



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



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	<i>Funciones de Distribución</i>	35
4.2.2.2	<i>Calculo de Ajuste y Periodo de Retorno para las Precipitaciones Máximas en 24 Horas</i>	38
4.2.2.3	<i>Selección de Distribución Teórica con mejor Ajuste a la Serie de Precipitaciones Máximas en 24 Horas</i>	38
4.2.2.4	<i>Determinación de Precipitaciones Máximas para Diferentes Periodos de Retorno en el Punto Base</i>	46
4.2.2.5	<i>Determinación de Precipitaciones Máximas para Diferentes Periodos de Retorno en las Subcuencas del río Chincha</i>	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 <i>Modelo Hidrológico</i>	50
4.2.4.2 <i>Modelamiento en el HEC – HMS</i>	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

<i>Cuadro N° 3.1. Características de las Estaciones Pluviométricas de la cuenca del río Chincha y cuencas vecinas</i>	6
<i>Cuadro N° 3.2. Precipitación Media Mensual de Estaciones Consideradas en el Ámbito del Estudio</i>	8
<i>Cuadro N° 3.3. Resultados del ajuste lineal de las estaciones Totorá, Huacarpana y Huachos</i>	9
<i>Cuadro N° 3.4. Temperatura Media Mensual [°C] de las estaciones de la cuenca del río Chincha y cuencas vecinas</i>	25
<i>Cuadro N° 4.1. Características Geomorfológicas de la cuenca en el Punto Base (estación Conta)</i>	31
<i>Cuadro N° 4.2. Precipitación Máxima en 24 Horas Anual de las Estaciones ubicadas en el Ámbito del Estudio</i>	32
<i>Cuadro N° 4.3. Coeficiente de Determinación para cada Función de Distribución y para cada Estación Pluviométrica</i>	38
<i>Cuadro N° 4.4. Precipitaciones Máxima en 24 Horas de cada Estación Pluviométrica y para cada Periodo de Retorno</i>	39
<i>Cuadro N° 4.5. Precipitaciones Areales Máximas en 24 Horas en el Punto Base (Estación Conta) para cada Periodo de Retorno</i>	46
<i>Cuadro N° 4.6. Precipitaciones para Diferentes Periodos de Retorno en cada Subcuenca del río Chincha</i>	48
<i>Cuadro N° 4.7. Descargas Máximas Diarias de la estación Conta, río Chincha (m³/s)</i>	49
<i>Cuadro N° 4.8. Descargas Máximas para cada Periodo de Retorno, en la estación Conta, río Chincha (m³/s)</i>	50
<i>Cuadro N° 4.9. Tiempo de Concentración y de Viaje para el Punto Base (estación Conta)</i>	51
<i>Cuadro N° 4.10. Precipitaciones Máximas, según la ecuación de Dick - Peschke</i>	52
<i>Cuadro N° 4.11. Hietograma para diferentes Periodos de Retorno</i>	52

<i>Cuadro N° 4.12. Curva Numero (CN) en Función del Uso del Suelo y del Grupo Hidrológico del Suelo</i>	53
<i>Cuadro N° 4.13. Estimación del Valor del Numero de Curva (CN) inicial para la calibración del Modelo HEC-HMS</i>	54
<i>Cuadro N° 4.14. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 2 Años</i>	58
<i>Cuadro N° 4.15. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 5 Años</i>	60
<i>Cuadro N° 4.16. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 10 Años</i>	62
<i>Cuadro N° 4.17. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 25 Años</i>	64
<i>Cuadro N° 4.18. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 50 Años</i>	66
<i>Cuadro N° 4.19. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 100 Años</i>	68
<i>Cuadro N° 4.12. Resumen de los Caudales Máximos en el Punto Base para cada Periodo de Retorno</i>	69

HIDROLOGIA DE MAXIMAS AVENIDAS DEL RIO CHINCHA

RELACIÓN DE FIGURAS

<i>Figura N° 3.1. Mapa de Ubicación de la cuenca del río Chincha</i>	4
<i>Figura N° 3.2. Periodo y Longitud de la información disponible de las Estaciones Pluviométricas</i>	6
<i>Figura N° 3.3. Ubicación de las Estaciones Pluviométricas en Cuenca del río Chincha y Cuencas Vecinas</i>	7
<i>Figura N° 3.4. Histograma Mensual de las Estaciones Pluviométricas consideradas en el Ámbito del Estudio</i>	8
<i>Figura N° 3.5. Tendencia de la Precipitación Anual de las Estaciones Consideradas en el Ámbito del Estudio</i>	10
<i>Figura N° 3.6. Isoyeta del mes de Enero de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chincha</i>	11
<i>Figura N° 3.7. Isoyeta del mes de Febrero de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chincha</i>	12
<i>Figura N° 3.8. Isoyeta del mes de Marzo de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chincha</i>	13
<i>Figura N° 3.9. Isoyeta del mes de Abril de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chincha</i>	14
<i>Figura N° 3.10. Isoyeta del mes de Mayo de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chincha</i>	15
<i>Figura N° 3.11. Isoyeta del mes de Junio de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chincha</i>	16
<i>Figura N° 3.12. Isoyeta del mes de Julio de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chincha</i>	17
<i>Figura N° 3.13. Isoyeta del mes de Agosto de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chincha</i>	18
<i>Figura N° 3.14. Isoyeta del mes de Septiembre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chincha</i>	19

<i>Figura N° 3.15. Isoyeta del mes de Octubre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chíncha</i>	20
<i>Figura N° 3.16. Isoyeta del mes de Noviembre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chíncha</i>	21
<i>Figura N° 3.17. Isoyeta del mes de Diciembre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chíncha</i>	22
<i>Figura N° 3.18. Isoyeta Anual de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chíncha</i>	23
<i>Figura N° 3.19. Distribución de la Temperatura Media Mensual de las Estaciones Meteorológicas Ubicadas en la Cuenca del Río Chíncha</i>	25
<i>Figura N° 4.1. Estaciones Pluviométricas consideradas para la aplicación del Software HEC-HMS</i>	34
<i>Figura N° 4.2. Isoyetas para un Periodo de Retorno de 2 años en la cuenca del río Chíncha</i>	40
<i>Figura N° 4.3. Isoyetas para un Periodo de Retorno de 5 años en la cuenca del río Chíncha</i>	41
<i>Figura N° 4.4. Isoyetas para un Periodo de Retorno de 10 años en la cuenca del río Chíncha</i>	42
<i>Figura N° 4.5. Isoyetas para un Periodo de Retorno de 25 años en la cuenca del río Chíncha</i>	43
<i>Figura N° 4.6. Isoyetas para un Periodo de Retorno de 50 años en la cuenca del río Chíncha</i>	44
<i>Figura N° 4.7. Isoyetas para un Periodo de Retorno de 100 años en la cuenca del río Chíncha</i>	45
<i>Figura N° 4.8. Subcuenca del río Chíncha</i>	47
<i>Figura N° 4.9. Modelo de Cuenca del río Chíncha en el Software HEC-HMS</i>	56
<i>Figura N° 4.10. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chíncha, Periodo de Retorno de 2 años</i>	57
<i>Figura N° 4.11. Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chíncha, Periodo de Retorno de 2 años</i>	57

<i>Figura N° 4.12. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chíncha, Periodo de Retorno de 5 años</i>	59
<i>Figura N° 4.13. Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chíncha, Periodo de Retorno de 5 años</i>	59
<i>Figura N° 4.14. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chíncha, Periodo de Retorno de 10 años</i>	61
<i>Figura N° 4.15. Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chíncha, Periodo de Retorno de 10 años</i>	61
<i>Figura N° 4.16. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chíncha, Periodo de Retorno de 25 años</i>	63
<i>Figura N° 4.17. Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chíncha, Periodo de Retorno de 25 años</i>	63
<i>Figura N° 4.18. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chíncha, Periodo de Retorno de 50 años</i>	65
<i>Figura N° 4.19. Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chíncha, Periodo de Retorno de 50 años</i>	65
<i>Figura N° 4.20. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chíncha, Periodo de Retorno de 100 años</i>	67
<i>Figura N° 4.21. Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chíncha, Periodo de Retorno de 100 años</i>	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 Pacífico Central Ecuatorial. El fenómeno está asociado a las condiciones anormales de la circulación atmosférica en la región Ecuatorial del Pacífico. 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 diagnóstico 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 provincias 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 Chíncha, que permita definir las propuestas del planeamiento hidrológico e hidráulico del sistema fluvial del río Chíncha.

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 Chíncha, produjeron la inundación de extensas zonas de cultivo y ciudades como El Carmen, San Regis, Pedregal, San Francisco y Chíncha 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 Chíncha 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 Chíncha 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 Chíncha

3.1.1 Descripción General de la Cuenca

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

Sus límites 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 Chíncha, área afectada por las inundaciones, está situado en la parte baja de la cuenca entre las latitudes 13°12' – 13°37' Sur y Longitudes 76°00' – 76°15' Oeste. Políticamente pertenece a la provincia de Chíncha y departamento de Ica. Está 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 más importante de la cuenca del río Chíncha.

En la Figura N° 3.1 se muestra la ubicación y el ámbito de la cuenca del río Chíncha.

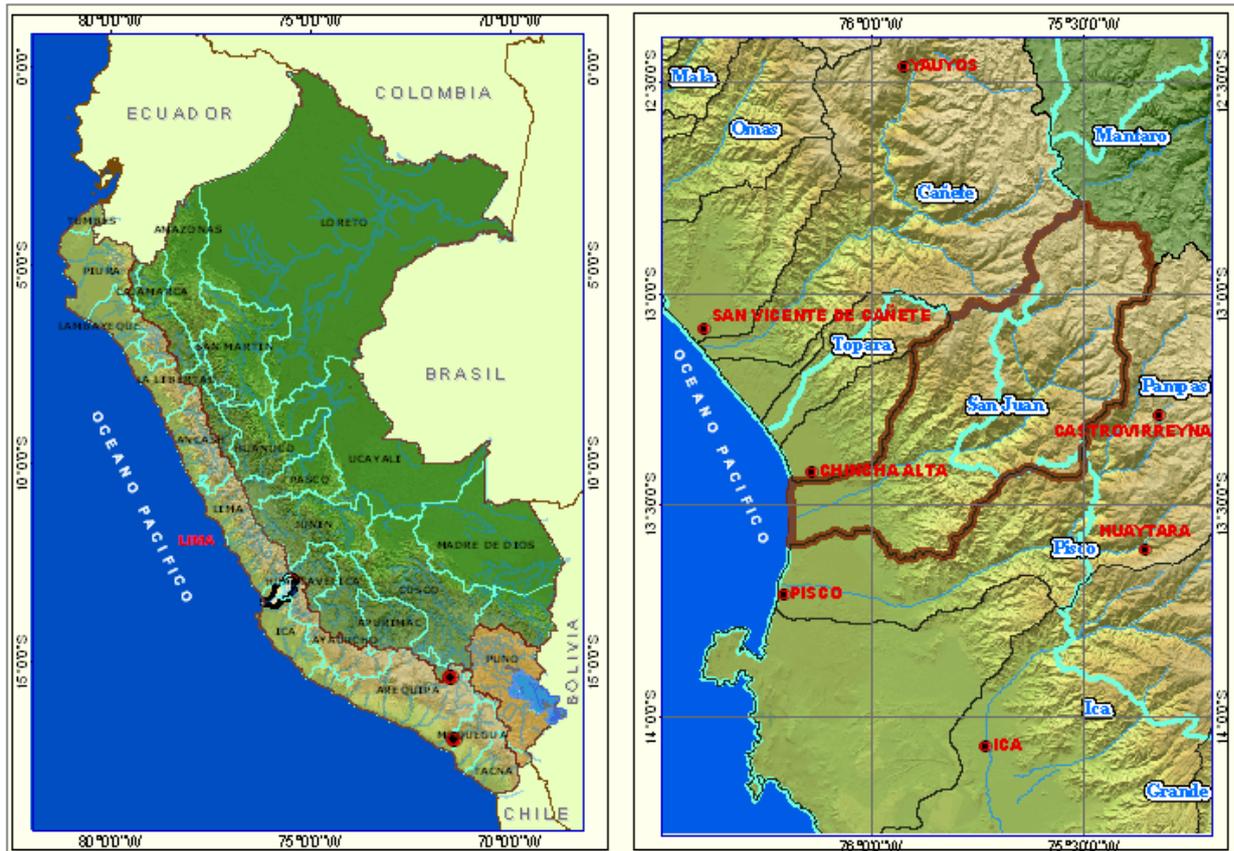


Figura N° 3.1. Mapa de Ubicación de la cuenca del río Chíncha

3.1.2 Hidrografía de la Cuenca del Río Chíncha

La Cordillera de los Andes divide hidrográficamente al país en dos vertientes principales que drenan sus aguas hacia los Océanos Pacífico 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 Pacífico 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 Pacífico siguiendo una dirección predominante hacia el suroeste. El río Chíncha es uno de ellos, encontrándose situado en la región central de esta vertiente.

El río Chíncha 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 Chíncha es parcialmente regulada, debido al régimen intermitente del río Chíncha 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 Chíncha, 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 Chíncha y en las cuencas vecinas. Estas estaciones son operadas y mantenidas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

En el Cuadro N° 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 N° 3.2, se muestra el periodo y la longitud de la información disponible de las estaciones pluviométricas y en la Figura N° 3.3, se muestra su ubicación en la cuenca del río Chíncha y en las cuencas vecinas.

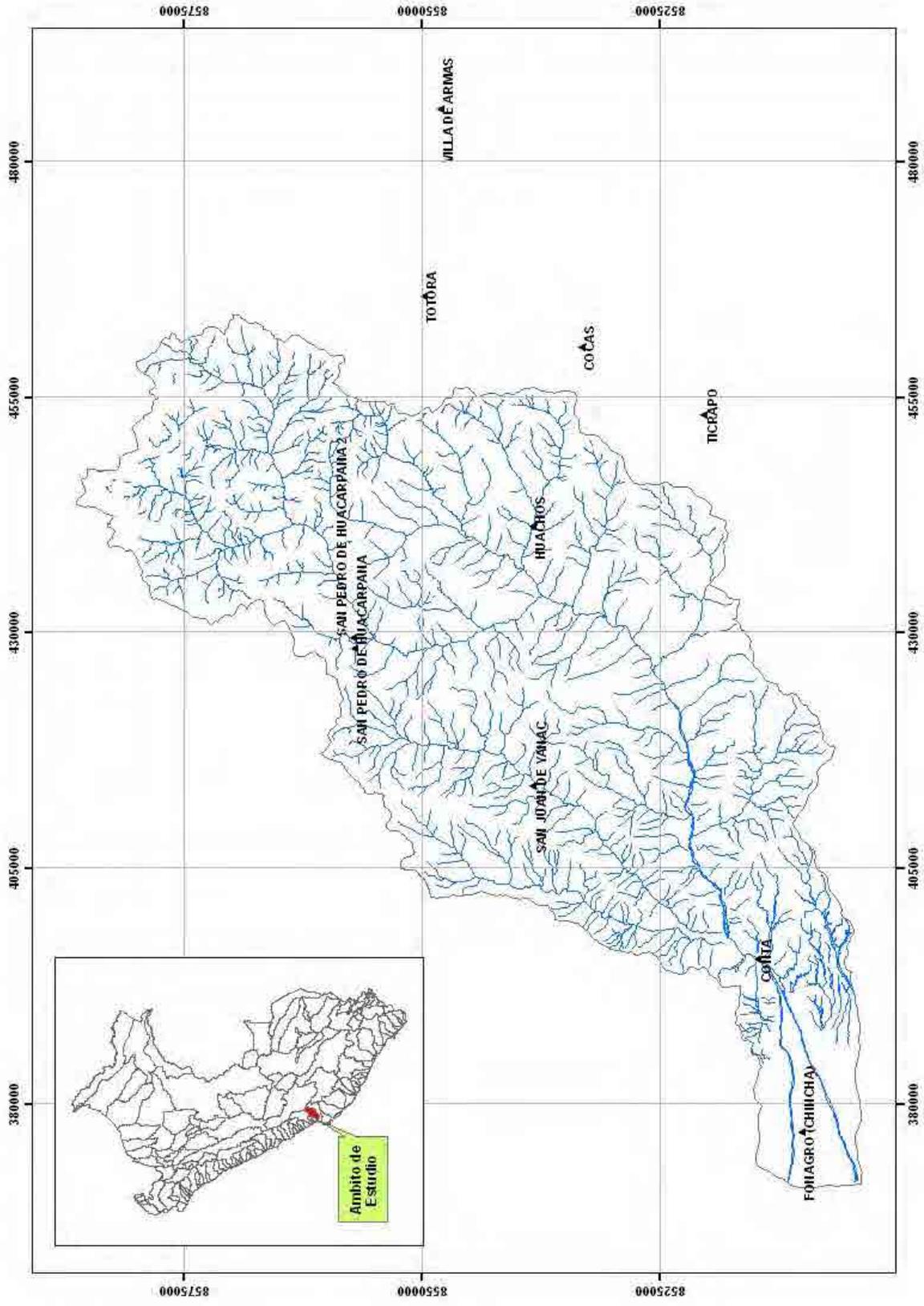


Figura N° 3.3. Ubicación de las Estaciones Pluviométricas en Cuenca del río Chinchá y Cuencas Vecinas

En el Cuadro N° 3.2 se muestra los valores medios mensuales de las estaciones consideradas en el estudio y en la Figura N° 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 N° 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

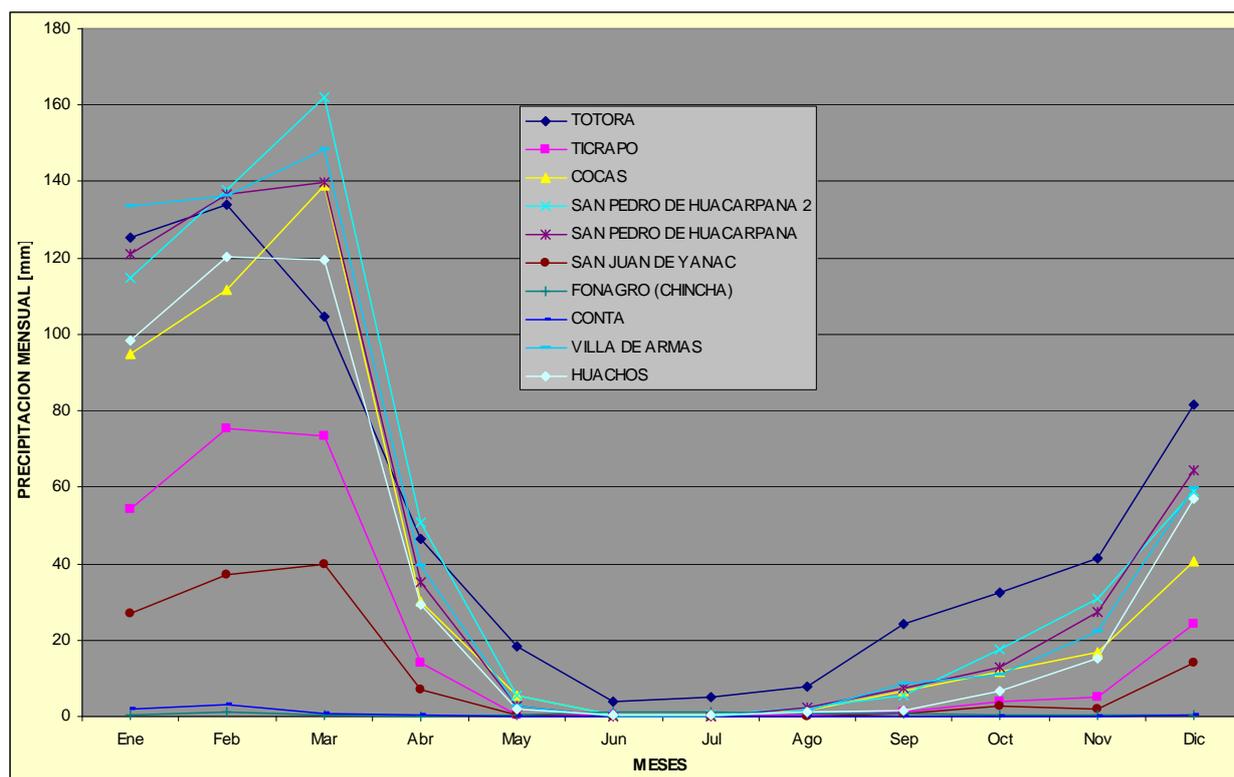


Figura N° 3.4. Histograma Mensual de las Estaciones Pluviométricas consideradas en el Ámbito del Estudio

En el Cuadro N° 3.2 y Figura N° 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 Chíncha varía de 624.95 mm (estación de Totorá) a 6.95 mm (estación Conta).

En la Figura N° 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 Tоторa, 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 N° 3.3. Resultados del ajuste lineal de las estaciones Tоторa, Huacarpana y Huachos

Estación	m	b	R ²
Tоторa	-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 (R²) es muy bajo. En el caso de la Estación Tоторa y Huacarpana habría una muy débil tendencia decreciente y en la estación Huachos una muy débil tendencia creciente. Los valores de R² 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 N° 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 N° 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 Chíncha varía de 500 mm a 100 mm, tal como se puede observar en la Figura N° 3.18.

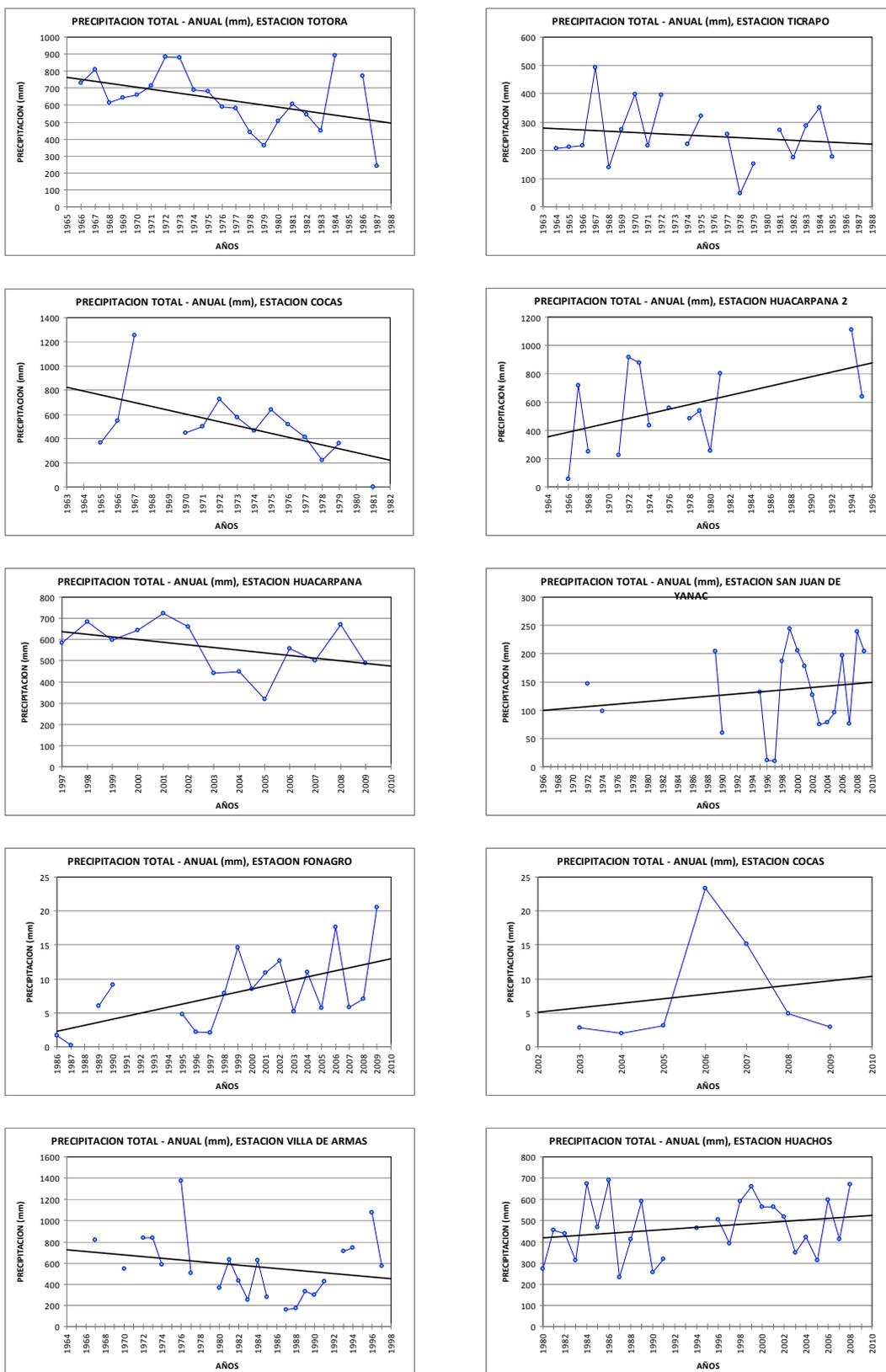


Figura N° 3.5. Tendencia de la Precipitación Anual de las Estaciones Consideradas en el Ámbito del Estudio

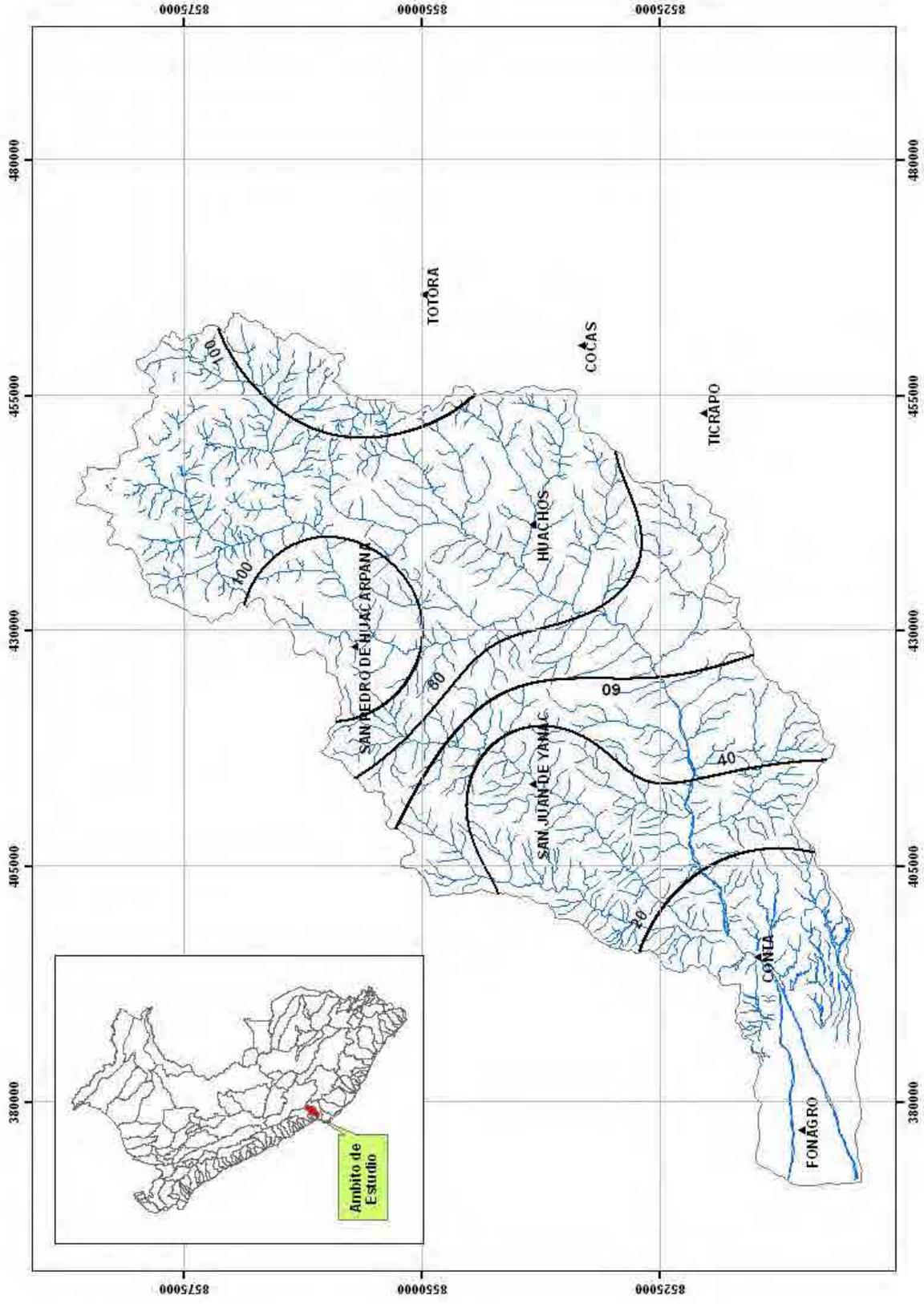


Figura N° 3.6. Isoyeta del mes de Enero de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chinchua

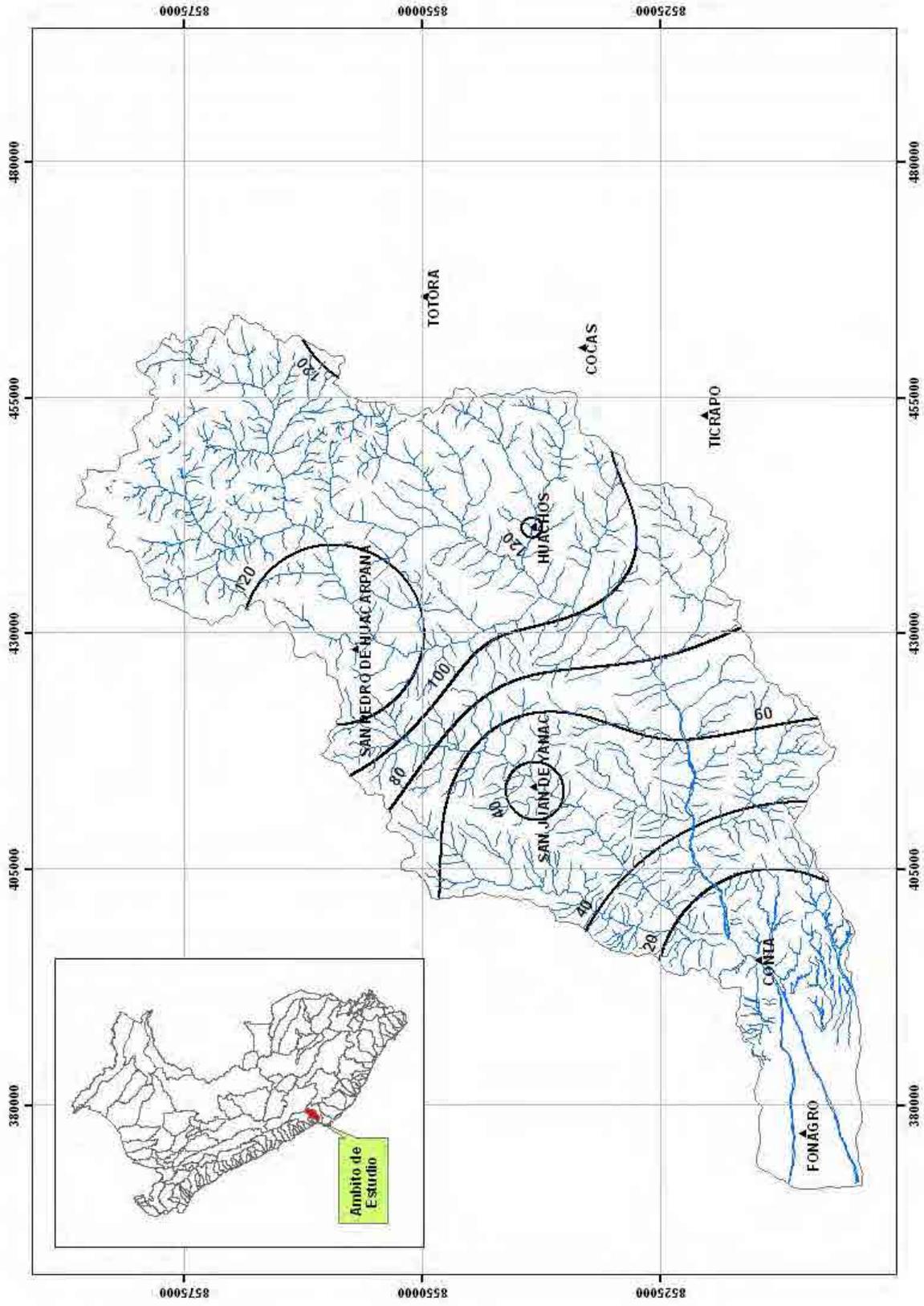


Figura N° 3.7. Isoyeta del mes de Febrero de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chinchua

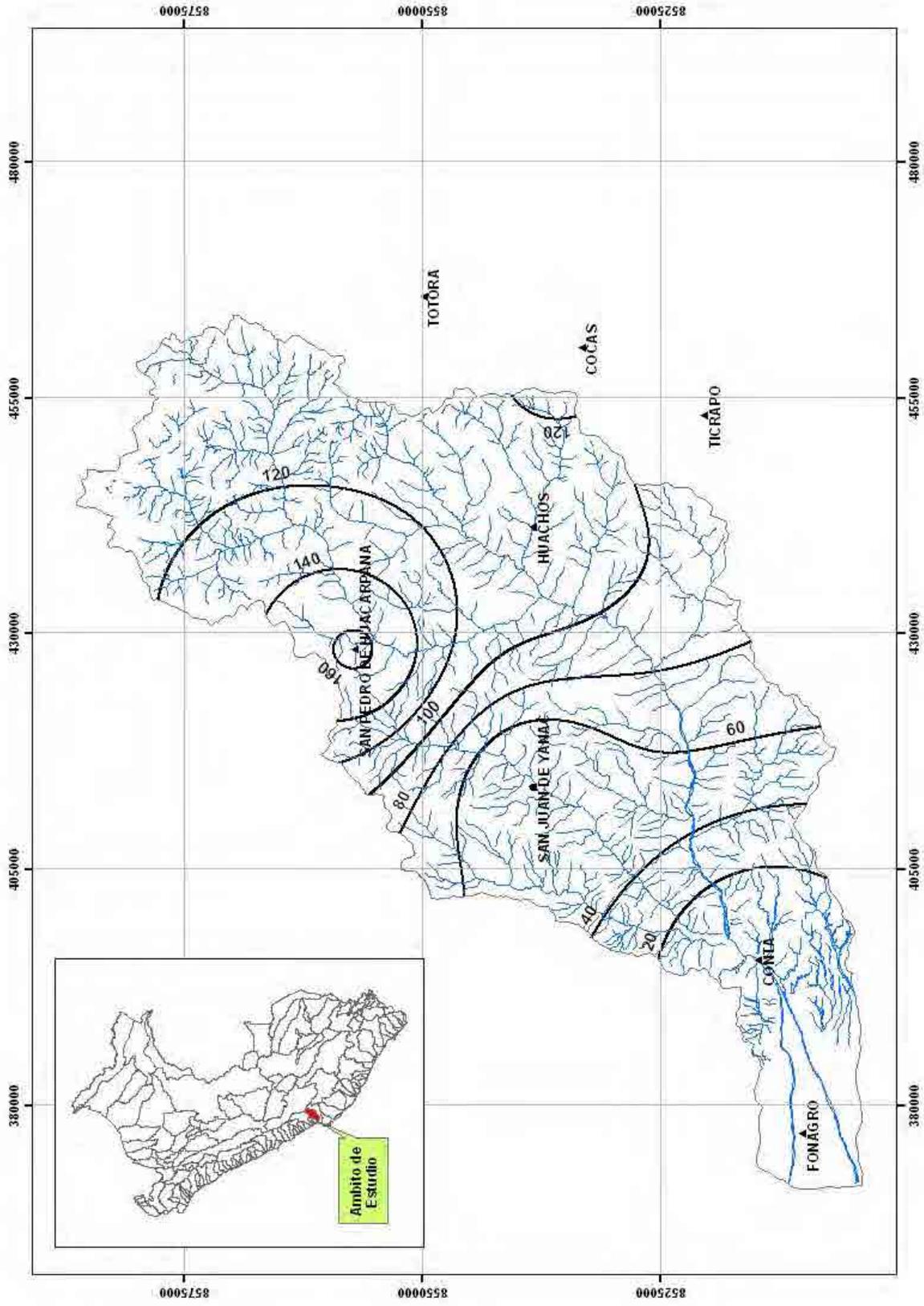


Figura N° 3.8. Isoyeta del mes de Marzo de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chinchua

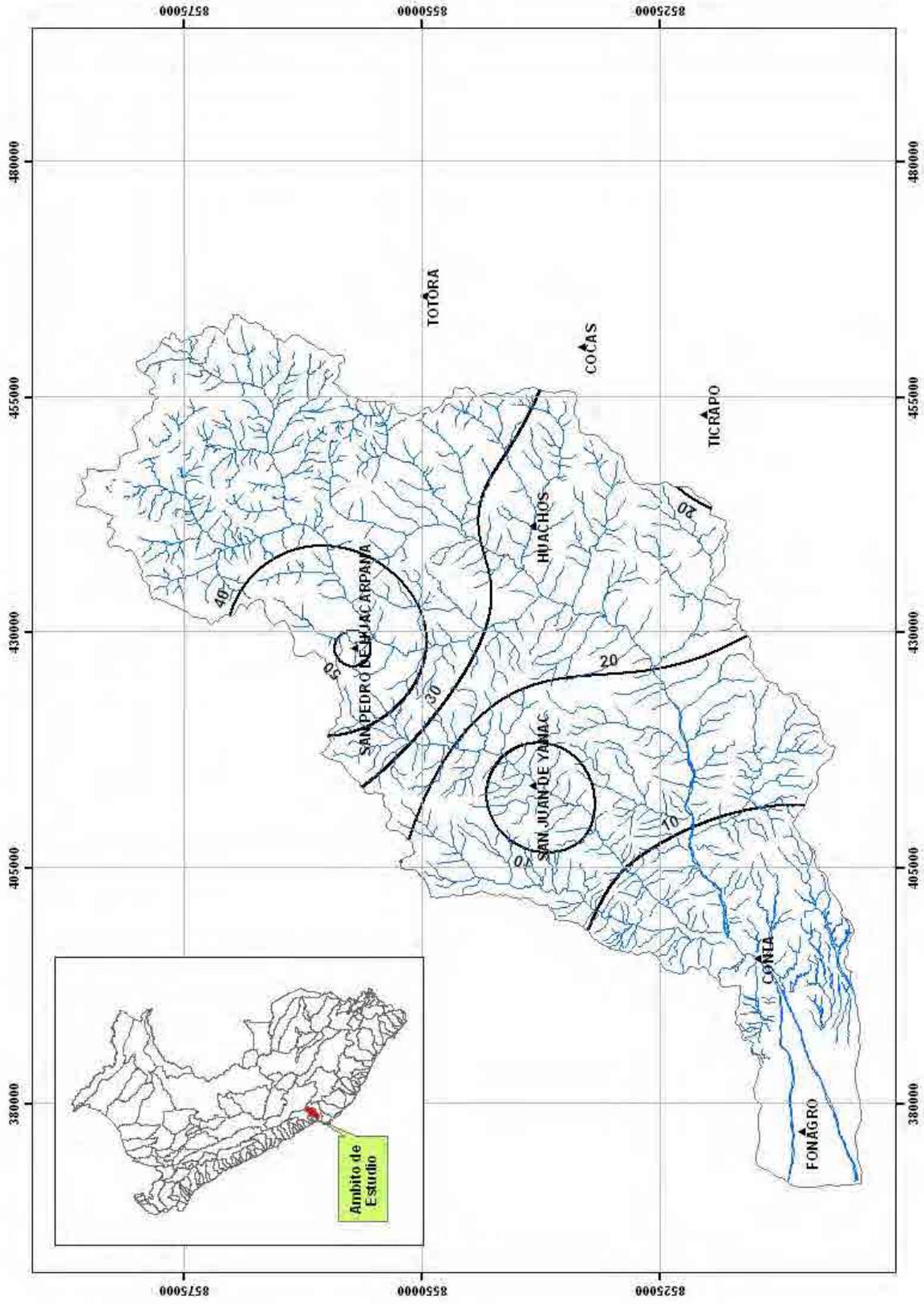


Figura N° 3.9. Isoyeta del mes de Abril de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chinchica

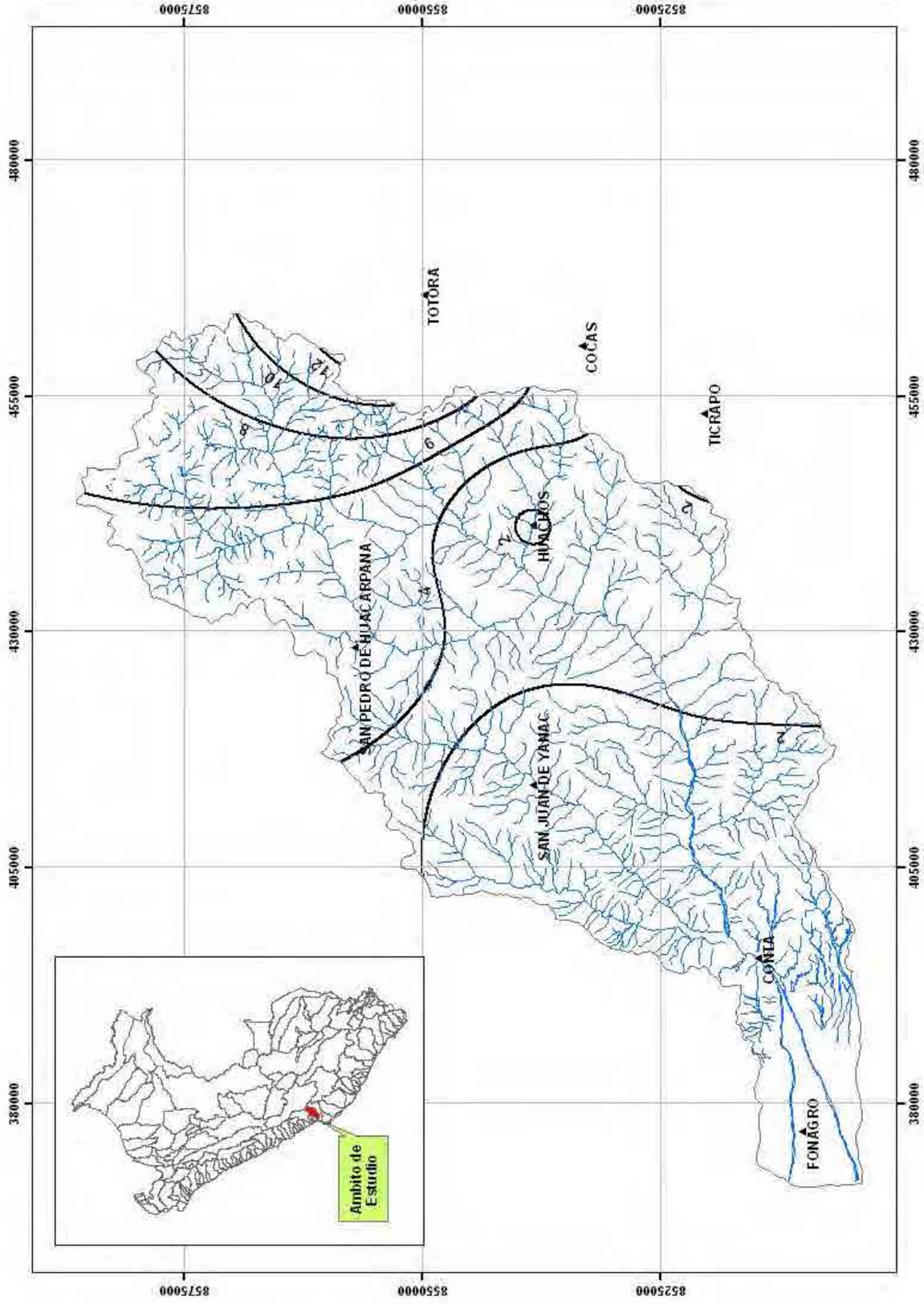


Figura N° 3.10. Isoyeta del mes de Mayo de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chinchua

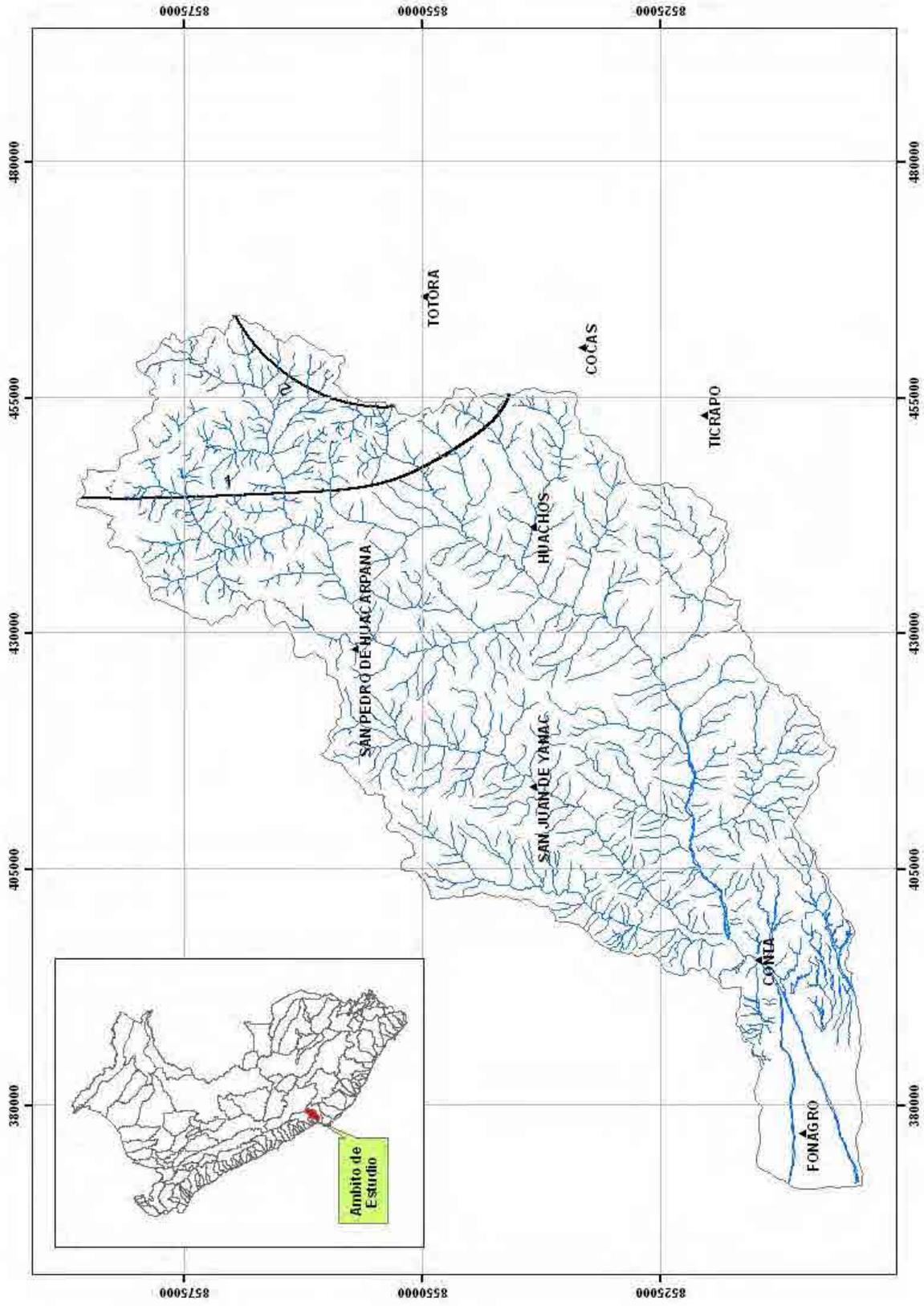


Figura N° 3.11. Isoyeta del mes de Junio de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chinchua

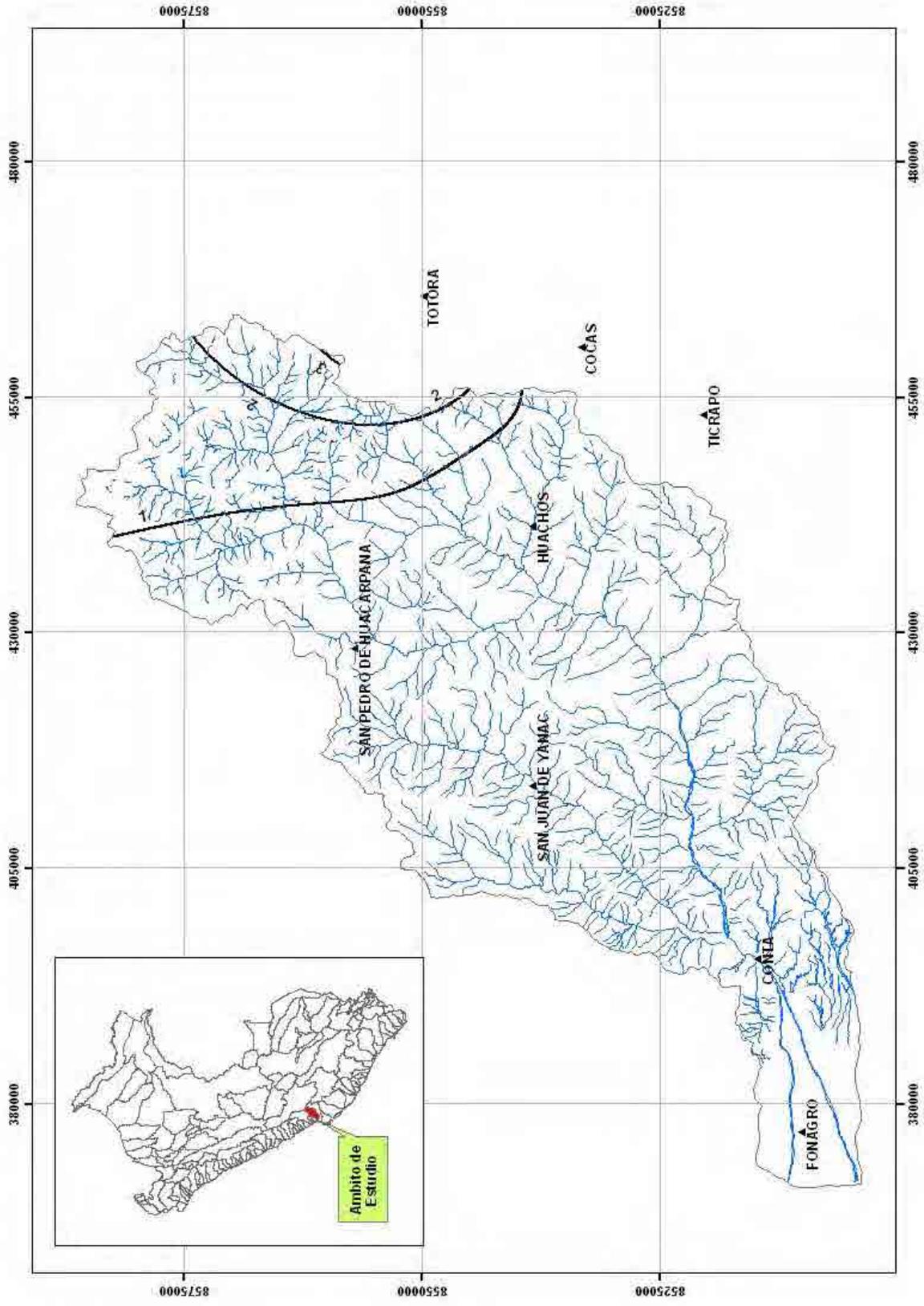


Figura N° 3.12. Isoyeta del mes de Julio de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chinchua

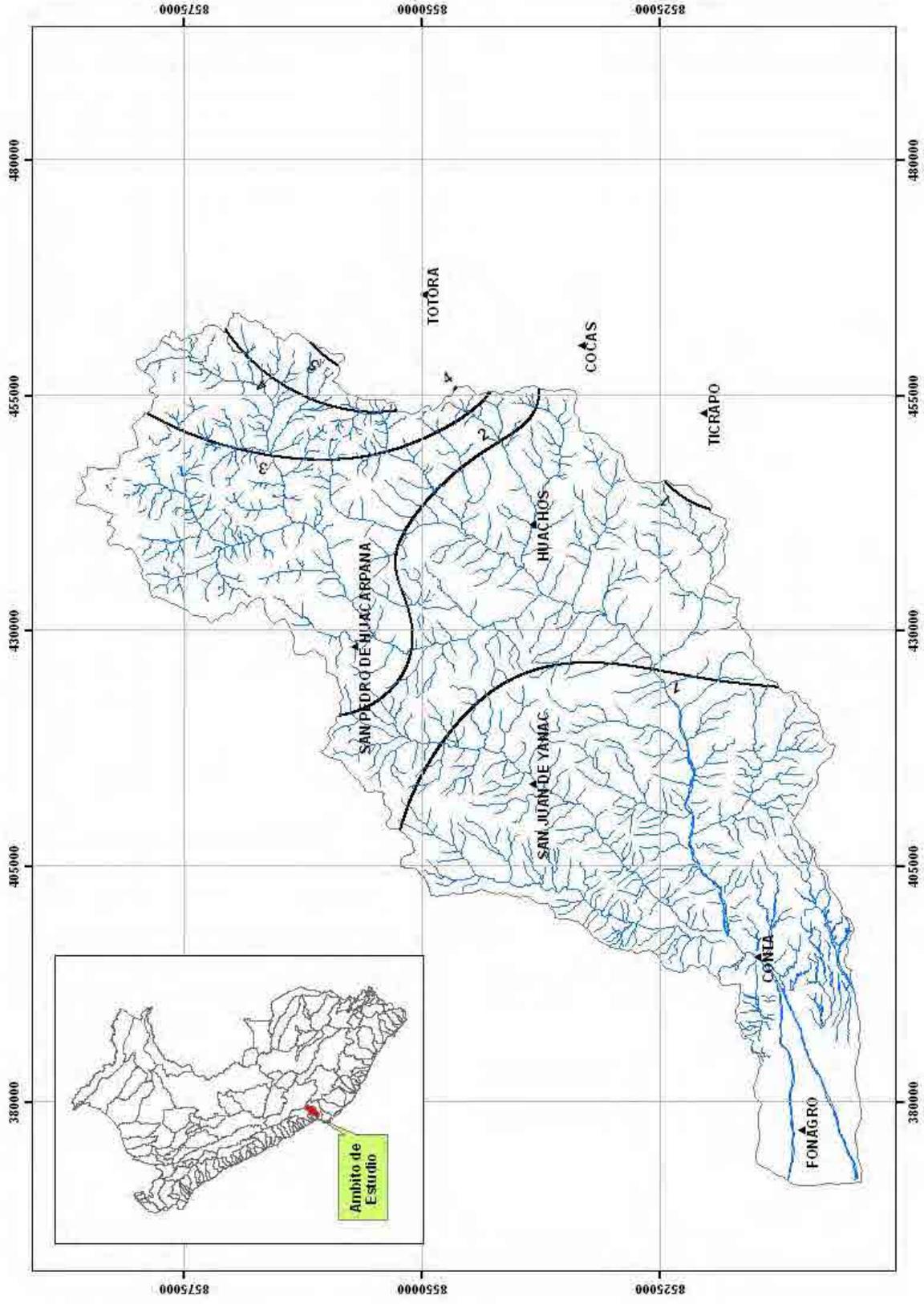


Figura N° 3.13. Isoyeta del mes de Agosto de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chincha

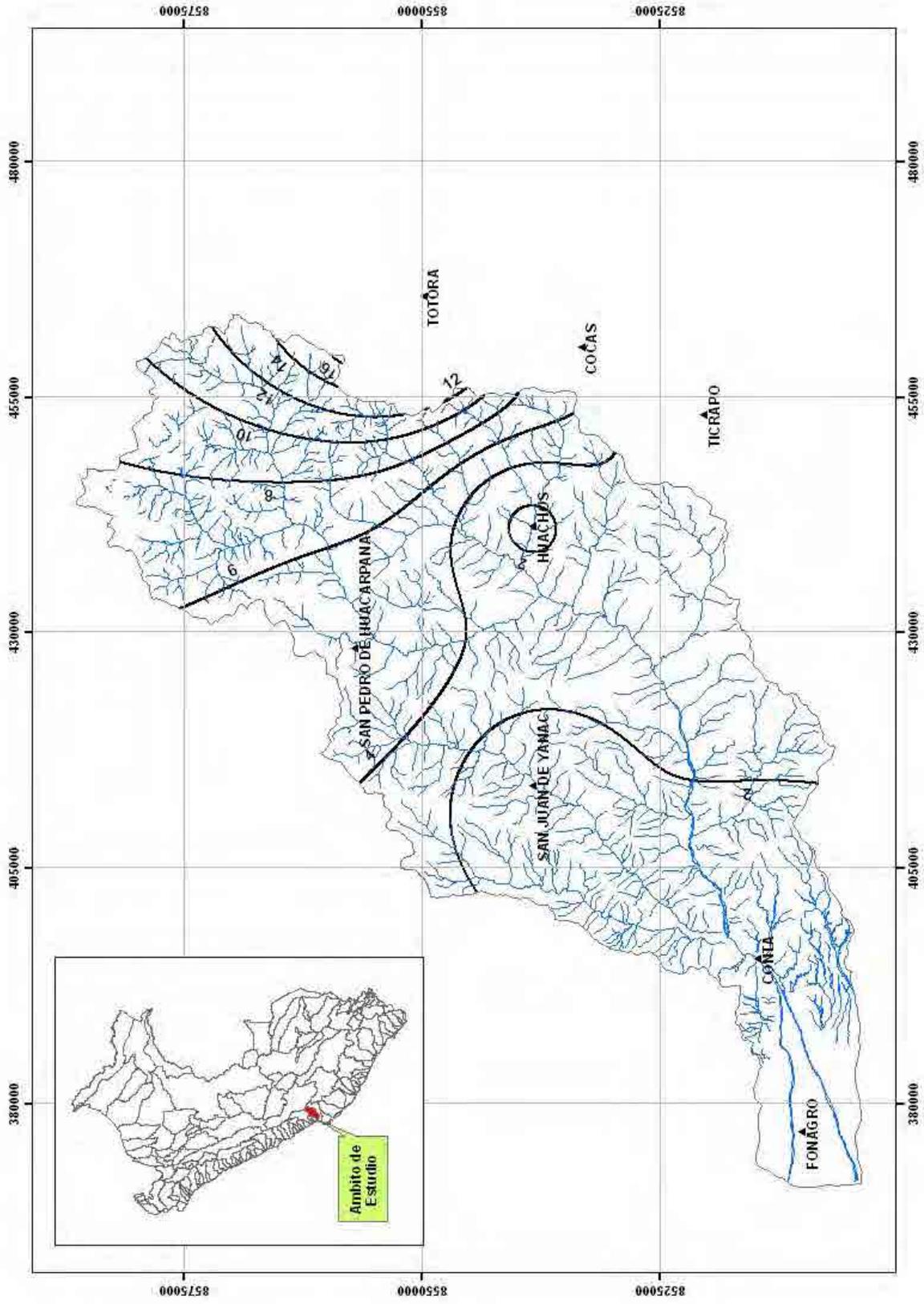


Figura N° 3.14. Isoyeta del mes de Septiembre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chinchá

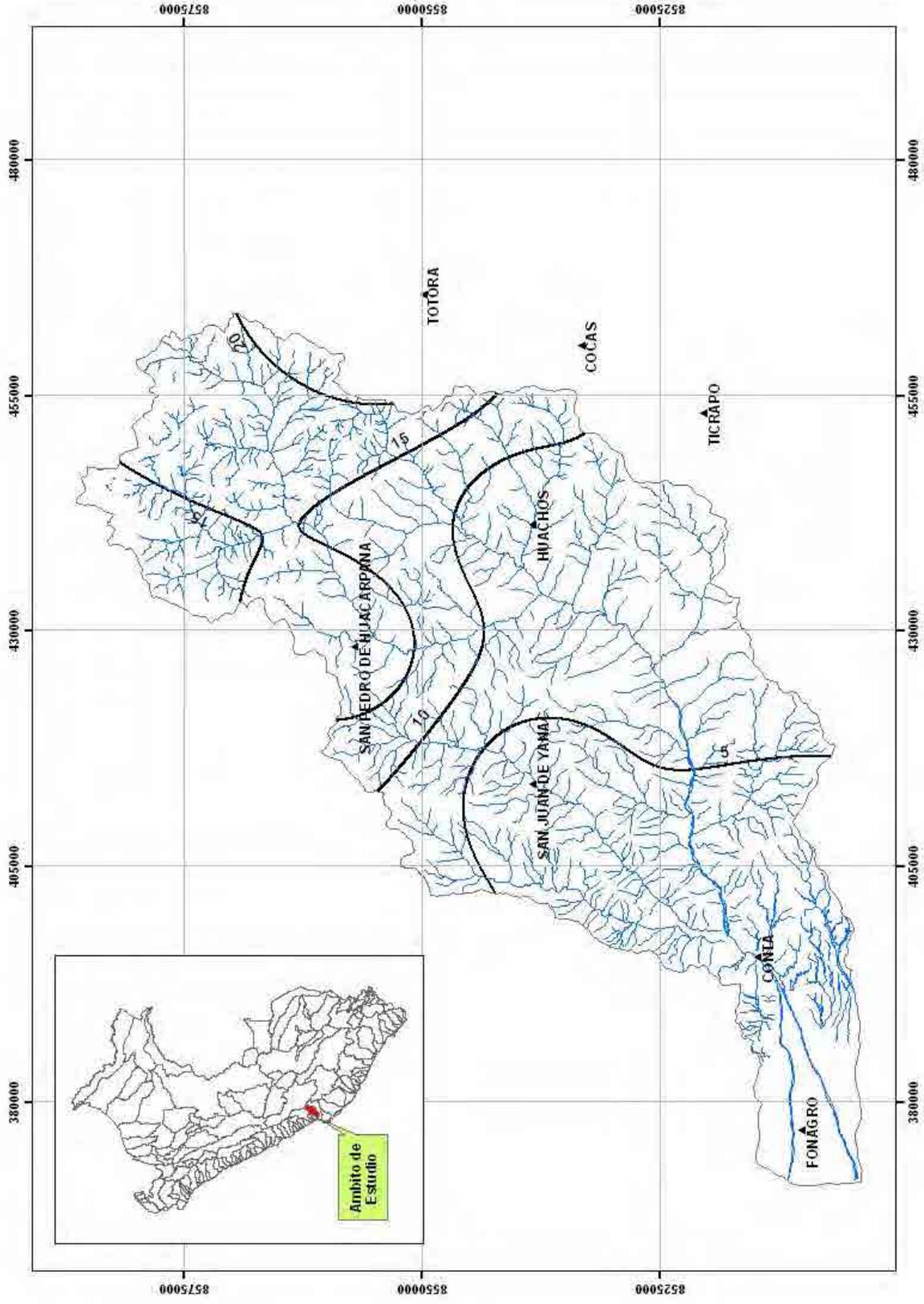


Figura N° 3.15. Isoyeta del mes de Octubre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chíncha

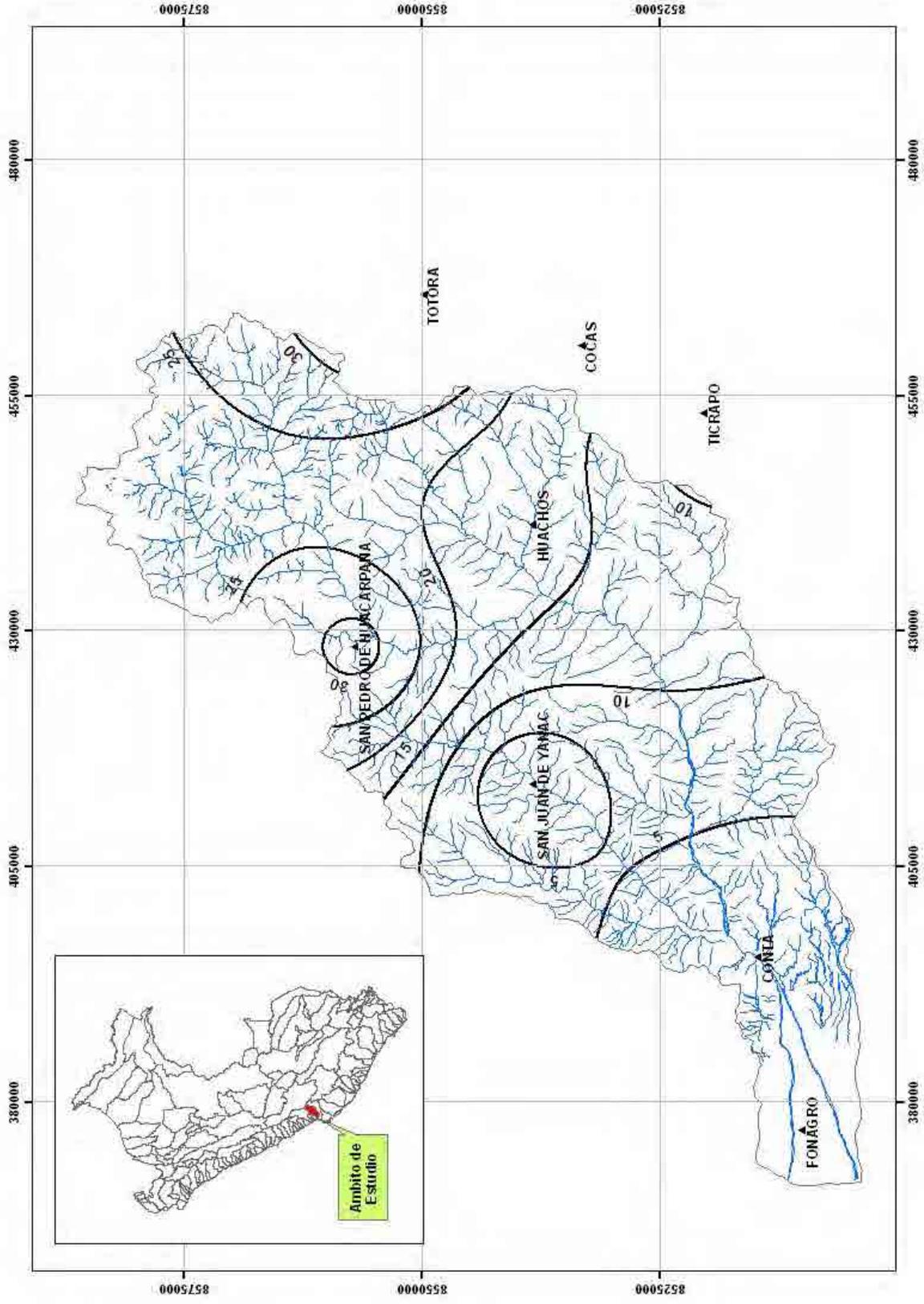


Figura N° 3.16. Isoyeta del mes de Noviembre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chinchua

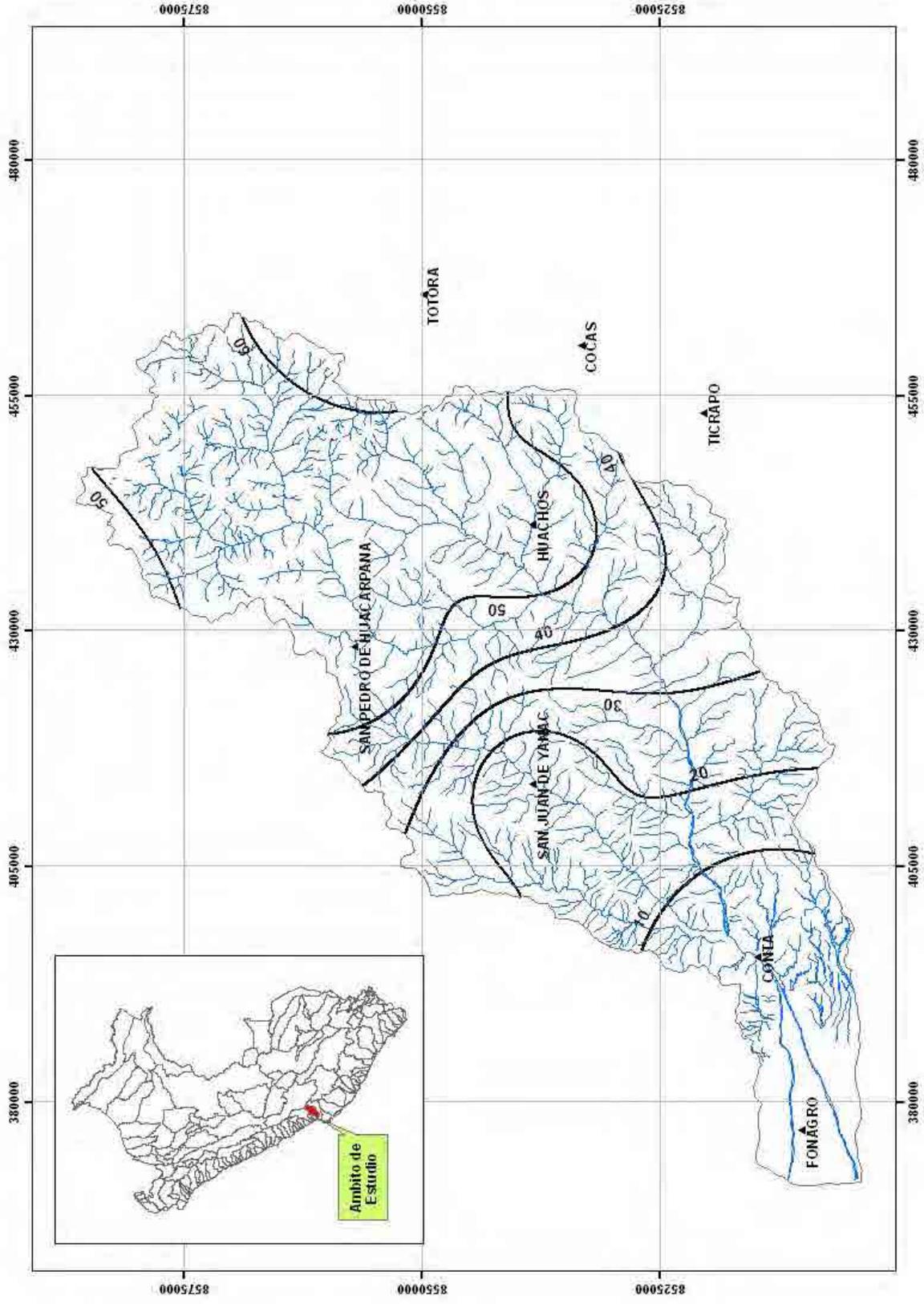


Figura N° 3.17. Isoyeta del mes de Diciembre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chinchua

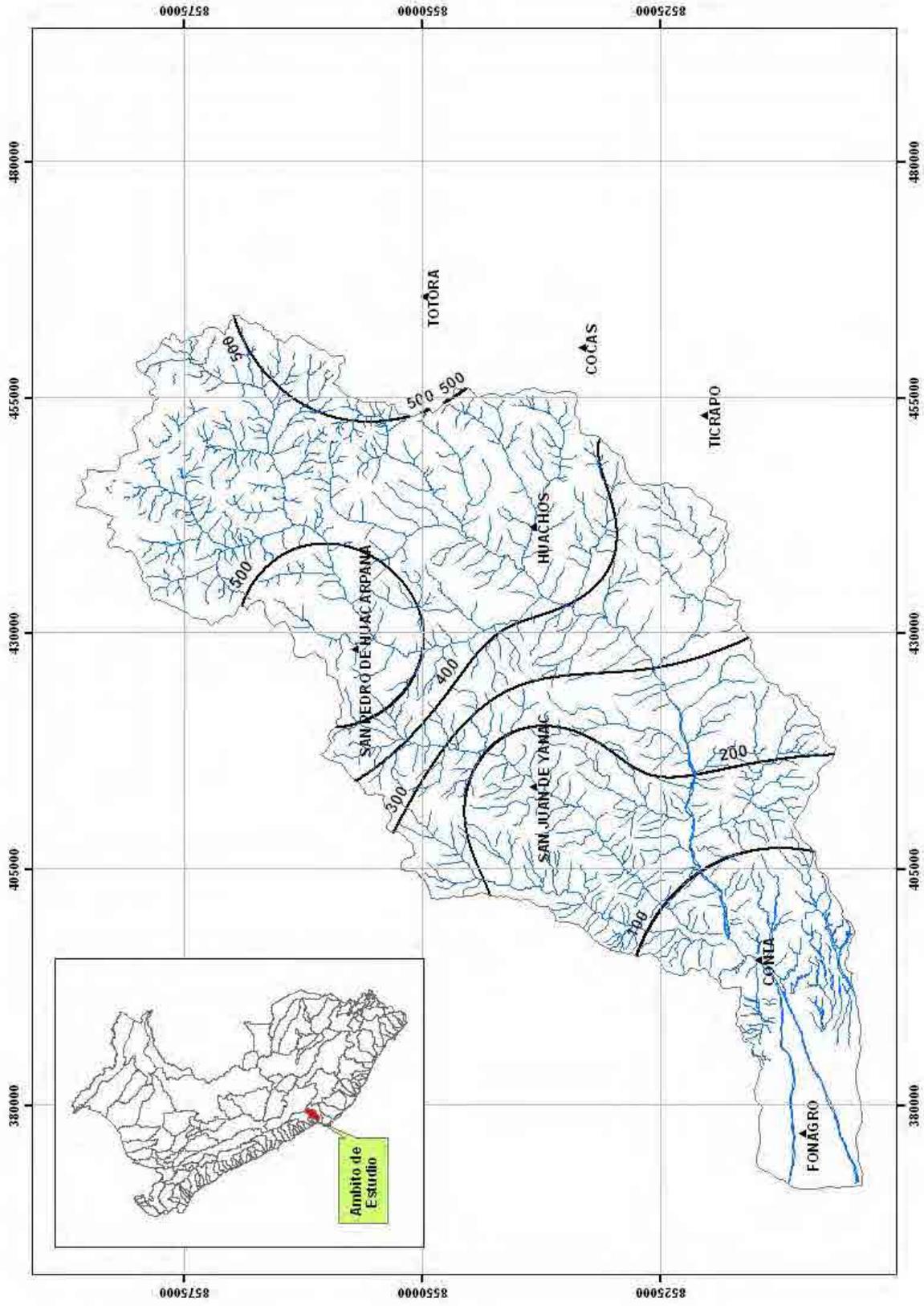


Figura N° 3.18. Isoyeta Anual de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Chinchua

3.2.2 Temperatura

La temperatura del aire y sus variaciones diarias y estacionales 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, Agnocochoa, de la cuenca vecina de Pisco.

A partir de la información mostrada en el Cuadro N° 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 Acnocochoa (2.8 mm.).

En la Figura N° 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 Acnocochoa.

Cuadro N° 3.4. Temperatura Media Mensual [°C] de las estaciones de la cuenca del río Chíncha y cuencas vecinas

ESTACION METEOROLOGICA	ALTITUD msnm	AÑO PROMEDIO												MEDIA ANUAL
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
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 Chíncha. IRH-INRENA-MINAG, 2003

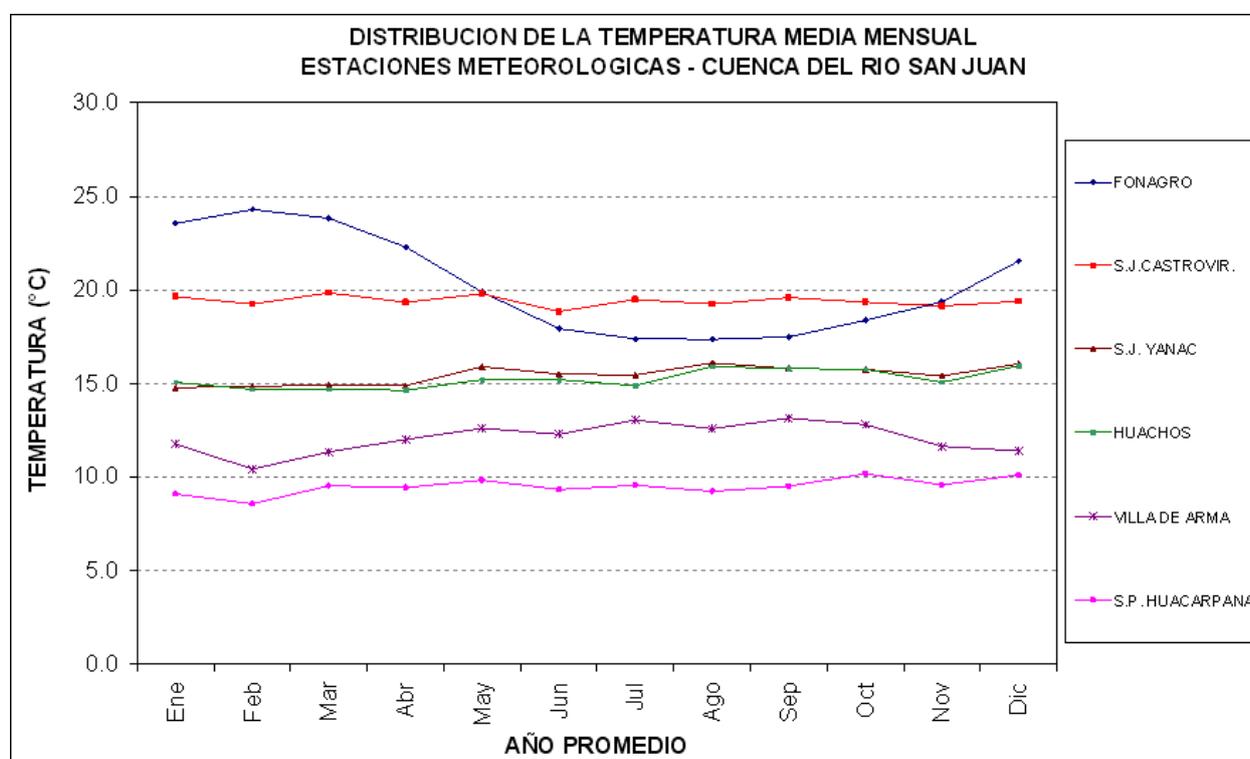


Figura N° 3.19. Distribución de la Temperatura Media Mensual de las Estaciones Meteorológicas Ubicadas en la Cuenca del Río Chíncha

Fuente: Evaluación y Ordenamiento de los Recursos Hídricos de la Cuenca del Río Chíncha. 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 N° 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 N° 3.5. Ubicación de la Estación Hidrométrica Conta

CODIGO	NOMBRE DE LA ESTACION	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 limnometrica. Se mide la altura de agua manualmente (06:00, 10:00, 14:00 y 1800 horas) para calcular caudales diarios.

En la Figura N° 3.20, se muestra el período y la longitud de la información disponible en la estación Hidrométrica Conta y en la Figura N° 3.21 se muestra su ubicación dentro de la cuenca del río Chincha.



Figura N° 3.20. Periodo y longitud de la información disponible en la Estación Hidrométrica Conta

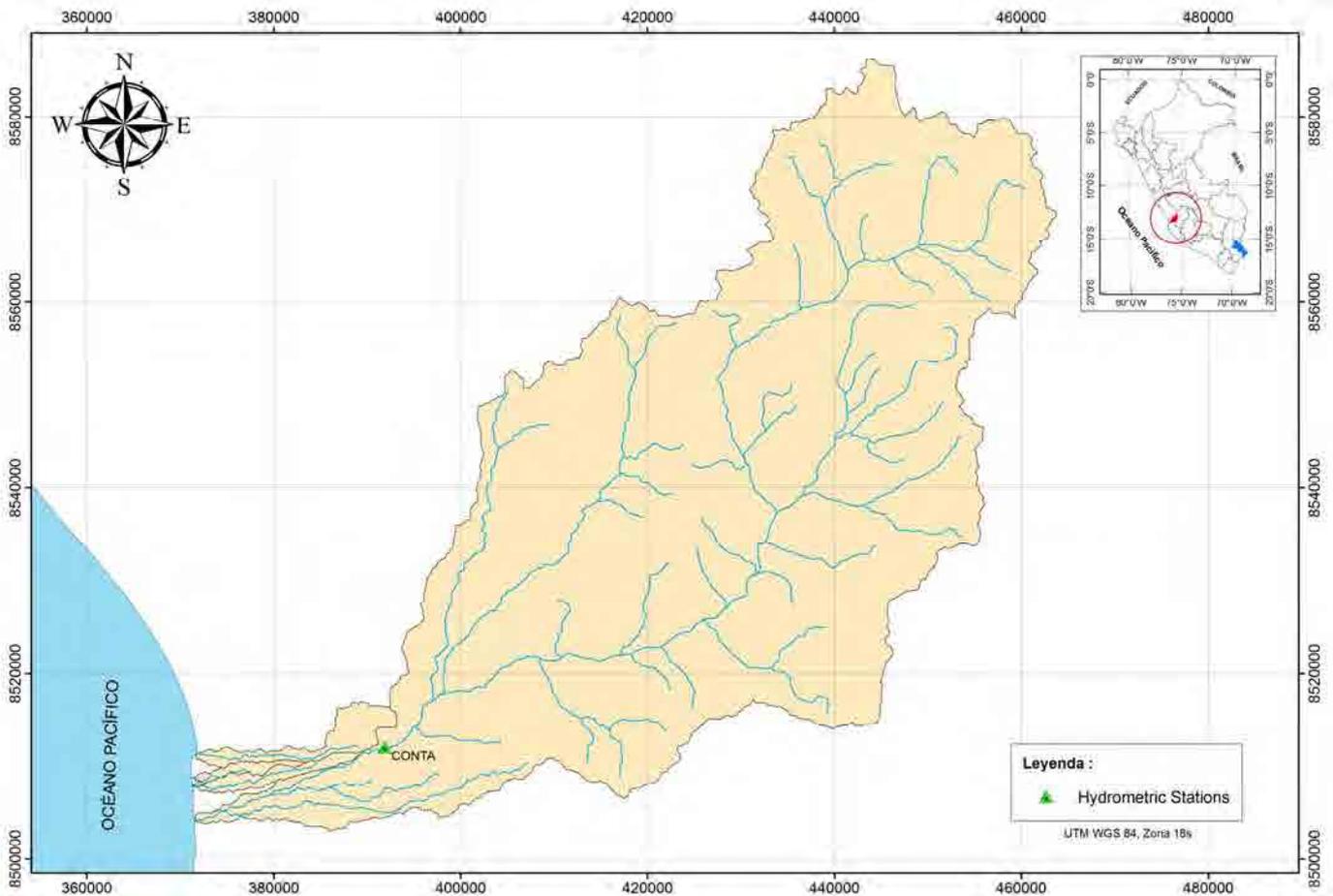


Figura N° 3.21. Ubicación de la estación hidrométrica Conta en la Cuenca del río Chíncha

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 Chíncha

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 periodo 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 m³/s y H es 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 hidrométricas 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 periódicas 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 deberá 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 capítulo 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/o 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 modela 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 N° 4.1.

Cuadro N° 4.1. Características Geomorfológicas de la cuenca en el Punto Base (estación Conta)

Característica	Valor
Area de la Cuenca (km ²)	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 N° 3.1 y Figura N° 3.3. se muestra las estaciones ubicadas en el ámbito del estudio (cuenca del río Chíncha y cuencas vecinas), las precipitaciones máximas en 24 horas anual de estas estaciones se muestra en el Cuadro N° 4.2 y la información diaria y máxima en 24 horas se muestra en el Anexo.

De la información mostrada en el Cuadro N° 4.2 y observando la Figura N° 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 Río Chíncha.

Cuadro N° 4.2. Precipitación Máxima en 24 Horas Anual de las Estaciones ubicadas en el Ámbito del Estudio

Año	Estaciones Pluviométricas									
	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 N° 4.1 se muestra las estaciones consideradas para los siguientes análisis que van a ser aplicado en el software HEC-HMS.

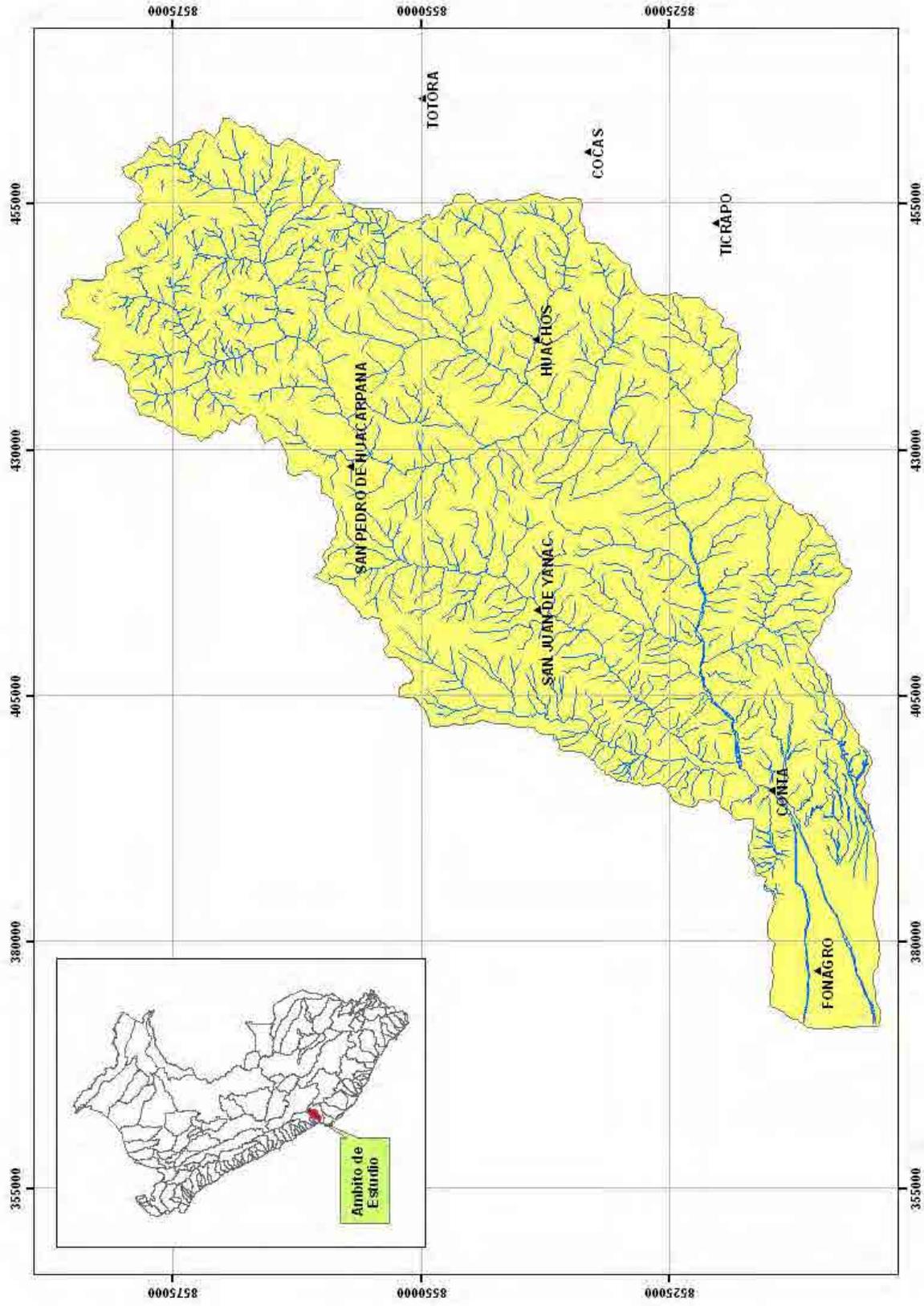


Figura N° 4.1. Estaciones Pluviométricas consideradas para la aplicación del Software HEC-HMS

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,

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

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:

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

Para $0 < x < \infty$, se tiene que $x \sim \text{logN}(\mu_y, \sigma_y^2)$

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_0 , antes de tomar logaritmos, se puede conseguir que sea normalmente distribuida.

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

$$f(x) = \frac{1}{(x - x_0)\sigma_y\sqrt{2\pi}} \text{EXP} \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{\ln(x - x_0) - \mu_y}{\sigma_y} \right]^2 \right\}$$

Para $x_0 \leq x < \infty$

Donde:

x_0 = 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:

$$\Gamma(\gamma) = \int_0^{\infty} x^{\gamma-1} e^{-x} dx, \text{ que converge si } \gamma > 0$$

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 estación (ver Cuadro N° 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 parámetros, la Log – Pearson III, la Gumbel, la Log – Gumbel y Valores Extremo Generalizados.

La información generada para cada función de distribución se elige la de que tiene mejor ajuste mediante la prueba de bondad de Kolmogórov – Smirnov y los periodos de retorno considerados para el presente estudio 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 N° 4.3. Los valores de cada estación pluviométrica y para cada periodo de retorno se muestran en el Cuadro N° 4.4.

Cuadro N° 4.3. Coeficiente de Determinación para cada Función de Distribución y para cada Estación Pluviométrica

Estacion	Coeficiente de Determinación 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 N° 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 N° 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 N° 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.

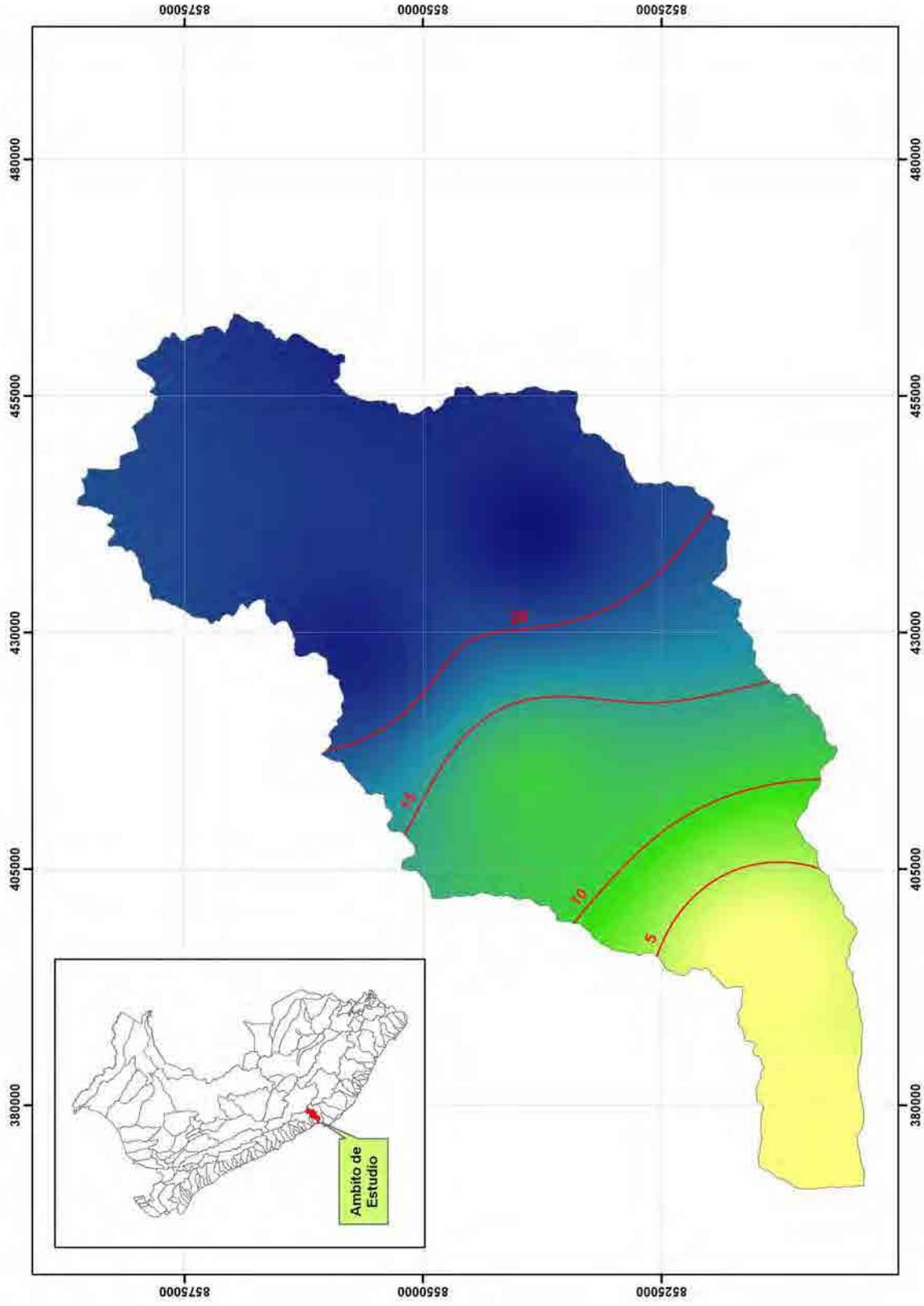


Figura N° 4.2. Isoyetas de la Precipitación Máxima en 24 –Horas para un Periodo de Retorno de 2 años en la cuenca del río Chincha.

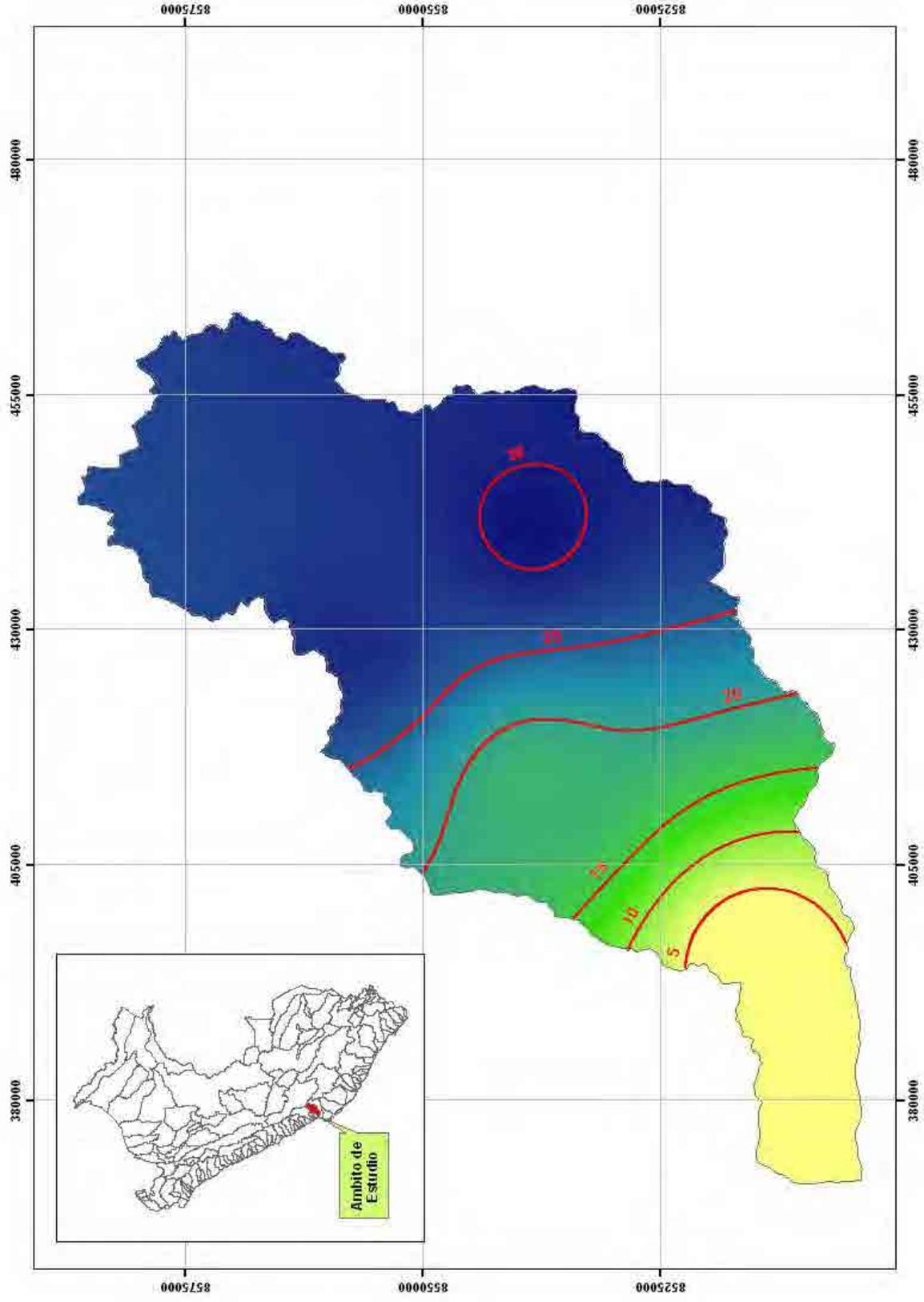


Figura N° 4.3. Isoyetas de la Precipitación Máxima en 24 –Horas para un Periodo de Retorno de 5 años en la cuenca del río Chinchua.

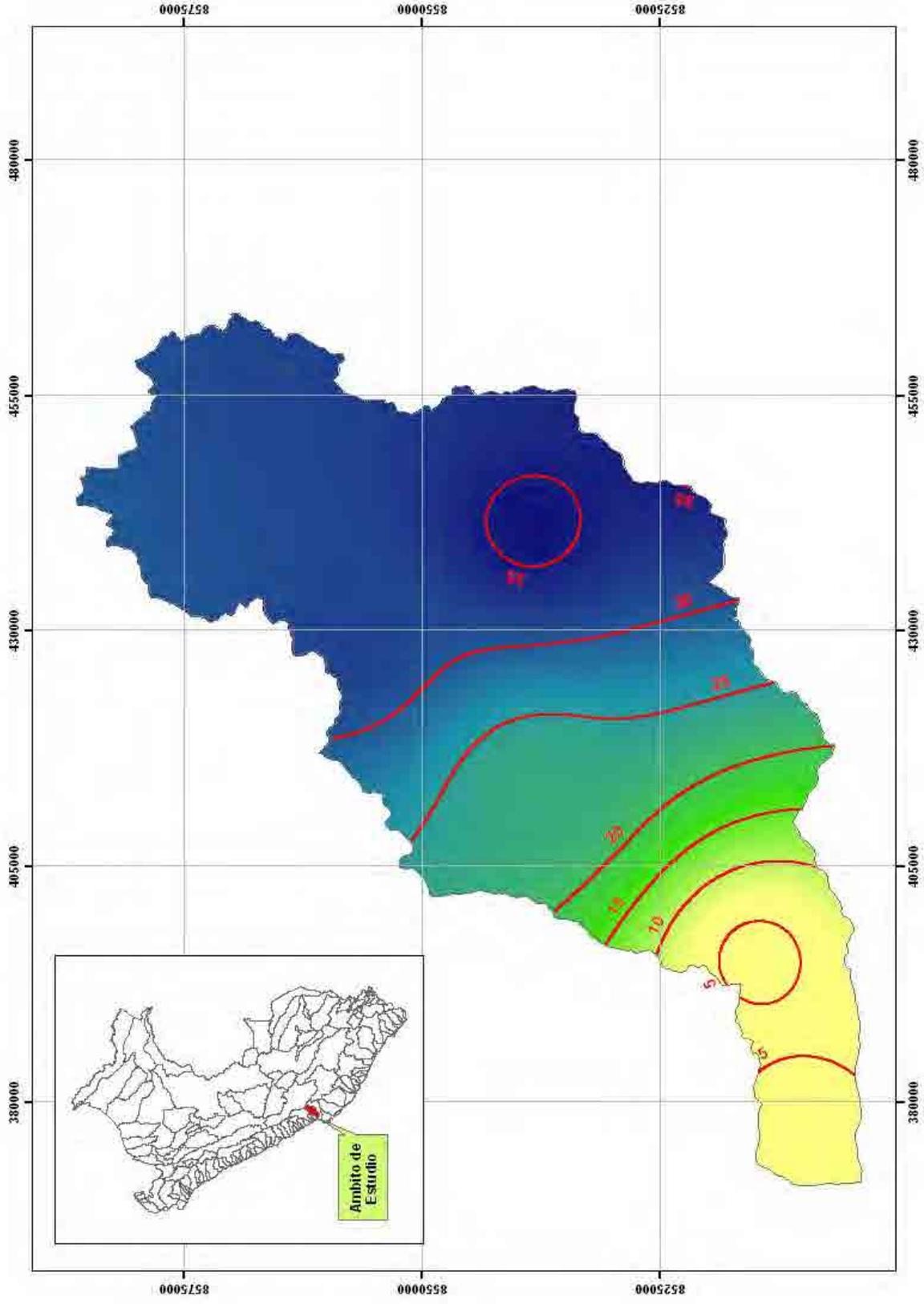


Figura N° 4.4. Isoyetas de la Precipitación Máxima en 24 –Horas para un Periodo de Retorno de 10 años en la cuenca del río Chinchua

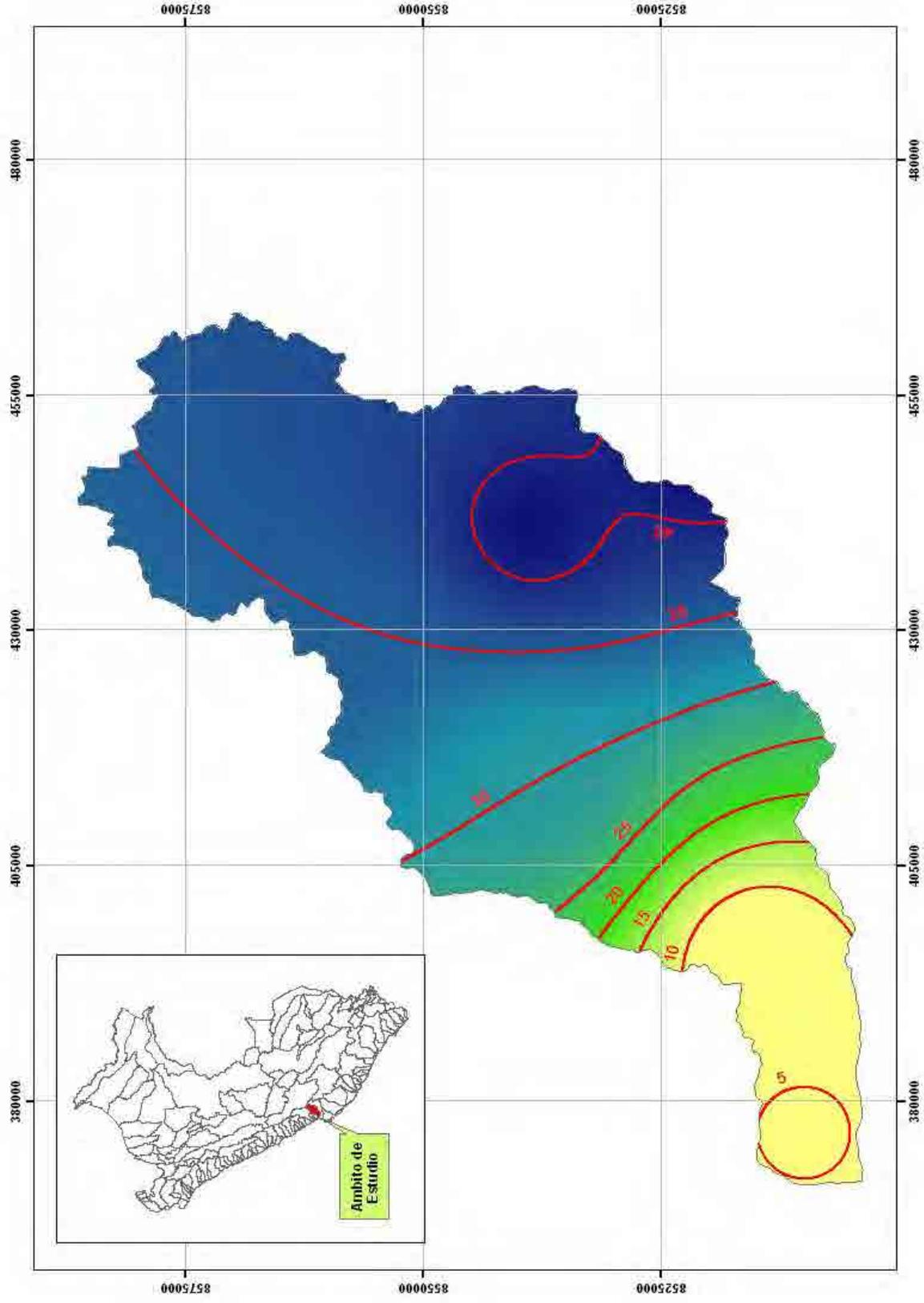


Figura N° 4.5. Isoyetas de la Precipitación Máxima en 24 –Horas para un Periodo de Retorno de 25 años en la cuenca del río Chinchua

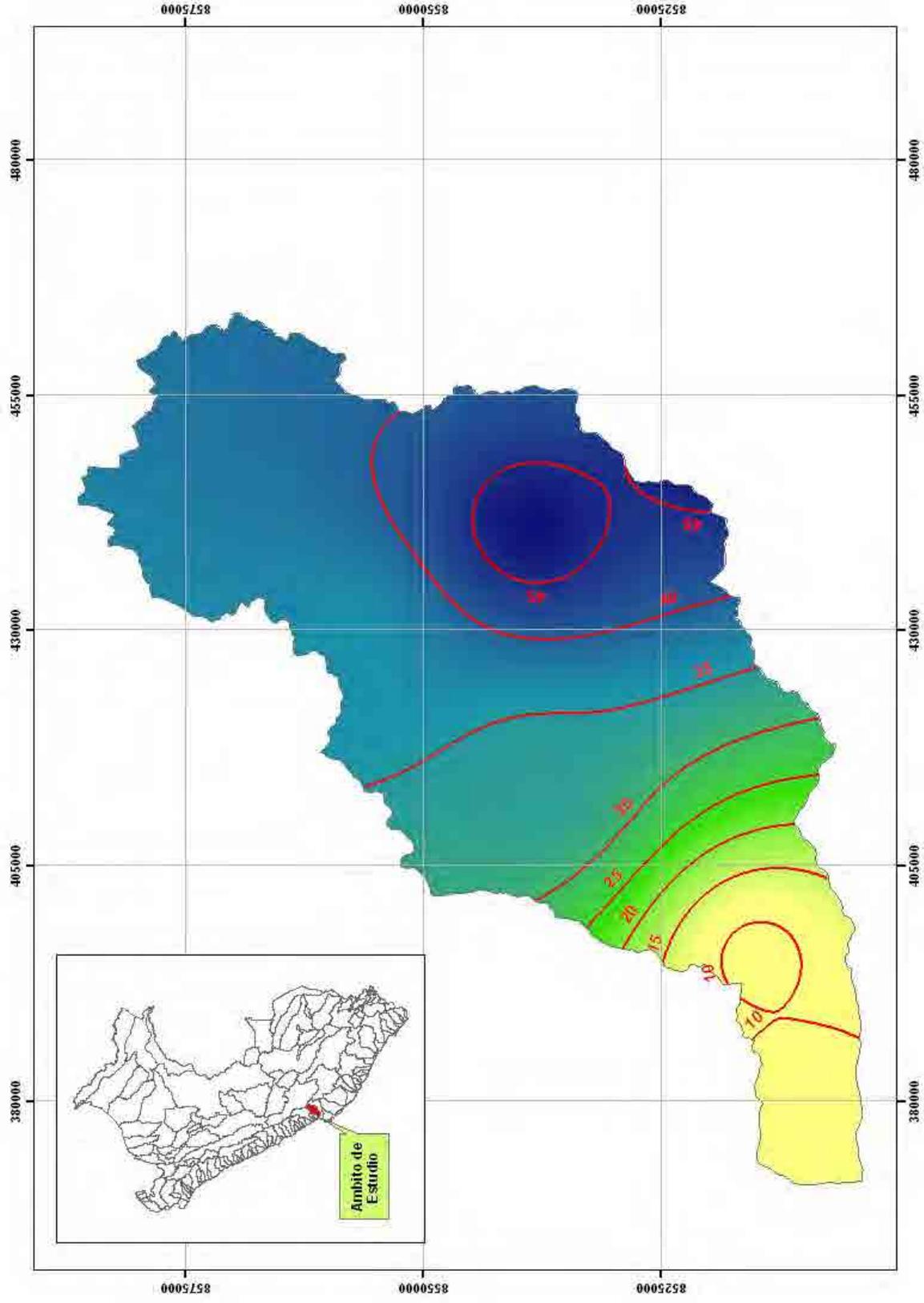


Figura N° 4.6. Isoyetas de la Precipitación Máxima en 24 –Horas para un Período de Retorno de 50 años en la cuenca del río Chinchua

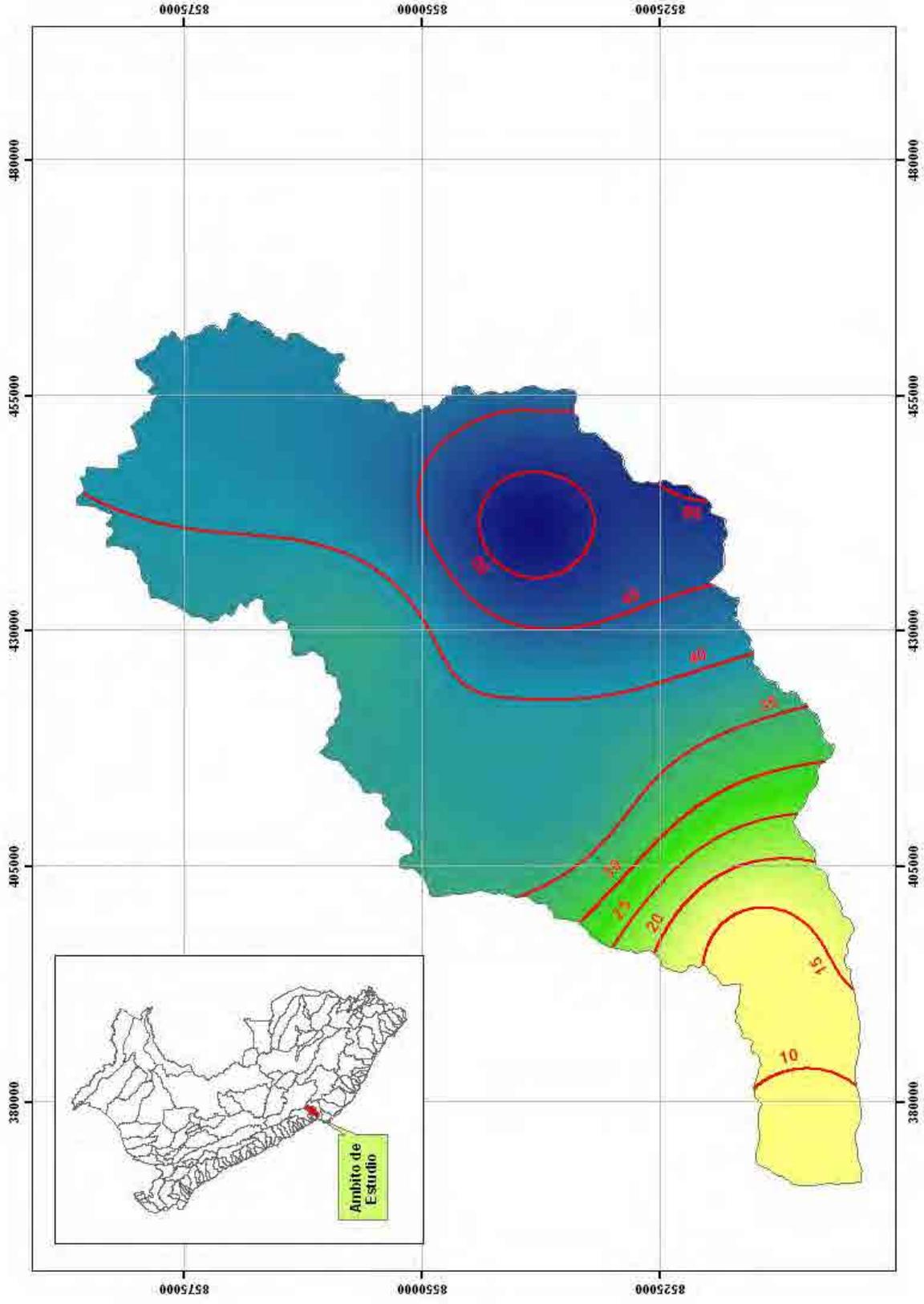


Figura N° 4.7. Isoyetas de la Precipitación Máxima en 24 –Horas para un Periodo de Retorno de 100 años en la cuenca del río Chinchua

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 precipitación areal máxima de 24 horas en el punto base (estación Conta) para cada periodo de retorno, los resultados se muestran en el Cuadro N° 4.5.

Cuadro N° 4.5. Precipitaciones Aerales 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 N° 4.2. a 4.7 y a la metodología descrita brevemente en el ítem 4.2.2.4.

En la Figura N° 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 N° 4.6.

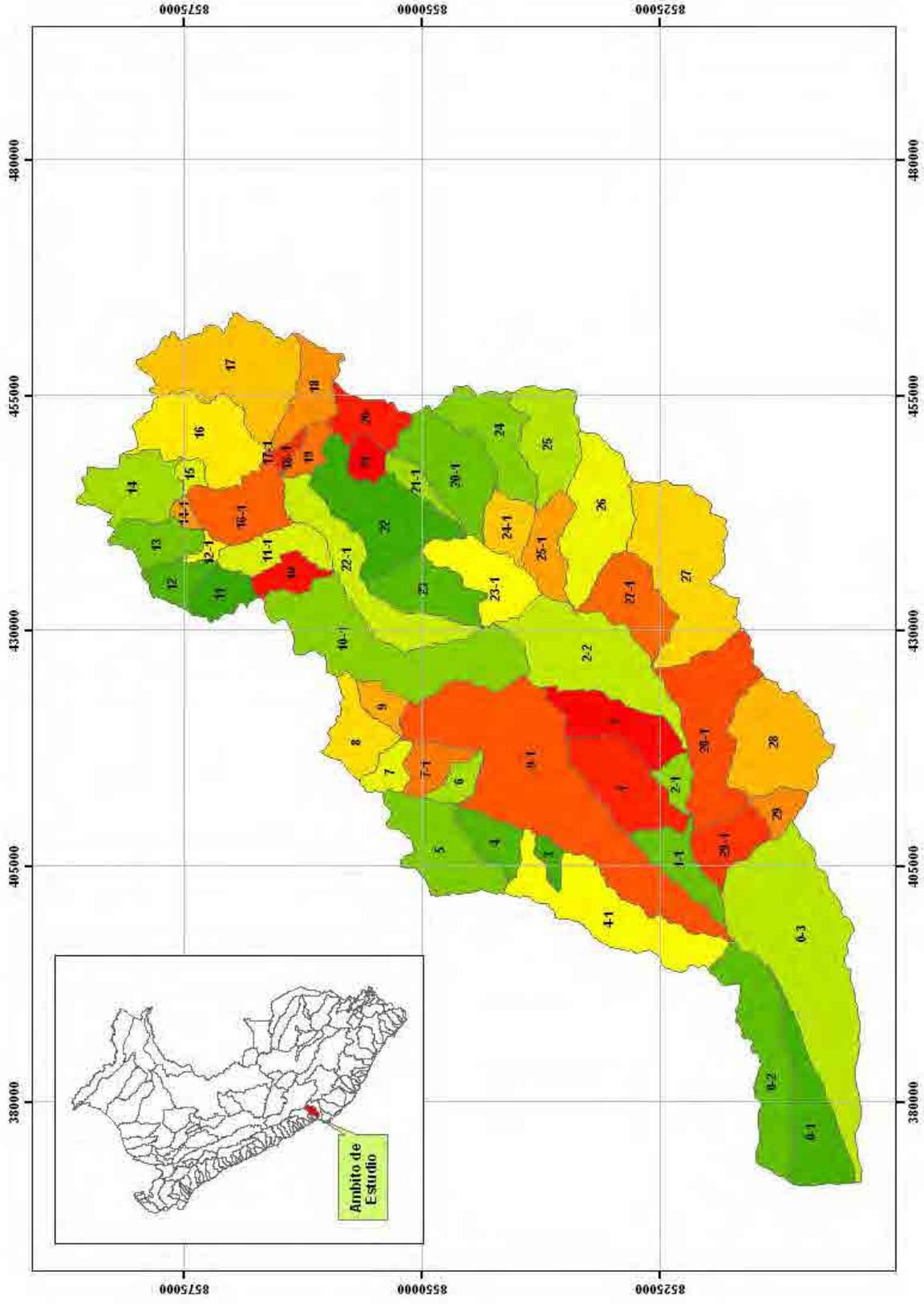


Figura N° 4.8. Subcuenca del río Chinchua

Cuadro N° 4.6. Precipitaciones para Diferentes Periodos de Retorno en cada Subcuenca del río Chíncha

SUBCUENCA	AREA [m ²]	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 Chíncha se empleó la información de la estación hidrométrica Conta. Esta estación tiene un área de contribución de 2981.5 km². En la Figura 3.21 se muestra su ubicación en el ámbito de la cuenca del río Chíncha.

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 N° 4.7.

Cuadro N° 4.7. Descargas Máximas Diarias de la estación Conta, río Chíncha (m³/s)

AÑO	SENAMHI	JUNTA DE USUARIOS			Combinados
	Total	Río Chico	Río 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 N° 4.8.

Cuadro N° 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

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 (Tv) = 0,6*Tc

Cuadro N° 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 ítem 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.

Ecuación de Dick y Peschke:

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

Donde:

P_d = Precipitación máxima para una duración d

$P_{d_{24}}$ = Precipitación máxima de 24 horas

T_c = Tiempo de Concentración (minutos)

Cuadro N° 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 N° 4.11.

Cuadro N° 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 N° 4.12 se presentan los números de curva CN en función de los grupos hidrológicos del suelo y el uso del terreno,.

Cuadro N° 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	
Espacios 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
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.	4000	20	51	68	79	84
	pavimentados con cunetas y alcantarillados		98	98	98	98
	Calles y carreteras	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 Chíncha. 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 Chíncha.

Cuadro N° 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 residenciales		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 Ejército 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 trasformación de la

precipitación efectiva en caudal se utilizó el método del Hidrograma Unitario de la SCS, adicionalmente como información básica para el modelo se considera el área 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 Meteorológico.- De acuerdo a lo calculado en el ítem. N° 3.2 Análisis de la Información Pluviométrica y Ley de Frecuencias, se ingresan al modelo meteorológico los hidrogramas para la avenida de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, para una duración de tormenta de 10 horas.

Especificaciones de Control.- Para realizar la simulación de la avenida se especifica una fecha de inicio y final dentro de este rango se presentarán los resultados de la simulación 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 existían registros simultáneos de hidrogramas 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 N° 4.9 se muestra la cuenca considerada por el modelo HEC-HMS para la simulación. en las Figuras N° 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. .

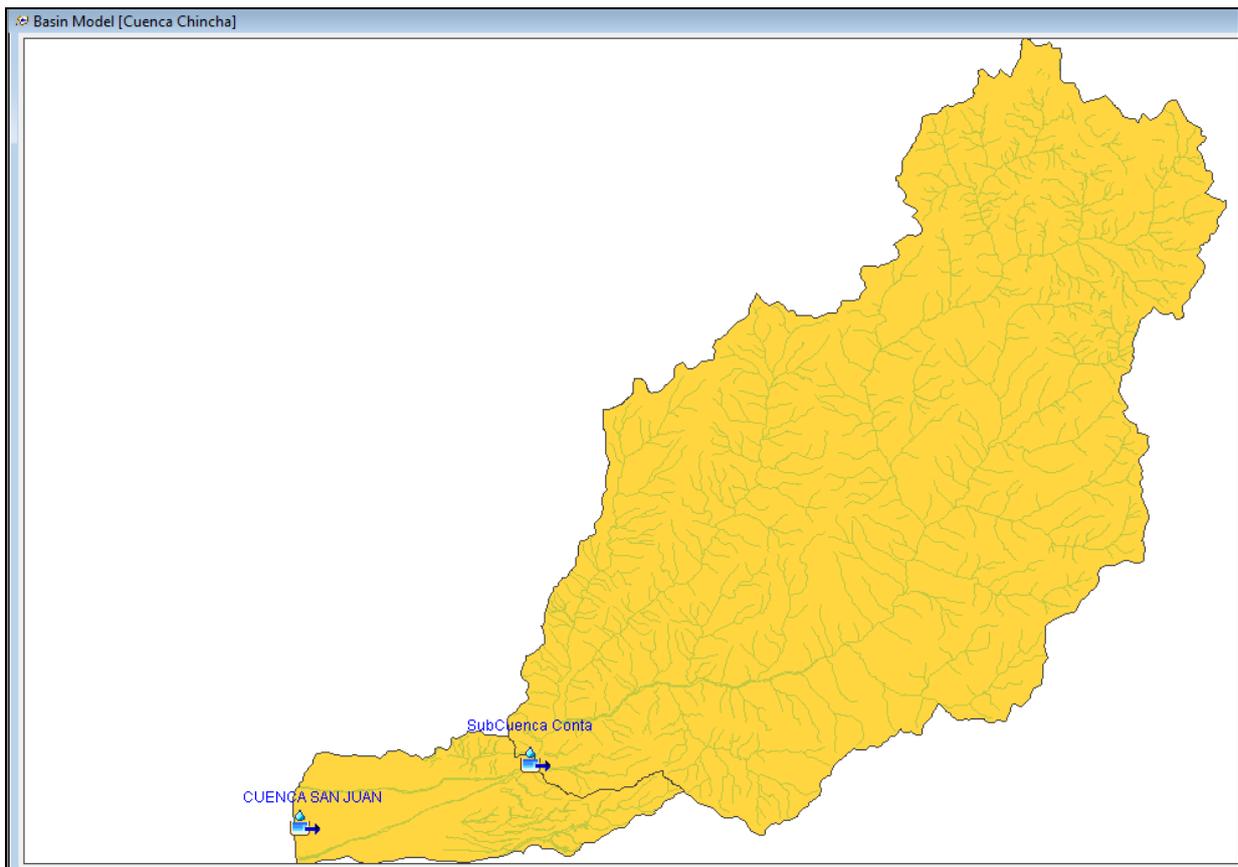


Figura N° 4.9. Modelo de Cuenca del río Chíncha en el Software HEC-HMS

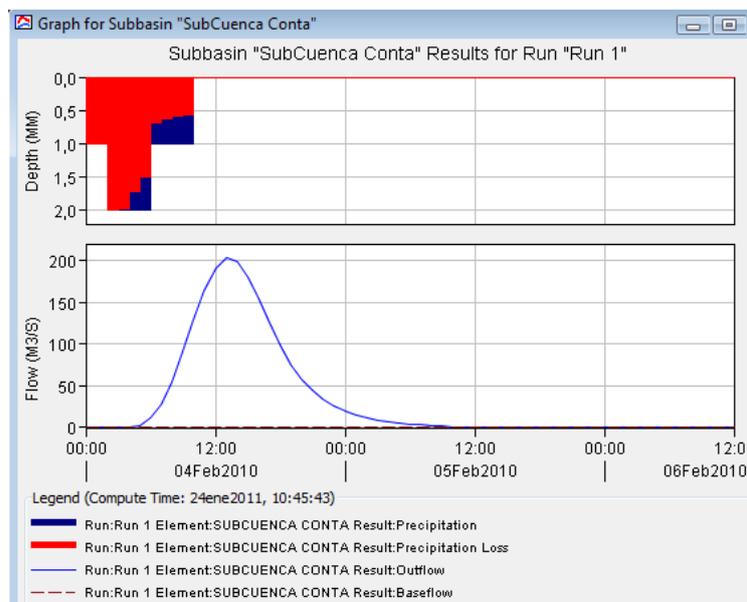


Figura N° 4.10. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chíncha, Periodo de Retorno de 2 años

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.

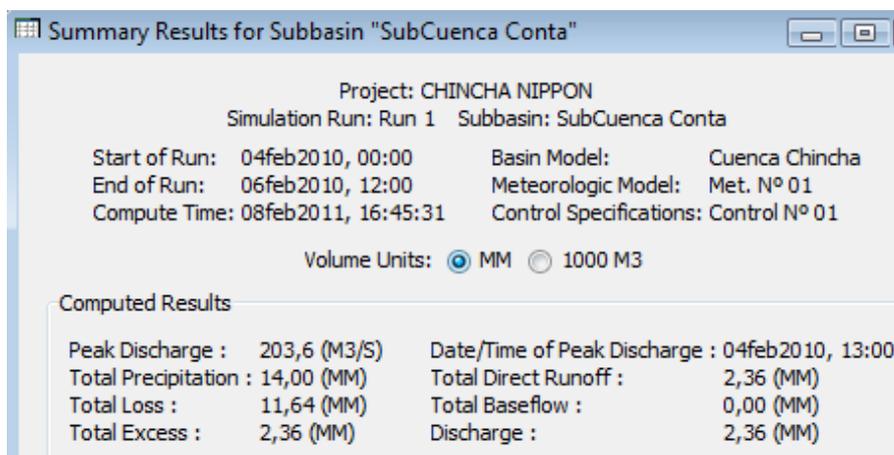


Figura N° 4.11. Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chíncha, Periodo de Retorno de 2 años

En la Figura N° 4.11 se tiene el caudal máximo calculado para un periodo de retorno de 2 años de 203.6 m³/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 N° 4.14 se presenta los valores del hidrograma de la avenida de un periodo de retorno de 2 años.

Cuadro N° 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

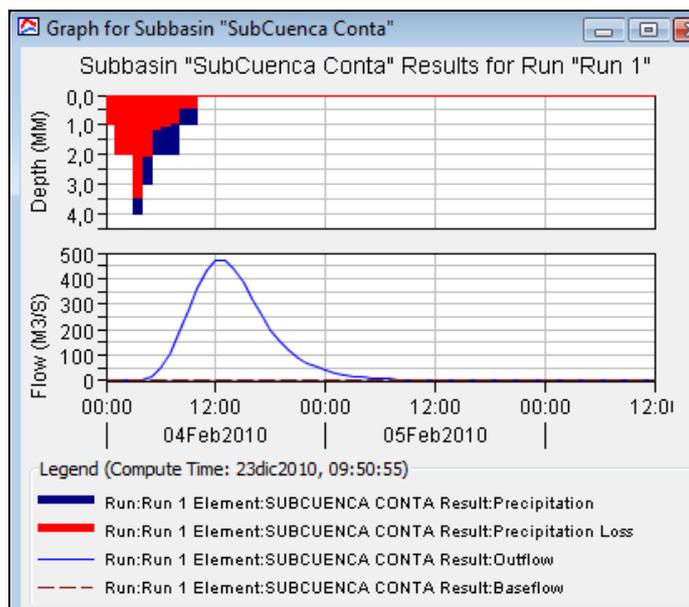


Figura N° 4.12. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chíncha, Periodo de Retorno de 5 años

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.

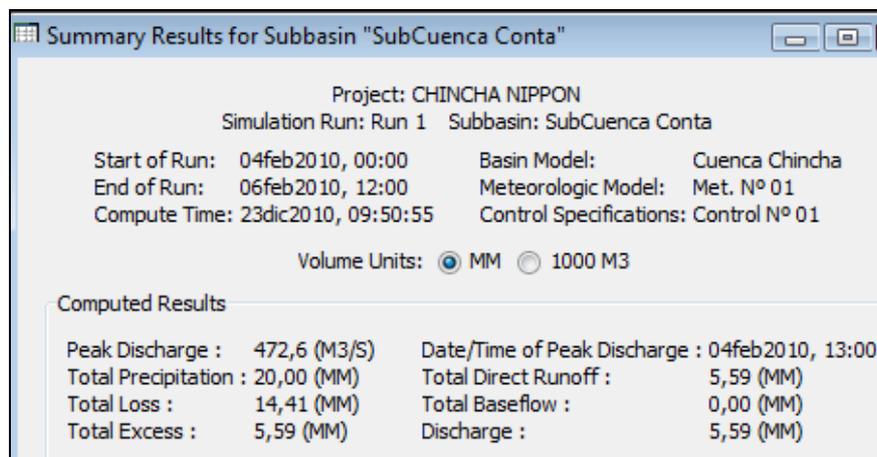


Figura N° 4.13. Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chíncha, Periodo de Retorno de 5 años

En la Figura N° 4.13 se tiene el caudal máximo calculado para un periodo de retorno de 5 años de 472.6 m³/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 N° 4.15 se presenta los valores del hidrograma de la avenida de un periodo de retorno de 5 años.

Cuadro N° 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

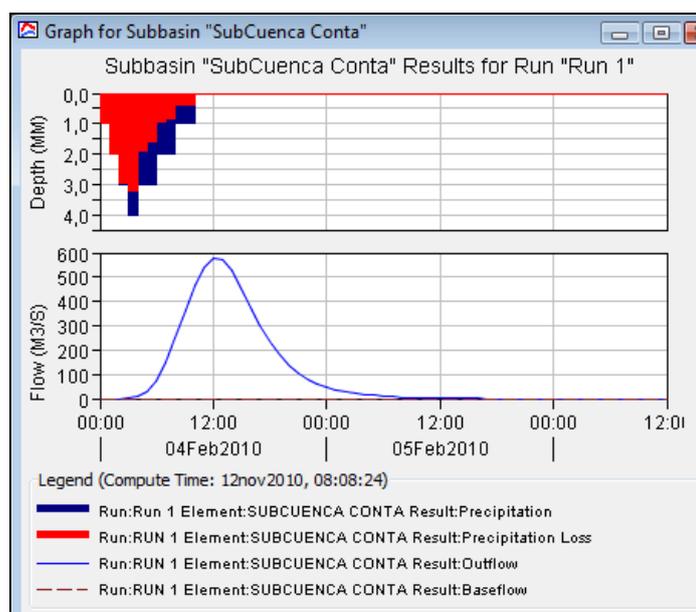


Figura N° 4.14. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chíncha, Periodo de Retorno de 10 años

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.

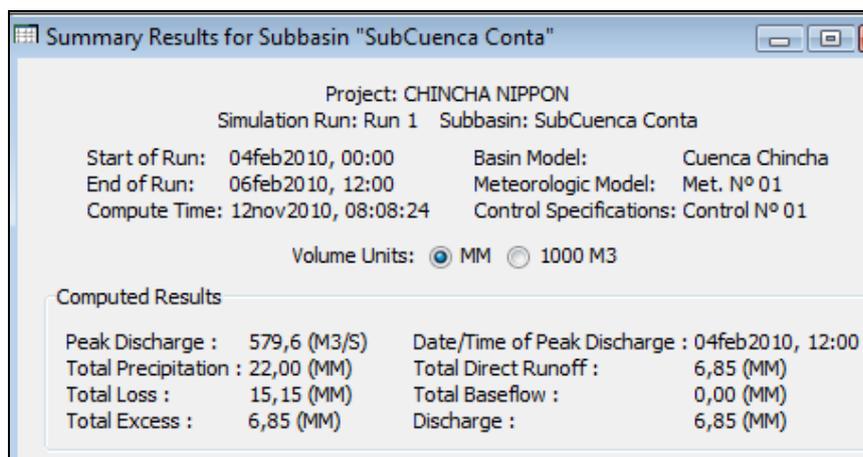


Figura N° 4.15. Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chíncha, Periodo de Retorno de 10 años

En la Figura N° 4.15 se tiene el caudal máximo calculado para un periodo de retorno de 10 años de 579.6 m³/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 N° 4.16 se presenta los valores del hidrograma de la avenida de un periodo de retorno de 10 años.

Cuadro N° 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

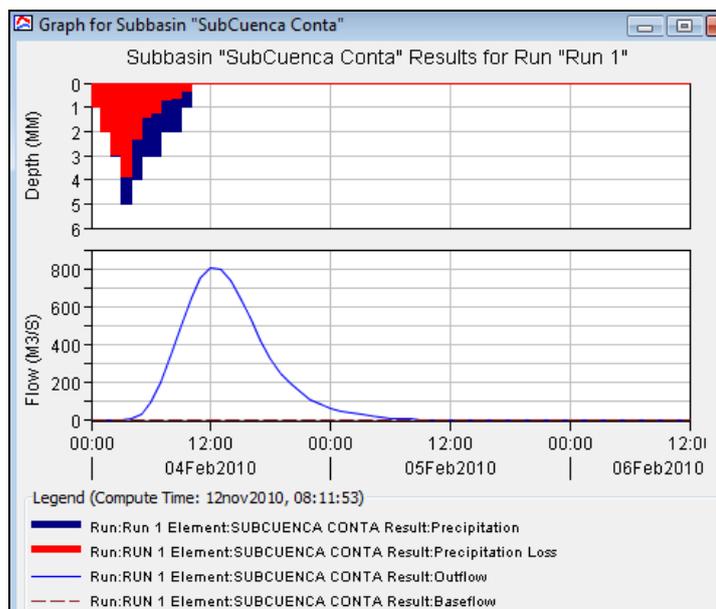


Figura N° 4.16. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chíncha, Periodo de Retorno de 25 años

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.

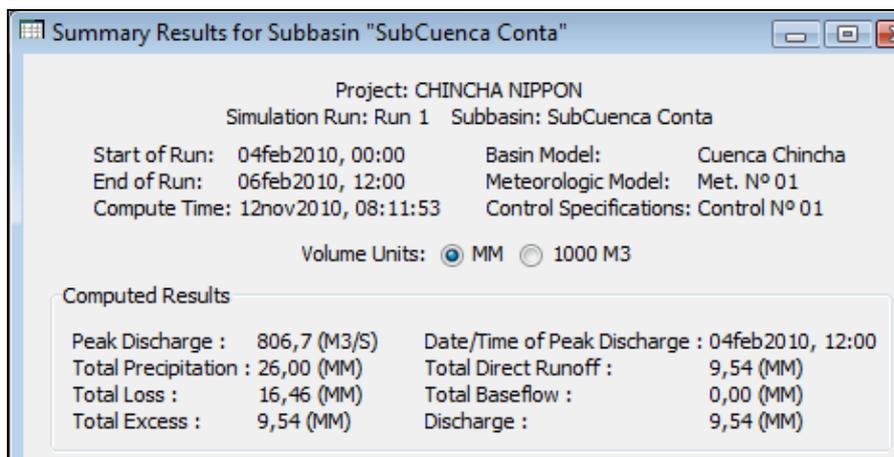


Figura N° 4.17. Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chíncha, Periodo de Retorno de 25 años

En la Figura N° 4.17 se tiene el caudal máximo calculado para un periodo de retorno de 25 años de 806.7 m³/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 N° 4.17 se presenta los valores del hidrograma de la avenida de un periodo de retorno de 25 años.

Cuadro N° 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)	Escoorrentia (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

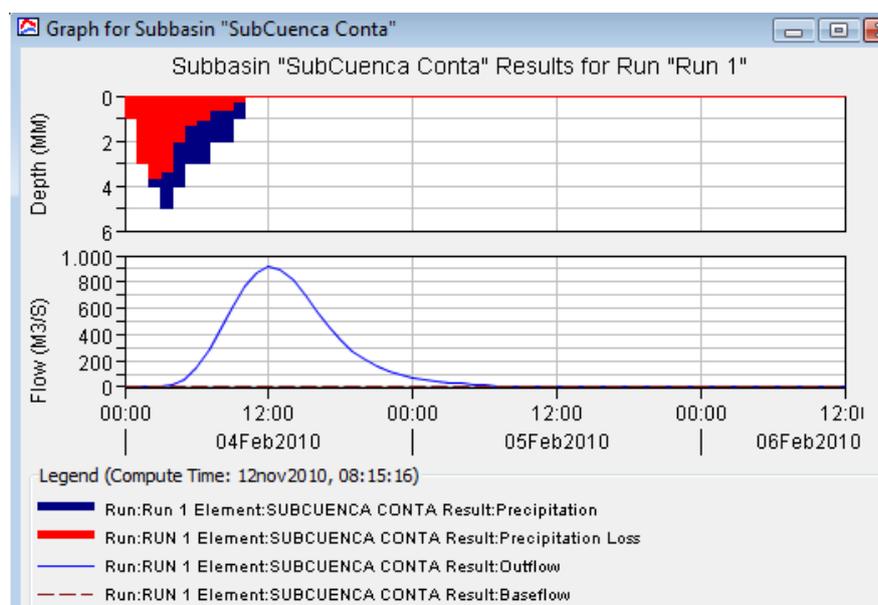


Figura N° 4.18. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chíncha, Periodo de Retorno de 50 años

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.

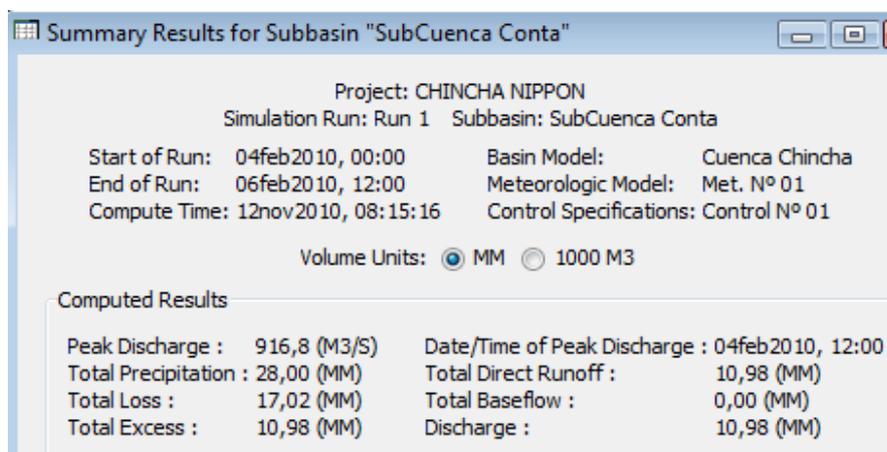


Figura N° 4.19. Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chíncha, Periodo de Retorno de 50 años

En la Figura N° 4.19 se tiene el caudal máximo calculado para un periodo de retorno de 50 años de 916.8 m³/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 N° 4.18 se presenta los valores del hidrograma de la avenida de un periodo de retorno de 50 años.

Cuadro N° 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

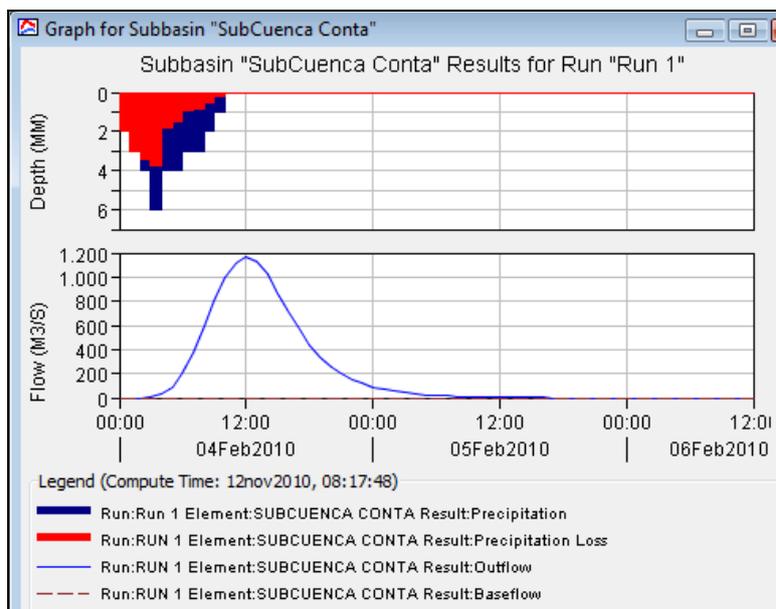


Figura N° 4.20. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chíncha, Periodo de Retorno de 100 años

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.

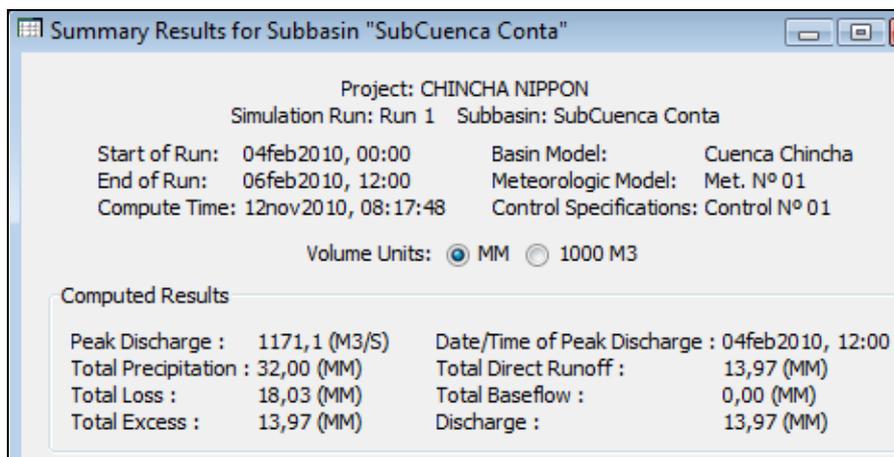


Figura N° 4.21. Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Chíncha, Periodo de Retorno de 100 años

En la Figura N° 4.21 se tiene el caudal máximo calculado para un periodo de retorno de 100 años de 1,171.1 m³/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 N° 4.19 se presenta los valores del hidrograma de la avenida de un periodo de retorno de 100 años.

Cuadro N° 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 N° 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





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 PISCO**

Apéndice-4

Diciembre de 2012



HIDROLOGIA DE MAXIMAS AVENIDAS DEL RIO PISCO

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 Pisco	3
3.1.1	Descripción General de la Cuenca	3
3.1.2	Hidrografía de la Cuenca del Río Pisco	4
3.2	Climatología	6
3.2.1	Precipitación	6
3.2.2	Temperatura	25
IV.	HIDROLOGIA DE MAXIMAS AVENIDAS	32
4.1	Consideraciones Previas	32
4.2	Caracterización Hidrológica, Análisis de la Información Pluviométrica e Hidrométrica	33
4.2.1	Caracterización Hidrológica	33
4.2.2	Análisis de Precipitaciones Máximas en 24 Horas	33
4.2.2.1	Funciones de Distribución	37
4.2.2.2	Calculo de Ajuste y Periodo de Retorno para las Precipitaciones Máximas en 24 Horas	40
4.2.2.3	Selección de Distribución Teórica con mejor Ajuste a la Serie de Precipitaciones Máximas en 24 Horas	40
4.2.2.4	Determinación de Precipitaciones Máximas para Diferentes Periodos de Retorno en el Punto Base	48
4.2.2.5	Determinación de Precipitaciones Máximas para Diferentes Periodos de Retorno en las Subcuencas del río Pisco	48
4.2.3	Análisis de Descargas Máximas Diarias	51

4.2.4 Modelo de Simulación, Aplicación del Software HEC-HMS	52
4.2.4.1 Modelo Hidrológico	52
4.2.4.2 Modelamiento en el HEC – HMS	56
4.3 Resultados de la Simulación, Caudales Máximos en el Punto Base	71
ANEXOS	72

HIDROLOGIA DE MAXIMAS AVENIDAS DEL RIO PISCO

RELACIÓN DE CUADROS

<i>Cuadro N° 3.1. Características de las Estaciones Pluviométricas de la cuenca del río Pisco y cuencas vecinas</i>	7
<i>Cuadro N° 3.2. Precipitación Media Mensual de Estaciones Consideradas en el Ámbito del Estudio</i>	9
<i>Cuadro N° 3.3. Resultados del ajuste lineal de las estaciones de Totorá y Acnocochoa</i>	10
<i>Cuadro N° 3.4. Temperatura Media Mensual [°C] de las estaciones de la cuenca del río Pisco y cuencas vecinas</i>	26
<i>Cuadro N° 4.1. Características Geomorfológicas de la cuenca en el Punto Base (estación Letrayoc)</i>	33
<i>Cuadro N° 4.2. Precipitación Máxima en 24 Horas Anual de las Estaciones ubicadas en el Ámbito del Estudio</i>	34
<i>Cuadro N° 4.3. Coeficiente de Determinación para cada Función de Distribución y para cada Estación Pluviométrica</i>	40
<i>Cuadro N° 4.4. Precipitaciones Máxima en 24 Horas de cada Estación Pluviométrica y para cada Periodo de Retorno</i>	41
<i>Cuadro N° 4.5. Precipitaciones Areales Máximas en 24 Horas en el Punto Base (Estación Letrayoc) para cada Periodo de Retorno</i>	48
<i>Cuadro N° 4.6. Precipitaciones para Diferentes Periodos de Retorno en cada Subcuenca del río Pisco</i>	50
<i>Cuadro N° 4.7. Descargas Máximas Diarias de la estación Letrayoc, río Pisco (m³/s)</i>	51
<i>Cuadro N° 4.8. Descargas Máximas para cada Periodo de Retorno, en la estación Letrayoc, río Pisco (m³/s)</i>	52
<i>Cuadro N° 4.9. Tiempo de Concentración y de Viaje para el Punto Base (estación Letrayoc)</i>	52
<i>Cuadro N° 4.10. Precipitaciones Máximas, según la ecuación de Dick - Peschke</i>	54
<i>Cuadro N° 4.11. Hietograma para diferentes Periodos de Retorno</i>	54

<i>Cuadro N° 4.12. Curva Numero (CN) en Función del Uso del Suelo y del Grupo Hidrológico del Suelo</i>	55
<i>Cuadro N° 4.13. Estimación del Valor del Numero de Curva (CN) inicial para la calibración del Modelo HEC-HMS</i>	56
<i>Cuadro N° 4.14. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 2 Años</i>	59
<i>Cuadro N° 4.15. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 5 Años</i>	61
<i>Cuadro N° 4.16. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 10 Años</i>	63
<i>Cuadro N° 4.17. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 25 Años</i>	66
<i>Cuadro N° 4.18. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 50 Años</i>	68
<i>Cuadro N° 4.19. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 100 Años</i>	70
<i>Cuadro N° 4.20. Resumen de los Caudales Máximos en el Punto Base para cada Periodo de Retorno</i>	71

HIDROLOGIA DE MAXIMAS AVENIDAS DEL RIO PISCO

RELACIÓN DE FIGURAS

<i>Figura N° 3.1. Mapa de Ubicación de la cuenca del río Pisco</i>	5
<i>Figura N° 3.2. Periodo y Longitud de la información disponible de las Estaciones Pluviométricas</i>	7
<i>Figura N° 3.3. Ubicación de las Estaciones Pluviométricas en cuenca del río Pisco y cuencas vecinas</i>	8
<i>Figura N° 3.4. Histograma Mensual de las Estaciones Pluviométricas consideradas en el Ámbito del Estudio</i>	9
<i>Figura N° 3.5. Tendencia de la Precipitación Anual de las Estaciones Consideradas en el Ámbito del Estudio</i>	11
<i>Figura N° 3.6. Isoyeta del mes de Enero de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Pisco</i>	12
<i>Figura N° 3.7. Isoyeta del mes de Febrero de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Pisco</i>	13
<i>Figura N° 3.8. Isoyeta del mes de Marzo de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Pisco</i>	14
<i>Figura N° 3.9. Isoyeta del mes de Abril de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Pisco</i>	15
<i>Figura N° 3.10. Isoyeta del mes de Mayo de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Pisco</i>	16
<i>Figura N° 3.11. Isoyeta del mes de Junio de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Pisco</i>	17
<i>Figura N° 3.12. Isoyeta del mes de Julio de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Pisco</i>	18
<i>Figura N° 3.13. Isoyeta del mes de Agosto de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Pisco</i>	19
<i>Figura N° 3.14. Isoyeta del mes de Septiembre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Pisco</i>	20

<i>Figura N° 3.15. Isoyeta del mes de Octubre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Pisco</i>	21
<i>Figura N° 3.16. Isoyeta del mes de Noviembre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Pisco</i>	22
<i>Figura N° 3.17. Isoyeta del mes de Diciembre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Pisco</i>	23
<i>Figura N° 3.18. Isoyeta Anual de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Pisco</i>	24
<i>Figura N° 3.19. Distribución de la Temperatura Media Mensual de las Estaciones Meteorológicas ubicadas en la cuenca del río Pisco</i>	26
<i>Figura N° 4.1. Estaciones Pluviométricas consideradas para la aplicación del Software HEC-HMS</i>	36
<i>Figura N° 4.2. Isoyetas para un Periodo de Retorno de 2 años en la cuenca del río Pisco</i>	42
<i>Figura N° 4.3. Isoyetas para un Periodo de Retorno de 5 años en la cuenca del río Pisco</i>	43
<i>Figura N° 4.4. Isoyetas para un Periodo de Retorno de 10 años en la cuenca del río Pisco</i>	44
<i>Figura N° 4.5. Isoyetas para un Periodo de Retorno de 25 años en la cuenca del río Pisco</i>	45
<i>Figura N° 4.6. Isoyetas para un Periodo de Retorno de 50 años en la cuenca del río Pisco</i>	46
<i>Figura N° 4.7. Isoyetas para un Periodo de Retorno de 100 años en la cuenca del río Pisco</i>	47
<i>Figura N° 4.8. Subcuenca del río Pisco</i>	49
<i>Figura N° 4.9. Modelo de Cuenca del río Pisco en el Software HEC-HMS</i>	58
<i>Figura N° 4.10. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Pisco, Periodo de Retorno de 2 años</i>	58
<i>Figura N° 4.11. Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Pisco, Periodo de Retorno de 2 años</i>	59

<i>Figura N° 4.12. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Pisco, Periodo de Retorno de 5 años</i>	60
<i>Figura N° 4.13. Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Pisco, Periodo de Retorno de 5 años</i>	61
<i>Figura N° 4.14. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Pisco, Periodo de Retorno de 10 años</i>	63
<i>Figura N° 4.15. Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Pisco, Periodo de Retorno de 10 años</i>	63
<i>Figura N° 4.16. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Pisco, Periodo de Retorno de 25 años</i>	65
<i>Figura N° 4.17. Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Pisco, Periodo de Retorno de 25 años</i>	65
<i>Figura N° 4.18. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Pisco, Periodo de Retorno de 50 años</i>	67
<i>Figura N° 4.19. Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Pisco, Periodo de Retorno de 50 años</i>	67
<i>Figura N° 4.20. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Pisco, Periodo de Retorno de 100 años</i>	69
<i>Figura N° 4.21. Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Pisco, Periodo de Retorno de 100 años</i>	69

HIDROLOGIA DE MAXIMAS AVENIDAS DEL RIO PISCO

I. INTRODUCCIÓN

En los dos últimos eventos extraordinarios (Fenómeno del Niño) ocurridos en los años 1983 y 1988, 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 Pisco, 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 Pisco, San Clemente y Humay.

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 Pacífico Central Ecuatorial. El fenómeno esta asociado a las condiciones anormales de la circulación atmosférica en la región Ecuatorial del Pacífico. 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 poblaron, 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 los distritos de Pisco, San Clemente, Tupac Amaru Inca, San Andres, Humay e Independencia de la provincia de Pisco, departamento de Ica.

2.1.2 Ubicación Geográfica

La zona de estudio se localiza aproximadamente en las coordenadas UTM 365,978 y 495,455 en Coordenadas Este y 8'473,994 y 8'576,196 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 Pisco, que permita definir las propuestas del planeamiento hidrológico e hidráulico del sistema fluvial del río Pisco.

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 Pisco, produjeron la inundación de extensas zonas de cultivo y ciudades como Pisco, San Clemente, Humay y San Andres, 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 Letrayoc. 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 Pisco 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 Pisco 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 Pisco

3.1.1 Descripción General de la Cuenca

Políticamente, la cuenca del río Pisco forma parte de las provincias de Pisco (distritos: Paracas, San Andrés Pisco, Túpac Amaru Inca, San Clemente, Independencia, Humay y Huáncano) y Castrovirreyna (distritos: Ticrapo, Mollepampa, Cocas, Castrovirryena y Santa Ana), perteneciente a los departamentos de Ica y Huancavelica respectivamente, y cubre una extensión de 4,122.38 Km².

Geográficamente, sus puntos extremos se encuentran entre los paralelos 12°52' y 13°48' de latitud Sur y 75°02' y 76°13' de Longitud Oeste. En la proyección UTM – WGS84 sus puntos extremos se encuentra entre los paralelos 365,978 y 495,455 de Coordenadas Este y 8'473,994 y 8'576,196 de Coordenadas Norte.

Altitudinalmente se extiende desde el nivel del mar hasta la línea de cumbres de la Cordillera Occidental de los Andes, que constituye la divisoria continental de las aguas y cuyo punto mas alto corresponde al Cerro San Juan de Dios (5,218 m.s.n.m.).

El valle de Pisco, (23,356.02 ha de área agrícola bajo riego, reporte de PROFODUA – Valle de Pisco, 2004), se halla ubicado en la Costa Central del Perú, en el sector central del departamento de Ica; fisiográficamente, este valle esta constituido principalmente por el llano aluvial del río Pisco, por sus abanicos y paisajes ecológico y marino.

En valle del río Pisco está conectado a la Capital de la República y a las principales poblaciones de la Costa Sur del país, mediante la Carretera Panamericana, la más importante vía de la red de carreteras del país. Esta carretera íntegramente asfaltada, atraviesa el valle a lo largo de su faja litoral, uniendo las ciudades de Lima y Pisco mediante un tramo asfaltado de 243 Km. de longitud.

Otra vía importante en la zona es la carretera longitudinal de la cuenca, conocida con el nombre de “Vía de los Libertadores”. Esta carretera de 364 Km. de longitud, se inicia a la altura del Km. 233.3 de la Panamericana Sur, poco antes del puente Huamaní sobre el río Pisco. Enlaza los pueblos de Pisco, Independencia, Humay, Huáncano, Ticrapo, Castrovirreyna, Santa Inés y Ayacucho.

En la Figura N° 3.1 se muestra la ubicación y el ámbito de la cuenca del río Pisco.

3.1.2 Hidrografía de la Cuenca del Río Pisco

La Cordillera de los Andes divide hidrográficamente al país en dos vertientes principales que drenan sus aguas hacia los Océanos Pacífico 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 Pacífico 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 Pacífico siguiendo una dirección predominante hacia el suroeste. El río Pisco es uno de ellos, encontrándose situado en la región central de esta vertiente.

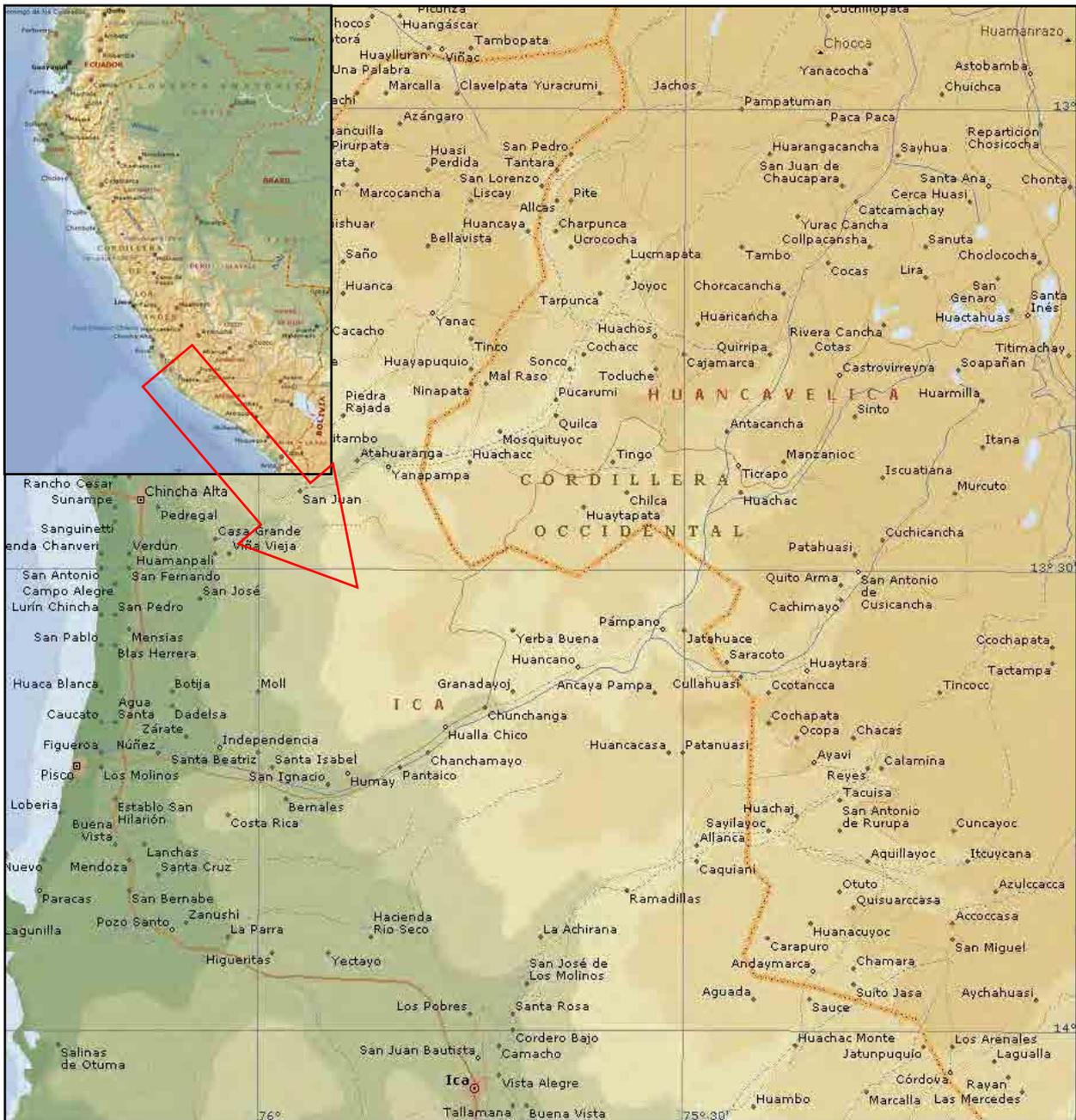


Figura N° 3.1. Mapa de Ubicación de la cuenca del río Pisco

La cuenca del río Pisco tiene una forma sui géneris, con cierta apariencia de una media luna. Limita por el norte con la cuenca del río San Juan; por el sur con la cuenca del río Ica; por el este con las cuencas de los ríos Mantaro y Pampas y por el oeste con el Océano Pacífico.

Cuenta con un área de drenaje de 4,122.38 Km², de los cuales el 62% (2,376 Km²) situado por encima de la cota 2,500 m.s.n.m. corresponde a la cuenca húmeda o imbrífera.

El río Pisco es un colector troncal del escurrimiento superficial de la cuenca tiene su origen en la confluencia de los ríos Chiris y Huaytará, a la altura de la localidad de Pámpano. El río Chiris, el principal formador, se origina a su vez – en la parte más alta de la cuenca – de la unión de los ríos Santa Ana y Luicho, los que nacen en una serie de pequeñas lagunas entre las que destacan las de Pultoc, Acnocochoa y Tacocochoa.

El río Pisco y sus formadores presentan un desarrollo longitudinal aproximado de 472 Km, desde sus nacientes hasta su desembocadura, observándose una pendiente promedio de 3% la cual se hace más pronunciada en algunos sectores, llegando hasta 8%, especialmente en el tramo comprendido entre las nacientes del río Santuario y su desembocadura en el río Chiris y en el sector de la quebrada Veladero, afluente por la margen derecha del río Pisco.

Aguas debajo de Pámpano, en donde se inicia el río Pisco, presenta un curso algo sinuoso hasta las cercanías de la localidad de Huáncano, adoptando a partir de este punto un rumbo general este-oeste.

Aguas abajo de la localidad de Humay, el valle se ensancha notablemente y la pendiente del río es mucho más suave, permitiendo la deposición de los materiales que llevaba en suspensión y dando lugar a la formación de un pequeño llano aluvial o cono de deyección, el cual se extiende hasta el mismo litoral.

El río Pisco, como la casi totalidad de los ríos de la Costa, es de régimen muy irregular y torrencioso. En base a la información pluviométrica se concentran de diciembre a abril, correspondiendo al periodo de sequías extremas a los meses de julio a noviembre.

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 Pisco, como en las cuencas vecinas de San Juan, Mantaro, Pampas e Ica.

Se dispone de información pluviométrica de 12 estaciones pluviométricasubicadas en la cuenca del río Pisco y en las cuencas vecinas. Estas estaciones son operadas y mantenidas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

En el Cuadro N° 3.1, se muestra la relación de estaciones 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 N° 3.2, se muestra el periodo y la longitud de la información disponible de las estaciones pluviométricas y en la Figura N° 3.3, se muestra su ubicación en la cuenca del río Pisco y en las cuencas vecinas.

Cuadro N° 3.1. Características de las Estaciones Pluviométricas de la cuenca del río Pisco y cuencas vecinas

CODIGO	ESTACION	DEPARTAMENTO	LONGITUD	LATITUD	OPERADOR
646	ACNOCOCHA	HUANCAVELICA	75° 05'1	13° 13'1	SENAMHI
156130	CHOCLOCOCHA	HUANCAVELICA	75° 02'1	13° 06'1	SENAMHI
643	COCAS	HUANCAVELICA	75° 22'1	13° 16'1	SENAMHI
156121	CUSICANCHA	HUANCAVELICA	75° 18'18	13° 29'29	SENAMHI
156131	PARIONA	HUANCAVELICA	75° 04'1	13° 32'1	SENAMHI
156114	SAN JUAN DE CASTROVIRREYNA	HUANCAVELICA	75° 38'38	13° 12'12	SENAMHI
156122	TAMBO	HUANCAVELICA	75° 16'16	13° 41'41	SENAMHI
156117	TICRAPO	HUANCAVELICA	75° 26'1	13° 23'1	SENAMHI
156119	TOTORA	HUANCAVELICA	75° 19'1	13° 07'1	SENAMHI
647	TUNEL CERO	HUANCAVELICA	75° 05'5	13° 15'15	SENAMHI
650	HACIENDA BERNALES	ICA	75° 57'57	13° 45'45	SENAMHI
640	HUAMANI	ICA	75° 35'35	13° 50'50	SENAMHI

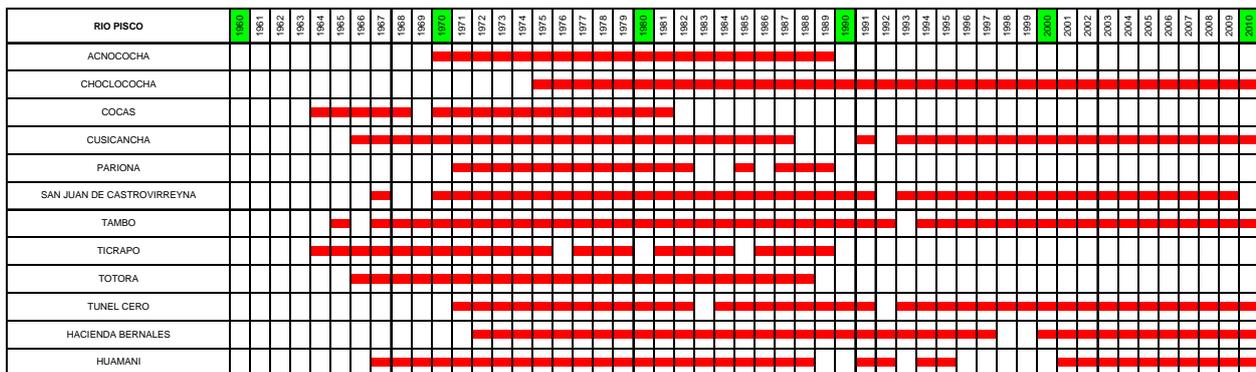


Figura N° 3.2. Periodo y Longitud de la información disponible de las Estaciones Pluviométricas

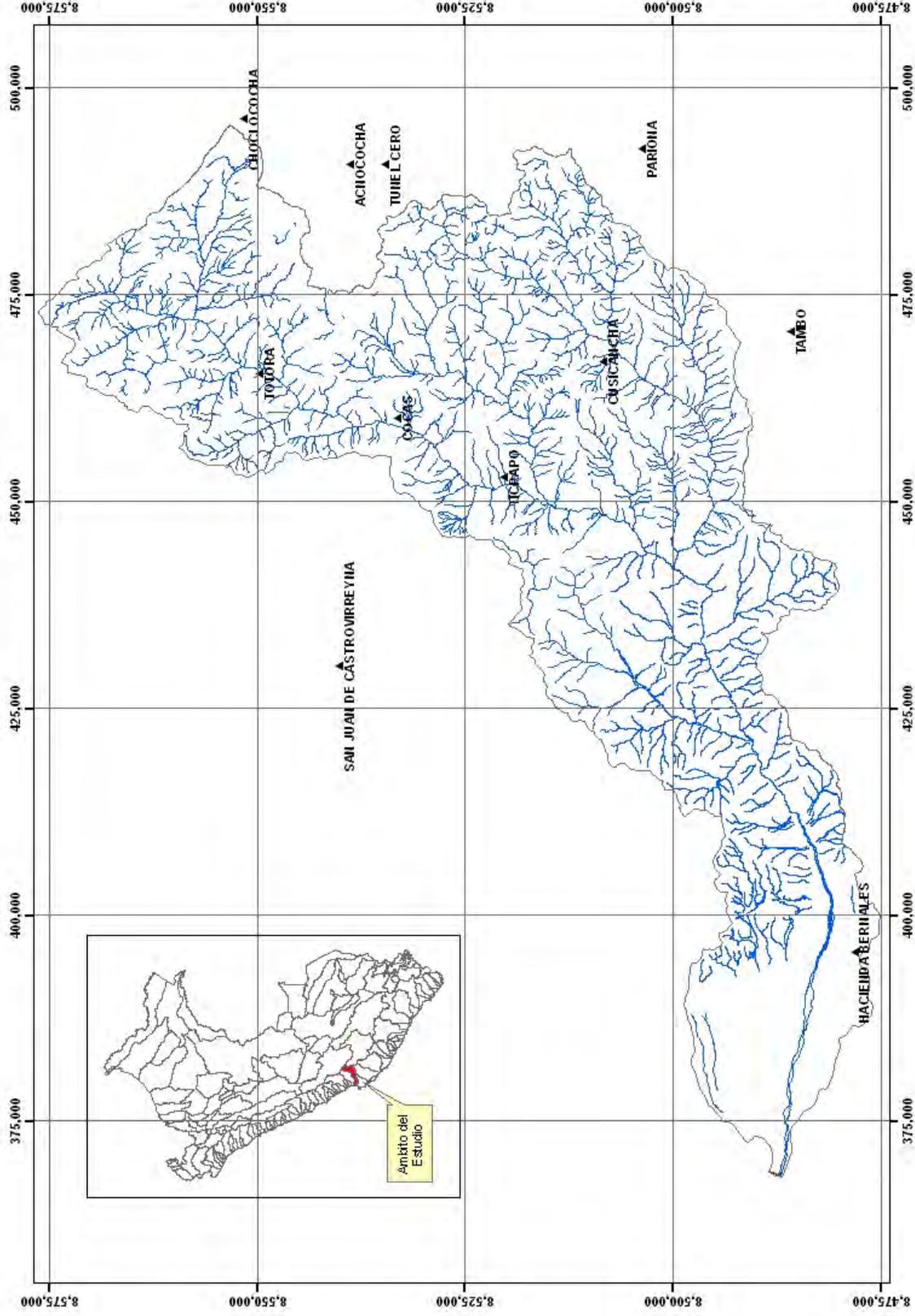


Figura N° 3.3. Ubicación de las Estaciones Pluviométricas en cuenca del río Pisco y cuencas vecinas

En el Cuadro N° 3.2 se muestra los valores medios mensuales de las estaciones consideradas en el estudio y en la Figura N° 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 N° 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	
ACNOCOCHA	139.08	145.04	129.35	56.57	17.74	8.18	5.65	13.73	21.69	40.59	52.30	83.59	713.51
CHOCLOCOCHA	147.66	161.73	156.09	80.13	26.52	14.25	8.03	22.18	35.24	59.48	68.69	103.97	883.97
COCAS	94.93	111.50	138.93	29.87	5.31	0.26	0.36	1.54	6.70	11.83	15.36	40.73	457.31
CUSICANCHA	74.40	88.26	104.57	33.77	1.74	0.00	0.01	0.71	3.48	4.85	12.38	36.37	360.55
PARIONA	161.82	155.42	174.45	68.15	13.61	3.06	3.12	4.02	16.39	32.52	54.23	90.91	777.70
SAN JUAN DE CASTROVIRREYNA	49.69	54.27	46.95	8.78	0.96	0.09	0.17	0.67	0.95	3.50	7.06	19.24	192.34
TAMBO	82.19	120.28	130.42	32.03	3.95	0.00	0.12	0.51	0.88	9.53	11.48	40.40	431.78
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
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
TUNEL CERO	163.61	162.53	150.68	72.29	20.96	7.59	6.98	14.51	29.20	56.12	72.29	121.55	878.32
HACIENDA BERNALES	0.84	1.50	0.05	0.03	0.07	0.14	0.08	0.08	0.02	0.01	0.03	0.09	2.93
HUAMANI	3.08	3.75	3.45	0.05	0.00	0.00	0.01	0.00	0.08	0.00	0.00	0.17	10.60

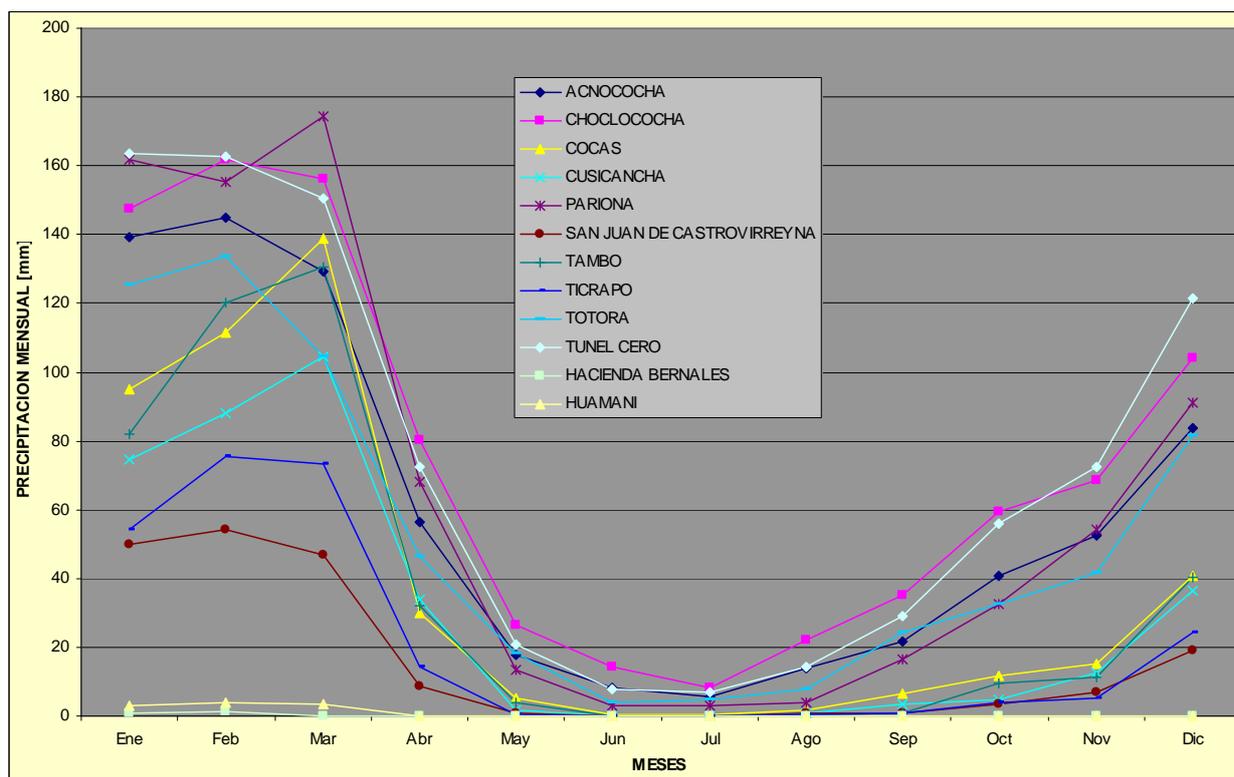


Figura N° 3.4. Histograma Mensual de las Estaciones Pluviométricas consideradas en el Ámbito del Estudio

En el Cuadro N° 3.2 y Figura N° 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 Pisco varía de 884 mm (estación de Choclococha) a 2.93 mm (estación Hacienda Bernales).

En la Figura N° 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 y Acnocochoa que tienen aproximadamente 20 años de registro y 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 N° 3.3. Resultados del ajuste lineal de las estaciones de Totora y Acnocochoa

Estación	m	b	R ²
Totora	-12.08	777.5	0.212
Acnocochoa	6.80	638.1	0.075

El valor de los coeficientes de regresión (R²) es muy bajo. En el caso de la Estación Totora habría una muy débil tendencia decreciente y en la estación Acnocochoa una gradual tendencia creciente. Los valores de R² 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 N° 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 N° 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 varía de 7 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 Pisco varía de 800 mm a 100 mm, tal como se puede observar en la Figura N° 3.18.

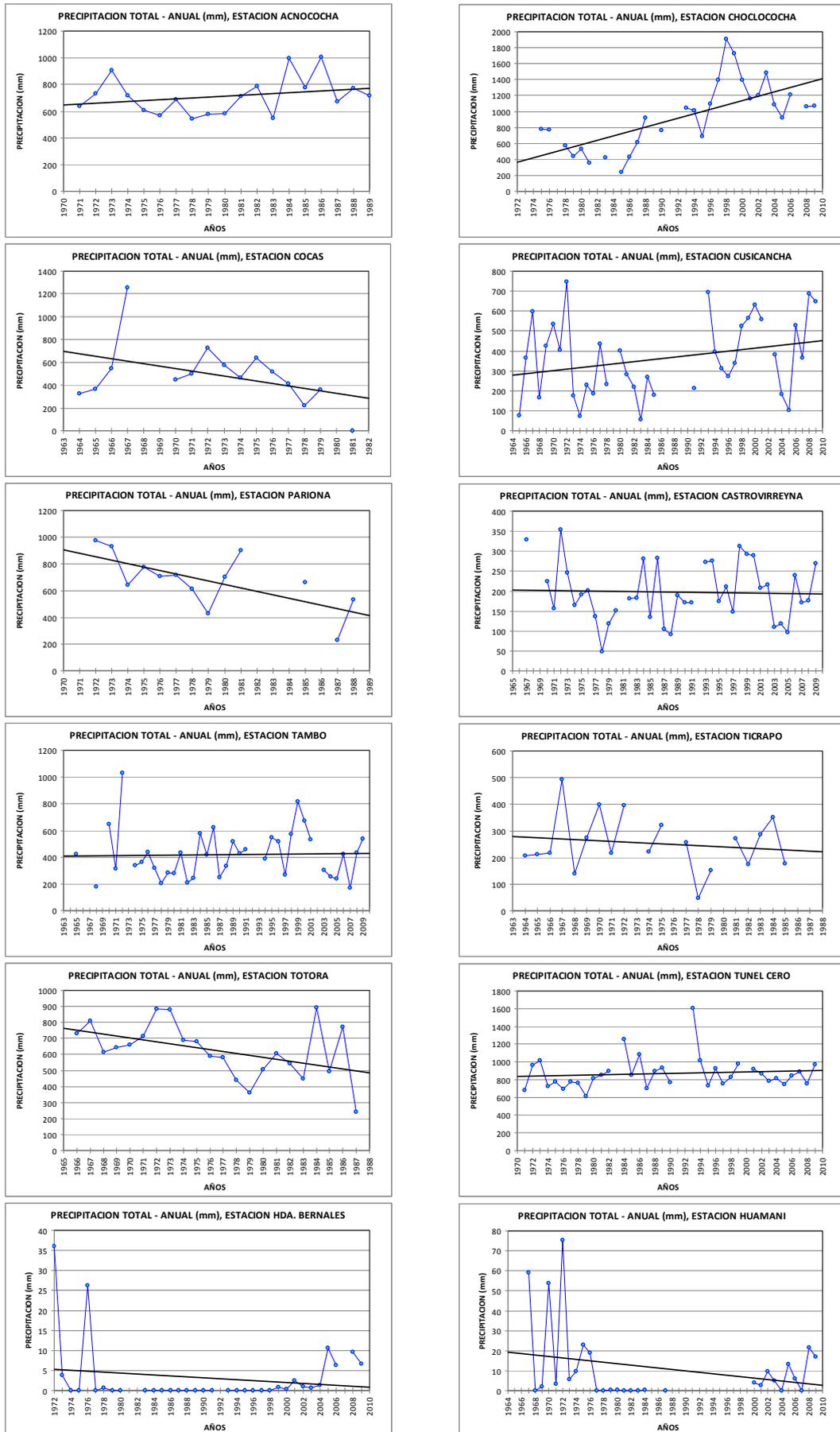


Figura N° 3.5. Tendencia de la Precipitación Anual de las Estaciones Consideradas en el Ámbito del Estudio

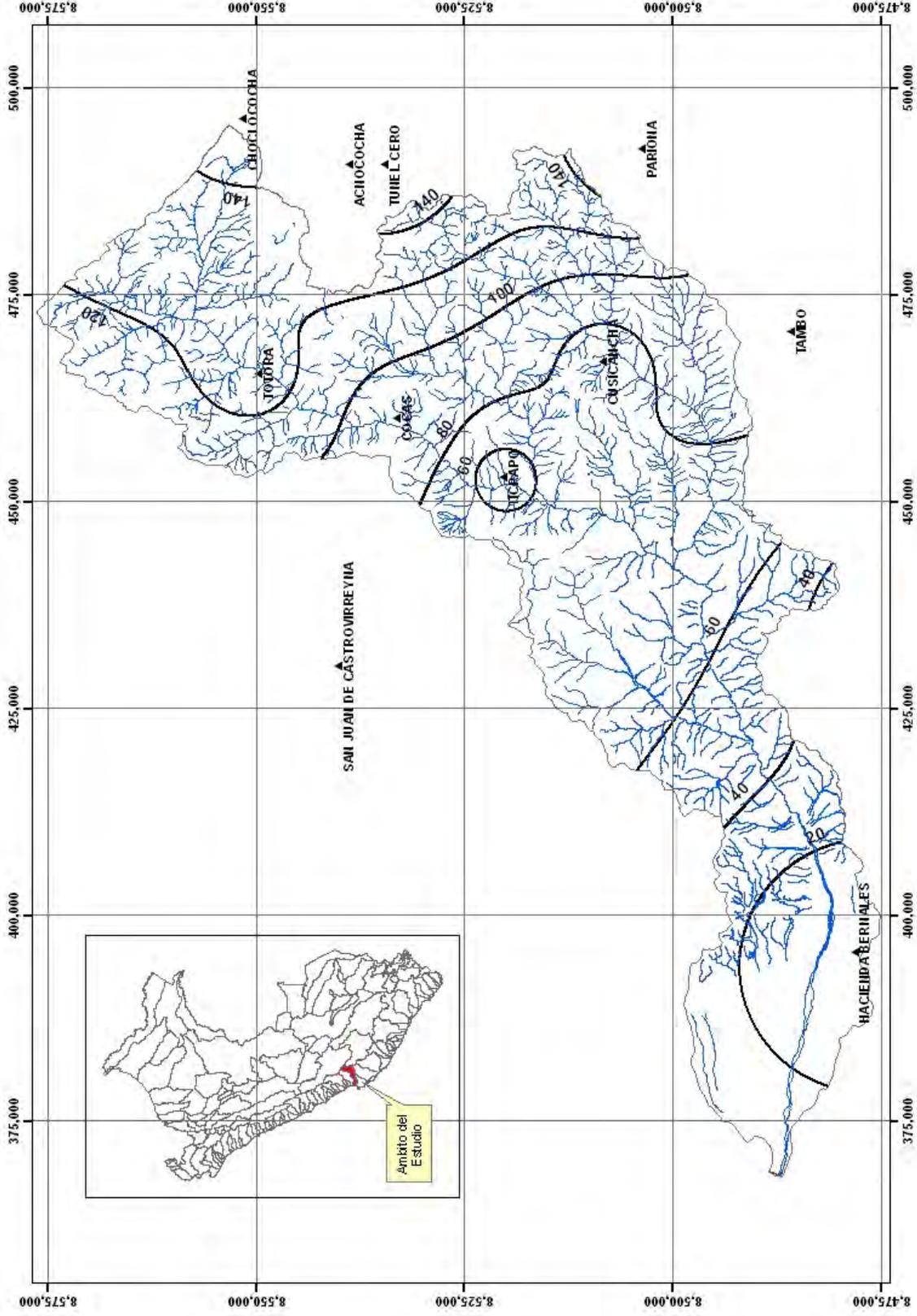


Figura N° 3.6. Isoyeta del mes de Enero de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Pisco

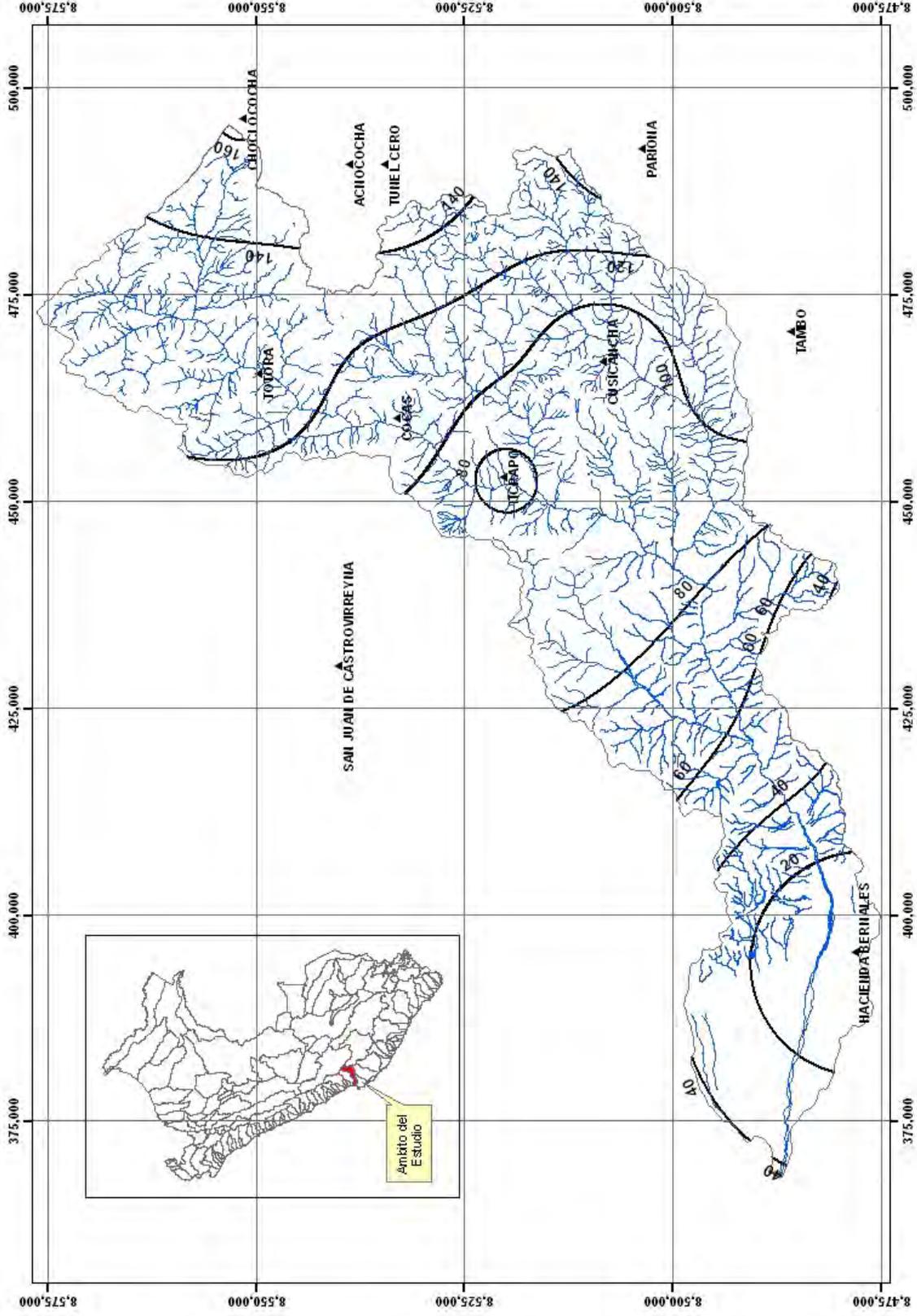


Figura N° 3.7. Isoyeta del mes de Febrero de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Pisco

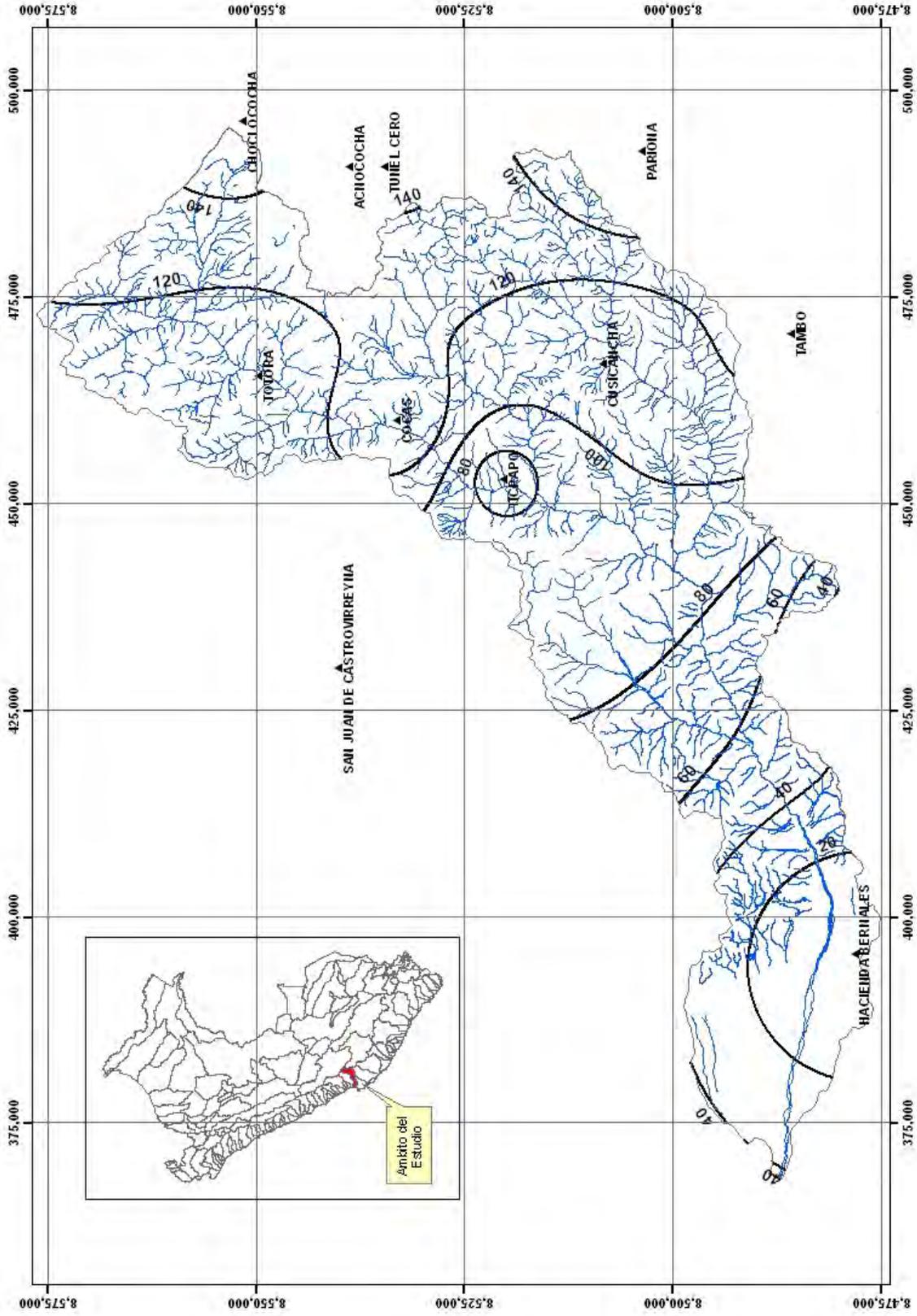


Figura N° 3.8. Isoyeta del mes de Marzo de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Pisco

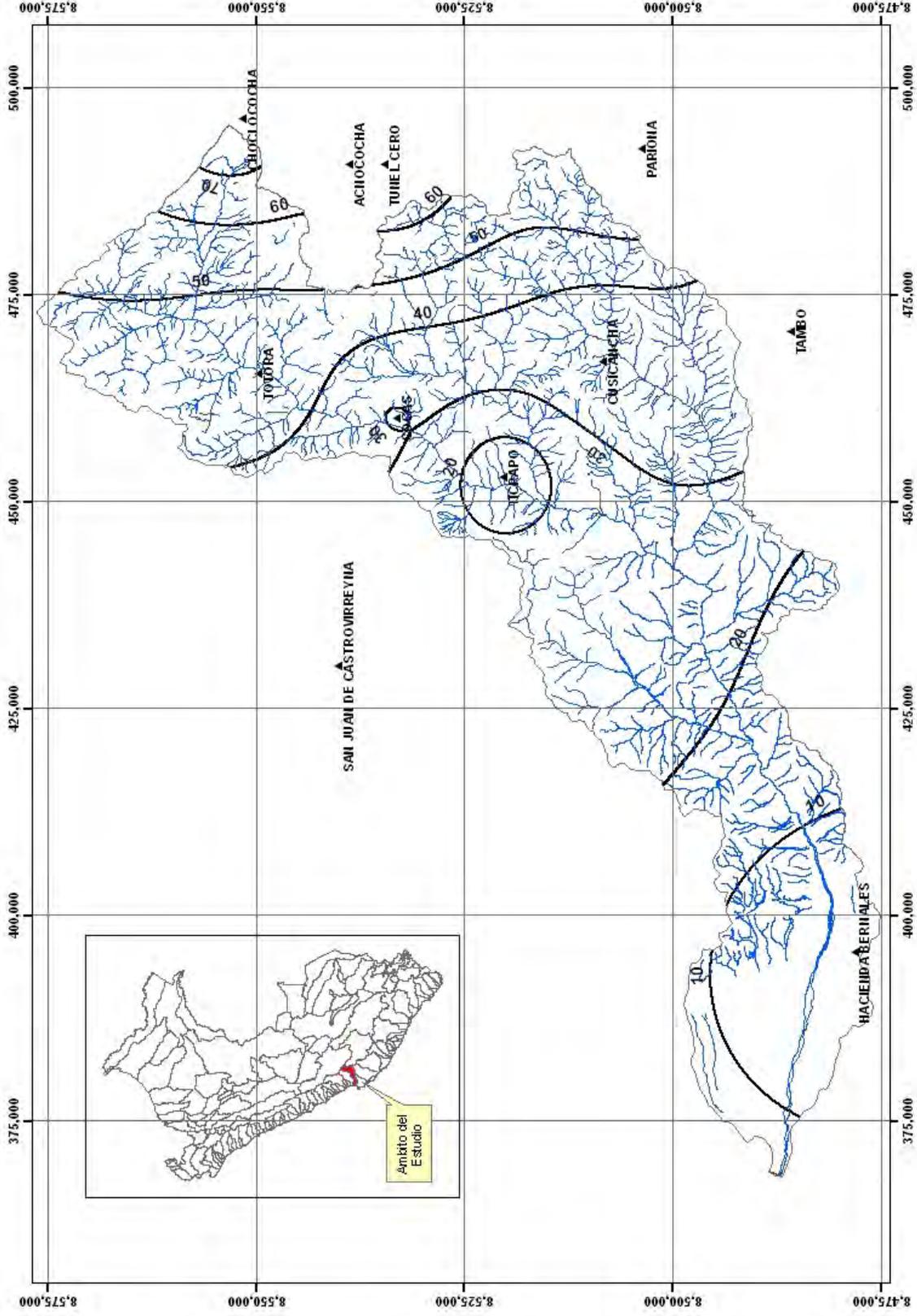


Figura N° 3.9. Isoyeta del mes de Abril de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Pisco

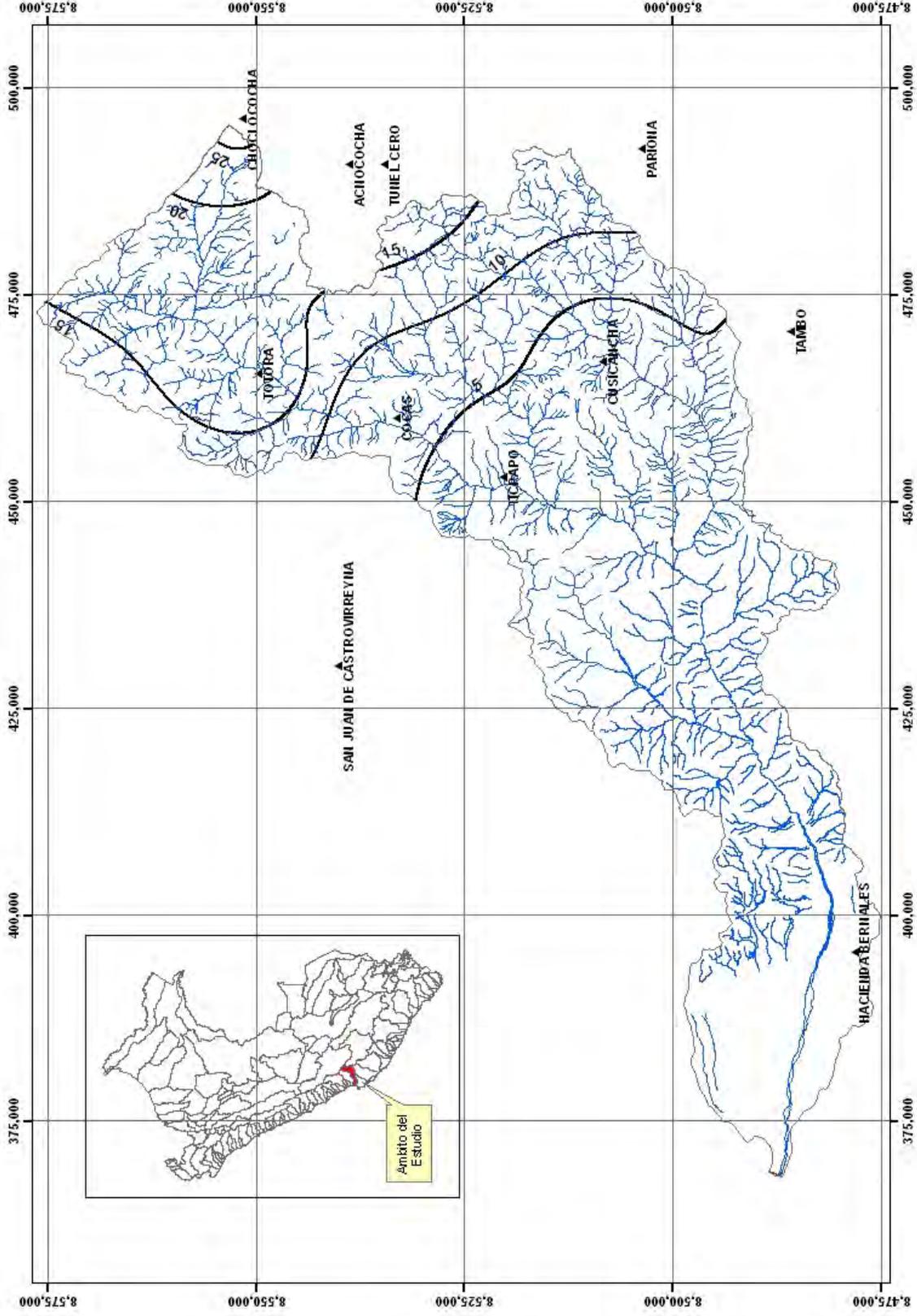


Figura N° 3.10. Isoyeta del mes de Mayo de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Pisco

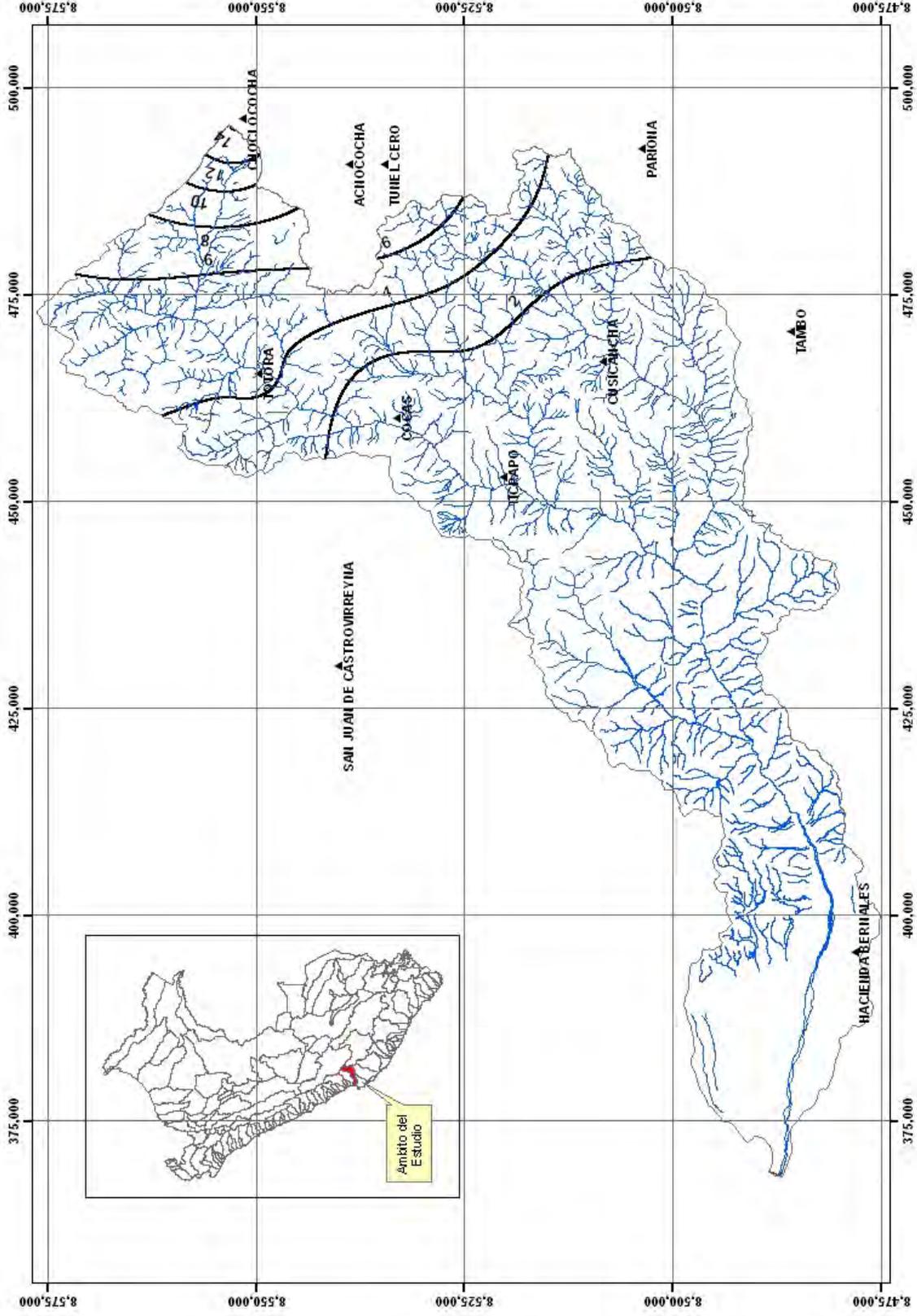


Figura N° 3.11. Isoyeta del mes de Junio de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Pisco

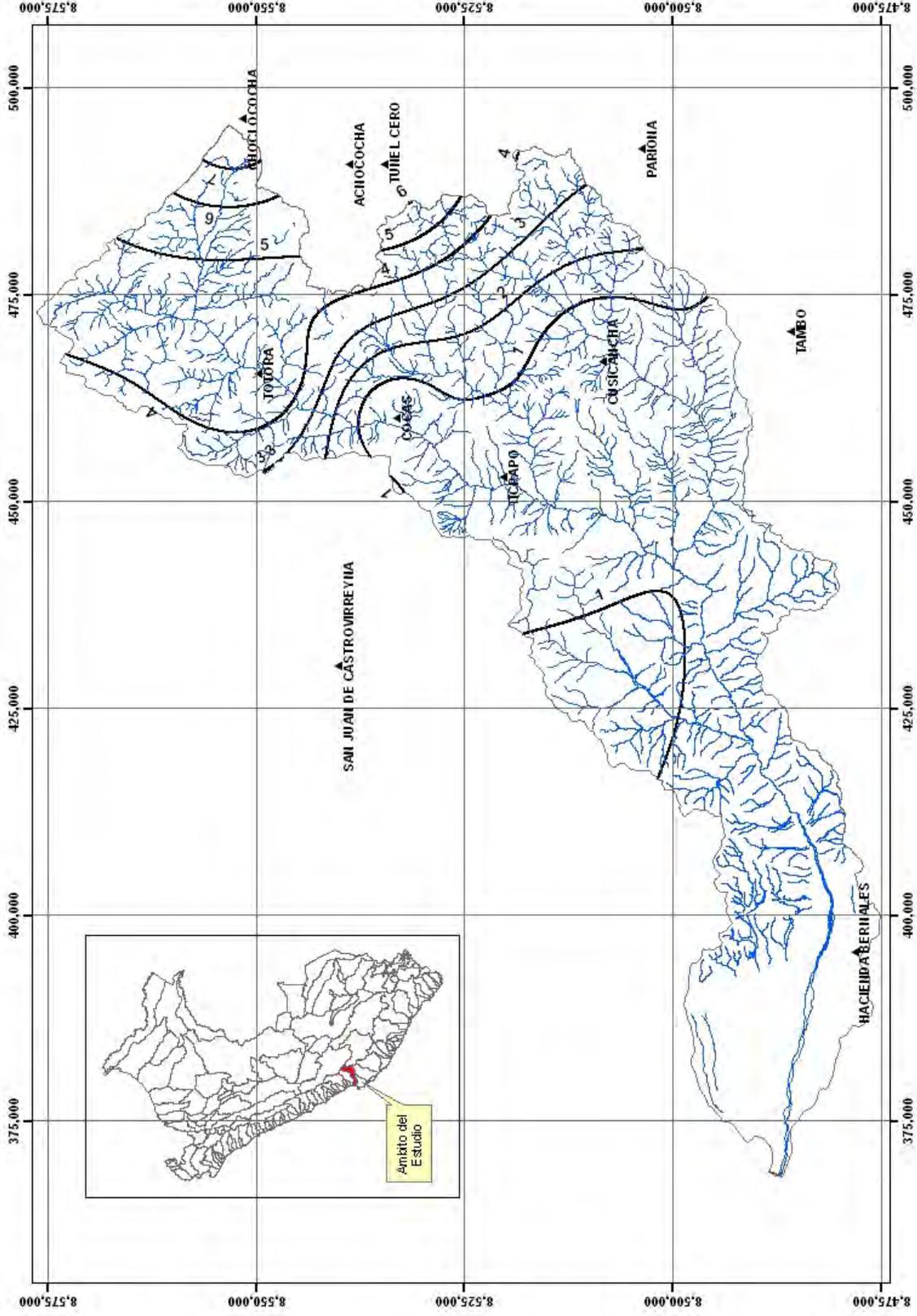


Figura N° 3.12. Isoyeta del mes de Julio de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Pisco

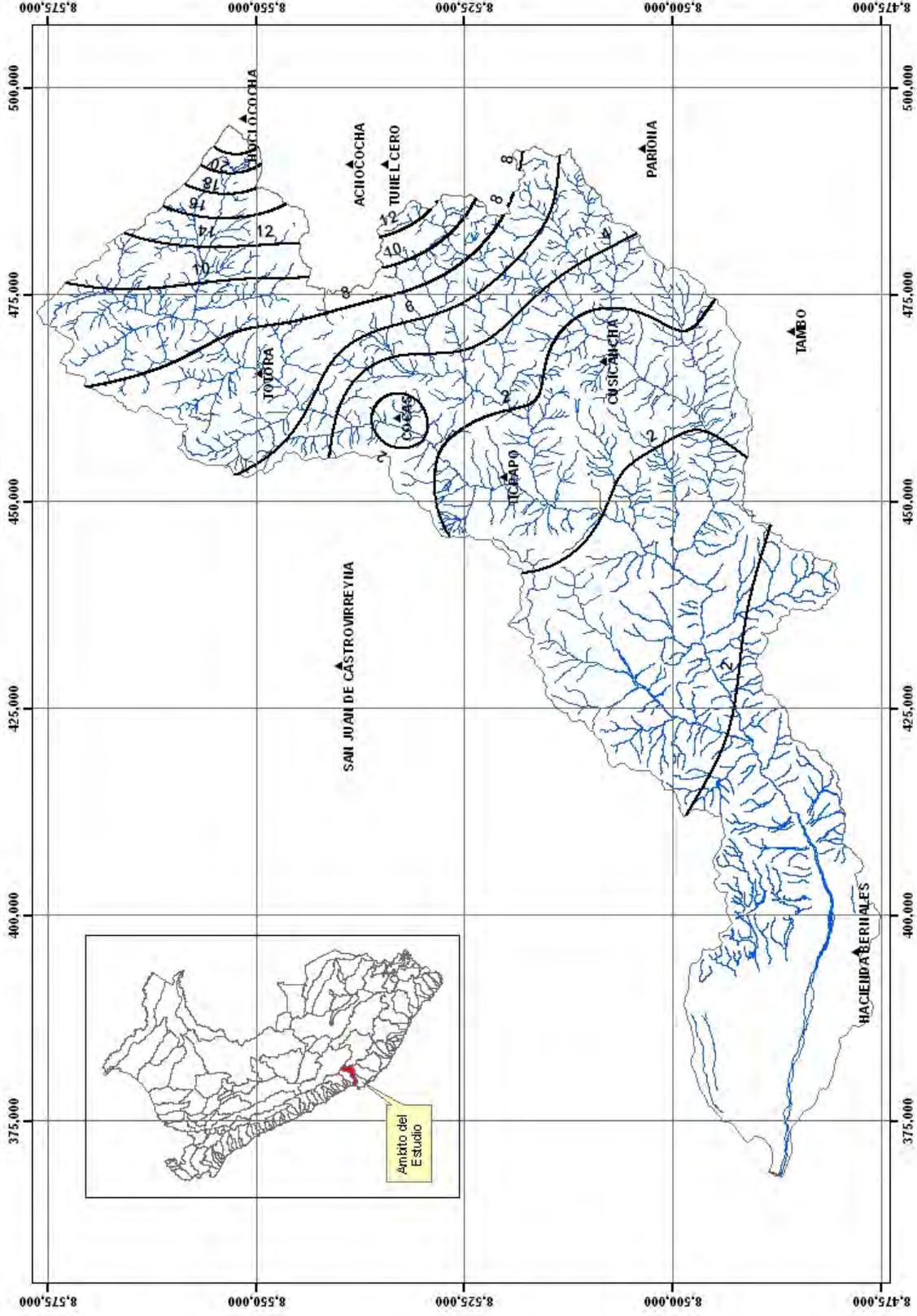


Figura N° 3.13. Isoyeta del mes de Agosto de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Pisco

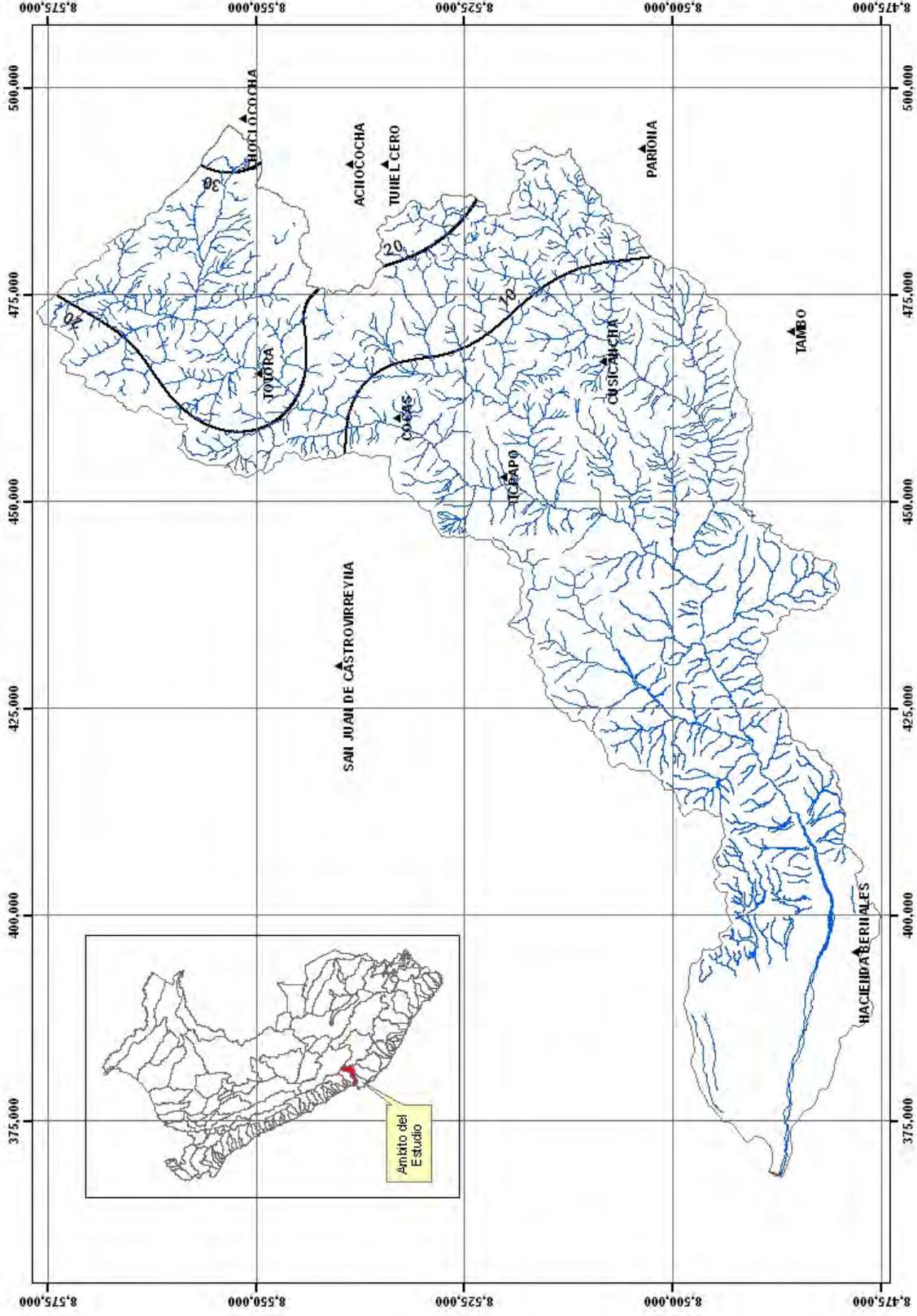


Figura N° 3.14. Isoyeta del mes de Septiembre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Pisco

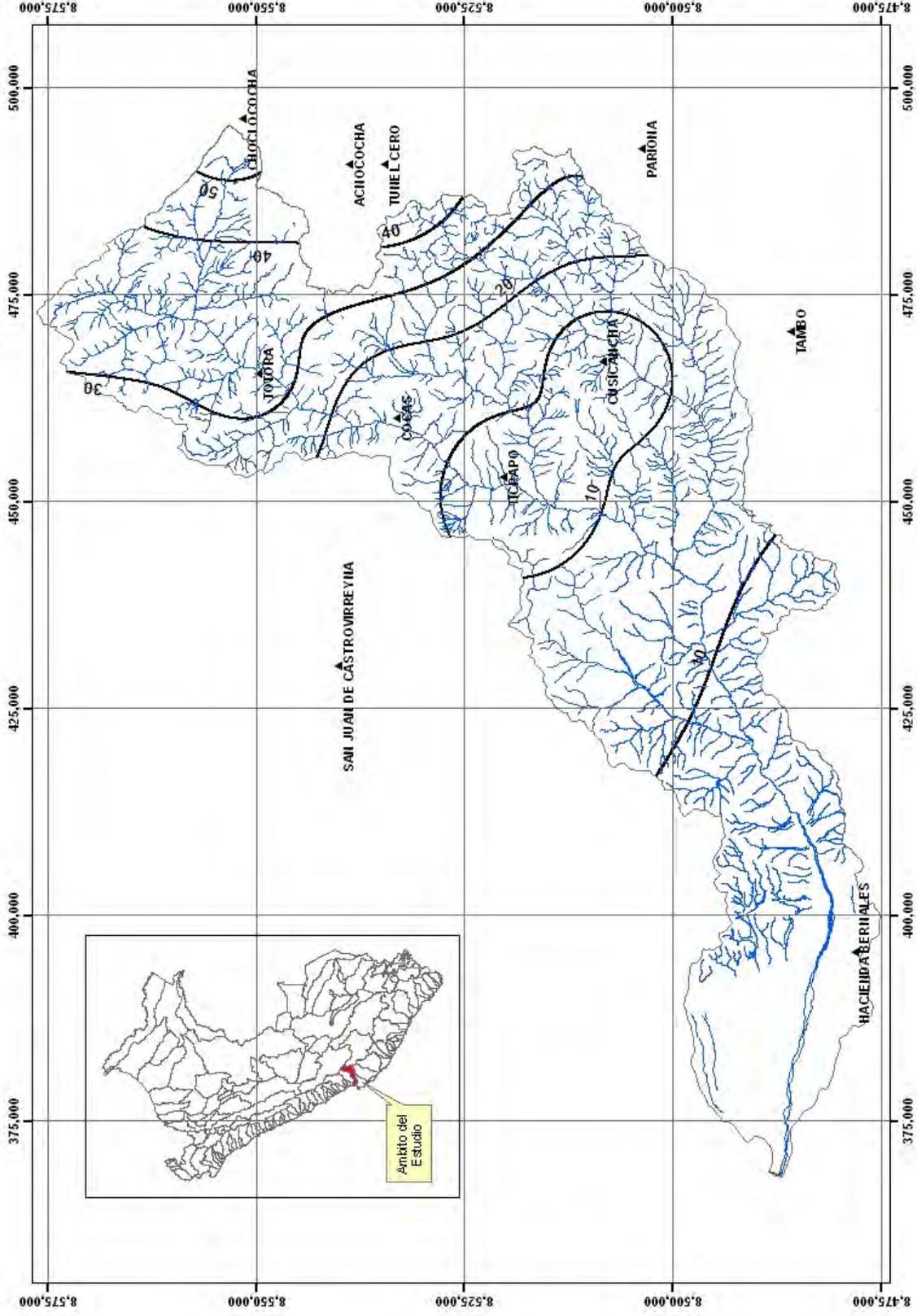


Figura N° 3.15. Isoyeta del mes de Octubre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Pisco

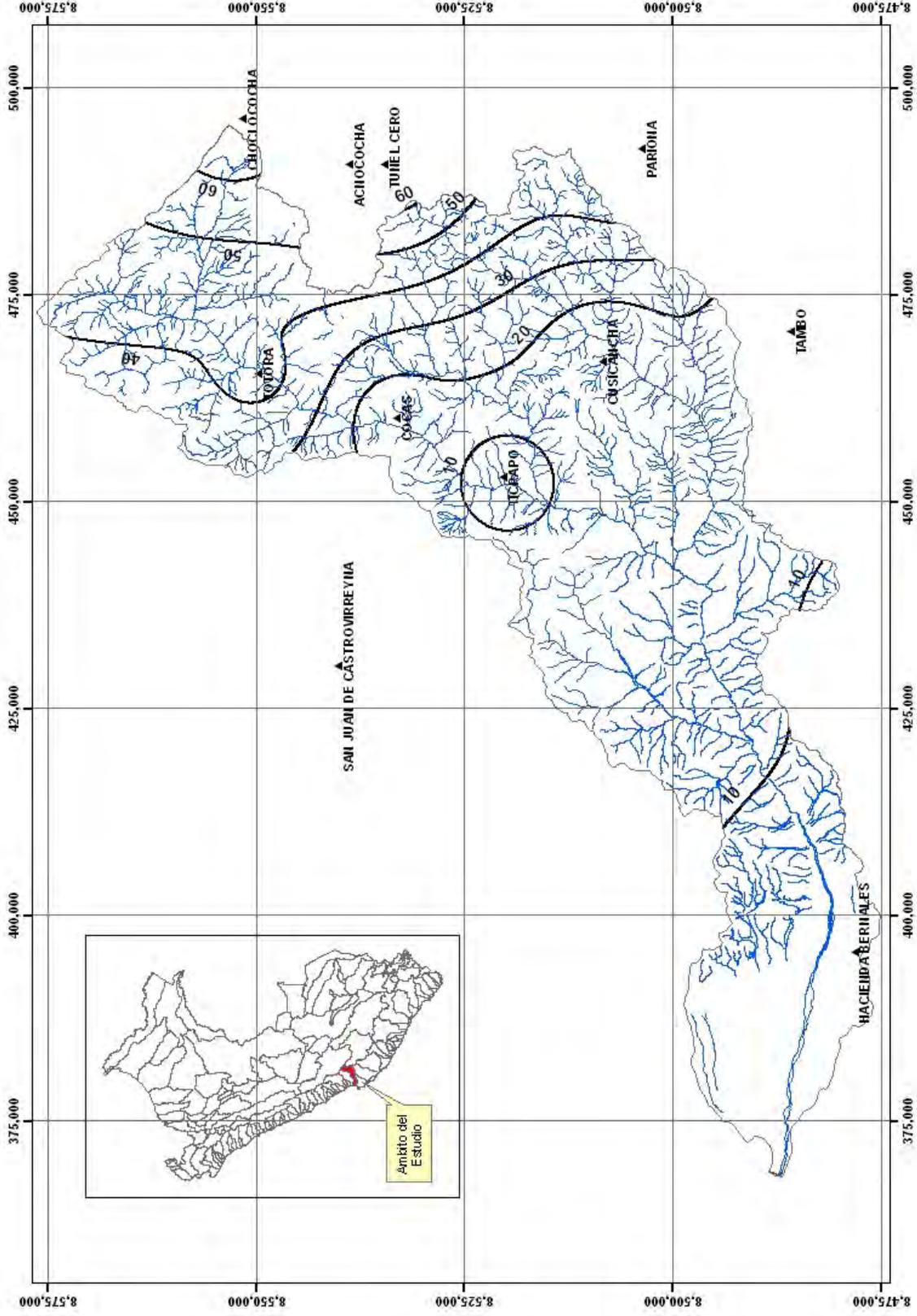


Figura N° 3.16. Isoyeta del mes de Noviembre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Pisco

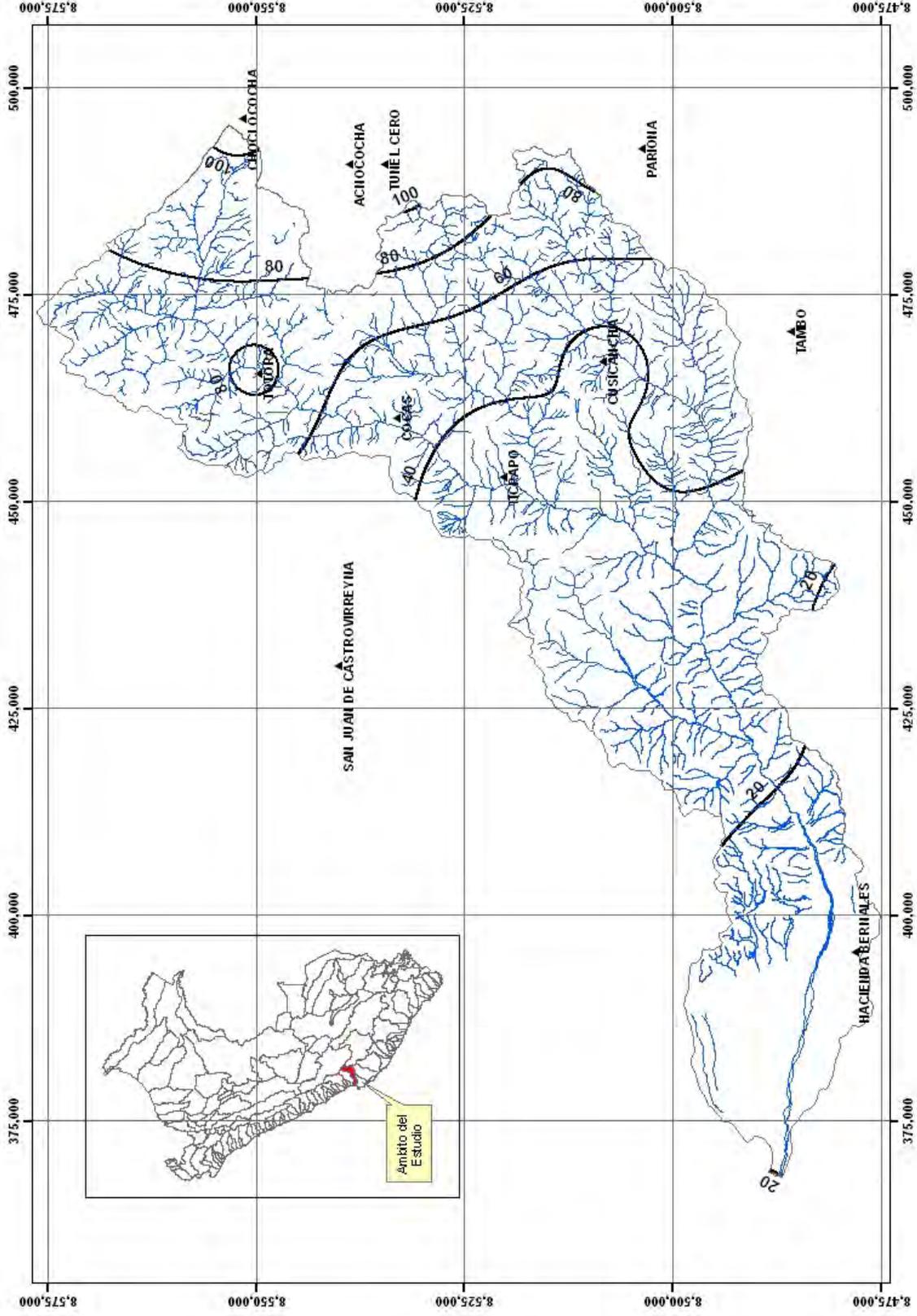


Figura N° 3.17. Isoyeta del mes de Diciembre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Pisco

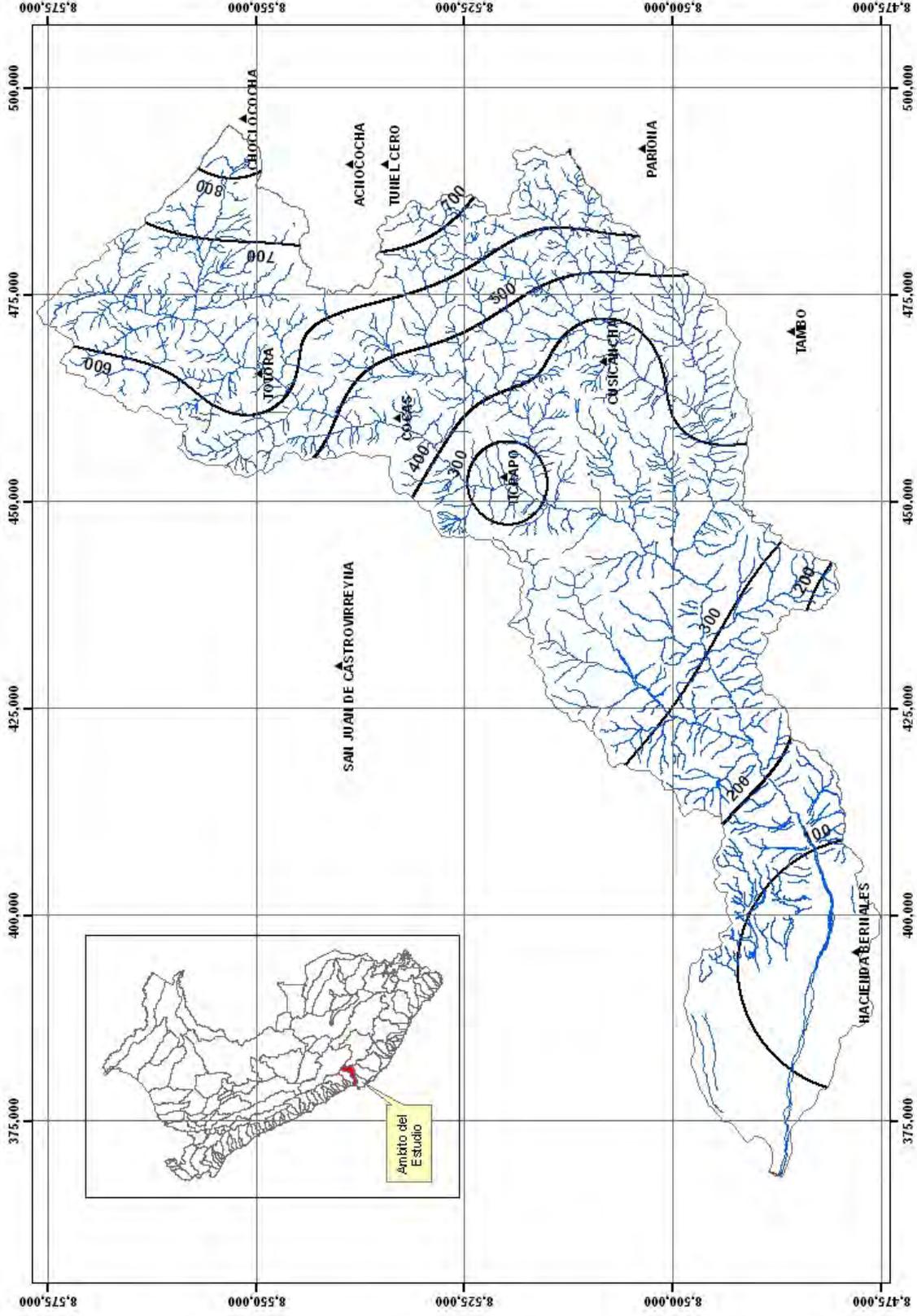


Figura N° 3.18. Isoyeta Anual de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Pisco

3.2.2 Temperatura

La temperatura del aire y sus variaciones diarias y estacionales 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 Pisco, esta variable climática está medida por una red de estaciones meteorológicas, las que se resumen en el Cuadro N°3.4., en este se muestra los valores medios históricos de la temperatura media mensual de las estaciones Pisco, Bernales, Huáncano, Cocas, Castrovirreyna y Acnocochoa, ubicadas al interior de la cuenca, y Huamaní, Acora, Túnel Cero y San Pedro de Huacarpana, para las cuencas vecinas de Ica, Pampas y San Juan.

A partir de la información mostrada en el Cuadro N° 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 Huamani (20,5) y Huancano (20.6) y que las mínimas se presentan en las estaciones Túnel Cero (3.7) y Acnocochoa (2.8).

En la Figura N° 3.19, se muestra la distribución de la Temperatura Media Mensual de las estaciones meteorológicas ubicadas en la cuenca del río Pisco, en donde observamos que las temperaturas medias mensuales son mayores en las estaciones de Pisco, Bernales y Huancano, y las mínimas se presenta en la estación Acnocochoa.

Cuadro N° 3.4. Temperatura Media Mensual [°C] de las estaciones de la cuenca del río Pisco y cuencas vecinas

N°	ESTACION METEOROLOGICA	ALTITUD msnm	AÑO PROMEDIO												MEDIA ANUAL
			Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	
1	PISCO	7	21.5	22.2	22.0	20.4	18.3	16.7	15.9	15.8	16.3	17.1	18.2	20.0	18.7
2	BERNALES	250	22.6	22.9	22.2	20.6	17.8	15.7	15.2	15.5	16.3	17.4	18.5	20.6	18.8
3	HUAMANI	800	23.0	23.8	23.7	22.0	20.1	17.5	16.6	17.5	18.8	19.9	20.7	22.0	20.5
4	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
5	ACORA	1800	17.2	17.4	17.8	17.3	16.7	16.2	16.5	16.6	16.8	17.3	17.2	17.5	17.0
6	COCAS	3246	10.9	11.0	10.8	11.2	11.2	11.0	11.5	11.7	11.9	12.2	12.3	12.2	11.5
7	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
8	CASTROVIRREYNA	3956	7.8	7.3	7.1	7.4	6.7	6.3	5.9	6.1	7.1	7.0	7.1	7.0	6.9
9	TUNEL CERO	4425	4.3	4.4	4.5	4.1	3.5	2.5	2.3	2.9	3.5	4.1	4.5	4.4	3.7
10	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 Pisco. IRH-INRENA-MINAG, 2003

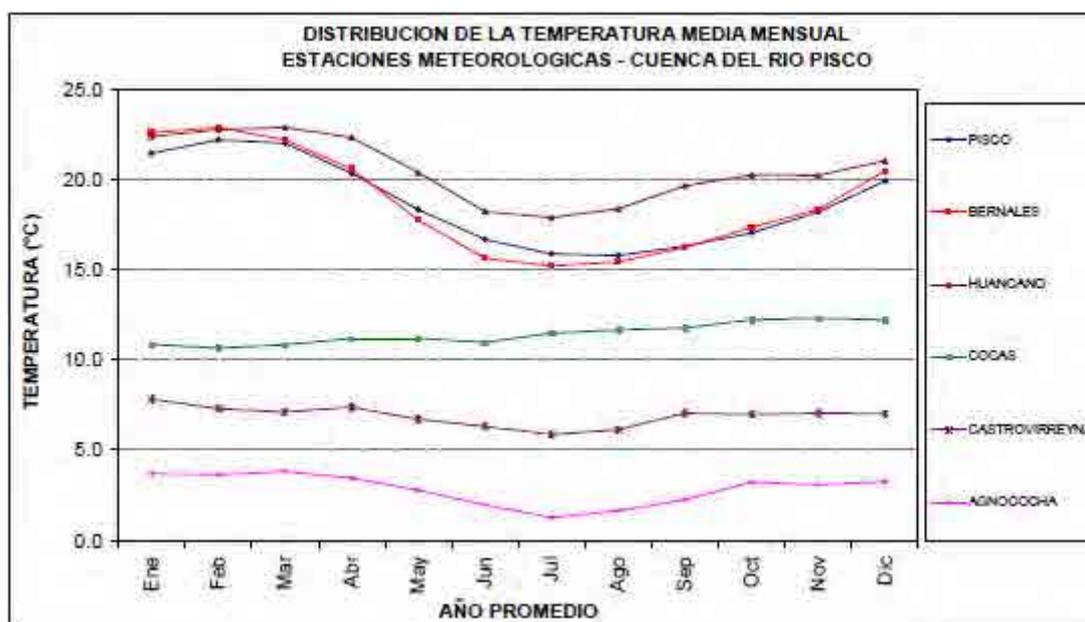


Figura N° 3.19. Distribución de la Temperatura Media Mensual de las Estaciones Meteorológicas ubicadas en la cuenca del río Pisco

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

3.3 Hidrometría

Existen 05 estaciones hidrométricas ubicadas a lo largo de la cuenca del río Pisco 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.

Table N° 3.5. Principales Características de las Estaciones Hidrométricas en la Cuenca del río Pisco y cuencas vecinas

CODIGO	NOMBRE DE LA ESTACION	CATEGORIA	CUENCA	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD (msnm)	CONDICION	Periodo de Operación	
											INICIO	FIN
203602	LETRAYOC	HLM	PISCO	ICA	PISCO	HUANCANO	75° 43'43	13° 39'39	1304	Operativa	1922-01	2010-12
472203CO	LETRAYOC	EHA	PISCO	ICA	PISCO	HUMAY	75° 45'1	13° 40'1	1020	Operativa	2000-12	2009-05
203606	RESERVORIO LAGUNA ACNOCOCHA	HLG	PISCO	HUANCAMELICA	CASTROVIRREYNA	SANTA ANA	75° 11'1	13° 06'1	4734	Paralizada	No Disponible	
203608	RESERVORIO LAGUNA PALCOCOCHA	HLG	PISCO	HUANCAMELICA	CASTROVIRREYNA	CASTROVIRREYNA	75° 18'1	13° 13'1	4533	Paralizada	No Disponible	
230701	DIQUE ORCOCOCHA	HLG	PISCO	HUANCAMELICA	CASTROVIRREYNA	CASTROVIRREYNA	75° 12'1	13° 16'1	4552	Cerrada	1968-09	1975-11

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

HLG = Estación Hidrométrica con limnómetro y limnógrafo 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.

EHA = Estación Hidrométrica Automática. Se registran niveles de agua de manera horaria usando sensores.

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 Pisco y cuencas vecinas.

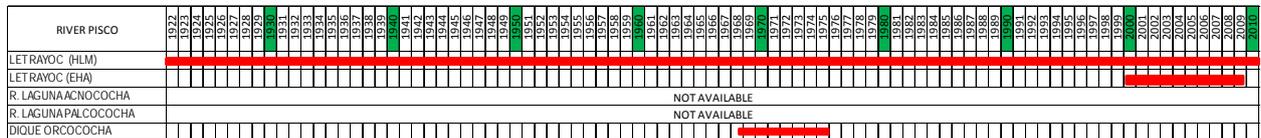


Figura N° 3.20. Periodo y longitud de información disponible en las Estaciones Hidrométricas

Se empleará la información de la estación hidrométrica Letrayoc 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 Océano Pacífico.

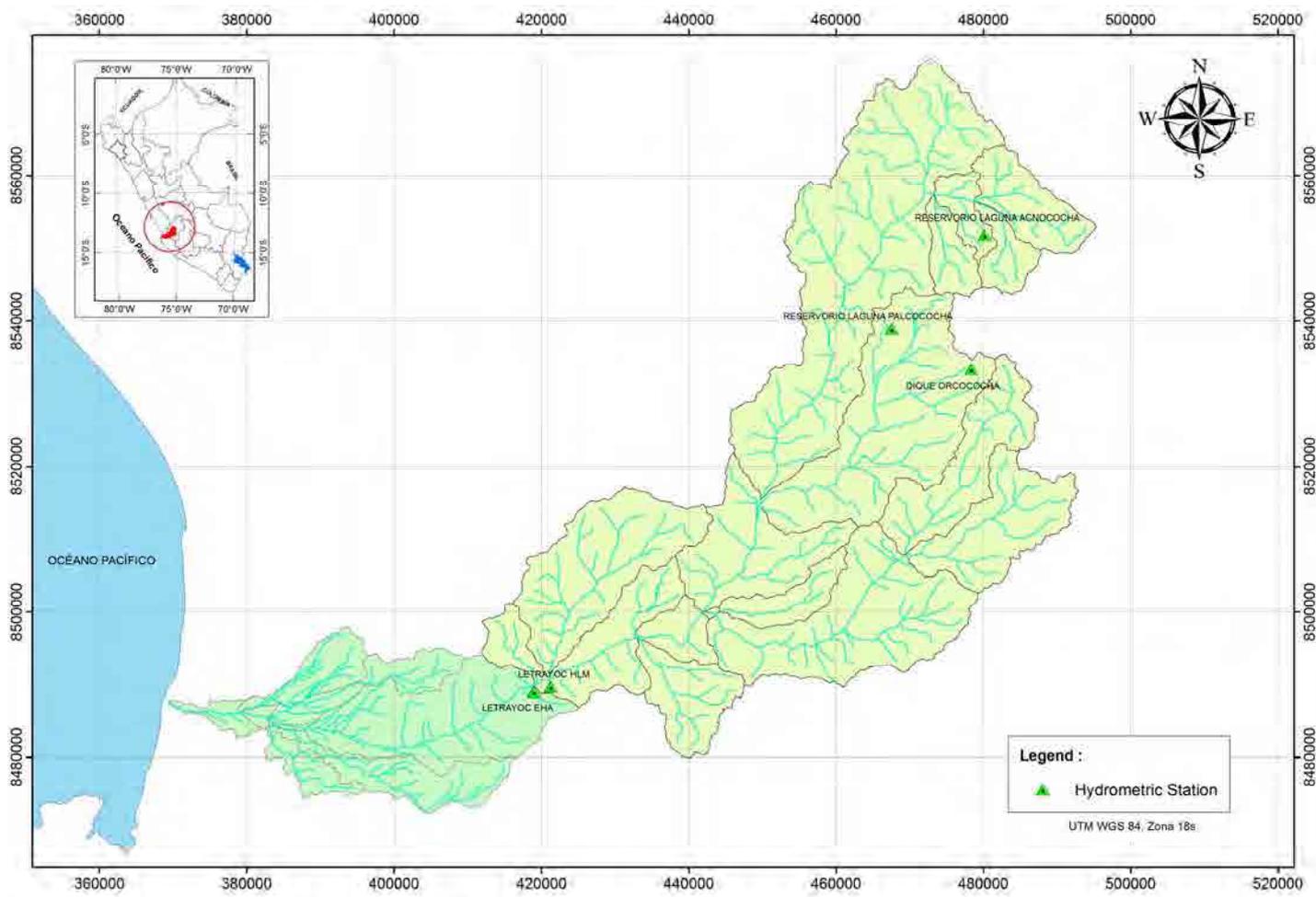


Figura Nº 3.21. Ubicación de la estación hidrométrica Letrayoc en la Cuenca del Río Pisco

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

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 12 estaciones, 06 estaciones tienen información hasta el año 2010, 03 estaciones tienen información hasta el año 1990, 01 estación tiene información hasta el año 1989 y 01 estación tienen información hasta el año 1981.

Las estaciones con información anterior al año 1990 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 1990 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. Todas las estaciones, fueron utilizadas para los análisis de descargas pico.

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.

De las 05 estaciones hidrométricas, 01 estación tiene información hasta el año 2010, 01 estación tiene información hasta el año 2009, y 01 estación tiene información hasta el año 1975, la información de las dos estaciones restantes no estuvo disponible.

Para los fines del presente estudio se empleó la información de la estación Letrayoc. 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 m³/s y H es 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 hidrométricas 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 deberá 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 Pisco en este acuerdo.

IV. HIDROLOGIA DE MAXIMAS AVENIDAS

4.1 Consideraciones Previas

En este capítulo se describe la metodología de trabajo desarrollada para la generación de los caudales de avenida en el denominado Punto Base (punto de interés, estación Letrayoc), 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 Letrayoc.

Reconocimiento de Campo:

El reconocimiento de campo ha comprendido una revisión de las características generales de la estación hidrométrica Letrayoc 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 Letrayoc), que ha sido realizada en base a las Cartas a escala 1:100000 y/o 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 modela 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 Letrayoc) se muestra en el Cuadro N° 4.1.

Cuadro N° 4.1. Características Geomorfológicas de la cuenca en el Punto Base (estación Letrayoc)

Característica	Valor
Área de la Cuenca (km ²)	3,096.000
Longitud Max. De Recorrido (km)	113.400
Cota Mayor (msnm)	4,758.000
Cota Menor (msnm)	630.000
Pendiente (m/m)	0.036

4.2.2 Análisis de Precipitaciones Máximas en 24 Horas

En el Cuadro N° 3.1 y Figura N° 3.3. se muestra las estaciones ubicadas en el ámbito del estudio (cuenca del río Pisco y cuencas vecinas), las precipitaciones máximas en 24 horas anual de estas estaciones se muestra en el Cuadro N° 4.2 y la información diaria y máxima en 24 horas se muestra en el Anexo.

De la información mostrada en el Cuadro N° 4.2 y observando la Figura N° 3.3 concluimos que las estaciones están distribuidas en todo el ámbito del estudio y que el periodo de información es mayor de 10 años, por lo que en los posteriores análisis se utiliza la información de todas las estaciones.

Cuadro N° 4.2. Precipitación Máxima en 24 Horas Anual de las Estaciones ubicadas en el Ámbito del Estudio

Año	Estaciones											
	ACNOCOCHA	CHOCLOCOCHA	COCAS	CUSICANCHA	PARIONA	SAN JUAN DE CASTROVIRREYNA	TAMBO	TICRAPO	TOTORA	TUNEL CERO	HACIENDA BERNALES	HUAMANI
1960												
1961												
1962												
1963												
1964			19.80					21.50				
1965			21.60				35.00	20.70				
1966			20.20	18.70				12.60	15.00			
1967			36.00	23.50		20.10		24.40	24.00			25.50
1968				12.30			24.00	10.00	20.00			0.00
1969				23.00				35.80	22.00			1.60
1970			22.10	25.30		33.30	13.30	40.20	23.00			33.50
1971	32.30		29.40	28.60		13.70	18.20	28.40	21.00	30.70		1.70
1972	29.20		30.80	26.90	40.01	28.00	30.70	32.00	27.00	28.20	29.50	18.80
1973	24.60		36.80	13.10	37.80	23.00			25.00	34.60	1.60	2.11
1974	31.10		20.60	9.70	36.90	12.10	21.00	14.00	22.00	24.20	0.00	4.11
1975	24.10	27.40	22.40	6.60	39.10	17.00	42.40	19.50	19.00	29.20	0.00	23.00
1976	26.40	36.10	21.40	6.60	34.40	17.20	40.00		20.00	22.80	20.80	12.50
1977	26.90		20.60	24.20	29.70	15.50	20.50	24.00	25.00	31.30	0.00	0.00
1978	28.10	22.90	14.40	20.00	20.61	7.80	32.00	5.40	20.01	19.50	0.60	0.00
1979	22.30	15.40	27.40		25.40	21.60	20.40	18.00	25.01	33.20	0.00	0.20
1980	23.00	14.80		19.00	44.40	40.00	21.20		35.00	27.30	0.00	0.30
1981	22.60	13.50		20.00	28.50		25.60	33.00	29.00	35.90		0.00
1982	32.10			10.10		17.10	15.70	10.90	29.01	52.20		0.00
1983	30.10	26.50		5.00		28.00	35.00	30.00	24.01		0.00	0.00
1984	28.70			20.00		24.00	40.00	20.80	37.01	38.30	0.00	0.40
1985	26.50	19.00		11.00	26.50	11.50	30.00	18.00	30.00	22.70	0.00	7.50
1986	29.20	36.00				14.70	30.00		27.00	35.30	0.00	
1987	22.40	24.40			14.80	12.30	20.00		13.01	23.10	0.00	0.00
1988	26.90	39.10			28.00	13.50	17.00			27.80	0.00	
1989	20.30					31.80	36.70			31.90	0.00	0.00
1990		39.50				13.10	29.00			54.50	0.00	
1991				21.00		11.00	40.00				0.00	0.00
1992												
1993		39.30		29.00		13.70				36.50	0.00	
1994		37.30		17.80		12.30	22.00			30.50	0.00	
1995		28.10		14.30		12.00	43.20			26.20	0.00	
1996		35.90		10.80		19.20	42.00			27.30	0.00	
1997		67.50		22.20		10.50	30.00			21.60	0.00	
1998		55.50		42.00		37.90	40.00			25.10	0.00	
1999		34.40		25.70		25.00	23.00			26.10	0.50	
2000		38.00		20.10		18.80	26.00				0.30	2.50
2001		29.30		28.40		23.20	16.00			29.60	1.30	2.20
2002		30.70				19.51				23.70	0.50	3.10
2003		57.70		18.90		10.50	22.00			27.40	0.02	2.70
2004		45.00		9.90		10.30	16.00			28.70	0.40	0.01
2005		36.10		12.40		16.10	27.00			47.80	4.60	13.00
2006		36.70		27.70		21.40	38.00			25.00	3.20	4.21
2007				18.80		18.40	16.50			35.80		0.01

2008		24.60		20.60		14.50	26.00			28.60	5.10	6.20
2009		58.40		19.20		17.20	38.00			36.20	1.30	8.30
2010												

En la Figura N° 4.1 se muestra las estaciones consideradas para los siguientes análisis que van ser aplicado en el software HEC-HMS.

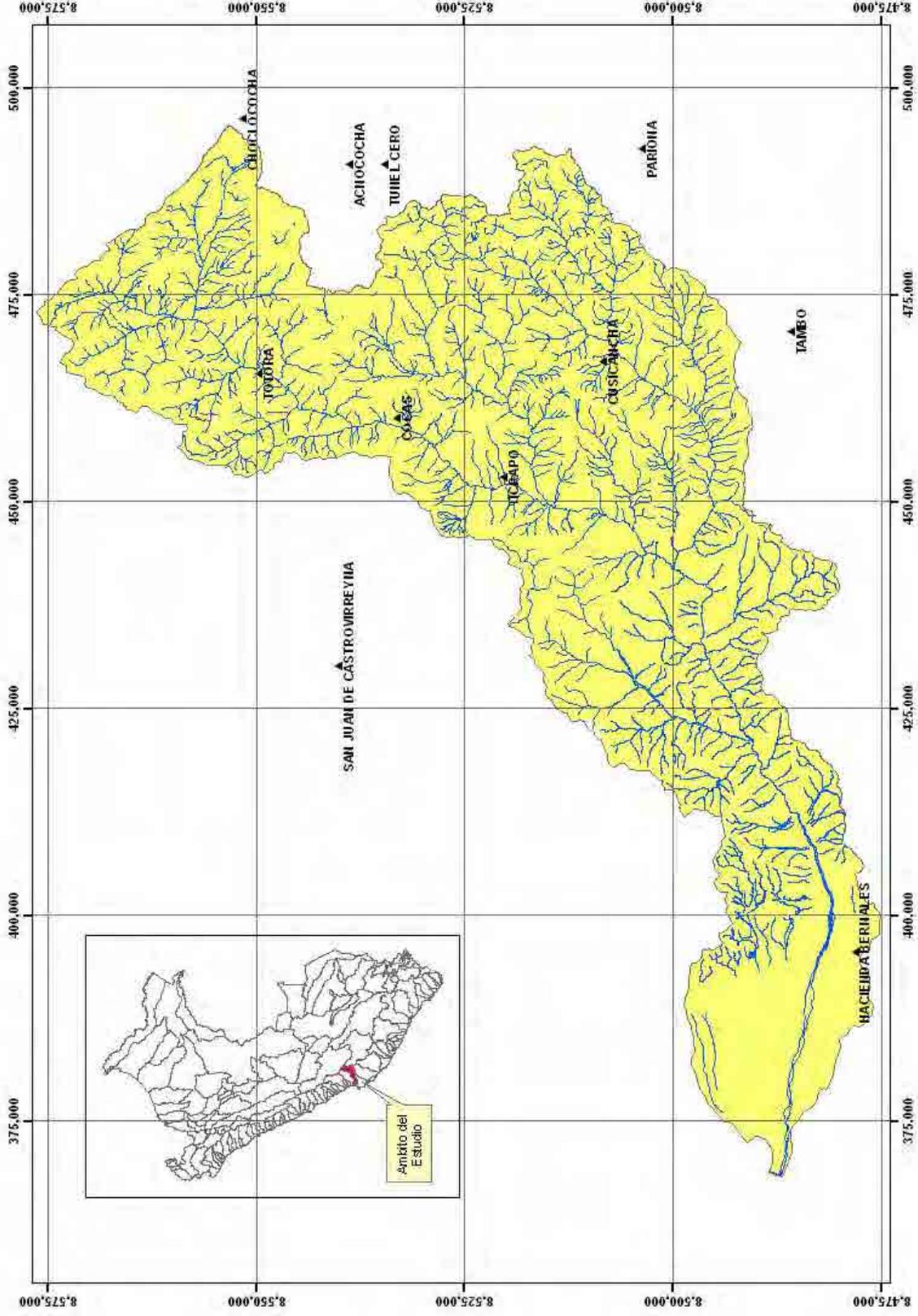


Figura N° 4.1. Estaciones Pluviométricas consideradas para la aplicación del Software HEC-HMS

Cada serie de precipitación máxima anual de las doce (12) 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,

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

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:

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

Para $0 < x < \infty$, se tiene que $x \sim \text{logN}(\mu_y, \sigma_y^2)$

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_0 , antes de tomar logaritmos, se puede conseguir que sea normalmente distribuida.

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

$$f(x) = \frac{1}{(x - x_0)\sigma_y\sqrt{2\pi}} \text{EXP} \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{\ln(x - x_0) - \mu_y}{\sigma_y} \right]^2 \right\}$$

Para $x_0 \leq x < \infty$

Donde:

x_0 = 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:

$$\Gamma(\gamma) = \int_0^{\infty} x^{\gamma-1} e^{-x} dx, \text{ que converge si } \gamma > 0$$

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 estación (ver Cuadro N° 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 parámetros, la Log – Pearson III, la Gumbel, la Log – Gumbel y Valores Extremo Generalizados.

La información generada para cada función de distribución se elige 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 N° 4.3. Los valores de cada estación pluviométrica y para cada periodo de retorno se muestran en el Cuadro N° 4.4.

Cuadro N° 4.3. Coeficiente de Determinación para cada Función de Distribución y para cada Estación Pluviométrica

Estacion	Coeficiente de Determinación para cada Función de Distribución				
	Log Pearson III	GEV	SQRT	Gumbel	Log-Normal
Acnococha	0.88	0.97	0.91	0.90	0.87
Choclococha	0.80	0.95	0.88	0.90	0.93
Cocas	0.82	0.95	0.89	0.93	0.92
Cusicancha	0.88	0.93	0.92	0.92	0.90
Pariona	0.93	0.94	0.90	0.89	0.89
San Juan de Castrovirreyna	0.93	0.95	0.94	0.93	0.89
Tambo	0.95	0.96	0.92	0.92	0.91
Ticrapo	0.96	0.96	0.94	0.92	0.89
Totora	0.90	0.93	0.90	0.89	0.91
Tunel Cero	0.92	0.93	0.90	0.92	0.90
Hacienda Bernales	0.89	0.93	0.88	0.90	0.89
Huamani	0.83	0.90	0.88	0.88	0.87

Cuadro N° 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
ACNOCOCHA	27.0	30.0	32.0	34.0	35.0	36.0	37.0
CHOCLOCOCHA	30.0	43.0	51.0	60.0	66.0	71.0	76.0
COCAS	22.0	30.0	34.0	38.0	40.0	42.0	43.0
CUSICANCHA	19.0	26.0	29.0	33.0	35.0	37.0	39.0
HACIENDA BERNALES	0.0	1.0	3.0	6.0	11.0	19.0	34.0
HUAMANI	2.0	7.0	13.0	25.0	39.0	61.0	93.0
PARIONA	33.0	40.0	43.0	46.0	48.0	49.0	50.0
SAN JUAN DE CASTROVIRREYNA	17.0	23.0	29.0	36.0	42.0	49.0	56.0
TAMBO	26.0	35.0	40.0	46.0	49.0	52.0	55.0
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
TUNEL CERO	29.0	36.0	41.0	48.0	54.0	61.0	67.0

Con la información mostrada en el Cuadro N° 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 N° 4.2. al 4.7.

A partir de los mapas de isoyetas para cada periodo de retorno se ha estimado la precipitación máxima para el área de la cuenca delimitada para el Punto Base (Estación Letrayoc), la metodología y los resultados se describe en el ítem 4.2.2.4.

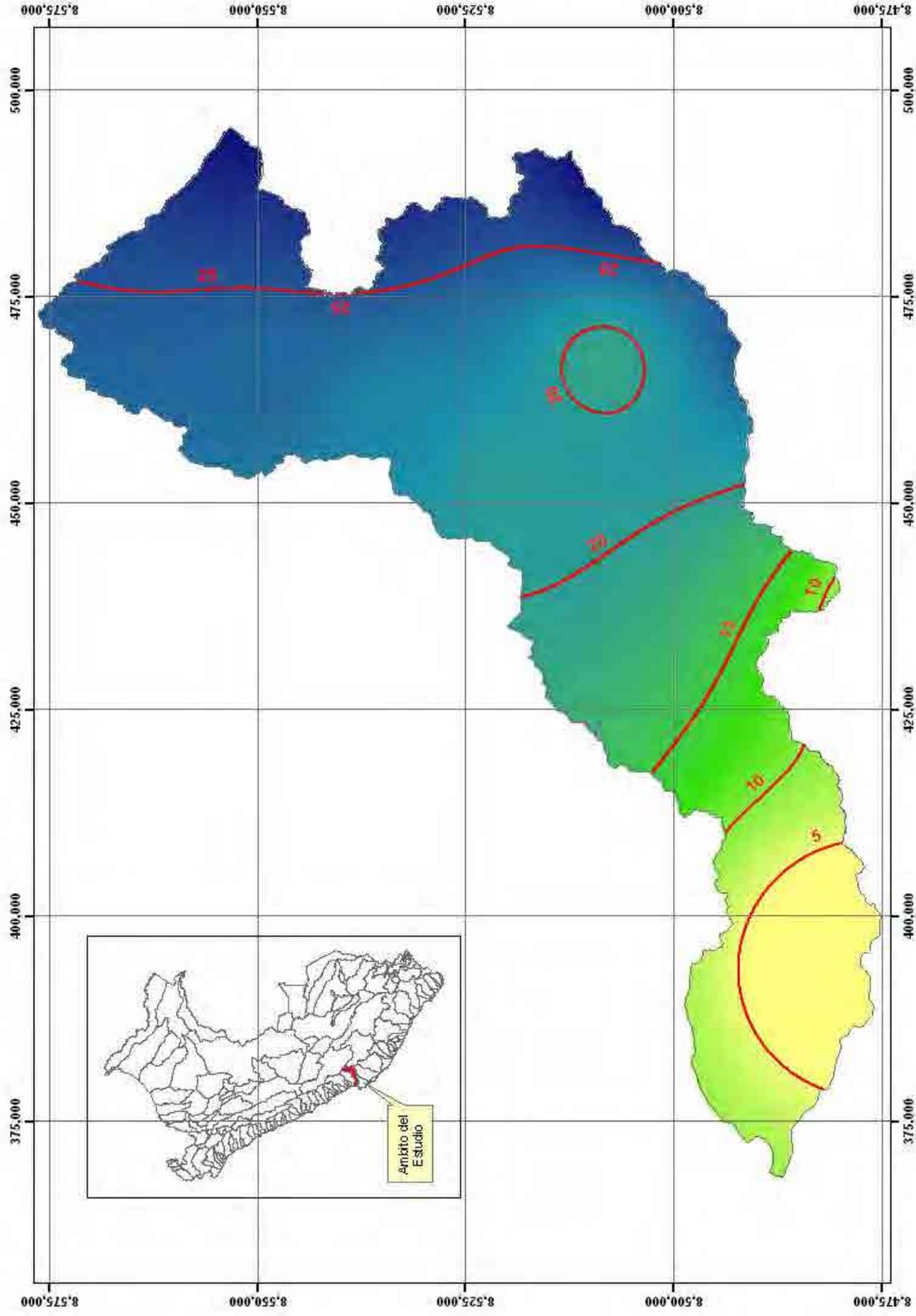


Figura N° 4.2. Isoyetas de la Precipitación Máxima en 24 Horas para un Periodo de Retorno de 2 años en la cuenca del río Pisco

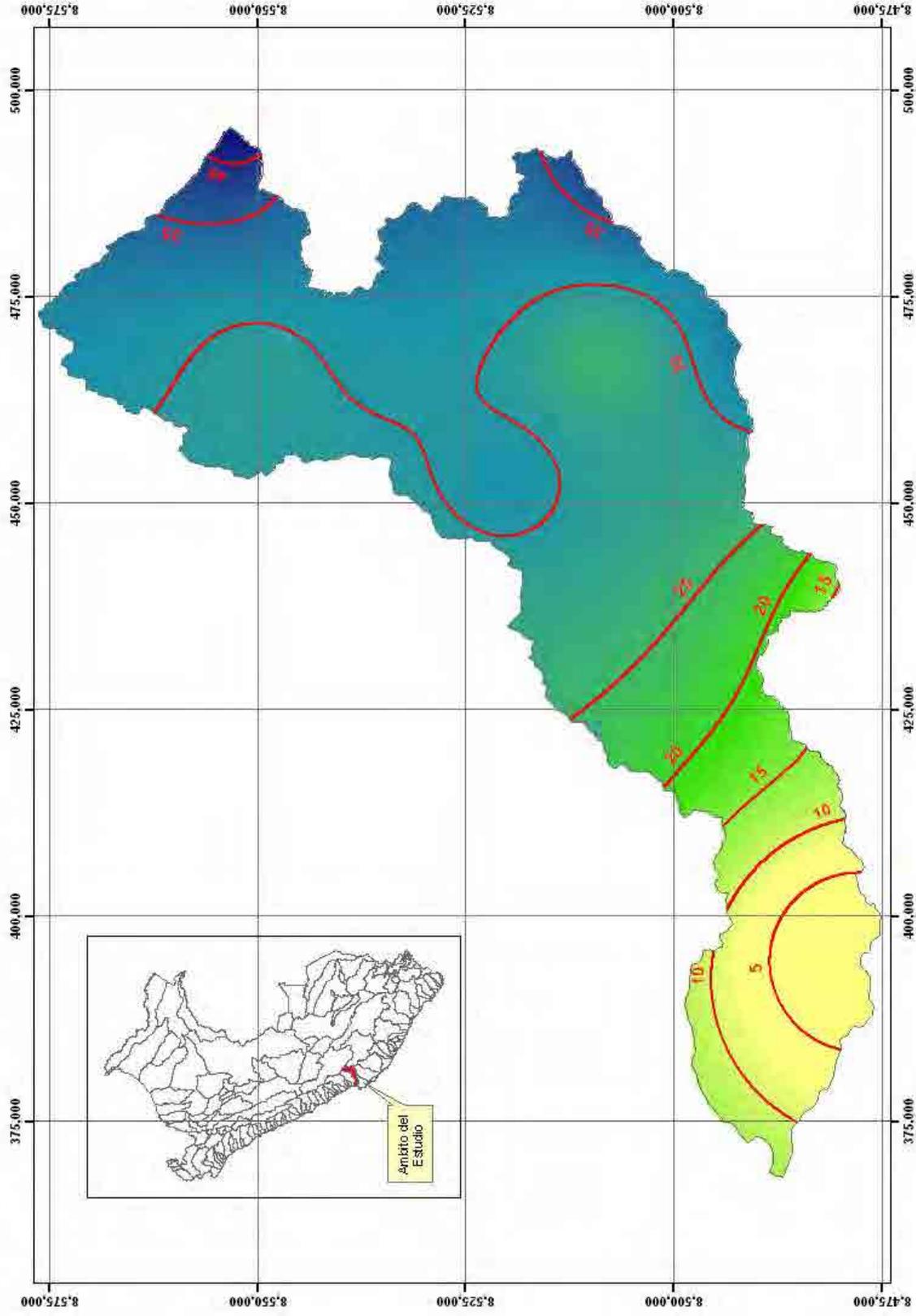


Figura N° 4.3. Isoyetas de la Precipitación Máxima en 24 Horas para un Periodo de Retorno de 5 años en la cuenca del río Pisco

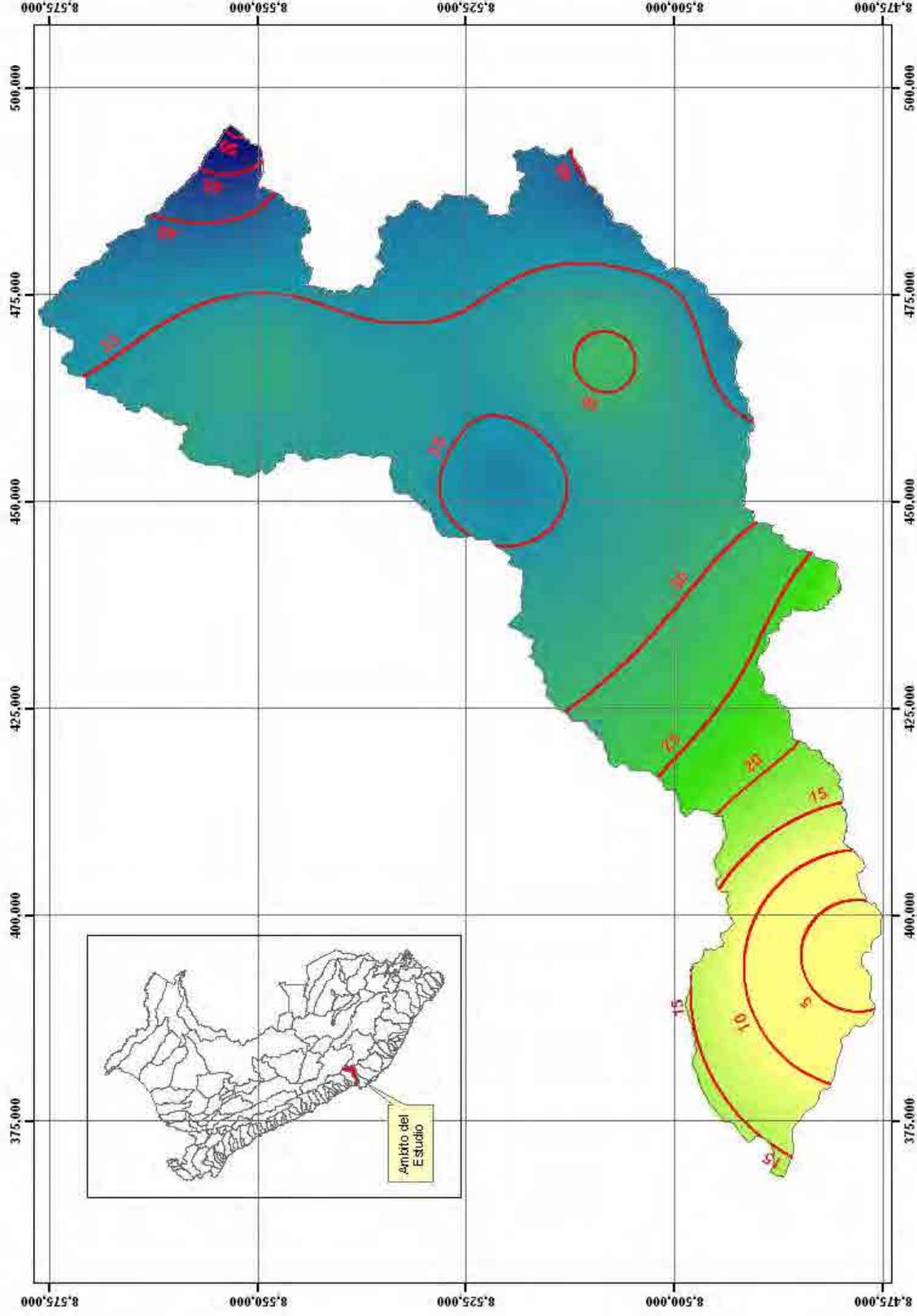


Figura N° 4.4. Isoyetas de la Precipitación Máxima en 24 Horas para un Periodo de Retorno de 10 años en la cuenca del río Pisco

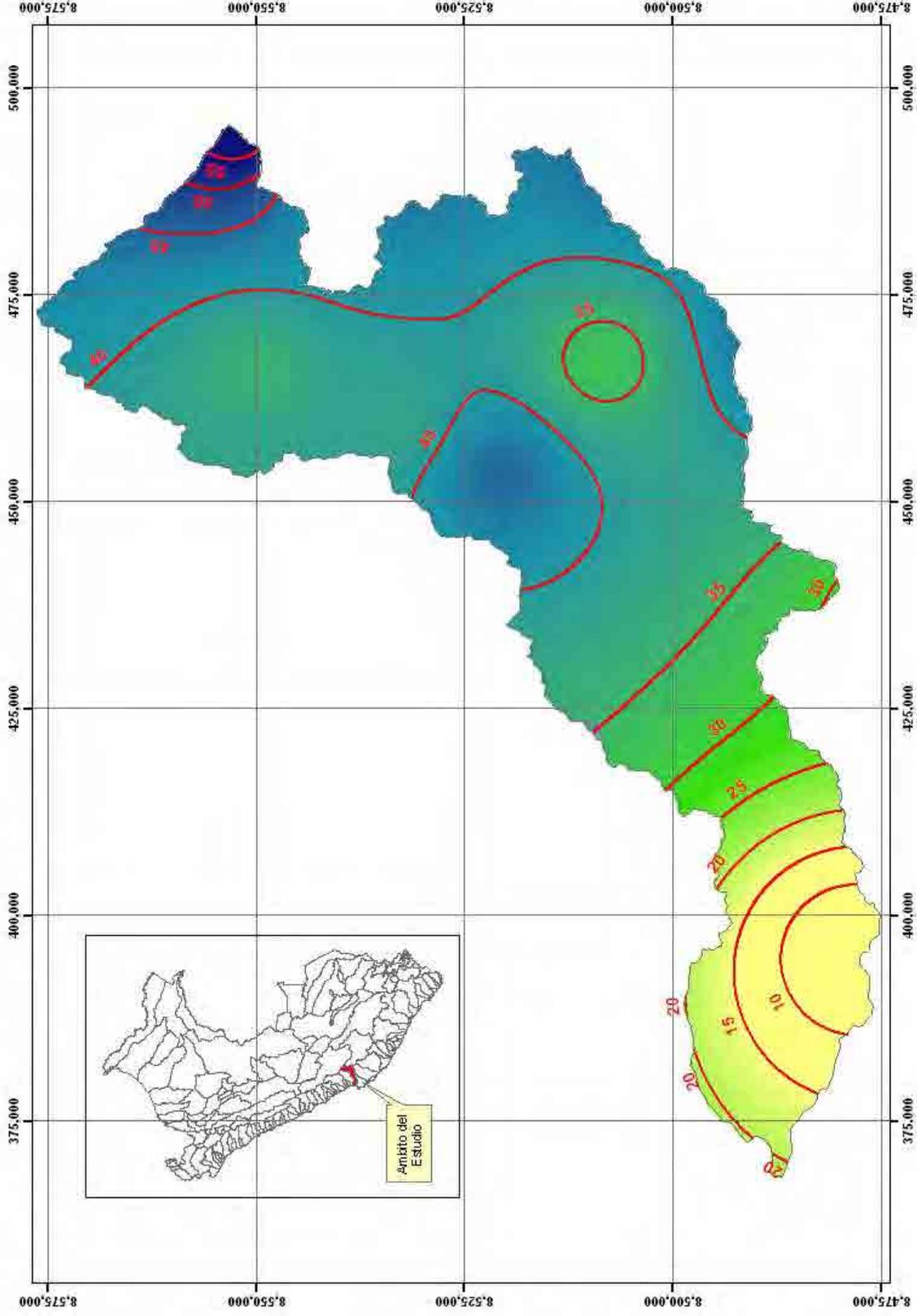


Figura N° 4.5. Isoyetas de la Precipitación Máxima en 24 Horas para un Periodo de Retorno de 25 años en la cuenca del río Pisco

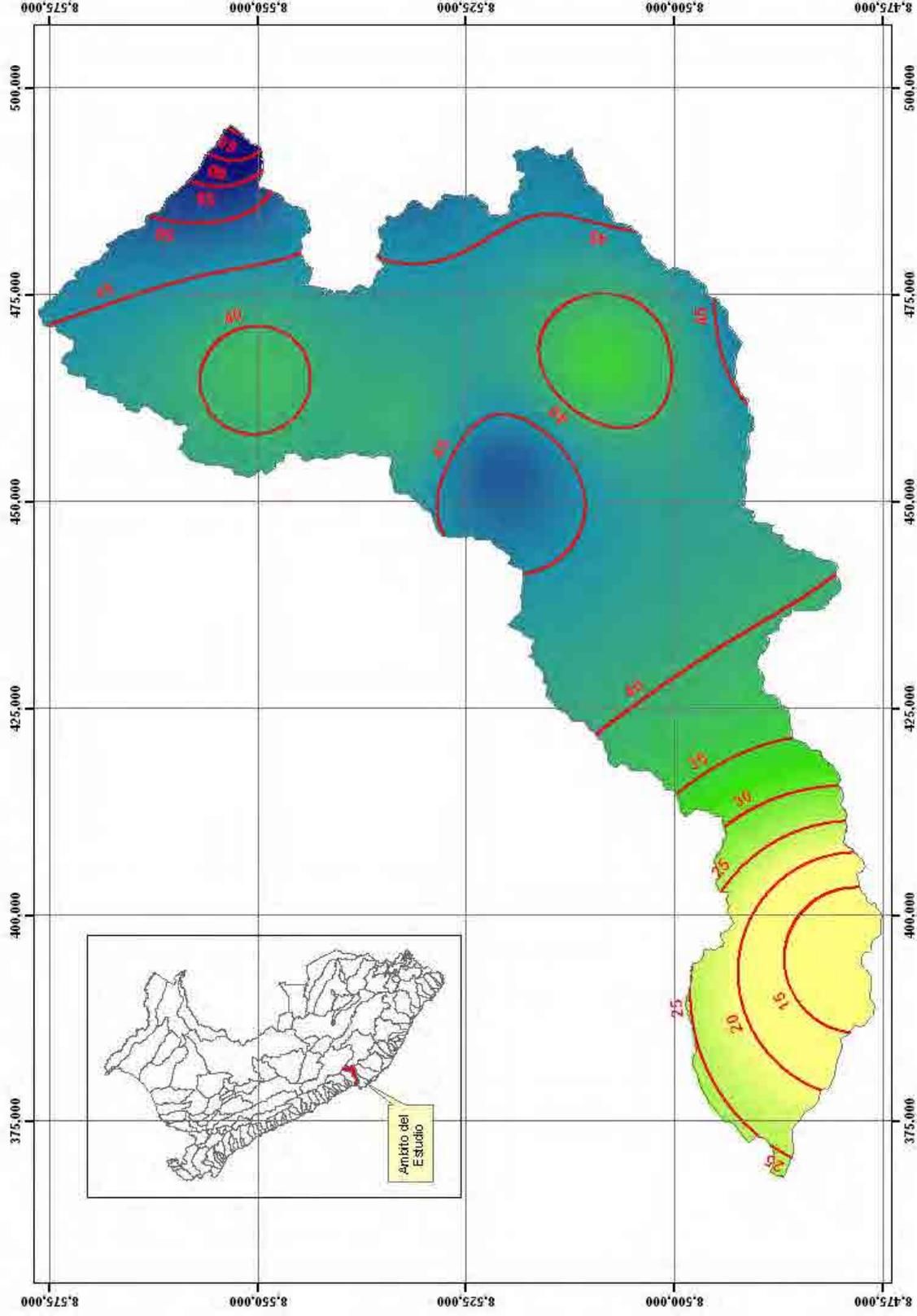


Figura N° 4.6. Isoyetas de la Precipitación Máxima en 24 Horas para un Periodo de Retorno de 50 años en la cuenca del río Pisco

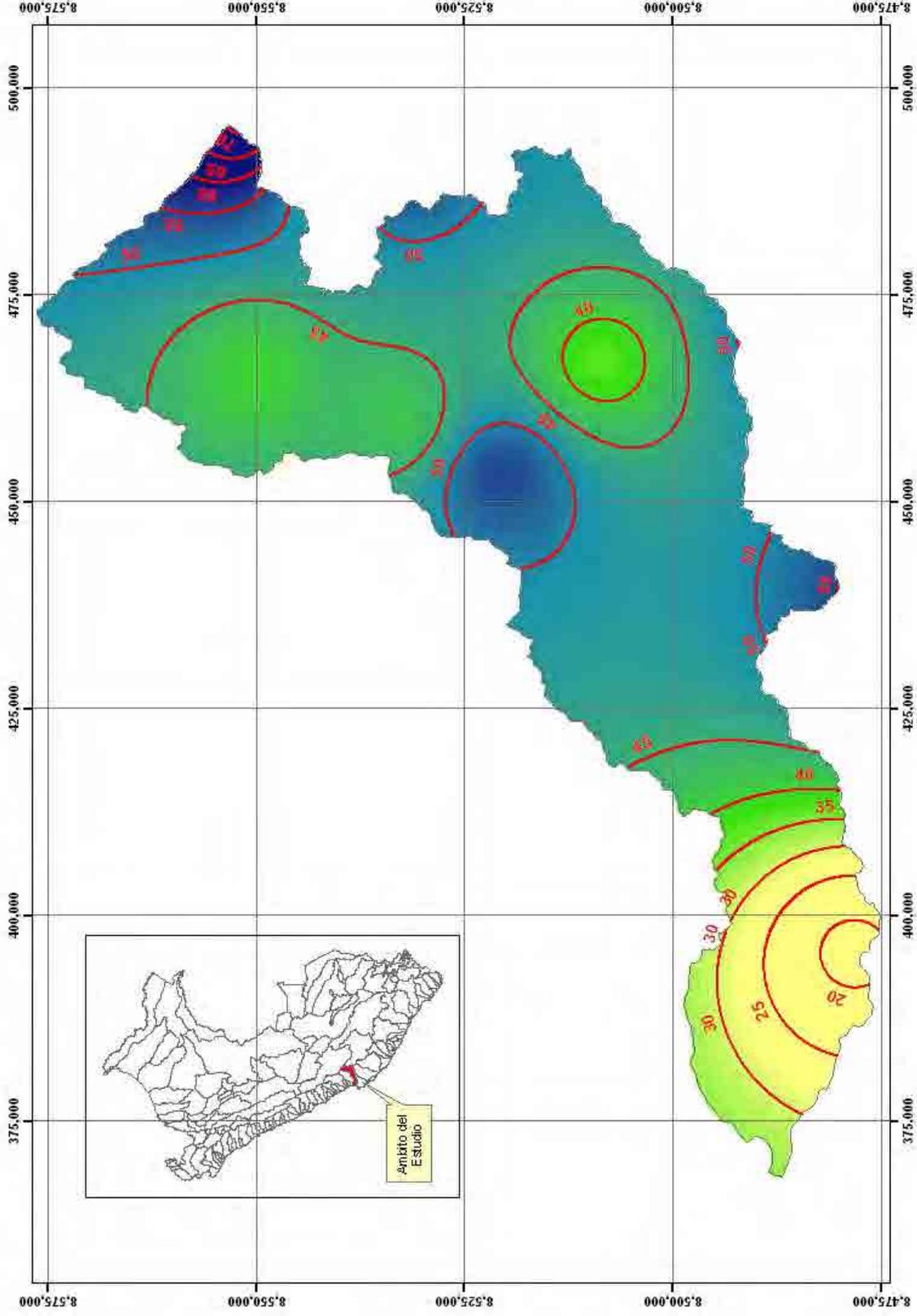


Figura N° 4.7. Isoyetas de la Precipitación Máxima en 24 Horas para un Periodo de Retorno de 100 años en la cuenca del río Pisco

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 precipitación areal máxima de 24 horas en el punto base (estación Letrayoc) para cada periodo de retorno, los resultados se muestran en el Cuadro N° 4.5.

Cuadro N° 4.5. Precipitaciones Areales Máximas en 24 Horas en el Punto Base (Estación Letrayoc) para cada Periodo de Retorno

Periodo de Retorno "T" [Años]	Pp Areal Max 24 Horas [mm]
2	25.00
5	28.90
10	33.23
25	38.78
50	42.59
100	46.92

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

Adicionalmente al estudio hidrológico de los caudales máximos del río Pisco se requiere estimar las precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno en las subcuencas del río Pisco. Esta ha sido estimada en base a los mapas de isoyetas mostrados en las Figuras N° 4.2. a 4.7 y a la metodología descrita brevemente en el ítem 4.2.2.4.

En la Figura N° 4.8, se muestra las subcuencas del río Pisco 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 N° 4.6.

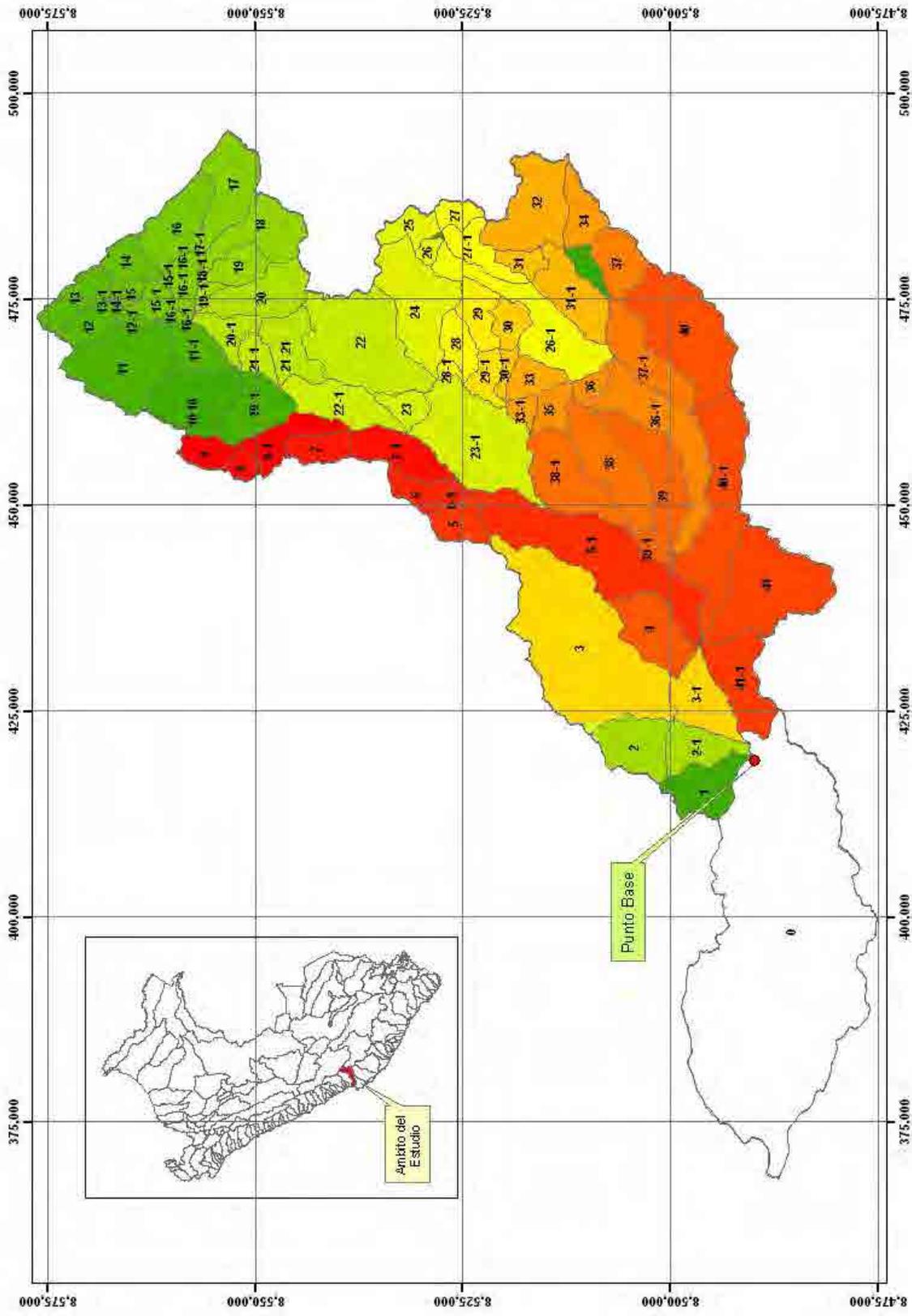


Figura N° 4.8. Subcuenca del río Pisco

Cuadro N° 4.6. Precipitaciones para Diferentes Periodos de Retorno en cada Subcuenca del río Pisco

SUBCUENCA	ÁREA [m ²]	PERIODO DE RETORNO T [AÑOS]					
		PT_2	PT_5	PT_10	PT_25	PT_50	PT_100
0	774,360,000	5.4	8.3	11.2	15.6	21.2	29.5
1	48,731,800	12.5	17.9	22.0	28.1	34.0	42.3
10	69,819,600	23.8	29.7	33.2	37.7	40.2	42.9
10-1	48,920,900	23.8	29.3	32.6	36.8	39.1	41.4
11	95,251,900	24.1	30.7	34.8	39.8	43.0	46.3
11-1	32,178,400	24.2	30.1	33.6	38.2	40.8	43.4
12	24,316,700	24.5	31.6	35.9	41.2	44.7	48.2
12-1	7,599,270	24.6	31.4	35.6	40.8	44.1	47.4
13	34,377,100	24.8	32.1	36.6	42.1	45.7	49.3
13-1	528,564	24.8	32.0	36.4	41.7	45.2	48.7
14	28,835,500	25.5	33.0	37.6	43.2	46.9	50.5
14-1	736,281	24.9	32.0	36.4	41.7	45.2	48.7
15	6,629,310	25.0	32.2	36.5	41.9	45.3	48.8
15-1	23,888,300	24.9	31.7	36.0	41.1	44.4	47.7
16	58,145,800	26.7	35.1	40.3	46.5	50.5	54.4
16-1	22,568,800	25.2	32.3	36.6	41.8	45.1	48.5
17	62,232,400	28.1	37.9	44.0	51.0	55.7	59.9
17-1	969,962	25.8	33.2	37.8	43.2	46.8	50.3
18	56,833,600	26.7	33.8	38.3	43.7	47.3	50.8
18-1	1,282,460	25.4	32.5	36.8	42.0	45.4	48.7
19	26,733,300	25.7	32.6	36.9	42.1	45.4	48.8
19-1	6,671,040	24.9	31.6	35.6	40.6	43.7	46.8
2	52,919,500	16.1	22.5	27.0	33.2	38.6	45.6
20	56,155,800	25.0	31.3	35.2	40.0	43.0	46.1
20-1	26,253,900	24.2	30.0	33.5	37.9	40.4	43.0
21	43,743,800	24.0	29.9	33.3	37.7	40.1	42.7
2-1	38,110,400	14.0	19.9	24.3	30.7	36.6	44.8
21-1	17,536,300	24.0	29.2	32.3	36.5	38.6	40.7
22	133,682,000	23.5	30.6	34.6	39.3	42.1	45.0
22-1	54,257,600	22.8	29.9	33.7	38.0	40.4	42.8
23	19,208,200	22.0	30.0	34.1	38.3	40.5	42.7
23-1	133,886,000	20.9	30.3	35.4	41.8	45.7	49.6
24	92,053,600	24.5	31.5	35.6	40.6	43.9	47.3
25	21,774,100	27.0	33.4	37.4	42.7	46.6	51.0
26	7,607,610	26.1	32.7	36.8	41.9	45.6	49.6
26-1	92,540,400	21.8	29.0	32.6	37.3	40.1	43.0
27	14,973,200	26.7	33.3	37.4	42.7	46.5	50.7
27-1	30,506,500	25.3	32.2	36.3	41.3	44.8	48.5
28	25,073,400	22.8	30.4	34.6	39.7	42.8	46.1
28-1	5,232,780	22.3	30.2	34.4	39.4	42.4	45.5
29	30,528,800	23.3	30.7	34.8	39.9	43.1	46.5
29-1	20,459,100	21.8	29.9	34.2	39.6	42.9	46.3
3	256,335,000	18.8	26.4	31.3	37.6	42.4	48.1
30	21,035,900	22.5	30.0	33.9	38.9	42.0	45.2
30-1	8,745,420	21.5	29.5	33.8	39.1	42.3	45.6
31	15,308,000	24.5	31.7	35.6	40.4	43.6	46.9
3-1	52,396,500	15.0	21.3	25.9	32.5	38.5	46.8
31-1	56,037,100	22.3	29.6	33.2	37.8	40.5	43.3
32	81,067,800	26.6	33.7	37.5	42.2	45.3	48.5
33	25,244,000	20.8	28.7	32.6	37.7	40.7	43.9
33-1	10,375,600	20.8	29.5	34.1	40.0	43.6	47.3
34	32,336,100	27.7	34.8	38.4	42.6	45.4	47.9
35	21,253,800	20.4	28.5	32.6	37.9	41.1	44.4
36	13,088,900	19.4	26.5	29.7	33.9	36.1	38.3
36-1	95,476,300	20.3	27.9	31.8	37.0	40.4	44.1
37	39,443,900	24.9	32.2	35.9	40.3	43.1	45.8
37-1	58,919,100	20.6	28.0	31.5	36.1	38.7	41.4
38	78,763,500	20.4	28.5	32.8	38.5	42.1	46.0
38-1	73,087,400	20.4	29.6	34.6	41.2	45.4	49.7
39	73,029,900	20.3	28.1	32.3	38.0	41.7	45.9
39-1	10,934,800	19.6	27.4	32.1	38.3	42.8	48.1
4	59,721,300	18.0	25.2	29.9	36.4	41.5	48.0
40	124,547,000	23.0	30.7	34.7	39.8	42.8	45.9
40-1	128,130,000	19.7	27.2	31.8	38.0	42.6	48.3
41	122,639,000	14.5	21.1	26.0	33.6	40.7	50.7
41-1	63,616,900	13.8	20.0	24.6	31.8	38.5	48.0
5	28,398,700	20.5	30.0	35.3	42.1	46.5	51.0
5-1	168,315,000	19.6	28.3	33.3	40.0	44.6	49.8
6	21,153,700	21.3	29.9	34.6	40.3	43.8	47.4
6-1	8,745,420	20.7	30.1	35.4	42.0	46.2	50.5
7	24,532,800	22.6	29.7	33.7	38.3	41.0	43.9
7-1	47,267,500	21.8	30.0	34.3	39.0	41.7	44.4
8	10,938,500	23.0	29.4	33.2	38.0	40.9	44.0
8-1	37,025,500	23.1	29.5	33.3	37.9	40.5	43.3
9	20,817,100	23.3	29.5	33.3	38.0	40.9	43.9

4.2.3 Análisis de Descargas Máximas Diarias

Para el análisis de máximas descargas diarias del río Pisco se empleó la información de la estación hidrométrica Letrayoc. Esta estación tiene un área de contribución de 3096 km². En la Figura 3.21 se muestra su ubicación en el ámbito de la cuenca del río Pisco.

La Dirección General de Infraestructura Hidráulica (DGIH) del Ministerio de Agricultura ha proporcionado la información de descargas máximas diarias anuales de la estación Letrayoc cuyos valores se muestran en el Cuadro N° 4.7.

Cuadro N° 4.7. Descargas Máximas Diarias de la estación Letrayoc, río Pisco (m³/s)

Nº	Año	Caudal Maximo Diario (m ³ /s)	Nº	Año	Caudal Maximo Diario (m ³ /s)
1	1933	227.50	39	1971	194.45
2	1934	264.50	40	1972	509.87
3	1935	311.00	41	1973	293.62
4	1936	360.50	42	1974	194.68
5	1937	956.03	43	1975	141.88
6	1938	253.70	44	1976	237.62
7	1939	328.67	45	1977	231.26
8	1940	155.34	46	1978	80.33
9	1941	212.25	47	1979	213.13
10	1942	326.79	48	1980	91.23
11	1943	301.93	49	1981	252.00
12	1944	295.05	50	1982	274.00
13	1945	250.01	51	1983	273.00
14	1946	528.14	52	1984	485.65
15	1947	144.09	53	1985	200.50
16	1948	765.10	54	1986	355.00
17	1949	148.26	55	1987	146.20
18	1950	156.33	56	1988	369.50
19	1951	289.09	57	1989	272.50
20	1952	208.05	58	1990	49.38
21	1953	427.20	59	1991	325.00
22	1954	536.64	60	1992	47.75
23	1955	403.42	61	1993	118.00
24	1956	330.99	62	1994	312.50
25	1957	256.19	63	1995	354.37
26	1958	169.35	64	1996	190.00
27	1959	378.26	65	1997	150.00
28	1960	312.85	66	1998	800.00
29	1961	272.04	67	1999	355.00
30	1962	423.06	68	2000	215.00
31	1963	255.85	69	2001	240.00
32	1964	238.45	70	2002	300.00
33	1965	162.44	71	2003	176.25
34	1966	710.02	72	2004	215.00
35	1967	521.91	73	2005	137.50
36	1968	189.11	74	2006	350.00
37	1969	314.07	75	2007	250.00
38	1970	454.31	76	2008	300.00

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 – Pearson de 3 parámetros cuyos resultados se muestran en el Cuadro N° 4.8.

Cuadro N° 4.8. Descargas Máximas para cada Periodo de Retorno, en la estación Letrayoc, río Pisco (m³/s)

Periodo de Retorno (Años)	Caudal Máximo
2	268.91
5	398.42
10	500.18
25	648.41
50	774.26
100	914.06

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:

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

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 N° 4.9. Tiempo de Concentración y de Viaje para el Punto Base (estación Letrayoc)

L =	113.40	Km
H =	4,128.00	Mts
Tc =	9.09	Hrs
Tv =	5.46	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 supera el tiempo de concentración de 9.09 horas calculado en el ítem previo, esto indica que los valores pico de las descargas estimadas en la estación hidrométrica Letrayoc corresponderán a la contribución simultánea de la escorrentía de la cuenca completa del río Pisco hasta la ubicación de la estación hidrométrica Letrayoc.

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 Letrayoc.

Ecuación de Dick y Peschke:

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

Donde:

Pd = Precipitación máxima para una duración d

Pd₂₄= Precipitación máxima de 24 horas

Tc= Tiempo de Concentración (minutos)

Cuadro N° 4.10. Precipitaciones Máximas, según la ecuación de Dick - Peshcke

Periodo de Retorno "T" [Años]	Pp Areal Max 24 Horas [mm]	Pp Max, [mm]
2	25.00	19.56
5	28.90	22.62
10	33.23	26.00
25	38.78	30.35
50	42.59	33.33
100	46.92	36.72

Las precipitaciones máximas diarias para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años son de 25, 29, 33, 39, 43 y 47 mm respectivamente, y para una duración de tormenta de 10 horas le corresponden precipitaciones de 20, 23, 26, 30, 33 y 37 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 N° 4.11.

Cuadro N° 4.11. Hietograma para diferentes Periodos de Retorno

Periodo de Retorno "T" [Años]	Hora										PP total [mm]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
2	1	2	3	4	3	2	2	2	1	1	19.56
5	1	2	3	4	3	3	2	2	1	1	22.62
10	1	2	3	5	4	3	3	2	2	1	26.00
25	2	3	4	6	4	4	3	2	2	1	30.35
50	2	3	4	6	5	4	3	3	2	1	33.33
100	2	3	5	7	5	4	4	3	2	1	36.72

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 N° 4.12 se presentan los números de curva (CN) en función del grupo hidrológico del suelo y el uso de la tierra..

Cuadro N° 4.12. Numero de Curva (CN) en Función del Grupo Hidrológico del Suelo y del Uso de la Tierra

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	
Espacios 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
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.	4000	20	51	68	79	84
	pavimentados, techos, accesos, etc.		98	98	98	98
	pavimentados con cunetas y alcantarillados		98	98	98	98
	Calles y carreteras	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 número de curva medio areal de 82.4 para la Cuenca de Pisco. 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 Pisco.

Cuadro N° 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	35.00	88.0
	Con Tratamiento de Consevacion	10.00	78.0
Pastizales	Condicones Pobres	20.00	86.0
	Condicones Optimas	10.00	74.0
Praderas		5.00	71.0
Bosques	Troncos delgados	10.00	77.0
	Cubierta Buena	5.00	70.0
Area comerciales		0.50	94.0
Zonas Industriales		0.50	91.0
Zonas residenciales		0.50	81.0
Calles y carreteras	Pavimentadas con cunetas	0.50	98.0
	Grava	1.00	89.0
	Tierra	2.00	87.0
Curva de Numero de la Cuenca		100.00	82.4

Después del proceso de calibración el modelo HEC-HMS, este valor fue ajustado a 84

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 Letrayoc.- Para estimar las pérdidas se utilizó el método del Numero se Curva de la SCS, para la transformación de la precipitación efectiva en caudal se utilizo el método del Hidrograma Unitario de la SCS, adicionalmente como información básica para el modelo se considera el área de la cuenca de 3096 Km². Debido a las pequeñas descargas promedio generalmente observadas en el río Pisco

se asumió que aquí no hay flujo base previo a la ocurrencia de máximas avenidas.

Modelo Meteorológico.- De acuerdo a lo calculado en el ítem. N° 3.2 Análisis de la Información Pluviométrica y Ley de Frecuencias, en el modelo meteorológico se ingresan los hietogramas para la avenida de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, para una duración de tormenta de 10 horas.

Especificaciones de Control.- Para realizar la simulación de la avenida se especifica una fecha de inicio y final dentro de este rango se presentarán los resultados de la simulación 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 5.45 horas y un mínimo intervalo de tiempo computacional de 1.68 horas. Con un criterio conservador se ha empleado un intervalo de tiempo computacional de 1 hora.

Calibración del Modelo. Dado que no existían registros simultáneos 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 84 para la cuenca.

En la Figura N° 4.9 se muestra la cuenca considerada por el modelo HEC-HMS para la simulación. En las Figuras N° 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

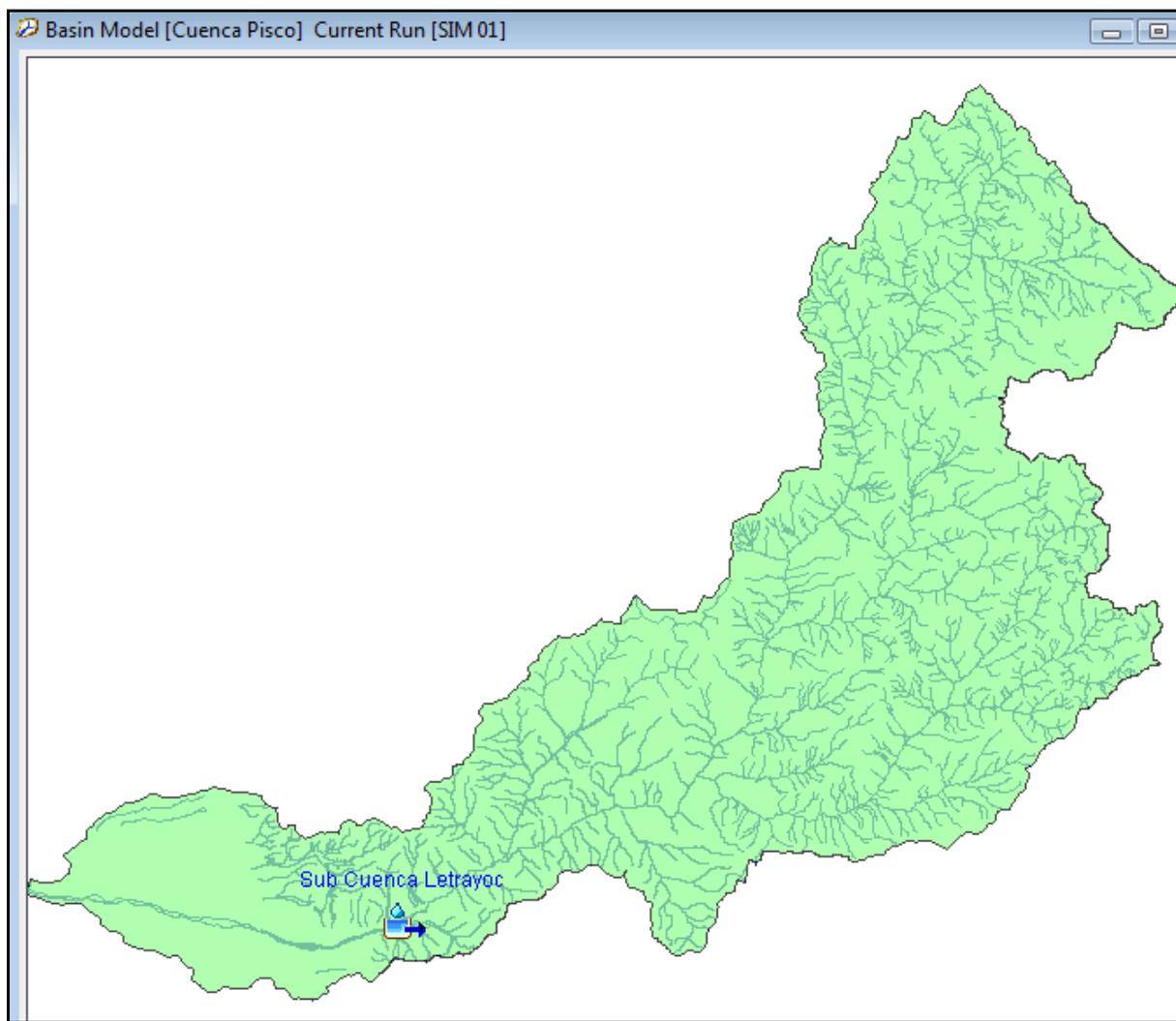


Figura N° 4.9. Modelo de Cuenca del río Pisco en el Software HEC-HMS

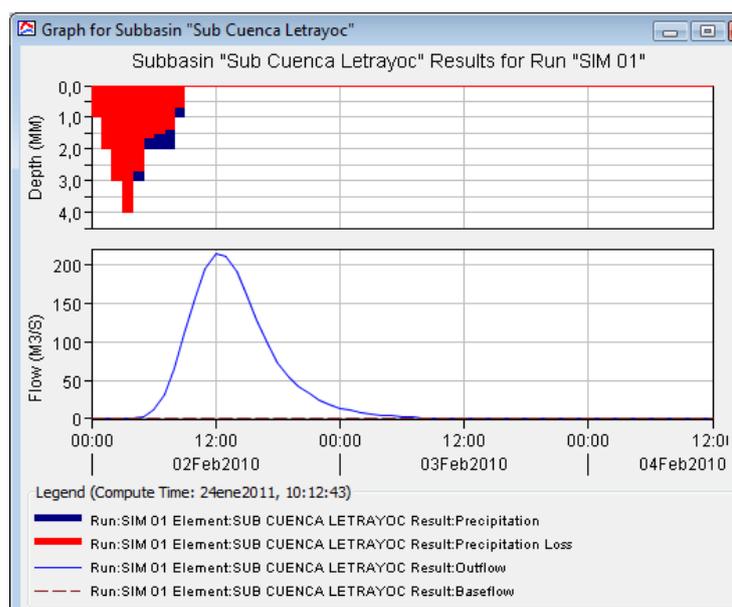


Figura N° 4.10. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Pisco, Periodo de Retorno de 2 años

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.

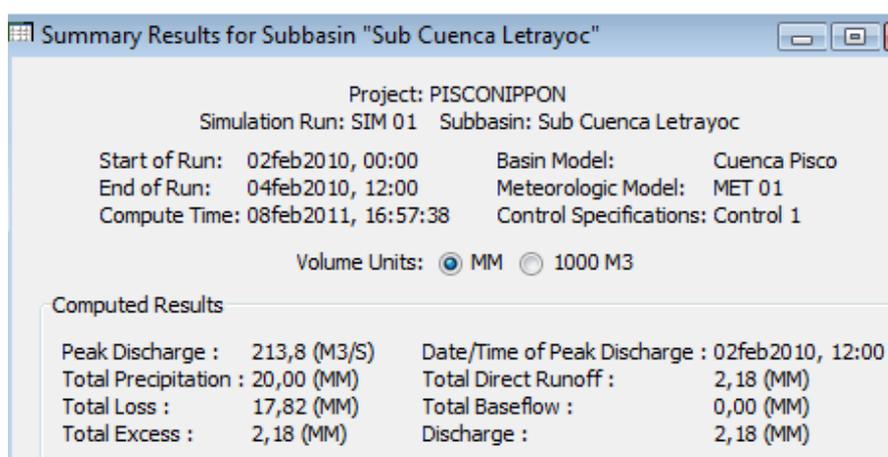


Figura N° 4.11. Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Pisco, Periodo de Retorno de 2 años

En la Figura N° 4.11 se tiene el caudal máximo calculado para un periodo de retorno de 2 años de 213.8 m³/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 N° 4.14 se presenta los valores del hidrograma de la avenida de un periodo de retorno de 2 años.

Cuadro N° 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)
02-Feb-10	01:00	1,00	1,00	0,00	0,0
02-Feb-10	02:00	2,00	2,00	0,00	0,0
02-Feb-10	03:00	3,00	3,00	0,00	0,0
02-Feb-10	04:00	4,00	3,98	0,02	0,2
02-Feb-10	05:00	3,00	2,69	0,31	3,1

02-Feb-10	06:00	2,00	1,62	0,38	12,0
02-Feb-10	07:00	2,00	1,49	0,51	31,2
02-Feb-10	08:00	2,00	1,39	0,61	64,8
02-Feb-10	09:00	1,00	0,66	0,34	109,2
02-Feb-10	10:00	0,00	0,00	0,00	155,8
02-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	194,3
02-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	213,8
02-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	210,8
02-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	190,2
02-Feb-10	15:00	0,00	0,00	0,00	160,3
02-Feb-10	16:00	0,00	0,00	0,00	127,5
02-Feb-10	17:00	0,00	0,00	0,00	97,0
02-Feb-10	18:00	0,00	0,00	0,00	72,7
02-Feb-10	19:00	0,00	0,00	0,00	55,4
02-Feb-10	20:00	0,00	0,00	0,00	42,5
02-Feb-10	21:00	0,00	0,00	0,00	32,6
02-Feb-10	22:00	0,00	0,00	0,00	24,8
02-Feb-10	23:00	0,00	0,00	0,00	18,8
03-Feb-10	00:00	0,00	0,00	0,00	14,3
03-Feb-10	01:00	0,00	0,00	0,00	10,9
03-Feb-10	02:00	0,00	0,00	0,00	8,3
03-Feb-10	03:00	0,00	0,00	0,00	6,4
03-Feb-10	04:00	0,00	0,00	0,00	4,9
03-Feb-10	05:00	0,00	0,00	0,00	3,7
03-Feb-10	06:00	0,00	0,00	0,00	2,9
03-Feb-10	07:00	0,00	0,00	0,00	2,2
03-Feb-10	08:00	0,00	0,00	0,00	1,7
03-Feb-10	09:00	0,00	0,00	0,00	1,3
03-Feb-10	10:00	0,00	0,00	0,00	0,8
03-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	0,5
03-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	0,2
03-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	0,1
03-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	0,0

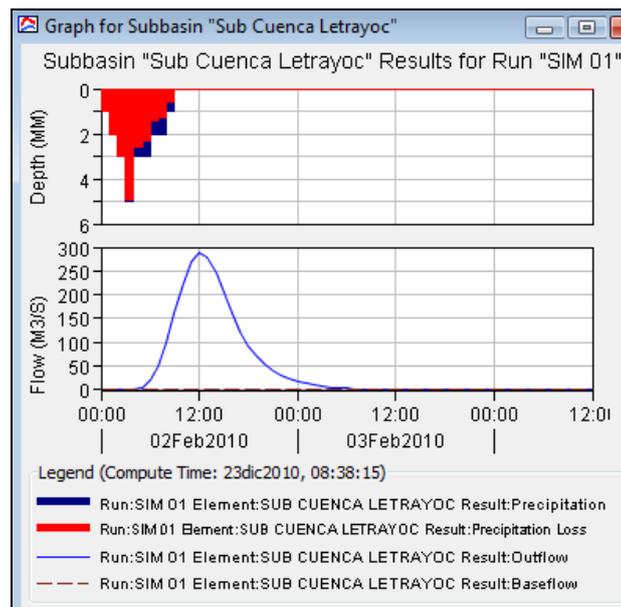


Figura N° 4.12. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Pisco, Periodo de Retorno de 5 años

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.

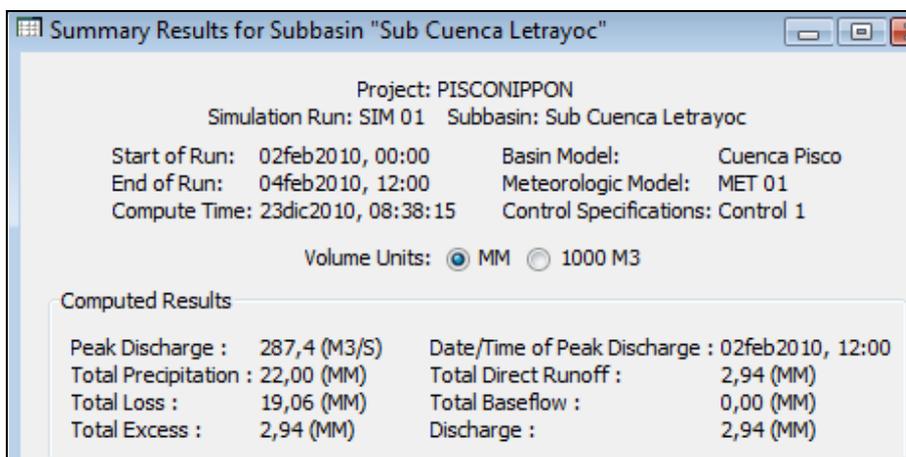


Figura N° 4.13. Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Pisco, Periodo de Retorno de 5 años

En la Figura N° 4.13 se tiene el caudal máximo calculado para un periodo de retorno de 5 años de 287.4 m³/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 N° 4.15 se presenta los valores del hidrograma de la avenida de un periodo de retorno de 5 años.

Cuadro N° 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)
02-Feb-10	01:00	1,00	1,00	0,00	0,0
02-Feb-10	02:00	2,00	2,00	0,00	0,0
02-Feb-10	03:00	3,00	3,00	0,00	0,0
02-Feb-10	04:00	5,00	4,91	0,09	0,7
02-Feb-10	05:00	3,00	2,58	0,42	5,6
02-Feb-10	06:00	3,00	2,29	0,71	20,7
02-Feb-10	07:00	2,00	1,39	0,61	51,1
02-Feb-10	08:00	2,00	1,29	0,71	100,6
02-Feb-10	09:00	1,00	0,61	0,39	162,8
02-Feb-10	10:00	0,00	0,00	0,00	223,0
02-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	268,2
02-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	287,4
02-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	278,0
02-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	247,2
02-Feb-10	15:00	0,00	0,00	0,00	205,4
02-Feb-10	16:00	0,00	0,00	0,00	162,4

02-Feb-10	17:00	0,00	0,00	0,00	123,4
02-Feb-10	18:00	0,00	0,00	0,00	92,9
02-Feb-10	19:00	0,00	0,00	0,00	70,8
02-Feb-10	20:00	0,00	0,00	0,00	54,3
02-Feb-10	21:00	0,00	0,00	0,00	41,6
02-Feb-10	22:00	0,00	0,00	0,00	31,6
02-Feb-10	23:00	0,00	0,00	0,00	24,0
03-Feb-10	00:00	0,00	0,00	0,00	18,3
03-Feb-10	01:00	0,00	0,00	0,00	13,9
03-Feb-10	02:00	0,00	0,00	0,00	10,6
03-Feb-10	03:00	0,00	0,00	0,00	8,1
03-Feb-10	04:00	0,00	0,00	0,00	6,2
03-Feb-10	05:00	0,00	0,00	0,00	4,8
03-Feb-10	06:00	0,00	0,00	0,00	3,7
03-Feb-10	07:00	0,00	0,00	0,00	2,8
03-Feb-10	08:00	0,00	0,00	0,00	2,2
03-Feb-10	09:00	0,00	0,00	0,00	1,6
03-Feb-10	10:00	0,00	0,00	0,00	1,0
03-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	0,6
03-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	0,3

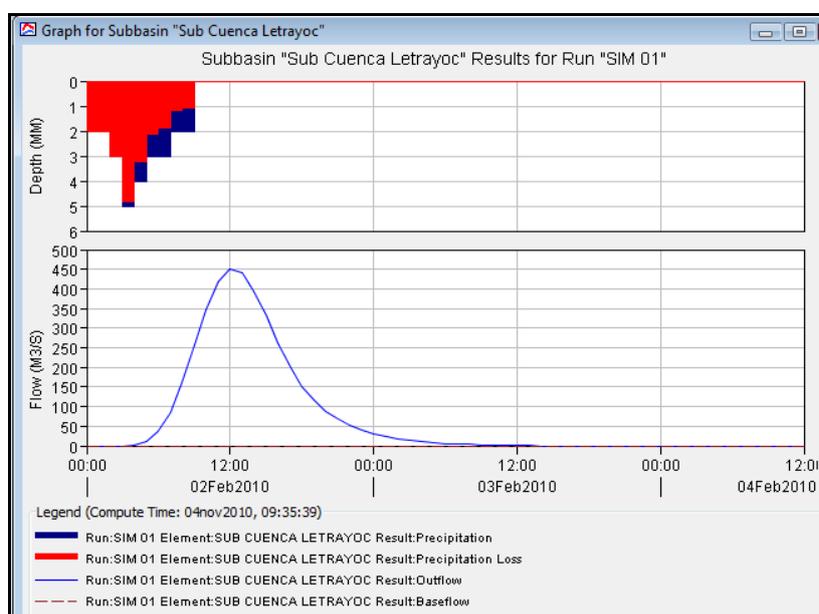


Figura N° 4.14. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Pisco, Periodo de Retorno de 10 años

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

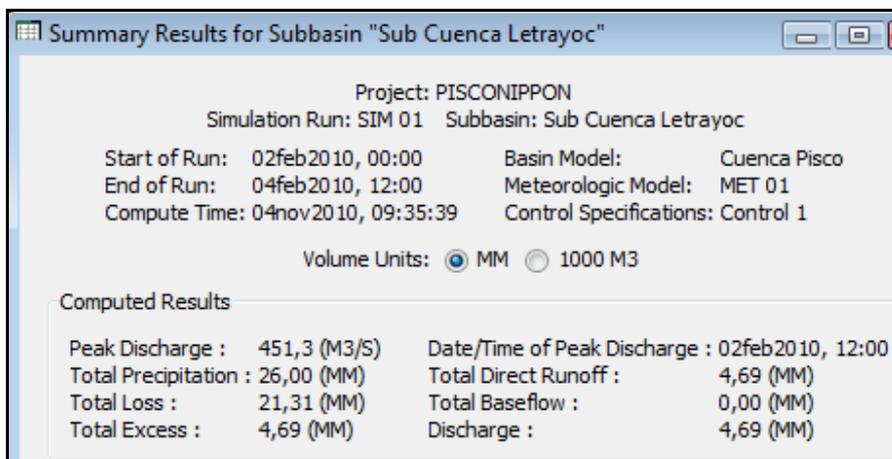


Figura N° 4.15. Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Pisco, Periodo de Retorno de 10 años

En la Figura N° 4.15 se tiene el caudal máximo calculado para un periodo de retorno de 10 años de 451.3 m³/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 N° 4.16 se presenta los valores del hidrograma de la avenida de un periodo de retorno de 10 años.

Cuadro N° 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)
02-Feb-10	00:00				0,0
02-Feb-10	01:00	2,00	2,00	0,00	0,0
02-Feb-10	02:00	2,00	2,00	0,00	0,0
02-Feb-10	03:00	3,00	3,00	0,00	0,0
02-Feb-10	04:00	5,00	4,81	0,19	1,6
02-Feb-10	05:00	4,00	3,24	0,76	11,0
02-Feb-10	06:00	3,00	2,12	0,88	35,8
02-Feb-10	07:00	3,00	1,90	1,10	85,1
02-Feb-10	08:00	2,00	1,16	0,84	160,9
02-Feb-10	09:00	2,00	1,09	0,91	254,8
02-Feb-10	10:00	0,00	0,00	0,00	347,0
02-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	417,2
02-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	451,3
02-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	440,5

02-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	394,8
02-Feb-10	15:00	0,00	0,00	0,00	331,6
02-Feb-10	16:00	0,00	0,00	0,00	264,0
02-Feb-10	17:00	0,00	0,00	0,00	202,9
02-Feb-10	18:00	0,00	0,00	0,00	152,0
02-Feb-10	19:00	0,00	0,00	0,00	115,7
02-Feb-10	20:00	0,00	0,00	0,00	88,5
02-Feb-10	21:00	0,00	0,00	0,00	67,9
02-Feb-10	22:00	0,00	0,00	0,00	51,6
02-Feb-10	23:00	0,00	0,00	0,00	39,2
03-Feb-10	00:00	0,00	0,00	0,00	29,9
03-Feb-10	01:00	0,00	0,00	0,00	22,7
03-Feb-10	02:00	0,00	0,00	0,00	17,3
03-Feb-10	03:00	0,00	0,00	0,00	13,3
03-Feb-10	04:00	0,00	0,00	0,00	10,2
03-Feb-10	05:00	0,00	0,00	0,00	7,8
03-Feb-10	06:00	0,00	0,00	0,00	6,0
03-Feb-10	07:00	0,00	0,00	0,00	4,6
03-Feb-10	08:00	0,00	0,00	0,00	3,5
03-Feb-10	09:00	0,00	0,00	0,00	2,6
03-Feb-10	10:00	0,00	0,00	0,00	1,7
03-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	1,0
03-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	0,5
03-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	0,2
03-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	0,0

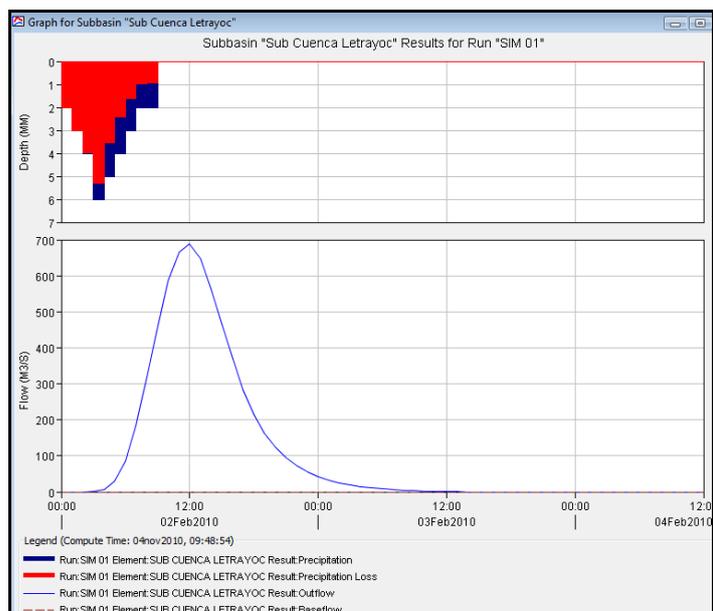


Figura N° 4.16. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Pisco, Periodo de Retorno de 25 años

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

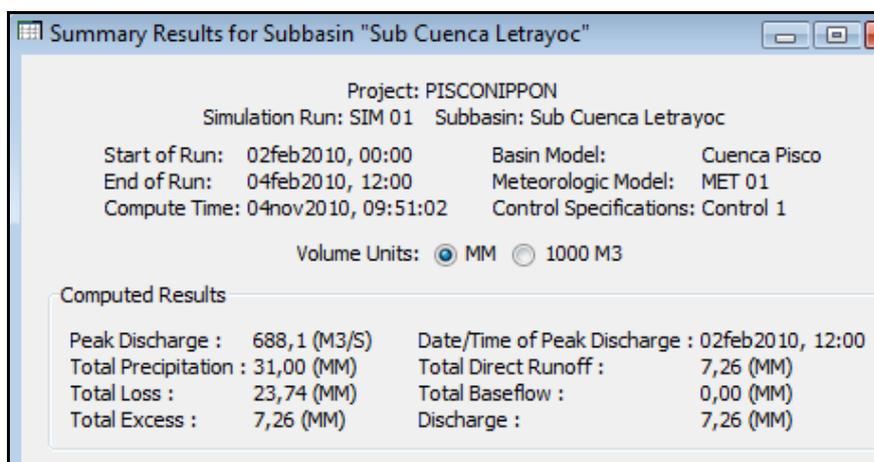


Figura N° 4.17.Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Pisco, Periodo de Retorno de 25 años

En la Figura N° 4.17 se tiene el caudal máximo calculado para un periodo de retorno de 25 años de 688.1 m³/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 N° 4.17 se presenta los valores del hidrograma de la avenida de un periodo de retorno de 25 años.

Cuadro N° 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)	Escoorrentia (m ³ /s)
02-Feb-10	00:00				0,0
02-Feb-10	01:00	2,00	2,00	0,00	0,0
02-Feb-10	02:00	3,00	3,00	0,00	0,0
02-Feb-10	03:00	4,00	4,00	0,00	0,0
02-Feb-10	04:00	6,00	5,28	0,72	5,9
02-Feb-10	05:00	5,00	3,54	1,46	29,7
02-Feb-10	06:00	4,00	2,40	1,60	85,4
02-Feb-10	07:00	3,00	1,60	1,40	183,8
02-Feb-10	08:00	2,00	0,99	1,01	317,0
02-Feb-10	09:00	2,00	0,93	1,07	462,1
02-Feb-10	10:00	0,00	0,00	0,00	585,9
02-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	665,1
02-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	688,1
02-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	648,7
02-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	566,4
02-Feb-10	15:00	0,00	0,00	0,00	466,6
02-Feb-10	16:00	0,00	0,00	0,00	368,5
02-Feb-10	17:00	0,00	0,00	0,00	282,9
02-Feb-10	18:00	0,00	0,00	0,00	212,8
02-Feb-10	19:00	0,00	0,00	0,00	162,1
02-Feb-10	20:00	0,00	0,00	0,00	123,9
02-Feb-10	21:00	0,00	0,00	0,00	94,9
02-Feb-10	22:00	0,00	0,00	0,00	72,1
02-Feb-10	23:00	0,00	0,00	0,00	54,8
03-Feb-10	00:00	0,00	0,00	0,00	41,8
03-Feb-10	01:00	0,00	0,00	0,00	31,8
03-Feb-10	02:00	0,00	0,00	0,00	24,2
03-Feb-10	03:00	0,00	0,00	0,00	18,6
03-Feb-10	04:00	0,00	0,00	0,00	14,2
03-Feb-10	05:00	0,00	0,00	0,00	10,9
03-Feb-10	06:00	0,00	0,00	0,00	8,4
03-Feb-10	07:00	0,00	0,00	0,00	6,4
03-Feb-10	08:00	0,00	0,00	0,00	4,8
03-Feb-10	09:00	0,00	0,00	0,00	3,4
03-Feb-10	10:00	0,00	0,00	0,00	2,1
03-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	1,2
03-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	0,6
03-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	0,2
03-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	0,0

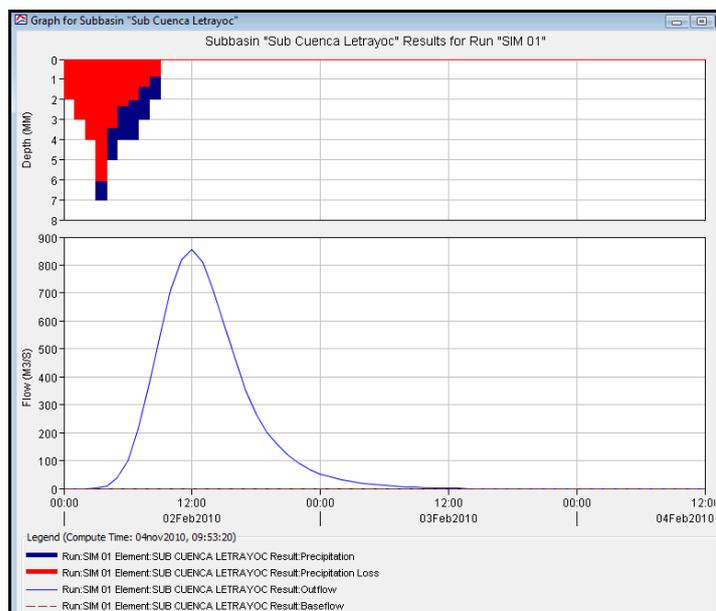


Figura N° 4.18. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Pisco, Periodo de Retorno de 50 años

La tormenta analizada como precipitación luego de un proceso de infiltración se traslada como escorrentía y termina su escurrimiento luego de casi 25 horas de su inicio.

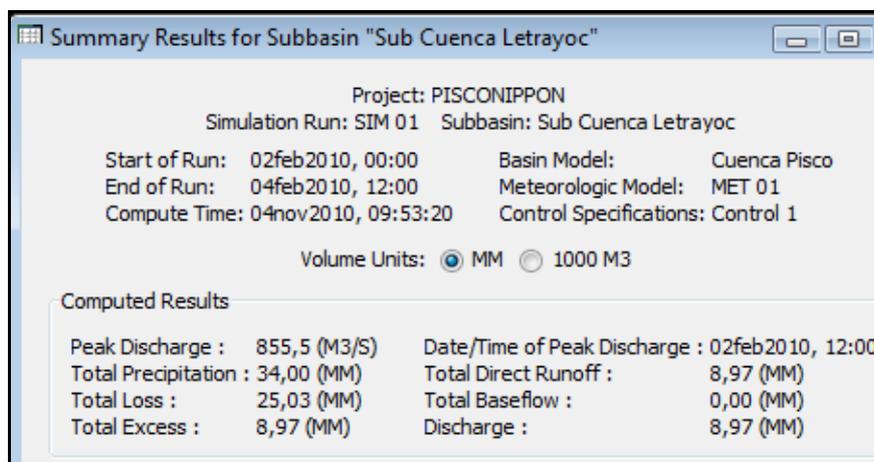


Figura N° 4.19. Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Pisco, Periodo de Retorno de 50 años

En la Figura N° 4.19 se tiene el caudal máximo calculado para un periodo de retorno de 50 años de 855.5 m³/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 N° 4.18 se presenta los valores del hidrograma de la avenida de un periodo de retorno de 50 años.

Cuadro N° 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)	Esorrentia (m ³ /s)
02-Feb-10	00:00				0,0
02-Feb-10	01:00	2,00	2,00	0,00	0,0
02-Feb-10	02:00	3,00	3,00	0,00	0,0
02-Feb-10	03:00	4,00	4,00	0,00	0,0
02-Feb-10	04:00	7,00	6,05	0,95	7,9
02-Feb-10	05:00	5,00	3,41	1,59	36,7
02-Feb-10	06:00	4,00	2,32	1,68	101,3
02-Feb-10	07:00	4,00	2,04	1,96	216,6
02-Feb-10	08:00	3,00	1,37	1,63	375,1
02-Feb-10	09:00	2,00	0,85	1,15	552,0
02-Feb-10	10:00	0,00	0,00	0,00	712,0
02-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	820,8
02-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	855,5
02-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	810,0
02-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	710,6
02-Feb-10	15:00	0,00	0,00	0,00	587,7
02-Feb-10	16:00	0,00	0,00	0,00	463,2
02-Feb-10	17:00	0,00	0,00	0,00	353,6
02-Feb-10	18:00	0,00	0,00	0,00	265,9
02-Feb-10	19:00	0,00	0,00	0,00	202,8
02-Feb-10	20:00	0,00	0,00	0,00	155,2
02-Feb-10	21:00	0,00	0,00	0,00	118,8
02-Feb-10	22:00	0,00	0,00	0,00	90,3
02-Feb-10	23:00	0,00	0,00	0,00	68,7
03-Feb-10	00:00	0,00	0,00	0,00	52,2
03-Feb-10	01:00	0,00	0,00	0,00	39,8
03-Feb-10	02:00	0,00	0,00	0,00	30,4
03-Feb-10	03:00	0,00	0,00	0,00	23,3
03-Feb-10	04:00	0,00	0,00	0,00	17,8
03-Feb-10	05:00	0,00	0,00	0,00	13,7
03-Feb-10	06:00	0,00	0,00	0,00	10,5
03-Feb-10	07:00	0,00	0,00	0,00	8,1
03-Feb-10	08:00	0,00	0,00	0,00	6,1
03-Feb-10	09:00	0,00	0,00	0,00	4,3
03-Feb-10	10:00	0,00	0,00	0,00	2,7
03-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	1,6
03-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	0,7
03-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	0,2
03-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	0,0

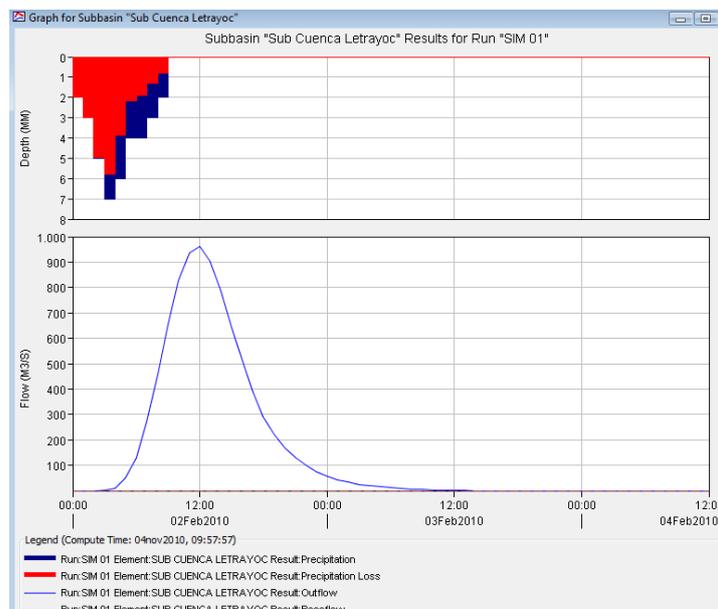


Figura N° 4.20. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Pisco, Periodo de Retorno de 100 años

La tormenta analizada como precipitación luego de un proceso de infiltración se traslada como escorrentía y termina su escurrimiento luego de casi 25 horas de su inicio.

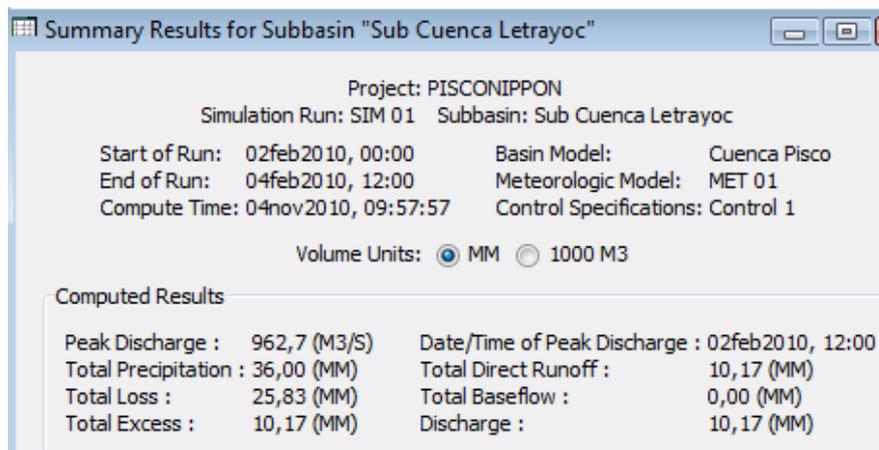


Figura N° 4.21.Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Pisco, Periodo de Retorno de 100 años

En la Figura N° 4.21 se tiene el caudal máximo calculado para un periodo de retorno de 100 años de 962.7 m³/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 N° 4.19 se presenta los valores del hidrograma de la avenida de un periodo de retorno de 100 años.

Cuadro N° 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)	Escurrentia (m ³ /s)
02-Feb-10	00:00				0,0
02-Feb-10	01:00	2,00	2,00	0,00	0,0
02-Feb-10	02:00	3,00	3,00	0,00	0,0
02-Feb-10	03:00	5,00	4,98	0,02	0,2
02-Feb-10	04:00	7,00	5,80	1,20	10,4
02-Feb-10	05:00	6,00	3,87	2,13	48,3
02-Feb-10	06:00	4,00	2,17	1,83	129,9
02-Feb-10	07:00	4,00	1,91	2,09	270,6
02-Feb-10	08:00	3,00	1,29	1,71	457,6
02-Feb-10	09:00	2,00	0,80	1,20	655,8
02-Feb-10	10:00	0,00	0,00	0,00	826,8
02-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	936,2
02-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	962,7
02-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	902,0
02-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	784,4
02-Feb-10	15:00	0,00	0,00	0,00	645,6
02-Feb-10	16:00	0,00	0,00	0,00	507,9
02-Feb-10	17:00	0,00	0,00	0,00	387,9
02-Feb-10	18:00	0,00	0,00	0,00	291,9
02-Feb-10	19:00	0,00	0,00	0,00	222,6
02-Feb-10	20:00	0,00	0,00	0,00	170,4
02-Feb-10	21:00	0,00	0,00	0,00	130,3
02-Feb-10	22:00	0,00	0,00	0,00	99,1
02-Feb-10	23:00	0,00	0,00	0,00	75,4
03-Feb-10	00:00	0,00	0,00	0,00	57,3
03-Feb-10	01:00	0,00	0,00	0,00	43,7
03-Feb-10	02:00	0,00	0,00	0,00	33,3
03-Feb-10	03:00	0,00	0,00	0,00	25,5
03-Feb-10	04:00	0,00	0,00	0,00	19,6
03-Feb-10	05:00	0,00	0,00	0,00	15,0
03-Feb-10	06:00	0,00	0,00	0,00	11,6
03-Feb-10	07:00	0,00	0,00	0,00	8,8
03-Feb-10	08:00	0,00	0,00	0,00	6,6
03-Feb-10	09:00	0,00	0,00	0,00	4,6
03-Feb-10	10:00	0,00	0,00	0,00	2,9
03-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	1,6
03-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	0,7
03-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	0,2
03-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 Pisco hasta la ubicación de la estación hidrométrica Letrayoc.

Cuadro N° 4.20. Resumen de los Caudales Máximos en el Punto Base para cada Periodo de Retorno

T [Años]	Q [m ³ /s]
2	213.0
5	287.4
10	451.3
25	688.1
50	855.5
100	962.7

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 84).

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.

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 PISCO**

**Apéndice-4
ANEXOS**

Diciembre de 2012



