

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“SIMULACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL RÍO TAMBO,
SECTOR SANTA ROSA, DISTRITO DE COCACHACRA,
PROVINCIA DE ISLAY, DEPARTAMENTO DE AREQUIPA”**

Presentado por:

ANA PAOLA COLOMA LAIMITO

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRICOLA

Lima - Perú

2015

INDICE GENERAL

I.	INTRODUCCION.....	1
II.	OBJETIVOS	3
2.1.	OBJETIVO GENERAL.....	3
2.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
III.	REVISION DE LITERATURA.....	4
3.1.	PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE UNA CUENCA.....	4
3.1.1.	Parámetros de forma.....	4
3.1.2.	Parámetros de relieve.....	6
3.1.3.	Red de drenaje.....	6
3.2.	MODELO HIDROLÓGICO HEC – HMS.....	6
3.2.1.	Modelo de cuenca.....	7
3.2.2.	Modelo Meteorológico	9
3.2.3.	Diseño y preparación de información base para el modelo	10
3.3.	MODELAMIENTO HIDRÁULICO CON HEC - RAS	19
3.3.1.	Cálculo del perfil de flujo por el método directo de pasos	19
3.3.2.	Tabla del coeficiente de rugosidad de Manning.....	20
IV.	MATERIALES Y METODOS	22
4.1.	ZONA DE ESTUDIO.....	22
4.1.1.	Estaciones pluviométricas.....	23
4.1.2.	Estaciones meteorológicas	24
4.1.3.	Estaciones hidrométricas	25
4.1.4.	Parámetros morfométricos y zonas de vida	26
4.1.5.	Caracterización Climática.....	29
4.2.	MATERIALES.....	40
4.3.	METODOLOGÍA.....	41
4.3.1.	Preparación de la información hidrológica	42
4.3.2.	Modelo hidrológico con HEC-HMS	46
4.3.3.	Modelo hidráulico con HEC-RAS	50
V.	RESULTADOS Y DISCUSION.....	54
5.1.	Resultados de la procesamiento de información hidrológica	54
5.2.	Resultados del modelamiento hidrológico con HEC-HMS	66
5.3.	Resultados del modelamiento hidráulico con HEC-RAS	71
VI.	CONCLUSIONES.....	80
VII.	RECOMENDACIONES.....	81
VIII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
IX.	ANEXOS	84

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de cuencas por superficie.....	4
Tabla 2. Formas de la cuencas de acuerdo al coeficiente de compacidad	5
Tabla 3. Valores interpretativos del factor de forma	5
Tabla 4. Valores interpretativos de la densidad de drenaje	6
Tabla 5. Descripción de los elementos hidrológicos en el modelo HMS	8
Tabla 6. Métodos para los cálculos en las subcuencas y los canales	9
Tabla 7. Descripción de los métodos del modelo meteorológico	10
Tabla 8. Información base para el modelo	11
Tabla 9. Distribuciones de frecuencia habitualmente utilizadas	12
Tabla 10. Condición hidrológica	13
Tabla 11. Clasificación hidrológica de los suelos	13
Tabla 12. Condición de humedad antecedente propuesta por SCS	14
Tabla 13. Número de curva para complejos hidrológicos de suelo	15
Tabla 14. Distribuciones de lluvia SCS	17
Tabla 15. Coeficientes de rugosidad “n” de Manning típicos	21
Tabla 16. Ubicación política de la cuenca del río Tambo	22
Tabla 17. Estaciones pluviométricas de influencia en la cuenca	23
Tabla 18. Estaciones meteorológicas en la cuenca del río Tambo	24
Tabla 19. Estaciones hidrométricas de referencia para la cuenca del río Tambo	25
Tabla 20. Características morfométricas de la cuenca.....	27
Tabla 21. Zonas de vida en la cuenca del río Tambo.....	28
Tabla 22. Estaciones seleccionadas para la caracterización del parámetro precipitación total mensual	30
Tabla 23. Estaciones seleccionadas para la caracterización del parámetro temperatura	32
Tabla 24. Variación mensual promedio de la temperatura máxima, mínima y media mensual (°C) en la cuenca alta, media y baja del río Tambo.....	33
Tabla 25. Estaciones seleccionadas para la caracterización de la humedad relativa	35
Tabla 26. Variación mensual promedio de la humedad relativa media mensual (%) en la cuenca alta, media y baja del río Tambo	35
Tabla 27. Estaciones seleccionadas para la caracterización del parámetro de horas de sol total mensual	36
Tabla 28. Escala de Beaufort.....	37
Tabla 29. Estaciones meteorológicas usadas para la determinación velocidades del viento cuenca río Tambo	37
Tabla 30. Descripción de materiales.....	40
Tabla 31. Precipitación máxima en 24 horas - Cuenca Tambo	43
Tabla 32. Valores recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje	44
Tabla 33. Caudales máximos anuales registrados en las cuencas Tambo, Quilca e Ilo, con áreas de drenaje de 12953.36 km ² , 4031.23 km ² y 472.32 km ² , respectivamente	49
Tabla 34. Descripción del cauce y márgenes del río, con fines de obtener el coeficiente de rugosidad de Manning	51

Tabla 35. Ajuste de la precipitación en 24 horas para cada una de las estaciones utilizadas	54
Tabla 36. Precipitación máxima en 24 horas para diferentes tiempos de retorno	55
Tabla 37. Precipitación ponderada y precipitación de diseño para la cuenca del río Tambo	60
Tabla 38. Valores de CN para el modelo hidrológico de la cuenca del río Tambo	64
Tabla 39. Valores de la retención inicial, abstracción inicial y el tiempo de retardo para cada uno de las unidades de drenaje del modelo hidrológico de la cuenca del río Tambo	66
Tabla 40. Caudales máximos para la cuenca limitada hasta el sector de riego Ventillata Ayanquera, con un área de drenaje de 12 869.0 km ²	67
Tabla 41. Resultados de las distribuciones estadísticas aplicadas en las estaciones hidrométricas	70
Tabla 42. Caudales máximos obtenidos para los periodos de retorno de 100, 500, 1000 y 1500 años	70
Tabla 43. Caudales estimados a partir de los caudales máximos de las estaciones hidrométricas para los periodos de retorno de 100, 500, 1000 y 1500 años	70
Tabla 44. Ficha de aforo en el río Tambo	72
Tabla 45. Condiciones de frontera utilizadas en el modelamiento hidráulico	73
Tabla 46. Parámetros de entrada para la simulación hidráulica	77
Tabla 47. Niveles de inundación para los periodos de retorno de 100, 500, 1000 y 1500 años	79

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curvas de distribuciones adimensionales SCS	17
Figura 2. Esquema del tiempo de retardo.....	18
Figura 3. Ubicación de las estaciones pluviométricas e hidrométricas en la cuenca hidrográfica del río Tambo, y su variación altitudinal	26
Figura 4. Zonas de vida en la cuenca del río Tambo	29
Figura 5. Variación mensual promedio de la precipitación total mensual (mm) en la cuenca del río Tambo	30
Figura 6. Variación de la precipitación promedio total anual mensual (mm) en la cuenca del río Tambo	31
Figura 7. Variación mensual promedio de la temperatura máxima, mínima y media mensual (°C) en la cuenca alta, media y baja del río Tambo.....	34
Figura 8. Variación mensual promedio de la humedad relativa media mensual (%) en la cuenca de drenaje	36
Figura 9. Variación mensual promedio de las horas de sol promedio total mensual en la cuenca de drenaje	36
Figura 10. Variación mensual promedio de la velocidad de vientos (m/s) en la cuenca del río Tambo.....	38
Figura 11. Variación mensual promedio de la evaporación total (mm) en la cuenca del río Tambo	39
Figura 12. Diagrama de flujo de la metodología aplicada en el estudio.....	41
Figura 13. Unidades de drenaje del Modelo Hidrológico – Cuenca río Tambo.....	46
Figura 14. Identificación de la huella del nivel de agua alcanzado durante un evento de máximas avenidas.....	48
Figura 15. Distribución de las precipitaciones máximas para un periodo de retorno de 100 años por el método de las isoyetas	56
Figura 16. Distribución de las precipitaciones máximas para un periodo de retorno de 500 años por el método de las isoyetas	57
Figura 17. Distribución de las precipitaciones máximas para un periodo de retorno de 1000 años por el método de las isoyetas	58
Figura 18. Distribución de las precipitaciones máximas para un periodo de retorno de 1500 años por el método de las isoyetas	59
Figura 19. Distribución de las precipitaciones máximas de diseño para un periodo de retorno de 100 años: UD-1 (a), UD-2 (b) y UD-3 (c).....	61
Figura 20. Distribución de las precipitaciones máximas de diseño para un periodo de retorno de 500 años: UD-1 (a), UD-2 (b) y UD-3 (c).....	61
Figura 21. Distribución de las precipitaciones máximas de diseño para un periodo de retorno de 1000 años: UD-1 (a), UD-2 (b) y UD-3 (c).....	62
Figura 22. Distribución de las precipitaciones máximas de diseño para un periodo de retorno de 1500 años: UD-1 (a), UD-2 (b) y UD-3 (c).....	62
Figura 23. Descripción de las unidades de drenaje del Modelo Hidrológico – Cuenca río Tambo	66
Figura 24. Resultados del modelamiento HEC-HMS para los periodos de retorno de 100, 500, 1000 y 1500 años.....	68
Figura 25. Sección 0+240.00 del levantamiento topo-batimétrico	69
Figura 26. Vista de planta y seccionado del levantamiento batimétrico	74

Figura 27. Vista isométrica del modelo hidráulico de calibración	76
Figura 28. Sección de referencia 0+400 para la calibración del modelo	76
Figura 29. Parámetros calculados para el modelo de calibración.....	76
Figura 30. Perfiles de inundación para los periodos de retorno de 100, 500, 1000 y 1500 años	78
Figura 31. Resultados del modelamiento hidráulico TR=100 años.....	104
Figura 32. Resultados del modelamiento hidráulico TR=500 años.....	105
Figura 33. Resultados del modelamiento hidráulico TR=1000 años.....	106
Figura 34. Resultados del modelamiento hidráulico TR=1500 años.....	107

RESUMEN

Las inundaciones de los valles costeros en el Sector Santa Rosa del Valle del Tambo en el Distrito de Cocachacra, Provincia de Islay y Departamento de Arequipa, son un problema recurrente año tras año frente a eventos de máximas avenidas, generándose problemas de desbordamiento del río Tambo, y por ende inundaciones, erosión y acumulación de material de arrastre, y como consecuencia dejando cuantiosos daños materiales y económicos. Es por ello que el presente trabajo denominado “Simulación Hidrológica e Hidráulica del Río Tambo, Sector Santa Rosa, Distrito de Cocachacra, Provincia de Islay, Departamento de Arequipa”, tiene como objetivo realizar la simulación hidrológica e hidráulica del río Tambo con fines de prevención de inundaciones, en un tramo de 600 metros del Sector de Riego Santa Rosa Ventilata Ayanquera, ubicado en el Distrito de Cocachacra Arequipa, con la finalidad de conocer los caudales de máximas avenidas y los niveles de inundación para flujos con régimen permanente, para los periodos de retorno de 100, 500, 1000 y 1500 años. Para ello se realizó una descripción de la zona de estudio (ubicación, climatología, morfometría, zonas de vida, etc.), seguidamente la recopilación y el procesamiento de la información pluviométrica, para obtener los hietogramas de diseño asumiendo una distribución uniforme (igual probabilidad de ocurrencia de las intensidades de lluvia), data de entrada para el modelo hidrológico con HEC-HMS, para lo cual se definieron los parámetros de entrada (valores de CN por el método del SCS, retención potencial y abstracción inicial, y el tiempo de retardo con el método de Snyder). Obtenido los caudales máximos de 754, 995, 1110, 1171 m³/s, para los periodos de retorno de 100, 500, 1000 y 1500 años, respectivamente, los cuáles fueron calibrados con los caudales máximos estimados con la información recopilada en campo y de los caudales máximos anuales registrados en la cuenca misma y en cuencas aledañas. Finalmente se realizó la simulación hidráulica para flujos con régimen permanentes con HEC-RAS, obteniendo los niveles de inundación los cuales no varían significativamente entre los diferentes periodos de retorno considerado, debido a que, a lo largo del tramo evaluado se observan bancos de arena o llanuras de inundación, cuyos niveles serán inundados superando todo el ancho de río, los cuáles varían en un rango promedio de 122.5 m.s.n.m. (aguas arriba) a 118.6 m.s.n.m. (aguas abajo).

I. INTRODUCCION

Las inundaciones en los valles costeros frente a eventos de crecientes son un problema recurrente en nuestro país, influido principalmente por el régimen monomodal que presenta la precipitación, destacando un período húmedo en los meses de octubre a abril y un período seco en los meses de mayo a setiembre, y esto sumado a la presencia del fenómeno El Niño hace que los caudales aumenten varias veces su magnitud, generando problemas de desbordamiento, inundaciones, erosión y acumulación de materiales de arrastre, y en consecuencia dejando cuantiosos daños materiales.

Este tipo de fenómenos se presentan en todas las cuencas hidrográficas del país, debido a la topografía y el relieve de las mismas; y todo ello acompañado de la expansión de las áreas agrícolas hacia las riberas de los ríos, lo que trae consigo problemas de inundación, pérdida de suelos agrícolas, escasez de productos, y con ello el perjuicio en la economía. Es por lo tanto importante conocer el comportamiento fluvial ante un evento de máximas avenidas, determinando los niveles de inundación alcanzados para diferentes periodos de retorno, lo que permitirá definir un plan de acción.

Uno de los lugares en los valles costeros susceptibles ante este tipo de eventos, es el valle del río Tambo, en el sector del distrito de Cocachacra, provincia de Islay, departamento de Arequipa, donde una de sus principales actividades económicas es la agricultura, que se desarrolla en una superficie aproximada de 12 332 hectáreas, que representan el 93% del total de la superficie (<http://www.munimollendo.gob.pe/>). Dichas áreas se encuentran ubicadas dentro de las fajas marginales del río Tambo que según la Ley de Recursos Hídricos (Ley N°29338): son bienes de “Dominio Público Hidráulico” y están conformados por las áreas inmediatas superiores a las riberas de los ríos de las fuentes de agua naturales o superficiales. Pero debido al crecimiento de la población, la necesidad de recursos hídricos y la falta de infraestructura para captación, conducción y distribución con fines de riego, las áreas agrícolas se encuentran formando parte o cercanas a la ribera del río, convirtiéndose en zonas de influencia para las inundaciones por eventos extraordinarios, y con ello problemas de arrastre y acumulación del material propio del río.

Con todo lo expuesto anteriormente, se sustenta la importancia del presente trabajo de tesis que evalúa la cuenca hidrográfica del río Tambo y determina su comportamiento ante eventos de máximas avenidas para periodos de retorno seleccionados.

II. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar la simulación hidrológica e hidráulica del río Tambo con fines de prevención de inundaciones, en un tramo de 600 metros del sector de riego Santa Rosa Ventillata Ayanquera, ubicado en la jurisdicción de la Junta de Usuarios del valle de Tambo en el Departamento de Arequipa.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la información pluviométrica e hidrométrica en periodos de máximas avenidas el ámbito de estudio.
- Calcular las máximas avenidas aplicando el modelamiento hidrológico con el programa HEC-HMS, y comparar los resultados con información de caudales máximos diarios registrados y caudales máximos estimados a partir de la información de campo.
- Determinar los niveles de inundación aplicando el modelamiento hidráulico para flujos con régimen permanente mediante el HEC-RAS.

III. REVISION DE LITERATURA

3.1. PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE UNA CUENCA

3.1.1. Parámetros de forma

- Tamaño de la Cuenca

El tamaño de una cuenca se determina según el área que esta abarca, propiedad más importante, pues permite determinar el potencial de escorrentía que se pueda generar en una superficie expuesta a la precipitación, debido al efecto de flujo superficial que pudiera generar. La clasificación de la cuenca basada en función de su área se muestra en la siguiente tabla. (Viramontes et al., 2007)

Tabla 1. Clasificación de cuencas por superficie

Tamaño de la cuenca (km ²)	Descripción
Menos de 25	Muy pequeña
25 a 250	Pequeña
250 a 500	Intermedia pequeña
500 a 2500	Intermedia grande
2500 a 5000	Grande
5000 a más	Muy grande

Fuente: Viramontes et al. (2007)

- Coefficiente de compacidad o índice de Gravelius (1914)

Es la relación entre el perímetro de la cuenca y el de una circunferencia; sus resultados están basados en la clasificación de Campos (1992), mostrados en la Tabla 2. Cuánto más cercano esté el índice a la unidad, la cuenca será más circular y por tanto más compacta, y en la medida que aumenta, la cuenca adquiere una forma más oval (Viramontes et al., 2007). La fórmula está dada por: $C_c = 0.282P / A^{1/2}$, donde C_c es el coeficiente de compacidad, P el perímetro de la cuenca (km), y A el Área de la cuenca (km²).

Tabla 2. Formas de la cuencas de acuerdo al coeficiente de compacidad

Clase de Forma	Coeficiente de Compacidad	Forma de la Cuenca
Clase I	1.0 - 1.25	Casi redonda a oval-redonda
Clase II	1.26 - 1.50	Oval-redonda a oval-oblonga
Clase III	1.51 a más de 2	Oval-oblonga a rectangular-oblonga

Fuente: Viramontes et al. (2007)

- Razón de elongación

Es la relación entre el diámetro de un círculo con igual área que la de la cuenca y la longitud máxima de la misma (Viramontes et al., 2007). La fórmula es la propuesta por Shumm (1956): $R_e = 1.128A^{1/2} / L_c$, donde R_e es la relación de elongación, L_c es la longitud del cauce principal de la cuenca en km, y A es el Área de la cuenca en km^2 .

Valores cercanos a la unidad implicará formas menos alargadas y cuanto menor sea a la unidad, será más alargada (González, 2004).

- Factor de Forma

La forma de la cuenca, factor de forma, fue propuesta por Horton (1945) donde relaciona el área de la cuenca y la longitud de la misma. En este sentido, valores cercanos a cero indican cuencas alargadas y aquellos cercanos a uno, indican cuencas redondeadas. Una descripción cuantitativa de la forma es proporcionada por la siguiente fórmula: $F_f = A/Lc^2$, donde F_f es el factor de forma, A es el área de la cuenca en km^2 y L_c es la longitud del cauce principal en km. Los valores interpretativos de la relación de forma de Horton, pueden verse en la Tabla 3.

Tabla 3. Valores interpretativos del factor de forma

Valores aproximados	Forma de la cuenca
<0.22	Muy alargada
0.22 - 0.30	Alargada
0.30 - 0.37	Ligeramente alargada
0.37 - 0.45	Ni alargada ni ensanchada
0.45 - 0.60	Ligeramente ensanchada
0.60 - 0.80	Ensanchada
0.80 - 1.20	Muy ensanchada
>1.20	Rodeando el desagüe

Fuente: Delgadillo y Moreno (2011)

3.1.2. Parámetros de relieve

- Pendiente media de la cuenca

Se calcula como media ponderada de las pendientes de todas las superficies elementales de la cuenca en las que la línea de máxima pendiente se mantiene constante; es un índice de la velocidad media de la escorrentía y, por lo tanto, de su poder de arrastre o poder erosivo (Ibañez et al., 2011). La fórmula para el cálculo de la pendiente media es $J = 100(\sum L_i E / A)$, donde J es la Pendiente media de la cuenca, L_i es la longitud de cada una de las curvas de nivel en km, E es equidistancia de las curvas de nivel en km y A es el área de la cuenca en km^2 .

- Curva hipsométrica

La curva hipsométrica representa el área drenada variando con la altura de la superficie de la cuenca. Se construye llevando al eje de las abscisas los valores de la superficie drenada proyectada en km^2 o en porcentaje, obtenida hasta un determinado nivel, el cual se lleva al eje de las ordenadas, generalmente en metros.

3.1.3. Red de drenaje

- Densidad de drenaje

Definida para una cuenca como la longitud media de curso por unidad de superficie, calculándose mediante la siguiente expresión: $D = \sum L / A$, donde D es la densidad de drenaje en km^{-1} , $\sum L$ es la suma de las longitudes de los cursos que se integran en la cuenca en km y A es el área de la cuenca en km^2 .

Tabla 4. Valores interpretativos de la densidad de drenaje

Densidad de drenaje (km/km^2)	Categoría
<1	Baja
1 – 2	Moderada
2 – 3	Alta
>3	Muy alta

Fuente: Delgadillo y Moreno (2011)

3.2. MODELO HIDROLÓGICO HEC – HMS

El Sistema de Modelación Hidrológica (HEC-HMS) está diseñado para simular los procesos hidrológicos completos de sistemas de cuencas dendríticas. El software incluye

muchos procedimientos de análisis hidrológico tradicional como la infiltración de eventos, hidrogramas unitarios, y el enrutamiento hidrológico. HEC-HMS también incluye los procedimientos necesarios para la simulación continua incluyendo la evapotranspiración, el deshielo, y la contabilidad de la humedad del suelo. Las capacidades avanzadas también se proporcionan para la simulación de la escorrentía cuadrículada usando el escurrimiento cuasi-distribuido transformación lineal (ModClark). Herramientas de análisis suplementarios se proporcionan para la optimización del modelo, caudal previsión, reducción de la profundidad del área y de la evaluación de la incertidumbre del modelo, transporte erosión y sedimentos, y la calidad del agua.

El software dispone de un entorno de trabajo totalmente integrado que incluye una base de datos, servicios de entrada de datos, motor de cálculo, y los resultados de herramientas de informes. Una interfaz gráfica de usuario permite el movimiento sin fisuras de usuario entre las diferentes partes del software. Resultados de la simulación se almacenan en HEC-DSS (sistema de almacenamiento de datos) y se pueden utilizar en conjunción con otro software para estudios de disponibilidad de agua, drenaje urbano, la previsión de flujo, el futuro impacto de urbanización, diseño aliviadero del embalse, la reducción de daños por inundaciones, regulación de llanura de inundación, y operación de los sistemas. (USACE, 2015)

Las unidades de drenaje del modelo son utilizados para simular la respuesta hidrológica en una cuenca. Estos incluyen; modelos de cuencas, modelos meteorológicos, especificaciones de control y datos de entrada. En una simulación se calcula la respuesta de la cuenca dada a una precipitación, una vez definido el modelo meteorológico, las especificaciones de control definen el tiempo, y el intervalo de tiempo para el cual se realizará la simulación. Y los datos de entrada tales como series de tiempo, datos de grilla son requeridos muchas veces como parámetros o condiciones de borde en la cuenca y el modelo meteorológico.

3.2.1. Modelo de cuenca

El modelo de cuenca es utilizado para representar la parte física de la cuenca. El usuario desarrolla un modelo de cuenca agregando y conectando elementos hidrológicos. Los elementos hidrológicos usan modelos matemáticos para describir los procesos físicos en la cuenca. La Tabla 5 muestra una lista y descripción de los elementos hidrológicos disponibles.

Tabla 5. Descripción de los elementos hidrológicos en el modelo HMS

Elemento	Descripción
Subcuenca (Subbasin)	El elemento subcuenca es utilizado para representar la parte física de la cuenca. Dada la precipitación, el caudal de salida de la subcuenca es calculado restando las pérdidas de precipitación, y transformando el exceso de precipitación en caudal de salida sumándole el gasto base.
Canal (Reach)	Este elemento es utilizado para trasladar el flujo aguas abajo en el modelo de cuenca. El gasto de entrada a este elemento puede venir de uno o más elementos aguas arriba. El flujo de salida es calculado en base al tránsito y la atenuación del hidrograma de entrada.
Unión (Junction)	Una unión se utiliza para unir el caudal proveniente de uno o más elementos hidrológicos. El caudal de salida es calculado simplemente sumando todas las entradas y asumiendo que no existe almacenamiento en la unión.
Fuente (Source)	Este elemento se utiliza para introducir caudal en la cuenca, no tiene entradas, el gasto de salida es definido por el usuario.
Salida (Sink)	El elemento salida es utilizado para representar la salida de la cuenca. El gasto de entrada a este elemento puede venir de uno o más elementos. No hay gasto de salida en este elemento.
Reservorio (Reservoir)	El reservorio se utiliza para modela la detención y atenuación de un hidrograma causada por un reservorio, estanque de detención, embalse. El gasto de entrada puede venir de uno o más elementos hidrológicos. El caudal de salida puede ser calculado de tres formas. EL usuario puede definir tablas de; almacenamiento-descarga elevación-almacenamiento-descarga, altura-área-descarga. Se puede introducir también una relación entre la elevación y el almacenamiento o la elevación y el área y definir una o más estructuras de salida, o especificar una serie de tiempo de caudal de salida.
Desviación (Diversión)	En este elemento de modela el caudal que deje el canal principa. La entrada puede venir de uno o más elementos. La salida es de dos tipos, el caudal desviado, y el caudal que no es desviado, el desviado es calculado utilizando información de entrada, y cada uno de estas salidas puede ser conectada a elementos hidrológicos.

Fuente: USACE (2015)

En el caso de las subcuencas, existen muchos modelos matemáticos para determinar las pérdidas de precipitación, transformar el exceso en caudal, añadir el gasto base. En este manual nos referiremos como métodos para expresar los diferentes métodos matemáticos. En la Tabla 6 se presenta la lista de los métodos disponibles para la subcuencas y los canales.

Tabla 6. Métodos para los cálculos en las subcuencas y los canales

Elemento	Tipo de cálculo	Método
Subcuenca	Pérdidas por infiltración	Déficit y razón constante (DC)
		Exponencial
		Green y Ampt
		DC por grilla
		SCS CN por grilla
		Inicial y razón constante
		Número de curva (CN) del SCS
		Smith Paralange
		Conteo de humedad del suelo (SMA)
	Esguerrimiento en la cuenca	Hidrograma unitario de Clark
		Onda cinemática
		Clark modificado
		Hidrograma unitario del SCS
		Hidrograma unitario de Snyder
		Curva S especificada por el usuario
		Hidrograma unitario especificado por el usuario
	Flujo base	Recesión delimitada
		Mensualmente constante
Reservorio lineal		
Aproximación no lineal de Boussinesq		
Recesión		
Canal	Tránsito	Onda cinemática
		Retraso
		Puls modificado
		Muskingum
		Muskingum-Cunge
		“STRADDLE STAGGER”
	Pérdidas/Ganancias	Constante
		Percolación

Fuente: USACE (2015)

3.2.2. Modelo Meteorológico

El modelo meteorológico calcula la precipitación requerida en una subcuenca. Se puede utilizar precipitación puntual o por grillas, tiene la capacidad de modelar precipitación sólida y líquida junto con evapotranspiración. También posee un método de cálculo de derretimiento de nieve utilizando un algoritmo de temperatura. Los métodos para la evapotranspiración incluyen el promedio mensual, el método de Priestel y Taylor, y el mismo método en forma de grilla. Un método de evapotranspiración es requerido solo

cuando se modelan respuestas hidrológicas en largos períodos de tiempo. Una breve descripción de los métodos disponibles para calcular la precipitación promedio o precipitación por grillas se presenta en la Tabla 7.

Tabla 7. Descripción de los métodos del modelo meteorológico

Métodos para la precipitación	Descripción
Frecuencia de las tormentas (Frequency Storm)	Este método es utilizado para desarrollar un evento de precipitación en el cual el valor de la precipitación para diferentes duraciones tiene una probabilidad de excedencia existente.
Estaciones por peso (Gage Weights)	Este método permite asignar pesos a las diferentes estaciones definidas por el usuario.
Precipitación por grilla (Gridded Precipitation)	Este método permite el uso de precipitación por grilla, tal como puede ser la proveniente de un radar meteorológico.
Inverso de la distancia (Inverse Distance)	Este método calcula el promedio en la subcuenca aplicando la ecuación del inverso de la distancia al cuadrado para las estaciones definidas por el usuario.
Tormenta del SCS (SCS Storm)	Este método aplica una distribución específica del SCS a una tormenta con una duración total de 24 horas.
Hietograma especificado (Specified Hyetograph)	En este método el usuario introduce el hietograma para la subcuenca.
Tormenta estándar de proyecto (Standard Project Storm)	Este método aplica una distribución en el tiempo a un valor de precipitación dado.

Fuente: USACE (2015)

Con respecto a las especificaciones de control, estas fijan el tiempo de duración de cada corrida de la simulación. La información de dichas especificaciones incluye una fecha de inicio, una fecha final y un intervalo de tiempo para la simulación.

3.2.3. Diseño y preparación de información base para el modelo

Las series de tiempo, las series de pares, los datos de las grillas son requeridos generalmente como condiciones de borde en los modelos de cuencas y meteorológicos.

Una lista completa de los datos de entradas está incluida en la Tabla 8. La información base puede ser introducida manualmente o como referencia a un record existente como un archivo HEC-DDS. Toda la data de grillas debe ser primero referenciada a un archivo HEC-DDS. Véase el manual de HEC-DDS para mayor descripción de este programa.

Tabla 8. Información base para el modelo

Series de tiempo	Series de pares	Datos de grilla
Precipitación	Caudal - Almacenamiento	Precipitación
Caudal	Altura -- Almacenamiento	Temperatura
Niveles	Altura - Caudal	Radiación solar
Temperatura	Caudal de entrada – Bifurcado	Crecimiento de cultivos
Radiación Solar	Secciones transversales	Capacidad de almacenamiento
Coefficientes de cultivos	Hidrograma unitario	Tasa de percolación
Equivalente de agua	Curvas de porcentaje	Coefficiente de almacenamiento
en la nieve	Tasa de derretimiento ATI	Déficit de humedad
	Tasa de enfriamiento ATI	Áreas impermeables
	Patrones del derretimiento	Número de curva del SCS
	Del suelo	Elevación
	Patrones de la tasa de	Contenido de frío
	derretimiento	Contenido de frío ATI
		Tasa de derretimiento ATI
		Contenido de agua líquida
		Equivalente de agua contenida en la nieve

Fuente: USACE (2015)

a. Distribución probabilística teórica de la precipitación

Las distribuciones de probabilidad se utilizan en muy diversos estudios hidrológicos, particularmente en estudios de caudales altos y bajos extremos, crecidas, volúmenes de embalse, cantidades de precipitación de lluvia y modelos de series temporales. En la Tabla 9 se indican las distribuciones más habitualmente utilizadas en hidrología.

Son muchas las distribuciones de probabilidad propuestas para modelizar fenómenos hidrológicos extremos. Sin embargo, pese a las profusas investigaciones dedicadas a este tema, ninguno de los modelos parece ser más adecuado para todas las aplicaciones prácticas. Por ello, el usuario deberá seleccionar entre los modelos disponibles atendiendo al problema que desea resolver y a la naturaleza de los datos con que cuenta. Así pues, en el presente capítulo se examinarán solo algunas de las distribuciones más habitualmente utilizadas. Por lo general, las distintas distribuciones que se ajustan de manera satisfactoria a los datos observados difieren apreciablemente en los extremos, especialmente cuando interviene una extrapolación. No hay ninguna directriz general para extrapolar distribuciones, particularmente cuando el alcance de la extrapolación es superior al doble de la longitud del registro. Para decidirse por una de ellas, será necesario comparar los resultados de varias distribuciones posibles.

Los totales anuales, por ejemplo, de volúmenes de caudal o alturas de lluvia, tienden a exhibir una distribución normal o casi normal, debido a las fuerzas descritas por el teorema del límite central de estadística. Los totales mensuales y semanales son menos simétricos, y presentan una asimetría claramente definida, generalmente positiva, por lo que no suelen ser aptos para ajustarse a una distribución normal. Los extremos anuales (altos o bajos) y los valores por encima de un umbral suelen presentar distribuciones asimétricas. La parte de la muestra situada en torno a la media de la distribución puede ser generalmente descrita mediante distintos tipo de distribuciones. Sin embargo, estas pueden diferir considerablemente entre sí en los valores estimados para períodos de retorno prolongados, y con unas probabilidades acumulativas muy pequeñas. Dado que los diseños hidráulicos suelen estar basados en estimaciones de fenómenos con grandes períodos de retorno, será importante determinar estos con la mayor exactitud posible. Por consiguiente, la distribución seleccionada será muy importante en tales casos. (OMM, 2011)

A continuación se presentan las distribuciones de frecuencia habitualmente utilizadas:

Tabla 9. Distribuciones de frecuencia habitualmente utilizadas

Distribución	Función de densidad de probabilidad y/o función de distribución acumulada
Normal	$f_x(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_x^2}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x - \mu_x}{\sigma_x}\right)^2\right]$
Log Normal	$f_x(x) = \frac{1}{x\sqrt{2\pi\sigma_y^2}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x) - \mu_y}{\sigma_y}\right)^2\right]$
Pearson de tipo III	$f_x(x) = \beta [\beta(x - \varepsilon)]^{\alpha-1} \exp[-\beta(x - \varepsilon)]/\tau(\alpha),$ (para $0 < \beta$ y $\varepsilon = 0$; $\gamma_x = 2(CV_x)$)
Log-Person de tipo III	$f_x(x) = \beta \{\beta[\ln(x) - \varepsilon]\}^{\alpha-1} \exp\{-\beta[\ln(x) - \varepsilon]\}/x\tau(\alpha)$ para $\beta < 0, 0 < x < \exp(\varepsilon)$; para $0 < \beta, \exp(\varepsilon) < X < \infty$
Gumbel	$f_x(x) = (1/\alpha) \exp\{-(x - \varepsilon)/\alpha - \exp[-(x - \varepsilon)/\alpha]\}$ $F_x(x) = \exp\{-\exp[-(x - \varepsilon)/\alpha]\}$

Fuente: Stedinger et al. (2011)

b. *Método del Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de los EEUU o Método del Numero de Curva (CN)*

El método de número de curva (CN), fue desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de los Estados Unidos, donde el valor se calcula con base en las condiciones que a continuación se describen (Villón, 2002):

- Condición hidrológica

La condición hidrológica se refiere a la capacidad de la superficie de la cuenca para favorecer o dificultar el escurrimiento directo, esto se encuentra en función de la cobertura vegetal. Puede aproximarse de la siguiente forma:

Tabla 10. Condición hidrológica

Cobertura vegetal	Condición hidrológica
>75 % del área	buena
entre 50% y 75% del área	regular
<50% del área	pobre

Fuente: Villón (2002)

- Grupo hidrológico

La determinación del grupo hidrológico del suelo está relacionada con la tasa de infiltración y la tasa de transmisión.

- Tasa de infiltración

Es el porcentaje de agua que penetra en el suelo superficial y que es controlado por condiciones de superficie.

Define los grupos de suelo, los cuales pueden ser:

- Grupo A, Bajo potencial de escorrentía
- Grupo B, Moderado bajo potencial de escorrentía
- Grupo C, Moderado alto potencial de escorrentía
- Grupo D, Alto potencial de escorrentía

Tabla 11. Clasificación hidrológica de los suelos

Grupo de Suelo	Descripción
A	Son suelos que tienen altas tasas de infiltración (bajo potencial de escurrimiento) aun cuando están enteramente mojados y están constituidos mayormente por arenas o gravas profundas, bien y hasta excesivamente drenadas. Estos suelos tienen una alta tasa de transmisión de agua.
B	Son suelos que tienen tasas de infiltración moderadas cuando están cuidadosamente mojados y están constituidos mayormente de suelos profundos de texturas moderadamente gruesas. Estos suelos tienen una tasa moderada de transmisión del agua.

Grupo de Suelo	Descripción
C	Son suelos que tiene bajas tasas de infiltración cuando están completamente mojados y están constituidos mayormente por suelos con un estrato que impide el movimiento del agua hacia abajo, o suelos con una textura que va de moderadamente fina a fina. Estos suelos tienen una baja tasa de transmisión del agua.
D	Son suelos de alto potencial de escurrimiento, de tasas de infiltración muy bajas cuando están completamente mojados y están formados mayormente por suelos arcillosos con un alto potencia de esponjamiento, suelo con arcilla o capa de arcilla, en la superficie o cerca de ella y suelos superficiales sobre material casi impermeable. Estos suelos tienen una tasa muy baja de transmisión del agua.

Fuente: SCS (1972)

- Condición de humedad antecedente (CHA)

La condición o estado de humedad del suelo tiene en cuenta los antecedentes previos de humedad de la cuenca; determinado por la lluvia total en el período de 5 días anterior a la tormenta.

El SCS usa tres intervalos de CHA:

- CHA-I, el límite inferior de humedad o el límite superior de S. Hay un mínimo potencial de escurrimiento. Los suelos de la cuenca están lo suficientemente secos para permitir el arado de cultivos.
- CHA-II, es el promedio de humedad propuesto por el SCS.
- CHA-III, es el límite superior de humedad o el límite inferior de S. Hay máximo potencial de escurrimiento. La cuenca está prácticamente saturada por lluvias anteriores.

Tabla 12. Condición de humedad antecedente propuesta por SCS

Condición de humedad antecedente (CHA)	Precipitación acumulada de los 5 días previos al evento en consideración (cm)	
	Estación seca	Estación de crecimiento
I (seca)	menor de 1.3	menor de 3.5
II (media)	1.3 a 2.5	3.5 a 5
III (húmeda)	más de 2.5	más de 5

Fuente: SCS (1972)

La Tabla 13, permite calcular el número de curva para CHA-II.

Tabla 13. Número de curva para complejos hidrológicos de suelo

Números de curva para distintas condiciones hidrológicas y complejos suelo – cobertura para CHA II y IS =0.2S						
Uso del suelo o cobertura	Sistema de laboreo	Condición hidrológica para infiltración	Grupo hidrológico del suelo			
			A	B	C	D
Barbecho	Líneas	Mala	77	86	91	94
Cultivos en línea	Línea	Mala	72	81	88	91
	Línea	Buena	67	78	85	89
	En contorno	Mala	70	79	84	88
	En contorno	Buena	66	75	82	86
	En contorno / terrazas	Mala	66	74	80	82
	En contorno / terrazas	Buena	62	71	78	81
Cultivos densos	Líneas	Mala	65	76	84	88
	Líneas	Buena	63	75	83	87
	En contorno	Mala	63	74	82	85
	En contorno	Buena	61	73	81	84
	En contorno / terrazas	Mala	61	72	79	82
	En contorno / terrazas	Buena	59	70	78	81
Forrajeras y leguminosas o pasturas en rotación	Línea	Mala	66	77	85	89
	Línea	Buena	58	72	81	85
	En contorno	Mala	64	75	83	85
	En contorno	Buena	55	69	78	83
	En contorno / terrazas	Mala	63	73	80	83
	En contorno / terrazas	Buena	51	67	76	80
Pastura natural		Mala	68	79	86	89
		Regular	49	69	79	84
		Buena	39	61	74	80
	En contorno	Mala	47	67	81	88
	En contorno	Regular	25	59	75	83
	En contorno	Buena	6	35	70	79
Praderas Bosques		Buena	30	58	71	78
		Mala	45	66	77	83
		Regular	36	60	73	79
		Buena	25	55	70	77
Camino chacra			59	74	82	86
Camino balasta Camino bitumen			72	82	87	89
			74	84	90	92

Fuente: USBR, 1973

Si se tiene CHA-I o CHA-III el número de curva equivalente se calcula con las siguientes ecuaciones:

$$CN_I = \frac{4.2 \times CN_{(II)}}{10 + 0.058 \times CN_{(II)}}, CN_{(II)} = CN_{(II)}, CN_{(III)} = \frac{23 \times CN_{(II)}}{10 + 0.13 \times CN_{(II)}}$$

Donde $CN_{(I)}$ es el valor de número de curva en condición antecedente de humedad I, $CN_{(II)}$ es el valor en condición normal y $CN_{(III)}$ es el valor en condición antecedente de humedad III.

c. Distribución espacial de la precipitación mediante el método de isoyetas

Consiste en obtener a partir de los datos de los pluviómetros las isoyetas del evento, definidas como los contornos de lluvia constante. Se obtiene una superficie representada de forma similar a la de los planos topográficos con cada curva de nivel representando un valor de lluvia constante. El valor de la precipitación ponderada se obtendrá a partir de fórmulas del tipo: $P = \sum_i a_i \cdot P_i / \sum_i a_i$, siendo los valores de a_i el área entre isoyetas y P_i los valores medios entre las mismas.

Este método tiene una ventaja fundamental, que es la posibilidad de permitir que el analista introduzca su experiencia y adapte la distribución espacial de precipitaciones a la orografía u otras influencias que él estime necesarias. De esta manera permite obtener un patrón de precipitaciones útil para corregir otros métodos. Pero esta ventaja se puede convertir en desventaja si no hay un apoyo sobre una red densa de pluviómetros que guíe con certeza el trazado de isoyetas. (Martínez, 1999)

d. Hietogramas de diseño

El Soil Conservation Service del U. S. Department of Agriculture (1986) desarrolló hietogramas sintéticos de tormentas para utilizarse en los Estados Unidos con duraciones de tormentas de 6 y 24 horas. Estos hietogramas se dedujeron al utilizar la información presentada por Hershfield (1961) y Miller, Frederick y Tracey (1973) y datos de tormentas adicionales. Existen cuatro tormentas de 24 horas de duración, llamadas Tipo I, IA, II, III, respectivamente. 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 luvias de 24 horas muy grandes. El tipo II corresponde al resto del país. (Chow et al., 1994)

Tabla 14. Distribuciones de lluvia SCS

Tiempo (h)	t/24	Factores adimensionales P_t/P_{24}			
		Tipo I	Tipo IA	Tipo II	Tipo III
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.0	0.083	0.035	0.050	0.022	0.020
4.0	0.167	0.076	0.116	0.048	0.043
6.0	0.250	0.125	0.206	0.080	0.072
7.0	0.292	0.156	0.268	0.098	0.089
8.0	0.333	0.194	0.425	0.120	0.115
8.5	0.354	0.219	0.480	0.133	0.130
9.0	0.375	0.254	0.520	0.147	0.148
9.5	0.396	0.303	0.550	0.163	0.167
9.8	0.406	0.362	0.564	0.172	0.178
10.0	0.417	0.515	0.577	0.181	0.189
10.5	0.438	0.583	0.601	0.204	0.216
11.0	0.458	0.624	0.624	0.235	0.250
11.5	0.479	0.654	0.645	0.283	0.298
11.8	0.490	0.669	0.655	0.357	0.339
12.0	0.500	0.682	0.664	0.663	0.500
12.5	0.521	0.706	0.683	0.735	0.702
13.0	0.542	0.727	0.701	0.772	0.751
13.5	0.563	0.748	0.719	0.799	0.785
14.0	0.583	0.767	0.736	0.820	0.811
16.0	0.667	0.830	0.800	0.880	0.886
20.0	0.833	0.926	0.906	0.952	0.957
24.0	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Fuente: Chow et al. (1994)

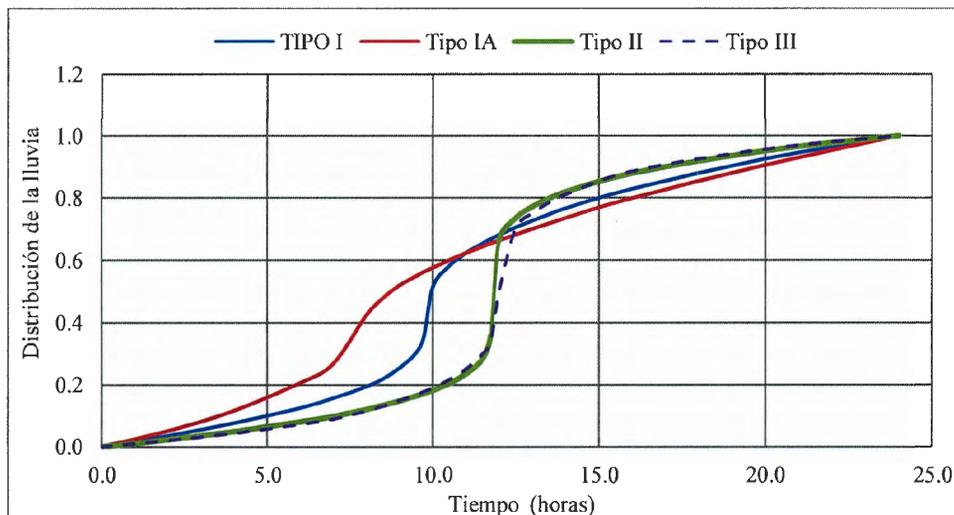


Figura 1. Curvas de distribuciones adimensionales SCS

Fuente: Elaborado con información de Distribuciones de lluvias SCS

e. *Tiempo de retardo (t lag)*

El tiempo de retardo o “Lag Time” es aquel intervalo de tiempo transcurrido entre el punto medio o centro de gravedad del hietograma de precipitación máxima y el punto máximo de la crecida del hidrograma generado como consecuencia de dicha lluvia. En la figura a continuación puede apreciarse el tiempo de retardo así como la siguiente relación: $T_{crecida} = T_{retardo} + (T_{precip}/ 2)$. (Villón, 2011)

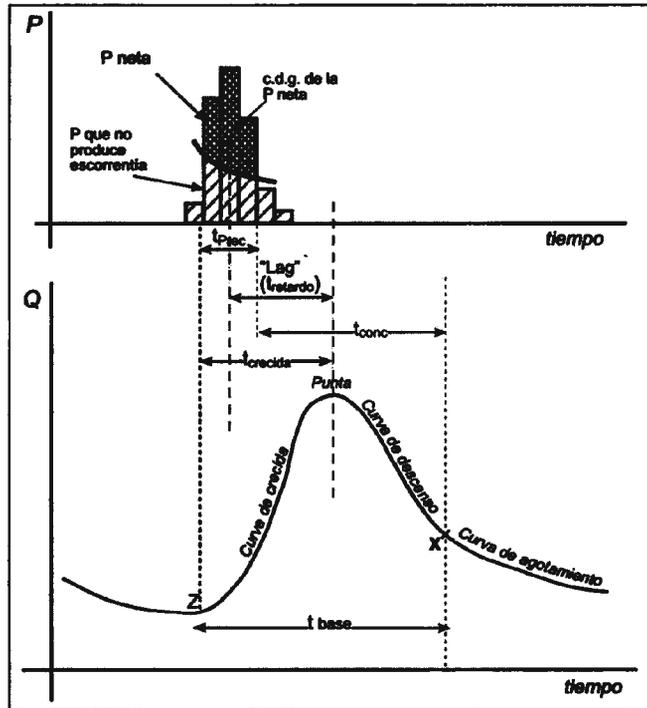


Figura 2. Esquema del tiempo de retardo

Fuente: USAL (2011)

Esta metodología aplica a cuencas de áreas considerables (entre los 30 km² – 30 000 km²), aplicando la fórmula modificada de Snyder, que fue propuesta por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE, 1944), la cual se calcula con la siguiente relación:

$$T_{Lag} = C_t \left(\frac{L * L_{CG}}{I^{0.5}} \right)^N$$

Donde T_{Lag} es el tiempo de retardo en horas, C_t representa el efecto de la pendiente en el almacenamiento de la cuenca, con valores entre 1.35 (áreas de drenaje en valles) y 1.65 (áreas de drenaje en pie de monte), L es la longitud del curso principal desde la sección de

cierre hasta la divisoria en km, L_{cg} es la distancia desde la sección de cierre hasta el punto de la corriente más cercano al centroide de la cuenca en km, I es la pendiente media del curso principal desde la sección de cierre hasta la divisoria en %, y N es el coeficiente, que toma el valor de 0.33.

3.3. MODELAMIENTO HIDRÁULICO CON HEC - RAS

El HEC - RAS (River Analysis System) es un programa cuya principal función es la delineación de planicies de inundación, es decir de calcular el nivel del agua en cada sección transversal en el tramo de un río o canal artificial. En la actual versión el flujo puede ser permanente o no permanente. Además de calcular los niveles en cada sección, el HEC-RAS tiene la capacidad de calcular la socavación en los elementos de apoyo de un puente para el diseño de la cimentación de los mismos. El ingreso de datos es sencillo porque las ventanas en entorno Windows permiten introducir los datos de manera ordenada. Permite considerar en los cálculos los efectos de diversos tipos de obstrucción y mejoras en las zonas de inundación tales como diques, puentes, cunetas y alcantarillas, presas y otras estructuras, es aplicable a la gestión de llanuras de inundación y estudios de seguridad ante avenidas, en cuanto permite evaluar las intromisiones en las zonas inundables.

El HEC-RAS y su antecesor, el HEC-2, para el cálculo en régimen permanente utiliza el método del paso estándar para el cálculo de los niveles de agua en cada sección transversal. Para éstos es necesario conocer las secciones transversales, la distancia entre las secciones transversales, el coeficiente de Manning en cada porción de cada sección transversal, el caudal de diseño y la condición de borde. Si el flujo es sub-crítico, la condición de borde a usar es aguas abajo, si el flujo es supercrítico, la condición de borde a usar es aguas arriba. En un tramo sólo es necesario conocer una condición de borde, a menos que el flujo sea mixto. En este caso, se debe contar con una condición de borde aguas arriba y otras aguas abajo.

3.3.1. Cálculo del perfil de flujo por el método directo de pasos

El método de paso directo se basa en la ecuación de la energía. Se deben tener en cuenta las siguientes premisas:

- No existe variación de caudal en el tramo. Si existe variación de caudal, debe dividirse el canal en tramos que transporte el mismo caudal.

- La pendiente del canal es pequeña (menor a 10°)
- La pendiente de la línea de energía puede calcularse usando la ecuación de Manning.
- El flujo es gradualmente variado (no ocurre una disipación violenta de energía).
- El flujo es permanente.

La aplicación del modelo HECRAS, para efectos de la investigación constituye tres pasos fundamentales:

- Paso 1: Crear por medio de herramientas de SIG como ArcGIS - ArcView y la extensión HECGeoRAS, los modelos digitales de elevación – DEM con un archivo de importación para HECRAS, que contenga información geométrica de las secciones transversales, del cauce y las llanuras de inundación del sistema hídrico del río en estudio.
- Paso 2: Aplicar la modelización del flujo permanente con el modelo HECRAS, el cual genera un archivo de exportación para ArcGIS – ArcView.
- Paso 3: Generar los resultados de la mancha de agua: superficies de inundación y grids de profundidad. Esquema conceptual de la modelización propuesta utilizando el modelo HECRAS.

3.3.2. Tabla del coeficiente de rugosidad de Manning

En la Tabla 15 se presenta una lista de valores de n de Manning para cauces de diferentes clases. Para cada tipo de cauce se muestran los valores mínimos, normal y máximo de “ n ” de Manning.

Tabla 15. Coeficientes de rugosidad "n" de Manning típicos

Tipo de cauce y descripción	Valor de "n"		
	Mínimo	Normal	Máximo
D. Cauces naturales menores (ancho superior, a nivel de crecida, menor que 30 m)			
D1) Cauces en planicie			
1) Limpio, recto, nivel lleno, sin fallas o pozos profundos	0.025	0.030	0.033
2) Igual que arriba pero más piedras y pastos	0.030	0.035	0.040
3) Limpio, curvado, algunos pozos y bancos	0.033	0.040	0.045
4) Igual que arriba pero algunos pastos y piedras	0.035	0.045	0.050
5) Igual que arriba, niveles más bajos, pendiente y secciones más inefectivas	0.040	0.048	0.055
6) Igual que 4, pero más piedras	0.045	0.050	0.060
7) Tramos sucios, con pastos y pozos profundos	0.050	0.070	0.080
8) Tramos con muchos pastos, pozos profundos o recorrido de la crecida con mucha madera o arbustos bajos	0.075	0.100	0.150
D2) Cauces de montaña, sin vegetación en el canal, laderas con pendientes usualmente pronunciadas, árboles y arbustos a lo largo de las laderas y sumergidos para niveles altos			
1) Fondo: grava, cantos rodado y algunas rocas	0.030	0.040	0.050
2) Cantos rodado y algunas rocas	0.040	0.050	0.070
E) Cauces con planicie de crecidas			
1) Pastos sin arbustos			
• Pastos cortos	0.025	0.030	0.035
• Pastos altos	0.030	0.035	0.050
2) Áreas cultivadas			
• Sin cultivo	0.020	0.030	0.040
• Cultivos maduros alineados	0.025	0.035	0.045
• Campo de cultivos maduros	0.030	0.040	0.050
3) Arbustos			
• Arbustos escasos, muchos pastos	0.035	0.050	0.070
• Pequeños arbustos y árboles, en invierno	0.035	0.050	0.060
• Pequeños arbustos y árboles, en verano	0.040	0.060	0.080
• Arbustos medianos a densos, en invierno	0.045	0.070	0.110
• Arbustos medianos a densos, en verano	0.070	0.100	0.160
4) Árboles			
• Sauces densos, en verano y rectos	0.110	0.150	0.200
• Tierra clara con ramas, sin brotes	0.030	0.040	0.050
• Igual que arriba pero con gran crecimiento de brotes	0.050	0.060	0.080
• Grupos grandes de madera, algunos árboles caídos, poco crecimiento inferior y nivel de la inundación por debajo de las ramas	0.080	0.100	0.120
• Igual que arriba, pero con el nivel de inundación alcanzando las ramas	0.100	0.120	0.160
F) Cursos de agua importantes (Ancho superior, a nivel de inundación, mayor que 30 m). Los valores de n son menores que los de los cursos menores de descripción similar, ya que los bancos ofrecen menor resistencia efectiva.			
1) Sección regular sin rocas y arbustos	0.025	-	0.060
2) Sección irregular y áspera	0.035	-	0.100

Fuente: Chow (1994)

IV. MATERIALES Y METODOS

4.1. ZONA DE ESTUDIO

La cuenca del río Tambo tiene un área total hasta su desembocadura de 12 869 km², de los cuales 8685.0 km² (65.0%) corresponden a la cuenca húmeda, ubicada por encima de los 3000 m.s.n.m., cota fijada como límite superior del área seca, y a partir del cual la precipitación pluvial es un aporte efectivo en el escurrimiento superficial. La cuenca está formado por la confluencia de los ríos Carumas, Coralaque, Ichuña y Paltuture. El escurrimiento superficial del río tambo se origina de las precipitaciones que ocurren en su cuenca alta, las cuales presentan concentradas durante los meses de diciembre a marzo, el deshielo de los nevados ubicados dentro de la cuenca tiene muy poca incidencia en el escurrimiento ya que son bastante escasos. (CEPES, 1994)

El ámbito de estudio se encuentra emplazada en la cuenca del río Tambo, abarcando los departamentos de Arequipa, Moquegua y Puno. En la siguiente tabla se observa el detalle.

Tabla 16. Ubicación política de la cuenca del río Tambo

Departamento	Provincia	Distrito
Arequipa	Islay	Polobaya, Yarabamba y La Joya
	Arequipa	Cocachacra
Moquegua	General Sánchez Cerro	Quinistaquillas, Omate, Coalaque, Puquina, La Capilla, Matalaque, Chojata, Lloque, Yunga, Ubinas e Ichuña
	Mariscal Nieto	Moquegua, Carumas, Chuchumbaya, San Cristobal
Puno	San Román	Cabanillas
	Puno	Tiquillaca y San Antonio
	El Collao	Santa Rosa
	Lampa	Santa Lucia

Geográficamente la cuenca en estudio se ubica entre las coordenadas 204 750 m a 307 930 m en el este y 8 157 890 m a 8 272 980 m en el norte, en el sistema de coordenadas UTM WGS84 - Zona 19.

Hidrográficamente el ámbito de estudio, se ubica en la Vertiente del Pacífico, en la cuenca y subcuenca del río Tambo.

La accesibilidad al punto de interés (Sector de riego Santa Rosa Ventillata Ayanquera), se encuentra localizada a 2.5 horas de viaje desde la ciudad de Moquegua, siendo accesible por vía terrestre desde la ciudad de Moquegua, a través de la carretera afirmada hasta el puente Tambo, este tramo es recorrido aproximadamente en 2.0 horas; luego hasta la zona de estudio a través de una trocha o camino carrozable que pasa por la margen derecha del río Tambo, este tramo final es recorrido en un tiempo aproximado de 0.5 horas. El trayecto total es en promedio de 2.5 horas.

Para la evaluación morfométrica de la cuenca del río Tambo, se utilizará las hojas de la carta nacional, obtenidas del Instituto Geográfico Nacional IGN, escala: 1:100 000, como son: 32-u Lagunillas, 32-v: Puno, 33-t: Characato, 33-u: Ichuña, 33-v: Pichacani, 34-s: La Joya, 34-t: Puquina, 34-u: Omate, 34-v: Hualtine, 34-x: Mazo Cruz, 35-s: Punta de Bombón, y 35-t: Clemesi.

4.1.1. Estaciones pluviométricas

Las estaciones pluviométricas del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), ubicadas dentro del área de influencia directa de la cuenca en estudio, que serán utilizadas para la evaluación hidrológica de la cuenca, se presentan en la Tabla 17 y en el Anexo 01.

Tabla 17. Estaciones pluviométricas de influencia en la cuenca

N°	Estación	Cuenca	Coordenadas Geográficas		Altitud (m.s.n.m)	Periodo de registro
			Longitud	Latitud		
1	Carumas	Tambo	70° 41' 40" O	16° 48' 47" S	2976	1998-2013
2	Ichuña	Tambo	70° 32' 14.1" O	16° 8' 26.7" S	3792	1983-2013
3	La Haciendita	Tambo	71° 35' 19" O	16° 59' 57" S	282	1994-2013
4	Omate	Tambo	70° 58' 57" O	16° 40' 39" S	2080	1987-2013
5	Pampa Blanca	Tambo	71° 43' 22" O	17° 4' 7" S	100	1983-2013
6	Puquina	Tambo	71° 10' 10" O	16° 37' 37" S	3284	1998-2013
7	Quinistaquillas	Tambo	70° 53' 52" O	16° 46' 46" S	1590	1983-2013
8	Ubinas	Tambo	70° 51' 24" O	16° 22' 57" S	3491	1983-2013
9	Chiguata	Quilca-Vitor-Chili	71° 24' 1" O	16° 24' 1" S	2943	1983-2013
10	El Frayle	Quilca-Vitor-Chili	72° 32' 45" O	13° 10' 01" S	4119	1983-2009
11	Huasacache	Quilca-Vitor-Chili	71° 33' 3.13" O	16° 27' 12.27" S	2242	1994-2013
12	Imata	Quilca-Vitor-Chili	71° 5' 16" O	15° 50' 12" S	4445	1983-2013
13	La Joya	Quilca-Vitor-Chili	71° 55' 9" O	16° 35' 33" S	1292	1983-2013

N°	Estación	Cuenca	Coordenadas Geográficas		Altitud (m.s.n.m)	Periodo de registro
			Longitud	Latitud		
14	Las Salinas	Quilca-Vitor-Chili	71° 8' 54" O	16° 19' 5" S	4322	1995-2013
15	Pillones	Quilca-Vitor-Chili	71° 13' 0.05" O	15° 58' 52.41" S	4431	1983-2013
16	Crucero Alto	Camana	71° 52' 30" O	13° 33' 24" S	1150	1983-2013
17	Pampa Humalzo	Locumba	70° 25' 24.8" O	16° 52' 30" S	4609	1983-2013
18	Moquegua	Ilo-Moquegua	70° 55' 54" O	17° 10' 9" S	1450	1998-2013
19	Otora	Ilo-Moquegua	70° 51' 13" O	17° 0' 26" S	2580	2003-2013

4.1.2. Estaciones meteorológicas

Con la finalidad de evaluar el comportamiento de los parámetros climatológicos de la cuenca del río Tambo, se ha considerado el uso de las estaciones meteorológicas del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), ubicadas en la parte alta, media y baja de la cuenca, que contengan información disponible.

A continuación se detalla la ubicación de las estaciones y los parámetros disponibles:

Tabla 18. Estaciones meteorológicas en la cuenca del río Tambo

N°	Estación	Coordenadas Geográficas		Altitud (m.s.n.m)	Parámetros registrados
		Longitud	Latitud		
1	Carumas	70° 41' 40" O	16° 48' 47" S	2976	T° media, máxima y mínima
					Humedad relativa
					Horas de sol
					Velocidad y dirección del viento
					Evaporación
2	Ichuña	70° 32' 14.1" O	16° 8' 26.7" S	3792	T° media, máxima y mínima
					Humedad relativa
					Velocidad y dirección del viento
					Evaporación
3	La Haciendita	71° 35' 19" O	16° 59' 57" S	282	T° media, máxima y mínima
					Humedad relativa
					Velocidad y dirección del viento
					Evaporación
4	Omate	70° 58' 57" O	16° 40' 39" S	2080	T° media, máxima y mínima
					Humedad relativa
					Velocidad y dirección del viento
					Evaporación
5	Pampa Blanca	71° 43' 22" O	17° 4' 7" S	100	T° media, máxima y mínima
					Humedad relativa
					Horas de sol
					Velocidad y dirección del viento
6	Puquina	71° 10' 10" O	16° 37' 37" S	3284	T° media, máxima y mínima
					Humedad relativa
					Horas de sol
					Evaporación

N°	Estación	Coordenadas Geográficas		Altitud (m.s.n.m)	Parámetros registrados
		Longitud	Latitud		
7	Quinistaquillas	70° 53' 52" O	16° 46' 46" S	1590	T° media, máxima y mínima
					Humedad relativa
					Horas de sol
					Velocidad y dirección del viento
8	Ubinas	70° 51' 24" O	16° 22' 57" S	3491	T° media, máxima y mínima
					Humedad relativa
					Velocidad y dirección del viento
					Evaporación

En el ítem 4.1.4. se detalla la variabilidad de cada uno de los parámetros en el ámbito de la cuenca, y su ubicación se visualiza en la Figura 3.

4.1.3. Estaciones hidrométricas

Como parte de la información de apoyo para la evaluación de los resultados, se ha considerado el uso de información de caudales máximos anuales, registrados por las estaciones hidrométricas ubicadas en la cuenca en estudio y en cuencas aledañas, operadas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, que ha sido obtenida del Estudio de Máximas Avenidas en las Cuencas de la Vertiente del Pacífico – Cuencas de la Costa Sur, elaborado por la Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos del Ministerio de Agricultura – Autoridad Nacional del Agua en el año 2010.

Tabla 19. Estaciones hidrométricas de referencia para la cuenca del río Tambo

Cuenca	Estación	Coordenadas Geográficas		Departamento	Provincia	Distrito	Periodo de registro
		Longitud	Latitud				
Quilca	Charcani	71°37'12"O	16°16'48"S	Arequipa	Arequipa	Cerro Colorado	1960-2009
Tambo	Chucarapi	71°42'0"O	17°4'48"S	Arequipa	Islay	Cocachacra	1960-2008
Ilo-Moquegua	Shivaya	70°19'12"O	17°6'0"S	Moquegua	Moquegua	Moquegua	1960-2008

La ubicación de las estaciones hidrométrica pueden verse en la Figura 3.

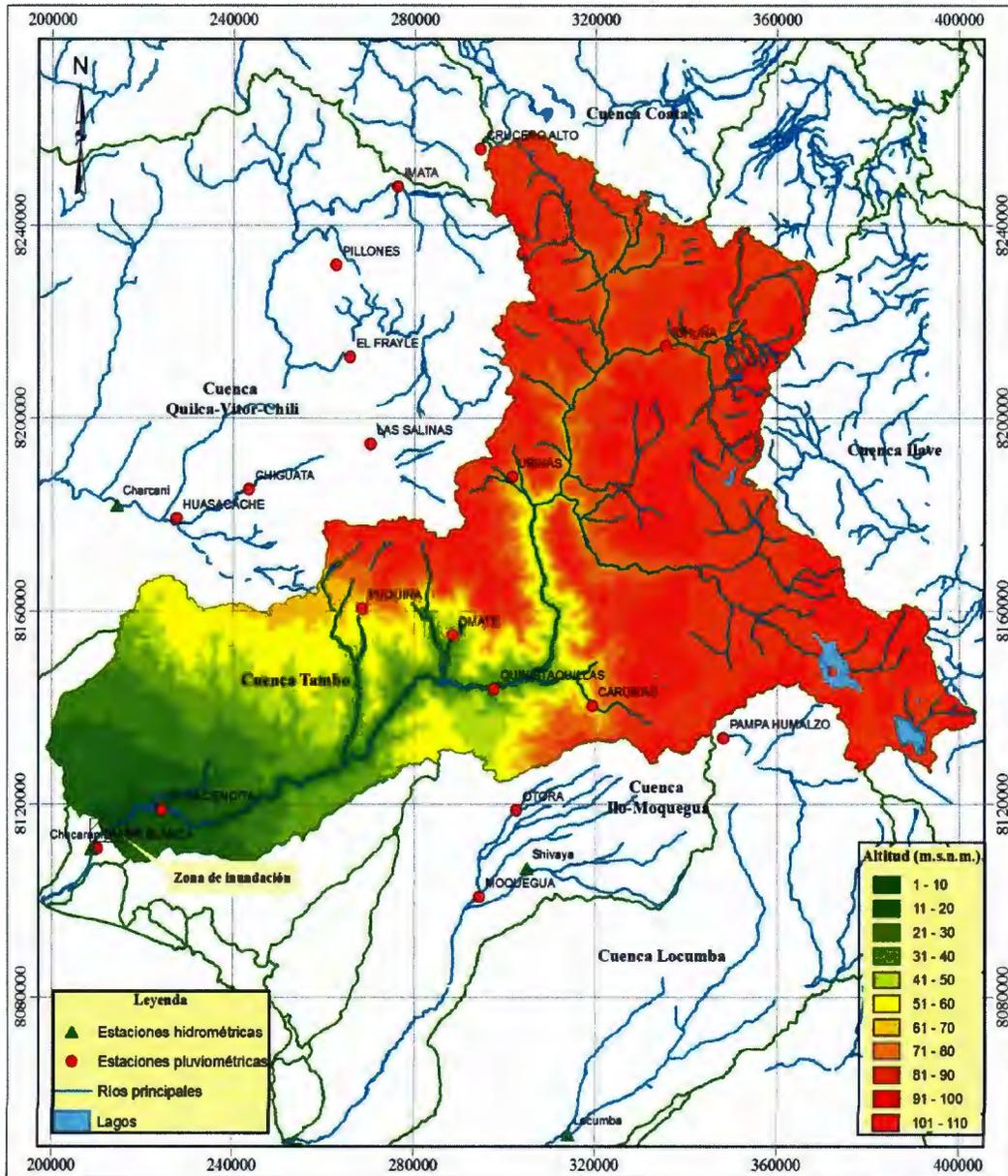


Figura 3. Ubicación de las estaciones pluviométricas e hidrométricas en la cuenca hidrográfica del río Tambo, y su variación altitudinal

Fuente: Elaboración propia con base en la información topográfica de todo el Perú según formato de la carta nacional en escala 1:100 000 elaborada por el Instituto Geográfico Nacional en formato Shape (*.shp) publicada por el Ministerio de Educación del Perú (MINEDU)

4.1.4. Parámetros morfométricos y zonas de vida

Los parámetros morfométricos de la cuenca del río Tambo limitada hasta el punto de interés (sector de riego Santa Rosa Ventillata Ayanquera), resulta:

Tabla 20. Características morfométricas de la cuenca

Característica morfométrica	Unidad	Valores
Área de la cuenca	km ²	12 869.0
Perímetro de la cuenca	km.	854.6
Longitud del cauce principal	km.	272.9
Longitud total del cauce	km.	8 827.9
Cota máxima	msnm.	5 600.0
Cota mínima	msnm.	150.0
Desnivel máxima	m.	5 450.0
Ancho más largo de la cuenca	km.	160.5
Longitud más larga de la cuenca	km.	194.3
Coefficiente de compacidad	Adimensional	2.12
Factor de forma	Adimensional	0.17
Elevación mediana de la cuenca	m.	4 200.0
Pendiente media de la cuenca	m/m.	0.33
Densidad de drenaje	Adimensional	0.69
Relación de elongación	Adimensional	0.66

Fuente: Elaboración propia con base en la información topográfica de todo el Perú según formato de la carta nacional en escala 1:100 000 elaborada por el Instituto Geográfico Nacional en formato Shape (.shp) publicada por el Ministerio de Educación del Perú (MINEDU, 2015)*

De acuerdo a su geomorfología, la cuenca en estudio posee un área de 12 869.0 km², considerándose como una cuenca muy grande. El perímetro de la cuenca es de aproximadamente 854.6 km. El índice de compacidad (Índice de Gravelious), expresa la influencia del perímetro y el área de la cuenca sobre la escorrentía superficial. La cuenca de drenaje posee un índice de compacidad igual a 2.12, lo que determina una forma de cuenca que pertenece a la Clase III, siendo oval-oblonga a rectangular oblonga. La relación de elongación nos da una referencia que la cuenca es alargada afectando de esta manera el tipo de respuesta del río, teniendo una respuesta más lenta para el tránsito de máximas avenidas en comparación de una cuenca ensanchada y con cauces cortos. Por tanto la concentración del flujo de agua superficial al tener un mayor tránsito generarán cierta atenuación en los valores picos de máxima avenida asociada a eventos extremos o tormentas que no sean de gran envergadura pero si de considerable duración.

La cuenca posee una pendiente promedio de 33.0 %. A lo largo de toda su extensión abarca pisos altitudinales que van desde los 150.0 m.s.n.m. hasta los 5600.0 m.s.n.m., con una altitud media de 4200.0 m.s.n.m.

El cauce principal de la cuenca de drenaje está determinado por la red hídrica del río Tambo, que recibe el aporte por la margen derecha de los ríos Coralaque, Ichuña y

Paltature; y por la margen izquierda de los ríos Vizcachas, Chilota y Carumas. La longitud del cauce principal es de 272.9 km desde su nacimiento hasta el punto de interés (sector de riego Santa Rosa Ventillata Ayanquera).

La red de drenaje de la cuenca posee una longitud total de cauces de ríos equivalente a 8827.9 km, la cual está conformada por el cauce principal y sus tributarios. La densidad de drenaje de la cuenca equivale a 0.66, lo cual sería considerada dentro de la categoría de baja densidad de drenaje, es decir, refleja una cuenca pobremente drenada con una respuesta hidrológica lenta, favoreciendo otros procesos como la infiltración (Linsley, 1977).

Con respecto a las zonas de vida predominantes del Dr. L. R. Holdridge en la cuenca del río Tambo, son la tundra muy húmeda alpino subtropical y páramo húmedo subalpino subtropical, los cuales abarcan una extensión de aproximadamente el 21.3% y el 15.3%, respectivamente. A continuación se presenta las zonas de vida identificadas y la distribución se visualiza en la Figura 4.

Tabla 21. Zonas de vida en la cuenca del río Tambo

Zonas de Vida	Código	Area (km ²)	%
Desierto árido montano subtropical	da-MS	392.42	3.05
Desierto árido montano templado cálido	da-MTc	0.86	0.01
Desierto desecado subtropical	dd-S	1816.46	14.12
Desierto perárido montano bajo subtropical	dp-MBT	1015.61	7.89
Desierto perárido templado cálido	dp-Tc	89.23	0.69
Desierto superárido montano bajo subtropical	ds-MBS	889.38	6.91
Matorral desértico montano bajo subtropical	md-MBS	432.41	3.36
Matorral desértico montano subtropical	md-MS	1000.26	7.77
Matorral desértico montano templado cálido	md-MTc	3.87	0.03
Matorral desértico subalpino subtropical	md-SaS	1522.31	11.83
Matorral desértico subalpino templado cálido	md-SaTc	18.78	0.15
Matorral desértico templado cálido	md-Tc	23.34	0.18
Nival subtropical	NS	208.24	1.62
Páramo húmedo subalpino subtropical	ph-SaS	1969.88	15.31
Páramo muy húmedo subalpino subtropical	pmh-SaS	676.96	5.26
Tundra muy húmeda alpino subtropical	tmh-AS	2741.95	21.31
Tundra pluvial alpino subtropical	tp-AS	67.05	0.52
Área total		12869.01	100.00

Fuente: *Elaboración propia con base en el Mapa Ecológico del Perú elaborada por la Oficina de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN, 1976)*

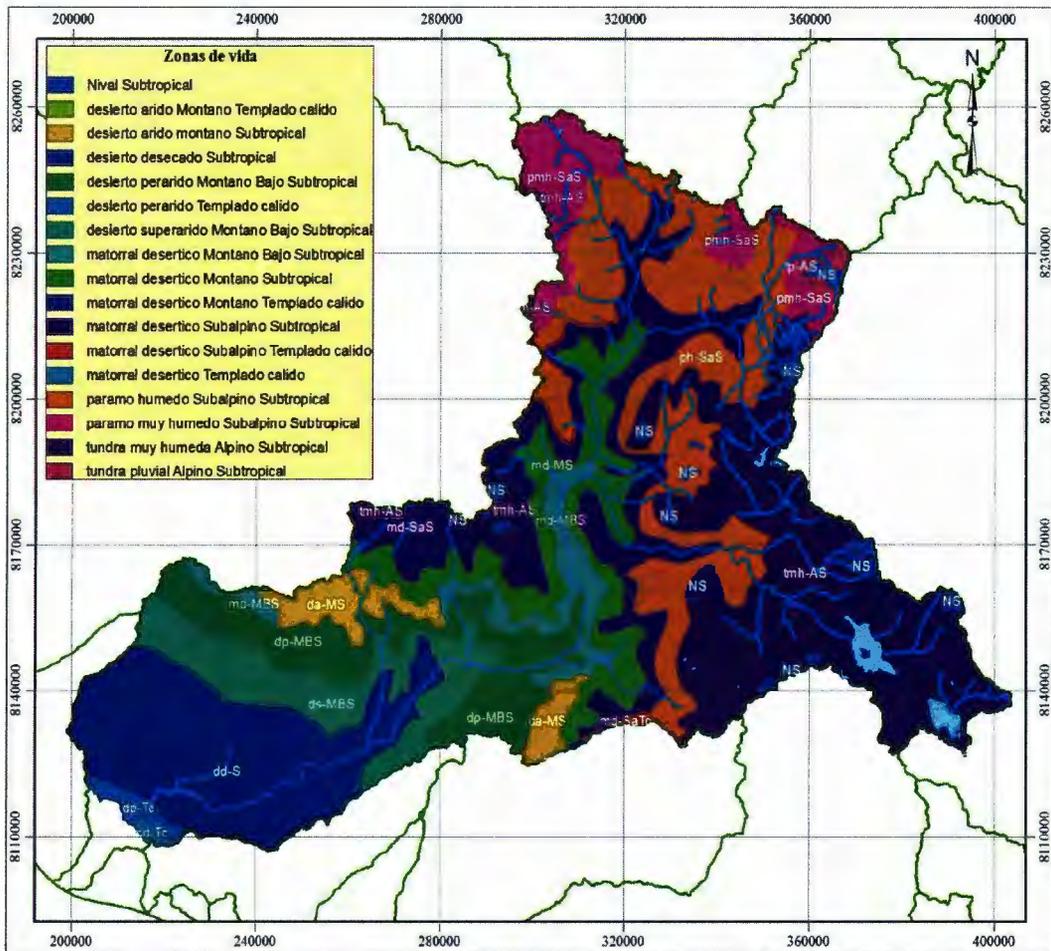


Figura 4. Zonas de vida en la cuenca del río Tambo

Fuente: Elaboración propia con base en el Mapa Ecológico del Perú elaborada por la Oficina de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN, 1976)

4.1.5. Caracterización Climática

La cuenca en estudio, forma parte de la red hidrográfica del río Tambo, dada su considerable extensión, abarcan importantes pisos altitudinales y comparten horizontes entre valles interandinos y sierra (desde los 150 m.s.n.m. hasta los 5600 m.s.n.m.), muchos de los cuales definen o caracterizan a las subcuencas de drenaje conformantes de este sistema; por tanto, la zona presenta una considerable variabilidad climatológica.

A nivel de la cuenca principal del río Tambo, se presentan diferentes tipos de comportamientos climáticos, pudiendo encontrarse desde un clima subtropical y templado con abundantes lluvias entre noviembre y marzo y días soleados entre abril y octubre, hasta llegar a las zonas andinas donde se manifiestan fenómenos de sequías, heladas y lluvias intensas, de manera diferente en cada uno de sus pisos ecológicos. Las temperaturas a su

vez están condicionadas por factores de altitud y relieve, disminuyendo por debajo de 0 °C durante las heladas meteorológicas.

Cabe mencionar que la caracterización climática ha sido realizada considerando las estaciones meteorológicas existentes más representativas ubicadas en la cuenca en estudio, dichas estaciones tienen altitudes que se encuentran entre los 75 msnm y 4600 msnm, indicando su representatividad e influencia en las cuencas.

A continuación, se presenta el análisis de los principales parámetros climatológicos:

a. Precipitación

La escorrentía superficial está en función del comportamiento de la precipitación, es necesario conocer su variabilidad mensual en cada una de las estaciones pluviométricas que registran el parámetro de precipitación total mensual, como se presenta en la Tabla 22 y se visualiza en las Figura 5 y Figura 6.

Tabla 22. Estaciones seleccionadas para la caracterización del parámetro precipitación total mensual

Cuenca	Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Cuenca Alta	Ichuña	157.3	131.8	93.9	36.2	5.6	5.9	4.0	5.2	7.6	17.4	35.2	89.3
	Ubinas	108.6	109.5	70.6	20.9	3.7	4.4	2.9	4.4	3.6	4.3	11.8	46.6
	Puquina	91.7	106.0	58.2	8.2	0.9	2.2	1.6	1.7	1.1	1.3	4.9	22.9
Cuenca Media	Carumas	138.8	153.9	101.1	16.1	3.3	6.6	2.6	6.9	6.8	3.9	8.1	56.1
	Omate	36.8	41.0	21.1	2.5	0.3	0.9	0.3	1.2	1.1	0.3	1.4	9.8
	Quinistaquillas	23.0	35.6	15.2	0.9	0.0	0.1	0.4	0.5	0.5	0.1	0.8	4.1
Cuenca Baja	La Haciendita	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Pampa Blanca	0.4	0.3	0.2	0.0	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.1	0.1	0.2

Fuente: Elaboración propia con base en la información del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

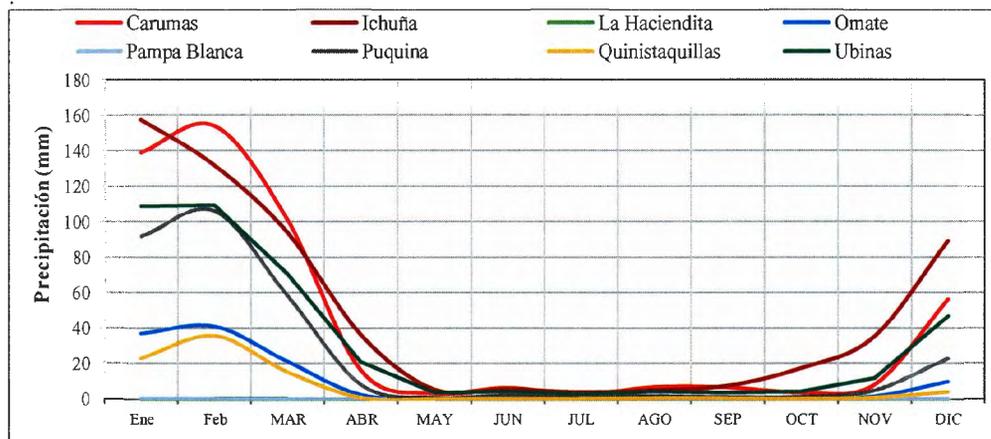


Figura 5. Variación mensual promedio de la precipitación total mensual (mm) en la cuenca del río Tambo

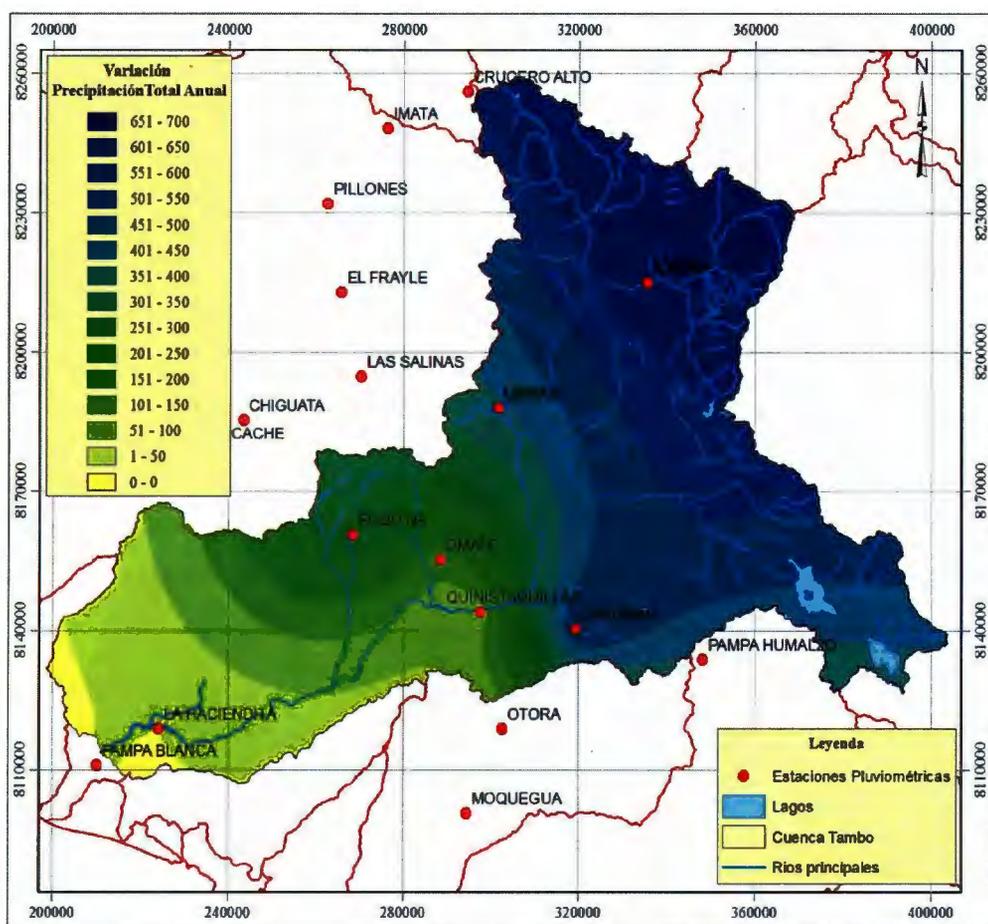


Figura 6. Variación de la precipitación promedio total anual mensual (mm) en la cuenca del río Tambo

b. Temperatura

La temperatura del aire está directamente relacionado con la altitud, así como por la exposición de la cuenca al movimiento solar diario (SENAMHI, 2010).

En el sector de estudio, el comportamiento de la temperatura se ha obtenido del análisis a la información de las series de registro de estaciones meteorológicas distribuidas a lo largo de las cuencas en análisis, siendo algunas de ellas consideradas por su representatividad y cercanía.

Tabla 23. Estaciones seleccionadas para la caracterización del parámetro temperatura

Cuenca	Estación	Temperatura °C		
		Máxima	Media	Mínima
Cuenca Alta	Ichuña	20.19	10.3	2.0
	Ubinas	18.90	11.4	4.0
	Puquina	20.82	13.8	8.0
Cuenca Media	Carumas	19.55	12.7	4.7
	Omate	25.21	17.9	7.4
	Quinistaquillas	29.52	20.9	12.0
Cuenca Baja	La Haciendita	25.82	20.1	14.4
	Pampa Blanca	24.74	20.3	16.1

Fuente: Elaboración propia con base en la información del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

Tabla 24. Variación mensual promedio de la temperatura máxima, mínima y media mensual (°C) en la cuenca alta, media y baja del río Tambo

Estación	Altitud (m.s.n.m.)	Temperatura °C																																			
		Ene			Feb			Mar			Abr			May			Jun			Jul			Ago			Sep			Oct			Nov			Dic		
		Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min	Max	Med	Min
Cuenca alta del Río Tambo																																					
Ichuña	4445	19.5	11.2	5.6	19.2	11.1	5.9	19.7	11.1	5.3	20.2	10.7	3.1	19.4	9.0	-0.5	18.8	7.8	-2.3	18.4	7.6	-2.6	19.9	8.9	-1.5	20.7	10.3	0.2	22.2	11.8	2.2	23.1	12.2	3.1	21.0	11.6	4.9
Ubinas	3491	18.6	12.4	6.5	17.5	11.7	6.7	18.3	12.1	6.4	19.1	11.6	5.0	18.7	10.0	2.8	18.2	9.1	1.7	17.7	9.0	1.5	19.0	10.2	2.4	19.6	11.4	3.4	20.1	13.0	4.4	20.4	13.6	4.6	19.7	13.3	5.6
Puquina	3284	20.5	13.5	8.0	19.0	12.6	8.1	19.7	13.4	8.3	20.7	14.0	8.4	20.6	13.7	8.2	20.2	13.5	8.0	19.8	13.0	7.6	21.0	13.9	8.1	21.7	14.3	7.9	22.3	14.7	8.0	22.3	14.7	7.6	21.9	14.5	7.7
Promedio		19.5	12.4	6.7	18.6	11.8	6.9	19.3	12.2	6.7	20.0	12.1	5.5	19.6	10.9	3.5	19.0	10.1	2.5	18.6	9.9	2.2	20.0	11.0	3.0	20.7	12.0	3.8	21.5	13.1	4.9	22.0	13.5	5.1	20.9	13.1	6.1
Cuenca media del Río Tambo																																					
Carumas	2976	18.8	12.6	5.5	18.1	12.1	5.7	18.9	12.4	5.6	19.7	12.7	5.0	19.6	12.5	4.4	19.4	12.3	3.8	19.2	11.9	3.5	19.9	12.5	3.9	20.3	12.9	4.3	20.5	13.4	4.8	20.4	13.7	4.9	19.8	13.2	5.0
Omote	2080	24.9	18.6	8.8	24.2	18.3	10.1	24.7	18.3	9.3	25.0	17.9	7.6	24.9	17.3	6.2	24.8	16.9	5.3	24.6	16.7	5.3	25.5	17.4	5.9	25.9	17.8	6.8	26.2	18.4	7.4	26.2	18.7	7.4	25.6	18.7	8.7
Quimistaquillas	1590	29.8	21.9	13.8	28.9	21.5	14.0	29.5	21.8	13.9	29.1	20.9	12.7	28.6	19.7	10.9	28.1	18.6	9.8	27.9	18.4	9.5	29.3	19.6	10.3	30.5	21.2	11.7	30.9	22.0	12.1	31.2	22.5	12.4	30.6	22.4	13.2
Promedio		24.5	17.7	9.4	23.7	17.3	9.9	24.4	17.5	9.6	24.6	17.2	8.4	24.4	16.5	7.2	24.1	15.9	6.3	23.9	15.7	6.1	24.9	16.5	6.7	25.5	17.3	7.6	25.9	18.0	8.1	25.9	18.3	8.3	25.4	18.1	9.0
Cuenca baja del Río Tambo																																					
La Hacienda	282	29.3	23.5	17.8	30.2	24.3	18.5	29.5	23.5	17.6	27.0	21.4	15.7	24.7	19.2	13.0	22.8	17.5	11.7	21.8	16.6	11.3	22.0	16.6	11.3	22.8	17.3	12.1	25.0	18.8	13.1	26.5	20.4	14.5	28.3	22.2	16.3
Pampa Blanca	100	29.0	24.4	19.8	29.8	24.9	20.0	29.0	23.9	18.7	26.5	21.4	16.4	23.9	19.1	14.6	21.6	17.3	13.4	20.5	16.6	13.3	20.3	16.4	13.3	20.8	17.0	13.7	23.0	18.7	15.2	25.2	20.8	16.7	27.3	22.7	18.3
Promedio		29.1	23.9	18.8	30.0	24.6	19.3	29.2	23.7	18.2	26.7	21.4	16.1	24.3	19.1	13.8	22.2	17.4	12.6	21.2	16.6	12.3	21.2	16.5	12.3	21.8	17.2	12.9	24.0	18.7	14.2	25.9	20.6	15.6	27.8	22.5	17.3

Fuente: Elaboración propia con base en la información del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

De acuerdo a los valores registrados por las estaciones meteorológicas distribuidos en la cuenca alta, media y baja del río Tambo, se obtuvo los valores de temperatura máxima, media y mínima mensual promedio característica para la cuenca del río Tambo, como se visualiza en la siguiente figura.

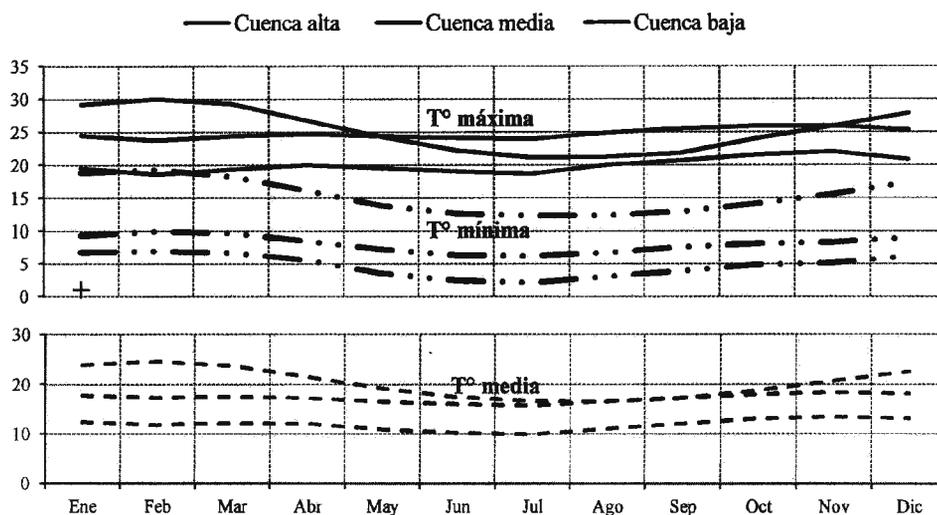


Figura 7. Variación mensual promedio de la temperatura máxima, mínima y media mensual (°C) en la cuenca alta, media y baja del río Tambo

Fuente: Elaboración propia con base en la información del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

c. Humedad Relativa

La atmósfera contiene una cantidad variable de vapor de agua durante el año. Las fuentes de humedad son distintas, desde la evaporación de los suelos, la vegetación, de los cuerpos de agua (ríos, lagunas y lagos), y en particular de las aportaciones de las masas de aires tropicales. (SENAMHI, 2012).

Con base en los registros de estaciones meteorológicas ubicadas en la cuenca hidrográfica, se procedió a realizar la caracterización del parámetro para la cuenca de drenaje, agrupándolas de acuerdo a las características representativas de la cuenca baja, media y alta, de manera similar a lo realizado con el parámetro de temperatura.

Tabla 25. Estaciones seleccionadas para la caracterización de la humedad relativa

Cuenca	Estación	Altitud (m.s.n.m.)	Latitud	Longitud	Humedad Relativa Promedio Multianual (%)
Cuenca alta	Ichuña	4445	70° 32' 14.1" O	16° 8' 26.7" S	68.1
	Ubinas	3491	70° 51' 24" O	16° 22' 57" S	57.5
	Puquina	3284	71° 10' 10" O	16° 37' 37" S	62.8
Cuenca media	Carumas	2976	70° 41' 40" O	16° 48' 47" S	58.8
	Omate	2080	70° 58' 57" O	16° 40' 39" S	61.0
	Quinistaquillas	1590	70° 53' 52" O	16° 46' 46" S	68.0
Cuenca baja	La Haciendita	282	71° 35' 19" O	16° 59' 57" S	75.5
	Pampa Blanca	100	71° 43' 22" O	17° 4' 7" S	73.6

Fuente: Elaboración propia con base en la información del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

Tabla 26. Variación mensual promedio de la humedad relativa media mensual (%) en la cuenca alta, media y baja del río Tambo

Estación	Altitud (m.s.n.m.)	Humedad relativa media mensual °C												
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Prom
Cuenca alta del río Tambo														
Ichuña	4445	76.2	79.6	77.8	71.5	67.3	65.3	65.3	62.3	61.9	57.8	61.5	70.3	68.1
Ubinas	3491	72.1	78.6	74.2	62.6	52.6	48.8	48.9	44.8	45.7	50.1	51.2	60.8	57.5
Puquina	3284	74.4	82.6	77.3	68.4	60.7	58.5	58.2	57.1	58.0	58.9	60.5	66.6	65.1
Promedio		74.2	80.3	76.4	67.5	60.2	57.5	57.5	54.7	55.2	55.6	57.7	65.9	63.6
Cuenca media del río Tambo														
Carumas	2976	73.5	78.5	71.3	64.0	56.0	54.7	51.0	47.1	47.0	50.2	51.4	61.0	58.8
Omate	2080	65.7	70.0	67.8	64.0	62.0	60.0	58.9	57.1	56.1	55.2	55.6	59.4	61.0
Quinistaquillas	1590	70.2	72.6	70.8	70.2	68.5	68.7	67.4	66.1	66.0	63.8	64.2	67.9	68.0
Promedio		69.8	73.7	69.9	66.0	62.2	61.1	59.1	56.8	56.4	56.4	57.1	62.7	62.6
Cuenca baja del río Tambo														
La Haciendita	282	74.1	75.9	76.8	75.5	75.0	75.8	77.0	77.7	77.2	74.6	73.3	73.6	75.5
Pampa Blanca	100	70.9	70.2	71.8	72.8	73.5	75.0	76.8	77.8	77.3	74.8	71.1	70.9	73.6
Promedio		72.5	73.1	74.3	74.1	74.2	75.4	76.9	77.7	77.3	74.7	72.2	72.3	74.6

Fuente: Elaboración propia con base en la información del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

De acuerdo a los valores registrados por las estaciones meteorológicas distribuidos en la cuenca alta, media y baja del río Tambo, se obtuvo los valores de humedad relativa mensual promedio característicos para la cuenca del río Tambo, como se visualiza en la siguiente figura.

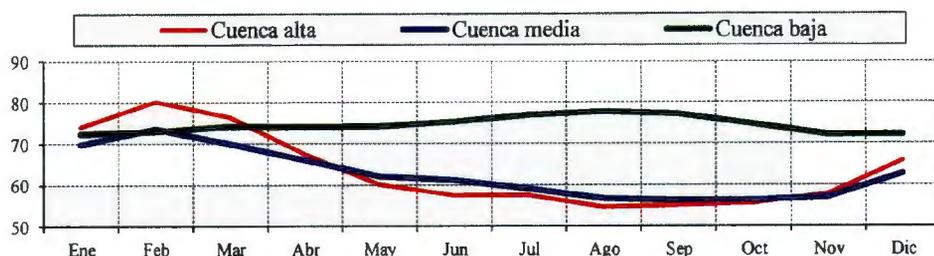


Figura 8. Variación mensual promedio de la humedad relativa media mensual (%) en la cuenca de drenaje

Fuente: Elaboración propia con base en la información del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

d. Horas de Sol

La caracterización de la cuenca de drenaje con respecto al parámetro de horas de sol se ha considerado con base en los registros de las siguientes estaciones meteorológicas:

Tabla 27. Estaciones seleccionadas para la caracterización del parámetro de horas de sol total mensual

Estación	Altitud (m.s.n.m.)	Latitud	Longitud	Horas de sol promedio multianual (hrs)
Pampa Blanca	100	71° 43' 22" O	17° 4' 7" S	176.6
Carumas	2976	70° 41' 40" O	16° 48' 47" S	224.3
Quinistaquillas	1590	70° 53' 52" O	16° 46' 46" S	241.6
Puquina	3284	71° 10' 10" O	16° 37' 37" S	255.9

Fuente: Elaboración propia con base en la información del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

De acuerdo a los valores registrados por las estaciones meteorológicas distribuidos en la cuenca alta, media y baja del río Tambo, se obtuvo los valores de horas de sol característicos para la cuenca del río Tambo, como se presenta a continuación:

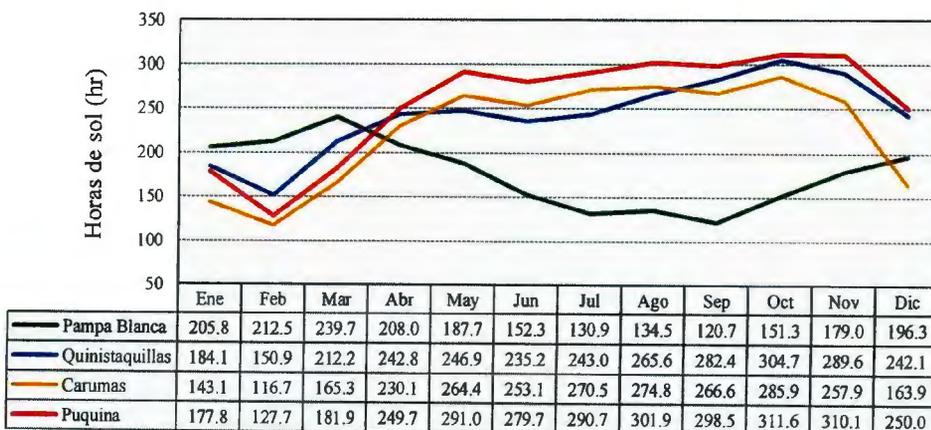


Figura 9. Variación mensual promedio de las horas de sol promedio total mensual en la cuenca de drenaje

Fuente: Elaboración propia con base en la información del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

e. *Velocidad del viento*

La velocidad de viento se encuentra bajo la influencia de la geomorfología del terreno, la gradiente térmica en la zona y el desplazamiento de las masas de aire entre las zonas bajas y altas. Para la caracterización se utilizará la escala de Beaufort, la cual es una medida empírica para la intensidad del viento expresada en km/h (1 m/s = 3.6 km/h), según se expresa en la siguiente tabla:

Tabla 28. Escala de Beaufort

Número de Beaufort	Velocidad del viento (km/h)	Denominación
0	0 a 1	Calma
1	2 a 5	Ventolina
2	6 a 11	Brisa muy débil
3	12 a 19	Brisa Ligera
4	20 a 28	Brisa moderada
5	29 a 38	Brisa fresca
6	39 a 49	Brisa fuerte
7	50 a 61	Viento fuerte
8	62 a 74	Viento duro
9	75 a 88	Temporal fuerte
10	89 a 102	Temporal duro
11	103 a 117	Temporal muy duro
12	> 118	Temporal huracanado

Fuente: Beaufort, 1806

Las estaciones meteorológicas que poseen registros de velocidad de viento en la cuenca del río Tambo son las siguientes:

Tabla 29. Estaciones meteorológicas usadas para la determinación velocidades del viento cuenca río Tambo

Cuenca	Estación	Altitud (m.s.n.m.)	Longitud	Latitud	Dirección predominante	Velocidad promedio multianual (m/s)
Alta	Ichuña	3792	70° 32' 14.1" O	16° 08' 26.7" S	E	1.3
	Ubinas	3491	70° 51' 24" O	16° 22' 57" S	NW	2.4
Media	Omate	2080	70° 58' 57" O	16° 40' 39" S	SE	2.4
	Quinistaquillas	1590	70° 53' 52" O	16° 46' 46" S	SW	2.3
Baja	La Haciendita	282	71° 35' 19" O	16° 59' 57" S	NW	3.5
	Pampa Blanca	100	71° 43' 22" O	17° 4' 7" S	SW	2.6

Fuente: Elaboración propia con base en la información del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

La caracterización del parámetro de velocidad del viento en el área de estudio, se llevará a cabo, teniendo en consideración la cuenca baja, media y alta del río Tambo, en vista que la cuenca tienen una extensión considerable, identificando las estaciones más representativas dentro de cada uno de esta división de la cuenca principal. En el siguiente gráfico, se muestra la distribución mensual promedio de las velocidades registradas para las estaciones meteorológicas de la zona alta, media y baja.

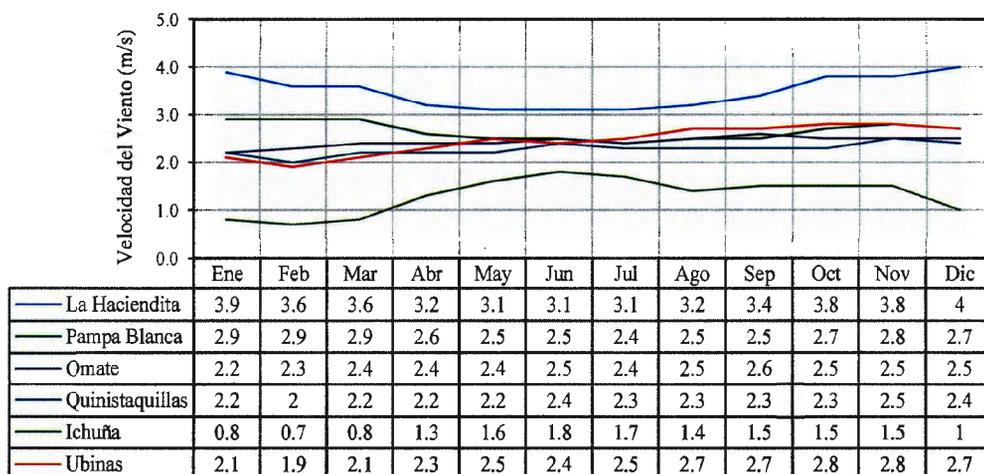


Figura 10. Variación mensual promedio de la velocidad de vientos (m/s) en la cuenca del río Tambo

Fuente: Elaboración propia con base en la información del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

Del registro de velocidades del viento para la cuenca baja se tiene un valor promedio de 3.1 m/s (11.16 km/h), que según la escala de Beaufort son consideradas como brisas muy débiles, el mayor valor promedio mensual es de 3.4 m/s y se da en el mes de enero.

Para las estaciones consideradas en la cuenca media, se tiene un valor promedio de 2.4 m/s (8.6 km/h), que según la escala de Beaufort son considerados como brisas muy débiles, el mayor valor promedio mensual es de 2.5 m/s y se da en el mes de noviembre.

Para la cuenca alta, se tiene un valor promedio de 1.9 m/s (6.8 Km/h), del mismo modo según la escala de Beaufort son brisas muy débiles, el mayor valor promedio mensual es de 2.2 y se da en el mes de noviembre.

Con respecto a la dirección del viento en la zona son variables, tanto para la parte baja, como para las partes media y alta, sin embargo los vientos predominantes tienen una dirección con rumbo hacia SW.

f. Evaporación

La caracterización de la evaporación promedio referencia la tasa de pérdidas dentro de un balance hidrológico de una determinada área.

En la siguiente gráfica, se presenta la variabilidad de la evaporación total mensual en un año promedio:

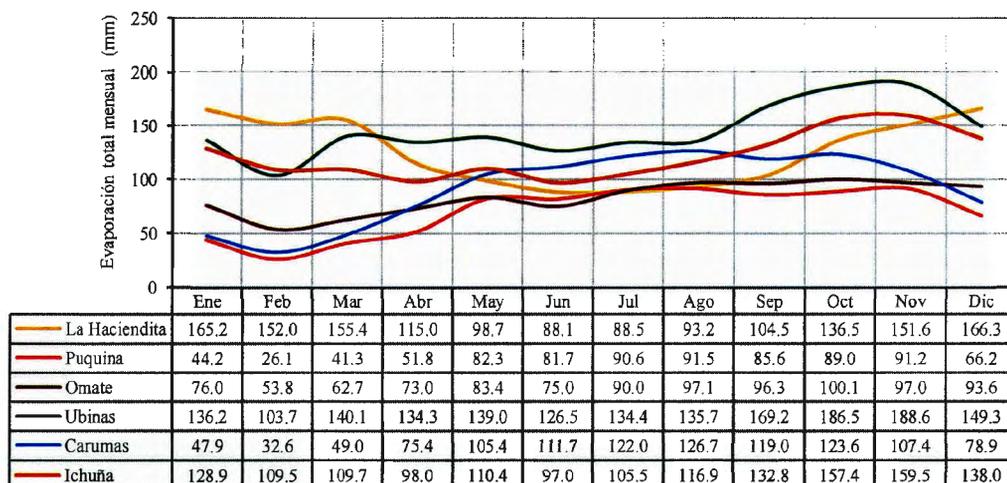


Figura 11. Variación mensual promedio de la evaporación total (mm) en la cuenca del río Tambo

Fuente: Elaboración propia con base en la información del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

De acuerdo a los valores registrados de evaporación mensual para la cuenca en análisis, se tiene un promedio mensual multianual de 106.4 mm, una máxima promedio multianual de 117.9 mm y una mínima promedio multianual de 79.6 mm, correspondiente al mes de febrero. Apreciándose un comportamiento característico de la evaporación, con picos y máximas en los periodos de estiaje (mayo a septiembre) y mínimos durante el periodo de lluvias de octubre a abril.

4.2. MATERIALES

A continuación se detalla la descripción de los principales materiales utilizados, donde se indica el principal uso de cada uno de ellos:

Tabla 30. Descripción de materiales

Software	Descripción
HEC-HMS	El Sistema de Modelación Hidrológica (HEC-HMS) será utilizado para simular los procesos hidrológicos completos del sistema de la cuenca del río Tambo, incluyendo procedimientos de análisis hidrológico tradicional como la infiltración de eventos, hidrogramas unitarios, etc.
HEC-RAS	El HEC-RAS (River Analysis System) es un programa que será utilizado para definir las planicies de inundación, es decir determinar el nivel del agua en cada sección transversal en el tramo de estudio en el río Tambo.
HIDROESTA	Herramienta en base al visual basic, que será utilizado para evaluar si la serie de datos observados en cada una de las estaciones pluviométricas se ajustan a una serie de distribuciones (normal, log normal, gamma 2 parámetros, etc.), determinando las precipitaciones máximas para diferentes periodos de retorno.
SURFER	Es un programa de gráficos basado en grid, interpolando datos XYZ irregularmente espaciados en una rejilla regularmente espaciados, que será utilizado para producir mapas de contorno de precipitaciones de diseño para diferentes periodos de retorno.
ARCGIS	Software que será utilizada para el geoprocesamiento de la información cartográfica (contornos), para definir los principales parámetros morfométricos, y de los MDE de precipitación de diseño, para el cálculo de las precipitaciones ponderadas.
AUTOCAD CIVIL 3D	Software que será utilizada para procesar datos georeferenciados que permite realizar la preparación de los datos geométricos para importarlos en HEC-RAS.

4.3. METODOLOGÍA

La metodología ha sido agrupada en tres grupos, con la finalidad de detallar cada uno de los pasos para desarrollar los objetivos del estudio. A continuación se presenta el diagrama de flujo de la metodología aplicada en el estudio:

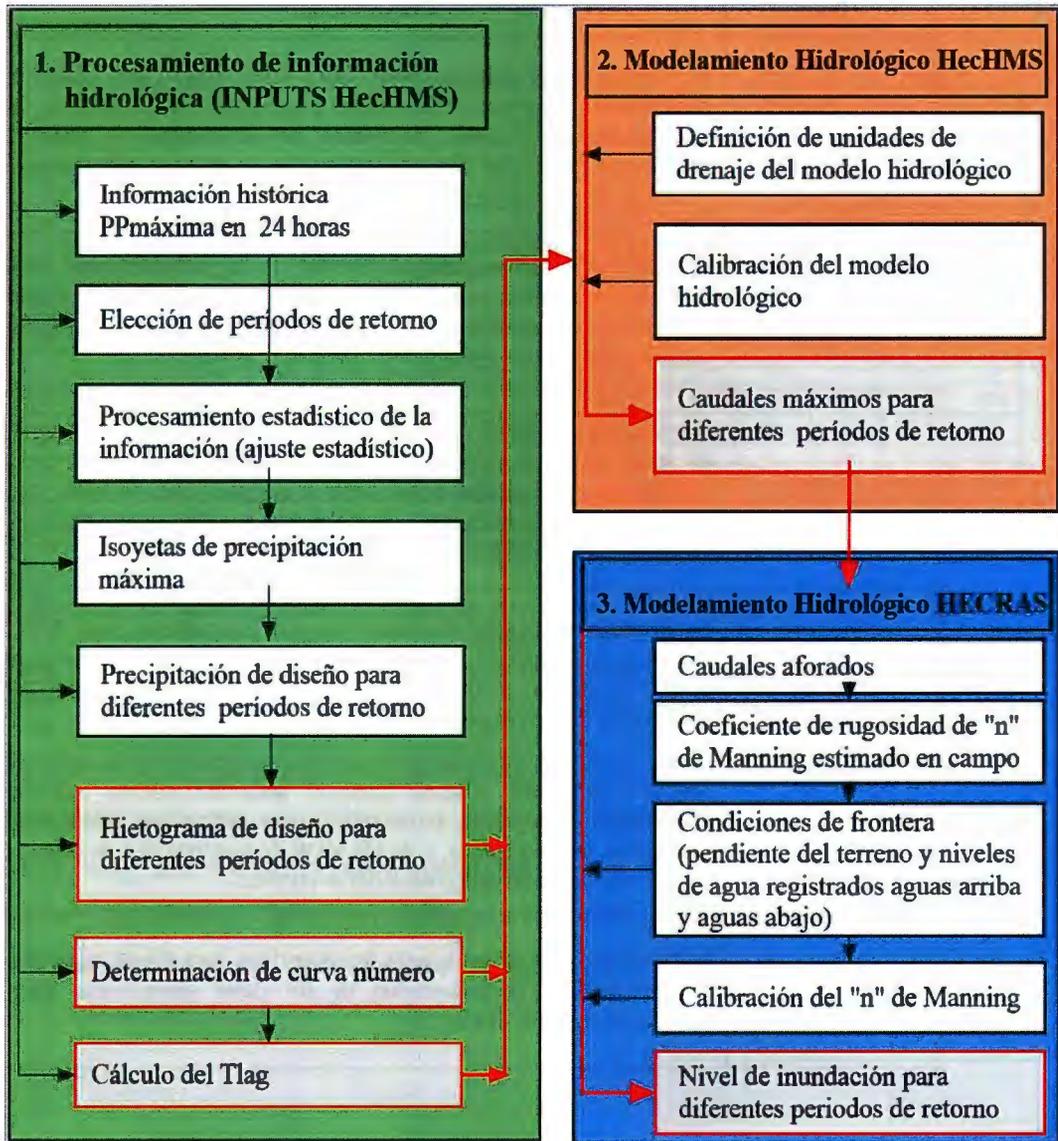


Figura 12. Diagrama de flujo de la metodología aplicada en el estudio

4.3.1. Preparación de la información hidrológica

a. Información histórica de precipitación máxima en 24 horas

Para el cálculo de máximas avenidas, se ha utilizado los registros de precipitación máxima en 24 horas de 19 estaciones ubicadas en la cuenca del río Tambo, y en las cuencas aledañas de Quilca-Vitor-Chili y Moquegua, como se detalla en el ítem 3.1, con un registro no menor a 10 años.

Con base en los registros mensuales de precipitación máxima en 24 horas, reportados para las estaciones seleccionadas, se presenta en la Tabla 31, los registros anuales de precipitación máxima en 24 horas usados para la evaluación de la cuenca.

Tabla 31. Precipitación máxima en 24 horas - Cuenca Tambo

Año	Ichuña	Ubinas	Puquina	Ormate	Quinistaquillas	Carumas	La Hacienda	Pampa Blanca	Chiguata	El Frayle	Huasacahu	Imata	La Joya	Las Salinas	Pillones	Crucero alto	Pampa Humalzo	Moquegua	Otora
1983	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	-	15.4	0.0	-	23.8	20.0	7.4	-	-
1984	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	-	29.3	3.0	-	28.0	28.3	26.1	-	-
1985	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	-	34.9	2.3	-	20.1	22.9	3.7	-	-
1986	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	-	27.8	18.7	-	32.0	19.2	10.2	-	-
1987	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	12.6	-	23.9	0.0	-	13.6	14.4	11.1	-	-
1988	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	-	20.1	0.1	-	30.1	18.8	13.1	-	-
1989	18.6	18.6	18.6	18.6	18.6	18.6	18.6	18.6	18.6	18.6	-	18.2	1.3	-	17.0	19.2	26.8	-	-
1990	58.5	58.5	58.5	58.5	58.5	58.5	58.5	58.5	58.5	58.5	-	37.0	4.0	-	31.7	18.0	-	-	-
1991	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	23.5	-	31.0	0.0	-	36.0	19.5	-	-	-
1992	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2	18.2	-	27.1	1.2	-	23.8	13.9	5.4	-	-
1993	24.7	24.7	24.7	24.7	24.7	24.7	24.7	24.7	24.7	24.7	-	27.6	0.7	-	50.5	22.6	14.4	-	-
1994	39.0	39.0	39.0	39.0	39.0	39.0	39.0	39.0	39.0	39.0	11.8	28.6	0.0	-	30.8	32.1	17.0	-	-
1995	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	19.6	27.7	0.0	41.2	22.6	31.8	6.0	-	-
1996	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4	21.4	8.3	23.9	0.0	21.1	16.9	27.6	12.1	-	-
1997	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	21.6	33.3	22.7	1.9	21.5	21.0	27.4	31.5	-	-
1998	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	15.0	30.6	0.5	24.5	26.4	23.6	26.3	2.9	-
1999	25.7	25.7	25.7	25.7	25.7	25.7	25.7	25.7	25.7	25.7	8.8	57.2	0.0	42.3	26.6	32.7	27.7	4.4	-
2000	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	11.1	21.9	0.5	20.6	22.1	21.9	15.0	6.0	-
2001	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	13.4	8.4	52.5	2.4	27.2	25.1	25.9	26.9	9.3	-
2002	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	9.0	25.5	1.0	42.0	35.7	30.6	23.4	7.8	-
2003	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	11.7	6.5	23.8	0.0	19.5	15.6	15.7	16.1	0.3	6.6
2004	28.4	28.4	28.4	28.4	28.4	28.4	28.4	28.4	28.4	28.4	5.5	32.5	2.3	39.6	26.4	28.2	25.1	4.6	17.7
2005	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	20.1	5.6	31.4	0.0	28.4	21.3	35.3	23.0	1.2	15.2
2006	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	28.3	9.6	55.4	0.0	21.2	30.4	23.4	21.0	2.4	8.8
2007	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	8.1	28.2	6.7	24.4	25.6	32.5	32.7	5.7	5.2
2008	28.2	28.2	28.2	28.2	28.2	28.2	28.2	28.2	28.2	28.2	22.5	30.2	5.4	32.8	23.1	15.4	12.8	5.0	15.6
2009	43.6	43.6	43.6	43.6	43.6	43.6	43.6	43.6	43.6	43.6	7.0	33.0	0.0	18.2	22.3	32.7	16.6	1.2	4.7
2010	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	32.5	3.5	27.5	0.6	13.6	21.0	33.8	12.8	4.3	6.2
2011	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	17.8	48.8	30.7	1.5	24.8	32.1	27.9	26.4	5.4	18.5
2012	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	21.2	29.7	35.4	4.0	20.4	34.9	37.1	15.4	11.3	24.7
2013	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	18.4	20.9	38.8	1.2	37.6	20.8	23.8	-	4.3	24.6

Fuente: Elaboración propia con base en la información del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

b. Elección del periodo de retorno

En la elección del periodo de retorno se ha considerado los valores recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje en el Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje desarrollada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en el 2008, como se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 32. Valores recomendados de riesgo admisible de obras de drenaje

TIPO DE OBRA	RIESGO ADMISIBLE (*) (%)
Puentes (*)	22
Alcantarillas de paso de quebradas importantes y badenes	39
Alcantarillas de paso quebradas menores y descarga de agua de cunetas	64
Drenaje de la plataforma (a nivel longitudinal)	64
Subdrenes	72
Defensas Ribereñas	22

(*) - Para obtención de la luz y nivel de aguas máximas extraordinarias.
- Se recomienda un período de retorno T de 500 años para el cálculo de socavación.

(**) - Vida Útil considerado n=25 años.
- Se tendrá en cuenta, la importancia y la vida útil de la obra a diseñarse.
- El Propietario de una Obra es el que define el riesgo admisible de falla y la vida útil de las obras.

Fuente: MTC, 2006

c. Procesamiento estadístico de la precipitación máxima en 24 horas

El procesamiento estadístico de los registros históricos de la precipitación máxima en 24 horas de las estaciones consideradas, ha sido elaborada con el objeto de evaluar el mejor ajuste estadístico utilizando todas las distribuciones de probabilidad disponibles (Normal, Log Normal 2 parámetros, Gumbel, Log Gumbel, etc.), en el software HIDROESTA, desarrollado por el Ing. Máximo Villón (2004). Para ello se ha considerado como mejor ajuste, el menor valor de delta y que también dicho valor se acerque al promedio de todas distribuciones que aplicaron.

d. Generación de isoyetas de la precipitación máxima

Con la finalidad de obtener la precipitación ponderada para un periodo de retorno determinado, sobre el área de la cuenca, se aplicó el métodos de las isoyetas, que consiste en localizar en un espacio georeferenciado las estaciones pluviométricas, para luego trazar curvas de igual valor de precipitación, considerando de esta manera los efectos orográficos.

e. Cálculo de la precipitación de diseño

La precipitación de diseño para los diferentes periodos de retorno, para cada una de las unidades de drenaje del modelo, se obtuvo a partir del promedio ponderado del área entre curvas de isoyetas y el valor de las isoyetas, aplicando la siguiente ecuación:

$$P = \frac{P_1 * A_1 + P_2 * A_2 + \dots + P_n * A_n}{A_{total}}, P = \sum \frac{A_i}{A_{Total}} \times P_i \text{ (Chow, 1994)}$$

Dónde: P es la precipitación promedio del componente en mm, A_i es el área entre cada dos curvas isoyetas en km², A es el área total de la cuenca en km², y P_i es la precipitación media entre cada dos isoyetas en mm.

L.L. Weiss en base a un estudio de miles de estaciones año de datos de lluvia, encontró que los resultados de un análisis probabilístico llevado a cabo con lluvias máximas anuales tomados en un único y fijo intervalo de observación (24 horas) al ser incrementado en un 13% conducían a magnitudes más aproximadas a las obtenidas con lluvias máximas verdaderas. (Campos, 1999)

f. Determinación de los hietogramas de diseño

Una vez obtenida la información de precipitación de diseño de cada uno de las unidades de drenaje del modelo hidrológico, se procedió a realizar la generación de los hietogramas de diseño, es decir la distribución temporal de las precipitaciones máximas en 6 horas. Para ello utilizaremos la metodología del SCS, descrita en el ítem 3.2.3.

g. Determinación del valor de curva número

La definición del valor de curva número (CN) en la cuenca del río Tambo, ha sido elaborado utilizando el método del Número de Curva del Soil Conservation Service (SCS), detallado en el subcapítulo 3.2.3. Para ello se ha considerado como información básica para el cálculo, las principales características de cada una de las zonas de vida de

Holdridge identificadas en la cuenca, como son: el relieve, la vegetación, el uso actual y potencial del suelo y el comportamiento climatológico.

Así mismo se estimó la retención potencial en mm y la abstracción inicial en mm, con el método del SCS, reemplazando el valor de curva número ponderado para la cuenca, en las siguientes fórmulas: $S = \frac{25400}{NC} - 254$ y $I_a = 0.2 S$, respectivamente.

h. Cálculo del tiempo de retardo (Tlag)

La metodología utilizada para el cálculo del Tlag es la fórmula modificada de Snyder, ya que las unidades de drenaje que conforman la cuenca tienen áreas mayores a los 30 km². Véase el detalle de la metodología en el ítem 3.2.3.

4.3.2. Modelo hidrológico con HEC-HMS

El análisis de máximas avenidas de la cuenca del río Tambo, fue realizado con base a un modelo hidrológico de la cuenca limitada en función al tramo de interés (sector de riego Santa Rosa Ventillata Ayanquera). El modelo hidrológico utilizado es el Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System (HEC-HMS), para ello se representa la cuenca como un sistema de unidades de drenaje interconectados entre sí, como se muestra a continuación:

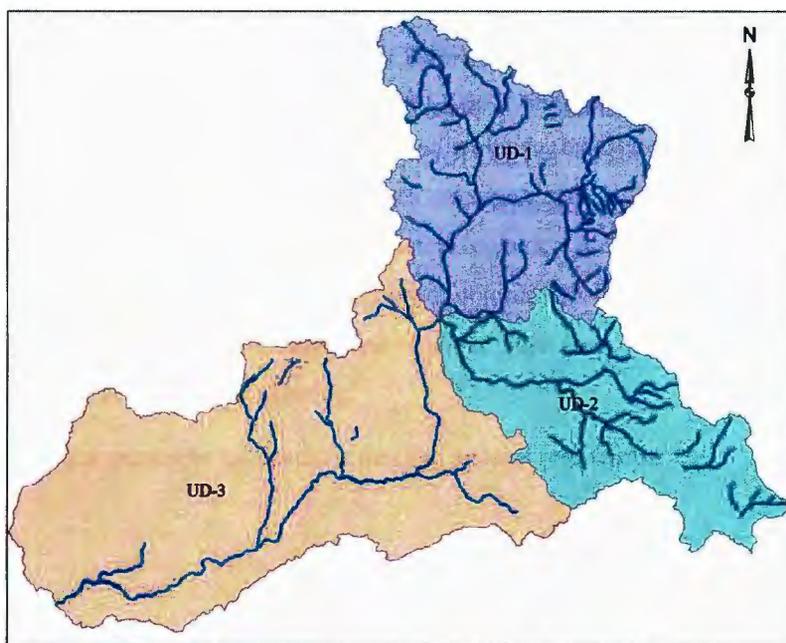


Figura 13. Unidades de drenaje del Modelo Hidrológico – Cuenca río Tambo

a. Variables para evaluación del modelo hidrológico

En el proceso de verificación de resultados del modelo HEC-HMS, se sensibilizó la variable de mayor incidencia en la escorrentía superficial, que es el valor de curva número, el cual depende de la clasificación de tipos de suelo y de la cobertura vegetal, para cada una de las unidades de drenaje del modelo. Para ello se plantearon dos escenarios para la evaluación de los resultados, como se detalla a continuación:

- Primer escenario: Cálculo del valor del curva número considerando sólo como condición de humedad antecedente tipo II (media), para cualquier zona de vida identificada en cada componente del modelo.
- Segundo escenario: Cálculo del valor de curva número considerando las condiciones de humedad antecedente tipo II (media) y III (húmeda), elegidas según las características de la zona de vida identificada para cada componente del modelo, que dependía básicamente del tipo de suelo y del comportamiento de la lluvia en la zona.

b. Calibración del modelo hidrológico

i. Caudal estimado de los datos recopilados en campo y procesados en HEC RAS

La calibración se basa en la estimación de un caudal máximo utilizando la información obtenida en campo: secciones obtenidas del levantamiento batimétrico (superficie del cauce y márgenes) y la huella del nivel de agua alcanzado en un evento de máximas avenidas, observada durante la inspección de campo, como se aprecia en la Figura 14, e ingresar dicha información al HEC RAS para estimar la velocidad en esas condiciones; y con ello obtener el caudal máximo.



Figura 14. Identificación de la huella del nivel de agua alcanzado durante un evento de máximas avenidas

ii. Comparación con caudales máximos generados a partir de caudales máximos anuales registrados

La calibración fue realizada mediante la comparación de los caudales máximos de la cuenca del río Tambo limitada hasta el sector de estudio, aplicando el modelo hidrológico HEC HMS; con los caudales máximos de la cuenca del río Tambo para diferentes periodos de retorno que han sido generados a partir de los registros de caudales máximos anuales de la estación hidrométrica Chucarapi, que fue distribuida mediante pruebas estadísticas similar a la aplicada para las precipitaciones máximas, con la aplicación del software Hidroesta. Así mismo se aplicó esta última metodología de distribuciones estadísticas para las estaciones hidrométricas Charcani y Shibaya, ubicadas en las cuencas aledañas de los ríos Quilca e Ilo; para luego mediante una relación entre áreas de drenaje y escorrentía directa generada, verificar los resultados.

A continuación se presentan los caudales máximo anuales registrados:

Tabla 33. Caudales máximos anuales registrados en las cuencas Tambo, Quilca e Ilo, con áreas de drenaje de 12953.36 km², 4031.23 km² y 472.32 km², respectivamente

Años	Estaciones Hidrométricas		
	Chucarapi	Charcani	Shivaya
1960	450	59.3	-
1961	350	107.7	-
1962	500	146.5	-
1963	480	146.2	-
1964	180	40.6	-
1965	100	29.2	-
1966	150	43.3	-
1967	250	78.5	9.7
1968	610	105	14.7
1969	444	63.1	-
1970	510	69.2	5.1
1971	260	78.2	8.5
1972	540	78.2	8.5
1973	834.6	197.1	-
1974	-	183.9	-
1975	857.6	112.8	-
1976	295.3	86.8	-
1977	340.5	-	42
1978	426	50.1	5
1979	64.9	9.7	2.8
1980	51.2	9.2	-
1981	769	80.1	-
1982	575.1	17.1	3.5
1983	58	9.2	1.2
1984	617.6	-	4
1985	630	88.6	7.5
1986	670	157.6	5.5
1987	-	41.2	5.5
1988	450	53	2
1989	455.7	50.7	3.8
1990	52	10.9	5.8
1991	600.7	108.8	5.8
1992	80	-	0.8
1993	230	59.8	0.5
1994	550	-	-
1995	305	-	18
1996	450	-	5
1997	500	19.4	-
1998	193.3	22.5	-
1999	430	-	27.5
2000	370	85.4	9.5
2001	967	174	51.2
2002	620	208.3	5.2
2003	88.5	46	-
2004	566.7	-	-
2005	406.7	-	-
2006	369.5	95.9	-
2007	153.7	-	-

Fuente: MINAG-ANA, 2010

4.3.3. Modelo hidráulico con HEC-RAS

El modelo hidráulico que se aplicó para el cálculo del perfil de inundación, es el Hydrologic Engineering Center River Analysis System (HEC-RAS), para ello es necesario conocer los parámetros de entrada, no sólo el caudal pico que ya ha sido generado aplicando el Hydrologic Engineering Center Hydrologic Modeling System (HEC-HMS), sino también las condiciones de frontera (pendientes de la superficie aguas arriba y aguas abajo), y los valores de coeficientes de rugosidad de Manning estimados en el cauce y márgenes del río.

Para la estimación del coeficiente de rugosidad de Manning se realizó una calibración del valor sugerido por las condiciones observadas in situ, en el cauce de río, haciendo el uso del modelo HEC-RAS; utilizando como datos de entrada lo registrado, durante los trabajos de campo; es decir el caudal aforado y el nivel de agua registrado por el levantamiento topo-batimétrico.

a. Aforo de caudales

Durante la fase campo se realizó el aforo de caudales en el río Tambo el día 17 de junio del 2015, con el método del correntómetro, ubicada en las coordenadas Sistema UTM Datum WGS84 – Zona 19L Sur: 210 495m Este y 8 113 558m Norte, ubicado aguas abajo de la estación hidrométrica La Pascana y aguas arriba de la estación Chucarapi, parte baja de la cuenca del río Tambo.

b. Estimación del coeficiente de rugosidad de Manning

Para la estimación del coeficiente de rugosidad “n” de Manning se describe las principales características físicas del cauce según lo observado en campo, así como los materiales conformantes del mismo. A continuación se detalla lo identificado en campo:

Tabla 34. Descripción del cauce y márgenes del río, con fines de obtener el coeficiente de rugosidad de Manning

<p>Margen izquierda:</p> <p>Llanura de inundación (material depositado no consolidado de arenas y limos) limitada por enrocado de protección artesanal, siendo la transición hacia la terraza superior con pendiente leve, con presencia de suelos finos con vegetación arbustiva y zona de cultivos.</p>	
<p>Cauce de río:</p> <p>Se identificó zonas con presencia de material de arrastre, suelos finos, gravas y arenas.</p>	
<p>Margen derecha:</p> <p>Presencia de suelos finos, sobre el cuál se aprecia vegetación (pasturas y arbustos cortos).</p>	

c. Condiciones de frontera para el modelo

Para el cálculo del nivel de inundación para los periodos de retorno definidos, se deben establecer las condiciones de frontera del modelo, tanto aguas arriba como aguas abajo, del tramo del río que se desea simular. Estas condiciones de frontera, se refieren principalmente a las condiciones del flujo a lo largo del tramo de análisis y las pendientes existentes en el cauce del río para ambas ubicaciones, la condición del flujo establecido es de tipo mixto (flujo subcrítico y supercrítico) y el caudal es establecido para todo el tramo de análisis y corresponde al caudal de máximas avenidas.

d. Calibración del coeficiente de rugosidad de “n” de Manning

En vista que la precisión del modelo hidráulico, estará en función de la información recabada en campo y de los datos suministrados o ingresados para el cálculo, es que se realizó la calibración del parámetro más sensible obtenido de campo y contrastado con los cálculos de gabinete (coeficiente “n” de Manning). Para ello se desarrolló el modelamiento hidráulico con HEC-RAS, con base en la siguiente información:

- Los coeficientes de rugosidad “n” de Manning seleccionados para el modelo de calibración, para ambas márgenes y cauce.
- Levantamiento batimétrico: del cual se obtendrán el modelo de elevaciones y las secciones del río, además de las condiciones de frontera (pendiente aguas arriba y aguas abajo).
- Caudal aforado, niveles de agua registrados en la sección y velocidades a lo ancho de la misma.

Todo ello con la finalidad de establecer una relación entre las velocidades y tirantes de agua obtenidos durante la fase campo y los obtenidos con la aplicación del modelo. Para tales fines se debe cumplir con lo siguiente:

- El caudal ingresado para el modelo es aquel aforado en el punto de análisis, durante la fase de campo.
- Se identificó la sección representativa donde se realizó el aforo y la correspondiente en el modelo hidráulico (sección batimétrica).
- Del análisis del modelo se estableció el coeficiente “n” de Manning que permita obtener un nivel de agua o tirante muy similar al nivel registrado durante el aforo en campo y la velocidad respectiva.

Para obtener dichos valores a comparar, se evaluaron las secciones modificando los valores de rugosidad del cauce, hasta obtener valores similares a la velocidad, tirante promedio aforado y/o espejo de agua registrado en la sección donde se realizó la medición.

V. RESULTADOS Y DISCUSION

5.1. Resultados de la procesamiento de información hidrológica

Con la información disponible de los registros anuales de precipitación máxima en 24 horas, se determinó qué tipo de ajuste presenta una mejor correlación para cada estación estudiada. En la siguiente tabla, se presentan los valores de ajuste (delta) para cada distribución aplicada a cada estación.

Tabla 35. Ajuste de la precipitación en 24 horas para cada una de las estaciones utilizadas

Estación	Distribución	Tipo de Ajuste	Valor Delta
Ichuña	Normal	Momentos Lineales	0.085
Ubinas	Log Normal 2 Parámetros	Momentos Lineales	0.0650
Puquina	Normal	Momentos Lineales	0.0870
Omate	Log Normal 3 Parámetros	Parámetros Ordinarios	0.0751
Quinistaquillas	Gamma 3 Parámetros	Momentos Lineales	0.0441
Carumas	Gamma 3 Parámetros	Momentos Lineales	0.0504
La Haciendita	Gumbel	Parámetros Ordinarios	0.4219
Pampa Blanca	Gumbel	Momentos Lineales	0.1038
Chiguata	Gamma 3 Parámetros	Momentos Lineales	0.0653
El Frayle	Log Gumbel	Parámetros Ordinarios	0.0948
Huasacache	Log Normal 3 Parámetros	Parámetros Ordinarios	0.0915
Imata	Log Normal 3 Parámetros	Parámetros Ordinarios	0.0864
La Joya	Gumbel	Momentos Lineales	0.2035
Las Salinas	Gamma 3 Parámetros	Momentos Lineales	0.1125
Pillones	Log Normal 2 Parámetros	Parámetros Ordinarios	0.0616
Crucero Alto	Normal	Momentos Lineales	0.0873
Pampa Umalzo	Normal	Momentos Lineales	0.1128
Moquegua	Gamma 3 Parámetros	Momentos Lineales	0.1355
Otora	Gamma 3 Parámetros	Momentos Lineales	0.1342

Fuente: Elaboración propia con base en la información procesada en el software Hidroesta

El valor del periodo de retorno ha sido considerando según los valores recomendados para obras de defensas ribereñas por el MTC, para ello se asume un riesgo admisible de 22% y una vida útil de 25 años, y con ello obtenemos un periodo de retorno de 100 años; pero debido a que lo recomendado presenta un riesgo muy alto para la finalidad del estudio, se ha asumido adicionalmente distintos escenarios ante eventos extraordinarios y su variabilidad, es decir cálculos para 500, 1000 y 1500 años de periodos de retorno, considerando un riesgo admisible de 10, 5 y 3%, respectivamente; para una vida útil de 50 años.

Con lo expuesto anteriormente, se realizó el cálculo de la precipitación máxima en 24 horas considerando los períodos de retorno para 100, 500, 1000 y 1500 años, como se presenta a continuación:

Tabla 36. Precipitación máxima en 24 horas para diferentes tiempos de retorno

Estación	Precipitación máxima			
	TR=100 años	TR=500 años	TR=1000 años	TR=1500 años
Carumas	61.84	72.97	77.49	80.04
Ichuña	43.06	46.10	47.26	47.91
La Haciendita	1.68	2.30	2.57	2.72
Omate	46.13	55.49	59.44	61.73
Pampa Blanca	5.77	7.51	8.26	8.69
Puquina	44.27	49.06	50.90	51.93
Quinistaquillas	61.51	81.42	89.78	94.56
Ubinas	46.81	54.92	58.40	60.44
Chiguata	55.68	66.44	70.76	73.19
El Frayle	72.01	114.52	139.80	157.09
Huasacache	69.48	112.48	135.57	150.52
Imata	58.45	69.40	74.17	76.98
La Joya	10.03	13.28	14.68	15.50
Las Salinas	56.56	66.98	71.23	73.64
Pillones	47.76	55.64	59.00	60.97
Crucero Alto	41.04	44.83	46.29	47.10
Pampa Umalzo	38.78	43.63	45.49	46.53
Moquegua	29.42	41.65	46.88	49.88
Otora	35.60	42.51	45.27	46.82

Fuente: Elaboración propia con base en la información procesada en el software Hidroesta

Con la información procesada en la Tabla 36 se generaron las isoyetas de precipitaciones máximas para los periodos de retorno considerados, sobre el área de la cuenca, obteniendo las siguientes distribuciones de la precipitación máxima como se visualizan en las Figura 15, Figura 16, Figura 17 y Figura 18.

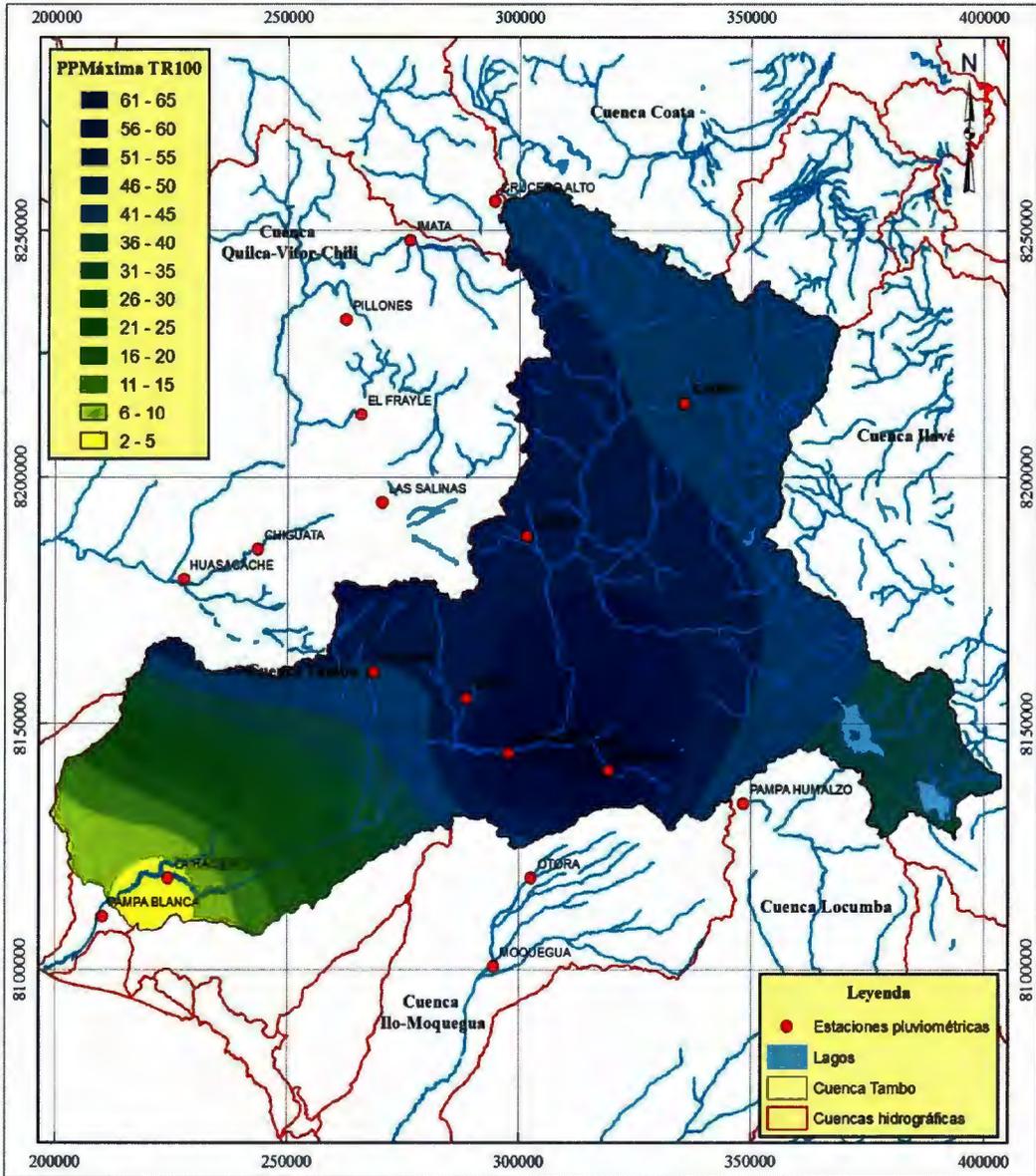


Figura 15. Distribución de las precipitaciones máximas para un periodo de retorno de 100 años por el método de las isoyetas

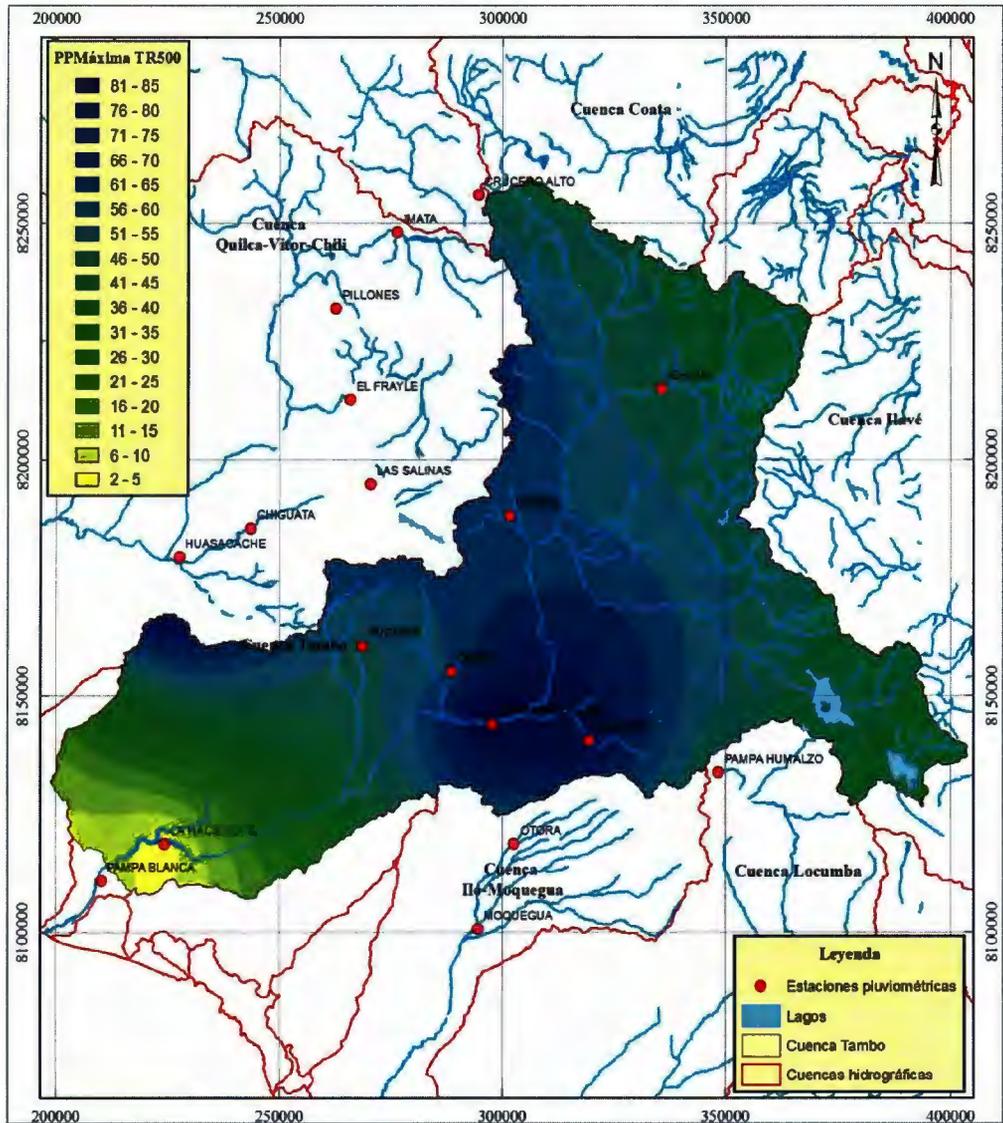


Figura 16. Distribución de las precipitaciones máximas para un periodo de retorno de 500 años por el método de las isoyetas

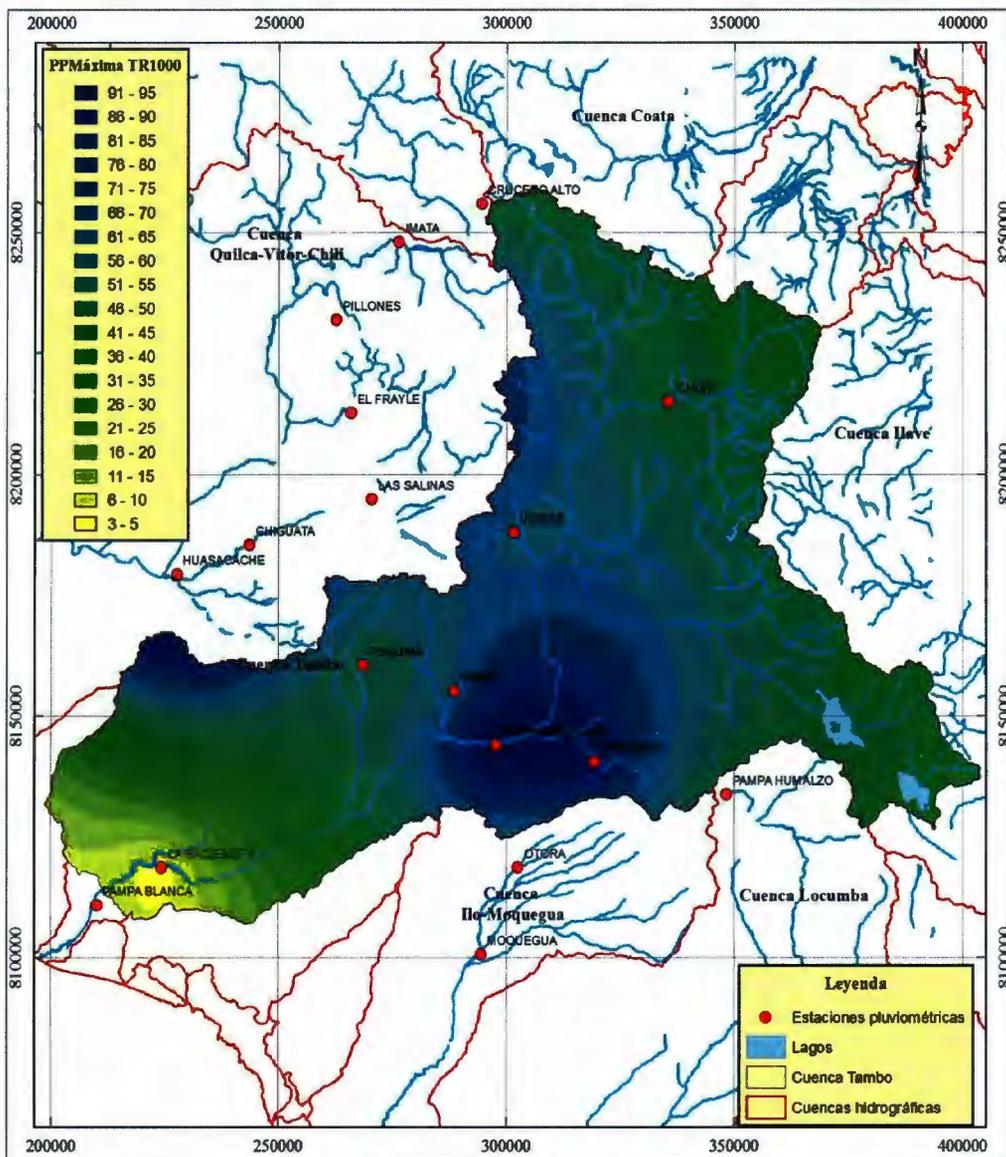


Figura 17. Distribución de las precipitaciones máximas para un periodo de retorno de 1000 años por el método de las isoyetas

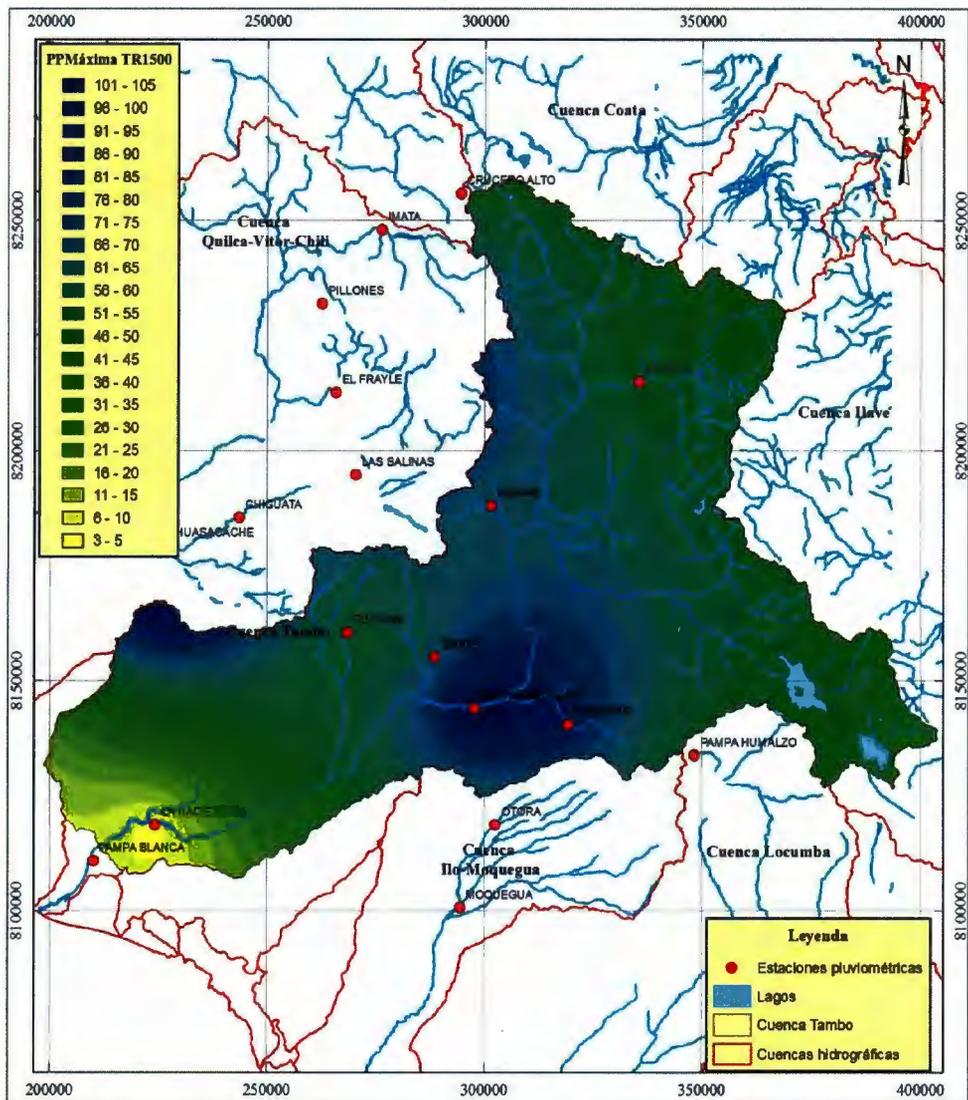


Figura 18. Distribución de las precipitaciones máximas para un periodo de retorno de 1500 años por el método de las isoyetas

La precipitación de diseño para los periodos de retorno definidos, para cada una de las unidades de drenaje del modelo hidrológico, se obtuvo a partir del promedio ponderado del área entre curvas de isoyetas y el valor de las isoyetas, y estos afectados por el coeficiente de corrección recomendado por Weiss, obteniendo los siguientes valores de precipitaciones de diseño:

Tabla 37. Precipitación ponderada y precipitación de diseño para la cuenca del río Tambo

Periodo de retorno (años)	Unidades de drenaje	Precipitación máxima ponderada (mm)	Factor OMM	Precipitación de diseño (mm)
100	UD-1	44.3	1.13	50.0
	UD-2	43.7	1.13	49.4
	UD-3	37.7	1.13	42.6
500	UD-1	49.0	1.13	55.4
	UD-2	48.7	1.13	55.0
	UD-3	46.9	1.13	53.0
1000	UD-1	51.0	1.13	57.6
	UD-2	50.5	1.13	57.1
	UD-3	51.1	1.13	57.7
1500	UD-1	52.2	1.13	59.0
	UD-2	51.5	1.13	58.2
	UD-3	53.6	1.13	60.6

Una vez obtenida la información de precipitación de diseño de cada una de las unidades de drenaje del modelo hidrológico, se procedió a realizar la generación de los hietogramas de diseño, es decir la distribución temporal de las precipitaciones máximas. Para ello se inició con la aplicación de la metodología del SCS para tormentas de duración de 6 horas, pero se observó una alta variabilidad en las intensidades de la tormenta al transcurrir periodos cortos de tiempo, no siendo representativo para la caracterización hidrológica en este tipo de cuencas.

Cabe resaltar que la distribución de las intensidades de lluvia en este tipo de cuencas, es aleatoria, es decir que no se conoce una distribución tipo para la tormenta. Es por ello que se asumió como mejor alternativa, la distribución uniforme de las intensidades de lluvia, es decir iguales probabilidades de ocurrencia de la tormenta en un periodo de duración de 6 horas, debido a que el comportamiento hidrológico de la cuenca del río Tambo no ha registrado hasta la actualidad altas variaciones de las intensidades de lluvia en cortos periodos de tiempo, ni tampoco duraciones de eventos máximos de 24 horas.

A continuación se presentan la distribución uniforme de las intensidades de la tormenta para una duración de 6 horas, con intervalos de tiempo cada 0.5 horas, para cada una de las unidades de drenaje definidas para el modelo, y considerando los diferentes periodos de retorno.

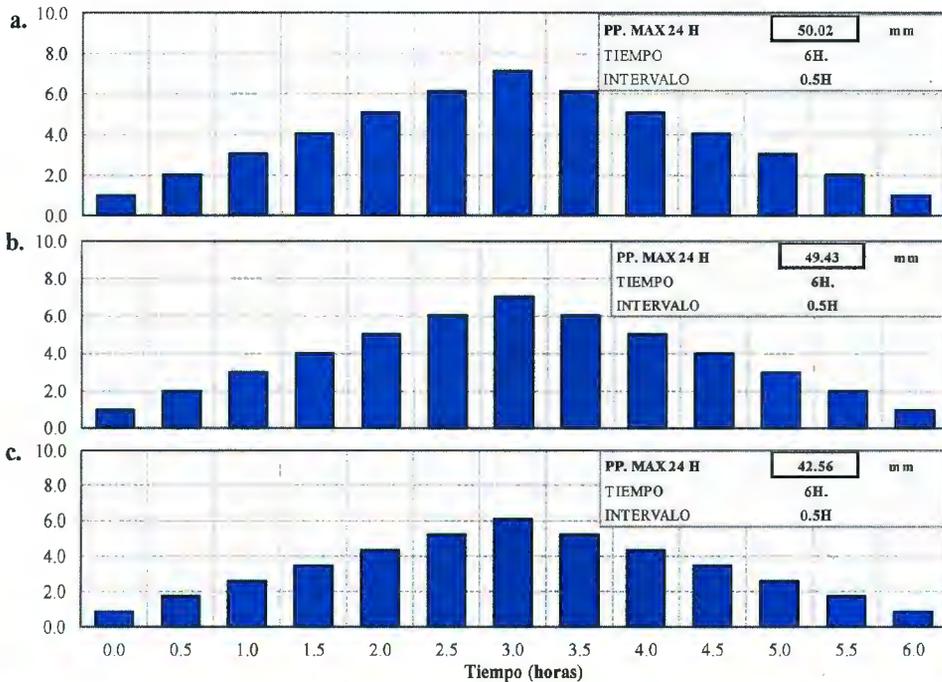


Figura 19. Distribución de las precipitaciones máximas de diseño para un periodo de retorno de 100 años: UD-1 (a), UD-2 (b) y UD-3 (c)

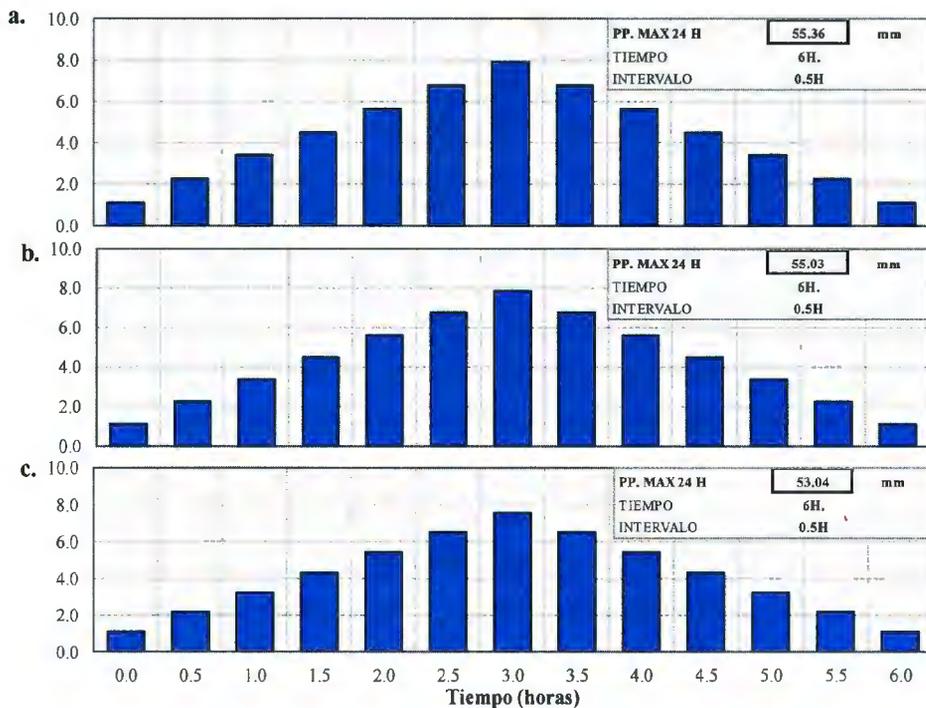


Figura 20. Distribución de las precipitaciones máximas de diseño para un periodo de retorno de 500 años: UD-1 (a), UD-2 (b) y UD-3 (c)

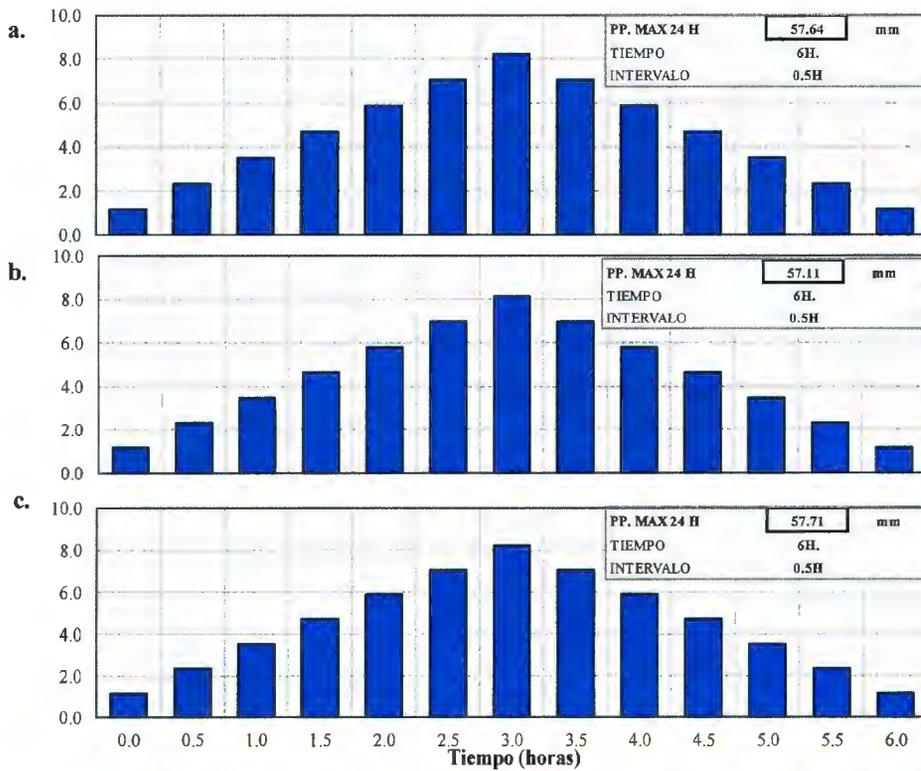


Figura 21. Distribución de las precipitaciones máximas de diseño para un periodo de retorno de 1000 años: UD-1 (a), UD-2 (b) y UD-3 (c)

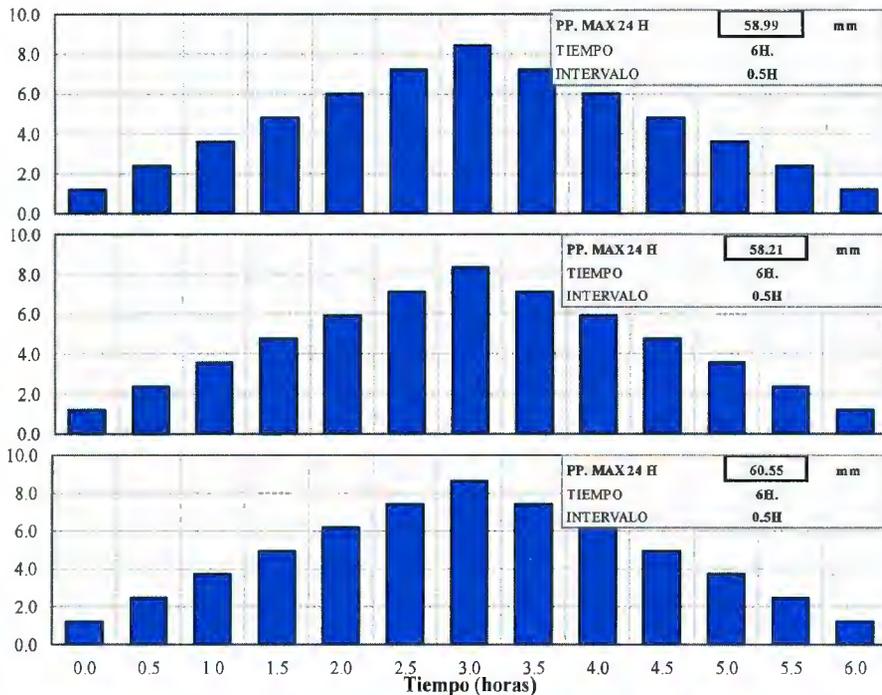


Figura 22. Distribución de las precipitaciones máximas de diseño para un periodo de retorno de 1500 años: UD-1 (a), UD-2 (b) y UD-3 (c)

Usando la metodología para el cálculo de la curva número (CN) del Soil Conservation Service (SCS) detallada en el subcapítulo 3.2.3., y considerando como base las zonas de vida identificadas en la cuenca, se obtuvieron los valores de curva número por cada unidad de drenaje del modelo hidrológico, que se presentan en la Tabla 38.

Cabe mencionar que según la evaluación de los resultados para el cálculo del valor de Curva Numero, se utilizó la ponderación de los valores resultantes para cada tipo de zona de vida, considerando las condiciones de humedad tipo II y III, que dependía de las principales características de cada una de ellas.

Tabla 38. Valores de CN para el modelo hidrológico de la cuenca del río Tambo

Cuenca	Simbología	Descripción	Condición Antecedente	Uso de la tierra	Tratamiento	Condición hidrológica	Grupo hidrológico del suelo	CN II	CN III	Área (km ²)	CN Ponderado
UD-1	md-MBS	Matorral desértico montano bajo subtropical	III	Cultivos	Curvas de nivel	Buena	B	75	87.3	7.11	CN III y CN II
	md-MS	Matorral desértico montano subtropical	III	Pastizales o similares	-	Regular	B	69	83.7	231.22	
	md-SaS	Matorral desértico subalpino subtropical	III	Pastizales o similares	Curvas de nivel	Buena	C	70	84.3	613.72	
	NS	Nival subtropical	III	Cultivos	Curvas de nivel	Buena	B	75	87.3	77.71	
	ph-SaS	Paramo húmedo subalpino subtropical	III	Pastizales o similares	Curvas de nivel	Regular	C	75	87.3	1420.23	
	pnh-SaS	Paramo muy húmedo subalpino subtropical	III	Pastizales o similares	-	Buena	C	74	86.7	675.96	
	tmh-AS	Tundra muy húmeda alpino subtropical	III	Pastizales o similares	-	Pobre	B	79	89.6	426.98	
	tp-AS	Tundra pluvial alpino subtropical	III	Pradera	-	Buena	C	71	84.9	67.05	
Área total (km ²)										3519.98	82.93
UD-2	md-MBS	Matorral desértico montano bajo subtropical	III	Cultivos	Curvas de nivel	Buena	B	75	87.3	1.69	CN III y CN II
	md-MS	Matorral desértico montano subtropical	III	Pastizales o similares	-	Regular	B	69	83.7	90.22	
	md-SaS	Matorral desértico subalpino subtropical	III	Pastizales o similares	Curvas de nivel	Buena	C	70	84.3	204.88	
	NS	Nival subtropical	III	Cultivos	Curvas de nivel	Buena	B	75	87.3	98.45	
	ph-SaS	Paramo húmedo subalpino subtropical	III	Pastizales o similares	Curvas de nivel	Regular	C	75	87.3	371.02	
	pnh-SaS	Paramo muy húmedo subalpino subtropical	III	Pastizales o similares	-	Buena	C	74	86.7	1.01	
	tmh-AS	Tundra muy húmeda alpino subtropical	III	Pastizales o similares	-	Pobre	B	79	89.6	2019.42	
Área total (km ²)										2786.68	86.69

«Continuación»

UD-3	da-MS	Desierto árido montano subtropical	II	Sembríos cerrados, legumbres o sembríos en rotación	Surcos rectos	Pobre	B	77	88.5	392.42	CN III y CN II
	da-MTc	Desierto árido montano templado cálido	II	Sembríos cerrados, legumbres o sembríos en rotación	Surcos rectos	Pobre	B	77	88.5	0.86	
	dd-S	Desierto desecado subtropical	II	Sembríos cerrados, legumbres o sembríos en rotación	Surcos rectos	Pobre	B	77	88.5	1816.46	
	dp-MBT	Desierto perárido montano bajo subtropical	II	Sembríos cerrados, legumbres o sembríos en rotación	Curvas de nivel	Pobre	B	75	87.3	1015.61	
	dp-Tc	Desierto perarido templado cálido	II	Sembríos cerrados, legumbres o sembríos en rotación	Curvas de nivel	Pobre	B	75	87.3	89.23	
	ds-MBS	Desierto superárido montano bajo subtropical	II	Cultivos	Curvas de nivel	Pobre	B	79	89.6	889.38	
	md-MBS	Matorral desértico montano bajo subtropical	II	Cultivos	Curvas de nivel	Buena	B	75	87.3	423.61	
	md-MS	Matorral desértico montano subtropical	II	Pastizales o similares	-	Regular	B	69	83.7	678.83	
	md-MTc	Matorral desértico montano templado cálido	II	Pastizales o similares	-	Regular	B	69	83.7	3.87	
	md-SaS	Matorral desértico subalpino subtropical	II	Pastizales o similares	Curvas de nivel	Buena	C	70	84.3	703.70	
	md-SaTc	Matorral desértico subalpino templado cálido	II	Pastizales o similares	Curvas de nivel	Buena	C	71	84.9	18.78	
	md-Tc	Matorral desértico templado cálido	II	Pastizales o similares	-	Regular	C	79	89.6	23.34	
	NS	Nival subtropical	II	Cultivos	Curvas de nivel	Buena	B	75	87.3	32.08	
	ph-SaS	Paramo húmedo subalpino subtropical	II	Pastizales o similares	Curvas de nivel	Regular	C	75	87.3	178.62	
tmb-AS	Tundra muy húmeda alpino subtropical	II	Pastizales o similares	-	Pobre	B	79	89.6	295.54		
Área total (km ²)									6562.31	76.05	

Finalmente se obtuvieron los parámetros ligados a la curva número como son la retención potencial y la abstracción inicial, que se presentan en la Tabla 39. Así mismo se calculó el tiempo de retardo (t_{lag}) para cada uno de las unidades de drenaje del modelo hidrológico de la cuenca del río Tambo, como se muestra a continuación:

Tabla 39. Valores de la retención inicial, abstracción inicial y el tiempo de retardo para cada uno de las unidades de drenaje del modelo hidrológico de la cuenca del río Tambo

Unidades de drenaje	Área (km ²)	CN	Retención Potencial (S)	Abstracción Inicial (IA)	T Lag (h)	T Lag (min)
UD-1	3519.98	82.9	2.06	10.45	41.318	2479.07
UD-2	2786.69	86.7	1.53	7.80	39.213	2352.78
UD-3	6562.33	76.1	3.15	16.00	57.175	3430.47

5.2. Resultados del modelamiento hidrológico con HEC-HMS

A continuación se muestra el detalle de las unidades de drenaje del modelo hidrológico:

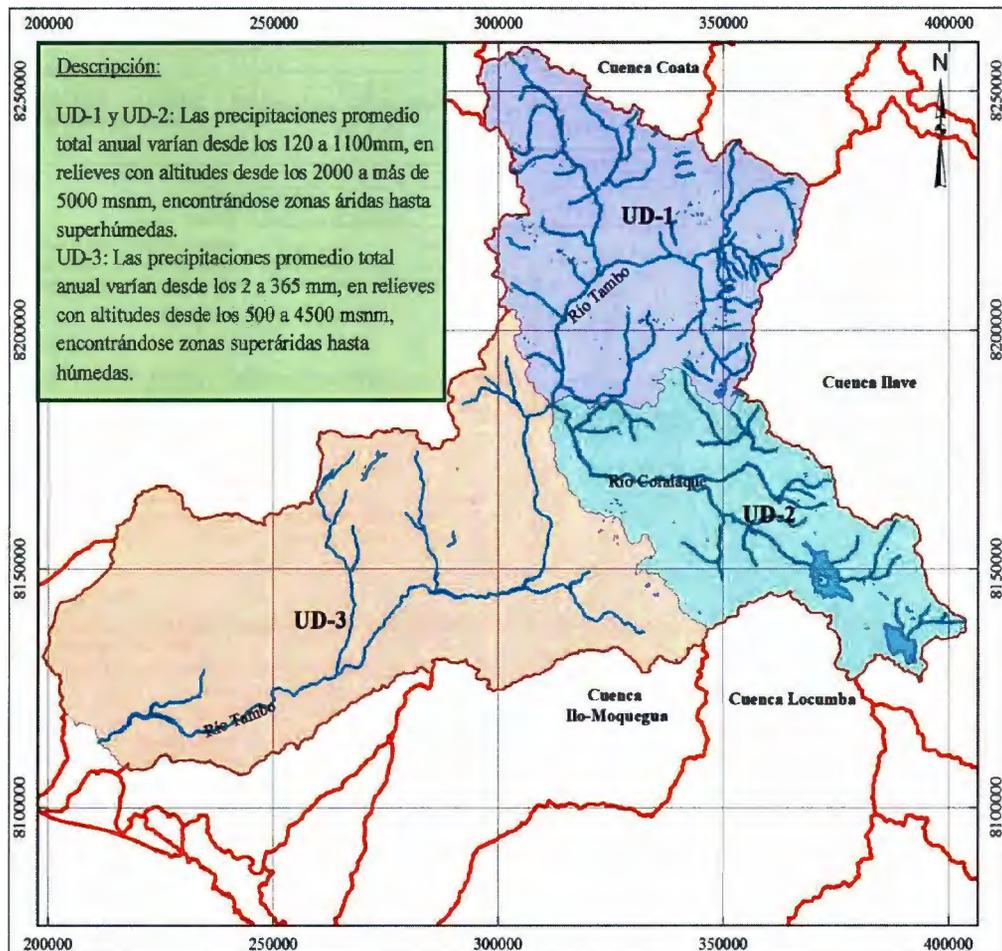


Figura 23. Descripción de las unidades de drenaje del Modelo Hidrológico – Cuenca río Tambo

El modelo hidrológico de la cuenca del río Tambo está compuesto por las unidades de drenaje como se observan en la figura anterior, donde la unidad de drenaje 1 (UD-1), ha sido creado con base en el área delimitada hasta la confluencia del río Tambo con el río Coralaque, la unidad de drenaje 2 (UD-2) creado con base en el área delimitada hasta la confluencia del río Coralaque con el río Tambo, y la unidad de drenaje 3 (UD-3) creado con base en el área de drenaje delimitada hasta el sector de estudio, ubicado en el río Tambo.

Conocida las unidades de drenaje que conforman el modelo hidrológico y los parámetros de entrada al modelo anteriormente calculado, se obtuvo los caudales de máximas avenidas para los períodos de retorno de 100, 500, 1000 y 1500 años, como se presentan en la Tabla 40 y se visualizan en la Figura 24.

Tabla 40. Caudales máximos para la cuenca limitada hasta el sector de riego Ventillata Ayanquera, con un área de drenaje de 12 869.0 km²

Periodo de retorno (años)	Qmax (m ³ /s)
100	753.73
500	994.84
1000	1109.83
1500	1171.3

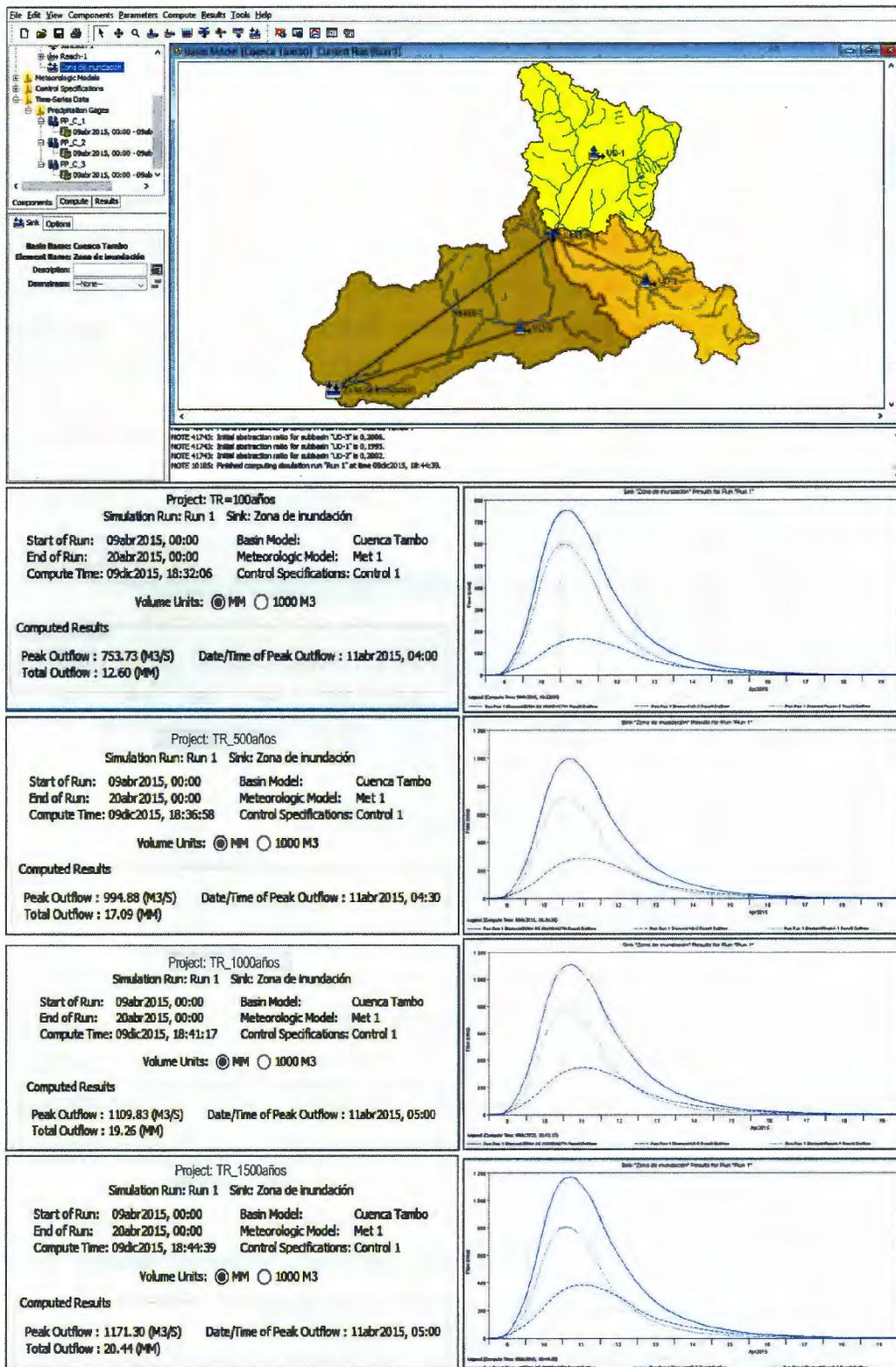


Figura 24. Resultados del modelamiento HEC-HMS para los periodos de retorno de 100, 500, 1000 y 1500 años

Obtenido los resultados aplicando el modelo hidrológico HEC-HMS, se realizó la calibración obteniendo los siguientes resultados:

i. Caudal estimado de datos recopilados en campo y procesados con HEC RAS

Con la información obtenida del levantamiento topo-batimétrico y la huella de agua dejada por el nivel de inundación ante un evento de máximas avenidas ocurrido en la zona; se ha estimado el caudal máximo registrado, utilizando el área de la sección del cauce más cercana donde se observó la huella, y se le multiplicó por la velocidad del agua estimada ante un evento de máximas avenidas con el HEC RAS.

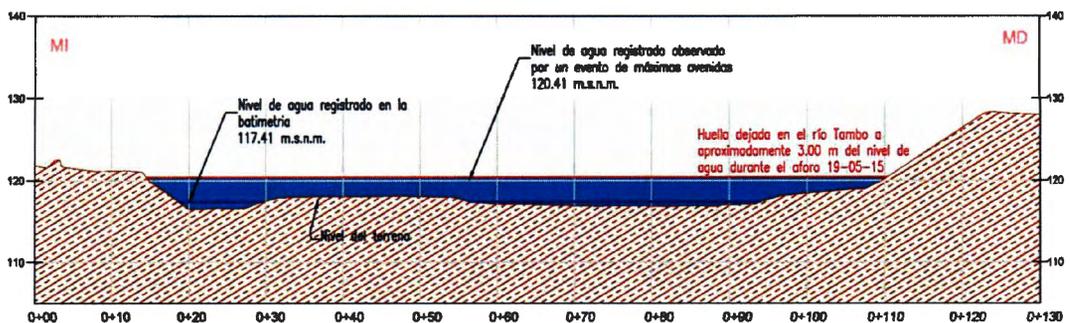


Figura 25. Sección 0+240.00 del levantamiento topo-batimétrico
Fuente: Elaboración propia con base en la información del levantamiento topo-batimétrico

Con todo ello se tienen los siguientes resultados:

$$\begin{aligned} \text{Área de la sección (A)} &= 270.42 \text{ m}^2 \\ \text{Velocidad del agua estimada con HEC RAS (V)} &= 2.01 \text{ m/s} \\ \text{Caudal máximo} &= A \times V = 543.55 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Comparando los resultados del modelamiento hidrológico en HEC-HMS con el valor estimado en la sección mostrada en la Figura 25, se observa que el valor estimado es menor al caudal máximo para un periodo de retorno de 100 años, lo cual indica que la huella dejada corresponde a un evento máximo de un periodo menor pero cercano al de 100 años.

ii. Comparación con caudales máximos generados a partir de caudales máximos anuales registrados

Los parámetros obtenidos de la aplicación de las distribuciones estadísticas a los caudales máximos anuales registrados en las estaciones hidrométricas con el uso del software HIDROESTA, se muestran a continuación:

Tabla 41. Resultados de las distribuciones estadísticas aplicadas en las estaciones hidrométricas

Distribuciones estadísticas	Valores de delta teórico					
	Chucarapi		Charcani		Shivaya	
	Parametros Ordinarios	Momentos Lineales	Parametros Ordinarios	Momentos Lineales	Parametros Ordinarios	Momentos Lineales
Normal	0.0606		0.1010	0.1008	0.2 58	0.2879
Log normal 2 parámetros	0.1662	0.1717	0.1130	0.1139	0.1108	0.1098
Log normal 3 parámetros	-	0.0923	-	0.0657		-
Gamma 2 parámetros	0.1423	0.1727	0.0767	0.2011	0.1615	0.1371
Gamma 3 parámetros	-	-	0.0627		0.1661	-
Log pearson tipo III	-	-	-	-	-	-
Gumbel	0.1305	0.1290	0.0684	0.0619	0.2157	0.2175
Log gumbel	0.2334	0.2334	0.1765	0.1728	0.1772	0.1787

De acuerdo a los resultados se tiene que las estaciones Chucarapi, Charcani y Shivaya, presentan el mejor ajuste con momentos lineales, usando las distribuciones Normal, Gamma 3 parámetros y Log normal 3 parámetros, respectivamente. Aplicando dichas distribuciones en el HIDROESTA, se obtuvieron los siguientes caudales para los diferentes periodos de retorno, como se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 42. Caudales máximos obtenidos para los periodos de retorno de 100, 500, 1000 y 1500 años

Estaciones hidrométricas	Área de drenaje (km ²)	Caudales de máximas avenidas (m ³ /s)			
		Tr =100 años	Tr =500 años	Tr =1000 años	Tr =1500 años
Chucarapi	12953.4	953.4	1082.2	1131.8	1159.4
Charcani	4031.2	254.8	317.9	343.7	358.3
Shivaya	472.3	63.9	112.1	139.2	156.9

Con los caudales máximos mostrados en la tabla anterior, se realizó una relación entre áreas de drenaje y caudales de escorrentía directa de cada estación hidrométrica, para obtener caudales estimados para el área de drenaje de la cuenca del río Tambo, limitada hasta el sector de evaluación (sector de riego Santa Rosa Ventillata Ayanquera), obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 43. Caudales estimados a partir de los caudales máximos de las estaciones hidrométricas para los periodos de retorno de 100, 500, 1000 y 1500 años

Estación	Caudales máximos estimados (m ³ /s)			
	TR=100 años	TR=500	TR=1000	TR=1500
Chucarapi	947.2	1075.2	1124.4	1151.9
Charcani	813.3	1014.7	1097.1	1143.7
Shivaya	1742.1	3055.4	3791.3	4276.9

Comparando los resultados del modelo hidrológico HEC-HMS, con los valores estimados de máximas avenidas para diferentes periodos de retorno, se obtiene que los valores son cercanos a los estimados de cada una de las estaciones hidrométricas, excepto de la estación Shivaya, que por el caudal que registra denota que presenta distintas condiciones de clima, cobertura y relieve que la cuenca en análisis, no siendo representativa para esta calibración.

5.3. Resultados del modelamiento hidráulico con HEC-RAS

A partir de las características morfométricas de la cuenca del río Tambo detalladas en el ítem 3.1., se estima que la cuenca presenta una respuesta hidrológica lenta asociado a su tamaño y forma, que según sus dimensiones se clasifica como muy grande y oval oblonga. Así mismo, según el análisis de la curva hipsométrica de la cuenca de drenaje (curva sinusoidal cóncavo-convexo), se puede establecer que se encuentra en equilibrio en su fase de madurez (Strahler, 1952), que significa que “la erosión de fondo del cauce durante una avenida es sólo momentánea pues al disminuir la velocidad del agua, recupera nuevamente los sedimentos, al contrario de las corriente jóvenes, que presentan un proceso acumulativo de erosión. Pero para ello, la corriente trata de ampliar su cauce y la energía la utiliza en procesos de erosión lateral presentando divagación, trezamientos y desarrollando meandros” (Suárez, 2001).

a. Aforo de caudales

Los datos registrados en campo en el aforo de caudales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 44.Ficha de aforo en el río Tambo

DATOS DEL AFORO EN EL CRUCE						
Nombre	Río Tambo	Cuenca	Tambo	Norte	8113558 m	
Fecha	17-jun-15	Subcuenca	Tambo	Este	210495 m	
Hora	11:10 a.m.	Localidad	Tambo	Cota	117 m.s.n.m.	
Periodo hidrológico	Estiaje	Distrito	Cocachacra			
		Provincia	Islay			
		Departamento	Arequipa			
Estaquillado	Ancho de la sección (m)	Longitud de la sección (m)	Profundidad de agua (m)	Area de la sección (m2)	Velocidad por sección (m/s)	Caudal por sección (m3/s)
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	1.00	2.00	0.12	0.06	0.31	0.02
3	1.00	3.00	0.24	0.18	0.56	0.10
4	1.00	4.00	0.22	0.23	0.33	0.08
5	1.00	5.00	0.33	0.28	0.83	0.23
6	1.00	6.00	0.27	0.30	0.97	0.29
7	1.00	7.00	0.40	0.34	0.86	0.29
8	1.00	8.00	0.42	0.41	0.56	0.23
9	1.00	9.00	0.41	0.42	0.54	0.22
10	1.00	10.00	0.43	0.42	0.82	0.34
11	1.00	11.00	0.40	0.42	0.64	0.27
12	1.00	12.00	0.44	0.42	0.82	0.34
13	1.00	13.00	0.47	0.46	0.86	0.39
14	1.00	14.00	0.55	0.51	1.03	0.53
15	1.00	15.00	0.49	0.52	1.17	0.61
16	1.00	16.00	0.49	0.49	1.08	0.53
17	1.00	17.00	0.52	0.51	1.02	0.52
18	1.00	18.00	0.56	0.54	1.05	0.57
19	1.00	19.00	0.63	0.60	1.12	0.67
20	1.00	20.00	0.69	0.66	1.07	0.71
21	1.00	21.00	0.77	0.73	1.18	0.86
22	1.00	22.00	0.68	0.73	1.22	0.88
23	1.00	23.00	0.76	0.72	1.31	0.94
24	1.00	24.00	0.56	0.66	1.10	0.73
25	1.00	25.00	0.55	0.56	1.30	0.72
26	1.00	26.00	0.40	0.48	0.89	0.42
27	1.00	27.00	0.00	0.20	0.00	0.00
Vel prom (m/s)					0.81	-
Caudal total (m3/s)					11.48	
Caudal total (l/s)					11479.00	

b. Estimación del coeficiente de rugosidad de Manning

Los valores de coeficiente de rugosidad “n” de Manning seleccionados según las condiciones de campo, del lecho y márgenes del cauce, son: para la margen izquierda un valor de 0.050, que se encuentra que se encuentra en la categoría E) Cauces con planicie crecida, en el 3) Arbustos, y en arbustos escasos y muchos pastos ; el lecho de río en la categoría D2) Cauces de montaña, sin vegetación en el canal, laderas con pendiente usualmente pronunciadas, árboles y arbustos a lo largo de las laderas y sumergidas para niveles altos, en el 2) canto rodado y algunas rocas; y la margen derecha que se encuentra en la categoría E) Cauces con planicie crecida, en el 2) áreas cultivadas (campos de cultivos maduros), con un valor de 0.040.

c. Condiciones de frontera para el modelo

Como condiciones de frontera para el modelamiento hidráulico se tiene:

Tabla 45. Condiciones de frontera utilizadas en el modelamiento hidráulico

Ubicación	Pendiente (m/m)	Nivel de agua registrado en batimetría (m.s.n.m.)
Aguas arriba	0.006	-
Aguas abajo	0.007	116.25

Fuente: Información procesada con base en el levantamiento batimétrico

Con respecto a la información obtenida (pendiente aguas arriba y aguas abajo del tramo a ser modelado) esta fue obtenida mediante la batimetría realizado en campo y fue medida para el thalweg del río (línea central de la corriente en la cual el cauce es más profundo y flujo posee una mayor velocidad).

d. Calibración del coeficiente de rugosidad de “n” de Manning

Aplicando el modelo hidráulico con HEC-RAS para la calibración del coeficiente de rugosidad “n” de Manning, se utilizaron como datos de entrada: la geometría del río, las condiciones de frontera (pendientes aguas arriba y aguas abajo), el caudal aforado, y los valores de Manning en el cauce, se obtuvieron los siguientes resultados:

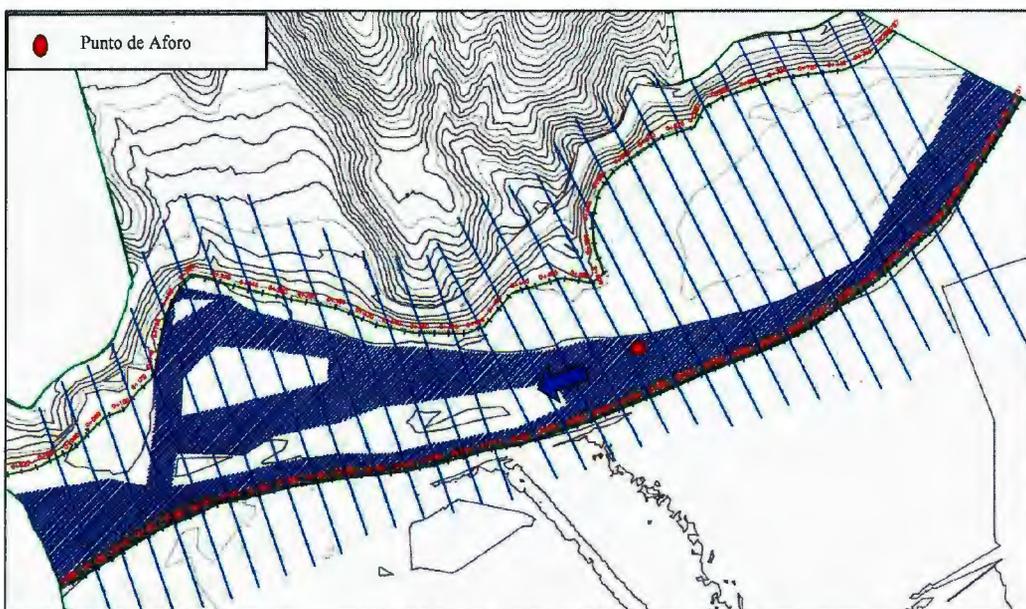


Figura 26. Vista de planta y seccionado del levantamiento batimétrico

En la vista de planta se puede apreciar la sección batimétrica correspondiente a la sección de aforo registrada en campo, es la 0+400.00 del modelo hidráulico de calibración.

Los datos de aforo obtenidos en campo son:

Caudal	=	11.48	m ³ /s
Velocidad de aforo promedio	=	0.81	m/s
Tirante de agua máximo	=	0.77	m
Espejo de agua medido	=	27.00	m

Para efecto de la calibración se ha utilizado distintos valores de coeficiente de rugosidad “n” de Manning dentro del rango de valores de dicho coeficiente para el tipo de cauce natural. A continuación se detalla la selección del valor de “n” de Manning:

- Para el lecho de río se ha considerado, según lo observado en campo, que el tipo de cauce está dentro de la categoría D. cauce naturales menores, y en la subcategoría D2. Cauces de montaña, sin vegetación en el canal, laderas con pendientes usualmente pronunciadas, árboles y arbustos a lo largo de las laderas y sumergidos para niveles altos, 2) Canto rodado y algunas rocas, donde los valores varían desde 0.040 a 0.070. Con esos valores se ingresó al modelo, y se observó que conforme disminuía el valor de rugosidad la velocidad aumentaba,

acercándose a la velocidad media y tirante máximo aforado. Se obtuvo un valor de coeficiente de rugosidad de Manning de 0.040.

Cabe mencionar que, el caudal y el nivel de agua alcanzado en el modelamiento hidráulico dependen del valor del coeficiente de rugosidad de Manning considerados para el lecho de río, ya que la superficie de agua no alcanza las márgenes establecidas de acuerdo a la topografía, y por ende los coeficientes que se establezcan para las márgenes no van a afectar los cálculos para la calibración.

- Para la margen izquierda se ha considerado según lo observado en campo, dos tipos de cauce, el primero, que corresponde al tramo donde se ubica el talud del enrocado, se encuentra dentro de la categoría D. cauce naturales menores, y en la subcategoría D2. Cauces de montaña, sin vegetación en el canal, laderas con pendientes usualmente pronunciadas, árboles y arbustos a lo largo de las laderas y sumergidos para niveles altos, 1) Fondo: grava, canto rodado y algunas rocas, donde los valores varían desde 0.030 a 0.050; y el segundo, que corresponde a los terrenos de cultivos, se encuentra dentro de la categoría E. Cauces con planicie crecida, 2) Áreas cultivadas (campo de cultivos maduros), donde los valores varían desde 0.030 a 0.050. Con esos valores se ingresó al modelo, y se obtuvieron valores de coeficiente de rugosidad de Manning de 0.030 y 0.050, respectivamente.
- Para la margen derecha se ha considerado también según lo observado en campo, dos tipos de cauce, el primero, que se encuentra dentro de la categoría E. Cauces con planicie crecida, 2) Áreas cultivadas (campo de cultivos maduros), donde los valores varían desde 0.030 a 0.050; y el segundo, que se encuentra dentro de la categoría F. Cursos de agua importante, 1) Sección regular sin rocas y arbustos, donde los valores varían desde 0.025 a 0.060. Con esos valores se ingresó al modelo, y se obtuvieron valores de coeficiente de rugosidad de Manning de 0.035 y 0.030, respectivamente.

A continuación se presentan los resultados del modelamiento hidráulico para la calibración del coeficiente de rugosidad de Manning:

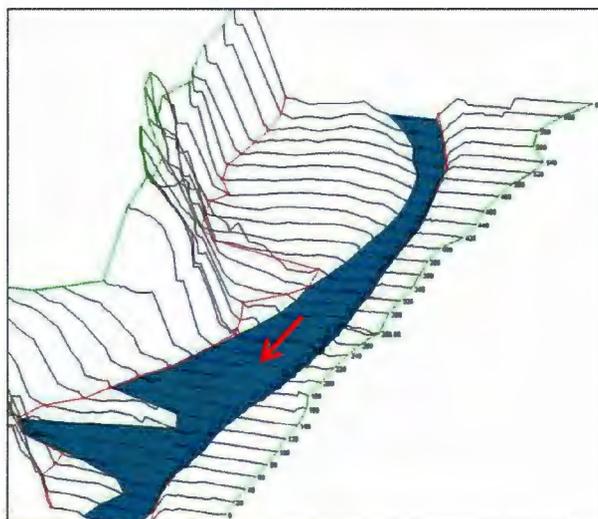


Figura 27. Vista isométrica del modelo hidráulico de calibración

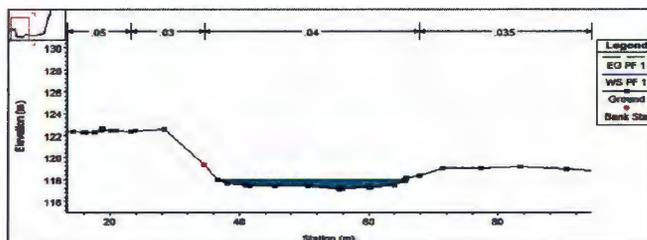


Figura 28. Sección de referencia 0+400 para la calibración del modelo

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
Eje_rio_Tambo	620	PF 1	11.48	118.51	119.17	119.10	119.24	0.011100	1.17	9.77	32.75	0.63
Eje_rio_Tambo	600	PF 1	11.48	118.13	118.91		119.01	0.012352	1.34	8.57	25.53	0.74
Eje_rio_Tambo	580	PF 1	11.48	117.83	118.60		118.73	0.015379	1.57	7.32	20.27	0.83
Eje_rio_Tambo	560	PF 1	11.48	117.54	118.47		118.54	0.009534	1.12	10.25	21.97	0.52
Eje_rio_Tambo	540	PF 1	11.48	117.27	118.36		118.43	0.005368	1.24	9.28	16.79	0.53
Eje_rio_Tambo	520	PF 1	11.48	117.07	118.21		118.31	0.006212	1.37	8.35	14.21	0.57
Eje_rio_Tambo	500	PF 1	11.48	116.91	118.14		118.20	0.003621	1.15	10.01	15.53	0.46
Eje_rio_Tambo	480	PF 1	11.48	116.83	118.08		118.13	0.002835	0.99	11.65	18.13	0.39
Eje_rio_Tambo	460	PF 1	11.48	116.82	118.05		118.09	0.001695	0.80	14.42	20.95	0.31
Eje_rio_Tambo	440	PF 1	11.48	116.93	118.03		118.05	0.001389	0.72	15.04	23.66	0.28
Eje_rio_Tambo	420	PF 1	11.48	117.03	118.00		118.02	0.001379	0.68	16.79	26.37	0.27
Eje_rio_Tambo	400	PF 1	11.48	117.14	117.97		117.99	0.001685	0.70	16.48	33.03	0.30
Eje_rio_Tambo	380	PF 1	11.48	117.30	117.92		117.95	0.003148	0.78	14.69	35.21	0.39
Eje_rio_Tambo	360	PF 1	11.48	117.17	117.82		117.86	0.006442	0.89	12.84	43.04	0.52
Eje_rio_Tambo	340	PF 1	11.48	116.70	117.65		117.72	0.007917	1.11	10.34	29.22	0.60
Eje_rio_Tambo	320	PF 1	11.48	116.69	117.46		117.54	0.009705	1.27	9.04	24.82	0.67
Eje_rio_Tambo	300	PF 1	11.48	116.63	117.38		117.42	0.003403	0.84	13.67	31.10	0.40
Eje_rio_Tambo	283.08	PF 1	11.48	116.59	117.35		117.37	0.001794	0.66	17.42	34.96	0.30
Eje_rio_Tambo	280	PF 1	11.48	116.59	117.35		117.37	0.001606	0.63	18.16	35.86	0.29
Eje_rio_Tambo	260	PF 1	11.48	116.57	117.31		117.33	0.001806	0.61	18.69	42.43	0.30
Eje_rio_Tambo	240	PF 1	11.48	116.48	117.26		117.29	0.002824	0.68	16.88	46.00	0.36
Eje_rio_Tambo	220	PF 1	11.48	116.37	117.17		117.21	0.004704	0.88	13.03	48.20	0.54
Eje_rio_Tambo	200	PF 1	11.48	116.18	117.04		117.09	0.008378	0.98	11.75	42.54	0.59
Eje_rio_Tambo	180	PF 1	11.48	116.05	116.80		116.88	0.013724	1.20	9.59	36.96	0.75
Eje_rio_Tambo	160	PF 1	11.48	115.74	116.55	116.42	116.63	0.011231	1.24	9.28	29.10	0.70
Eje_rio_Tambo	140	PF 1	11.48	115.48	116.15	116.15	116.30	0.025377	1.71	6.73	23.73	1.02
Eje_rio_Tambo	120	PF 1	11.48	115.05	115.91	115.77	115.98	0.006454	1.15	10.05	24.12	0.56
Eje_rio_Tambo	100	PF 1	11.48	114.98	115.61	115.59	115.76	0.020014	1.73	6.64	19.14	0.94
Eje_rio_Tambo	80	PF 1	11.48	114.20	115.46		115.51	0.006823	1.04	11.08	31.29	0.56
Eje_rio_Tambo	60	PF 1	11.48	114.52	115.40		115.42	0.002547	0.74	15.47	34.07	0.35
Eje_rio_Tambo	40	PF 1	11.48	114.46	115.26		115.34	0.007811	1.21	9.50	23.49	0.61
Eje_rio_Tambo	20	PF 1	11.48	114.43	115.17		115.21	0.004419	0.85	13.44	36.52	0.45
Eje_rio_Tambo	0	PF 1	11.48	114.54	115.05	114.94	115.10	0.007000	0.96	11.91	38.05	0.55

Figura 29. Parámetros calculados para el modelo de calibración

Como se puede apreciar en la Figura 29, utilizando los valores de coeficiente de rugosidad “n” de Manning seleccionados luego de la calibración (0.050 y 0.030, 0.040, y 0.035 y 0.030, para la margen izquierda, lecho de río y margen derecha, respectivamente), resulta que la velocidad media en la sección evaluada es 0.70 m/s y que el tirante de agua es 0.83 m), siendo valores aproximados a lo registrado en campo (velocidad media igual a 0.81 m/s y tirante de agua de 0.77 m).

Una vez calibrado el modelo hidráulico y establecidos los parámetros hidráulicos requeridos, se procede a ejecutar el modelo hidráulico con los caudales de diseño, para el tramo en evaluación de 600 metros.

A continuación se presenta un resumen de los parámetros de entrada para el modelo hidráulico:

Tabla 46. Parámetros de entrada para la simulación hidráulica

Periodo de retorno (años)	Coeficiente de Manning					Caudal de diseño (m ³ /s)	Pendientes m/m	
	MI	LR	MD				Aguas arriba	Aguas abajo
100	0.050	0.030	0.040	0.035	0.030	772.90	0.005	0.004
200	0.050	0.030	0.040	0.035	0.030	876.39	0.005	0.004
500	0.050	0.030	0.040	0.035	0.030	1016.20	0.005	0.004

Los resultados del modelamiento hidráulico, se presentan en el Anexo 02 y se visualizan en la Figura 30.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los modelos hidráulicos para los diferentes periodos de retorno, se ha encontrado una restricción en el modelo, debido a que al considerarse como flujo permanente, es decir que las condiciones de la velocidad de escurrimiento no cambian con el tiempo, origina que las velocidades resultantes en todas las secciones de análisis sean valores altos, no siendo correspondiente con las características del tramo evaluado. Es por ello la importancia de contar con información de los hidrogramas observados ante este tipo de eventos máximos, con la finalidad de aplicar el modelo pero considerando flujos no permanentes.

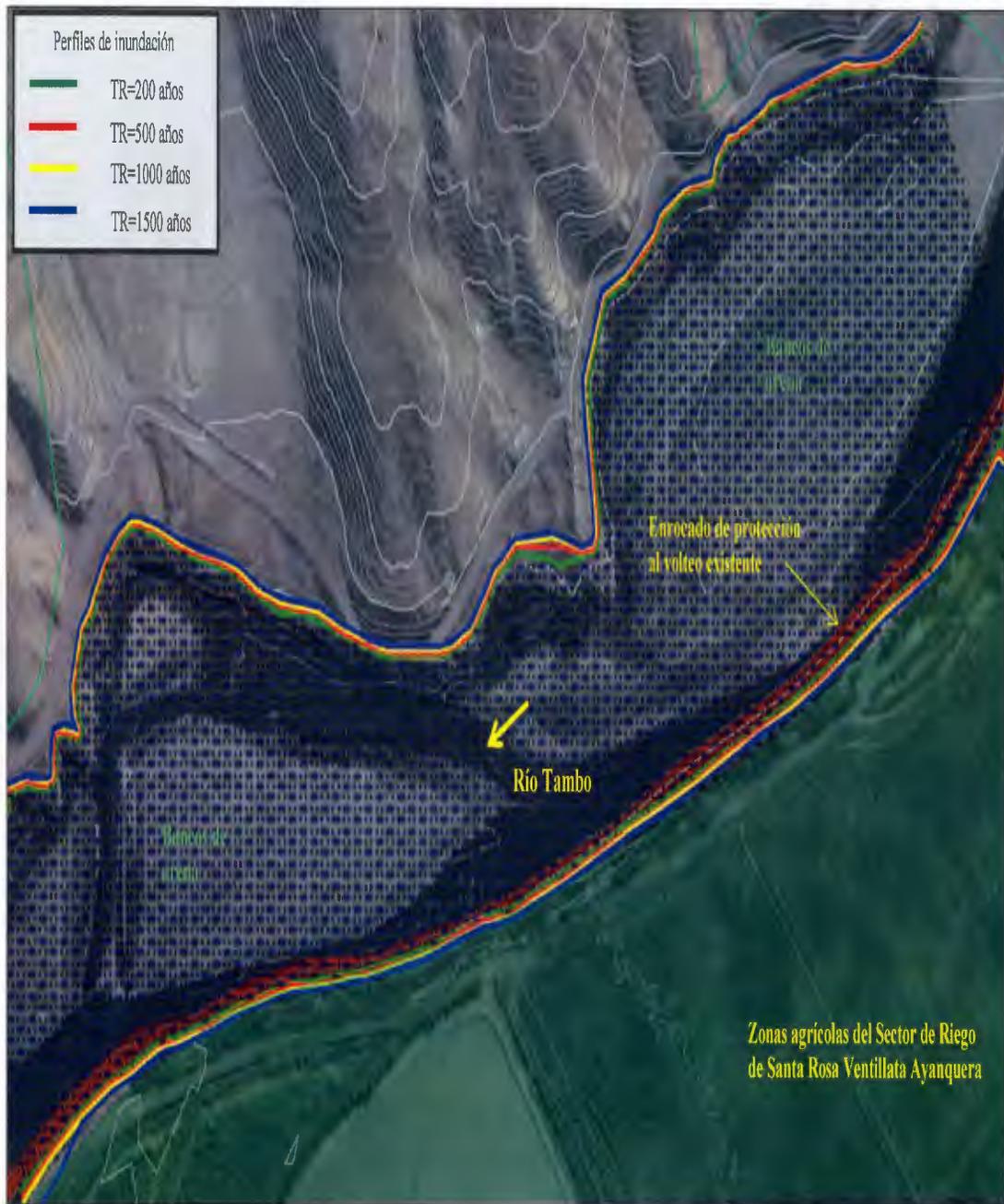


Figura 30. Perfiles de inundación para los periodos de retorno de 100, 500, 1000 y 1500 años

De acuerdo a los perfiles de inundación para los diferentes periodos de retorno mostrados en la Figura 30, no se observa una variación evidente entre los niveles alcanzados desde para los periodos de retorno de 100, 500, 1000 y 1500 años, como se muestra en la Tabla 47. Debido a que a lo largo del tramo evaluado se observan bancos de arena o llanuras de inundación, los caudales son inundados ante este tipo de eventos, y pasan a ser parte del cauce principal del río Tambo, pese a que se tiene la caja del canal o del río definido.

Tabla 47. Niveles de inundación para los periodos de retorno de 100, 500, 1000 y 1500 años

Periodo de retorno (años)	Caudales máximo (m ³ /s)	Nivel de inundación (m.s.n.m.) / aguas arriba a aguas abajo
100	753.7	122.1 a 118.1
500	994.8	122.4 a 118.6
1000	1109.8	122.6 a 118.8
1500	1171.3	122.7 a 118.96

VI. CONCLUSIONES

- Se logró simular de manera satisfactoria para la prevención de inundaciones el comportamiento hidrológico e hidráulico del río Tambo en el Sector de Riego Santa Rosa Ventillata Ayanquera, para los periodos de retorno de 100, 500, 1000 y 1500 años.
- Las láminas de precipitación máxima ponderada para las unidades de drenaje resultaron 44.3, 49.0, 51.1 y 53.6 mm, para los periodos de retorno de 100, 500, 1000 y 1500 años, respectivamente.
- Los caudales de máximas avenidas por los periodos de retorno de 100, 500, 1000 y 1500 años son 753.7, 994.9, 1109.8 y 1171.3 m³/s, respectivamente; que han sido calibrados con los caudales máximos estimados, uno por la huella del nivel de inundación ante un evento de máximas avenidas ocurrido en el lugar, y el otro, estimado a partir de los caudales máximos anuales registrados en la cuenca en estudio, y en cuencas aledañas limitadas hasta las estaciones hidrométricas Charcani (cuenca Quilca) y Shivaya (cuenca Ilo).
- En vista que el tramo del río simulado de 600 m (sector de riego Santa Rosa Ventillata Ayanquera en el valle Tambo) contiene bancos de arena, la variación de los niveles de inundación resultantes de los modelamientos hidráulicos para los periodos de retorno de 100, 500, 1000 y 1500 años no son significativamente diferentes, debido a que para máximas avenidas, el nivel de agua supera todo el ancho de río. Variando en un rango promedio de 122.5 m.s.n.m. (aguas arriba) a 118.6 m.s.n.m. (aguas abajo).

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda al Gobierno Regional de Arequipa, considerar dichos cálculos de caudales y niveles de máximas avenidas para la construcción de defensas ribereñas en el tramo de estudio, y continuar los estudios en las zonas más críticas que han sido identificadas en otros estudios a nivel nacional, con el fin de prevenir posibles pérdidas económicas.
- Se recomienda la instalación de una estación limnigráfica o automática para lecturas de caudales máximos diarios instantáneos para realizar la modelación hidrológica e hidráulica en régimen no permanente.
- Se recomienda la actualización del mapa de uso actual de suelos y del mapa de cobertura vegetal, que sirva como soporte y sustento para el cálculo del valor de la curva número (CN), siendo uno de las variables de entrada más sensibles para los modelamientos hidrológicos.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA, 2010. Estudio de Máximas Avenidas en las Cuencas de la Vertiente del Pacífico – Cuencas de la Costa Sur. Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos del Ministerio de Agricultura. 166 p.
- CAMPOS, A. 1999. Proceso de Ciclo Hidrológico. Segunda edición. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Editorial Universitaria Potosina. San Luis Potosí México. 76 p.
- CEPES, 1994. Diagnóstico de la Calidad del Agua de la Vertiente del Pacífico Cuenca del Río Tambo. Instituto Nacional de Recursos Naturales del Ministerio de Agricultura.
- CHOW, V.; MAIDMENT, D.; MAYS, L. 1994. Hidrología Aplicada.
- CHOW, V. 1994. Hidráulica de canales Abiertos. McGraw Hill Interamericana S.A. Santa Fé Bogotá, Colombia. 655 p.
- McGRAW-HILL Interamericana S.A. Santafé de Bogotá, Colombia. 577 p.
- DELGADILLO, A. y MORENO, A. 2011. Morfometría de cuencas.
- GOLDEN SOFTWARE INC. 2002. User's Guide Surfer. 14th Street, Golden, Colorado, USA.
- IBAÑEZ, S.; MORENO, H.; GISBERT, J. 2008. Morfología de las cuencas hidrográficas. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- MARTÍNEZ, A. V. 1999. Simulación y comprobación experimental de la escorrentía superficial en pequeñas cuencas no aforadas mediante modelos distribuidos implementados sobre SIG. Tesis Doctoral. Departamento de construcción y vías rurales. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Madrid, España.
- MINEDU. 2015. Ministerio de Educación. Sistema de Información Geográfica. Disponible en la web: <http://sigmed.minedu.gob.pe/descargas/>. Última fecha de actualización: 07 de abril del 2015.

- MTC, 2008. Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje. Ministerio de Transporte y Comunicaciones. Pp 16-18.
- LINSLEY, R., KOHLER, M., PAULUS, J. 1977. Hidrología para Ingenieros. Segunda edición. 357 p.
- OMM (Organización Meteorológica Mundial, CH). 2011. Guía de prácticas hidrológicas. 6 ed.
- SANCHEZ, SR. J. F. 2011. Hidrología Superficial. Universidad de Salamanca Departamento de Geología. España.
- SENAMHI, 2004. Guía Básica de Meteorología General. Perú, Lima. 138 p.
- SUÁREZ D. J. 2001. Control de la Erosión en Zonas Tropicales. Universidad Industrial de Santander. Colombia. 86 – 130 p.
- VILLÓN, B. M. 2005. HidroEsta, software para cálculos hidrológicos. Revista Trimestral Tecnología en marcha del Tecnológico de Costa Rica. **18** (2). 67-75 p.
- USACE (United State Army Corps of Engineers, US). 2014. Hydrologic Modeling System HEC-HMS, Versión 4.1. User's Manual.
- USACE (United State Army Corps of Engineers, US). 2000. Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Technical Reference Manual.
- USACE (United State Army Corps of Engineers, US). 2015. Hydrologic Modeling System HEC-HMS, Versión 4.1. Hydraulic Reference Manual.
- USBR (United States. Bureau of Reclamation, US). 1973. Design of small dams. United States Gobenrenment Printing Office. Washington, USA. 2 ed.
- USDA (The United States Department of Agriculture, US). 1997. Hydrology National Engineering Handbook.
- U.S. Department of Agriculture Soil Conservation Service. 1985. National Engineering Hanbook. Section 4.

IX. ANEXOS

Anexo 01: Información histórica de las precipitaciones máximas en 24 horas

REGISTRO HISTORICO DE PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS - CARUMAS

ESTACION: CARUMAS

LATITUD: 16° 48' 47" S

DEPARTAMENTO: MOQUEGUA

PARAMETRO: PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (n)

LONGITUD: 70° 41' 40" O

PROVINCIA: MARISCAL NIETO

ALTITUD: 2976 msnm

DISTRITO: CARUMAS

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MÁXIMA
1998	31.9	38.7	3.2	1.1	0.0	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	11.9	38.7
1999	11.1	24.6	26.0	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	0.0	5.5	26.0
2000	18.5	18.6	38.8	9.5	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.5	38.8
2001	15.1	35.9	32.5	4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	1.4	1.7	35.9
2002	10.9	31.5	26.6	3.2	0.0	3.6	15.0	0.0	0.0	0.0	9.0	5.7	31.5
2003	8.5	18.4	12.9	16.9	1.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	10.0	18.4
2004	23.7	19.2	13.4	2.1	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.2	23.7
2005	22.2	14.8	15.2	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	0.0	0.0	10.7	22.2
2006	23.6	19.6	21.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	1.2	7.8	23.6
2007	15.5	14.4	30.5	8.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	30.5
2008	40.2	19.6	11.5	1.1	0.0	0.0	0.0	3.8	0.0	0.0	0.0	7.3	40.2
2009	5.5	15.1	10.6	26.3	0.0	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	4.7	4.6	26.3
2010	15.6	20.4	6.1	2.1	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	20.4
2011	15.6	19.9	2.8	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	29.5	29.5
2012	28.2	30.3	25.0	13.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	23.5	30.3
2013	12.2	59.4	31.8	0.0	7.6	2.9	0.0		0.0	0.0	0.0	7.3	59.4
PROM	18.6	25.0	19.3	5.9	1.2	0.8	1.3	0.4	0.3	0.4	1.5	10.4	31.0
MAX	40.2	59.4	38.8	26.3	7.6	3.6	15.0	3.8	4.4	2.8	9.0	29.5	59.4
MIN	5.5	14.4	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	18.4

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

REGISTRO HISTORICO DE PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS - ICHUÑA

ESTACION: ICHUÑA

LATITUD: 16° 08' 26.7" S

DEPARTAMENTO: MOQUEGUA

PARAMETRO: PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (LONGITUD: 70° 32' 14.1" O -

PROVINCIA: GENERAL SANCHEZ CE

ALTITUD: 3792 msnm

DISTRITO: ICHUÑA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MÁXIMA
1983	16.6	21.7	21.9	5.5	2.3	0.0	0.0	0.5	3.2	9.1	0.0	48.2	48.2
1984	23.3	24.3	15.3	8.2	0.0	3.9	0.0	4.7	0.0	28.0	28.2	28.8	28.8
1985	17.6	34.0	18.8	16.2	9.1	4.3	1.2	2.1	5.9	2.8	13.8	11.6	34.0
1986	31.7	27.9	22.4	31.3	5.2	0.0	14.2	2.1	2.1	0.0	4.5	25.8	31.7
1987	39.7	22.3	12.3	0.0	0.0	2.5	18.4	0.0	0.0	2.1	15.8	7.1	39.7
1988	14.3	8.5	12.8	11.4	6.8	0.0	0.0	0.0	2.1	6.3	0.0	9.2	14.3
1989	19.9	15.3	13.0	6.5	4.2	4.5	4.6	0.0	2.6	2.5	8.2	8.2	19.9
1990	34.2	15.1	20.0	6.5	3.8	16.7	0.0	6.1	0.0	6.3	13.3	12.7	34.2
1991	18.9	15.4	27.6	3.2	1.3	10.6	0.0	0.0	2.3	3.5	3.9	10.8	27.6
1992	25.9	6.8	1.5	3.5	0.0	4.0	0.0	9.6	0.0	4.5	5.2	22.5	25.9
1993	36.0	10.6	18.2	5.2	0.0	4.8	0.0	7.8	2.1	11.5	18.4	13.0	36.0
1994	25.0	37.0	25.7	25.0	4.8	0.0	0.0	0.0	1.5	0.3	12.5	33.5	37.0
1995	32.6	14.0	28.2	12.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	1.8	11.3	22.3	32.6
1996	29.8	24.5	11.2	14.5	6.4	0.0	0.0	6.5	2.1	7.5	8.5	13.5	29.8
1997	24.9	26.3	11.2	11.7	3.4		0.0		11.2	12.0	23.6	10.1	26.3
1998	31.1	23.8	12.2	4.3	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	1.5	22.3	7.4	31.1
1999	15.5	21.1	30.2	12.5	1.3	0.0	0.0	4.7	0.5	8.9	1.0	25.6	30.2
2000	31.3	24.8	7.9	7.5	2.5	0.0	0.0	4.7	0.0	6.4	2.9	20.9	31.3
2001	27.5	24.3	19.6	7.9	2.7	0.0	0.5	3.2	1.5	12.0	17.0	34.7	34.7
2002	13.6	20.4	29.4	11.8	3.3	0.5	9.3	0.6	5.0	8.1	12.9	24.0	29.4
2003	10.5	18.1	29.2	9.6	1.5	0.0	0.0	2.7	0.0	12.5	1.7	15.7	29.2
2004	21.0	30.3	19.4	16.2	0.0	0.0	9.2	2.8	6.4	0.0	9.1	19.5	30.3
2005	17.2	29.2	11.4	12.6	0.0	0.0	0.0	0.0	14.9	4.7	8.9	12.3	29.2
2006	20.0	10.0	13.1	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	6.8	3.8	24.8	26.8	26.8
2007	32.8	17.0	23.8	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	6.9	11.3	15.1	32.8
2008	26.5	20.1	26.3	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	0.0	3.4	0.0	27.9	27.9
2009	15.0	25.1	16.8	13.2	1.2	0.0	7.1	0.0	19.3	5.6	19.2	23.1	25.1
2010	15.4	22.6	7.6	11.4	5.2	0.0	1.7	0.0	0.0	3.6	5.2	23.9	23.9
2011	24.9	24.6	14.1	30.5	1.2	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0	25.3	15.3	30.5
2012	27.5	29.7	27.5	16.3	11.9	0.0	0.0	0.0	4.0	4.3	10.8	19.9	29.7
2013	28.1	20.6	28.0	1.4	4.4	4.2	4.4	8.0	0.0	30.3	9.2	20.8	30.3
PROM	24.1	21.5	18.4	11.0	2.7	1.9	2.3	2.3	3.1	6.8	11.3	19.7	30.3
MAX	39.7	37.0	30.2	31.3	11.9	16.7	18.4	9.6	19.3	30.3	28.2	48.2	48.2
MIN	10.5	6.8	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1	14.3

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

REGISTRO HISTORICO DE PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS - ICHUÑA

ESTACION: ICHUÑA

LATITUD: 16° 08' 26.7" S

DEPARTAMENTO: MOQUEGUA

PARAMETRO: PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (LONGITUD: 70° 32' 14.1" O -

PROVINCIA: GENERAL SANCHEZ CE

ALTITUD: 3792 msnm

DISTRITO: ICHUÑA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MÁXIMA
1983	16.6	21.7	21.9	5.5	2.3	0.0	0.0	0.5	3.2	9.1	0.0	48.2	48.2
1984	23.3	24.3	15.3	8.2	0.0	3.9	0.0	4.7	0.0	28.0	28.2	28.8	28.8
1985	17.6	34.0	18.8	16.2	9.1	4.3	1.2	2.1	5.9	2.8	13.8	11.6	34.0
1986	31.7	27.9	22.4	31.3	5.2	0.0	14.2	2.1	2.1	0.0	-4.5	25.8	31.7
1987	39.7	22.3	12.3	0.0	0.0	2.5	18.4	0.0	0.0	2.1	15.8	7.1	39.7
1988	14.3	8.5	12.8	11.4	6.8	0.0	0.0	0.0	2.1	6.3	0.0	9.2	14.3
1989	19.9	15.3	13.0	6.5	4.2	4.5	4.6	0.0	2.6	2.5	8.2	8.2	19.9
1990	34.2	15.1	20.0	6.5	3.8	16.7	0.0	6.1	0.0	6.3	13.3	12.7	34.2
1991	18.9	15.4	27.6	3.2	1.3	10.6	0.0	0.0	2.3	3.5	3.9	10.8	27.6
1992	25.9	6.8	1.5	3.5	0.0	4.0	0.0	9.6	0.0	4.5	5.2	22.5	25.9
1993	36.0	10.6	18.2	5.2	0.0	4.8	0.0	7.8	2.1	11.5	18.4	13.0	36.0
1994	25.0	37.0	25.7	25.0	4.8	0.0	0.0	0.0	1.5	0.3	12.5	33.5	37.0
1995	32.6	14.0	28.2	12.2	0.0	0.0	0.0	0.2	0.2	1.8	11.3	22.3	32.6
1996	29.8	24.5	11.2	14.5	6.4	0.0	0.0	6.5	2.1	7.5	8.5	13.5	29.8
1997	24.9	26.3	11.2	11.7	3.4		0.0		11.2	12.0	23.6	10.1	26.3
1998	31.1	23.8	12.2	4.3	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	1.5	22.3	7.4	31.1
1999	15.5	21.1	30.2	12.5	1.3	0.0	0.0	4.7	0.5	8.9	1.0	25.6	30.2
2000	31.3	24.8	7.9	7.5	2.5	0.0	0.0	4.7	0.0	6.4	2.9	20.9	31.3
2001	27.5	24.3	19.6	7.9	2.7	0.0	0.5	3.2	1.5	12.0	17.0	34.7	34.7
2002	13.6	20.4	29.4	11.8	3.3	0.5	9.3	0.6	5.0	8.1	12.9	24.0	29.4
2003	10.5	18.1	29.2	9.6	1.5	0.0	0.0	2.7	0.0	12.5	1.7	15.7	29.2
2004	21.0	30.3	19.4	16.2	0.0	0.0	9.2	2.8	6.4	0.0	9.1	19.5	30.3
2005	17.2	29.2	11.4	12.6	0.0	0.0	0.0	0.0	14.9	4.7	8.9	12.3	29.2
2006	20.0	10.0	13.1	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	6.8	3.8	24.8	26.8	26.8
2007	32.8	17.0	23.8	20.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	6.9	11.3	15.1	32.8
2008	26.5	20.1	26.3	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	0.0	3.4	0.0	27.9	27.9
2009	15.0	25.1	10.8	13.2	1.2	0.0	7.1	0.0	19.3	5.6	19.2	23.1	25.1
2010	15.4	22.6	7.6	11.4	5.2	0.0	1.7	0.0	0.0	3.6	5.2	23.9	23.9
2011	24.9	24.6	14.1	30.5	1.2	0.0	0.0	0.0	2.9	0.0	25.3	15.3	30.5
2012	27.5	29.7	27.5	16.3	11.9	0.0	0.0	0.0	4.0	4.3	10.8	19.9	29.7
2013	28.1	20.6	28.0	1.4	4.4	4.2	4.4	8.0	0.0	30.3	9.2	20.8	30.3
PROM	24.1	21.5	18.4	11.0	2.7	1.9	2.3	2.3	3.1	6.8	11.3	19.7	30.3
MAX	39.7	37.0	30.2	31.3	11.9	16.7	18.4	9.6	19.3	30.3	28.2	48.2	48.2
MIN	10.5	6.8	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.1	14.3

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

REGISTRO HISTORICO DE PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS - LA HACIENDITA

ESTACION: LA HACIENDITA

LATITUD: 16° 59' 57" S

DEPARTAMENTO: AREQUIPA

PARAMETRO: PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS(LONGITUD: 71° 35' 19" O

PROVINCIA: ISLAY

ALTITUD: 282 msnm

DISTRITO: COCACHACRA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MÁXIMA
1994	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1995	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1996	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1997	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1998	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2000	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2001	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2002	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2003	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2004	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2005	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
2007	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2008	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2010	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2011	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2012	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2013	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0
PROM	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
MAX	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0
MIN	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

REGISTRO HISTORICO DE PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS- OMATE

ESTACION: OMATE

LATITUD: 16° 40' 39" S

DEPARTAMENTO: MOQUEGUA

PARAMETRO: PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS

LONGITUD: 70° 58' 57" O

PROVINCIA: GENERAL SANCHEZ CE

ALTITUD: 2080 msnm

DISTRITO: OMATE

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MÁXIMA
1986	5.0	27.8	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	0.5	12.2	27.8
1987	21.5	3.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	0.0	21.5
1988	11.3	4.1	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	11.3
1989	7.8	36.0	0.0			0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	36.0
1990	8.0	4.3	22.0	0.0	0.0	3.6	0.0				0.0		22.0
1991													
1992	0.0	0.0	0.0	8.4		4.2	0.0	0.0	0.0		0.8	15.0	15.0
1993	9.0	7.4	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	18.2	0.0	0.0		2.4	18.2
1994	9.4	19.8	3.4	4.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	19.8
1995	14.0		34.2	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.8	34.2
1996	4.6	5.8	1.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	1.8	2.4	5.8
1997	17.2	15.0	17.2	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6	11.0	0.0	1.8	13.4	17.2
1998	11.2	19.8	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	19.8
1999	4.2	17.1	13.0	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	1.0	0.0	3.2	17.1
2000	14.2	12.2	9.8	1.3	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	14.2
2001	14.6	38.9	18.8	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	0.0	38.9
2002	12.2	13.0	10.4	0.2	0.0	1.8	6.6	0.0	0.0	0.0	7.2	10.7	13.0
2003	2.2	5.2	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	9.0
2004	15.2	10.6	5.4	0.0	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	0.9	0.5	15.2
2005	11.2	14.0	7.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	0.0	0.0	1.6	14.0
2006	13.8	10.2	5.8	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.1	13.8
2007			3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	3.8
2008	25.4	7.4	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	0.0	0.0	6.4	25.4
2009	6.8	7.1	14.8	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.8
2010	6.8	5.6	1.6	0.9	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	6.8
2011	18.6	27.2	0.3	9.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	22.0	27.2
2012	32.4	36.6	16.4	15.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2	36.6
2013	14.4	21.4	18.2	0.0	2.8	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	21.4
PROM	12.0	14.8	8.7	1.9	0.3	0.5	0.3	1.1	0.6	0.2	0.6	5.1	19.3
MAX	32.4	38.9	34.2	15.4	3.8	4.2	6.6	18.2	11.0	3.0	7.2	22.0	38.9
MIN	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

REGISTRO HISTORICO DE PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS - PAMPA BLANCA

ESTACION: PAMPA BLANCA

LATITUD: 17° 04' 07" S

DEPARTAMENTO: AREQUIPA

PARAMETRO: PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS

LONGITUD: 71° 43' 22" O

PROVINCIA: ISLAY

ALTITUD: 100 msnm

DISTRITO: COCACHACRA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MÁXIMA
1983	3.3	1.2	4.0	0.0	1.2	1.1	1.5	0.6	2.7	0.0	0.0	0.0	4.0
1984	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.9	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0		0.9
1985	0.0	0.1		0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	7.1	7.1
1986	0.4	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	4.5
1987	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2		0.5	0.0	0.0	0.0	0.5
1988	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.3	0.0	0.0	0.1	0.4
1989	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	1.5
1990	0.0	0.2	0.3	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
1991	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.1	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.9
1992	0.0	0.0	0.2	1.1	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.9
1993	0.6	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.5	0.5	0.9	0.0	0.0	0.9
1994	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
1995	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.8
1996	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0
1997	2.5	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.5	0.6	1.9	1.0	0.0	1.6	2.5
1998	1.4	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.4
1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2000	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9
2001	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	1.0
2002		1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5		0.0	0.0	0.0	0.0	1.2
2003	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2004	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2005	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.7
2007	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.5	0.0	0.0	0.0	1.0
2008	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.1	0.0	0.0	0.0	1.4
2009	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	0.6	0.9	0.8	0.7	1.6
2010	0.0	2.4	0.0		0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4
2011	0.3	0.1	0.0	0.0	0.2	0.5	0.4	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	1.2
2012	0.0	0.2	0.0	0.5	0.0	0.0		0.3	0.0	0.7	0.0	0.0	0.7
2013	0.3	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
PROM	0.4	0.4	0.3	0.1	0.2	0.1	0.2	0.3	0.4	0.2	0.1	0.3	1.4
MAX	3.3	4.5	4.0	1.1	2.9	1.1	1.6	2.0	2.7	1.0	1.2	7.1	7.1
MIN	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

REGISTRO HISTORICO DE PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS - PUQUINA

ESTACION: PUQUINA

LATITUD: 16° 37' 37" S

DEPARTAMENTO: MOQUEGUA

PARAMETRO: PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS

LONGITUD: 71° 10' 10" O

PROVINCIA: GENERAL SANCHEZ CE

ALTITUD: 3284 msnm

DISTRITO: PUQUINA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MÁXIMA
1998	20.5	20.1	4.8	8.5	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	20.5
1999	15.9	22.5	9.4	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	8.8	0.0	4.4	22.5
2000	36.3	31.5	7.9	0.2	0.4	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	36.3
2001	17.2	39.1	31.1	4.5	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	2.0	0.0	0.0	39.1
2002	17.5	24.7	16.8	1.1	0.0	0.7	11.0	0.0	0.0	0.0	6.1	6.1	24.7
2003	10.8	12.1	12.4	0.0	0.2	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	7.3	12.4
2004	16.8	24.8	10.6	0.3	0.0	0.0	3.8	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	24.8
2005	15.7	19.9	15.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	3.6	19.9
2006	23.1	15.4	29.6	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	1.8	0.0	29.6
2007	10.4	6.5	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	10.4
2008	29.1	13.1	3.9	2.2	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	7.7	29.1
2009	14.2	11.5	18.9	0.4	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	18.9
2010	2.7	11.8	2.3	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	11.8
2011	15.7	23.8	0.6	7.0	0.2	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	19.7	23.8
2012	30.0	22.0	25.5	15.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.5	30.0
2013	31.3	24.5	17.2	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	31.3
PROM	19.2	20.2	13.3	3.1	0.1	0.2	1.0	0.1	0.2	0.7	0.5	4.6	24.1
MAX	36.3	39.1	31.1	15.5	0.4	1.1	11.0	1.0	1.7	8.8	6.1	19.7	39.1
MIN	2.7	6.5	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.4

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

REGISTRO DE PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS - QUINISTILLAS

ESTACION: QUINISTAQUILLAS

LATITUD: 16° 46' 46" S

DEPARTAMENTO: MOQUEGUA

PARAMETRO: PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS

LONGITUD: 70° 53' 52" O

PROVINCIA: MARISCAL NIETO

ALTITUD: 1590 msnm

DISTRITO: CARUMAS

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MÁXIMA
1983	0.0	4.2	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			4.2
1984	4.2	10.0	3.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0					10.0
1985	3.0	12.4	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	12.4
1986	50.0	20.0	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	0.0	0.0	0.0	4.2	50.0
1987	3.4	3.1	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4
1988	2.1	13.9	0.6	1.3	0.0	0.0	0.0						13.9
1989	3.2	23.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.0
1990	3.9	1.1	4.4	0.0	0.0	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	9.7	9.7
1991	3.1	1.3		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	1.2	3.1
1992	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4
1993		1.4	8.3	0.0	0.0	0.0	0.0	7.4	0.0	0.0	0.0	1.4	8.3
1994	7.9	11.3	7.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0				11.3
1995	2.3	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2
1996	2.1	6.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0
1997	7.2	27.5	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	9.4	0.0	0.0	9.9	27.5
1998	10.0	2.2	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	10.0
1999	6.1	11.3	6.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	11.3
2000	7.5	17.1	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.1
2001	4.0	54.0	19.3	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	54.0
2002	8.7	0.0	25.8	0.0	0.0	2.4	5.7	0.0	0.0	0.0	2.0	10.3	25.8
2003	1.4	0.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	1.0	2.5
2004	24.6	18.7	0.6	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.6
2005	29.3	11.1	14.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	1.0	29.3
2006	4.6	4.8	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.0
2007	5.9	2.7	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.9
2008	26.2	7.6	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.8	26.2
2009	2.5	4.5	5.4	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4
2010	1.9	3.0	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.5	8.5
2011	9.0	17.5	0.0	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	11.8	17.5
2012	16.1	19.1	15.0	9.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.9	19.1
2013	10.5	8.2	7.2	0.0	0.9	0.0	0.0	17.0	0.0	0.0	0.0	6.3	17.0
PROM	8.9	10.2	5.9	0.5	0.0	0.1	0.2	1.0	0.3	0.0	0.2	2.6	15.5
MAX	50.0	54.0	25.8	9.9	0.9	2.4	5.7	17.0	9.4	1.1	2.0	11.8	54.0
MIN	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

REGISTRO HISTORICO DE PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS - UBINAS

ESTACION: UBINAS

LATITUD: 16° 22' 57" S

DEPARTAMENTO: AREQUIPA

PARAMETRO: PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS

LONGITUD: 70° 51' 24" O

PROVINCIA: GENERAL SANCHEZ CE

ALTITUD: 3491 msnm

DISTRITO: UBINAS

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MÁXIMA
1983	1.9	4.3	5.9	4.0	1.0	0.0	0.0	0.0	9.0	0.0	0.0	15.0	15.0
1984	21.5	37.5	13.7	2.5	0.0	7.5	0.0	18.8	0.0	6.0	15.6	4.2	37.5
1985	8.5	32.2	13.9	7.7	2.8	3.2	0.0	0.0	2.0	0.0	7.6	19.5	32.2
1986	23.3	17.9	16.5	5.6	0.0	0.0	2.2	7.0		0.0	1.3	11.7	23.3
1987	22.2	11.1	2.2	0.0	0.0	0.3	8.4	0.0	0.5	10.9	0.0	0.0	22.2
1988	15.0	21.8	9.8	11.5	5.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.5	21.8
1989	9.1	17.0	8.4	16.8	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	17.0
1990	13.8	8.0	14.6	1.5	1.2	12.5	0.0	0.0	0.0	1.2	26.1	23.0	26.1
1991	17.5	11.0	34.5	7.2	0.0	7.9	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	9.6	34.5
1992	3.9	0.9	0.0	0.2	0.0	7.0	0.0	1.6	0.0	6.2	4.8	12.5	12.5
1993	22.5	6.5	15.1	5.1	0.0	0.0	0.0	18.4	0.0	8.5	1.0	11.7	22.5
1994	15.0	27.3	3.3	15.0	10.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	13.9	27.3
1995	14.7	8.1	34.0	3.1	3.4	0.0	0.0	0.0	4.5	0.3	9.2	14.1	34.0
1996	16.0	27.0	3.8	13.5	1.7	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0	4.9	11.9	27.0
1997	24.1	23.6	14.5	1.5	0.0	0.0	0.5	15.8	13.4	0.0	4.7	18.1	24.1
1998	29.2	11.3	17.2	14.3	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	7.6	13.2	29.2
1999	10.9	33.0	24.3	7.3	0.0	0.0	0.0	0.0	11.8	6.5	0.0	8.3	33.0
2000	13.6	22.0	18.1	4.3	2.0	0.3	0.0	0.0	0.0	7.7	0.0	12.1	22.0
2001	19.6	34.8	12.0	8.4	0.1	0.5	0.0	0.6	0.0	3.7	0.0	7.2	34.8
2002	20.3	20.8	18.0	6.9	0.7	0.2	19.0	0.0	0.0	0.0	12.7	12.6	20.8
2003	12.5	15.2	9.8	2.3	6.8	0.0	0.0	6.2	0.0	0.0	0.0	18.1	18.1
2004	15.2	26.6	7.2	17.3	0.0	0.0	5.8	2.3	0.0	0.0	0.0	11.5	26.6
2005	13.7	31.8	12.4	4.4	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1	0.0	0.0	12.5	31.8
2006													
2007	18.4	19.9	17.8	7.9	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	3.7	6.9	19.9
2008	18.4	16.8	14.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	8.8	18.4
2009	8.1	19.0	8.6	11.5	0.0	0.0	6.0	0.0	6.0	0.0	3.2	2.3	19.0
2010	11.9	13.8	7.1	8.2	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	0.0	6.6	13.8
2011	26.9	28.2	4.3	28.6	14.4	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	19.1	22.5	28.6
2012	11.0	25.6	12.0	14.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	3.5	0.0	22.3	25.6
2013	17.2	18.5	24.6	0.0	7.6	4.7	4.0	8.2	0.0	4.5	0.0	6.0	24.6
PROM	15.9	19.7	13.3	7.7	2.0	1.6	1.6	2.7	1.8	2.1	4.3	11.6	24.8
MAX	29.2	37.5	34.5	28.6	14.4	12.5	19.0	18.8	13.4	10.9	26.1	23.0	37.5
MIN	1.9	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	12.5

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

REGISTRO HISTORICO DE PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS - CHIGUATA

ESTACION: CHIGUATA

LATITUD: 16° 24' 1" S

DEPARTAMENTO: AREQUIPA

PARAMETRO: PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (LONGITUD: 71° 24' 01" O

PROVINCIA: AREQUIPA

ALTITUD: 2943 msnm

DISTRITO: CHIGUATA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MÁXIMA
1983	0.0	0.0	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	3.1	3.8
1984	10.7	21.0	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0	21.0
1985	11.4	20.3	10.3	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	16.5	20.3
1986	20.6	17.3	6.2	0.0	0.8	0.0	0.5	8.6	0.0	0.0	3.1	37.9	37.9
1987	39.4	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	2.7	0.0	0.0	39.4
1988	19.5	1.9	22.7	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.1	22.7
1989	8.5	32.2	10.2	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	32.2
1990	2.6	2.8	18.9	0.3	0.0	4.8	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	15.8	18.9
1991	6.3	3.5	13.5	3.6	0.0	7.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.5
1992	0.0	0.6	1.8	0.0	0.1	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.2	5.2
1993	21.8	14.3	3.9	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3	0.0	4.3	0.0	2.0	21.8
1994	35.3	21.2	15.0	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	35.3
1995	26.0	0.0	48.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	48.8
1996	15.9	10.2	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	15.9
1997	14.9	44.0	28.5	0.0	0.0	0.0	0.0	19.0	4.8	0.0	0.0	16.4	44.0
1998	10.4	12.6	3.9	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.4	12.6
1999	10.2	19.9	25.0	3.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	25.0
2000	14.3	22.1	36.2	1.4	0.4	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	36.2
2001	11.4	19.4	20.9	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	20.9
2002	10.4	24.3	21.7	6.1	0.0	0.0	8.9	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0	24.3
2003	8.4	2.5	9.2	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	9.2
2004	17.7	18.7	0.6	0.0	0.0	0.0	4.4	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	18.7
2005	11.1	13.0	7.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	13.0
2006	5.5	14.4	13.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.8	14.4
2007	23.4	9.6	5.1	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	23.4
2008	20.7	14.6	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.5	20.7
2009	2.4	9.9	6.4	4.2	0.0	0.0	0.4	0.0	0.2	0.0	0.4	0.0	9.9
2010	3.3	9.7	2.9	2.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	9.7
2011	16.5	19.2	2.3	2.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.8	19.2
2012	25.3	39.3	36.6	16.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	39.3
2013	28.5	18.0	21.5	0.0	2.9	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6	28.5
PROM	14.6	14.9	13.5	1.7	0.2	0.5	0.5	1.2	0.3	0.3	0.3	4.7	22.8
MAX	39.4	44.0	48.8	16.5	2.9	7.4	8.9	19.0	4.8	4.3	3.1	37.9	48.8
MIN	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

REGISTRO HISTORICO DE PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS - EL FRAYLE

ESTACION: EL FRAYLE

LATITUD: 16° 09' 17" S

DEPARTAMENTO: AREQUIPA

PARAMETRO: PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (LONGITUD: 71° 11' 20.61" O

ALTITUD: 4119 msnm

PROVINCIA: AREQUIPA

DISTRITO: SAN JUAN DE TARUCANI

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MÁXIMA
1983		6.1	32.5	4.7	0.3	0.0	0.0	0.8	3.2	0.0	0.0	6.9	32.5
1984	15.5	16.0	17.8	0.0	0.0	4.8	0.0	5.8	0.0	7.1	14.6	8.6	17.8
1985	21.2	14.9	18.6	4.8	2.3	1.2	0.0	0.0	3.5	0.0	4.8	12.7	21.2
1986	18.4	15.5	15.5	7.8	0.6	0.0	2.7	9.5	0.0	0.0	6.5	17.0	18.4
1987	12.6	5.7	2.7	0.1	0.0	2.6	5.9	0.0	0.6	5.8	2.8	0.2	12.6
1988	20.0	12.4	7.5	15.2	7.1	0.0	0.0	0.0	0.5	5.5	0.0	4.8	20.0
1989	5.4	18.6	11.5	14.1	0.0	0.8	1.2	0.0	0.0	0.0	10.2	0.3	18.6
1990	18.2	7.0	10.0	4.2	5.0	58.5	0.0	0.8	0.0	24.7	24.7	9.3	58.5
1991	15.9	22.7	23.5	2.2	0.0	9.4	0.0	0.0	0.0	3.0	4.0	6.3	23.5
1992	14.0	4.5	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	4.2	18.2	18.2
1993	20.2	10.5	10.8	7.0	0.0	0.0	0.0	0.6	2.4	6.2	2.5	24.7	24.7
1994	39.0	18.4	12.0	9.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.2	17.5	39.0
1995	15.0	8.2	32.5	5.1	5.5	0.0	0.0	0.0	3.0	0.0	5.5	20.8	32.5
1996	10.6	12.5	21.4	16.6	9.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	5.0	9.3	21.4
1997	11.4	21.6	16.7	2.6	0.4	0.0	0.0	8.5	9.2	5.2	8.2	0.0	21.6
1998	19.6	20.9	7.6	1.0	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	17.0	8.7	20.9
1999	5.6	25.7	20.9	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0	6.2	4.1	0.0	8.6	25.7
2000	15.8	15.3	15.9	2.0	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	0.2	15.7	15.9
2001	13.4	13.1	10.1	13.2	0.0	0.5	0.0	2.0	1.0	5.1	0.0	2.1	13.4
2002	9.2	17.8	15.1	10.8	2.1	1.8	13.4	0.0	0.0	1.2	6.3	11.8	17.8
2003	7.4	10.8	11.7	11.2	6.0	0.0	0.8	2.5	0.2	0.0	3.9	5.9	11.7
2004	17.5	28.4	24.8	10.5	0.0	0.0	7.8	1.4	0.1	0.0	0.0	1.7	28.4
2005	13.7	17.8	8.9	20.1	0.0	0.0	0.0	0.0	6.3	0.0	1.6	13.0	20.1
2006	20.3	28.3	14.7	2.3	0.4	0.0	0.0	0.0	1.2	12.7	6.5	5.3	28.3
2007	21.2	16.2	15.8	2.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	7.9	11.6	21.2
2008	15.6	11.8	28.2	0.0	0.0	0.6	0.0	0.8	0.0	0.4	0.0	16.6	28.2
2009	43.6	21.4	12.9	14.7	1.4	0.0	14.6	0.0	0.2	0.0	5.7	6.6	43.6
PROM	16.9	15.6	15.6	7.0	1.6	3.0	1.7	1.3	1.4	3.2	5.9	9.8	24.3
MAX	43.6	28.4	32.5	20.1	9.0	58.5	14.6	9.5	9.2	24.7	24.7	24.7	58.5
MIN	5.4	4.5	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.7

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

REGISTRO HISTORICO DE PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS - HUASACACHE

ESTACION: HUASACACHE

LATITUD: 16° 27' 12.27" S

DEPARTAMENTO: AREQUIPA

PARAMETRO: PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS

LONGITUD: 71° 33' 3.13" O

PROVINCIA: AREQUIPA

ALTITUD: 2242 msnm

DISTRITO: JACABO HUNTER

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MÁXIMA
1994	11.8	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	11.8
1995	19.6	0.0	10.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.6
1996	8.3	4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.3
1997	7.0	25.5	33.3	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2	1.5	0.0	0.0	5.5	33.3
1998	15.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	15.0
1999	2.4	8.8	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	1.0	8.8
2000	7.4	9.5	11.1	0.0	0.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.1
2001	4.1	8.4	8.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.4
2002	2.2	6.7	9.0	0.3	0.0	0.0	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	9.0
2003	6.5	0.2	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5
2004	4.1	5.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	5.5
2005	5.6	3.5	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	1.3	5.6
2006	5.3	9.6	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.6
2007	8.1	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.1
2008	22.5	3.3	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	2.3	22.5
2009	3.3	7.0	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0
2010	0.4	3.5	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5
2011	6.0	48.8	0.8	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	48.8
2012	24.3	29.7	17.3	10.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	29.7
2013	10.6	20.9	8.0	0.0	1.8	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	20.9
PROM	8.7	10.4	5.6	0.8	0.1	0.0	0.4	0.5	0.1	0.0	0.0	1.1	14.7
MAX	24.3	48.8	33.3	10.3	1.8	0.3	4.2	9.2	1.5	0.3	0.0	6.5	48.8
MIN	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

REGISTRO HISTORICO DE PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS- IMATA

ESTACION: IMATA

LATITUD: 15° 50' 12" S

DEPARTAMENTO: AREQUIPA

PARAMETRO: PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS

(LONGITUD: 71° 05' 16" O

PROVINCIA: CAYLLOMA

ALTITUD: 4445 msnm

DISTRITO: SAN ANTONIO DE CHUCA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MÁXIMA
1983	5.2	13.0	10.5	9.1	3.9	2.0	0.0	1.0	4.5	0.6	0.0	15.4	15.4
1984	21.7	29.3	21.8	5.8	0.8	1.8	0.0	0.3	0.2	12.4	15.3	14.8	29.3
1985	15.7	24.2	34.9	19.4	3.2	2.8	0.0	0.5	2.0	0.0	21.0	15.5	34.9
1986	27.8	22.7	19.0	8.8	0.8	0.0	1.5	4.5	1.1	2.0	3.5	18.5	27.8
1987	20.3	23.9	5.1	9.5	2.0	2.0	7.4	0.4	3.0	6.3	8.8	6.0	23.9
1988	20.1	11.8	18.7	9.7	0.0	0.0	0.0	0.0	3.3	4.9	0.0	7.7	20.1
1989	16.2	18.2	15.2	12.4	7.0	1.7	1.2	0.3	0.0	0.7	10.2	2.8	18.2
1990	37.0	8.0	19.9	5.4	2.1	16.5	0.0	3.1	0.0	6.8	23.4	18.8	37.0
1991	18.3	12.8	31.0	6.3	0.0	7.2	0.0	0.0	0.0	5.2	9.6	14.2	31.0
1992	8.8	15.3	3.7	4.5	0.0	2.5	0.3	3.5	0.0	2.4	6.7	27.1	27.1
1993	23.3	15.0	27.6	4.8	0.0	1.3	0.0	9.4	0.8	9.9	11.7	13.8	27.6
1994	24.8	28.6	20.5	20.6	3.2	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	15.7	19.4	28.6
1995	27.7	26.1	15.8	12.3	0.0	0.0	0.0	0.3	4.8	0.7	10.8	27.4	27.7
1996	23.9	21.8	17.0	12.3	2.4	0.0	0.0	7.0	0.0	0.7	4.4	17.8	23.9
1997	16.5	22.7	15.0	5.3	4.7	0.0	0.0	13.2	12.0	0.1	1.8	17.5	22.7
1998	21.8	30.6	14.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	3.2	13.6	24.6	30.6
1999	21.0	27.6	57.2	31.0	1.6	0.0	0.0	1.5	8.2	15.4	1.6	18.0	57.2
2000	21.9	13.6	18.0	5.2	4.9	0.6	0.4	0.5	0.0	15.8	3.8	17.2	21.9
2001	52.5	32.5	15.1	24.0	1.0	0.3	0.1	1.7	2.8	4.8	2.4	10.1	52.5
2002	7.8	25.2	25.5	11.0	2.0	0.1	10.0	1.9	0.4	12.2	14.0	23.5	25.5
2003	23.8	19.2	19.4	11.9	5.1	0.9	0.2	8.7	0.9	6.2	11.2	11.9	23.8
2004	32.5	30.9	17.6	21.0	0.0	0.0	11.0	1.9	5.7	0.2	0.0	17.2	32.5
2005	31.4	17.8	28.1	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	9.7	2.6	6.7	21.2	31.4
2006	55.4	14.2	18.5	15.7	0.2	0.0	0.0	0.4	3.0	7.0	10.0	14.2	55.4
2007	28.2	27.8	15.1	19.4	4.0	0.0	0.0	0.0	0.9	2.6	19.7	8.0	28.2
2008	17.8	30.2	14.3	1.3	0.0	0.1	0.0	0.4	0.0	5.0	3.1	12.1	30.2
2009	19.2	31.0	29.0	33.0	0.3	0.0	7.4	0.0	13.0	3.8	9.9	5.6	33.0
2010	26.8	27.5	17.1	6.0	2.6	0.4	0.3	0.0	3.3	4.5	13.5	17.0	27.5
2011	30.7	25.3	25.7	17.5	1.9	0.0	3.0	0.0	13.0	1.8	18.5	17.8	30.7
2012	31.8	35.4	17.8	26.8	0.0	0.0	0.0	0.0	6.8	25.5	3.0	26.7	35.4
2013	38.8	17.4	16.2	0.0	5.5	5.0	7.8	5.0	0.0		2.6	33.0	38.8
PROM	24.8	22.6	20.2	12.3	1.9	1.5	1.6	2.1	3.2	5.4	8.9	16.6	30.6
MAX	55.4	35.4	57.2	33.0	7.0	16.5	11.0	13.2	13.0	25.5	23.4	33.0	57.2
MIN	5.2	8.0	3.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	15.4

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

REGISTRO HISTORICO DE PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS - LA JOYA

ESTACION: LA JOYA

LATITUD: 16° 35' 33" S

DEPARTAMENTO: AREQUIPA

PARAMETRO: PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS

LONGITUD: 71° 55' 09"

PROVINCIA: AREQUIPA

ALTITUD: 1292 msnm

DISTRITO: VITOR

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MÁXIMA
1983	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1984	0.6	0.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0
1985	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	2.3
1986	0.8	18.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.3	18.7
1987	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1988	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
1989	0.0	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3
1990	0.5	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.0
1991	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1992	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2
1993	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7
1994	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1995	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1996	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1997	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9
1998	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
1999	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2000	0.0	0.5	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
2001	0.0	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4
2002	0.0	0.9	0.9	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0
2003	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2004	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3
2005	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2006	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2007	6.7	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.7
2008	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4
2009	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2010	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6
2011	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5
2012	0.0	1.0	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	4.0
2013	0.0	0.6	1.2	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2
PROM	0.5	0.9	0.4	0.2	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1	1.9
MAX	6.7	18.7	4.0	4.0	1.2	0.0	2.3	1.9	0.0	0.0	0.3	2.3	18.7
MIN	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

REGISTRO HISTORICO DE PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS - SALINAS

ESTACION: SALINAS

LATITUD: 16° 19' 05" S

DEPARTAMENTO: AREQUIPA

PARAMETRO:PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (LONGITUD: 71° 08' 54" O

PROVINCIA: AREQUIPA

ALTITUD: 4322 msnm

DISTRITO: CHIGUATA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MÁXIMA
1995	41.2	12.1	30.9	12.3	6.1	0.0	0.0	0.0	6.1	0.0	3.0	10.1	41.2
1996	15.0	21.1	8.2	3.4	1.2	0.0	0.0	2.1	0.0	0.0	5.5	8.2	21.1
1997	10.0	21.5	19.4	9.7	1.0	0.0	0.0	8.5	7.3	0.5	9.7	12.5	21.5
1998	24.5	24.5	6.3	9.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	23.0	11.6	24.5
1999	13.9	42.3	24.4	18.3	0.0	0.0	0.0	0.0	6.1	4.0	4.0	8.5	42.3
2000	13.8	14.2	11.1	8.5	0.0	0.0	0.0	0.5	0.6	3.0	0.0	20.6	20.6
2001	11.2	27.2	18.9	16.4	0.0	1.3	0.0	2.2	0.0	15.0	2.3	10.4	27.2
2002	26.6	17.2	42.0	13.6	1.5	5.5	9.5	0.0	0.0	4.3	5.0	14.8	42.0
2003	19.5	13.0	16.2	9.9	3.5	0.0	0.6	5.2	0.3	0.0	0.5	13.6	19.5
2004	22.6	39.6	10.2	13.0	0.0	0.0	12.5	1.5	1.3	0.0	0.0	2.8	39.6
2005	9.0	28.4	9.3	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	7.3	0.0	6.2	13.6	28.4
2006	21.2	16.0	19.3	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.1	9.4	7.4	21.2
2007	13.8	10.6	24.4	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.1	3.0	12.4	24.4
2008	22.1	13.7	32.8	0.0	0.0	0.4	0.0	5.4	0.0	8.4	0.0	9.6	32.8
2009	16.3	18.2	11.0	3.6	0.0	0.0	5.8	0.0	2.0	1.0	10.7	6.5	18.2
2010	7.5	12.7	7.8	3.2	1.8	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	13.6	13.6
2011		24.8	10.8	16.0	14.9	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	6.0	22.7	24.8
2012	20.4	18.9	12.9	17.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.6	0.0	13.9	20.4
2013	28.6	15.7	17.4	0.0	5.4	37.6	8.6	10.5	0.0	14.1	0.0	11.8	37.6
PROM	18.7	20.6	17.5	9.0	1.9	2.4	2.0	1.9	1.7	3.7	4.6	11.8	27.4
MAX	41.2	42.3	42.0	18.3	14.9	37.6	12.5	10.5	7.3	15.0	23.0	22.7	42.3
MIN	7.5	10.6	6.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	13.6

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

REGISTRO HISTORICO DE PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS- PILLONES

ESTACION: PILLONES

LATITUD: 15° 58' 52.41" S

DEPARTAMENTO: AREQUIPA

PARAMETRO: PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS (LONGITUD: 71° 13' 0.05" O

PROVINCIA: CAYLLOMA

ALTITUD: 4431 msnm

DISTRITO: SAN ANTONIO DE CHUCA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MÁXIMA
1983	2.0	13.3	23.8	9.4	2.6	2.3	0.0	0.0	6.0	4.1	0.0	10.2	23.8
1984	20.5	20.5	28.0	10.2	0.0	8.2	0.0	0.0	0.0	7.4	10.0	9.9	28.0
1985	13.4	20.1	14.0	10.5	2.0	5.4	0.0	0.0	2.1	0.0	11.5	16.0	20.1
1986	32.0	19.6	14.0	6.6	3.9	0.0	1.7	2.8		0.0	7.9	27.7	32.0
1987	13.6	9.2	8.7	0.0	0.0	4.0	4.5	0.0	4.0	9.0	8.9	0.7	13.6
1988	30.1	7.0	13.3	19.8	16.3	0.0	0.0	0.0	0.0	5.2	0.0	12.5	30.1
1989	10.5	16.0	12.0	11.2	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.0	4.5	17.0
1990	29.5	7.0	31.7	4.5	3.5	18.0	0.0	2.1	0.0	4.0	24.0	14.1	31.7
1991		13.2	36.0	4.7	0.0	24.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.9	36.0
1992	3.9	10.1	0.8	1.8	0.0	0.0	2.0	5.2	0.0	2.3	3.8	23.8	23.8
1993	32.1	8.8	9.1	8.3	2.1	2.1	1.8	11.5	0.0	5.7	5.5	50.5	50.5
1994	30.7	30.8	9.8	11.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	7.5	30.8
1995	20.6	22.6	22.4	2.9	7.1	0.0	0.0	0.0	3.0	2.3	9.2	10.8	22.6
1996	9.0	16.9	15.7	11.3	9.4	0.0	0.0	4.2	0.0	0.6	4.8	11.2	16.9
1997	17.4	15.5	21.0	1.2	2.1	0.0	0.2	5.3	8.9	14.9	11.6	8.5	21.0
1998	26.4	13.1	8.0	4.2	0.0	1.3	0.0	0.0	1.2	0.0	19.8	12.6	26.4
1999	8.1	22.0	26.6	13.9	0.0	0.1	0.0	0.0	11.7	21.5	0.8	9.0	26.6
2000	20.1	11.8	22.1	0.6	0.9	0.4	0.0	0.0	0.5	5.1	1.1	7.5	22.1
2001	25.1	23.3	17.2	10.2	0.0	1.5	0.0	6.6	3.2	7.4	1.4	5.1	25.1
2002	16.7	25.4	27.3	9.5	2.8	2.1	13.1	0.5	3.1	3.9	13.4	35.7	35.7
2003	10.7	9.5	15.2	4.2	4.5	0.0	0.2	4.0	0.4	0.0	0.1	15.6	15.6
2004	26.4	25.2	20.4	2.8	0.0	0.0	10.4	3.4	2.8	0.0	0.0	4.6	26.4
2005	17.6	21.3	19.1	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	5.8	0.0	2.2	19.8	21.3
2006	17.9	30.4	25.8	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	6.1	4.7	7.1	30.4
2007	19.8	22.6	25.6	10.0	1.2	0.3	0.0	0.0	1.1	1.6	9.3	9.9	25.6
2008	23.1	15.8	13.6	0.2	0.0	1.8	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	20.5	23.1
2009	22.3	22.1	18.1	12.2	0.4	0.0	15.2	0.0	6.3	1.9	12.6	2.0	22.3
2010	21.0	19.8	18.1	5.4	3.0	0.0	0.0	0.0	2.5	4.1	0.4	18.9	21.0
2011	18.2	32.1	19.5	18.9	2.6	0.0	1.4	0.0	0.0	0.9	14.9	25.4	32.1
2012	34.9	14.8	21.3	13.4	3.2	0.0	0.0	0.0	4.9	10.4	0.5	19.2	34.9
2013	20.4	16.2	20.8	0.0	4.2	8.9	4.8	5.2	0.0	19.2	3.2	15.9	20.8
PROM	19.8	17.9	18.7	7.4	2.4	2.6	1.8	1.7	2.3	4.4	6.5	14.5	26.0
MAX	34.9	32.1	36.0	19.8	16.3	24.5	15.2	11.5	11.7	21.5	24.0	50.5	50.5
MIN	2.0	7.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	13.6

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

REGISTRO HISTORICO DE PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS - CRUCERO ALTO

ESTACION: CRUCERO ALTO

LATITUD: 15° 46' 01" S

DEPARTAMENTO: PUNO

PARAMETRO: PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS

LONGITUD: 70° 55' 01" O

PROVINCIA: LAMPA

ALTITUD: 4470 msnm

DISTRITO: SANTA LUCIA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MAX
1983	6.2	6.7	20.0	12.9	0.0	0.0	0.0	0.0	6.7	0.0	0.0	11.6	20.0
1984	23.5	22.6	18.8	5.7	3.3	0.4	3.1	2.6	0.2	28.3	18.5	17.6	28.3
1985	14.1	20.3	20.5	8.1	7.8	2.1	0.4	2.5	6.5	0.0	22.9	14.1	22.9
1986	19.2	15.8	12.4	8.6	2.0	0.0	1.6	2.7	0.9	0.6	4.	7.7	19.2
1987	14.4	13.4	6.2	0.0	0.8	0.0	8.7	0.7	0.0	4.0			14.4
1988	18.8	7.7		8.2	2.9	0.0	0.0	0.0	0.6	4.5	1.3	7.5	18.8
1989	19.2	7.1	9.8	4.8	3.9	1.6	7.9	1.8	0.0	1.6	8.4	4.2	19.2
1990	18.0	5.8	10.4	5.7	3.1	10.1	0.0	6.1	0.0		11.6	14.7	18.0
1991	15.9	11.6	19.5	1.6	0.8	12.3	0.0	0.0	0.5	4.9	4.0	14.9	19.5
1992	8.6	13.9	2.6	3.5	0.0	0.3	0.8	9.1	0.0	3.8	4.8	9.3	13.9
1993	19.7	6.6	18.1	9.6	0.4	0.0	0.1	7.0	2.2	11.6	22.6	22.3	22.6
1994	32.1	28.7	31.3	31.3	16.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	31.2	23.5	32.1
1995	19.7	25.7	31.8	15.5	0.1	0.0	0.0	0.5	7.8	12.3	13.4	16.2	31.8
1996	27.6	20.7	12.1	9.8	5.1	0.0	0.0	10.5	0.4	2.7	5.4	11.3	27.6
1997	27.4	23.0	14.2	11.6	4.8	0.0	0.0	5.7	7.5	0.2	15.6	10.8	27.4
1998	21.7	16.4	23.6	9.2	0.0	6.3	0.0	1.9	1.7	8.0	9.6	10.7	23.6
1999	17.0	23.5	32.7	11.3	3.4	0.0	0.0	5.5	1.5	23.3	0.0	17.5	32.7
2000	18.8	15.2	9.1	4.4	7.3	2.0	0.0	1.2	0.2	7.4	3.9	21.9	21.9
2001	25.9	21.2	13.7	12.5	2.7	0.6	0.0	2.7	0.3	6.8	15.2	11.7	25.9
2002	12.8	19.7	30.6	21.9	3.3	2.2	11.2	0.2	0.2	10.3	8.0	19.1	30.6
2003	14.6	15.7	12.4	15.5	2.9	0.5	0.0	4.5	2.5	0.4	1.9	12.1	15.7
2004	19.7	17.4	19.2	28.2	0.0	0.0	8.9	2.6	1.3	1.7	5.3	8.8	28.2
2005	10.0	20.0	12.8	35.3	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	1.5	6.1	12.3	35.3
2006	19.1	18.1	23.4	9.1	0.1	0.1	0.0	1.4	3.8	3.1	10.6	14.5	23.4
2007	16.5	13.1	32.5	18.4	2.9	0.2	1.9	0.0	2.1	6.3	11.3	12.0	32.5
2008	15.4	8.5	13.8	0.3	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	5.4	3.6	14.6	15.4
2009	20.7	32.7	9.9	12.1	0.0	0.0	7.3	0.0	7.8	1.7	18.4	12.8	32.7
2010	33.8	26.6	14.3	9.1	2.7	1.3	0.1	0.3	3.4	4.1	2.5	27.2	33.8
2011	13.6	27.9	15.6	4.9	1.4	0.0	12.1	1.4	0.8	6.7	26.7	25.9	27.9
2012	37.1	29.9	23.6	32.8	6.7	0.0	0.0	0.0	8.5	32.0	2.5	18.2	37.1
2013	17.8	23.8	13.2	3.9	6.7	4.7	3.2	4.7	0.0	11.2	14.5	14.0	23.8
PROM	19.3	18.0	17.6	11.8	3.0	1.4	2.2	2.5	2.4	6.8	10.1	14.6	25.0
MAX	37.1	32.7	32.7	35.3	16.6	12.3	12.1	10.5	8.5	32.0	31.2	27.2	37.1
MIN	6.2	5.8	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	13.9

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

REGISTRO HISTORICO DE PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS -PAMPA UMALZO (TITIJONES)

ESTACION: PAMPA UMALZO (TITIJONES)

LATITUD: 16° 52' 30" S

DEPARTAMENTO: TACNA

PARAMETRO: PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS

LONGITUD: 70° 25' 24.8" O

PROVINCIA: CANDARAVE

ALTITUD: 4609 msnm

DISTRITO: CANDARAVE

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MÁXIMA
1983	4.8	3.2	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	3.4	0.0	6.1	7.4	7.4
1984	7.5	5.4	8.2	6.9	0.0	5.2	0.0	0.9	0.0	0.6	26.1	3.2	26.1
1985	2.4	3.7	3.2	2.5	0.0	1.3	0.0	0.0	1.2	3.0	2.9	3.6	3.7
1986	10.2	5.2	10.0	2.8	0.0	0.0	2.9	0.5	0.0	0.0	0.0	10.0	10.2
1987	11.1	5.3	2.8	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	0.3	0.0	7.3	11.1
1988	9.6	13.1	10.3	5.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.1
1989	11.0	26.8	12.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	26.8
1990													0.0
1991													0.0
1992				0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4	5.4
1993	14.4	2.5	1.0	0.0	0.0	1.4	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	5.3	14.4
1994	17.0	7.6	7.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	1.9	3.4	17.0
1995	3.5	3.5	6.0	0.0	1.5	0.2	0.0	0.0	0.6	0.0	3.1	4.8	6.0
1996	5.2	6.9	12.1	4.1	0.4	0.0	0.0	3.8	1.6	0.0	1.3	3.2	12.1
1997	8.7	31.5	9.4	2.8	1.4	0.0	0.0	10.9	7.3	0.0	4.7	14.2	31.5
1998	26.3	6.9	3.1	7.0	0.0	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	4.8	10.6	26.3
1999	10.5	27.7	11.9	9.5	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	3.0	0.0	8.4	27.7
2000	15.0	14.1	10.6	4.1	0.0	0.3	0.4	0.0	0.0	12.2	2.7	7.1	15.0
2001	26.9	21.1	14.9	11.2	1.5	1.9	0.0	4.2	0.0	5.8	8.6	12.4	26.9
2002	20.0	16.2	23.4	16.6	7.0	2.7	6.3	6.3	0.0	0.0	17.5	14.6	23.4
2003	13.4	9.9	15.2	4.3	11.3	0.0	0.0	5.8	3.6	0.8	3.3	16.1	16.1
2004	14.6	25.1	16.8	9.8	0.0	0.0	11.7	9.4	8.0	1.4	0.1	8.2	25.1
2005	12.4	23.0	12.9	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	18.4	4.1	3.9	13.9	23.0
2006	13.6	16.6	12.2	5.6	0.0	3.6	0.0	0.0	0.8	8.6	19.3	21.0	21.0
2007	21.1	16.7	32.7	8.5	12.6	0.8	0.0			0.0	0.0	0.0	32.7
2008	9.4	4.9	12.8	2.4	0.0	0.0	0.0	3.3	0.0	0.0	0.0	11.4	12.8
2009	2.3	4.2	16.6	5.6	0.0	0.0	8.8	0.0	0.0	3.8	14.0	6.0	16.6
2010	4.2	12.8	6.8	6.4	6.8	0.0	0.0	0.0	3.4	0.0	0.0	8.6	12.8
2011	26.4	11.9	7.2	6.7	6.1	0.0	1.0	0.0	0.8	0.0	22.9	15.4	26.4
2012	12.1	15.4	6.3	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	5.6	4.4	8.8	15.4
2013													0.0
PROM	12.4	12.6	10.7	4.6	1.7	0.8	1.2	2.0	2.0	1.8	5.3	8.5	16.3
MAX	26.9	31.5	32.7	16.6	12.6	5.2	11.7	10.9	18.4	12.2	26.1	21.0	32.7
MIN	2.3	2.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

REGISTRO HISTORICO DE PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS- MOQUEGUA

ESTACION: MOQUEGUA

LATITUD: 17° 10' 09" S

DEPARTAMENTO: MOQUEGUA

PARAMETRO: PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS

LONGITUD: 70° 55' 54" O

PROVINCIA: MARISCAL NIETO

ALTITUD: 1450 msnm

DISTRITO: MOQUEGUA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MAX
1998	2.9	1.7	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	2.9
1999	0.0	1.7	4.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	4.4
2000	5.4	6.0	0.5	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	.0	6.0
2001	0.0	9.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.3
2002	0.6	7.8	0.3	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	7.8
2003	0.0	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
2004	2.4	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	4.6
2005	0.8	1.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.2
2006	0.9	2.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4
2007	5.7	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.7
2008	4.4	0.5	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.0
2009	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2
2010	4.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3
2011	3.5	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	5.4
2012	11.3	7.6	0.9	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	11.3
2013	1.2	1.9	4.3	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.3
PROM	2.7	3.3	1.1	0.3	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	4.8
MAX	11.3	9.3	5.0	4.1	1.0	0.2	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	11.3
MIN	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

REGISTRO HISTORICO DE PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS - OTORA

ESTACION: OTORA

LATITUD: 17° 0' 26" S

DEPARTAMENTO: MOQUEGUA

PARAMETRO: PRECIPITACION MAXIMA EN 24 HORAS

LONGITUD: 70° 51' 13" O

PROVINCIA: MARISCAL NIETO

ALITUD: 2580 msnm

DISTRITO: TORATA

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MAX
2003			6.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.6
2004	17.7	10.0	1.2	0.0	0.0	0.0	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	17.7
2005	5.7	15.2	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	0.0	5.3	15.2
2006	4.9	8.8	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.8
2007	5.2		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0	0.0	5.2
2008	15.6	9.3	4.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	1.3	15.6
2009	0.5	4.7	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7
2010	0.0	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.2
2011	7.2	18.5	0.0	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.3	18.5
2012	21.4	24.7	23.8	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		0.0	4.2	24.7
2013	7.1	24.6	2.8	0.0	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	24.6
PROM	8.5	13.6	4.7	1.2	0.1	0.0	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	13.4
MAX	21.4	24.7	23.8	7.8	0.8	0.0	3.8	0.2	0.3	0.0	0.0	8.3	24.7
MIN	0.0	4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA

**“SIMULACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL RÍO TAMBO,
SECTOR SANTA ROSA, DISTRITO DE COCACHACRA, PROVINCIA DE
ISLAY, DEPARTAMENTO DE AREQUIPA”**

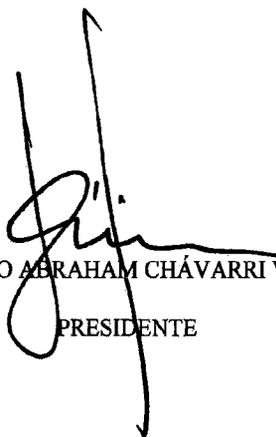
TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE:

INGENIERO AGRICOLA

Presentado por:

BACH. ANA PAOLA COLOMA LAIMITO

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:



DR. EDUARDO ABRAHAM CHÁVARRI VELARDE

PRESIDENTE



DRA. LÍA RAMOS FERNÁNDEZ

ASESOR



M.SC. RICARDO APACLLA NALVARTE

MIEMBRO

ING. FRANFLIN DELIO UNSIHUAY TOVAR

MIEMBRO

LIMA – PERU
2015



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÍCOLA**

Los que suscriben, miembros del Jurado para la Sustentación de la Tesis titulada: “SIMULACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DEL RÍO TAMBO, SECTOR SANTA ROSA, DISTRITO DE COCACHACRA, PROVINCIA DE ISLAY, DEPARTAMENTO DE AREQUIPA”, presentado por su autor:

ANA PAOLA COLOMA LAIMITO

Bachiller en Ciencias-Ingeniería Agrícola, luego de estudiar su contenido, se han reunido en la fecha, y han procedido a escuchar la exposición del autor, a formular las observaciones, preguntas pertinentes y luego de una evaluación del conjunto, la declaran:

(*) APROBADA

con el calificativo de:

(**) MUY BUENO

En consecuencia, el autor de la Tesis queda apto de recibir el TÍTULO DE INGENIERO AGRÍCOLA, de conformidad con lo estipulado en el artículo 45°, en concordancia con la Ley 30220.

La Molina, 11 de diciembre del 2015.


DR. EDUARDO ABRAHAM CHÁVARRI VELARDE
Presidente


MG.SC. RICARDO ABACLLA NAVALTE
Miembro

ING. FRANKLIN DELIO UNSIHUAY TOVAR
Miembro


DRA. LÍA RAMOS FERNÁNDEZ
Asesor

(*) Puede ser: APROBADA ó DESAPROBADA
(**) Puede ser: REGULAR, BUENO, MUY BUENO ó SOBRESALIENTE

OBSERVACIONES:

Este trabajo se lo dedico a Dios por ser el proveedor de tanta bendición, a mi madre Mónica, por ser el mejor ejemplo de nunca dejarse rendir ante las adversidades, a mis hermanos y amigos, por su apoyo constante y buenos consejos.

AGRADECIMIENTOS

- Al departamento de Recursos Hídricos de la Universidad Nacional Agraria la Molina, por todo el apoyo prestado para la realización del presente trabajo.
- A la Dra. Lía Ramos, asesora de esta tesis, por su orientación e incondicional apoyo para la realización de este trabajo.
- A mis amigos y colegas de siempre.