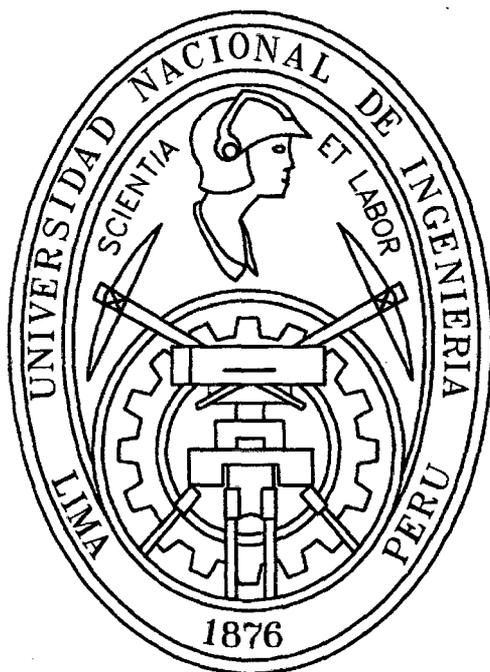


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**ANÁLISIS HIDROLÓGICO APLICANDO EL SISTEMA DE  
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y COMPARACIÓN DE MODELOS  
EN LA CUENCA DEL RIO CRISNEJAS**

**TESIS**

Para optar el Título Profesional de:

**INGENIERO CIVIL**

**ISRAEL VICENTE MONTALVO**

Lima - Perú

2011

**Digitalizado por:**

**Consortio Digital del  
Conocimiento MebLatam,  
Hemisferio y Dalse**

## **DEDICATORIAS.**

### **A Dios.**

*Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.*

### **A mi madre Maria.**

*Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor.*

### **A mi padre Luis.**

*Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante.*

### **A mi hermana Sandra.**

*Por ser el ejemplo de una hermana y de la cual aprendí muchas cosas de la vida, además de estar en todo momento conmigo*

*¡Gracias a ustedes!*

**INDICE**

<b>RESUMEN</b> .....	<b>1</b>
<b>LISTA DE CUADROS</b> .....	<b>2</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>5</b>
<b>LISTA DE SIMBOLOS Y SIGLAS</b> .....	<b>7</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>9</b>
<b>CAPITULO 1.-FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	<b>11</b>
1.1.- RESEÑA HISTÓRICA DE LOS MODELOS EN HIDROLOGÍA .....	11
1.2 -SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	13
1.2.1 Generalidades .....	13
1.2.2 Datos geográficos .....	14
1.2.3 Elementos avanzados.....	15
1.2.4 Diferencias entre el SIG y el CAD .....	17
1.3 LA CUENCA .....	18
1.3.1 Definición .....	18
1.3.2 Parametros Fisiograficos .....	18
1.4 PRECIPITACIÓN .....	21
1.4.1 Definición .....	21
1.4.2 Análisis de datos de precipitación .....	21
1.5 ABSTRACCIONES HIDROLÓGICAS.....	21
1.5.1 Intercepción .....	22
1.5.2 Infiltración .....	22
1.5.3 Almacenamiento superficial .....	23
1.5.4 Evaporación.....	23
1.5.5 Evapotranspiración (ETP).....	23
1.6 ESCORRENTÍA.....	23
1.6.1 Definición .....	23
1.6.2 Tiempo de concentración.....	24
1.6.3 Modelos de tránsito de hidrogramas .....	25
1.7.CONCEPTOS DE PROBABILIDAD Y ESTADISTICA EN HIDROLOGIA ..	29
1.7.1 Función de probabilidad.....	30
1.7.2 Periodos de retorno .....	31
1.7.3 Pruebas de bondad de ajuste .....	31
1.8 MODELOS BÁSICOS EN HIDROLOGÍA.....	31
1.8.1 Clasificación de modelos .....	31

1.8.2 Aplicaciones de los modelos hidrológicos .....	32
1.8.3 Selección de los modelos hidrológicos.....	33
<b>CAPITULO 2.-DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA DEL RIO CRISNEJAS.....</b>	<b>34</b>
2.1 UBICACIÓN .....	34
2.2 FORMACIÓN DEL RÍO CRISNEJAS .....	34
2.2 PARÁMETROS FÍSICOS DE LA CUENCA DEL RIO CRISNEJAS .....	36
2.2.1 Pendiente del cauce principal .....	36
2.2.2 Cálculo de la altitud media .....	36
2.3 GEOMORFOLOGÍA .....	37
2.4 ESTRATIGRAFÍA.....	38
2.5. RECURSOS HÍDRICOS .....	39
2.6 ESTRUCTURA DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA .....	42
<b>CAPITULO 3.-MODELOS MATEMÁTICOS EN EL PROCESO DE GENERACIÓN DE CAUDALES .....</b>	<b>45</b>
3.1 INTRODUCCIÓN .....	45
3.2 SIGNIFICADO FÍSICO DE PARÁMETROS USADOS EN LOS MODELOS .....	45
3.2.1.-Hietogramas de diseño para un evento de tormenta.....	45
3.2.2 Método de escurrimiento curva número (CN).....	46
3.2.3.Modelos de precipitación - escorrentía.....	52
3.3 PROCESO DE MODELAMIENTO PARA LA GENERACIÓN DE CAUDALES .....	56
3.3.1 Componentes de la escorrentía .....	56
3.3.2 Calibración y evaluación de modelos precipitación - escorrentía .....	58
3.3.3 Descripción de los modelos a usarse en la cuenca del río Crisnejas .	58
3.3.4 Cálculos Posteriores .....	67
<b>CAPITULO 4.-INFORMACIÓN BÁSICA .....</b>	<b>68</b>
4.1 PRECIPITACIÓN .....	68
4.2 PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE .....	69
4.4 PRECIPITACIÓN DE DISEÑO PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO.....	69
<b>CAPITULO 5.- APLICACIÓN DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS A LA CUENCA DEL RÍO CRISNEJAS.....</b>	<b>71</b>
5.1 PARAMETROS DE ENTRADA.....	71
5.1.1. Propiedades fisiograficas de las sub cuencas .....	71
5.1.2 Hietogramas de diseño .....	72

---

5.1.3	Análisis de tiempo de concentración .....	78
5.1.4	Parámetro de transito de hidrogramas .....	79
5.1.5	Modelo de escurrimiento Curva-Número .....	80
5.1.6	Modelos de Precipitación- Escorrentía .....	83
5.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	85
5.2.1	Resultados de salida .....	85
5.2.2	Hidrogramas de salida .....	88
5.2.3	Comparación de resultados .....	93
	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>97</b>
	<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>98</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>99</b>
	<b>ANEXOS</b>	

## RESUMEN

En la tesis se evalúa la aplicación de dos modelos para la generación de caudales máximos de avenidas a partir de datos de precipitación máximos en 24 horas, usando el Sistema de Información Geográfica (SIG) en un entorno de pronóstico Hidrológico dado, como es la cuenca del río Crisnejas (afluente del río Marañón), en condiciones de información limitada en el tiempo y el espacio.

La información de precipitación se obtiene por medio de una red de estaciones Pluviométricas y se procesa con ayuda de herramientas de computadora para el cumplimiento del objetivo. Los caudales máximos obtenidos por los Modelos, para diferentes periodos de retorno, servirían en el futuro para posibles diseños de obras hidráulicas, evaluación del transporte de sedimentos, etc.

En el primer modelo aplicado para desarrollar el Hidrograma de avenida se usó el Hidrograma Unitario sintético de Snyder con una discretización de 6 y 18 subcuencas y en el segundo modelo se usa el Hidrograma Unitario Sintético del SCS con la misma discretización, evaluando su factibilidad por medio de la calibración que permitió tener un grado de confiabilidad en el comportamiento de la cuenca en análisis. Para la calibración se tomó como base la estación Puente Crisnejas que abarca una determinada parte de dicha cuenca y en base a los resultados de tal simulación poder determinar cual de ellos se ajusta mejor al comportamiento hidrológico de la cuenca.

Estos resultados muestran los valores de caudales máximos en un punto que depende mucho del grado de discretización y de las ecuaciones que se están usando para describir el comportamiento hidrológico de la zona en estudio.

## LISTA DE CUADROS

Cuadro N°1.1.- Criterios de probabilidad en Hidrología	30
Cuadro N°1.2.- Clasificación de modelos fomaes en Hidrología	32
Cuadro N°1.3.- Propiedades a tomar en cuenta en los modelos hidrológicos	33
Cuadro N°2.1.- Principales afluentes de la cuenca del río Crisnejas	35
Cuadro N°2.2.- Parámetros fisiográficos de la cuenca del río Crisnejas	36
Cuadro N°2.3.- Determinación de la pendiente del cauce principal del río Crisnejas	36
Cuadro N°2.4.- Determinación de la altitud media de la cuenca del río Crisnejas	37
Cuadro N°2.5a.- Estratigrafía de la cuenca del río Crisnejas	40
Cuadro N°2.5b.- Estratigrafía de la cuenca del río Crisnejas	41
Cuadro N°2.6.- Periodos del ciclo hidrológico del río Crisnejas	42
Cuadro N°2.7.- Zonas de la cuenca Crisnejas para el estudio de cultivos	42
Cuadro N°2.8.- Área de cultivos en la zona 1 en hectáreas	43
Cuadro N°2.9.- Área de cultivos en la zona 2 en hectáreas	44
Cuadro N°2.10.- Área de cultivos en la zona 3 en hectáreas	44
Cuadro N°2.11.- Área de cultivos en la zona 4 en hectáreas	44
Cuadro N°3.1.- Distribuciones de Lluvia para 24 horas	46
Cuadro N°3.2.- Uso de la tierra	50
Cuadro N°3.3.- Valores de CN para la condición de Humedad Antecedente II	51
Cuadro N°3.4.- Ordenadas del Hidrograma Unitario suavizado del SCS	56
Cuadro N°4.1.- Estaciones Meteorológicas y Pluviométricas Utilizadas	68
Cuadro N°4.2.- Funciones de probabilidad de mejor ajuste	69
Cuadro N°4.3.- Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno	69
Cuadro N°4.4.- Cronograma de información de precipitación máxima en 24 horas	70
Cuadro N°5.1.- Propiedades Fisiográficas aplicando la discretización de 6 subcuencas	71
Cuadro N°5.2.- Propiedades Fisiográficas aplicando la discretización de 18 subcuencas	71
Cuadro N°5.3.- Precipitaciones max 24 horas en las estaciones pluviometricas para 100 y 500 años de retorno	72
Cuadro N°5.4.- Conversión de datos a distribución normal	73

Cuadro N°5.5.- Hietogramas acumulado de lluvia en un periodo de retorno de 100 y 500 años para una discretización de 6 subcuencas	75
Cuadro N°5.6a.- Hietogramas acumulado de lluvia en un periodo de retorno de 100 años para una discretización de 18 subcuencas	76
Cuadro N°5.6b.- Hietogramas acumulado de lluvia en un periodo de retorno de 100 años para una discretización de 18 subcuencas	77
Cuadro N°5.8.- Tiempo de Concentración en la discretización de 6 subcuencas	78
Cuadro N°5.8.- Tiempo de Concentración en la discretización de 18 subcuencas	78
Cuadro N°5.9.- Datos de Entrada en los Canales para 6 subcuencas	79
Cuadro N°5.10.- Datos de entrada en los canales para 18 subcuencas	80
Cuadro N°5.11.- Umbral Inicial en la Cuenca del río Crisnejas para una discretización de 6 subcuencas	81
Cuadro N°5.12.- Umbral Inicial en la Cuenca del río Crisnejas para una discretización de 18 subcuencas	82
Cuadro N°5.13.- Parámetros para el H.U de Snyder para una discretización de seis sub-cuencas	83
Cuadro N°5.14.- Parámetros para el H.U de Snyder para una discretización de 18 sub-cuencas	83
Cuadro N°5.15.- Modelo del SCS para una discretización de 6 subcuencas	84
Cuadro N°5.16.- Modelo del SCS para una discretización de 18 subcuencas	84
Cuadro N°5.17.- Caudales máximos aplicando el Modelo de Snyder para una discretización de 6 subcuencas	85
Cuadro N°5.18.- Caudales máximos aplicando el Modelo de Snyder para una discretización de 18 subcuencas	85
Cuadro N°5.19.- Caudales máximos aplicando el Modelo del SCS para una discretización de 6 subcuencas	87
Cuadro N°5.20.- Caudales máximos aplicando el Modelo del SCS para una discretización de 18 subcuencas	87
Cuadro N°5.21.-Relación de áreas entre la estación Puente Crisnejas y el punto en estudio	93
Cuadro N°5.22.-Caudales en el punto en estudio por corrección de área	94
Cuadro N°5.23.- Áreas de Influencia en las cuencas por medio de Poligonos de Thiessen	95
Cuadro N°5.24. Caudales Observados en la cuenca del Crisnejas	95

Cuadro N°5.25.- Caudales Observados y generados en el punto en estudio para una discretización de 6 subcuencas	96
Cuadro N°5.26.- Caudales Observados y generados en el punto en estudio para una discretización de 18 subcuencas	96

## LISTA DE FIGURAS

Figura N°1.1.- Representación de información correspondiente a un área geográfica	14
Figura N°1.2.- Elementos geográficos básicos para la modelación del mundo real	15
Figura N°1.3.- Generación y sombreado de un modelo TI	16
Figura N°1.4.- Diferencias entre el GTOPO DEM y el SRTM DEM	17
Figura N°1.5.- Esquema del cálculo de pendiente de la cuenca por el criterio de Alvord	19
Figura N°1.6.- Formas Asumidas en el metodo de Muskingum	26
Figura N°2.1.- Gráfico tridimensional del río Crisnejas y de sus tributario	35
Figura N°2.2.- Curva hipsométrica de la cuenca del rio Crisnejas	37
Figura N°3.1.- Separación de la lluvia neta	47
Figura N°3.2.- Valores de CN	49
Figura N°3.3.- Representación del hidrograma unitario Estandar de Snyder	53
Figura N°3.4.- Diagrama triangular simplificado del SCS	55
Figura N°3.5.- Proceso de escorrentía	57
Figura N°3.6.- DEM STRM para la cuenca del río Crisnejas	59
Figura N°3.7.- Diagrama de flujo para la delimitación de subcuencas	61
Figura N°3.8.- Esquema de las 6 y 18 subcuencas	62
Figura N°3.9.- Diagrama de flujo para el Modelo de Snyder aplicado a la cuenca del río Crisnejas	64
Figura N°3.10.- Modelo de la Curva Número en grillas	65
Figura N°3.11.- Diagrama de flujo para el Modelo del SCS aplicado a la cuenca del río Crisnejas	66
Figura N°3.12.- Sección transversal del río Marañón	67
Figura N°5.1.- Precipitación máxima para 100 años de retorno	70
Figura N°5.2.- Precipitación máxima para 500 años de retorno	74
Figura N°5.3.- Hidrograma de salida aplicando el H U de Snyder en un periodo de retorno de 100 años con una discretización de 6 subcuencas	89
Figura N°5.4.- Hidrograma de salida aplicando el H U de Snyder en un periodo de retorno de 500 años con una discretización de 6 subcuencas	89
Figura N°5.5.- Hidrograma de salida aplicando el H U de Snyder en un periodo de retorno de 100 años con una discretización de 18 subcuencas	90

Figura N°5.6.- Hidrograma de salida aplicando el H U de Snyder en un periodo de retorno de 500 años con una discretización de 18 subcuencas	89
Figura N°5.7.- Hidrograma de salida aplicando el H U del SCS en un periodo de retorno de 100 años con una discretización de 6 subcuencas	91
Figura N°5.8.- Hidrograma de salida aplicando el H U del SCS en un periodo de retorno de 500 años con una discretización de 18 subcuencas	91
Figura N°5.9.- Hidrograma de salida aplicando el H U del SCS en un periodo de retorno de 100 años con una discretización de 6 subcuencas	92
Figura N°5.10.- Hidrograma de salida aplicando el H U del SCS en un periodo de retorno de 500 años con una discretización de 18 subcuencas	92
Figura N°5.11 Cuenca que abarca la estación Puente Crisnejas	93

### LISTA DE SIGLAS

CAD	: Diseño asistido por computadora.
CN	: Curva Número
DEM	: Modelo Digital de Elevación
HEC	: Centro de Ingeniería e Hidrología del Cuerpo de Ingenieros, EUA
HMS	: Sistema de Modelación Hidrológica.
JUNCTION	: Unión entre ríos
SCS	: Servicio de Conservación de Suelos.EUA
SIG	: Sistema de Información Geográfica
SINK	: Punto de descarga
SRTM	: Radar topográfico para crear DEM.
TIN	: Red de triángulos unidos.
A	: Área de cuenca.
B	: Ancho medio de cuenca y ancho de canal.
c	: Celeridad de la onda en el modelo de Muskingum-Cunge
$C_t$	: Coeficiente basado en calibración
$d_i$	: Longitud Promedio entre Curvas de nivel
$F_c$	: Parámetro F de Fisher calculado
$F_t$	: Parámetro F de Fisher teórico .
$F_{(Q)}$	: Probabilidad de ajuste teórico.
$\bar{h}_p$	: Precipitación media de la cuenca
I	: Caudal de entrada.
K	: Parámetro que representa el tiempo de tránsito de la onda a través del tramo.
$K_c$	: Índice de compacidad.
L	: Longitud máxima del río.
$L_c$	: Distancia desde la salida de la cuenca hasta el punto de la corriente mas cercano al centroide de la cuenca.
$n_1$	: Tamaño de las submuestras.
n	: Coeficiente de Manning
O	: Caudal de salida.
$P_t$	: Precipitación total.
$P_{24}$	: Precipitación en 24 horas.
$P_o$	: Abstracción inicial.
$q_p$	: Caudal pico

$q_{pR}$	: Caudal pico del hidrograma requerido.
$Q$	: Caudal.
$S_c$	: Pendiente de la cuenca Crisnejas
$S_m$	: Pendiente del cauce principal.
$t_b$	: Tiempo base en un hidrograma unitario sintético.
$t_p$	: Tiempo de retardo.
$t_{pR}$	: Tiempo de retardo requerido.
$t_r$	: Duración de la lluvia que efectiva
$T_c$	: Tiempo de concentración
$T_p$	: Tiempo al pico
$T_r$	: Periodo de retorno
$W_{50}$	: Ancho de un hidrograma unitario al 50% del caudal máximo.
$W_{75}$	: Ancho de un hidrograma unitario al 75% del caudal máximo
$X$	: Parámetro que depende del almacenamiento en cuña.
$Z_i$	: Cota media del área i, delimitada por 2 curvas de nivel.
$Z_m$	: Altitud Media de la Cuenca
$\bar{X}_1; \bar{X}_2$	: Media de los periodos 1 y 2 respectivamente
$\Delta x$	: Longitud del tramo de Cauce considerado
$\mu$	: Difusividad hidráulica.

## INTRODUCCIÓN

Se ha desarrollado en Hidrología, una técnica conocida como Modelación Hidrológica, esta técnica trata de reproducir mediante un modelo matemático el comportamiento de los procesos hidrológicos en un área determinada. En años recientes se ha incluido en el modelamiento la herramienta de SIG

La presente tesis tiene como objetivo determinar los caudales máximos que se presentan en la cuenca del río Crisnejas a partir de datos de precipitación máx en 24 horas. Esta cuenca esta ubicada entre los departamentos de La Libertad y Cajamarca, y los valores obtenidos pueden usarse en estudios de: Control de calidad del agua, erosión de suelos, transporte y deposición de sedimentos, diseño y operación de inundaciones, estudios de suelos, diseño de obras hidráulicas, etc.

Además los modelos hidrológicos proveen la información de entrada de los modelos hidráulicos, como los utilizados en la elaboración de planos de inundaciones.

Los caudales máximos se hallarán mediante dos modelos: Modelo del Hidrograma Unitario de Snyder que se basa en cuencas de gran tamaño y pluviosidad grande y el Modelo del Hidrograma Unitario del SCS, que posteriormente serán calibrados en base a la estación Puente Crisnejas el cual registra caudales en un área de drenaje de 3956 Km<sup>2</sup>. Dichos modelos constan de ecuaciones matemáticas que serán aplicados a la cuenca del río Crisnejas con el fin generar caudales máximos con datos de precipitación máxima en 24 horas.

La tesis consta de 5 capítulos.

El capítulo 1 abarca la teoría básica que se está usando además de una breve reseña y descripción de los modelos matemáticos en Hidrología.

El capítulo 2 hace una descripción de la cuenca del río Crisnejas como parámetros físicos de la cuenca, geología, principales cultivos, etc

El capítulo 3 describe en forma detallada cada uno de los modelos matemáticos usados en la tesis

El capítulo 4 hace una referencia de toda la información obtenida para generar los caudales, así como las respectivas correcciones que se hacen a los datos de precipitación.

El capítulo 5 aplica directamente el SIG para el cálculo de los parámetros físicos y el uso de los modelos descritos en el capítulo 3 a la cuenca del río Crisnejas.

# CAPÍTULO 1

## FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

---

### 1.1.- RESEÑA HISTÓRICA DE LOS MODELOS EN HIDROLOGÍA

La historia de los modelos en hidrología se remonta a P.Perrault donde en 1674 presenta el reporte del primer experimento cuantitativo conocido, donde se estableció el concepto de caudal como un porcentaje de la precipitación; prevaleciendo este concepto por un largo periodo

Dalton publica en 1802 sus mediciones sobre la evaporación. Posterior a esta fecha se realizaron importantes investigaciones en Hidráulica donde se destacan investigadores como Pitot, Bernoulli, Chezy y Venturi. En 1851 Mulvany presenta la relación conocida como la formula racional.

Esta fórmula expresa el caudal en función del área de drenaje, correspondiéndole a Mulvany la distinción de ser el primero en presentar un modelo hidrológico general.

Manning en 1891 propone su fórmula para flujo en canales abiertos. En 1911 Green y Ampt desarrollan un modelo con base física para la infiltración. Fuller en 1914 fue el primero en introducir el concepto de frecuencia en hidrología y Horton en 1919 presenta una extensa discusión sobre los procesos de intercepción.

A partir de aquí la hidrología comenzó a ser vista como una ciencia más que como un área de Investigación. En 1930 Hazen publica Flood Flows donde reúne lo concerniente a los aspectos probabilístico en Hidrología. Sherman en 1932 presenta el método del hidrograma unitario y Horton en 1933 describe su teoría de infiltración, uno de los conceptos más importantes en hidrología. Estos fueron seguidos por McCarthy que presento en 1938 el primer enfoque del tránsito cinemático conocido como el tránsito de Muskingum. Hertzler en 1939

describe el proceso de interflujo, Linsley y Ackerman en 1942 describen un experimento de un elemental balance de humedad para calcular valores diarios de escorrentía. Dos años más tarde Thornthwaite presenta el concepto de evaporación potencial.

El desarrollo de las computadoras digitales durante la segunda guerra mundial revoluciona la hidrología y hace posible el análisis hidrológico a gran escala. La utilización de métodos de simulación en el diseño de sistemas de recursos hídricos se inicio en el año 1953, cuando el American Corps of Engineers del Ejército Americano, utilizó un modelo de simulación para investigar las propuestas correspondientes al río Missouri (Carr y Underhill 1974)

Rockwood en 1958 reporta el uso de una computadora digital para transitar caudales a través de la cuenca del río Columbia, evolucionando luego al modelo SSARR. En 1960 R.K Linsley y N.H.Crawford reportan su trabajo con el Stanford Watershed Model I. este fue un modelo sencillo que usaba lluvia diaria, una función simple de infiltración y una combinación de hidrograma unitario y función de recesión; para producir el caudal promedio diario. Este modelo fue extensamente transformado en 1962 y en 1966 emergiendo como el SWM IV. En 1961 M.Sugawara presenta una descripción del modelo tipo Tanque, que utiliza una serie de reservorios lineales en varios arreglos en serie y paralelo para representar el flujo de los ríos japoneses. En 1964 fue desarrollado el SCS TR-20

Es en la década de los 70 es donde los modelos proliferan rápidamente. En 1971 aparecen los modelos Storm Water Management Model (SWMM) y el Freeze Model, en 1972 el National Weather Service Forecast River System (NWSFRS), en 1973 el Hec 1 y el modelo Sacramento, 1974 el CLS y el modelo Illudas, en 1975 el USDA HL-74 y en 1977 el modelo Answers. (Linsley 1981; Larson 1982)

En los años 90 se empieza a utilizar el Sistema de Información Geográfica (SIG) como herramienta auxiliar de los modelos matemáticos en hidrología, cosa que al hacer una combinación de procesos entre el modelo y el SIG, los resultados generados serán con orden de exactitud mucho mayor que utilizando otras herramientas de trabajo.

Con la creación del HEC-HMS en 1998 llamado en sus inicios HEC-1, y la posterior inclusión del SIG en estos programas, hicieron que ambos sean una herramienta importante en la Hidrología, no solamente por la facilidad de modelación, sino por la exactitud a la que se puede llegar a la hora de hacer una modelación hidrológica.

## **1.2 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

### **1.2.1 Generalidades**

Hace casi 30 años, un gran número de geógrafos crearon un sistema de almacenamiento y organización de información espacial en un ordenador, sin llegar a darle un nombre propio. Fue en el inicio de la década pasada, cuando este proyecto llegó a ser conocido como Sistema de Información Geográfica (SIG). Con estos sistemas paralelamente se fueron desarrollando aplicaciones importantes como la cartografía de alta resolución, la planificación del uso de suelo, gestión de recursos naturales, evaluación y planificación ambiental, investigación ecológica, comunicaciones, investigación demográfica, entre otras muchas.

El Interés del SIG continuó en desarrollo gracias algunos de los problemas con mayor riesgo a los que se enfrenta el mundo actual, como la deforestación tropical, la lluvia ácida, la urbanización rápida, el crecimiento de la población, el esparcimiento de enfermedades y en, lo que más nos interesa, la Hidrología. El SIG ayuda a organizar los datos con respecto a estos problemas y a entender su relación espacial. Además la reducción de los costos en los equipos informáticos han permitido también que los SIG incrementen rápido su uso.

La capacidad de los SIG para obtener y presentar los resultados de los análisis en mapas temáticos resulta fundamental en cualquier estudio hidrológico. Estos mapas permiten mostrar: topografía, tipo de suelo, microzonificación e información catastral (como se muestra en la figura N°1.1)

Otra opción además del SIG es el CAD (Computer Aided Design) que significa diseño asistido por computadora. Como su nombre indica es todo sistema informático destinado a asistir al diseñador en su tarea específica. El CAD atiende prioritariamente aquellas tareas exclusivas del diseño, tales como el dibujo técnico y la documentación del mismo, pero normalmente permite realizar otras tareas complementarias como la modelación de superficies.



**Figura N°1.1.**-Representación de información correspondiente a un área geográfica

### 1.2.2 Datos geográficos

Aunque los términos dato e información normalmente se utilizan en forma arbitraria, cada uno de ellos tienen un significado específico, los datos describen las diferentes observaciones realizadas de un proyecto que se recogen y almacenan en un sistema, mientras que la información la constituyen los datos almacenados analizados y procesados.

Existen dos tipos de datos geográficos básicos: los datos no espaciales (atributos) y los datos espaciales o geométricos.

**-Atributos.-** Son los datos descriptivos numéricos de los elementos geográficos que representan el mundo real, conocidos como datos no espaciales, se encuentran almacenados en tablas de atributos.

Estas tablas de atributos se encuentran localizadas en el área de proyecto de trabajo.

**-Elementos geométricos.-** Los datos geométricos (figura N°1.2), permiten modelar los elementos en un sistema de coordenadas específicas. Las formas más usadas para modelar los elementos del mundo real son:

**Puntos.-** Formas más simples de representar los datos espaciales, se ubican en el espacio por medio de un par de coordenadas despreciando sus dimensiones

- **Líneas.**-Llamadas también segmentos, son objetos espaciales unidimensionales compuestos de un grupo de coordenadas ordenadas y conectadas entre si para formar la línea
- **Áreas.**- Llamadas también polígonos, son líneas cerradas, cuyas fronteras encierran un área homogénea, estas pueden representar lagos, estados, presas, etc.

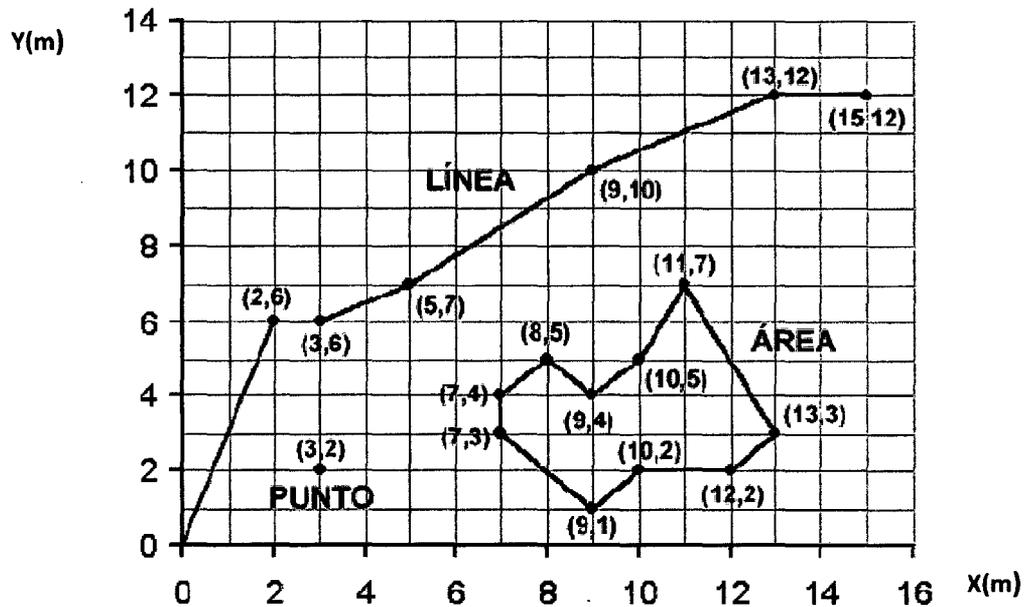


Figura N° 1.2.- Elementos geográficos básicos para la modelación del mundo real

### 1.2.3 Elementos avanzados

Además de las formas básicas para modelar los elementos del mundo real, existen otras más sofisticadas, como la modelación de superficies. Estas constituyen una cobertura temática muy importante en las bases de datos geográficos utilizándose para muchas aplicaciones como son: estudios de visibilidad, cálculos volumétricos, contornos, trazo de relieves sombreados, vistas en perspectiva de modelos 3D.

Debido a que las superficies reales varían continuamente como es el caso de la cuenca, es imposible registrar todas las posiciones que las definen, por lo tanto los modelos de superficies, toman muestras representativas del número infinito que define las superficies, para que posteriormente utilizando técnicas matemáticas llamadas interpolación, construyan los vacíos entre los puntos. Aunque la topografía de una zona determinada es la que se modela más a

menudo, cualquier dato continuo como por ejemplo el gradiente de presión, la lluvia, la densidad de población, etc. también se puede modelar. En los análisis en tres dimensiones se utilizan tres tipos de modelos para representar la superficie, estos son:

- **GRID.**- Representan superficies utilizando una malla de puntos espaciados regularmente. La resolución de la superficie a ser modelada con un GRID dependerá de la distancia entre puntos, así si esta distancia es menor la resolución de la imagen será mas fina, modelando con esto superficies mas exactas. A pesar que el modelado con el GRID es mucho más sencillo que otros modelos, como contraparte de debe tener en cuenta que la malla es muy rígida, y no se adapta completamente a la variabilidad del terreno.
- **TIN(Triangulated irregular networks).**- Los TIN representan superficies utilizando caras triangulares, en este caso el tamaño de las células dependerá de la cantidad de datos que se tengan y su distribución, igual que los GRID la resolución será mas fina donde exista mayor cantidad de datos, mientras que en las áreas pobres de información será de menor resolución, la diferencia con los GRID es que en los TIN las coordenadas originales de los puntos se mantienen, evitando con ella la perdida de información, pero como contraparte se tiene que este tipo de modelos son bastante pesados y el costo de la construcción de la superficie es tedioso ya que se requieren gran cantidad de datos para su elaboración(figura N°1.3).

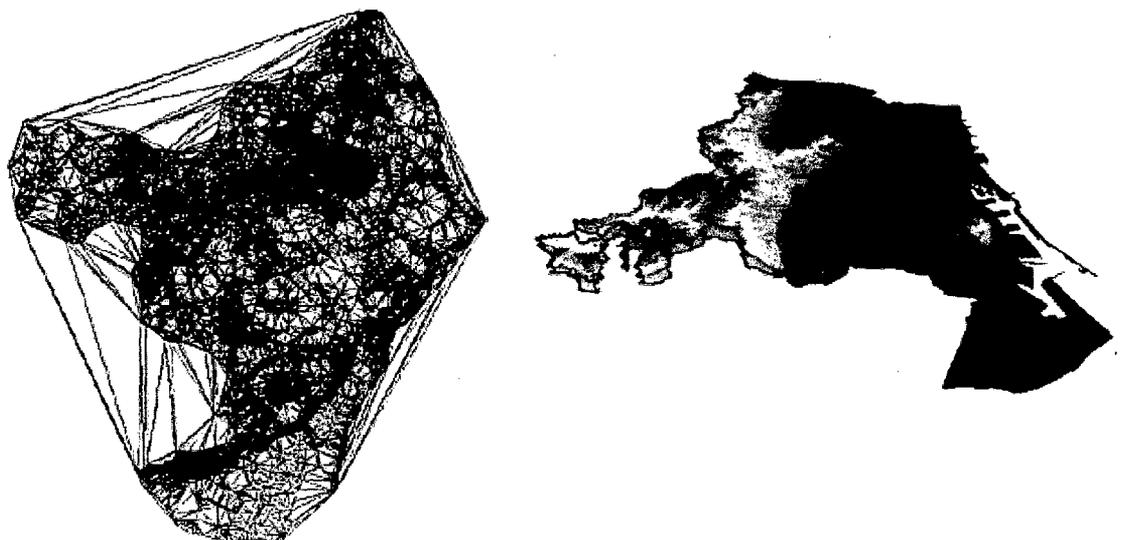


Figura N°1.3.- Generación y sombreado de un modelo TIN

- **DEM (Modelo digital de elevación).**- Llamados también modelos digitales del terreno, estos conjuntos de datos contienen medidas de la elevación del terreno obtenidas aplicando procedimientos fotogramétricos a pares de imágenes estereoscópicas solapadas. Los DEM se usan con frecuencia para crear modelos tridimensionales y en los programas informáticos de visualización comúnmente usados en ingeniería civil, cartografía geológica y simulación de vuelo. Existen diferentes tipos de DEM (figura N° 1.4) donde su clasificación se basan por la resolución en las que son tomados. Existen GTOPO (1 Km. de resolución); SRTM (90 m de resolución); ASTER (30 m de resolución).

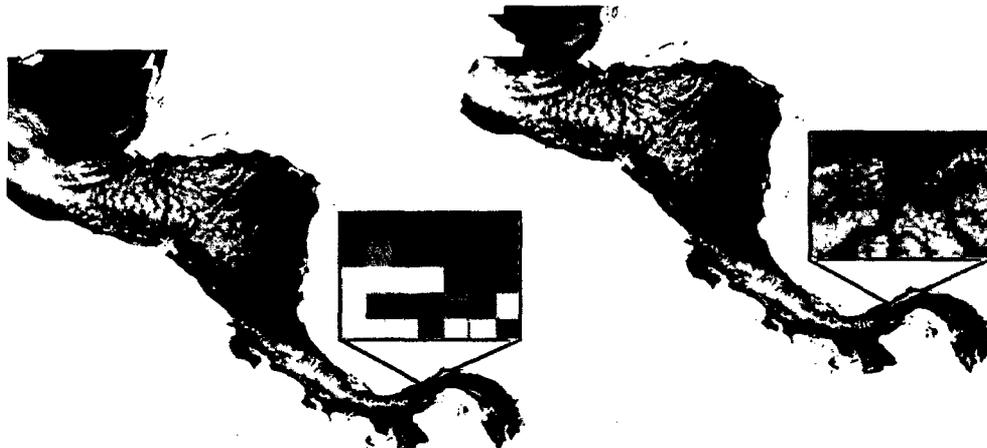


Figura N°1.4.- Diferencias entre el GTOPO DEM y el SRTM DEM

#### 1.2.4 Diferencias entre el SIG y CAD

Los sistemas CAD se basan en la computación gráfica, que se concentra en la representación y el manejo de información visual (líneas y puntos). Los SIG requieren de un buen nivel de computación gráfica, pero un paquete exclusivo para manejo gráfico no es suficiente para ejecutar las tareas que requiere un SIG y no necesariamente un paquete gráfico constituye una buena base para desarrollar un SIG.

El manejo de la información espacial requiere una estructura diferente de la base de datos, mayor volumen de almacenamiento y tecnología de soporte lógico (software) que supere las capacidades funcionales gráficas ofrecidas por las soluciones CAD.

Los SIG y los CAD tienen mucho en común, dado que ambos manejan los contextos de referencia espacial y topológica. Las diferencias consisten en el volumen y la diversidad de información, y la naturaleza especializada de los

métodos de análisis presentes en un SIG. Estas diferencias pueden ser tan grandes, que un sistema eficiente para CAD puede no ser el apropiado para un SIG y viceversa.

### 1.3 LA CUENCA

#### 1.3.1 Definición

Es la superficie delimitada por una línea imaginaria (divortium aquarum) donde las gotas de lluvia que caen sobre ella tienden a ser drenadas a un mismo punto de salida

#### 1.3.2 Parámetros Fisiográficos

Son elementos de gran importancia en todo estudio hidrológico ya que al establecerse relaciones y comparaciones entre estos y con datos hidrológicos conocidos se puede estimar los valores según el área en estudio de la cuenca. Permiten describir características de la cuenca como Tamaño, Forma, Drenaje, Pendiente y Altitud

##### a) Área

El área de la cuenca corresponde al área plana (correspondiente a la proyección horizontal). Este parámetro es un elemento básico para el cálculo de otras propiedades físicas, el que está más directamente relacionado con el comportamiento hidrológico de la cuenca, ya que constituye la superficie que recibirá la precipitación y a través de la cual se generará el drenaje que dará lugar posteriormente a los caudales.

La cuenca del río Crisnejas presenta un área de 4748.41 km<sup>2</sup>. Esta área se extiende desde la cota 1100 m.s.n.m hasta los 4700 m.s.n.m.

##### b) Índice de compacidad

Es un parámetro de forma que se basa en la ecuación 1.1. En general las grandes cuencas como el caso de la cuenca del río Marañón tienen forma alargada varían mucho especialmente de estructura geológica de terreno.

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} \quad (1.1)$$

$K_c=1$ ----Cuenca en forma circular

$K_c>1$ ----Cuenca de forma alargada

### c) Densidad de drenaje

Un buen indicador del desenvolvimiento de un sistema de drenaje es el índice del mismo nombre, este parámetro es expresado por la relación entre la longitud total de todos los cursos de ríos y el área de la cuenca (ecuación 1.2).

$$D = \frac{L}{A_c} \quad (1.2)$$

L: Longitud Total de las corrientes (km)

$A_c$ : Área de la cuenca (km<sup>2</sup>)

### d) Factor de forma

Al igual que el Índice de Compacidad es un parámetro de forma. Este parámetro nos indica la relación que existe entre el ancho medio de la cuenca (B) y la longitud de la misma (L) medido desde la salida o desembocadura hacia el límite de la cuenca en la dirección del cauce más largo (ecuación 1.3). El ancho promedio a su vez se obtiene dividiendo el área de la cuenca entre su longitud.

$$F = \frac{B}{L} \quad \text{ó} \quad F = \frac{A}{L^2} \quad (1.3)$$

### e) Pendiente de la cuenca

Para el cálculo de la pendiente de la cuenca se usa entre otros, el criterio de Alvord en el cual la obtención de la pendiente de la cuenca se basa en el cálculo previo de las pendientes existentes entre las curvas de nivel (figura N° 1.5).

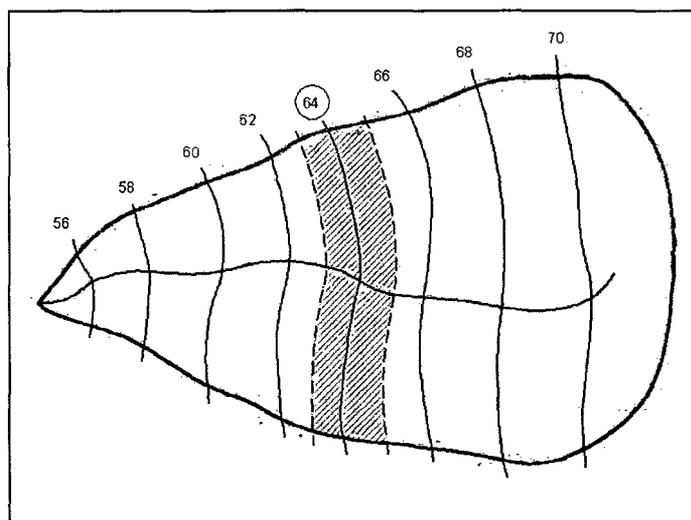


Figura N° 1.5.-Esquema del cálculo de pendiente de la cuenca por el criterio de Alvord

Donde:

$$S_i = \frac{D}{W_i} \quad \text{y} \quad W_i = \frac{a_i}{d_i}$$

$S_i$ : Pendiente de la faja

$D$ : Desnivel entre curvas analizadas

$W_i$ : Ancho de la faja

$a_i$ : Área de la faja analizada

$d_i$ : Longitud de la curva de nivel correspondiente a la faja.

Si se hace un promedio ponderado de todas las franjas analizadas se tiene la ecuación 1.4:

$$S_c = \frac{D \sum d_i}{A} \quad (1.4)$$

#### f) Pendiente del cauce principal

Para el cálculo de la pendiente principal se usa el método de Taylor y Shware, este método considera calcular la pendiente del cauce principal como si fuera un canal de sección transversal uniforme de igual longitud y tiempo de recorrido, aunque en el cálculo se hizo una salvedad ya que los tramos no eran iguales se uso el método de Taylor pero de forma modificada, de tal forma que se usa la ecuación 1.5:

$$S_m = \left( \frac{\sum l_i}{\sum \frac{l_i}{\sqrt{S_i}}} \right)^2 \quad (1.5)$$

$l_i$ : Longitud del río entre curvas (km)

$S_i$ : Pendiente entre curvas

$S_m$ : Pendiente del cauce principal

#### g) Curva hipsométrica

Es la representación gráfica del relieve medio de la cuenca, construida llevando en el eje de las abscisas, longitudes proporcionales a las superficies proyectadas en la cuenca, en  $\text{km}^2$  o en porcentaje, comprendidas entre curvas de nivel

consecutivas hasta alcanzar la superficie total, llevando al eje de las ordenadas la cota de las curvas de nivel consideradas.

La altura o elevación media tiene importancia principalmente en zonas montañosas donde influye en el escurrimiento y en otros elementos que también afectan el régimen hidrológico, como el tipo de precipitación, la temperatura, etc. Para obtener la elevación media se aplica un método basado en la siguiente fórmula (ecuación 1.6)

$$Z_m = \frac{\sum Z_i A_i}{A} \quad (1.6)$$

- $Z_i$  : Cota media del área  $i$ , delimitada por 2 curvas de nivel  
 $A_i$  : Área  $i$  entre curvas de nivel  
 $A$  : Área total de la cuenca.

## 1.4 PRECIPITACIÓN.

### 1.4.1 Definición

Es la caída de agua desde las nubes en forma líquida o sólida denominándose lluvias y garuas a las primeras y nieve a las segundas

### 1.4.2 Análisis de datos de precipitación

#### a) Recopilación de información.

De acuerdo a la cuenca en estudio se pueden presentar los siguientes casos:

- Zona con información suficiente .- Zonas donde se elaboran grandes proyectos , los sitios donde se puede encontrar información son:  
SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología)  
INRENA (Instituto Nacional de Recursos Naturales)  
Ministerio de Agricultura y empresas privadas.
- Zona con escasa información
- Zonas sin información.

## 1.5 ABSTRACCIONES HIDROLÓGICAS

Las abstracciones hidrológicas son los procesos físicos que actúan para reducir la precipitación total a precipitación efectiva. Eventualmente, la precipitación

efectiva va a constituir el escurrimiento de superficie. Hay varios procesos por los cuales la precipitación es abstraída por la cuenca.

Los objetivos del modelado determinan una gran extensión cuyas abstracciones hidrológicas son importantes en una aplicación. Para modelos de eventos, el énfasis está en la infiltración.

Por ejemplo, el método del número de curva de escurrimiento SCS, que es ampliamente usado en modelos de eventos, tiene en cuenta en forma explícita la infiltración.

Los modelos de proceso continuo difieren de los modelos de eventos aislados en que son diseñados para simular flujos diarios, con o sin la presencia de precipitación. Concordantemente, su énfasis está en la evapotranspiración, y apunta a proveer un detalle de la humedad de la cuenca en todo momento.

### **1.5.1 Intercepción**

La intercepción es un tema importante en la modelación de tormentas de baja intensidad y de alta intensidad. Generalmente, las tormentas que tienen una frecuencia alta de ocurrencia son sustancialmente abstraídas por intercepción. Por el contrario, para las tormentas de alta intensidad y baja frecuencia de ocurrencia, la intercepción generalmente es una fracción muy pequeña del total de la lluvia. La modelación detallada de la intercepción usualmente está garantizada en modelos de proceso continuo. Para los modelos de eventos aislados, la intercepción es pequeña comparada con la infiltración.

### **1.5.2 Infiltración**

La infiltración está vista como el mecanismo de abstracción primario en los modelos de eventos aislados. Los valores y las cantidades de infiltración determinan en gran parte las cantidades de escurrimiento superficial. Los valores de infiltración varían ampliamente en el tiempo y el espacio, lo que hace del modelado distribuido de infiltración una tarea muy compleja. Para cuencas grandes, y particularmente para grandes inundaciones, los modelos prácticos de infiltración están basados en el concepto de índice de infiltración, que agrupa los valores de infiltración en el tiempo y el espacio.

### **1.5.3 Almacenamiento superficial**

La cantidad de almacenamiento superficial está en función del relieve de la cuenca. En cuencas pequeñas y montañosas, el almacenamiento superficial es usualmente despreciable. Sin embargo, en desagües urbanos y de tierras bajas (pantanos, ciénagas) es bastante compleja, de allí que el almacenamiento de superficie es usualmente simulado con modelos empíricos o conceptuales.

### **1.5.4 Evaporación**

En el modelado de cuencas, el componente de evaporación es utilizado para cuantificar la pérdida de agua de lagos y reservorios. El proceso es particularmente importante para modelado continuo en regiones áridas y semiáridas. En este caso, la evaporación de lagos y reservorios puede representar una contribución sustancial al balance de agua de la cuenca.

### **1.5.5 Evapotranspiración (ETP)**

La evapotranspiración se ve como el mecanismo abstractivo primario de modelos de proceso continuo. La evapotranspiración es tomada en cuenta ya sea como evapotranspiración potencial (ETP) o evapotranspiración real (ETR).

## **1.6 ESCORRENTÍA**

### **1.6.1 Definición**

Es el agua proveniente de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y llega al cauce de un río para finalmente ser drenada hasta la salida de una cuenca

El agua proveniente de la precipitación que llega hasta la superficie terrestre, una vez que una parte ha sido interceptada y evaporada, sigue diversos caminos hasta llegar a la salida de la cuenca.

Estos caminos pueden ser de tres tipos: Escurrimiento Superficial, Escurrimiento Sub-Superficial y Subterráneo.

El escurrimiento superficial es el que se manifiesta por encima del terreno natural, se le denomina rápido porque es el primer escurrimiento que se manifiesta en la sección de control de la cuenca.

El escurrimiento subsuperficial es aquel que discurre luego de infiltrada una determinada cantidad en el perfil del suelo. Esta es la profundidad donde la humedad es aprovechable por las raíces, se manifiesta escurriendo en la

primera capa del suelo. En algunos casos, vuelve a aparecer en superficie, sumándose al superficial. El escurrimiento tiene una velocidad de conducción lento.

El escurrimiento subterráneo es el escurrimiento que se da en las capas saturadas del suelo, ya sea en lo que se considera acuífero freático, como en los acuíferos cautivos o profundos. El tiempo de escurrimiento es muy lento.

### 1.6.2 Tiempo de concentración

Definido como el tiempo en que tarda una gota de lluvia desde el punto más lejano hasta el punto de salida de la cuenca, el tiempo de concentración es la clave para la aplicación de los distintos modelos precipitación- escorrentía, existen muchos métodos que permiten la estimación del tiempo de concentración, donde una de ellas es la fórmula de Kirpich que relaciona la longitud y la pendiente del cauce principal, esta fórmula es aplicable a áreas con menos de 80ha (Fuente Ponce 1982). En el sistema Internacional de Unidades la formula de Kirpich es:

$$T_c = \frac{0.06628L^{0.77}}{S_m^{0.385}} \quad (1.14)$$

Donde:  $T_c$ =Tiempo de concentración en horas

$L$ =Longitud del cauce principal (Km)

$S$ = Pendiente del cauce principal (m/m).

Otro método para estimar el tiempo de concentración es la fórmula de Temez que es:

$$T_c = \frac{0.3(L)^{0.76}}{S_m^{0.19}} \quad (1.15)$$

Las variables con sus respectivas dimensiones de la ecuación 1.15 son los mismos que la formula de Kirpich.

La ultima fórmula usada en esta tesis es la de Bransby-Williams (ecuación 1.16) que además de relacionar la longitud y la pendiente del cauce principal, también existe una relación directa con el área(A) de la cuenca.

$$T_c = 0.243 \frac{L}{A^{0.1} S_m^{0.2}} \quad (1.16)$$

Los resultados de las formulas 1.14, 1.15 y 1.16 pueden dar lugar a resultados muy diferentes, donde cada una de ellas fue obtenida pensando en unas cuencas de características determinadas, como consecuencia la información se debe manejar con precaución.

### 1.6.3 Modelos de tránsito de hidrogramas

Se denomina tránsito de avenidas al procedimiento a través del cual se puede determinar el hidrograma del caudal, en un punto de un curso de agua utilizando hidrogramas conocidos en uno o más puntos aguas arriba.

Si en el extremo de un canal seco se arroja un volumen de agua el pequeño hidrograma generado será inicialmente más alto y de menor duración, y a medida que avanza, el mismo volumen pasará por otros puntos cada vez con un hidrograma mas aplanado. Si se supone que no existe pérdida de volumen (por infiltración o evaporación), las areas bajo los tres hidrograma serán idénticas.

Calcular el tránsito de avenidas es obtener el hidrograma de un punto cualquiera del canal a partir del hidrograma de un punto conocido. La utilidad del procedimiento es por ejemplo determinar el carácter catastrófico de una avenida, para esto necesitamos determinar el caudal pico.

Existen diversos procedimientos para efectuar estos cálculos que se agrupan en dos categorías:

**-Métodos hidrológicos.-** Se basan en la ecuación de continuidad, que para un tramo de un cauce establece que:

Volumen de entrada en  $\Delta t$ - Volumen de salida en ese  $\Delta t$ =  $\Delta$ almacenamiento

Dividiendo por  $\Delta t$ :

$$I - O = \frac{S_2 - S_1}{\Delta t} \quad (1.17)$$

I,O: Caudal de entrada y de salida respectivamente

$\Delta S = S_2 - S_1$ : Incremento del almacenamiento en  $\Delta t$

Para calcular con exactitud los caudales medios de cada  $\Delta t$  deberíamos disponer de un hidrograma continuo, pero se conoce solamente un dato de caudal para

cada  $\Delta t$ , los caudales medios se puede evaluar haciendo la media de los caudales de dos  $\Delta t$  consecutivos. Así la expresión 1.17 será:

$$\frac{I_1 + I_2}{2} - \frac{O_1 + O_2}{2} = \frac{S_2 - S_1}{\Delta t} \quad (\text{Ecuación General})$$

**-Métodos hidráulicos.**-Además de la ecuación de continuidad, utilizan las ecuaciones de la cantidad de movimiento del fluido, de modo que para cauces o canales en régimen no permanente se utilizan ecuaciones diferenciales

#### a) Modelo de Muskingum

Entre los métodos Hidrológicos, posiblemente el más utilizado por su sencillez es el de Muskingum, este método fue presentado por McCarthy (1938) y maneja relaciones caudal almacenamiento variables. Este modela el almacenamiento en un cauce, mediante 2 suposiciones.

Un almacenamiento prismático, formado por un volumen de sección transversal constante a lo largo del cauce y un almacenamiento en cuña, formado por la diferencia entre los caudales de entrada y salida(figura N°1.6), o bien por la pendiente de la lámina de agua en el tramo considerado.

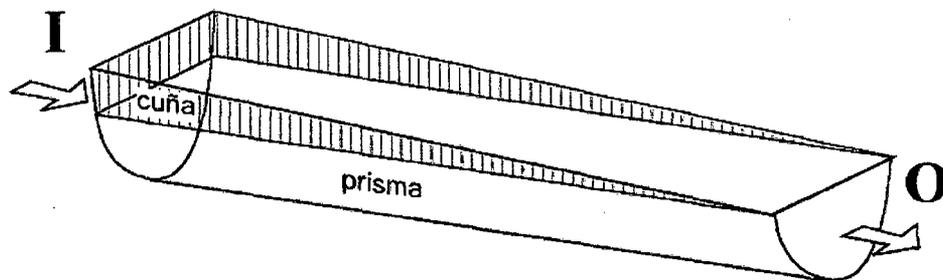


Figura N° 1.6.- Formas asumida en el modelo de Muskingum

Durante el avance de la avenida, el caudal de entrada es mayor que el de la salida y se forma lo que denomina cuña positiva y durante la recesión, el caudal de entrada es menor al caudal de salida, formándose una cuña negativa.

De acuerdo a estas premisas se tiene:

$$S_{\text{prisma}} = K \cdot O \quad (1.18)$$

$$S_{\text{cuña}} = K \cdot X \cdot (I - O) \quad (1.19)$$

Sumando las expresiones 1.18 y 1.19 se obtiene:

S: Almacenamiento en el tramo considerado de un cauce

$S = K (XI + (1-X) O)$  I: Caudal de entrada en ese tramo

O: Caudal de salida en ese tramo

K, X: Constante para ese tramo de cauce

Aplicamos esta fórmula a dos incrementos de tiempos consecutivos, obteniendo las ecuaciones 1.20 y 1.21.

$$S_1 = K (XI_1 + (1-X)O_1) \quad (1.20)$$

$$S_2 = K (XI_2 + (1-X)O_2) \quad (1.21)$$

Sustituimos las dos expresiones en la ecuación general y obtenemos

$$O_2 = C_0 I_2 + C_1 I_1 + C_2 O_1$$

Donde:  $I_1, I_2$  = Caudales de entrada en dos incrementos de tiempo sucesivos.

$O_1, O_2$  = Caudales de salida en los mismos incrementos de tiempo.

$$C_0 = \frac{(\Delta t - 2KX)}{2K(1-X) + \Delta t}$$

$$C_1 = \frac{(\Delta t + 2KX)}{2K(1-X) + \Delta t}$$

$$C_2 = \frac{2K(1-X) - \Delta t}{(2K(1-X) + \Delta t)}$$

K, X = Constantes que dependen de cada tramo de cauce

Además  $C_0 + C_1 + C_2 = 1$ ; K puede asumirse como el tiempo de recorrido de la onda de un extremo a otro del tramo estudiado. Para efectos de cálculo el  $\Delta t$  se podrá tomar entre K y K/3. (US ARMY CORPS OF ENGINEERS, 2000) En el cálculo cuanto menor sea el  $\Delta t$ , mayor es la precisión del modelo.

X es una constante llamada de ponderación que varía entre 0-0.5, junto con K va a depender la mayor o menor amortiguación del hidrograma a lo largo del cauce.

En corrientes naturales, el factor de ponderación se encuentra entre 0 y 0.3 generalmente cercano a 0.2

Si  $K=\Delta t$  y  $X=0.5$ , el hidrograma de salida es idéntico al de entrada pero desplazado a la derecha un tiempo igual a  $K$ .

Si se conoce estas dos constantes,  $K$  y  $X$ , se puede calcular los caudales de salida a partir de los caudales de entrada.

### b) Modelo de Muskingum-Cunge

El modelo de Muskingum incluye parámetros que no son de base física y por lo tanto son difíciles de estimar. Además, el modelo se basa en suposiciones que a menudo se violan en los canales naturales. Una extensión es el modelo de Muskingum-Cunge que supera estas limitaciones.

El modelo se basa en la solución de la siguiente forma (ecuación 1.22) de la ecuación de continuidad

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_L \quad - \quad (1.22)$$

Paralelamente con la forma de difusión de la ecuación del momento (ecuación 1.23).

$$S_f = S_0 - \frac{\partial y}{\partial x} \quad (1.23)$$

La combinación de la formula 1.22 y 1.23 y con un rendimiento de aproximación lineal la ecuación de difusión convectiva se tiene

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + c \frac{\partial Q}{\partial x} = \mu \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} + cq_1$$

donde  $c$  = celeridad de onda (velocidad),  $\mu$  = difusividad hidráulica. La celeridad y la difusividad hidráulica se expresan de la siguiente manera.

$$c = \frac{dQ}{dA} = \text{velocidad Media. (m)} \quad \text{y} \quad \mu = \frac{Q}{2BS_0}$$

donde  $B$  = Anchura de la parte superior de la superficie del agua  
 $m$  = Aproximadamente 5/3 para cauces naturales amplios.

La ecuación estudiada en el método de Muskingum varia de la siguiente forma

$$O_t = C_1 I_{t-1} + C_2 I_t + C_3 O_{t-1} + C_4 (q_t \Delta x) \quad (1.24)$$

donde los términos de la ecuación 1.24 son similares a la ecuación de Muskingum, excepto el último término que es:

$$C_4 = \frac{2 \left( \frac{\Delta t}{K} \right)}{\frac{\Delta t}{K} + 2(1-x)}$$

Los parámetros de K y x ya no se encuentran dentro de un intervalo de tiempo y se definen como en la ecuación 1.25 y 1.26:

$$K = \frac{\Delta x}{c} \quad (1.25)$$

$$x = \frac{1}{2} \left( 1 - \frac{Q}{BS_m c \Delta x} \right) \quad (1.26)$$

Donde:

Q= Caudal (m<sup>3</sup>/s)

B = Anchura del Cauce en estudio (m)

$\Delta x$ = Longitud del tramo de Cauce considerado

$S_m$ =Pendiente Media del Cauce. (adimensional).

El valor de c se puede aproximar teniendo en cuenta el modelo de la onda cinemática y la ecuación de Manning, por eso que c es igual a 5/3 la velocidad media de la onda.

### 1.7. CONCEPTOS DE PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA EN HIDROLOGIA

El diseño y la planeación de obras hidráulicas están siempre relacionadas con eventos hidrológicos, es el caso de una avenida de diseño de una presa, que tal vez no se ha presentado en el periodo de datos disponible, pero es necesario conocer para determinar las dimensiones de las diferentes estructuras.

La estimación de estos datos de avenidas se logran resolver mediante una herramienta conocida llamada estadística, en particular la probabilidad, donde juegan un papel de primer orden en el análisis hidrológico.

La probabilidad mide la frecuencia con la que se obtiene un resultado (o conjunto de resultados) al llevar a cabo un experimento aleatorio, del que se conocen todos los resultados posibles, bajo condiciones suficientemente estables. La teoría de la probabilidad se usa extensamente en áreas como la estadística, la física, la matemática, y por supuesto en hidrología

Existen múltiples criterios de probabilidad (cuadro N°1.1), donde de todas las formulas la que mejor aceptación ha tenido hasta el momento es la de Weibull y es la que se usará en adelante.

**Cuadro N°1.1.- Criterios de probabilidad en hidrologia**

Descripción	Año de creación	Probabilidad
California	1923	$m/N$
Hazen	1930	$(2m-1)/2N$
Weibull	1939	$m/(N+1)$
Chegodayev	1955	$(m-0.3)/(N+0.4)$
Tukey	1962	$(3m-1)/(3N+1)$

N : Numero de valores de la muestra

m : Orden del valor analizado cuando ha sido ordenado de mayor a menor

### 1.7.1 Función de probabilidad

Existen dos tipos de funciones de probabilidad que son:

#### a)Funciones discretas de probabilidad

Cuando el numero de valores x que puede tomar una variable aleatoria X es finito, se dice que la variable aleatoria X es discreta como por ejemplo en un tiro de dados donde la variable aleatoria es finita.

#### b)Funciones continuas de probabilidad

Cuando el numero n de valores que puede tomar una variable aleatoria X es infinito, como es el caso, por ejemplo, de los volúmenes de escurrimiento mensuales de un río, se dice que dicha variable es continua. Las funciones que caracterizan a este tipo de probabilidades se denominan funciones de densidad de probabilidad. En hidrología generalmente las funciones que se usan son continuas ya que el resultado puede ser un numero infinito, entre las principales

funciones de densidad usadas para eventos extremos se tiene (mayor referencia bibliografía 1.4):

- Distribución Normal
- Distribución Log Normal
- Distribución Gumbel
- Distribución Log Pearson III

### 1.7.2 Periodos de retorno

Es el número de años que debe transcurrir en promedio para que un determinado caudal máximo sea igualado o excedido (ecuación 1.27).

$$T = \frac{1}{P} \quad (1.27)$$

T: Periodo de retorno en años

P: Probabilidad de que el caudal que transporta un río sea mayor o igual a  $Q_0$

### 1.7.3 Pruebas de bondad de ajuste

Permite establecer si una determinada función de probabilidad representa la distribución de probabilidades de los datos analizados, Precipitación máxima o Caudal máximo. El método mas usado es la prueba de Smirnov-Kolmogorov.

#### - Prueba de Smirnov Kolmogorov

Consiste en comparar las diferencias existentes entre la probabilidad empírica de los datos de la muestra y la probabilidad teórica tomando el valor absoluto de la máxima diferencia entre el valor observado y el teórico (ecuación 1.28).

$$\Delta_c = \max | F_{(Q)} - P_{(Q)} | \quad (1.28)$$

$\Delta_c$  : Estadístico de Smirnov calculado

$F_{(Q)}$  : Probabilidad de ajuste teórico

$P_{(Q)}$  : Probabilidad empírica de los caudales

## 1.8 MODELOS BÁSICOS EN HIDROLOGÍA

### 1.8.1 Clasificación de modelos

Los modelos utilizados en cualquier disciplina pueden ser formales o materiales. Un modelo material es una representación física del prototipo, más simple en estructura pero con las mismas propiedades. Todo lo contrario es un modelo formal que es una abstracción matemática de una situación idealizada, estos se pueden clasificar según el cuadro N°1.2

**Cuadro N°1.2.- Clasificación de modelos formales en Hidrología**

Categoría	Descripción
Globales y Distribuidos	Modelos globales son aquellos en el cual los parámetros no varían espacialmente dentro de la cuenca, de allí que la respuesta es evaluada solo a la salida, todo lo contrario los distribuidos en el cual los parámetros varían espacialmente dentro de la cuenca
Eventos o Continuos	Un modelo de eventos simula una sola tormenta. La duración de la tormenta puede variar desde unas horas hasta varios días. Un modelo continuo simula un período más largo, predecir la respuesta de cuencas durante y entre los eventos de precipitación.
Empíricos y Conceptuales	Empíricos son aquellos que las leyes físicas gobiernan los procesos y la estructura es bien definida descrita por ecuaciones diferenciales, a diferencia los conceptuales son representaciones simplificadas de los procesos físicos, usualmente recaen sobre descripciones matemáticas que simulan procesos complejos basándose en pocos parámetros.
Estocásticos o Determinísticos	Si todas las entradas, parámetros y procesos en un modelo están consideradas libres de la variación aleatoria y se conoce con certeza, entonces el modelo es un modelo determinista. Si en cambio el modelo describe la variación aleatoria e incorpora la descripción de las predicciones de la producción, el modelo es un modelo estocástico
Caja Negra y Caja Blanca	El enfoque de caja negra trata el sistema como un operador, que transforma entradas en salidas. El enfoque de caja blanca, supone que las relaciones entre las leyes físicas y la naturaleza del sistema están bien entendidas y pueden ser sintetizadas en un sistema de operación sin recurrir únicamente a observaciones de entrada o salida.
Lineales y No Lineales	Los modelos lineales son formulados en términos de ecuaciones lineales y procesos aunque en la naturaleza los eventos no se dan de manera lineal, En cambio los no lineales son más complejos pero generalmente mejores para proveer detalles en la simulación de los procesos físicos, que está descrito por ecuaciones y procesos no lineales

Fuente: Victor Ponce-1982

### 1.8.2 Aplicaciones de los modelos hidrológicos

Jackson (1982) afirma que las aplicaciones de los modelos hidrológicos pueden ser divididas en dos grandes categorías: La toma de decisiones y la investigación.

### a) Aplicaciones en la toma de decisiones

En una aplicación para la toma de decisiones, se toma información hidrológica para seleccionar un óptimo curso de acción. Esta información normalmente se combina con información de tipo económica, y social

### b) Aplicaciones en investigación y adiestramiento

La aplicación de los modelos en esta categoría es el del servir como llave para la investigación y el adiestramiento, donde el objetivo es conseguir un mejor entendimiento de los modelos matemáticos que describen el ciclo hidrológico.

### 1.8.3 Selección de los modelos hidrológicos

Linsley (1981) sugiere cuatro propiedades que pueden tomarse en cuenta a la hora de escoger entre modelos alternativos (cuadro N°1.3).

**Cuadro N°1.3.-** Propiedades a tomar en cuenta en los modelos hidrológicos

Propiedades	Descripción
Precisión	De acuerdo a esta subdivisión existen tres componentes de error en la aplicación de un modelo: el error inherente (no poder representar perfectamente el sistema) ; error en la calibración (depende de los datos históricos que uno tenga) , errores en los datos ( estimación de caudales en una estación hidrológica)
Aplicabilidad	Habilidad del modelo para simular adecuadamente los flujos de interés con base en información disponible. El modelo debe ser capaz de transformar la información disponible y se puede considerar que determinan la aplicabilidad del modelo
Generalidad	Habilidad del modelo en operar en condiciones hidrológicas diversas . El uso de modelos en muchas cuencas permite además determinar de manera objetiva parámetros de sus características físicas, así como elaborar mapas de la variación de parámetros en una región
Facilidad de Uso	Debe ser vista como una de las mas importantes características de un modelo. La facilidad de uso no necesariamente implica simplicidad a costa de exactitud, el desarrollo de las computadoras ha permitido desarrollar programas interactivos que minimizan el esfuerzo, conservando la cualidad de manejar grandes volúmenes de calculo con precisión.

En el estudio de la cuenca del Crisnejas se estudiaron los modelos por tres razones fundamentales.

La aplicabilidad ya que los son los únicos dos modelos en que los datos que se tienen cubren todos los parámetros de entrada del modelo. Además están al alcance y han sido estudiados previamente,

Por la facilidad de uso, debido a que son modelos muy fáciles de usar

Precisión ya que el sistema es muy bien representado en los modelos.

# CAPÍTULO 2

## DESCRIPCIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO CRISNEJAS

---

### 2.1 UBICACIÓN

La cuenca del río Crisnejas se encuentra entre las paralelas 6°55'31" y 8°00'38" de latitud sur y 77°49'54" y 78°37'33" de longitud oeste formando parte de las provincias de San Marcos, Cajabamba, Cajamarca del departamento de Cajamarca y Sánchez Carrión del departamento de La Libertad, dentro de los departamentos de La Libertad y Cajamarca debiendo su origen a la confluencia de los ríos Cajamarca que fluye sus aguas de norte a sur y Condebamba que fluye en dirección opuesta, los cuales confluyen aguas arriba del puente Crisnejas para formar el río del mismo nombre que fluye hacia el este y entrega sus aguas al río Marañón Este a su vez fluye de sur a norte entregando sus aguas al río Amazonas, el cual desemboca en el Océano Atlántico. En el mapa N° 1 se muestra la ubicación de la cuenca del río Crisnejas en la cuenca del río Marañón y en el mapa N°2 se observa la cuenca del río Crisnejas.

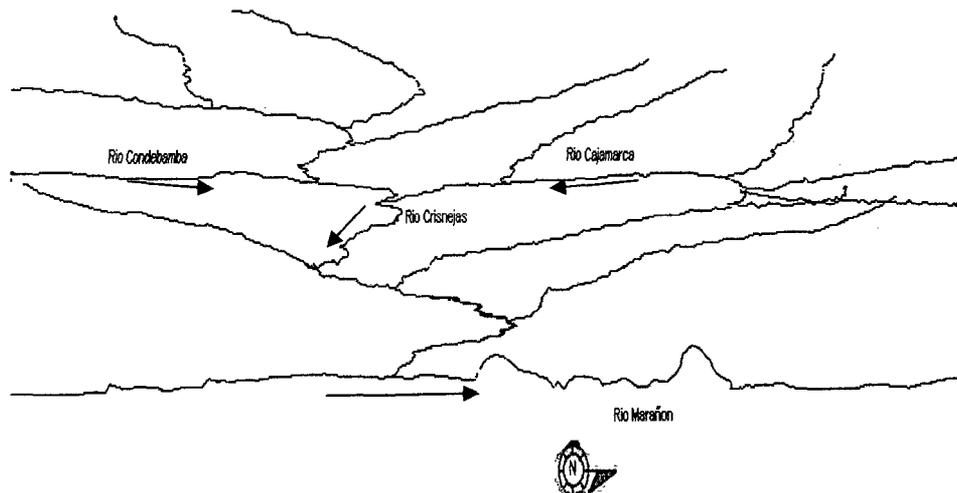
La cuenca del río Crisnejas limita por el norte con la Cuenca del río Llaucano, por el sur con la cuenca del río Tablachaca, por el este con la cuenca del río Marañón, y por el oeste con las cuencas de los ríos Jequetepeque y Chicama, el río tiene una longitud total de 150 km con un ancho promedio de 110 m, estas condiciones son favorables para la formación de fuertes y rápidas.

### 2.2 FORMACIÓN DEL RÍO CRISNEJAS

El río Crisnejas debe su origen a innumerables ríos que nacen a elevaciones alrededor de los 4000 m.s.n.m, siendo los principales los mostrados en el cuadro N° 2.1, el grafico tridimensional del río Crisnejas y sus tributarios se muestran en la figura N° 2.1

**Cuadro N° 2.1.- Principales ríos de la cuenca del río Crisnejas**

Propiedades	Descripción
Cajamarca	Tiene una longitud aproximada de 92 Km y limita por el norte con el río Llaucano, por el sur con el río Condebamba, por el este con el río Marañón y por el oeste con el río Jequetepeque, y al igual que sus afluentes fluyen en dirección Sur. Los afluentes principales por la margen derecha son el río Mashcón y el río Namora ; por la margen izquierda tiene al río San Marcos.
Mashcón	Formado por la unión de los ríos Porcón y río Grande , los cuales tienen su origen en las zonas de lagunas y de puna de la cordillera de los Andes; en este punto el río entra a la extensa meseta que rodea Cajamarca mientras que las regiones más altas se caracterizan por la presencia de una densa capa de pastos. Existen puntos de tierra de cultivo principalmente entre las cotas 2700 y 3000 m.s.n.m.
Namora	Recibe sus aguas de diferentes manantiales y quebradas que se originan en la cordillera Maishacoha, entre los 3500 y 4000 m.s.n.m. La Morfología, Vegetación y aprovechamiento agrícola de la cuenca del río Namora son muy diversas predominando en su mayor parte por laderas suavemente onduladas sin grandes declives
Condebamba	El río Condebamba como la mayor parte de sus afluentes fluye de sur a norte y se une con el río Cajamarca que corre en dirección opuesta y forma así el río Crisnejas, que tomando una dirección hacia el este , desemboca en el río Marañón. La confluencia de ambos ríos ocurre a una altura aproximada de 1980 m.s.n.m. El río Condebamba posee una fuerte pendiente en la parte superior y medio del río de aproximadamente 5 % y 3 % aproximadamente, a diferencia en la parte inferior que tiene 0.7%.



**Figura N°2.1.- Gráfico tridimensional del río Crisnejas y de sus tributarios**

## 2.2 PARÁMETROS FISIAGRÁFICOS DE LA CUENCA DEL RIO CRISNEJAS

Los principales valores de los parámetros físicos de la cuenca del Crisnejas son (cuadro N° 2.2)

**Cuadro N° 2.2.** Parámetros fisiográficos de la cuenca del Crisnejas

Parámetro	Valor	Unid
Área	4748.41	Km <sup>2</sup>
Perímetro	385.16	Km
Índice de compacidad	1.577	
Densidad de drenaje	0.69	
Factor de forma	0.217	
Pendiente de la cuenca	31.9	%

### 2.2.1 Pendiente del cauce principal

El cálculo de la pendiente del cauce principal se hizo mediante el criterio de Taylor (cuadro N° 2.3)

**Cuadro N°2.3.-** Determinación de la pendiente del cauce principal del río Crisnejas

Curva	Cota1	Cota2	Longitud(km)	Longitud Acumulada	Si	raiz(Si)	li/raiz(si)
1	1000	1200	10.319	10.32	0.01938	0.13922	74.1261
2	1200	1400	11.559	21.88	0.01730	0.13154	87.8800
3	1400	1600	10.123	32.00	0.01976	0.14056	72.0185
4	1600	1800	5.853	37.9	0.03417	0.18485	31.6637
5	1800	2000	7.933	45.8	0.02521	0.15878	49.9646
6	2000	2200	21.127	66.9	0.00947	0.09730	217.1409
7	2200	2400	5.957	72.9	0.03357	0.18323	32.5115
8	2400	2600	26.192	99.1	0.00764	0.08738	299.7361
9	2600	2800	22.086	121.1	0.00906	0.09516	232.0859
10	2800	3000	5.778	126.9	0.03462	0.18605	31.0543
11	3000	3200	6.074	133.0	0.03293	0.18146	33.4720
12	3200	3400	6.098	139.1	0.03280	0.18109	33.6758
13	3400	3600	2.702	141.8	0.07403	0.27208	9.9294
14	3600	3800	4.204	146.0	0.04757	0.21811	19.2745
15	3800	4000	1.899	147.9	0.10531	0.32451	5.8526
				147.9			1230.3862

Siguiendo la fórmula descrita en el capítulo 1 de pendiente de cauce principal se tiene

$$S_c = 0.0144$$

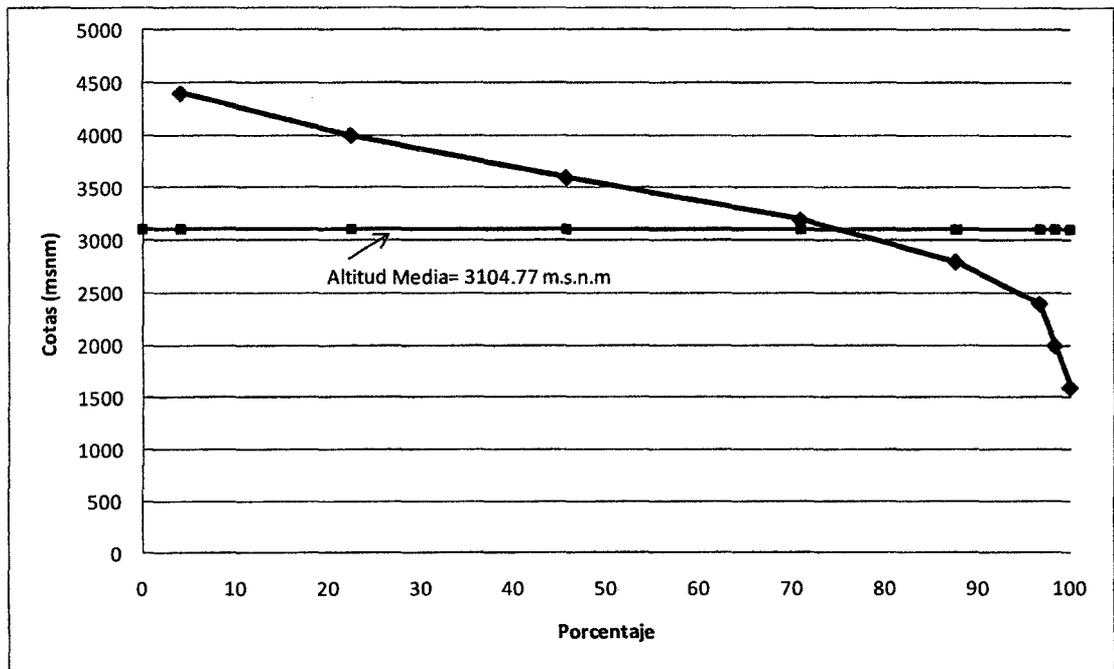
### 2.2.2 Cálculo de la altitud media

Para el cálculo de la altitud media se grafica la curva hipsométrica cuyo desarrollo se traduce en el cuadro N° 2.4 y en la figura N° 2.2

**Cuadro N°2.4.-** Determinación de la altitud media de la cuenca del río Crisnejas

1	2	3	4	5	6	7
Cotas	Cota Media (msnm.)	Área (km <sup>2</sup> )	Área Acumulada (km <sup>2</sup> )	Porcentaje Área (%)	Porcentaje Acumulado (%)	Columna 2 X Columna 3
4000-4400	4200	194.55	194.55	4.10	4.10	817106.85
3600-4000	3800	871.88	1066.43	18.36	22.46	3313142.86
3200-3600	3400	1108.16	2174.58	23.34	45.80	3767729.89
2800-3200	3000	1196.62	3371.21	25.20	71.00	3589874.55
2400-2800	2600	793.66	4164.87	16.71	87.71	2063504.43
2000-2400	2200	429.02	4593.89	9.04	96.75	943845.98
1600-2000	1800	77.89	4671.78	1.64	98.39	140205.51
1200-1600	1400	76.63	4748.41	1.61	100.00	107278.22
Total		4748.41		100.00		14742688.3

**Figura N°2.2.-** Curva hipsométrica de la cuenca del río Crisnejas



De acuerdo al cuadro 2.4 se obtiene la altitud media de la cuenca que es de 3104.77 m.s.n.m

### 2.3 GEOMORFOLOGÍA

El relieve de la cuenca se caracteriza por una hoya hidrográfica alargada, de fondo profundo y quebrado y pendiente fuerte, presenta una fisiografía escarpada y en partes abrupta, cortada por tributarios de fuerte pendiente. La

cuenca se encuentra limitada por las Cordillera Occidental y Central en su cuenca alta, mientras que en la cuenca inferior el río Crisnejas corre encañonado desde poco después de la confluencia del río Cajamarca con el río Condebamba hasta la desembocadura en el Marañón.

A diferencia de los ríos de la vertiente del Pacífico, la cuenca alta del río Crisnejas presenta menor pendiente del cauce principal, menor pendiente lateral, muy pocas lagunas y total ausencia de nevados; mientras que la cuenca inferior es de características similares en pendiente tanto del cauce principal como lateral, donde las pendientes son elevadas.

Estructuralmente la región es compleja con fuertes plegamientos que van desde escarpados a fuertes. Los esfuerzos de compresión, a que se deben los plegamientos y fallas fueron activos en el lado nor-oriental del macizo andino, sirviendo el bloque sur-occidental como masa pasiva resistente.

Entre los plegamientos y fallas ocasionados por la compresión se encuentran zonas estructuralmente deprimidas, particularmente notables a lo largo de las curvas seguidas por los ríos principales como son Cajamarca y Condebamba.

El caso más notorio de falla se encuentra en el tramo del río Cajamarca comprendido entre Jesús y San Marcos, en donde el curso del río está controlado por una gran falla

## **2.4 ESTRATIGRAFÍA**

Como se muestran en los cuadros 2.5-a y 2.5-b en el área del Crisnejas, se encuentran rocas sedimentarias, ígneas y metamórficas, cuyas edades oscilan entre el permiano y cuaternario reciente. Las rocas más antiguas están representadas por afloramientos de pequeña dimensión y se sitúan en el sector de los valles interandinos. Los depósitos más recientes ocurren en las partes altas y en las quebradas que descienden de las estribaciones de la cordillera andina.

Las rocas ígneas intrusivas y extrusivas están distribuidas ampliamente tanto en las partes altas del área de estudio como hacia el norte de la misma en donde constituyen afloramientos de grandes proporciones. Las rocas metamórficas se encuentran formando parte de la secuencia sedimentaria de la región, principalmente de las formaciones mesozoicas.

En el sector oriental, aparece una secuencia sedimentaria equivalente a las formaciones Chulec y Pariatambo, denominada formación Crisnejas, que cubre igualmente al grupo Goyllarisquizga. Siguiendo la secuencia estratigráfica, se observa a la formación Yumagual, ubicada entre el sector de La Encañada y Cerro Carhuaquero, constituido por calizas arcillosas y margas nodulares con estratificación ondulada y abundantes fósiles. Descansando sobre la formación Yumagual, se presenta una secuencia de calizas, lutitas y margas nodulares identificada como formación Quilquiñan-Mujarrun que, por su contenido fosilífero, se le atribuye como perteneciente al Cenomaniaco (Para mayor detalle ver el mapa N°3).

## 2.5. RECURSOS HÍDRICOS

La zona en estudio aprovecha principalmente el agua para fines agrícolas. La información en la cuenca del Crisnejas es escasa a pesar de que la cuenca cuenta con información proveniente de una densa red de estaciones, instaladas en su mayoría para satisfacer los requerimientos de información de proyectos específicos y que operaron por poco tiempo.

El régimen de descargas del río Crisnejas es una consecuencia directa del comportamiento de las precipitaciones en la cuenca. Mediante datos de precipitaciones se puede dividir el régimen natural en tres periodos, que forman un ciclo anual en las variaciones. Periodo de avenidas de Octubre a Abril, periodo de estiaje de Junio a Septiembre y el mes de Mayo corresponde al Periodo de transición (ver cuadro N°2.6)

El escurrimiento superficial de las aguas de la cuenca del río Crisnejas además de ser empleado para cubrir las demandas de la agricultura es usado también con fines energéticos existiendo un total de 8 centrales hidroeléctricas. La energía total producida es utilizada en un 55.7% en el sector minero, correspondiéndole 44.3% al sector vivienda urbana y vivienda rural.

**Cuadro N°2.5-a. Estratigrafía de la cuenca del río Crisnejas**

ERA	PERIODO	FORMACIÓN	LITOLOGÍA	LUGARES DE EXPOSICIÓN	RASGOS ESTRUCTURALES	SUELOS FORMADOS
CENOZOICO	Cuaternario	Depósitos Fluviales(Q-f)	Arenas, limos, arcillas, gravas y rodados de dimensiones y composición variables. No presentan ningún tipo de estratificación	Están limitados a los largo de los cauces de los ríos Cajamarca, Condebamba y	No presentan evidencias de estructuras geológicas, posiblemente porque los últimos movimientos tectónicos que perturbaron la zona tuvieron lugar antes de la depositación de estos materiales	Transportados: de composición heterogénea, profundidad variable y permeabilidad alta
		Depósitos Aluviales(Q-al)	Arenas, limos, arcillas, gravas y conglomerados de escasa consolidación. Adoptan generalmente posiciones de horizontalidad y en algunos casos constituyen terrazas	Se asientan en las zonas medio y baja de los ríos, conformando principalmente el área agrícola		Transportados: areno-arcillosos, profundos y permeabilidad variable. Son los suelos de mejores condiciones para el desarrollo agrícola
	Terciario	Formación Condebamba (Ts-co)	Compuesto por conglomerados y arenas de diversa composición	Su mayor distribución se encuentra al Sur de la cuenca en estudio	Esta estrechamente asociada con la superficie de erosión en la cual se ha depositado y no presenta estructuras geológicas de mayor significación debido a su casi reciente depositación	Residuales: arcillo arenosos, poco desarrollados y de permeabilidad variable
		Formación Cajabamba (Ts-cj)	Intercalaciones de estratos de calizas con lutitas que contienen abundantes fósiles	Presenta dos afloramientos: uno al norte de Ichocan y otro por la pampa Cocha Comba	No ha sufrido mayor perturbación tectónica; por ello, carece de estructuras geológicas notorias	Residuales: arcillosos y de características básicas
		Volcánico Huambos (Ts-vh)	Consiste en lavas, brechas de flujo, aglomerados y tufo de naturaleza andesítica, dacítica y riolita	Se encuentra ampliamente distribuido al norte de la cuenca	Sobreyace en posición casi horizontal y en algunos sectores acusa suave inclinación sin mostrar rasgos superficiales de algún disturbamiento	Residuales: arcillo arenosos, moderadamente ácidos, frecuentemente profundos y de permeabilidad variable
		Volcánico San Pablo(Ti-vsp)	Derrames y brechas de composición dacítica, riolítica y andesítica, de textura porfídica y de colores abigarrados, con intercalaciones de lutitas y calizas	Cubre un amplio sector al noroeste de área de estudio	Se presenta por lo general estratificado en bancos gruesos y en ciertos lugares en forma perpendicular. No presenta rasgos	Residuales: arcillosos y arena arcillosa, poco profundos y generalmente ácidos
	MESOZOICO	Cretácico	Formación Cajamarca(Ks-ca)	Secuencia de caliza, de color gris oscuro o gris azulado, maciza, densa, litográfica, en estratos gruesos, contiene fósiles de moluscos	Se presenta en franjas en el sector central del área de la cuenca	Se puede observar sobre escurrimientos y sinclinales
Formación Quilquiñan(Ks-q)			Serie de estratos de calizas y margas, paquetes de lutitas y margas friables de colores amarillento, parduzco a gris azulados. Las rocas de este grupo son bastante blandas y fosilíferas	Aflora en franjas delgadas en el sector central del área de estudio con una dirección noroeste a este-oeste	Esta formación presenta estratificación ondulada, anticlinales y sinclinales atravesados por fallas normales e inversas, en algunos casos hasta verticales	Residuales: arcillosos, profundas, de permeabilidad variable. Mas básicos que ácidos.

**Cuadro N°2.5-b. Estratigrafía de la cuenca del río Crisnejas**

ERA	PERIODO	FORMACIÓN	LITOLOGÍA	LUGARES DE EXPOSICIÓN	RASGOS ESTRUCTURALES	SUELOS FORMADOS
MESOZOICO	Cretácico	Formación Pullucana(Ks-pu)	Calizas, lutitas y margas con abundancia de fósiles	Sus exposiciones cubren áreas de regular extensión en el sector norte del estudio.	Presenta estructuras plegadas, como sinclinales, anticlinales y fallas normales e inversas	Residuales: arcillosos, principalmente básicos, de profundidad y permeabilidad
		Formación Chullec(Ki-ch)	Esta compuesta de margas grises claras, capas macizas de calizas con fósiles de Knemiceras, margas amarillentas y parduzcas algo astillosas, caliza gris oscura fosilífera, lutitas pardas, astillosas, friables. Hacia el sector oriental, se correlaciona con Formación Crisnejas	Los principales lugares donde aflora son: Matara, al lado Este de Michiquillay	Los afloramientos se hallan a lo largo de sinclinales y anticlinales entre las formaciones Inca y Pariatambo, atravesado por numerosas fallas	Residuales: arcillosos de profundidad y permeabilidad variables, de reacción básica
		Formación Chullec-Pariatambo(Ki-icp)	Consiste en una serie de lutitas, areniscas, margas, calizas arcillosas y lutitas negras bituminosas. Contiene abundancia de fósiles	Los afloramientos se hallan al norte de Sorochuco y al este de Cajabamba	Estas formaciones se hallan plegadas, constituyendo sinclinales y anticlinales, cuyo rumbo general es noroeste-sureste.	Residuales: comúnmente arcillosos, profundos, poco permeables y de característica alcalinas
MESOZOICO	Cretácico	Formación Crisnejas(Ki-c)	Consiste de calizas nodulares, areniscas calcáreas y lutitas calcáreas. Es la continuación de la formación Chulec hacia el este	Los afloramientos son alargados con dirección noroeste-sureste. Los mejores afloramientos se hallan al sur	Esta delimitada tanto en su base como en su techo por discordancias. El contacto inferior es una discordancia erosional y la superior es bien marcada con la formación Rosa	Residuales: arcillosos, principalmente básicos, de profundidad y permeabilidad variables.
		Grupo Goyllarisquizga(Ki-g)	Esta integrado por las formaciones Chimú, Santa, Carhuaz. La formación Chimú consta de areniscas y cuarcitas con mantos de carbón. La formación Santa esta constituida por calizas y lutitas calcáreas. La formación Carhuaz comprende areniscas y cuarcitas. La formación Farrat consta de areniscas y cuarcitas con intercalaciones de lutitas	Esta ampliamente distribuido en toda el área constituyendo afloramientos de gran extensión. Sus principales exposiciones se localizan en las partes media y alta del área	Se encuentra afectado por intenso plegamiento y fallamiento de grandes dimensiones	Residuales: de desarrollo limitado, frecuentemente ácidos con excepción de aquellas áreas donde afloran calizas
	Jurásico	Formación Chicama(Js-ch)	Compleja serie de lutitas laminadas, fosilíferas de colores gris oscuro, verdoso y rojizo. Alternan con tufos volcánicos, lutitas carbonosas y areniscas de color marrón	Sus afloramientos cubren una gran extensión en el sector Sur del área	Se encuentra disturbada a consecuencia de movimientos orogénicos y a la intrusión ígnea. Se halla atravesada por fallas de gran	Residuales: generalmente arcillosos y arcilla-arenosos, profundo y poco permeables.
Paleozoico	Permiano	Grupo Mitu(Ps)	Consiste de areniscas y conglomerados de colores rojos y abirragados. Lutitas con intercalaciones de tufos de colores verdosos y marrones	Constituye un afloramiento muy pequeño y esta ubicado al noreste de la cuenca	Su exposición es reducido, no se observa rasgos estructurales notorios	Residuales: arena-arcillosos, de profundidad y permeabilidad variable, de pH generalmente ácido

**Cuadro N°2.6.-Periodos del ciclo hidrológico del río Crisnejas**

Descripción	Periodo de avenidas		Periodo transicional		Periodo de estiaje	
	Inicio	Final	Inicio	Final	Inicio	Final
Fecha mas temprana	16-Sep	06-Abr	22-Abr	15-Sep		
Fecha mas tardía	26-Oct	25-May	06-Jul	25-Oct		
Rango de variación	40 días	50 días	76 días	40 días		
Termino medio	04-Oct	05-May	09-Jun	03-Oct		
Duración media	7 meses		1 mes		4 meses	
Porcentaje de volumen descargado	82%		10%		8%	

Otra de las fuentes importantes de abastecimiento de agua para el riego es la fuente natural de agua subterránea, los mismos que se usan para irrigar desde pequeñas parcelas hasta grandes extensiones. En la cuenca del Crisnejas se tienen hasta 130 puquios con rendimientos que oscilan entre 10 a 150 l/s. En cuanto a las fuentes artificiales, se ha establecido la presencia de 10 pozos construidos a tajo abierto.

En la cuenca del río Cajamarca, la derivación del agua se realiza mediante 64 tomas de captación, de las cuales 2 son de construcción semipermanente o permanente y las 62 restantes de tipo rústico. En la cuenca del río Condebamba, la derivación del agua se realiza mediante 60 tomas, de las cuales 2 son de construcción permanente y las restantes son rústicas y de construcción temporal

## 2.6 ESTRUCTURA DE LA PRODUCCIÓN AGRÍCOLA

En la tesis para la posterior determinación de la precipitación efectiva es necesario saber los diferentes cultivos que se desarrollan en la cuenca; esto servirá para saber la merma en la precipitación total. Para esto se dividió la cuenca en 4 zonas (cuadro N°2.7 y mapa N° 4) que son las distintas provincias y distritos en la cuenca.

**Cuadro N°2.7.-Zonas de la cuenca Crisnejas para el estudio de cultivos**

Zona	Provincias	Distritos
1	Cajamarca	Cajamarca, Baños del Inca, Llacanora, Encañada, Namora, Jesús, Matara
2	Cajabamba	Cajabamba, Condebamba y Cachachi
3	Sánchez Carrión	Huamachuco, Marcabal y Sanagorán
4	San Marcos	Gregorio Pita, Pedro Gálvez, José Manuel Quiroz, José Sabogal, Ichocan, Chancay, Eduardo Villanueva

Al sector de Cajamarca, le correspondió un área anual de producción de 22614 ha de las cuales 19515 ha son de secano y 3099 ha bajo riego, distribuidos entre los principales cultivos como el maíz, el trigo y la cebada, que representan el 73.1% del total, a la papa le corresponde el 12.7% y a los pastos cultivados el 8%(cuadro N°2.8)

Al sector de Cajabamba, le correspondió un área anual de producción de 14946 ha, de las cuales 6992 ha son de secano y 7960 ha bajo riego, distribuidas entre los principales cultivos predominando el maíz y el trigo, y los pastos cultivados, que ocupan el 6.6% tal como se muestra en el cuadro N° 2.9

Al sector de Huamachuco, le corresponde un área de 10190 ha de las cuales 9332 ha son de secano y 858 ha, bajo riego, distribuidas entre los principales cultivos entre los que predominan la papa, el maíz, el trigo y la cebada, que representan el 85.7% del total como se muestra en el cuadro N°2.10

Al sector 4 de Huamachuco le corresponde 7701 ha donde los cultivos principales es el trigo y el maíz como se muestra en el cuadro N° 2.11

**Cuadro N°2.8.-Área de cultivos en la zona 1 en hectáreas**

	Cajamarca	Encañada	Jesús	Llacanora	Baños del Inca	Matara	Namora
maíz	391	243	443	53	511	388	109
cebada	620	587	215	28	634	227	125
trigo	425	368	143	13	628	230	65
papa	1122	1655	257	72	657	287	435
oca	264	394	49	0	144	2	42
olluco	147	99	43	0	62	1	10
Tarwi	45	52	3	0	27	3	24
arvejas	35	62	22	5	40	57	4
habas	97	172	14	1	11	2	14
alfalfa	137	202	153	6	68	200	4
rye grass	589	1441	44	0	540	0	568

Fuente.- Censo Agropecuario 1994

**Cuadro N°2.9.- Área de cultivos en la zona 2 en hectáreas**

Principales Cultivos	Área(Hectáreas)				
	2004	2005	2006	2007	2008
Arveja Grano Seco	753	1518	1233	1243	1313
Cebada Grano	1080	596	332	257	451
Frijol	593	489	657	739	862
Haba Grano Seco	168	150	189	193	194
Maíz amarillo duro	469	692	656	665	680
Maíz amiláceo	2567	2071	1808	1835	1843
Oca	259	223	217	189	186
Olluco	164	140	159	163	177
Papa	966	727	933	946	940
Trigo	5835	6184	5564	5868	5983

Fuente.- Estudios del INEI 2008

**Cuadro N° 2.10.-Área de cultivos en la zona 3 en hectáreas**

Cultivos	Área de Producción	
	Ha	%
Papa	2819	27.66
Trigo	2339	22.95
Maíz	2114	20.75
Cebada	1455	14.28
Oca, Olluco	532	5.22
Menestras(choclo, lenteja)	364	3.57
Avena	229	2.25
Centeno	224	2.20
Alfalfa	66	0.65
Otros	48	0.47

Fuente.- Censo Agropecuario 1994

**Cuadro N°2.11.- Área de cultivos en la zona 4 en hectáreas**

Principales Cultivos	Área(Hectáreas)				
	2004	2005	2006	2007	2008
Ajo	141	152	218	250	154
Arveja Grano Verde	119	114	84	112	94
Cebada Grano	1241	1374	1087	980	917
Frijol Grano Seco	482	454	487	418	387
Haba grano seco	82	75	111	91	85
Maíz amiláceo	1742	1892	1881	1660	1697
Maíz choclo	53	67	79	113	83
Olluco	43	92	97	53	86
Papa	1284	1926	1728	1414	1618
Trigo	2212	2796	2836	1896	2580

Fuente.- Estudios del INEI 2008

# CAPITULO 3

## MODELOS MATEMÁTICOS EN EL PROCESO DE GENERACIÓN DE CAUDALES

---

### 3.1 INTRODUCCIÓN

Los métodos descritos en el capítulo 1 son la base para una posterior simulación mediante modelos de precipitación-escorrentía, estos permiten calcular la descarga en el punto en estudio por medio de la precipitación efectiva que va a ser la que al final del proceso genere caudales.

En la presente tesis se estudia dos modelos:

- Modelo del hidrograma unitario de Snyder con una discretización de 6 y 18 subcuencas.
- Modelo del hidrograma unitario del SCS con una discretización de 6 y 18 subcuencas.

En el Sub-Capítulo 3.3.2 se describen estos dos modelos.

Una vez terminada la configuración del modelo se procede a la calibración de los mismos, este es un proceso a través del cual se modifican los valores de los diversos parámetros hasta que los resultados obtenidos a través del modelo se ajusten lo mejor posible a la información. Finalizado el proceso de calibración, el modelo puede ser empleado para realizar pronósticos de crecientes en función a datos de precipitación.

### 3.2 SIGNIFICADO FÍSICO DE PARÁMETROS USADOS EN LOS MODELOS

#### 3.2.1.-Hietogramas de diseño para un evento de tormenta

El SCS del Department of Agriculture (1986) desarrollo hietogramas sintéticos de tormentas utilizadas en los Estados Unidos con duraciones de 6 y 24 horas. Estos hietogramas se dedujeron al utilizar la información presentada por Hershfield (1961) y datos de tormentas adicionales. Existen 4 tormentas de 24 horas de duración, llamadas Tipo I, IA, II y III. Los tipos I y IA corresponden al

clima marítimo del Pacífico con inviernos húmedos y veranos secos. El tipo III corresponde al Golfo de México y las áreas costeras del Atlántico, donde las tormentas tropicales producen lluvias de 24 horas muy grandes. El tipo II corresponde al resto del país en referencia (USA) . Este último tipo es tomado en el estudio ya que generalmente para las cuencas peruanas es el tipo que mejor se comporta. Sus respectivas distribuciones de lluvias las podemos observar en el cuadro N°3.1

**Cuadro N°3.1.- Distribuciones de Lluvia para 24 horas**

Tormentas de 24 horas				
Pt/P24				
Hora t	Tipo I	Tipo IA	Tipo II	Tipo III
0	0	0	0	0
2	0.035	0.05	0.022	0.02
4	0.076	0.116	0.048	0.043
6	0.125	0.206	0.08	0.072
7	0.156	0.268	0.098	0.089
8	0.194	0.425	0.12	0.115
8.5	0.219	0.48	0.133	0.13
9	0.254	0.52	0.147	0.148
9.5	0.303	0.55	0.163	0.167
9.75	0.362	0.564	0.172	0.178
10	0.515	0.577	0.181	0.189
10.5	0.583	0.601	0.204	0.216
11	0.624	0.624	0.235	0.25
11.5	0.654	0.645	0.283	0.298
11.75	0.669	0.655	0.357	0.339
12	0.682	0.664	0.663	0.5
12.5	0.706	0.683	0.735	0.702
13	0.727	0.701	0.772	0.751
13.5	0.748	0.719	0.799	0.785
14	0.767	0.736	0.82	0.811
16	0.83	0.8	0.88	0.886
20	0.926	0.906	0.952	0.957
24	1	1	1	1

### 3.2.2 Método de escurrimiento curva número (CN)

Si se dispone de un histograma que refleja la precipitación total caída, obtenido directamente de un pluviógrafo, el objetivo del modelo es separar la parte de esa precipitación que ha generado escorrentía directa; a esa parte la llamamos  $P_{\text{neta}}$ ,  $P_{\text{efectiva}}$  o  $P_{\text{en exceso}}$ . La precipitación que no genera escorrentía queda como

retención superficial y/o infiltración acabará evapotranspirándose o llegando a la escorrentía subterránea, y es agua perdida para la escorrentía directa, (abstracciones). Se sabe que la capacidad de infiltración del suelo va disminuyendo en el tiempo. Por esta razón, cuando se separa la  $P_{neta}$ , de la total se hace siguiendo una curva descendente que debería reflejar la natural disminución de la capacidad de infiltración del suelo (figura N° 3.1).

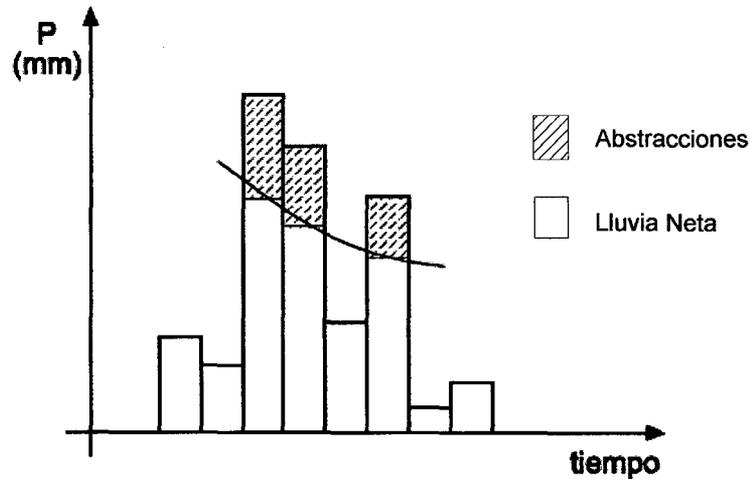


Figura N° 3.1.- Separación de la lluvia neta

### Cálculo de la precipitación efectiva $P_n$ para un único dato

Los pasos a seguir son los siguientes:

-Cálculo del umbral de escorrentía,  $P_o$ . ( o “abstracción inicial”). Es un dato que aparece tabulado en función del uso de la superficie (bosque, cultivo, etc.), de la pendiente y del tipo de suelo (A, B, C ó D, de más arenoso y permeable a más arcilloso e impermeable). Finalmente hay que modificarlo si los días anteriores han sido muy secos o muy húmedos.

-Cálculo de la  $P$  neta. Se utiliza la expresión siguiente:

$$P_n = \frac{(P - P_o)^2}{P + 4P_o} \quad (3.1)$$

#### Aplicación 1

Calcular la precipitación neta de una precipitación diaria total de 31 mm. Si consultando en tablas se tiene un valor de  $P_o$  de 12 mm.

$$P_n = \frac{(31 - 12)^2}{31 + 4 \cdot 12} = 4.6 \text{ mm}$$

### Cálculo para un proceso general

El Servicio de Conservación de Suelos (SCS), desarrolló un método de cálculo de la escorrentía directa como consecuencia de una tormenta, estudiando el comportamiento de la infiltración de los diferentes tipos de suelos. En base a estos estudios del SCS llegó a la ecuación 3.2.

$$\sum P_n = \frac{(\sum P_t - P_0)^2}{\sum P_t + 4P_0} \quad (3.2)$$

La abstracción inicial ( $P_0$ ) representa el valor de todas las pérdidas antes de que comience la escorrentía, como el encharcamiento en depresiones de la superficie, la interceptación por la vegetación, la evaporación y la infiltración.  $P_0$  es variable, además en base a los resultados obtenidos por el SCS para muchas cuencas experimentales se llegó a que la Abstracción Inicial es aproximadamente el 20% de la abstracción máxima(S), con esto la ecuación 3.3 se transforma en.

$$\sum P_n = \frac{(\sum P - 0.2S)^2}{\sum P + 0.8S} \quad (3.3)$$

Esta ecuación es dimensionalmente correcta por lo que se puede usar en cualquier sistema de unidades. Para representar gráficamente la ecuación 3.2 ; $P_{\text{neta}}$  en función de la precipitación total para distintos valores de S se utiliza el concepto de Curva Número(figura N°3.2) donde se tiene la ecuación 3.4:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3.4)$$

Esta ecuación 3.4 depende del sistema de unidades, por lo que el valor de S es en mm,  $P_0$  se calcula mediante unos ábacos obtenidos por el SCS en el que este valor depende del uso de la tierra (cuadro N° 3.2), de las condiciones hidrológicas, de las condiciones de humedad y del grupo de suelo

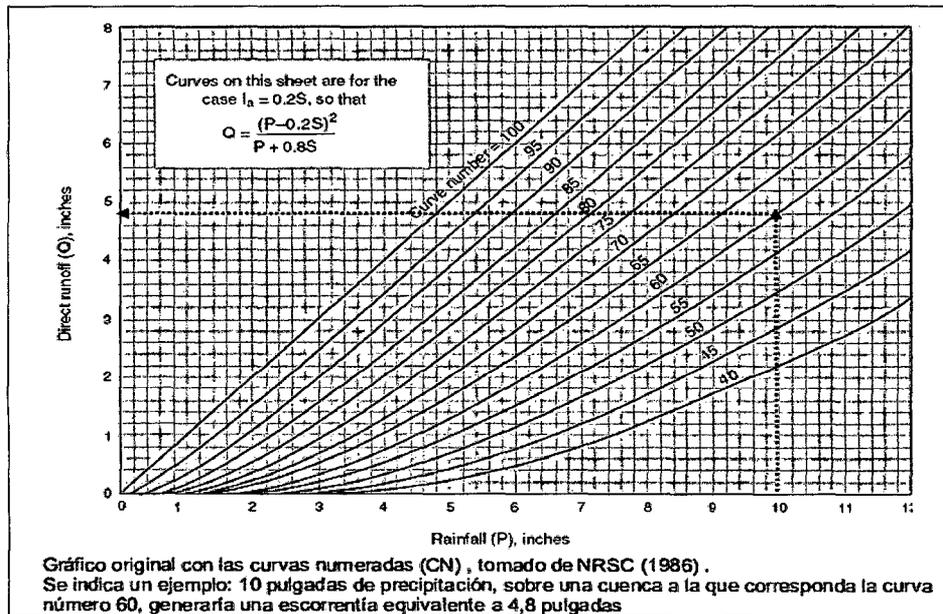


Figura N°3.2.- Valores de CN

### Grupo del suelo

**Grupo A:** Suelos con alta capacidad de infiltración, arenas, gravas y loess profundo

**Grupo B:** Suelos con capacidad de infiltración moderada. loess poco profundos, marga arenosa

**Grupo C:** Suelos con capacidad de infiltración bajas. margas arcillosa, marga arenosa poco profunda, suelos de bajo contenido orgánico y suelos generalmente con alto contenido de arcilla.

**Grupo D:** Suelos con muy baja capacidad de infiltración o en los que el nivel freático esta cerca de la superficie. Suelos que aumentan de volumen cuando están mojados (suelos expansivos), arcillas plásticas pesadas y algunos suelos salinos.

El cuadro 3.3 proporciona un valor medio de la CN, para la condición de humedad Antecedente II pero este valor está sujeto a otras consideraciones como son la lluvias que se presentan días anteriores, si por ejemplo la lluvia de los días anteriores fue intensa, el suelo tendrá menor capacidad de infiltración, como consecuencia al valor del umbral se le debe hacer una corrección que se muestra en la ecuación 3.6. Del mismo modo si los días anteriores no llovió mucho el suelo tendrá mayor capacidad de infiltración y al umbral también se le hará una corrección donde la ecuación de esta corrección se hace de acuerdo a la fórmula 3.5.

**Cuadro N° 3.2.- Uso de la tierra**

Uso	Descripción
Barbecho	Tierra de cultivo que no se siembra. Las tierras que están en barbecho reciben generalmente algunas labores que contribuyen a reducir el grado de escorrentía, pero este es importante debido a la escasa cantidad de vegetación.
Cultivos en Hilera	Tierras sembradas de cultivos plantados formando hileras, lo que permite realizar labores agrícolas mientras otras plantas se desarrollan. Se pueden incluir en este grupo la siembras de : la papa, el algodón, el maíz, tomate, betarraga , frutas en general, almendras , viñas.
Cereales	Se incluyen en esta categoría las tierras dedicadas a cereales cuyo ciclo vegetativo puede desarrollarse durante el invierno, tales como trigo, cebada, la avena y el centeno
Rotación de Cultivos	Se refiere a la combinación de las dos anteriores. Praderas, prados y pastizales. A su vez se clasifican en: Pobres( Cobertura Vegetal en menos del 50%); Medias( Moderado régimen de Pastoreo), Buenas( Bajo un pastoreo ligero o con cobertura vegetal en mas del 75% de la superficie) y muy buenos ( se considera en este grupo a las praderas)
Plantaciones Regulares	Comprende las plantaciones regulares de árboles tales como chopos, eucaliptos, etc , los grupos son: Pobres( No existe otro tipo de vegetación que la propiamente arborea) ; Medias( Existe alguna vegetación además de la arborea, sin embargo una parte importante del suelo carece de protección) y Buenas ( Vegetación y materia vegetal no descompuesta cubren el terreno)
Masas Forestales	Se denominan así las superficies de terreno en las cuales se desarrolla vegetación leñosa arborea o arbustiva, tales como el monte bajo, monte alto o los bosques. De acuerdo a la densidad de la vegetación se dividen en : a) Muy espesas , b) espesas , c) Medias, d) Claras y e) Muy claras

**Cuadro N°3.3.-Valores de CN para la condición de Humedad Antecedente II**

Uso de la tierra	Pendiente	Característica Hidrológica	Grupo de Suelo			
			A	B	C	D
Barbecho	N	>3	75	82	86	89
	N	<3	72	78	82	86
Cultivos en Hileras	N	>3	67	76	82	86
	N	<3	64	73	78	82
Cereales en Invierno	N	>3	61	73	81	84
	N	<3	60	71	78	81
Rotación de Cultivos Pobres	N	>3	64	75	82	86
	N	<3	63	73	80	84
Rotación de Cultivos Densos	N	>3	55	69	78	82
	N	<3	52	67	76	80
Praderas	Pobre	>3	68	78	86	89
	Media		49	69	78	85
	Buena		49	61	74	80
	Muy Buena		49	55	70	77
	Pobre	<3	47	67	81	88
	Media		47	59	75	84
	Buena		47	59	70	78
	Muy Buena		47	59	70	78
Plantaciones regulares de aprovechamiento forestal	Pobre	>3	45	66	77	84
	Media		45	60	73	78
	Buena		45	55	70	77
	Pobre	<3	45	60	73	78
	Media		45	55	70	77
	Buena		45	50	67	76
Masas Forestales	Muy clara		56	75	86	91
	Clara		46	68	78	84
	Media		46	60	70	76
	Espesa		46	52	62	69
	Muy Espesa		46	44	54	61

Fuente : Sanchez San Roman 2000

$$CN(I) = \frac{4,2CN(II)}{10 - 0,058CN(II)} \quad (3.5)$$

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0,13CN(II)} \quad (3.6)$$

### 3.2.3 Modelos de precipitación - escorrentia

#### a) Hidrograma unitario sintético de Snyder

En un estudio de cuencas localizadas principalmente en los montes Apalaches de los Estados Unidos y con tamaños que variaban desde cerca de 30 hasta 30000 Km<sup>2</sup>, Snyder encontró relaciones sintéticas para algunas características de un hidrograma unitario estándar. A partir de estas relaciones pueden calcularse cinco características de un hidrograma unitario requerido para una duración de exceso de lluvia dada: el caudal pico por unidad de área de la cuenca,  $q_{pr}$ , el retardo de la cuenca  $t_{pr}$  (diferencia de tiempo entre el centroide del hietograma de exceso de lluvia y el pico del hidrograma unitario), el tiempo base  $t_b$  y los anchos  $W$ (en unidades de tiempo) del hidrograma unitario al 50%( $W_{50}$ ) y 75%( $W_{75}$ ) del caudal pico. Utilizando estas características puede dibujarse el hidrograma unitario requerido.

Snyder definió el hidrograma unitario como aquel que cumple la ecuación 3.7.

$$t_p = 5.5t_r \quad (3.7)$$

Donde  $t_r$  es la duración de la lluvia efectiva y  $t_p$  el tiempo de retardo, ambos del hidrograma unitario estándar. Además encontró que para un hidrograma unitario estándar el tiempo de retardo se puede describir como en la ecuación 3.8:

$$t_p = 0.75C_t(LL_c)^{0.3} \quad (3.8)$$

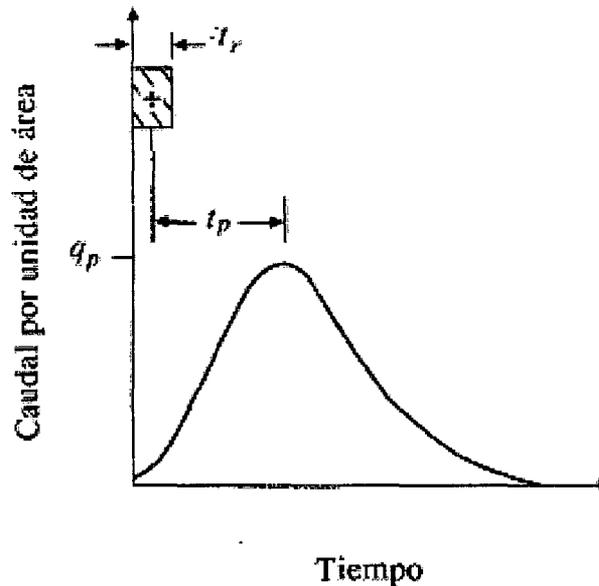
Donde  $L$  es la longitud del cauce principal (Km),  $L_c$  es la distancia desde la salida de la cuenca hasta el punto del cauce principal más cercano al centroide del área de la cuenca (Km) y  $C_t$  es un coeficiente que varía entre 1.35 (pendientes altas) y 1.65 (pendientes bajas) aunque existen diferentes teorías para el cálculo de este parámetro sería mejor hallarlo por calibración.

El caudal pico por unidad de área de drenaje en m<sup>3</sup>/s.km del hidrograma unitario es el mostrado en la ecuación 3.9:

$$q_p = \frac{C_2C_p}{t_p} \quad (3.9)$$

Donde  $C_2=2.75$  y  $C_p$  es un coeficiente basado en cuencas instrumentadas en la misma región. Existen ecuaciones para construir un hidrograma unitario en base a un tiempo efectivo requerido( $t_{pr}$ ) teniendo uno ya conocido, pero el objetivo es

obtener el hidrograma unitario determinando así la descarga máxima (figura N°3.3)



**Figura N°3.3.-** Representación del hidrograma unitario Estandar de Snyder

A partir de un hidrograma unitario conocido en la cuenca se obtienen los valores de su duración efectiva  $t_r$ , en horas, su tiempo de retardo en la cuenca  $t_{pr}$  en horas y su caudal pico por unidad de área de drenaje  $q_{pr}$  en  $m^3/s.km^2.cm$ .

Si  $t_{pr}=5.5t_r$ , entonces  $t_{pr}=t_p$  y  $q_{pr}=q_p$ , y  $C_t$  y  $C_p$  se calculan en base a las ecuaciones anteriores. Si  $t_{pr}$  es muy diferente de  $5.5t_r$ , el retardo de cuenca estándar es( ecuación 3.10):

$$t_p = t_{pr} + \frac{t_r - t_{pr}}{4} \quad (3.10)$$

Y las ecuaciones (3.7) y (3.10) se resuelven simultáneamente para encontrar  $t_r$  y  $t_p$  Luego se calculan los valores de  $C_t$  y  $C_p$  de las ecuaciones (3.8) y (3.9) con  $q_{pr}=q_p$  y  $t_{pr} = t_p$ .

La relación entre  $q_p$  y el caudal pico por unidad de área de drenaje  $q_{pr}$  del hidrograma unitario requerido es(ecuación 3.11):

$$q_{pr} = \frac{q_p t_p}{t_{pr}} \quad (3.11)$$

El tiempo base  $t_b$  en horas del hidrograma unitario puede determinarse utilizando el hecho de que el área bajo el hidrograma unitario es equivalente a una escorrentía directa de 1cm. Suponiendo una forma triangular para el hidrograma unitario, el tiempo base puede estimarse por la ecuación 3.12

$$t_b = \frac{C_3}{q_{pR}} \quad (3.12)$$

Donde  $C_3$  se puede considerar 5.56

El ancho en horas de un hidrograma unitario a una caudal igual a cierto porcentaje del caudal pico  $q_{pR}$  esta dado por:

$$W = C_w q_{pR}^{-1.08}$$

Donde  $C_w = 1.22$  para un ancho del 75% y 2.14 para un ancho de 50%. Usualmente un tercio de este ancho se distribuye antes del momento en que ocurre el pico del hidrograma unitario y dos tercios después de dicho pico.

#### b) Hidrograma unitario sintético del SCS

El hidrograma adimensional del SCS es un hidrograma unitario sintético en el cual el caudal está relacionado con el caudal pico  $q_p$  y el tiempo está relacionado con el tiempo de ocurrencia del pico en el hidrograma unitario,  $T_p$ . Dados el caudal pico y el tiempo de retraso para la duración de exceso de precipitación, el hidrograma unitario se podría estimar. Los valores de  $q_p$  y  $T_p$  pueden calcularse utilizando un modelo simplificado de un hidrograma unitario triangular en donde el tiempo está dado en horas y el caudal en  $m^3/s.cm$ .

Con base en la revisión de un gran número de hidrogramas unitarios, el Soil Conservation Service sugiere una serie de ecuaciones donde una de sus ecuaciones básicas es la 3.13:

$$T_p = 0.5t_r + t_{lag} \quad (3.13)$$

Donde  $T_p$  = Tiempo en la punta en horas

$t_r$  = Duración de la precipitación efectiva en horas

$t_{lag}$  = Tiempo de retardo en horas

Gracias a los estudios de hidrogramas unitarios de muchas cuencas rurales grandes y pequeñas indica que el  $t_{lag} = 0.6T_c$  donde  $T_c =$  Tiempo de concentración (horas).

Adicionalmente el SCS demostró que:

$$t_b = 2.67t_p \quad (3.14)$$

Donde  $t_b =$  Tiempo base en horas.

$T_p =$  Tiempo en la punta en horas.

Además:

$$q_p = \frac{0.208A}{T_p} \quad (3.15)$$

Donde  $A =$  Área de la cuenca en  $\text{Km}^2$

$q_p =$  Caudal Pico en  $\text{m}^3/\text{s.cm}$

En base a la resolución de las ecuaciones 3.13; 3.14 y 3.15 se construye el hidrograma triangular mostrado en la figura N° 3.4.

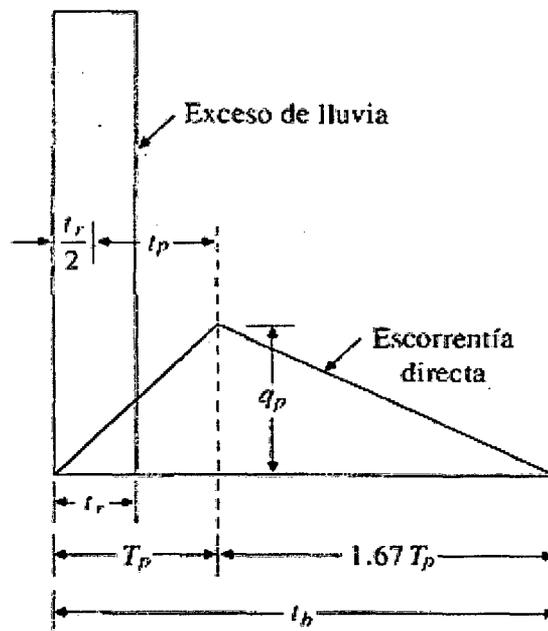


Figura N°3.4.- Diagrama triangular simplificado del SCS

El hidrograma unitario del SCS nos permite proporcionar al hidrograma unitario triangular un comportamiento mediante una transformación utilizando el cuadro N°3.4 donde el diagrama triangular será suavizado

**Cuadro N°3.4.-Ordenadas del Hidrograma Unitario suavizado del SCS**

t/tp	q/qp	t/tp	q/qp
0.10	0.013	1.80	0.418
0.20	0.076	2.00	0.323
0.30	0.158	2.20	0.241
0.40	0.278	2.40	0.177
0.50	0.430	2.60	0.133
0.60	0.601	2.80	0.095
0.80	0.892	3.00	0.076
1.00	1.000	3.50	0.038
1.20	0.918	4.00	0.019
1.40	0.753	4.50	0.006
1.60	0.532	5.00	0.004

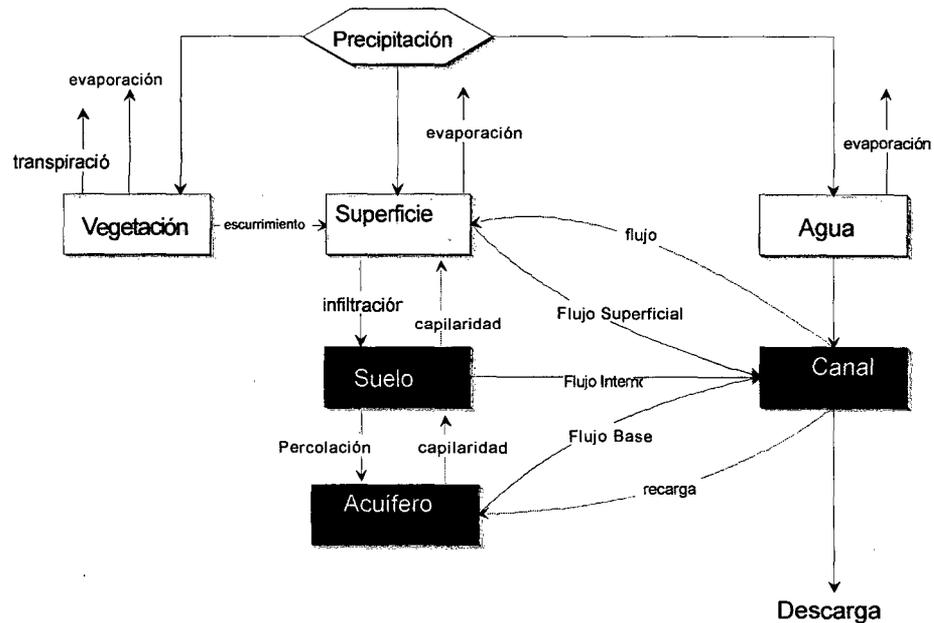
### 3.3 PROCESO DE MODELAMIENTO PARA LA GENERACIÓN DE CAUDALES

El proceso de modelamiento empieza con la delimitación de subcuencas, utilizando un DEM STRM, este modelo digital de terreno servirá para construir la cobertura topográfica de la zona en estudio, además de un posterior cálculo de los parámetros fisiográficos de las subcuencas, mediante las fórmulas del capítulo 1.3 y el SIG.

#### 3.3.1 Componentes de la escorrentía

La cuenca puede ser representada como un sistema de componentes interconectados. Cada uno modela un aspecto del proceso lluvia-escorrentía dentro de cada sub cuenca, entre estos componentes tenemos la escorrentía superficial, el tránsito en ríos, y los puntos de salida. Cada uno de estos componentes se representa por una serie de parámetros que especifican las características propias del mismo y las relaciones matemáticas que describen los procesos físicos que se llevan a cabo

La figura N°3.5 representa los sistemas del proceso de escurrimiento de cuencas. La muestra comenzará con los procesos de precipitación, esta puede caer en la vegetación de la cuenca, la superficie terrestre y los cuerpos de agua (ríos y lagos).



**Figura N°3.5** Proceso de escurrentía

En el sistema hidrológico natural, gran parte del agua que cae como precipitación vuelve a la atmósfera por evaporación de la vegetación (evapotranspiración), además están sujetos a la evaporación la precipitación que cae directamente a la superficie de la cuenca y a los cuerpos de agua tales como lagos, ríos, etc..Parte de la precipitación también llega a la vegetación a través de las hojas y por los troncos o raíces que están unidos directamente con la superficie terrestre que se une a la precipitación que cayó directamente sobre la superficie. Allí, el agua puede estancarse, y dependiendo del tipo y cobertura del suelo, una parte puede infiltrarse. Esta agua infiltrada se almacena temporalmente en las capas superiores, parcialmente saturada de suelo. Desde allí, se eleva a la superficie por acción capilar, o se filtra en el acuífero de aguas subterráneas por debajo de la cuenca. El flujo interno finalmente entra en el canal de la corriente. El agua en el acuífero se mueve lentamente, pero con el tiempo, una parte retornará a los canales como flujo base.

El agua que no se estanca o no se infiltra, forma una delgada lamina de agua que se mueve por la superficie de tierra a un canal de flujo. La combinación entre los modelos de caudal base, transito de hidrogramas, las pérdidas y .los métodos de precipitación - escurrentía (Snyder-SCS) forman el caudal que descargará a la salida de la cuenca.

Para el cálculo de los parámetros de los modelos de precipitación-escorrentía se debe tener en cuenta los parámetros físicos de la cuenca explicados en el capítulo 1, así como también los datos de precipitaciones para distintos periodos de retorno debidamente corregidos.

El resultado final será el caudal máximo para un periodo de retorno de 100 y 500 años, lo que al después será calibrado de una forma indirecta ya que la información en la zona es escasa. Este dato podrá servir para un posterior diseño de alguna estructura que se quiera hacer en un futuro.

### **3.3.2 Calibración y evaluación de modelos precipitación - escorrentía**

Son procesos por el cual los valores de los parámetros del modelo son identificados para su uso en una aplicación particular. La identificación de los parámetros puede ser llevada a cabo manualmente, por prueba y error, o automáticamente utilizando técnicas de optimización matemática.

La calibración implica la existencia de datos de caudales, para cuencas donde no existe este tipo de datos, la calibración simplemente no es posible. Por ejemplo, un modelo determinístico es observado generalmente como altamente predictivo, por ello, debería requerir poca o nada de calibración, sin embargo los modelos determinísticos no son enteramente así, y por ello, un cierto modo de calibración es necesario. Para evaluar la seguridad predictiva de un modelo es necesario dividir el proceso de calibración en dos etapas: calibración en si y verificación. Para estos propósitos dos grupos independientes de datos de lluvia-caudal son reunidos. El primer grupo es utilizado en la calibración por sí mismo, mientras el segundo grupo es usado en la verificación del modelo, esto es: una medición de la seguridad de la calibración. Una vez que el modelo ha sido calibrado y los parámetros verificados, está listo para ser utilizado en la etapa predictiva de modelación.

### **3.3.3 Descripción de los modelos a usarse en la cuenca del río Crisnejas**

#### **a) Introducción**

En ambos modelos se utilizará el ultimo tipo de superficie descrito en el capítulo 1 que es el DEM cuya función es construir la cobertura de la topografía, ya que existen modelos de elevación digital presentes en el INTERNET de manera gratuita (<http://srtm.csi.cgiar.org>, 2004). En el estudio la topografía se hace con un DEM ;cuya resolución es de 90 m, esta puede ser una opción del ingeniero ya

que también se puede usar las cartas del IGN. El IGN brinda una resolución mayor de 150m y la exactitud de sus curvas pueden ser diferentes .

Con las herramientas del SIG se acondicionará el DEM (figura N°3.6) según la forma de la cuenca que está en estudio Los datos del STRM están disponibles con 90m de resolución para casi todo el globo y con 30m de resolución solo para algunos países. El error vertical reportado es menor a los 16m. Una vez construida la cobertura topográfica se procederá a la delimitación de la sub cuencas teniendo como criterio lo siguiente:

- Homogeneidad en la superficie, ya sea clima, temperatura, cobertura vegetal, etc.
- Ubicación de estaciones pluviométricas, ya que lo ideal es que por cada sub-cuenca exista una estación pluviométrica con datos de precipitaciones máximas en 24 hrs.
- Delimitación tentativa de las subcuencas (extensión del SIG) tomando como base para la delimitación las curvas de nivel y la distribución de ríos.



**Figura N°3.6** DEM STRM para la cuenca del río Crisnejas

## **b) Subdivisión de Cuencas**

En ambas discretizaciones se usan el DEM con una resolución de 90 m, los pasos tomados para delinear las subcuencas(Figura N°3.7) en SIG son:

**Llenado de Huecos(Fill Sinks)** Se rellenan las imperfecciones existentes en la superficie, de tal forma que las depresiones alcancen el nivel del terreno

**Dirección de Flujo (Flow Direction)** Se define aquí la dirección del flujo buscado el camino descendente de una celda a otra

**Acumulación de Flujo (Flow Accumulation)** Se determina el número de celdas de aguas arriba que vierten sobre cada una de las celdas inmediatamente aguas debajo de ella

**Definición de corriente (Stream Definition)** Este paso clasifica todas las celdas con flujo procedente de un número de celdas mayor a un umbral definido por el usuario como pertenecientes a la red de drenaje

**Segmentación de corriente (Stream Segmentation)** Se trata de dividir el cauce en segmentos no interrumpidos por ningún elemento.

**Delimitación de Cuenca (Catchment Grid Delineation)** Sirve para hacer una delimitación de las subcuencas

**Procesamiento de conversión a polígono (Catchment Polygon Processing)**  
Convierte las subcuencas a Polígonos

**Línea de drenaje de procesamiento (Drainage line Processing)** En este paso se crea el vector que será el río a simular en la cuenca en estudio

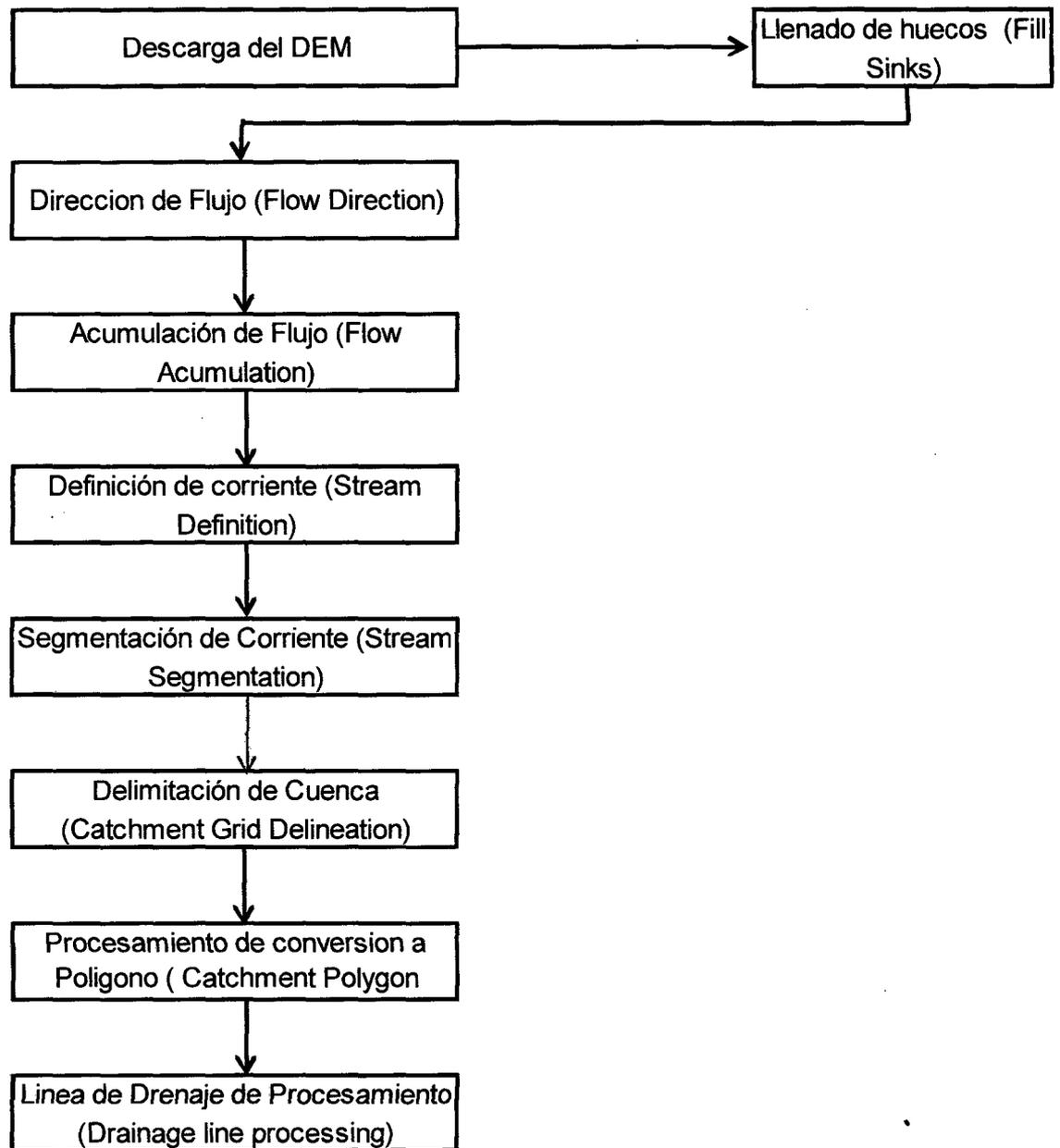


Figura N°3.7.- Diagrama de flujo para la delimitación de subcuencas

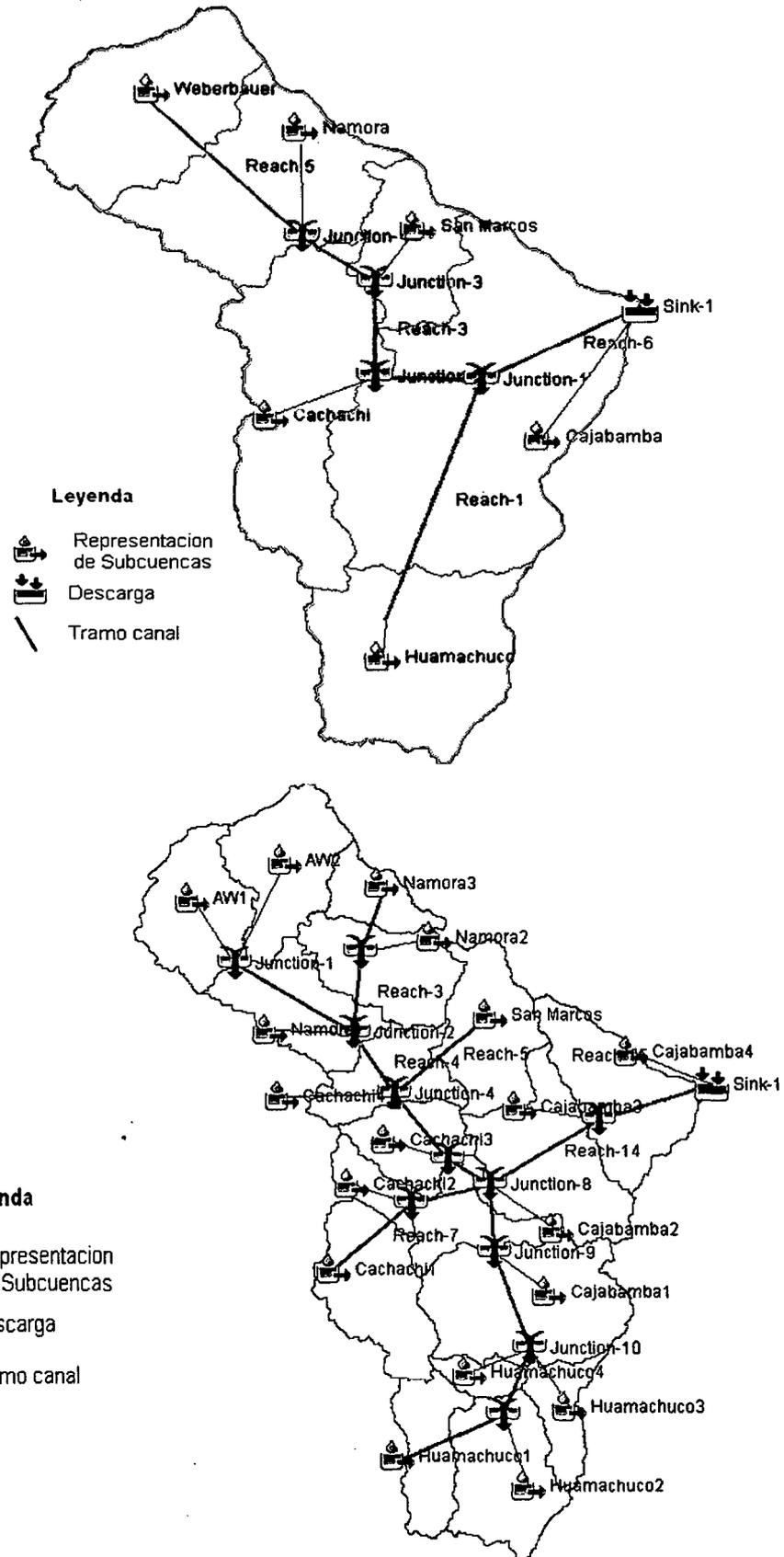


Figura N°3.8.- Esquema de las 6 y 18 subcuencas

Con los pasos de la figura N°3.7 se construirán los Modelos que consta de un total de 6 y 18 subcuencas modeladas, la distribución de estas se muestran en la figura N°3.8

Para el cálculo de las pérdidas iniciales y la posterior determinación de la precipitación efectiva (que producirá la escorrentía directa) se usa una aplicación del SIG llamada ERDAS que mediante imágenes satelitales tomadas por el satélite Landsat, mediante una combinación de bandas propias del satélite nos da una idea de la densidad en la cobertura vegetal de la zona (Mapa N° 5).

La combinación de bandas servirá para la determinación de las pérdidas iniciales en la cuenca

Estas pérdidas iniciales se calculan gracias al modelo de la curva número descrito en el párrafo anterior, con el SIG se puede calcular el área de los distintos tipos de cultivos en la cuenca, para posteriormente sacar un valor medio de la pérdida Inicial por evapotranspiración e infiltración.

Una vez que se obtenga la precipitación efectiva se tendrá que calcular la escorrentía que producirá esta precipitación, por lo que se usará el modelo de Snyder (descrito en el capítulo 3.2) que se aplica a cuencas de tamaño intermedio y pluviosidad grande.

El Modelo tiene las principales características importantes:

- Delimitación de 6 y 18 subcuencas por medio del DEM STRM
- Entrada de datos de precipitación para periodos de retorno de 100 y 500 años por medio del STORM que se basa en una duración de lluvia de 24 hrs y a unos coeficientes medidos experimentalmente para la zona II (Referencia VEN TE CHOW 1994)
- Aplicación de las ecuaciones de Curva Número para el exceso de precipitación, y del Hidrograma Unitario de Snyder para la construcción final del hidrograma de descarga
- Uso del Hidrograma Unitario de Snyder para la conversión precipitación-escorrentía.

Estas características las podemos observar en el diagrama de flujo mostrado en la figura N°3.9

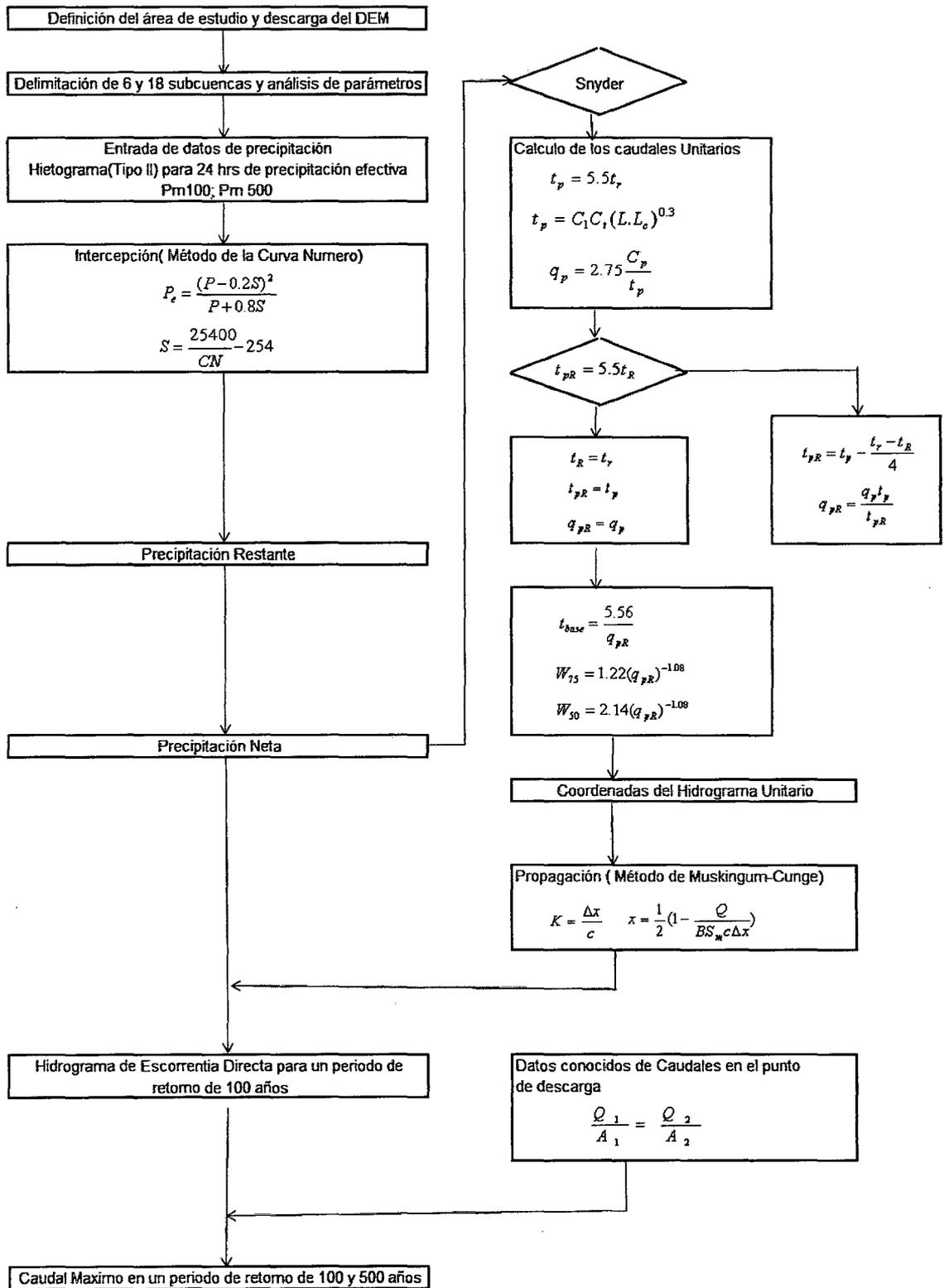
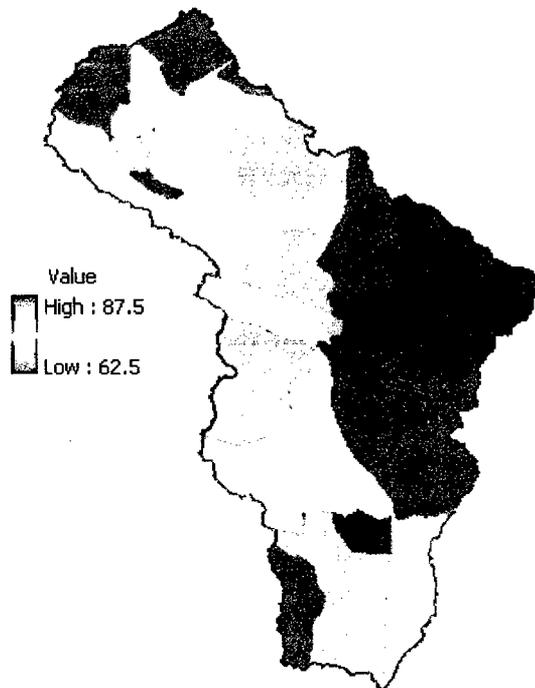


Figura N°3.9.- Diagrama de flujo para el Modelo de Snyder aplicado a la cuenca del río Crisnejas

El segundo modelo consta de un total de 6 y 18 subcuencas modeladas ( figura N°3.10). El modelo aplicado para el cálculo de la evapotranspiración e infiltración es igual que la anterior representación, (modelo de la Curva Número), solo que se tendrá una ligera variación, este cálculo se hará con una discretización mas fina, lo que comúnmente se conoce como el modelo del SCS GRID, en el cual el resultado será mucho más exacto, una aplicación se podrá ver en la figura N°3.10



**Figura N° 3.10.-Modelo de la Curva Número en grillas**

Para el cálculo de la descarga directa, se usará el modelo de precipitación escorrentía del Soil Conservation Service(SCS).

El Modelo tiene las principales características importantes:

- Delimitación de 6 y 18 subcuencas por medio del DEM STRM
- Entrada de datos de precipitación para periodos de retorno de 100 y 500 por medio de hietogramas definidos para la zona II (Referencia VEN TE CHOW, 1994)
- Aplicación de las ecuaciones de Curva Número para el exceso de precipitación, y del Hidrograma Unitario del SCS para la construcción final del hidrograma de descarga
- Análisis del tránsito de Hidrogramas por medio del método de Muskingum-Cunge

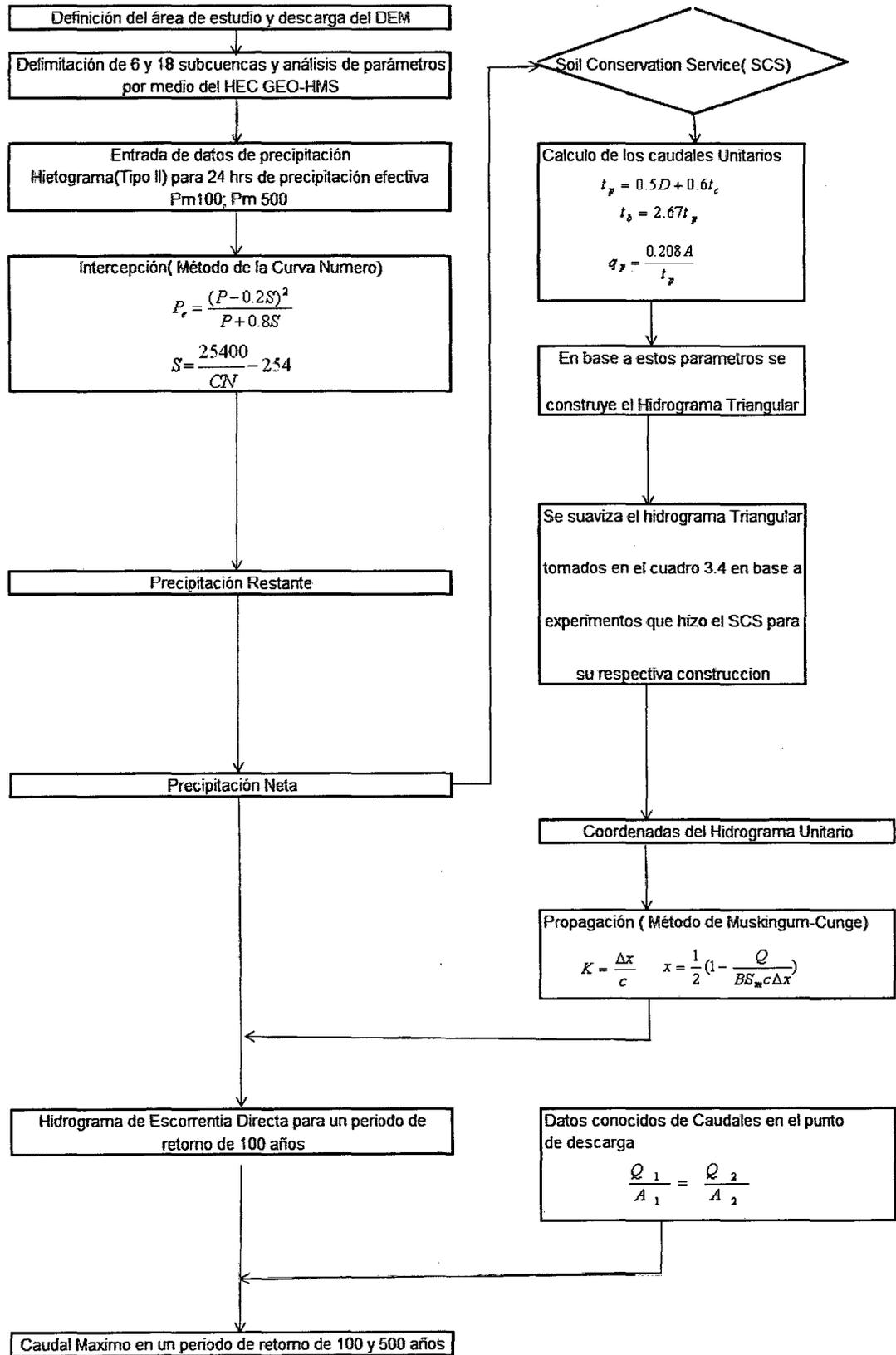


Figura N°3.11.-Diagrama de flujo para el Modelo del SCS aplicado a la cuenca del río Crisnejas

Estas características las podemos observar en el diagrama de flujo mostrado en la figura N°3.11

### 3.3.4 Cálculos Posteriores

#### a) Parámetros propios de los canales

Para la determinación de los parámetros propios del método de Muskingum-Cunge como ancho del río y coeficiente de rugosidad se tomaron los datos del río Marañón, ya que el río Crisnejas es un afluente del río mencionado; además cuando se hace la calibración del Modelo se toma como referencia dicho río como conclusión el ancho y su coeficiente de rugosidad son asumidos iguales.

En la figura N° 3.12 se puede observar una sección del río Marañón donde estas dimensiones se tomaron en cuenta para el cálculo del tránsito de hidrogramas (Estudio del Puente Chacanto 2008 ).

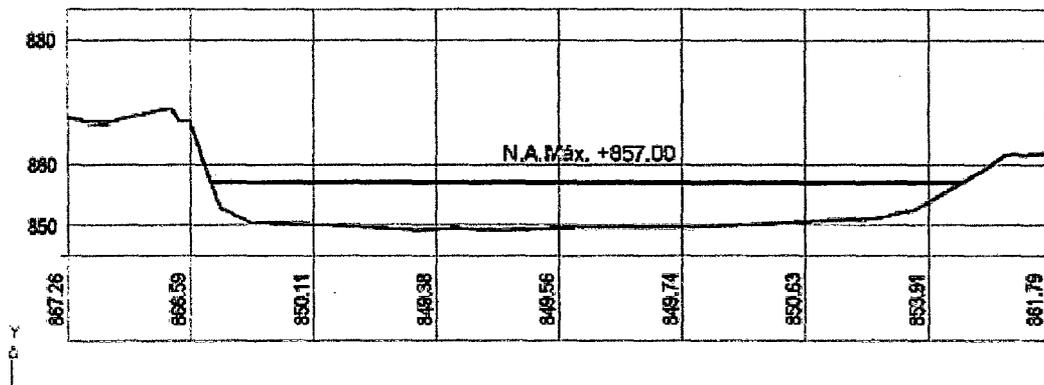


Figura N°3.12.-Sección transversal del río Marañón

Tirante máximo	$Y = 7.78 \text{ m}$
Área mojada	$A = 799.42 \text{ m}^2$
Perímetro mojado	$P = 126.93 \text{ m}$
Radio medio hidráulico	$R = 6.3 \text{ m}$
Pendiente Longitudinal del río	$S_o = 0.0013$
Coficiente de Manning considerado	$n = 0.030$

# CAPÍTULO 4

## INFORMACIÓN BÁSICA

### 4.1 PRECIPITACIÓN

En la cuenca del río Crisnejas existen varias estaciones como: La Encañada, Augusto Weberbauer, Ronquillo, Aylambo, Namora, Jesús Túnel, San Marcos, Cachachi, Cajabamba, Cospan, todas estas estaciones pertenecen al departamento de Cajamarca y una estación que pertenece al departamento de La Libertad que es Huamachuco, de este universo se seleccionó las más adecuadas tomando como criterio el periodo de registros disponibles, la calidad de información, y anomalías de los registros. Como consecuencia se anularon las estaciones de Aylambo, Ronquillo, Jesús Túnel y Cospan quedándose con las estaciones: Augusto Weberbauer, San Marcos, Cachachi, Cajabamba, Huamachuco, y Namora (estaciones operadas por el SENAMHI). Cada una de ellas será analizada para determinar las respectivas precipitaciones promedio, todas pertenecientes a la cuenca del Río Crisnejas (Mapa N°6).

Las Estaciones Meteorológicas y Pluviométricas utilizadas se muestran en el Cuadro N° 4.1 y su respectivo cronograma en el cuadro N° 4.4

**Cuadro N°4.1.-Estaciones Meteorológicas y Pluviométricas Utilizadas**

ESTACIONES PLUVIOMETRICAS					
ESTACIONES	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	DEPARTAMENTO	PARAMETRO
A. WEBERBAUER	7°9'8"	78°29'29"	2660	Cajamarca	PP máx. 24 h
CACHACHI	7°27'27"	78°16'16"	3200	Cajamarca	PP máx. 24 h
CAJABAMBA	7°37'37"	78°3'2"	2550	Cajamarca	PP máx. 24 h
HUAMACHUCO	7°49'49"	78°3'3"	3150	La Libertad	PP máx. 24 h
NAMORA	7°12'12"	78°20'20"	2760	Cajamarca	PP máx. 24 h
SAN MARCOS	7°19'19"	78°10'10"	2290	Cajamarca	PP máx. 24 h

ESTACIÓN HIDROMETRICA					
ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	ALTITUD	DEPARTAMENTO	PARAMETRO
Puente Crisnejas	7°27'27"	78°07'07"	2060	Cajamarca	Caudales

#### 4.2 PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE

Existen diferentes pruebas para poder comprobar gráficamente y estadísticamente, si la frecuencia empírica de la serie analizada, se ajusta a una determinada función de probabilidad teórica seleccionada. En el caso del estudio la prueba de bondad de ajuste es de Smirnov-Kolmogorov, ya que el objetivo es determinar que función estadística se acomoda mejor a los datos.

La aplicación de la prueba se encuentra en el anexo 4 obteniendo las funciones de probabilidad mostradas en el cuadro N°4.2 para las diversas estaciones.

**Cuadro N°4.2.-Funciones de probabilidad de mejor ajuste**

Estación	Función de probabilidad de mejor ajuste
A. Weberbauer	Gumbel
Cachachi	Normal
Cajabamba	Gumbel
Huamachuco	Normal
Namora	Log Normal
San Marcos	Normal

#### 4.3 HIETOGRAMA DE PRECIPITACIÓN MÁXIMA PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO

A partir de estas funciones de probabilidad y sabiendo cuales son las funciones que mejor se ajustan a nuestros datos de precipitación, obtenemos las precipitaciones correspondientes a diferentes periodos de retorno (cuadro N°4.3), los cálculos se pueden apreciar en el Anexo 4, estos datos servirán para colocar los parámetros de entrada en los modelos.

**Cuadro N°4.3.-Precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno**

Cuenca/Años	P(mm)							
	2	5	10	25	50	100	500	1000
Weberbauer	4,68	5,16	5,48	5,88	6,18	6,48	7,17	7,47
Cachachi	31,99	39,67	43,68	47,96	50,72	53,21	58,25	60,18
Cajabamba	8,22	10,16	11,45	13,07	14,28	15,47	18,24	19,43
Huamachuco	9,63	12,29	13,96	16,00	17,47	18,91	22,20	23,61
Namora	4,93	6,28	7,12	8,15	8,89	9,61	11,26	11,97
San Marcos	3,93	4,77	5,21	5,67	5,97	6,24	6,79	7,00

**Cuadro N°4.4.-Cronograma de información de precipitación máxima en 24 horas.**

Estación	AÑO																																			
	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
A. Weberbauer																																				
Cachachi																																				
Cajabamba																																				
Huamachuco																																				
Namora																																				
San Marcos																																				

# CAPÍTULO 5

## APLICACIÓN DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS A LA CUENCA DEL RÍO CRISNEJAS

### 5.1. PARAMETROS DE ENTRADA

#### 5.1.1 Propiedades Fisiograficas de las sub-cuencas

Los modelos como fueron descritos en el capítulo 3 constan de 6 y 18 subcuencas que tienen el nombre de las estaciones a la que pertenece (mapa N° 7 y N° 8), las propiedades de estas se muestran los cuadros N° 5.1 y 5.2.

**Cuadro N°5.1.-Propiedades Fisiográficas aplicando la discretización de 6 subcuencas**

Cuenca	Área (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	Índice de compacidad	Densidad de drenaje (km <sup>-1</sup> )	Factor de forma	Pendiente de la cuenca	Pendiente del cauce principal	Altitud media m.s.n.m
Weberbauer	623,2	116,1	1,3	0,8100	0,4248	0,2401	0,0293	3361
Cachachi	829,0	197,3	1,8	0,7500	0,8570	0,3657	0,0120	3196
Cajabamba	1555,1	149,5	1,4	0,6900	0,5432	0,3795	0,0110	2751
Huamachuco	732,1	131,9	1,4	0,6500	0,4733	0,2990	0,0380	3456
Namora	708,0	149,5	1,6	0,7800	1,1300	0,2296	0,0079	3166
San Marcos	301,1	92,3	1,5	0,7700	0,4590	0,3132	0,0458	3159

**Cuadro N°5.2.- Propiedades Fisiográficas aplicando la discretización de 18 subcuencas**

Cuenca	Area (km <sup>2</sup> )	Perimetro (km)	Indice de compacidad	Densidad de drenaje km <sup>-1</sup>	Factor de forma	Pendiente de la cuenca	Pendiente del cauce principal	Altitud Media m.s.n.m
AW1	306.32	112.22	1.81	0.76	0.42	0.08	0.00633	3267
AW2	326.36	120.93	1.89	0.86	0.22	0.033	0.01456	3445
San Marcos	304.15	115.92	1.88	0.75	0.74	0.1635	0.04317	3149
Namora1	280.75	115.00	1.94	0.75	0.41	0.1324	0.01047	2925
Namora2	290.39	109.07	1.81	0.80	0.55	0.1551	0.022	3192
Namora3	136.61	77.97	1.88	0.87	11.15	0.0861	0.02436	3480
Cachachi4	218.96	110.19	2.10	0.90	0.20	0.2102	0.011	2997
Cachachi3	199.57	84.26	1.68	0.80	0.40	0.3073	0.0098	2906
Cachachi2	101.91	67.04	1.87	0.70	0.74	0.3832	0.077	3198
Cachachi	333.65	115.92	1.79	0.63	0.24	0.4482	0.038	3486
Huamachuco1	199.44	99.81	1.99	0.56	0.39	0.57	0.031	3583
Huamachuco2	337.66	111.11	1.71	0.68	0.28	0.5824	0.02477	3518
Huamachuco3	136.27	85.92	2.08	0.72	3.29	0.543	0.046	3169
Huamachuco4	75.90	53.81	1.74	0.56	0.86	0.52	0.03341	3058
Cajabamba1	519.94	144.82	1.79	0.61	0.27	0.4884	0.012	2946
Cajabamba2	192.11	109.63	2.23	0.74	0.18	0.3834	0.0053	2474
Cajabamba3	419.61	141.30	1.95	0.57	0.37	0.3248	0.02697	2717
Cajabamba4	368.86	124.08	1.82	0.90	0.24	0.2249	0.01293	2547

### 5.1.2 Hietogramas de diseño

Los hietogramas utilizados son los descritos en el capítulo 3 correspondiente al método de los perfiles de agua, en el que constará de coeficientes para el cálculo de las intensidades de lluvia en la Cuenca en estudio. El tipo de hietograma a usar es el Tipo II ya que es el que mejor se acomoda a las cuencas de la serranía peruana. Los tipos I y IA corresponden a un clima marítimo típico del Océano Pacífico con veranos secos, condición diferente al clima de la zona, el tipo III que corresponde al Golfo de México y las áreas costeras del Atlántico, condición también diferentes, por tanto el tipo II por descarte es el que mejor se acomoda a las condiciones de la cuenca.

Para el cálculo de los hietogramas de cada sub-cuenca se usaron las precipitaciones en las estaciones mencionadas en el capítulo 4 para 100 y 500 años de periodo retorno, estas precipitaciones se pueden observar en el cuadro N° 5.3

**Cuadro N°5.3.-**Precipitaciones max 24 horas en las estaciones pluviométricas para 100 y 500 años de retorno

Est Pluviométrica	Altitud m.s.n.m	Precipitación max 24 hr (mm)	
		100 años	500 años
Weberbauer	2660	6.48	7.17
Cachachi	3200	53.21	58.25
Cajabamba	2550	15.47	18.24
Huamachuco	3150	18.91	22.20
Namora	2760	9.61	11.26
San Marcos	2290	6.24	6.79

En base a las precipitaciones calculadas para dos periodos de retorno se puede observar que la precipitación de Cachachi es mucho más alta que las demás, esto es porque la estación de Cachachi presenta anomalías en sus registros, como grandes precipitaciones en los meses de estiaje, y no por tratarse de microclimas, los que no existen en esta cuenca cuyo clima es uniforme, sino por malos registros, para este tipo de datos dudosos se hace un análisis de confiabilidad que constará de la eliminación de datos que puedan afectar el verdadero comportamiento de la cuenca. Este análisis se basa en Intervalos de confianza para la media en una distribución normal, y se toma este modelo ya que sirve como una buena aproximación de muchas otras distribuciones

importantes, para este análisis uno se basa de un parámetro K (Villon,2005) que depende de la desviación estándar de la muestra y del grado de confiabilidad que se requiere, en este caso este valor será 95%. El análisis de confiabilidad lo se sigue de acuerdo al cuadro 5.4.

**Cuadro N°5.4.-Conversión de datos a distribución normal**

Estación Pluviométrica	Precipitación máx. 24 horas (mm)			
	T=100 años	T=500 años	Conversión a normales	
			Z 100 años	Z 500 años
Weberbauer	6,48	7,17	0,25	0,244
Cachachi	53,21	58,25	0,97	0,974
Cajabamba	15,47	18,24	0,44	0,451
Huamachuco	18,91	22,2	0,51	0,532
Namora	9,61	11,26	0,31	0,314
San Marcos	6,24	6,79	0,25	0,238
Media	18,32	20,65	0,46	0,46
Desviación	17,82	19,41	0,27	0,28
Suma	109,92	123,91	2,74	2,75
K	14,26	15,53	0,22	0,22

El intervalo de confianza para la media es:

$$\bar{X} - k < u < \bar{X} + k$$

Para un periodo de retorno de 100 años:

Donde  $\bar{X} - k = 0,24$   
 $\bar{X} + k = 0,68$

Para un periodo de retorno de 500 años:

$$\bar{X} - k = 0,24$$

$$\bar{X} + k = 0,68$$

Se aprecia del cuadro 5.4 que la estación Cachachi no se encuentra dentro del limite superior que es 0,68 por esta razón la precipitación de esta estación es anulada para posteriores cálculos. Posteriormente para hallar la precipitación en cada una de las subcuencas, se grafica la precipitación de las estaciones restantes en diferentes periodos de retorno vs Altitud obteniendo las figuras N°5.1 y N°5.2

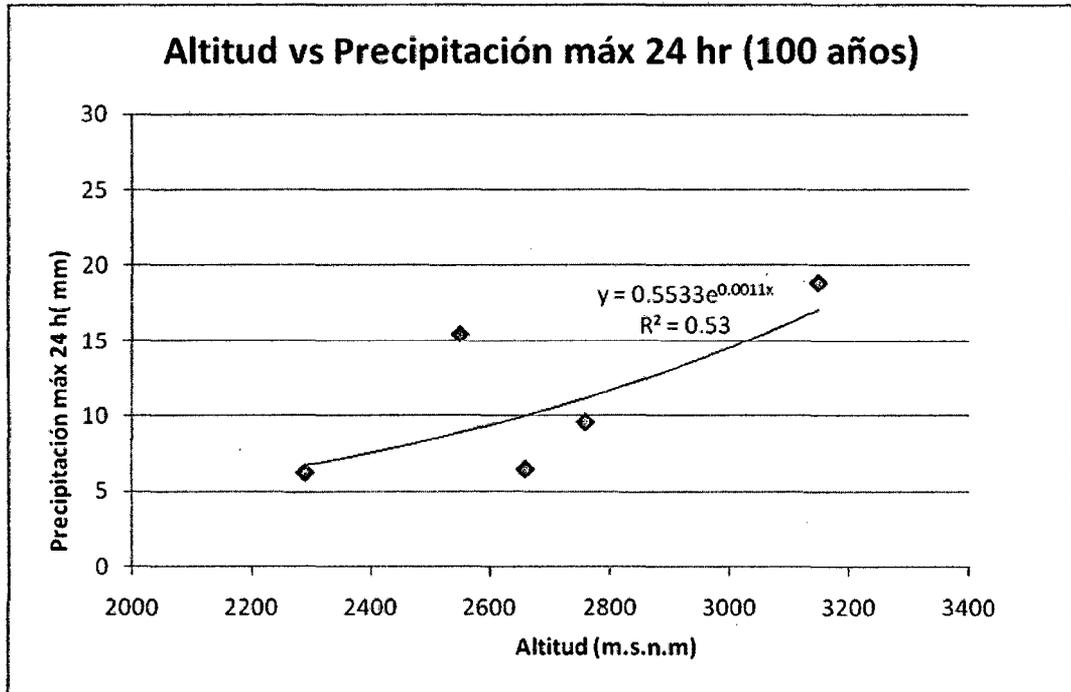


Figura N°5.1.-Precipitación máxima para 100 años de retorno

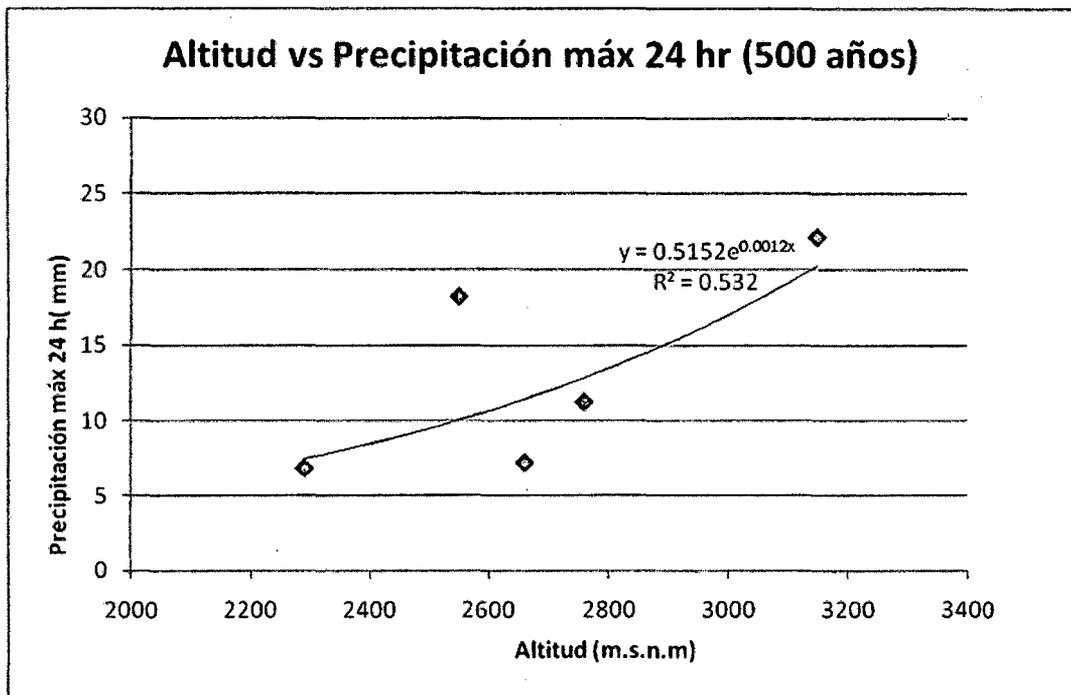


Figura N°5.2.-Precipitación máxima para 500 años de retorno

De acuerdo a estas relaciones, mediante un proceso de regionalización se puede obtener las precipitaciones para cada una de las subcuencas en los periodos de retorno antes mencionados, estas precipitaciones se observan en el cuadro N° 5.5 y N° 5.6.a y N°5.6.b

**Cuadro N 5.5.-** Hietogramas acumulado de lluvia en un periodo de retorno de 100 y 500 años para una discretizacion de 6 subcuencas

t(h)	Factor	Precipitación acumulada(mm) para 100 años						Precipitación acumulada(mm) para 500 años					
		Weberbauer	Cachachi	Cajabamba	Huamachuco	Namora	San Marcos	Weberbauer	Cachachi	Cajabamba	Huamachuco	Namora	San Marcos
		22,31	18,61	11,41	24,78	18,00	17,87	29,07	23,85	13,98	32,60	23,01	22,83
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,01	0,25	0,20	0,13	0,27	0,20	0,20	0,32	0,26	0,15	0,36	0,25	0,25
2	0,02	0,49	0,41	0,25	0,55	0,40	0,39	0,64	0,52	0,31	0,72	0,51	0,50
3	0,04	0,78	0,65	0,40	0,87	0,63	0,63	1,02	0,83	0,49	1,14	0,81	0,80
4	0,05	1,07	0,89	0,55	1,19	0,86	0,86	1,40	1,14	0,67	1,56	1,10	1,10
5	0,06	1,43	1,19	0,73	1,59	1,15	1,14	1,86	1,53	0,89	2,09	1,47	1,46
6	0,08	1,78	1,49	0,91	1,98	1,44	1,43	2,33	1,91	1,12	2,61	1,84	1,83
7	0,10	2,19	1,82	1,12	2,43	1,76	1,75	2,85	2,34	1,37	3,19	2,25	2,24
8	0,12	2,68	2,23	1,37	2,97	2,16	2,14	3,49	2,86	1,68	3,91	2,76	2,74
9	0,15	3,28	2,74	1,68	3,64	2,65	2,63	4,27	3,51	2,06	4,79	3,38	3,36
10	0,18	4,04	3,37	2,06	4,48	3,26	3,24	5,26	4,32	2,53	5,90	4,16	4,13
11	0,24	5,24	4,37	2,68	5,82	4,23	4,20	6,83	5,61	3,29	7,66	5,41	5,36
12	0,66	14,79	12,34	7,56	16,43	11,94	11,85	19,27	15,81	9,27	21,61	15,25	15,13
13	0,77	17,22	14,37	8,81	19,13	13,90	13,80	22,44	18,41	10,80	25,16	17,76	17,62
14	0,82	18,29	15,26	9,35	20,32	14,76	14,66	23,84	19,56	11,47	26,73	18,86	18,72
15	0,85	18,96	15,82	9,70	21,06	15,30	15,19	24,71	20,28	11,89	27,71	19,55	19,40
16	0,88	19,63	16,38	10,04	21,80	15,84	15,73	25,58	20,99	12,31	28,68	20,24	20,09
17	0,90	20,03	16,71	10,24	22,25	16,17	16,05	26,11	21,42	12,56	29,27	20,66	20,50
18	0,92	20,44	17,05	10,45	22,70	16,49	16,37	26,63	21,85	12,81	29,86	21,07	20,91
19	0,93	20,84	17,38	10,65	23,14	16,81	16,70	27,15	22,28	13,06	30,44	21,49	21,32
20	0,95	21,24	17,72	10,86	23,59	17,14	17,02	27,68	22,71	13,31	31,03	21,90	21,73
21	0,96	21,51	17,94	11,00	23,88	17,35	17,23	28,03	22,99	13,48	31,42	22,18	22,01
22	0,98	21,77	18,16	11,13	24,18	17,57	17,45	28,37	23,28	13,65	31,81	22,45	22,28
23	0,99	22,04	18,39	11,27	24,48	17,79	17,66	28,72	23,57	13,82	32,20	22,73	22,55
24	1	22,31	18,61	11,41	24,78	18,00	17,87	29,07	23,85	13,98	32,60	23,01	22,83

**Cuadro N 5.6a.** - Hietogramas acumulado de lluvia en un periodo de retorno de 100 años para una discretización de 18 subcuencas

t(h)	Factor	Precipitación acumulada en mm																	
		Huamachuco4	Huamachuco3	Huamachuco2	Huamachuco1	Cajabamba4	Cajabamba3	Cajabamba2	Cajabamba1	Cachachi4	Cachachi3	Cachachi2	Cachachi1	San Marcos	Namora2	Namora1	Namora3	AW2	AW1
0	0	15,99	18,07	26,52	28,49	9,11	10,99	8,41	14,14	14,95	13,52	18,66	25,62	17,67	18,53	13,82	25,18	24,49	20,13
0	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,01	0,18	0,20	0,29	0,31	0,10	0,12	0,09	0,16	0,16	0,15	0,21	0,28	0,19	0,20	0,15	0,28	0,27	0,22
2	0,02	0,35	0,40	0,58	0,63	0,20	0,24	0,19	0,31	0,33	0,30	0,41	0,56	0,39	0,41	0,30	0,55	0,54	0,44
3	0,04	0,56	0,63	0,93	1,00	0,32	0,38	0,29	0,49	0,52	0,47	0,65	0,90	0,62	0,65	0,48	0,88	0,86	0,70
4	0,05	0,77	0,87	1,27	1,37	0,44	0,53	0,40	0,68	0,72	0,65	0,90	1,23	0,85	0,89	0,66	1,21	1,18	0,97
5	0,06	1,02	1,16	1,70	1,82	0,58	0,70	0,54	0,90	0,96	0,87	1,19	1,64	1,13	1,19	0,88	1,61	1,57	1,29
6	0,08	1,28	1,45	2,12	2,28	0,73	0,88	0,67	1,13	1,20	1,08	1,49	2,05	1,41	1,48	1,11	2,01	1,96	1,61
7	0,10	1,57	1,77	2,60	2,79	0,89	1,08	0,82	1,39	1,47	1,33	1,83	2,51	1,73	1,82	1,35	2,47	2,40	1,97
8	0,12	1,92	2,17	3,18	3,42	1,09	1,32	1,01	1,70	1,79	1,62	2,24	3,07	2,12	2,22	1,66	3,02	2,94	2,42
9	0,15	2,35	2,66	3,90	4,19	1,34	1,62	1,24	2,08	2,20	1,99	2,74	3,77	2,60	2,72	2,03	3,70	3,60	2,96
10	0,18	2,89	3,27	4,80	5,16	1,65	1,99	1,52	2,56	2,71	2,45	3,38	4,64	3,20	3,35	2,50	4,56	4,43	3,64
11	0,24	3,76	4,25	6,23	6,70	2,14	2,58	1,98	3,32	3,51	3,18	4,38	6,02	4,15	4,36	3,25	5,92	5,75	4,73
12	0,66	10,60	11,98	17,58	18,89	6,04	7,29	5,58	9,37	9,91	8,97	12,37	16,98	11,72	12,29	9,16	16,70	16,23	13,34
13	0,77	12,35	13,95	20,47	22,00	7,03	8,48	6,49	10,92	11,54	10,44	14,40	19,78	13,64	14,31	10,67	19,44	18,90	15,54
14	0,82	13,11	14,81	21,75	23,36	7,47	9,01	6,90	11,59	12,26	11,09	15,30	21,00	14,49	15,20	11,33	20,65	20,08	16,50
15	0,85	13,59	15,36	22,54	24,22	7,74	9,34	7,15	12,02	12,71	11,49	15,86	21,77	15,02	15,75	11,74	21,41	20,81	17,11
16	0,88	14,07	15,90	23,34	25,07	8,02	9,67	7,40	12,44	13,16	11,90	16,42	22,54	15,55	16,31	12,16	22,16	21,55	17,71
17	0,90	14,36	16,22	23,82	25,59	8,18	9,87	7,55	12,70	13,43	12,14	16,76	23,00	15,87	16,64	12,41	22,62	21,99	18,07
18	0,92	14,65	16,55	24,29	26,10	8,35	10,07	7,70	12,95	13,70	12,39	17,09	23,46	16,19	16,98	12,66	23,07	22,43	18,44
19	0,93	14,94	16,87	24,77	26,61	8,51	10,26	7,85	13,21	13,97	12,63	17,43	23,93	16,51	17,31	12,90	23,52	22,87	18,80
20	0,95	15,23	17,20	25,25	27,13	8,67	10,46	8,01	13,46	14,24	12,87	17,76	24,39	16,82	17,64	13,15	23,98	23,31	19,16
21	0,96	15,42	17,42	25,57	27,47	8,78	10,59	8,11	13,63	14,42	13,04	17,99	24,69	17,04	17,87	13,32	24,28	23,60	19,40
22	0,98	15,61	17,63	25,88	27,81	8,89	10,73	8,21	13,80	14,60	13,20	18,21	25,00	17,25	18,09	13,48	24,58	23,90	19,64
23	0,99	15,80	17,85	26,20	28,15	9,00	10,86	8,31	13,97	14,77	13,36	18,43	25,31	17,46	18,31	13,65	24,88	24,19	19,89
24	1	15,99	18,07	26,52	28,49	9,11	10,99	8,41	14,14	14,95	13,52	18,66	25,62	17,67	18,53	13,82	25,18	24,49	20,13

**Cuadro N 5.6b.- Hietogramas acumulado de lluvia en un periodo de retorno de 500 años para una discretización de 18 subcuencas**

t(h)	Factor	Precipitación acumulada en mm																	
		Huamachuco4	Huamachuco3	Huamachuco2	Huamachuco1	Cajabamba4	Cajabamba3	Cajabamba2	Cajabamba1	Cachachi4	Cachachi3	Cachachi2	Cachachi1	San Marcos	Namora2	Namora1	Namora3	AW2	AW1
		20,22	23,09	35,11	37,96	10,94	13,43	10,03	17,68	18,79	16,84	23,92	33,80	22,55	23,75	17,24	33,18	32,18	25,98
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,01	0,22	0,25	0,39	0,42	0,12	0,15	0,11	0,19	0,21	0,19	0,26	0,37	0,25	0,26	0,19	0,36	0,35	0,29
2	0,02	0,44	0,51	0,77	0,84	0,24	0,30	0,22	0,39	0,41	0,37	0,53	0,74	0,50	0,52	0,38	0,73	0,71	0,57
3	0,04	0,71	0,81	1,23	1,33	0,38	0,47	0,35	0,62	0,66	0,59	0,84	1,18	0,79	0,83	0,60	1,16	1,13	0,91
4	0,05	0,97	1,11	1,69	1,82	0,53	0,64	0,48	0,85	0,90	0,81	1,15	1,62	1,08	1,14	0,83	1,59	1,54	1,25
5	0,06	1,29	1,48	2,25	2,43	0,70	0,86	0,64	1,13	1,20	1,08	1,53	2,16	1,44	1,52	1,10	2,12	2,06	1,66
6	0,08	1,62	1,85	2,81	3,04	0,88	1,07	0,80	1,41	1,50	1,35	1,91	2,70	1,80	1,90	1,38	2,65	2,57	2,08
7	0,10	1,98	2,26	3,44	3,72	1,07	1,32	0,98	1,73	1,84	1,65	2,34	3,31	2,21	2,33	1,69	3,25	3,15	2,55
8	0,12	2,43	2,77	4,21	4,56	1,31	1,61	1,20	2,12	2,25	2,02	2,87	4,06	2,71	2,85	2,07	3,98	3,86	3,12
9	0,15	2,97	3,39	5,16	5,58	1,61	1,97	1,47	2,60	2,76	2,47	3,52	4,97	3,31	3,49	2,53	4,88	4,73	3,82
10	0,18	3,66	4,18	6,35	6,87	1,98	2,43	1,82	3,20	3,40	3,05	4,33	6,12	4,08	4,30	3,12	6,01	5,82	4,70
11	0,24	4,75	5,43	8,25	8,92	2,57	3,16	2,36	4,15	4,42	3,96	5,62	7,94	5,30	5,58	4,05	7,80	7,56	6,11
12	0,66	13,41	15,31	23,28	25,17	7,26	8,90	6,65	11,72	12,46	11,16	15,86	22,41	14,95	15,74	11,43	22,00	21,33	17,23
13	0,77	15,61	17,83	27,10	29,31	8,45	10,37	7,74	13,65	14,51	13,00	18,47	26,09	17,41	18,33	13,31	25,62	24,84	20,06
14	0,82	16,58	18,94	28,79	31,13	8,97	11,01	8,22	14,50	15,41	13,81	19,62	27,72	18,49	19,47	14,13	27,21	26,39	21,31
15	0,85	17,19	19,63	29,84	32,27	9,30	11,41	8,52	15,03	15,97	14,31	20,33	28,73	19,16	20,19	14,65	28,20	27,35	22,09
16	0,88	17,79	20,32	30,89	33,41	9,63	11,82	8,83	15,56	16,54	14,82	21,05	29,75	19,84	20,90	15,17	29,20	28,32	22,87
17	0,90	18,16	20,74	31,53	34,09	9,83	12,06	9,01	15,87	16,87	15,12	21,48	30,35	20,25	21,33	15,48	29,80	28,90	23,33
18	0,92	18,52	21,15	32,16	34,78	10,02	12,30	9,19	16,19	17,21	15,42	21,91	30,96	20,65	21,75	15,79	30,39	29,47	23,80
19	0,93	18,88	21,57	32,79	35,46	10,22	12,54	9,37	16,51	17,55	15,73	22,34	31,57	21,06	22,18	16,10	30,99	30,05	24,27
20	0,95	19,25	21,99	33,42	36,14	10,42	12,78	9,55	16,83	17,89	16,03	22,77	32,18	21,46	22,61	16,41	31,59	30,63	24,74
21	0,96	19,49	22,26	33,84	36,60	10,55	12,94	9,67	17,04	18,11	16,23	23,06	32,58	21,73	22,89	16,62	31,99	31,02	25,05
22	0,98	19,73	22,54	34,26	37,05	10,68	13,10	9,79	17,25	18,34	16,43	23,35	32,99	22,00	23,18	16,82	32,38	31,41	25,36
23	0,99	19,98	22,82	34,69	37,51	10,81	13,27	9,91	17,47	18,56	16,63	23,63	33,40	22,28	23,46	17,03	32,78	31,79	25,67
24	1	20,22	23,09	35,11	37,96	10,94	13,43	10,03	17,68	18,79	16,84	23,92	33,80	22,55	23,75	17,24	33,18	32,18	25,98

### 5.1.3 Análisis de tiempo de concentración

El cálculo del tiempo de concentración se hizo a partir de las formulas 1.14, 1.15, 1.16 descritas en el Capítulo 1 de la tesis que son: la fórmula de Kirpich, de Temez y la fórmula de Bransby-Williams donde los resultados (teniendo como base los parámetros hidrológicos), son los que se muestran en el cuadro N° 5.7 y N°5.8.

**Cuadro N° 5.7.-** Tiempo de Concentración en la discretización de 6 subcuencas

Cuenca	Tiempos de Concentración(h)		
	Kirpich	Temez	Bransby
A Weberbauer	4.27	9.37	9.91
Cachachi	5.12	9.47	9.33
Cajabamba	8.06	14.55	15.36
Huamachuco	3.95	9.10	9.50
Namora	5.08	8.69	8.29
San Marcos	2.64	6.34	6.52

**Cuadro N°5.8.-** Tiempo de Concentración en la discretización de 18 subcuencas

Cuenca	Tiempo de concentración (h)		
	Kirpich	Temez	Bransby
AW1	4.916	8.042	8.079
AW2	4.834	9.264	10.081
San Marcos	1.846	4.405	4.031
Namora1	4.749	8.551	9.062
Namora2	2.410	5.042	4.678
Namora3	0.390	0.852	0.490
Cachachi4	3.784	6.898	7.025
Cachachi3	3.031	5.421	5.136
Cachachi2	0.918	2.468	2.170
Cachachi	2.401	5.572	5.405
Huamachuco1	2.778	6.190	6.479
Huamachuco2	3.752	7.982	8.480
Huamachuco3	0.536	1.316	0.896
Huamachuco4	1.376	3.139	2.950
Cajabamba1	4.024	7.453	7.151
Cajabamba2	4.289	6.795	6.732
Cajabamba3	2.985	6.472	6.321
Cajabamba4	4.353	8.168	8.386

Se puede apreciar de los resultados que el modelo de Temez y de Bransby arrojan resultados muy similares entre sí, pero muy diferentes al modelo de Kirpich, esto es porque la aplicación de Kirpich es solo para cuencas menores a 80 Km<sup>2</sup> (Ponce 1982), y ninguna de las subcuencas en estudio se considera como tal.

Por lo tanto para el análisis de los modelos y la posterior inclusión del tiempo de concentración en estos; se tomarán solo los tiempos que han sido calculados con la fórmula de Temez y de Bransby- Williams, adaptando el promedio de ambos.

#### 5.1.4 Parámetro de tránsito de hidrogramas

El modelo utilizado es el Muskingum-Cunge que es una ampliación del modelo de Muskingum.

Los datos de entrada que se colocan en los tramos de canales se hacen tomando una base de 110 m como se describe en el capítulo 3, para que posteriormente los caudales generados en tiempo de retorno aleatorios y los caudales calibrados tengan una relación. Los demás parámetros de los canales son los mostrados en el cuadro N° 5.9 y N° 5.10

El programa HEC HMS calcula los parámetros K y X a partir de los datos de entrada utilizando las formulas 1.25 y 1.26 descritas en el capítulo 1, posteriormente hallando su respectivo caudal de salida

El coeficiente n de Manning que se coloca en los datos de entrada es 0.03 que es para canales de tierra con mucha vegetación, canales naturales con buen alineamiento, canales grandes para avenidas bien conservados (Referencia Wendor Chereque 1989).

**Cuadro N°5.9.-Datos de Entrada en los Canales para 6 subcuencas**

Canales donde descarga	Longitud del cauce(m)	Pendiente	Coefficiente de Rugosidad	Forma	Ancho(m)
Weberbauer	24960	0,008	0,03	Rectángulo	111
Namora-Weberbauer	15210	0,008	0,03	Rectángulo	111
San Marcos-Namora-Weberbauer	13960	0,02149	0,03	Rectángulo	111
Weber-Namora-San Marcos-Cachachi	5650	0,0176	0,03	Rectángulo	111
Huamachuco	35990	0,0075	0,03	Rectángulo	111
Descarga	47173	0,0076	0,03	Rectángulo	111

**CuadroN°5.10.** Datos de entrada en los canales para 18 subcuencas

Canales	Longitud del cauce (Km)	Pendiente	Coefficiente de Rugosidad	Forma	Ancho (m)
Ju1-Ju2	26.26	0.01047	0,03	Rectángulo	111
Namora 3 - Ju3	15.78	0.02198	0,03	Rectángulo	111
Ju3-Ju2	6.34	0.03751	0,03	Rectángulo	111
Ju2-Ju4	20.04	0.01158	0,03	Rectángulo	111
San Marcos-J4	6.56	0.0095	0,03	Rectángulo	111
J4-J5	14.17	0.00981	0,03	Rectángulo	111
J5-J8	4.39	0.00592	0,03	Rectángulo	111
J6-J8	16	0.01277	0,03	Rectángulo	111
Cachachi-J6	3.3	0.02001	0,03	Rectángulo	111
J8-J9	16.37	0.00525	0,03	Rectángulo	111
J9-J10	22.67	0.01213	0,03	Rectángulo	111
J11-J10	9.39	0.03341	0,03	Rectángulo	111
Huamachuco1 - J11	2.05	0.02097	0,03	Rectángulo	111
J7 - J8	23.05	0.02697	0,03	Rectángulo	111
J8- J9	26.066	0.01293	0,03	Rectángulo	111

### 5.1.5 Modelo de escurrimiento Curva-Número

El modelo elegido para el cálculo de las pérdidas por evapotranspiración, así como de las irregularidades que presenta la topografía del terreno se calcula por medio del modelo SCS (Soil Conservation Service) que como se describió en el Capítulo 3 sirven para la separación de la precipitación efectiva de la total. Este es un modelo simple en el cual tiene como variables el umbral inicial, y el parámetro CN (relaciona escorrentía directa y precipitaciones).

Una vez que se tiene las pérdidas en condiciones normales se le tiene que hacer una revisión debido a que se debe generar caudales máximos, correspondientes a la condición de humedad Antecedente III, como consecuencia se debe hacer una corrección a estas pérdidas con su respectivo valor de Curva Número(fórmula 3.3), estos datos de entrada se muestran en el cuadro N° 5.11 y 5.12 para los dos tipos de discretización..

**Cuadro N°5.11.-Umbral Inicial en la Cuenca del río Crisnejas para una discretización de 6 subcuencas**

Sub-Cuenca	Descripción	Área(km <sup>2</sup> )	Po	%	Curva Número	Curva Número(II)	Curva Número(III)
A.Weberbauer	Rotación de Cultivos Pobres	36,73	82.5	5.89	4.86	68.19	83.14
	Cereales en Invierno	313,02	71.5	50,23	35.92		
	Plantaciones Regulares	273,4	62.5	43,87	27.42		
Cachachi	Rotación de Cultivos pobres	484,82	82.5	58,48	48.25	77.93	90
	Plantaciones Regulares(Pobre)	344,17	71.5	41,52	29.68		
Cajabamba	Plantaciones Regulares(Regulares)	627,15	62.5	40,33	25.2	74.6	90
	Barbecho	654,81	87.5	42,11	36.84		
	Plantaciones Regulares(Pobre)	273,14	71.5	17,56	12.56		
Huamachuco	Plantaciones Regulares(Regulares)	128,46	62.5	17,55	10.97	78.7	89.47
	Cereales de Invierno	143,46	79	19,60	15.48		
	Rotación de Cultivos Pobres	401,56	82.5	54,85	45.25		
	Barbecho	58,64	87.5	8,01	7.00		
Namora	Rotación de Cultivos Pobres	260,40	79	60.08	49.57	80.58	90.51
	Cereales en Invierno	425,34	82.5	36.78	29.06		
	Plantaciones Regulares	22,22	62.5	3.14	1.96		
San Marcos	Cereales en Invierno y Cultivos	74,19	79	24,64	19.47	66.56	82.07
	Plantaciones Regulares(media)	226,87	62.5	75,36	47.1		

**Cuadro N°5.12.-Umbral Inicial en la Cuenca del río Crisnejas para una discretización de 18 subcuencas**

Cuenca	Área (Km2)	Curva Numero	Curva Numero(II)	Curva Numero(III)	Po
AW1	113.23	79	72	86	8.44
	23.97	83			
	128.48	63			
	40.64	79			
AW2	11.81	63	72	85	8.71
	84.85	79			
	135.29	63			
	80.34	79			
	14.09	83			
Namora1	5.31	83	78	89	6.30
	21.65	63			
	253.78	79			
Namora 2	110.41	79	81	91	5.12
	179.97	83			
Namora3	46.68	83	77	89	6.48
	66.00	79			
	23.93	63			
Cachachi 1	202.79	72	76	88	7.05
	130.86	83			
Cachachi2	101.91	83	83	92	4.69
Cachachi3	55.02	83	77	88	6.60
	100.01	72			
	44.55	83			
Cachachi4	47.65	72	80	90	5.49
	171.31	83			

Cuenca	Área (Km2)	Curva Numero	Curva Numero(II)	Curva Numero(III)	Po
San Marcos	76.17	79	67	82	11.06
	147.68	63			
	80.30	63			
Cajabamba 4	368.86	88	88	94	3.16
Cajabamba3	257.52	88	78	89	6.29
	162.09	63			
Cajabamba2	7.04	88	67	83	10.65
	98.46	63			
	86.60	72			
Cajabamba1	326.61	63	66	82	11.46
	193.33	72			
Huamachuco4	28.41	83	86	93	3.71
	47.49	88			
Huamachuco3	110.28	79	80	90	5.53
	8.42	88			
	17.57	83			
Huamachuco2	294.41	83	82	91	4.79
	10.49	88			
	30.23	79			
	2.52	63			
Huamachuco1	68.67	83	69	84	9.74
	130.77	63			

### 5.1.6 Modelos de Precipitación- Escorrentía

#### a) Modelo aplicando el Hidrograma Unitario de Snyder

El modelo usado para la transformación de precipitación neta en escorrentía directa es el Hidrograma Unitario de Snyder. Este es un hidrograma que se usa para cuencas de tamaño mediano y pluviosidad grande.

Los datos de entrada para el Modelo de Snyder (basados en las ecuaciones mostradas en el capítulo 3) en la generación de escorrentía se presentan en el cuadro N°5.13 y N° 5.14

**Cuadro N°5.13.-** Parámetros para el H.U de Snyder para una discretización de 6 sub-cuencas

Sub-Cuenca	Longitud desde centroide(km)	Longitud de cauce (km)	Tiempo de retardo(h)
Weberbauer	11,50	38,19	8,69
Namora	6,89	25,02	6,56
San Marcos	8,83	25,64	7,12
Cachachi	6,98	31,06	7,03
Cajabamba	36,69	53,5	13,61
Huamachuco	11,38	39,33	8,74

**Cuadro N°5.14.-** Parámetros para el H.U de Snyder para una discretización de 18 sub-cuencas

Sub-Cuenca	Longitud desde centroide (Km)	Longitud de cauce(Km)	Tiempo de retardo(h)
Namora3	4,65	1,95	3,20
Namora2	4,23	15,78	5,82
Namora1	0,55	26,27	3,67
SanMarcos	2,28	15,64	4,82
Cachachi4	3,27	16,50	5,46
Cachachi3	2,93	14,18	5,05
Cachachi2	0,53	8,43	2,59
Huamachuco3	3,95	3,24	3,55
Huamachuco4	3,06	9,40	4,52
Huamachuco1	1,79	22,52	5,00
Huamachuco2	0,53	29,75	3,78
Cajabamba3	0,71	23,06	3,82
Cajabamba4	0,37	26,07	3,26
Cachachi1	4,00	20,63	6,20
Cajabamba1	2,84	22,68	5,75
Cajabamba2	0,05	16,37	1,53
AugustoWeberbauer1	1,29	21,36	4,47
AugustoWeberbauer2	2,24	31,17	5,90

Además del Tiempo de retardo ( $t_p$ ) se debe colocar el rango en el cual podrá obtenerse el Caudal Pico (peak coeficient) que generalmente es de 0.5-0.8, este valor se obtendrá a partir de la calibración del modelo, donde el valor variará de tal forma que los caudales observados se parezcan mas a los caudales generados..

### b) Modelo aplicando el Hidrograma Unitario del SCS

En esta representación se usa el Hidrograma Unitario Sintético del SCS que es descrito en el capítulo 3

Los datos de entrada para el Modelo en la generación de escorrentía para las discretizaciones en 6 y 18 subcuencas se presentan en el cuadro N° 5.15 y 5.16

**Cuadro N°5.15.-Modelo del SCS para una discretizacion de 6 subcuencas**

Cuenca	Tiempo de concentración(h)	Tiempo al pico(h)	Tiempo al pico(min)
A.Weberbauer	9.64	5.78	347.04
Cachachi	9.4	5.64	338.40
Cajabamba	14.96	8.98	538.56
Huamachuco	9.3	5.58	334.80
Namora	8.49	5.09	305.64
San Marcos	6.43	3.86	231.48

**Cuadro N°5.16.- Modelo del SCS para una discretizacion de 18 subcuencas**

Cuenca	Tiempo de concentración (h)	Tiempo al pico(h)	Tiempo al pico(min)
AW1	8.06	4.84	290.17
AW2	9.67	5.80	348.22
San Marcos	4.22	2.53	151.86
Namora1	8.81	5.28	317.03
Namora2	4.86	2.92	174.96
Namora3	0.67	0.40	24.16
Cachachi4	6.96	4.18	250.61
Cachachi3	5.28	3.17	190.03
Cachachi2	2.32	1.39	83.49
Cachachi	5.49	3.29	197.58
Huamachuco1	6.33	3.80	228.06
Huamachuco2	8.23	4.94	296.32
Huamachuco3	1.11	0.66	39.82
Huamachuco4	3.04	1.83	109.61
Cajabamba1	7.30	4.38	262.87
Cajabamba2	6.76	4.06	243.48
Cajabamba3	6.40	3.84	230.27
Cajabamba4	8.28	4.97	297.97

## 5.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se hicieron los cálculos para dos periodos de retorno los cuales son 100 y 500 años, que posteriormente serán calibrados y verificados en el punto de estudio, tomando como referencia la estación Puente Crisnejas ubicada aguas arriba del punto en estudio.

### 5.2.1 Resultados de salida

Los caudales en los puntos de descarga mencionados en los mapas N°7 y N°8 se observan en el cuadro N° 5.17 y el cuadro N° 5.18 (aplicando el H.U de Snyder) y en el cuadro N° 5.19 y el cuadro N° 5.20 (aplicando el H.U del SCS)

**Cuadro N°5.17.-Caudales máximos aplicando el Modelo de Snyder para una discretización de 6 subcuencas**

Elemento Hidrológico	Area(Km <sup>2</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	
		Tr=100 años	Tr=500 años
Namora	707,96	63,1	113
Weberbauer	623,16	74	53,1
Canal Weberbauer	623,16	74,2	52,9
Junction-4	1331,12	124,1	136,1
Canal Namora-Weber	1331,12	123,3	135,3
San Marcos	301,08	7,3	21,8
Junction-3	1632,2	130,6	154,6
Canal San Marcos-W-Namora	1 632	130	154,4
Cachachi	829	68	124,7
Junction-2	2 461	183	256,4
Canal Cachachi-S-N-W	2 461	182	255
Huamachuco	732	95	169
Canal Huamachuco	732	95	169,2
Junction-1	3 193	277	421,2
Canal de Descarga	3 193	276,2	419,1
Cajabamba	1555,07	19,5	38,1
Sink-1	4748,4	295,7	456,8

**Cuadro N°5.18 Caudales máximos aplicando el Modelo de Snyder para una discretización de 18 subcuencas**

Elemento Hidrológico	Área(Km <sup>2</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	
		Tr=100 años	Tr=500 años
AW2	326,35	84,7	51,8
AW1	306,31	68,1	36,4
Junction-1	632,66	148	87
Reach-1	632,66	147,6	85,8

Namora2	290,38	26,6	46,6
Namora3	136,61	34,3	60,4
Reach-2	136,61	34	60,1
Junction-3	426,99	59,5	103,2
Reach-3	426,99	58,9	102,1
Namora1	280,75	12,7	24,9
Junction-2	1340,39	216,4	194,3
Reach-4	1340,39	213,1	192,2
San Marcos	304,15	28,1	22,9
Reach-5	304,15	28	22,9
Cachachi4	218,96	10,5	19,7
Junction-4	1863,50	249,9	231,3
Reach-6	1863,50	247,6	230,9
Cachachi3	199,57	4,6	9,8
Junction-5	2063,07	252	239,8
Reach-8	2063,07	250,1	237,6
Huamachuco2	337,66	26,6	165,8
Huamachuco1	199,44	55	46,9
Reach-12	199,44	54,3	46,8
Junction-11	537,10	80,6	204,2
Reach-13	537,10	80,3	200,8
Huamachuco3	136,27	14	26
Huamachuco4	75,90	9	14,8
Junction-10	749,26	101,2	239,9
Reach-11	749,26	100,6	237,9
Cajabamba1	519,94	28,3	5,8
Junction-9	1269,20	128,1	241,5
Reach-10	1269,20	127,9	236,9
Cachachi1	333,65	41,2	77
Reach-7	333,65	40,6	76,5
Cachachi2	101,91	18,3	32
Junction-6	435,55	50,4	92,2
Reach-9	435,55	50	92
Cajabamba2	192,11	10,3	3,7
Junction-8	3959,92	431,1	552,4
Reach-14	3959,92	429,7	551,7
Cajabamba3	419,61	27,9	12,4
Junction-7	4379,53	446,2	562,1
Reach-15	4379,53	443,2	559,5
Cajabamba4	368,86	16,5	27,5
Sink-1	4748,39	451,5	573,3

**Cuadro N°5.19.-Caudales máximos aplicando el Modelo del SCS para una discretización de 6 subcuencas**

Elemento Hidrológico	Área(km <sup>2</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	
		Tr=100 años	Tr=500 años
Namora	707,96	71,9	40
Weberbauer	623,16	97,3	169,2
Canal Weberbauer	623,16	96,9	169,2
Junction-4	1331,12	157,3	208
Canal Namora-Weber	1331,12	156	207
San Marcos	301,08	35,3	15,2
Junction-3	1632,2	176,5	219
Canal San Marcos-W-Namora	1632,2	175,9	217,8
Cachachi	829	78,8	142,1
Junction-2	2461,2	240,7	332,7
Canal Cachachi-S-N-W	2461,2	238,9	328,6
Huamachuco	732,13	127	228,1
Canal Huamachuco	732,13	126,8	225,9
Junction-1	3193,33	365,7	554,5
Canal de Descarga	3193,33	364,5	545,4
Cajabamba	1555,07	25,7	50,4
Sink-1	4748,4	390	595,3

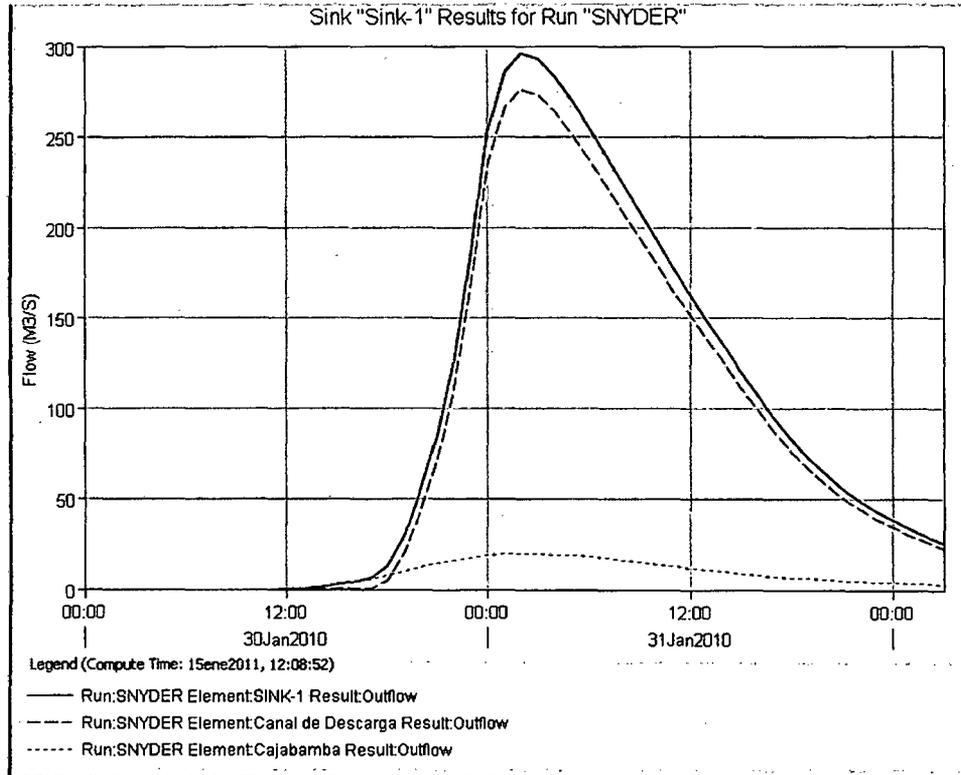
**Cuadro N°5.20.-Caudales máximos aplicando el Modelo de SCS para una discretización de 18 subcuencas**

Elemento Hidrológico	Area(Km <sup>2</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	
		Tr=100 años	Tr=500 años
AW2	326,35	98,6	60,8
AW1	306,31	74,1	40,2
Junction-1	632,66	171,4	99,7
Reach-1	632,66	170	99,4
Namora2	290,38	47,3	84,9
Namora3	136,607	89,7	168,2
Reach-2	136,607	71,5	163,7
Junction-3	426,987	109	203,2
Reach-3	426,987	103	188,9
Namora1	280,747	12,1	23
Junction-2	1340,394	222	196,1
Reach-4	1340,394	220,2	182
San Marcos	304,147	48	37,5
Reach-5	304,147	46,6	37,2
Cachachi4	218,957	14,3	27
Junction-4	1863,498	253,6	243

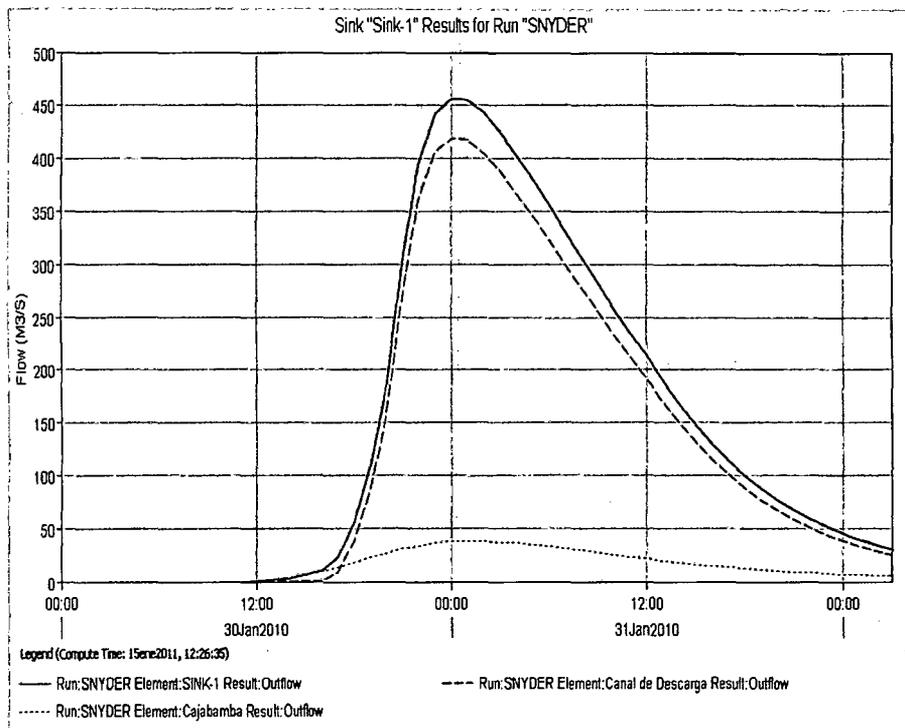
Reach-6	1863,498	249,8	240
Cachachi3	199,567	6,4	14,5
Junction-5	2063,065	254,6	254,5
Reach-8	2063,065	254	248,2
Huamachuco2	337,659	26,3	155,8
Huamachuco1	199,438	74,8	62,9
Reach-12	199,438	73,7	62,3
Junction-11	537,097	96,3	218
Reach-13	537,097	94,8	212,6
Huamachuco3	136,267	30,2	58,9
Huamachuco4	75,897	18,1	30,1
Junction-10	749,261	110,1	235,8
Reach-11	749,261	109,1	232,3
Cajabamba1	519,937	38,8	6,9
Junction-9	1269,198	145,5	238,9
Reach-10	1269,198	144,6	237,8
Cachachi1	333,647	124,1	134,1
Reach-7	333,647	124	133,5
Cachachi2	101,907	26,9	49,2
Junction-6	435,554	136,9	155,1
Reach-9	435,554	136,5	153,7
Cajabamba2	192,107	6,6	2,7
Junction-8	3959,924	483,7	570,7
Reach-14	3959,924	481	568,9
Cajabamba3	419,607	31,3	14
Junction-7	4379,531	498,9	581,7
Reach-15	4379,531	497,8	580,3
Cajabamba4	368,857	14,7	24
Sink-1	4748,388	508,4	601,1

### 5.2.2 Hidrogramas de salida.

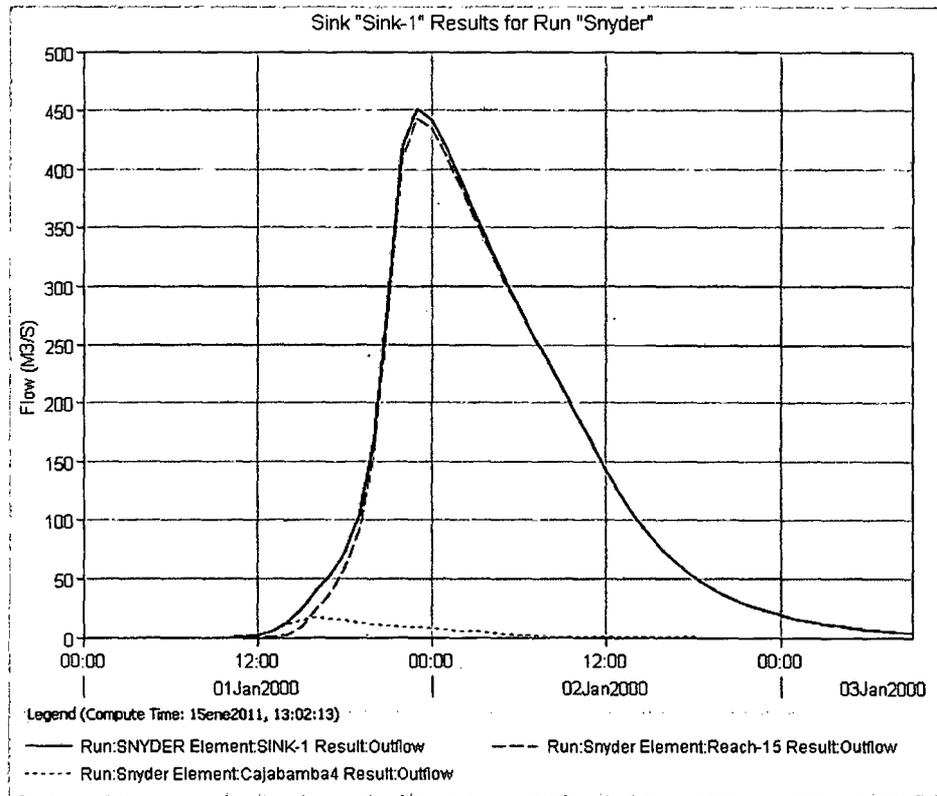
Los Hidrogramas de salida en el punto de descarga para el Modelo donde se aplicó el H.U de Snyder se aprecian en las figuras 5.3 y 5.4 para 100 y 500 años con una discretización de 6 subcuencas, 5.5 y 5.6 para 100 y 500 años con una discretización de 18 subcuencas, mientras que aplicando el Hidrograma Unitario del SCS se aprecia en las figuras 5.7 y 5.8 para 100 y 500 años con una discretización de 6 subcuencas , 5.9 y 5.10 para 100 y 500 años con una discretización de 18 subcuencas.



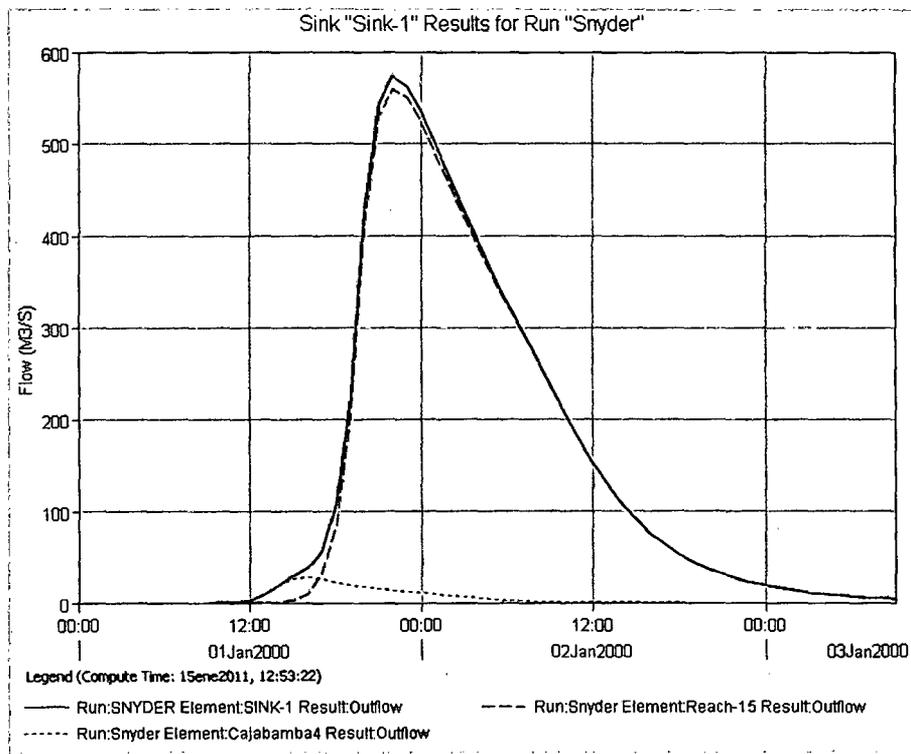
**Figura N°5.3.-** Hidrograma de salida aplicando el H U de Snyder en un periodo de retorno de 100 años con una discretización de 6 subcuencas



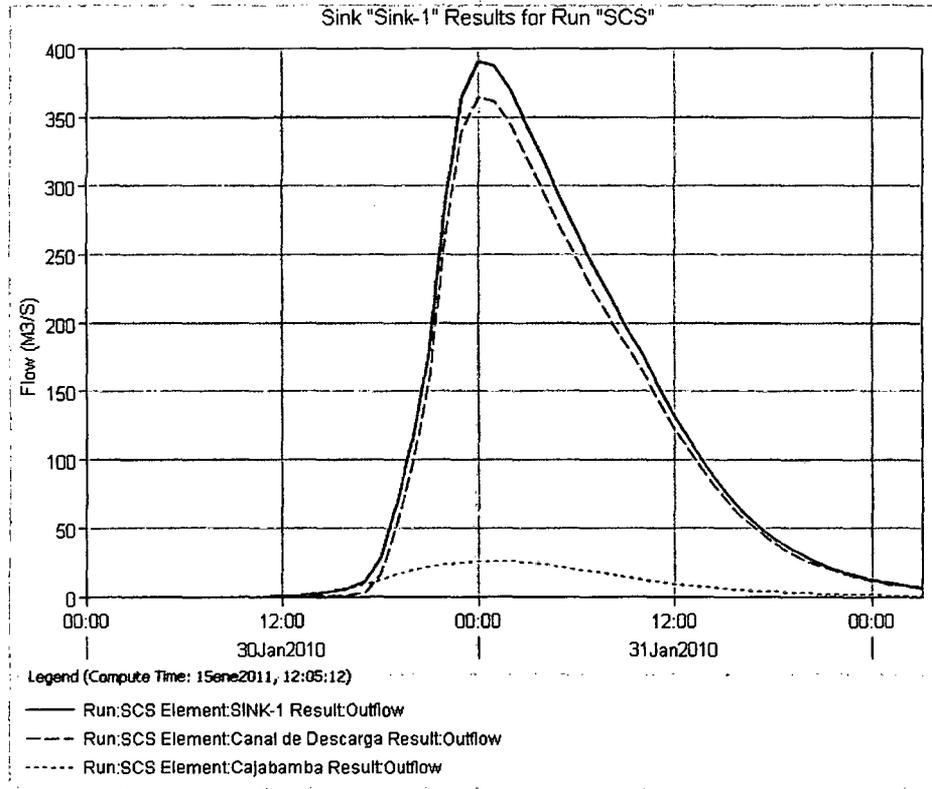
**Figura N°5.4.-** Hidrograma de salida aplicando el H U de Snyder en un periodo de retorno de 500 años para una discretización de 6 subcuencas



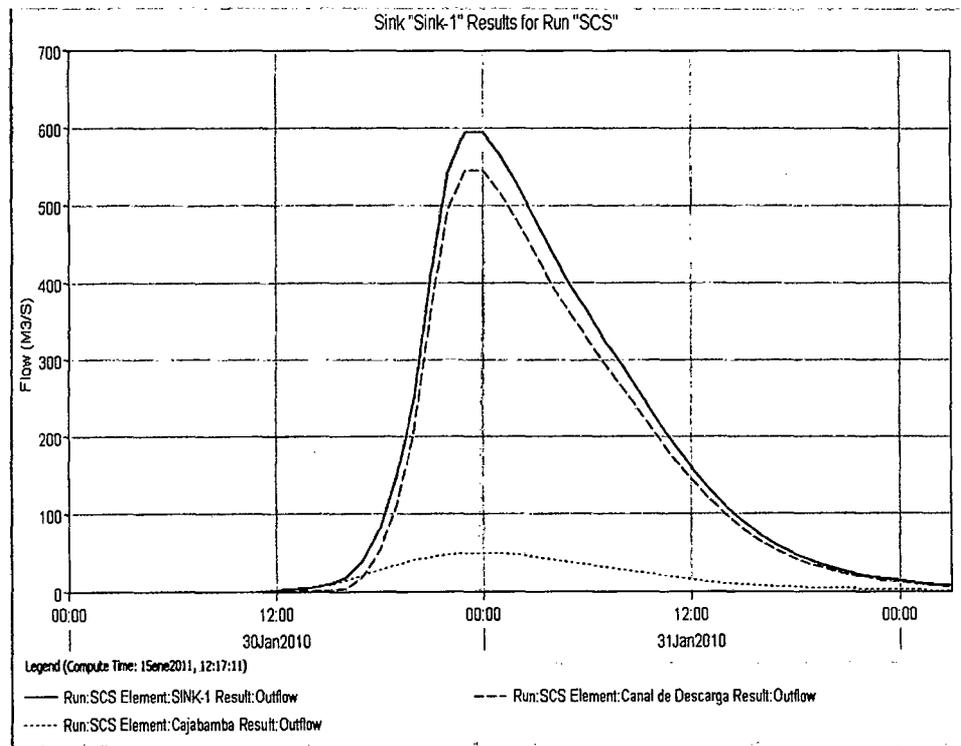
**Figura N°5.5.-** Hidrograma de salida aplicando el H U de Snyder en un periodo de retorno de 100 años para una discretización de 18 subcuencas



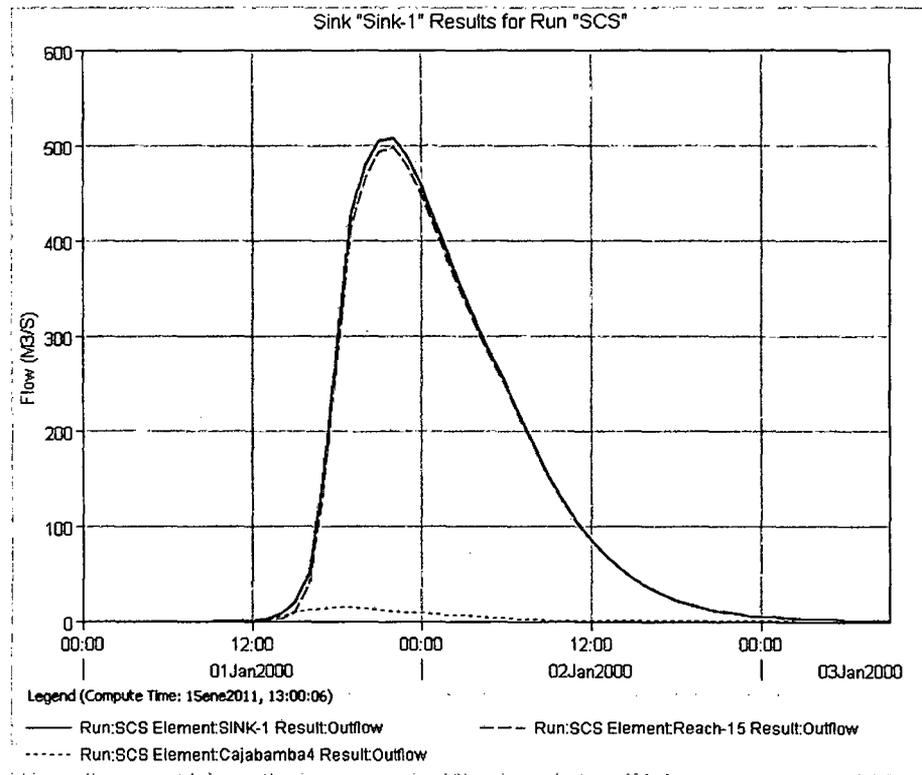
**Figura N°5.6.-** Hidrograma de salida aplicando el H U de Snyder en un periodo de retorno de 500 años para una discretización de 18 subcuencas



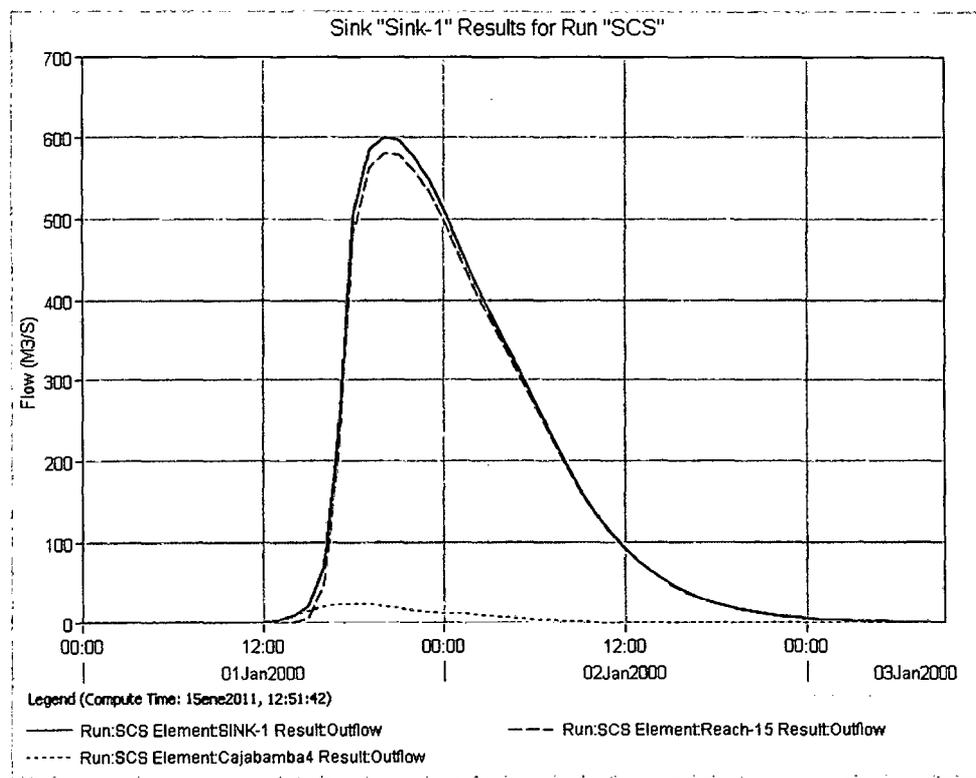
**Figura N°5.7.-** Hidrograma de salida aplicando el H U del SCS en un periodo de retorno de 100 años para una discretización de 6 subcuencas



**Figura N°5.8.-** Hidrograma de salida aplicando el H U del SCS en un periodo de retorno de 500 años para una discretización de 18 subcuencas



**Figura N°5.9.-** Hidrograma de salida aplicando el H U del SCS en un periodo de retorno de 100 años para una discretización de 6 subcuencas



**Figura N°5.10.-** Hidrograma de salida aplicando el H U del SCS en un periodo de retorno de 500 años para una discretización de 18 subcuencas

### 5.2.3 Comparación de resultados

#### a) Obtención de caudales en el punto de Interés.

El punto en estudio esta en el cruce de los ríos Marañón y Crisnejas, para realizar la calibración del modelo se tomo los datos de la estación Puente Crisnejas ubicada aguas arriba del punto en estudio, exactamente en las coordenadas  $78^{\circ} 07'$  de longitud Oeste y  $7^{\circ} 27'$  de latitud Sur, la relación entre las áreas que abarca la estación Puente Crisnejas y el área en estudio las podemos ver en la figura N°5.11 y en el cuadro N°5.21.

Cuadro N°5.21.-Relación de áreas entre la estación Puente Crisnejas y el punto en estudio

Cuenca	Área (km <sup>2</sup> )
Estación Puente Crisnejas	3956.57
Crisnejas (Estudiada)	4748.41

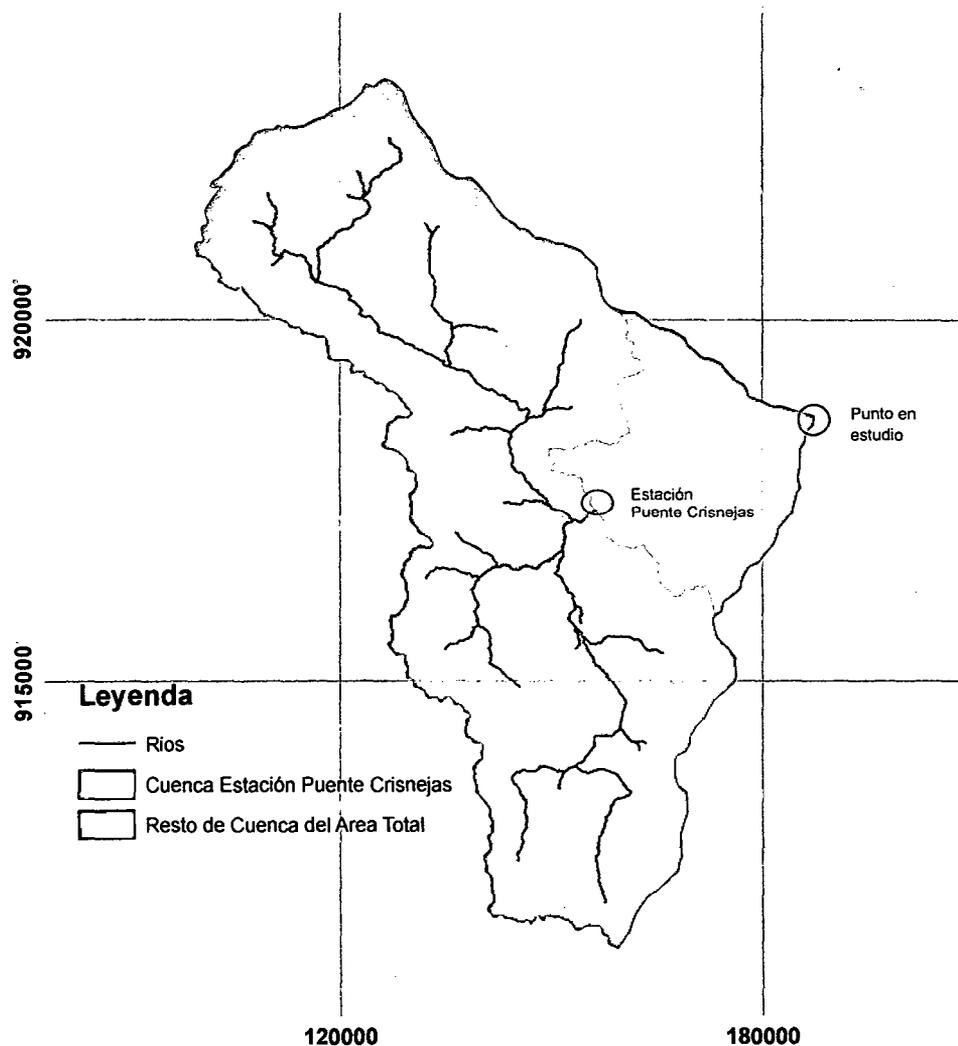


Figura N°5.11.- Cuenca que abarca la estación Puente Crisnejas

**- Caudales Máximos de la estación Puente Crisnejas**

El siguiente paso es determinar los caudales máximos para 100 y 500 años de retorno para poder calibrar y verificar los modelos estudiados. Para esto se ve cual es la función de probabilidad que mejor se ajusta a los resultados de caudales máximos, donde por la prueba de Smirnov-Kolmogorov resulta la función Log Normal la que mejor se ajusta a los resultados de caudales.

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

m	X	P(X)	F(Z)	Delta
1	153.4	0.0909	0.0568	0.0341
2	165.3	0.1818	0.1015	0.0804
3	182.8	0.2727	0.1958	0.0769
4	201.0	0.3636	0.3214	0.0423
5	233.9	0.4545	0.5650	0.1104
6	234.5	0.5455	0.5691	0.0237
7	260.3	0.6364	0.7278	0.0915
8	284.1	0.7273	0.8336	0.1063
9	294.7	0.8182	0.8687	0.0505
10	296.4	0.9091	0.8737	0.0354

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.1104, es menor que el delta tabular 0.4301. Los datos se ajustan a la distribución logNormal con un nivel de significación del 5%

Caudal de diseño:

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 100 años, es 394.45 m<sup>3</sup>/s

El caudal de diseño para un periodo de retorno de 500 años, es 450.69 m<sup>3</sup>/s

**- Correlación de áreas**

Una vez obtenidos los caudales máximos para los periodos de retorno mencionados se hace la respectiva correlación de áreas entre la cuenca que abarca la estación Puente Crisnejas y el área en estudio. Este cálculo se puede observar en el cuadro N°5.22.

**Cuadro N°5.22.-Caudales en el punto en estudio por corrección de area**

Cuenca	Área(Km <sup>2</sup> )	Q(m <sup>3</sup> /s)	
		Tr=100años	Tr=500años
Puente Crisnejas	3956.57	394.45	450.69
Crisnejas en Estudio	4748.41	473.39	540.89

**- Factor Precipitación**

Una vez corregido por el área, se debe hacer una corrección por precipitación, obteniéndose la formula completa mostrada en la ecuación 5.1.

$$Q_{estudio} = Q_{PuenteCrisnejas} \frac{AreaEstudio * \bar{P}_{estudio}}{AreaEstacionPuenteCrisnejas * \bar{P}_{PuenteCrisnejas}} \text{-----}(5.1)$$

Para el factor de precipitación se usó los Polígonos de Thiessen en la cuenca del río Crisnejas, obteniéndose áreas de influencia para cada una de las estaciones, obteniéndose factores de precipitación para 100 y 500 años de retorno, los valores de esos factores se aprecian en el cuadro 5.23.

**Cuadro N°5.23.** Áreas de Influencia en las cuencas por medio de Poligonos de Thiessen

Estaciones	Área de Influencia en estación Puente Crisnejas (km <sup>2</sup> )	Área de Influencia en la cuenca en estudio (km <sup>2</sup> )	P max 24 h en 100 años (mm)	P max 24 h en 500 años (mm)
Huamachuco	754,82	754,82	18,91	22,20
Cajabamba	660,10	1005,63	15,47	18,24
Cachachi	730,49	730,63	53,21	58,25
San Marcos	513,45	959,62	6,24	6,79
Namora	646,43	646,55	9,61	11,26
A.Weberbauer	651,17	651,17	6,48	7,17

Precipitación/Años	100 años	500 años
$\bar{P}_{estudio}$	19.46 mm	21.93 mm
$\bar{P}_{Puente Crisnejas}$	17.92 mm	20.24 mm

Factor de Precipitación para 100 años= 1.086

Factor de Precipitación para 500 años= 1.0834

Los caudales finales tomando el factor de precipitación es el mostrado en el cuadro 5.24.

**Cuadro N°5.24.** Caudales Observados en la cuenca del Crisnejas

Cuenca	Q(m <sup>3</sup> /s)	
	Tr=100años	Tr=500años
Puente Crisnejas	428,37	488,28
Crisnejas en Estudio	514,10	586,00

**b) Comparación y verificación de resultados.**

El caudal generado en el punto en estudio se realizó como se dijo mediante dos modelos obteniéndose los resultados mostrados en el cuadro N°5.25 y N° 5.26 realizando la calibración para el caudal en un periodo de retorno de 100 años y la posterior verificación en un periodo de retorno de 500 años.

**Cuadro N°5.25.-Caudales Observados y generados en el punto en estudio para una discretización de 6 subcuencas**

Periodo de Retorno	Caudales Observados(m <sup>3</sup> /s)	Caudales Generados(m <sup>3</sup> /s)	
		Modelo del H.U de Snyder	Modelo del H.U de SCS
Tr=100 años	514,1	295,7	390
Tr=500 años	586,00	456,8	595,3

**Cuadro N°5.26.-Caudales Observados y generados en el punto en estudio para una discretización de 18 subcuencas**

Periodo de Retorno	Caudales Observados(m <sup>3</sup> /s)	Caudales Generados(m <sup>3</sup> /s)	
		Modelo del H.U de Snyder	Modelo del H.U de SCS
Tr=100 años	514,1	451,5	508,4
Tr=500 años	586,00	573,3	601,1

## CONCLUSIONES

- A la luz de los resultados obtenidos se concluye que el Modelo donde se uso el Hidrograma Unitario del SCS con una discretización de 18 subcuencas se ajusta mejor al comportamiento de la cuenca, es capaz de pronosticar en función de los datos de entrada la ocurrencia de caudales máximos en un periodo de retorno dado. El conjunto de parámetros con que esta dotado este modelo permite representar el comportamiento del sistema hidrológico en estudio, que es en este caso la cuenca del río Crisnejas en donde se puede tener amplia utilización en sistemas de Irrigación, abastecimiento de agua potable, energía hidroeléctrica, dimensionamiento de obras hidráulicas, etc.
- Para la calibración all aplicar el Modelo del Hidrograma Unitario de Snyder se obtuvo un caudal máximo de 295,7 y 451,5 m<sup>3</sup>/s para una discretización de 6 y 18 subcuencas respectivamente que representa un error respecto al caudal observado de 43% y 12%; aplicando el modelo del Hidrograma Unitario del SCS se obtuvo un caudal de 390 y 508,4 m<sup>3</sup>/s para una discretización de 6 y 18 subcuencas respectivamente que representa un error de 1,56% y 2,5% en un periodo de retorno de 100 años
- Al realizar la verificación con un periodo de retorno de 500 años se obtuvo una diferencia mayor, para el Modelo donde se uso el Hidrograma Unitario de Snyder el error es 22% y 2,16% para una discretización de 6 y 18 subcuencas y para el Modelo donde se uso el Hidrograma Unitario del SCS un 1,56% y 2,5% para una discretización de 6 y 18 subcuencas respectivamente, como consecuencia el modelo de Snyder para una discretización de 6 subcuencas no es muy adecuado.
- Se calibraron los modelos en base a los caudales registrados en la estación Puente Crisnejas (correlación de áreas) observando que existe diferencia de caudales especialmente en el Modelo donde se aplico el Hidrograma Unitario de Snyder, esto se da debido a que la partición de cuencas no ha sido la adecuada para un tamaño tan grande como es la del Crisnejas, viéndose mejores resultados en el Modelo donde se aplico el Hidrograma Unitario del SCS.
- Se demuestra que la aplicación del SIG en los cálculos hidrológicos es bastante eficiente y efectiva, arrojando valores más exactos y confiables

## RECOMENDACIONES

- Se debe contar con una serie histórica de caudales actualizada en el punto de estudio para que represente en buena medida el comportamiento de la cuenca ante diversas condiciones, y no estar realizando la correlación de áreas, ya que si se tiene un punto de aforo en el lugar de estudio los resultados y la calibración del modelo serían mucho más exactas.
- La cuenca del río Crisnejas es una cuenca de 4738.41 Km<sup>2</sup> considerada de gran tamaño, para este tipo de cuencas debe existir mayor número de estaciones meteorológicas activas y en buenas condiciones, ya que si seguimos el ejemplo Europeo la densidad de estaciones es de 2 estaciones por 50 km<sup>2</sup> lo cual estamos bastante lejos de llegar.
- Para aplicar estos modelos con mayor exactitud podrían resolverse mediante sensores remotos, imágenes satelitales de menor altura de toma, información más actualizada, etc.
- Para el análisis de frecuencia es bueno tomar una cantidad mínima de años para la simulación en este caso se tomó 25 años de datos de Precipitación Max en 24 horas
- Se requiere levantar información detallada y actualizada relacionada con el uso del suelo, además de llevar un mejor control de la parte subterránea como son los acuíferos, ya que estos aportarán un volumen de agua al punto en estudio.
- Es conveniente usar un hidrograma unitario propio del Perú, considerando sus características tanto superficiales, como sub-superficiales, como se hizo en el caso de los montes Apalaches (Snyder) y distintas cuencas Americanas (SCS)
- La red Pluviométrica de la Cuenca del Crisnejas es insuficiente para una cuenca de tal magnitud ya que existe muy poca información en lo que se refiere a Precipitación

## BIBLIOGRAFÍA

- APARICIO MIJARES, Francisco Javier "Fundamentos de Hidrología de Superficie". Grupo Noriega Editores Limusa. México 1989
- ARGUELLO RODRIGUEZ, Gustavo Enrique "Modelación Hidrológica continua en tiempo real de la cuenca del río Virilla-Costa Rica". Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Costa Rica 1992.
- BAZAN CABELLO, Juan Álvaro "Proyecto Hidrológico del Crisnejas suministro y Energía eléctrica a los yacimientos cupríferos de Michiquillay ciudades de Cajamarca y Celendín y 7 capitales del distrito" .Tesis Ing. Civil. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima 1972.
- CHEREQUE MORAN, Wendor "Hidrología para Estudiantes de Ingeniería Civil" .Concytec. Lima.Perú. 1989.
- ESTACIO CHULDE, Alicia Margarita, ORTEGA ARGUETA, Lilian, GALARRAGA, Remigio "Experiencias de Modelación precipitación-escorrimento en cuencas amazónicas andinas. caso de estudio: la cuenca del río quijos dj oyacachi, dentro del proyecto Aaram". Escuela Politécnica Nacional Inamhi.Consultado el 3 may.2010. Disponible en:  
<http://www.concytec.gob.pe/amazonico/ecuador/rhgs-ecuador.pdf>
- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES Elaboración del estudio de pre inversión a nivel de perfil para la construcción del puente Chacanto y accesos. Perú 2008
- MOROCHO CALLE, Francisco Edilberto "Estudio Hidrológico para el aprovechamiento conjunto del río Chicama y la derivación proveniente del río Crisnejas". Tesis Ing. Civil. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima 1979.
- MOROCHO CALLE, Francisco Edilberto "Estudio Hidrológico para el aprovechamiento conjunto del río Chicama y la derivación proveniente del río Crisnejas". Tesis Ing. Civil. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima 1979.
- NANIA, Leonardo S "Métodos de Transformación Lluvia-Escorrentía y de Propagación de Caudales". Universidad de Granada Asignatura de Hidrología Superficial y Subterránea. Granada-España. 2003.
- NIETO MELGAREJO, Herminio. "Aplicación de Modelo Tanque a Nivel Diario en la Cuenca del Río Cañete".Tesis Ing. Civil. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima 2003
- PONCE, Victor "Engineering Hydrology: Principles and Practices". Prentice Hall  
Lima.1989.

- SANCHEZ CUADROS, Héctor Saturnino, "Simulación de Series Hidrológicas Mensuales mediante Modelos Arima aplicado a dos ríos del Perú Pisco-Chicama" Tesis Ing Civil. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima 1991
- SANCHEZ SAN ROMAN, Francisco Javier. "Hidrología e Hidrogeología". Departamento de Geología. Universidad de Salamanca. España. Consultado 7 feb.2010. Disponible en: <http://web.usal.es/~javisan/hidro/>
- SILVA ESCOBAR, Oscar "Conceptos Básicos de Simulación Hidrológica". Conservación de Suelos y Aguas- Modelos Agronómicos. Facultad de Agronomía. Universidad Cesar Vallejo.
- SILVA DAVILA, Marisa "Análisis Comparativo de Modelos Determinísticos de Simulación de Cuencas" Tesis Ing. Civil. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima 1987
- US ARMY CORPS OF ENGINEERS. "Hydrologic Modeling System-Hec Hms" Technical Reference Manual USA. Marzo-2000
- CGIAR-CSI SRTM 90 DEM DIGITAL ELEVATION DATA, Consortium for Spatial Information 2004. London. Consultado el 26 abril 2010. Disponible en <http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>
- VEN TE CHOW, MAIDMENT David, MAYS Larry. "Hidrología Aplicada". McGraw-Hill Interamericana. Santa Fe de Bogotá. Colombia. 1994
- VILLON BEJAR, Máximo "Hec Hms Ejemplos". Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela De Ingeniería Agrícola. Lima-Perú 2008.
- VILLON BEJAR, Máximo "Hidrología Estadística" Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Agrícola. Lima Perú 2005
- WINGFIELD, Matthew "Effect of Watershed subdivision and parameter selection on modeling results" Tesis para optar el grado de Master en Ingeniería Civil. USA-Texas.2008.

# ANEXOS

# **ANEXO 1**

## **INFORMACIÓN ORIGINAL DEL SENAMHI**

## SENAMHI

### OFICINA GENERAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA

ESTACIÓN : A. WEBERBAUER  
PARÁMETRO : PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (mm)

LONG. : 78° 29' 29" "W"  
LAT. : 07° 09' 08" "S"  
ALT. : 2660 msnm

DPTO. : CAJAMARCA  
PROV. : CAJAMARCA  
DIST. : CAJAMARCA

ANOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	Pmax Anual
1975	4.4	4.3	4.8	4.3	4.1	3.5	3.9	3.5	4.3	3.5	2.0	0.3	4.8
1976	3.4	2.8	4.3	3.6	3.4	3.4	0.1	2.8	3.9	5.1	0.8	3.5	5.1
1977	4.3	4.4	3.5	2.8	1.9	2.4	0.2	0.1	3.8	2.4	5.4	2.2	5.4
1978	2.4	4.3	3.9	2.1	4.3	3.8	2.0	3.8	3.6	2.7	2.7	3.7	4.3
1979	3.9	3.7	3.4	4.0	3.1	1.8	3.9	1.7	4.2	4.0	3.5	3.4	4.2
1980	4.1	4.4	4.3	1.3	3.0	4.4	2.1	2.3	2.2	4.3	4.0	4.1	4.4
1981	3.9	S/D	4.3	2.4	1.7	2.3	2.6	3.5	4.2	4.3	3.6	4.2	4.3
1982	4.3	4.2	3.6	3.0	3.1	3.6	1.1	0.2	4.3	4.2	5.1	4.2	5.1
1983	4.4	5.8	4.4	4.0	2.4	2.2	2.4	1.2	1.6	3.2	3.5	3.7	5.8
1984	3.5	S/D	3.1	3.5	4.8	2.0	3.3	2.4	4.1	2.9	2.2	2.9	4.8
1985	2.5	4.4	4.2	3.5	1.5	0.4	3.4	3.5	4.0	3.5	3.2	4.4	4.4
1986	3.5	4.1	2.1	4.1	3.0	0.5	1.0	3.3	1.1	3.3	2.9	4.1	4.1
1987	3.5	3.2	4.2	2.3	2.8	2.6	4.0	2.2	3.1	4.3	2.5	4.3	4.3
1988	4.4	4.0	4.4	3.9	2.4	3.3	0.0	0.4	1.9	4.3	3.4	3.5	4.4
1989	4.1	3.2	4.8	3.1	2.0	3.0	1.4	2.8	3.7	3.9	3.0	1.1	4.8
1990	4.1	4.1	4.4	3.7	4.4	3.8	0.8	0.7	3.5	3.7	5.8	2.6	5.8
1991	4.2	3.7	4.4	4.1	2.9	0.3	0.4	0.3	3.7	4.2	5.4	3.7	5.4
1992	4.0	2.9	4.1	3.7	3.7	1.3	2.3	3.8	3.6	1.9	4.4	2.5	4.4
1993	5.0	4.0	S/D	4.3	3.8	1.5	3.3	1.9	3.5	3.0	4.0	4.3	5.0
1994	3.8	4.2	4.0	4.4	4.3	1.4	0.0	0.2	3.1	4.1	4.1	3.4	4.4
1995	3.9	4.9	3.0	4.1	3.9	1.3	1.9	2.3	3.0	4.2	4.0	3.8	4.9
1996	4.1	4.1	4.0	2.7	3.4	0.4	0.4	3.5	3.7	3.6	1.6	1.3	4.1
1997	1.8	S/D	2.3	3.3	4.3	1.9	0.2	0.0	2.7	3.3	3.9	5.0	5.0
1998	5.0	3.5	S/D	3.7	3.2	4.1	1.3	3.5	4.1	3.9	3.0	3.3	5.0
1999	2.3	S/D	3.6	5.0	2.1	2.8	2.6	0.5	3.0	2.9	3.4	4.3	5.0
2000	4.4	2.3	4.2	3.8	4.4	3.8	1.8	4.1	3.5	3.3	3.8	4.2	4.4
2001	4.3	4.1	S/D	4.1	4.2	1.0	3.1	0.0	3.7	4.2	3.1	4.2	4.3
2002	2.4	3.8	4.3	3.5	2.1	2.6	2.7	3.4	2.9	3.0	4.4	1.5	4.4
2003	3.7	3.2	3.2	4.1	5.6	2.2	1.6	4.1	2.4	2.4	4.1	4.4	5.6
2004	3.1	4.1	2.7	3.7	4.4	0.9	3.5	2.3	4.0	4.0	3.0	3.4	4.4
2005	3.5	6.2	3.4	3.2	3.6	3.5	0.3	3.5	1.7	3.3	2.8	3.9	6.2
2006	3.8	4.2	S/D	1.9	2.2	4.3	1.6	0.5	2.3	4.0	4.2	4.4	4.4
2007	4.4	2.5	S/D	4.0	4.2	1.4	3.0	4.0	0.9	2.6	4.2	3.9	4.4
Promedio	4.3	4.3	5.0	4.6	3.8	2.7	2.0	2.2	3.5	4.2	4.4	3.7	4.8
D.Estandar	3.1	2.3	4.3	4.6	2.7	1.7	1.4	1.5	1.7	2.8	4.2	1.8	0.5
Max	21.9	16.4	23.6	27.0	18.2	9.1	5.3	4.8	11.6	18.1	22.2	12.6	6.2
Min	1.8	2.3	2.1	1.3	1.5	0.3	0.0	0.0	0.9	1.9	0.8	0.3	4.1

## SENAMHI

### OFICINA GENERAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA

ESTACIÓN NAMORA  
PARÁMETRO : PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (mm)

LONG. : 78° 20' 20" "W"  
LAT. : 07° 12' 12" "S"  
ALT. : 2760 msnm

DPTO. : CAJAMARCA  
PROV. : CAJAMARCA  
DIST. : CAJAMARCA

AÑOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	Pmax Anual
1975	3.1	3.7	3.5	2.1	3.5	0.0	3.2	3.2	1.5	2.2	2.2	0.0	3.7
1976	3.7	3.3	1.2	0.0	2.1	2.1	1.1	3.3	2.1	3.2	1.5	0.0	3.7
1977	3.4	S/D	3.4	3.6	3.2	1.8	1.8	0.0	2.8	1.8	2.3	3.4	3.6
1978	0.0	0.0	1.2	2.2	3.1	0.0	0.0	2.7	6.0	1.9	2.1	3.7	6.0
1979	3.3	3.1	3.1	3.6	2.6	1.3	0.0	1.8	1.2	0.0	1.1	3.3	3.6
1980	3.6	1.8	3.3	3.2	2.3	2.1	0.0	1.3	3.3	S/D	3.6	0.0	3.6
1981	3.3	S/D	3.6	3.6	3.3	1.8	0.0	0.0	0.0	3.3	1.8	3.3	3.6
1982	1.2	3.1	3.7	2.2	3.3	0.0	1.1	0.0	3.3	S/D	3.6	2.3	3.7
1983	1.4	3.3	6.0	S/D	2.8	3.2	3.2	0.0	0.0	3.3	3.2	3.3	6.0
1984	2.3	S/D	2.2	2.2	2.0	2.2	1.5	2.8	0.0	2.1	1.8	6.0	6.0
1985	3.5	0.0	0.0	3.3	3.2	3.5	0.0	0.0	3.6	2.1	3.1	1.2	3.6
1986	6.0	3.2	2.5	2.5	3.2	0.0	2.1	3.5	2.5	3.5	2.4	2.8	6.0
1987	3.5	3.2	6.0	6.0	3.4	3.3	3.7	2.2	2.9	2.9	3.5	3.2	6.0
1988	3.7	3.1	0.9	3.3	2.8	1.8	0.0	0.0	3.2	6.0	3.7	2.2	6.0
1989	S/D	6.0	3.7	6.0	3.1	3.7	2.3	2.3	2.2	6.0	1.3	2.8	6.0
1990	3.3	1.9	2.7	3.0	2.1	3.5	1.5	3.7	3.2	6.0	2.7	3.2	6.0
1991	2.6	3.6	6.0	3.0	1.9	2.3	0.0	0.0	3.7	6.0	3.1	2.2	6.0
1992	3.5	1.1	6.0	3.5	1.8	0.0	1.9	1.0	2.1	2.2	3.0	2.3	6.0
1993	6.0	3.6	S/D	3.5	3.3	0.0	0.0	2.4	3.3	3.5	6.0	3.6	6.0
1994	3.6	6.0	11.5	6.0	3.5	2.3	0.0	1.7	3.6	2.9	2.4	3.7	11.5
1995	3.2	3.6	6.0	2.7	3.7	3.3	3.0	1.8	1.6	3.0	6.0	3.4	6.0
1996	3.7	S/D	S/D	3.4	2.2	0.2	0.3	3.1	5.1	3.4	3.1	2.0	5.1
1997	2.7	S/D	2.8	2.4	2.6	0.9	0.0	0.8	6.0	2.8	3.7	6.0	6.0
1998	3.3	S/D	3.6	3.7	3.6	0.9	0.0	1.8	3.6	1.6	3.7	6.0	6.0
1999	3.6	S/D	3.7	3.2	3.0	2.5	2.6	1.0	3.0	1.4	3.6	3.7	3.7
2000	3.5	6.0	3.4	2.9	2.9	2.3	1.6	1.5	3.7	6.0	3.4	2.8	6.0
2001	S/D	3.3	S/D	1.6	3.4	0.2	2.7	0.0	2.6	3.4	2.9	3.2	3.4
2002	2.5	3.2	S/D	3.6	0.6	3.1	2.9	3.5	2.2	3.5	3.5	3.7	3.7
2003	3.3	3.4	2.1	2.3	3.1	2.7	2.3	0.0	3.4	2.7	3.3	2.2	3.4
2004	2.5	3.7	3.7	3.6	3.1	3.4	3.3	1.6	1.6	6.0	3.7	3.4	6.0
2005	2.7	3.5	2.7	2.6	0.0	1.0	1.4	1.2	1.9	3.0	2.8	3.0	3.5
2006	3.3	3.4	S/D	2.8	3.5	2.5	2.0	2.2	3.4	2.8	5.1	3.5	5.1
2007	S/D	3.7	S/D	3.4	2.7	0.0	3.6	0.0	2.0	5.1	3.6	2.7	5.1
2008	2.7	6.0	35.0	22.5	8.6	11.8	1.3	5.0	9.8	20.5	26.3	9.8	35.0
2009	46.5	11.5	38.6	21.2	27.1	5.9	S/D	2.1	6.5	22.2	S/D	S/D	46.5
Promedio	4.5	3.6	5.7	4.3	3.6	2.2	1.5	1.6	3.0	4.4	3.8	3.2	7.2
D.Estandar	7.3	1.9	7.8	4.5	4.2	2.2	1.2	1.3	1.9	4.4	4.0	1.8	8.6
Max	46.5	11.5	38.6	22.5	27.1	11.8	3.7	5.0	9.8	22.2	26.3	9.8	46.5
Min	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	3.4

## SENAMHI

### OFICINA GENERAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA

ESTACIÓN SAN MARCOS  
PARÁMETRO : PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (mm)

LONG. : 78° 10' 10" "W"  
LAT. : 07° 19' 19" "S"  
ALT. : 2290 msnm

DPTO. : CAJAMARCA  
PROV. : SAN MARCOS  
DIST. : PEDRO GÁLVEZ

AÑOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	Pmax Anual
1975	1.6	S/D	S/D	4.0	2.0	2.5	2.4	2.5	1.1	4.0	4.0	2.0	4.0
1976	1.9	2.0	2.5	0.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	0.0	1.8	2.5
1977	2.1	1.6	1.8	0.6	2.4	1.9	0.0	2.3	2.1	2.0	2.0	2.3	2.4
1978	2.4	2.1	2.3	1.1	0.0	0.0	4.0	0.0	4.0	2.1	2.0	0.0	4.0
1979	2.2	2.2	4.6	2.2	2.2	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	1.2	1.4	4.6
1980	2.1	2.0	0.0	2.1	0.0	0.0	0.0	1.9	1.5	4.0	2.5	2.1	4.0
1981	2.5	S/D	2.0	3.5	1.4	2.4	0.0	0.0	0.0	2.1	1.4	1.3	3.5
1982	2.3	2.3	1.9	1.6	1.0	0.3	0.0	0.0	1.7	2.5	2.5	4.0	4.0
1983	2.1	0.4	4.0	1.1	1.1	0.0	1.9	1.9	1.5	0.0	2.3	2.2	4.0
1984	0.0	S/D	2.4	2.4	0.0	2.0	0.0	0.3	2.3	4.0	0.5	2.5	4.0
1985	2.0	3.6	2.0	2.4	1.9	0.0	1.3	2.1	1.9	1.9	1.6	1.4	3.6
1986	2.0	2.1	4.8	1.4	2.2	0.0	1.2	1.3	1.2	2.4	2.5	2.0	4.8
1987	2.1	1.8	2.3	2.5	1.3	1.6	1.5	2.4	2.5	1.6	4.5	2.3	4.5
1988	1.8	1.2	5.2	2.5	1.6	0.4	1.1	1.0	0.0	2.5	2.3	2.0	5.2
1989	4.0	S/D	0.0	2.0	0.0	2.5	0.0	1.3	4.0	4.0	5.0	1.4	5.0
1990	1.5	2.4	1.8	1.2	0.1	4.7	0.0	0.0	2.0	2.4	1.3	1.4	4.7
1991	0.8	2.3	2.4	1.8	1.8	2.2	0.0	0.0	1.2	1.7	1.0	1.6	2.4
1992	1.8	1.3	0.6	1.2	1.6	1.6	2.0	0.0	1.7	2.4	2.2	2.4	2.4
1993	4.0	S/D	S/D	2.4	2.5	0.0	0.0	0.0	2.0	2.5	4.5	2.0	4.5
1994	S/D	S/D	4.0	2.5	1.7	2.1	0.0	0.0	2.2	1.4	1.7	1.5	4.0
1995	1.8	2.1	1.8	1.5	1.8	1.9	0.6	4.0	4.3	1.2	2.0	2.5	4.3
1996	2.5	1.4	2.3	2.2	2.1	1.1	0.0	1.8	1.2	2.0	2.0	2.5	2.5
1997	1.3	S/D	0.3	2.2	1.4	1.5	0.4	0.0	0.0	5.6	2.3	2.3	5.6
1998	1.6	2.3	2.4	4.0	1.3	1.3	0.0	0.7	1.3	1.5	2.1	0.5	4.0
1999	4.0	S/D	1.5	1.8	0.5	2.5	0.6	2.4	2.3	0.0	2.3	5.0	5.0
2000	2.3	2.3	2.1	1.6	2.1	2.3	1.0	2.2	2.3	0.9	0.2	2.4	2.4
2001	S/D	2.1	S/D	4.7	1.7	0.0	0.0	0.0	1.3	2.5	0.8	2.4	4.7
2002	5.8	2.4	S/D	2.5	1.3	0.5	1.5	0.0	2.5	2.5	2.5	1.8	5.8
2003	2.4	1.9	2.3	1.9	1.0	0.6	2.4	2.0	1.4	4.0	4.0	1.2	4.0
2004	2.4	1.4	1.9	0.8	2.5	0.0	2.0	1.3	2.0	2.2	1.6	1.7	2.5
2005	2.4	1.8	4.0	1.7	1.0	0.7	0.0	2.4	0.0	2.3	2.4	4.0	4.0
2006	2.5	2.0	S/D	1.7	2.1	2.2	1.5	0.0	2.3	2.5	1.5	S/D	2.5
2007	2.3	1.8	S/D	0.5	2.0	0.0	2.5	4.4	0.6	1.6	4.0	0.9	4.4
2008	2.3	S/D	17.3	25.9	8.9	9.2	2.8	2.5	10.0	32.7	29.2	44.5	44.5
2009	39.4	S/D	22.9	29.7	12.4	1.9	S/D	0.0	3.7	36.0	23.1	S/D	39.4
Promedio	3.3	1.9	3.5	3.4	2.0	1.4	0.9	1.2	2.1	4.1	3.5	3.3	6.1
D.Estandar	6.2	0.4	4.3	6.1	2.3	1.7	1.0	1.2	1.8	7.5	5.7	7.1	9.0
Max	39.4	2.5	22.9	29.7	12.4	9.2	4.0	4.0	10.0	36.0	29.2	44.5	44.5
Min	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4

## SENAMHI

### OFICINA GENERAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA

ESTACIÓN CAJABAMBA  
PARÁMETRO : PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (mm)

LONG. : 78° 03' 02" "W"  
LAT. : 07° 37' 37" "S"  
ALT. : 2550 msnm

DPTO. CAJAMARCA  
PROV. CAJABAMBA  
DIST. CAJABAMBA

AÑOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	Pmax Anual
1975	6.3	S/D	5.7	5.8	5.0	5.8	1.2	5.9	5.1	4.1	4.8	1.6	6.3
1976	6.0	8.1	5.2	6.1	2.8	4.9	0.0	5.6	5.3	5.9	5.9	6.2	8.1
1977	6.0	5.7	6.0	5.4	2.4	4.4	0.0	3.6	4.0	6.0	4.8	4.3	6.0
1978	5.3	2.2	10.0	5.2	4.4	1.8	4.9	0.0	4.1	4.8	5.2	10.3	10.3
1979	6.2	6.0	S/D	5.4	5.0	0.0	2.5	3.6	10.0	5.5	10.0	10.5	10.5
1980	1.1	4.7	4.8	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	3.5	4.7	S/D	4.7	4.8
1981	5.0	S/D	10.0	4.2	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	S/D	S/D	S/D	10.0
1982	S/D	10.0	10.0	10.8	10.8								
1983	6.0	10.0	10.0	5.0	5.5	0.3	2.8	4.0	5.2	10.0	10.0	11.2	11.2
1984	7.1	7.1	7.1	5.0	5.2	5.5	0.0	5.1	3.2	6.0	5.0	5.8	7.1
1985	10.0	10.0	10.0	6.1	5.0	2.0	5.5	2.5	5.3	5.0	10.0	10.0	10.0
1986	6.2	10.0	6.0	6.0	4.0	3.0	3.0	1.0	4.5	5.0	10.0	11.0	11.0
1987	6.0	6.0	10.7	5.3	2.0	3.5	0.0	1.3	5.0	6.0	6.0	0.0	10.7
1988	10.0	10.0	6.0	6.0	5.0	6.0	1.5	1.2	5.1	10.0	10.5	4.5	10.5
1989	10.0	10.0	10.0	6.0	6.0	3.0	3.0	0.0	1.0	10.0	10.3	4.5	10.3
1990	5.0	5.0	10.0	10.0	3.5	0.5	1.5	2.0	8.0	8.0	8.0	8.0	10.0
1991	7.5	7.5	7.5	7.5	2.6	0.5	1.7	1.0	7.4	5.0	7.4	7.4	7.5
1992	4.5	6.0	10.0	10.0	3.5	3.6	0.5	1.0	3.1	10.0	11.3	10.0	11.3
1993	5.0	5.4	8.4	5.2	4.0	1.4	4.7	1.0	5.5	8.4	8.4	5.3	8.4
1994	4.5	5.6	6.0	8.0	4.8	4.0	0.0	3.6	4.7	8.0	5.5	6.2	8.0
1995	4.5	6.1	5.6	5.5	5.4	5.4	0.0	1.2	6.2	5.2	5.2	6.1	6.2
1996	4.2	S/D	6.2	6.2	5.0	2.1	0.0	0.6	5.8	6.0	5.2	11.2	11.2
1997	4.3	S/D	10.0	5.6	5.8	5.8	1.0	2.0	5.0	5.4	4.5	6.2	10.0
1998	5.1	5.9	5.2	5.9	5.9	2.7	1.0	4.2	6.2	4.8	4.6	5.9	6.2
1999	6.2	5.2	7.6	6.0	3.0	2.4	1.8	0.0	5.7	5.0	4.7	6.2	7.6
2000	5.4	4.2	S/D	5.0	5.7	2.1	1.3	0.0	5.7	5.2	6.1	5.9	6.1
2001	5.4	4.8	4.7	5.5	5.1	4.2	6.0	0.0	3.5	4.8	6.2	3.8	6.2
2002	5.9	5.6	6.0	4.2	6.2	2.4	4.0	3.8	3.7	4.4	5.3	3.3	6.2
2003	5.5	4.1	4.9	6.1	2.7	3.7	1.2	2.3	2.2	5.9	5.5	5.8	6.1
2004	5.3	5.2	6.2	5.9	4.9	5.7	2.3	2.3	2.9	3.7	6.0	5.6	6.2
2005	5.3	4.0	5.8	6.1	4.3	0.0	3.9	1.2	5.8	4.6	5.5	2.6	6.1
2006	4.3	5.6	31.6	17.3	13.5	14.1	3.7	1.8	14.4	27.0	19.2	9.5	31.6
2007	56.5	23.1	29.3	24.6	27.9	5.6	S/D	7.9	4.1	22.7	40.4	17.7	56.5
Promedio	7.8	7.4	10.0	7.8	5.8	3.6	2.0	2.2	5.4	7.9	9.3	7.1	10.6
D.Estandar	9.0	3.8	6.4	5.5	4.8	2.8	1.8	2.0	2.8	5.1	6.8	3.4	9.4
Max	56.5	23.1	31.6	27.0	27.9	14.1	6.0	7.9	14.4	27.0	40.4	17.7	56.5
Min	1.1	2.2	4.7	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	4.5	0.0	4.8

## SENAMHI

### OFICINA GENERAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA

ESTACIÓN CACHACHI  
PARÁMETRO : PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (mm)

LONG. : 78° 16' 16" "W"  
LAT. : 07° 27' 27" "S"  
ALT. : 3200 msnm

DPTO. CAJAMARCA  
PROV. CAJABAMBA  
DIST. CACHACHI

AÑOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	Pmax Anual
1975	0.0	33.7	49.7	40.3	15.6	0.0	0.0	0.0	11.6	17.8	0.0	0.0	49.7
1976	13.1	27.9	33.2	28.8	0.0	0.0	0.0	0.0	17.5	29.6	38.0	18.8	38.0
1977	20.2	35.2	18.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3	9.5	7.8	15.4	35.2
1978	0.0	8.2	3.1	11.8	20.8	0.0	12.5	0.0	20.8	10.4	20.1	15.8	20.8
1979	12.6	9.8	9.0	S/D	S/D	S/D	3.6	13.8	27.2	0.0	20.0	9.2	27.2
1980	16.3	11.8	24.5	10.0	0.0	0.0	1.3	2.4	0.0	20.9	33.3	27.0	33.3
1981	29.9	20.5	30.4	6.8	15.8	13.2	0.0	5.0	4.2	15.5	17.4	24.0	30.4
1982	25.9	28.8	10.3	6.4	3.5	5.0	0.0	0.0	8.0	25.5	4.8	18.5	28.8
1983	24.0	2.0	35.3	24.2	5.4	2.5	0.0	0.0	0.0	2.2	9.0	15.5	35.3
1984	0.0	31.8	24.8	12.5	12.4	2.5	0.0	2.5	2.0	20.9	15.8	14.5	31.8
1985	2.0	0.0	8.4	2.0	8.0	0.0	0.0	0.0	13.3	4.5	2.5	13.0	13.3
1986	13.2	15.5	20.0	18.8	5.5	0.0	0.0	7.5	4.0	8.0	21.0	22.5	22.5
1987	19.0	20.0	22.0	8.5	13.5	0.0	6.8	0.0	4.0	15.5	26.9	18.5	26.9
1988	25.8	30.5	8.2	27.7	13.1	7.0	0.0	0.0	12.5	0.0	7.0	12.7	30.5
1989	17.3	26.0	31.9	28.5	2.5	2.5	0.0	0.0	12.5	7.5	2.4	0.0	31.9
1990	0.0	10.0	13.5	10.0	18.0	14.5	0.0	0.0	0.0	16.5	19.0	5.0	19.0
1991	10.5	9.0	20.5	22.0	12.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	6.0	22.0
1992	4.0	3.0	10.0	11.0	4.0	0.0	0.0	0.0	12.3	13.1	0.0	2.5	13.1
1993	9.0	14.9	21.2	26.5	11.3	0.0	0.0	0.0	12.8	20.8	21.5	20.5	26.5
1994	17.3	24.0	26.7	13.8	10.0	2.5	0.0	0.0	3.5	18.9	22.9	18.1	26.7
1995	15.5	23.2	30.2	18.0	10.0	0.0	5.1	0.0	8.8	21.5	25.1	20.1	30.2
1996	18.9	26.1	28.5	18.0	16.1	12.1	0.0	S/D	S/D	18.6	20.0	14.3	28.5
1997	24.9	30.0	12.2	16.3	9.1	6.3	0.0	9.2	13.1	24.4	40.1	43.9	43.9
1998	39.6	23.2	31.2	36.1	11.3	0.0	0.0	1.2	19.4	20.3	10.1	28.1	39.6
1999	35.0	42.5	41.1	5.7	16.6	10.0	2.4	1.2	16.4	8.9	17.1	34.9	42.5
2000	32.1	25.1	34.0	34.0	19.0	4.5	0.0	7.1	13.9	4.1	20.1	22.0	34.0
2001	35.6	19.2	43.9	8.4	10.1	0.0	1.9	3.0	5.1	21.1	21.4	24.6	43.9
2002	31.0	17.5	40.1	26.0	3.4	2.0	15.0	0.0	15.6	22.3	17.4	25.1	40.1
2003	19.0	25.0	25.6	14.0	10.0	6.0	0.4	3.0	20.4	23.0	40.0	38.1	40.0
2004	25.2	25.0	31.0	33.1	11.5	4.3	8.6	S/D	10.0	22.4	26.6	27.7	33.1
2005	18.4	23.4	27.2	12.0	6.0	0.6	0.0	9.2	18.0	23.3	2.0	28.7	28.7
2006	35.2	20.1	27.6	38.1	5.4	10.1	6.0	11.0	15.7	18.5	16.6	36.2	38.1
2007	20.3	16.1	50.1	30.1	9.2	0.0	1.3	1.6	15.4	25.4	27.5	20.1	50.1
2008	30.8	25.2	37.1	58.6	6.1	16.7	0.0	1.0	20.6	28.6	18.8	14.7	58.6
2009	45.1	27.3	30.8	32.9	15.0	S/D	S/D	1.0	S/D	S/D	S/D	S/D	45.1
Promedio	19.6	20.9	28.1	20.3	9.7	3.7	1.9	2.4	11.0	15.9	17.6	19.3	33.1
D.Estandar	11.9	9.7	11.7	12.6	5.5	4.7	3.6	3.6	6.9	8.4	10.8	10.1	10.1
Max	45.1	42.5	50.1	58.6	20.8	16.7	15.0	13.8	27.2	29.6	40.1	43.9	58.6
Min	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.1

## SENAMHI

### OFICINA GENERAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA

ESTACIÓN HUAMACHUCO  
PARÁMETRO : PRECIPITACIÓN MÁXIMA EN 24 HORAS (mm)

LONG. : 78° 03' 03" "W"  
LAT. : 07° 49' 49" "S"  
ALT. : 3150 msnm

DPTO. LA LIBERTAD  
PROV. SÁNCHEZ CARRIÓN  
DIST. HUAMACHUCO

AÑOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	Pmax Anual
1975	7.9	S/D	8.0	6.5	5.8	7.0	3.6	6.0	5.0	7.0	7.6	8.2	8.2
1976	8.0	8.0	8.0	6.7	4.0	3.5	0.0	8.1	3.0	7.0	5.5	7.4	8.1
1977	5.5	7.8	7.5	7.0	5.0	3.5	7.1	5.0	4.8	6.0	8.6	6.0	8.6
1978	6.0	7.3	5.7	7.4	8.0	2.0	3.5	0.5	3.8	8.9	6.8	6.9	8.9
1979	2.8	7.8	13.2	7.8	5.5	0.0	4.8	5.2	6.8	3.7	7.5	7.6	13.2
1980	7.5	7.4	7.6	7.6	5.5	3.5	0.0	3.8	2.1	7.5	7.6	7.4	7.6
1981	6.5	7.0	7.5	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	2.2	7.5	7.0	6.6	7.5
1982	8.0	6.5	4.6	7.8	7.4	7.1	3.6	3.4	3.2	9.1	7.8	7.8	9.1
1983	8.2	8.0	7.9	4.5	4.8	4.0	5.7	5.2	7.5	7.5	5.4	7.9	8.2
1984	7.9	S/D	7.9	7.5	7.5	4.7	4.5	5.8	7.0	6.8	7.8	6.0	7.9
1985	5.1	7.5	5.8	4.9	5.5	0.0	2.3	2.4	7.5	7.7	7.5	7.6	7.7
1986	7.5	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	7.2	6.5	5.7	7.6	10.3	7.6	10.3
1987	7.5	7.3	3.8	6.7	6.5	3.0	5.3	5.5	7.0	8.0	8.1	7.3	8.1
1988	7.7	8.2	6.6	8.0	6.5	7.1	1.0	1.8	3.6	7.5	8.0	8.0	8.2
1989	7.2	S/D	13.8	7.9	3.9	6.7	0.0	3.1	6.2	6.7	7.8	0.0	13.8
1990	8.2	13.2	4.4	6.8	7.5	4.4	1.2	0.0	5.0	13.2	8.0	7.1	13.2
1991	7.5	S/D	7.5										
1992	S/D	S/D	S/D	S/D	7.6	3.4	2.1	5.1	5.9	7.1	6.7	6.1	7.6
1993	6.1	7.4	S/D	8.1	7.2	0.0	1.4	1.2	8.2	6.8	5.9	8.0	8.2
1994	8.2	7.7	8.2	7.7	7.5	2.7	2.5	0.6	7.5	5.8	8.0	13.2	13.2
1995	7.4	7.4	6.2	3.5	7.4	7.9	2.5	0.9	3.3	7.5	7.8	5.9	7.9
1996	7.9	7.5	8.0	7.7	6.2	2.8	1.4	4.9	7.1	6.4	8.9	4.8	8.9
1997	4.9	9.0	6.6	6.7	2.1	6.1	0.0	0.8	6.7	8.0	7.0	7.7	9.0
1998	7.7	5.5	7.6	13.4	4.5	6.4	0.8	3.9	5.9	6.7	4.4	8.0	13.4
1999	8.2	S/D	7.5	6.7	5.4	6.0	1.1	3.9	8.0	5.1	7.7	7.0	8.2
2000	7.5	7.6	7.1	7.9	7.2	5.5	2.1	6.1	7.5	7.8	7.7	7.4	7.9
2001	8.2	7.8	S/D	5.7	8.1	2.5	3.7	0.6	5.5	6.0	6.3	7.7	8.2
2002	7.1	8.1	7.7	7.6	13.5	5.7	7.7	0.0	6.7	6.8	8.2	7.1	13.5
2003	7.5	7.1	3.2	6.4	4.9	5.9	2.6	7.2	2.3	7.4	7.7	7.2	7.7
2004	13.2	7.2	7.9	7.1	7.1	1.3	4.5	2.5	7.3	7.6	8.0	13.2	13.2
2005	8.1	8.0	9.3	5.9	7.8	5.7	0.0	1.3	7.7	7.4	6.2	7.9	9.3
2006	6.8	7.6	13.2	7.9	1.2	5.0	7.5	3.8	5.9	6.8	8.0	5.9	13.2
2007	6.2	6.4	7.6	6.8	7.0	0.0	6.7	3.4	2.0	28.0	7.6	7.5	28.0
2008	4.5	7.0	16.0	28.0	27.4	16.9	6.2	5.2	26.4	19.8	17.0	17.7	28.0
2009	29.9	S/D	31.5	30.0	28.6	8.1	S/D	10.2	8.2	23.0	21.2	S/D	31.5
Promedio	7.9	7.6	8.8	8.5	7.6	4.6	3.2	3.8	6.3	8.1	8.0	7.6	11.2
D.Estandar	4.1	1.1	4.7	5.3	5.4	3.1	2.3	2.4	3.9	3.6	2.9	2.7	6.0
Max	29.9	13.2	31.5	30.0	28.6	16.9	7.7	10.2	26.4	23.0	21.2	17.7	31.5
MIn	2.8	5.5	3.2	3.5	1.2	0.0	0.0	0.0	2.0	3.7	4.4	0.0	7.5

## **ANEXO 2**

# **PRUEBAS DE BONDAD DE AJUSTE Y PRECIPITACIONES PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO**

**Ajuste de una serie de datos a la distribución Gumbel para A.Weberbauer**

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	Delta
1	4.1	0.0294	0.0685	0.0391
2	4.1	0.0588	0.0685	0.0097
3	4.2	0.0882	0.1200	0.0318
4	4.3	0.1176	0.1869	0.0693
5	4.3	0.1471	0.1869	0.0399
6	4.3	0.1765	0.1869	0.0104
7	4.3	0.2059	0.1869	0.0190
8	4.4	0.2353	0.2654	0.0301
9	4.4	0.2647	0.2654	0.0007
10	4.4	0.2941	0.2654	0.0287
11	4.4	0.3235	0.2654	0.0581
12	4.4	0.3529	0.2654	0.0875
13	4.4	0.3824	0.2654	0.1170
14	4.4	0.4118	0.2654	0.1464
15	4.4	0.4412	0.2654	0.1758
16	4.4	0.4706	0.2654	0.2052
17	4.4	0.5000	0.2654	0.2346
18	4.8	0.5294	0.5950	0.0656
19	4.8	0.5588	0.5950	0.0361
20	4.8	0.5882	0.5950	0.0067
21	4.9	0.6176	0.6632	0.0455
22	5.0	0.6471	0.7226	0.0756
23	5.0	0.6765	0.7226	0.0462
24	5.0	0.7059	0.7226	0.0167
25	5.0	0.7353	0.7226	0.0127
26	5.1	0.7647	0.7734	0.0087
27	5.1	0.7941	0.7734	0.0207
28	5.4	0.8235	0.8806	0.0571
29	5.4	0.8529	0.8806	0.0277
30	5.6	0.8824	0.9235	0.0412
31	5.8	0.9118	0.9514	0.0397
32	5.8	0.9412	0.9514	0.0103
33	6.2	0.9706	0.9807	0.0101

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.2346, es menor que el delta tabular 0.2367. Los datos se ajustan a la distribución Gumbel, con un nivel de significación del 5%

Parámetros de la distribución Gumbel:

Con momentos ordinarios:

Parámetro de posición ( $\mu$ )= 4.5205

Parámetro de escala (alfa)= 0.4265

Precipitación de Diseño:

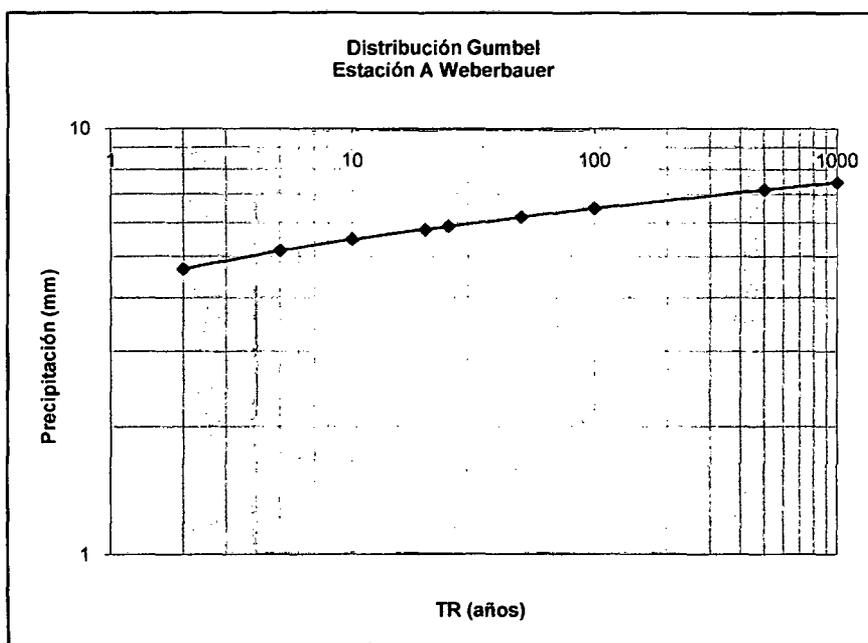
La Precipitación de Diseño para un periodo de retorno de 100 años, es 6.48

La Precipitación de Diseño para un periodo de retorno de 500 años, es 7.17

**ESTACION :AUGUSTO WEBERBAUER**  
**PRECIPITACIONES MAXIMAS EN 24 HORAS USANDO LA DISTRIBUCION GUMBEL**

Media(mm)	4.77
D.S(mm)	0.55
Cs	0.95

T	x	KT	P (mm)
2	-0.37	-0.16	4.68
5	-1.50	0.72	5.16
10	-2.25	1.30	5.48
20	-2.97	1.87	5.79
25	-3.20	2.04	5.88
50	-3.90	2.59	6.18
100	-4.60	3.14	6.48
500	-6.21	4.39	7.17
1000	-6.91	4.94	7.47



### Ajuste de una serie de datos a la distribución lognormal de Namora

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

m	X	P(X)	F(Z) Ordinario	Delta
1	3.4	0.0294	0.1071	0.0777
2	3.4	0.0588	0.1071	0.0483
3	3.5	0.0882	0.1266	0.0384
4	3.6	0.1176	0.1478	0.0302
5	3.6	0.1471	0.1478	0.0008
6	3.6	0.1765	0.1478	0.0286
7	3.6	0.2059	0.1478	0.0580
8	3.6	0.2353	0.1478	0.0874
9	3.7	0.2647	0.1706	0.0941
10	3.7	0.2941	0.1706	0.1235
11	3.7	0.3235	0.1706	0.1529
12	3.7	0.3529	0.1706	0.1823
13	3.7	0.3824	0.1706	0.2117
14	3.7	0.4118	0.1706	0.2312
15	5.1	0.4412	0.5596	0.1184
16	5.1	0.4706	0.5596	0.0890
17	6.0	0.5000	0.7604	0.2350
18	6.0	0.5294	0.7604	0.2310
19	6.0	0.5588	0.7604	0.2016
20	6.0	0.5882	0.7604	0.1722
21	6.0	0.6176	0.7604	0.1428
22	6.0	0.6471	0.7604	0.1134
23	6.0	0.6765	0.7604	0.0840
24	6.0	0.7059	0.7604	0.0546
25	6.0	0.7353	0.7604	0.0252
26	6.0	0.7647	0.7604	0.0043
27	6.0	0.7941	0.7604	0.0337
28	6.0	0.8235	0.7604	0.0631
29	6.0	0.8529	0.7604	0.0925
30	6.0	0.8824	0.7604	0.1219
31	6.0	0.9118	0.7604	0.1513
32	6.0	0.9412	0.7604	0.1807
33	11.5	0.9706	0.9984	0.0278

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.2312, es menor que el delta tabular 0.2367. Los datos se ajustan a la distribución logNormal 2 parámetros, con un nivel de significación del 5%

Parámetros de la distribución logNormal:

Con momentos ordinarios:

Parámetro de escala ( $\mu_y$ )= 1.5856

Parámetro de forma ( $S_y$ )= 0.2913

Precipitación de Diseño:

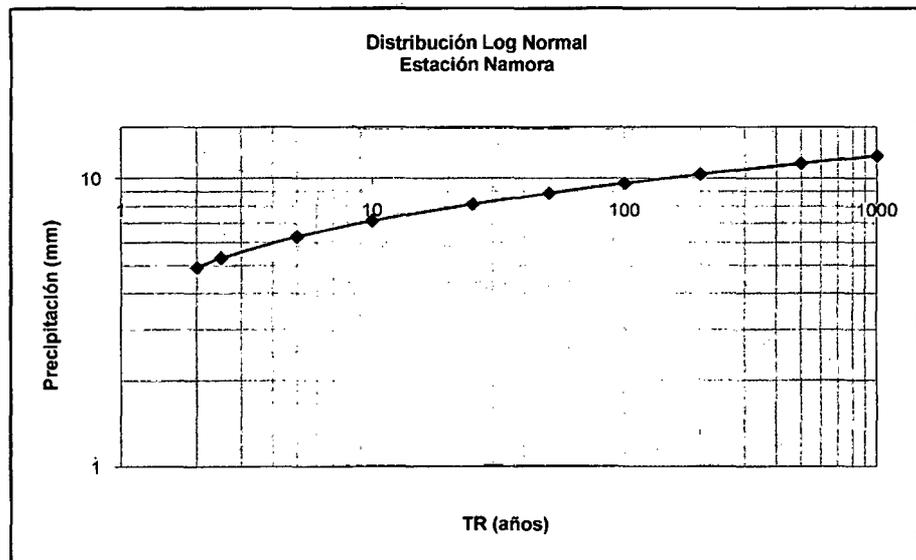
La Precipitación de Diseño para un periodo de retorno de 100 años, es 9.61

La Precipitación de Diseño para un periodo de retorno de 500 años, es 11.26

**ESTACION :NAMORA**  
**PRECIPITACIONES MAXIMAS EN 24 HORAS USANDO LA DISTRIBUCION LOG NORMAL**

Media(mm)	1.60
D.S(mm)	0.29
Cs	0.44

T	1-1/T	Zt
2	0.50	4.93
2.5	0.60	5.30
5	0.80	6.28
10	0.90	7.12
25	0.96	8.15
50	0.98	8.89
100	0.99	9.61
200	1.00	10.33
500	1.00	11.26
1000	1.00	11.97



### Ajuste de una serie de datos a la distribución normal para San Marcos

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

m	X	P(X)	F(Z) Ordinario	Delta
1	2.4	0.0294	0.0612	0.0318
2	2.4	0.0588	0.0612	0.0024
3	2.4	0.0882	0.0612	0.0270
4	2.4	0.1176	0.0612	0.0565
5	2.5	0.1471	0.0743	0.0727
6	2.5	0.1765	0.0743	0.1021
7	2.5	0.2059	0.0743	0.1315
8	2.5	0.2353	0.0743	0.1609
9	3.5	0.2647	0.3310	0.0663
10	3.6	0.2941	0.3683	0.0742
11	4.0	0.3235	0.5265	0.2030
12	4.0	0.3529	0.5265	0.1736
13	4.0	0.3824	0.5265	0.1442
14	4.0	0.4118	0.5265	0.1148
15	4.0	0.4412	0.5265	0.0853
16	4.0	0.4706	0.5265	0.0559
17	4.0	0.5000	0.5265	0.0265
18	4.0	0.5294	0.5265	0.0029
19	4.0	0.5588	0.5265	0.0323
20	4.0	0.5882	0.5265	0.0617
21	4.3	0.6176	0.6438	0.0262
22	4.4	0.6471	0.6806	0.0335
23	4.5	0.6765	0.7157	0.0392
24	4.5	0.7059	0.7157	0.0098
25	4.6	0.7353	0.7488	0.0135
26	4.7	0.7647	0.7798	0.0151
27	4.7	0.7941	0.7798	0.0143
28	4.8	0.8235	0.8085	0.0151
29	5.0	0.8529	0.8585	0.0056
30	5.0	0.8824	0.8585	0.0238
31	5.2	0.9118	0.8989	0.0129
32	5.6	0.9412	0.9533	0.0121
33	5.82	0.9706	0.9713	0.0007

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.2030, es menor que el delta tabular 0.2367. Los datos se ajustan a la distribución Normal, con un nivel de significación del 5%

Parámetros de la distribución normal:

Con momentos ordinarios:

Parámetro de localización ( $X_m$ )= 3.9339

Parámetro de escala (S)= 0.9929

Precipitación de diseño:

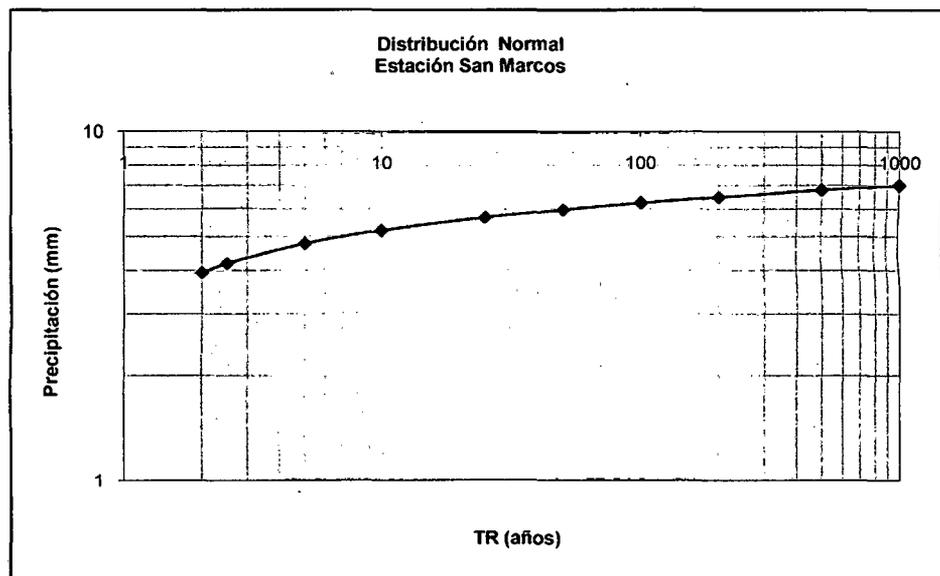
La Precipitación de Diseño para un periodo de retorno de 100 años, es 6.24

La Precipitación de Diseño para un periodo de retorno de 500 años, es 6.79

**ESTACION :SAN MARCOS**  
**PRECIPITACIONES MAXIMAS EN 24 HORAS USANDO LA DISTRIBUCION NORMAL**

Media(mm)	3.93
D.S(mm)	0.99
Cs	-0.28

T	1-1/T	Zt
2	0.50	3.93
2.5	0.60	4.19
5	0.80	4.77
10	0.90	5.21
25	0.96	5.67
50	0.98	5.97
100	0.99	6.24
200	1.00	6.49
500	1.00	6.79
1000	1.00	7.00



### Ajuste de una serie de datos a la distribución normal para Cachachi

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

m	X	P(X)	F(Z) Ordinario	Delta
1	13.1	0.0294	0.0192	0.0102
2	13.3	0.0588	0.0203	0.0386
3	19.0	0.0882	0.0773	0.0110
4	20.8	0.1176	0.1100	0.0076
5	22.0	0.1471	0.1368	0.0103
6	22.5	0.1765	0.1492	0.0273
7	26.5	0.2059	0.2737	0.0679
8	26.7	0.2353	0.2811	0.0458
9	26.9	0.2647	0.2885	0.0238
10	27.2	0.2941	0.2999	0.0057
11	28.5	0.3235	0.3511	0.0276
12	28.7	0.3529	0.3593	0.0063
13	28.8	0.3824	0.3634	0.0190
14	30.2	0.4118	0.4223	0.0106
15	30.4	0.4412	0.4309	0.0103
16	30.5	0.4706	0.4352	0.0354
17	31.8	0.5000	0.4918	0.0082
18	31.9	0.5294	0.4962	0.0333
19	33.1	0.5588	0.5485	0.0103
20	33.3	0.5882	0.5572	0.0311
21	34.0	0.6176	0.5873	0.0304
22	35.2	0.6471	0.6376	0.0094
23	35.3	0.6765	0.6417	0.0348
24	38.0	0.7059	0.7451	0.0392
25	38.1	0.7353	0.7486	0.0133
26	39.6	0.7647	0.7980	0.0333
27	40.0	0.7941	0.8101	0.0160
28	40.1	0.8235	0.8130	0.0105
29	42.5	0.8529	0.8754	0.0224
30	43.9	0.8824	0.9042	0.0218
31	43.9	0.9118	0.9042	0.0076
32	49.7	0.9412	0.9739	0.0327
33	50.1	0.9706	0.9764	0.0059

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.0679, es menor que el delta tabular 0.2367. Los datos se ajustan a la distribución Normal, con un nivel de significación del 5%

Parámetros de la distribución normal:

Con momentos ordinarios:

Parámetro de localización ( $X_m$ )= 31.9879

Parámetro de escala (S)= 9.1232

Precipitación de Diseño:

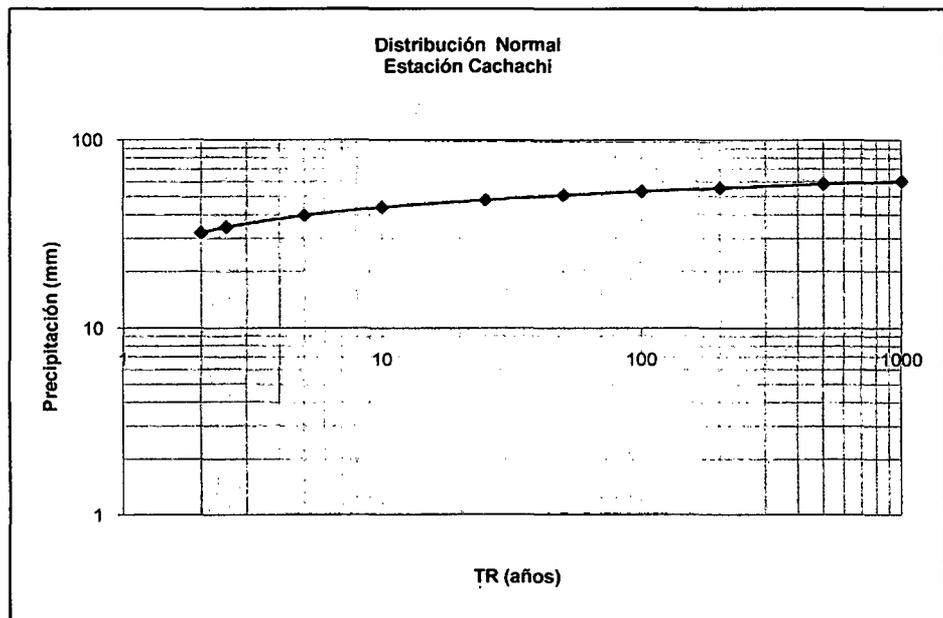
La Precipitación de diseño para un periodo de retorno de 100 años, es 53.21

La Precipitación de diseño para un periodo de retorno de 500 años, es 58.25

**ESTACION :CACHACHI**  
**PRECIPITACIONES MAXIMAS EN 24 HORAS USANDO LA DISTRIBUCION NORMAL**

Media(mm)	31.99
D.S(mm)	9.12
Cs	-0.06

T	1-1/T	Zt
2	0.50	31.99
2.5	0.60	34.30
5	0.80	39.67
10	0.90	43.68
25	0.96	47.96
50	0.98	50.72
100	0.99	53.21
200	1.00	55.49
500	1.00	58.25
1000	1.00	60.18



**Ajuste de una serie de datos a la distribución Gumbel para Cajabamba**

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

m	X	P(X)	G(Y) Ordinario	Delta
1	4.8	0.0323	0.0081	0.0242
2	6.0	0.0645	0.0979	0.0334
3	6.1	0.0968	0.1123	0.0155
4	6.1	0.1290	0.1123	0.0167
5	6.1	0.1613	0.1123	0.0490
6	6.2	0.1935	0.1278	0.0658
7	6.2	0.2258	0.1278	0.0980
8	6.2	0.2581	0.1278	0.1303
9	6.2	0.2903	0.1278	0.1626
10	6.2	0.3226	0.1278	0.1948
11	6.3	0.3548	0.1443	0.2106
12	7.1	0.3871	0.3042	0.0829
13	7.5	0.4194	0.3933	0.0260
14	7.6	0.4516	0.4156	0.0360
15	8.0	0.4839	0.5024	0.0185
16	8.05	0.5161	0.5129	0.0033
17	8.4	0.5484	0.5829	0.0345
18	10.0	0.5806	0.8155	0.2349
19	10.0	0.6129	0.8155	0.2026
20	10.0	0.6452	0.8155	0.1704
21	10.0	0.6774	0.8155	0.1381
22	10.3	0.7097	0.8437	0.1341
23	10.3	0.7419	0.8437	0.1018
24	10.5	0.7742	0.8603	0.0861
25	10.5	0.8065	0.8603	0.0539
26	10.7	0.8387	0.8753	0.0366
27	11.0	0.8710	0.8950	0.0240
28	11.2	0.9032	0.9064	0.0032
29	11.2	0.9355	0.9064	0.0291
30	11.3	0.9677	0.9117	0.0561

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.2349, es menor que el delta tabular 0.2483. Los datos se ajustan a la distribución Gumbel, con un nivel de significación del 5%

Parámetros de la distribución Gumbel:

Con momentos ordinarios:

Parámetro de posición ( $\mu$ )= 7.3861

Parámetro de escala (alfa)= 1.6439

Precipitación de Diseño:

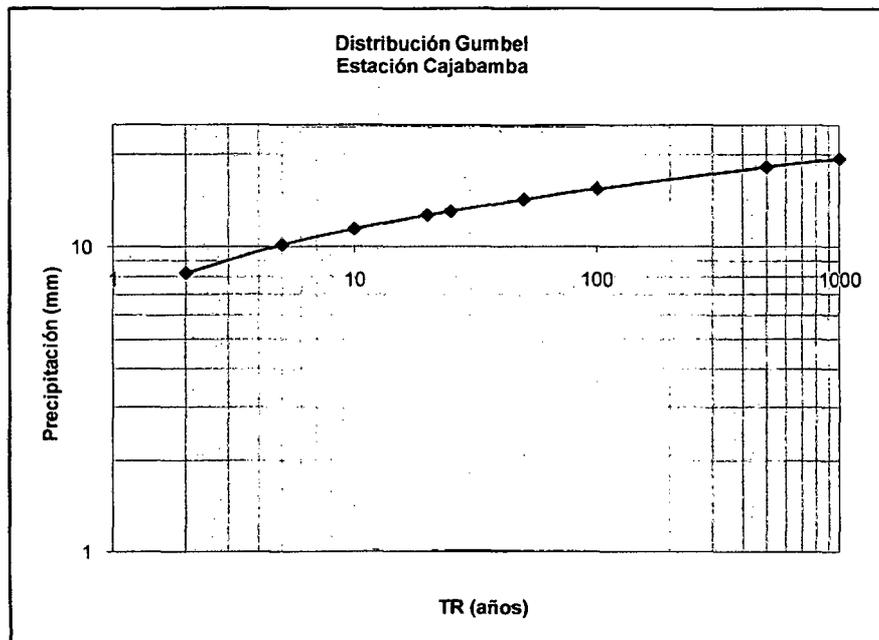
La Precipitación de Diseño para un periodo de retorno de 100 años, es 15.47

La Precipitación de Diseño para un periodo de retorno de 500 años, es 18.24

ESTACION :AUGUSTO CAJABAMBA  
PRECIPITACIONES MAXIMAS EN 24 HORAS USANDO LA DISTRIBUCION GUMBEL

Media(mm)	8.58
D.S(mm)	2.20
Cs	-0.22

T	x	KT	P (mm)
2	-0.37	-0.16	8.22
5	-1.50	0.72	10.16
10	-2.25	1.30	11.45
20	-2.97	1.87	12.68
25	-3.20	2.04	13.07
50	-3.90	2.59	14.28
100	-4.60	3.14	15.47
500	-6.21	4.39	18.24
1000	-6.91	4.94	19.43



### Ajuste de una serie de datos a la distribución normal para Humachuco

Cálculos del ajuste Smirnov Kolmogorov:

m	X	P(X)	F(Z) Ordinario	Delta
1	7.5	0.0323	0.2481	0.2158
2	7.6	0.0645	0.2559	0.1914
3	7.7	0.0968	0.2639	0.1671
4	7.7	0.1290	0.2639	0.1348
5	7.9	0.1613	0.2802	0.1189
6	7.9	0.1935	0.2802	0.0866
7	7.9	0.2258	0.2802	0.0544
8	8.1	0.2581	0.2970	0.0389
9	8.1	0.2903	0.2970	0.0066
10	8.2	0.3226	0.3055	0.0171
11	8.2	0.3548	0.3055	0.0493
12	8.2	0.3871	0.3055	0.0816
13	8.2	0.4194	0.3055	0.1138
14	8.2	0.4516	0.3055	0.1461
15	8.2	0.4839	0.3055	0.1783
16	8.6	0.5161	0.3408	0.1753
17	8.9	0.5484	0.3682	0.1802
18	8.9	0.5806	0.3682	0.2124
19	9.0	0.6129	0.3775	0.2354
20	9.1	0.6452	0.3869	0.2583
21	9.3	0.6774	0.4058	0.2716
22	13.2	0.7097	0.7642	0.0545
23	13.2	0.7419	0.7642	0.0223
24	13.2	0.7742	0.7642	0.0100
25	13.2	0.8065	0.7642	0.0423
26	13.2	0.8387	0.7642	0.0745
27	13.4	0.8710	0.7791	0.0919
28	13.5	0.9032	0.7863	0.1169
29	13.8	0.9355	0.8071	0.1284
30	28.0	0.9677	1.0000	0.0323

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.2716, es mayor que el delta tabular 0.2483. Los datos no se ajustan a la distribución Normal, con un nivel de significación del 5%

Parámetros de la distribución normal:

Con momentos ordinarios:

Parámetro de localización ( $X_m$ )= 10.27

Parámetro de escala (S)= 4.0702

Precipitación de Diseño:

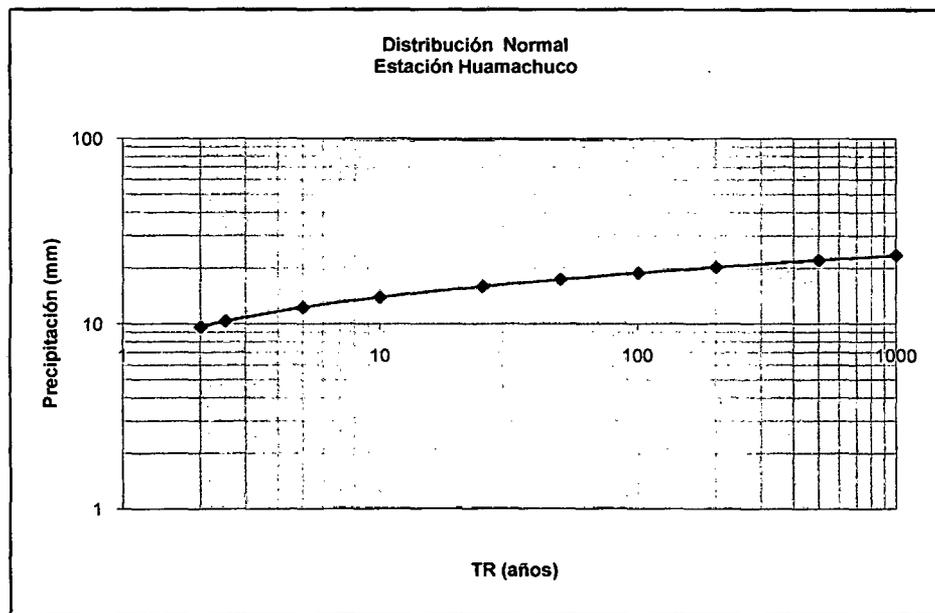
La Precipitación de Diseño para un periodo de retorno de 100 años, es 18.91

La Precipitación de Diseño para un periodo de retorno de 500 años, es 22.20

**ESTACION :HUAMACHUCO**  
**PRECIPITACIONES MAXIMAS EN 24 HORAS USANDO LA DISTRIBUCION NORMAL**

Media(mm)	2.26
D.S(mm)	0.29
Cs	1.84

T	1-1/T	Zt
2	0.50	9.63
2.5	0.60	10.36
5	0.80	12.29
10	0.90	13.96
25	0.96	16.00
50	0.98	17.47
100	0.99	18.91
200	1.00	20.33
500	1.00	22.20
1000	1.00	23.61

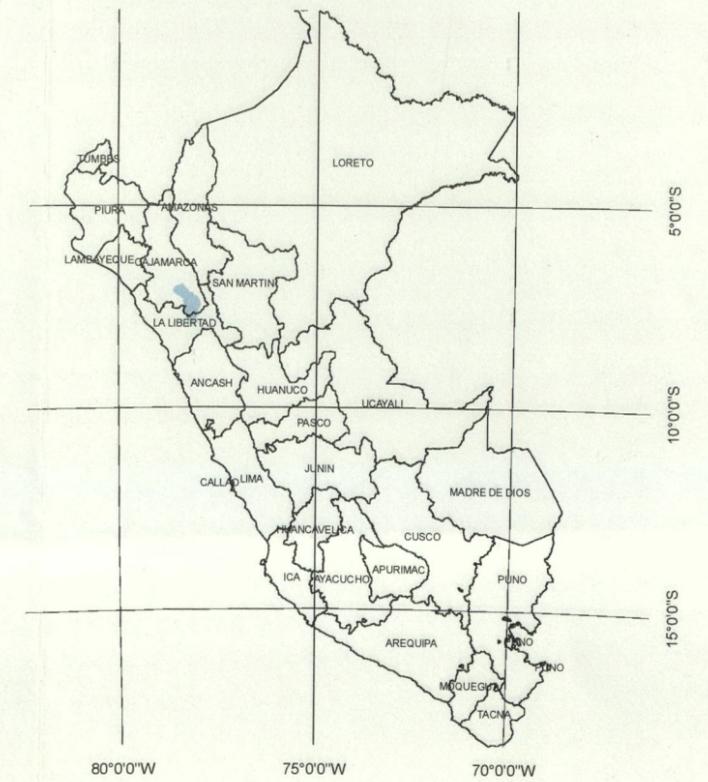


# **ANEXO 3**

## **MAPAS**



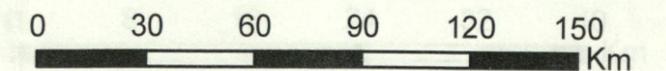
## MAPA DE UBICACION



### Leyenda

-  Rios principales
-  Límite de la cuenca del río Marañón
-  Cuenca del río Crisnejas

Cuenca Llaucano    Nombre de Subcuencas del Marañón



### CARACTERISTICAS

AREA DE LA CUENCA : 4748.41 Km<sup>2</sup>  
 DATUM DE REFERENCIA : WGS 84

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Análisis Hidrológico aplicando el Sistema de Información Geográfica y comparación de modelos en la cuenca del río Crisnejas

## Area en Estudio

Nombre  
VICENTE MONTALVO, Israel

Fecha  
ENE-2011



# Nº1

0

100000

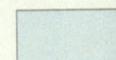
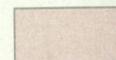
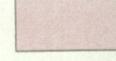
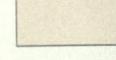
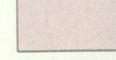
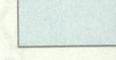
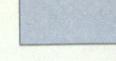
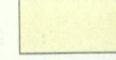
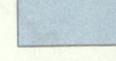
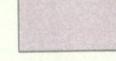
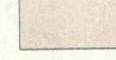
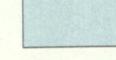
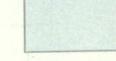
200000

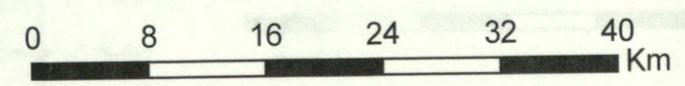
300000

400000



**Leyenda**

-  Js-Chic (Formación Chicama)
-  Ki-F (Formación Farrat)
-  Ki-ch (Formación Chullec)
-  Ki-chu (Formación Chullec-Pariatambo)
-  Ki-c (Formación Crisnejas)
-  Ki-g (Grupo Goyllarisquizga)
-  Ki-i (Formación Inca)
-  Ki-ichp (Formación Inca, Chulec, Pariat)
-  Ks-ca (Formación Cajamarca)
-  Ks-pu (Formación Pullucana)
-  Ks-q (Grupo Quilquiñan)
-  Ps-m (Grupo Mitu)
-  Q-al (Deposito Aluvial)
-  Q-fl (Deposito Fluvial)
-  Q-gl (Deposito Glacial)
-  Ti-vsp (Volcanico San pablo)
-  Ts-cj (Formación Cajabamba)
-  Ts-co (Formación Condebamba)
-  Ts-vh (Volcanico Huambos)
-  - - - Limite Departamental



CARACTERISTICAS  
 AREA DE LA CUENCA : 4748.41 Km<sup>2</sup>  
 DATUM DE REFERENCIA : WGS 84

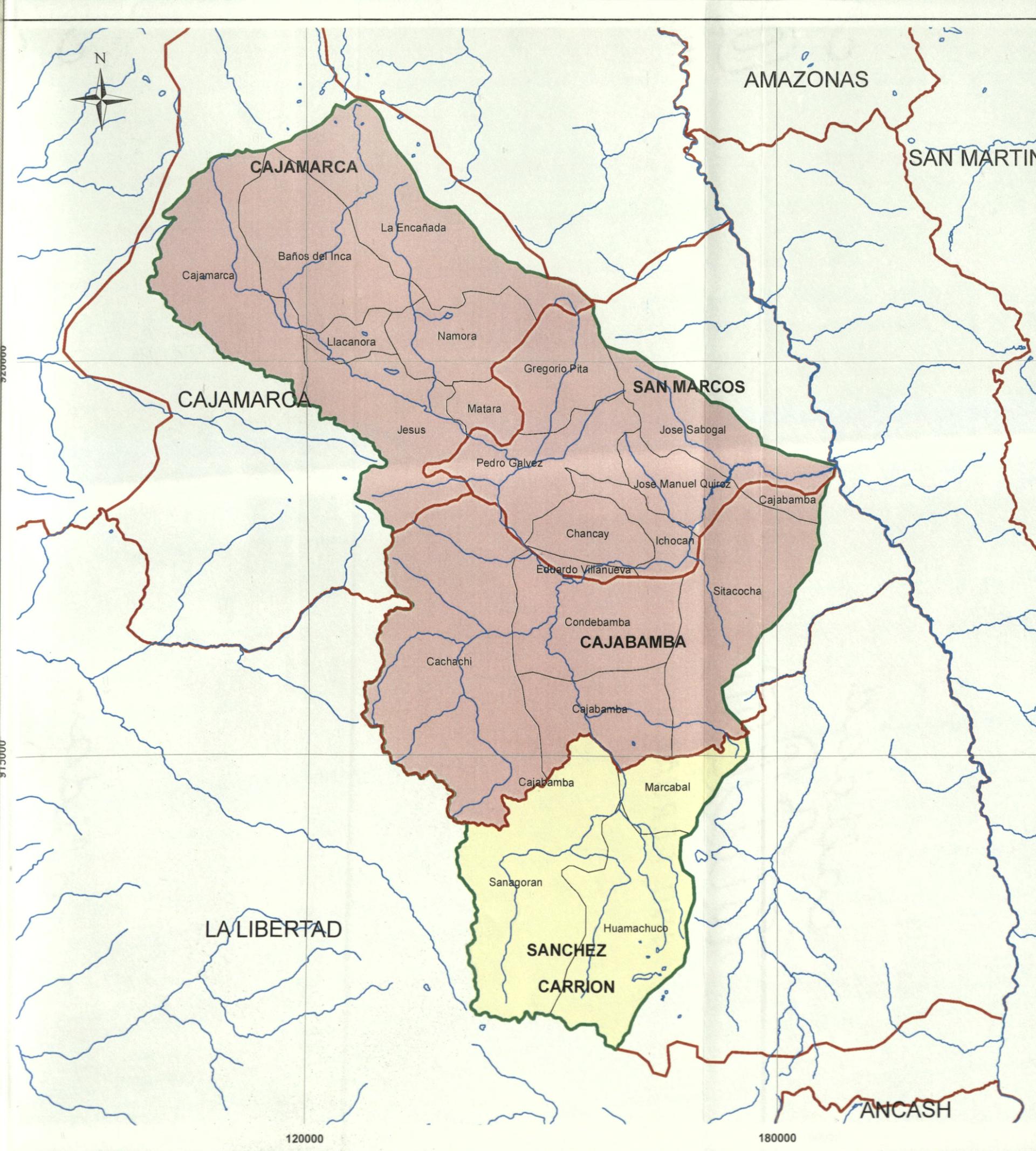
FUENTE DE INFORMACIÓN : CARTA GEOLOGICA DEL INGEMMET (CUADRANTES 16g y 17g)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA		
Analisis Hidrologico Aplicando el Sistema de Informacion Geografica y Comparación de Modelos en la Cuenca del Rio Crisnejas		
Geología de la Cuenca		
Nombre	Fecha	N°3
VICENTE MONTALVO, Israel	ENE-2011	

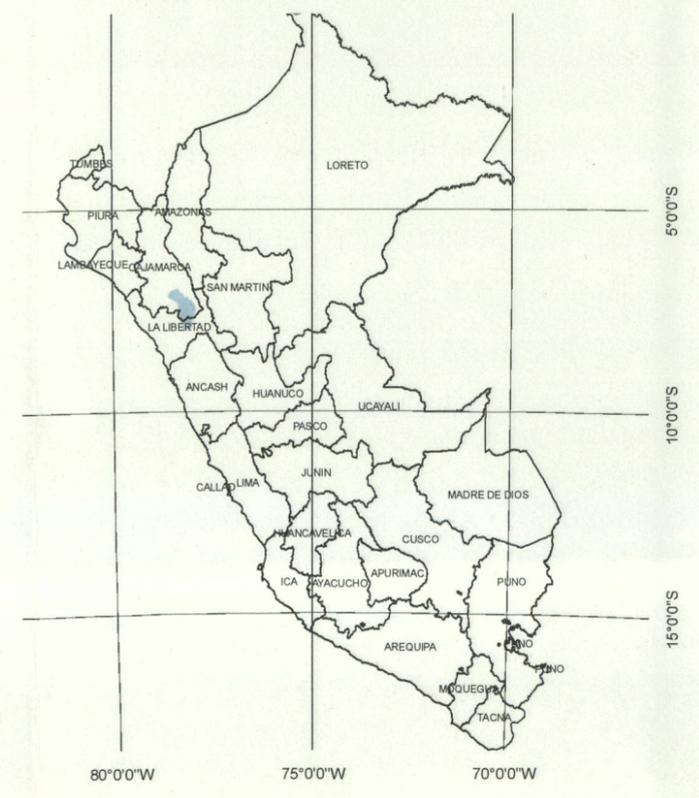


120000

180000



**MAPA DE UBICACION**

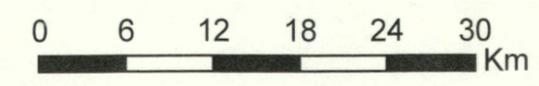


**Leyenda**

-  Cuenca Crisnejas
-  Rios
-  Departamento de Cajamarca
-  Departamento de La Libertad
- CAJABAMBA** Provincias
-  Cajabamba Distritos
-  Limite de Provincia
-  Limite de Distrito

**CARACTERISTICAS**

AREA DE LA CUENCA : 4748.41 Km<sup>2</sup>  
 DATUM DE REFERENCIA : WGS 84



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Análisis Hidrológico Aplicando el Sistema de Información Geográfica y Comparación de Modelos en la Cuenca del Río Crisnejas

**Provincias y Distritos**

Nombre  
VICENTE MONTALVO, Israel

Fecha  
ENE-2011



**Nº4**

9200000

9130000

120000

180000



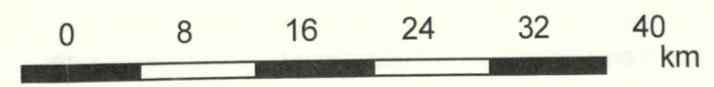
### MAPA DE UBICACION



#### LEYENDA

- Cuenca del Crisnejas
- Zona de Cobertura Vegetal
- Limite Departamental

#### CAJAMARCA Provincias



**CARACTERISTICAS**  
 AREA DE LA CUENCA : 4748.41 Km<sup>2</sup>  
 DATUM DE REFERENCIA : WGS 84

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Análisis Hidrológico Aplicando el Sistema de Información Geográfica y Comparación de Modelos en la Cuenca del Río Crisnejas

## Cobertura Vegetal

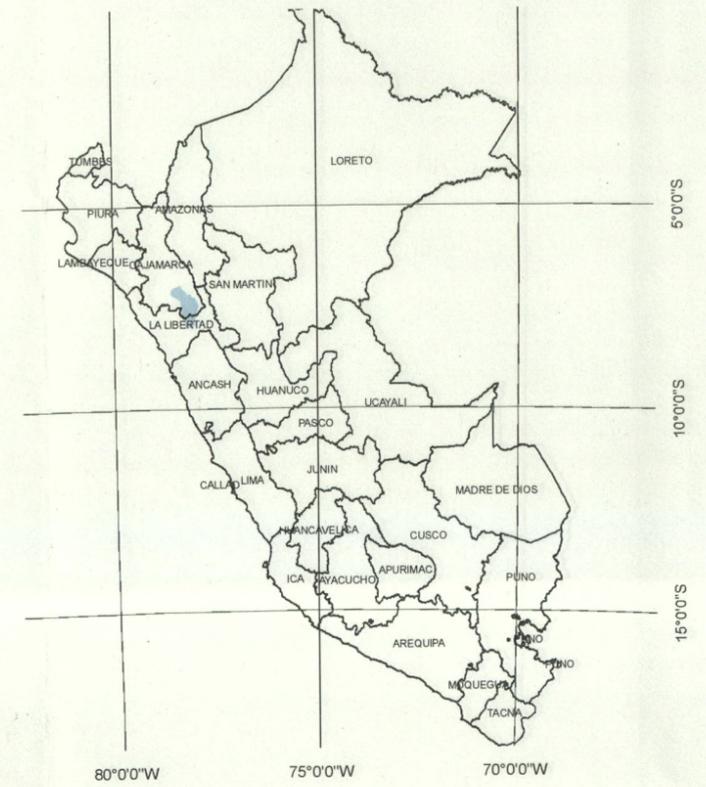
Nombre : VICENTE MONTALVO, Israel  
 Fecha : ENE-2011



# Nº5

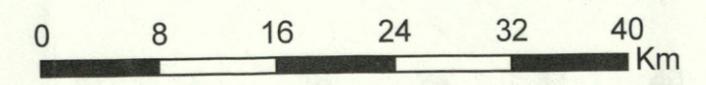


### MAPA DE UBICACION



### LEYENDA

-  Cuenca
-  Limite Departamental
-  Estaciones Pluviometricas
-  Estaciones Hidrometricas
-  Limite Cuenca Estación Puente Crisnejas



**CARACTERISTICAS**  
 AREA DE LA CUENCA : 4748.41 Km<sup>2</sup>  
 DATUM DE REFERENCIA : WGS 84

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Análisis Hidrológico Aplicando el Sistema de Información Geográfica y Comparación de Modelos en la Cuenca del Río Crisnejas

## Estaciones Hidrometeorológicas en la Cuenca del río Crisnejas

Nombre  
VICENTE MONTALVO, Israel

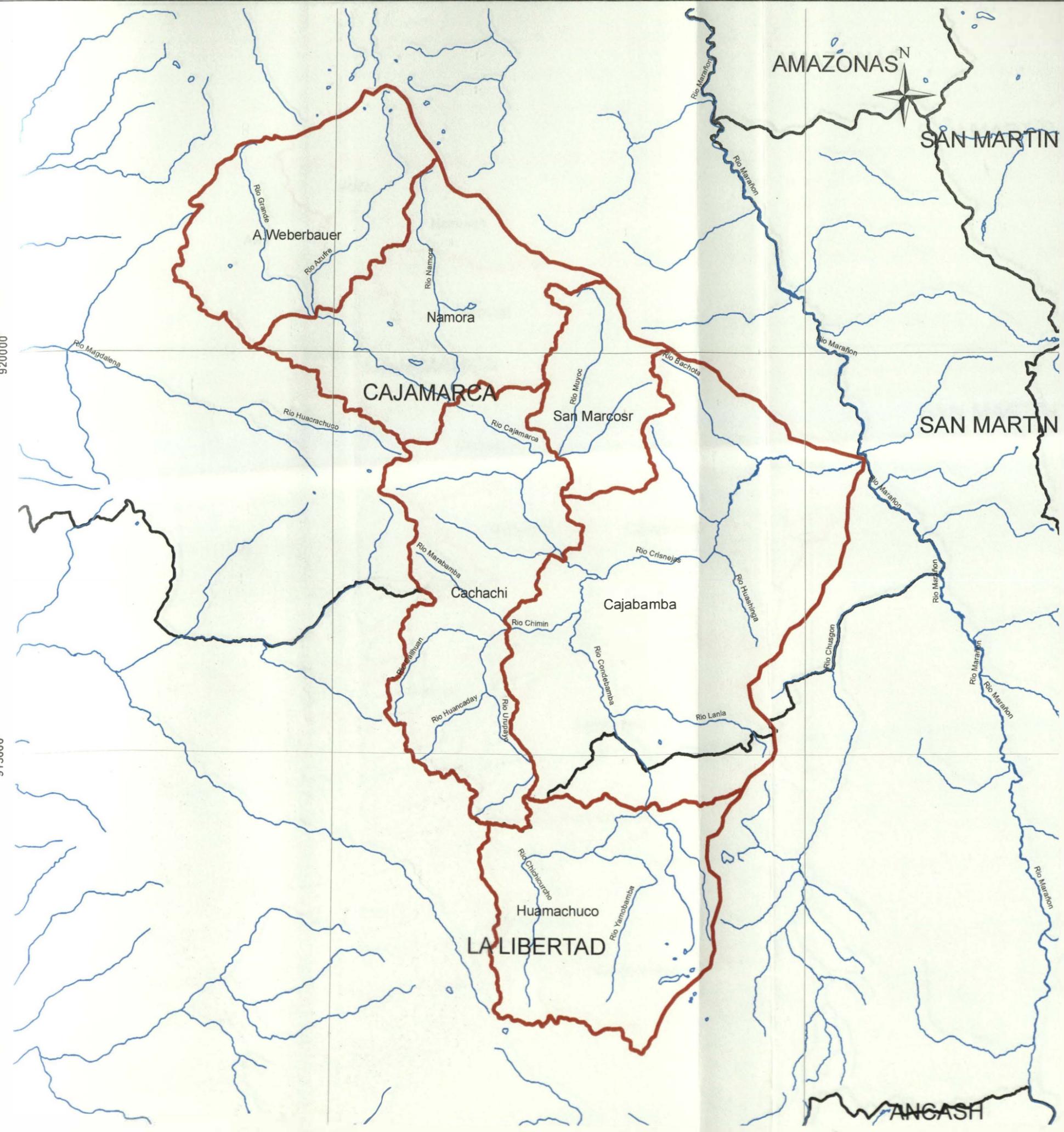
Fecha  
ENE-2011



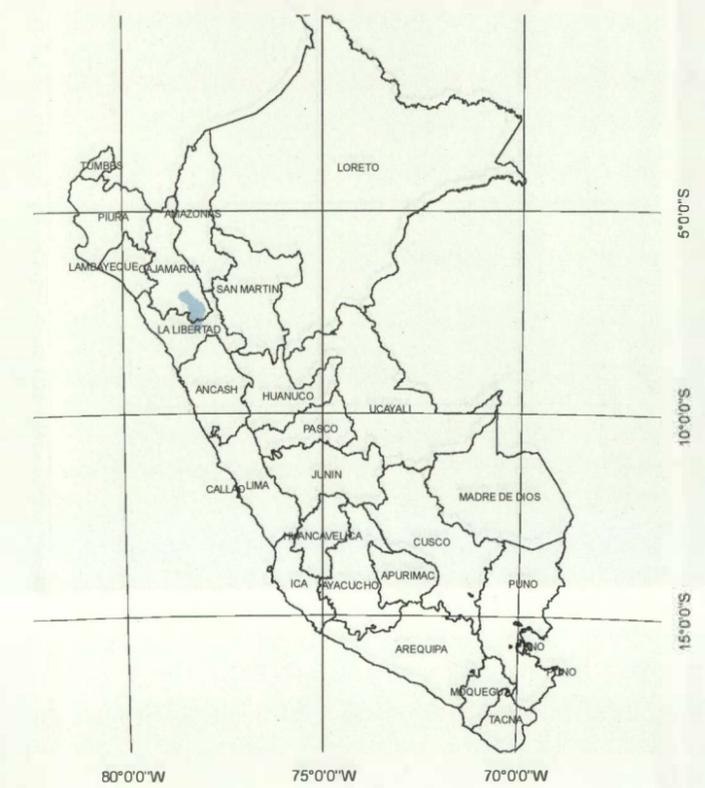
# Nº6

120000

180000



**MAPA DE UBICACION**

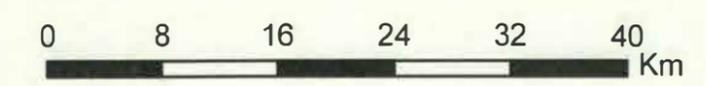


**Leyenda**

- Limite departamental
- Rios
- Delimitación de la cuenca del río Crisnejas

**CAJAMARCA** Departamentos

Cajabamba Nombre de las Subcuencas discretizadas



CARACTERISTICAS  
 AREA DE LA CUENCA : 4748.41 Km<sup>2</sup>  
 DATUM DE REFERENCIA : WGS 84

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Análisis Hidrológico Aplicando el Sistema de Información Geográfica y Comparación de Modelos en la Cuenca del Río Crisnejas

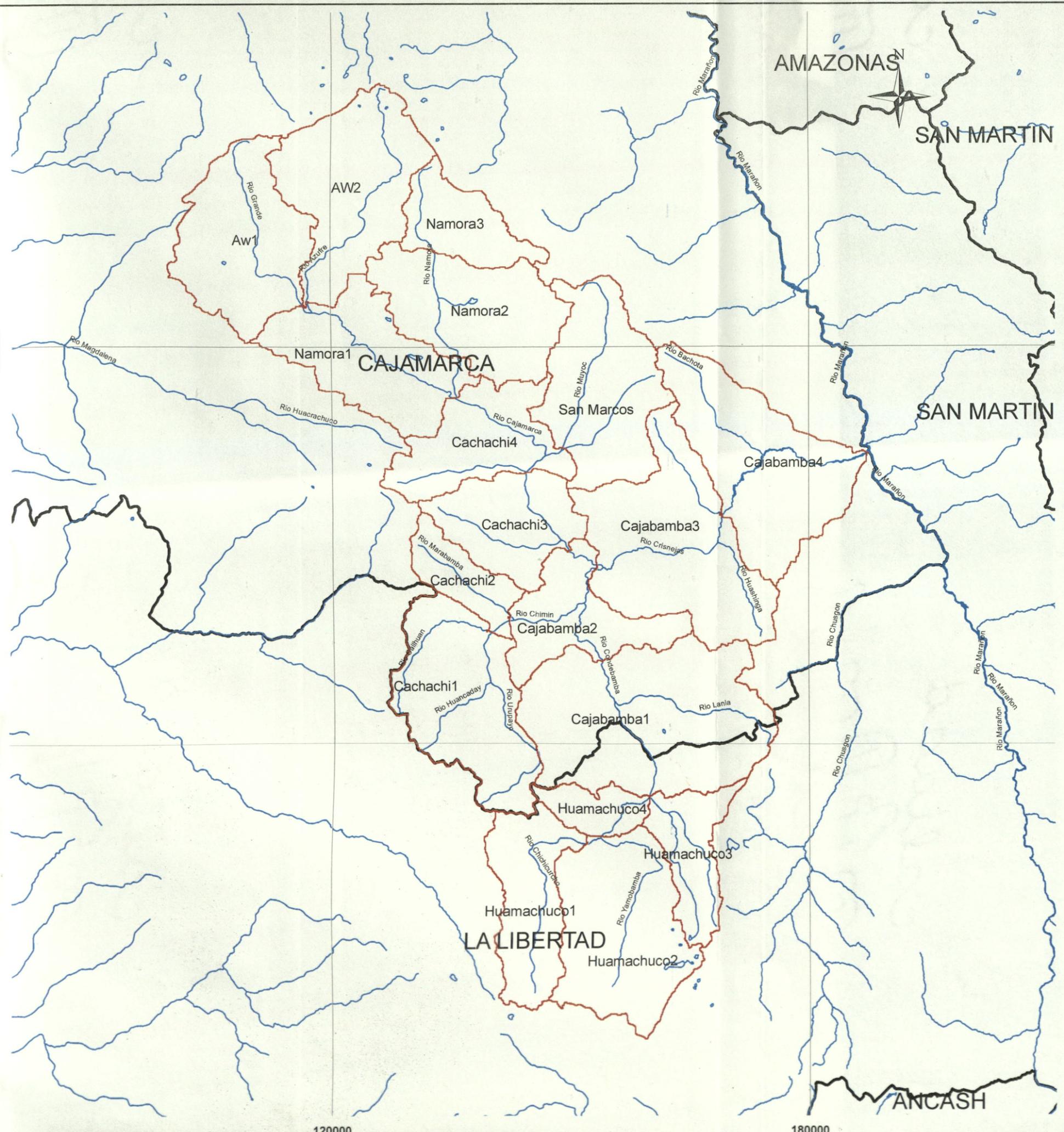
**Discretización del Crisnejas en 6 Subcuencas**

Nombre  
VICENTE MONTALVO, Israel

Fecha  
ENE-2011



**Nº7**



**MAPA DE UBICACION**

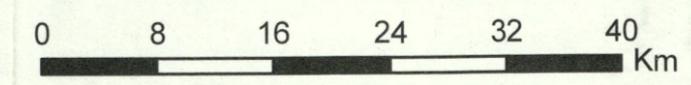


**Leyenda**

- Limite departamental
- Rios
- Delimitación de la Cuenca del río Crisnejas

**CAJAMARCA Departamentos**

Cajabamba1 Nombres de las Subcuencas Discretizadas



CARACTERISTICAS  
 AREA DE LA CUENCA : 4748.41 Km<sup>2</sup>  
 DATUM DE REFERENCIA : WGS 84

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA	
Análisis Hidrológico Aplicando el Sistema de Información Geográfica y Comparación de Modelos en la Cuenca del Río Crisnejas	
<b>Discretización del Crisnejas en 18 Subcuencas</b>	
Nombre VICENTE MONTALVO, Israel	Fecha ENE-2011



**Nº8**