



PERÚ

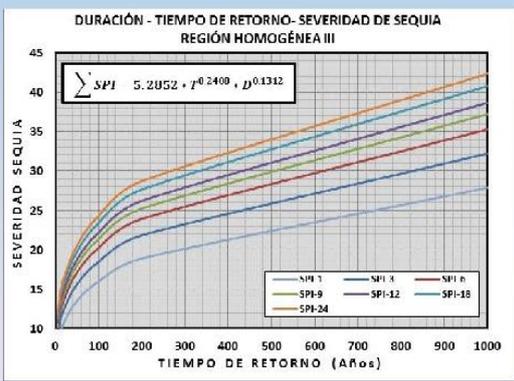
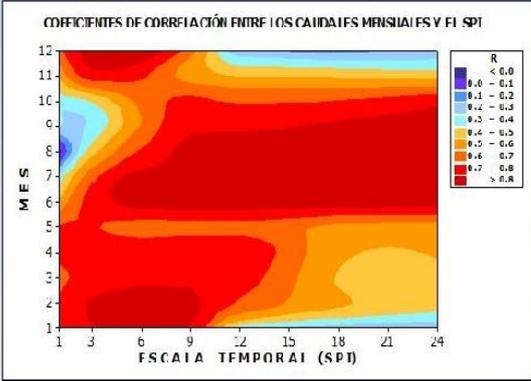
Ministerio del Ambiente

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - SENAMHI

PROGRAMA PRESUPUESTAL, REDUCCION DE VULNERABILIDAD Y ATENCION DE EMERGENCIAS POR DESASTRES - PREVAE



ESTUDIO DE EXTREMOS HIDROLÓGICOS EN LA CUENCA DEL RÍO CHICAMA



ÍNDICE	Pág.
CAPÍTULO I: ASPECTO GENERALES	8
1.1. Introducción.....	8
1.2. Objetivos	9
1.2.1. Objetivo General	9
1.2.2. Objetivos Específicos.....	9
1.3. Justificación.....	9
CAPÍTULO II: ANTECEDENTES Y ASPECTOS TEÓRICOS	10
2.1. Antecedentes	10
2.1. Aspectos teóricos.....	11
2.1.1. Período de retorno (T)	11
2.1.2. Ajuste a una distribución de probabilidad	12
2.1.3. Prueba de bondad de ajuste.....	13
2.1.4. Criterio de Información de Akaike (AIC):.....	14
2.1.5. Desagregación de precipitación máximas	15
2.1.6. Curvas intensidad-duración-frecuencia.....	15
2.1.7. Tiempo de concentración.....	16
2.1.8. Hidrograma unitario sintético	16
2.1.9. Numero de curva	19
CAPÍTULO III: MATERIALES Y METODOS.....	20
3.1. Descripción general de la zona de estudio.....	20
3.1.1. Ubicación.....	20
3.1.2. Descripción de la cuenca	20
3.2. Información utilizada.....	29
3.2.1. Información cartográfica	29
3.2.2. Información hidrometeorológica.....	29
3.2.3. Software y equipos	30

3.3. Aspectos metodológicos	30
3.3.1. Determinación de la precipitación máxima en 24 horas y caudales máximos instantáneos.	30
3.3.2. Calculo de la precipitación máxima en 24 horas y caudales máximos instantáneos para diferentes periodos de retorno.....	31
3.3.3. Patrones geospaciales de la precipitación máxima en 24 horas. ..	32
3.3.4. Elaboración de las curvas de intensidad, duración y frecuencia.....	34
3.3.5. Representación espacial de la escorrentía total acumulada para diferentes condiciones de la cuenca.....	34
3.3.6. Elaboración de los hidrogramas de caudales máximos	34
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	35
4.1 Caracterización de las precipitaciones máximas en 24 horas en la cuenca y subcuena del rio chicama	35
4.1.1. Precipitaciones máximas en 24 horas en la cuenca del río chicama	35
4.1.2. Precipitaciones máximas en 24 horas en las subcuencas del río chicama	36
4.2 Curvas intensidad, duración y frecuencia	37
4.3 Caracterización de la escorrentía total acumulada en las subcuena del rio chicama.....	39
4.4 Hidrogramas de caudales ante eventos extremos en las subcuencas del río chicama.	41
CAPITULO V: CONCLUSIONES.....	46
CAPITULO VI: RECOMENDACIONES	47
CAPITULO VII: BIBLIOGRAFÍA.....	48

ÍNDICE DE FIGURAS

	PAG.
Figura N°1 Hidrograma unitario triangular.....	17
Figura N°2 Hidrograma unitario adimensional.....	18
Figura N°3 Coordenadas del hidrograma adimensional.....	19
Figura N°4 Mapa de ubicación de la cuenca del río Chicama.....	20
Figura N°5 Demarcación Hidrográfica de la Cuenca del Río Chicama.....	21
Figura N°6 Hidrografía de la Cuenca del Río Chicama.....	22
Figura N°7 Clasificación Climática de la Cuenca del Río Chicama.....	25
Figura N°8 Parámetros morfométricos de la cuenca del río Chicama.....	27

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	PAG.
Gráfico N°1 Curvas IDF de las subcuencas del río Chicama.....	38
Gráfico N°2 Hidrograma Unitario Sintético - Método SCS - Subcuenca Bajo Chicama.....	42
Gráfico N°3 Hidrograma Unitario Sintético - Método SCS - Subcuenca Medio Bajo Chicama.....	43
Gráfico N°4 Hidrograma Unitario Sintético - Método SCS - Subcuenca Medio Chicama.....	43
Gráfico N°5 Hidrograma Unitario Sintético - Método SCS - Subcuenca Quirripano.....	43
Gráfico N°6 Hidrograma Unitario Sintético - Método SCS - Subcuenca Santanero.....	44
Gráfico N°7 Hidrograma Unitario Sintético - Método SCS - Subcuenca Medio Alto Chicama.....	44
Gráfico N°8 Hidrograma Unitario Sintético - Método SCS - Subcuenca Ochape.....	44
Gráfico N°9 Hidrograma Unitario Sintético - Método SCS - Subcuenca Chuquillanqui.....	45
Gráfico N°10 Hidrograma Unitario Sintético - Método SCS - Subcuenca Alto Chicama.....	45

ÍNDICE DE CUADROS

	PAG.
Cuadro N°1 Funciones de distribución de probabilidades.....	12
Cuadro N°2 Demarcación política de la cuenca del río Chicama.....	21
Cuadro N°3 Afluentes del río Chicama	22
Cuadro N°4 Red de estaciones meteorológicas e hidrológicas seleccionadas.	29
Cuadro N°5 Precipitaciones máximas en 24 horas – Cuenca del río Chicama.	35
Cuadro N°6 Precipitaciones máximas en 24 horas – Subcuencas del río Chicama	36
Cuadro N°7 Resultados del análisis de regresión.....	39
Cuadro N°8 Escorrentía total acumulada para diferentes condiciones de la cuenca del río Chicama.....	40
Cuadro N°9 Parámetros geomorfológicos de las subcuencas del río Chicama.....	41
Cuadro N°10 Caudales máximos instantáneos (m ³ /s) de las subcuencas del río Chicama	42

RELACIÓN DE MAPAS DEL ANEXOS-AI

Mapa M-01 Mapa de precipitaciones máximas en 24 horas para un período de retorno de 5 años.

Mapa M-02 Mapa de precipitaciones máximas en 24 horas para un período de retorno de 10 años.

Mapa M-03 Mapa de precipitaciones máximas en 24 horas para un período de retorno de 20 años.

Mapa M-04 Mapa de precipitaciones máximas en 24 horas para un período de retorno de 50 años.

Mapa M-05 Mapa de precipitaciones máximas en 24 horas para un período de retorno de 100 años.

Mapa M-06 Mapa de precipitaciones máximas en 24 horas para un período de retorno de 200 años.

Mapa M-07 Mapa de precipitaciones máximas en 24 horas para un período de retorno de 1000 años.

Mapa M-08 Escorrentía total acumulada para condiciones normales de la cuenca - período de retorno de 5 años.

Mapa M-09 Escorrentía total acumulada para condiciones normales de la cuenca - período de retorno de 10 años.

Mapa M-10 Escorrentía total acumulada para condiciones normales de la cuenca - período de retorno de 20 años.

Mapa M-11 Escorrentía total acumulada para condiciones normales de la cuenca - período de retorno de 50 años.

Mapa M-12 Escorrentía total acumulada para condiciones normales de la cuenca - período de retorno de 100 años.

Mapa M-13 Escorrentía total acumulada para condiciones normales de la cuenca - período de retorno de 200 años.

Mapa M-14 Escorrentía total acumulada para condiciones normales de la cuenca - período de retorno de 1000 años.

Mapa M-15 Escorrentía total acumulada para condiciones secas de la cuenca - período de retorno de 5 años.

Mapa M-16 Escorrentía total acumulada para condiciones secas de la cuenca - período de retorno de 10 años.

Mapa M-17 Escorrentía total acumulada para condiciones secas de la cuenca - período de retorno de 20 años.

Mapa M-18 Escorrentía total acumulada para condiciones secas de la cuenca - período de retorno de 50 años.

Mapa M-19 Escorrentía total acumulada para condiciones secas de la cuenca - período de retorno de 100 años.

Mapa M-20 Escorrentía total acumulada para condiciones secas de la cuenca - período de retorno de 200 años.

Mapa M-21 Escorrentía total acumulada para condiciones secas de la cuenca - período de retorno de 1000 años.

Mapa M-22 Escorrentía total acumulada para condiciones húmedas de la cuenca - período de retorno de 5 años.

Mapa M-23 Escorrentía total acumulada para condiciones húmedas de la cuenca - período de retorno de 10 años.

Mapa M-24 Escorrentía total acumulada para condiciones húmedas de la cuenca - período de retorno de 20 años.

Mapa M-25 Escorrentía total acumulada para condiciones húmedas de la cuenca - período de retorno de 50 años.

Mapa M-26 Escorrentía total acumulada para condiciones húmedas de la cuenca - período de retorno de 100 años.

Mapa M-27 Escorrentía total acumulada para condiciones húmedas de la cuenca - período de retorno de 200 años.

Mapa M-28 Escorrentía total acumulada para condiciones húmedas de la cuenca - período de retorno de 1000 años.

RELACIÓN DE CUADROS DEL ANEXOS-AII

Cuadro N°A2-1. Estadísticas de los modelos matemáticos geoespaciales de la precipitación máxima en 24 horas.

Cuadro N°A2-2. Coeficientes del modelo matemático geoespacial de la precipitación máxima en 24 horas.

Cuadro N°A2-3. Precipitaciones en mm desagregadas para diferentes duraciones y tiempos de retorno – Subcuenca Bajo Chicama.

Cuadro N°A2-4. Intensidad de lluvia (mm/h) para diferentes duraciones y tiempos de retorno – Subcuenca Bajo Chicama.

Cuadro N°A2-5. Precipitaciones en mm desagregadas para diferentes duraciones y tiempos de retorno – Subcuenca Medio Bajo Chicama.

Cuadro N°A2-6. Intensidad de lluvia (mm/h) para diferentes duraciones y tiempos de retorno – Subcuenca Medio Bajo Chicama.

Cuadro N°A2-7. Precipitaciones en mm desagregadas para diferentes duraciones y tiempos de retorno – Subcuenca Medio Chicama.

Cuadro N°A2-8. Intensidad de lluvia (mm/h) para diferentes duraciones y tiempos de retorno – Subcuenca Medio Chicama.

Cuadro N°A2-9. Precipitaciones en mm desagregadas para diferentes duraciones y tiempos de retorno – Subcuenca Quirripango.

Cuadro N°A2-10. Intensidad de lluvia (mm/h) para diferentes duraciones y tiempos de retorno – Subcuenca Quirripango.

Cuadro N°A2-11. Precipitaciones en mm desagregadas para diferentes duraciones y tiempos de retorno – Subcuenca Santanero.

Cuadro N°A2-12. Intensidad de lluvia (mm/h) para diferentes duraciones y tiempos de retorno – Subcuenca Santanero.

Cuadro N°A2-13. Precipitaciones en mm desagregadas para diferentes duraciones y tiempos de retorno – Subcuenca Medio Alto Chicama.

Cuadro N°A2-14. Intensidad de lluvia (mm/h) para diferentes duraciones y tiempos de retorno – Subcuenca Medio Alto Chicama.

Cuadro N°A2-15. Precipitaciones en mm desagregadas para diferentes duraciones y tiempos de retorno – Subcuenca Ochape.

Cuadro N°A2-16. Intensidad de lluvia (mm/h) para diferentes duraciones y tiempos de retorno – Subcuenca Ochape.

Cuadro N°A2-17. Precipitaciones en mm desagregadas para diferentes duraciones y tiempos de retorno – Subcuenca Chuquillanqui.

Cuadro N°A2-18. Intensidad de lluvia (mm/h) para diferentes duraciones y tiempos de retorno – Subcuenca Chuquillanqui.

Cuadro N°A2-19. Precipitaciones en mm desagregadas para diferentes duraciones y tiempos de retorno – Subcuenca Alto Chicama.

Cuadro N°A2-20. Intensidad de lluvia (mm/h) para diferentes duraciones y tiempos de retorno – Subcuenca Alto Chicama.

CAPÍTULO I: ASPECTO GENERALES

1.1. INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación hidrológica denominado “**Estudio de extremos hidrológicos en la cuenca del río Chicama**”, realizado en el marco del PREVAE tiene como objetivo determinar el comportamiento espacio-temporal de las precipitaciones máximas y caudales máximos de avenidas mediante métodos probabilísticos de análisis de frecuencias hidrológicas. Se ha utilizado información histórica de las estaciones meteorológicas ubicadas dentro y fuera de la cuenca con el fin de obtener una mejor representación de las precipitaciones máximas en el área de estudio. Asimismo, la información de caudales máximos del río Chicama, utilizada para el análisis de eventos extremos, fue proporcionada por el proyecto **CHAVIMOCHIC**, cuya información de caudales corresponden a la estación hidrológica de Salinar.

Si se tiene en cuenta la recurrencia de estos extremos hidrológicos y las graves repercusiones que acarrea, los gobiernos deberían dedicar mayor atención a desarrollar una estrategia o política nacional que contribuya a minimizar los impactos económicos, sociales y medio ambientales de estos desastres, atenuando o evitando los efectos de este fenómeno devastador. Los resultados de este trabajo cobra relevancia en la medida que se tiene cuantificados las magnitudes de precipitaciones extremas y caudales máximos para distinto periodo retorno, lo cual ayudará al diseño hidrológico de infraestructura vial, hidráulica, defensas ribereñas en diferentes subcuencas. Por otro lado el conocimiento de estos extremos hidrológicos y sus impactos en el pasado permitirá definir umbrales de alerta en el sistema de monitoreo y pronóstico hidrológico de la cuenca del río Chicama.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

Realizar la caracterización espacio temporal de los eventos extremos de precipitación y caudal en la cuenca del río Chicama, basado en métodos probabilísticos.

1.2.2. Objetivos específicos

- Caracterizar temporal y espacialmente las precipitaciones máximas en la cuenca y subcuencas del río Chicama.
- Caracterizar temporal y espacialmente la escorrentía total acumulada ante precipitaciones máximas en las subcuencas del río Chicama
- Determinar los hidrogramas de caudales máximos en las subcuencas del río Chicama.

1.3. JUSTIFICACIÓN

En las Cuenca del Río Chicama, las inundaciones producidas durante las crecidas y eventos extremos, han ocasionado la destrucción de puentes y kilómetros de carretera. Asimismo muchas otras obras fueron dañadas y distintas ciudades inundadas, ocasionando cuantiosas pérdidas económicas.

Al conocer la magnitud de las máximas avenidas que originan estas inundaciones se justifica la realización del presente estudio. Por otro lado, los resultados obtenidos aun cuando son estimaciones aproximadas ofrecen un marco útil para posteriores investigaciones en los que se empleen métodos más directos.

Finalmente el conocimiento de los eventos extremos y la distribución de los volúmenes de agua en la cuenca o área de estudio son de gran importancia para planes de administración y gestión de los recursos hídricos.

CAPÍTULO II: ANTECEDENTES Y ASPECTOS TEÓRICOS

2.1. ANTECEDENTES

ANA (2010), elaboró el *“Estudio de máximas avenidas en las cuencas de la vertiente del pacífico- cuencas de la costa Norte”* en donde se realizó el análisis estadístico de los caudales máximos y su valores a diferentes periodos de retorno, previo ajuste a una función de probabilidad. La metodología se aplicó a las estaciones de aforo en las nueve cuencas, las mismas que se encuentran ubicadas en la cabecera de los valles a la salida de las cuencas, la metodología no se aplicó a las subcuencas debido a que no se encontró información en ellas.

Para el cálculo de los caudales de avenida dentro de la cuenca (subcuencas) se aplicó dos metodologías: el primero fue la aplicación de la ecuación envolvente de Creager y el segundo fue la construcción de un modelo precipitación-escorrentía en HEC HMS y GeoHMS, el cual permitió permite conocer el caudal en todas las subcuencas. Asimismo, debido a que los modelos en mención fueron concebidos para cuencas menores a 1000km² muchas subcuencas fueron divididas en microcuemcas.

ANA (2010), elaboro el estudio técnico llamado *“Tratamiento de cauce del río para el control de inundaciones en la cuenca Chicama”*, en el mencionado estudio se realizó el análisis de caudales máximos por diferentes metodologías, concluyendo que el método racional es el más apropiado para pequeñas cuencas las mismas que cubren una superficie inferior a 300 ha y tiempo de concentración máximo de 6 horas. Asimismo, se dedujo que la precipitación efectiva no guarda relación con las precipitaciones máximas en 24 horas.

Por último, se dedujo que el incremento de la temperatura del mar tiene relación directa con la presencia del Fenómeno del Niño, también se consideró que los valores altos de caudales o precipitaciones deban ser

tomados en cuenta en los cálculos de los caudales máximos para el diseño de defensas ribereñas, considerando además que el país es muy vulnerable a peligros por inundación.

2.1. ASPECTOS TEÓRICOS

2.1.1. Período de retorno (T)

Se define el período de retorno (T), como el intervalo promedio de tiempo en años, dentro del cual un evento de magnitud "x" puede ser igualado o excedido, por lo menos una vez en promedio. Así, si un evento igual o mayor a "x" ocurre una vez en "T" años, su probabilidad de ocurrencia P, es igual en "T" casos, es decir:

$$P(X \geq x) = \frac{1}{T} \dots \dots \dots (1)$$

ó

$$T = \frac{1}{P(X \geq x)} \dots \dots \dots (2)$$

Dónde:

$P(X \geq x)$ = Probabilidad de ocurrencia de un evento $\geq x$

T = Período de retorno

La definición anterior, permite indicar que la probabilidad de que "x" no ocurra en cualquier año; es decir, la probabilidad de ocurrencia de un evento $< x$, se expresa como:

$$P(X < x) = 1 - P(X \geq x)$$

De donde:

$$P(X < x) = 1 - \frac{1}{T} \dots \dots \dots (3)$$

ó

$$T = \frac{1}{1 - P(X < x)} \dots \dots \dots (4)$$

Dónde:

T = Período de retorno

$P(X \geq x)$ = Probabilidad de excedencia

$P(X < x) =$ Probabilidad de no excedencia

2.1.2. Ajuste a una distribución de probabilidad

Una distribución de probabilidad es una función que representa la probabilidad de ocurrencia de una variable aleatoria. El cálculo de los parámetros de una distribución se puede llevarse a cabo por el método de los momentos o de máxima verosimilitud. El cuadro N°1 muestra diferentes distribuciones empleadas en este estudio y su respectivo número de parámetros.

Cuadro N°1 Funciones de distribución de probabilidades

DISTRIBUCIÓN	NÚMERO DE PARÁMETROS
Exponencial	2
Pareto Generalizado	2
Gev	3
Gumbel	2
Weibull	2
Normal	2
Lognormal	2 y 3
Gamma	2
Gamma Generalizada	3
Gamma Inversa	2
Poisson	2

Fuente: Elaboración Propia

Las funciones anteriores son las correspondientes a la población de las cuales se puede determinar su frecuencia relativa esperada a partir del valor de la función de distribución acumulada, tal como se muestra a continuación:

$$p(x_i) = F(x_i) - F(x_{i-1}) \dots \dots (5)$$

Dónde:

$F(x_i)$ =Función de distribución acumulada

x_i =Limite de clase

$p(x_i)$ = Frecuencia relativa esperada

La función de densidad de probabilidad para la población se obtiene a partir de la derivada de la función de distribución acumulada, como se muestra a continuación:

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx} \dots \dots (6)$$

Ahora bien, para el ajuste de la información analizada a una función de distribución son necesarias funciones de frecuencia y de probabilidad, es decir en base a la información con la que se cuenta se debe calcular.

•Función de frecuencia relativa

$$f_s(x_i) = \frac{n_i}{n} \dots \dots (7)$$

La relación entre el número de observaciones en el intervalo i y el número total de observaciones

Comparando los valores de $p(x_i)$ correspondiente a la población y la función de frecuencia observada $f_s(x_i)$ para cada x_i se puede obtener una medida del grado de ajuste de la distribución a la información.

2.1.3. Prueba de bondad de ajuste

Son pruebas que permiten ver el grado de ajuste de las funciones de distribución de probabilidad a la información, esto se logra comparando los valores teóricos y muestrales de las funciones de frecuencia relativa o de frecuencia acumulada.

En el caso de la función de frecuencia relativa se utiliza la prueba de **Chi-cuadrado**, cuya prueba estadística está dada por:

$$\chi_c^2 = \sum_{i=1}^m \frac{n(f_s(x_i) - p(x_i))^2}{p(x_i)} \dots \dots (8)$$

Dónde:

χ_c^2 = Valor calculado de Chi-cuadrado

$f_s(x_i)$ = Valor muestral de la función de frecuencia relativa

$p(x_i)$ = Valor teórico de la función de frecuencia relativa

m = Número de intervalos en que se divide la información

n = Número total de observaciones

El valor obtenido mediante la relación (8) debe ser comparado con el valor tabulado del Chi-cuadrado χ_t^2 , cuyo valor se determina con:

Nivel de significación: $\alpha = 0.05$ o $\alpha = 0.01$

Grados de libertad : $v = m - p - 1$

Dónde:

p = Número de parámetros a estimarse (2 o 3).

En el criterio de decisión se tiene que analizar lo siguiente:

- Si el Chi-cuadrado calculado es menor o igual que el valor tabular, es decir:

$$\chi_c^2 \leq \chi_t^2$$

Entonces, se acepta la hipótesis que el ajuste es bueno al nivel de significación seleccionado.

- Si el Chi-cuadrado calculado es mayor que el valor tabular, es decir:

$$\chi_c^2 \geq \chi_t^2$$

Entonces, se acepta la hipótesis que el ajuste es malo, siendo necesario probar con otra distribución teórica.

2.1.4. Criterio de Información de Akaike (AIC):

El criterio de información de akaike más conocido como AIC por su acrónimo en inglés (Akaike's information criterion) fue desarrollado en 1973 por akaike. El criterio se fundamenta en evaluar la mejor distribución de probabilidad que se ajusta mejor a la variable analizada, su ecuación matemática se presenta continuación:

$$AIC = -2 \log L(\hat{\theta}) + 2k \dots \dots (9)$$

Dónde:

$L(\hat{\theta})$ = Estimador de máxima verosimilitud

k = El número de parámetros del modelo estadístico

Además:

Para el caso de las distribuciones utilizadas en la presente investigación el estimador de máxima verosimilitud se calcula de la siguiente forma:

$$L(\hat{\theta}) = f(x_1) * f(x_2) * f(x_2) * \dots * f(x_n) \dots \dots (10)$$

Donde $f(x)$ es la función densidad de la distribución elegida.

2.1.5. Desagregación de precipitación máximas

Para la desagregación de la precipitación máxima se utilizó el modelo de Dick y Peschke. Este modelo permite calcular la lluvia máxima en función de la precipitación máxima en 24 horas, y obtener lluvias máximas para diferentes duraciones.

La expresión es la siguiente:

$$P_d = P_{24h} \left(\frac{d}{1440} \right)^{0.25} \dots \dots (11)$$

Dónde:

P_d : Lluvia máxima de duración $5' < d < 1440'$.

d : Duración de la lluvia en min.

P_{24h} : Precipitación máxima en 24h.

2.1.6. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia

Las curvas Intensidad-duración-frecuencia son un elemento de diseño que relacionan la intensidad de lluvia, la duración de la misma y la frecuencia con que se puede presentar, es decir su probabilidad de ocurrencia o el período de retorno.

La fórmula empírica utilizada en USA que relaciona la intensidad máxima I_{max} , con la duración D y el periodo de retorno T , es :

$$I_{max} = \frac{KT^a}{D^b} \dots \dots (12)$$

Dónde:

I_{max} : intensidad máxima, mm/hr

a,b,K : Parámetros.

T: Periodo de retorno, en años.

D: Duración, en min.

2.1.7. Tiempo de concentración

Se define como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida, punto de desagüe o punto de cierre. Está determinado por el tiempo que tarda en llegar a la salida de la cuenca el agua que procede del punto hidrológicamente más alejado, y representa el momento a partir del cual el caudal de escorrentía es constante. En este estudio se ha utilizado la formulas empírica de “*Kirpich*” para el cálculo del tiempo de concentración.

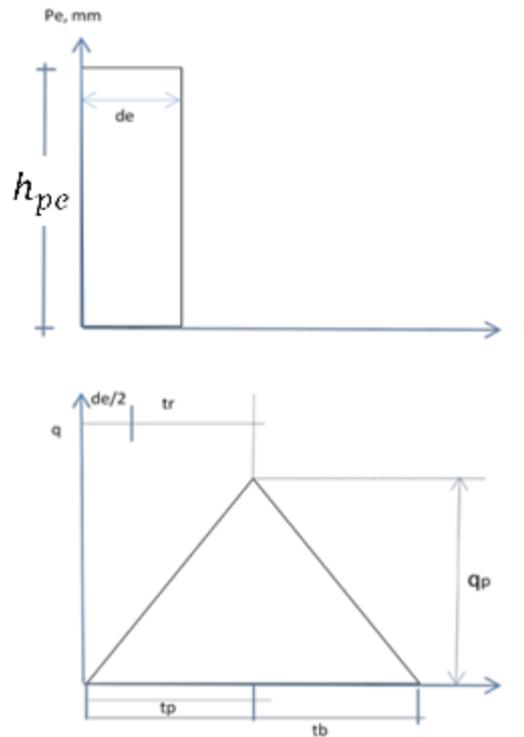
2.1.8. Hidrograma unitario sintético

Este tipo de hidrograma debe ser usado cuando en una cuenca no se posee una estación hidrométrica o bien un registro pluviográficos necesarios. Por tal motivo, se debe utilizar este método donde se pueda obtener hidrogramas unitarios utilizando únicamente las características generales de la cuenca.

Debido a su importancia se ha desarrollado una gran cantidad de hidrogramas unitarios sintéticos, a continuación se expresara uno de ellos:

2.1.8.1. Hidrograma unitario triangular

A pesar de su simplicidad proporciona los parámetros fundamentales del hidrograma: caudal punta (Q_p), tiempo base (t_b) y el tiempo en el que se produce la punta (t_p). Ver figura N°1

Figura N°1 Hidrograma unitario triangular

Fuente: "Tratamiento de cauce del río para el control de inundaciones en la cuenca Chicama", ANA (2010)

De la figura N°1 se obtiene la expresión del caudal pico:

$$Q_p = 0.5555 * \frac{h_{pe} * A}{t_b} \dots \dots (13)$$

Dónde:

Q_p : caudal pico, en m^3/s .

H_{pe} : altura de precipitación en exceso, en mm

A: Área de la cuenca en Km^2 .

t_b : tiempo base, en hr.

- **Tiempo de retraso:** llamado también tiempo de retardo, es el 60% del tiempo de concentración (SCS).

$$t_r: 0.6 * t_c \dots \dots (14)$$

Dónde:

t_r : Tiempo de retraso, en hr.

t_c : Tiempo de concentración, en hr.

- **Duración en exceso:** tiempo con la que se tiene mayor caudal pico, se puede calcular con las siguientes expresiones.

$$de : 2 * \sqrt{t_c} \dots \dots (15), \text{ para cuencas grandes.}$$

$$de: t_c \dots \dots \dots (16), \text{ para cuencas pequeñas.}$$

- **Tiempo pico:** se calcula mediante la siguiente expresión:

$$t_p : \frac{de}{2} + t_r \dots \dots \dots (17)$$

- **Tiempo base:** se relaciona con el tiempo pico mediante la siguiente expresión:

$$t_b : 2.67 * t_p \dots \dots (18)$$

2.1.8.2. Hidrograma unitario del SCS

El hidrograma “adimensional” sirve para definir la forma de cualquier hidrograma, conociendo su t_p y su Q_p ver figura N°2 y N°3.

Figura N°2 Hidrograma unitario adimensional

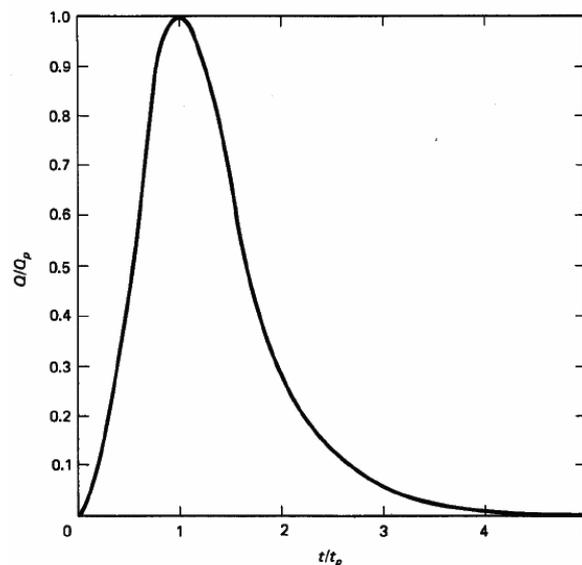


Figure 5-12 SCS dimensionless unit hydrograph [21].
Fuente: V.M.Ponce (1989)

Figura N°3 Coordenadas del hidrograma adimensional**TABLE 5-7 UNIT HYDROGRAPH ORDINATES:**

t/t_p	Q/Q_p
0.0	0.00
0.2	0.10
0.4	0.31
0.6	0.66
0.8	0.93
1.0	1.00
1.2	0.93
1.4	0.78
1.6	0.56
1.8	0.39
2.0	0.28
2.2	0.207
2.4	0.147
2.6	0.107
2.8	0.077
3.0	0.055
3.2	0.040
3.4	0.029
3.6	0.021
3.8	0.015
4.0	0.011
4.2	0.010
4.4	0.007
4.6	0.003
4.8	0.0015
5.0	0.0000

Fuente: V.M.Ponce (1989)

2.1.9. Numero de Curva

Este método fue desarrollado por el servicio de conservación de suelos (SCS) de los estados unidos; tiene ventajas sobre el método racional, pues se aplica a cuencas medianas como también a cuencas pequeñas. Su principal aplicación es la estimación de las cantidades de escurrimiento tanto en el estudio de avenidas máximas, como en el cálculo de aportaciones líquida.

El nombre de este método deriva de una serie de curvas, cada una de las cuales lleva el número N, que varía de 1 a 100. Un número de curva N=100, indica que toda la lluvia escurre, y un número N=1, indica que toda la lluvia se infiltra; por lo que los número de curva, representan coeficiente de escorrentía.

Este método es utilizado para para estimar la escorrentía total a partir de datos de precipitación y otros parámetros de las cuenca de drenaje.

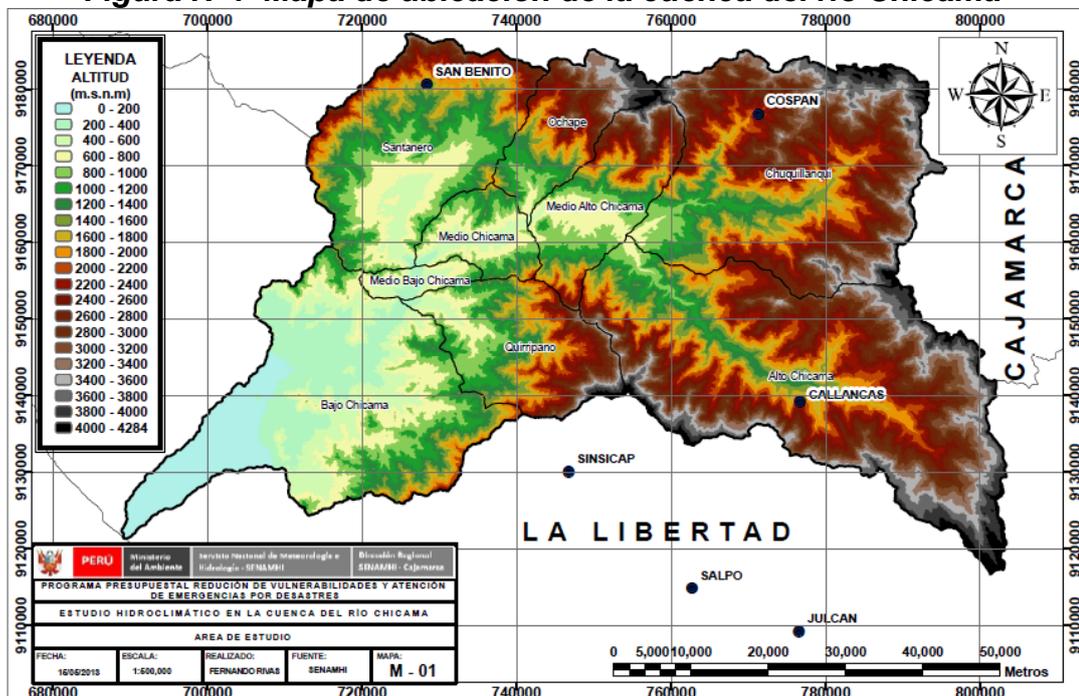
CAPÍTULO III: MATERIALES Y METODOS

3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.1.1. Ubicación

La Cuenca del río Chicama está localizada entre las coordenadas UTM Norte 9110000 a 9190000, y coordenadas Este 680000 a 820000; con una altitud que fluctúa entre los 0 y 4284 m.s.n.m. En la figura N°4 se muestra el mapa de ubicación de la zona de estudio.

Figura N°4 Mapa de ubicación de la cuenca del río Chicama



Fuente: Estudio Hidroclimático en la cuenca del río Chicama - SENAMHI

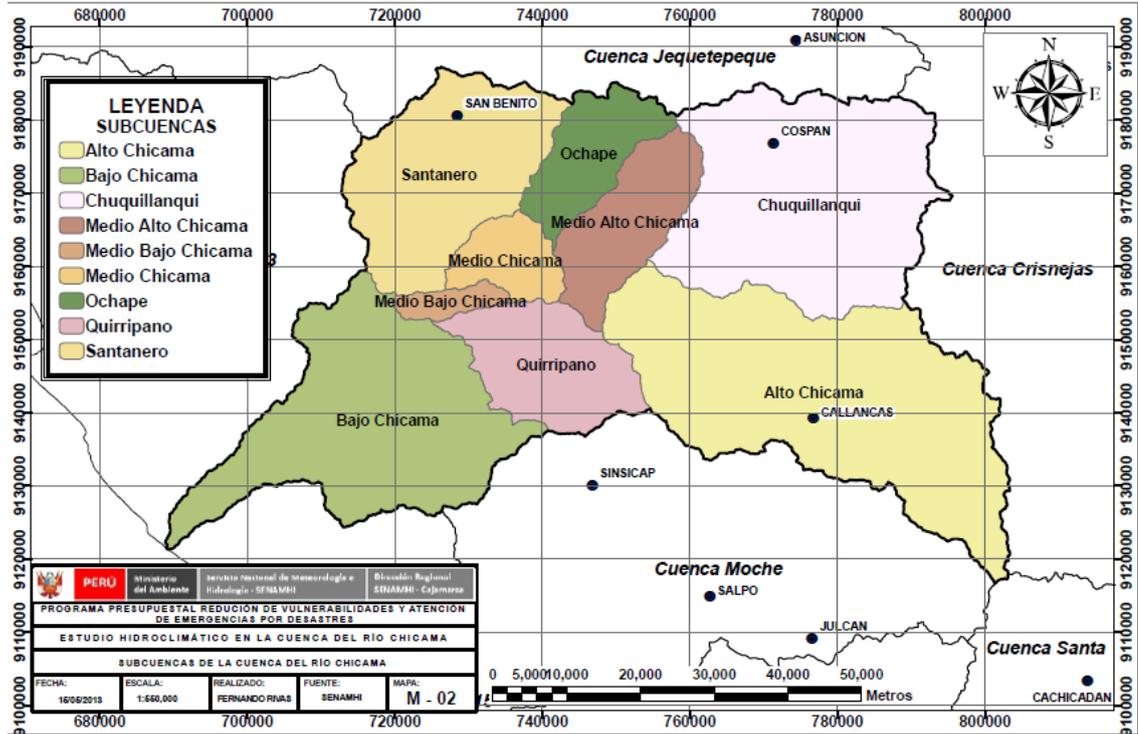
3.1.2. Descripción de La Cuenca

3.1.2.1. Demarcación hidrográfica

Hidrográficamente la cuenca del Río Chicama limita por el Norte con la cuenca del río Jequetepeque, por el sur con la cuenca del río Moche, por el este con la cuenca del río Crisnejas y por el oeste con el océano Pacífico. La figura N°5 muestra el mapa de demarcación hidrográfica.

La cuenca del río Chicama posee 09 sub-cuencas, las cuales son: Sub-cuenca Bajo Chicama, Sub-cuenca Medio Bajo Chicama, Sub-cuenca Medio Chicama, Sub-cuenca Santanero, Sub-cuenca Quirripiano, Sub-cuenca Ochape, Sub-cuenca Medio Alto Chicama y Sub-Cuenca Chuquillanqui.

Figura N°5 Demarcación Hidrográfica de la Cuenca del Río Chicama



Fuente: Estudio Hidroclimático en la cuenca del río Chicama - SENAMHI

3.1.2.2. Demarcación política

A continuación el cuadro N°2 muestra la demarcación política de la cuenca del río Chicama.

Cuadro N°2 Demarcación política de la cuenca del río Chicama

Cuenca	Departamento	Provincia
Chicama	Libertad y Cajamarca	<ul style="list-style-type: none"> • Ascope • Santiago de chuco • Otuzco • Gran Chimú • Cajamarca • Contumaza

Fuente: autoridad nacional del agua

3.1.2.3. Hidrografía

La cuenca del río Chicama posee un drenaje hacia el Océano Pacífico en el cual discurre Este a Oeste, comenzando desde las alturas de la cadena montañosa. Asimismo el río Chicama nace en las alturas de las provincias de Otuzco, Gran Chimu y Contumazá, en el cerro Collacuyan. Sus principales afluentes son los ríos Pinchaday, Huanca y San Felipe. La dirección general del río es de N.E. a S.O. La desembocadura del río Chicama está situada a 148 km al Norte de la desembocadura del río Santa, y a 32 km, al Norte del valle Santa Catalina.

Los principales Afluentes del río Chicama se muestran en el cuadro N°3.

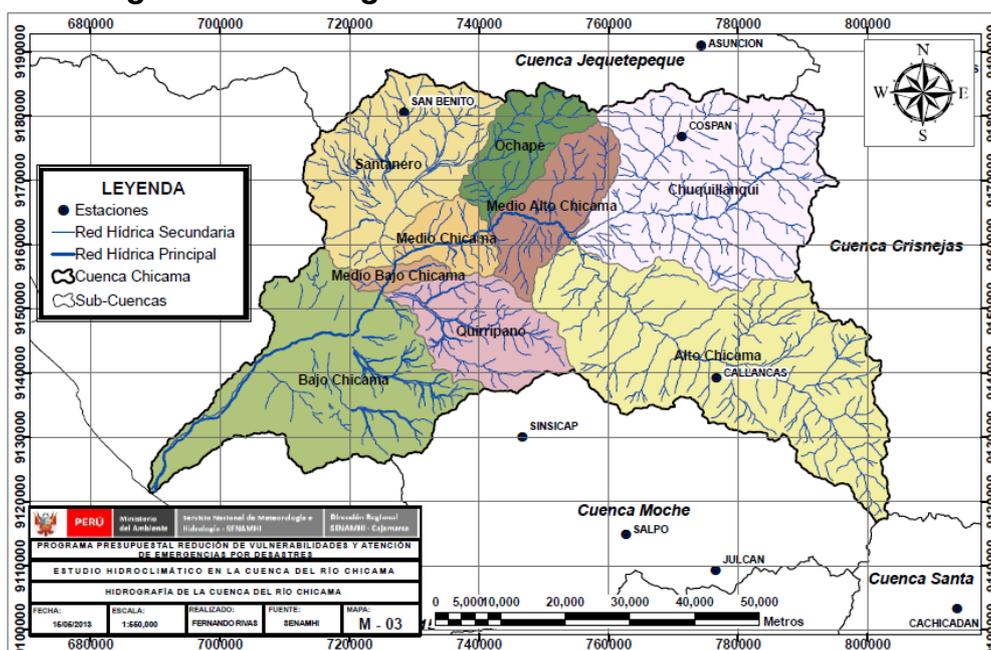
Cuadro N°3, Afluentes del río Chicama

Cuenca Hidrográfica	Río Principal	Principales Afluentes	
		Margen Derecha	Margen Izquierda
Chicama	Río Chicama	<ul style="list-style-type: none"> • Río san Jorge • Río Cospán • Río Chepino • Río Santanero 	<ul style="list-style-type: none"> • Río Huaranchal • Río Grande • Río Quirripango

Fuente: autoridad nacional del agua

En la figura N°6 se muestra la delimitación hidrográfica de la cuenca del río Chicama.

Figura N°6 Hidrografía de la Cuenca del Río Chicama



Fuente: Estudio Hidroclimático en la cuenca del río Chicama - SENAMHI

3.1.2.4.Suelos

El valle del río Chicama, presenta en su mayor parte buenas condiciones edáficas, no disponiendo, sin embargo, de recursos hídricos suficientes como para abastecer la totalidad de sus requerimientos. Asimismo, presenta fuertes problemas de drenaje y salinidad, los que se manifiestan principalmente en la parte baja, entre la margen derecha del río Chicama y el extremo Norte del Valle (zonas de Salamanca, Molinos, Macabi, Paiján).

La cuenca alta, comprende desde la parte inferior del flanco occidental hasta aproximadamente los 1600 msnm ofrece un cuadro definitivamente árido, de topografía abrupta, en la que predominan las formaciones líticas asociadas a los litosoles, que se hallan en menor proporción. En los sectores de pendiente suaves, se presentan suelos profundos, pardo desérticos.

Desde los 1600 msnm hasta los 3700 msnm presentan suelos profundos, con gran desarrollo genético, cuya fertilidad y naturaleza dependen de la composición litológica de la zona. Sin embargo, la topografía muy agreste solo permite escasa agricultura en los lugares de pendientes suaves o en áreas vecinas a los ríos. Asociado a estas características, persiste la presencia de litosoles y formaciones líticas.

En áreas sobre los 3700 msnm el factor climático se hace sumamente adverso en lo que se refiere a la temperatura debido a que desciende a niveles por debajo de 0°C. Esta superficie, de topografía variada presenta suelos profundos aunque menos desarrollados que en la región altitudinal anterior. Se observa la presencia de litosoles y formaciones líticas.

3.1.2.5.Geología

Desde el punto de vista geológico, la zona en estudio está formada por un heterogéneo conjunto de rocas sedimentarias metamórficas e ígneas intrusivas y extrusivas. Las rocas sedimentarias son tanto de facies marinas como semicontinental y están representadas principalmente por areniscas, lutitas, limolitas, calizas y conglomerados. Entre las rocas

metamórficas, destacan las cuarcitas y pizarras. Las rocas ígneas intrusivas están constituidas por granitos, granodioritas, adamelitas, etc. Y sus afloramientos se presentan desde la faja costera hasta el sector de la cuenca alta, formando parte del Batolito Andino. Las rocas ígneas extrusivas están representadas principalmente por derrames andesíticos y tufos riolíticos. La edad de estas rocas, que forman la columna geológica de la cuenca, oscila entre el Triásico superior-Jurásico inferior y el Cuaternario reciente.

Estructuralmente, la cuenca del río Chicama presenta dos sectores bien diferenciados; uno, que corresponde a la faja costera y estribaciones occidentales de los Andes, y otro, que abarca las partes media y alta de la cuenca. En el primero, solo se presentan fallas y pliegues de escasa significancia y en el segundo el tectonismo ha alcanzado su mayor desarrollo habiéndose generado fallamientos y plegamientos de gran magnitud.

3.1.2.6.Clima

En base, al mapa de clasificación climática del Perú elaborado por el SENAMHI (1988) desarrollado según el método de Thornthwaite, Ver figura N°7. La cuenca del Chicama presenta las siguientes características climáticas:

- ***Tipo climático Desértica semicálida [E(d) B1 ‘ H3]***

Abarca toda la región costera hasta los 2 000 msnm, caracterizándose por la deficiencia de lluvias en todas las estaciones del año y humedad relativa calificada como húmeda.

- ***Tipo climático Semi seca y templada [C(o,i,p) B2 ‘ H3]***

Zona semiseca, templada, se caracteriza por deficiencias de lluvias en el otoño, invierno y primavera, con humedad relativa calificada como húmeda, este tipo de clima se ubica desde los 2 000 hasta 3 000 msnm.

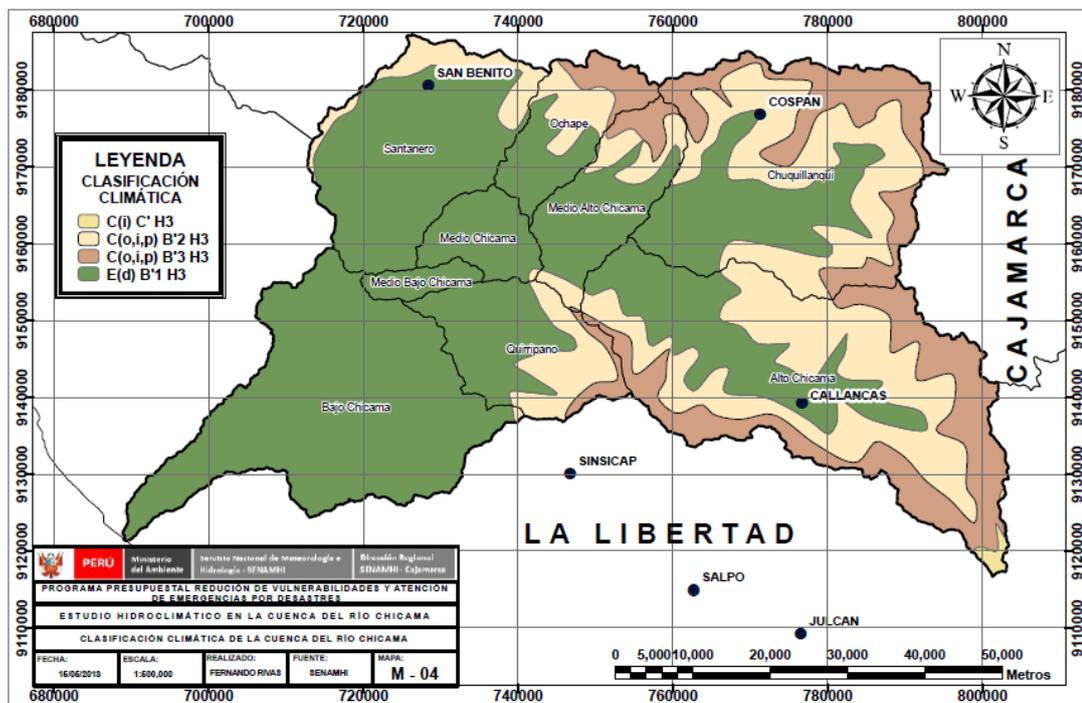
- **Tipo climático Semiseca y semifrío [C(o,i,p) B3 ' H3]**

La zona comprendida desde los 3 000 hasta los 4 000 msnm, se caracteriza por la deficiencia de lluvias en el período mayo – setiembre, con humedad relativa calificada como húmeda.

- **Tipo climático semiseco frío [C(i) C' H3]**

Zona comprendida entre los 4 000 a 4284 msnm, se caracteriza por deficiencia de lluvias en invierno, con humedad relativa calificada como húmeda.

Figura N°7 Clasificación Climática de la Cuenca del Río Chicama



Fuente: Estudio Hidroclimático en la cuenca del río Chicama – SENAMHI

3.1.2.7. Ecología

La cuenca estudiada ofrece una configuración medio ambiental muy variada, representada por seis formaciones ecológicas o zonas de vida natural:

- Desierto Pre – montano (d-PM), posee condiciones adecuadas para la agricultura intensiva bajo riego, especialmente de caña de azúcar. Se

extiende desde el litoral hasta los 500 y 600 msnm. Se caracteriza por presentar un clima extremadamente árido y semi – calido.

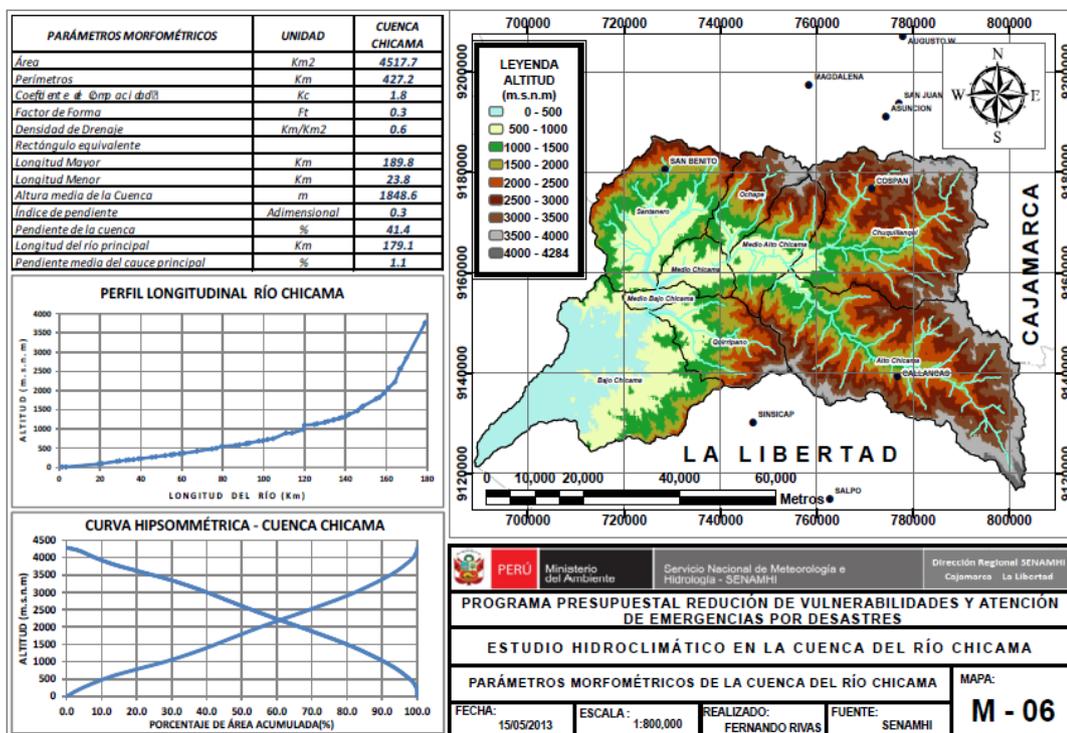
- Matorral Desértico Pre – Montano (md – PM), se existente inmediatamente por encima de la formación Desierto Pre – montano (d-PM) hasta los 1200 msnm en el sector oriental y 1300 msnm en los sectores noroccidental y suroccidental, respectivamente. Estas variaciones indican que, mientras en el sector central de la cuenca, la aridez ha perdido altitud, en los sectores extremos de la misma la aridez gana altitud, debido principalmente a la influencia marítima.
- Monte Espinoso Pre – Montano (me – PM) alcanza una altitud entre los 1900 y 2100 msnm, se caracteriza por presentar un clima semi-arido y templado, con tendencia a sub-húmedo en el área próxima a su límite altitudinal superior.
- Bosque seco Montano Bajo (bs-MB), se caracteriza por presentar un clima que puede calificarse como sub-húmedo y templado con tendencia a humedito en su límite superior sobre los 2 600 msnm y 2800 msnm.
- Pradera Húmeda Montano (ph-M), llegas hasta los 4 000 msnm, zona donde se desarrolla una agricultura de secano. Desde el punto de vista topográfico presenta una configuración montañosa constituida por colinas de relieve ondulado a semi-accidentado, laderas de montañas de relieve suave y cerros escarpados y abruptos.
- Pradera Muy Húmedo Montano (pmh-M), comprende desde los 4000 msnm y la divisoria de aguas de la cuenca en algunos sectores alcanza los 4 200 msnm. La vegetación natural está conformada por gramíneas de tipo forrajero. Presenta una configuración montañosa compuesta por colinas y laderas de relieve suave a semi – accidentado, interrumpidas por abruptas elevaciones rocosas.

3.1.2.8. Parámetros morfométricos de la cuenca

La cuenca del río Chicama tiene un área de 4 517.7 Km², un perímetro de 427.2km, una altitud media de 1 848.6 msnm, una pendiente media en el orden de 41.4 %, una densidad de drenaje igual 0.6Km/Km² entendiéndose por aquello que la cuenca posee suelos duros; poco erosionables o muy permeables. El Factor de Forma determinado es 0,3 lo cual nos indica que esta cuenca tiene regular respuesta a las crecidas. Asimismo, el Coeficiente de Compacidad es 1,8 el cual corresponde a cuencas de forma alargada. La longitud del río principal es de 179.1 Km poseyendo una pendiente media de 1.1%.

Según la curva hipsométrica 90% de la superficie de la cuenca se encuentra sobre la cota 1000 msnm. En la figura N°8 se observa los niveles altitudinales de la cuenca, la curva hipsométrica, el perfil longitudinal del río principal y los parámetros morfométricos mencionados

Figura N°8 Parámetros morfométricos de la cuenca del río Chicama



Fuente: Estudio Hidroclimático en la cuenca del río Chicama – SENAMHI

3.1.2.9.Humedad Relativa

A nivel media esta variable registra un comportamiento uniforme en su distribución espacial y temporal, registrando durante el mes de marzo mayores valores que varían de 78% a 81%, mientras que en el mes de agosto se tiene valores menores fluctuante de 72% y 80%.

3.1.2.10.Horas de Sol

La distribución de las horas de sol a nivel espacial y temporal, registra un comportamiento variable; caracterizándose por presentar en promedio, valores altos durante enero, febrero y marzo, para altitudes bajas; mientras que para las altitudes altas el comportamiento es inverso, con valores mayores durante agosto que fluctúa entre 200 hrs y 290 hrs y menores valores en febrero que varían entre 85 hrs y 145 hrs.

3.1.2.11.Velocidad de Viento

La distribución eólica en la cuenca, experimenta un comportamiento variable en su distribución espacial y temporal, registrándose los mayores valores en la parte baja de las cuencas, y a medida que la altitud aumenta el valor de la velocidad de viento disminuye, con valores mayores durante setiembre que fluctúa entre 2,1 m/s y 4,1 m/s, y con valores menores durante abril variando entre 1,0 m/s y 3,0 m/s.

3.1.2.12.Precipitación

En la cuenca del río Chicama la precipitación promedio anual alcanza los 597.2 mm, concentrándose el 87.4% de lluvia acumulada entre los meses de Noviembre – Mayo del año hidrológico. Asimismo, la precipitación máxima en la cuenca se presenta en mes de marzo con un valor promedio de 138.5mm

3.1.2.13.Temperatura:

La temperatura media anual en la cuenca es de 18°C. Sin embargo las temperaturas extremas varían entre 11.6 ° C en Julio y 23.3°C en Agosto.

3.1.2.14. Evapotranspiración

La evapotranspiración anual de la cuenca del río Chicama es de 846.5mm. Los valores máximos y mínimos se presentan en los meses de marzo y Junio con valore de 79.8mm y 61.9mm respectivamente.

3.2. INFORMACIÓN UTILIZADA

3.2.1. Información Cartográfica

- La base digital del Perú desarrollada y automatizada en el año 2002 por el Ministerio de Educación y el Instituto Nacional de Recursos Naturales – Perú a escala 1/100000.
- Imágenes del radar topográfico SRTM de la NASA disponible en el sitio web del CGIAR (Grupo Consultivo para La Investigación Agrícola Internacional) <ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/version2/>.
- Base digital del uso suelo, tipo de suelo del Perú desarrollado en la Zonificación Ecología Económica del Perú.

3.2.2. Información hidrometeorológica

- Series mensuales de caudales máximos diarios (1950 - 2010)
- Series mensuales precipitación máxima diaria (1938 - 2011)

En el Cuadro N°4 se detalla la red de estaciones utilizada en este estudio

Cuadro N°4 Red de estaciones meteorológicas e hidrológicas seleccionadas

N°	ESTACIONES	CATEGORIA	LATITUD (m)	LONGITUD (m)	ALTITUD(m.s.n.m)
1	ASUNCION	CO	9190992.0	774313.0	2194
2	CACHACHI	PLU	9174744.1	801216.4	3267
3	CACHICADAN	CO	9103362.6	813838.9	2890
4	CAJABAMBA	CO	9155831.6	825454.2	2612
5	CALLANCAS	CO	9139265.0	776679.1	2074
6	CONTUMAZA	CO	9185284.8	740340.7	2544
7	COSPAN	CO	9176794.5	771282.7	2105
8	HUAMACHUCO	CO	9133323.6	825268.4	3290
9	JULCAN	PLU	9109234.1	776528.6	3460
10	LIVES	PLU	9216425.9	717161.1	1800
11	MAGDALENA	CO	9197487.2	758321.2	1257
12	QUIRUVILCA	PLU	9114704.6	795779.9	3980
13	SALPO	CO	9114908.3	762688.8	3250
14	SAN BENITO	CO	9180637.9	728400.5	1600
15	SAN JUAN	CO	9193637.1	777022.3	2469
16	SINSICAP	PLU	9130058.9	746712.4	1927
17	TALLA	CO	9195977.5	674063.8	105
18	LAREDO	PLU	9105833.6	736902.9	253
19	SALINAR	HLG	724315.5	9152011.8	330

Fuente: Elaboración Propia

3.2.3. Software y Equipos

3.2.3.1. Software

- ArcGIS10 y extensiones: Spatial Analyst, Geostatistical Analyst, Arc Hydro tools y Hec-GeoHMS
- Hyfran
- Microsoft Office 2010: Excel y Word.

3.2.3.2. Equipos

- Pc CORE i7 de 3ra Generación

3.3. ASPECTOS METODOLÓGICOS

3.3.1. Determinación de la precipitación máxima en 24 horas y caudales máximos instantáneos.

En las estaciones convencionales los datos de precipitación y caudales son obtenidos en horas de observación fijas y por ende no siempre se permitirán conocer las cantidades máximas verdaderas durante el periodo deseado. Es por aquello, que se utilizó un factor de corrección que permite

transformar la precipitación máxima diarias en precipitación máxima en 24 horas, según la Organización Mundial de Meteorología el factor es 1.13.

Por otro lado, para el caso de caudales máximos instantáneos se utilizó el factor de 1.2, tomando como referencia el estudio de ORSTON (Francia) en el 2000 en donde encontró para las cuencas del pacifico relaciones entre el caudal máximo instantáneo y el máximo diario.

3.3.2. Calculo de la precipitación máxima en 24 horas y caudales máximos instantáneos para diferentes periodos de retorno.

Para este paso, se utilizó como insumo el registro histórico de precipitación máxima en 24 horas y los caudales máximos instantáneos de cada estación, incorporando esta información a diferentes funciones de distribución las mismas que deben representar satisfactoriamente el comportamiento de la variable. Por lo concerniente, en la investigación se utilizó 12 distribuciones de probabilidad (Exponencial, Pareto Generalizado, Gev, Gumbel, Weibull, Normal, Lognormal 2 parámetros, Lognormal 3 parámetros, Gamma, Gamma Generalizada, Gamma Inversa y Poisson) las cuales fueron aplicadas a la variable analizada, estimando los parámetros de cada una de ellas mediante la ayuda del programa estadístico HYFRAM que a su vez permite determinar la bondad de ajuste de cada distribución de probabilidad y por lo concerniente identificar si la variable analizada se ajustan a la distribución elegida. Por último, se utilizó el criterio de AKAIKE para la elección de la mejor distribución de probabilidad.

Una vez elegida la distribución más adecuada que se ajusta a la variable analizada, se determina mediante el programa HYFRAN los valores de precipitación máxima en 24 horas y caudales máximos instantáneos para diferentes periodos de retorno.

3.3.3. Patrones geospaciales de la precipitación máxima en 24 horas.

Para la elaboración del mapa de precipitación máxima en 24 horas se realizaron los siguientes pasos:

3.3.3.1. Determinación del modelo matemático geoespacial de la precipitación máxima en 24 horas.

A fin de encontrar asociaciones entre el comportamiento pluviométrico de la zona de estudio y la ubicación geográfica, se realizó un análisis estadístico de regresión lineal que permite formular un modelo matemático que explica con un alto nivel de correlación la dependencia entre la precipitación con la ubicación geográfica y la altitud, siendo su ecuación matemática la siguiente.

$$PP = Ax^2 + By^2 + Cz^2 + Dxy + Exz + Fyz + Gx + Hy + Iz + J \dots (19)$$

Siendo:

PP = Precipitación máxima en 24 horas en mm

X = Longitud (Coordenada UTM)

Y = Latitud (Coordenada UTM)

Z = Altura (msnm)

A, B, C, D, E, F, G, H, I, J = Coeficientes de las variables

Luego de la generación del modelo lineal de correlación múltiple se calculó los residuos para su respectiva interpolación, explicada posteriormente.

3.3.3.2. Transformación del MED a punto.

Para este paso se utilizó el programa ArGIS10 en donde a partir de la herramienta ArcToolbox se realiza la conversión de MED(raster) a punto (shapefile), la ruta en el programa es la siguiente:

- ArcToolbox/Conversion tool/from raster/raster to point.

El objetivo de la transformación, es generar una grilla de puntos en donde a partir de estos se pueda obtener las coordenadas UTM y la Altitud de los mismos.

3.3.3.3. Interpolación y creación de rasters.

En la realización de este paso se utilizó el programa ArGIS10, en donde se interpolaron y crearon 4 rasters con la siguiente información:

- Raster X: Contiene como información la variable longitud en coordenadas UTM presente en la tabla de atributos correspondiente al Shapefile punto.
- Raster Y: Contiene como información la variable latitud en coordenadas UTM presente en la tabla de atributos correspondiente al Shapefile punto.
- Raster Z: Contiene como información la variable altitud en msnm presente en la tabla de atributos correspondiente al Shapefile punto.
- Raster E: Contiene como información la interpolación de los residuos de precipitación generados por el modelo lineal de correlación múltiple

Para el proceso de interpolación se utilizó y activo la barra de herramientas Geostatistical Analyst en donde se utilizó como técnica de interpolación el método inversa de la distancia ponderada, siendo la ruta en el programa la siguiente: **Geostatistical Analyst/ Geostatistical Wizard/inverse distance weighting**. El siguiente paso después de la interpolación es exportar la información como archivo raster el cual será utilizado como insumo para la generación del mapa de precipitación.

3.3.3.4. Elaboración del mapa de precipitación máxima en 24 horas.

En el presente paso se activó la barra de herramientas Spatial Analyst del programa Argis 10, el cual permitió utilizar la calculadora raster para la generación del mapa de precipitación multianual. En el proceso de elaboración se creó un primer mapa (raster) de precipitación multianual ingresando a la calculadora raster la ecuación generada por modelo lineal de correlación múltiple teniendo como variables predictores los rastes Y, X y Z, este primer mapa contiene la precipitación simulada por el modelo libre de los residuos, es por tal motivo que a la creación del primer mapa (raster) se le suma el "Raster E" para agregar los residuos de

precipitación, obteniendo de esta forma el mapa final de precipitación máxima en 24 horas.

3.3.4.Elaboración de las curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia.

Las curvas IDF se elaboraron para cada subcuenca del río Chicama. Tomando como insumo los rasters de precipitación máxima en 24 horas de la cuenca del río Chicama los mismo que fueron elaborados para diferentes periodos de retorno. Asimismo, la precipitación máxima en 24 horas de cada subcuenca fue desagregada por el Dick y Pescke para finamente obtener las Intensidad de llluvias para diferentes duraciones y tiempos de retorno.

3.3.5.Representación espacial de la escorrentía total acumulada para diferentes condiciones de la cuenca.

La representación espacial de la escorrentía total acumulada se realizó para las condiciones secas, normales y húmedas de la cuenca utilizándose para aquello los rasters de curva número para las condiciones indicadas. Asimismo, se utilizó los rasters de precipitación máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno con los que finalmente mediante un análisis en el programa ArcGis 10 se puedo elaborar los mapas de escorrentía total acumulada.

3.3.6.Elaboración de los hidrogramas de caudales máximos

La elaboración de los hidrogramas de caudales máximos se realizó por cada subcuenca del río Chicama para periodos de retorno de 5, 10, 20, 50, 100, 200 y 1000 años. Asimismo, para la elaboración que aquellos se utilizó el hidrograma unitario del SCS.

CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Caracterización de las precipitaciones máximas en 24 horas en la cuenca y subcuencas del río Chicama

4.1.1. Precipitaciones máximas en 24 horas en la cuenca del río Chicama

Las precipitaciones máximas en 24 horas presentadas en la cuenca del río Chicama varían de menor a mayor según sus niveles altitudinales, tal como se muestran en los mapas M-1 al M-7 del anexo A. Asimismo, la estadísticas de los modelos matemáticos geoespaciales de la precipitaciones máximas en 24 horas se indican en el cuadro A2-1 del anexo A-II, indicándose que se tiene fuerte correlación entre la precipitación máximas en 24 horas y la longitud, latitud y altura, obteniéndose coeficientes de Pearson superiores 86.5% para los diferentes periodo de retorno. Por otro lado, los coeficientes de los modelos matemáticos geoespaciales de la precipitación máxima en 24 horas se indican en el cuadro A2-2 del anexo A-II.

En el cuadro N°5 se muestra el valor medio y el rango de precipitación máxima en 24h dentro de la cuenca del río Chicama para diferentes periodos de retorno.

Cuadro N°5 Precipitaciones máximas en 24 horas – Cuenca del río Chicama

Periodo de retorno	Rango altitudinal de la cuenca (m.s.n.m)	Rango de PPmax24h (mm)	Valor medio de la PPmax24h (mm)
5	0.0 - 4284.0	1.1 - 86.5	46.4
10	0.0 - 4284.0	0.0 - 127.4	59.1
20	0.0 - 4284.0	0.7 - 170.5	71.9
50	0.0 - 4284.0	4.6 - 228.3	89.7
100	0.0 - 4284.0	9.8 - 272.0	103.6
200	0.0 - 4284.0	17.8 - 315.7	118.4
1000	0.0 - 4284.0	45.8 - 413.9	154.8

Fuente: Elaboración Propia

4.1.2. Precipitaciones máximas en 24 horas en las subcuencas del río Chicama

El mayor régimen pluviométrico en diferentes periodos de retorno se presenta en 2 subcuencas: Santanero y Ochape. Asimismo, el menor régimen pluviométrico se encuentra en la subcuenca del bajo Chicama, tal como se muestra en cuadro N°6.

Cuadro N°6 Precipitaciones máximas en 24 horas – Subcuencas del río Chicama

Sub Cuenca	Periodo de retorno	Rango altitudinal de la subcuenca (m.s.n.m)	Rango de PPmax24h (mm)	Valor medio de la PPmax24h (mm)
Bajo Chicama	5	0 - 2484	1.1 - 59.2	26.2
	10	0 - 2484	0.0 - 77.1	36.0
	20	0 - 2484	0.7 - 98.0	46.8
	50	0 - 2484	4.6 - 128.9	63.3
	100	0 - 2484	9.8 - 153.8	77.2
	200	0 - 2484	17.8 - 181.4	93.1
	1000	0 - 2484	45.8 - 252.2	136.2
Medio Bajo Chicama	5	331 - 1502	22.1 - 52.5	32.2
	10	331 - 1502	33.6 - 68.8	45.2
	20	331 - 1502	45.9 - 85.9	58.9
	50	331 - 1502	63.7 - 110.4	79.0
	100	331 - 1502	78.3 - 129.9	95.3
	200	331 - 1502	94.3 - 151.3	113.3
	1000	331 - 1502	135.6 - 205.5	159.6
Medio Chicama	5	369 - 2393	24.1 - 63.9	38.2
	10	369 - 2393	36.1 - 83.8	52.2
	20	369 - 2393	48.8 - 104.4	66.7
	50	369 - 2393	67.2 - 133.7	87.5
	100	369 - 2393	81.8 - 156.8	104.1
	200	369 - 2393	96.2 - 181.7	122.2
	1000	369 - 2393	131.2 - 243.8	167.9
Quirripano	5	335 - 4271	22.3 - 65.0	49.6
	10	335 - 4271	33.8 - 87.4	65.5
	20	335 - 4271	46.0 - 110.3	82.0
	50	335 - 4271	63.8 - 141.9	105.2
	100	335 - 4271	78.5 - 165.8	123.3
	200	335 - 4271	94.5 - 190.2	143.1
	1000	335 - 4271	136 - 247.4	191.8
Santanero	5	371 - 3694	24.1 - 86.5	54.4
	10	371 - 3694	36.1 - 127.4	73.3
	20	371 - 3694	48.8 - 170.5	93.2
	50	371 - 3694	67.2 - 228.3	121.8
	100	371 - 3694	82.2 - 272.0	144.9

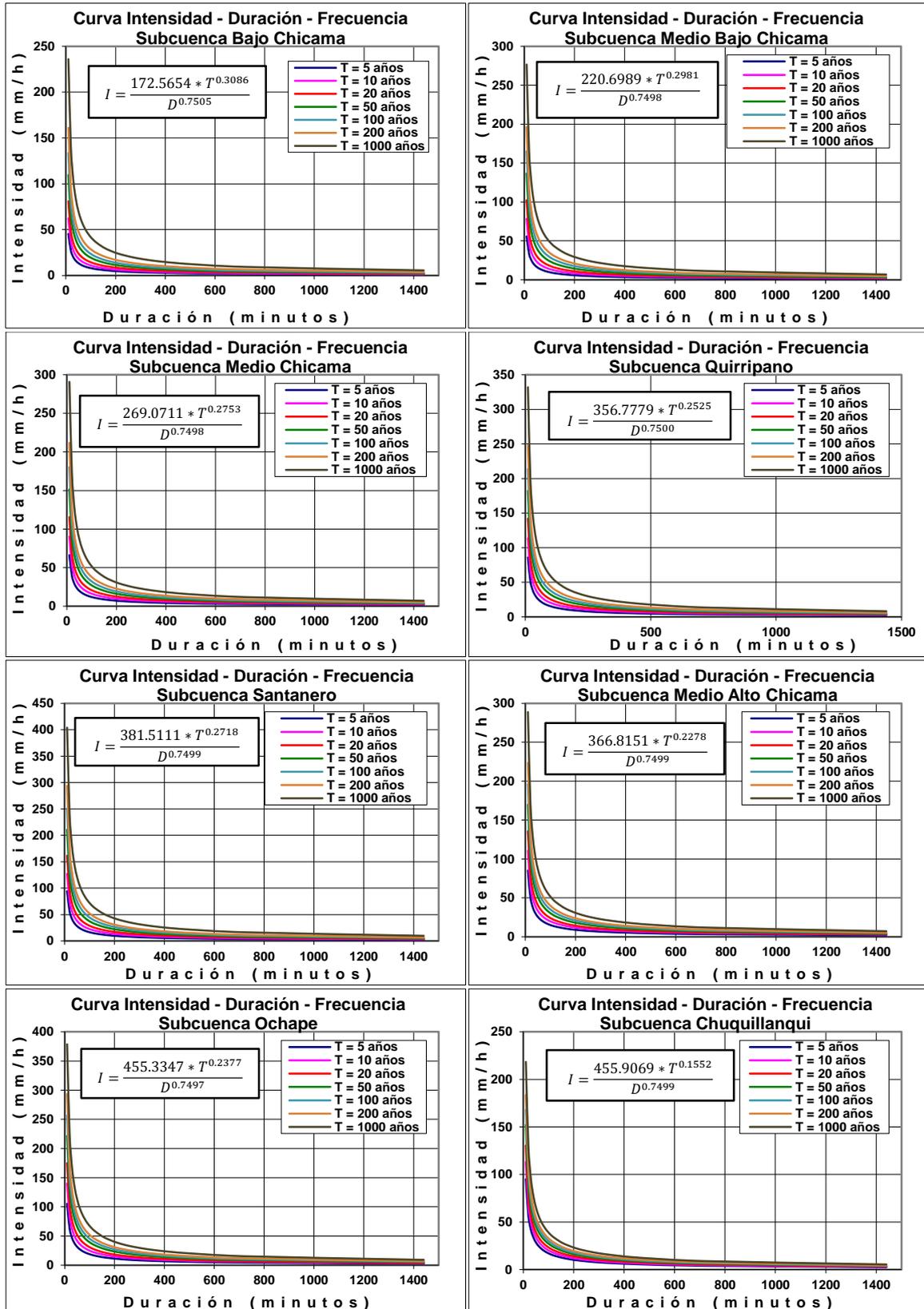
	200	371 - 3694	98.6 - 315.7	169.8
	1000	371 - 3694	140.8 - 413.9	233.4
Medio Alto Chicama	5	529 - 4257	26.7 - 70.7	49.1
	10	529 - 4257	38.4 - 96.3	63.7
	20	529 - 4257	49.7 - 123.7	78.3
	50	529 - 4257	64.4 - 159.5	98.0
	100	529 - 4257	75.7 - 185.2	113.2
	200	529 - 4257	87.1 - 209.5	129.1
	1000	529 - 4257	113.4 - 259.1	166.8
Ochape	5	526 - 4286	26.8 - 73.9	60.9
	10	526 - 4286	38.9 - 103.2	80.9
	20	526 - 4286	51.1 - 133.2	101.0
	50	526 - 4286	68.2 - 171.9	127.9
	100	526 - 4286	81.7 - 200.1	148.3
	200	526 - 4286	95.9 - 228.1	169.5
	1000	526 - 4286	130.6 - 287.2	218.8
Chuquillanqui	5	693 - 4263	28.2 - 68.8	54.8
	10	693 - 4263	39.3 - 93.7	65.4
	20	693 - 4263	50.1 - 120.5	75.3
	50	693 - 4263	62.0 - 154.1	87.9
	100	693 - 4263	69.3 - 178.0	97.0
	200	693 - 4263	72.0 - 200.7	106.0
	1000	693 - 4263	76.9 - 245.7	126.0
Alto Chicama	5	694 - 4255	28.2 - 64.2	48.2
	10	694 - 4255	36.7 - 86.2	58.8
	20	694 - 4255	44.7 - 109.5	69.1
	50	694 - 4255	49.4 - 140.8	82.5
	100	694 - 4255	51.2 - 164.6	92.6
	200	694 - 4255	52.3 - 188.5	102.9
	1000	694 - 4255	53.2 - 243.5	126.7

Fuente: Elaboración Propia

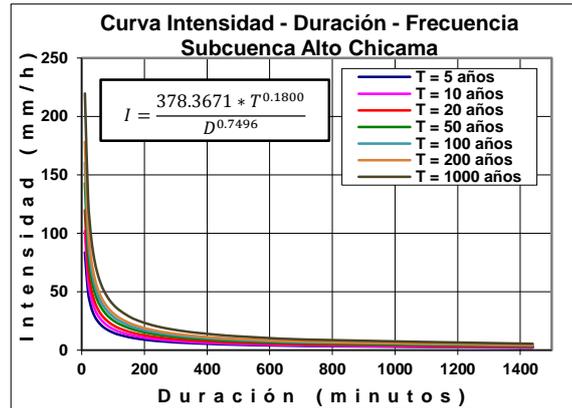
4.2 Curvas intensidad, Duración y Frecuencia

Las precipitaciones máximas en 24 horas calculadas para cada subcuenca en diferente periodo de retorno, fueron sometidas a una desagregación subdiaria por el método de Dick y Pescke (ver los cuadros N°A2-3 al A2-20 del anexo A-II). Obteniendo como resultado las Intensidades de lluvias para diferentes duraciones y tiempos de retorno. Asimismo, por cada subcuenca estos resultados fueron sometidos a un análisis de regresión múltiple con la finalidad de elaborar la ecuación que contenga el comportamiento de las IDF en cada una de ellas. Ver gráfico N°1 y cuadro N°7.

Gráfico N°1 Curvas IDF de las subcuencas del río Chicama



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N°1 Curvas IDF de las subcuencas del río Chicama**Cuadro N°7 Resultados del análisis de regresión**

Subcuencas	Coefficiente de correlación múltiple	Coefficiente de determinación R ²	R ² ajustado	Error típico	Obs.
Bajo Chicama	0.9979	0.9959	0.9958	0.0654	182
Medio Bajo Chicama	0.9968	0.9937	0.9936	0.0801	182
Medio Chicama	0.9972	0.9945	0.9944	0.0732	182
Quirripaño	0.9978	0.9955	0.9955	0.0648	182
Santanero	0.9976	0.9952	0.9951	0.0684	182
Medio Alto Chicama	0.9978	0.9956	0.9955	0.0633	182
Ochape	0.9970	0.9941	0.9940	0.0737	182
Chuquillanqui	0.9989	0.9977	0.9977	0.0434	182
Alto Chicama	0.9987	0.9975	0.9974	0.0462	182

Fuente: Elaboración Propia

4.3 Caracterización de la escorrentía total acumulada en las subcuenca del río Chicama

Utilizando la metodología del Número de Curva (CN) se ha determinado que para condiciones secas de la cuenca del río Chicama, las menores escorrentías en diferentes periodos de retorno se presentan en la subcuenca Chuquillanqui. Sin embargo, para condiciones normales y húmedas las menores escorrentías se presentan en la cuenca del bajo Chicama.

Del mismo modo, como se puede observar en el cuadro N°8 las mayores escorrentías en condiciones secas, normales y húmedas de la cuenca se encuentran localizadas en las subcuencas de Ochape y Santanero las mismas que poseen un área de 216km² y 566.9km² respectivamente.

La representación espacial de la escorrentía total acumulada de la cuenca y subcuencas del río Chicama en condiciones secas, normales y húmedas se aprecian en los mapas M-8 al M-28 del anexo A-I.

Cuadro N°8 Escorrentía total acumulada en mm para diferentes condiciones hidrológicas de la cuenca del río Chicama

Sub-Cuenca	Periodo de retorno	Condiciones Secas	Condiciones Normales	Condiciones Húmedas
Bajo Chicama	5	7.7	4.3	12.8
	10	4.0	5.9	16.2
	20	3.2	8.6	20.7
	50	4.1	13.9	28.2
	100	6.1	19.0	35.3
	200	9.1	25.4	43.5
	1000	20.9	45.8	68.8
Medio Bajo Chicama	5	3.5	3.9	16.9
	10	1.4	7.7	22.7
	20	2.0	12.4	29.2
	50	4.8	20.0	39.0
	100	8.2	27.0	47.7
	200	12.8	35.1	57.3
	1000	28.1	59.2	85.3
Medio Chicama	5	2.3	5.0	21.6
	10	1.0	9.4	27.4
	20	2.0	14.5	33.8
	50	5.2	22.5	43.7
	100	8.8	29.6	52.3
	200	13.4	37.6	61.8
	1000	28.3	61.1	89.0
Quirripango	5	3.7	5.5	26.2
	10	1.4	10.0	31.8
	20	1.8	15.2	38.5
	50	4.4	23.3	48.8
	100	7.5	30.3	57.8
	200	11.6	38.4	67.7
	1000	24.9	61.7	95.8
Santanero	5	2.0	9.6	34.9
	10	1.8	16.2	42.1
	20	4.1	23.6	50.7
	50	9.6	35.1	64.2
	100	15.3	45.4	76.2
	200	22.4	56.8	89.3
	1000	45.0	90.4	127.5
Medio Alto Chicama	5	4.0	5.5	25.9
	10	1.5	9.2	30.2
	20	1.6	13.5	35.5

	50	3.3	19.8	43.6
	100	5.5	25.3	50.6
	200	8.3	31.3	58.1
	1000	17.2	48.1	79.1
Ochape	5	3.8	15.0	43.6
	10	4.7	21.9	49.8
	20	7.6	29.0	57.4
	50	13.0	39.2	68.6
	100	17.9	47.6	78.3
	200	23.6	56.7	88.6
	1000	39.5	81.0	116.5
Chuquillanqui	5	3.3	9.3	33.9
	10	2.2	11.1	32.9
	20	2.0	13.2	34.1
	50	2.8	16.2	37.2
	100	3.7	18.9	40.4
	200	4.8	21.6	43.7
	1000	8.2	29.1	53.5
Alto Chicama	5	3.8	7.8	28.8
	10	2.1	9.8	29.1
	20	2.1	12.2	31.3
	50	3.0	15.8	35.4
	100	4.1	19.0	39.4
	200	5.6	22.4	43.7
	1000	10.3	32.1	56.1

Fuente: Elaboración Propia

4.4 Hidrogramas de caudales ante eventos extremos en las subcuencas del río Chicama.

Para la determinación de las avenidas de diseño se aplicó el Hidrograma Unitario Sintético Método SCS, con los valores de las precipitaciones máximas en 24 horas, para diferentes períodos de retorno y con los parámetros geomorfológicos de las subcuencas en estudio, tal como se muestra en el cuadro N°9

Cuadro N°9 Parámetros geomorfológicos de las subcuencas del río Chicama

SUBCUENCA	Área (Km²)	Pendiente (m/m)	Longitud del río (Km)	Desnivel (m)	Tc(horas) kirpish
Alto Chicama	1186.81	0.0174	79.4	1865	9.1
Chuquillanqui	912.31	0.0382	51.8	2693	4.8
Medio alto Chicama	271.08	0.0057	20.1	117	4.9
Medio bajo Chicama	51.91	0.0071	5.6	40	1.7
Medio Chicama	135.44	0.009	18.6	178	3.8
Ochape	215.96	0.0855	28.6	2869	2.3
Quirripango	328.64	0.0532	34.1	2333	3.1
Santanero	566.91	0.0263	34.0	1435	4.0
Bajo Chicama	860.4	0.0071	55.4	320	9.7

Fuente: Elaboración Propia

Con la información de precipitaciones máximas obtenidas para cada subcuenca y sus parámetros geomorfológicos se ha calculado las máximas avenidas de diseño para diferentes períodos de retorno, aplicando el método del hidrograma unitario sintético (SCS). A continuación se muestra los resultados de los caudales máximos instantáneos de las subcuencas en estudio, para los periodos de retorno de 5, 10, 20, 50, 100, 200 y 1000 años. Ver cuadro N°10

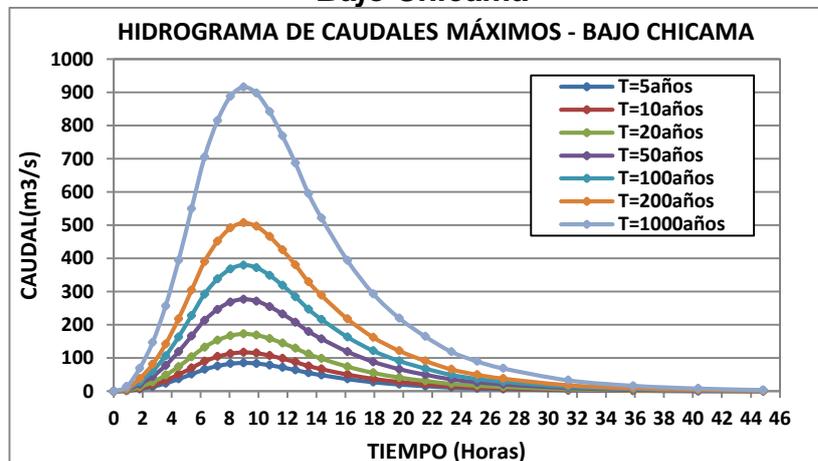
Cuadro N°10 Caudales máximos instantáneos (m^3/s) de las subcuencas del río Chicama

Sub Cuencas	Período de retorno (años)						
	5	10	20	50	100	200	1000
Bajo Chicama	85.5	117.1	172.5	276.6	379.3	506.8	915.3
Medio Bajo Chicama	18.5	36.2	58.3	94.5	127.5	165.6	278.9
Medio Chicama	32.8	62.3	95.9	148.5	195.5	248.5	403.2
Quirripango	103.3	189.2	287.5	439.8	573.6	726.3	1166.0
Santanero	255.2	431.2	627.5	933.4	1206.5	1510.3	2404.0
Medio Alto Chicama	60.2	101.8	148.4	218.0	278.3	344.6	530.1
Ochape	236.8	344.3	457.4	617.0	750.7	892.9	1277.0
Chuquillanqui	345.4	411.4	489.3	602.9	701.5	804.3	1082.5
Alto Chicama	227.3	285.1	354.7	460.3	552.9	653.1	934.0

Fuente: Elaboración Propia

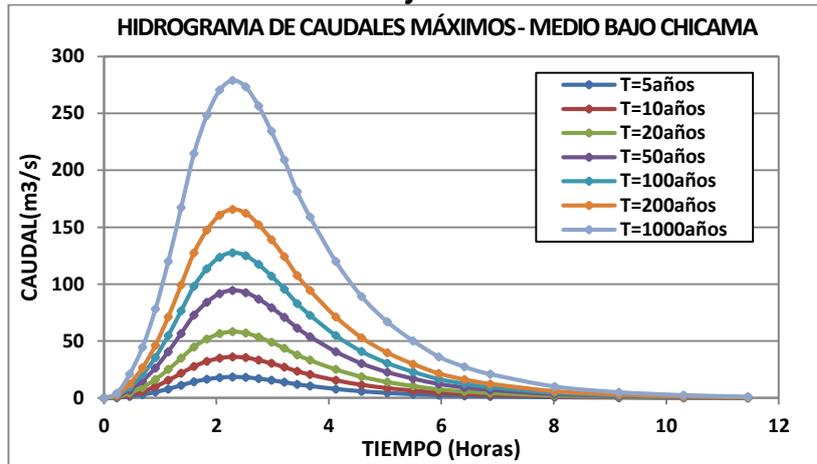
Asimismo, sus respectivos hidrogramas de caudales máximos se muestran entre los gráficos N°2 y N°10, observándose que los máximos picos se presentan en las cuencas Ochape y Santanero.

Gráfico N°2 Hidrograma Unitario Sintético - Método SCS - Subcuenca Bajo Chicama



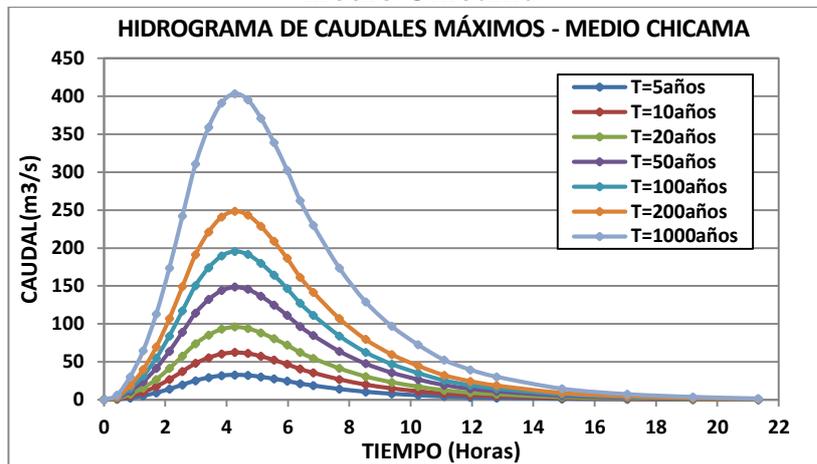
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N°3 Hidrograma Unitario Sintético - Método SCS - Subcuenca Medio Bajo Chicama



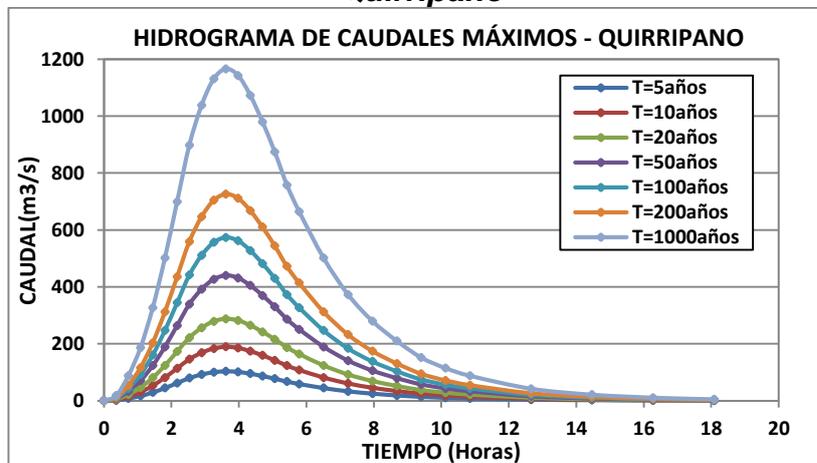
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N°4 Hidrograma Unitario Sintético - Método SCS - Subcuenca Medio Chicama



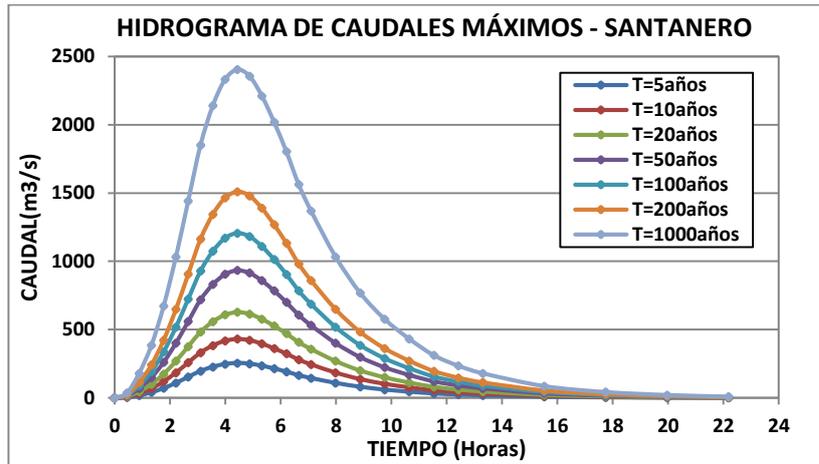
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N°5 Hidrograma Unitario Sintético - Método SCS - Subcuenca Quirripano



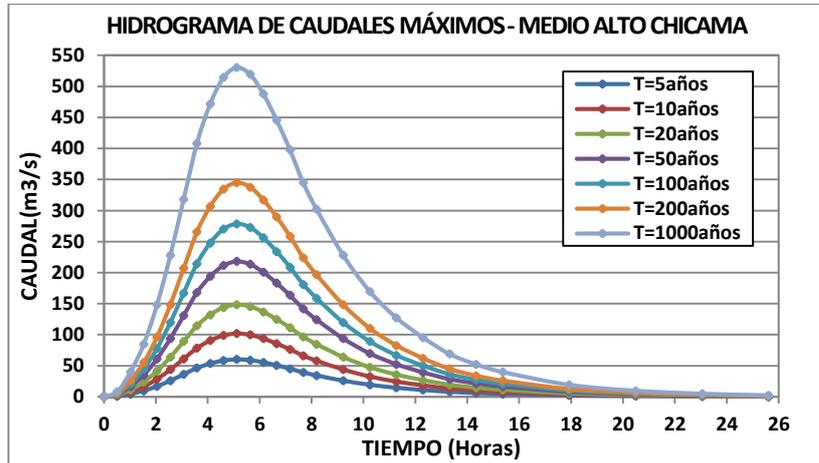
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N°6 Hidrograma Unitario Sintético - Método SCS - Subcuenca Santanero



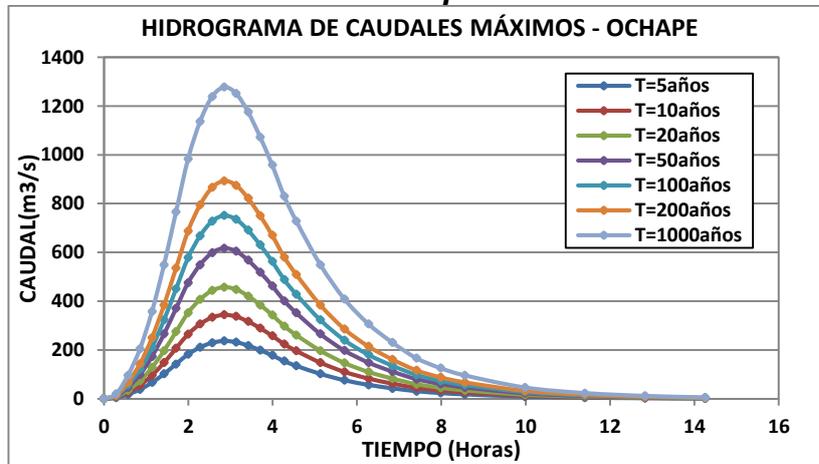
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N°7 Hidrograma Unitario Sintético - Método SCS - Subcuenca Medio Alto Chicama



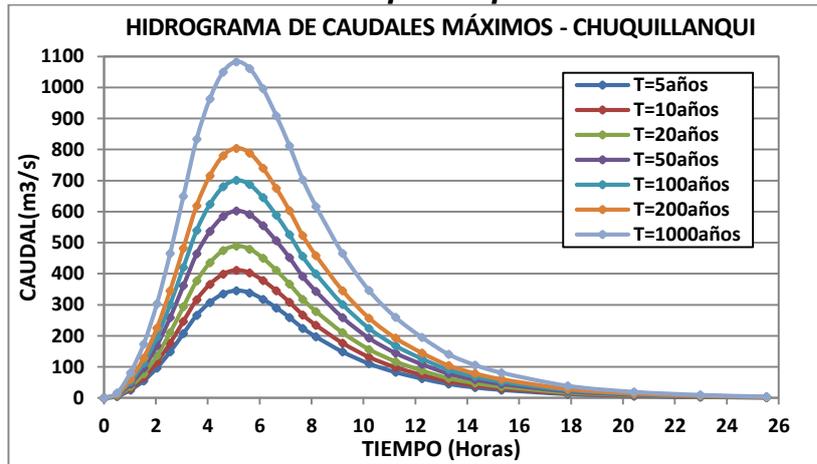
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N°8 Hidrograma Unitario Sintético - Método SCS - Subcuenca Ochape



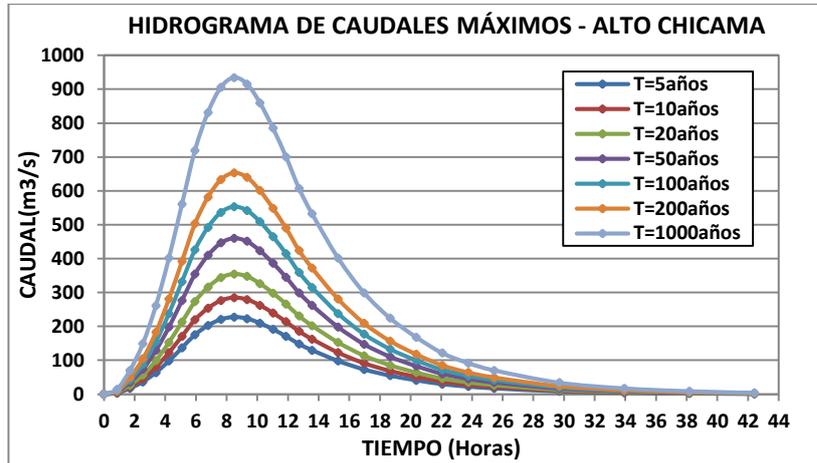
Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N°9 Hidrograma Unitario Sintético - Método SCS - Subcuenca Chuquillanqui



Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N°10 Hidrograma Unitario Sintético - Método SCS - Subcuenca Alto Chicama



Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 RECOMENDACIONES

- El análisis estadístico multivariado espacial realizado para las precipitaciones máximas en 24 horas en la cuenca del río Chicama, se ha determinado que éstas poseen una fuerte correlación con su latitud, longitud y altura obteniéndose coeficientes de Pearson superiores a 86.5% para los diferentes periodos de retorno. Asimismo, las mayores intensidades y precipitaciones máximas en 24 horas se localizan en la subcuencas de Ochape y Santanero.
- Ante un evento de precipitaciones máximas, la Subcuenca Chuquillanqui es la que aporta la menor esorrentía en condiciones secas de la cuenca. Sin embargo, la subcuenca del bajo Chicama presenta las menores esorrentías ante condiciones normales y húmedas de la cuenca.
- Por último, las mayores esorrentías en condiciones secas, normales y húmedas se encuentran localizadas en las subcuencas de Ochape y Santanero.
- Los mayores caudales máximos en diferentes periodos de retorno se presentan en las subcuencas a de Ochape y Santanero las cuales ocupan el 4.8% y 12.5% del área de la cuenca. Asimismo, las menores caudales máximos tienen se generan en las subcuencas Medio Chicama y Medio bajo Chicama las mismas que ocupan el 3% y 1.2% del área del a cuenca.

5.2 RECOMENDACIONES

- Aprovechando la nueva red de estaciones meteorológicas automáticas instaladas por el proyecto PREVAE, se recomienda que para futuras investigaciones en la cuenca del río Chicama se realizar la validación del factor 1.13 el cual es recomendado por la OMM para la transformación de precipitación máxima diaria a precipitación máxima instantánea.
- Aprovechando la futura red de estaciones hidrológicas que se instalaran por el proyecto PREVAE en la cuenca del río Chicama, se recomienda que para futuras investigaciones se determine factores de correcciones para las transformaciones de caudales máximos diarios a caudales máximos instantáneos en la cuenca y subcuencas del río Chicama.
- Se recomienda realizar un estudio de regionalización de intensidades máximas en la cuenca del río Chicama con la finalidad de generar ecuaciones regionales que sirvan de apoyo para obtener de información en zonas donde se posea estaciones meteorológicas.
- Se recomienda realizar un modelamiento hidrológico en la cuenca del río Chicama utilizando el Hec-Hms para la simulación de caudales máximos de avenidas.

CAPITULO VII: BIBLIOGRAFÍA

1. **ANA**, (2010). “Estudio de Máximas Avenidas en las Cuencas de la vertiente del Pacífico - Cuencas de la Costa Norte”.
2. **ANA**, (2010). “Estudio hidrológico y ubicaciones de la red de estaciones hidrométricas en la cuenca del río Rimac”.
3. **ANA**, (2010). “Tratamiento de cauce del río para el control de inundaciones en la cuenca Chicama”.
4. **BOZDOGAN, H** (2000), “Akaike's Information Criterion and Recent Developments in Information Complexity”, journal of Mathematical Psychology, nun.44, The University of Tennessee, June 2000, page 62-91.
5. **IILA-SENAMHI**, (1982). “Estudio de la Hidrología del Perú”.
6. **MÁXIMO VILLÓN**, Béjar (2002). Hidrología, Perú, Editorial Villón, **pág.197-281**.
7. **NAOUM,S & TSANIS,K** (2004), “A multiple linear regression GIS module using spatial variables to model orographic rainfall”, Journal of Hydroinformatics, num.06, Department of Civil Engineering-McMaster University, Canada, page. 39-56.
8. **SENAMHI**, (2000). “Estudio hidrológico - meteorológico en la vertiente del pacífico del Perú con fines de evaluación y pronóstico del fenómeno el niño para prevención y mitigación de desastres”.
9. **VEN TE CHOW**, (1994). Hidrología aplicada, Colombia, Dvinni editorial LTDA, Pág. 471-479.