exceso (mm)	Escorrentia (m3/s)
04-Feb-10	00:00				0,0
04-Feb-10	01:00	1,00	1,00	0,00	0,0
04-Feb-10	02:00	2,00	2,00	0,00	0,0
04-Feb-10	03:00	3,00	3,00	0,00	0,0
04-Feb-10	04:00	4,00	4,00	0,00	0,0
04-Feb-10	05:00	3,00	3,00	0,00	0,0
04-Feb-10	06:00	3,00	2,91	0,09	104,2
04-Feb-10	07:00	2,00	1,81	0,19	253,8
04-Feb-10	08:00	2,00	1,71	0,29	407,7
04-Feb-10	09:00	1,00	0,82	0,18	318,0
04-Feb-10	10:00	1,00	0,80	0,20	314,7
04-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	81,0
04-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	15,2
04-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	2,6
04-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	0,0

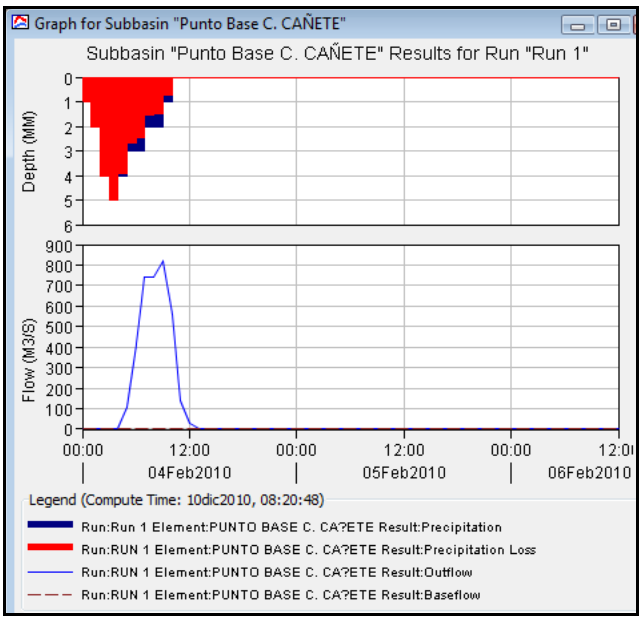


Figura Nº 4.14. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Cañete, Periodo de Retorno de 10 años

La tormenta analizada como precipitación luego de un proceso de infiltración se traslada como escorrentía y termina su escurrimiento luego de casi 13 horas de su inicio.

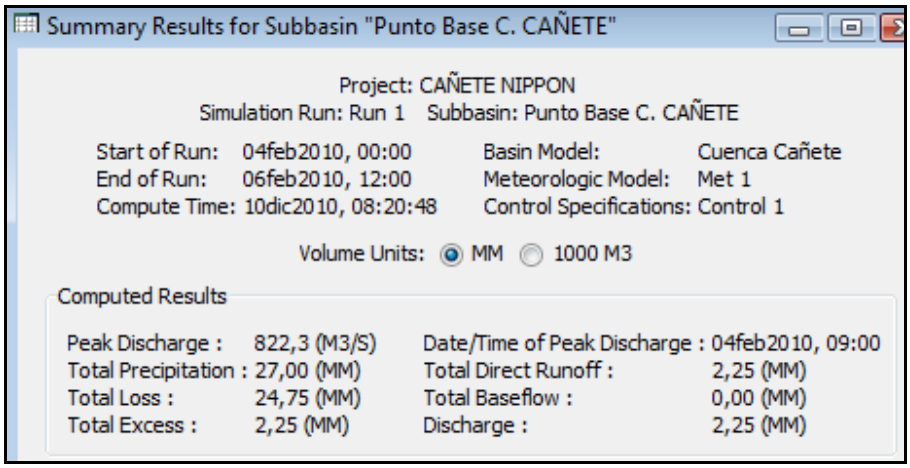


Figura Nº 4.15.Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Cañete, Periodo de Retorno de 10 años

En la Figura Nº 4.15 se tiene el caudal máximo calculado para un periodo de retorno de 10 años de 822.3 m^3/s. La descarga máxima pasa aproximadamente a las 09 horas después de iniciada la tormenta en el tributario (para las condiciones extremas antes definidas.).

En el Cuadro Nº 4.15 se presenta los valores del hidrograma de la avenida de un periodo de retorno de 10 años.

Cuadro Nº 4.15. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 10 Años

Fecha	hora	Precipitacion (mm)	Perdida (mm)	Exceso (mm)	Escorrentia (m3/s)
04-Feb-10	00:00				0,0
04-Feb-10	01:00	1,00	1,00	0,00	0,0
04-Feb-10	02:00	2,00	2,00	0,00	0,0
04-Feb-10	03:00	4,00	4,00	0,00	0,0
04-Feb-10	04:00	5,00	5,00	0,00	0,0
04-Feb-10	05:00	4,00	3,91	0,09	104,2
04-Feb-10	06:00	3,00	2,68	0,32	409,6
04-Feb-10	07:00	3,00	2,46	0,54	740,0
04-Feb-10	08:00	2,00	1,54	0,46	739,6
04-Feb-10	09:00	2,00	1,46	0,54	822,3
04-Feb-10	10:00	1,00	0,70	0,30	561,2
04-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	138,0
04-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	26,1
04-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	3,8
04-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	0,0

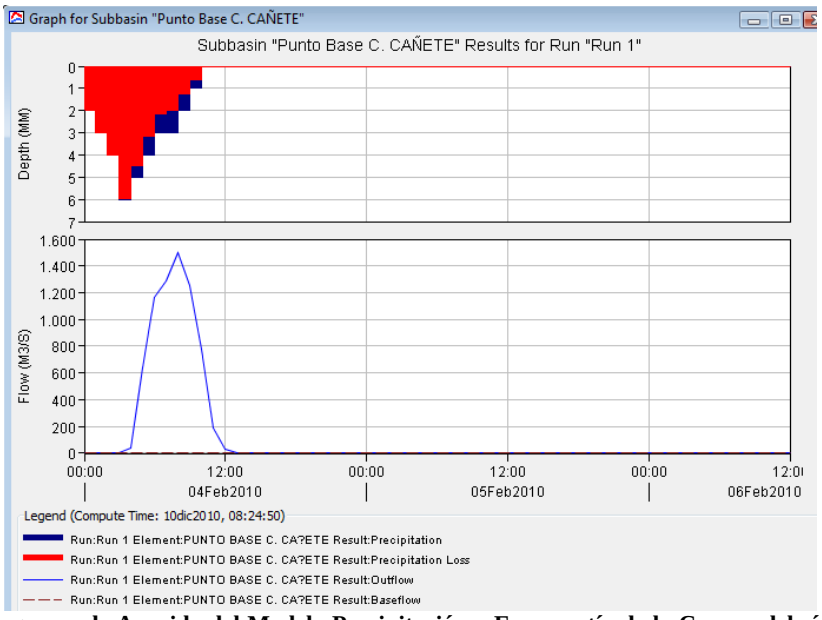


Figura Nº 4.16. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Cañete, Periodo de Retorno de 25 años

La tormenta analizada como precipitación luego de un proceso de infiltración se traslada como escorrentía y termina su escurrimiento luego de casi 13 horas de su inicio.

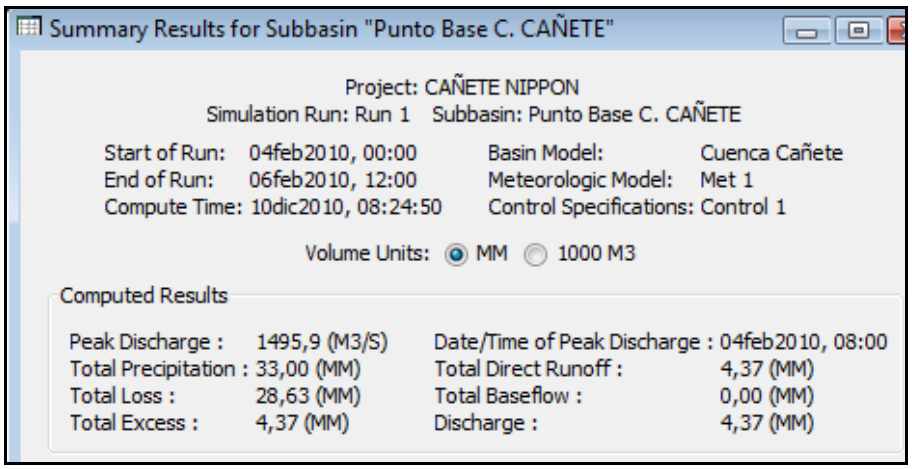


Figura Nº 4.17.Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Cañete, Periodo de Retorno de 25 años

En la Figura Nº 4.17 se tiene el caudal máximo calculado para un periodo de retorno de 25 años de 1495.9 m^3/s. La descarga máxima pasa aproximadamente a las 08 horas después de iniciada la tormenta en el tributario (para las condiciones extremas antes definidas.).

En el Cuadro Nº 4.16 se presenta los valores del hidrograma de la avenida de un periodo de retorno de 25 años.

Cuadro Nº 4.16. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 25 Años

Fecha	hora	Precipitacion (mm)	Perdida (mm)	Exceso (mm)	Escorrentia (m3/s)
04-Feb-10	00:00				0,0
04-Feb-10	01:00	2,00	2,00	0,00	0,0
04-Feb-10	02:00	3,00	3,00	0,00	0,0
04-Feb-10	03:00	4,00	4,00	0,00	0,0
04-Feb-10	04:00	6,00	5,97	0,03	38,0
04-Feb-10	05:00	5,00	4,46	0,54	640,5
04-Feb-10	06:00	4,00	3,16	0,84	1164,8
04-Feb-10	07:00	3,00	2,16	0,84	1290,7
04-Feb-10	08:00	3,00	2,01	0,99	1495,9
04-Feb-10	09:00	2,00	1,26	0,74	1254,5
04-Feb-10	10:00	1,00	0,61	0,39	774,7
04-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	188,5
04-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	34,7
04-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	5,0
04-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	0,0

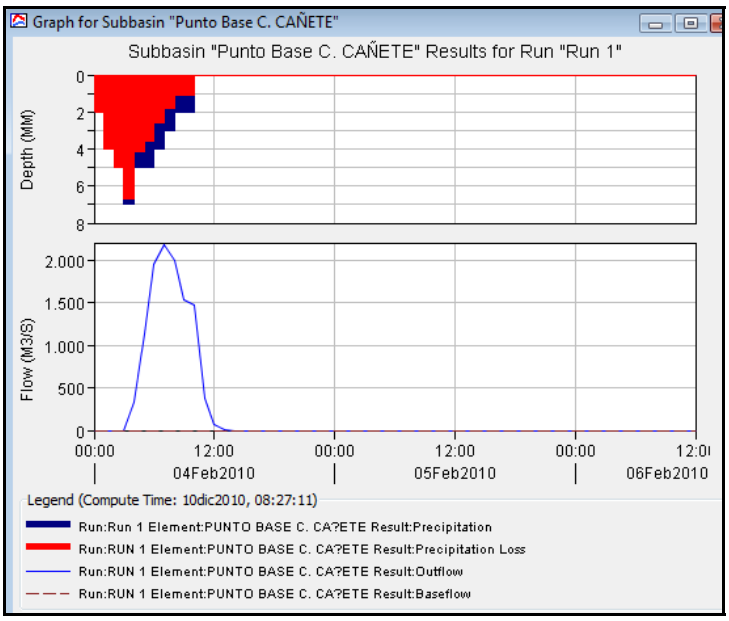


Figura Nº 4.18. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Cañete, Periodo de Retorno de 50 años

La tormenta analizada como precipitación luego de un proceso de infiltración se traslada como escorrentía y termina su escurrimiento luego de casi 13 horas de su inicio.

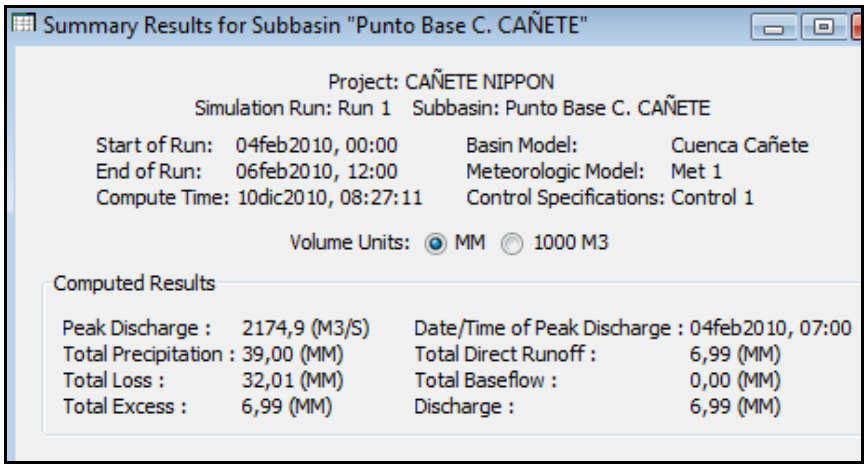


Figura Nº 4.19.Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Cañete, Periodo de Retorno de 50 años

En la Figura Nº 4.19 se tiene el caudal máximo calculado para un periodo de retorno de 50 años de 2174.9 m^3/s. La descarga máxima pasa aproximadamente a las 08 horas después de iniciada la tormenta en el tributario (para las condiciones extremas antes definidas.).

En el Cuadro Nº 4.17 se presenta los valores del hidrograma de la avenida de un periodo de retorno de 50 años.

Cuadro Nº 4.17. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 50 Años

Fecha	hora	Precipitacion (mm)	Perdida (mm)	Exceso (mm)	Escorrentia (m3/s)
04-Feb-10	00:00				0,0
04-Feb-10	01:00	2,00	2,00	0,00	0,0
04-Feb-10	02:00	4,00	4,00	0,00	0,0
04-Feb-10	03:00	5,00	5,00	0,00	0,0
04-Feb-10	04:00	7,00	6,72	0,28	328,8
04-Feb-10	05:00	5,00	4,11	0,89	1134,8
04-Feb-10	06:00	5,00	3,61	1,39	1939,8
04-Feb-10	07:00	4,00	2,58	1,42	2174,9
04-Feb-10	08:00	3,00	1,79	1,21	1987,0
04-Feb-10	09:00	2,00	1,13	0,87	1531,7
04-Feb-10	10:00	2,00	1,08	0,92	1464,5
04-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	374,7
04-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	70,7
04-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	11,9
04-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	0,0
04-Feb-10	15:00	0,00	0,00	0,00	0,0

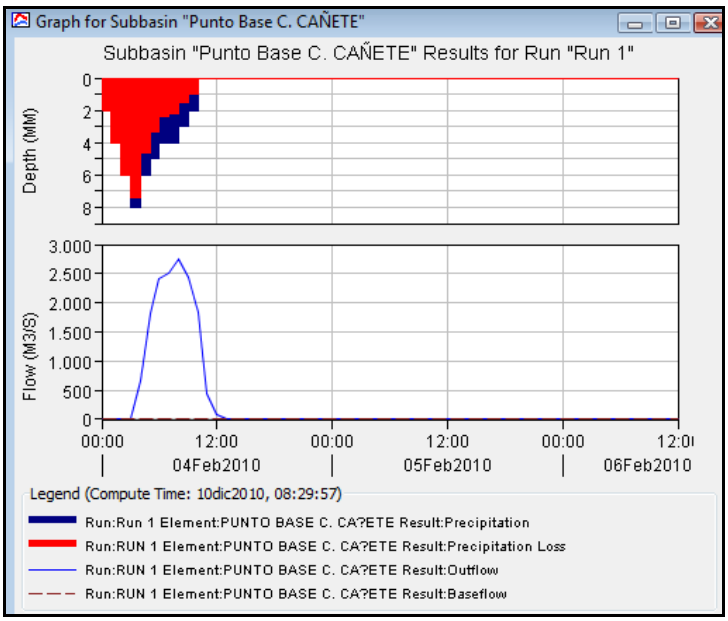


Figura Nº 4.20. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Cañete, Periodo de Retorno de 100 años

La tormenta analizada como precipitación luego de un proceso de infiltración se traslada como escorrentía y termina su escurrimiento luego de casi 13 horas de su inicio.

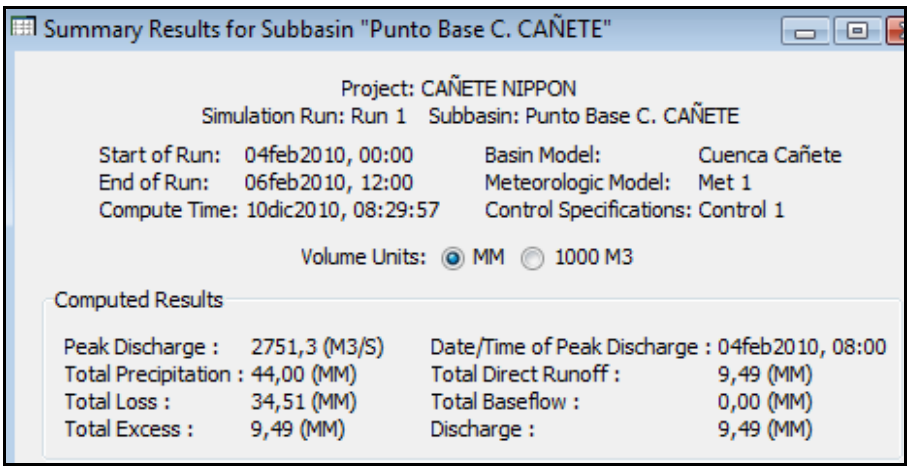


Figura Nº 4.21.Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Cañete, Periodo de Retorno de 100 años

En la Figura Nº 4.21 se tiene el caudal máximo calculado para un periodo de retorno de 100 años de 2751.3 m^3/s. La descarga máxima pasa aproximadamente a las 08 horas después de iniciada la tormenta en el tributario (para las condiciones extremas antes definidas.).

En el Cuadro Nº 4.18 se presenta los valores del hidrograma de la avenida de un periodo de retorno de 100 años.

Cuadro Nº 4.18. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 100 Años

Fecha	hora	Precipitación (mm)	Perdida (mm)	Exceso (mm)	Escorrentia (m3/s)
04-Feb-10	00:00				0,0
04-Feb-10	01:00	2,00	2,00	0,00	0,0
04-Feb-10	02:00	4,00	4,00	0,00	0,0
04-Feb-10	03:00	6,00	6,00	0,00	0,0
04-Feb-10	04:00	8,00	7,43	0,57	667,9
04-Feb-10	05:00	6,00	4,62	1,38	1805,1
04-Feb-10	06:00	5,00	3,35	1,65	2421,6
04-Feb-10	07:00	4,00	2,41	1,59	2500,2
04-Feb-10	08:00	4,00	2,20	1,80	2751,3
04-Feb-10	09:00	3,00	1,53	1,47	2433,6
04-Feb-10	10:00	2,00	0,97	1,03	1825,9
04-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	456,0
04-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	85,4
04-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	13,3
04-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	0,0

4.3 Resultados de la Simulación, Caudales Máximos en el Punto Base

La Tabla 4.20 resume los caudales pico para diferentes periodo de retorno obtenidos con la aplicación del software HEC-HMS para la cuenca del río Cañete hasta la ubicación de la estación hidrométrica Socsi.

De la aplicación del software HEC-HMS para el modelamiento de la Precipitación – escorrentía en la cuenca del río Cañete descrito en el ítem 4.2.4., se tiene como resumen los resultados de los caudales máximos para cada periodo de retorno en el punto base (estación Socsi) y se muestran en el Cuadro Nº 4.19.

Cuadro Nº 4.19. Resumen de los Caudales Máximos en el Punto Base para cada Periodo de Retorno

T [Años]	Q [m³/s]
2	331.0
5	407.7
10	822.3
25	1,495.9
50	2,174.9
100	2,751.3

Los caudales máximos en el punto base obtenidos con el modelo HEC-HMS para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años han sido estimados a partir de las precipitaciones máximas generadas para estos periodos de retorno, un numero de curva y parámetros geomorfológicos de la cuenca. Estos caudales máximos han sido obtenidos con un mismo número de curva (igual a 79).

Tal como se consideró en el proceso de calibración, se observa que las descargas pico obtenidas con el modelo HEC-HMS para avenidas de bajo periodo de retorno son similares a las máximas descargas diarias mostradas en la Tabla 4.8.

V. REFERENCIAS

a) Asociación BCEOM-SOFI CONSULT S.A., “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”, 1999.

b) Chow, Maidment and Mays, “Hidrología Aplicada”,1994.

c) Guevara, “Hidrología Ambiental”, 1991.

d) IILA-SENAMHI-UNI, “Estudio de la Hidrología del Perú”, 1982.

e) U.S. Corp of Engineers, “Manual de Referencias Técnicas del Modelo HEC-HMS”, 2000.

Agencia de Cooperación Internacional
Del Japón

PROGRAMA DE PROTECCION DE VALLES Y POBLACIONES RURALES Y VULNERABLES ANTE INUNDACIONES EN LA REPUBLICA DEL PERU

HIDROLOGIA DE MAXIMAS AVENIDAS DEL RIO CAÑETE

Apéndice-2

ANEXOS

Diciembre de 2012

Yachiyo Engineering Co., Ltd.
NIPPON KOEI CO.,LTD.
LATIN AMERICA - CARIBBEAN
NIPPON KOEI LAC CO., LTD.
Ingenieros Consultores

Agencia de Cooperación Internacional
Del Japón

PROGRAMA DE PROTECCION DE VALLES Y POBLACIONES RURALES Y VULNERABLES ANTE INUNDACIONES EN LA REPUBLICA DEL PERU

HIDROLOGIA DE MAXIMAS AVENIDAS DEL RIO CHINCHA

Apéndice-3

Diciembre de 2012

Yachiyo Engineering Co., Ltd.
NIPPON KOEI CO.,LTD.
LATIN AMERICA - CARIBBEAN
NIPPON KOEI LAC CO., LTD.
Ingenieros Consultores

HIDROLOGIA DE MAXIMAS AVENIDAS DEL RIO CHINCHA

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN 1

II. ASPECTOS GENERALES 1

2.1 Ubicación 1

2.1.1 Ubicación Política 1

2.1.2 Ubicación Geográfica 2

2.2 Antecedentes 2

2.3 Justificación del Proyecto 2

2.4 Objetivos del Estudio 3

III. DESCRIPCION DEL PROYECTO 3

3.1 Sistema Hidrográfico del río Chincha 3

3.1.1 Descripción General de la Cuenca 3

3.1.2 Hidrografía de la Cuenca del Río Chincha 4

3.2 Climatología 5

3.2.1 Precipitación 5

3.2.2 Temperatura 24

IV. HIDROLOGIA DE MAXIMAS AVENIDAS 30

4.1 Consideraciones Previas 30

4.2 Caracterización Hidrológica, Análisis de la Información Pluviométrica e Hidrométrica 31

4.2.1 Caracterización Hidrológica 31

4.2.2 Análisis de las Precipitaciones Máximas en 24 Horas 32

4.2.2.1 Funciones de Distribución 35

4.2.2.2 Calculo de Ajuste y Periodo de Retorno para las Precipitaciones Máximas en 24 Horas 38

4.2.2.3 Selección de Distribución Teórica con mejor Ajuste a la Serie de Precipitaciones Máximas en 24 Horas 38

4.2.2.4 Determinación de Precipitaciones Máximas para Diferentes Periodos de Retorno en el Punto Base 46

4.2.2.5 Determinación de Precipitaciones Máximas para Diferentes Periodos de Retorno en las Subcuencas del río Chincha 46

4.2.3 Análisis de Descargas Máximas Diarias 49

4.2.4 Modelo de Simulación, Aplicación del Software HEC-HMS 50

4.2.4.1 Modelo Hidrológico 50

4.2.4.2 Modelamiento en el HEC – HMS 54

4.3 Resultados de la Simulación, Caudales Máximos en el Punto Base 69

ANEXOS 70

HIDROLOGIA DE MAXIMAS AVENIDAS DEL RIO CHINCHA

RELACIÓN DE CUADROS

Cuadro Nº 3.1. Características de las Estaciones Pluviométricas de la cuenca del río Chincha y cuencas vecinas 6

Cuadro Nº 3.2. Precipitación Media Mensual de Estaciones Consideradas en el Ámbito del Estudio 8

Cuadro Nº 3.3. Resultados del ajuste lineal de las estaciones Totora, Huacarpana y Huachos 9

Cuadro Nº 3.4. Temperatura Media Mensual [ºC] de las estaciones de la cuenca del río Chincha y cuencas vecinas 25

Cuadro Nº 4.1. Características Geomorfológicas de la cuenca en el Punto Base (estación Conta) 31

Cuadro Nº 4.2. Precipitación Máxima en 24 Horas Anual de las Estaciones ubicadas en el Ámbito del Estudio 32

Cuadro Nº 4.3. Coeficiente de Determinación para cada Función de Distribución y para cada Estación Pluviométrica 38

Cuadro Nº 4.4. Precipitaciones Máxima en 24 Horas de cada Estación Pluviométrica y para cada Periodo de Retorno 39

Cuadro Nº 4.5. Precipitaciones Areales Máximas en 24 Horas en el Punto Base (Estación Conta) para cada Periodo de Retorno 46

Cuadro Nº 4.6. Precipitaciones para Diferentes Periodos de Retorno en cada Subcuenca del río Chincha 48

Cuadro Nº 4.7. Descargas Máximas Diarias de la estación Conta, río Chincha (m3/s) 49

Cuadro Nº 4.8. Descargas Máximas para cada Periodo de Retorno, en la estación Conta, río Chincha (m3/s) 50

Cuadro Nº 4.9. Tiempo de Concentración y de Viaje para el Punto Base (estación Conta) 51

Cuadro Nº 4.10. Precipitaciones Máximas, según la ecuación de Dick - Peschke 52

Cuadro Nº 4.11. Hietograma para diferentes Periodos de Retorno 52

Cuadro Nº 4.12. Curva Numero (CN) en Función del Uso del Suelo y del Grupo Hidrológico del Suelo 53

Cuadro Nº 4.13. Estimación del Valor del Numero de Curva (CN) inicial para la calibración del Modelo HEC-HMS 54

Cuadro Nº 4.14. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 2 Años 58

Cuadro Nº 4.15. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 5 Años 60

Cuadro Nº 4.16. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 10 Años 62

Cuadro Nº 4.17. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 25 Años 64

Cuadro Nº 4.18. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 50 Años 66

Cuadro Nº 4.19. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 100 Años 68

Cuadro Nº 4.12. Resumen de los Caudales Máximos en el Punto Base para cada Periodo de Retorno 69

HIDROLOGIA DE MAXIMAS AVENIDAS DEL RIO CHINCHA

RELACIÓN DE FIGURAS

Figura Nº 3.1. Mapa de Ubicación de la cuenca del río Chincha 4

Figura Nº 3.2. Periodo y Longitud de la información disponible de las Estaciones Pluviométricas 6

Figura Nº 3.3. Ubicación de las Estaciones Pluviométricas en Cuenca del río Chincha y Cuencas Vecinas 7

Figura Nº 3.4. Histograma Mensual de las Estaciones Pluviométricas consideradas en el Ámbito del Estudio 8

Figura Nº 3.5. Tendencia de la Precipitación Anual de las Estaciones Consideradas en el Ámbito del Estudio 10

Figura Nº 3.6. Isoyeta del mes de Enero de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chincha 11

Figura Nº 3.7. Isoyeta del mes de Febrero de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chincha 12

Figura Nº 3.8. Isoyeta del mes de Marzo de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chincha 13

Figura Nº 3.9. Isoyeta del mes de Abril de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chincha 14

Figura Nº 3.10. Isoyeta del mes de Mayo de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chincha 15

Figura Nº 3.11. Isoyeta del mes de Junio de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chincha 16

Figura Nº 3.12. Isoyeta del mes de Julio de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chincha 17

Figura Nº 3.13. Isoyeta del mes de Agosto de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chincha 18

Figura Nº 3.14. Isoyeta del mes de Septiembre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chincha 19

Figura Nº 3.15. Isoyeta del mes de Octubre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chincha 20

Figura Nº 3.16. Isoyeta del mes de Noviembre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chincha 21

Figura Nº 3.17. Isoyeta del mes de Diciembre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chincha 22

Figura Nº 3.18. Isoyeta Anual de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chincha 23

Figura Nº 3.19. Distribución de la Temperatura Media Mensual de las Estaciones Meteorológicas Ubicadas en la Cuenca del Río Chincha 25

Figura Nº 4.1. Estaciones Pluviométricas consideradas para la aplicación del Software HEC-HMS 34

Figura Nº 4.2. Isoyetas para un Periodo de Retorno de 2 años en la cuenca del río Chincha 40

Figura Nº 4.3. Isoyetas para un Periodo de Retorno de 5 años en la cuenca del río Chincha 41

Figura Nº 4.4. Isoyetas para un Periodo de Retorno de 10 años en la cuenca del río Chincha 42

Figura Nº 4.5. Isoyetas para un Periodo de Retorno de 25 años en la cuenca del río Chincha 43

Figura Nº 4.6. Isoyetas para un Periodo de Retorno de 50 años en la cuenca del río Chincha 44

Figura Nº 4.7. Isoyetas para un Periodo de Retorno de 100 años en la cuenca del río Chincha 45

Figura Nº 4.8. Subcuenca del río Chincha 47

Figura Nº 4.9. Modelo de Cuenca del río Chincha en el Software HEC-HMS 56

Figura Nº 4.10. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chincha, Periodo de Retorno de 2 años 57

Figura Nº 4.11. Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chincha, Periodo de Retorno de 2 años 57

Figura Nº 4.12. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chincha, Periodo de Retorno de 5 años 59

Figura Nº 4.13. Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chincha, Periodo de Retorno de 5 años 59

Figura Nº 4.14. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chincha, Periodo de Retorno de 10 años 61

Figura Nº 4.15.Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chincha, Periodo de Retorno de 10 años 61

Figura Nº 4.16. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chincha, Periodo de Retorno de 25 años 63

Figura Nº 4.17.Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chincha, Periodo de Retorno de 25 años 63

Figura Nº 4.18. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chincha, Periodo de Retorno de 50 años 65

Figura Nº 4.19.Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chincha, Periodo de Retorno de 50 años 65

Figura Nº 4.20. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chincha, Periodo de Retorno de 100 años 67

Figura Nº 4.21.Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chincha, Periodo de Retorno de 100 años 67

HIDROLOGIA DE MAXIMAS AVENIDAS DEL RIO CHINCHA

I. INTRODUCCIÓN

En los dos últimos eventos extraordinarios (Fenómeno del Niño) ocurridos en los años 1983 y 1998, se presentaron lluvias de gran intensidad en la zona de estudio, que trajo como consecuencia la activación de una serie de ríos y quebradas adyacentes al río Chincha, ocasionando severos daños en centros poblados, infraestructura de riego y drenaje, predios agrícolas, así mismo, inundaciones con daños de carácter catastrófico en las zonas de El Carmen, San Regis, Pedregal, San Francisco y Chincha Baja.

El Fenómeno del Niño es definido como la presencia de aguas anormalmente más calidas en la costa occidental de Sudamérica por un periodo mayor a 4 meses consecutivos, tiene su origen en el Pacifico Central Ecuatorial. El fenómeno esta asociado a las condiciones anormales de la circulación atmosférica en la región Ecuatorial del Pacifico. Considerándose como condiciones anormales cuando el esquema de circulación ecuatorial toma las siguientes tres posibilidades: puede intensificarse, debilitarse o cambiar de orientación.

El presente estudio contiene un diagnostico del problema, con el objetivo de explicar las causas del evento y orientar las acciones que se han de ejecutar para proveer mayor seguridad a la población, infraestructura de riego, zonas agrícolas, etc. El informe contiene el análisis hidrológico que permite caracterizar en términos técnicos el acontecimiento. Con estos análisis ha sido posible delinear alternativas de soluciones estructurales y medidas no estructurales.

II. ASPECTOS GENERALES

2.1 Ubicación

2.1.1 Ubicación Política

El ámbito de estudio se localiza en la provincia de Chincha y Pisco, departamento de Ica y en las provincia de Castrovirreyna del departamento de Huancavelica.

2.1.2 Ubicación Geográfica

La zona de estudio se localiza aproximadamente en las coordenadas UTM 366,306 y 463,710 en Coordenadas Este y 8’492,815 y 8’586,315 en Coordenadas Norte (Zona 18).

2.2 Antecedentes

Como parte del proyecto: “Protección de Valles y Poblaciones Rurales y Vulnerables ante Inundaciones”, se requiere contar con un documento técnico sustentatorio de máximas avenidas del río Chincha, que permita definir las propuestas del planeamiento hidrológico e hidráulico del sistema fluvial del río Chincha.

La ocurrencia de eventos extremos como el Fenómeno del Niño en la costa norte y sur del Perú trae como consecuencia la presencia de lluvias torrenciales, el incremento del caudal de los ríos y la activación de quebradas aportantes al curso principal, tal como los ocurridos en los dos últimos eventos de 1983 y 1998, en que los desbordes del río Chincha, produjeron la inundación de extensas zonas de cultivo y ciudades como El Carmen, San Regis, Pedregal, San Francisco y Chincha Baja, ocasionando daños a la agricultura, infraestructura vial, vivienda e infraestructura de riego y drenaje. En la actualidad existen zonas vulnerables en tramos del río que requieren la aplicación de medidas estructurales para mitigar los efectos de avenidas.

Se ha efectuado una evaluación de las avenidas máximas en base a los datos de la estación hidrométrica Conta. Con los resultados obtenidos, se procederá a dimensionar la caja hidráulica del río en función al periodo de retorno escogido, en zonas específicas y el dimensionamiento de las estructuras de protección.

2.3 Justificación del Proyecto

El río Chincha permite el drenaje de las avenidas producto de las precipitaciones y aportes de los diversos cursos que conforman la cuenca.

Con la aparición de eventos hidrológicos normales, ocasionan ciertos daños en zonas agrícolas, infraestructura de riego y drenaje, caminos de servicio y centros poblados, por dicho motivo, se requiere contar con medidas estructurales que permitan la atenuación de los eventos extremos hasta cierto grado de magnitud.

2.4 Objetivos del Estudio

Determinar los caudales máximos instantáneos del río Chincha para diversos periodos de retorno; que permitan dimensionar adecuadamente la sección hidráulica de encauzamiento de río y diseño de las obras de protección, atenuando los daños por posibles eventos hidrológicos extremos.

III. DESCRIPCION DEL PROYECTO

3.1 Sistema Hidrográfico del río Chincha

3.1.1 Descripción General de la Cuenca

Políticamente, la cuenca del río Chincha forma parte de las provincias de Chincha y Pisco y Castrovirreyna, perteneciente a los departamentos de Ica y Huancavelica respectivamente.

Sus limites son: por el Norte con las Cuencas de los ríos Mantaro, Cañete e intercuenca Topará, por el Sur con la Cuenca del río Pisco, por el Este con las Cuencas de los ríos Mantaro y Pisco y por el Oeste con el Océano Pacífico.

Posee un área total de 4,388.63 km² y sus aguas vierten hacia el Océano Pacífico con un recorrido predominante del curso principal hacia el Suroeste.

El valle de Chincha, área afectada por la inundaciones, esta situado en la parte baja de la cuenca entre las latitudes 13º12’ – 13º37’ Sur y Longitudes 76º00’ – 76º15’ Oeste. Políticamente pertenece a la provincia de Chincha y departamento de Ica. Esta constituido básicamente por un abanico fluvial de 25 km de ancho en su parte central, extendiéndose desde el nivel del mar hasta la cota 2000 msnm, abarcando un área de 25.73 km2 y se constituye como el área agrícola mas importante de la cuenca del río Chincha.

En la Figura Nº 3.1 se muestra la ubicación y el ámbito de la cuenca del río Chincha.

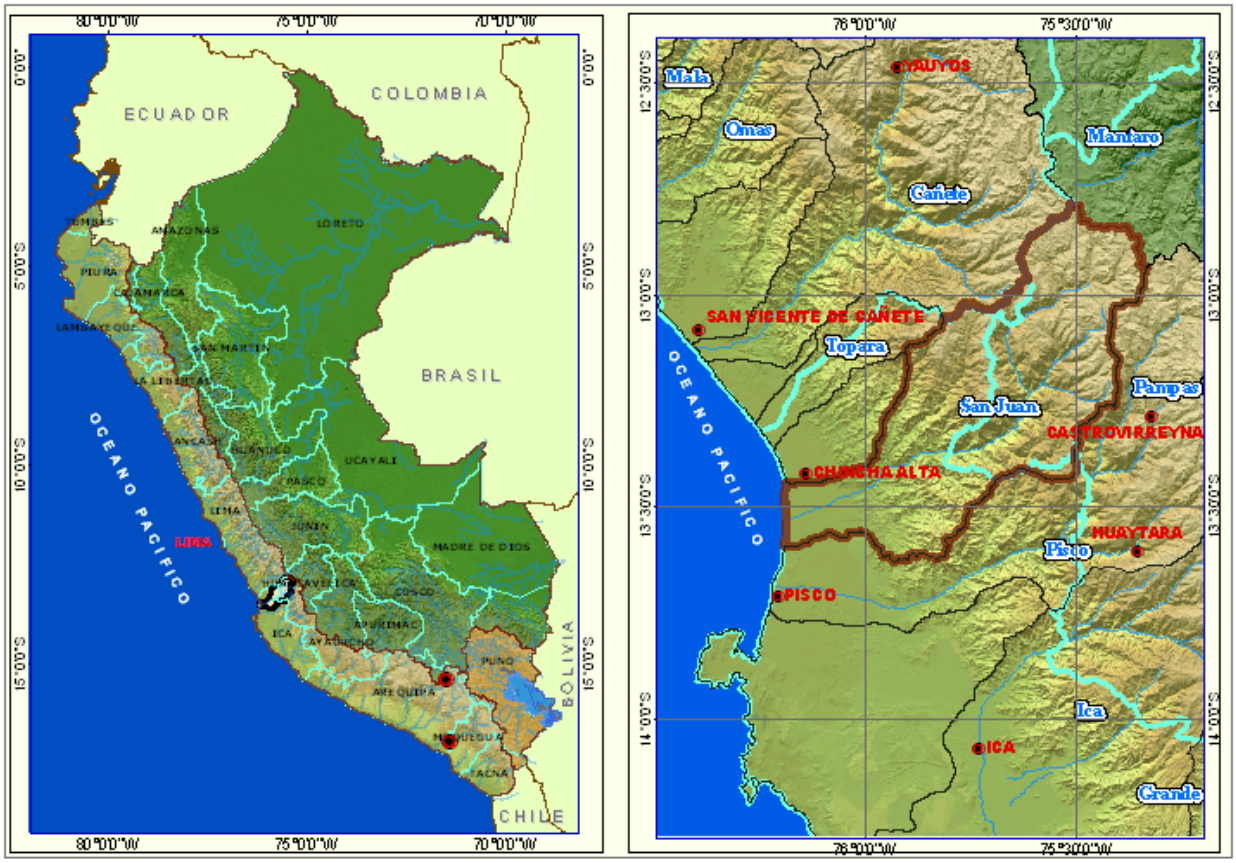


Figura Nº 3.1. Mapa de Ubicación de la cuenca del río Chincha

3.1.2 Hidrografía de la Cuenca del Río Chincha

La Cordillera de los Andes divide hidrográficamente al país en dos vertientes principales que drenan sus aguas hacia los Océanos Pacifico y Atlántico, respectivamente, constituyendo así la divisoria continental de las aguas. Existe, también, una tercera vertiente en la región sur-oriental del país, constituida por una alta cuenca interandina cuyas aguas drenan al Lago Titicaca.

La vertiente del Pacifico u Occidental tiene una extensión aproximada de 290,000 Km², equivalente al 22% del área total del país y da origen, como consecuencia de las precipitaciones y del deshielo de los nevados y glaciares en su parte alta, a 52 ríos de cierta importancia que discurren al Océano Pacifico siguiendo una dirección predominante hacia el suroeste. El río Chincha es uno de ellos, encontrándose situado en la región central de esta vertiente.

El río Chincha tiene un régimen intermitente y de carácter torrentoso, sus descargas se presentan en los meses de enero – abril. La descarga máxima mensual aforada ha sido de 494.19 m3/s (Febrero-1967) y la mínima de 0.00 m3/s, con una descarga media anual de 15.46 m3/s equivalente a un volumen

medio anual de 480.71 MMC. En la época de estiaje el río no lleva agua durante un promedio de tres meses.

La oferta de agua para el valle de Chincha es parcialmente regulada, debido al régimen intermitente del río Chincha que presenta descargas solamente entre los meses de Enero a Abril, durante el resto del año el río se seca completamente. En este periodo, época de estiaje, se descargan las aguas de regulación de las lagunas entre los meses de Agosto a Diciembre.

3.2 Climatología

3.2.1 Precipitación

La precipitación, como parámetro principal de la generación de la escorrentía, es analizada en base a la información disponible de estaciones ubicadas tanto en el interior de la cuenca del río Chincha, como en las cuencas vecinas de Cañete, Mantaro y Pisco.

Se dispone de información pluviométrica de 10 estaciones pluviométricas ubicadas en la cuenca del río Chincha y en las cuencas vecinas. Estas estaciones son operadas y mantenidas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

En el Cuadro Nº 3.1, se muestra la relación de estaciones con sus respectivas características de código, tipo, ubicación, etc. Los registros históricos de la precipitación total diaria, precipitación total mensual y sus respectivos histogramas se presentan en los Anexos I y II respectivamente. En la Figura Nº 3.2, se muestra el periodo y la longitud de la información disponible de las estaciones pluviométricas y en la Figura Nº 3.3, se muestra su ubicación en la cuenca del río Chincha y en las cuencas vecinas.

Cuadro Nº 3.1. Características de las Estaciones Pluviométricas de la cuenca del río Chincha y cuencas vecinas

CODIGO	ESTACION	DEPARTAMENTO	LONGITUD	LATITUD	OPERADOR
156119	TOTORA	HUANCAVELICA	75° 19'1	13° 07'1	SENAMHI
156117	TICRAPO	HUANCAVELICA	75° 26'1	13° 23'1	SENAMHI
643	COCAS	HUANCAVELICA	75° 22'1	13° 16'1	SENAMHI
156115	SAN PEDRO DE HUACARPANA 2	ICA	75° 39'1	13° 03'1	SENAMHI
857	SAN PEDRO DE HUACARPANA	ICA	75° 39'39	13° 03'3	SENAMHI
156113	SAN JUAN DE YANAC	ICA	75° 47'47	13° 13'13	SENAMHI
791	FONAGRO (CHINCHA)	ICA	76° 08'8	13° 28'28	SENAMHI
156219	CONTA	ICA	75° 58'0	13° 26'0	SENAMHI
641	VILLA DE ARMAS	HUANCAVELICA	75° 08'1	13° 08'1	SENAMHI
151503	HUACHOS	HUANCAVELICA	75° 32'32	13° 13'13	SENAMHI

Figura Nº 3.2. Periodo y Longitud de la información disponible de las Estaciones Pluviométricas

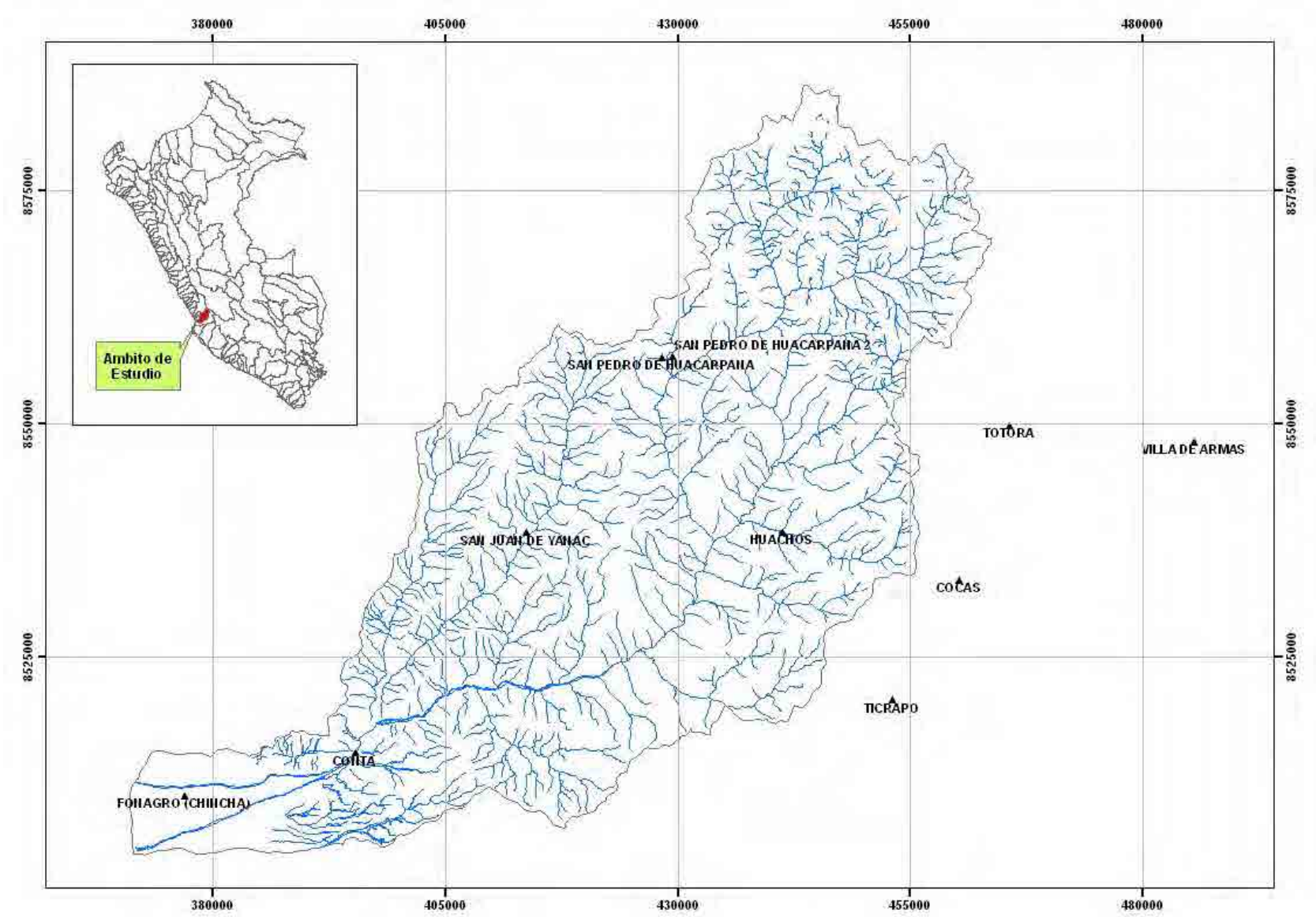


Figura Nº 3.3. Ubicación de las Estaciones Pluviométricas en Cuenca del río Chincha y Cuencas Vecinas

En el Cuadro Nº 3.2 se muestra los valores medios mensuales de las estaciones consideradas en el estudio y en la Figura Nº 3.4 se muestra la variación media mensual de la precipitación de cada estación; en el Anexo se muestran las series históricas de cada estación, así como también se muestra las graficas de las variaciones mensuales y anuales de cada estación.

Cuadro Nº 3.2. Precipitación Media Mensual de Estaciones Consideradas en el Ámbito del Estudio

ESTACION	Mes												Total
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
TOTORA	125.39	133.76	104.56	46.33	18.20	4.07	4.90	7.76	24.24	32.59	41.47	81.67	624.95
TICRAPO	54.24	75.45	73.35	14.10	0.44	0.20	0.03	0.45	0.98	3.99	5.05	24.32	252.60
COCAS	94.93	111.50	138.93	29.87	5.31	0.26	0.36	1.54	6.70	11.83	16.61	40.73	458.57
SAN PEDRO DE HUACARPANA 2	114.93	137.80	161.96	50.64	5.30	0.38	0.23	2.25	5.51	17.68	30.93	58.94	586.56
SAN PEDRO DE HUACARPANA	121.19	136.68	139.80	34.99	2.64	0.00	0.04	2.53	7.24	12.94	27.45	64.52	550.02
SAN JUAN DE YANAC	27.03	37.28	39.98	6.97	0.27	0.00	0.10	0.02	0.76	2.81	2.11	14.08	131.41
FONAGRO (CHINCHA)	0.42	1.08	0.34	0.07	0.48	1.23	1.34	0.83	0.68	0.38	0.21	0.56	7.60
CONTA	1.84	3.24	0.81	0.31	0.01	0.03	0.06	0.04	0.05	0.18	0.14	0.24	6.95
VILLA DE ARMAS	133.69	136.26	148.26	39.55	2.82	0.00	0.01	1.57	8.52	10.84	22.17	59.92	563.61
HUACHOS	98.45	120.27	119.57	29.42	1.90	0.23	0.25	1.01	1.73	6.74	15.33	57.08	451.98

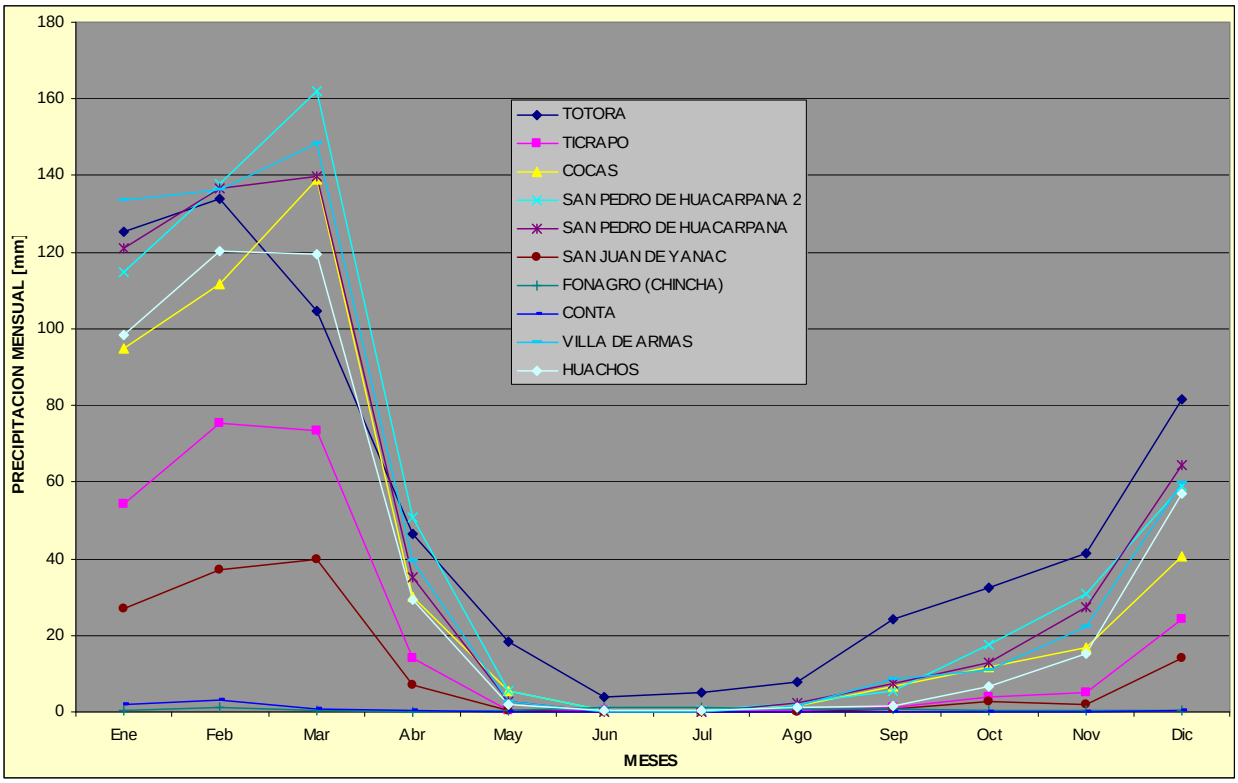


Figura Nº 3.4. Histograma Mensual de las Estaciones Pluviométricas consideradas en el Ámbito del Estudio

En el Cuadro Nº 3.2 y Figura Nº 3.4 observamos que del mes de octubre a abril se presentan las mayores precipitaciones y en los meses de mayo a septiembre se presentan las menores precipitaciones, así mismo observamos que la precipitación anual en la cuenca del río Chincha varia de 624.95 mm (estación de Totora) a 6.95 mm (estación Conta).

En la Figura Nº 3.5 se presenta la variación de la precipitación total anual de las estaciones consideradas en el estudio con sus respectivas tendencias.

Tomando en consideración sólo las estaciones Totora, Huacarpana y Huachos que son las estaciones con cierta uniformidad en los registros, se estableció una ecuación lineal de tipo P = mt + b en donde P es la precipitación anual y t es el tiempo en años. Las variables m y b son las variables que proporcionan el mejor ajuste en una ecuación lineal. Los resultados se presentan en el cuadro 3.3, arrojando los siguientes valores de tendencias:

Cuadro Nº 3.3. Resultados del ajuste lineal de las estaciones Totora, Huacarpana y Huachos

Estación	m	b	R2
Totora	-11.76	775.0	0.189
Huacarpana	-12.60	651.0	0.173
Huachos	3.53	431.7	0.052

El valor de los coeficientes de regresión (R^2) es muy bajo. En el caso de la Estación Totora y Huacarpana habría una muy débil tendencia decreciente y en la estación Huachos una muy débil tendencia creciente. Los valores de R^2 indican que las tendencias no son significativas y se puede afirmar que en las estaciones que cuentan con mayor número de datos no existe una tendencia clara al aumento o disminución de la precipitación.

Con la información mostrada en el Cuadro Nº 3.2 y con el apoyo del software ArcGIS se ha generado los mapas de isoyetas mensual (de enero a diciembre) y anual que se muestra en las Figuras Nº 3.6 a 3.17 y 3.18 respectivamente.

De las Isoyetas mostradas, observamos que las mayores precipitaciones en la cuenca se presentan en el mes de febrero y marzo y varían de 20 mm a 160 mm; y las menores precipitaciones se presenta en el mes de Julio y varia de 2 mm en la zona alta de la cuenca a 0 mm en la parte baja de la cuenca.

La precipitación total anual en la cuenca del río Chincha varía de 500 mm a 100 mm, tal como se puede observar en la Figura Nº 3.18.

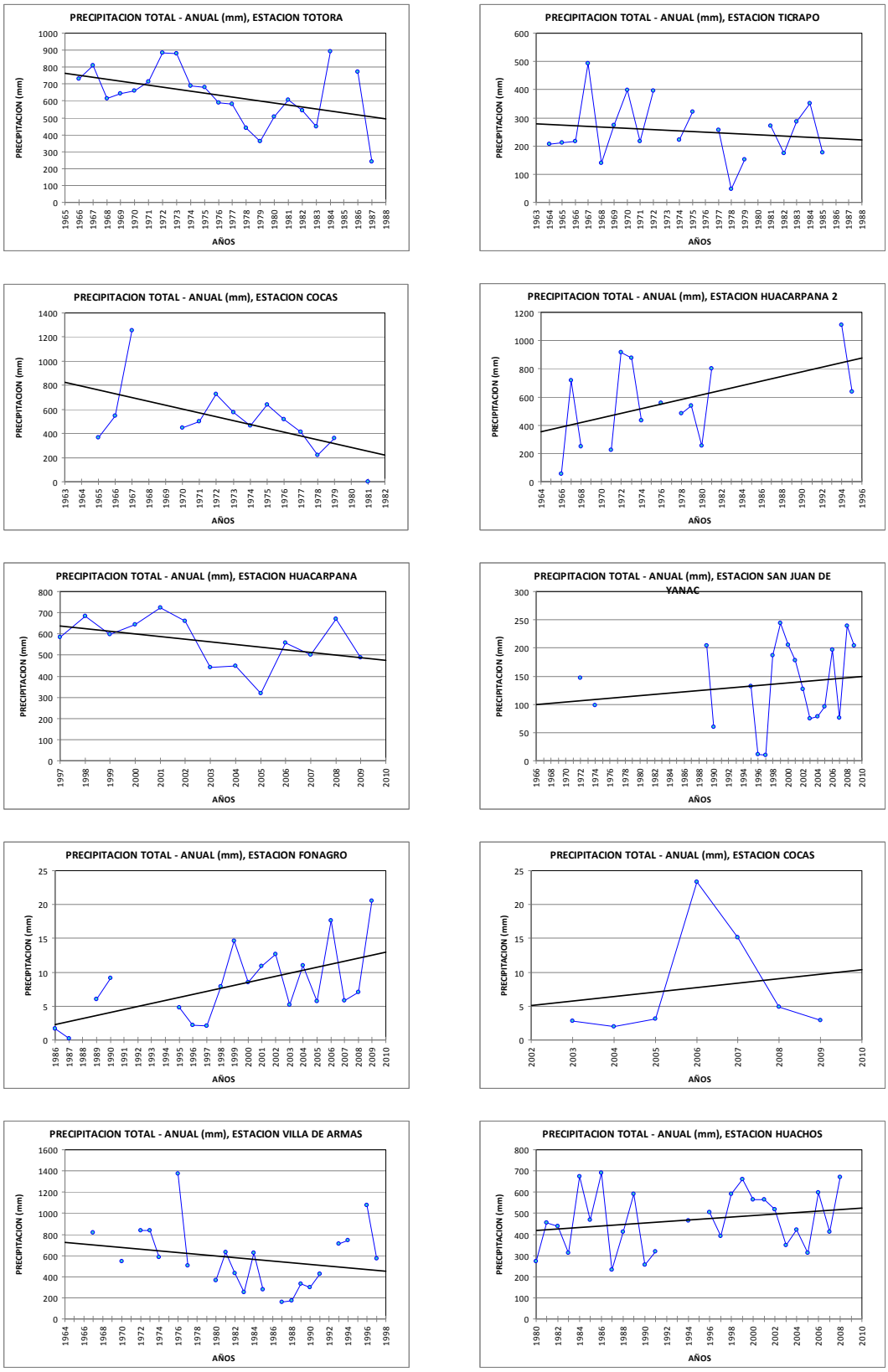


Figura Nº 3.5. Tendencia de la Precipitación Anual de las Estaciones Consideradas en el Ámbito del Estudio

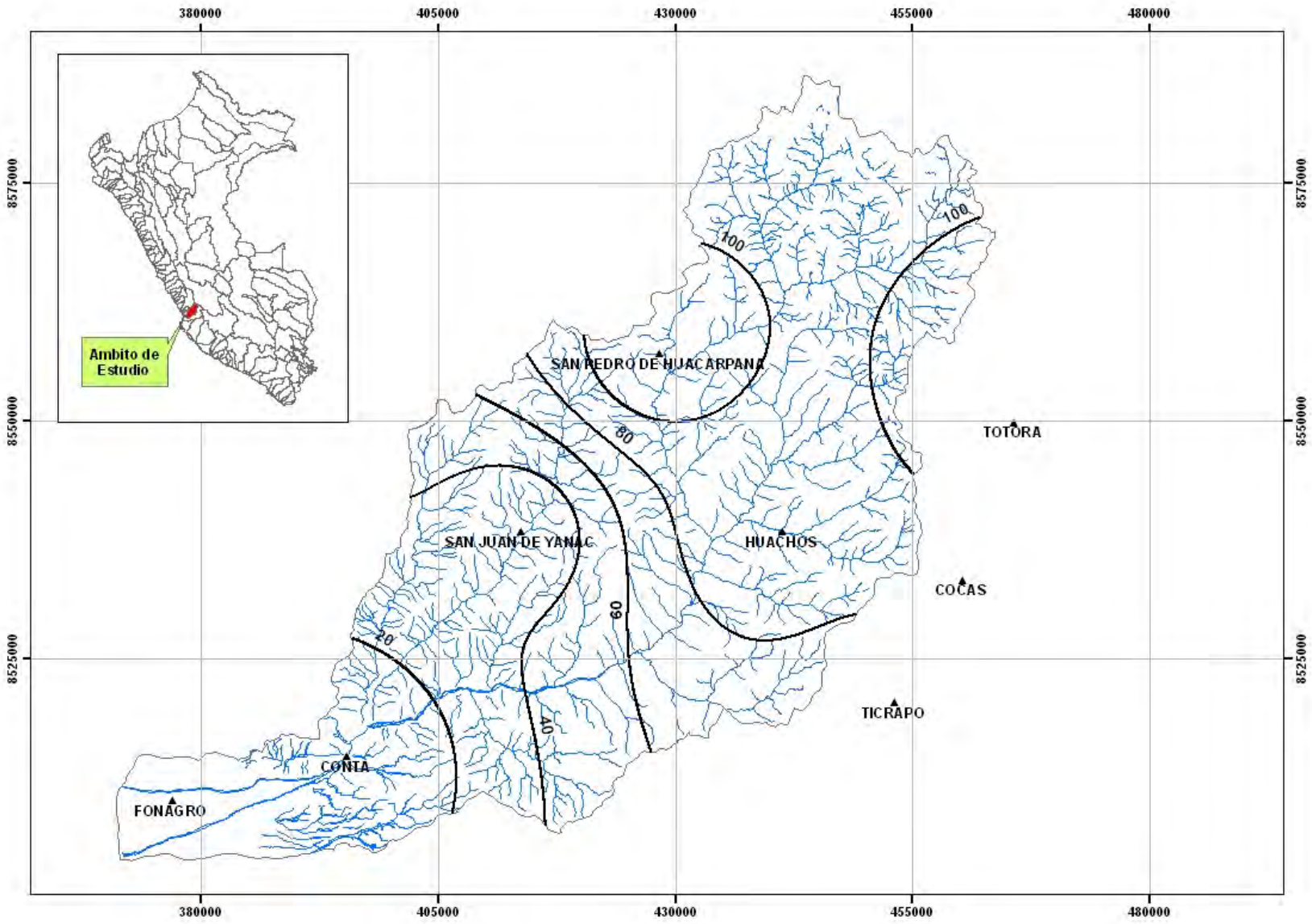


Figura Nº 3.6. Isoyeta del mes de Enero de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chincha

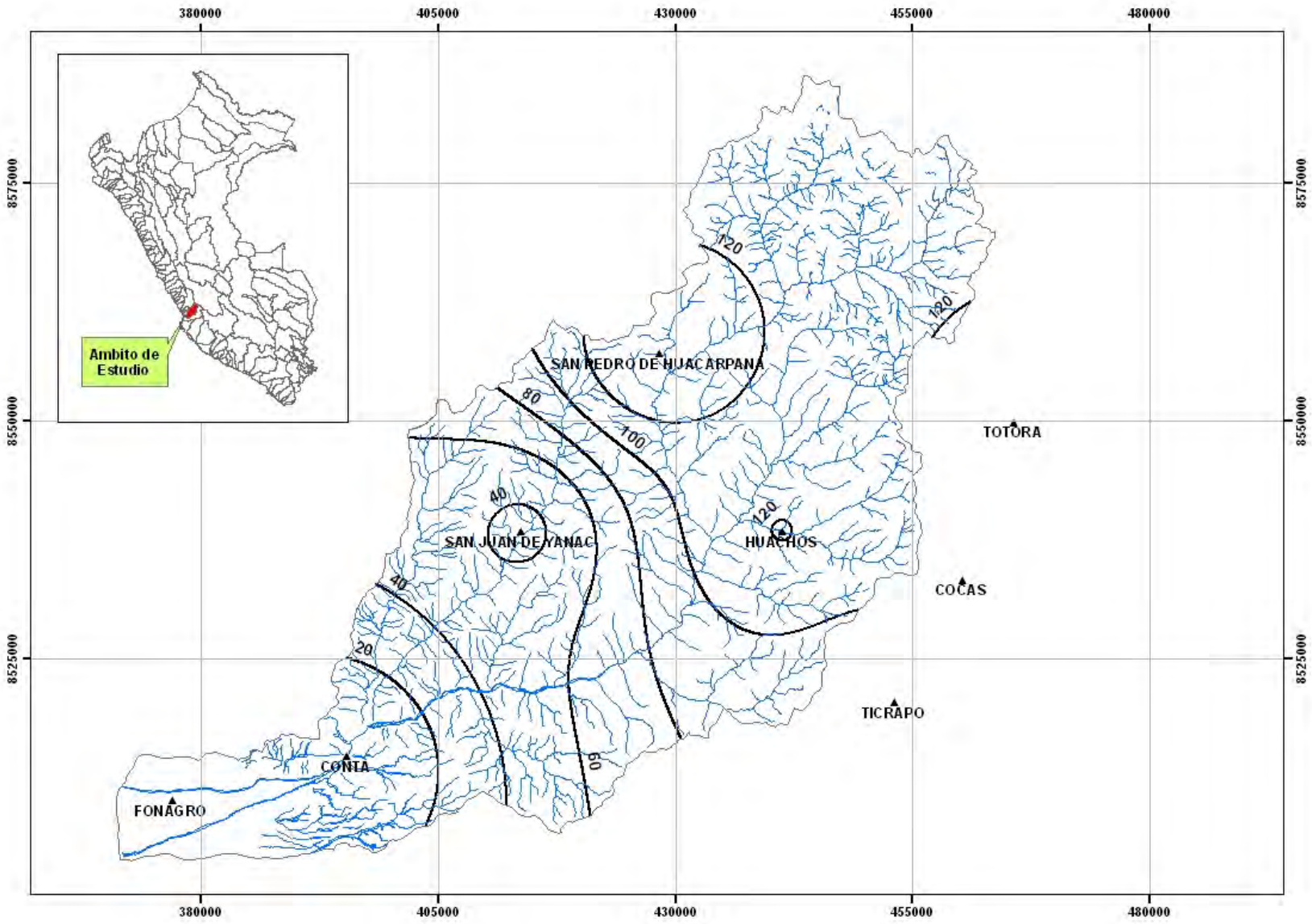


Figura Nº 3.7. Isoyeta del mes de Febrero de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chincha

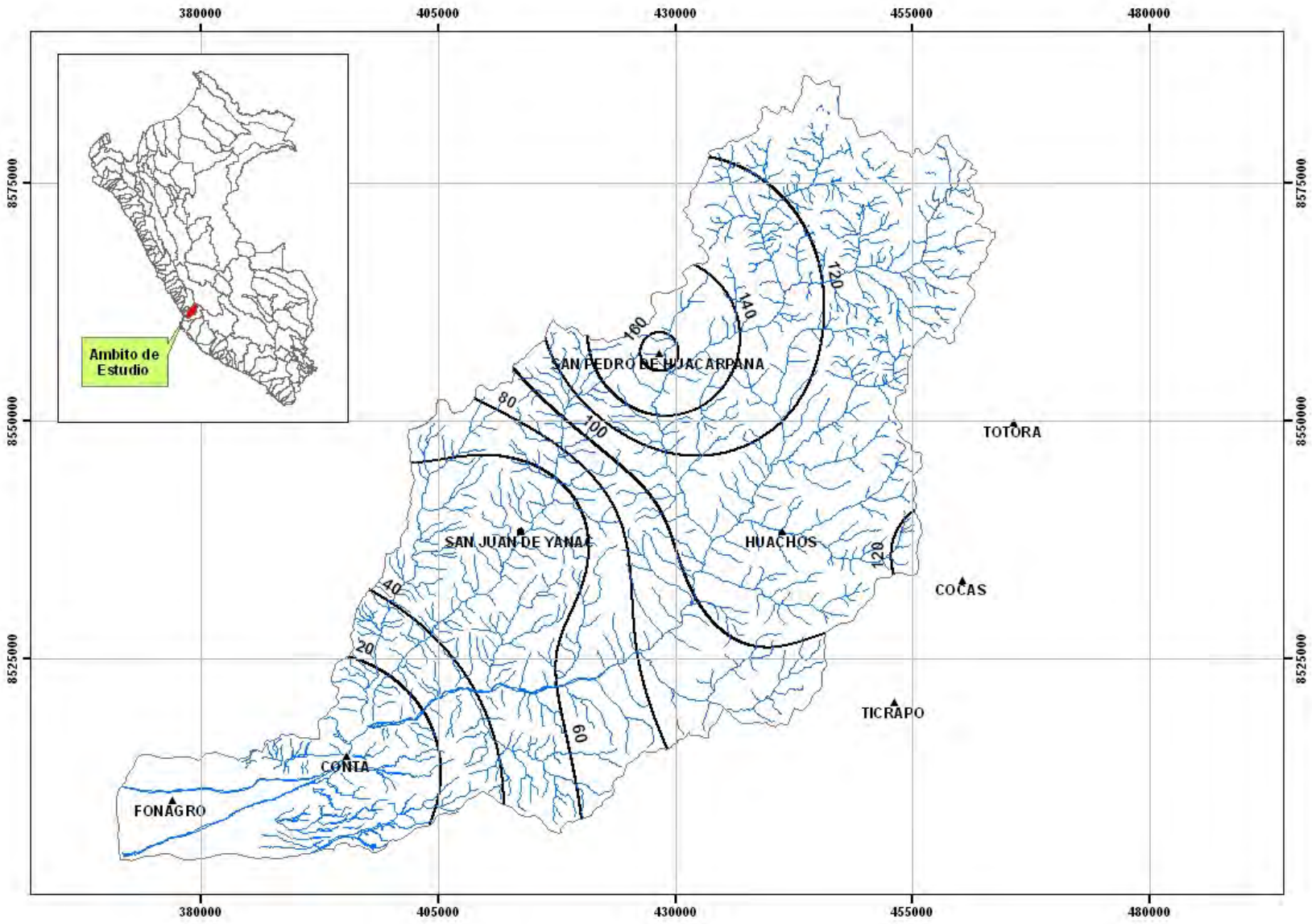


Figura Nº 3.8. Isoyeta del mes de Marzo de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chincha

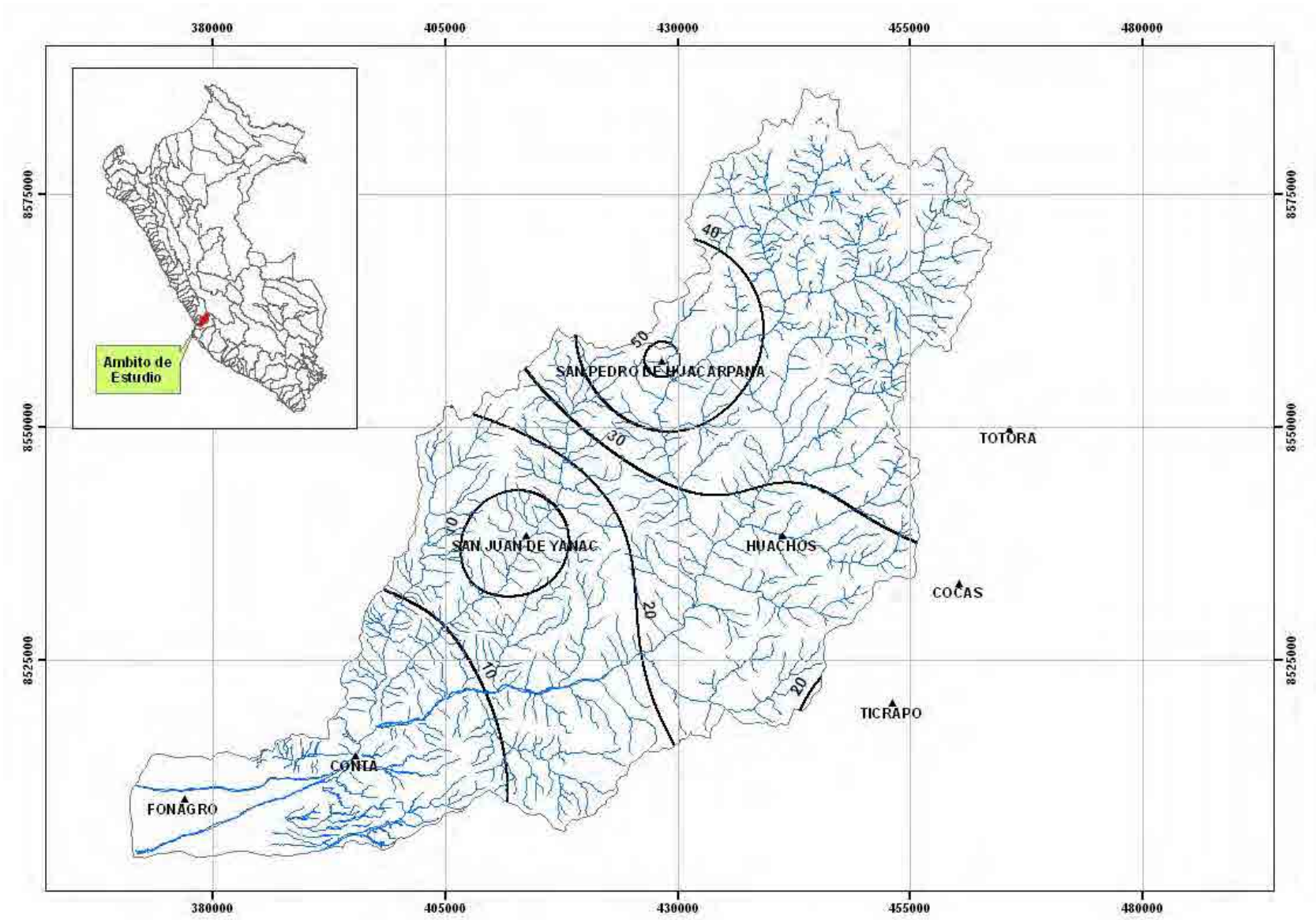


Figura Nº 3.9. Isoyeta del mes de Abril de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chincha

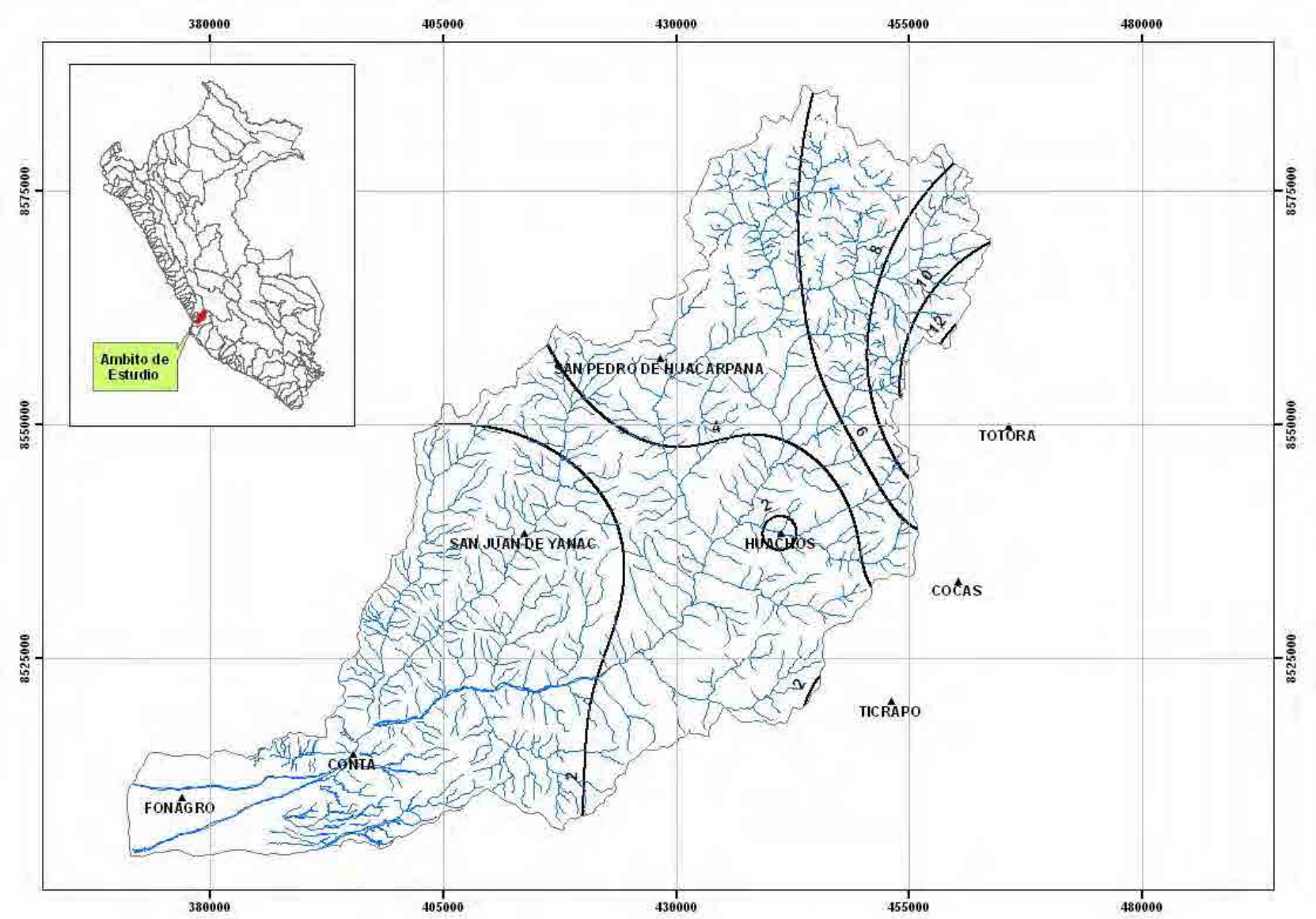


Figura Nº 3.10. Isoyeta del mes de Mayo de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chincha

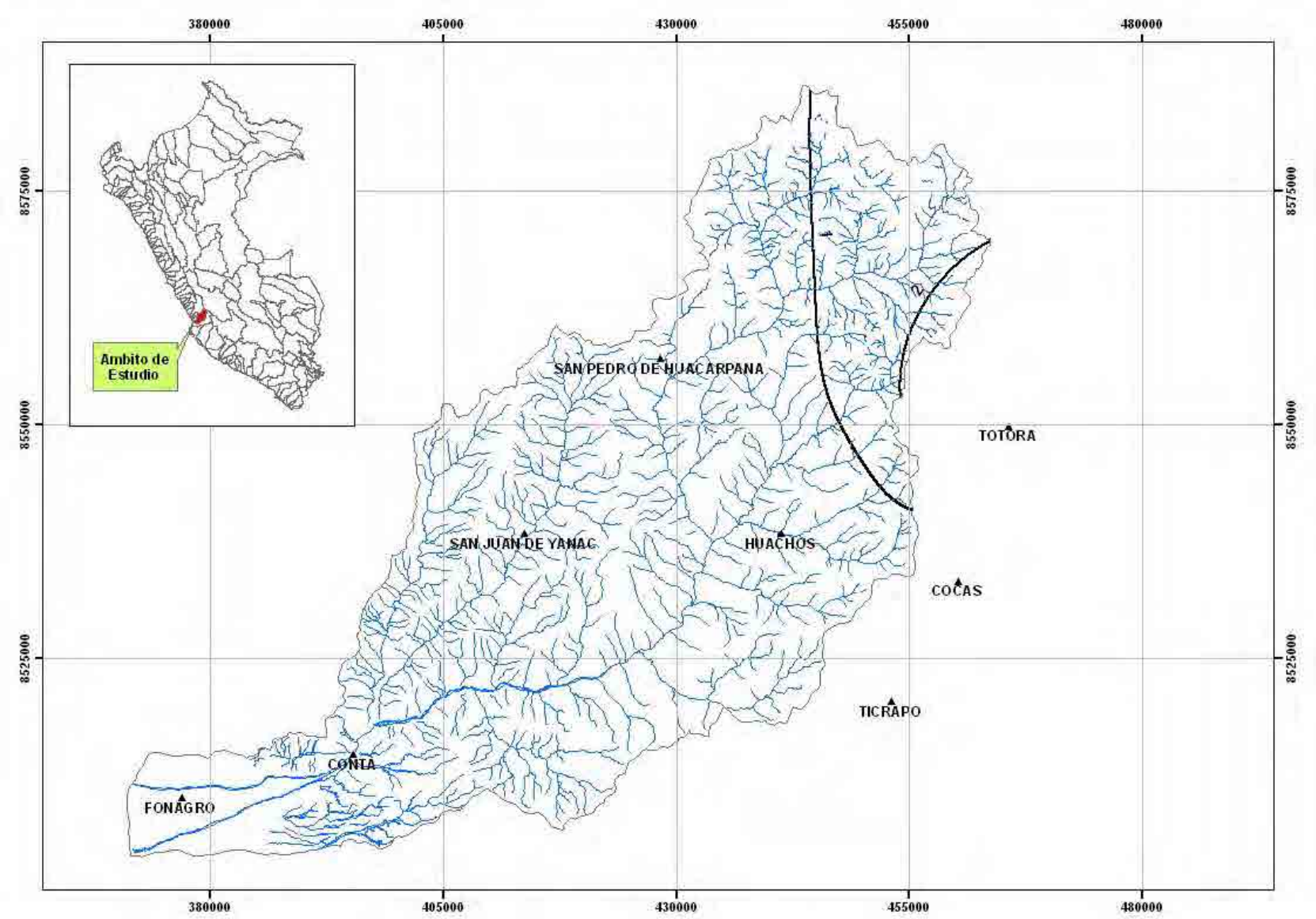


Figura Nº 3.11. Isoyeta del mes de Junio de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chincha

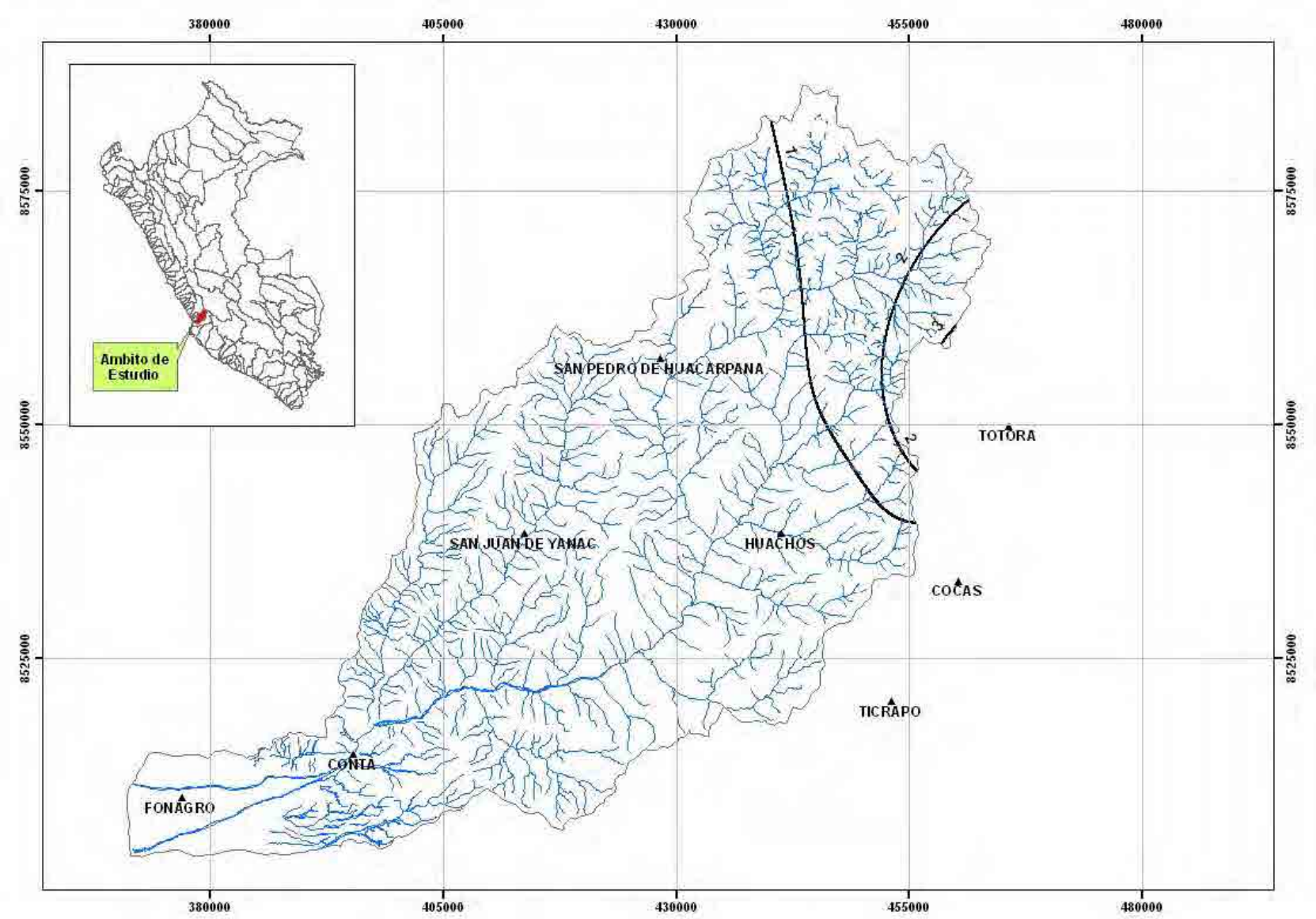


Figura Nº 3.12. Isoyeta del mes de Julio de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chincha

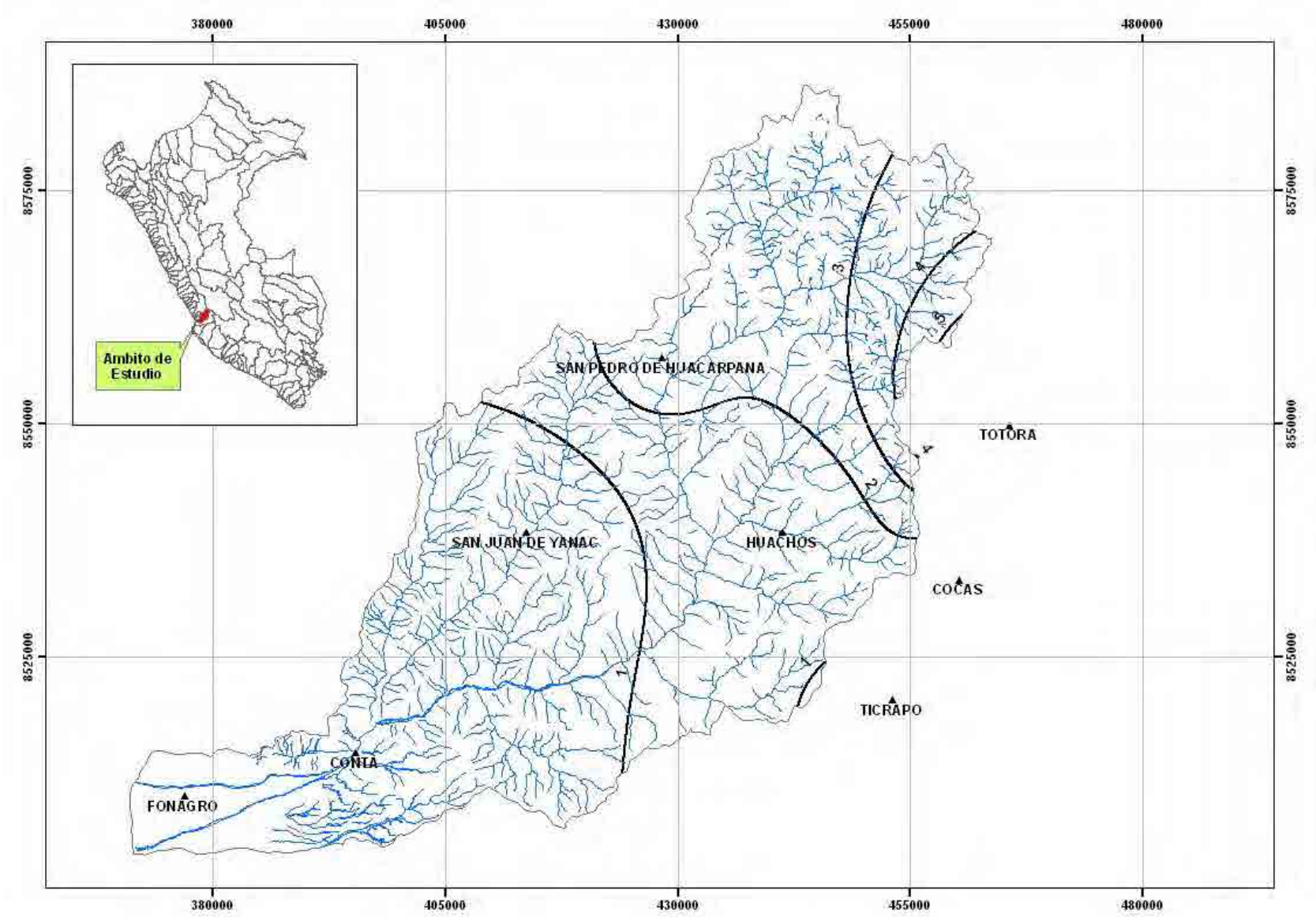


Figura Nº 3.13. Isoyeta del mes de Agosto de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chincha

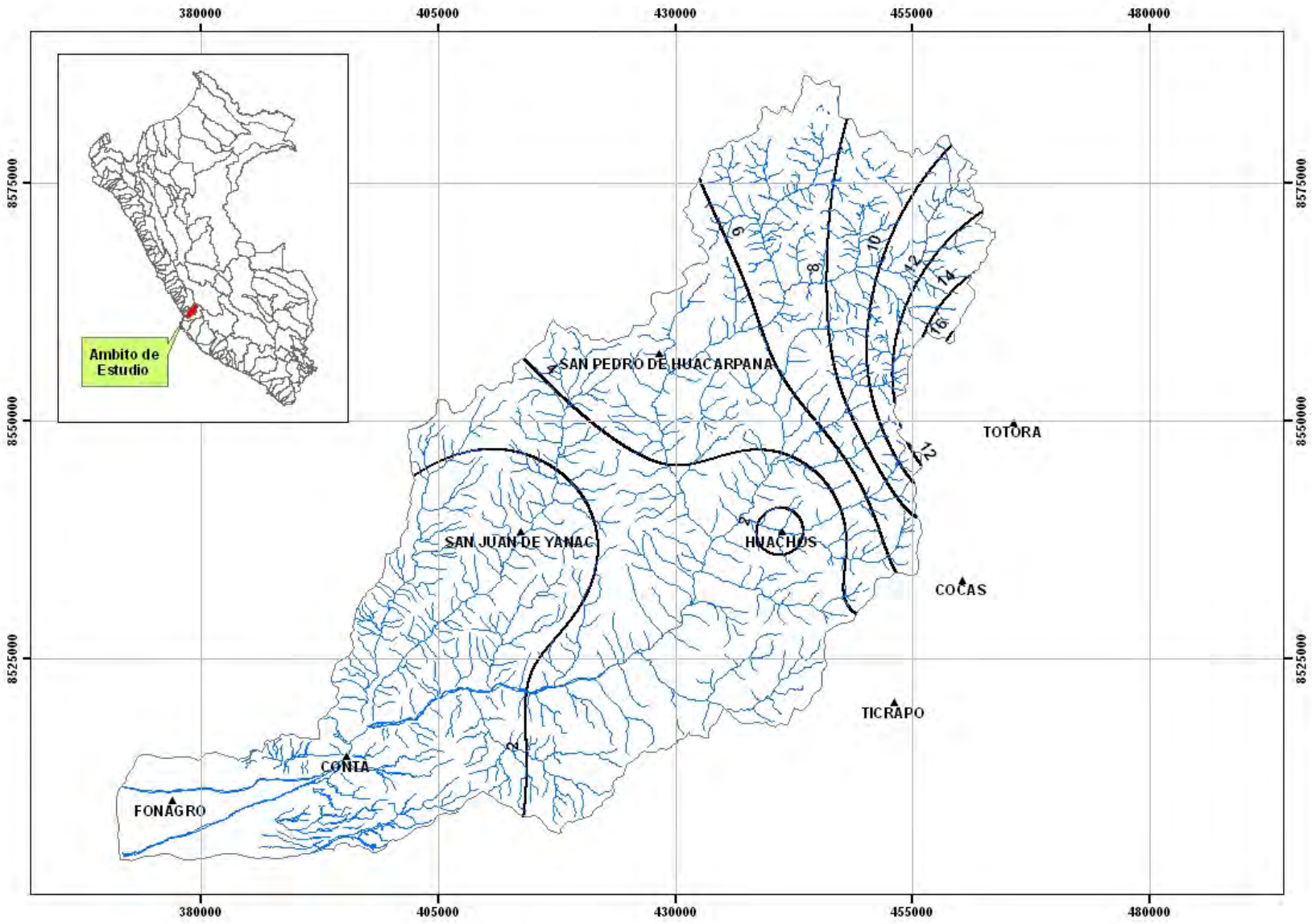


Figura Nº 3.14. Isoyeta del mes de Septiembre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chincha

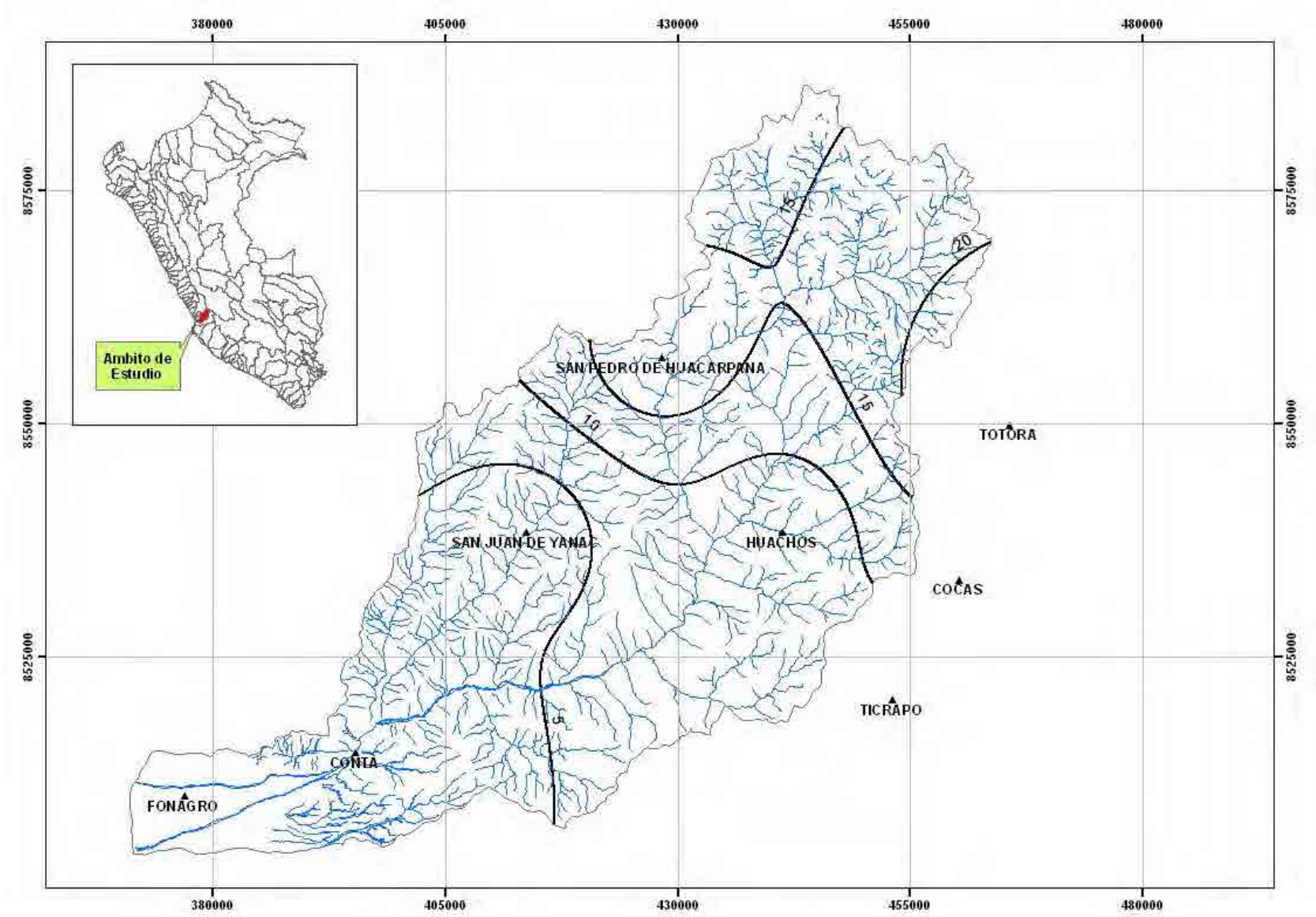


Figura Nº 3.15. Isoyeta del mes de Octubre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chincha

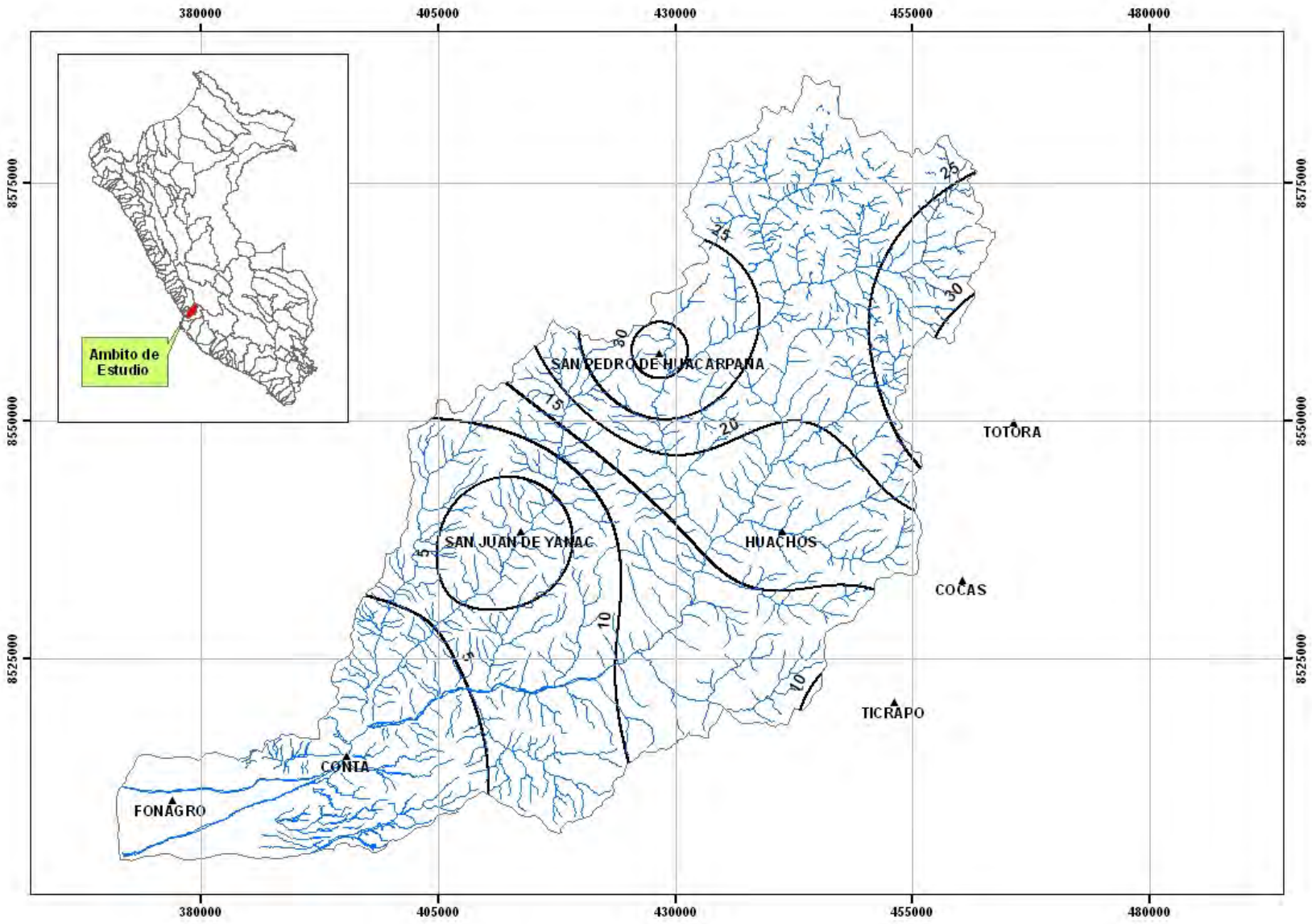


Figura Nº 3.16. Isoyeta del mes de Noviembre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chincha

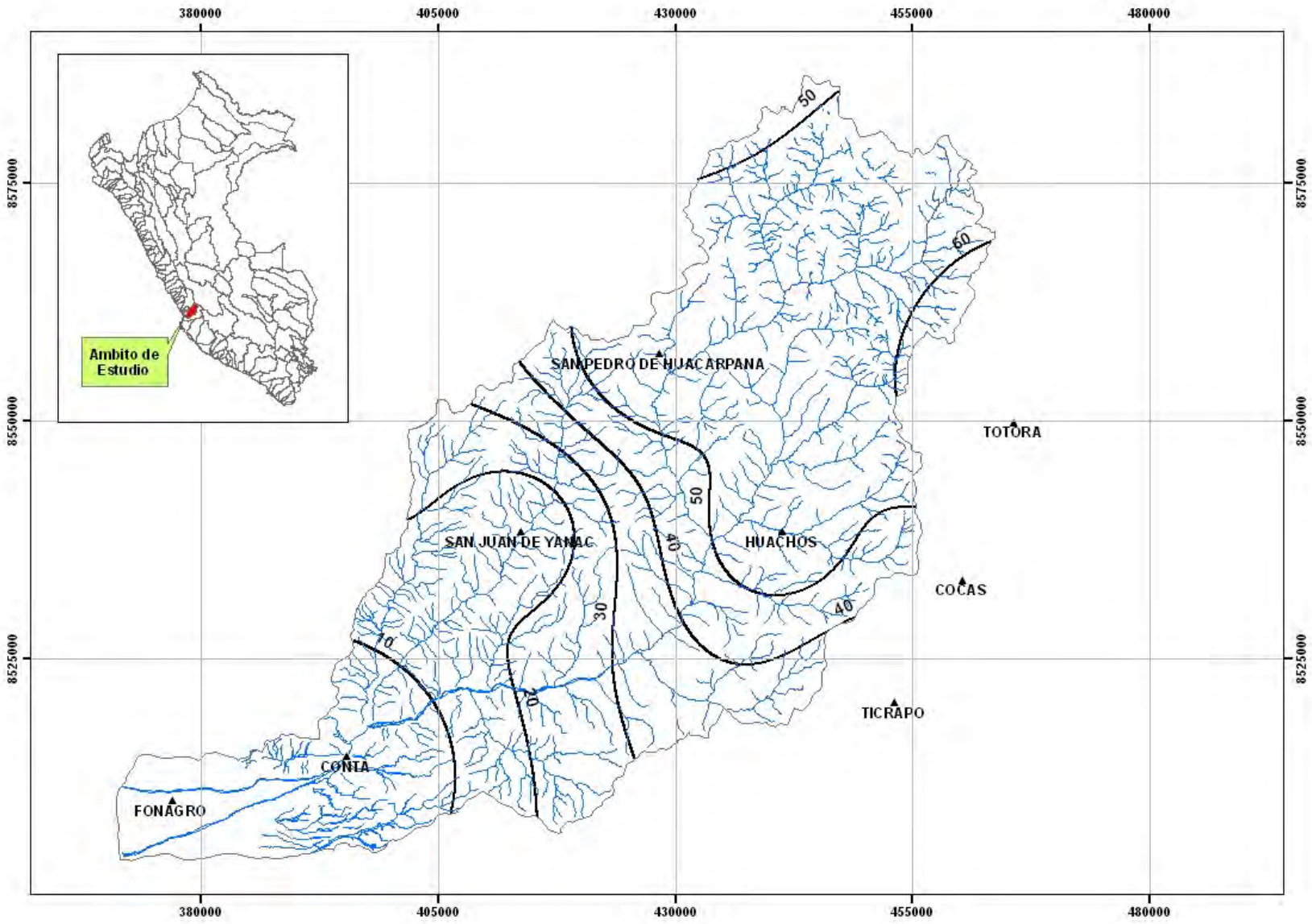


Figura Nº 3.17. Isoyeta del mes de Diciembre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chincha

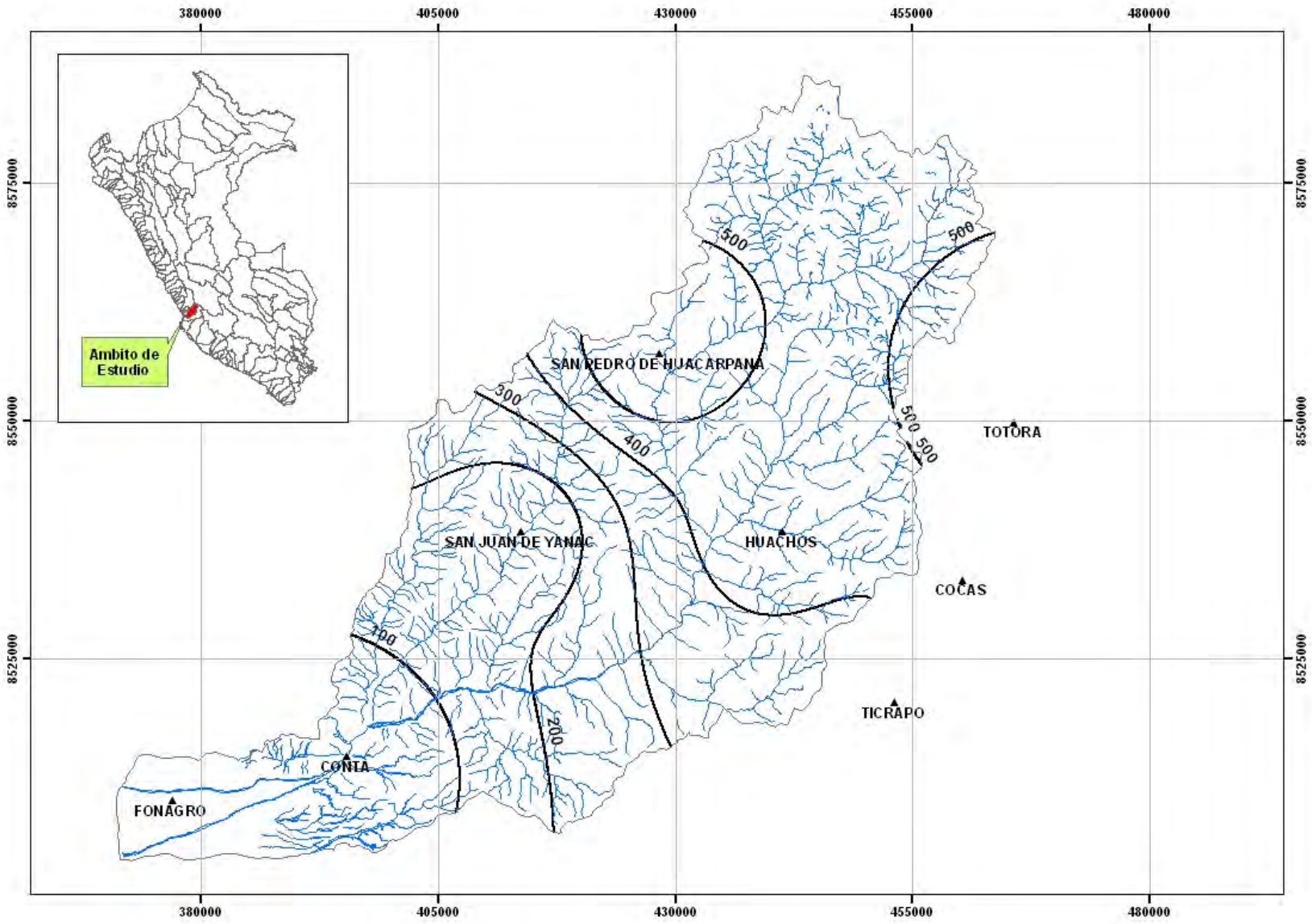


Figura Nº 3.18. Isoyeta Anual de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chincha

3.2.2 Temperatura

La temperatura del aire y sus variaciones diarias y estaciónales son muy importantes para el desarrollo de las plantas, constituyendo uno de los factores primordiales que influyen directamente en la velocidad de su crecimiento, longitud de su ciclo vegetativo y en las fases de desarrollo de plantas perennes.

En el ámbito de la cuenca del río Chincha, esta variable climática está medida por una red de estaciones meteorológicas, las que se resumen en el Cuadro N°3.3., en este se muestra los valores medios históricos de la temperatura media mensual de las estaciones Fonagro, San Juan de Castrovirreyna, San Juan de Yanac, Villa de Arma y San Pedro de Huacarpana, al interior de la cuenca, y Huáncano, Agnococha, de la cuenca vecina de Pisco.

A partir de la información mostrada en el Cuadro Nº 3.4., observamos que hay una relación inversa entre la temperatura y la altitud, esto es por el efecto de la disminución de la presión atmosférica debido a la elevación de la altitud, así mismo observamos que las temperaturas medias anuales son mayores en la estaciones de Fonagro (20.3 mm.) y Huancano (20.6 mm.) y que las mínimas se presentan en la estación Acnococha (2.8 mm.).

En la Figura Nº 3.19, se muestra la distribución de la Temperatura Media Mensual de las estaciones meteorológicas ubicadas en la cuenca del río Chincha, en donde observamos que las temperaturas medias mensuales son mayores en la estación de San Juan, y la mínima se presenta en la estación Acnococha.

Cuadro Nº 3.4. Temperatura Media Mensual [ºC] de las estaciones de la cuenca del río Chincha y cuencas vecinas

ESTACION METEOROLOGICA	ALTITUD	AÑO PROMEDIO												MEDIA
	msnm	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	ANUAL
FONAGRO	50	23.6	24.3	23.8	22.3	19.9	17.9	17.4	17.4	17.5	18.4	19.4	21.6	20.3
HUANCANO (*)	1006	22.4	22.8	22.9	22.4	20.4	18.3	17.9	18.4	19.7	20.3	20.3	21.1	20.6
SAN JUAN DE CASTROVIRREYNA	2150	19.7	19.3	19.9	19.4	19.8	18.9	19.5	19.3	19.6	19.4	19.2	19.4	19.4
SAN JUAN DE YANAC	2400	14.8	14.9	15.0	14.9	15.9	15.5	15.5	16.1	15.8	15.8	15.4	16.1	15.5
HUACHOS	2680	15.1	14.7	14.7	14.7	15.2	15.2	14.9	15.9	15.8	15.8	15.1	16.0	15.2
VILLA DE ARMA	3280	11.8	10.4	11.3	12.0	12.6	12.3	13.0	12.6	13.2	12.8	11.7	11.4	12.1
S.P.HUACARPANA	3680	9.1	8.6	9.5	9.4	9.8	9.3	9.6	9.2	9.5	10.2	9.6	10.1	9.5
AGNOCOCHA (*)	4650	3.7	3.6	3.8	3.4	2.8	2.0	1.3	1.6	2.2	3.2	3.1	3.3	2.8

Fuente: Evaluación y Ordenamiento de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Río Chincha. IRH-INRENA-MINAG, 2003

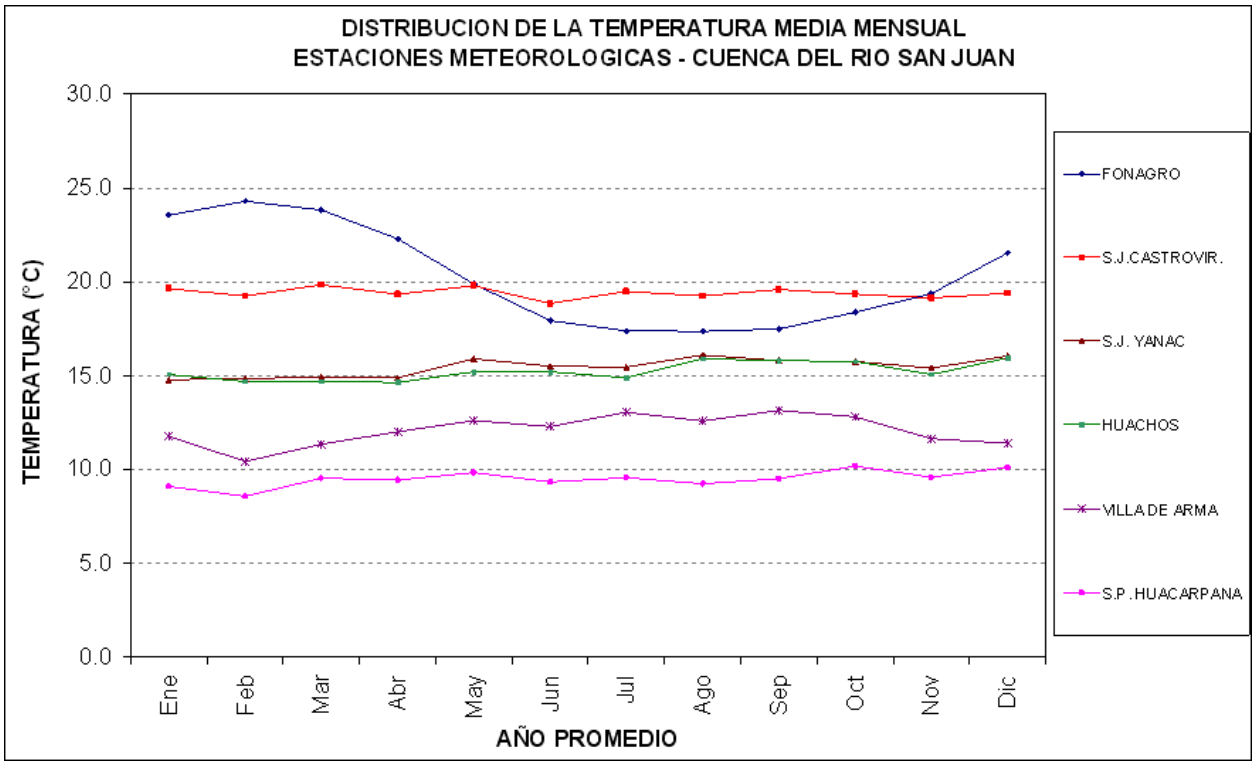


Figura Nº 3.19. Distribución de la Temperatura Media Mensual de las Estaciones Meteorológicas Ubicadas en la Cuenca del Río Chincha

Fuente: Evaluación y Ordenamiento de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Río Chincha. IRH-INRENA-MINAG, 2003

3.3 Hidrometría

Se dispone de información de descargas del río Chincha, de la estación Hidrométrica Conta, ubicada en el distrito de Alto Larán, provincia de Chincha y departamento de Ica. Esta estación es operada y mantenida por el Ministerio de Agricultura, está situada aguas abajo de la "porción húmeda" de la cuenca, por lo tanto las descargas registradas en esta estación son prácticamente las mismas descargas que discurren hacia el Océano Pacífico.

En la Tabla Nº 3.5 se muestra la lista de las estaciones incluidas en este estudio, indicándose sus respectivas características tales como código, nombre y ubicación. En el Anexo se presentan los registros históricos de la lluvia total mensual y sus histogramas correspondientes.

Table Nº 3.5. Ubicación de la Estación Hidrométrica Conta

CODIGO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	CATEGORIA	CUENCA	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD (msnm)	CONDICION	Periodo de Operación	
											INICIO	FIN
203501	CONTA	HLM	SAN JUAN	ICA	CHINCHA	ALTO LARAN	75° 59'59	13° 27'27	280	Operativa	1922-09	2010-12

HLM = Estación Hidrométrica con mira limnimetrica. Se mide la altura de agua manualmente (06:00, 10:00, 14:00 y 1800 horas) para calcular caudales diarios.

En la Figura Nº 3.20, se muestra el período y la longitud de la información disponible en la estación Hidrométrica Conta y en la Figura Nº 3.21 se muestra su ubicación dentro de la cuenca del río Chincha.

Figura Nº 3.20. Periodo y longitud de la información disponible en la Estación Hidrométrica Conta

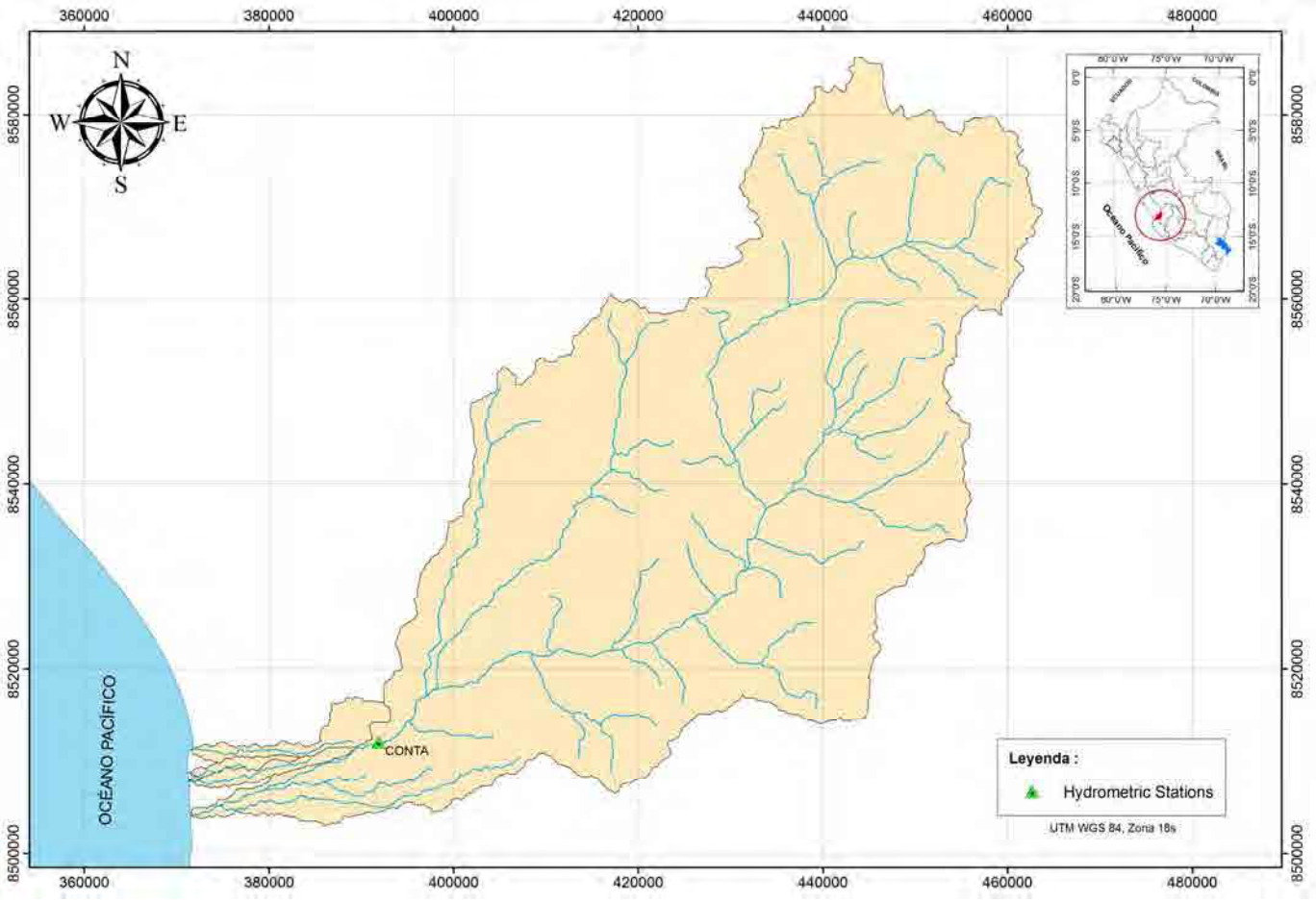


Figura Nº 3.21. Ubicación de la estación hidrométrica Conta en la Cuenca del río Chincha

Se empleará la información de la estación hidrométrica Conta para la calibración del modelo hidrológico que será descrito en el ítem 4.2.4. Esta estación está ubicada aguas abajo de la "porción húmeda" de la cuenca,, por lo tanto las descargas registradas en esta estación son prácticamente las mismas descargas que fluyen hacia el Océano Pacífico.

3.4 Comentarios sobre la Red Hidrológica y Meteorológica de la Cuenca del Río Chincha

3.4.1 Sobre las Estaciones Pluviométricas

Como se mencionó previamente, la información pluviométrica empleada en el análisis fue proporcionada por el SENAMHI. De las 10 estaciones, 5 estaciones tienen información hasta el año 2010, 01 estación tiene información hasta 1998, 01 estación tiene información hasta 1996, 01 estación tiene información hasta 1989, 01 estación tiene información hasta 1988 y 01 estación tiene información hasta 1981.

Las estaciones con información anterior al año 1999 ya no están operativas, se presume que las estaciones restantes están actualmente operativas. Si bien podría pensarse que la información correspondiente a estaciones que tienen información anterior a 1992 corresponde a información desfasada y no representativa, esta información ha sido utilizada debido a que la longitud de sus registros superan los 12 años y se ha considerado que aún pueden ser utilizadas para análisis estadísticos. Se ha hecho una excepción con la estación Conta, a pesar de contar solo 07 años de registro sus datos han sido considerados porque no se tenía otra estación pluviométrica para describir el sector donde estaba ubicada.

Las mediciones de lluvia se realizan empleando pluviómetros manuales, estos dispositivos acumulan la lluvia durante cierto periodo de tiempo luego del cual la lluvia acumulada es medida manualmente. En algunos casos, las lecturas se realizan una vez al día (a las 7 am); en otros casos, dos veces al día (a las 7 am y a las 7 pm), no se conoce el intervalo exacto de tiempo de las mediciones efectuadas en las estaciones usadas en el presente estudio.

3.4.2 . Sobre las Estaciones Hidrométricas

Si bien las estaciones hidrométricas fueron operadas y mantenidas por SENAMHI, la información hidrométrica empleada en los análisis fue proporcionada por la Dirección General de Infraestructura Hidráulica (DGIH) del Ministerio de Agricultura.
La estación Conta cuenta con información correspondiente al perido 1992 – 2010. En esta estación los niveles de agua se midieron leyendo el nivel en una regla graduada, las lecturas fueron transferidas a una libreta y las descargas fueron determinadas empleando una ecuación del tipo:

$$Q = aH^{b}$$

Donde Q es la descarga en m^3/s y H is la lectura en metros. Este tipo de estaciones no registran las descargas máximas instantáneas debido a que las lecturas no son continuas ni automáticas sino manuales. Se toma cuatro lecturas al día. Estas lecturas se realizan a las 6 am, 10 am, 14 pm y 18 pm. La mayor de estas lecturas es llamada máxima descarga diaria, sin embargo este valor no es la máxima descarga instantánea diaria.

3.4.3 . Recomendaciones

Desde un punto de vista técnico se pueden dar las siguientes recomendaciones:

Sobre el Equipo:

- A fin de tomar en cuenta las variaciones climáticas a lo largo de la cuenca debido a efectos orográficos, se debe incrementar el número de estaciones climatológicas e hidrométricas.

- A fin de registrar los valores máximos instantáneos de lluvia y descargas, se debe automatizar la estaciones climatológicas e hidrométricas existentes.

- Se debe modernizar el equipo limnigráfico de las estaciones hidrométricas pasando de las bandas de papel convencional a las bandas de tipo digital.

- Sería deseable que la información recolectada esté disponible en tiempo real.

- Se recomienda estudiar la posibilidad de establecer sistemas de alerta temprana basados en la mejora y el incremento de las estaciones hidrométricas y pluviométricas existentes.

- Para la realización de estudios complementarios se recomienda adquirir:

  - Equipo de muestreo de sedimentos.
  - Equipo para la medición de parámetros físicos de calidad de agua (pH, OD, turbidez y temperatura).

- Establecimiento de Bench Mark (BM) para estaciones climatológicas e hidrométricas usando GPS diferenciales. Esta información será útil para reponer la estación en caso de destrucción por vandalismo o desastres naturales.

Sobre la Operación y Mantenimiento del Equipo

- Las estaciones climatológicas e hidrometrícas en el área de estudio deben ser inspeccionadas frecuentemente.
- El mantenimiento del equipo debe estar a cargo de técnicos calificados certificados por los fabricantes.
- Se deben hacer calibraciones periodicas de los equipos en función del número de horas de uso.

Sobre la Calidad de los Datos Medidos

- Los datos tomados manualmente por los operadores de SENAMHI deben ser verificados independientemente.
- A fin de garantizar la calidad de la información recolectada en años previos, el gobierno debería implementar un programa de verificación de la información recolectada.
- Se debería instalar estaciones duplicadas en determinadas ubicaciones a fin de comparar las lecturas obtenidas en ambos equipos y verificar la calidad de la información obtenida.

- Cuando se tengan disponibles estaciones automáticas, se deberí a verificar la consistencia de sus lecturas instalando estaciones manuales y comparando las lecturas de ambas estaciones.

IV. HIDROLOGIA DE MAXIMAS AVENIDAS

Es necesario mencionar que actualmente existe un acuerdo entre la Autoridad Nacional del Agua (ANA) y el SENAMHI a fin de proveer de equipamiento a las estaciones climatológicas operadas por SENAMHI mediante financiamiento externo. Se recomienda tomar acciones a fin de incluir a la cuenca del río Chincha en este acuerdo

4.1 Consideraciones Previas

En este capitulo se describe la metodología de trabajo desarrollada para la generación de los caudales de avenida en el denominado Punto Base (punto de interés, estación Conta), para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

La estimación de las descargas máximas se ha realizado a partir de la información de precipitación máxima de 24 horas mediante un modelo precipitación – escorrentía, utilizando el Software HEC-HMS. El modelo ha sido calibrado mediante los registros históricos de caudales máximos diarios anuales de la estación Conta.

Reconocimiento de Campo:

El reconocimiento de campo ha comprendido una revisión de las características generales de la estación hidrométrica Conta y del punto base (punto de interés, en donde se estimara las descargas máximas), de las principales características topográficas y del uso de suelo de la cuenca vertiente a la zona de estudio, lo cual ha servido de apoyo para la definición de algunos parámetros a considerar para la generación de los caudales de avenida.

Metodología y Procedimiento:

La metodología y procedimiento empleado para la estimación de las descargas máximas, se resume a continuación:

- Identificación y delimitación de la subcuenca vertiente al punto de interés (-, Estación Hidrométrica Conta), que ha sido realizada en base a las Cartas a escala 1:100000 y/ó 1:25000 e imágenes satelitales.

- Selección de estaciones pluviométricas existentes en el área del estudio y recopilación de registros históricos de precipitación máxima en 24 horas.

- Análisis de frecuencias de las precipitaciones máximas en 24 horas para cada estación y selección de la función de distribución con mejor ajuste.

- Cálculo de la precipitación areal de la cuenca vertiente al punto de interés a partir de los mapas de isoyetas elaborados para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

- Determinación de la precipitación máxima para una duración de tormenta no menor al tiempo de concentración; (tiempo en el cual toda la cuenca aporta a la descarga) mediante el modelo Dick y Peschke.

- Mediante el modelo precipitación escorrentía se generan los caudales de avenida para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, utilizando el software HEC – HMS, se modelo la cuenca mediante los siguientes pasos:

  - A partir de la serie histórica de caudales máximos diarios anuales se calcula mediante métodos estadísticos la Ley de frecuencia de caudales.

  - Calibración del modelo precipitación escorrentía, con la ley de frecuencia de caudales.

4.2 Caracterización Hidrológica, Análisis de la Información Pluviométrica e Hidrométrica

4.2.1 Caracterización Hidrológica

Las características geomorfológicas de la cuenca al punto base (estación Conta) se muestra en el Cuadro Nº 4.1.

Cuadro Nº 4.1. Características Geomorfológicas de la cuenca en el Punto Base (estación Conta)

Característica	Valor
Area de la Cuenca (km2)	2,981.000
Longitud Max. De Recorrido (km)	121.250
Cota Mayor (msnm)	4,725.000
Cota Menor (msnm)	323.000
Pendiente (m/m)	0.036

4.2.2 Análisis de las Precipitaciones Máximas en 24 Horas

En el Cuadro Nº 3.1 y Figura Nº 3.3. se muestra las estaciones ubicadas en el ámbito del estudio (cuenca del río Chincha y cuencas vecinas), las precipitaciones máximas en 24 horas anual de estas estaciones se muestra en el Cuadro Nº 4.2 y la información diaria y máxima en 24 horas se muestra en el Anexo.

De la información mostrada en el Cuadro Nº 4.2 y observando la Figura Nº 3.3 concluimos que las estaciones están distribuidas en todo el ámbito del estudio a excepción de la estación Villa de Arma que esta muy lejana a la cuenca del Rio Chincha.

Cuadro Nº 4.2. Precipitación Máxima en 24 Horas Anual de las Estaciones ubicadas en el Ámbito del Estudio

Año	Estaciones Pluviometricas									
	TOTORA	TICRAPO	COCAS	SAN PEDRO DE HUACARPANA 2	SAN PEDRO DE HUACARPANA	SAN JUAN DE YANAC	FONAGRO (CHINCHA)	CONTA	VILLA DE ARMAS	HUACHOS
1960										
1961										
1962										
1963										
1964		21.50	19.80							
1965	24.00	20.70	21.60	15.00						
1966	15.00	12.60	20.20	5.20						
1967	24.00	24.40	36.00	31.00					59.60	
1968	20.00	10.00		16.00						
1969	22.00	35.80		24.50						
1970	23.00	40.20	22.10	24.50					24.90	
1971	21.00	28.40	29.40	20.00					31.00	
1972	27.00	32.00	30.80	26.00		12.80			29.60	
1973	25.00	44.31	36.80	21.10					42.40	
1974	22.00	14.00	20.60	14.50		8.20			36.00	
1975	19.00	19.50	22.40	22.50		10.30			35.80	
1976	20.00	25.50	21.40	17.00					38.00	
1977	25.00	24.00	20.60	15.00					36.20	
1978	20.01	5.40	14.40	26.00					61.80	
1979	25.01	18.00	27.40	32.00					27.40	
1980	35.00	24.10		19.50					43.00	33.20
1981	29.00	33.00		32.00					35.20	20.80
1982	29.01	10.90		18.00					30.00	25.80
1983	24.01	30.00							11.80	19.90
1984	37.01	20.80							11.80	29.20
1985	30.00	18.00							20.80	25.50
1986	27.00	26.80		24.00			0.30		20.00	28.50
1987	13.01						0.20		19.00	20.10
1988	25.01			32.00			0.70		20.00	33.50
1989				27.00		6.80	3.00		10.80	19.80
1990				24.00		5.50	2.00		20.00	23.20
1991				33.00					28.00	24.30
1992										
1993				23.00					26.00	
1994				30.00					21.40	26.10

1995				25.00		10.30	2.30		28.40	23.10
1996				24.00		0.40	0.90		48.60	25.40
1997					23.60	2.50	0.80		30.40	16.20
1998					25.00	11.30	1.50			38.50
1999					28.00	15.90	6.00			41.60
2000					24.20	14.00	1.50			20.50
2001					24.20	9.70	1.10			23.80
2002					30.00	14.60	1.10			37.00
2003					20.60	9.51	0.50	0.60		15.20
2004					28.70	7.20	1.21	0.40		44.20
2005					16.00	16.50	0.91	1.00		28.60
2006					27.80	37.40	3.21	6.00		25.60
2007					16.00	14.20	1.00	4.00		20.50
2008					22.60	14.70	1.90	0.80		23.80
2009					16.40	15.90	2.20	0.30		
2010						23.80				

En la Figura Nº 4.1 se muestra las estaciones consideradas para los siguientes análisis que van a ser aplicado en el software HEC-HMS.

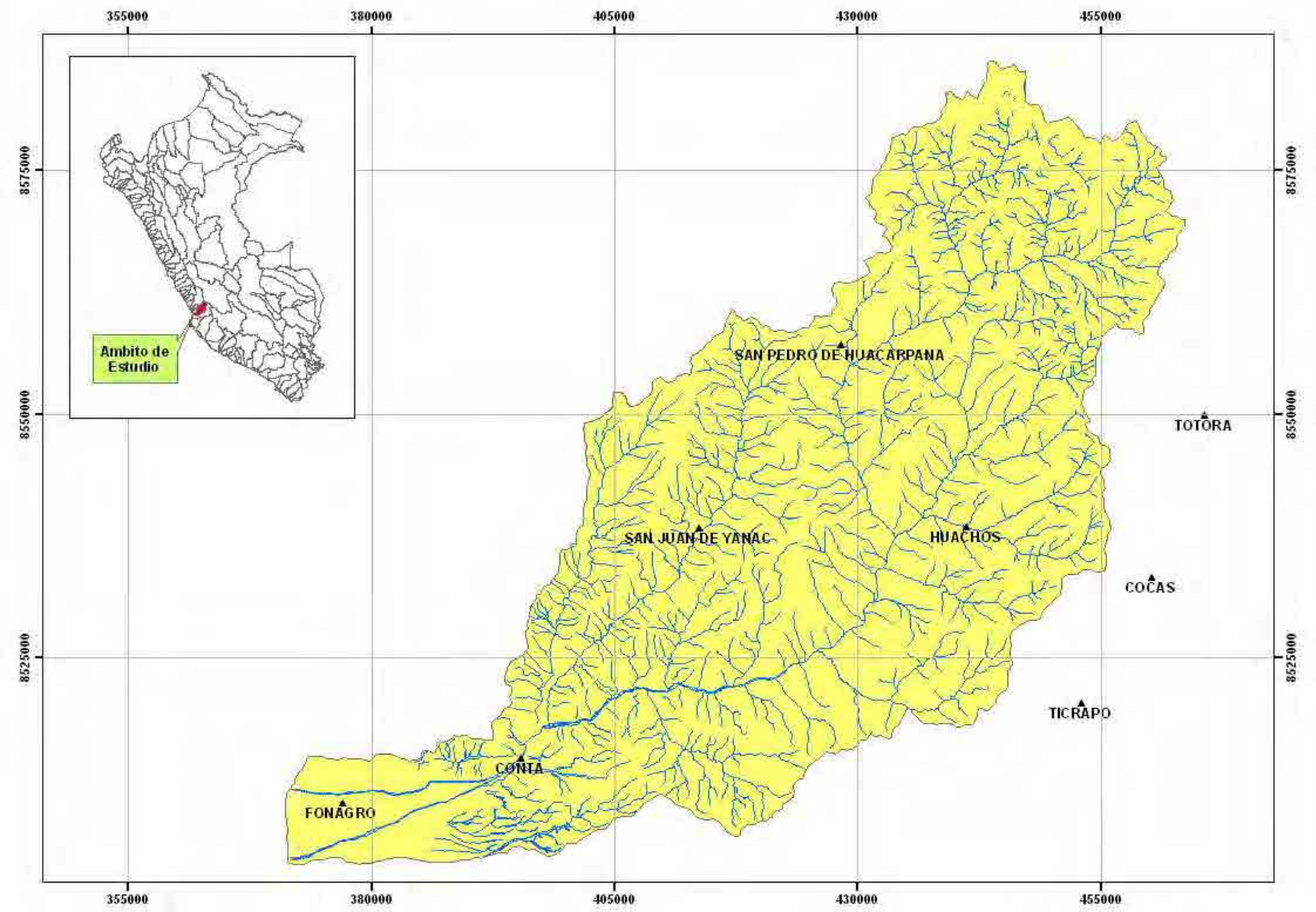


Figura Nº 4.1. Estaciones Pluviométricas consideradas para la aplicación del Software HEC-HMS

Cada serie de precipitación máxima anual de las ocho (8) estaciones pluviométricas seleccionadas van ser ajustadas a un tipo de distribución, por lo que a continuación se describe las funciones de distribución mas comunes que se aplica a los estudios hidrológicos de eventos extremos.

4.2.2.1 Funciones de Distribución

A continuación se describe las funciones de distribución:

1. Distribución Normal ó Gaussiana

   Se dice que una variable aleatoria X, tiene una distribución normal, si su función densidad es,

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi S}} EXP\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x - X}{S}\right)^2\right]$$

   Para $-\infty < x < \infty$

   Donde:

   f(x) = Función densidad normal de la variable x.

   x = Variable independiente.

   X = Parámetro de localización, igual a la media aritmética de x.

   S = Parámetro de escala, igual a la desviación estándar de x.

   EXP = Función exponencial con base e, de los logaritmos neperianos.

2. Distribución Log – Normal de Dos Parámetros

   Cuando los logaritmos, ln(x), de una variable x están normalmente distribuidos, entonces se dice que la distribución de x sigue la distribución de probabilidad log – normal en que la función de probabilidad log – normal f(x) viene representado como:

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma_y\sqrt{2\pi S}} EXP\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{\ln x - \mu_y}{\sigma_y}\right]^2\right\}$$

   Para $0<x<\infty$, se tiene que $x \sim \log N(\mu_y, \sigma_y 2)$

Donde:

μ_y, σ_y = Son la media y desviación estándar de los logaritmos naturales de x, es decir de ln(x), y representan respectivamente, el parámetro de escala y el parámetro de forma de la distribución.

3. Distribución Log – Normal de Tres Parámetros

Muchos casos el logaritmo de una variable aleatoria x, del todo no son normalmente distribuido, pero restando un parámetro de límite inferior x_o, antes de tomar logaritmos, se puede conseguir que sea normalmente distribuida.

La función de densidad, de la distribución log – normal de tres parámetros, es:

$$f(x) = \frac{1}{(x - x_o)\sigma_y\sqrt{2\pi}} EXP\left\{-\frac{1}{2}\left[\frac{ln(x - x_o) - \mu_y}{\sigma_y}\right]^2\right\}$$

Para $x_o \leq x < \infty$

Donde:

x_o = Parámetro de posición en el dominio x.

μ_y, = Parámetro de escala en el dominio x.

σ_y^2 = Parámetro de forma en el dominio x

4. Distribución Gamma de Dos Parámetros

Se dice que una variable aleatoria X, tiene una distribución gamma de 2 parámetros si su función densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{x^{\gamma-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\beta^{\gamma}\Gamma_{\gamma}}$$

Para

$0 \leq x < \infty$

$0 < y < \infty$

$0 < \beta < \infty$

Siendo:

γ = Parámetro de forma (+)

β = Parámetro de escala (+)

$\Gamma_{(\gamma)}$ = Función gamma completa, definida como:

$\Gamma_{(\gamma)} = \int x^{\gamma-1} e^{-x} dx$, que converge si $\gamma > 0$

5. Distribución Gamma de Tres Parámetros o Pearson Tipo III

La distribución Log Pearson tipo 3 (LP3) es un modelo muy importante dentro de la hidrología estadística, sobre todo, luego de las recomendaciones del Consejo de Recursos Hidráulicos de los Estados Unidos (Water Resources Council – WRC), para ajustar la distribución Pearson tipo 3 (LP3) a los logaritmos de las máximas avenidas. Pues, la distribución LP3, es una familia flexible de tres parámetros capaz de tomar muchas formas diferentes, por consiguiente es ampliamente utilizado en el modelamiento de series anuales de máximas avenidas de los datos no transformados.

Se dice que una variable aleatoria X, tiene una distribución gamma de 3 parámetros o distribución Pearson Tipo III, si su función densidad de probabilidad es:

$$f(x) = \frac{(x - x_0)^{\gamma-1} e^{\frac{(x - x_0)}{\beta}}}{\beta^{\gamma} \Gamma_{\gamma}}$$

Para

$x_0 \leq x < \infty$

$-\infty < x_0 < \infty$

$0 < \beta < \infty$

$0 < \gamma < \infty$

4.2.2.2 Calculo de Ajuste y Periodo de Retorno para las Precipitaciones Máximas en 24 Horas

El análisis de frecuencia de la precipitación máxima en 24 horas de cada estacion (ver Cuadro Nº 4.2) se ha efectuado con el Software Hidrológico de Eventos Extremos "CHAC" (Software elaborado por el CEDEX – España), este software calcula la precipitación máxima en 24 horas para diferentes períodos de retorno considerando las funciones de distribución de probabilidades como: la Normal, la Log – Normal de 2 ó 3 parámetros, la Gamma de 2 ó 3 parametros, la Log – Pearson III, la Gumbel, la Log – Gumbel y Valores Extremo Generalizados.

La informacion generada para cada funcion de distribucion se elije la de que tiene mejor ajuste mediante la prueba de bondad de Kolmogórov – Smirnov y los periodos de retorno considerados para el presente estudios es de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

4.2.2.3 Selección de Distribución Teórica con mejor Ajuste a la Serie de Precipitaciones Máximas en 24 Horas

Según el análisis efectuado con el software CHAC observamos que los datos se ajustan a la función de distribución de Valores Extremos Generalizados (GEV), según el coeficiente de distribución, ver Cuadro Nº 4.3. Los valores de cada estación pluviométrica y para cada periodo de retorno se muestran en el Cuadro Nº 4.4.

Cuadro Nº 4.3. Coeficiente de Determinación para cada Función de Distribución y para cada Estación Pluviométrica

Estacion	Coeficiente de Determinacion para cada Funcion de Distribucion				
	Log Pearson III	GEV	SQRT	Gumbel	Log-Normal
Totora	0.88	0.97	0.91	0.90	0.87
Ticrapo	0.80	0.95	0.88	0.90	0.93
Cocas	0.82	0.95	0.89	0.93	0.92
San Pedro de Huacarpana	0.89	0.95	0.91	0.90	0.93
San Juan de Yanac	0.93	0.94	0.92	0.92	0.91
Fonagro (Chincha)		0.95	0.93	0.93	0.92
Conta	0.93	0.95	0.92	0.92	0.89
Villa de Armas	0.90	0.92	0.89	0.90	0.92
Huachos	0.92	0.93	0.92	0.90	0.90

Cuadro Nº 4.4. Precipitaciones Máxima en 24 Horas para cada Periodo de Retorno

NOMBRE DE ESTACION	PERIODO DE RETORNO T [AÑOS]						
	PT_2	PT_5	PT_10	PT_25	PT_50	PT_100	PT_200
COCAS	22.0	30.0	34.0	38.0	40.0	42.0	43.0
CONTA	1.0	2.0	4.0	6.0	9.0	13.0	18.0
FONAGRO	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	7.0	8.0
HUACHOS	24.0	31.0	36.0	42.0	48.0	53.0	59.0
SAN JUAN DE YANAC	11.0	18.0	23.0	30.0	34.0	39.0	44.0
SAN PEDRO DE HUACARPANA	23.0	29.0	32.0	35.0	36.0	37.0	38.0
TICRAPO	20.0	31.0	37.0	45.0	50.0	55.0	60.0
TOTORA	24.0	29.0	32.0	36.0	38.0	40.0	42.0

Con la información mostrada en el Cuadro Nº 4.4., y con la herramienta IDW (Inverse Distance Weighted) de Interpolate to Raster del modulo Spatial Analyst del software ArcGIS se ha generado la distribución espacial de la precipitación para cada periodo de retorno.

Para la generación de los mapas de isoyetas se ha empleado la herramienta Contour de Surface Analysis del modulo Spatial Analyst del software ArcGIS, cuyos resultados se muestra en las Figuras Nº 4.2. al 4.7.

A partir de los mapas de isoyetas para cada periodo de retorno se ha estimado la precipitacion maxima para el area de la cuenca delimitada para el Punto Base (Estacion Conta), la metodologia y los resultados se describe en el item 4.2.2.4.

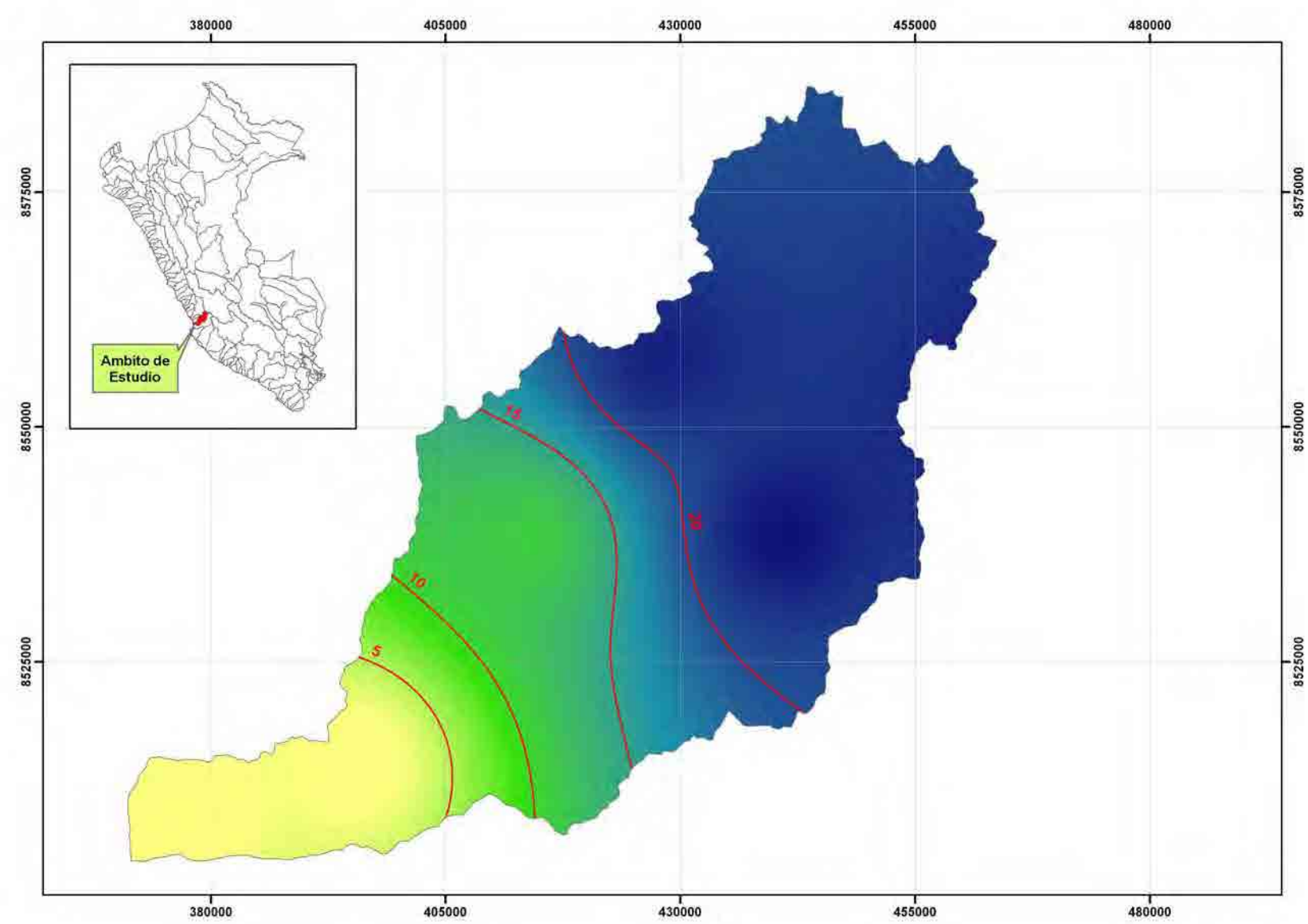


Figura Nº 4.2. Isoyetas de la Precipitación Máxima en 24 –Horas para un Periodo de Retorno de 2 años en la cuenca del río Chincha.

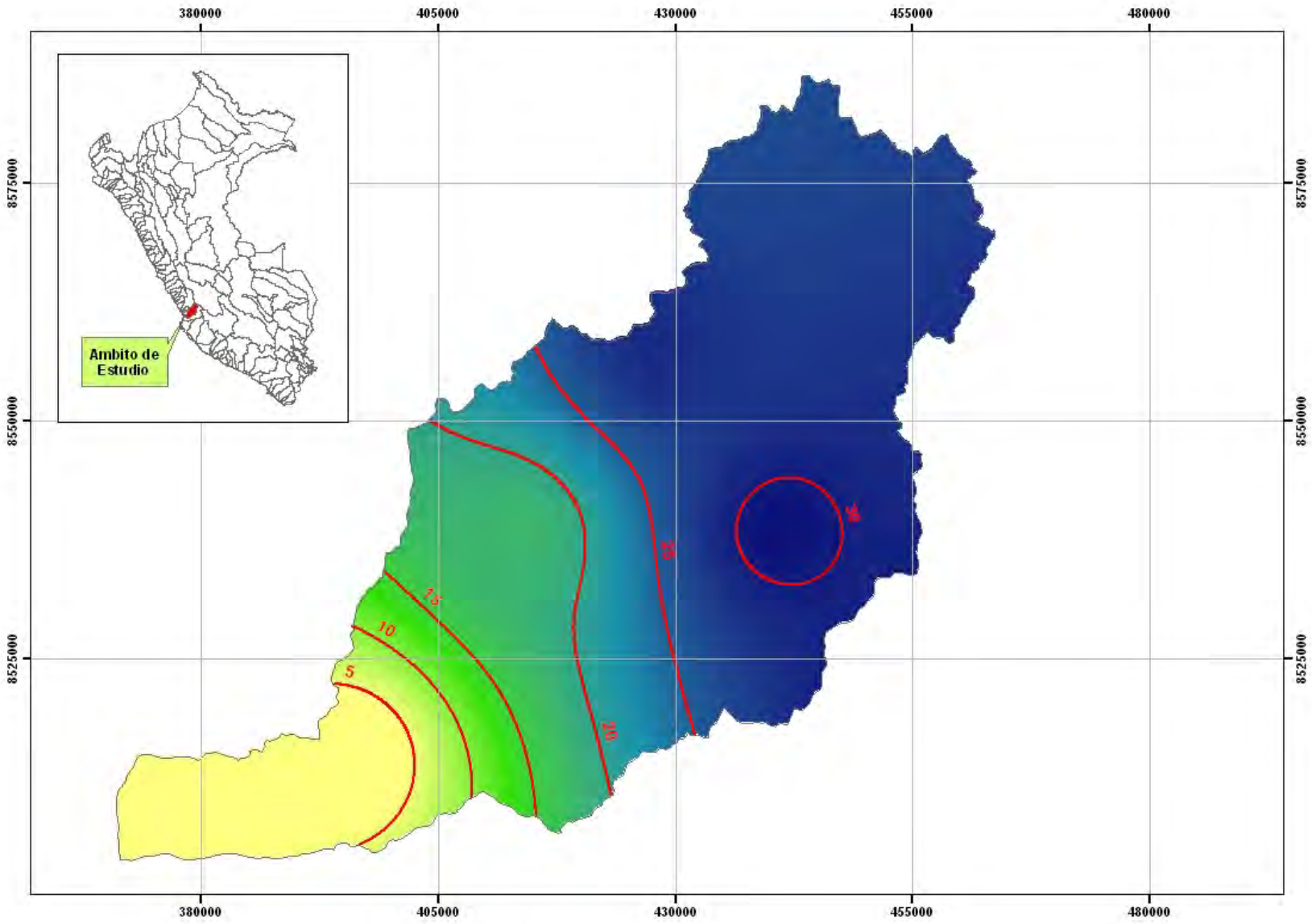


Figura Nº 4.3. Isoyetas de la Precipitación Máxima en 24 –Horas para un Periodo de Retorno de 5 años en la cuenca del río Chincha.

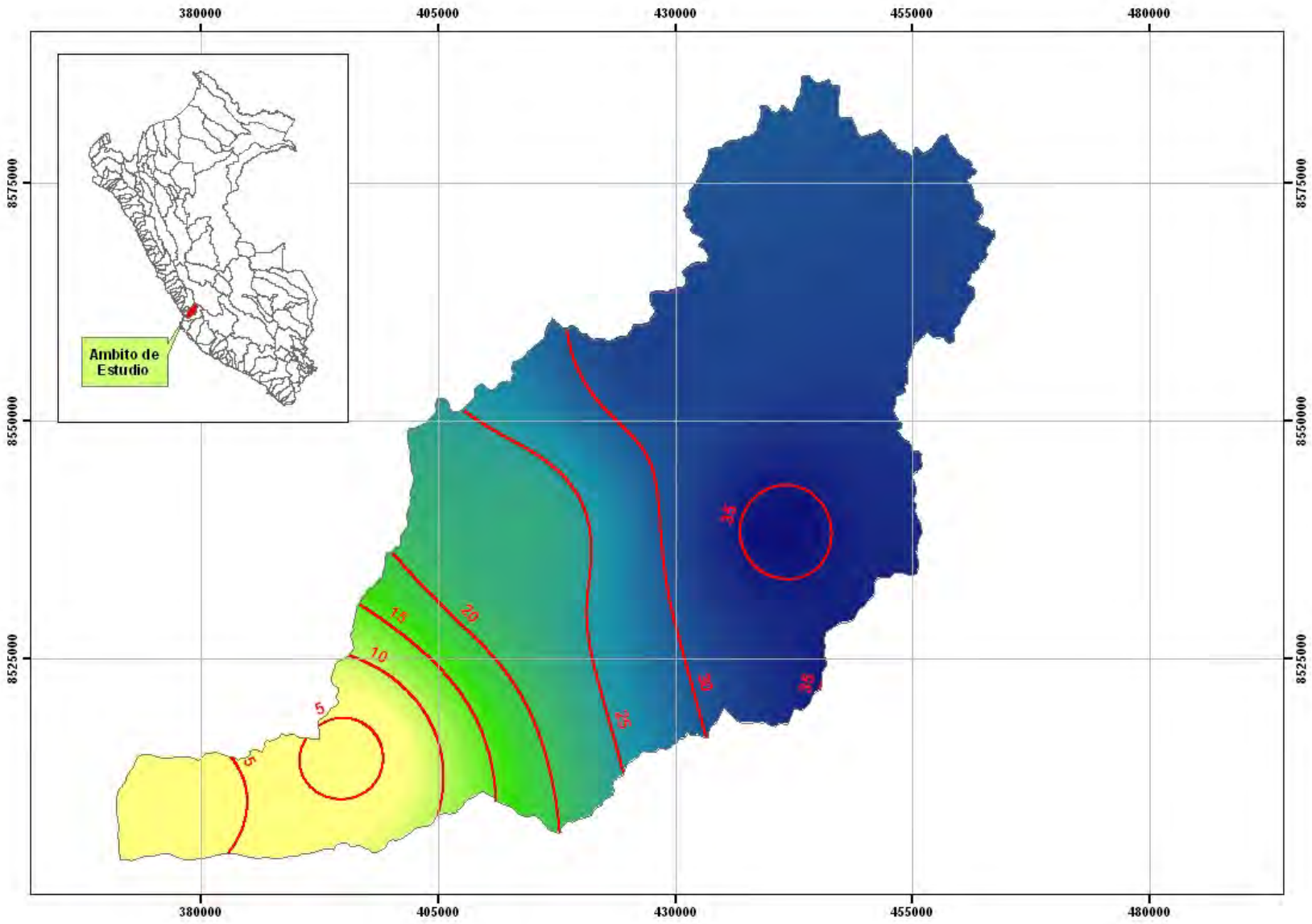


Figura Nº 4.4. Isoyetas de la Precipitación Máxima en 24 –Horas para un Periodo de Retorno de 10 años en la cuenca del río Chincha

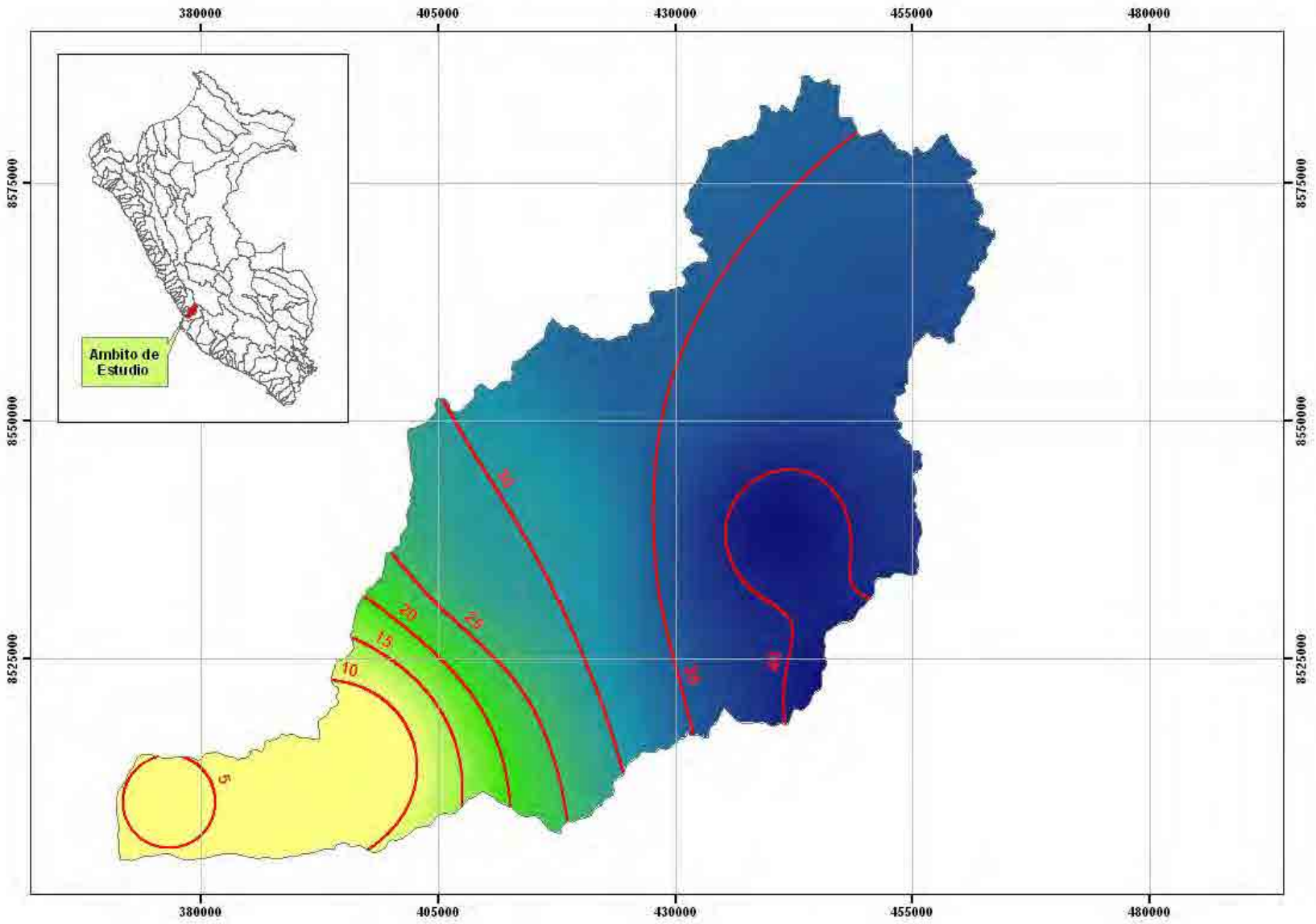


Figura Nº 4.5. Isoyetas de la Precipitación Máxima en 24 –Horas para un Periodo de Retorno de 25 años en la cuenca del río Chincha

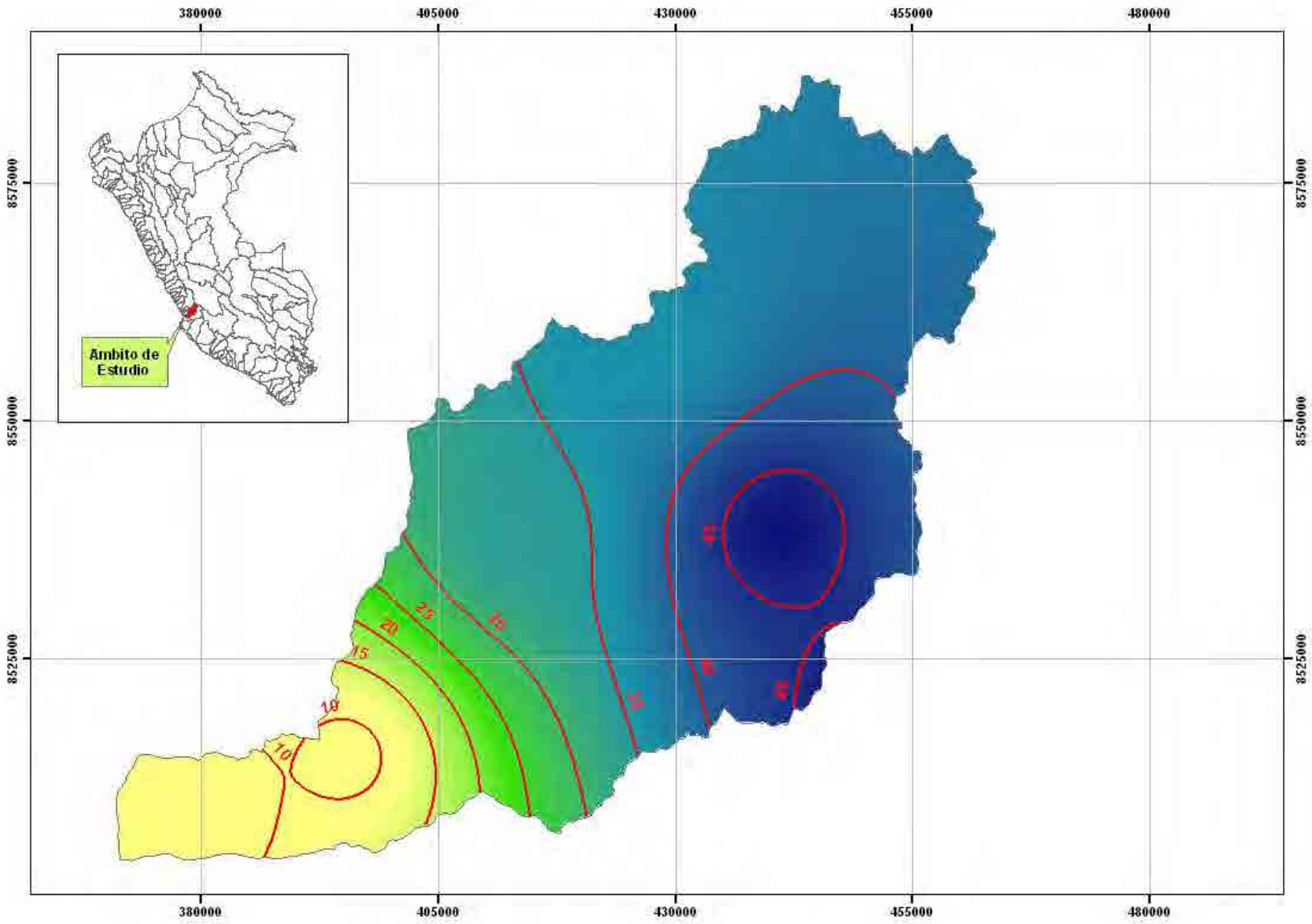


Figura Nº 4.6. Isoyetas de la Precipitación Máxima en 24 –Horas para un Periodo de Retorno de 50 años en la cuenca del río Chincha

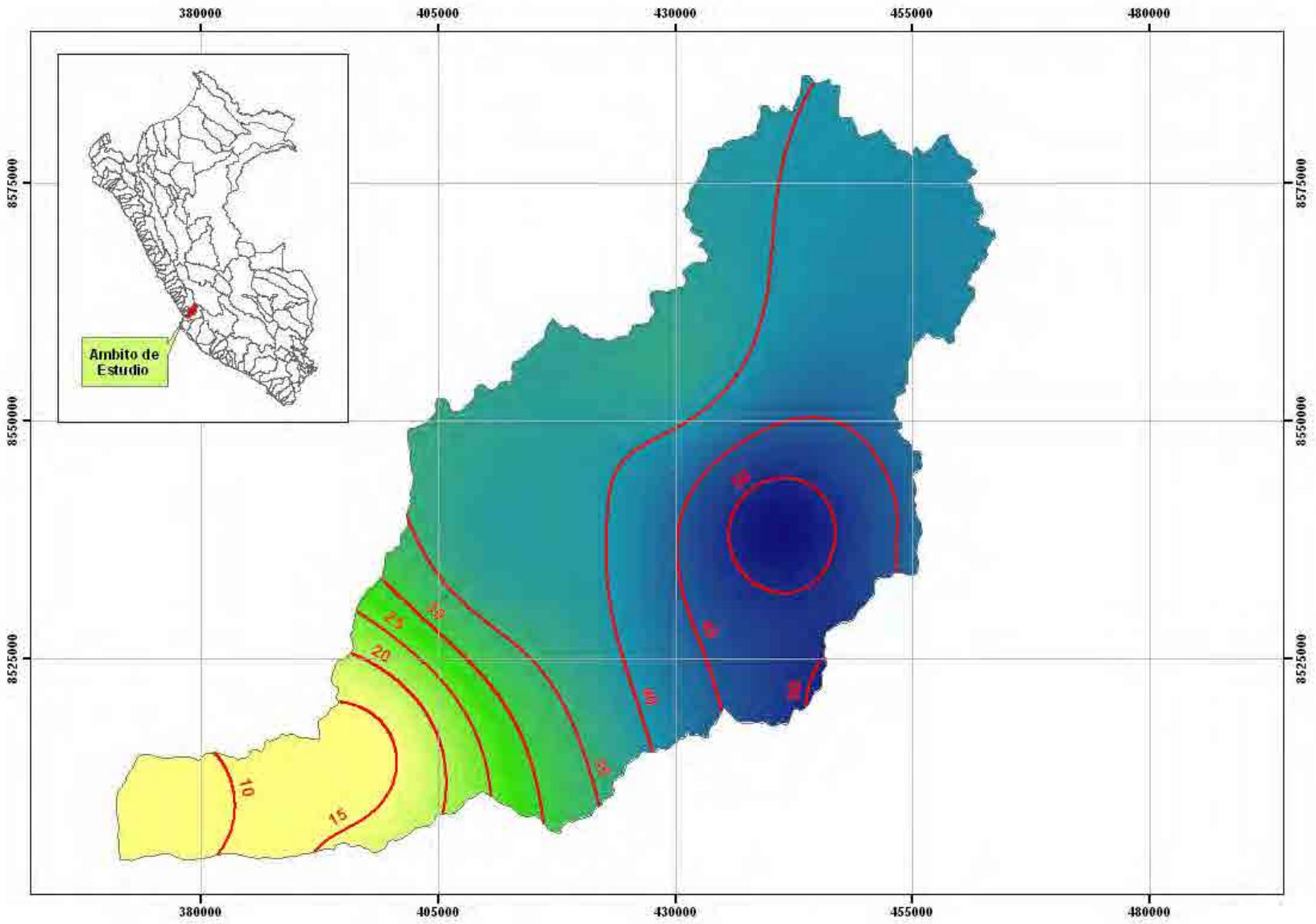


Figura Nº 4.7. Isoyetas de la Precipitación Máxima en 24 –Horas para un Periodo de Retorno de 100 años en la cuenca del río Chincha

4.2.2.4 Determinación de Precipitaciones Máximas en 24 Horas para Diferentes Periodos de Retorno en el Punto Base

A partir de los mapas de isoyetas para cada periodo de retorno (2, 5, 10, 25, 50 y 100 años) y con la herramienta Zonal Statistics del modulo Spatial Analyst del software ArcGIS se ha calculado la precipitacion areal maxima de 24 horas en el punto base (estacion Conta) para cada periodo de retorno, los resultados se muestran en el Cuadro Nº 4.5.

Cuadro Nº 4.5. Precipitaciones Areales Máximas en 24 Horas en el Punto Base (Estación Conta) para cada Periodo de Retorno

T [Años]	Pp Areal Max 24 Horas [mm]
2	17.00
5	23.40
10	27.39
25	32.22
50	35.56
100	39.06

4.2.2.5 Determinación de Precipitaciones Máximas en 24 Horas para Diferentes Periodos de Retorno en las Subcuencas del río Chincha

Adicionalmente al estudio hidrológico de los caudales máximos del río Chincha se requiere estimar las precipitaciones máximas en 24 Horas para diferentes periodos de retorno en las subcuencas del río Chincha. Esta ha sido estimada en base a los mapas de isoyetas mostrados en las Figuras Nº 4.2. a 4.7 y a la metodología descrita brevemente en el ítem 4.2.2.4.

En la Figura Nº 4.8, se muestra las subcuencas del río Chincha a las que se ha estimado las precipitaciones máximas para cada periodo de retorno y para cada subcuenca cuyos resultados se muestra en el Cuadro Nº 4.6.

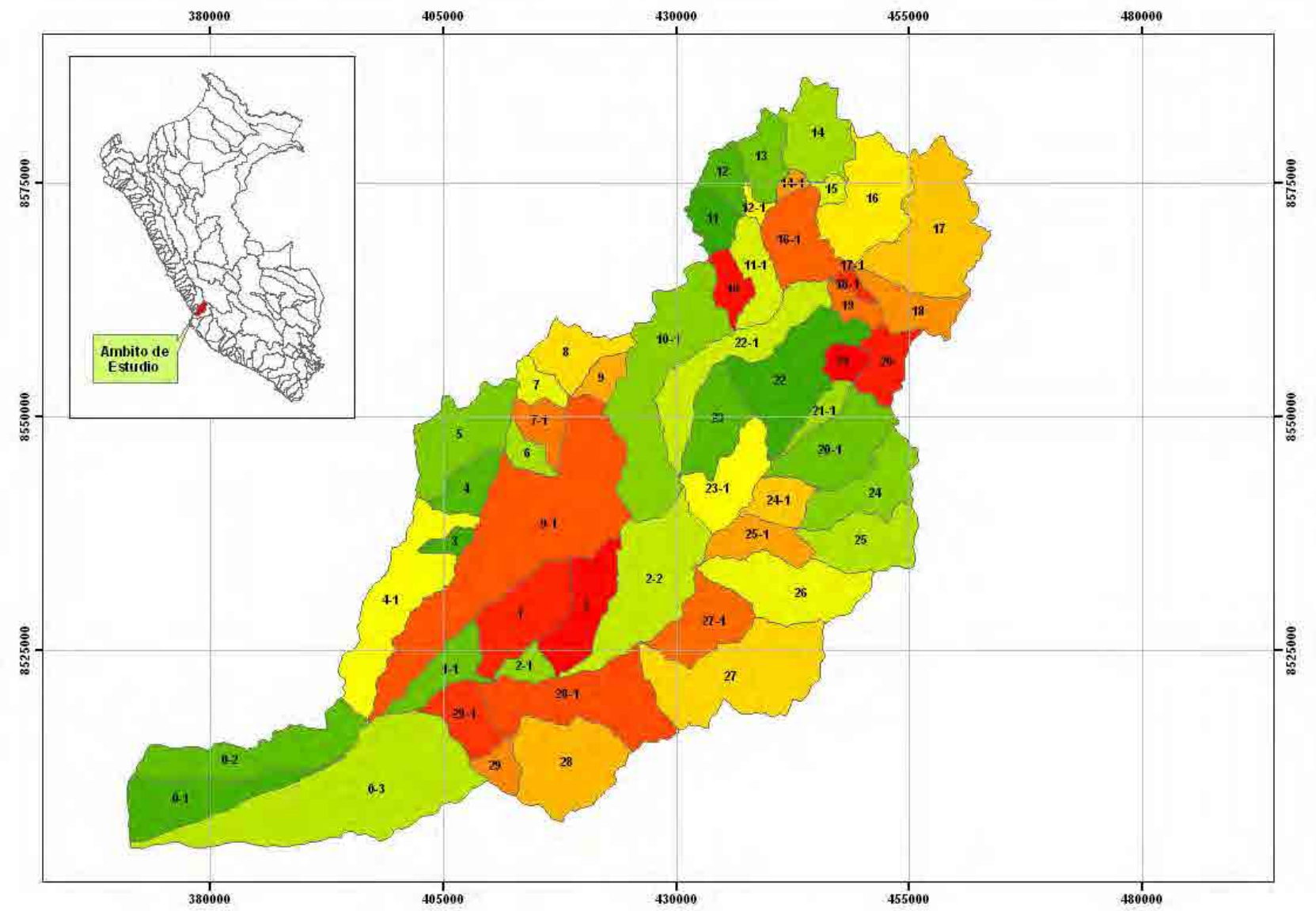


Figura Nº 4.8. Subcuenca del río Chincha

Cuadro Nº 4.6. Precipitaciones para Diferentes Periodos de Retorno en cada Subcuenca del río Chincha

SUBCUENCA	AREA [m²]	PERIODO DE RETORNO T [AÑOS]					
		PT_2	PT_5	PT_10	PT_25	PT_50	PT_100
0-1	72,853,800	1.5	2.6	3.9	5.1	6.5	8.8
0-2	95,339,100	1.6	2.8	4.4	6.1	8.1	11.1
0-3	241,533,000	2.7	4.4	6.4	8.6	11.2	14.7
1	73,531,600	11.7	17.8	22.1	27.8	31.5	35.9
10	22,517,800	21.7	27.9	31.3	35.1	37.1	39.0
10-1	158,721,000	21.1	27.3	30.9	34.8	36.8	38.9
11	26,871,500	21.0	27.2	30.7	34.7	36.9	39.1
1-1	39,902,900	7.2	10.8	13.9	17.7	20.9	24.8
11-1	38,959,800	21.4	27.7	31.2	35.2	37.5	39.7
12	24,616,300	20.5	26.8	30.4	34.6	37.0	39.4
12-1	6,292,700	20.8	27.1	30.7	34.9	37.3	39.7
13	35,532,500	20.5	26.7	30.4	34.7	37.2	39.8
14	61,041,700	20.4	26.7	30.4	34.8	37.5	40.2
14-1	6,477,230	20.7	27.0	30.7	35.0	37.6	40.1
15	8,361,510	20.8	27.1	30.8	35.2	37.9	40.6
16	89,357,900	21.0	27.3	31.0	35.5	38.2	40.9
16-1	61,093,700	21.1	27.4	31.1	35.4	37.9	40.5
17	129,350,000	21.5	27.7	31.4	35.9	38.6	41.3
17-1	19,473	21.4	27.7	31.4	35.9	38.6	41.3
18	41,751,000	22.0	28.2	31.8	36.3	39.0	41.6
18-1	7,304,390	21.5	27.8	31.6	36.0	38.8	41.5
19	16,081,300	21.6	28.0	31.7	36.2	39.0	41.7
2	60,158,900	13.8	20.2	24.6	30.3	34.1	38.4
20	34,374,300	22.1	28.4	32.2	36.8	39.7	42.5
20-1	78,404,600	22.4	29.2	33.6	38.7	42.8	46.4
21	16,100,800	21.8	28.3	32.2	36.8	39.9	42.8
2-1	16,088,800	11.6	17.1	21.0	25.9	29.4	33.5
21-1	16,247,300	22.0	28.7	32.9	37.9	41.6	45.0
22	102,595,000	21.8	28.3	32.2	36.8	39.9	42.8
2-2	127,871,000	17.6	24.3	28.7	34.3	38.3	42.4
22-1	86,095,700	21.7	28.0	31.5	35.5	37.6	39.8
23	53,727,200	21.6	28.1	31.9	36.4	39.3	42.1
23-1	58,386,900	22.0	28.9	33.4	38.8	43.3	47.4
24	61,672,300	22.5	29.6	33.9	39.1	43.1	46.7
24-1	30,060,500	23.6	30.6	35.5	41.3	47.0	51.8
25	63,550,100	22.3	29.8	34.3	39.6	43.5	47.2
25-1	39,100,800	23.2	30.2	35.1	40.9	46.5	51.2
26	90,912,100	22.0	29.5	34.3	40.1	44.9	49.2
27	145,480,000	19.3	27.1	31.8	37.7	42.0	46.1
27-1	59,892,800	19.6	26.7	31.3	37.0	41.3	45.5
28	99,243,900	12.0	17.2	20.9	25.3	28.7	32.6
28-1	115,811,000	13.5	19.3	23.3	28.2	31.8	35.8
29	18,457,100	8.3	12.1	15.2	18.8	22.0	25.8
29-1	39,563,500	6.9	10.3	13.2	16.7	19.8	23.7
3	10,377,500	11.4	17.7	22.2	28.3	31.9	36.5
4	29,705,300	12.1	18.7	23.3	29.5	33.2	37.8
4-1	113,323,000	8.1	12.3	15.7	20.0	23.3	27.3
5	77,743,400	13.7	20.0	24.2	29.8	33.2	37.2
6	16,818,500	13.4	20.1	24.6	30.7	34.2	38.5
7	18,266,100	17.5	23.8	27.7	32.4	35.1	38.2
7-1	26,661,000	15.5	22.0	26.2	31.6	34.8	38.5
8	43,345,000	20.2	26.3	29.8	33.8	35.8	38.0
9	17,234,000	21.0	27.2	30.6	34.3	36.1	38.0
9-1	279,704,000	12.0	18.0	22.3	28.0	31.5	35.8

4.2.3 Análisis de Descargas Máximas Diarias

Para el análisis de máximas descargas diarias del río Chincha se empleó la información de la estación hidrométrica Conta. Esta estación tiene un área de contribución de 2981.5 km^2. En la Figura 3.21 se muestra su ubicación en el ámbito de la cuenca del río Chincha.

La Dirección General de Infraestructura Hidráulica (DGIH) del Ministerio de Agricultura ha proporcionado la información de descargas máximas diarias anuales de la estación Conta cuyos valores se muestran en el Cuadro Nº 4.7.

Cuadro Nº 4.7. Descargas Máximas Diarias de la estación Conta, río Chincha (m3/s)

AÑO	SENAMHI	JUNTA DE USUARIOS			Combinados
	Total	Rio Chico	Rio Matagente	Total	
1950	155.43	-	-	-	155.43
1951	395.75	-	-	-	395.75
1952	354.00	-	-	-	354.00
1953	1,268.80	-	-	-	1,268.80
1954	664.40	-	-	-	664.40
1955	241.45	-	-	-	241.45
1956	227.83	-	-	-	227.83
1957	226.53	-	-	-	226.53
1958	88.36	35.34	53.02	88.36	88.36
1959	301.42	120.57	180.85	301.42	301.42
1960	245.17	98.07	147.10	245.17	245.17
1961	492.83	197.13	295.69	492.82	492.82
1962	395.06	158.02	237.03	395.05	395.05
1963	337.84	135.14	202.70	337.84	337.84
1964	66.95	26.78	40.17	66.95	66.95
1965	154.12	61.65	92.47	154.12	154.12
1966	139.13	55.65	83.48	139.13	139.13
1967	1,202.58	481.03	721.55	1,202.58	1,202.58
1968	43.92	17.57	26.35	43.92	43.92
1969	72.14	28.86	43.28	72.14	72.14
1970	271.57	108.63	162.94	271.57	271.57
1971	497.84	199.13	298.71	497.84	497.84
1972	784.16	313.66	470.50	784.16	784.16
1973	137.53	55.01	82.52	137.53	137.53
1974	215.66	86.26	129.40	215.66	215.66
1975	246.87	98.75	148.12	246.87	246.87
1976	311.13	124.45	186.68	311.13	311.13
1977	97.10	38.84	58.26	97.10	97.10
1978	33.00	13.20	19.80	33.00	33.00
1979	51.90	20.76	31.14	51.90	51.90
1980	33.70	13.48	20.22	33.70	33.70
1981	83.95	33.58	50.37	83.95	83.95
1982	183.60	73.44	110.16	183.60	183.60
1983	81.20	32.48	48.72	81.20	81.20
1984	292.87	117.15	175.72	292.87	292.87
1985	71.42	51.88	77.82	129.70	129.70
1986	106.26	46.00	69.00	115.00	115.00
1987	-	42.00	63.00	105.00	105.00
1988	-	28.51	42.76	71.27	71.27
1989	-	71.38	107.07	178.45	178.45
1990	24.34	9.74	14.60	24.34	24.34
1991	-	41.00	61.49	102.49	102.49
1992	-	5.95	8.92	14.87	14.87
1993	-	51.73	77.59	129.32	129.32
1994	-	75.61	113.41	189.02	189.02
1995	-	121.47	182.21	303.68	303.68
1996	-	49.85	74.77	124.62	124.62
1997	-	10.60	15.89	26.49	26.49
1998	-	112.00	168.00	280.00	280.00
1999	-	165.74	248.61	414.35	414.35

2000	-	114.93	172.39	287.32	287.32
2001	-	81.72	122.59	204.31	204.31
2002	-	47.65	71.48	119.13	119.13
2003	-	52.38	78.57	130.95	130.95
2004	-	63.73	95.60	159.33	159.33
2005	-	14.24	21.36	35.60	35.60
2006	-	62.48	93.72	156.20	156.20

Estos valores han sido analizados con las distintas funciones de distribución que se describe en el ítem 4.2.1.1. y mediante la prueba de Kolmogorov – Smirnov se ajusta mejor a la distribución Log – Normal de 3 parámetros. Los resultados se muestran en el Cuadro Nº 4.8.

Cuadro Nº 4.8. Descargas Máximas para cada Periodo de Retorno, en la estación Conta, río Chincha (m3/s)

Periodo de Retorno (Años)	Caudal Máximo
2	178.60
5	378.22
10	535.94
25	762.80
50	951.24
100	1,155.95

4.2.4 Modelo de Simulación, Aplicación del Software HEC-HMS

4.2.4.1 Modelo Hidrológico

<u>Tiempo de Concentración y Tiempo de Viaje</u>

Se ha empleado el modelo del Hidrograma Unitario Sintético del USDA/SCS, se calcularon los parámetros siguientes:

Tiempo de Concentración (Tc) con la fórmula de Bransby – Williams:

$$Tc = 0{,}95*(L^3/H)^{0{,}385}$$

Donde:

L = El Mayor Recorrido de la gota de lluvia en el cauce principal (Km)

H = Desnivel (m)

Tc = Tiempo de Concentración (Hr)

Tiempo de Viaje (Tv) = 0,6*Tc

Cuadro Nº 4.9. Tiempo de Concentración y de Viaje para el Punto Base (estación Conta)

L =	121.25	Km
H =	4,402.00	Mts
Tc =	**9.58**	Hrs
Tv =	**5.75**	Hrs

Duración de la Lluvia de Diseño

Debido a que la información de precipitación proporcionada por SENAMHI se encuentra a nivel diario, no es posible saber la duración de las tormentas correspondientes. Por este motivo, basado en información de duración de tormentas en Perú mencionadas en el "Estudio de la Hidrología del Perú" (Referencia "d"), se adoptó una duración de tormenta de 10 horas.

Este valor excede el tiempo de concentración de 9.58 horas calculado en el item previo, esto indica que los valores pico a ser estimados en la estación hidrométrica Conta corresponderán a la contribución simultánea de la escorrentía proveniente de la cuenca del río Chincha hasta la ubicación de la estación hidrométrica Conta.

Magnitud de la Lluvia de Diseño

La magnitud de las lluvias de diseño para una duración de 10 horas fue calculada usando la ecuación de Dick y Peschke (Referencia "c") que permite estimar la magnitud de la lluvia para una determinada duración de tormenta a partir de la magnitud de la lluvia correspondiente a una duración de 24 horas. Los cálculos de la magnitud de las lluvias de diseño utilizaron los valores de precipitaciones máximas en 24 horas mostrados en la Tabla 4.5 que corresponden a lluvias medias areales de la cuenca hasta la estación Conta.

Ecuacion de Dick y Peschke:

$$Pd = Pd_{24} * (Tc/1440)^{0,25}$$

Donde:

Pd = Precipitacion maxima para una duracion d

Pd_{24}= Precipitacion maxima de 24 horas

Tc= Tiempo de Concentracion (minutos)

Cuadro Nº 4.10. Precipitaciones Máximas, según la ecuación de Dick - Peschke

T [Años]	Pp Areal Max 24 Horas [mm]	Pp Max, [mm]
2	17.00	13.66
5	23.40	18.80
10	27.39	22.01
25	32.22	25.89
50	35.56	28.57
100	39.06	31.38

Las precipitaciones máximas diarias para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años son de 17, 23, 27, 32, 36 y 39 mm respectivamente, y para una duración de tormenta de 10 horas le corresponden precipitaciones de 14, 19, 22, 26, 29 y 31 mm respectivamente.

En el estudio citado en párrafos anteriores (Estudio de la Hidrología del Perú, 1982), para una frecuencia de intervalos de 1 hora en una duración de tormenta máxima para 10 horas, se tiene la distribución de intensidades, ver Cuadro Nº 4.11.

Cuadro Nº 4.11. Hietograma para diferentes Periodos de Retorno

Periodo de Retorno [Años]	Hora										Precipitación Total [mm]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
2	1	1	2	3	2	2	1	1	1	1	13.66
5	1	2	2	4	3	2	2	2	1	1	18.80
10	1	2	3	4	3	3	2	2	1	1	22.01
25	1	2	3	5	4	3	3	2	2	1	25.89
50	1	3	4	5	4	3	3	2	2	1	28.57
100	2	3	4	6	4	4	3	3	2	1	31.38

Elección del Número de Curva

Cuando se tiene registros de hidrogramas de máximas avenidas y hietogramas de tormentas que ocurrieron en el mismo periodo de

tiempo, los números de curva pueden ser estimados mediante calibración.

Típicamente, la selección del número de curva (CN) se realiza basándose en grupo hidrológico del suelo y en la descripción del uso de terreno. Los grupos hidrológicos que considera la metodología son:

Grupo A: Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.

Grupo B: Suelos poco profundos depositados por el viento, marga arenosa.

Grupo C: Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con alto contenido de arcilla.

Grupo D: Suelos expansivos, arcillas altamente plásticas.

En el Cuadro Nº 4.12 se presentan los números de curva CN en función de los grupos hidrológicos del suelo y el uso del terreno,.

Cuadro Nº 4.12. Numero de Curva (CN) en Función del Uso del Suelo y del Grupo Hidrológico del Suelo

Uso del Suelo			Grupo hidrológico del suelo			
			A	B	C	D
Tierras cultivadas	sin tratamiento de conservación		72	81	88	91
	con tratamiento de conservación		62	71	78	81
Pastizales	condiciones pobres		68	79	86	89
	condiciones óptimas		39	61	74	80
Praderas (Vegas de ríos: condiciones óptimas)			30	58	71	78
Bosques	troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas		45	66	77	83
	cubierta buena		25	55	70	77
Espácios abiertos, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.	óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más		39	61	74	80
	condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%		49	69	79	84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)			89	92	94	95
Zonas industriales (72% impermeables)			81	88	91	93
Zonas residenciales	Tamaño lote (m^2)	% impermeable				
	500	65	77	85	90	92
	1000	38	61	75	83	87
	1350	30	57	72	81	86
	2000	25	54	70	80	85
	4000	20	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.			98	98	98	98
Calles y carreteras	pavimentados con cunetas y alcantarillados		98	98	98	98
	grava		76	85	89	91
	tierra		72	82	87	89

Según el uso de la tierra y adoptando el Grupo C Hidrológico del suelo para toda la cuenca, inicialmente se adoptó un número de curva medio areal de 85.5 para la Cuenca de Chincha. En el Cuadro 4.13 se muestran los porcentajes estimados del uso de suelo con sus respectivos valores de números de curva para el río Cincha.

Cuadro Nº 4.13. Estimación del Valor del Numero de Curva (CN) inicial para la calibración del Modelo HEC-HMS

Uso del Suelo		%	CN
Tierras Cultivadas	Sin Tratamiento de Consevacion	40.00	88.0
	Con Tratamiento de Consevacion	5.00	78.0
Tierras Cultivadas	Condicones Pobres	30.00	86.0
	Condicones Optimas	5.00	74.0
Praderas		4.00	71.0
Bosques	Troncos delgados	5.00	77.0
	Cubierta Buena	1.00	70.0
Area comerciales		1.00	94.0
Zonas Industriales		1.00	91.0
Zonas residensiales		5.00	81.0
Calles y carreteras	Pavimentadas con cunetas	1.00	98.0
	Grava	1.00	89.0
	Tierra	2.00	87.0
Curva de Numero de la Cuenca		100.00	**85.5**

Después del proceso de calibración el modelo HEC-HMS, este valor fue ajustado a 91

4.2.4.2 Modelamiento en el HEC – HMS

El centro de Ingeniería Hidrológica, del Cuerpo de Ingenieros del Ejercito de los EEUU, diseñó el programa de computación ***Sistema de Modelamiento Hidrológico* (HEC-HMS),** este provee una variedad de opciones para simular procesos de precipitación – escurrimiento y también transito de caudales entre otros (US Army, 2000).

El HEC-HMS comprende una interfaz gráfica para el usuario (GUI), componentes de análisis hidrológicos, capacidades para manejo y almacenamiento de datos, y facilidades para expresar los resultados mediante gráficas y reportes tabulados. La Guía provee los medios necesarios para especificar los componentes de la cuenca, para introducir los respectivos datos de estos componentes y para visualizar los resultados (Referencia “e”).

Modelo de cuenca Conta.- Para estimar las perdidas se utilizo el metodo del Numero se Curva de la SCS, para la trasnformación de la

precipitación efectiva en caudal se utilizo el metodo del Hidrograma Unitario de la SCS, adicionalmente como información básica para el modelo se conisdera el area de la cuenca de 2981 Km². Debido a las pequeñas descargas promedio generalmente observadas en el río Chincha se asumió que aquí no hay flujo base previo a la ocurrencia de máximas avenidas.

Modelo Metereológico.- De acuerdo a lo calculado en el item. Nº 3.2 Análisis de la Infromacion Pluviometrica y Ley de Frecuencias, se ingresan al modelo meteorológico los hietogramas para la avenida de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, para una duracion de tormenta de 10 horas.

Especificaciones de Control.- Para realizar la simulacion de la avenida se especifica una fecha de inicio y final dentro de este rango se presentaran los resultados de la simulacion y el hidrograma de avenida, para este caso la fecha de inicio es el 02 de febrero del 2010 a las 00:00 horas y la fecha de fin es el 04 de febrero del 2010 a las 12:00 pm.

Según las recomendaciones del Manual de Referencias Técnicas del modelo HEC-HMS, el mínimo intervalo de tiempo computacional se calcula como 0.29 veces el tiempo de retardo de la cuenca. Aproximando el tiempo de retardo como 0.6 veces el tiempo de concentración, se obtiene un tiempo de retardo de 5.75 horas y un mínimo intervalo de tiempo computacional de 1.67 horas. Con un criterio conservador se ha empleado un intervalo de tiempo computacional de 1 hora.

Calibración del Modelo. Dado que no existian registros simultaneos de hietogramas de tormentas e hidrogramas de caudales que permitirían calibrar los parámetros del modelo para efectuar predicciones, el modelo fue calibrado basado en información de las máximas descargas diarias estimadas.

El concepto de la calibración fue ajustar un número de curva que produzca valores de descargas pico similares a las máximas descargas

diarias estimadas. Siguiendo este procedimiento se obtuvo un número de curva de 91 para la cuenca.

En la Figura Nº 4.9 se muestra la cuenca considerada por el modelo HEC-HMS para la simulación. en las Figuras Nº 4.10 al 4.21 se muestran los resultados de las simulaciones para las avenidas de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años de periodo de retorno. .

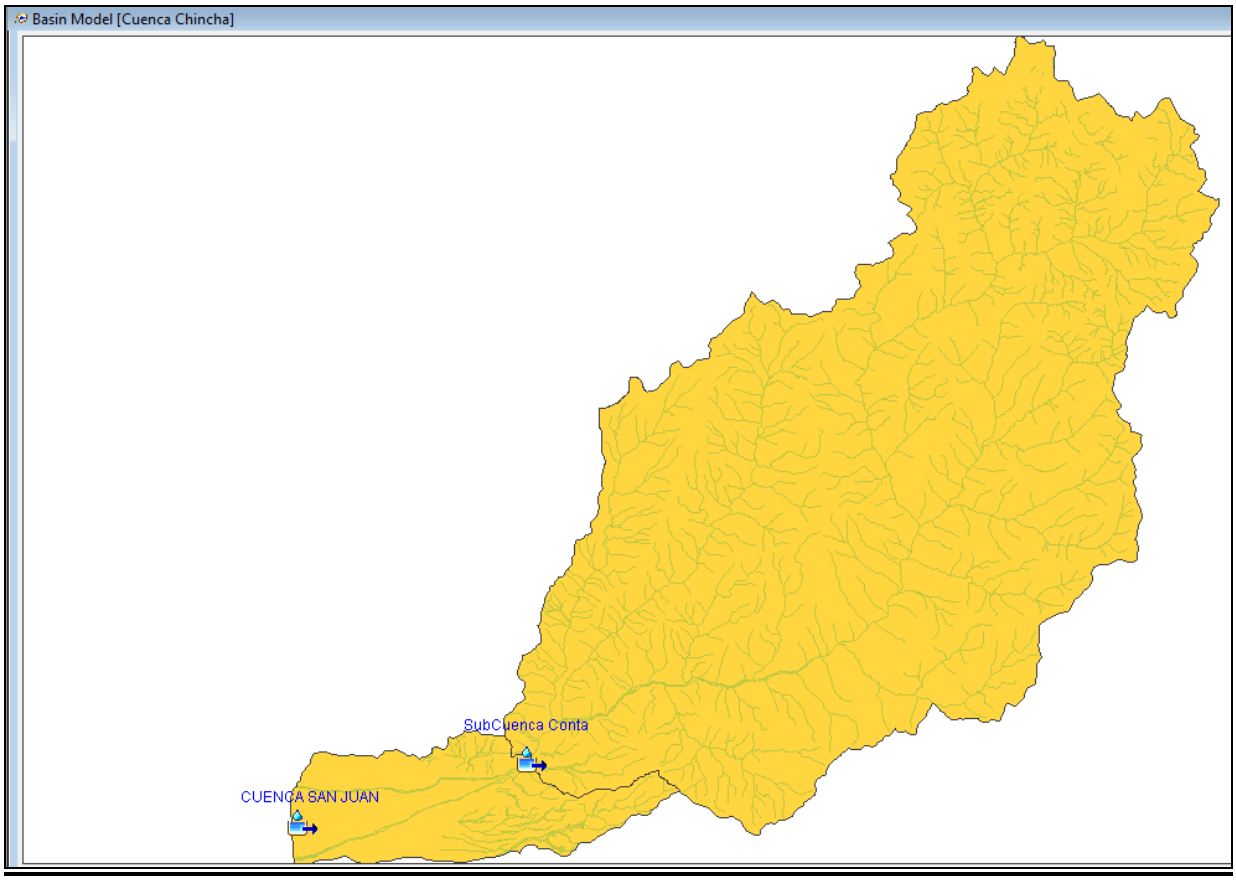


Figura Nº 4.9. Modelo de Cuenca del río Chincha en el Software HEC-HMS

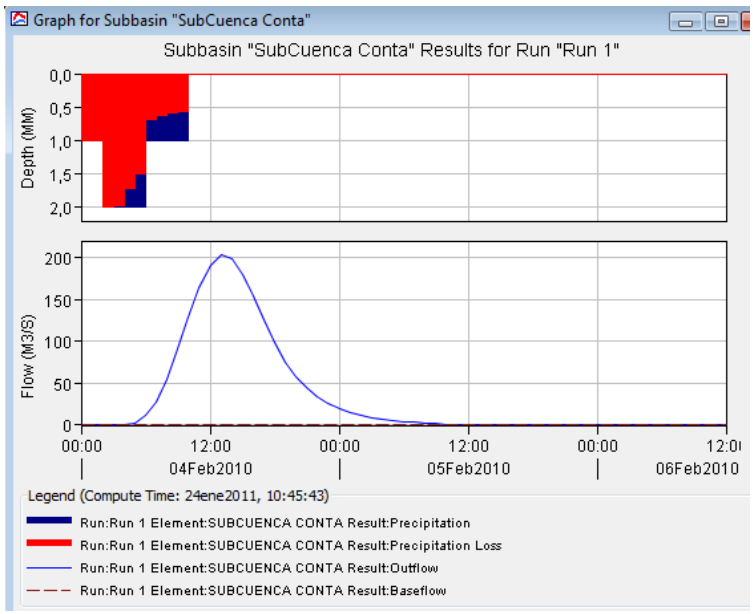


Figura Nº 4.10. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chincha, Periodo de Retorno de 2 años

En la parte superior de la Figura 4.10 se muestra el hietograma de diseño, la porción en rojo corresponde a la lluvia infiltrada, la porción en azul corresponde a la lluvia efectiva. La infiltración ha sido calculada con el programa HEC-HMS empleando el método del Número de la Curva de antiguo Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos

La tormenta analizada como precipitación luego de un proceso de infiltración se traslada como escorrentía y termina su escurrimiento luego de casi 24 horas de su inicio.

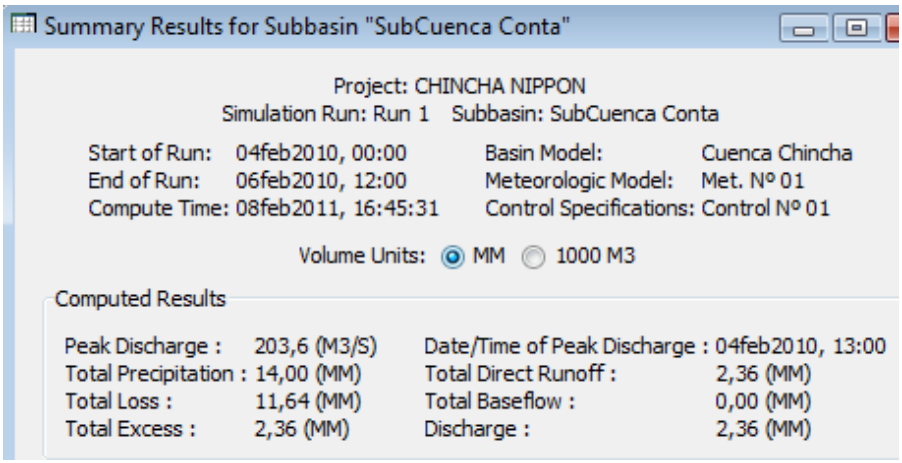


Figura Nº 4.11. Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chincha, Periodo de Retorno de 2 años

En la Figura Nº 4.11 se tiene el caudal máximo calculado para un periodo de retorno de 2 años de 203.6 m^3/s. La descarga máxima pasa aproximadamente a las 13 horas después de iniciada la tormenta en el tributario (para las condiciones extremas antes definidas.).

En el Cuadro Nº 4.14 se presenta los valores del hidrograma de la avenida de un periodo de retorno de 2 años.

Cuadro Nº 4.14. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 2 Años

Fecha	Tiempo	Precipitación (mm)	Perdida (mm)	Exceso (mm)	Escorrentia (m^3/s)
04-Feb-10	01:00	1,00	1,00	0,00	0,0
04-Feb-10	02:00	1,00	1,00	0,00	0,0
04-Feb-10	03:00	2,00	2,00	0,00	0,0
04-Feb-10	04:00	2,00	1,96	0,04	0,3
04-Feb-10	05:00	2,00	1,72	0,28	2,8
04-Feb-10	06:00	2,00	1,49	0,51	11,1
04-Feb-10	07:00	1,00	0,67	0,33	27,8
04-Feb-10	08:00	1,00	0,63	0,37	55,0
04-Feb-10	09:00	1,00	0,59	0,41	90,6
04-Feb-10	10:00	1,00	0,56	0,44	129,0
04-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	163,8
04-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	190,5
04-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	203,6
04-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	199,0
04-Feb-10	15:00	0,00	0,00	0,00	179,7
04-Feb-10	16:00	0,00	0,00	0,00	153,9
04-Feb-10	17:00	0,00	0,00	0,00	125,7
04-Feb-10	18:00	0,00	0,00	0,00	99,1
04-Feb-10	19:00	0,00	0,00	0,00	75,4
04-Feb-10	20:00	0,00	0,00	0,00	57,5
04-Feb-10	21:00	0,00	0,00	0,00	44,5
04-Feb-10	22:00	0,00	0,00	0,00	34,5
04-Feb-10	23:00	0,00	0,00	0,00	26,5
05-Feb-10	00:00	0,00	0,00	0,00	20,3
05-Feb-10	01:00	0,00	0,00	0,00	15,7
05-Feb-10	02:00	0,00	0,00	0,00	12,1
05-Feb-10	03:00	0,00	0,00	0,00	9,3
05-Feb-10	04:00	0,00	0,00	0,00	7,2
05-Feb-10	05:00	0,00	0,00	0,00	5,5
05-Feb-10	06:00	0,00	0,00	0,00	4,3
05-Feb-10	07:00	0,00	0,00	0,00	3,4
05-Feb-10	08:00	0,00	0,00	0,00	2,6
05-Feb-10	09:00	0,00	0,00	0,00	2,0
05-Feb-10	10:00	0,00	0,00	0,00	1,5
05-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	1,1
05-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	0,7
05-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	0,5
05-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	0,3
05-Feb-10	15:00	0,00	0,00	0,00	0,1
05-Feb-10	16:00	0,00	0,00	0,00	0,0

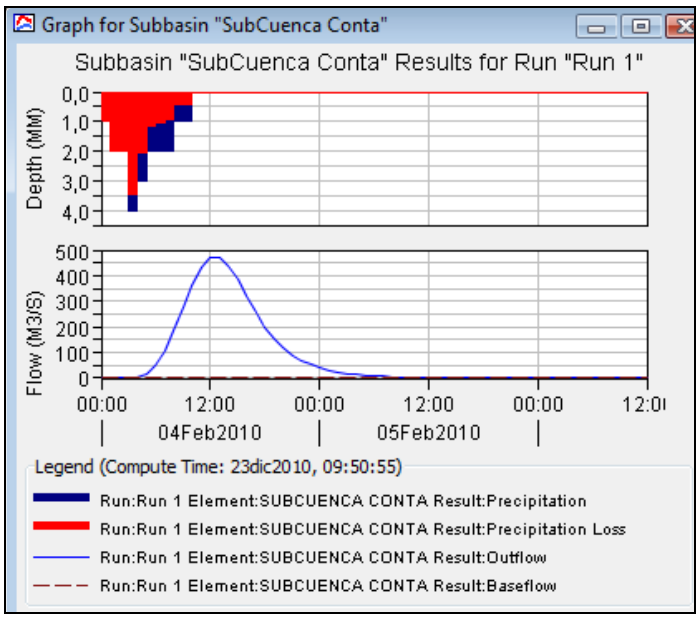


Figura Nº 4.12. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chincha, Periodo de Retorno de 5 años

La tormenta analizada como precipitación luego de un proceso de infiltración se traslada como escorrentía y termina su escurrimiento luego de casi 24 horas de su inicio.

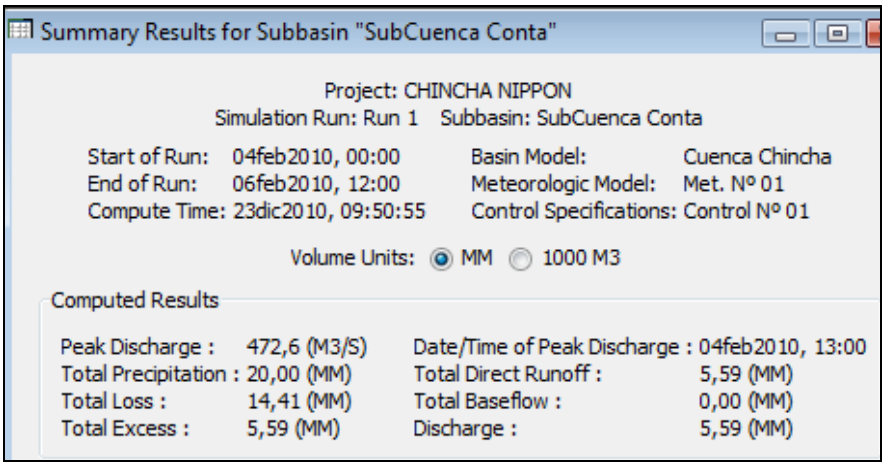


Figura Nº 4.13. Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chincha, Periodo de Retorno de 5 años

En la Figura Nº 4.13 se tiene el caudal máximo calculado para un periodo de retorno de 5 años de 472.6 m^3/s. La descarga máxima pasa aproximadamente a las 13 horas después de iniciada la tormenta en el tributario (para las condiciones extremas antes definidas).

En el Cuadro Nº 4.15 se presenta los valores del hidrograma de la avenida de un periodo de retorno de 5 años.

Cuadro Nº 4.15. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 5 Años

Fecha	Tiempo	Precipitación (mm)	Perdida (mm)	Exceso (mm)	Escorrentia (m^3/s)
04-Feb-10	01:00	1,00	1,00	0,00	0,0
04-Feb-10	02:00	2,00	2,00	0,00	0,0
04-Feb-10	03:00	2,00	2,00	0,00	0,0
04-Feb-10	04:00	4,00	3,46	0,54	3,9
04-Feb-10	05:00	3,00	2,03	0,97	18,5
04-Feb-10	06:00	2,00	1,15	0,85	50,3
04-Feb-10	07:00	2,00	1,03	0,97	106,2
04-Feb-10	08:00	2,00	0,92	1,08	185,2
04-Feb-10	09:00	1,00	0,42	0,58	273,7
04-Feb-10	10:00	1,00	0,40	0,60	360,5
04-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	430,6
04-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	469,9
04-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	472,6
04-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	440,3
04-Feb-10	15:00	0,00	0,00	0,00	385,0
04-Feb-10	16:00	0,00	0,00	0,00	321,1
04-Feb-10	17:00	0,00	0,00	0,00	256,3
04-Feb-10	18:00	0,00	0,00	0,00	199,5
04-Feb-10	19:00	0,00	0,00	0,00	152,5
04-Feb-10	20:00	0,00	0,00	0,00	117,1
04-Feb-10	21:00	0,00	0,00	0,00	90,4
04-Feb-10	22:00	0,00	0,00	0,00	69,8
04-Feb-10	23:00	0,00	0,00	0,00	53,8
05-Feb-10	00:00	0,00	0,00	0,00	41,3
05-Feb-10	01:00	0,00	0,00	0,00	31,9
05-Feb-10	02:00	0,00	0,00	0,00	24,6
05-Feb-10	03:00	0,00	0,00	0,00	18,9
05-Feb-10	04:00	0,00	0,00	0,00	14,6
05-Feb-10	05:00	0,00	0,00	0,00	11,3
05-Feb-10	06:00	0,00	0,00	0,00	8,8
05-Feb-10	07:00	0,00	0,00	0,00	6,8
05-Feb-10	08:00	0,00	0,00	0,00	5,3
05-Feb-10	09:00	0,00	0,00	0,00	4,0
05-Feb-10	10:00	0,00	0,00	0,00	3,0
05-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	2,1
05-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	1,3
05-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	0,8
05-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	0,4
05-Feb-10	15:00	0,00	0,00	0,00	0,1
05-Feb-10	16:00	0,00	0,00	0,00	0,0

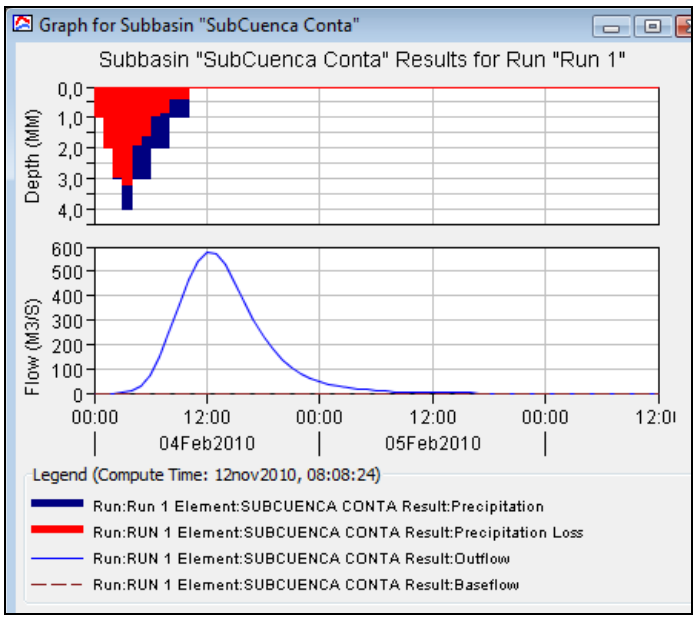


Figura Nº 4.14. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chincha, Periodo de Retorno de 10 años

La tormenta analizada como precipitación luego de un proceso de infiltración se traslada como escorrentía y termina su escurrimiento luego de casi 26 horas de su inicio.

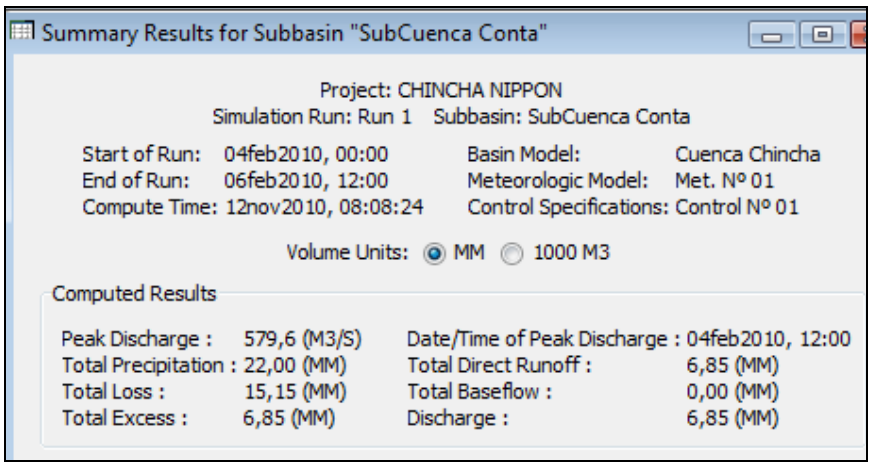


Figura Nº 4.15.Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chincha, Periodo de Retorno de 10 años

En la Figura Nº 4.15 se tiene el caudal máximo calculado para un periodo de retorno de 10 años de 579.6 m^3/s. La descarga máxima pasa aproximadamente a las 12 horas después de iniciada la tormenta en el tributario (para las condiciones extremas antes definidas).

En el Cuadro Nº 4.16 se presenta los valores del hidrograma de la avenida de un periodo de retorno de 10 años.

Cuadro Nº 4.16. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 10 Años

Fecha	Tiempo	Precipitación (mm)	Perdida (mm)	Exceso (mm)	Escorrentia (m^3/s)
04-Feb-10	00:00				0,0
04-Feb-10	01:00	1,00	1,00	0,00	0,0
04-Feb-10	02:00	2,00	2,00	0,00	0,0
04-Feb-10	03:00	3,00	2,96	0,04	0,3
04-Feb-10	04:00	4,00	3,21	0,79	6,4
04-Feb-10	05:00	3,00	1,90	1,10	26,1
04-Feb-10	06:00	3,00	1,58	1,42	70,2
04-Feb-10	07:00	2,00	0,92	1,08	145,4
04-Feb-10	08:00	2,00	0,83	1,17	248,0
04-Feb-10	09:00	1,00	0,38	0,62	360,7
04-Feb-10	10:00	1,00	0,36	0,64	465,1
04-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	541,8
04-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	579,6
04-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	572,2
04-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	526,1
04-Feb-10	15:00	0,00	0,00	0,00	454,0
04-Feb-10	16:00	0,00	0,00	0,00	375,3
04-Feb-10	17:00	0,00	0,00	0,00	298,5
04-Feb-10	18:00	0,00	0,00	0,00	232,3
04-Feb-10	19:00	0,00	0,00	0,00	177,8
04-Feb-10	20:00	0,00	0,00	0,00	136,5
04-Feb-10	21:00	0,00	0,00	0,00	105,4
04-Feb-10	22:00	0,00	0,00	0,00	81,3
04-Feb-10	23:00	0,00	0,00	0,00	62,7
05-Feb-10	00:00	0,00	0,00	0,00	48,2
05-Feb-10	01:00	0,00	0,00	0,00	37,2
05-Feb-10	02:00	0,00	0,00	0,00	28,7
05-Feb-10	03:00	0,00	0,00	0,00	22,1
05-Feb-10	04:00	0,00	0,00	0,00	17,0
05-Feb-10	05:00	0,00	0,00	0,00	13,2
05-Feb-10	06:00	0,00	0,00	0,00	10,3
05-Feb-10	07:00	0,00	0,00	0,00	8,0
05-Feb-10	08:00	0,00	0,00	0,00	6,2
05-Feb-10	09:00	0,00	0,00	0,00	4,7
05-Feb-10	10:00	0,00	0,00	0,00	3,4
05-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	2,3
05-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	1,5
05-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	0,8
05-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	0,4
05-Feb-10	15:00	0,00	0,00	0,00	0,2
05-Feb-10	16:00	0,00	0,00	0,00	0,0

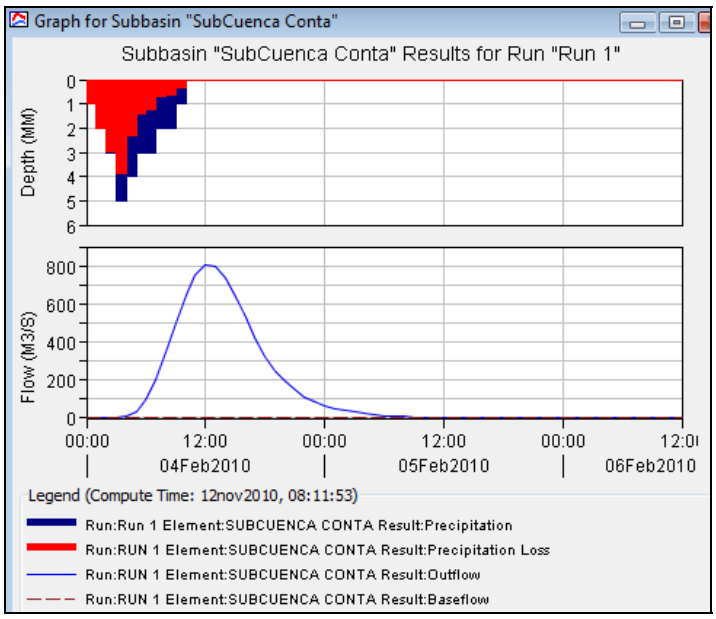


Figura Nº 4.16. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chincha, Periodo de Retorno de 25 años

La tormenta analizada como precipitación luego de un proceso de infiltración se traslada como escorrentía y termina su escurrimiento luego de casi 26 horas de su inicio.

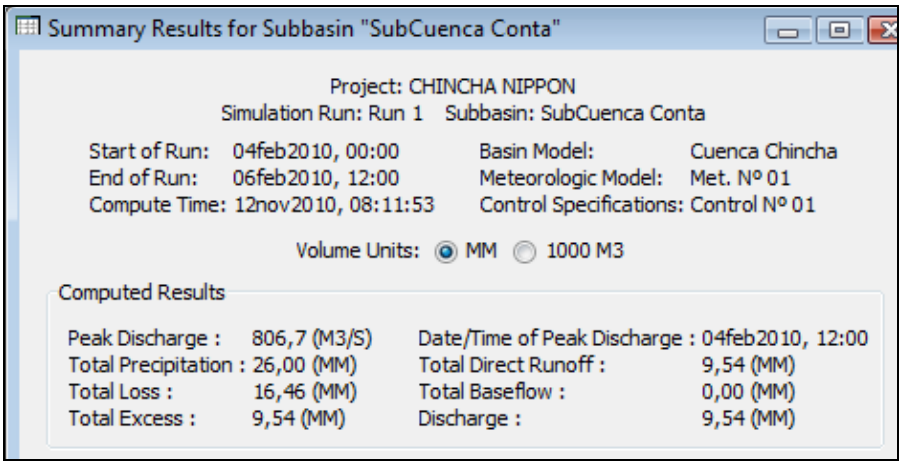


Figura Nº 4.17.Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chincha, Periodo de Retorno de 25 años

En la Figura Nº 4.17 se tiene el caudal máximo calculado para un periodo de retorno de 25 años de 806.7 m^3/s. La descarga máxima pasa aproximadamente a las 12 horas después de iniciada la tormenta en el tributario (para las condiciones extremas antes definidas.).

En el Cuadro Nº 4.17 se presenta los valores del hidrograma de la avenida de un periodo de retorno de 25 años.

Cuadro Nº 4.17. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 25 Años

Fecha	Tiempo	Precipitación (mm)	Perdida (mm)	Exceso (mm)	Escorrentia (m^3/s)
04-Feb-10	00:00				0,0
04-Feb-10	01:00	1,00	1,00	0,00	0,0
04-Feb-10	02:00	2,00	2,00	0,00	0,0
04-Feb-10	03:00	3,00	2,96	0,04	0,3
04-Feb-10	04:00	5,00	3,89	1,11	8,7
04-Feb-10	05:00	4,00	2,31	1,69	37,2
04-Feb-10	06:00	3,00	1,42	1,58	98,1
04-Feb-10	07:00	3,00	1,21	1,79	203,0
04-Feb-10	08:00	2,00	0,71	1,29	343,4
04-Feb-10	09:00	2,00	0,65	1,35	497,7
04-Feb-10	10:00	1,00	0,30	0,70	642,2
04-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	750,5
04-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	806,7
04-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	800,1
04-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	735,2
04-Feb-10	15:00	0,00	0,00	0,00	637,2
04-Feb-10	16:00	0,00	0,00	0,00	526,3
04-Feb-10	17:00	0,00	0,00	0,00	419,7
04-Feb-10	18:00	0,00	0,00	0,00	325,1
04-Feb-10	19:00	0,00	0,00	0,00	248,4
04-Feb-10	20:00	0,00	0,00	0,00	190,9
04-Feb-10	21:00	0,00	0,00	0,00	147,4
04-Feb-10	22:00	0,00	0,00	0,00	114,0
04-Feb-10	23:00	0,00	0,00	0,00	87,6
05-Feb-10	00:00	0,00	0,00	0,00	67,4
05-Feb-10	01:00	0,00	0,00	0,00	52,1
05-Feb-10	02:00	0,00	0,00	0,00	40,1
05-Feb-10	03:00	0,00	0,00	0,00	30,9
05-Feb-10	04:00	0,00	0,00	0,00	23,8
05-Feb-10	05:00	0,00	0,00	0,00	18,4
05-Feb-10	06:00	0,00	0,00	0,00	14,4
05-Feb-10	07:00	0,00	0,00	0,00	11,1
05-Feb-10	08:00	0,00	0,00	0,00	8,6
05-Feb-10	09:00	0,00	0,00	0,00	6,5
05-Feb-10	10:00	0,00	0,00	0,00	4,8
05-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	3,3
05-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	2,1
05-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	1,2
05-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	0,6
05-Feb-10	15:00	0,00	0,00	0,00	0,2
05-Feb-10	16:00	0,00	0,00	0,00	0,0

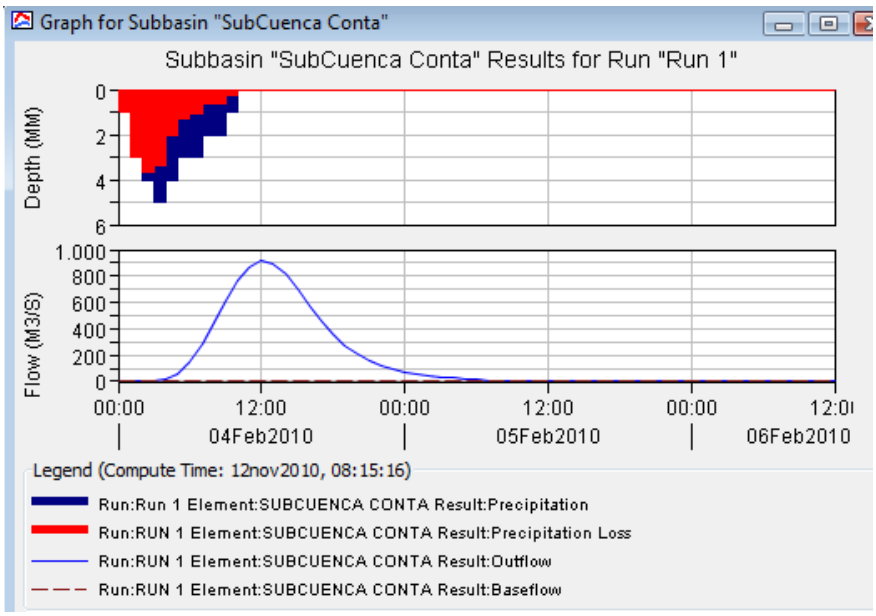


Figura Nº 4.18. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chincha, Periodo de Retorno de 50 años

La tormenta analizada como precipitación luego de un proceso de infiltración se traslada como escorrentía y termina su escurrimiento luego de casi 26 horas de su inicio.

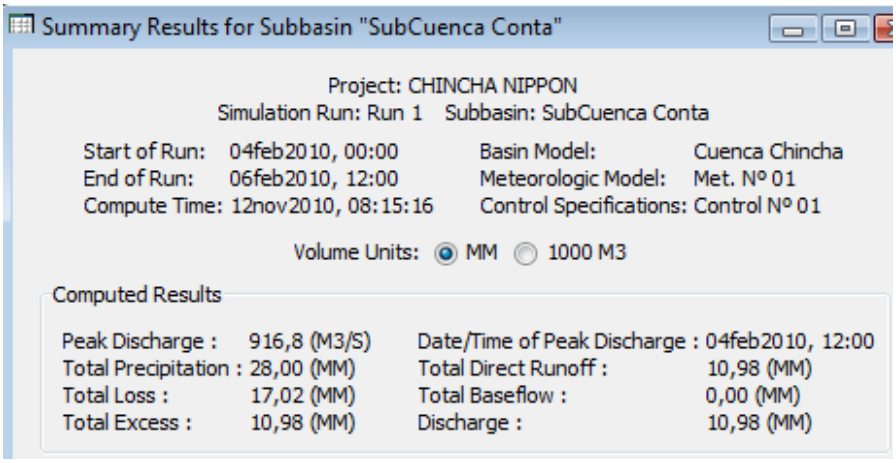


Figura Nº 4.19.Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chincha, Periodo de Retorno de 50 años

En la Figura Nº 4.19 se tiene el caudal máximo calculado para un periodo de retorno de 50 años de 916.8 m^3/s. La descarga máxima pasa aproximadamente a las 12 horas después de iniciada la tormenta en el tributario (para las condiciones extremas antes definidas.).

En el Cuadro Nº 4.18 se presenta los valores del hidrograma de la avenida de un periodo de retorno de 50 años.

Cuadro Nº 4.18. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 50 Años

Fecha	Tiempo	Precipitación (mm)	Perdida (mm)	Exceso (mm)	Escorrentia (m^3/s)
04-Feb-10	00:00				0,0
04-Feb-10	01:00	1,00	1,00	0,00	0,0
04-Feb-10	02:00	3,00	3,00	0,00	0,0
04-Feb-10	03:00	4,00	3,68	0,32	2,3
04-Feb-10	04:00	5,00	3,39	1,61	18,2
04-Feb-10	05:00	4,00	2,06	1,94	61,7
04-Feb-10	06:00	3,00	1,27	1,73	146,1
04-Feb-10	07:00	3,00	1,10	1,90	279,3
04-Feb-10	08:00	2,00	0,65	1,35	444,2
04-Feb-10	09:00	2,00	0,59	1,41	614,3
04-Feb-10	10:00	1,00	0,28	0,72	765,2
04-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	870,9
04-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	916,8
04-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	894,6
04-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	813,1
04-Feb-10	15:00	0,00	0,00	0,00	700,1
04-Feb-10	16:00	0,00	0,00	0,00	576,3
04-Feb-10	17:00	0,00	0,00	0,00	458,7
04-Feb-10	18:00	0,00	0,00	0,00	355,2
04-Feb-10	19:00	0,00	0,00	0,00	271,5
04-Feb-10	20:00	0,00	0,00	0,00	208,7
04-Feb-10	21:00	0,00	0,00	0,00	161,2
04-Feb-10	22:00	0,00	0,00	0,00	124,5
04-Feb-10	23:00	0,00	0,00	0,00	95,8
05-Feb-10	00:00	0,00	0,00	0,00	73,7
05-Feb-10	01:00	0,00	0,00	0,00	56,9
05-Feb-10	02:00	0,00	0,00	0,00	43,8
05-Feb-10	03:00	0,00	0,00	0,00	33,7
05-Feb-10	04:00	0,00	0,00	0,00	26,0
05-Feb-10	05:00	0,00	0,00	0,00	20,2
05-Feb-10	06:00	0,00	0,00	0,00	15,7
05-Feb-10	07:00	0,00	0,00	0,00	12,2
05-Feb-10	08:00	0,00	0,00	0,00	9,4
05-Feb-10	09:00	0,00	0,00	0,00	7,0
05-Feb-10	10:00	0,00	0,00	0,00	5,1
05-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	3,5
05-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	2,2
05-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	1,2
05-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	0,6
05-Feb-10	15:00	0,00	0,00	0,00	0,2
05-Feb-10	16:00	0,00	0,00	0,00	0,0

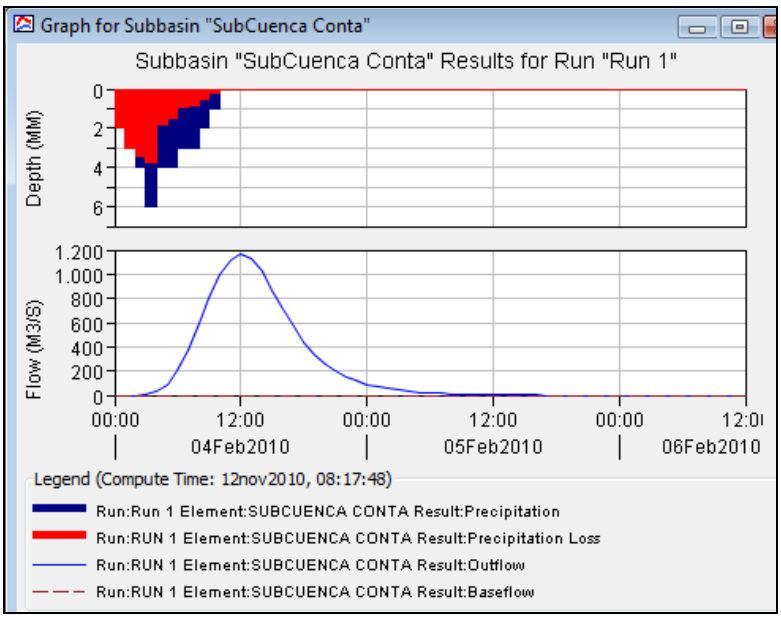


Figura Nº 4.20. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chincha, Periodo de Retorno de 100 años

La tormenta analizada como precipitación luego de un proceso de infiltración se traslada como escorrentía y termina su escurrimiento luego de casi 26 horas de su inicio.

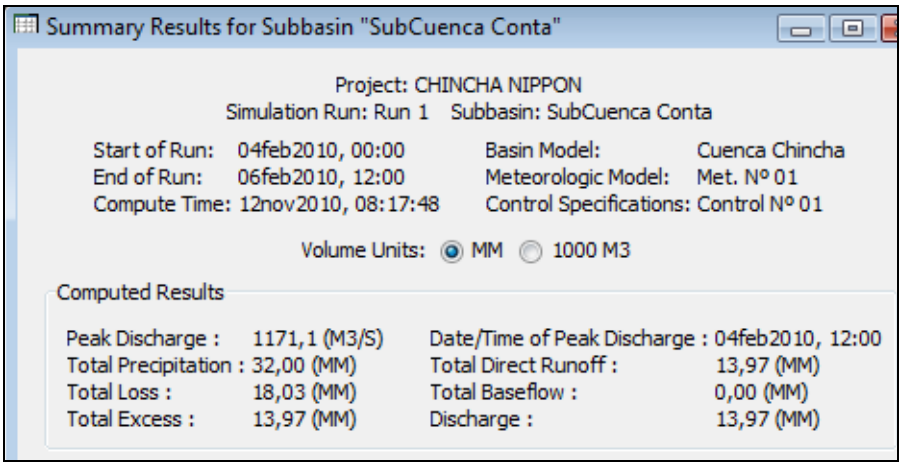


Figura Nº 4.21.Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chincha, Periodo de Retorno de 100 años

En la Figura Nº 4.21 se tiene el caudal máximo calculado para un periodo de retorno de 100 años de 1,171.1 m^3/s. La descarga máxima pasa aproximadamente a las 12 horas después de iniciada la tormenta en el tributario (para las condiciones extremas antes definidas.).

En el Cuadro Nº 4.19 se presenta los valores del hidrograma de la avenida de un periodo de retorno de 100 años.

Cuadro Nº 4.19. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 100 Años

Fecha	Tiempo	Precipitación (mm)	Perdida (mm)	Exceso (mm)	Escorrentia (m^3/s)
04-Feb-10	00:00				0,0
04-Feb-10	01:00	2,00	2,00	0,00	0,0
04-Feb-10	02:00	3,00	3,00	0,00	0,0
04-Feb-10	03:00	4,00	3,46	0,54	3,9
04-Feb-10	04:00	6,00	3,71	2,29	27,9
04-Feb-10	05:00	4,00	1,84	2,16	87,7
04-Feb-10	06:00	4,00	1,50	2,50	202,4
04-Feb-10	07:00	3,00	0,95	2,05	376,4
04-Feb-10	08:00	3,00	0,84	2,16	588,0
04-Feb-10	09:00	2,00	0,50	1,50	803,8
04-Feb-10	10:00	1,00	0,24	0,76	992,1
04-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	1121,0
04-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	1171,1
04-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	1130,8
04-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	1021,8
04-Feb-10	15:00	0,00	0,00	0,00	873,4
04-Feb-10	16:00	0,00	0,00	0,00	716,3
04-Feb-10	17:00	0,00	0,00	0,00	566,6
04-Feb-10	18:00	0,00	0,00	0,00	437,6
04-Feb-10	19:00	0,00	0,00	0,00	334,9
04-Feb-10	20:00	0,00	0,00	0,00	257,7
04-Feb-10	21:00	0,00	0,00	0,00	199,1
04-Feb-10	22:00	0,00	0,00	0,00	153,5
04-Feb-10	23:00	0,00	0,00	0,00	118,2
05-Feb-10	00:00	0,00	0,00	0,00	91,0
05-Feb-10	01:00	0,00	0,00	0,00	70,2
05-Feb-10	02:00	0,00	0,00	0,00	54,1
05-Feb-10	03:00	0,00	0,00	0,00	41,6
05-Feb-10	04:00	0,00	0,00	0,00	32,1
05-Feb-10	05:00	0,00	0,00	0,00	25,0
05-Feb-10	06:00	0,00	0,00	0,00	19,4
05-Feb-10	07:00	0,00	0,00	0,00	15,1
05-Feb-10	08:00	0,00	0,00	0,00	11,5
05-Feb-10	09:00	0,00	0,00	0,00	8,7
05-Feb-10	10:00	0,00	0,00	0,00	6,2
05-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	4,2
05-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	2,6
05-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	1,4
05-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	0,7
05-Feb-10	15:00	0,00	0,00	0,00	0,2
05-Feb-10	16:00	0,00	0,00	0,00	0,0

4.3 Resultados de la Simulación, Caudales Máximos en el Punto Base

La Tabla 4.20 resume los caudales pico para diferentes periodo de retorno obtenidos con la aplicación del software HEC-HMS para la cuenca del río Chincha hasta la ubicación de la estación hidrométrica Conta.

Cuadro Nº 4.20. Resumen de los Caudales Máximos en el Punto Base para cada Periodo de Retorno

T [Años]	Q [m³/s]
2	203.6
5	472.6
10	579.6
25	806.7
50	916.8
100	1,171.1

Los caudales máximos en el punto base obtenidos con el modelo HEC-HMS para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años han sido estimados a partir de las precipitaciones máximas generadas para estos periodos de retorno, un numero de curva y parámetros geomorfológicos de la cuenca. Estos caudales máximos han sido obtenidos con un mismo número de curva (igual a -91).

Tal como se consideró en el proceso de calibración, se observa que las descargas pico obtenidas con el modelo HEC-HMS para avenidas de bajo periodo de retorno son similares a las máximas descargas diarias mostradas en la Tabla 4.8.

V. REFERENCIAS

a) Asociación BCEOM-SOFI CONSULT S.A., “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”, 1999.

b) Chow, Maidment and Mays, “Hidrología Aplicada”,1994.

c) Guevara, “Hidrología Ambiental”, 1991.

d) IILA-SENAMHI-UNI, “Estudio de la Hidrología del Perú”, 1982.

e) U.S. Corp of Engineers, “Manual de Referencias Técnicas del Modelo HEC-HMS”, 2000.

Agencia de Cooperación Internacional
Del Japón

PROGRAMA DE PROTECCION DE VALLES Y POBLACIONES RURALES Y VULNERABLES ANTE INUNDACIONES EN LA REPUBLICA DEL PERU

HIDROLOGIA DE MAXIMAS AVENIDAS DEL RIO CHINCHA

Apéndice-3

ANEXOS

Diciembre de 2012

Yachiyo Engineering Co., Ltd.
NIPPON KOEI CO.,LTD.
LATIN AMERICA - CARIBBEAN
NIPPON KOEI LAC CO., LTD.
Ingenieros Consultores