



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 YAUCA**

Apéndice-6

Diciembre de 2012



HIDROLOGIA DE MAXIMAS AVENIDAS DEL RIO YAUCA

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	8
II.	ASPECTOS GENERALES	8
2.1	Ubicación	8
2.1.1	Ubicación Política	8
2.1.2	Ubicación Geográfica	9
2.2	Antecedentes	9
2.3	Justificación del Proyecto	9
2.4	Objetivos del Estudio	10
III.	DESCRIPCION DEL PROYECTO	10
3.1	Sistema Hidrográfico del río Yauca	10
3.1.1	Descripción General de la Cuenca	10
3.1.2	Hidrografía de la Cuenca del Río Yauca	11
3.2	Climatología	12
3.2.1	Precipitación	12
3.2.2	Temperatura	31
IV.	HIDROLOGIA DE MAXIMAS AVENIDAS	36
4.1	Consideraciones Previas	36
4.2	Caracterización Hidrológica, Análisis de la Información Pluviométrica e Hidrométrica	37
4.2.1	Caracterización Hidrológica	37
4.2.2	Análisis de las Precipitaciones Máximas en 24 Horas	38
4.2.2.1	<i>Funciones de Distribución</i>	41
4.2.2.2	<i>Calculo de Ajuste y Periodo de Retorno para las Precipitaciones Máximas en 24 Horas</i>	44
4.2.2.3	<i>Selección de Distribución Teórica con mejor Ajuste a la Serie de Precipitaciones Máximas en 24 Horas</i>	44
4.2.2.4	<i>Determinación de Precipitaciones Máximas para Diferentes Periodos de Retorno en el Punto Base</i>	52
4.2.2.5	<i>Determinación de Precipitaciones Máximas para Diferentes Periodos de Retorno en las Subcuencas del río Yauca</i>	52
4.2.3	Análisis de Descargas Máximas Diarias	55

4.2.4 Modelo de Simulación, Aplicación del Software HEC-HMS	56
4.2.4.1 Modelo Hidrológico	56
4.2.4.2 Modelamiento en el HEC – HMS	60
4.3 Resultados de la Simulación, Caudales Máximos en el Punto Base	74
ANEXOS	76

HIDROLOGIA DE MAXIMAS AVENIDAS DEL RIO YAUCA

RELACIÓN DE CUADROS

<i>Cuadro N° 3.1. Características de las Estaciones Pluviométricas de la cuenca del río Yauca y cuencas vecinas</i>	12
<i>Cuadro N° 3.2. Precipitación Media Mensual de Estaciones Consideradas en el Ámbito del Estudio</i>	15
<i>Cuadro N° 3.3. Resultados del ajuste lineal de las estaciones de Chaviñas y Carhuanillas</i>	16
<i>Cuadro N° 3.4. Temperatura Máxima y Mínima Mensual [°C] de la estación Yauca</i>	31
<i>Cuadro N° 4.1. Características Geomorfológicas de la cuenca en el Punto Base (estación San Francisco Alto)</i>	37
<i>Cuadro N° 4.2. Precipitación Máxima en 24 Horas Anual de las Estaciones ubicadas en el Ámbito del Estudio</i>	38
<i>Cuadro N° 4.3. Coeficiente de Determinación para cada Función de Distribución y para cada Estación Pluviométrica</i>	44
<i>Cuadro N° 4.4. Precipitaciones Máxima en 24 Horas de cada Estación Pluviométrica y para cada Periodo de Retorno</i>	45
<i>Cuadro N° 4.5. Precipitaciones Areales Máximas en 24 Horas en el Punto Base (Estación San Francisco Alto) para cada Periodo de Retorno</i>	52
<i>Cuadro N° 4.6. Precipitaciones para Diferentes Periodos de Retorno en cada Subcuenca del río Yauca</i>	54
<i>Cuadro N° 4.7. Descargas Máximas Diarias de la estación San Francisco Alto, río Yauca (m³/s)</i>	55
<i>Cuadro N° 4.9. Descargas Máximas para cada Periodo de Retorno, en la estación San Francisco Alto, río Yauca (m³/s)</i>	56
<i>Cuadro N° 4.9. Tiempo de Concentración y de Viaje para el Punto Base (estación San Francisco Alto)</i>	57
<i>Cuadro N° 4.5. Precipitaciones Máximas para Duraciones de Tormenta de 10 horas (mm), según Dick - Peshke</i>	58

<i>Cuadro N° 4.11. Histograma para diferentes Periodos de Retorno, Duración de Tormenta de 10 horas</i>	58
<i>Cuadro N° 4.12. Curva Numero (CN) en Función del Uso del Suelo y del Grupo Hidrológico del Suelo</i>	59
<i>Cuadro N° 4.13. Estimación del Valor del Numero de Curva (CN) inicial para la calibración del Modelo HEC-HMS</i>	60
<i>Cuadro N° 4.14. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 2 Años</i>	64
<i>Cuadro N° 4.15. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 5 Años</i>	66
<i>Cuadro N° 4.16. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 10 Años</i>	67
<i>Cuadro N° 4.17. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 25 Años</i>	69
<i>Cuadro N° 4.18. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 50 Años</i>	71
<i>Cuadro N° 4.19. Hidrograma de Avenidas Generado con el Modelo HEC-HMS para un Periodo de Retorno de 100 Años</i>	73
<i>Cuadro N° 4.12. Resumen de los Caudales Máximos en el Punto Base para cada Periodo de Retorno</i>	74

HIDROLOGIA DE MAXIMAS AVENIDAS DEL RIO YAUCA

RELACIÓN DE FIGURAS

<i>Figura N° 3.1. Mapa de Ubicación de la cuenca del río Yauca</i>	<i>11</i>
<i>Figura N° 3.2. Periodo y Longitud de la información disponible de las Estaciones Pluviométricas</i>	<i>13</i>
<i>Figura N° 3.3. Ubicación de las Estaciones Pluviométricas en Cuenca del río Yauca y Cuencas Vecinas</i>	<i>14</i>
<i>Figura N° 3.4. Histograma Mensual de las Estaciones Pluviométricas consideradas en el Ámbito del Estudio</i>	<i>15</i>
<i>Figura N° 3.5. Tendencia de la Precipitación Anual de las Estaciones Consideradas en el Ámbito del Estudio</i>	<i>17</i>
<i>Figura N° 3.6. Isoyeta del mes de Enero de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Yauca</i>	<i>18</i>
<i>Figura N° 3.7. Isoyeta del mes de Febrero de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Yauca</i>	<i>19</i>
<i>Figura N° 3.8. Isoyeta del mes de Marzo de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Yauca</i>	<i>20</i>
<i>Figura N° 3.9. Isoyeta del mes de Abril de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Yauca</i>	<i>21</i>
<i>Figura N° 3.10. Isoyeta del mes de Mayo de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Yauca</i>	<i>22</i>
<i>Figura N° 3.11. Isoyeta del mes de Junio de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Yauca</i>	<i>23</i>
<i>Figura N° 3.12. Isoyeta del mes de Julio de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Yauca</i>	<i>24</i>
<i>Figura N° 3.13. Isoyeta del mes de Agosto de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Yauca</i>	<i>25</i>
<i>Figura N° 3.14. Isoyeta del mes de Septiembre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Yauca</i>	<i>26</i>

<i>Figura N° 3.15. Isoyeta del mes de Octubre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Yauca</i>	27
<i>Figura N° 3.16. Isoyeta del mes de Noviembre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Yauca</i>	28
<i>Figura N° 3.17. Isoyeta del mes de Diciembre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Yauca</i>	29
<i>Figura N° 3.18. Isoyeta Anual de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Yauca</i>	30
<i>Figura N° 3.19. Distribución de la Temperatura Mensual de la Estación Yauca</i>	31
<i>Figura N° 4.1. Estaciones Pluviométricas consideradas para la aplicación del Software HEC-HMS</i>	40
<i>Figura N° 4.2. Isoyetas para un Periodo de Retorno de 2 años en la cuenca del río Yauca</i>	46
<i>Figura N° 4.3. Isoyetas para un Periodo de Retorno de 5 años en la cuenca del río Yauca</i>	47
<i>Figura N° 4.4. Isoyetas para un Periodo de Retorno de 10 años en la cuenca del río Yauca</i>	48
<i>Figura N° 4.5. Isoyetas para un Periodo de Retorno de 25 años en la cuenca del río Yauca</i>	49
<i>Figura N° 4.6. Isoyetas para un Periodo de Retorno de 50 años en la cuenca del río Yauca</i>	50
<i>Figura N° 4.7. Isoyetas para un Periodo de Retorno de 100 años en la cuenca del río Yauca</i>	51
<i>Figura N° 4.8. Subcuenca del río Yauca</i>	53
<i>Figura N° 4.9. Modelo de Cuenca del río Yauca en el Software HEC-HMS</i>	62
<i>Figura N° 4.10. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Yauca, Periodo de Retorno de 2 años</i>	63
<i>Figura N° 4.11. Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Yauca, Periodo de Retorno de 2 años</i>	63

<i>Figura N° 4.12. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Yauca, Periodo de Retorno de 5 años</i>	65
<i>Figura N° 4.13. Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Yauca, Periodo de Retorno de 5 años</i>	65
<i>Figura N° 4.14. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Yauca, Periodo de Retorno de 10 años</i>	66
<i>Figura N° 4.15. Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Yauca, Periodo de Retorno de 10 años</i>	67
<i>Figura N° 4.16. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Yauca, Periodo de Retorno de 25 años</i>	68
<i>Figura N° 4.17. Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Yauca, Periodo de Retorno de 25 años</i>	69
<i>Figura N° 4.18. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Yauca, Periodo de Retorno de 50 años</i>	70
<i>Figura N° 4.19. Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Yauca, Periodo de Retorno de 50 años</i>	71
<i>Figura N° 4.20. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Yauca, Periodo de Retorno de 100 años</i>	72
<i>Figura N° 4.21. Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Yauca, Periodo de Retorno de 100 años</i>	73

HIDROLOGIA DE MAXIMAS AVENIDAS DEL RIO YAUCA

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 Yauca, 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 Yauca y Jaqui.

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 los Distritos de Jaqui y Yauca en la provincia de Caravelí en el departamento de Arequipa y en los distritos de Chaviña, San Pedro, Sancos, en la provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho.

2.1.2 Ubicación Geográfica

La zona de estudio se localiza aproximadamente en las coordenadas UTM 546,665 y 642,595 en Coordenadas Este y 8'2633,132 y 8'376,058 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 Yauca, que permita definir las propuestas del planeamiento hidrológico e hidráulico del sistema fluvial del río Yauca.

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 Yauca, produjeron la inundación de extensas zonas de cultivo y ciudades como Yauca y Jaqui, 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 San Francisco Alto. 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 Yauca 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 Yauca 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 Yauca

3.1.1 Descripción General de la Cuenca

Políticamente, la cuenca del río Yauca forma parte de las provincias de Caravelí y Lucanas en los departamentos de Arequipa y Ayacucho respectivamente.

Sus límites son: por el Norte con la Cuenca del río Pampas, por el Sur con las cuencas Chaparra y Chala, por el Este con la cuenca del río Ocoña, por el Oeste con el Océano Pacífico.

Posee un área total de 4,312.29 km² y sus aguas vierten hacia el Océano Pacífico con un recorrido predominante del curso principal hacia el Suroeste.

El valle de Yauca, área afectada por la inundaciones, está situado en la parte baja de la cuenca entre las latitudes 15°42'36" – 14°41'20" Sur y Longitudes 74°33'52" – 73°40'33" Oeste. Políticamente pertenece a la provincia de Caravelí, departamento de Arequipa.

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

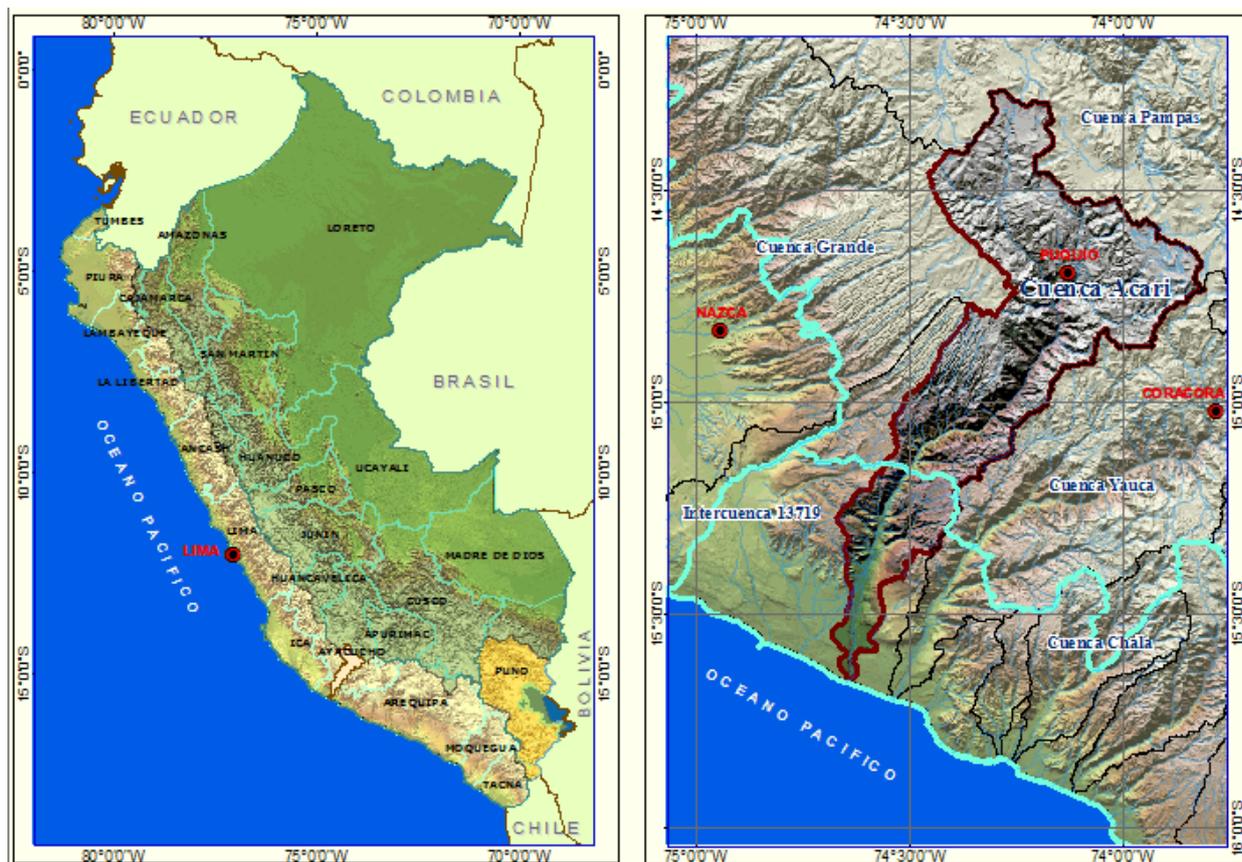


Figura N° 3.1. Mapa de Ubicación de la cuenca del río Yauca

3.1.2 Hidrografía de la Cuenca del Río Yauca

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 Yauca es uno de ellos, encontrándose situado en la región central de esta vertiente.

El río Yauca tiene un régimen intermitente y de carácter torrencioso, sus descargas se presentan en los meses de enero – abril. La descarga media anual de 8.38 m³/s equivalente a un volumen medio anual de 258.89 MMC.

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

3.2 Climatología

3.2.1 Precipitación

La precipitación, como parámetro principal de la generación de la escorrentía, es analizada en base a la información disponible de estaciones ubicadas tanto en el interior de la cuenca del río Yauca, como en las cuencas vecinas de Pampas, Chaparra, Chala y Ocoña.

Se dispone de información pluviométrica de 7 estaciones pluviométricas ubicadas en la cuenca del río Yauca 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. 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 Yauca y en las cuencas vecinas.

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

CODIGO	ESTACION	DEPARTAMENTO	LONGITUD	LATITUD	OPERADOR
157216	TARCO	AREQUIPA	73°45'1	15°18'1	SENAMHI
740	SANCOS	AYACUCHO	73° 57'1	15° 04'1	SENAMHI
743	CORACORA2	AYACUCHO	73° 47'1	15° 01'1	SENAMHI
154	CORA CORA	AYACUCHO	73° 47'47	15° 01'1	SENAMHI
742	CHAVIÑA	AYACUCHO	73° 50'1	14° 59'1	SENAMHI
157220	CARHUANILLAS	AYACUCHO	73° 44'1	15° 08'1	SENAMHI
732	YAUCA	AREQUIPA	74° 31'1	15° 40'1	SENAMHI

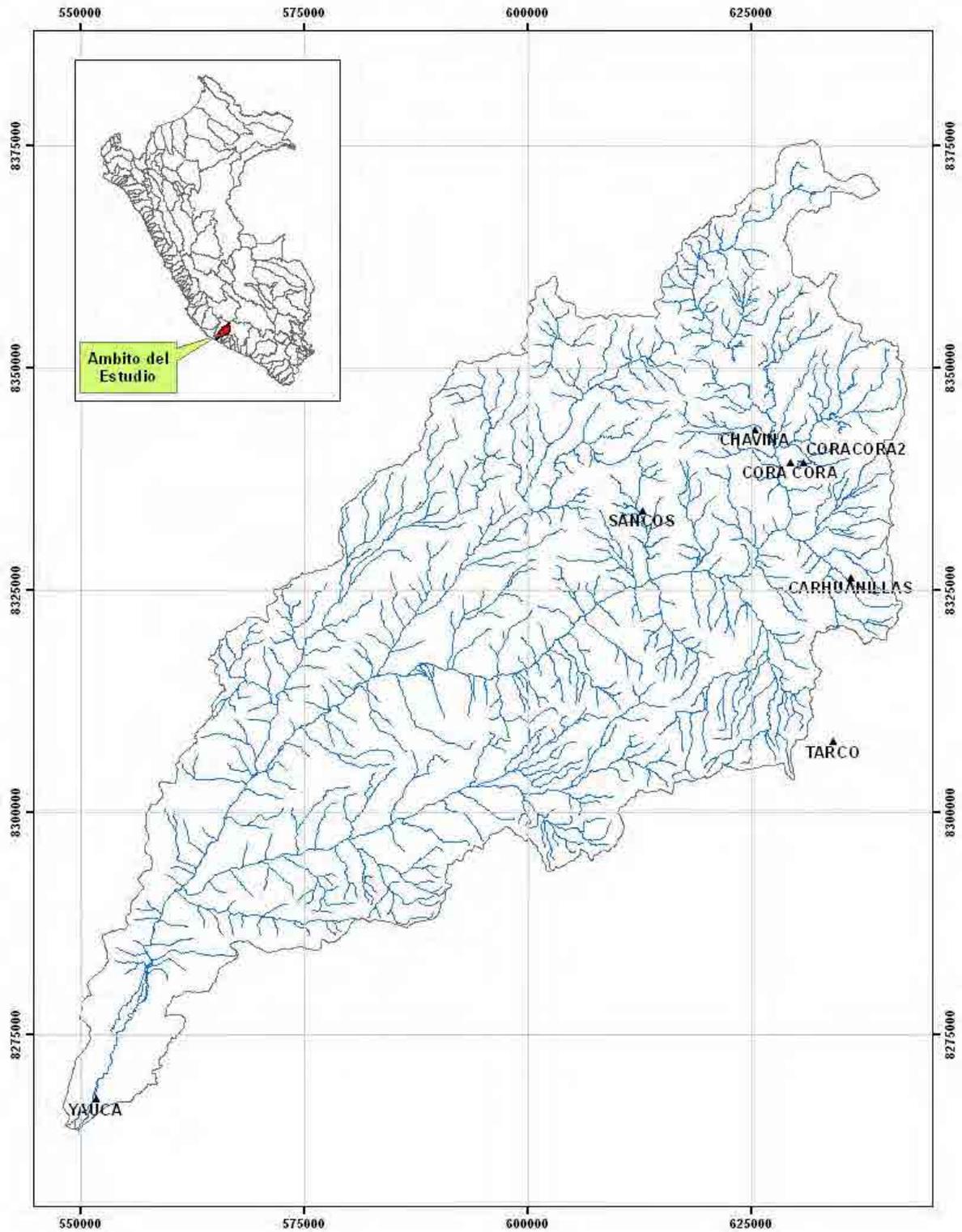


Figura N° 3.3. Ubicación de las Estaciones Pluviométricas en Cuenca del río Yauca y Cuencas Vecinas

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	
TARCO	116.76	85.09	121.13	26.66	0.00	0.00	0.00	0.00	1.36	7.07	15.80	29.27	403.13
SANCOS	131.88	133.65	105.28	4.96	0.39	0.00	0.41	0.00	0.63	2.38	1.72	10.46	391.75
CORACORA2	102.06	118.34	104.25	19.40	2.08	1.09	1.76	2.54	6.13	7.09	10.78	34.86	410.36
CORA CORA	176.24	163.85	301.90	155.00	216.45	234.55	137.45	68.05	127.76	199.38	274.25	188.46	2,243.33
CHAVIÑA	115.10	142.42	161.44	32.21	5.12	0.87	0.93	3.86	10.45	11.79	10.76	45.59	540.54
CARHUANILLAS	116.28	150.78	145.02	37.01	1.26	0.00	0.64	2.03	3.57	9.73	13.91	32.15	512.38
YAUCA	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

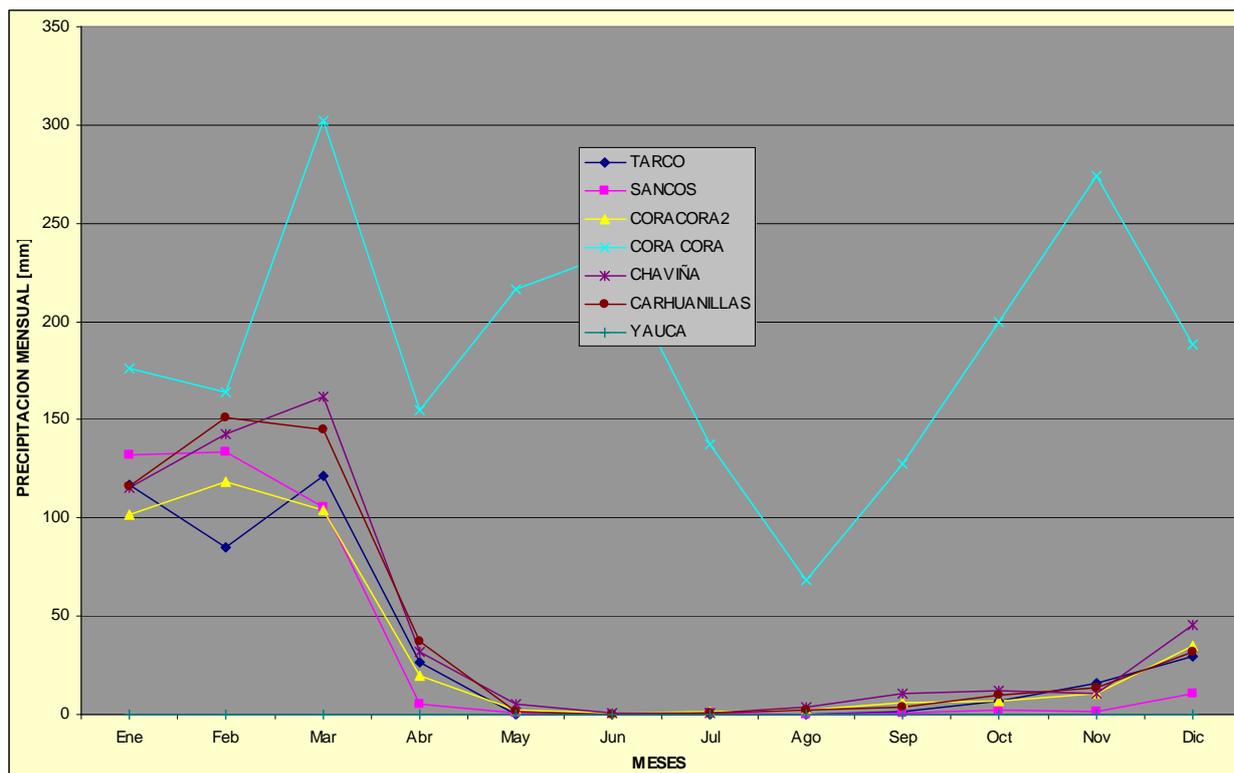


Figura N° 3.4. Histograma Mensual de las Estaciones Pluviométricas consideradas en el Ámbito del Estudio

En el Cuadro N° 3.2 y Figura N° 3.4 observamos que la información de la estación Coracora no tiene el mismo comportamiento del resto de estaciones, por tal razón se descarta la información de esta estación, así mismo observamos que el resto de estaciones que en el mes de noviembre a abril se presentan las mayores precipitaciones y en los meses de mayo a octubre se presentan las menores precipitaciones, así mismo observamos que la precipitación anual en la cuenca del río Yauca varía de 540.54 mm (estación de Chaviña) a 0.00 mm (estación Yauca).

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 Chaviñas y Carhuaniillas que son

las estaciones que tienen la mayor cantidad de datos, 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 las tendencias:

Cuadro N° 3.3. Resultados del ajuste lineal de las estaciones de Chaviñas y Carhuaniillas

Estación	m	b	R ²
Chaviñas	10.12	435.9	0.081
Carhuaniillas	-20.25	813.2	0.198

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

Con la información mostrada en el Cuadro 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.

La precipitación total anual en la cuenca del río Yauca varía de 500 mm a 100 mm, tal como se puede observar en la Figura N° 3.18.

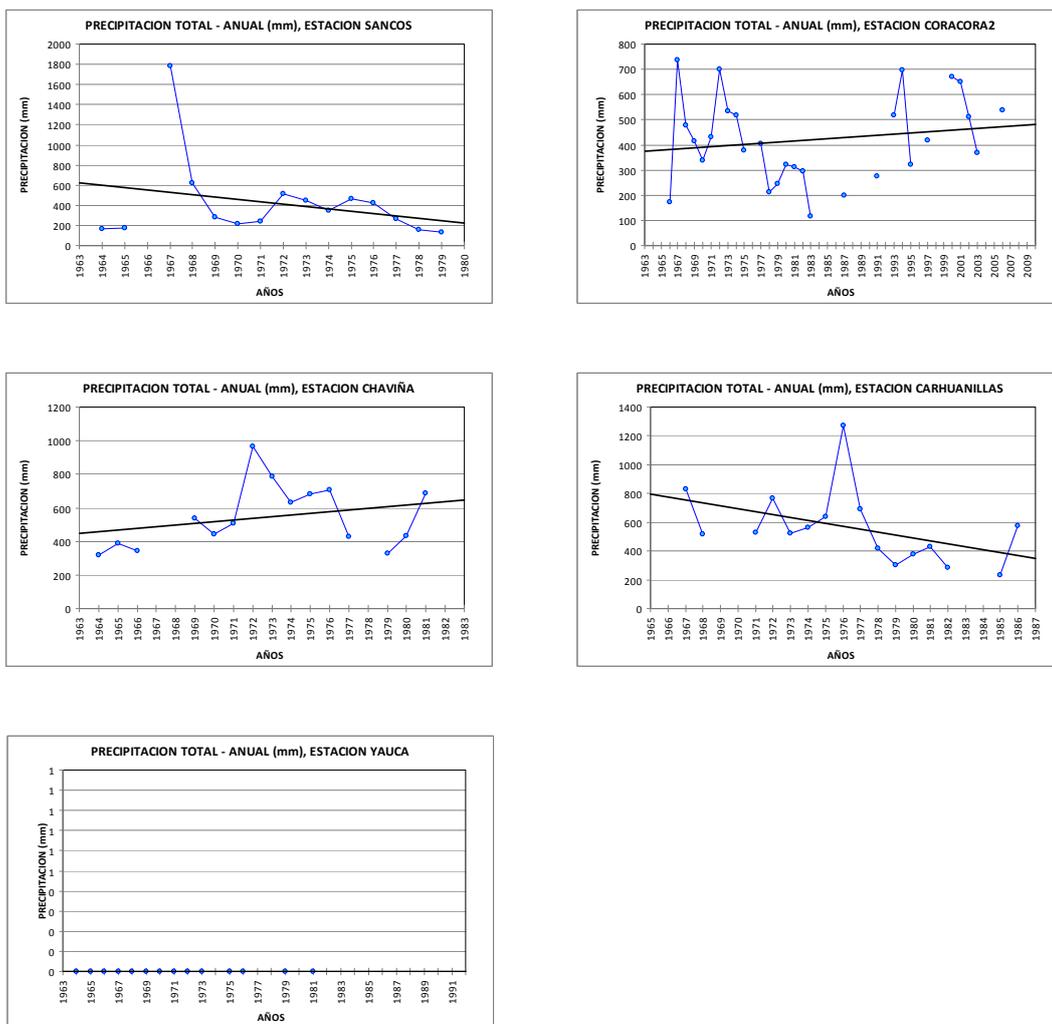


Figura Nº 3.5. Tendencia de la Precipitación Anual de las Estaciones Consideradas en el Ámbito del Estudio

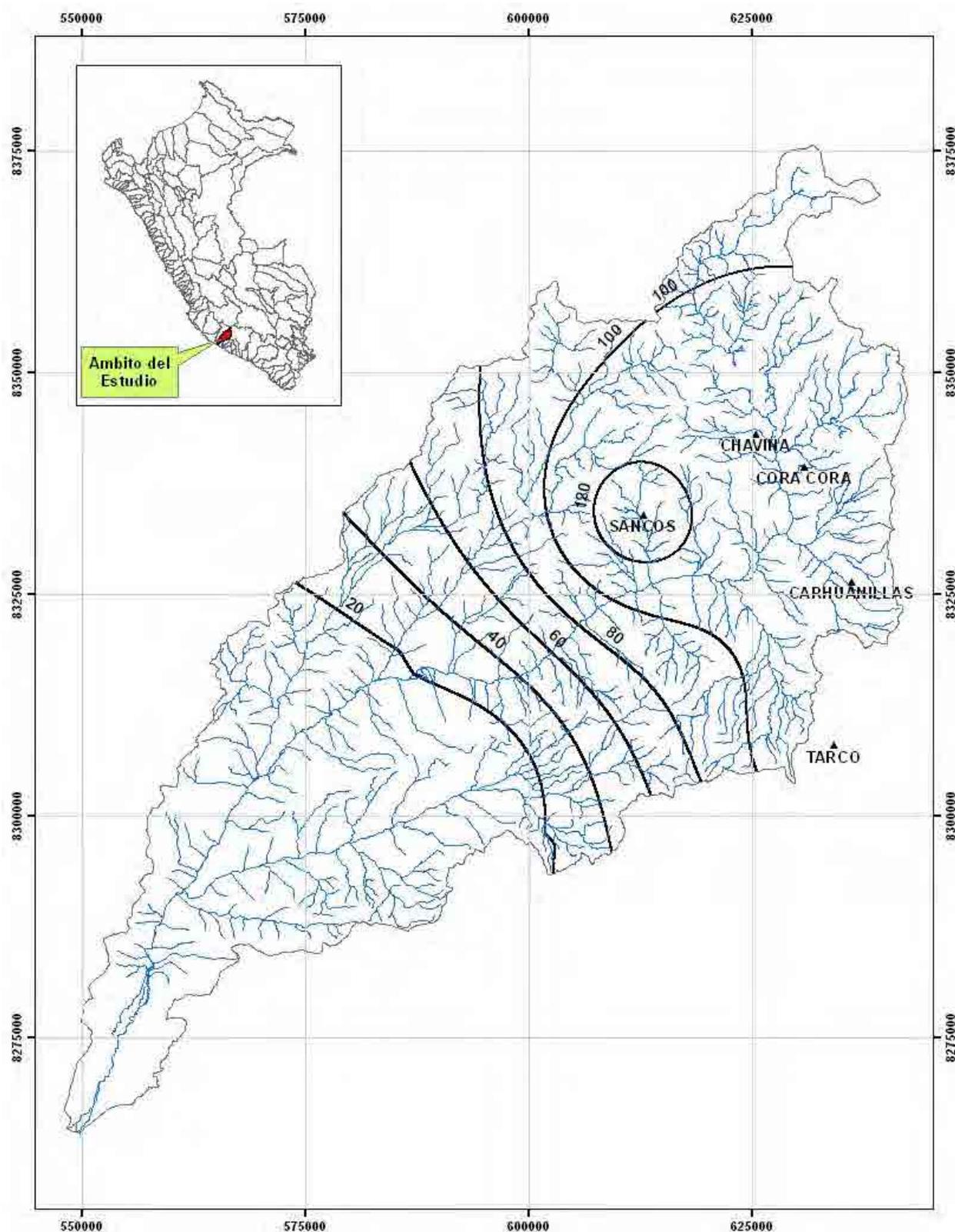


Figura N° 3.6. Isoyeta del mes de Enero de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Yauca

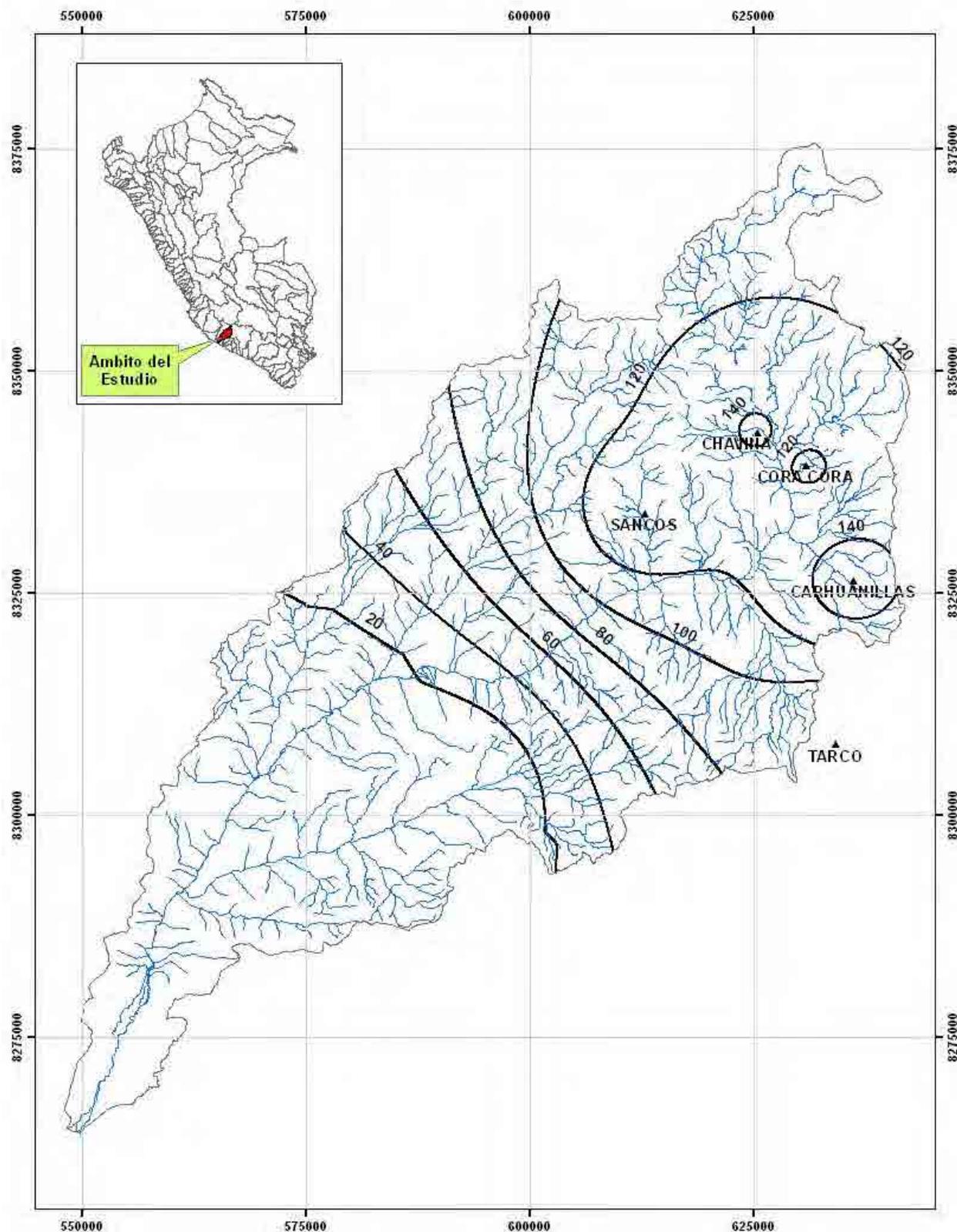


Figura N° 3.7. Isoyeta del mes de Febrero de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Yauca

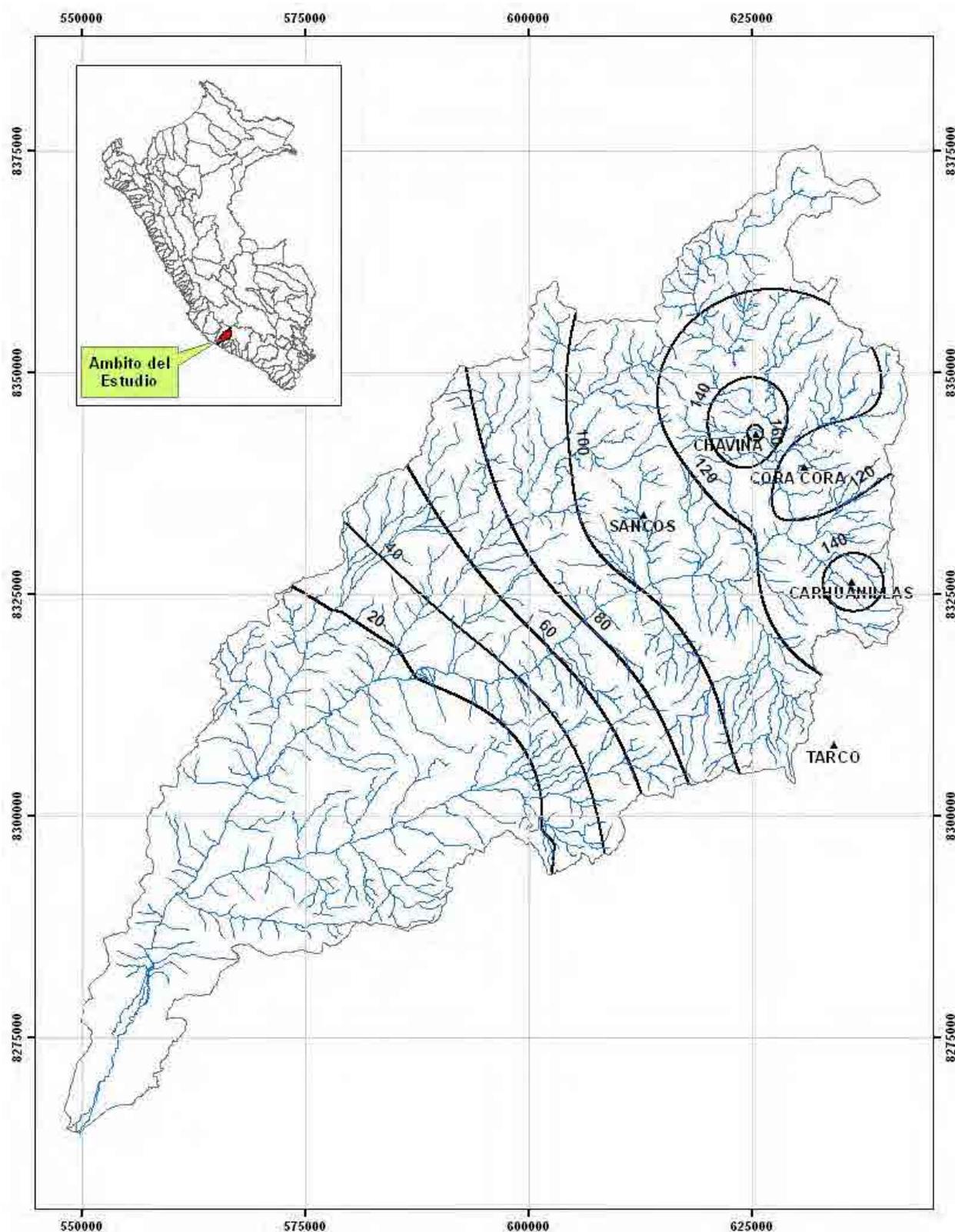


Figura N° 3.8. Isoyeta del mes de Marzo de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Yauca

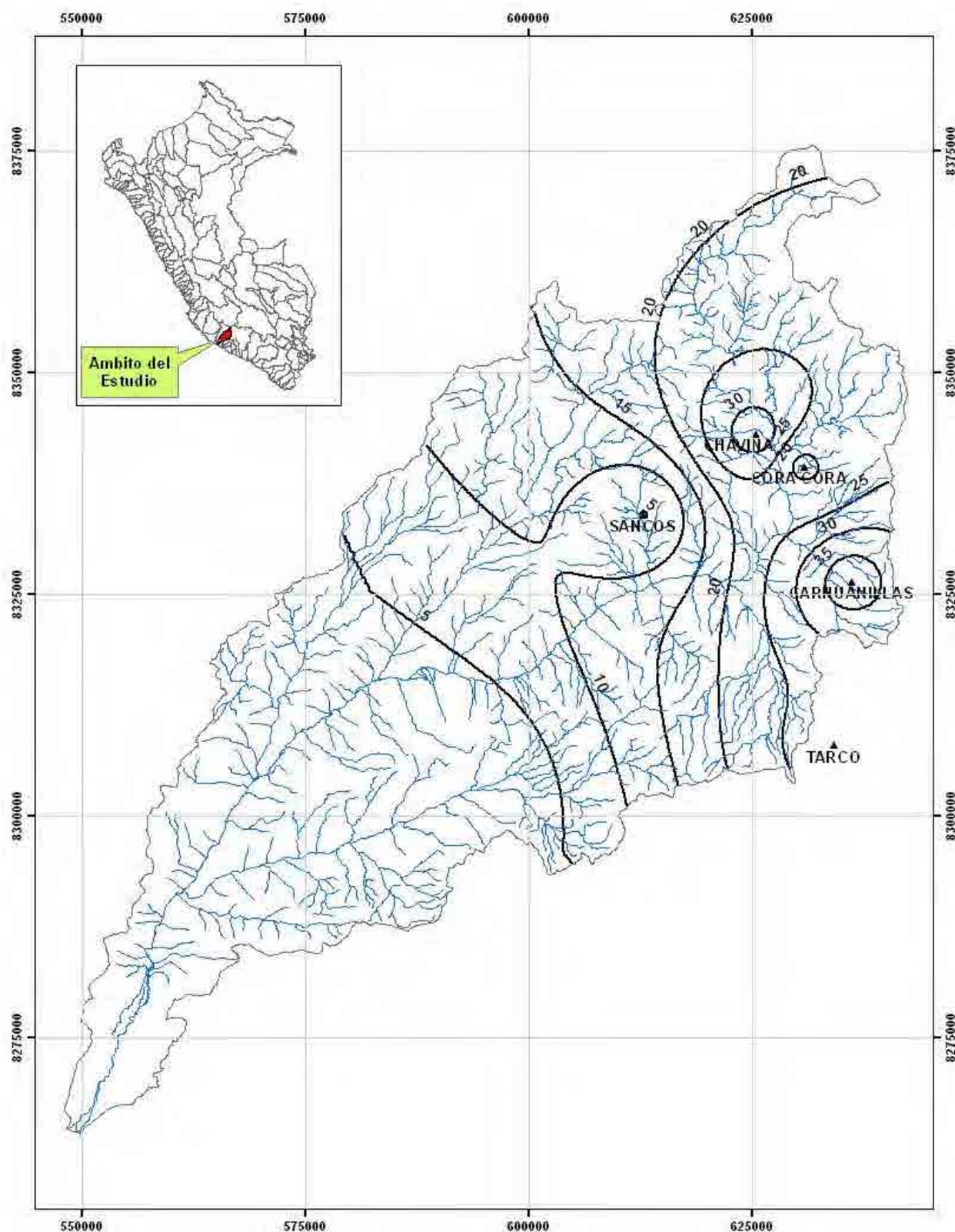


Figura N° 3.9. Isoyeta del mes de Abril de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Yauca

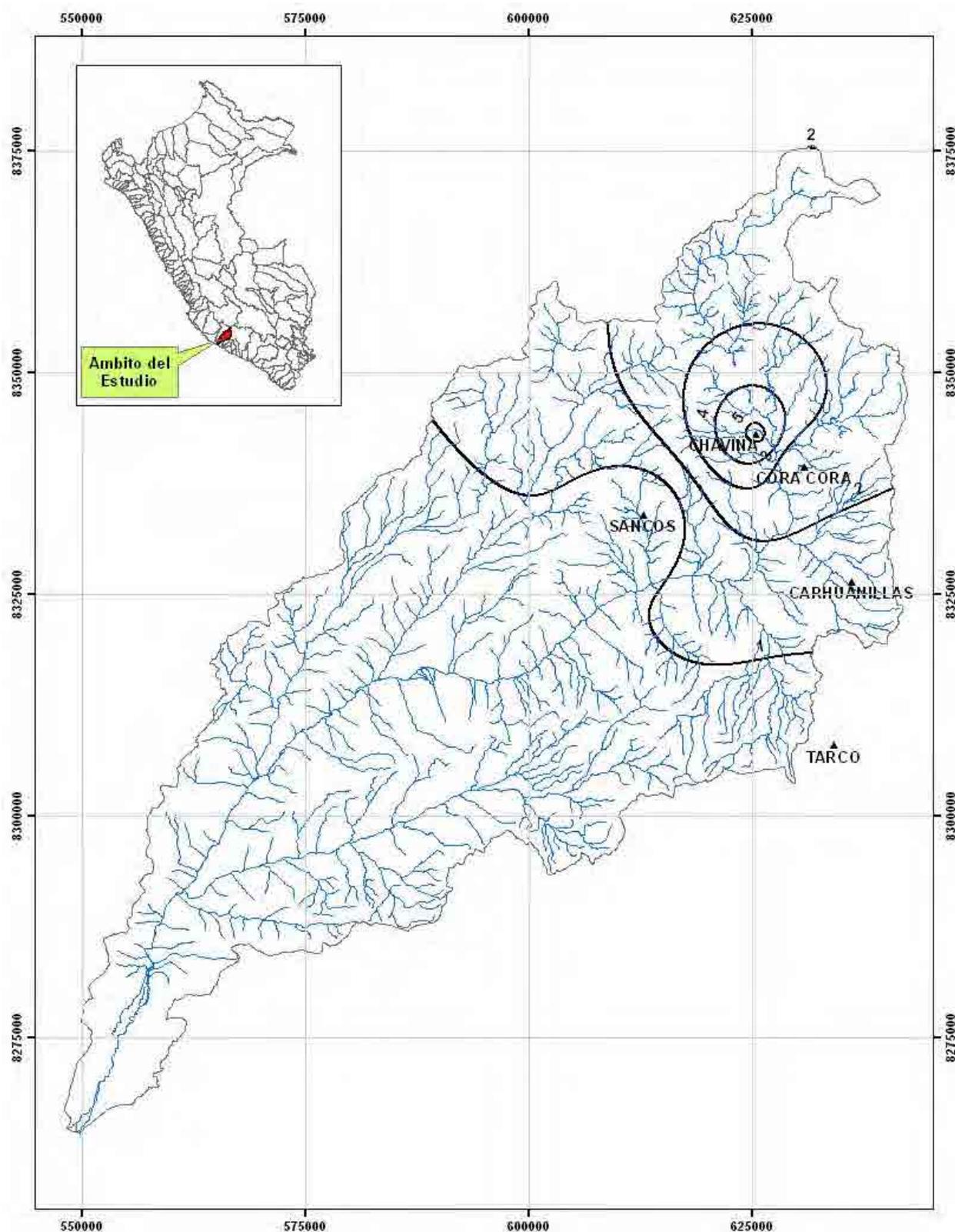


Figura N° 3.10. Isoyeta del mes de Mayo de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Yauca

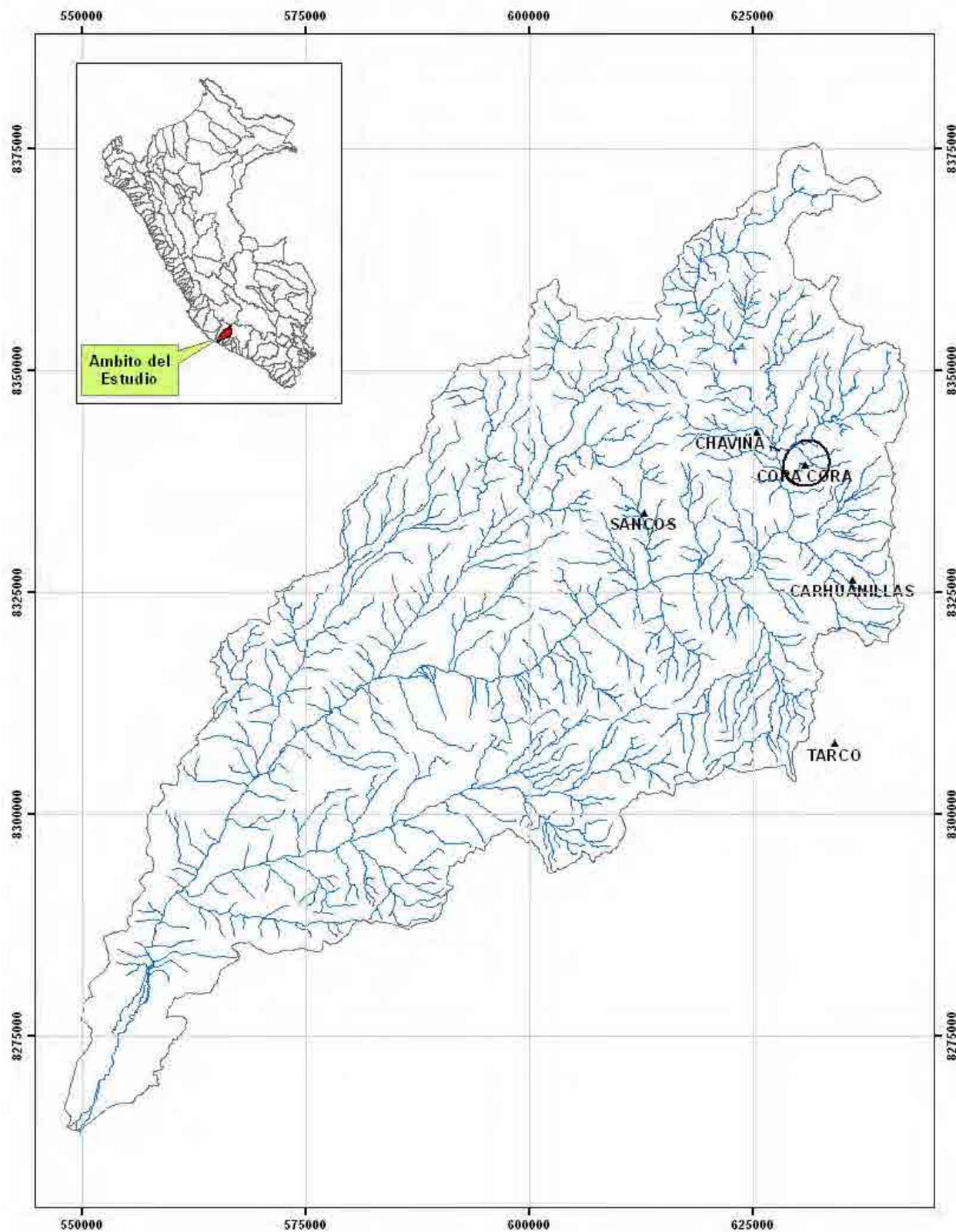


Figura N° 3.11. Isoyeta del mes de Junio de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Yauca

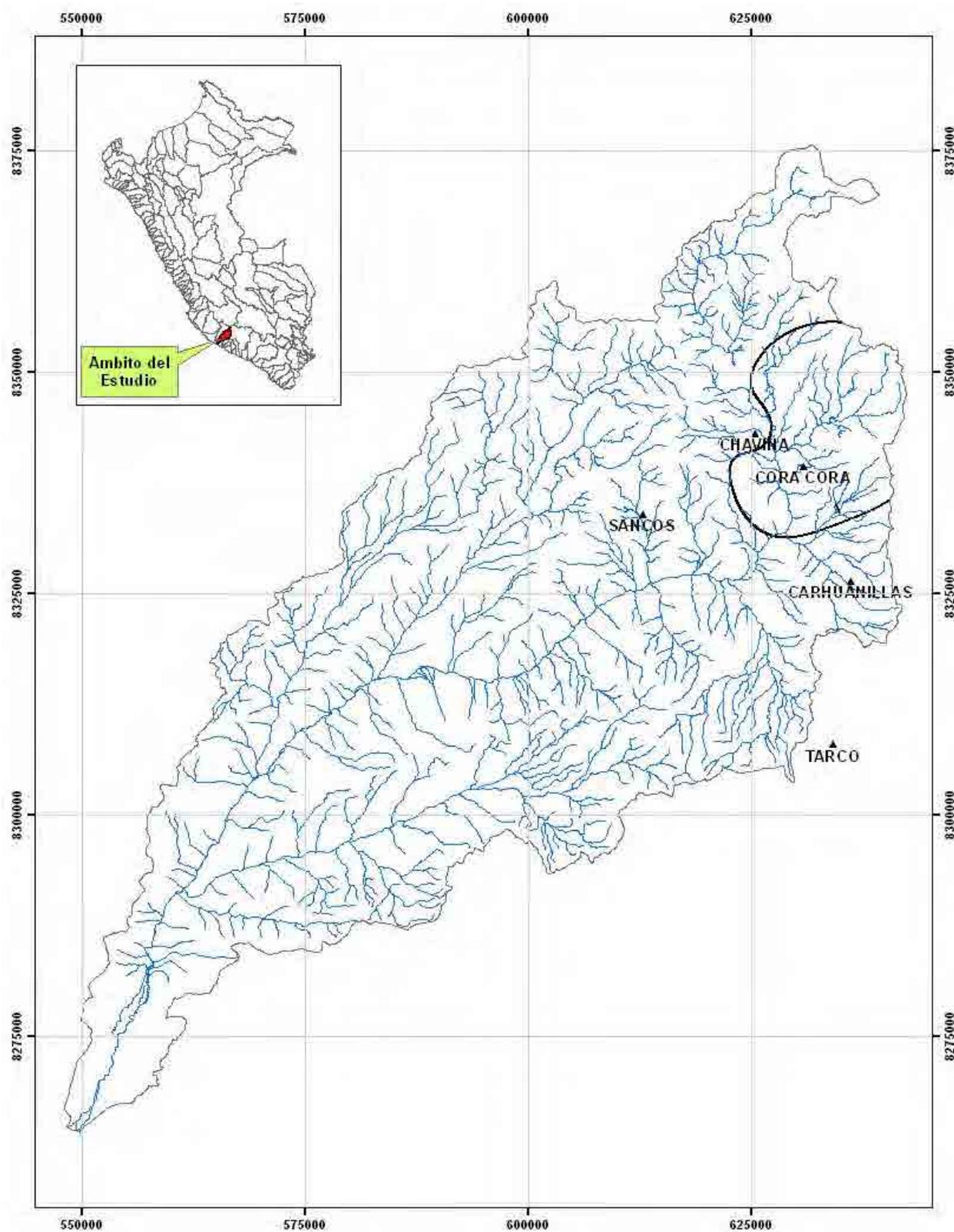


Figura N° 3.12. Isoyeta del mes de Julio de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Yauca

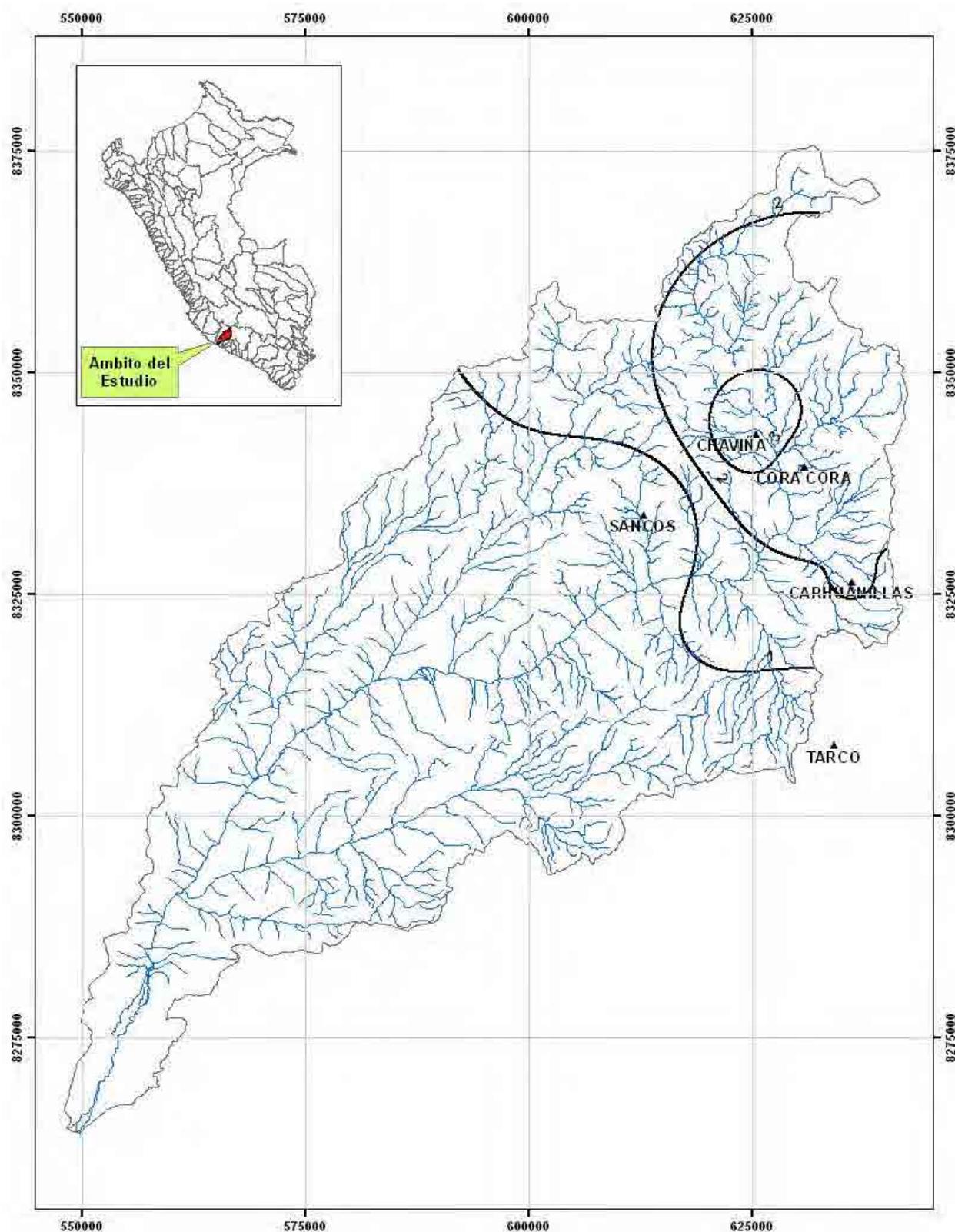


Figura N° 3.13. Isoyeta del mes de Agosto de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Yauca

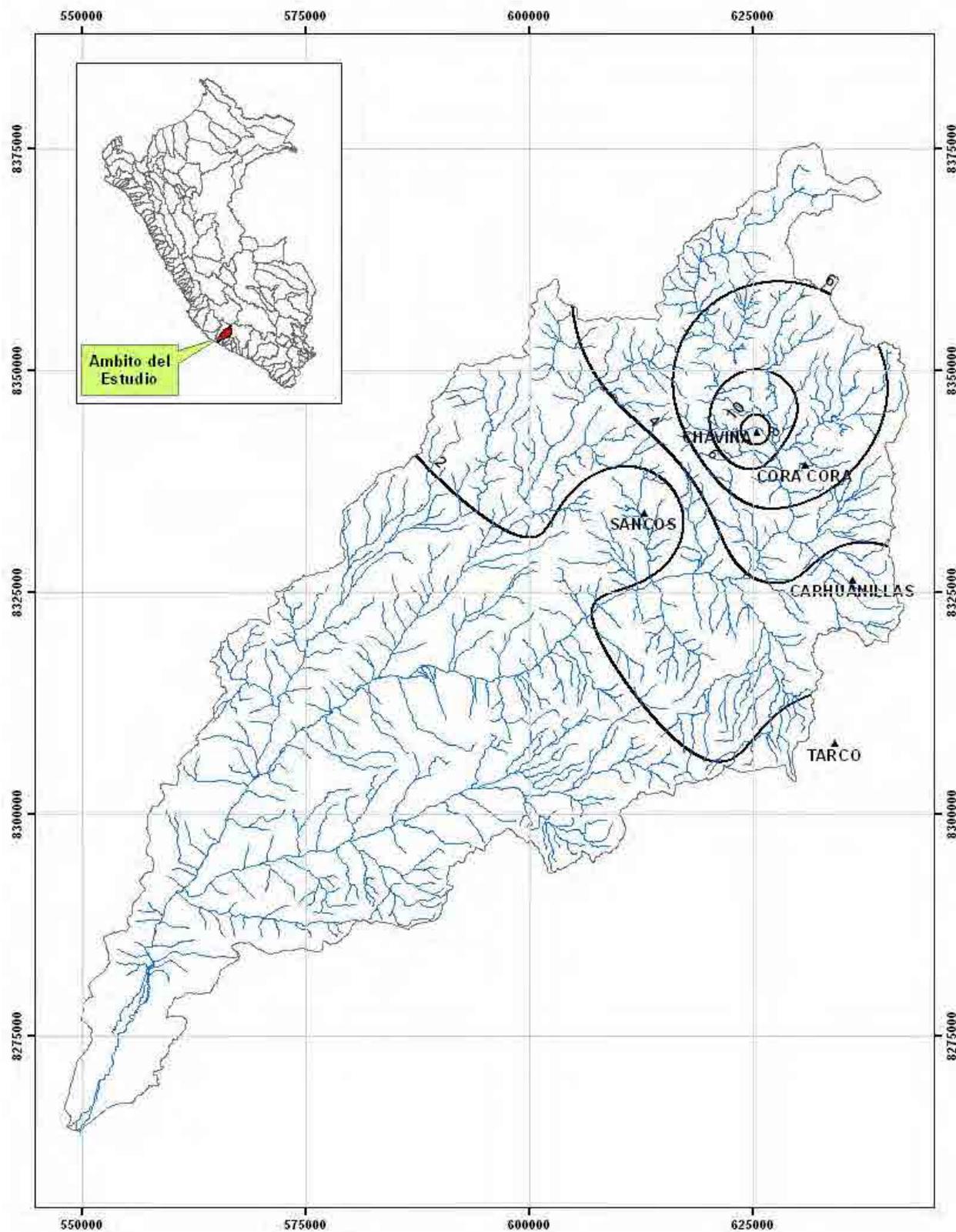


Figura N° 3.14. Isoyeta del mes de Septiembre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Yauca

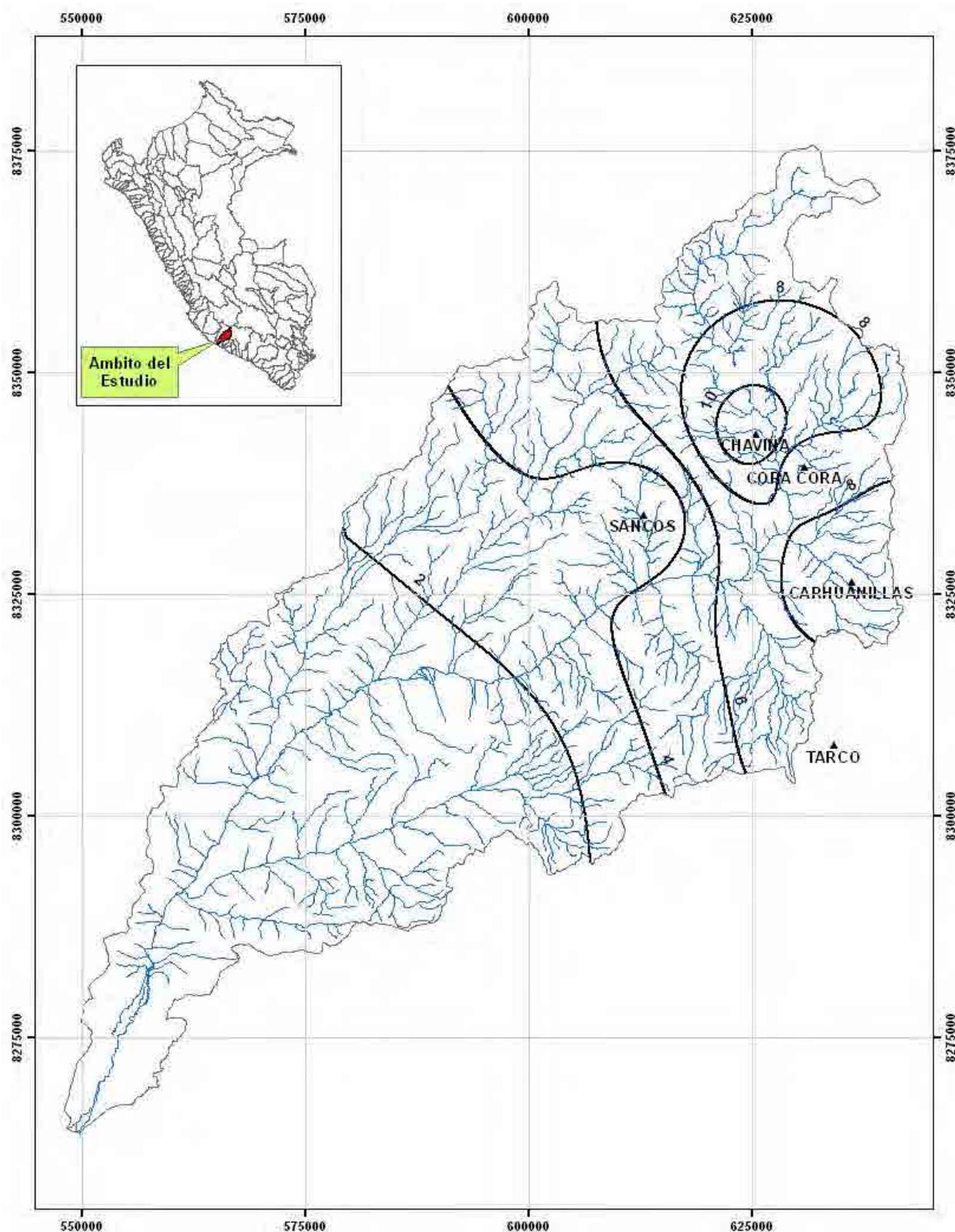


Figura N° 3.15. Isoyeta del mes de Octubre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Yauca

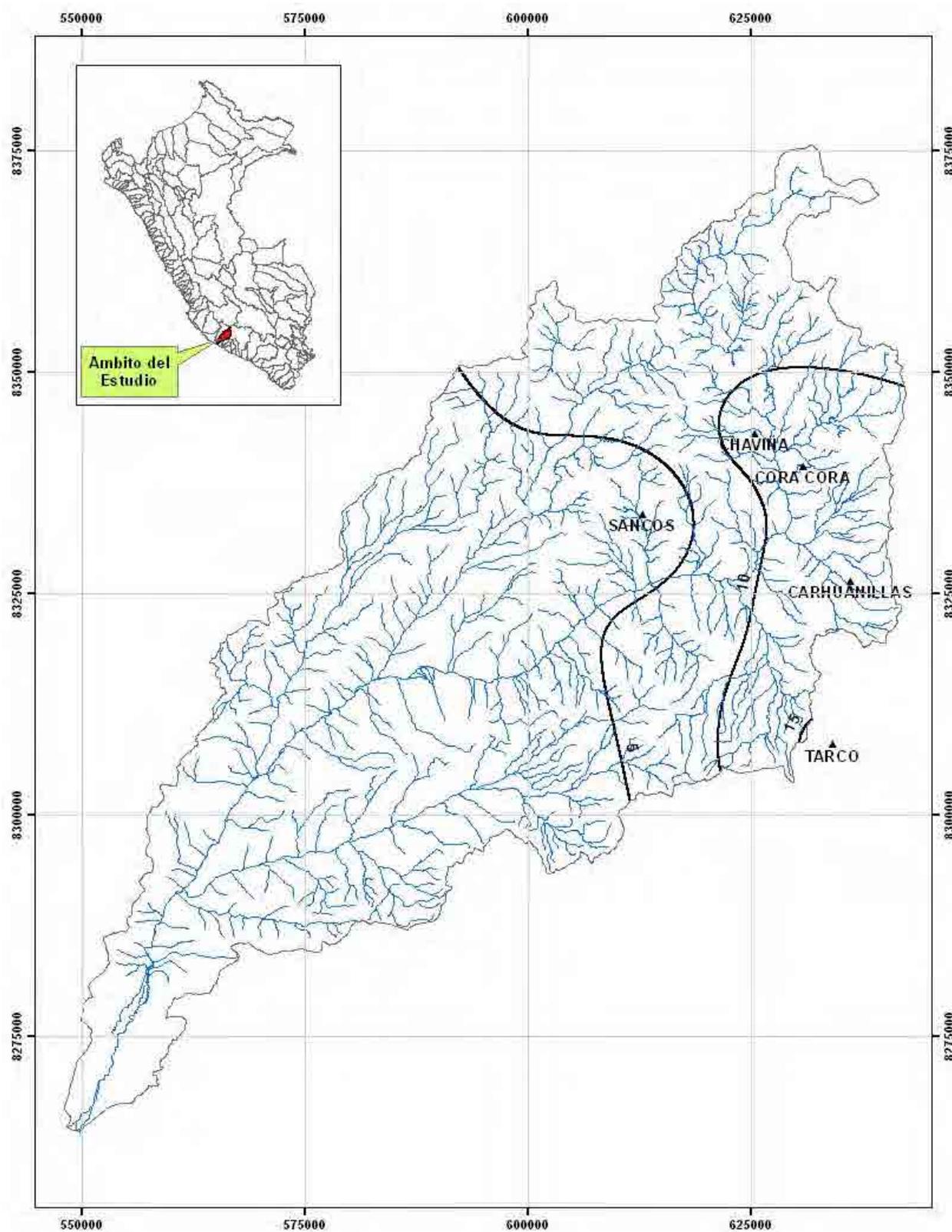


Figura N° 3.16. Isoyeta del mes de Noviembre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Yauca

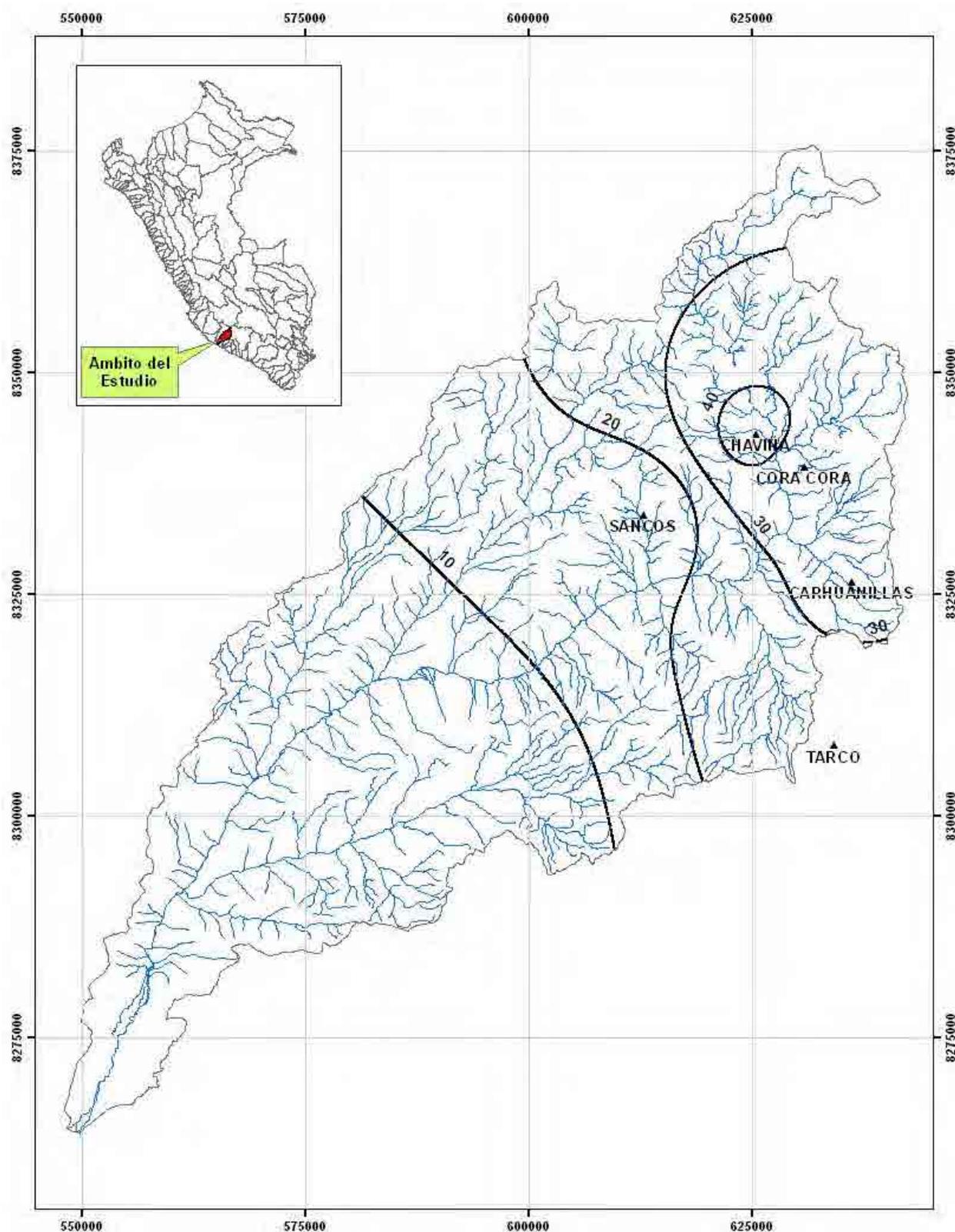


Figura N° 3.17. Isoyeta del mes de Diciembre de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Yauca

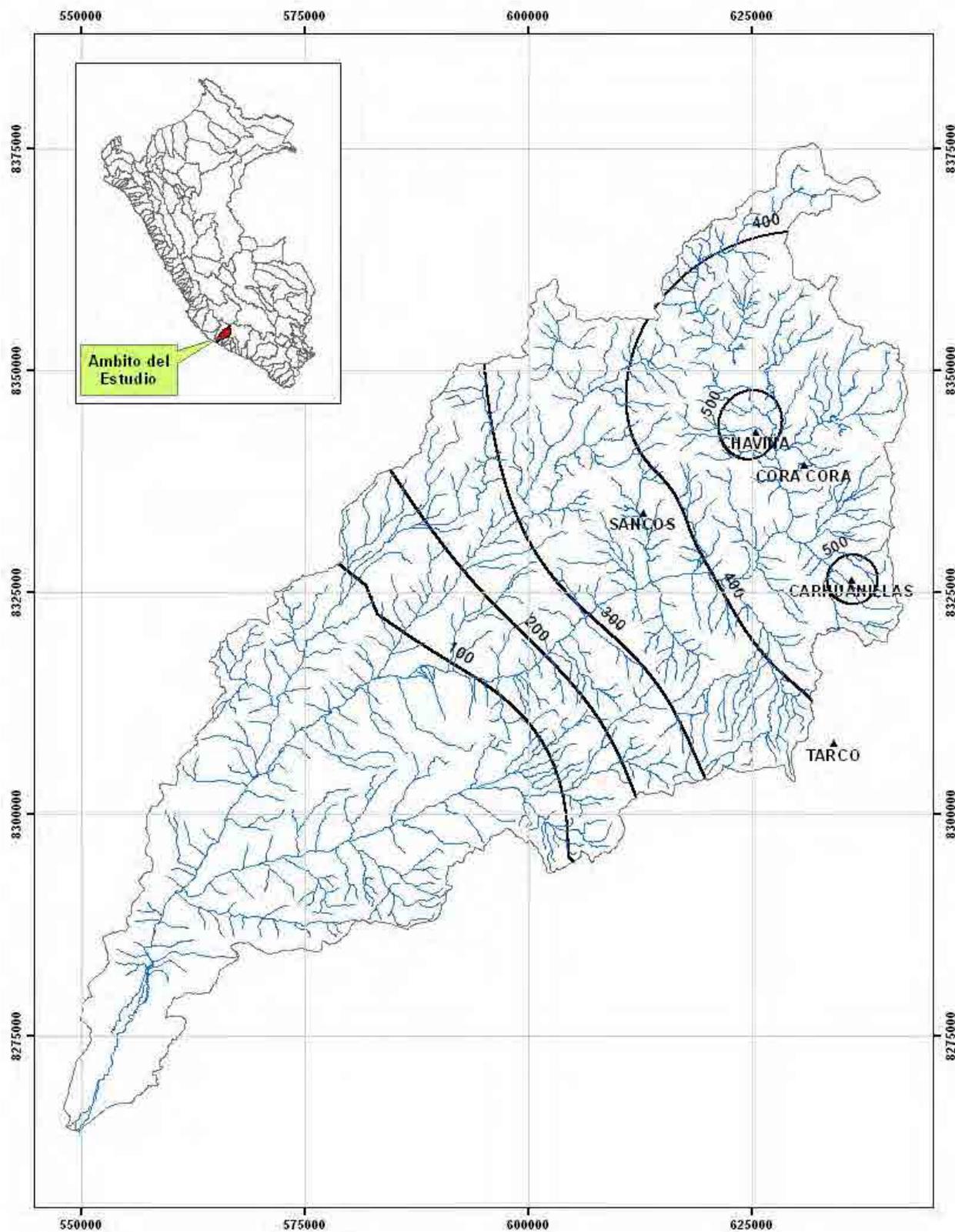


Figura N° 3.18. Isoyeta Anual de la Precipitación Media Mensual en la cuenca del río Yauca

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.

La temperatura es el elemento más ligado en sus variaciones al factor altitudinal. En la cuenca, se ha podido apreciar que varía desde el tipo semi-cálido (19° C aproximadamente) en el área de Costa hasta el tipo frígido (5° C aproximadamente) en el sector de puna, quedando comprendida entre estos extremos una serie de variaciones térmicas que se caracterizan a cada uno de los pisos altitudinales apreciados en las cuencas.

De la red meteorológica existente, solo 4 estaciones cuentan con datos de temperatura estadística confiables; de ellas, 3 que se encuentran en Coracora, Chaviña y Sancos, se ubican en la Sierra; y una se encuentra en Yauca ubicada en la Costa. En el Cuadro N° 3.4 se presenta la temperatura máxima y mínima mensual y en la Figura N° 3,19 se presenta la variación mensual de la temperatura de la estación Yauca

Cuadro N° 3.4. Temperatura Maxima y Minima Mensual [°C] de la estación Yauca

TEMPERATURA	Mes												Promedio
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Maxima	27.40	27.90	27.60	26.00	24.00	21.90	20.30	20.10	20.70	22.10	23.90	25.80	23.98
Minima	18.30	17.80	17.70	16.30	13.60	11.30	10.90	11.00	12.20	12.80	14.40	16.40	14.39

Fuente: Asignación de Agua en Bloque en el Valle Yauca, ATDR Acari-Yauca-Puquio, 2006

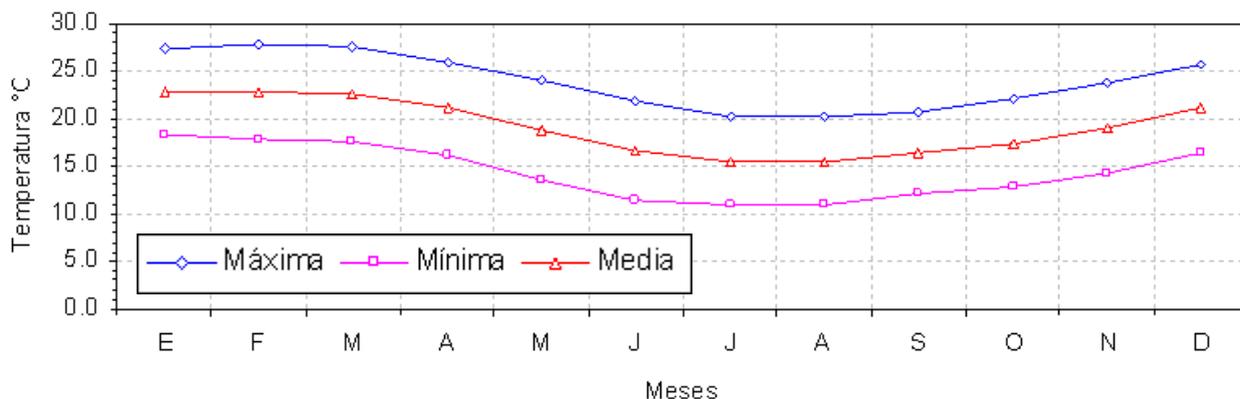


Figura N° 3.19. Distribución de la Temperatura Mensual de la Estación Yauca

Fuente: Asignación de Agua en Bloque en el Valle Yauca, ATDR Acari-Yauca-Puquio, 2006

3.3 Hidrometría

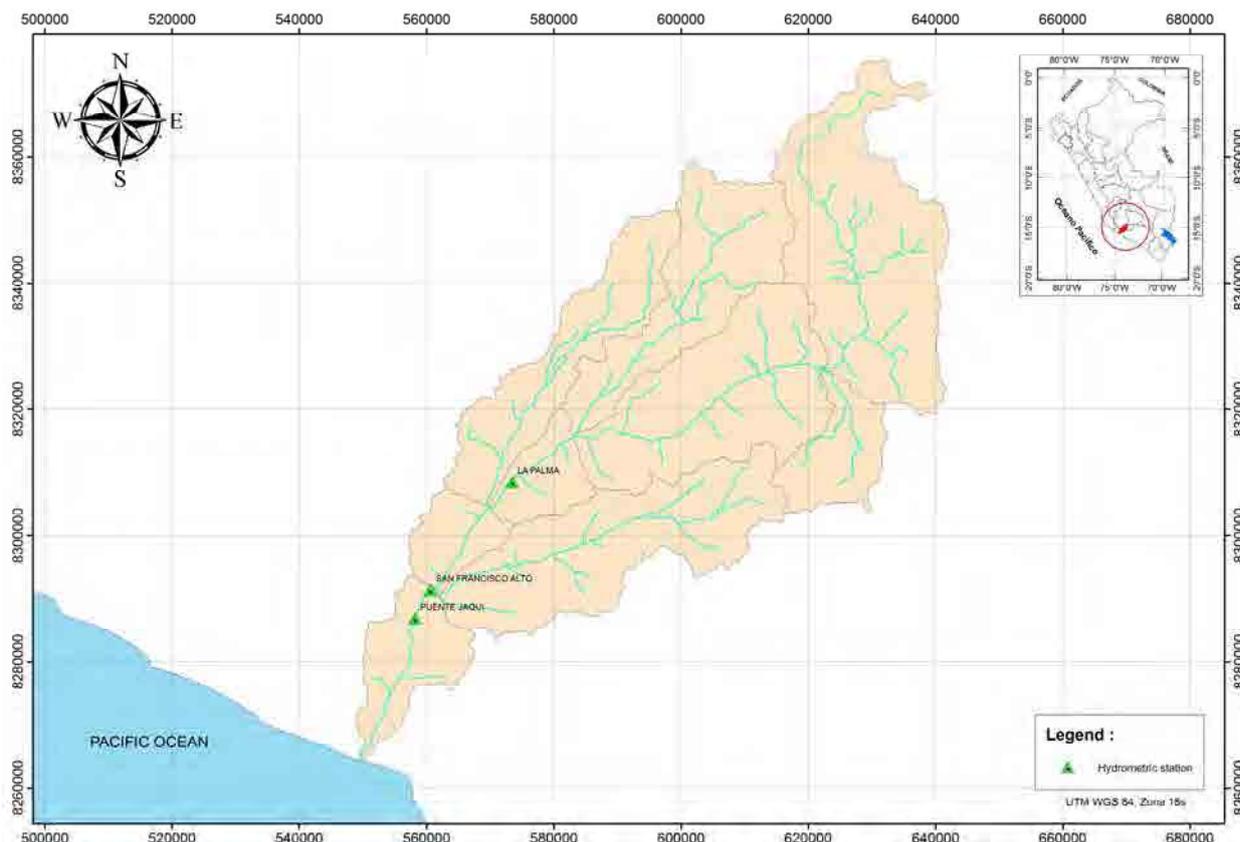


Figura N° 3.21. Ubicación de las estaciones hidrométricas en la Cuenca del Río Yauca

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

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 7 estaciones, sólo 01 estación tiene información hasta el año 2010, 01 estación tiene información hasta el año 2005, 01 estación tiene información hasta el año 1993, 01 estación tiene información hasta el año 1980 y 01 estación tiene información hasta el año 1972. Las estaciones con información anterior al año 1992 ya no están operativas, sólo la estación Cora Cora 2 está actualmente operativa.

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 03 estaciones hidrométricas, 01 estación tiene información hasta el año 2008 y 01 estación tiene información hasta el año 1986, la información de la estación restante no estuvo disponible.

Para los fines del presente estudio se empleó la información de la estación San Francisco Alto. 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 a verificar la consistencia de sus lecturas instalando estaciones manuales y comparando las lecturas de ambas estaciones.

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

Reconocimiento de Campo:

El reconocimiento de campo ha comprendido una revisión de las características generales de la estación hidrométrica San Francisco Alto y del punto base (punto de interés, en donde se estimará 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 base (punto de interés, Estación San Francisco Alto), que ha sido realizada en base a las Cartas a escala 1:100000 y/o 1:25000 e imágenes satélites.
- Selección de estaciones pluviométricas existentes en el área del estudio y recopilación de registros históricos de precipitación máxima en 24 horas.
- Análisis de frecuencias de las precipitaciones máximas en 24 horas para cada estación y selección de la función de distribución con mejor ajuste.
- Cálculo de la precipitación areal de la cuenca vertiente al punto de interés a partir de los mapas de isoyetas elaborados para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.
- Determinación de la precipitación máxima para una duración de tormenta no menor al tiempo de concentración; (tiempo en el cual toda la cuenca aporta a la descarga) mediante el modelo Dick y Peschke.
- Mediante el modelo precipitación escorrentía se generan los caudales de avenida para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, utilizando el software HEC – HMS, se 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 San Francisco Alto) se muestra en el Cuadro N° 4.1.

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

Característica	Valor
Area de la Cuenca (km ²)	3,190.000
Longitud Max. De Recorrido (km)	136.000
Cota Mayor (msnm)	4,540.000
Cota Menor (msnm)	447.000

Pendiente (m/m)	0.030
-----------------	-------

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 Yauca 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.

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

Año	Estaciones					
	TARCO	SANCOS	CORACORA	CHAVIÑA	CARHUANILLAS	YAUCA
1960						
1961						
1962						
1963						
1964		25.00		24.50		0.00
1965		25.20		26.50		0.00
1966		17.10	21.00	30.60		0.00
1967	44.80	53.40	35.70		45.00	0.00
1968	30.00	49.30	31.00		35.50	
1969	25.00	32.00	24.00	32.90		0.00
1970		40.10	28.50	29.70		0.00
1971	15.60	20.50	30.00	41.40	49.50	0.00
1972	10.90	57.50	27.00	57.30	32.00	0.00
1973	15.00	38.01	32.00	46.40	20.00	0.00
1974		28.00	30.00	34.00	30.00	
1975		61.90	28.00	30.90	53.00	0.00
1976		44.80		44.40	37.00	0.00
1977		45.20	36.50	20.00	32.00	
1978		33.00	15.40		79.50	
1979		13.80	20.80	22.80	13.10	0.00
1980		19.90	21.70	29.70	23.00	
1981			27.40	34.00	30.50	0.00
1982			25.40		12.10	
1983			13.50			
1984						
1985					15.10	
1986					19.10	
1987			34.80			
1988						
1989						
1990						
1991			30.20			
1992						
1993			30.40			
1994			30.00			
1995			28.00			
1996						

1997			30.70			
1998						
1999						
2000			28.00			
2001			31.60			
2002			29.10			
2003			29.00			
2004						
2005			157.80			
2006			59.50			
2007						
2008						
2009						
2010						

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.

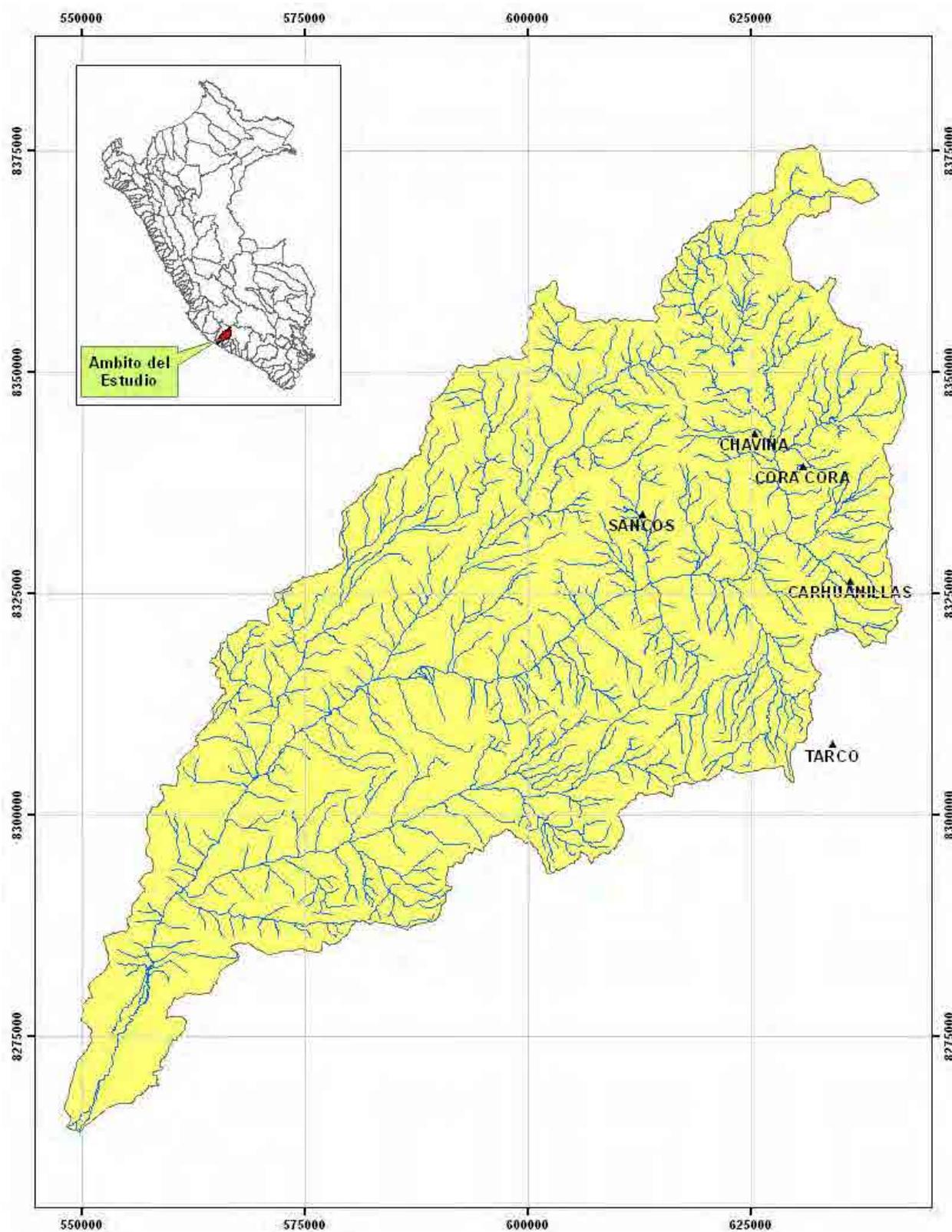


Figura N° 4.1. Estaciones Pluviométricas consideradas para la aplicación del Software HEC-HMS

Cada serie de precipitación máxima anual de las cinco (5) 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

$0 \leq x < \infty$

$$0 < \gamma < \infty$$

$$0 < \beta < \infty$$

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

Estación	Coeficiente de Determinación para cada Función de Distribución				
	Log Pearson III	GEV	SQRT	Gumbel	Log-Normal
Acnococha	0.94	0.95	0.93	0.93	0.90
Choclococha	0.94	0.95	0.93	0.90	0.91
Cocas	0.94	0.95	0.90	0.93	0.93
Hacienda Bernales	0.89	0.93	0.88	0.90	0.90
Huamani	0.94	0.95	0.94	0.92	0.89

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 Tr [AÑOS]						
	Tr_2	Tr_5	Tr_10	Tr_25	Tr_50	Tr_100	Tr_200
CARHUANILLAS	26.0	42.0	54.0	70.0	84.0	98.0	114.0
CHAVIÑA	32.0	42.0	48.0	54.0	59.0	62.0	66.0
CORA CORA	28.0	36.0	41.0	46.0	49.0	52.0	54.0
SANCOS	34.0	48.0	57.0	67.0	74.0	80.0	86.0
TARCO	20.0	32.0	41.0	54.0	65.0	77.0	91.0

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 San Francisco), la metodología y los resultados se describe en el ítem 4.2.2.4.

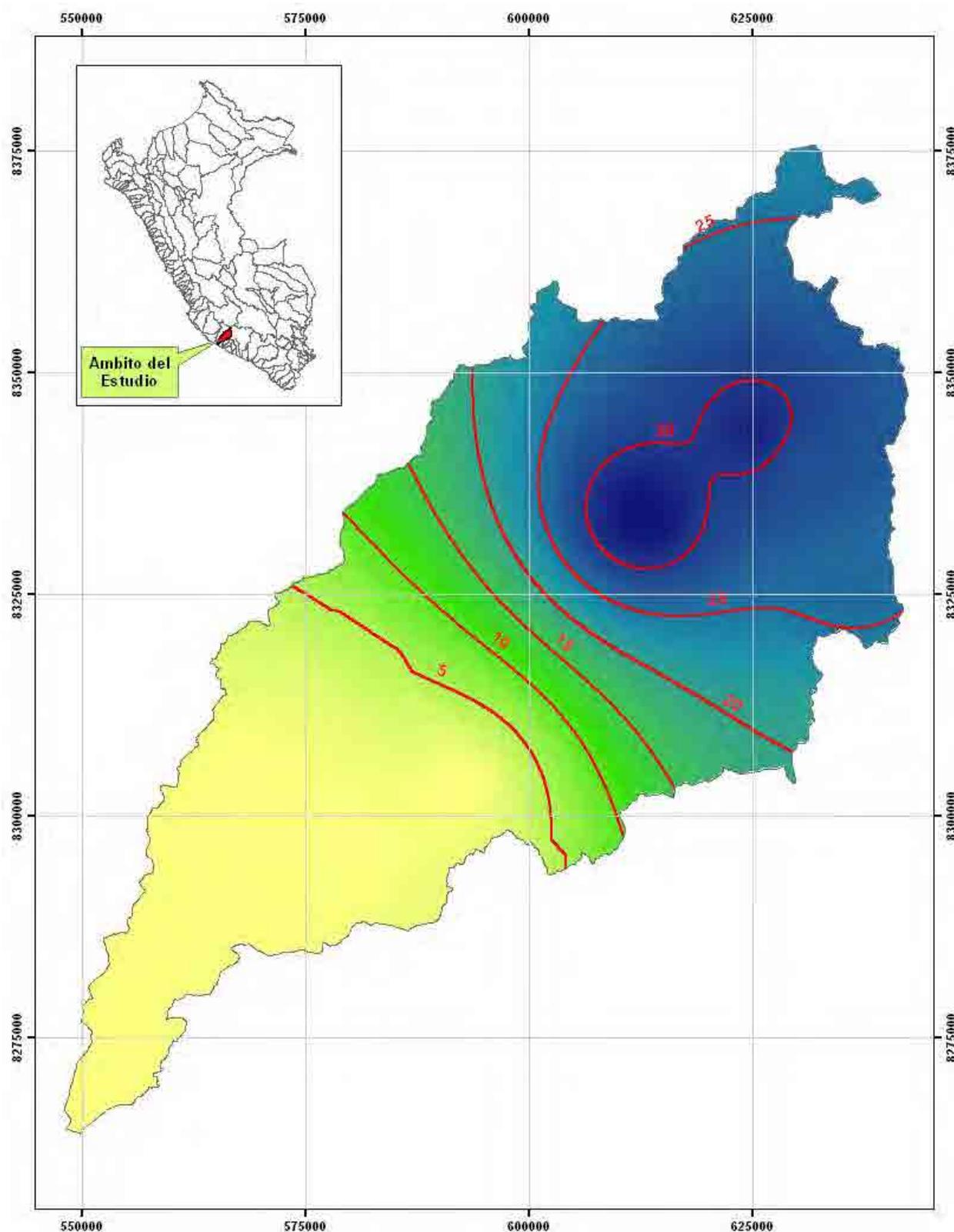


Figura N° 4.2. Isoyetas de la Precipitación Máxima en 24 Horas para un Periodo de Retorno de 2 años en la cuenca del río Yauca

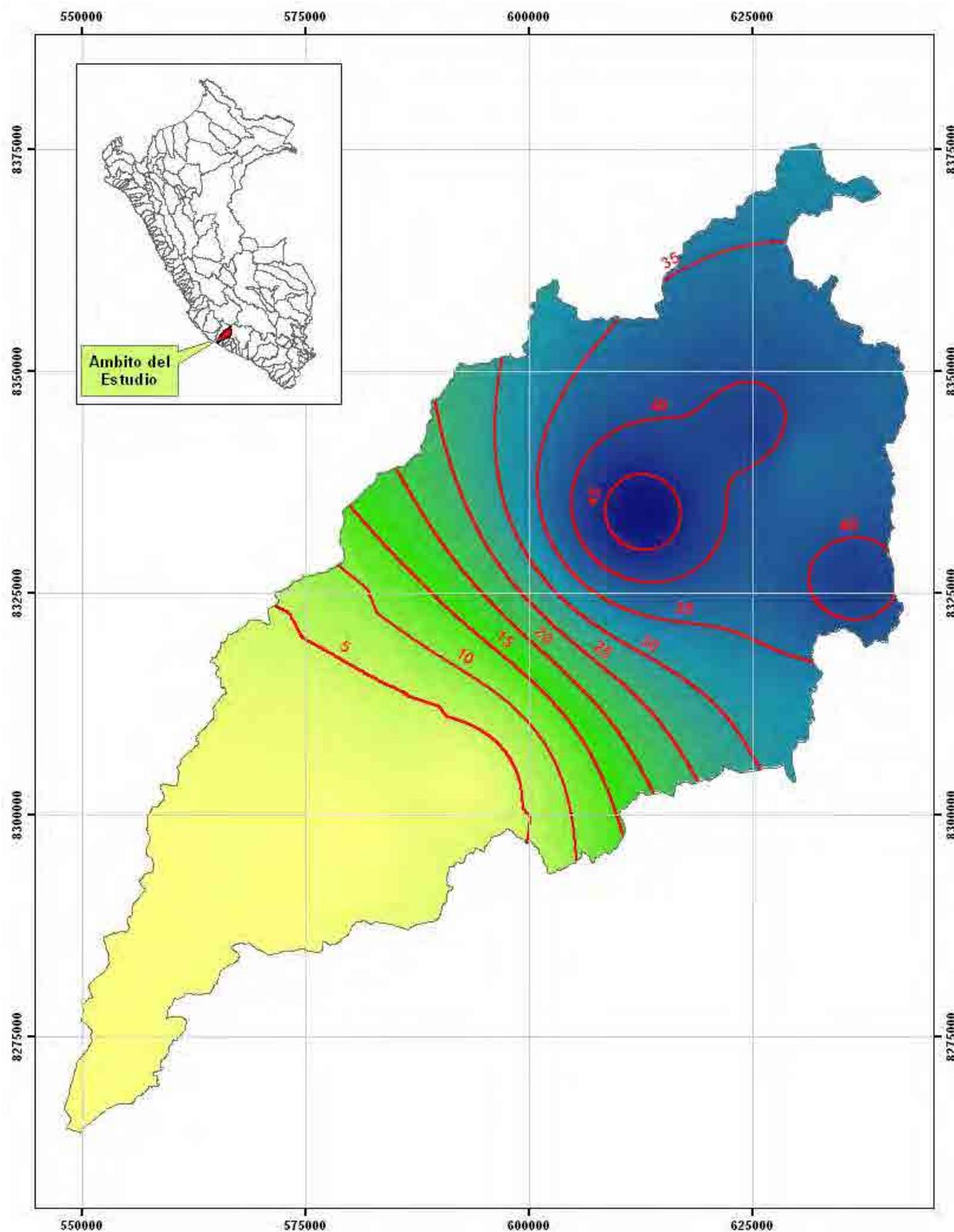


Figura N° 4.3. Isoyetas de la Precipitación Máxima en 24 Horas para un Periodo de Retorno de 5 años en la cuenca del río Yauca

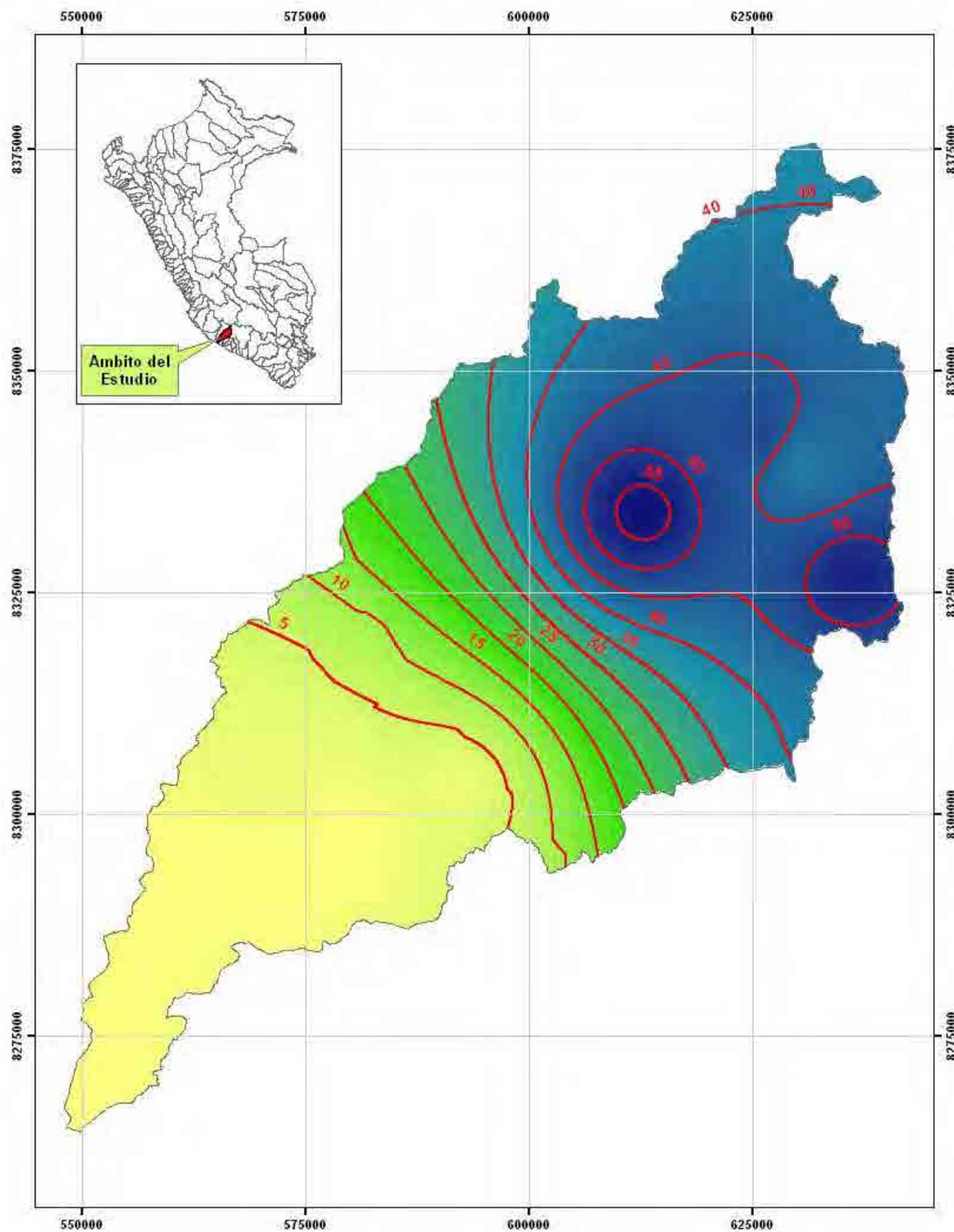


Figura N° 4.4. Isoyetas de la Precipitación Máxima en 24 Horas para un Periodo de Retorno de 10 años en la cuenca del río Yauca

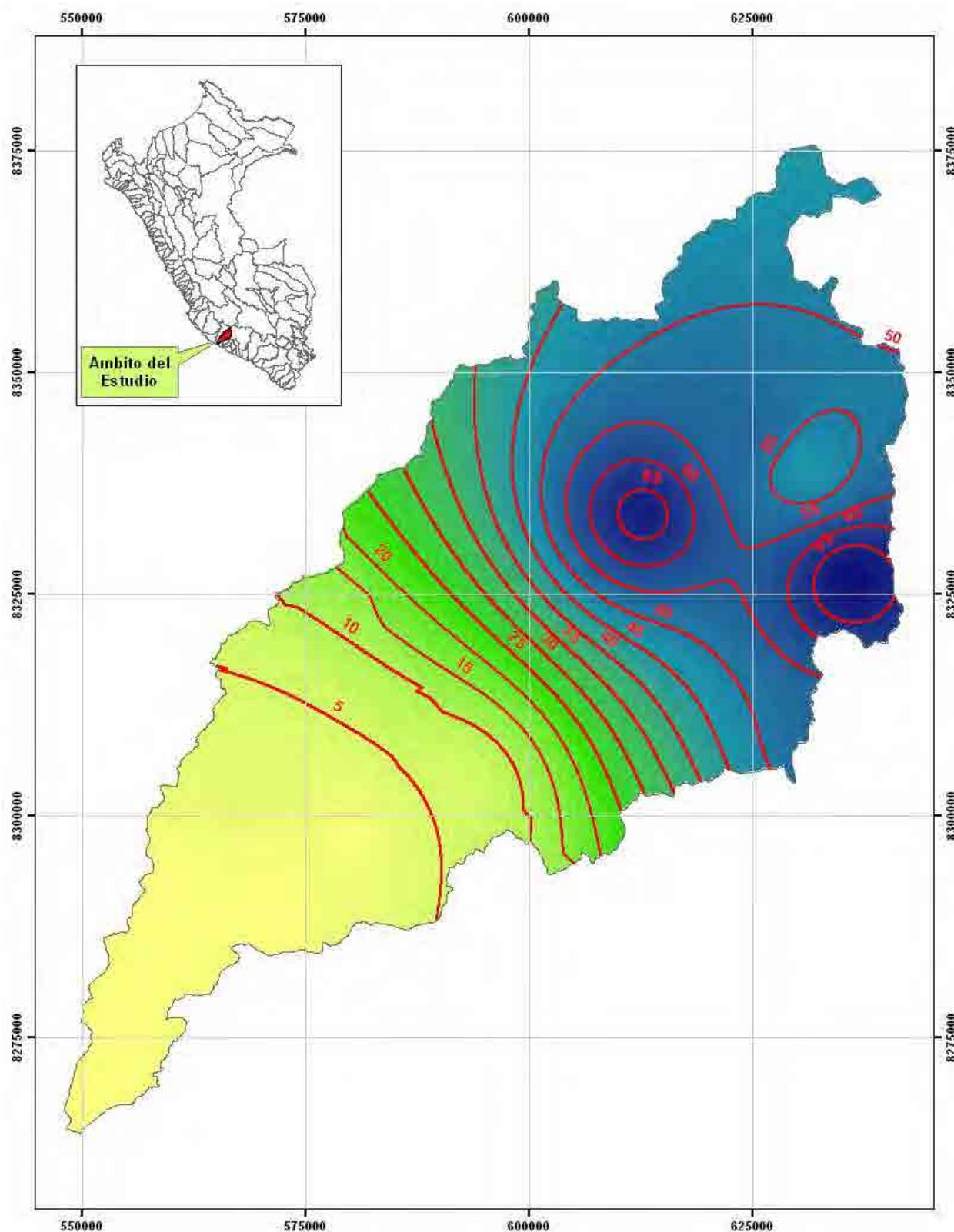


Figura N° 4.5. Isoyetas de la Precipitación Máxima en 24 Horas para un Periodo de Retorno de 25 años en la cuenca del río Yauca

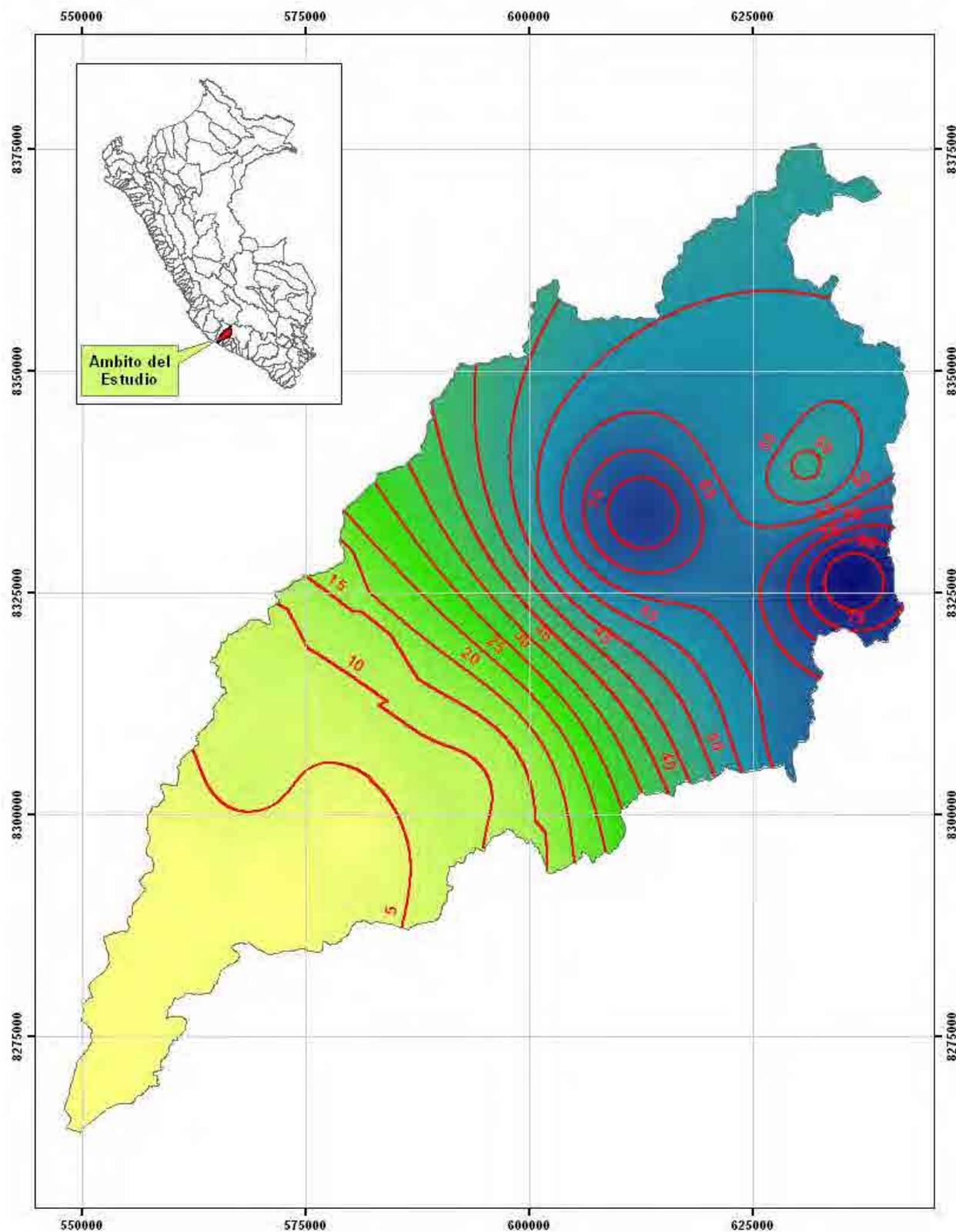


Figura N° 4.6. Isoyetas de la Precipitación Máxima en 24 Horas para un Periodo de Retorno de 50 años en la cuenca del río Yauca

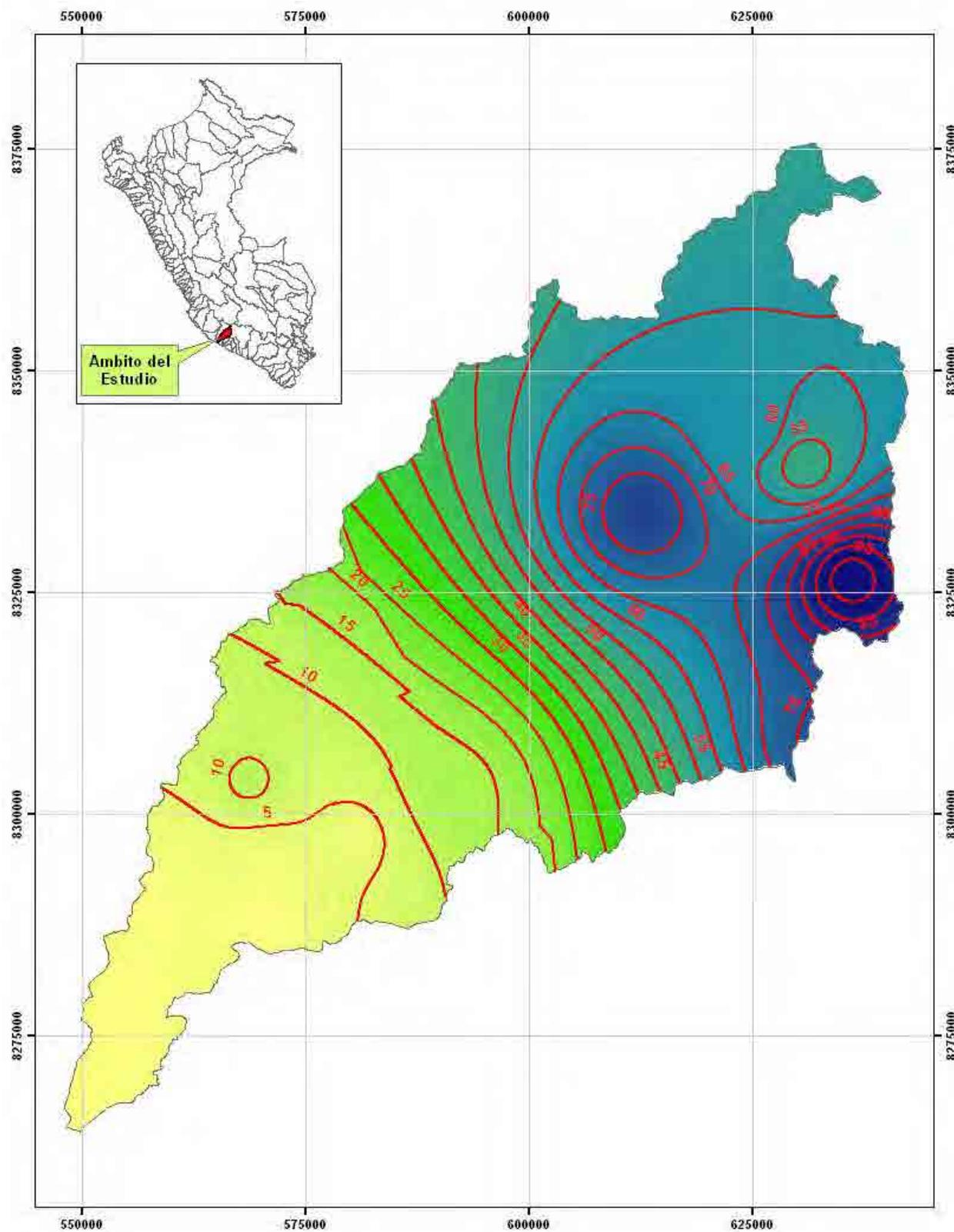


Figura N° 4.7. Isoyetas de la Precipitación Máxima en 24 Horas para un Periodo de Retorno de 100 años en la cuenca del río Yauca

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

A partir de los mapas de isoyetas para cada periodo de retorno (2, 5, 10, 25, 50 y 100 años) y con la herramienta Zonal Statistics del modulo Spatial Analyst del software ArcGIS se ha calculado la precipitacion areal maxima de 24 horas en el punto base (estacion San Francisco Alto) 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 San Francisco Alto) para cada Periodo de Retorno

Periodo de Retorno "T" [Años]	Pp Areal Max 24 Horas [mm]
2	23.00
5	28.00
10	33.00
25	39.00
50	45.00
100	50.00

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

Adicionalmente al estudio hidrológico de los caudales máximos del río Yauca se requiere estimar las precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno en las subcuencas del río Yauca. 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 Yauca 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.

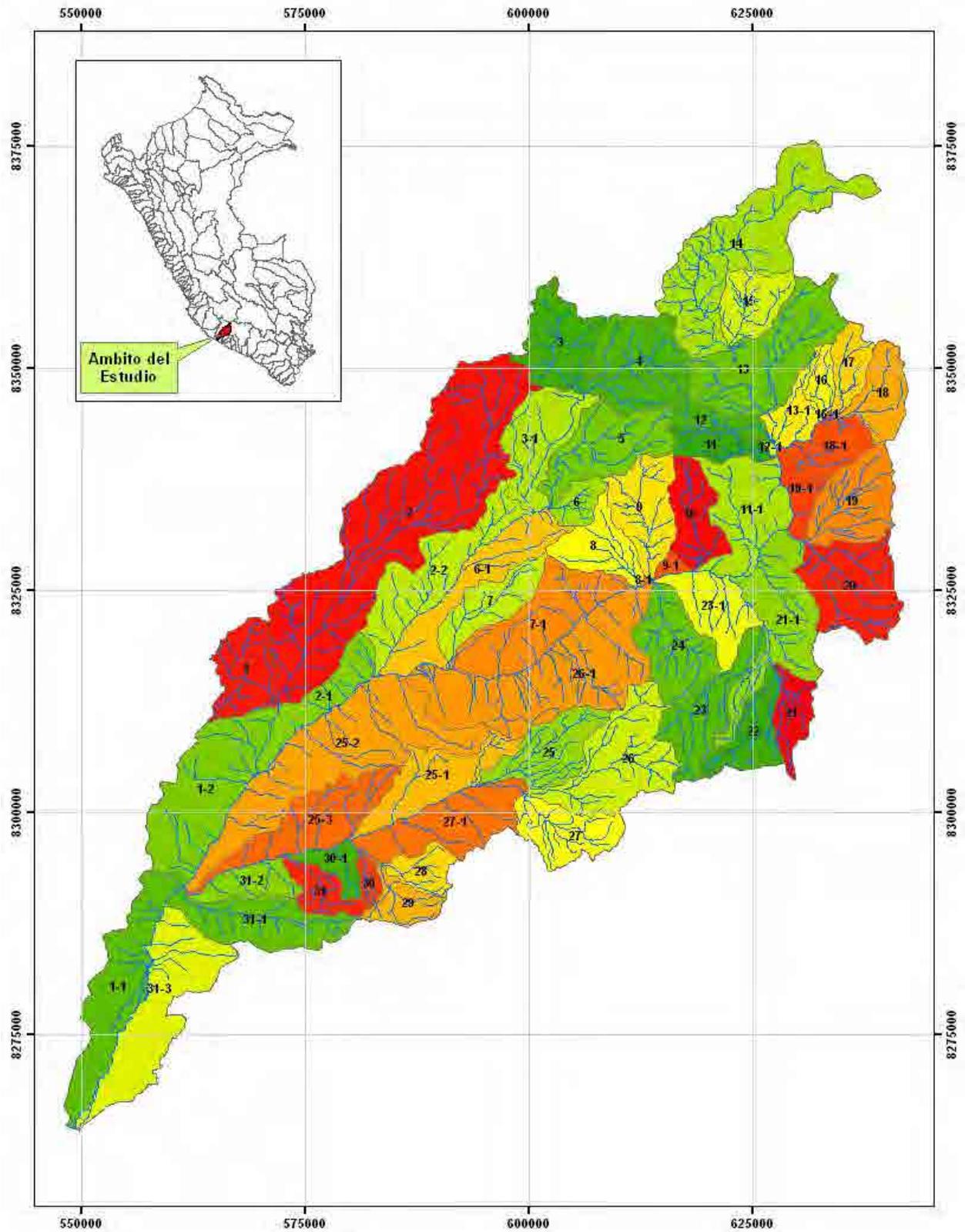


Figura N° 4.8. Subcuenca del río Yauca

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

SUBCUENCA	AREA [m ²]	PERIODO DE RETORNO T [AÑOS]					
		PT_2	PT_5	PT_10	PT_25	PT_50	PT_100
1	61,284,500	1.6	2.6	3.4	5.2	6.9	9.4
10	55,272,700	30.3	42.3	50.1	58.9	65.4	71.0
11	30,944,400	30.5	40.8	47.2	54.0	59.3	63.3
1-1	118,833,000	0.1	0.2	0.2	0.4	0.5	0.8
11-1	93,098,900	28.6	39.1	45.9	53.6	59.5	64.8
12	26,390,500	30.7	40.8	47.1	53.7	58.9	62.6
1-2	143,100,000	0.3	0.8	1.3	2.7	4.0	6.3
12-1	1,383,670	30.5	40.0	45.9	51.8	56.4	59.6
13	137,225,000	28.9	38.7	44.9	51.5	56.7	60.8
13-1	32,052,500	29.7	39.1	45.0	51.0	55.6	59.1
14	192,151,000	25.6	35.0	41.1	48.1	53.5	58.3
15	50,349,700	27.4	37.0	43.2	50.0	55.4	59.9
16	16,954,800	28.6	38.1	44.1	50.5	55.4	59.5
16-1	568,670	28.5	37.7	43.5	49.6	54.1	57.9
17	32,660,500	27.7	37.3	43.5	50.3	55.5	60.0
18	48,910,200	27.2	36.9	43.3	50.4	55.9	60.9
18-1	43,177,700	28.1	36.9	42.5	48.3	52.4	56.1
19	78,792,400	26.9	38.2	45.9	55.4	62.9	70.3
19-1	25,910,700	27.9	37.3	43.4	50.1	54.9	59.5
2	386,631,000	12.2	17.4	20.9	25.4	29.1	33.1
20	98,980,600	25.6	40.4	51.3	65.8	78.3	90.8
21	34,183,400	20.6	32.2	40.7	52.8	62.9	73.7
2-1	55,336,800	1.9	3.2	4.2	6.2	8.2	11.2
21-1	112,005,000	24.1	36.2	44.8	56.0	65.3	74.7
22	50,395,500	19.8	30.4	38.1	48.9	57.9	67.4
2-2	104,677,000	11.8	16.9	20.4	25.1	28.9	33.1
23	73,007,700	19.2	28.8	35.5	44.6	52.2	60.1
23-1	60,112,300	25.1	36.3	43.9	53.4	61.0	68.3
24	77,914,200	22.3	32.3	39.2	47.8	54.7	61.5
25	68,850,300	6.8	10.4	13.0	17.3	21.3	26.1
25-1	77,030,500	0.8	1.9	2.8	5.4	8.3	12.4
25-2	213,313,000	1.1	2.1	2.9	4.8	6.8	9.8
25-3	91,892,800	0.3	0.6	0.8	2.1	2.7	4.7
26	120,127,000	12.2	18.2	22.5	28.5	33.7	39.4
26-1	208,752,000	12.5	18.2	22.1	27.5	32.2	37.2
27	61,181,900	5.8	9.0	11.3	15.3	19.1	23.7
27-1	93,813,100	0.8	1.8	2.7	5.1	7.8	11.6
28	29,264,100	0.9	1.7	2.4	4.3	6.0	8.8
29	31,413,300	0.9	1.6	2.1	3.7	4.9	7.1
3	75,074,500	23.9	33.2	39.2	46.3	51.7	56.7
30	11,649,000	0.4	0.8	1.0	2.3	2.9	4.9
30-1	23,518,800	0.2	0.4	0.6	1.7	2.1	3.9
31	32,366,600	0.3	0.6	0.8	1.7	2.2	3.6
3-1	78,873,900	24.4	34.2	40.6	48.1	53.7	58.9
31-1	85,790,400	0.2	0.3	0.4	0.9	1.1	1.8
31-2	36,947,100	0.1	0.2	0.3	1.0	1.2	2.1
31-3	134,614,000	0.2	0.3	0.4	0.7	0.8	1.2
4	104,276,000	27.2	37.3	43.8	51.1	56.7	61.5
5	90,318,700	28.7	40.1	47.4	55.6	61.8	67.1
6	22,411,600	29.0	40.8	48.5	57.3	63.6	69.3

6-1	89,267,400	14.4	20.5	24.6	30.0	34.3	38.8
7	56,625,200	13.8	19.7	23.8	29.1	33.5	38.1
7-1	111,631,000	16.4	23.4	28.2	34.3	39.2	44.2
8	52,246,200	28.9	40.8	48.5	57.4	63.8	69.6
8-1	812,255	28.1	39.7	47.3	56.2	62.8	68.8
9	71,716,500	32.4	45.7	54.2	63.7	70.5	76.4
9-1	6,557,560	29.3	41.4	49.3	58.3	65.1	71.1

4.2.3 Análisis de Descargas Máximas Diarias

Para el análisis de máximas descargas diarias del río Yauca se empleó la información de la estación hidrométrica San Francisco Alto. Esta estación tiene un área de contribución de 3190 km². En la Figura 3.21 se muestra su ubicación en el ámbito de la cuenca del río Yauca

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

Cuadro N° 4.7. Descargas Máximas Diarias de la estación San Francisco Alto, río Yauca (m³/s)

AÑO	Q max
1961	109.82
1962	58.93
1963	54.11
1964	15.77
1965	36.54
1966	26.49
1967	211.06
1968	68.51
1969	64.97
1970	36.65
1971	20.70
1972	151.38
1973	123.13
1974	31.96
1975	137.20
1976	41.82
1977	69.11
1978	4.51
1979	20.10
1980	15.72
1981	23.56
1982	26.72
1983	12.60
1984	52.20
1985	17.65
1986	30.54
1987	24.06
1988	32.30
1989	198.39
1990	11.12
1991	42.60

1992	0.67
1993	19.57
1994	60.41
1995	20.93
1996	17.50
1997	13.09
1998	45.65
1999	195.03
2000	62.64
2001	118.06
2002	39.77
2003	45.81
2004	33.46
2005	6.61
2006	78.54
2007	50.14
2008	42.28

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° 4.9. Descargas Máximas para cada Periodo de Retorno, en la estación San Francisco Alto, río Yauca (m3/s)

Periodo de Retorno (Años)	Caudal Máximo
2	38.39
5	79.21
10	119.90
25	187.03
50	263.41
100	354.38

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 San Francisco Alto)

L =	136.00	Km
H =	4,093.00	Mts
Tc =	11.25	Hrs
Tv =	6.75	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 es menor que el tiempo de concentración de 11.25 horas calculado en el ítem previo, esto indica que los valores pico de las descargas estimadas en la estación hidrométrica San Francisco Alto no corresponderán a la contribución simultánea de la escorrentía de la cuenca completa del río Yauca hasta la ubicación de la estación hidrométrica San Francisco Alto.

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 San Francisco Alto.

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° 4.5. Precipitaciones Máximas para Duraciones de Tormenta de 10 horas (mm), según Dick - Peschke

T [Años]	Pp Areal Max 24 Horas [mm]	Pp Max, [mm]
2	23.00	18.92
5	28.00	22.50
10	33.00	26.51
25	39.00	31.33
50	45.00	36.15
100	50.00	40.17

Las precipitaciones máximas diarias para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años son de 23, 28, 33, 39, 45 y 50 mm respectivamente, y para una duración de tormenta de 10 horas le corresponden precipitaciones de 19, 23, 27, 31, 36 y 40 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. Histograma para diferentes Periodos de Retorno, Duración de Tormenta de 10 horas

T [Años]	Hora										PP total [mm]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
2	1	2	2	4	3	2	2	2	1	1	18.92
5	1	2	3	4	3	3	2	2	1	1	23.04
10	1	2	4	5	4	3	3	2	2	1	27.15
25	2	3	4	6	4	4	3	3	2	1	32.09
50	2	3	5	7	5	4	4	3	2	1	37.03
100	2	4	5	8	6	5	4	3	2	2	41.14

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 del terreno.

Cuadro N° 4.12. Número de Curva (CN) en Función del Grupo Hidrológico del Suelo y del Uso 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 Yauca. 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 Yauca.

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 74

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 San Francisco Alto.- Para estimar las perdidas se utilizo el metodo del Numero se Curva de la SCS, para la tranformación de la precipitación efectiva en caudal se utilizo el metodo del Hidrograma Unitario de la SCS, adicionalmente como información básica para el modelo se conisdera el area de la cuenca de 2981 km². Debido a las pequeñas descargas promedio generalmente observadas en el río Yauca se asumió que no había flujo base previo a la ocurrencia de máximas avenidas.

Modelo Metereológico.- De acuerdo a la calculado en el item. N° 3.2 Análisis de la Infromacion Pluviometrica y Ley de Frecuencias, el modelo meteorológico se ingresan los hietogramas para la avenida de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, para una duracion de tormenta de 10 horas.

Especificaciones de Control.- Para realizar la simulacion de la avenida se especifica una fecha de inicio y final dentro de este rango se presntaran los resultados de la simulacion y el hidrograma de avenida, para este caso la fecha de inicio es el 04 de febrero del 2010 a las 00:00 horas y la fecha de fin es el 06 de febrero del 2010 a las 12:00 pm.

Según las recomendaciones del Manual de Referencias Técnicas del modelo HEC-HMS, el mínimo intervalo de tiempo computacional se calcula como 0.29 veces el tiempo de retardo de la cuenca. Aproximando el tiempo de retardo como 0.6 veces el tiempo de concentración, se obtiene un tiempo de retardo de 6.75 horas y un mínimo intervalo de tiempo computacional de 1.95 horas. Con un criterio conservador se ha empleado un intervalo de tiempo computacional de 1 hora.

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

El concepto de la calibración fue ajustar un número de curva que produzca valores de descargas pico similares a las máximas descargas diarias estimadas. Siguiendo este procedimiento se obtuvo un número de curva de 74 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 las simulaciones para las avenidas de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años de periodo de retorno.

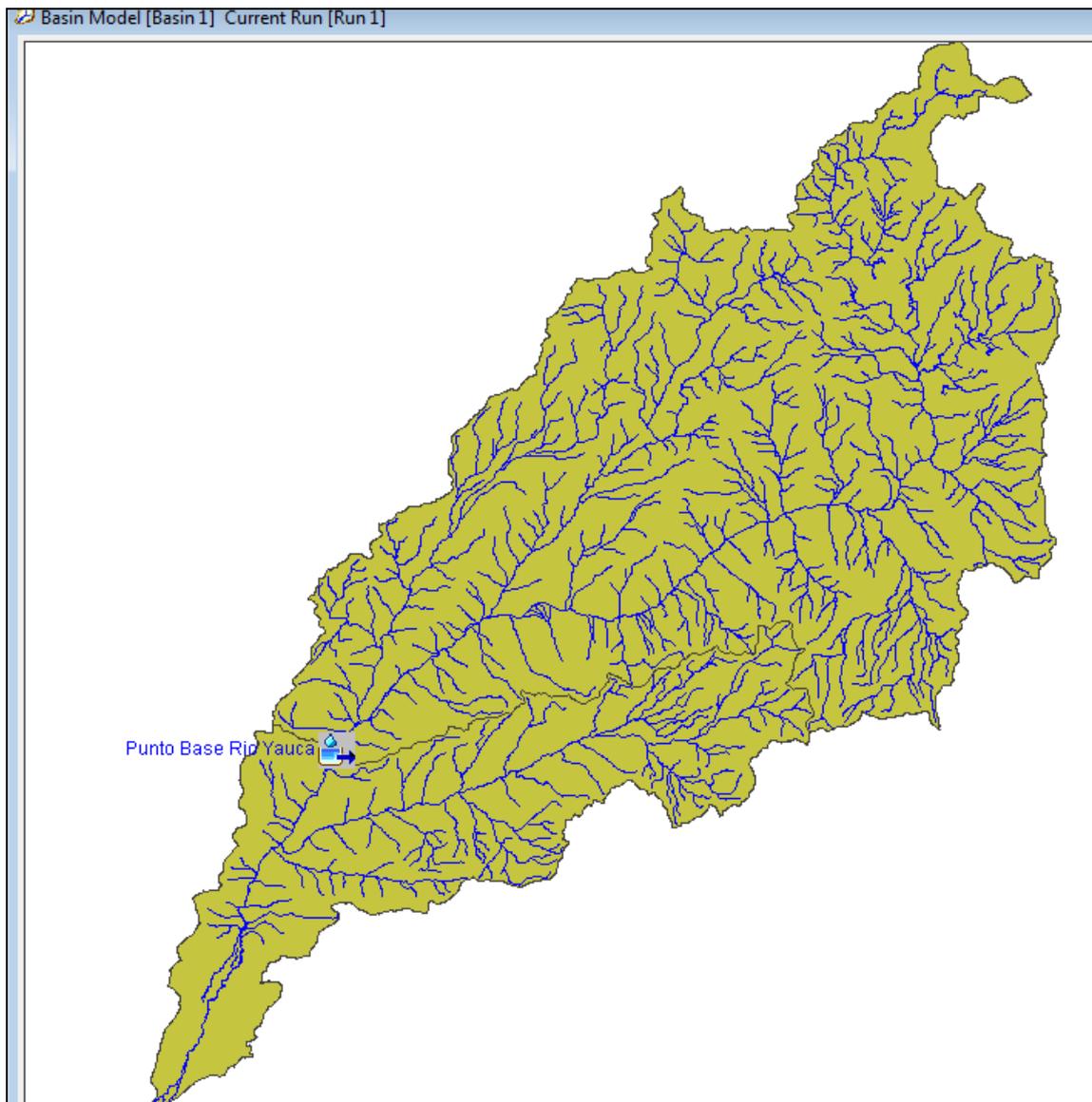


Figura N° 4.9. Modelo de Cuenca del río Yauca en el Software HEC-HMS

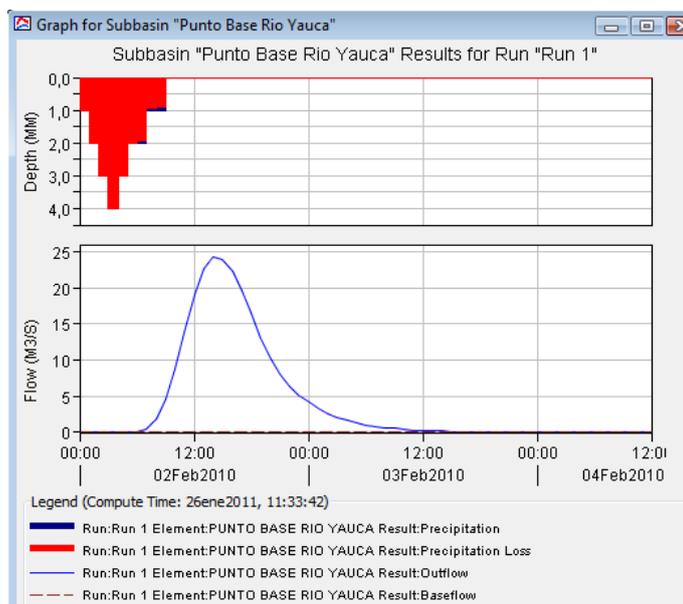


Figura N° 4.10. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Yauca, Periodo de Retorno de 2 años

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 26 horas de su inicio.



Figura N° 4.11.Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Yauca, 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 24.2 m³/s. La descarga máxima pasa aproximadamente a las 15 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	hora	Precipitacion (mm)	Perdida (mm)	Exceso (mm)	Escorrentia (m ³ /s)
02-Feb-10	00:00				0,0
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	4,00	0,00	0,0
02-Feb-10	05:00	3,00	3,00	0,00	0,0
02-Feb-10	06:00	2,00	2,00	0,00	0,0
02-Feb-10	07:00	2,00	1,92	0,08	0,5
02-Feb-10	08:00	1,00	0,92	0,08	1,8
02-Feb-10	09:00	1,00	0,90	0,10	4,6
02-Feb-10	10:00	0,00	0,00	0,00	8,7
02-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	13,9
02-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	19,0
02-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	22,6
02-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	24,2
02-Feb-10	15:00	0,00	0,00	0,00	23,9
02-Feb-10	16:00	0,00	0,00	0,00	22,4
02-Feb-10	17:00	0,00	0,00	0,00	19,7
02-Feb-10	18:00	0,00	0,00	0,00	16,4
02-Feb-10	19:00	0,00	0,00	0,00	13,1
02-Feb-10	20:00	0,00	0,00	0,00	10,2
02-Feb-10	21:00	0,00	0,00	0,00	8,1
02-Feb-10	22:00	0,00	0,00	0,00	6,5
02-Feb-10	23:00	0,00	0,00	0,00	5,2
03-Feb-10	00:00	0,00	0,00	0,00	4,2
03-Feb-10	01:00	0,00	0,00	0,00	3,3
03-Feb-10	02:00	0,00	0,00	0,00	2,7
03-Feb-10	03:00	0,00	0,00	0,00	2,1
03-Feb-10	04:00	0,00	0,00	0,00	1,7
03-Feb-10	05:00	0,00	0,00	0,00	1,4
03-Feb-10	06:00	0,00	0,00	0,00	1,1
03-Feb-10	07:00	0,00	0,00	0,00	0,9
03-Feb-10	08:00	0,00	0,00	0,00	0,7
03-Feb-10	09:00	0,00	0,00	0,00	0,6
03-Feb-10	10:00	0,00	0,00	0,00	0,4
03-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	0,4
03-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	0,3
03-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	0,2
03-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	0,2
03-Feb-10	15:00	0,00	0,00	0,00	0,2
03-Feb-10	16:00	0,00	0,00	0,00	0,1
03-Feb-10	17:00	0,00	0,00	0,00	0,1
03-Feb-10	18:00	0,00	0,00	0,00	0,0

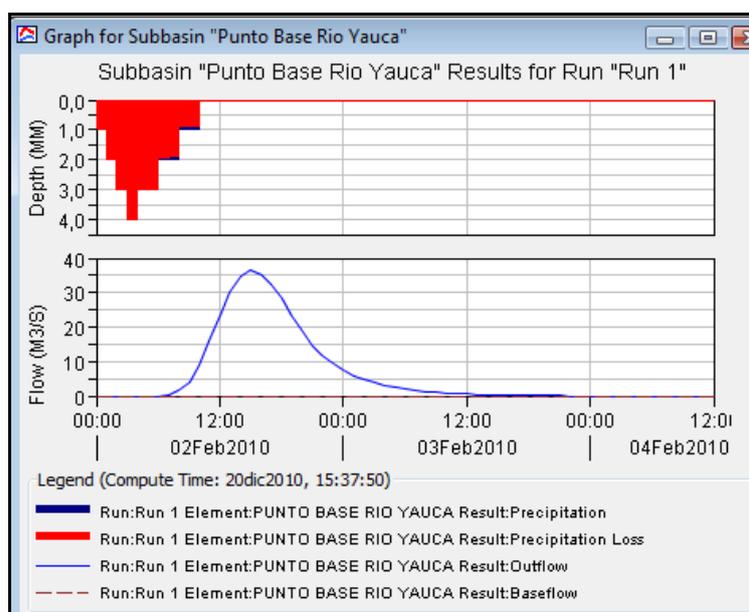


Figura N° 4.12. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Yauca, Periodo de Retorno de 5 años

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



Figura N° 4.13. Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Yauca, 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 36.5 m³/s. La descarga máxima pasa aproximadamente a las 15 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	hora	Precipitación (mm)	Perdida (mm)	Exceso (mm)	Escorrentía (m ³ /s)
02-Feb-10	00:00				0,0
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	4,00	0,00	0,0
02-Feb-10	05:00	3,00	3,00	0,00	0,0
02-Feb-10	06:00	3,00	3,00	0,00	0,0
02-Feb-10	07:00	2,00	1,95	0,05	0,2
02-Feb-10	08:00	2,00	1,86	0,14	1,4
02-Feb-10	09:00	1,00	0,90	0,10	4,1
02-Feb-10	10:00	1,00	0,88	0,12	8,9
02-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	15,7
02-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	23,4
02-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	30,3
02-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	34,9
02-Feb-10	15:00	0,00	0,00	0,00	36,5
02-Feb-10	16:00	0,00	0,00	0,00	35,4
02-Feb-10	17:00	0,00	0,00	0,00	32,6
02-Feb-10	18:00	0,00	0,00	0,00	28,2
02-Feb-10	19:00	0,00	0,00	0,00	23,3
02-Feb-10	20:00	0,00	0,00	0,00	18,5
02-Feb-10	21:00	0,00	0,00	0,00	14,5
02-Feb-10	22:00	0,00	0,00	0,00	11,5
02-Feb-10	23:00	0,00	0,00	0,00	9,2
03-Feb-10	00:00	0,00	0,00	0,00	7,4
03-Feb-10	01:00	0,00	0,00	0,00	6,0
03-Feb-10	02:00	0,00	0,00	0,00	4,7
03-Feb-10	03:00	0,00	0,00	0,00	3,8
03-Feb-10	04:00	0,00	0,00	0,00	3,0
03-Feb-10	05:00	0,00	0,00	0,00	2,4
03-Feb-10	06:00	0,00	0,00	0,00	1,9
03-Feb-10	07:00	0,00	0,00	0,00	1,5
03-Feb-10	08:00	0,00	0,00	0,00	1,2
03-Feb-10	09:00	0,00	0,00	0,00	1,0

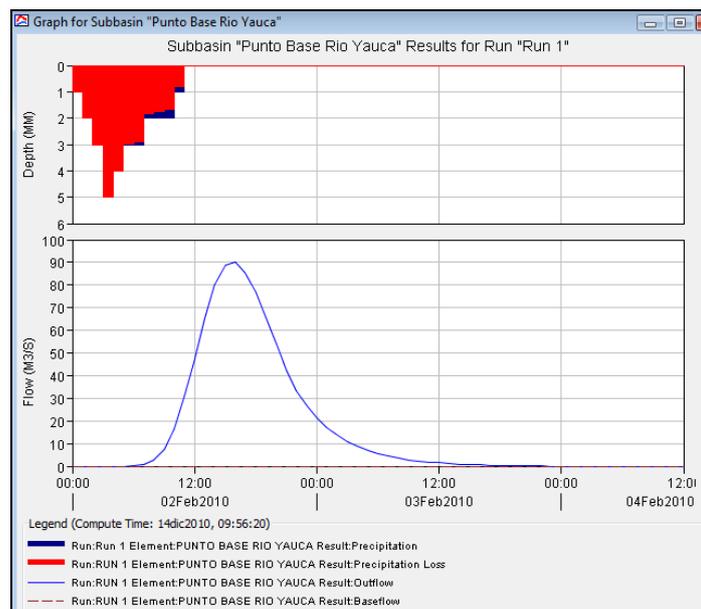


Figura N° 4.14. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Yauca, Periodo de Retorno de 10 años

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.

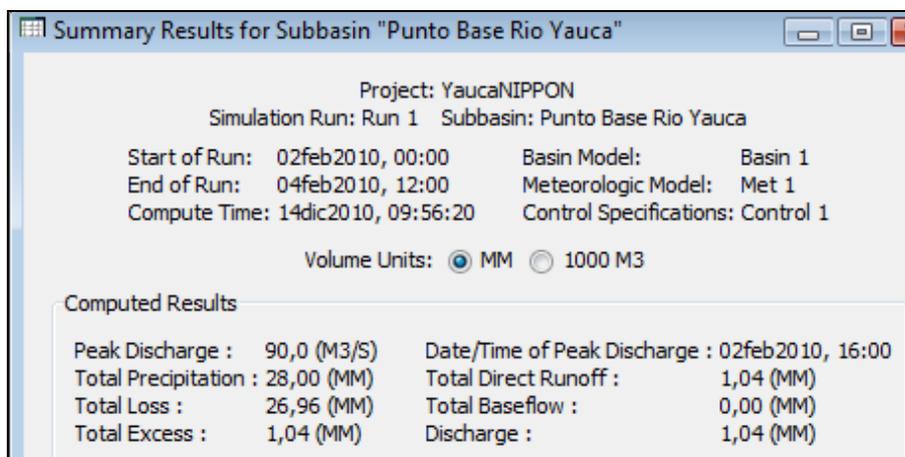


Figura N° 4.15. Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Yauca, Periodo de Retorno de 10 años

En la Figura N° 4.15 se tiene el caudal máximo calculado para un periodo de retorno de 10 años de 90.0 m³/s. La descarga máxima pasa aproximadamente a las 16 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	hora	Precipitacion (mm)	Perdida (mm)	Exceso (mm)	Escorrentia (m ³ /s)
02-Feb-10	00:00				0,0
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	5,00	0,00	0,0
02-Feb-10	05:00	4,00	4,00	0,00	0,0
02-Feb-10	06:00	3,00	3,00	0,00	0,0
02-Feb-10	07:00	3,00	2,89	0,11	0,6
02-Feb-10	08:00	2,00	1,83	0,17	2,6
02-Feb-10	09:00	2,00	1,75	0,25	7,2
02-Feb-10	10:00	2,00	1,68	0,32	16,4
02-Feb-10	11:00	1,00	0,81	0,19	30,4
02-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	47,6
02-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	65,4
02-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	80,3
02-Feb-10	15:00	0,00	0,00	0,00	88,7
02-Feb-10	16:00	0,00	0,00	0,00	90,0
02-Feb-10	17:00	0,00	0,00	0,00	85,6

02-Feb-10	18:00	0,00	0,00	0,00	76,8
02-Feb-10	19:00	0,00	0,00	0,00	65,6
02-Feb-10	20:00	0,00	0,00	0,00	53,7
02-Feb-10	21:00	0,00	0,00	0,00	42,5
02-Feb-10	22:00	0,00	0,00	0,00	33,4
02-Feb-10	23:00	0,00	0,00	0,00	26,6
03-Feb-10	00:00	0,00	0,00	0,00	21,4
03-Feb-10	01:00	0,00	0,00	0,00	17,2
03-Feb-10	02:00	0,00	0,00	0,00	13,7
03-Feb-10	03:00	0,00	0,00	0,00	10,9
03-Feb-10	04:00	0,00	0,00	0,00	8,7
03-Feb-10	05:00	0,00	0,00	0,00	7,0
03-Feb-10	06:00	0,00	0,00	0,00	5,6
03-Feb-10	07:00	0,00	0,00	0,00	4,4
03-Feb-10	08:00	0,00	0,00	0,00	3,5
03-Feb-10	09:00	0,00	0,00	0,00	2,8
03-Feb-10	10:00	0,00	0,00	0,00	2,3
03-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	1,8
03-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	1,5
03-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	1,2
03-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	1,0
03-Feb-10	15:00	0,00	0,00	0,00	0,8
03-Feb-10	16:00	0,00	0,00	0,00	0,6
03-Feb-10	17:00	0,00	0,00	0,00	0,5
03-Feb-10	18:00	0,00	0,00	0,00	0,3
03-Feb-10	19:00	0,00	0,00	0,00	0,2
03-Feb-10	20:00	0,00	0,00	0,00	0,1
03-Feb-10	21:00	0,00	0,00	0,00	0,0

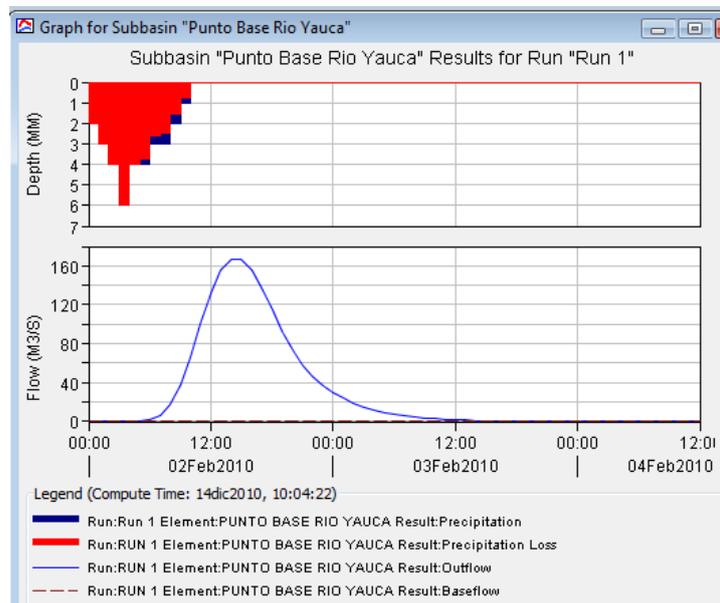


Figura N° 4.16. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Yauca, Periodo de Retorno de 25 años

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.

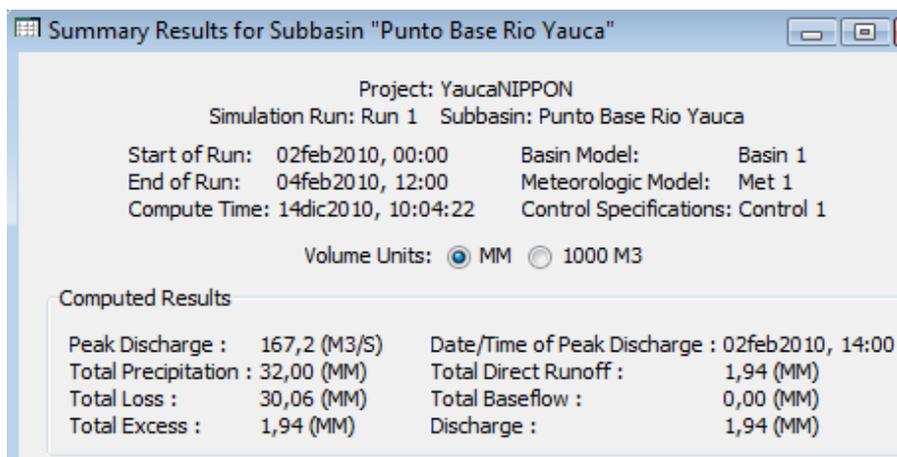


Figura N° 4.17. Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Yauca, Periodo de Retorno de 25 años

En la Figura N° 4.17 se tiene el caudal máximo calculado para un periodo de retorno de 25 años de 167.2 m³/s. La descarga máxima pasa aproximadamente a las 14 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	hora	Precipitacion (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	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	6,00	0,00	0,0
02-Feb-10	05:00	4,00	3,99	0,01	0,1
02-Feb-10	06:00	4,00	3,73	0,27	1,6
02-Feb-10	07:00	3,00	2,60	0,40	6,6
02-Feb-10	08:00	3,00	2,44	0,56	17,9
02-Feb-10	09:00	2,00	1,55	0,45	38,0
02-Feb-10	10:00	1,00	0,75	0,25	66,8
02-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	100,3
02-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	132,1
02-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	156,0
02-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	167,2
02-Feb-10	15:00	0,00	0,00	0,00	166,1
02-Feb-10	16:00	0,00	0,00	0,00	155,1
02-Feb-10	17:00	0,00	0,00	0,00	137,0
02-Feb-10	18:00	0,00	0,00	0,00	115,3
02-Feb-10	19:00	0,00	0,00	0,00	93,4
02-Feb-10	20:00	0,00	0,00	0,00	73,8
02-Feb-10	21:00	0,00	0,00	0,00	58,3
02-Feb-10	22:00	0,00	0,00	0,00	46,5
02-Feb-10	23:00	0,00	0,00	0,00	37,4

03-Feb-10	00:00	0,00	0,00	0,00	30,0
03-Feb-10	01:00	0,00	0,00	0,00	23,9
03-Feb-10	02:00	0,00	0,00	0,00	19,1
03-Feb-10	03:00	0,00	0,00	0,00	15,2
03-Feb-10	04:00	0,00	0,00	0,00	12,2
03-Feb-10	05:00	0,00	0,00	0,00	9,7
03-Feb-10	06:00	0,00	0,00	0,00	7,7
03-Feb-10	07:00	0,00	0,00	0,00	6,2
03-Feb-10	08:00	0,00	0,00	0,00	5,0
03-Feb-10	09:00	0,00	0,00	0,00	4,0
03-Feb-10	10:00	0,00	0,00	0,00	3,2
03-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	2,5
03-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	2,1
03-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	1,7
03-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	1,4
03-Feb-10	15:00	0,00	0,00	0,00	1,1
03-Feb-10	16:00	0,00	0,00	0,00	0,8
03-Feb-10	17:00	0,00	0,00	0,00	0,6
03-Feb-10	18:00	0,00	0,00	0,00	0,3
03-Feb-10	19:00	0,00	0,00	0,00	0,2
03-Feb-10	20:00	0,00	0,00	0,00	0,1
03-Feb-10	21:00	0,00	0,00	0,00	0,0

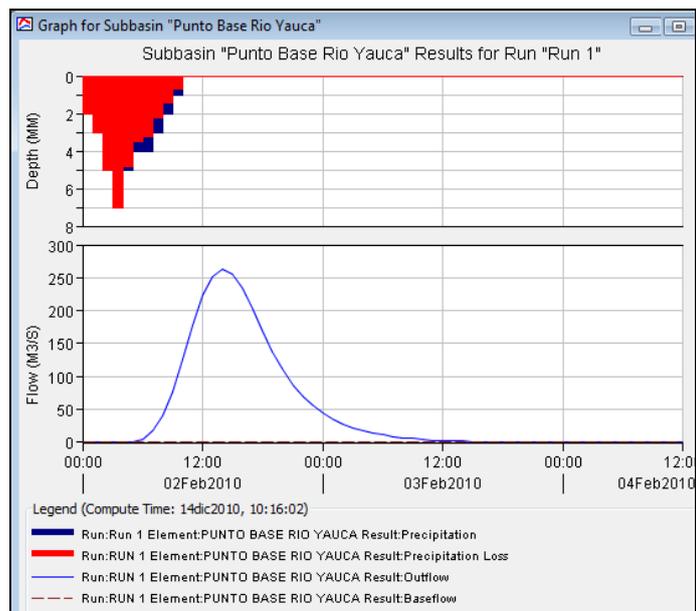


Figura N° 4.18. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Yauca, Periodo de Retorno de 50 años

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.

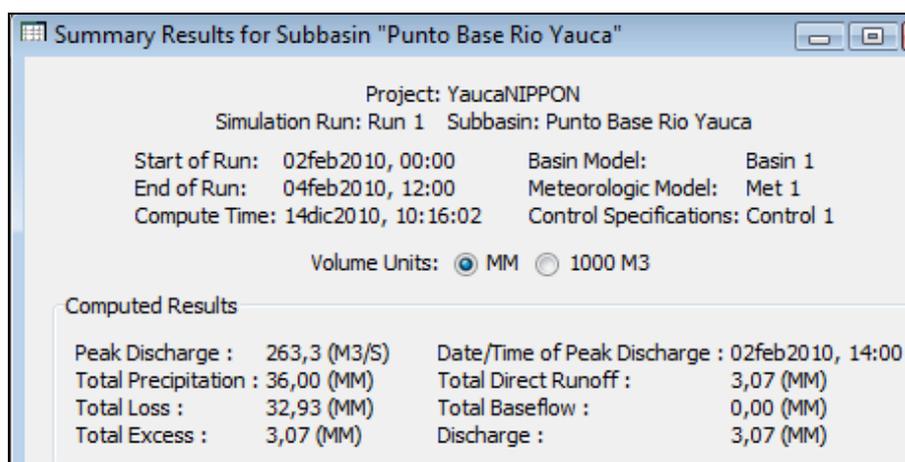


Figura N° 4.19. Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Yauca, Periodo de Retorno de 50 años

En la Figura N° 4.19 se tiene el caudal máximo calculado para un periodo de retorno de 50 años de 263.3 m³/s. La descarga máxima pasa aproximadamente a las 14 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	hora	Precipitacion (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	3,00	3,00	0,00	0,0
02-Feb-10	03:00	5,00	5,00	0,00	0,0
02-Feb-10	04:00	7,00	7,00	0,00	0,0
02-Feb-10	05:00	5,00	4,82	0,18	1,0
02-Feb-10	06:00	4,00	3,50	0,50	5,4
02-Feb-10	07:00	4,00	3,23	0,77	17,3
02-Feb-10	08:00	3,00	2,26	0,74	40,5
02-Feb-10	09:00	2,00	1,43	0,57	77,3
02-Feb-10	10:00	1,00	0,70	0,30	125,6
02-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	177,2
02-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	222,2
02-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	252,3
02-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	263,3
02-Feb-10	15:00	0,00	0,00	0,00	256,1
02-Feb-10	16:00	0,00	0,00	0,00	234,8
02-Feb-10	17:00	0,00	0,00	0,00	204,4
02-Feb-10	18:00	0,00	0,00	0,00	170,0
02-Feb-10	19:00	0,00	0,00	0,00	137,0
02-Feb-10	20:00	0,00	0,00	0,00	108,5
02-Feb-10	21:00	0,00	0,00	0,00	85,9
02-Feb-10	22:00	0,00	0,00	0,00	68,7
02-Feb-10	23:00	0,00	0,00	0,00	55,1

03-Feb-10	00:00	0,00	0,00	0,00	44,1
03-Feb-10	01:00	0,00	0,00	0,00	35,3
03-Feb-10	02:00	0,00	0,00	0,00	28,1
03-Feb-10	03:00	0,00	0,00	0,00	22,4
03-Feb-10	04:00	0,00	0,00	0,00	17,9
03-Feb-10	05:00	0,00	0,00	0,00	14,3
03-Feb-10	06:00	0,00	0,00	0,00	11,4
03-Feb-10	07:00	0,00	0,00	0,00	9,1
03-Feb-10	08:00	0,00	0,00	0,00	7,3
03-Feb-10	09:00	0,00	0,00	0,00	5,8
03-Feb-10	10:00	0,00	0,00	0,00	4,7
03-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	3,8
03-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	3,1
03-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	2,5
03-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	2,0
03-Feb-10	15:00	0,00	0,00	0,00	1,6
03-Feb-10	16:00	0,00	0,00	0,00	1,1
03-Feb-10	17:00	0,00	0,00	0,00	0,7
03-Feb-10	18:00	0,00	0,00	0,00	0,4
03-Feb-10	19:00	0,00	0,00	0,00	0,2
03-Feb-10	20:00	0,00	0,00	0,00	0,1
03-Feb-10	21:00	0,00	0,00	0,00	0,0

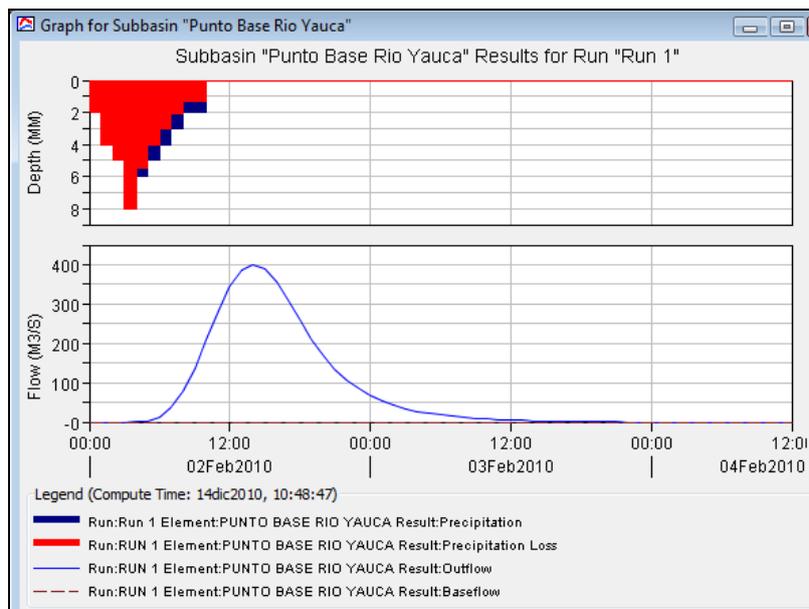


Figura N° 4.20. Hidrograma de Avenida del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Yauca, Periodo de Retorno de 100 años

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.

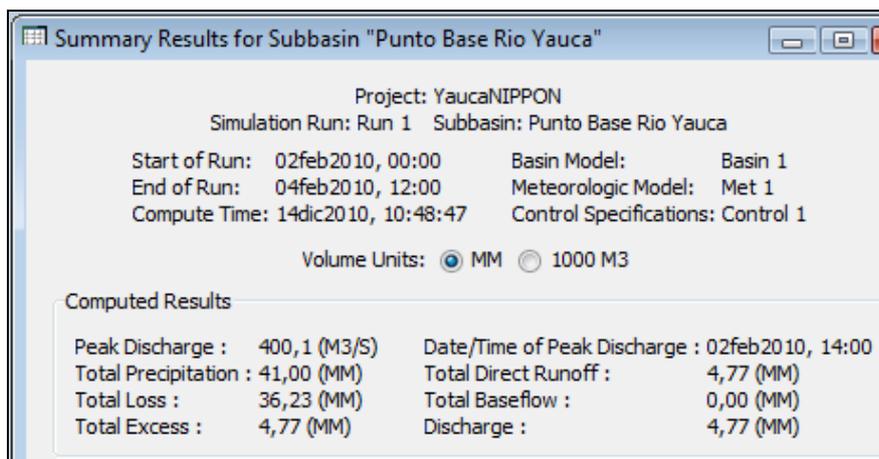


Figura N° 4.21. Resultado de la Simulación del Modelo Precipitación – Escorrentía de la Cuenca del río Yauca, Periodo de Retorno de 100 años

En la Figura N° 4.21 se tiene el caudal máximo calculado para un periodo de retorno de 100 años de 400.1 m³/s. La descarga máxima pasa aproximadamente a las 14 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	hora	Precipitacion (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	4,00	4,00	0,00	0,0
02-Feb-10	03:00	5,00	5,00	0,00	0,0
02-Feb-10	04:00	8,00	7,99	0,01	0,1
02-Feb-10	05:00	6,00	5,48	0,52	2,9
02-Feb-10	06:00	5,00	4,07	0,93	13,2
02-Feb-10	07:00	4,00	2,98	1,02	35,9
02-Feb-10	08:00	3,00	2,09	0,91	76,4
02-Feb-10	09:00	2,00	1,33	0,67	135,7
02-Feb-10	10:00	2,00	1,28	0,72	208,5
02-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	281,9
02-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	343,6
02-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	385,1
02-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	400,1
02-Feb-10	15:00	0,00	0,00	0,00	388,2
02-Feb-10	16:00	0,00	0,00	0,00	354,9
02-Feb-10	17:00	0,00	0,00	0,00	309,2
02-Feb-10	18:00	0,00	0,00	0,00	258,2
02-Feb-10	19:00	0,00	0,00	0,00	210,2
02-Feb-10	20:00	0,00	0,00	0,00	167,6
02-Feb-10	21:00	0,00	0,00	0,00	132,3
02-Feb-10	22:00	0,00	0,00	0,00	105,5
02-Feb-10	23:00	0,00	0,00	0,00	84,5

03-Feb-10	00:00	0,00	0,00	0,00	67,8
03-Feb-10	01:00	0,00	0,00	0,00	54,2
03-Feb-10	02:00	0,00	0,00	0,00	43,2
03-Feb-10	03:00	0,00	0,00	0,00	34,5
03-Feb-10	04:00	0,00	0,00	0,00	27,5
03-Feb-10	05:00	0,00	0,00	0,00	22,0
03-Feb-10	06:00	0,00	0,00	0,00	17,5
03-Feb-10	07:00	0,00	0,00	0,00	14,0
03-Feb-10	08:00	0,00	0,00	0,00	11,2
03-Feb-10	09:00	0,00	0,00	0,00	9,0
03-Feb-10	10:00	0,00	0,00	0,00	7,2
03-Feb-10	11:00	0,00	0,00	0,00	5,8
03-Feb-10	12:00	0,00	0,00	0,00	4,7
03-Feb-10	13:00	0,00	0,00	0,00	3,8
03-Feb-10	14:00	0,00	0,00	0,00	3,0
03-Feb-10	15:00	0,00	0,00	0,00	2,3
03-Feb-10	16:00	0,00	0,00	0,00	1,7
03-Feb-10	17:00	0,00	0,00	0,00	1,1
03-Feb-10	18:00	0,00	0,00	0,00	0,7
03-Feb-10	19:00	0,00	0,00	0,00	0,3
03-Feb-10	20:00	0,00	0,00	0,00	0,1
03-Feb-10	21:00	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 Yauca hasta la ubicación de la estación hidrométrica San Francisco Alto.

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

T [Años]	Q [m³/s]
2	24.0
5	36.5
10	90.0
25	167.2
50	263.3
100	400.1

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 74).

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.