

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



TESIS

**DIMENSIONAMIENTO DE OBRAS HIDRÁULICAS EN
ZONAS ALTOANDINAS – CASO CANAL DE DERIVACIÓN
RUMICHACA**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

ELABORADO POR

VICTOR VLADIMIR MEDINA SAL Y ROSAS

ASESOR

Ing. NILTON RIVAS OYOLA

Lima – Perú

2022

© 2022, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

“El autor autoriza a la UNI a reproducir la tesis en su totalidad o parte, con fines estrictamente académicos”.

Medina Sal y Rosas, Victor Vladimir

victor.medina.syr@gmail.com

Telf.: 987-272-600

*Dedico esta tesis a Edgar y Mercedes,
a Yoselin Teresa, Saskia y Minerva, a
Carola y Silvia.*

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a la vida, por todo lo que me ha tocado;

A mis padres por su protección, sus enseñanzas y su amor infinito;

A mi asesor, Nilton, por sus consejos invaluable, su amistad y su paciencia en esperar mis avances de tesis

A Yoselin, por sus ánimos, y su obstinación para que este trabajo se pueda concretar,

A Saskia y Minerva, por la enorme alegría que emanan,

A mis hermanas, Silvia y Carola, a ellas simplemente por existir,

A mis tíos, Darcy y Tito, por todo su invaluable apoyo durante mis estudios, muchas veces unos segundos padres, en cariño y en reprimendas;

A mis compañeros de *Golder Associates* y *Ausenco*, por sus comentarios y recomendaciones,

A la Universidad Nacional de Ingeniería, por mantener la mística que motiva a muchos jóvenes el amor a la ciencia y las matemáticas;

Y por último, pero no menos importante. al centro poblado Espachín, distrito de Cochabamba, provincia de Bolognesi, Región Ancash, por albergar mis primeros recuerdos y muchos de mis primeros descubrimientos del universo.

“No hay viaje más hermoso que la eterna búsqueda de la verdad del universo”

ÍNDICE

RESUMEN	3
ABSTRACT	5
PRÓLOGO	7
LISTA DE TABLAS	9
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	12
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN	15
1.1. GENERALIDADES.	15
1.2. PROBLEMÁTICA.	16
1.3. OBJETIVOS.	17
1.3.1. Objetivo General.	17
1.3.2. Objetivos Específicos.	17
1.4. HIPOTESIS.	17
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	18
2.1. PRECIPITACIÓN DEL AGUA ATMOSFÉRICA.	18
2.2. CLIMA E HIDROLOGÍA DE LOS ANDES DEL PERÚ.	20
2.2.1. Influencia de la Temperatura Superficial del Mar	21
2.2.2. Dinámica de Vientos y Flujo de Humedad	21
2.2.3. Característica de la circulación atmosférica.	27
2.3. MODELOS PRECIPITACIÓN – ESCORRENTÍA	28
2.4. HIDROGRAMA UNITARIO	29
2.5. MODELO PRECIPITACIÓN ESCORRENTÍA DEL SCS	30
2.6. TORMENTA DE DISEÑO DEL SCS	31
2.7. OTRAS TORMENTAS DE DISEÑO	35
2.7.1. Pilgrim y Cordery (1975)	35
2.7.2. Huff (1967)	36
2.7.3. Gou et al. (1996)	36
CAPITULO III: ANÁLISIS DE TORMENTAS EN LOS ANDES CENTRALES	37
3.1. INFORMACIÓN HIDROLÓGICA DISPONIBLE	37
3.2. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE DATOS	38
3.3. ANÁLISIS DE DATOS - ESTACIÓN SAN CRISTOBAL	44
3.4. METODOS Y TORMENTAS A MODELAR	47

3.4.1	Identificación de Tormentas	48
3.4.2	Clasificación de Tormentas	48
3.4.3	Establecimientos de Criterios	50
3.4.4	Hietogramas Normalizados de Tormentas	52
3.4.5	Hietogramas de Diseño	53
3.5	PROPUESTA DE CALIBRACIÓN DE MODELO DE LLUVIAS	55
CAPITULO IV: APLICACIÓN DE HIETOGRAMA DE DISEÑO: PROYECTO DE UNA OBRA DE DERIVACIÓN		56
4.1.	UBICACIÓN DEL PROYECTO	56
4.2.	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	56
4.3.	PRECIPITACIÓN DE DISEÑO	57
4.4.	CRITERIOS DE DISEÑO	60
4.5.	INFLUENCIA DEL PROYECTO TOROMOCHO	61
4.5.2.	Presa de Relave	61
4.5.3.	Poza de Recuperación de Agua	61
4.5.4.	Poza de Filtraciones	62
4.6.	METODOLOGÍA GENERAL DEL CÁLCULO DE CAUDALES	62
4.6.1.	Tiempo de Concentración	62
4.6.2.	Caudales de Diseño	63
4.6.3.	Número de Curva	64
4.6.4.	Variabilidad del Número de Curva	65
4.6.5.	Dimensionamiento de Canales	66
4.7.	RESULTADOS	67
4.7.1.	Caudales de Diseño	67
4.7.2.	Diseño de Obras Hidráulicas	68
4.8.	CANTIDADES DE CONSTRUCCIÓN Y COSTOS	70
4.9.	INCORPORACIÓN DE NUEVA INFORMACIÓN Y VALIDACIÓN DE MODELO	75
CONCLUSIONES		76
RECOMENDACIONES		80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		83
ANEXOS		86

RESUMEN

En la presente tesis se aborda la comparación y el impacto en el diseño de obras hidráulicas y en los costos de construcción al usar de tormentas diseño del SCS (Soil Conservation Service). Ahora conocido como Natural Resources Conservation Service, (NRCS), que es la Agencia Gubernamental de los Estados Unidos de América.

Además, se emplea tormentas de diseño específicas para los Andes centrales del Perú, utilizando datos de la estación meteorológica San Cristóbal, administrada por el SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología).

La estación San Cristóbal se encuentra en el distrito de Yauli, provincia de Yauli, región Junín, a 4 680 m.s.n.m. y en la vertiente del océano Atlántico, muy próxima a la divisoria continental de aguas. Presenta registros de precipitación horaria entre agosto/2006 a julio/2016, con un vacío de registros entre agosto 2008 a julio 2009.

Se verificó la consistencia de la precipitación registrada en la estación San Cristóbal mediante comparación gráfica y análisis de doble masa con estaciones cercanas: La Oroya y Tanta, las cuales se encuentran a menos de 50 km de distancia de la estación San Cristóbal y tienen una diferencia de elevaciones de menos de 500 m con la estación San Cristóbal.

En el registro disponible de la estación San Cristóbal se identificaron 5 292 tormentas, bajo el criterio de que dentro de un evento de tormenta los periodos de precipitación nula o cero no deben prolongarse por más de una hora a la vez. Del total de eventos identificados 12% corresponden a eventos con magnitud mayor a 5 mm, y solo 0,4% de los eventos mayores a 15 mm. Es a partir de esta reducida población de eventos sobre la que se realiza el análisis por ser los de mayor magnitud, relacionados a los mayores caudales de escorrentía.

Se utilizó el diagrama de bloques alternos de la precipitación normalizada en intensidad y en duración para comparar los hietogramas de las tormentas seleccionadas registradas en la estación San Cristóbal y los hietogramas de las tormentas de diseño del SCS (ahora conocido como NRCS) denominadas Tipo I, Tipo IA, Tipo II y Tipo III, de uso común en nuestro país.

De dicha comparación se encontró que los hietogramas normalizados de las tormentas registradas no se ajustan a ninguno de los hietogramas del NRCS, si no que parecen mantener un comportamiento intermedio entre ambos.

Se propone un hietograma de tormenta de diseño para la estación San Cristóbal, elaborado en base a las envolventes de los hietogramas de las tormentas registrados, el cual se considera que es aplicable para tormentas entre 12 y 24 horas, para periodos de retorno hasta 10 años.

Aplicando el hietograma propuesto de la estación San Cristóbal al diseño de un canal de derivación en la quebrada Rumichaca ($L = 1717$ m), se obtuvo un caudal que representa el 60% del correspondiente al caudal obtenido si se usara de la tormenta tipo II del SCS. Esto repercute en las dimensiones de las estructuras hidráulicas y en el presupuesto generando costos directos de construcción resultando un ahorro de 0,72 M-US\$ (6,11 M-US\$ frente a 5,39 M-US\$), es decir se genera un ahorro del 11,8 %.

ABSTRACT

This thesis addresses the impact on the design of hydraulic works and the costs of construction using the SCS storms (Soil Conservation Service, now known as NRCS, governmental agency of the United States of America), and specific design storms for the central Andes of Peru.

This project was developed using data from the San Cristobal meteorological station, managed by the Peruvian National Service of Meteorology and Hydrology (SENAMHI).

The San Cristobal station is located in Yauli district, Yauli province, Junin region, at 4,680 m a.s.l. in the Atlantic Ocean watershed, very close to the continental divide. It presents hourly rainfall records between August, 2006 and July, 2016, with missing data between August, 2008 and July, 2009.

Consistency of the rainfall data registered in the San Cristobal station was verified based on double mass analysis developed with data from nearby stations La Oroya and Tanta, which are less than 50 km away, and have an elevation difference of less than 500 m with the San Cristobal station.

Available records from the San Cristobal Station show 5,592 storm events. These events were defined based on the criteria that one storm event is followed by a period of at least an hour of no precipitation.

The analysis was carried out on the storm events that had the largest precipitation, and, therefore, the highest runoff flows. From the total defined storm events, 12% correspond to events with cumulative precipitation greater than 5 mm, and 0.4% correspond to events with cumulative precipitation greater than 15 mm.

The alternate block diagram of normalized rainfall intensity and duration was used to compare the hyetographs of the selected storm events recorded at the San Cristobal station, and the SCS design storm hyetographs (Type I, Type IA, Type II and Type III), commonly used by designers in Peru.

As a result, it was found that the standardized hyetographs of the recorded storm events do not fit any of the SCS hyetographs, but instead, they fall in between the hyetographs Type I and Type II.

A design storm event hyetograph for the San Cristobal Station is proposed, based on the envelopes of the hyetographs of the recorded storm events, which is applicable to storm events with durations ranging between 12 and 24 hours, and return periods of up to 10 years.

The proposed San Cristobal station storm event hyetograph was used in the design a bypass channel along the Rumichaca Creek (1,717 m longitude), situated at the same elevation and under similar conditions.

Based in the analysis, a flow that represents 60% of the flow corresponding to the type II SCS storm hyetograph was obtained, which affects the dimensions and construction cost of hydraulic structures. As a result, savings of direct construction cost were on the order of 11.8%.

PRÓLOGO

Esta tesis aborda uno de los aspectos generales del diseño de obras hidráulicas en el Perú, relacionada con la distribución temporal de la precipitación dentro de un evento de tormenta de diseño dado.

Este parámetro está directamente relacionado a la magnitud de los caudales máximos que se obtendría aplicando métodos de Precipitación-Escorrentía: Método racional, método del hidrograma unitario, etc.

Es razonable suponer que el nivel de detalle de dicha distribución temporal depende de la periodicidad con que se registran los datos de precipitación. Es poco probable llegar a conclusiones interesantes con los típicos datos registrados cada 12 horas en los pluviómetros de la red del SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología).

Sin embargo, dado el continuo proceso de modernización de dicha red a estaciones meteorológicas automáticas, ahora es posible realizar análisis de hietogramas a escalas de tiempo de hasta una hora, lo cual se desarrolla en la presente tesis.

El área de estudio seleccionado se encuentra a casi 4 000 m s.n.m. en los Andes centrales del país, dentro de la cual se encuentra la estación San Cristóbal, con registros cada hora entre el 2006 y 2016. Por lo cual las conclusiones no son extrapolables a otras regiones, ni gozan del respaldo de cantidad de datos para considerarlos aún como un lineamiento de diseño per se.

Sin embargo, esta tesis ofrece una interesante primera aproximación a la naturaleza de las precipitaciones en las en zonas altoandinas de los Andes centrales del Perú no vista antes, dado el detalle de la información disponible.

Por comparación, y apoyándose en la metodología de construcción de hietogramas del NRCS de los Estados Unidos de América, se identifica entre cuales de los hietogramas propuestos por esta institución podría corresponder, un futuro hietograma de lluvia específico para la zona de estudio.

Y al desarrollar un hidrograma modelo para la zona, con la información disponible, se mide el impacto en las cantidades de construcción y los costos de inversión de la construcción de una canal de derivación, en este caso el "Canal Rumichaca".

Concluyendo que se estaría incurriendo en un sobredimensionamiento y sobre costo asociado, si se utilizará la tormenta tipo II del NRCS en su diseño.

Finalmente, se puede indicar que futuras actualizaciones de esta investigación, o replicación en otras zonas del país, alimentados por cada vez mayor data procedente de estaciones automáticas, permiten vislumbrar un futuro interesante en cuanto a la estimación de un hietograma de diseño, para los Andes centrales del Perú, e incluso para otras zonas del país.

Cabe resaltar que la importancia de contar con este parámetro de diseño radica en que permitiría sincerar la estimación de caudales máximos, el diseño de las obras hidráulicas y los presupuestos de construcción, a las condiciones reales del fenómeno de precipitación de nuestro país.

Nilton Rivas Oyola

Asesor de la Tesis

LISTA DE TABLAS

Tabla 3 1: Distribución de los eventos de precipitación años 2010 a 2015 (Elaboración Propia).	51
Tabla 4 1: Estimación de Pmax Diaria y de 24h de la Estación Morococha (Fuente: Golder, 2007).	60
Tabla 4 2: Criterios de Diseños Generales (Elaboración Propia).	60
Tabla 4 3: Características Hidráulicas de los Canales (Elaboración Propia).	70
Tabla 4 4: Cantidades de construcción (Elaboración Propia).	71
Tabla 4 5: Precios Unitarios Utilizados (Elaboración Propia).	72
Tabla 4 6: Costos Directos de Construcción de los Casos I y II (Elaboración Propia).	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1: Climatología de presión reducida a nivel del mar para Julio (Fuente: Lagos et al., 2008).	22
Figura 2-2: Climatología de presión reducida a nivel del mar para febrero (Fuente: Lagos et al., 2008).	22
Figura 2-3: Climatología de humedad y vientos a 850 mb de presión, para julio (Fuente: Lagos et al., 2008).	23
Figura 2-4: Climatología de humedad y vientos a 850 mb de presión, para febrero (Fuente: Lagos et al., 2008).	24
Figura 2-5: Climatología de humedad y vientos a 500 mb (aprox. 5000 m s.n.m.) para julio (Fuente: Lagos et al., 2008).	25
Figura 2-6: Climatología de humedad y vientos a 500 mb (aprox. 5000 m s.n.m.) para febrero (Fuente: Lagos et al., 2008).	25
Figura 2-7: Climatología vientos a 200 mb (aprox. 12 000 m s.n.m.) para julio (Fuente: Lagos et al., 2008).	26
Figura 2-8: Climatología vientos a 200 mb (aprox. 12 000 m s.n.m.) para febrero (Fuente: Lagos et al., 2008).	27
Figura 2-9: Clasificación de Modelo Abstractos (Fuente: Chow et al., 1994).	28
Figura 2-10: Hidrograma Adimensional Unitario Sintético del SCS (Fuente: Chow et al., 1994).	30
Figura 2-11: Hietogramas de Tormentas de Diseño en 24 horas del SCS (Fuente: Chow et al., 1994).	32
Figura 2-13: Ubicación de las zonas donde aplicar las Tormentas del SCS (Fuente: Chow et al. 1994).	34
Figura 3-1: Ubicación de Estaciones Meteorológicas (Altitud entre paréntesis en m s.n.m., Elaboración Propia).	37
Figura 3-2: Distancia y Elevación de Estaciones Meteorológicas (Elaboración Propia).	39
Figura 3-3: Longitud de Registro de Estaciones (Elaboración Propia).	41
Figura 3-4: Diagrama de doble Masa de PTA (Elaboración Propia).	43
Figura 3-5: Precipitación Mensual Agosto/2011 – Julio/2013 (Elaboración Propia).	44
Figura 3-6: Precipitación Mensual Agosto/2013 – Julio/2015 (Elaboración Propia).	44

Figura 3-7: Precipitación Total Anual en la Estación San Cristóbal (Elaboración Propia).	45
Figura 3-8: Comparación de Precipitación Total Anual (Elaboración Propia).	46
Figura 3-9: Precipitación Mensual Estación San Cristóbal (Elaboración Propia).	46
Figura 3-10: Precipitación Máxima en 24 horas Estación San Cristóbal (Elaboración Propia)	47
Figura 3-11: Distribución de los eventos de precipitación años 2006-2007 y 2015-2016 (Elaboración Propia).	49
Figura 3-12: Distribución de los eventos de precipitación años 2006 a 2020 (Elaboración Propia).	50
Figura 3-12: Pmax en 24 horas para distintos Periodos Retorno de la Estación San Cristóbal (Elaboración Propia).	52
Figura 3-13: Hietogramas Normalizados en Bloques Alternos de tormentas seleccionados (Elaboración Propia).	53
Figura 3-14: Hietograma Normalizado Propuesto - Estación San Cristóbal (Elaboración Propia).	54
Figura 4-1: Arreglo General de Estructuras (Elaboración Propia).	57
Figura 4-2: Ubicación de la estación Morococha (Elaboración Propia).	58
Figura 4-3: Esquema de Modelo Hidrológico del área de estudio (Elaboración propia).	64
Figura 4-4: Cobertura Vegetal - Cuencas de los Ríos Rímac y Mantaro (Fuente: MINAM, 2012).	65
Figura 4 5: Borde Libre (Fuente: USBR, 1982).	67
Figura 4-6: Sección Típica de Canal Rumichaca en Tramos Tendidos (Elaboración propia).	68
Figura 4-7: Sección Típica de Canal Rumichaca en Tramos Empinados (Elaboración propia).	69
Figura 4-8: Ahorro por partidas en porcentaje (Elaboración Propia).	74

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

'	: Minutos	
°	: Grados	
µm	: Micrómetros	
A	: Área de drenaje	(km ²)
A	: Área de sección transversal del flujo	(m ²)
C	: Coeficiente adimensional	
CAE	: Condición antecedentes de escorrentía	
CAH	: Condición antecedentes de humedad	
cfs	: Pies cúbicos por segundo	
CN	: Número de curva	
GEV I	: Valor extremo general tipo I	
h	: Horas	
H	: Horizontal	
HEC-HMS	: Sistema de modelamiento hidrológico – Centro de Ingeniería Hidrológica.	
HU	: Hidrograma unitario	
I-D-F	: Intensidad – Duración- Frecuencia	
IILA	: Instituto Ítalo-Latinoamericano	
kg	: Kilogramos	
km	: Kilómetros	
L	: Longitud de canal	(m)
M	: Millones	
m s.n.m.	: Metros sobre el nivel del mar	
m	: Metros	

mb	: Milibares	
mm	: Milímetros	
MTC	: Ministerios de Transportes y Comunicaciones	
n	: Coeficiente de rugosidad de Manning	
N	: Norte	
NOAA	: Administración Nacional Oceánica y Atmosférica	
NRCS	: Servicio de Conservación de los Recursos Naturales	
O	: Oeste	
Pmax	: Precipitación máxima	(mm)
PMP	: Precipitación máxima probable	(mm)
PTA	: Precipitación total anual	(mm)
q	: Caudal	(m ³ /s)
q_p	: Caudal Pico	(m ³ /s)
R	: Radio Medio Hidráulico	
S₀	: Pendiente media de la superficie del agua	
s	: Segundo	
S	: Sur	
S.A.	: Sociedad Anónima	
SCS	: Servicio de Conservación de Suelos	
Senamhi	: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología	
t	: Tiempo	(s)
T_c	: Tiempo de Concentración de la cuenca	(min)
T_p	: Tiempo de la Ocurrencia del Pico	(min)
t_p	: tiempo de Retardo	(min)
Tr	: Periodo de Retorno	(años)

t_r	: Tiempo de duración efectiva de lluvia	(min)
Tr200	: Periodo de retorno de 200 años	
TSM	: Temperatura Superficial del Mar	
US\$: Dólares americanos	
USA	: Estados Unidos de América	
USACE	: Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos de América	
USBR	: Oficina de Reclamación de los Estados Unidos	
V	: Vertical	
ZCIT	: Zona de convergencia intertropical	

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.

1.1. GENERALIDADES.

La estimación de los caudales que discurren sobre los cauces de ríos y/o quebradas se realizan por métodos directos o indirectos, sin embargo, la información hidrométrica necesaria para el desarrollo de los métodos directos es escasa en nuestro país. Los ingenieros, ante la falta de información hidrométrica, recurren a métodos indirectos que evalúen las máximas avenidas, siendo necesario el empleo de modelos que estimen el escurrimiento a partir de precipitación, denominados modelos precipitación-escorrentía.

Los modelos de precipitación-escorrentía requieren información física de la cuenca estudiada y determinación de los parámetros meteorológicos del fenómeno que ocurre sobre ella (tormenta de diseño). Las características físicas han sido estudiadas ampliamente con relación a la determinación de los parámetros meteorológicos, específicamente las tormentas de diseño. La determinación de tormentas de diseño requiere de la caracterización de las lluvias en intensidad, duración y frecuencia, las cuales son las definidas por las curvas I-D-F.

Ante esto, la construcción de curvas I-D-F ha sido estudiada en la mayoría de los países, siendo las más difundidas las siguientes:

- En el año 1969, Frederick Bell (Estados Unidos) propone relaciones de precipitación, intensidad y frecuencia a partir de precipitaciones de 1 hora para tiempos de retorno de 2 años a 10 años.
- En el año 1971, Espíldora (Chile) propone coeficientes de duración para transformar precipitaciones de 1 hora a precipitaciones diferente tiempo de duración. Establece la relación entre precipitación máxima en 24 horas y la precipitación de 1 hora en 4.04.
- En el año 1993, Guevara y Cartaya (Venezuela) establece relaciones entre lluvias en base a precipitaciones de 1 hora utilizando ecuaciones exponenciales.

En el país, en el año 1982-1983 se desarrolló un estudio hidrológico mediante un convenio de cooperación técnica entre el Instituto Ítalo-Latino Americano, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología y la Universidad Nacional de

Ingeniería para determinar parámetros útiles para estimar máximas avenidas, basándose en estaciones disponibles en el país, dando como resultado la fórmula paramétrica para diferentes regiones del país.

En los estudios de ingeniería que se elaboran en el país se utiliza las relaciones encontradas por Frederick Bell (1969), Guevara (1993), Espíldora (1971), ignorando las curvas regionales encontradas en la fórmula del IILA-SENAMHI-UNI (IILA, 1983) por diversas razones, la primera por desconocimiento de la formulación y/o dificultad de recalcular las relaciones, la segunda por la dificultad de utilización (coeficientes de cada región) y la tercera por la validez de los resultados.

1.2. PROBLEMÁTICA.

De acuerdo con Proinversión (organismo público peruano) el año 2017 se invertirá en el Perú más de US\$ 10,000 millones en infraestructura vial, muchas de las cuales se ubicarán en zonas altoandinas, y en muchos casos será necesario diseñar y construir obras hidráulicas para cruzar cauces de agua naturales.

La estimación de los caudales para el diseño de estas obras hidráulicas puede realizarse utilizando métodos directos o indirectos. La ausencia de suficiente información para el uso de métodos directos condiciona a los diseñadores a utilizar métodos indirectos, los cuales usan como principal parámetro la intensidad de lluvias.

Son muy escasos los registros en nuestro país que nos permitan definir las intensidades de lluvia. Esto a menudo puede redundar en la sobreestimación de los flujos máximos que incide en los costos de las obras hidráulicas que inviabiliza los proyectos.

Los métodos indirectos específicos para el Perú son escasos, siendo el más difundido el método "IILA" (IILA, 1983), el cual pese a su antigüedad no cuenta con actualizaciones ni validación de sus resultados; por lo cual muchas veces sus resultados son usados solo de forma referencial.

En la revisión bibliográfica que se ha realizado para esta investigación no se ha encontrado estudios sobre cómo adaptar, para su uso en nuestro país, los métodos indirectos desarrollados en otros países.

Manuales de diseño hidráulico elaborados por entidades gubernamentales de nuestro país, como el Manual de Diseño de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, recomiendan el uso del programa de cómputo “HEC-HMS” (Sistema de Modelamiento Hidrológico – Centro de Ingeniería Hidrológica) para estimar caudales, el cual incorpora el método del “SCS” (Soil Conservation Service, 1973), el cual destaca por su practicidad.

La presente investigación analizará si el uso del método del “SCS” produce resultados conservadores por la estimación de parámetros meteorológicos, comparándolo con un caso del dimensionamiento de una importante obra hidráulica de derivación de una quebrada.

1.3. OBJETIVOS.

1.3.1. Objetivo General.

Evaluar el dimensionamiento hidráulico en función al uso frecuente de la metodología del “SCS” con tipos de tormenta de Estados Unidos de América, lo cual redundaría en diseños conservadores que encarecen la construcción de obras hidráulicas en la parte central de los Andes peruanos.

1.3.2. Objetivos Específicos.

Comparar los hietogramas de tormentas definidos en la metodología del “SCS” con hietogramas de tormentas registrados en el área de la mina propiedad de Volcán (Caso Yauli).

Evaluar métodos para caracterizar las tormentas y definir un hietograma estándar para esta zona de estudio.

Evaluar el impacto en el diseño y el presupuesto de construcción del canal Rumichaca al usar el método del “SCS” con los hietogramas definidos en él o de usar el hietograma estándar definido para la zona.

1.4. HIPOTESIS.

El empleo de tormentas de diseño del “Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos de América” (Soil Conservation Service, 1973) produce sobredimensionamiento en el diseño y sobrecostos en la construcción de obras de manejo de agua en la zona central de los Andes del Perú.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.

2.1. PRECIPITACIÓN DEL AGUA ATMOSFÉRICA.

El agua atmosférica proviene de la evaporación del agua superficial (río, lagos, océanos, etc.) y de la transpiración de las plantas y, en menor proporción, animales. El agua atmosférica puede encontrarse en forma de gas o vapor, de agua líquida o en estado sólido como nieve o granizo.

La distribución del agua en la atmosférica varía temporal y espacialmente, por ejemplo, cerca de la superficie terrestre en los trópicos cálidos y húmedas el valor de la concentración de vapor de agua puede estar por encima de 4% (con respecto al total de gases en la atmósfera), mientras que en áreas frías del ártico su concentración puede disminuir a una mera fracción de la unidad porcentual.

El vapor de agua no es visible, este se hace visible al transformarse en partículas de líquido y sólido, tales como las gotas o cristales de hielo en las nubes.

La formación de nubes y la ocurrencia de precipitación requieren la elevación de una masa de vapor de agua en la atmósfera, que al elevarse se ve sujeta a una presión decreciente, entonces se expande, y al hacerlo, disminuye su temperatura. Si la temperatura disminuye lo suficiente para quedar por debajo del punto de rocío, puede comenzar la condensación.

- La precipitación del agua atmosférica puede darse en forma de lluvia, nieve, granizo o ventisca.
- Los tres mecanismos principales para la elevación de masa de aire son la elevación frontal, la elevación topográfica, y la elevación convectiva, los cuales se explican a continuación:
 - Elevación Frontal: Donde el aire caliente es elevado sobre aire frío mediante un pasaje frontal.
 - Elevación orográfica: Mediante la cual una masa de aire se eleva para pasar por encima de una cadena montañosa.
 - Elevación convectiva: Cuando el aire es arrastrado hacia arriba mediante una acción convectiva, Las celdas convectivas se originan por el calor superficial, lo que causa una inestabilidad vertical de aire húmedo, y se sostiene por el calor latente de

vaporización liberado a medida que el vapor de agua sube y se condensa.

La condensación requiere de Núcleos de Condensación, alrededor de las cuales las moléculas de agua se puedan unir o nuclear y formar pequeñas gotas de agua. El diámetro de estos núcleos varía entre 10^{-3} μm hasta 10 μm (Aparicio Mijares, 1989).

A continuación, se presentan algunos ejemplos de núcleos de condensación:

- Partículas de polvo, las cuales son elevadas a la atmosfera por los vientos.
- Los iones en la atmosfera
- Pequeñas gotas de agua salada y partículas de sal, que son barridos por el aire hacia la atmosfera desde las olas de los océanos, que se encuentra incluso en sitios a gran distancia del mar.
- El smog desde incendios forestales
- Compuestos de sulfuro o nitrógeno resultantes del proceso de combustión.
- Los volcanes liberan varias toneladas de partículas de ceniza fina y gases al aire que pueden actuar como núcleos de condensación.
- Polen, etc.

Las gotas que forman las nubes se encuentran entre 5 y 100 μm , mientras que las gotas que ya tiene suficiente peso para caer por acción de la gravedad tienen diámetros entre 100 y 500 μm (Aparicio Mijares, 1989). Estas gotas se forman en condiciones de super-saturación (temperaturas más bajas del punto de rocío) comunes de la atmosfera, alrededor de los núcleos de condensación. Durante su caída las gotas crecen aún más en virtud de su coalescencia, con lo que pueden alcanzar diámetros de 5 a 7 mm o mayores.

Sin embargo, al caer pueden perder masa por evaporación, y volverse un vapor otra vez. Este proceso puede ocurrir varias veces hasta que la gota caiga a tierra.

Las lluvias presentan una gran variación en el espacio y en el tiempo de acuerdo con el patrón general de circulación atmosférica y a factores locales.

2.2. CLIMA E HIDROLOGÍA DE LOS ANDES DEL PERÚ.

Los Andes centrales del Perú constituyen una región de alta montaña semi-árida con una fuerte estacionalidad, con lluvias fuertes durante los meses del verano austral (diciembre-marzo) y escasas precipitaciones el resto del año (Neukom et al., 2015).

Durante la época seca, el agua usada en los Andes para la agricultura, la industria y para agua potable es ampliamente dependiente del agua que ha precipitado durante la temporada del verano húmedo y que ha sido almacenada en los reservorios naturales tales como nieve o hielo, o en reservorios artificiales (presas, reservorios, etc.).

La precipitación en los Andes también presenta una gran variabilidad interanual, con lluvias excesivas en algunos años y déficit de lluvias en otros años.

Se han identificado también tendencias interdecadales de la precipitación, por ejemplo, de acuerdo con datos de reconstrucción de la precipitación basado en anillos de los árboles de los Andes entre el sur de Perú y el norte de Chile, que cubrían los últimos 700 años revelaron una persistente tendencia de reducción de la precipitación desde 1930 (Morales et al., 2012).

Existen tres subregiones en la región Andina con características climáticas ligeramente distintas, las subregiones: norte, centro y sur. La máxima precipitación del ciclo anual ocurre en enero en la subregión sur, en febrero en la subregión centro y en marzo en la subregión norte.

En áreas montañosas con topografía compleja, como son los Andes, los modelos numéricos del clima tienen siempre muy limitadas capacidades para simular adecuadamente la variedad y las tendencias de la precipitación a escalas espacial pequeña.

El régimen de precipitación en los Andes subtropicales de Perú está caracterizado por:

- Una interrelación compleja entre los efectos orográficos locales y la circulación global (Neukom et al., 2015).
- Intrusiones convectivas de masa húmedas de aire desde la cuenca amazónica durante el verano austral. (Vuille et al. 1998)

- La principal fuente de humedad es la cuenca amazónica (Neukom *et al.*, 2015).

El comportamiento climatológico de las lluvias está asociado a los siguientes factores:

- Desplazamiento estacional norte-sur y este-oeste de los sistemas anticiclónicos del Pacífico y Atlántico Sur, que permite la formación de áreas de bajas presiones durante el verano en el continente.
- Desplazamiento estacional norte-sur de la zona de convergencia intertropical (ZCIT), con la convección el transporte de humedad desde la Amazonía y la formación de núcleos de altas presiones en niveles altos de la tropósfera (conocido como “alta de Bolivia”).

La cantidad de humedad recibida desde el este en los Andes centrales está fuertemente influenciado por la fuerza (intensidad) de los vientos locales y la dinámica de la “alta de Bolivia” en la alta tropósfera.

El aumento del flujo desde el oeste en el nivel superior de la tropósfera reduce el transporte hacia arriba de las masas de aire húmedas de la región del Amazonas, lo que conduce a una menor precipitación en los Andes Centrales (Garreaud *et al.* 2003).

2.2.1. Influencia de la Temperatura Superficial del Mar

Investigaciones indican que la relación entre las anomalías de la precipitación y las anomalías de la TSM (temperatura superficial del mar) son moderadas positivas y negativas solo en los extremos norte y sur de las subregiones norte y sur de los Andes respectivamente, y que para los años con eventos el niño esta relación se acentúa (Lagos *et al.*, 2008).

2.2.2. Dinámica de Vientos y Flujo de Humedad

Durante el invierno (Mayo-Octubre), los anticiclones del océano Pacífico Sur y del Atlántico Sur, son más intensos y se encuentran más cerca del continente (Ver Figura 2-1), mientras que en verano estos se alejan del continente, lo que permite que se formen centro de baja presión ubicado sobre el norte de Argentina y Paraguay, conocida como “la baja del Chaco” (Figura 2-2).

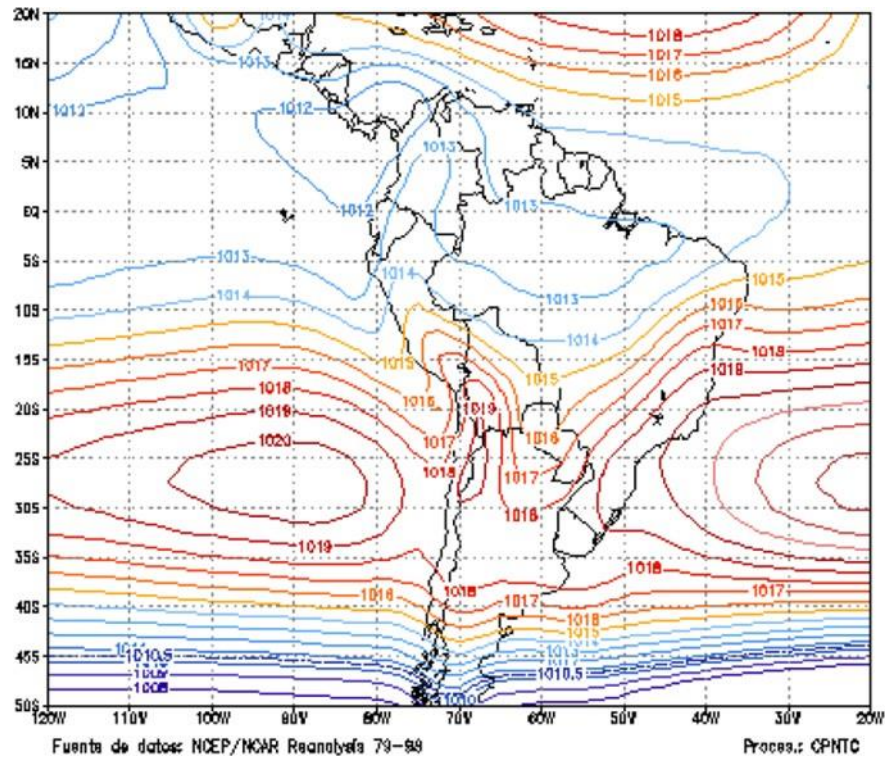


Figura 2-1: Climatología de presión reducida a nivel del mar para Julio (Fuente: Lagos *et al.*, 2008).

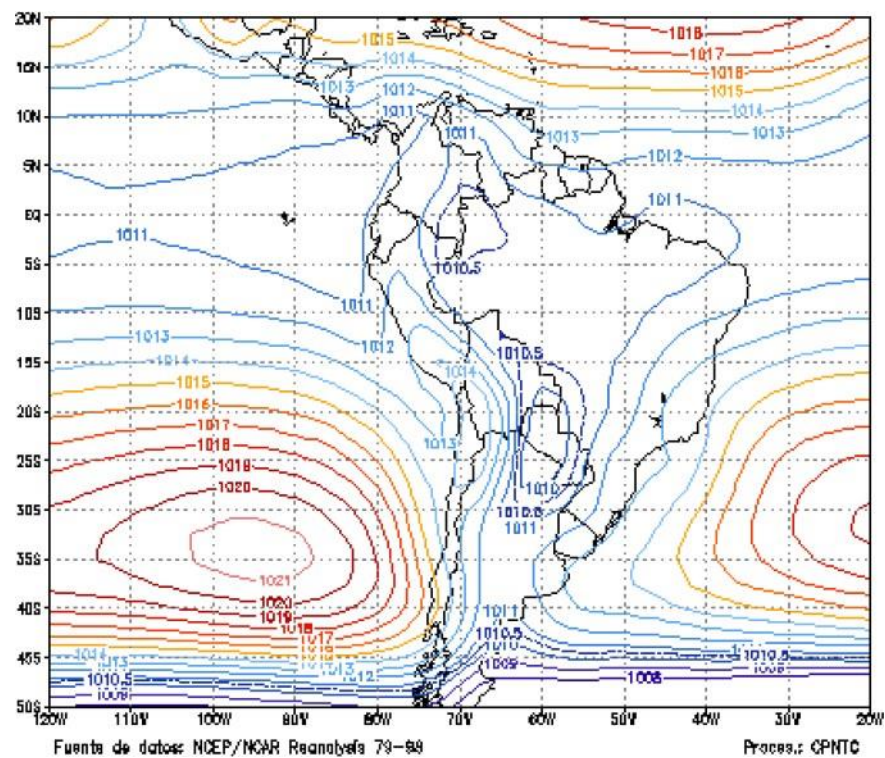


Figura 2-2: Climatología de presión reducida a nivel del mar para febrero (Fuente: Lagos *et al.*, 2008).

En los niveles bajos de la atmósfera (a un nivel de presión de 850 mb) los vientos predominantes durante el invierno son desde este (Ver Figura 2-3). Durante el verano este flujo se intensifica y presentan una componente sur, haciendo que el transporte de humedad desde la cuenca amazónica hacia la cordillera de los Andes sea mayor (Ver Figura 2-4).

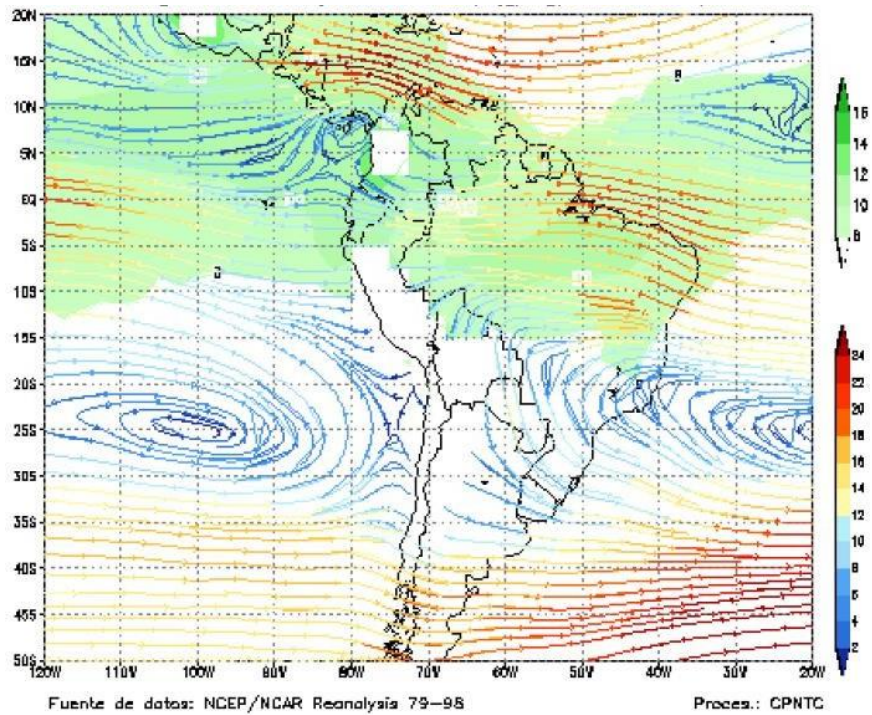


Figura 2-3: Climatología de humedad y vientos a 850 mb de presión, para julio (Fuente: Lagos *et al.*, 2008).

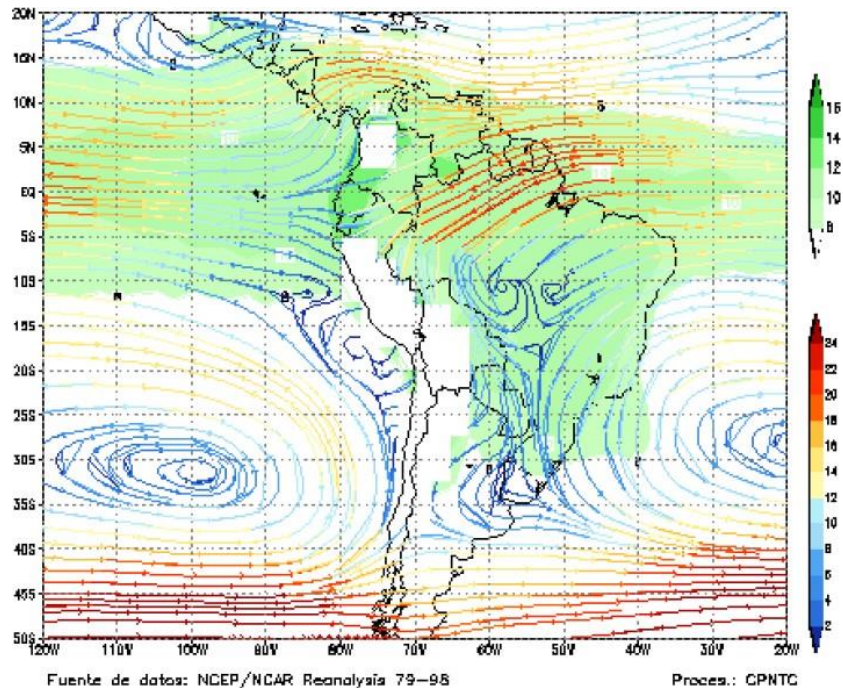


Figura 2-4: Climatología de humedad y vientos a 850 mb de presión, para febrero (Fuente: Lagos *et al.*, 2008).

En los niveles medios de la atmósfera (a un nivel de 500 mb de presión), durante el invierno predomina una circulación anticiclónica alargada en sentido este-oeste, Como se aprecia en la Figura 2-5, la dirección de los vientos al norte de los 10°S es del este, pero con poco contenido de humedad, y al sur de los 12°S sea aire seco del oeste.

Durante el verano, el centro del anticiclón se desplaza hacia el sur para ubicarse entre las coordenadas 20°S - 70°W aproximadamente, y vientos provenientes del norte giran hacia el este al llegar a la amazonia (Ver Figura 2-6), lo cual favorece el flujo de humedad desde el este hacia los Andes peruanos, dado que en esta época aumenta el contenido de humedad sobre la Amazonía.

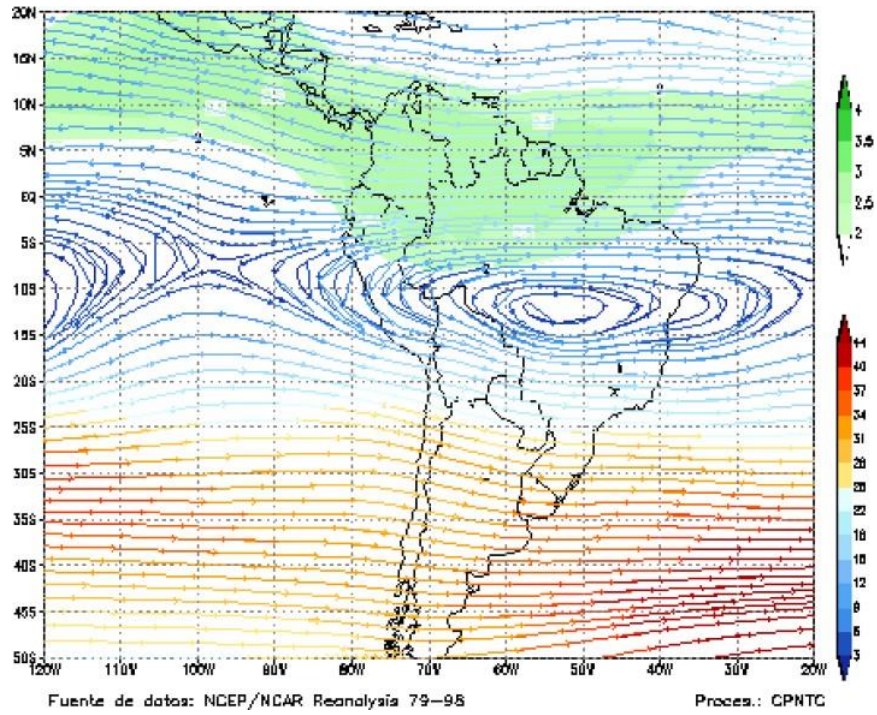


Figura 2-5: Climatología de humedad y vientos a 500 mb (aprox. 5000 m s.n.m.) para julio (Fuente: Lagos *et al.*, 2008).

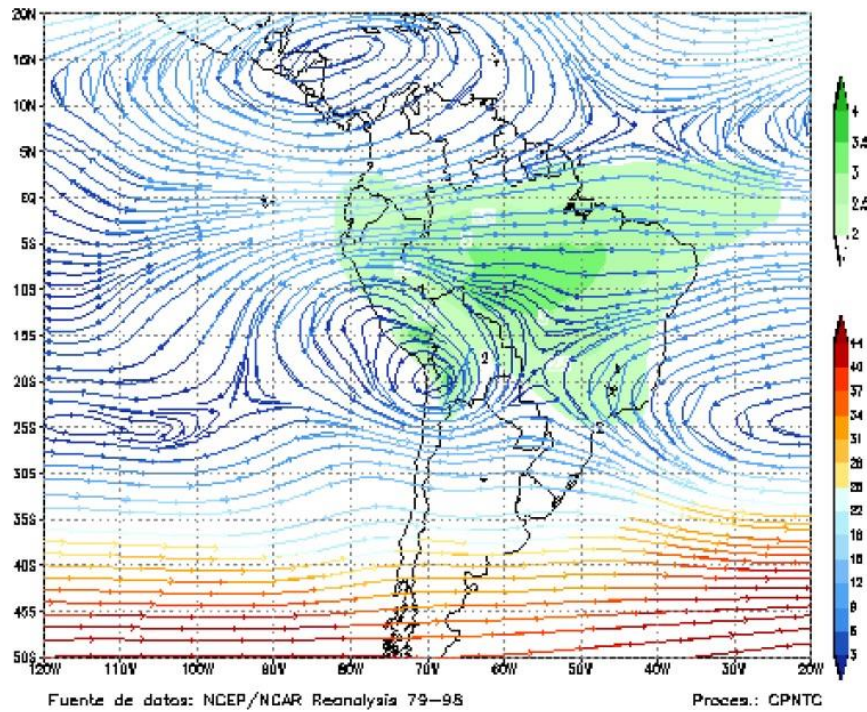


Figura 2-6: Climatología de humedad y vientos a 500 mb (aprox. 5000 m s.n.m.) para febrero (Fuente: Lagos *et al.*, 2008).

En los niveles altos de tropósfera (a 200 mb de presión) aproximadamente a los 12 000 m de altura, en el invierno los vientos predominantes al sur de los 10°S son del oeste (Figura 2-7). Mientras que en el área de la amazonia los vientos tiene componentes sur y este, promovida por un anticiclón ubicado sobre el océano atlántico. Dichos flujos alejarían de la cordillera de los Andes la humedad de la cuenca amazónica.

A partir del mes de octubre se forma, en la región central del continente (10°S-62°W), un centro anticiclónico que en los meses siguientes se desplaza hacia el suroeste hasta posicionarse, durante el verano sobre Bolivia (18°S-65°W) para luego disiparse en mayo. Este se conoce como la “alta de Bolivia”, y su presencia favorece la llegada de vientos desde la Amazonía a los Andes peruanos (Figura 2-8).

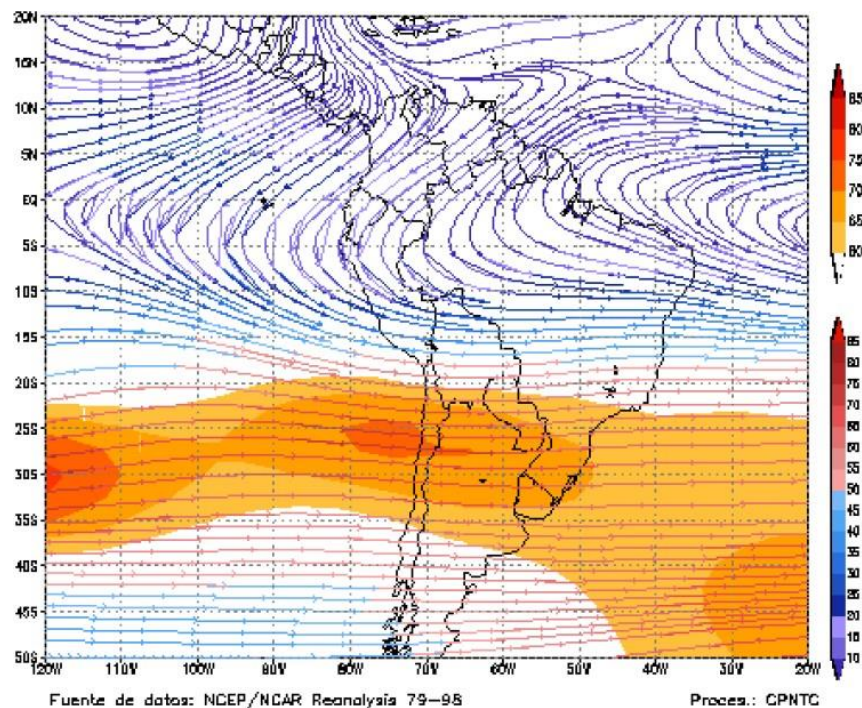


Figura 2-7: Climatología vientos a 200 mb (aprox. 12 000 m s.n.m.) para julio (Fuente: Lagos *et al.*, 2008).

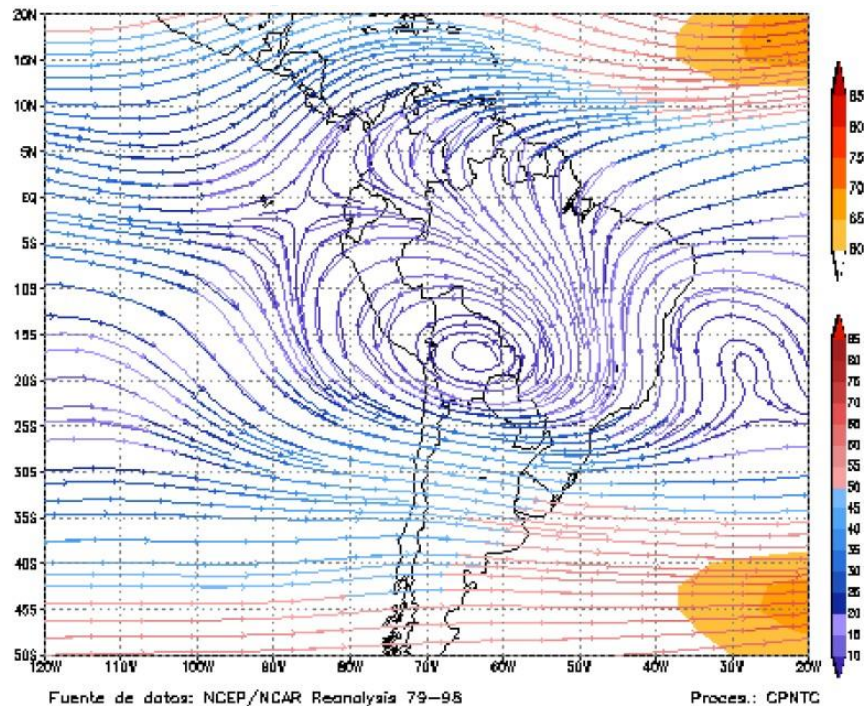


Figura 2-8: Climatología vientos a 200 mb (aprox. 12 000 m s.n.m.) para febrero (Fuente: Lagos *et al.*, 2008).

2.2.3. Característica de la circulación atmosférica.

En años donde la precipitación total anual es baja, en los niveles bajos de la tropósfera se presentan anomalías en los vientos sur y sureste de la selva central y norte del Perú. Se presenta también una circulación anticiclónica al sureste de Brasil. En los niveles altos predominan las anomalías de los vientos del oeste.

En los años lluviosos en los niveles bajos se observa un ligero incremento de los vientos del este en la amazonia central, favoreciendo el flujo de aire húmedo hacia el norte y centro del Perú. También se presenta un incremento de la circulación anticiclónica al sureste de Brasil, que aparentemente favorece las precipitaciones en la parte central y sur del país.

Mientras que en los niveles altos de la tropósfera aumentan los vientos del este, relacionado con la intensidad del alta de Bolivia, esto favorece la intensificación de las lluvias en la sierra sur.

2.3. MODELOS PRECIPITACIÓN – ESCORRENTÍA

Los modelos precipitación-escorrentía pueden ser considerados como un sistema. En el cual señales de impulso o excitación (datos de entrada) producen respuestas (salidas o resultados), en función de las relaciones matemáticas establecidas dentro del sistema.

En la Figura 2-9 se muestran un árbol de clasificación de sistemas hidrológicos abstractos (modelos matemáticos), en función de cómo se modela o consideran diferentes características de este.

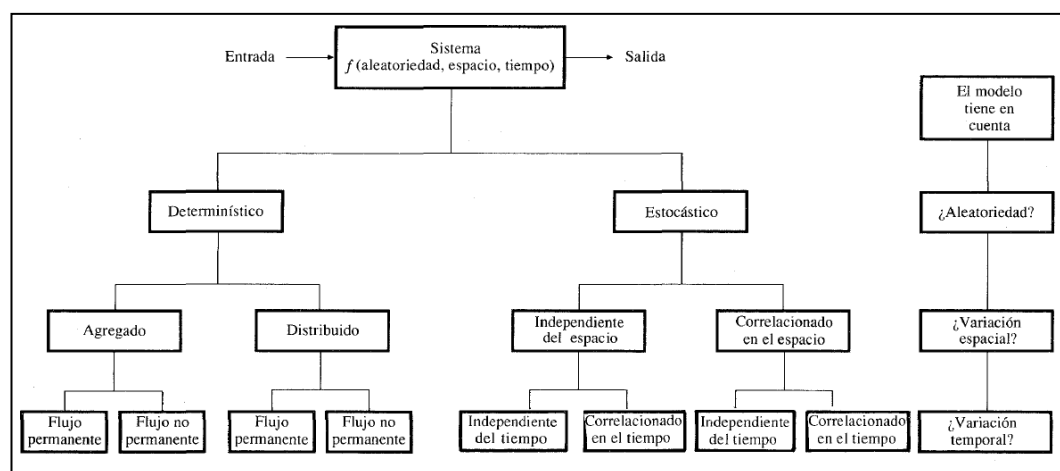


Figura 2-9: Clasificación de Modelos Abstractos (Fuente: Chow *et al.*, 1994).

De tal forma que se pueden presentar modelos de sistemas hidrológicos desde modelos con flujo permanente, agregado y determinístico, hasta modelos estocástico complejos correlacionados en el tiempo y en el espacio.

Un modelo determinístico no considera aleatoriedad; una entrada específica produce siempre la misma salida. En cambio, en un modelo estocástico tiene salidas que son por lo menos parcialmente aleatorias (Chow, 1994).

En un modelo agregado el sistema es promediado en el espacio, o considerado como un único punto sin dimensiones en el espacio. Un modelo distribuido considera que los procesos hidrológicos ocurren en varios puntos en el espacio y define las variables del modelo como funciones de las dimensiones espaciales (Chow, 1994).

2.4. HIDROGRAMA UNITARIO

Los modelos precipitación-escorrentía de una cuenca pueden ser modelados como un modelo agregado de flujo no permanente, utilizando un concepto matemático denominado “Hidrograma Unitario”.

Chow (1994) define el hidrograma unitario como “la función respuesta de un pulso unitario para un sistema hidrológico lineal”. Por su parte Sherman (1932) definió el hidrograma unitario como: “El hidrograma de escorrentía directa producido por 1 pulgada de exceso de lluvia generado uniformemente sobre el área de drenaje a una tasa constante a lo largo de una duración efectiva”.

Un hidrograma unitario adecuado podría utilizarse para estimar el hidrograma resultante de cualquier cantidad de exceso de lluvia (lluvia que produce escorrentía), bajo los siguientes supuestos:

- El exceso de precipitación será uniformemente distribuido sobre toda el área de drenaje.
- El exceso de precipitación tiene una intensidad constante dentro de la duración efectiva.
- Las ordenadas de todo los HU (de una base de tiempo común) son directamente proporcionales a la cantidad total de escorrentía directa representada en cada hidrograma.
- Las condiciones del cauce permanecen sin cambios.
- Las cuencas no tienen almacenamiento considerable.

En estricto, un hidrograma unitario desarrollado a partir de la información de lluvia y de caudal en una cuenca dado debería aplicarse solo para la cuenca y para el punto de la corriente donde se midió la información de caudales.

Existen variados tipos de hidrogramas unitarios, como, por ejemplo:

- Aquellos que relacionan las características del hidrograma (tasa de flujo pico, flujo base, etc.) con las características de las cuencas (p.e. Snyder, 1938).
- Aquellos basados en hidrogramas unitarios adimensionales (p.e. Soil Conservation Service, 1973).

- Aquellos basados en modelo de almacenamiento en la cuenca (p.e. Clark, 1943).

2.5. MODELO PRECIPITACIÓN ESCORRENTÍA DEL SCS

El SCS (Soil Conservation Service del Departamento de Agricultura de Estados Unidos) presentó un hidrograma unitario aproximado para predecir el caudal pico acorde a tormentas de diseño de 24-hr de duración (TR-55, 1986).

El hidrograma adimensional del SCS es un hidrograma unitario sintético en el cual el caudal se expresa por la relación del caudal q con respecto al caudal pico (q_p) y el tiempo por la relación del tiempo t con respecto al tiempo de ocurrencia del pico en el hidrograma unitario (T_p).

Dados el caudal pico y el tiempo de retardo para la duración en exceso de precipitación, el hidrograma unitario puede estimarse a partir del hidrograma sintético adimensional para la cuenca dada.

En la Figura 2-10 se muestra uno de estos hidrogramas adimensionales preparado utilizando los hidrogramas unitarios para una variedad de cuencas dado.

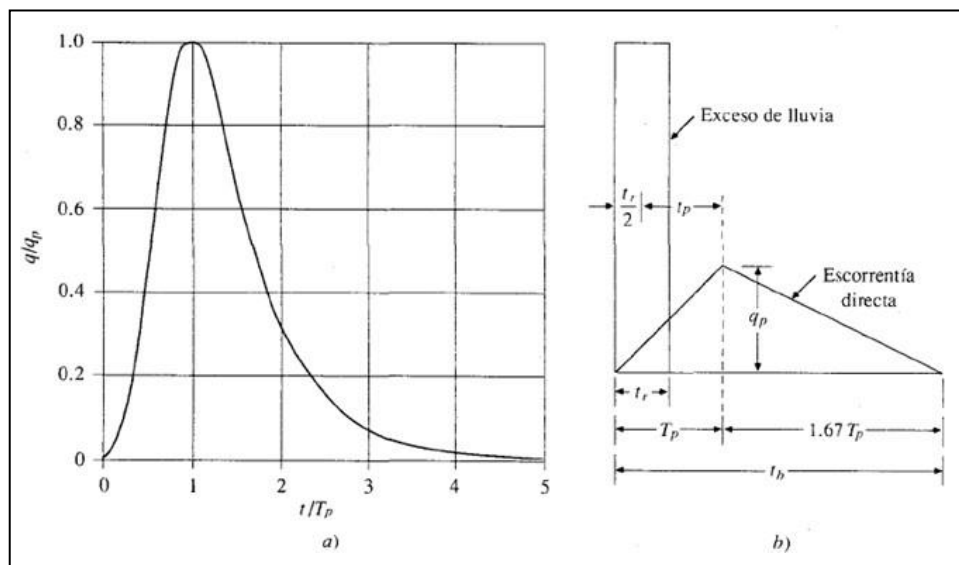


Figura 2-10: Hidrograma Adimensional Unitario Sintético del SCS (Fuente: Chow *et al.*, 1994).

Los valores de q_p y T_p pueden estimarse utilizando un modelo simplificado de un hidrograma unitario triangular tal como se muestra en la Figura 2-10b.

Con base en la revisión de un gran número de hidrogramas unitarios, el SCS también sugiere que el tiempo de recesión puede aproximarse como $1.67 T_p$.

Como el área bajo el hidrograma unitario debería ser igual a una escorrentía directa de 1 cm, puede demostrarse que:

$$q_p = \frac{A}{T_p} \quad (\text{Ecuación 2-1})$$

Donde C es 2.08 y A es el área de drenaje en kilómetros cuadrados.

Adicionalmente un estudio de hidrogramas unitarios de muchas cuencas rurales grandes y pequeñas indica que el tiempo de retardo $t_p \cong 0.6T_c$, donde T_c es el tiempo de concentración de la cuenca.

Como se muestra en la Ecuación 2-2 el tiempo de ocurrencia del pico T_p puede expresarse en términos del tiempo de retardo t_p y de la duración de la lluvia efectiva t_r .

$$T_p = \frac{t_r}{2} + t_p \quad (\text{Ecuación 2-2})$$

En la primera versión del estudio (1973) el rango de caudal pico va desde 0.14 a 56 m³/s, las áreas de drenaje entre 0.02 y 8.09 km², y las alturas de las tormentas para 24 horas entre 25.4 a 305 mm, y a cuencas que tengan pendientes promedio menores a 30%

Ajustes de la lluvia con respecto al área no es necesario, pero la distribución de la precipitación con respecto al tiempo es un parámetro importante.

Dado que las distribuciones tienen rango de intensidades cada 30 minutos, la duración de 24 horas es igualmente apropiada para una cuenca de 0.14 km² con menos de 30 minutos de periodo de tormenta efectiva como para una cuenca de 8.09 km² donde los periodos efectivos pueden tomar más de las 24 horas enteras.

2.6. TORMENTA DE DISEÑO DEL SCS

La necesidad de estudiar la distribución temporal de las tormentas es explicada por Chow *et al.* (1994):

“En los métodos de diseño de ingeniería desarrollados hace muchos años, tal como el método racional, solo se utilizaba el caudal pico... sin embargo, los

métodos de diseño desarrollados más recientemente, los cuales utilizan el análisis de flujo no permanente, requieren predicciones confiables del hietograma de diseño...”

En 1973 el SCS desarrollo los gráficos ES-1026 y ES-1027 para estimar el caudal pico instantáneo esperado en pequeñas áreas. Fueron actualizados en una publicación similar de 1986 (NRCS, 1986) el cual se conoce como TR-55.

El SCS desarrollo hietogramas sintéticos de tormentas con duraciones entre 6 y 24 horas (SCS, 1986), para utilizarse en dicho país. Según Chow *et al.* (1994) estos hietogramas se dedujeron utilizando la información presentada por Hershfield (1961) y Miller, Frederick y Tracey (1973) y datos de otras tormentas adicionales.

El SCS definió 4 tipos de tormentas de 24 horas de duración, denominadas: tipo I, IA, II y III. Lo que caracteriza a cada tipo es la distribución de la precipitación con respecto al tiempo dentro de la duración de 24 horas, como se muestra en la Figura 2-11.

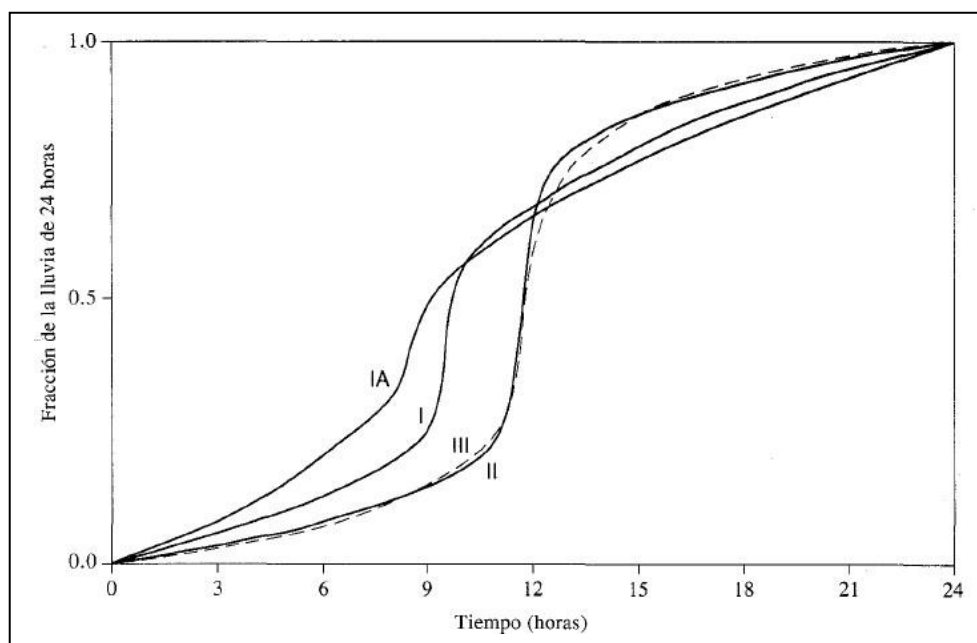


Figura 2-11: Hietogramas de Tormentas de Diseño en 24 horas del SCS (Fuente: Chow *et al.*, 1994).

Los gráficos de precipitación acumulada, los cuales son la base de las distribuciones tipo I y II, fueron establecidas:

- Ploteando la proporción de la cantidad de lluvia para cualquier duración de la cantidad de 24 horas contra la duración, para un número de localizaciones.
- Seleccionando la curva de mejor ajuste.

La distribución tipo I es arreglada de tal forma que los 30 minutos más intensos de lluvia ocurran aproximadamente en las 10 horas del periodo de 24 horas, el segundo bloque de 30 min más intensos, en los siguientes 30 y el tercer bloque de 30 minutos en los previos 30 minutos. Esta alternancia continúa con cada decrecimiento del orden de magnitud hasta que los más pequeños incrementos caigan en el principio y fin de la lluvia de 24 horas.

La distribución tipo II es arreglada en forma similar pero los 30 min más intensos de lluvia ocurren cerca de la mitad del periodo de 24 horas.

La selección del periodo de máxima intensidad para ambas distribuciones estuvo basada en consideraciones de diseño más que en factores meteorológicos.

El SCS asigno a cada tipo de tormentas a diferentes sectores de Estados Unidos, según la fuente de humedad de las tormentas:

- Los tipos I y IA corresponden al clima marítimo del Pacífico con inviernos húmedos y veranos secos.
- El tipo III corresponde al Golfo de México y las áreas costeras del Atlántico, donde las tormentas tropicales producen lluvias de 24 horas muy intensas.
- El tipo II corresponden al resto del país, en las cuales altos ratios de escorrentía para áreas pequeñas son usualmente generados por tormentas eléctricas de verano (SCS, 1973).

Las distribuciones tipos I y II están basadas en relaciones generalizadas de precipitación-duración obtenidas desde documentos técnicos de la "Oficina del Clima" de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de los Estados Unidos de América.

Esta distribución se muestra en el gráfico en la Figura 2-12.

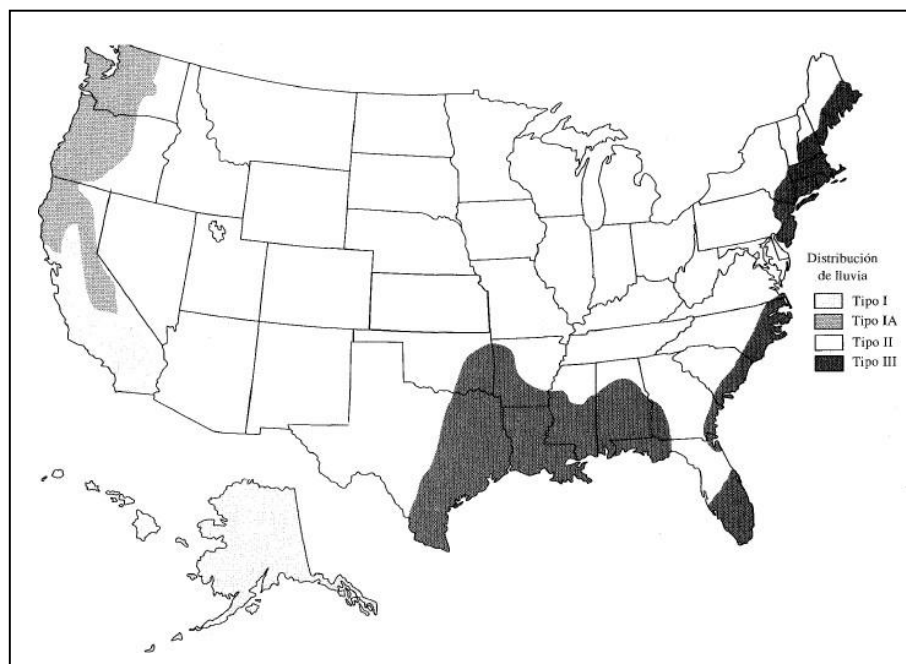


Figura 2-12: Ubicación de las zonas donde aplicar las Tormentas del SCS (Fuente: Chow *et al.* 1994).

Posteriormente, el NRCS (siglas en inglés del Servicio de Conservación de Recursos Naturales) realizó estudios adicionales para desarrollar tormentas sintéticas similares para otras regiones de su país, como por ejemplo las siguientes:

- Para las islas del pacífico (NRCS, 2008).
- Para el área al este del meridiano 105° (Bureau of Reclamación, 1977).
- Para el área al oeste del meridiano 105° (Bureau of Reclamación, 1977).
- Para las áreas semiáridas del sudeste de USA, Ohio, Puerto Rico y Hawái (Altas 14 del NOAA, 2007). Presentando distribuciones de lluvia de 6, 12, 24 y 96 horas de tormentas intensas expresadas en términos probabilísticos para varios percentiles.

2.7. OTRAS TORMENTAS DE DISEÑO

2.7.1. Pilgrim y Cordery (1975)

Pilgrim y Cordery desarrollaron un método de análisis de hietogramas basado en el ordenamiento de intervalos de tiempo de una tormenta teniendo en cuenta la profundidad de precipitación que ocurre en cada uno de ellos y repitiendo ese procedimiento en muchas tormentas en la región. Sumando el orden de cada intervalo, puede obtenerse la forma típica del hietograma. Esta metodología es la estándar en el diseño hidrológico en Australia (The Institution of Engineers Australia, 1987).

2.7.2. Huff (1967)

Huff desarrollo relaciones de distribución temporal para tormentas fuertes en áreas de hasta 1036 km². Los patrones de distribución temporal se desarrollaron para cuatro grupos de probabilidad, desde los más severos (primer cuartil) hasta los menos severos (cuarto cuartil)".

Huff obtuvo los datos de precipitación de 49 pluviógrafos que contaba con registros entre 1955 y 1966, distribuidos en un área de 32 km x 32 km, ubicados en el área central del estado de Illinois (40°N, 88°E) a una elevación entre 200 y 280 m s.n.m.

Huff identificó 261 tormentas, las cuales tenían duraciones entre 3 y 48 horas, definidos bajo los siguientes criterios:

- Una tormenta se definió como un período de lluvia separado de las precipitaciones precedentes y sucesivas por 6 horas o más.
- Si una tormenta generaba una precipitación media en la red mayor a 12.7 mm, o cuando algún pluviógrafo registrará más de 25.4 mm, la tormenta era considerada en el análisis.

Las características y tipos de las tormentas fueron determinados desde mapas de clima sinópticos y reporte de observadores.

Huff encontró que la mayor porción de la precipitación ocurre en una pequeña parte del tiempo total de la tormenta, independientemente de la duración de esta, precipitación promedio o el número de chubascos en el periodo de la tormenta.

Sobre este descubrimiento se decidió clasificar las tormentas inicialmente en cuatro grupos, dependiendo de si las precipitaciones más fuertes ocurrieron en el primer, segundo, tercer o cuarto trimestre del período de tormenta.

Cuando se agrupa de esa manera, los efectos de la precipitación promedio, duración de las tormentas, y otros factores eran menores y erráticos en el comportamiento.

Tormentas del primer y segundo cuartil ocurrieron con más frecuencia, mientras que la del cuarto cuartil menos infrecuentemente.

Dentro de los cuartiles, las tormentas de larga duración (sobre las 24 horas) predominaron en el cuarto cuartil, tormentas de moderada longitud (12- 24 horas) fueron más frecuentes en el grupo del tercer cuartil, y las de corta duración fueron más comunes en los grupos del primer y segundo cuartil.

Se encontró que las tormentas pesadas tienen una forma elíptica más frecuentemente, sin embargo, en el área de investigación más extensa (1027 km²) se observó una tendencia de que el patrón cambia de elíptico a multicelular, o en bandas cuando la precipitación media excedía 1.5 pulgadas y la duración de la tormenta excedió las 24 horas.

2.7.3. Gou *et al.* (1996)

Guo *et al.* (1996) desarrollaron un estudio de hietogramas usando datos de precipitación de la ciudad de Denver (Colorado); en el cual, usando un tiempo mínimo intereventos de seis horas, identificó 253 eventos de tormentas, de las cuales 25 eventos fueron catalogados como lluvias extremas. El umbral para considerar una tormenta como severa fue la precipitación de 1hr con dos años de periodo de retorno.

Del análisis de estas tormentas Guo *et al.* Indican que la mayor característica de las tormentas es su diversidad individual, dado los datos analizados muestran que no existe una relación entre las características de la distribución en el tiempo y la duración de los eventos.

A partir de la distribución de lluvias tipo I y tipo II del SCS Guo *et al.* (1996) sugieren que para una serie de datos una distribución conservadora de la precipitación puede ser construida uniendo las envolventes superior e inferior usando un drástico aumento entre los intervalos de tiempo correspondientes al 40 y 50%.

CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE TORMENTAS EN LOS ANDES CENTRALES.

3.1. INFORMACIÓN HIDROLÓGICA DISPONIBLE

Para el desarrollo de esta tesis de investigación se dispone de información hidrológica de la estación automática San Cristóbal, la cual se encuentra ubicada en la región Junín, provincia de Yauli, y distrito de Yauli a una altitud de 4 680 m s.n.m. Hidrográficamente la estación se encuentra dentro de la cuenca del río Yauli, que a la vez aporta sus aguas al río Mantaro, la cual pertenece a la vertiente del océano Atlántico (Ver Figura 3-1).

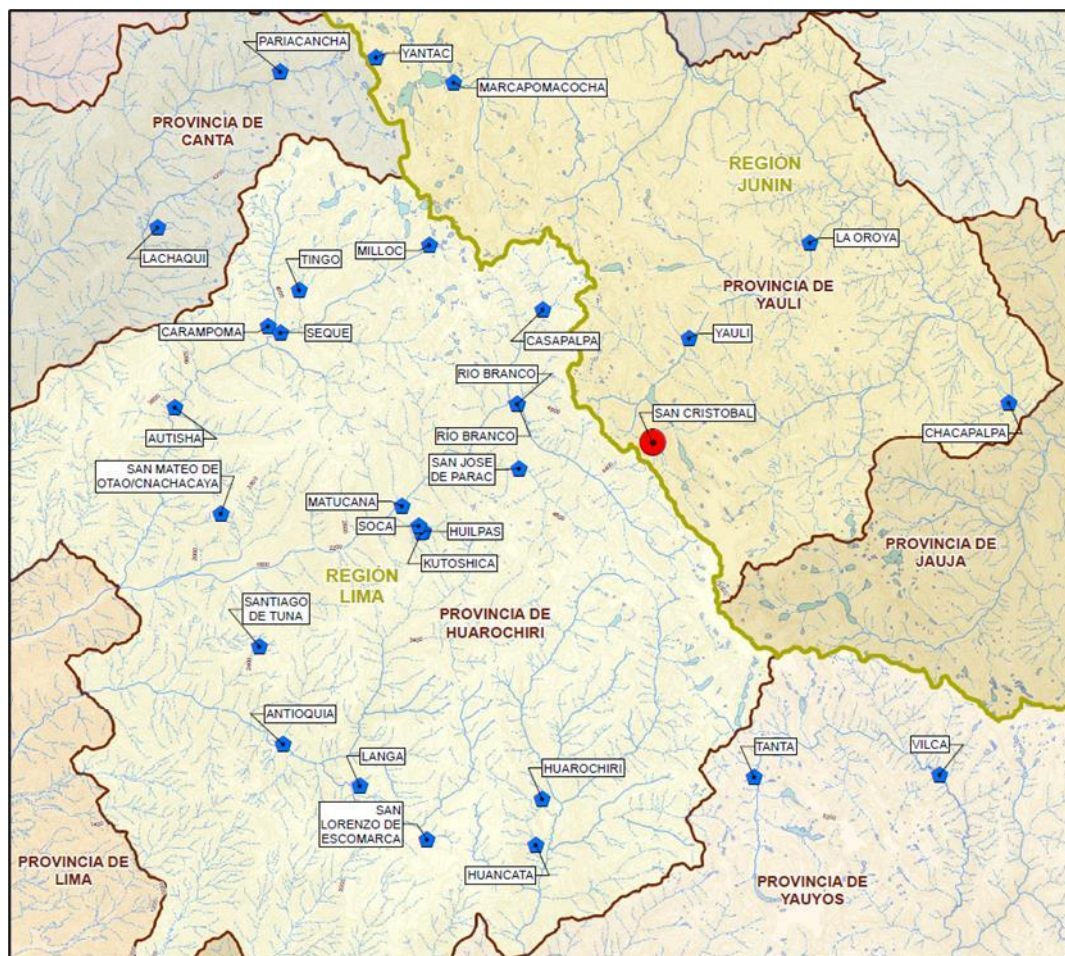


Figura 3-1: Ubicación de Estaciones Meteorológicas (Altitud entre paréntesis en m s.n.m.,
Elaboración Propia).

En la Figura 3-1 también se muestran las estaciones meteorológicas más cercanas a la estación San Cristóbal en un radio de 60 km, administradas por el

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), tanto de la región Lima como en la región Junín.

La estación San Cristóbal es una estación meteorológica de registro automático tipo Davis, que cuenta con sensores para registrar las siguientes variables meteorológicas:

- Precipitación
- Temperatura
- Temperatura mínima
- Temperatura máxima
- Humedad relativa
- Velocidad del viento
- Dirección del viento
- Velocidad máxima del viento
- Presión barométrica
- Radiación Solar

3.2. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE DATOS

Dado que el análisis de hietogramas se realizará utilizando los datos de la estación San Cristóbal, se verificará la consistencia de su registro de precipitación comparándolos con el registro de otras estaciones meteorológicas cercanas.

El criterio de “cercanía” utilizado considera límites en la distancia geográfica y en la diferencia de cota entre la estación San Cristóbal y las estaciones cercanas, se considera que esto permite que las estaciones se encuentren en una zona con comportamiento pluviométrico similar a la estación San Cristóbal.

El criterio utilizado para seleccionar las estaciones con las cuales se realizará la comparación es el siguiente:

- Encontrarse a no más de 50 km de distancia; y

- Encontrarse a una cota con una diferencia no mayor a 1000 m con respecto a la elevación de la estación San Cristóbal, es decir entre los 3 680 y 5 680 m s.n.m.

En la Figura 3-2 se muestran (en achurado azul) las estaciones meteorológicas cercanas que cumplen con ambos criterios. Las mismas estaciones se listan en la Tabla A-1 del Anexo A, donde se muestran su ubicación geográfica, ubicación política, y altitud.

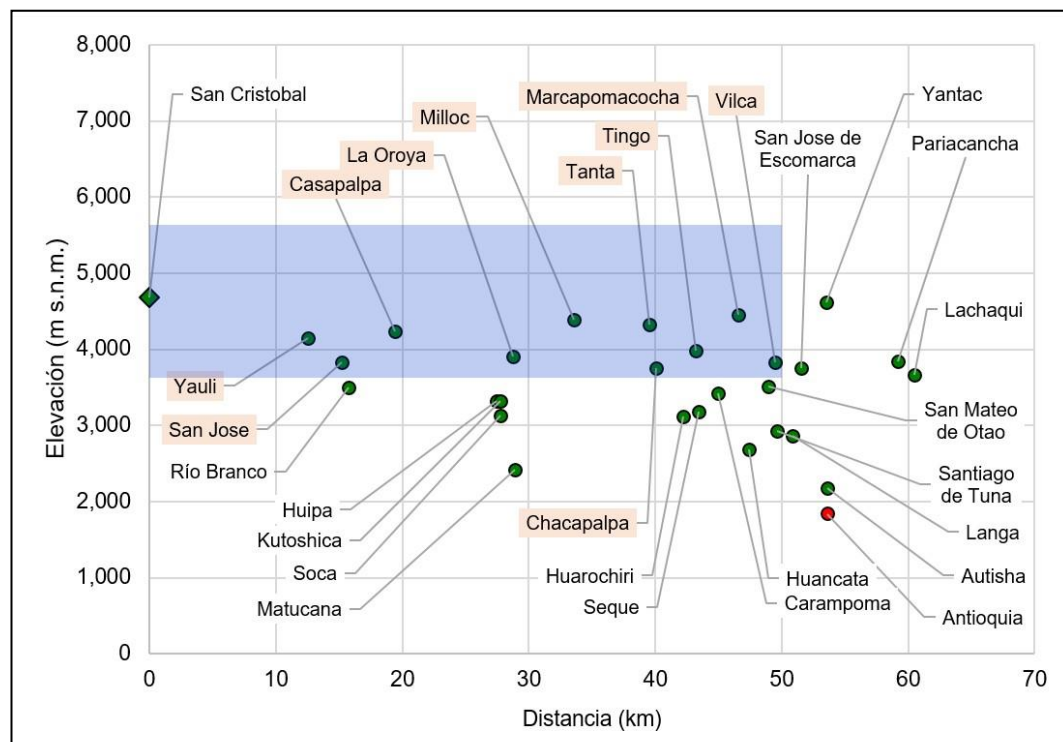


Figura 3-2: Distancia y Elevación de Estaciones Meteorológicas (Elaboración Propia).

Como se puede ver dichas estaciones son las siguientes:

- Yauli,
- San Jose de Parac,
- Casapalpa,
- La Oroya,
- Milloc,
- Tanta,

- Tingo,
- Marcapomacocha, y
- Vilca

En la Figura 3-3 se muestra el periodo de registro de precipitación de las estaciones mostradas líneas arriba, disponibles en la página web del SENAMHI (<https://www.senamhi.gob.pe/>). En donde los datos anuales se han agrupado entre agosto a julio, considerando el mes de agosto como el inicio del ciclo anual de precipitación.

Estación/ Año Hidrológico	1960/Ago-1965/Jul	1965/Ago-1970/Jul	1970/Ago-1975/Jul	1975/Ago-1980/Jul	1980/Ago-1985/Jul	1985/Ago-1990/Jul	1990/Ago-1995/Jul	1995/Ago-2000/Jul	2000/Ago-2005/Jul	2005/Ago-2010/Jul	2010/Ago-2015/Jul	2015/Ago-2020/Jul
Casapalca												
La Oroya												
Marcapomacocha												
Milloc												
San Cristobal												
San Jose de Parac												
Tanta												
Tingo												
Vilca												
Yauli												

Figura 3-3: Longitud de Registro de Estaciones (Elaboración Propia).

Como se puede observar las estaciones seleccionadas (listadas en la Figura 3-3) tiene datos en el mismo periodo que los datos de la estación San Cristóbal (de agosto/2006 a julio/2020), con las siguientes restricciones:

- La estación San Cristóbal no presenta cuenta con datos entre agosto/2008 y julio/2009.
- La Oroya no presenta datos entre agosto/2015 a julio/2017
- La estación San Jose de Parac no presenta datos entre agosto/2019 a julio/2020
- La estación Tanta no presenta datos en los periodos agosto/2010 - julio/11 y agosto 2019 – julio/2020
- Las estaciones Tingo, Vilca y Yauli no presenta datos en el periodo agosto 2019 – julio/2020

Las estaciones San Cristóbal, Marcapomacocha , La Oroya y Yauli pertenecen a la vertiente del Atlántico mientras que las estaciones Casapalca, Milloc, San José de Parac, Tanta, Tingo y Vilca a la del Pacífico.

La estación con mayores contas son Casapalapa, Marcapomacocha, Milloc y Tanta se encuentran a una elevación de 4 233 y 4 447 m s.n.m., mientras que la estación San Cristóbal se encuentra a 4 680 m s.n.m.

En las Tablas A-2 al A-11 del Anexo A se muestran los datos de precipitación mensual de las estaciones mencionadas.

En dichas Tablas se puede observar los meses que no contaban con datos de precipitación o detectados como datos dudosos (Ven Te Chow, 1956) y que fueron reemplazados con el valor mensual promedio del registro correspondiente, siempre y cuando la cantidad de meses completados en un año hidrológico sea menor a cuatro (04), esto para evitar un impacto significativo en la desviación estándar de los registros.

Para verificar la consistencia de datos de la estación San Cristóbal se elaboró un diagrama de doble masa con los valores de precipitación total anual (PTA) de dicha estación junto con las estaciones mostradas en la Figura 3-3, comparándola con la PTA acumulada promedio del set de estaciones, la cual se muestra en la

Figura 3-4. Las estaciones Tanta y Yauli no se consideraron por presentar una tendencia más diferenciada del promedio.

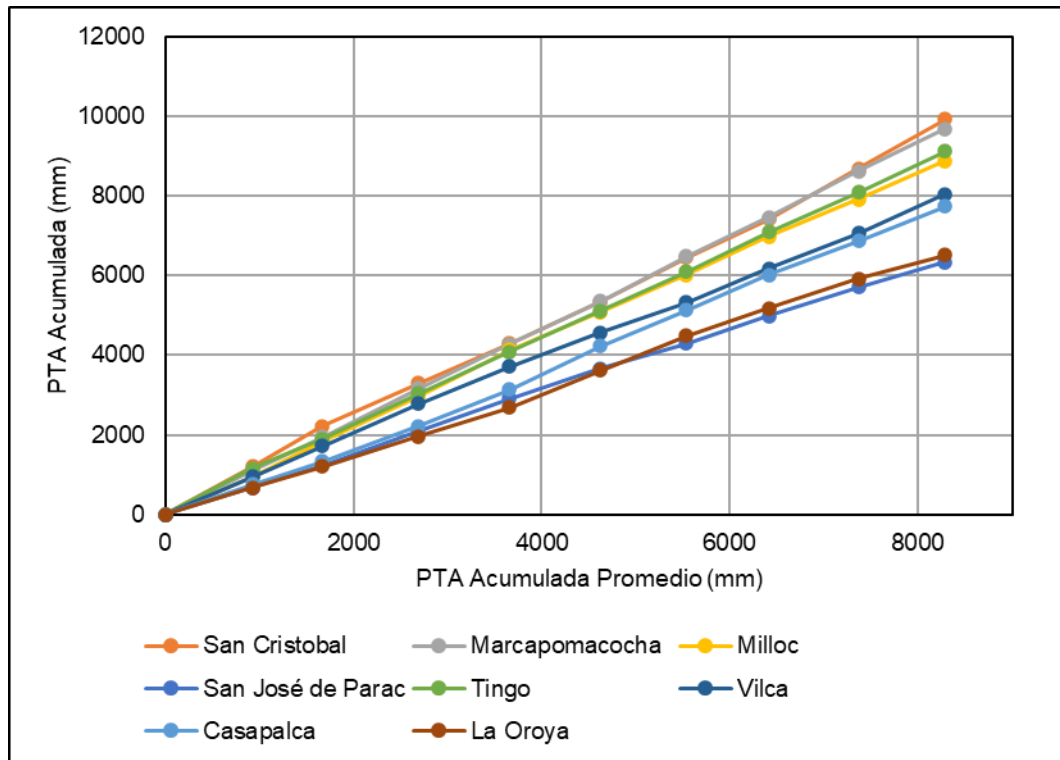


Figura 3-4: Diagrama de doble Masa de PTA (Elaboración Propia).

En la Figura 3-4 se puede apreciar que las estaciones consideradas guardan una buena relación con el comportamiento promedio, aun las estaciones de la vertiente del Pacífico y del Atlántico.

Al comparar la precipitación mensual de las estaciones consideradas se pudo observar coherencia entre los valores de precipitación mensual, con fluctuaciones similares para las épocas secas y húmedas entre agosto/2011 a julio/2015. Sin embargo, se presentaron valores altos para la estación Tanta en la época diciembre/2011 a marzo/2012, y en febrero/2013, pero siendo más acorde a los valores de las otras estaciones en el periodo restante, como se ve en la Figura 3-5 y en la Figura 3-6.

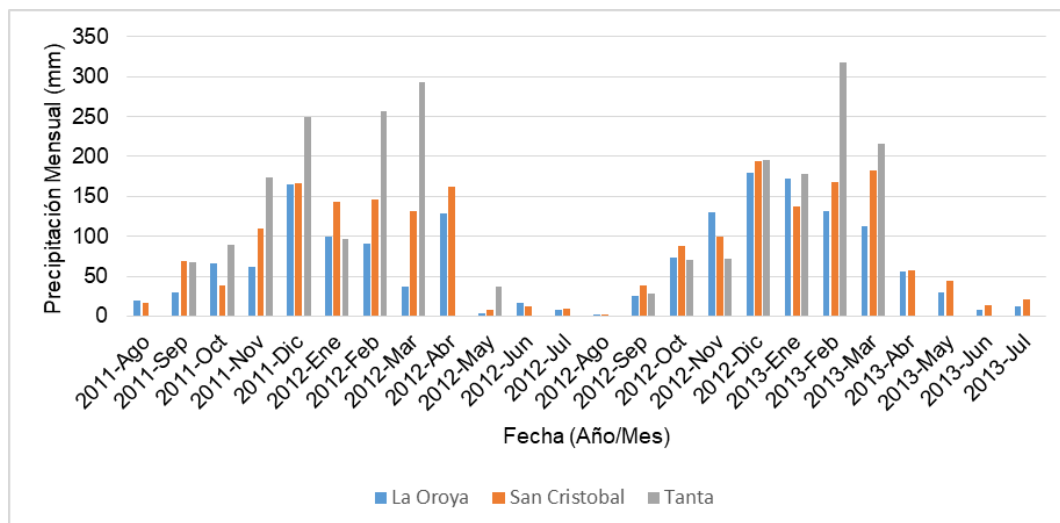


Figura 3-5: Precipitación Mensual Agosto/2011 – Julio/2013 (Elaboración Propia).

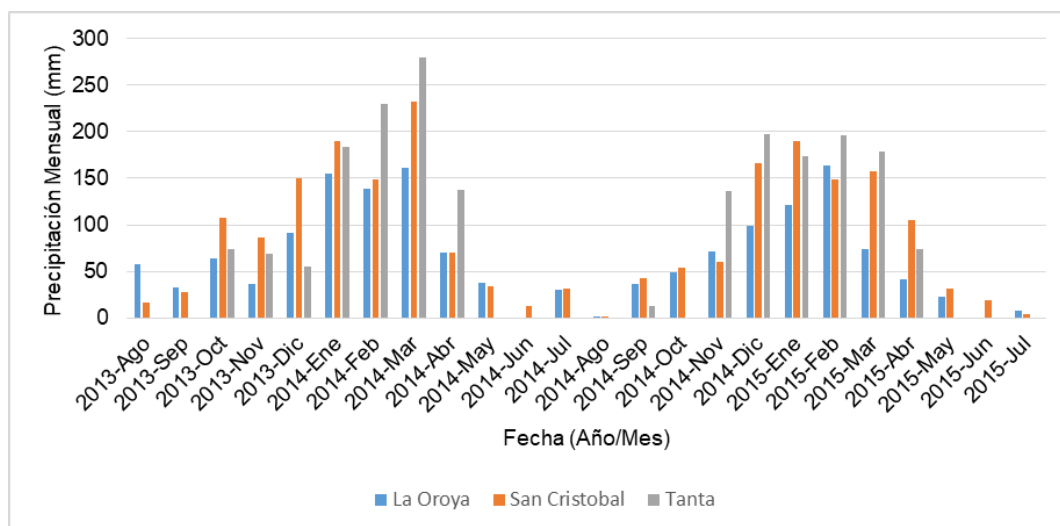


Figura 3-6: Precipitación Mensual Agosto/2013 – Julio/2015 (Elaboración Propia).

En base a la comparación de registros realizado, se puede tener seguridad que los datos registrados por la estación San Cristóbal son consistentes, y pueden ser utilizados para los fines de la presente investigación.

3.3. ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN - ESTACIÓN SAN CRISTÓBAL

La estación San Cristóbal registra datos de precipitación desde el 20 de diciembre del 2005. Para la presente investigación se contó con sus registros desde dicha

fecha hasta el 31 de julio de 2020, con un intervalo de toma de datos que varía entre media y una hora.

La precipitación del área de la estación San Cristóbal, como es usual en la sierra del Perú presenta dos estaciones bien marcadas, con una temporada de intensa precipitación entre los meses de noviembre y abril, que concentra el 85% de la precipitación total anual; y una temporada seca entre los meses de mayo a octubre, en el cual precipita el 15% restante del total anual.

En la Figura 3-7 se muestra la precipitación total anual registrada en la estación San Cristóbal, resultando como promedio el valor de 1 130 mm, y siendo el máximo y mínimos registrados los valores de 913 mm (en el año 2015-2016) y 1 424 mm (en el año 2016-2017).

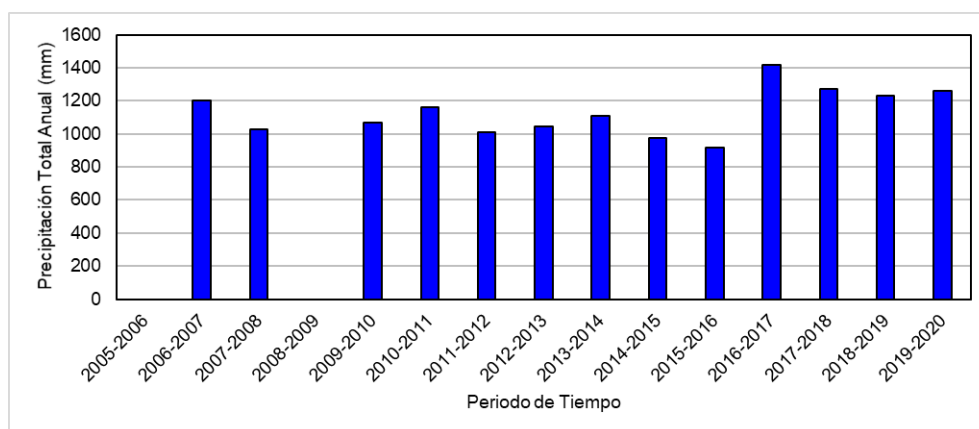


Figura 3-7: Precipitación Total Anual en la Estación San Cristóbal (Elaboración Propia).

En el periodo de datos disponibles de la estación San Cristóbal (2006 a 2020) se ha identificado el registro de un año particularmente húmedo 2016-2017. El cual como se muestra en la Figura 3.8 concuerda con periodos húmedos de registro anual de precipitación en las estaciones más cercanas. De similar forma el periodo seco 2015-2016 de la estación San Cristóbal es también coherente con el periodo seco de las otras estaciones.

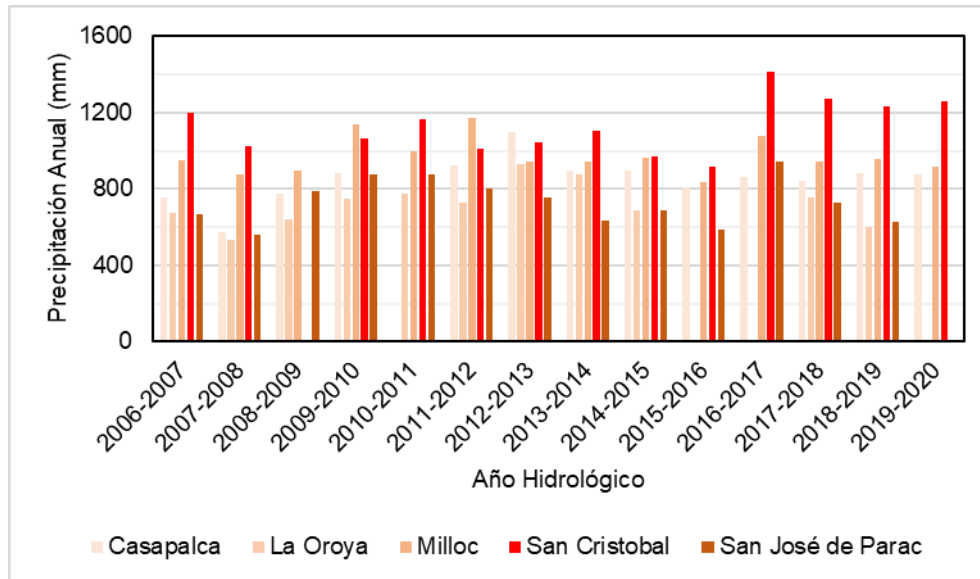


Figura 3-8: Comparación de Precipitación Total Anual (Elaboración Propia).

En la Figura 3-9 se muestra la distribución mensual de la precipitación. En cuanto a los valores de precipitación mensual, el máximo valor registrado corresponde al mes de marzo del 2017 con 269 mm, mientras el mínimo corresponde a 1 mm registrados en el mes de julio del 2010 y agosto del 2014.

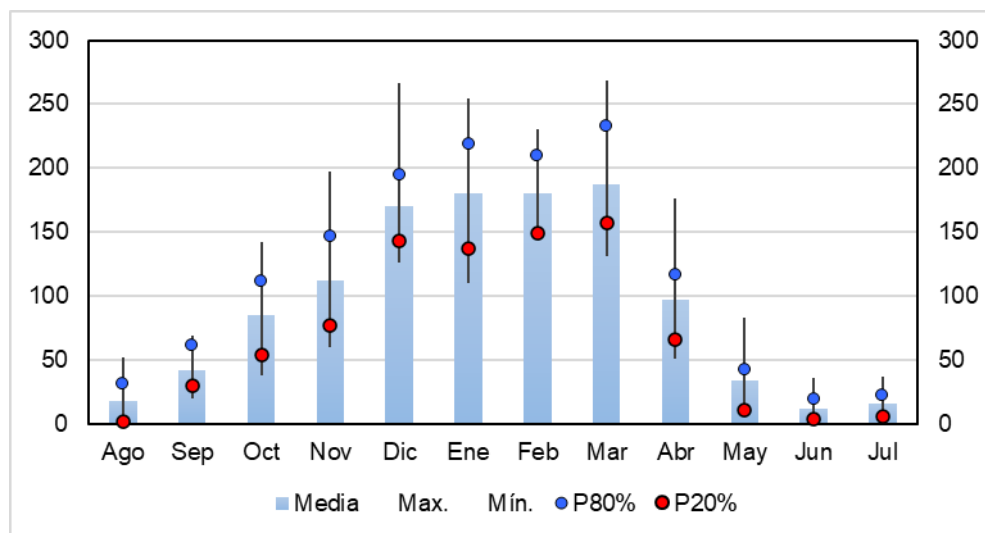


Figura 3-9: Precipitación Mensual Estación San Cristóbal (Elaboración Propia).

En la Figura 3-10 se muestra los valores de precipitación máxima en 24 horas, donde se aprecia que los valores varían entre 16 mm (registrado durante el periodo 2009-2010) y 31 mm (2006-2007).

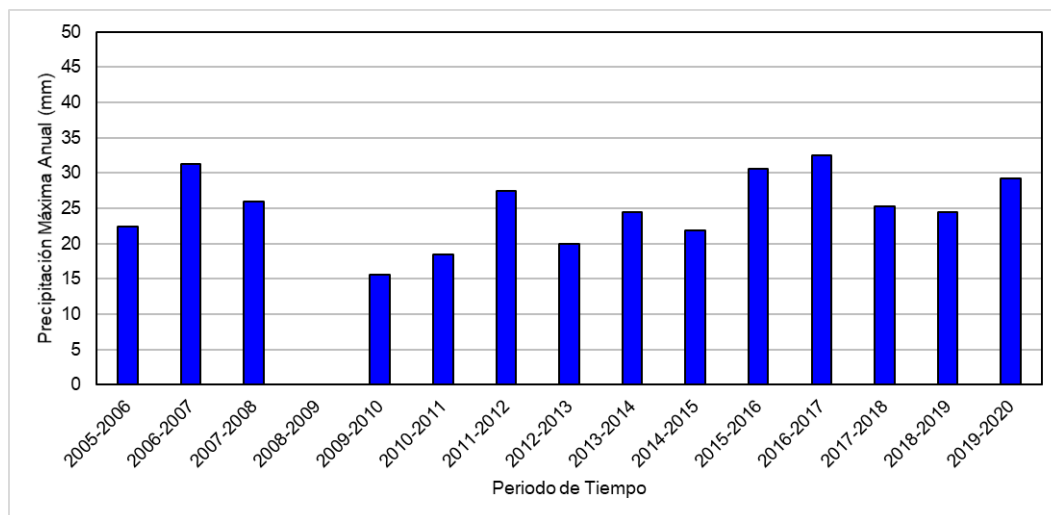


Figura 3-10: Precipitación Máxima en 24 horas Estación San Cristóbal (Elaboración Propia).

En la Tabla A-12 del Anexo A se muestran los valores de precipitación máxima diaria mes a mes registrados en la estación San Cristóbal.

3.4. METODOS Y TORMENTAS A MODELAR

El método utilizado para analizar los hietogramas de las tormentas, empleado en la presente investigación, incluyó los siguientes pasos:

- Identificación las tormentas.
- Clasificación de tormentas de acuerdo con su magnitud y duración.
- Definición de Criterio de selección de tormentas a analizar (Ver acápite 3.4.3).
- Identificación de tormentas que cumplan criterio.
- Reordenar la precipitación horaria de cada tormenta como diagrama de bloques alternos.
- Expresar y graficar las tormentas como hietogramas normalizados acumulados.

Mientras que para la construcción del hietograma de diseño se seguirán los siguientes lineamientos:

- De 0 a 48% de tiempo: Con los valores mínimos de los hietogramas normalizados;
- Del 52% a 100% del tiempo: Con los valores máximos de los hietogramas normalizados; y
- Entre 48% y 52%: Con una recta tangente que conecte los otros dos tramos.

3.4.1. Identificación de Tormentas

Con los registros de la precipitación de la estación San Cristóbal se procedió a identificar y categorizar los eventos de tormentas, para lo cual se definieron los siguientes criterios:

- Cada evento de tormenta debe comenzar con un valor registrado de 0 mm seguido de un valor registrado mayor a 0 mm.
- Se toleran “silencios” (periodos con precipitación nula) durante eventos de tormentas, siempre y cuando estos tengan una duración menor o igual a una hora.
- Pausas en la precipitación mayor a una hora supondrá el fin de un evento de tormenta.

Bajo las suposiciones anteriores no se hicieron restricciones en la duración o la intensidad de las tormentas a ser registradas, obteniendo que en el periodo de registros disponibles se identificaron 5292 eventos de tormentas, de los cuales, solo 615 corresponde a eventos con precipitación acumulada mayores a 5 mm.

3.4.2. Clasificación de Tormentas

En el Figura 3-11 se muestra la distribución de los eventos de tormentas registrados en el año 2015-2016, año con mayor precipitación total anual (PTA= 1 424 mm), junto al correspondiente para el año 2016-2017, año con la menor PTA registrada (913 mm). En el cual se puede apreciar que la principal diferencia entre ambos años se encuentra en la menor cantidad de eventos de reducida magnitud (5 a 10 mm) en el año 2015-2016 con respecto al año 2016-2017, en el cual

subyace gran parte de la diferencia de la PTA entre ambos años (~370 mm de 500 mm). Esto indicaría que la cantidad de eventos de reducida magnitud (5 a 10 mm) son los que definen un año como húmedo o promedio.

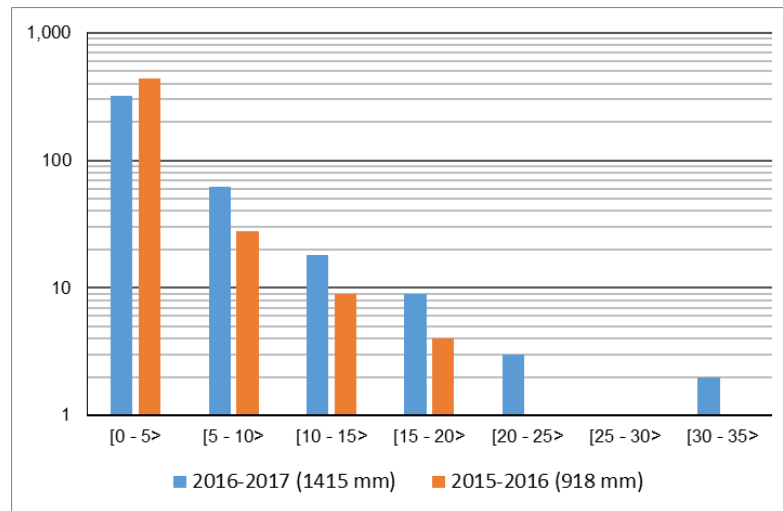


Figura 3-11: Distribución de los eventos de precipitación años 2006-2007 y 2015-2016 (Elaboración Propia).

De la Figura 3-11 se puede interpretar que los eventos de mayor impacto en la magnitud de la PTA son los eventos menores de 15 mm. Por lo que dichos eventos tendrían mayor importancia en los análisis de balance de agua de reservorios, disponibilidad hídrica y modelos de saturación del suelo.

En el Figura 3-12 se muestra la distribución de precipitación para el periodo Agosto/2006 a Julio/2020. Donde se puede ver que son los eventos de 15 mm a mayores los que no se llegan a contar por decenas en todos los años.

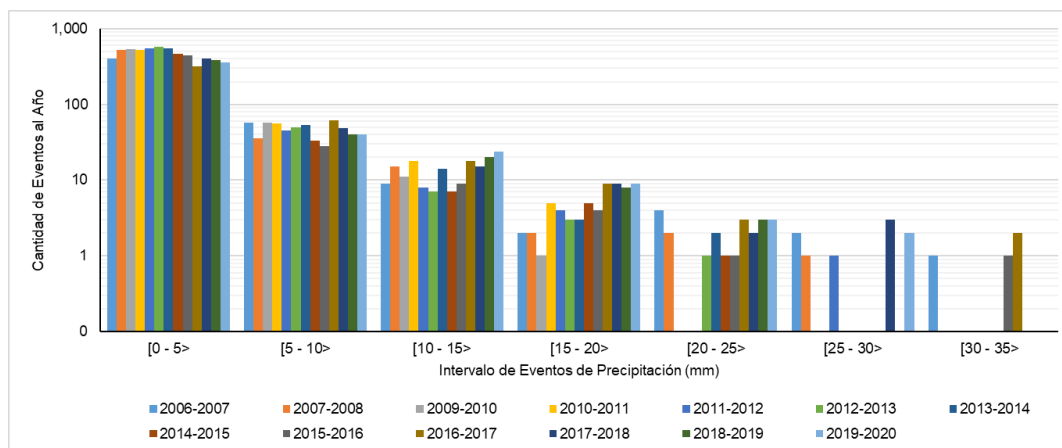


Figura 3-12: Distribución de los eventos de precipitación años 2006 a 2020 (Elaboración Propia).

3.4.3. Establecimientos de Criterios

Para el análisis de hietogramas de la estación San Cristóbal se considerarán aquellos eventos de tormenta con mayor precipitación, ya que producirían los caudales máximos instantáneos con valores más altos con respecto a las tormentas con menor precipitación, siendo los caudales máximos un parámetro importante en el diseño de obras hidráulicas.

La selección de las tormentas con las que se realizaran los análisis de hietogramas se realizo con el criterio de que dichas tormentas tengan una precipitación de 15 mm como mínimo. Las tormentas que cumplen ese criterio se muestran en la Tabla 3-1, donde se puede ver que sus valores de precipitaciones alcanzan hasta los 32 mm y presentan duraciones entre 14 y 32 horas.

Tabla 3-1: Distribución de los eventos de precipitación años 2010 a 2015 (Elaboración Propia).

Fecha Hora	Altura (mm)	Duración (hr)
1/10/2016 17:00	32.0	26.0
2/03/2017 14:00	31.7	32.0
11/12/2006 06:00	31.2	17.0
28/02/2016 16:30	30.6	18.0
11/02/2007 14:00	27.4	25.0
23/04/2012 05:30	27.4	14.5
13/02/2018 18:00	26.6	27.0
14/10/2017 17:00	26.2	32.0
2/11/2019 05:00	26.0	18.0
3/11/2006 07:00	25.6	19.0
17/02/2018 15:00	25.2	23.0
23/12/2019 15:00	24.7	18.0
17/03/2014 04:30	24.4	14.5
26/01/2019 22:00	22.5	21.0
5/03/2014 08:00	21.8	19.0
5/03/2015 08:00	21.8	19.0
27/10/2017 17:00	20.8	19.0
24/01/2017 15:00	20.5	22.0
20/12/2019 14:00	20.4	17.0
22/03/2020 12:00	20.4	23.0
29/03/2017 14:00	20.3	20.0
27/02/2017 07:00	20.3	14.0
20/10/2018 14:00	20.1	30.0
13/01/2007 06:00	20.1	16.0
20/12/2007 05:00	20.1	15.0
21/10/2006 00:00	20.1	20.0
8/02/2013 11:30	20.0	25.5
18/03/2020 05:00	19.8	14.0
24/01/2020 13:00	19.5	21.0
28/01/2019 12:00	18.9	22.0

Cabe resaltar que en base al análisis de estadístico de tendencias de los datos de la estación San Cristóbal, el valor de precipitación en 24 horas con periodo de retorno de 2 años se encuentra entre 24 a 25 mm, según el modelo estadístico que se elija (ver Figura 3-13). Por lo cual dentro de los eventos de tormentas seleccionados se encuentran trece (13) eventos con magnitud mayor a la tormenta $Tr=2$ años (24 mm), y tres (03) eventos muy próximos a la tormenta $Tr=10$ años (32 mm).

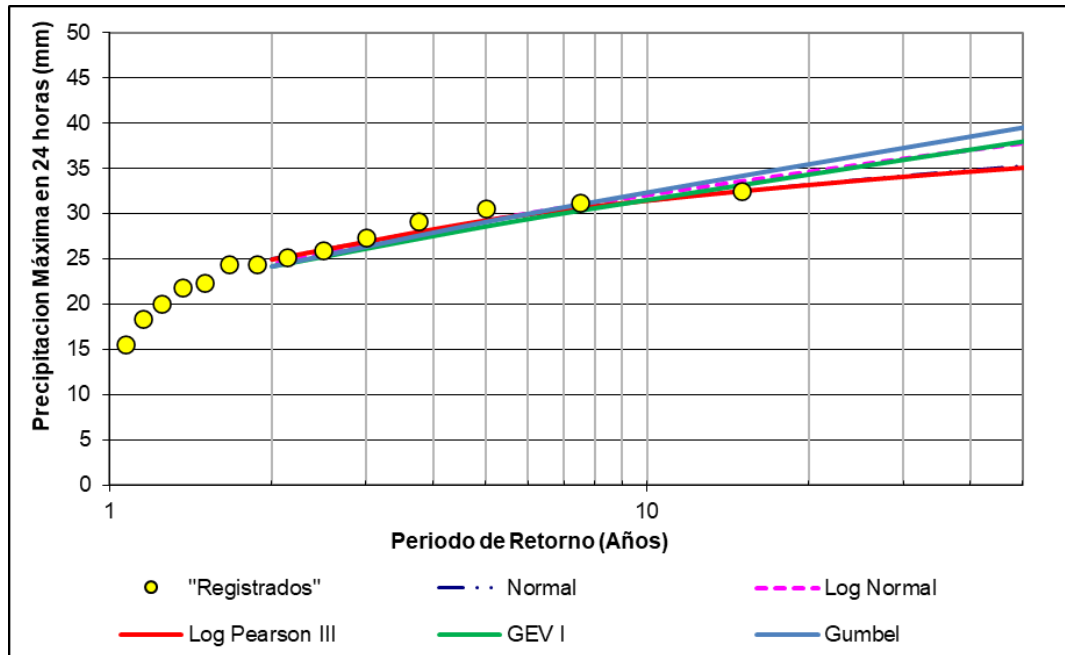


Figura 3-13: Pmax en 24 horas para distintos Periodos Retorno de la Estación San Cristóbal (Elaboración Propia).

3.4.4. Hietogramas Normalizados de Tormentas

En base a las tormentas seleccionadas se elaboraron gráficos de bloques alternos de precipitación acumulada normalizada, el cual se muestra en la Figura 3-14. Se seleccionó este tipo de gráfico por ser en el cual se presentan las tormentas estandarizadas del NRCS (anteriormente conocido como SCS).

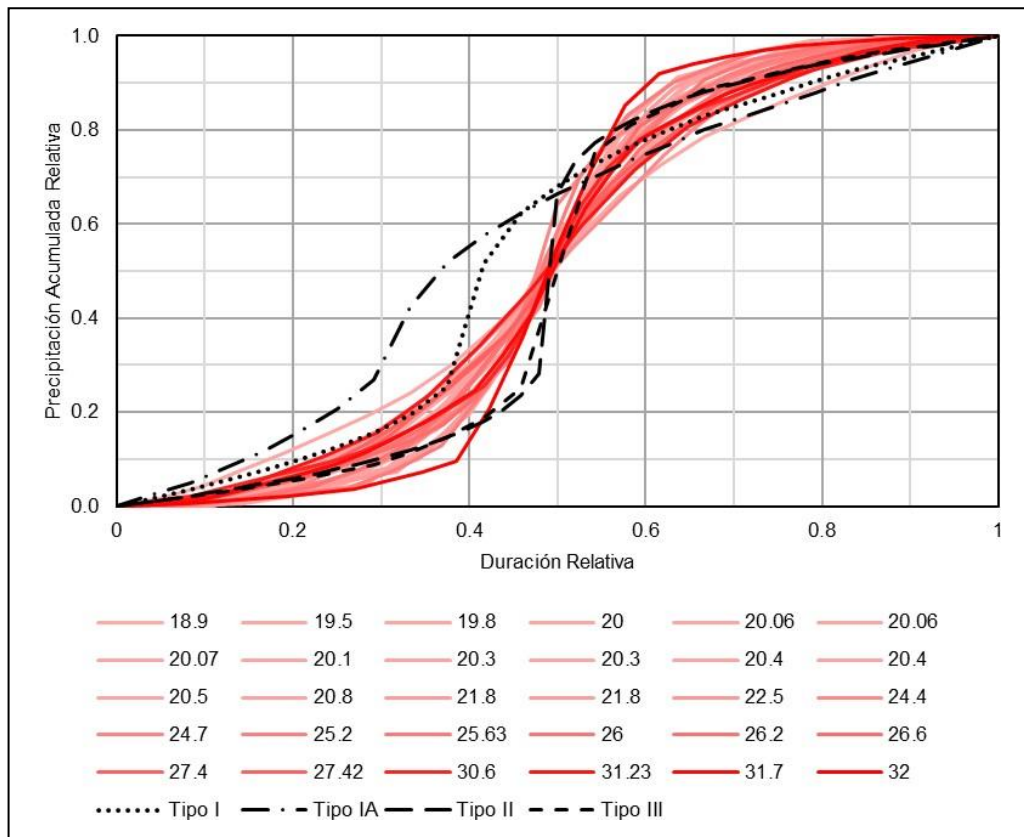


Figura 3-14: Hietogramas Normalizados en Bloques Alternos de tormentas seleccionados (Elaboración Propia).

De la Figura 3-14 se puede concluir:

- Las tormentas registradas seleccionadas no se ajustan a los modelos de tormenta Tipo I y Tipo IA del NRCS.
- Las tormentas registradas seleccionadas parecen no ajustarse lo suficiente a los modelos de tipo II y tipo III del NRCS.

Por lo que los hietogramas normalizados en bloques alternos de las tormentas seleccionadas parecen corresponder a una distribución de tormenta estandarizada intermedia entre la tormenta Tipo I y la tormenta tipo III del SCS.

3.4.5. Hietograma de Diseño

Para establecer una distribución normalizada de tormenta de acuerdo con los datos disponibles de la estación San Cristóbal se ha considerado criterios similares al ensamble de la tormenta tipo II:

- Para el periodo menor al 48% de duración de la tormenta se consideró el límite inferior de los hietogramas normalizados registrados seleccionados.
- Para el periodo mayor al 50% de la duración de la tormenta se consideró el límite superior de los hietogramas normalizados registrados seleccionados.
- Los datos entre el 48% y el 50% de duración de la tormenta se interpolaron linealmente de los puntos extremos definidos por los dos puntos anteriores, de tal forma que gráficamente se vean unidos por una línea recta.

El Hietograma resultante de aplicar los criterios indicados líneas arriba se muestran en la Figura 3-15, y en la Tabla 3.2. El cual podría considerarse como una tormenta de diseño específica para el sitio de la estación San Cristóbal, y que podría ser aplicado en lugares cercanos, tanto en posición geográfica como en altitud.

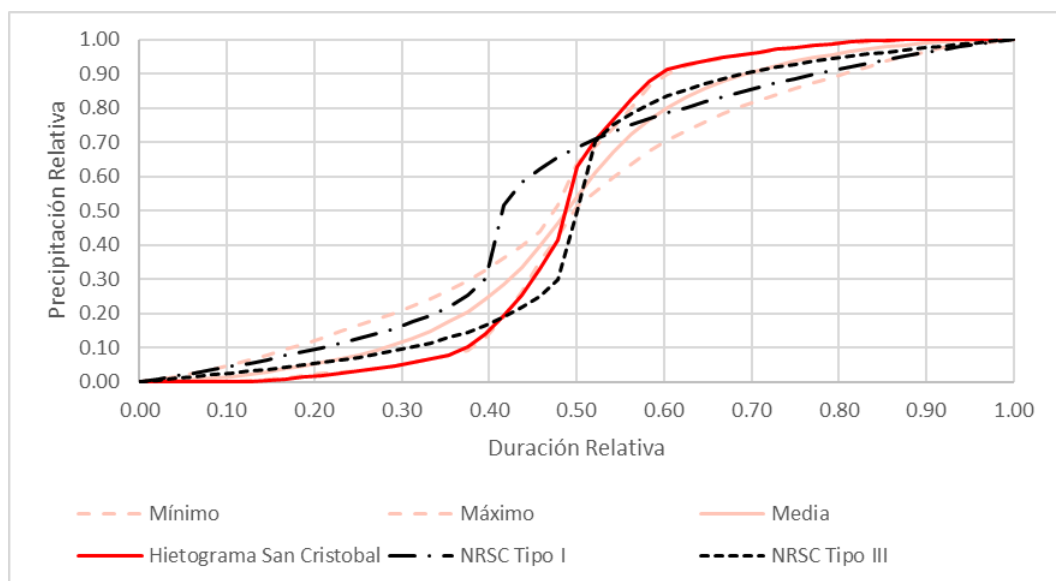


Figura 3-15: Hietograma Normalizado Propuesto - Estación San Cristóbal (Elaboración Propia).

Como se puede observar en la Figura 3-15 hay similitud entre la tormenta Tipo III del NRCS y la tormenta propuesta para el sitio de la estación San Cristóbal. En su parte central, la tormenta tipo III del NRSC es 12% más intensa que la tormenta de diseño de la estación San Cristóbal. Por tanto, como parte de la tesis se evaluará un escenario con este hietograma.

3.5 PROPUESTA DE CALIBRACIÓN DE MODELO DE LLUVIAS

Para poder dar validez al hietograma de diseño de lluvias estimado en el acápite 3.4.6 se requerirá de una mayor cantidad años de registros de precipitación horaria; lo cual también otorgaría una mayor solidez estadística al hietograma de diseño obtenido.

Se recomienda que, para futuras tesis e investigaciones referidas a hietogramas de diseño, se actualicen los datos presentados en esta tesis siguiendo el método propuesto en el acápite 3.4, así como revisar registros horarios o de menor intervalo de estaciones cercanas.

En el Anexo D se ha colocado un código en *visual Basic Aplicación* de Excel (VBA) con la programación de la metodología propuesta en el acápite 3.4, para su libre uso en futuras investigaciones, así como ajustes, correcciones y mejores.

A discreción de los futuros investigadores se podría realizar análisis diferenciados según la duración o intensidad de las tormentas; y de ser posible la validez regional de estos hietogramas de diseño comparándolo con los resultados de otras estaciones cercanas.

CAPÍTULO IV: APLICACIÓN DE HIETOGRAMA DE DISEÑO: PROYECTO DE UNA OBRA DE DERIVACIÓN

4.1. UBICACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se ubica en las coordenadas $11^{\circ} 42' S - 76^{\circ} 12' O$, a una altitud de 4 235 m s.n.m., en la región Junín, provincia de Yauli, distrito de Yauli.

Hidrográficamente, le proyecto se encuentra en la vertiente del Atlántico, muy próxima a la divisoria continental de agua, en la confluencia de la quebrada de la quebrada Rumichaca al río Yauli, del cual es afluente. El río Yauli a la vez es afluente del río Mantaro.

4.2. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Dado el proyecto de ampliación de un depósito de relaves, ubicado en la confluencia de la quebrada Rumichaca con el río Yauli, se ve la necesidad la estructura de derivación existente.

La estructura de derivación está compuesta por una presa y un canal de derivación conducirá las aguas de la quebrada Rumichaca. El canal bordeara el depósito de relaves para entregar las aguas al cauce del río Yauli (Ver Figura 4-1).



Figura 4-1: Arreglo General de Estructuras (Elaboración Propia).

Es importante indicar que el proyecto minero Toromocho se encuentra en la quebrada Rumichaca, aguas arriba de la obra de derivación del proyecto, en la Figura 4-1 se ubican su depósito de relaves y la poza de filtraciones, estructuras cuyo impacto en el diseño de la obra de derivación propuesta se explica en la Sección 4.5.

Uno de los factores importantes a ser tomados en cuenta para el dimensionamiento de este proyecto de obra de derivación son la precipitación y los criterios de diseño.

4.3. PRECIPITACIÓN DE DISEÑO

Dado que la estación San Cristóbal presenta un periodo corto de registro (10 años), los resultados que se obtengan a partir de sus datos de precipitación máxima en 24 horas ($P_{max\ 24h}$) para periodos de retorno mayores de al menos 50 años, se recomienda, se consideraron poco confiables.

Por lo tanto, para estimar la P_{max} 24h para periodos de retorno de 100, 200 o 500 años es preciso utilizar los datos de una estación regional con mayor longitud de registro.

La P_{max} diaria para un periodo de retorno de 200 años (Tr_{200}) estimado en el 2007 para el proyecto minero Toromocho, asciende a 63 mm según su estudio de impacto ambiental (Golder, 2007).

La P_{max} diaria Tr_{200} del proyecto Toromocho se estimó utilizando los datos de la estación pluviométrica Morococha administrada por Electro Andes (Golder, 2007), de la cual al momento de realizar dicha estimación se contaba con datos entre 1956 a 2006.

La estación Morococha se ubica a una elevación de 4 505 m s.n.m., a una distancia de 20 km de la estación San Cristóbal, en el distrito de Morococha, provincia de Yauli, región Junín (Ver Figura 4-2).



Figura 4-2: Ubicación de la estación Morococha (Elaboración Propia).

Al no contarse con los datos de la estación Morococha en el periodo 2007-2017, no fue posible actualizar sus valores de Pmax diaria. Por lo cual para cumplir con los fines de esta tesis se utilizarán los valores de precipitación máxima estimados por Golder en el 2007.

Golder (2007) indica que dado el carácter diario de los datos de la estación Morococha (y no horario), a los resultados de la Pmax diaria para diferentes periodos de retorno se multiplicará por un factor de 1.13 para “escalarlo” a resultados de Pmax 24h, siguiendo las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2011). De esta forma en la Tabla 4.1 se muestran los valores recomendados para el diseño.

Tabla 4-1: Estimación de Pmax Diaria y de 24h de la Estación Morocochoa (Fuente: Golder, 2007).

Periodo de Retorno	Pmax Diaria (mm)	Pmax 24h (mm)
500	69	79
200	63	71
100	57	65
50	52	60
25	47	54
10	41	46
5	36	40
2	28	32

4.4. CRITERIOS DE DISEÑO

La reubicación del Canal de derivación Rumichaca se diseñará con los criterios mostrados en la Tabla 4-2.

Tabla 4-2: Criterios de Diseños Generales (Elaboración Propia).

Variable	Unidad	Valor
Criterio para el Diseño de la Estructura	--	Periodo de Cierre (Abandono)
Periodo de retorno de Pmax 24 horas para diseño	Años	200 ⁽¹⁾
Pmax 24 horas Tr= 200 años	mm	71
Condición Antecedente de Humedad (CAH) para Tr=200 años	Adim. ⁽⁴⁾	Ver Sección 4.6.3
Número de Curva en terreno natural	Adim.	79 (ver ítem 4.6.3)
Número de Curva para áreas disturbadas	Adim.	94
Pendiente mínima de Canales	%	0.2%
Borde Libre mínimo	m	Según recomendación del USBR
Revestimiento de Canales	Adim.	Concreto
Sección de canal a régimen subcrítico	Adim.	Trapezoidal
Sección de canal a régimen supercrítico	Adim.	Rectangular
Inclinación de canal Trapezoidal	Adim.	1,5H:1,0V
Coefficiente de rugosidad de Manning para Concreto	Adim.	0.014
Talud de Corte	Adim.	1,4H:1V
Talud de Relleno	Adim.	1,5H:1V

Notas:

- 1 Requerimiento para cierre de minas.
- 2 Precipitación máxima de acuerdo con datos de la estación San Cristóbal.
- 3 Periodo de retorno.
- 4 Adimensional.

4.5. INFLUENCIA DEL PROYECTO TOROMOCHO

En la cuenca de la quebrada Rumichaca se localizan los componentes del proyecto Toromocho, operado por la Minera Chinalco Perú S.A. Los cuales son los siguientes:

- Presa de Relaves
- Poza de recuperación de agua
- Poza de Filtraciones

4.5.1. Presa de Relave

Durante la operación de la mina Toromocho el agua almacenada en la poza de relaves será bombeada a la planta de procesos de la mina o a la poza de recuperación de agua.

De acuerdo con el Anexo S del EIA del proyecto (Knight Piésold, 2009), solo en la fase de inicio y en la etapa final de la presa se construirán aliviaderos en el dique de la presa de relaves, con el objeto de dejar pasar de forma segura la avenida producto de la precipitación máxima probable (PMP) de 24 horas de duración. Dicho aliviadero descargará en la Poza de Recuperación de Agua.

Para las etapas intermedias el borde libre presente en la presa es suficiente para almacenar dicha avenida (asociada a la PMP). La PMP estimada para dicho proyecto es de 201 mm (Knight Piésold, 2009).

La presa de relaves en todas sus etapas es capaz de contener sin vertimientos la avenida correspondiente a una precipitación de 1000 años de periodo de retorno en todas sus etapas.

4.5.2. Poza de Recuperación de Agua

Esta poza se ubica aguas abajo de la presa de relaves. Para la seguridad de la poza se considera en su diseño un aliviadero de emergencia, capaz de tolerar el paso de la avenida producto de la PMP de 24 horas de duración.

El aliviadero de esta poza fue diseñado considerando el efecto de "laminación" de la avenida producto de la PMP en el depósito de relaves para su correspondiente área de drenaje.

4.5.3. Poza de Filtraciones

La poza de filtraciones se ubica aguas abajo de la poza de recuperación de agua. El agua de escorrentía superficial y de filtraciones colectada en esta poza es bombeada a la poza de recuperación de agua.

Expuestas las consideraciones de diseño de los componentes de manejo de agua del proyecto Toromocho en el área de la cuenca de drenaje de interés del río Yauli, se puede concluir que, para un periodo de retorno de menor a 1000 años, no se esperan vertimientos de la poza de recuperación de agua (Knight Piésold, 2009).

4.6. METODOLOGÍA GENERAL DEL CÁLCULO DE CAUDALES

4.6.1. Tiempo de Concentración

El Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje (MTC, 2011) recomienda algunas fórmulas para calcular el tiempo de concentración de una cuenca, algunas de ellas aplicables a cuencas rurales y otras no.

A continuación, se listan las fórmulas consideradas para la presente evaluación:

- Método del TR-55 (NRCS, 1986)
- Kirpich.
- Bransby Williams.
- Ven Te Chow.
- Ventura County Watershed Protection District.
- Giandotti.
- Retardo SCS.

Todas ellas usan como información base características geomorfológicas de la cuenca, tales como área de aporte, pendiente media, longitud del curso más largo del agua; datos que fueron tomados de la topografía disponible en el área de estudio.

Para estimar los caudales se utilizó el tiempo de concentración según la fórmula del retardo del SCS, por haber sido desarrollado en conjunto con el hidrograma unitario triangular de SCS, el cual también es utilizado para el cálculo de caudales.

4.6.2. Caudales de Diseño

Para estimar el caudal con el que se dimensionaron las estructuras hidráulicas, se utilizó el programa HEC-HMS (USACE, 2010), para lo cual se tuvo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Tormenta Tipo II, de acuerdo con lo propuesto por el Natural Resources Conservation Services (NRCS, 1986). Esta es una suposición conservadora adoptada por los estudios hidrológicos en general ante la ausencia de hidrogramas de diseño.
- Tiempo de retardo según formula del SCS.
- Método de transformación lluvia caudal: Hidrograma unitario del SCS (Soil Conservation Service).
- Método de pérdida: Número de Curva del SCS.
- Intervalo del tiempo de análisis: 29% del menor tiempo de concentración.
- Tiempo de concentración como 1.67 veces el tiempo de retardo.
- Áreas de Drenaje: Estimadas en base a la información topográfica existente.

En la Figura 4.3 se puede observar el modelo hidrológico para el área de estudio desarrollado el programa de cómputo HEC-HMS, en donde están representadas las cuencas y la red de drenaje. En el Plano 01 del Anexo B se puede observar las subcuencas en las que ha sido dividida el área de estudio para la modelación hidrológica.

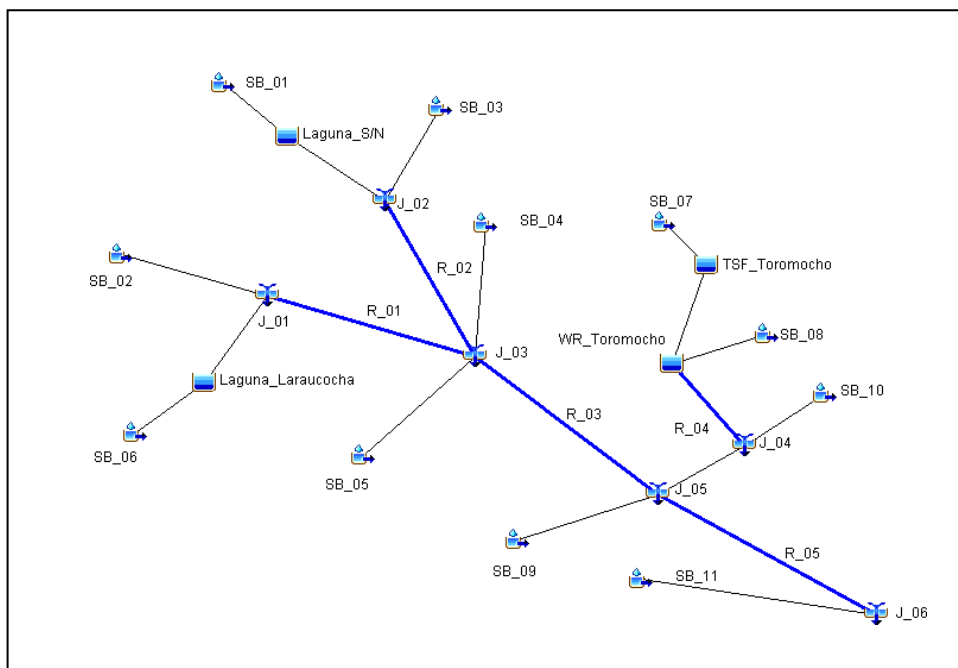


Figura 4-3: Esquema de Modelo Hidrológico del Área de Estudio (Elaboración Propia).

4.6.3. Número de Curva

De acuerdo con el informe “Estudio de Máximas Avenidas en las Cuencas de la Zona Centro de la Vertiente del Pacífico” (Autoridad Nacional del Agua – Ministerio de Agricultura, diciembre del 2010), la parte alta de la cuenca del río Rímac (límite con la cuenca del río Mantaro) le corresponde un número de curva de 78 a 79.

El ministerio del ambiente del Perú desarrolló el “Mapa de Cobertura Vegetal del Perú” (agosto del 2012), en el cual se puede observar similares características de cobertura vegetal en el límite de la cuenca del río Rímac y del río Mantaro (Ver Figura 4-4, se adjunta mapa completo en Anexo B). Por lo que para la zona de estudio se considerará un número de curva de 79. Ante la ausencia de información hidrométrica cercana a la zona de estudio no fue posible realizar un ajuste al número de curva indicado en la Figura 4.3.

Es importante mencionar que el número de curva seleccionado (79) se encuentra próximo al recomendado en el EIA del proyecto Toromocho (Knighth Piesold, 2009), en el cual se recomendó un número de curva de 82 para la estimación de caudales máximos.

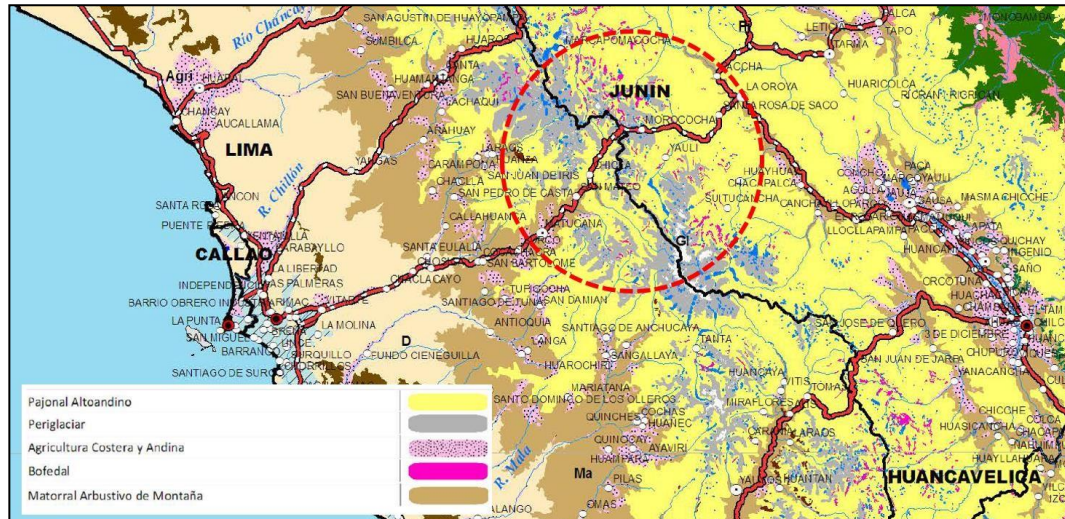


Figura 4-4: Cobertura Vegetal - Cuencas de los Ríos Rímac y Mantaro (Fuente: MINAM, 2012).

4.6.4. Variabilidad del Número de Curva

La condición antecedente de humedad (CAH) es un concepto hidrológico desarrollado por el SCS (1973) como parte de la metodología del número de curva.

La CAH hace referencia indirecta al grado de saturación de suelo previo al inicio del evento de tormenta que se desea analizar en un modelo hidrológico. De tal forma que a mayor CAH, mayor será la magnitud de escorrentía superficial generada por la tormenta.

Sin embargo, estudios posteriores han llegado a la conclusión de que aparentemente no existe una relación entre la precipitación antecedentes y el número de curva (NRCS, 2004).

El NRCS (2004) indica que la variabilidad en el CN es influenciada por:

- La intensidad y duración de la lluvia;
- la lluvia total;
- la condición de humedad del suelo;
- la densidad de la cobertura;
- el grado de crecimiento; y
- la temperatura.

Por lo cual el concepto de CAH cambió a condición antecedente de escorrentía (CAE), y que el número de curva, el cual se puede dividir en tres categorías: promedio, Secas Húmedas.

Dada la cantidad de factores que afectan la CAE, una aproximación alternativa es considerar que CN es una variable aleatoria (NRCS, 2004).

Dada la ausencia de datos de escorrentía en la quebrada Rumichaca que ayude a estimar la distribución de probabilidad de los números de curva, en la presente tesis se utilizaron los valores de CN para condiciones promedio mostrados en el cuadro 4.1 para el cálculo de caudales.

4.6.5. Dimensionamiento de Canales

Para determinar las dimensiones de estas estructuras se utilizó la ecuación de Manning para flujo uniforme.

$$q_p = A \frac{R^{2/3} S_0^{1/2}}{n} \quad (\text{Ecuación 4-1})$$

Dónde:

- q_p : Caudal Pico (m^3/s).
- R : Radio Hidráulico (m).
- S_0 : Pendiente media de la superficie del agua (m/m).
- A : Área de sección transversal del flujo (m^2).
- n : Coeficiente de rugosidad de Manning.

El Figura 4.5 muestra el ábaco propuesto por el USBR (1982), el cual permite determinar un borde libre apropiado para los canales.

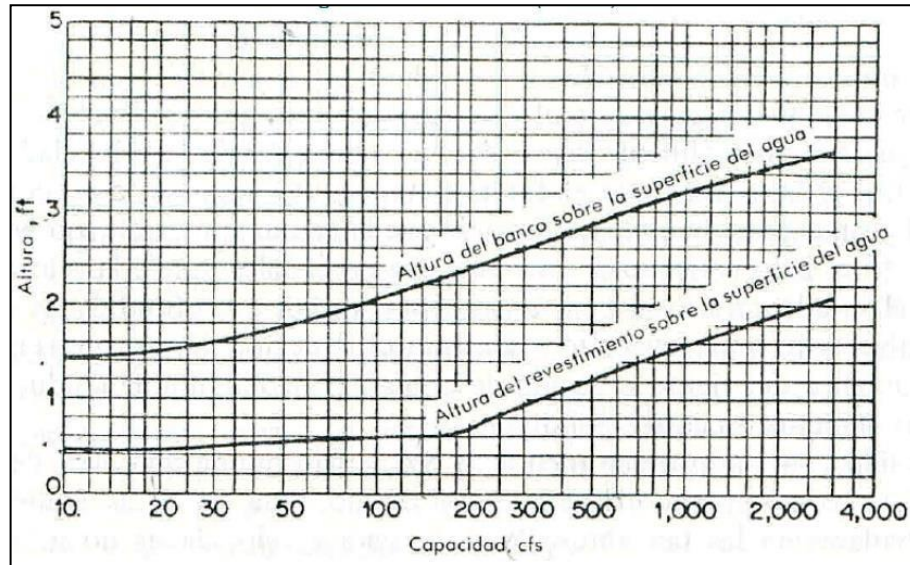


Figura 4-5: Borde Libre (Fuente: USBR, 1982).

4.7. RESULTADOS

4.7.1. Caudales de Diseño

El modelo hidrológico desarrollado se evaluó para la precipitación de 200 años de periodo de retorno considerando:

- Caso I: Hietograma propuesto para la estación San Cristóbal.
- Caso II: Hietogramas de la tormenta de diseño del NRCS Tipo I, IA, II y III.

Dichos hietogramas fueron definidos en intervalos de tiempo cada 0,5 horas (30 min), el cual es el intervalo de registro de la mayor parte de tormentas consideradas para elaborar el hietograma.

Los resultados de caudal al ingreso al canal de derivación son los siguientes:

- Caso I: Caudal máximo de 65,4 m³/s
- Caso II:
 - Para la NRCS Tipo I: Caudal máximo 51,3 m³/s
 - Para la NRCS Tipo IA: Caudal máximo 31,0 m³/s
 - Para la NRCS Tipo II: Caudal máximo 91,6 m³/s
 - Para la NRCS Tipo III: Caudal máximo 88,4 m³/s

Según los cuales el caudal obtenido el valor del caudal obtenido usando el hietograma de la tormenta propuesto para la estación San Cristóbal se encuentra entre los resultados obtenidos por las tormentas tipo I y III del NRCS, y es poco mayor al 70% del obtenido con el tipo II, siendo este una de las distribuciones de tormenta más usado en los análisis hidrológicos.

4.7.2. Diseño de Obras Hidráulicas

Con el fin de cuantificar el impacto en la construcción de obras hidráulicas se procedió con el diseño y el cálculo de las cantidades de construcción y costos. En las Figuras 4,6 y 4,7 se muestran las secciones típicas consideradas.

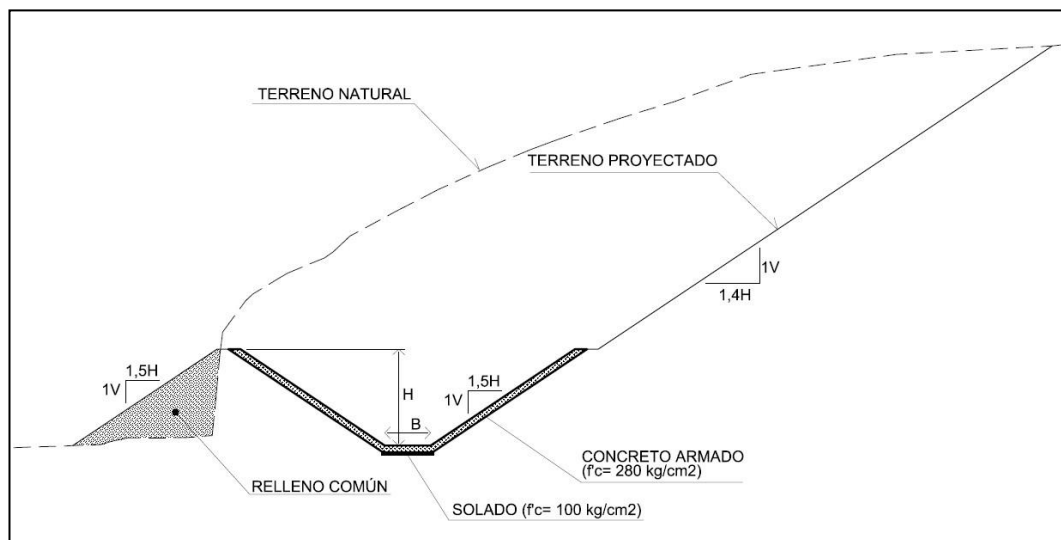


Figura 4-6: Sección Típica de Canal Rumichaca en Tramos Tendidos (Elaboración propia).

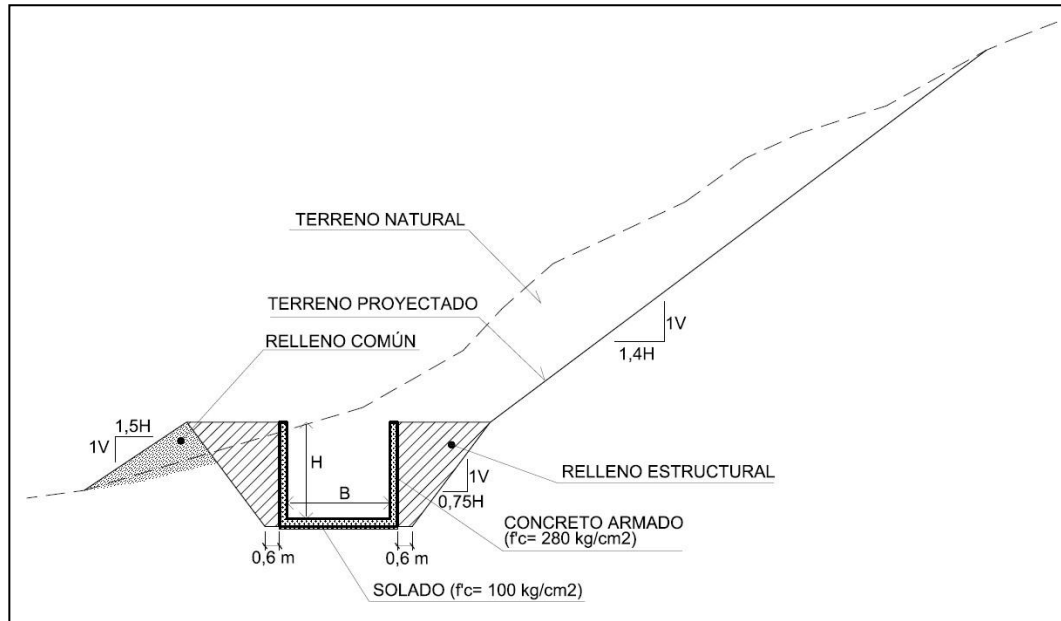


Figura 4-7: Sección Típica de Canal Rumichaca en Tramos Empinados (Elaboración propia).

En la Tabla 4.2 se puede observar las características del canal de conducción y rápida del canal de derivación Rumichaca. Como es de esperarse el canal presenta mayores proporciones para las tormentas NRCS Tipo II y III del caso II.

El canal de conducción presenta cuatro tramos:

- De la progresiva 0+000 a 0+513 m, presenta una pendiente de 3% a 10% con régimen hidráulico supercrítico.
- De la progresiva 0+513 a 1+023 m, presenta una pendiente de 0,2% con régimen hidráulico subcrítico.
- De la progresiva 1+023 a 1+693 m, presenta una pendiente entre 3,5% y 50% con régimen hidráulico supercrítico.
- De la progresiva 1+693 a 1+717 m, presenta una pendiente de 0,2% con régimen hidráulico subcrítico.

Los detalles del diseño se muestran en la Tabla 4-3.

Tabla 4-3: Características Hidráulicas de los Canales (Elaboración Propia).

Caso	Hidrograma	Comentarios	Tr de Diseño (Años)	Caudal de Diseño (m ³ /s)	Pendiente (m/m)	Talud xH:1V	Altura del Canal H (m)	Ancho de Base B (m)	Coefficiente de Manning	Velocidad Máxima (m/s)	Tirante (m)
I	Propuesta San Cristobal	Tramos Tendidos	200	65.4	0.2%	0.6	3.80	3.45	0.014	4.2	2.98
		Tramos Empinados		65.4	3.0%	--	3.05	3.45		11.2	1.70
Tipo IA	Tramos Tendidos	31.0		0.2%	0.6	2.85	2.60	3.5		2.26	
	Tramos Empinados	31.0		3.0%	--	2.15	2.60	9.3		1.29	
Tipo I	Tramos Tendidos	51.3		0.2%	0.6	3.45	3.15	3.9		2.72	
	Tramos Empinados	51.3		3.0%	--	2.70	3.15	10.5		1.55	
Tipo III	Tramos Tendidos	88.4		0.2%	0.6	4.25	3.85	4.5		3.34	
	Tramos Empinados	88.4		3.0%	--	3.50	3.85	12.0		1.91	
Tipo II	Tramos Tendidos	91.6		0.2%	0.6	4.30	3.90	4.6		3.39	
	Tramos Empinados	91.6		3.0%	--	3.60	3.90	12.1		1.94	

4.8. CANTIDADES DE CONSTRUCCIÓN Y COSTOS

En base a las dimensiones de los canales determinados en el ítem anterior se procedió a estimar las cantidades de construcción y los costos asociados a la construcción del canal, con fines de evaluar el impacto de usar uno u otro hietograma que origina el caudal de diseño, y, por ende, las dimensiones del canal.

Entre las Tablas C-1 a C-5 del Anexo C se muestran el detalle de las cantidades de construcción y los costos.

En la Tabla 4-4 se muestra un resumen para los casos evaluados.

Tabla 4-4: Cantidades de construcción (Elaboración Propia).

Partida	Unidad	Caso I: Hietograma de la Estación San Cristobal	Caso II				Incremento
			Tormenta NRCS Tipo IA	Tormenta NRCS Tipo I	Tormenta NRCS Tipo II	Tormenta NRCS Tipo III	
Excavación masiva en suelo (Inc. elim. $D \leq 1.0$ Km)	m3	213 283	192 855	217 938	225 598	223 947	1.06
Excavación masiva en roca fracturada (Inc. elim. $D \leq 1.0$ km)	m3	37 611	34 012	38 431	39 780	39 489	1.06
Excavación para canal	m3	48 572	28 577	40 459	62 328	60 172	1.28
Relleno Común	m3	246	116	189	332	318	1.35
Transporte de material excedente de excavación $D > 1$ km	m3.km	843 803	733 537	845 028	912 865	903 449	1.08
Relleno estructural compactado manualmente	m3	16 181	9 682	13 466	20 930	20 023	1.29
Concreto $f_c = 100$ Kg/cm ² para solados	m3	572	413	512	666	651	1.16
Concreto $f_c = 280$ Kg/cm ²	m3	5 634	4 202	5 100	6 446	6 329	1.14
Encofrado y desencofrado	m2	17 153	12 354	15 290	20 077	19 549	1.17
Acero de refuerzo $f_y = 4200$ Kg/cm ²	kg	304 759	220 501	272 991	353 928	346 058	1.16
Junta water stop 8"	m	6 168	4 584	5 578	7 064	6 936	1.15
Junta water stop 6"	m	2 366	2 366	2 366	2 366	2 366	1.00
Sello hidrofílico Greenstreak Hidrotite CJ-1020-2K o Sika Swell	m	6 168	4 584	5 578	7 064	6 936	1.15

De la Tabla 4-4, al comparar las cantidades de construcción entre el Caso I y la tormenta NRCS Tipo II del caso II, se puede calcular que en las partidas más importantes se presentan los siguientes incrementos:

- Excavación para canal: 28%
- Concreto $f_c = 280$ kg/cm²: 14%
- Acero de refuerzo $f_y = 4200$ kg/cm²: 16%
- Encofrado y desencofrado: 17%
- Transporte de material excedente: 8%
- Excavación masiva en suelo: 6%

Se puede indicar que las partidas que depende más intrínsecamente de la configuración topográfica (excavación masiva de suelo y transporte de material excedente) el aumento en cantidades esta entre el 6 al 8%.

Mientras que las partidas más estrechamente relacionadas con la sección del canal (excavación para canal, concreto y acero) el aumento de cantidades entre ambos casos es más acentuado, lo que genera una variación entre 14 y 28 %.

Para el cálculo del costo directo de la ejecución de canal para los Casos I y II propuesto se utilizaron los costos unitarios mostrados en la Tabla 4-5 el cual fue elaborado a través de consulta a expertos y en la revisión de presupuestos de proyectos privados en entornos similares.

Tabla 4-5: Precios Unitarios Utilizados (Elaboración Propia).

Partida	Unidad	Costo Unitario (US\$)
Excavación masiva en suelo (Inc. elim. D ≤ 1.0 Km)	m3	4.24
Excavación masiva en roca fracturada (Inc. elim. D ≤ 1.0 km)	m3	8.67
Excavación para canal	m3	7.69
Relleno Común	m3	3.54
Transporte de material excedente de excavación D > 1 km	m3.km	0.99
Relleno estructural compactado manualmente	m3	13.43
Concreto $f_c = 100 \text{ Kg/cm}^2$ para solados	m3	151.34
Concreto $f_c = 280 \text{ Kg/cm}^2$	m3	220.90
Encofrado y desencofrado	m2	25.69
Acero de refuerzo $f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$	kg	1.99
Junta water stop 8"	m	27.06
Junta water stop 6"	m	15.36
Sello hidrofílico Greenstreak Hidrotite CJ-1020-2K o Sika Swell	m	23.50

En la Tabla 4-6 se muestran los costos de las partidas de los casos propuestos. Se puede ver que para la ejecución de un canal diseñado con la tormenta tipo II del NRCS el costo directo de construcción sería de 6.11 M US\$, mientras que si el diseño se basara en la tormenta estimada con los datos de la estación San Cristóbal (dato del sitio) el costo asciende a 5.39 M US\$, lo cual representaría un ahorro del 11.8% (0.72 M US\$) con respecto a costo del canal usando la distribución tipo II.

Tabla 4-6: Costos Directos de Construcción de los Casos I y II (Elaboración Propia).

Partida	Caso I: Hietograma de la Estación San Cristobal	Caso II (1000 US\$)				Incremento (1000 US\$)
		Tormenta NRCS Tipo	Tormenta NRCS Tipo I	Tormenta NRCS Tipo II	Tormenta NRCS Tipo	
Excavación masiva en suelo (Inc. elim. D ≤ 1.0 Km)	905.2	818.5	925.0	957.5	950.5	52
Excavación masiva en roca fracturada (Inc. elim. D ≤ 1.0 km)	326.1	294.9	333.2	344.9	342.3	19
Excavación para canal	373.5	219.8	311.1	479.3	462.7	106
Relleno Común	0.9	0.4	0.7	1.2	1.1	0
Transporte de material excedente de excavación D > 1 km	835.4	726.2	836.6	903.7	894.4	68
Relleno estructural compactado manualmente	217.3	130.0	180.9	281.1	268.9	64
Concreto fc = 100 Kg/cm ² para solados	86.6	62.5	77.5	100.8	98.5	14
Concreto fc = 280 Kg/cm ²	1 244.6	928.3	1 126.6	1 424.0	1 398.1	179
Encofrado y desencofrado	440.6	317.3	392.7	515.7	502.1	75
Acero de refuerzo fy = 4200 Kg/cm ²	606.8	439.0	543.5	704.7	689.0	98
Junta water stop 8"	166.9	124.0	150.9	191.1	187.7	24
Junta water stop 6"	36.3	36.3	36.3	36.3	36.3	0
Sello hidrofílico Greenstreak Hidrotite CJ-1020-2K o Sika Swell	145.0	107.7	131.1	166.0	163.0	21
Total de Costo Directo	5 385.2	4 205.0	5 046.1	6 106.3	5 994.7	721

En la Figura 4-8 se muestra la composición de los 0.72 M US\$ de ahorro por partidas. Donde las partidas más incidentes son los relacionados intrínsecamente con las dimensiones de canal: concreto, excavación para canal, acero de refuerzo, encofrado y desencofrado y relleno estructural representan el 73%.

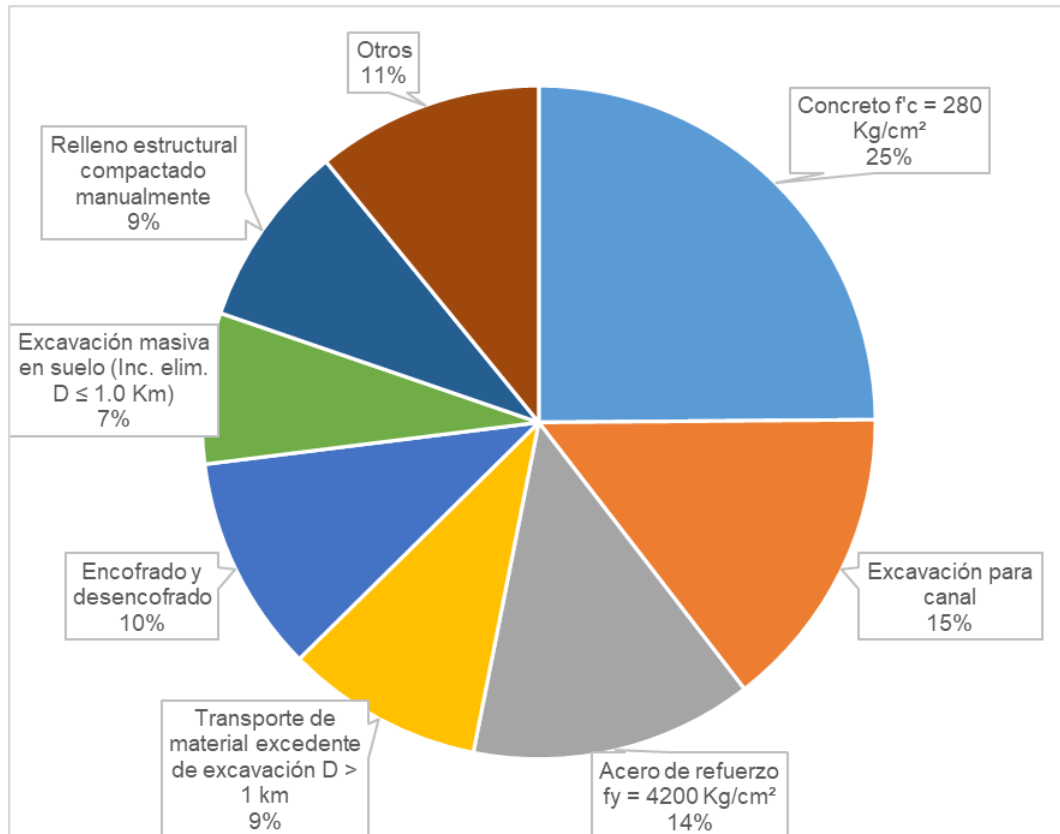


Figura 4-8: Ahorro por partidas en porcentaje (Elaboración Propia).

El uso del hietograma, en base a la selección de uno los dos casos propuestos, es incidente en los costos directos de construcción del canal Rumichaca (11.7%), y dentro de esta diferencia de costos, al menos en este caso particular, gran parte es debida a la construcción de un canal de mayores dimensiones, y en menor parte al movimiento de tierra extra necesario para la conformación de un canal de mayores proporciones.

Este ejemplo de aplicación, si se ubicará en un terreno con topografía menos abrupta, y se realizará el cálculo de movimiento de tierra utilizando un talud de corte menos conservador (1V: 1,33H p.e.) resultaría en una participación aún menor del movimiento de tierra masivo en el ahorro mostrado en la Figura 4-8.

4.9. INCORPORACIÓN DE NUEVA INFORMACIÓN Y VALIDACIÓN DE MODELO

Conforme se cuente con más información de precipitación registrada a nivel horario se podrán mejorar la precisión de la tormenta de diseño sugerida en la presente tesis.

Para este caso, o para cuando se requiera analizar los datos de otras estaciones se adjunta en el Anexo D las líneas de código en VBA (*Visual Basic Application*) del Microsoft Excel, con el cual se puede identificar tormentas de un registro, bajo unos criterios establecidos, así como generar los hietogramas normalizados utilizando bloques alternos, y la generación de gráficos para su visualización.

La validación de los caudales estimados en las secciones anteriores será posible cuando se dispongan de alguna estación hidrométrica en la zona de estudio que permita relaciones caudales máximos con precipitación acumulada por cada tormenta. Por lo cual se sugiere la instalación de una estación hidrométrica automática, con registro de caudales máximos a intervalos de 10 minutos, para mejores resultados.

De igual forma, si en otra área de estudio se disponga de esta información (precipitación y caudales) se puede aplicar la metodología presentada en la presente tesis para desarrollar los hietogramas (aplicando las rutinas del Anexo D), y validando los caudales máximos resultantes al compararlos con los caudales registrados; para lo que se podrá utilizar la hoja de cálculo mostrado en el Anexo E.

CONCLUSIONES

Generales

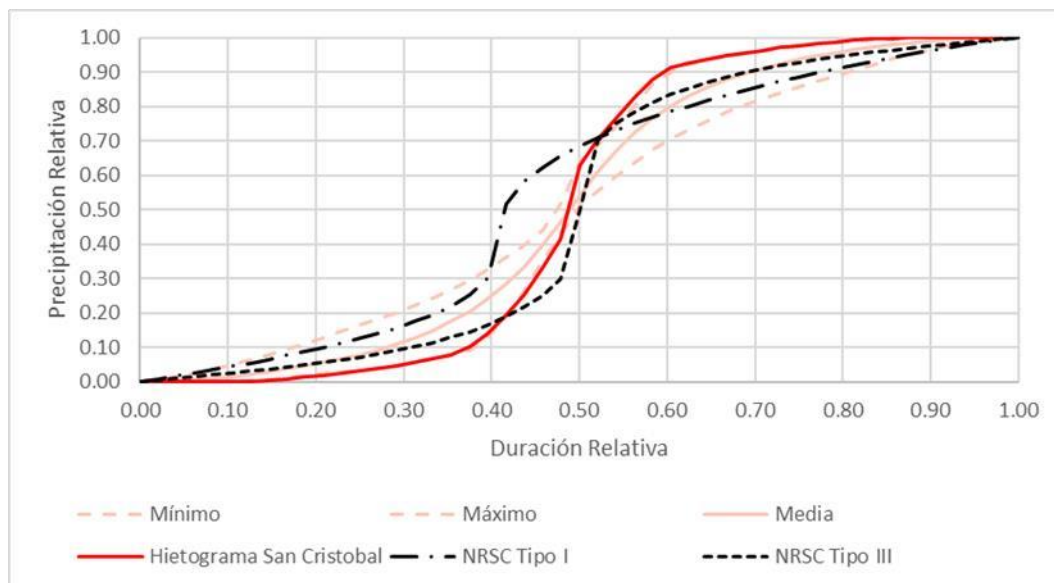
- De acuerdo con la revisión bibliográfica, las precipitaciones en la zona de estudio tienen como principal fuente de humedad la cuenca amazónica, cuyo flujo está influenciado por la intensidad del área de alta presión en la alta tropósfera sobre el territorio de Bolivia, conocida como “Alta de Bolivia”.
- De acuerdo con las investigaciones consultadas la influencia de la temperatura superficial del mar en las anomalías de la precipitación es moderada en los extremos norte y sur de los Andes, que en los años con eventos el niño esta relación se acentúa (Lagos et al. 2008).

De Hidrología

- Se concluye que los datos de la estación San Cristóbal (4 680 m s.n.m.) son consistentes en su registro disponible: enero/2006 a agosto/2020, pero sin datos entre agosto/2008 a abril/2009, basados en la comparación y mediante diagrama de doble masa con los datos de precipitación de las estaciones Tanta y La Oroya (también administradas por el SENAMHI).
- De acuerdo con la información disponible (2006-2020) la precipitación total anual media de la estación San Cristóbal (4 680 m s.n.m.) es 1 132 mm, mientras que el máximo y mínimo corresponden a 913 mm (año hidrológico agosto/2015 – julio/2016) y 1 424 mm (año hidrológico agosto/2016 – julio/2017).
- La precipitación en la estación San Cristóbal, presenta dos estaciones bien marcadas, con una temporada de intensa precipitación entre los meses de noviembre y abril, que concentra el 85% de la precipitación total anual; y una temporada seca entre los meses de mayo a octubre, en el cual precipita el 15% restante del total anual, típico de zonas altoandinas.
- La precipitación máxima en 24 horas de cada año varió entre 16 y 31 mm registrada en la estación San Cristóbal.
- En base a análisis estadísticos de tendencias de la estación San Cristóbal, la precipitación máxima en 24 horas con periodo de retorno

de 2 años se encuentra entre los 23 y 24 mm; y para un periodo de retorno de 10 años es de 32 mm, utilizando la información disponible (años 2005 - 2020) de los cuales 6 años corresponden a años húmedos (PTA por encima de la media).

- A partir de las tormentas registradas en la estación San Cristóbal (agosto/2006 a julio/2016), se puede concluir que, entre los años más húmedos a los más secos, la principal diferencia en los eventos de tormentas son un mayor número de eventos con una lámina de precipitación menor a 15 mm (25%). En consecuencia, los eventos con los eventos de mayor impacto en la magnitud de la PTA son los eventos menores de 15 mm. Por lo que dichos eventos tendrían mayor importancia en los análisis de balance de agua de reservorios, disponibilidad hídrica y modelos de saturación del suelo.
- En base a la precipitación registrada en la estación San Cristóbal entre agosto/2006 a julio/2016, se contabilizaron 20 tormentas con altura de precipitación mayor a 15 mm con duraciones entre 13 y 28 horas, las cuales cumplen el criterio de no presentar pausas por más de una hora.
- Los hietogramas normalizados en bloques alternos de las tormentas seleccionadas presentan un comportamiento intermedio entre las tormentas de diseño Tipo I y Tipo III del NRCS.
- De forma análoga a la construcción de la tormenta de diseño tipo II del NRCS, se construyó una tormenta de diseño para la estación San Cristóbal, mostrada a continuación:



De Dimensionamiento hidráulico

- Los caudales para el diseño del canal de derivación Rumichaca obtenidos aplicando los hietogramas de diseño Tipo II del NRSC y el hietograma propuesto para la estación San Cristóbal fueron $91.6 \text{ m}^3/\text{s}$ y $65.4 \text{ m}^3/\text{s}$ respectivamente, para un periodo de retorno de 200 años. El caudal obtenido usando el hietograma de la tormenta NRSC Tipo II es el 40% mayor del obtenido con el hietograma propuesto de la estación San Cristóbal.
- Es importante indicar que los caudales indicados en el *bullet* anterior se estimaron utilizando un valor de CN referencial, por lo cual los resultados podrían variar de forma cualitativa.
- El uso del hietograma Tipo II del NRCS, con respecto al hietograma propuesto para la estación San Cristóbal para el diseño del canal Rumichaca, genera un incremento del 6% al 8% de cantidades de construcción referentes al movimiento masivo de tierra, y un incremento de 14% a 28% del incremento en las partidas intrínsecas a las dimensiones de la sección del canal (concreto, acero, excavación de caja de canal, etc.).
- La ejecución del canal de Derivación Rumichaca diseñado con la tormenta tipo II del NRCS representaría un costo directo de 6,11 M US\$, mientras que sí el diseño se basara en el hietograma propuesto para la estación San

Cristóbal (data del sitio) el costo directo asciende a 5,39 M US\$, lo cual representaría un ahorro de 0,72 M US\$, un ahorro del 11,8%. Del cual el 73% corresponden a partidas intrínsecamente relacionadas a las dimensiones de canal: concreto, excavación de la sección del canal, acero de refuerzo, encofrado y desencofrado y relleno estructural.

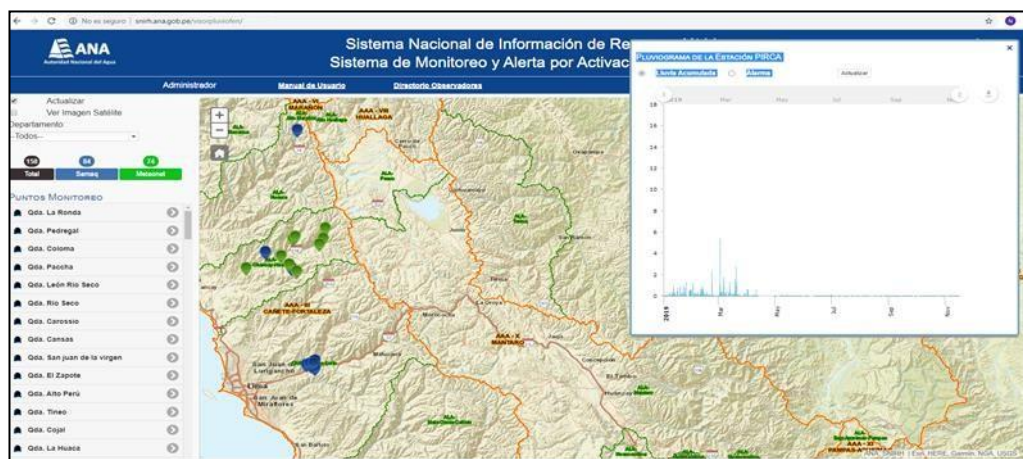
Finales

- Este trabajo de Tesis demuestra que los costos de las obras hidráulicas en el Perú pueden ser optimizadas si se lleva un adecuado estudio hidrológico, propio de la zona y no con criterios de guías que deben ser revisadas.

RECOMENDACIONES

- Para zonas próximas a la estación San Cristóbal y para eventos de precipitación asociados a periodos de retorno de 10 años o menos, se recomienda el uso del hietograma estimado para dicha estación en la presente investigación (Tabla 3-2).
- En la presente tesis se ha estimado un hietograma de diseño en base a el registro de la estación San Cristóbal, que contó con registros de enero/2006 a julio/2020, pero sin datos entre agosto/2008 a julio/2009, es decir 13 años hidrológicos. Se recomienda la actualización de la presente investigación cada 5 años, a fin de ir incorporando nuevos datos de tormentas registradas. De igual forma, conforme se encuentren disponibles registros en estaciones cercanas a cotas similares, se recomienda incorporar dicha información para confirmar los resultados de este estudio.
- En paralelo a la limitada data disponible en la estación San Cristóbal (13 años hidrológicos), es evidente la falta de data de estaciones automáticas cercanas al sitio de análisis (canal de derivación Rumichaca) a fin de analizar el comportamiento regional de los hietogramas de tormenta, y descartar que las conclusiones obtenidas en la presente tesis no estén sesgadas por condiciones locales de la estación San Cristóbal.
- No se desestima para futuras investigaciones un análisis más extendido sobre el territorio nacional, con el fin de aumentar el entendimiento de los hietogramas de tormenta en distintas zonas del país, y la cual serán los primeros pasos a la caracterización de estos en distintas zonas y la delimitación de sus áreas de aplicación. Este análisis se podría realizar utilizando la data de la red de estaciones automáticas del SENAMHI.
- A pesar de las conclusiones obtenidas de la presente tesis, en la cual el uso del hietograma tipo II del NRCS (desarrollado en Estados Unidos de América, para su territorio) en comparación del obtenido a partir de data de la estación San Cristóbal, representaría un sobredimensionamiento de las estructuras hidráulicas y un costo mayor en la construcción, se recomienda no descartar su uso, dada la limitada data disponible, lo cual no permite realizar una recomendación más contundente.

- Se recomienda a próximos tesisistas seguir el análisis de la data de precipitación horaria disponible a futuro, dado que los resultados obtenidos en la presente tesis son un indicio de la divergencia de los hietogramas específicos de nuestra realidad nacional con aquellos desarrollados en otros países.
- Dada la mega diversidad del Perú, en el cual se pueden encontrar 84 de las 104 zonas de vida existentes en el mundo, es necesario instalar más estaciones automáticas para poder realizar análisis e investigaciones análogas a esta en distintas zonas de nuestro país para la obtención de sus propios hietogramas; y en último término, tomar con cautela los resultados de esta tesis en su posible aplicación en otras regiones del país, fuera de la sierra central del Perú.
- Actualizar el estudio IILA-SENAMHI-UNI, con el fin de contar con un estudio regional de intensidad máximas de precipitación para respaldo de diseño de obras de ingeniería.
- Dado que los recursos de la administración estatal peruana son limitados para el mantenimiento de instalaciones que registren información meteorológica e hidrométrica, lo cual queda evidenciado en las diseminadas redes de estaciones del ANA y del SENAMHI que se muestran en la siguiente figura.



- Se recomiendan las siguientes opciones complementarias a una mayor inversión por parte del estado peruano:

- Unificar las redes estatales de monitoreo de información meteorológica e hidrológica (SENAMHI, ANA, Ministerio de agricultura, etc.), y colocarlo en una plataforma web para su consulta al público;
 - Buscar la colaboración de instituciones privadas que operen redes de estaciones meteorológicas o hidrométricas para que hagan de dominio público sus datos a cambio de incentivos tributarios, por ejemplo;
 - Dichas empresas privadas serían principalmente empresas operadoras mineras o de generación hidroeléctrica, las cuales en su mayoría operan una o varias estaciones meteorológicas e hidrométricas. Así como empresas proveedoras de estaciones o sensores de monitoreo meteorológico e hidrométrica (p.e. Davis, Global Weather, etc.) las cuales mantienen una base de datos de los registros de sus estaciones instaladas;
 - Otra medida para asegurar el incremento de los datos registrados y el crecimiento de la red de estaciones disponibles es que las instalaciones de estaciones meteorológicas e hidrométricas sea incluido en el reglamento de cabeceras de cuenca (Ley N° 30640 que esta por publicarse), donde se desarrollan muchos proyectos mineros;
 - Agregarse como requisito de aprobación de los estudios de impacto ambiental (EIA) de proyectos mineros o de generación hidroeléctrica que se tenga operativa por lo menos una estación pluviométrica e hidrométrica como soporte de los análisis hidrológicos.
- Todos los estudios de impacto ambiental o de ingeniería de proyectos civiles deben tener referencia a una estación automática horaria, la cual debe presentar certificados de mantenimiento y calibración.
 - Realizar la publicación de la presente TESIS como resultado de investigación y su importancia en las inversiones públicas y privadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aparicio, F. (1989). Fundamentos de Hidrología de Superficie. México D. F.: Limusa.
- Autoridad Nacional del Agua. Ministerio de Agricultura. (2010). Estudio de Máximas Avenidas en las Cuencas de la Zona Centro de las Cuencas del Pacífico.
- Bell, F. (1969). Generalized rainfall – duration – frequency relationships. Journal of Hydraulics Division, 95(1).
- Chow, V., Maidment, D. & Mays, L. (1964). Hidrología Aplicada. Santa Fe de Bogotá: McGraw-Hill Interamericana.
- Espíldora, B. (1971). Estimación de curvas intensidad-duración-frecuencia mediante coeficientes generalizados. Memorias del I Coloquio Nacional Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica.
- Garreaud, R., Vuille, M., & Clement, A. (2003). The Climate of the Altiplano: Observed Current Conditions and Mechanisms of Past Changes Paleogeography. Paleoclimatology, Paleoecology, 194, 5–22.
- Guevara, E. & Cartaya, H. (1993). Time distribution of short duration storms in Venezuela. International. Trabajo presentado en las Jornadas de Métodos Estocásticos y Estadísticos en Hidrología e Ingeniería Ambiental de 1993.
- Guo, J. & Hargadin, K. (2009). Conservative Design Rainfall Distribution. Journal of Hydrologic Engineering, 14(5).
- Huff, F. (1967). Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms. Water Resources Research, 3(4).
- IILA-SENAMHI-UNI. (1983). Estudio de la hidrología del Perú. Lima : Convenio de Cooperación Técnica. Instituto Ítalo-Latino Americano (IILA) - Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) - Universidad Nacional de Ingeniería (UNI).
- Knight Piésold Consultores S.A. (2009). Proyecto Tormocho – Estudio de Impacto Ambiental. Lima.
- Lagos, P., Silva, Y. & Nickl, E. (2008). El Niño y Precipitación en los Andes del Perú. Instituto Geofísico del Perú.

Ministerio del Ambiente (MINAM), "Memoria Descriptiva del Mapa de Cobertura Vegetal del Perú", Perú, Lima, 2012.

Morales, M., et al. (2012). Precipitation changes in the South American Altiplano since 1300 A.D. reconstructed by tree-rings. *Clim. Past.*, 8 (6) 53–66.

National Oceanic and Atmospheric Administration. U.S. Department of Commerce. (2006). NOAA Atlas 14 Precipitation-Frequency Atlas of the United States Volume 2 Version 3: Delaware, District of Columbia, Illinois, Indiana, Kentucky, Maryland, New Jersey, North Carolina, Ohio, Pennsylvania, South Carolina, Tennessee, Virginia, West Virginia.

National Oceanic and Atmospheric Administration. U.S. Department of Commerce (2008). NOAA Atlas 14 Precipitation-Frequency Atlas of the United States Volume 3 Version 4: Puerto Rico and US Virgin Islands.

National Oceanic and Atmospheric Administration. U.S. Department of Commerce. (2011). NOAA Atlas 14 Precipitation-Frequency Atlas of the United States Volume 4 Version 4: Hawaiian Islands.

Natural Resources Conservation Service. United States Department of Agriculture. (2008). Engineering Technical Note N° 3: Rainfall-Frequency and Design Rainfall Distribution for Selected Pacific Islands.

Natural Resources Conservation Service. United States Department of Agriculture. (1986). Technical Release 55: Urban Hydrology for Small Watersheds.

Natural Resources Conservation Service. (2004). Parte 630 Hydrology. En National Engineering Handbook.

Neukom, R., et al. (2015). Facing Unprecedented Drying of the Central Andes? Precipitation Variability over the Period AD 1000-2100. *Environmental Research Letters*, 10.

Pilgrim, D. & Cordery, I. (1975). Rainfall Temporal Patterns for Design Flood. *Journal of Hydraulics División*, 101(1), 81-95.

Sherman, L. (1932). Streamflow from rainfall by the unit-graph method. *Engineering News Record*. 108, 501–505.

Soil Conservation Service. United States Department of Agriculture. (1973). Technical Paper-149: A Method of Estimating Volume and Rate of Runoff in Small Watersheds.

Vuille, M. (1999). Atmospheric Circulation over the Bolivian Altiplano during Dry and Wet Periods and Extreme Phases of the Southern Oscillation". *Int. J. Climatol.* 19(1), 579–600.

ANEXOS

ANEXO A

Tabla A-1
Estaciones Meteorológicas Cercanas

Estación	Latitud	Longitud	Altitud (m s.n.m.)	Distancia (km)	Región	Provincia	Distrito	Operador
Antioquia	12° 5' 0" S	76° 30' 0" S	1 839	54	Lima	Huarocharí	Antioquia	Senamhi
Autisha	11° 44' 17" S	76° 36' 40" S	2 181	54	Lima	Huarocharí	San Antonio	Senamhi
Carampoma	11° 39' 18" S	76° 30' 54" S	3 424	45	Lima	Huarocharí	Carampoma	Senamhi
Casapalca	11° 38' 17" S	76° 13' 60" S	4 233	19	Lima	Huarocharí	Chicla	Senamhi
Chacapalpa	11° 43' 58" S	75° 45' 21" S	3 752	40	Junín	Yauli	Chacapalpa	Senamhi
Huancata	12° 11' 10" S	76° 14' 26" S	2 684	47	Lima	Huarocharí	Sangallaya	Senamhi
Huarocharí	12° 8' 20" S	76° 14' 3" S	3 120	42	Lima	Huarocharí	Huarocharí	Senamhi
Huilpas	11° 51' 53" S	76° 21' 21" S	3 318	27	Lima	Huarocharí	Matucana	Senamhi
Kutoshica	11° 51' 59" S	76° 21' 29" S	3 318	28	Lima	Huarocharí	Matucana	Senamhi
La Oroya	11° 34' 7" S	75° 57' 34" O	3 910	29	Junín	Yauli	Santa Rosa de Sacco	Senamhi
Lachaqui	11° 33' 12" S	76° 37' 42" O	3 670	60	Lima	Canta	Lachaqui	Senamhi
Langa	12° 7' 35" S	76° 25' 16" S	2 863	51	Lima	Huarocharí	Langa	Senamhi
Marcapomacocha	11° 24' 16" S	76° 19' 30" O	4 447	47	Junín	Yauli	Marcapomacocha	Senamhi
Matucana	11° 50' 21" S	76° 22' 41" S	2 417	29	Lima	Huarocharí	Matucana	Senamhi
Milloc	11° 34' 17" S	76° 20' 60" S	4 384	34	Lima	Huarocharí	Carampoma	Senamhi
Pariacancha	11° 23' 37" S	76° 30' 10" O	3 842	59	Lima	Canta	Huaros	Senamhi
Río Branco	11° 44' 4" S	76° 15' 35" O	3 503	16	Lima	Huarocharí	Chilca	Senamhi
San Cristóbal	11° 46' 27" S	76° 7' 15" O	4 680	0	Junín	Yauli	Yauli	Senamhi
San José de Parac	11° 48' 2" S	76° 15' 29" S	3 829	15	Lima	Huarocharí	San Mateo	Senamhi
San Lorenzo de Escomarca	12° 10' 51" S	76° 21' 7" S	3 758	52	Lima	Huarocharí	Langa	Senamhi
San Mateo de Otao/Canchacaya	11° 50' 49" S	76° 33' 49" S	3 506	49	Lima	Huarocharí	San Mateo de Otao	Senamhi
Santiago de Tuna	11° 58' 59" S	76° 31' 27" S	2 924	50	Lima	Huarocharí	Santiago de Tuna	Senamhi
Seque	11° 39' 39" S	76° 30' 8" S	3 186	43	Lima	Huarocharí	Carampoma	Senamhi
Soca	11° 51' 33" S	76° 21' 38" S	3 135	28	Lima	Huarocharí	Matucana	Senamhi
Tanta	12° 7' 0" S	76° 1' 0" O	4 323	40	Lima	Yauyos	Tanta	Senamhi
Tingo	11° 37' 0" S	76° 29' 0" S	3 980	43	Lima	Huarocharí	Huanza	Senamhi
Vilca	12° 6' 52" S	75° 49' 34" S	3 832	49	Lima	Yauyos	Huancaya	Senamhi
Yantac	11° 22' 45" S	76° 24' 16" O	4 617	54	Junín	Yauli	Marcapomacocha	Senamhi
Yauli	11° 40' 0" S	76° 5' 0" O	4 141	13	Junín	Yauli	Yauli	Senamhi

Tabla A-2
Precipitación Total Mensual - Estación Casapalca

Estación : Casapalca

Long. : 76° 13' 0" O

Dpto. : Lima

Parámetro : Precipitación Total Mensual

Lat. : 11° 38' 00" S

Prov. : Huarochirí

Alt. : 4 233 m s.n.m.

Dist. : Chicla

Año	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
1987-1988	13.2	89.9	21.5	16.3	95.0	110.0	100.5	123.0	68.0	20.9	0.0	3.7	662.1
1988-1989	5.4	42.8	42.0	48.5	107.3	176.9	146.8	155.1	56.4	3.0	0.0	0.0	784.3
1989-1990	0.0	S/D	35.1	11.0	S/D	77.2	S/D	45.1	17.2	38.2	34.3	S/D	--
1990-1991	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	4.2	--
1991-1992	17.4	10.1	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	44.5	S/D	5.5	1.4	2.5	--
1992-1993	18.2	4.6	71.3	34.6	42.2	144.3	114.7	118.8	76.7	20.6	0.0	10.5	656.5
1993-1994	9.5	25.6	76.3	111.7	124.9	126.2	148.9	161.0	84.3	27.9	7.0	5.8	909.1
1994-1995	18.8	50.2	38.7	34.4	70.0	63.8	64.5	99.0	52.2	9.0	5.0	0.3	505.9
1995-1996	2.8	32.4	44.7	40.8	84.8	124.8	108.7	110.7	57.0	22.8	0.0	5.0	634.5
1996-1997	8.0	23.0	36.2	53.0	68.6	114.0	128.0	58.0	20.0	14.1	0.0	2.0	524.9
1997-1998	51.5	44.7	63.5	27.0	126.0	103.0	74.3	70.2	41.8	5.6	7.2	0.0	614.8
1998-1999	11.6	29.0	55.1	40.2	31.1	112.2	189.8	82.7	66.5	21.8	10.0	3.3	653.3
1999-2000	0.0	31.5	39.0	31.7	102.8	109.6	83.9	121.2	32.7	14.9	0.0	12.5	579.9
2000-2001	18.0	14.6	104.8	53.7	201.3	195.8	71.3	174.2	43.5	22.5	2.0	15.7	917.4
2001-2002	3.2	24.4	51.8	97.1	79.7	60.5	79.0	156.5	58.0	27.1	4.5	6.2	648.0
2002-2003	0.0	12.9	35.7	84.1	130.1	144.7	147.4	140.4	76.9	7.1	0.0	11.5	790.9
2003-2004	6.3	22.5	68.3	13.9	112.1	132.1	117.0	79.6	30.6	12.8	22.6	5.2	623.0
2004-2005	4.5	20.4	98.5	75.3	108.0	106.7	99.7	112.6	27.0	8.5	0.0	0.0	661.3
2005-2006	13.2	17.7	28.3	23.4	57.6	107.1	91.7	144.6	82.8	4.9	10.5	0.0	581.9
2006-2007	19.2	29.3	32.4	59.5	113.6	124.9	104.2	163.5	73.1	34.0	2.3	0.0	756.0
2007-2008	7.1	4.5	74.8	46.8	65.0	162.4	118.9	52.5	30.8	6.9	1.5	1.8	573.0
2008-2009	3.4	4.2	64.6	29.2	116.9	153.3	150.6	123.1	89.4	33.4	0.0	9.5	777.6

Tabla A-2
Precipitación Total Mensual - Estación Casapalca

Estación : Casapalca

Long. : 76° 13' 0" O

Dpto. : Lima

Parámetro : Precipitación Total Mensual

Lat. : 11° 38' 00" S

Prov. : Huarochiri

Alt. : 4 233 m s.n.m.

Dist. : Chicla

Año	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
2009-2010	5.8	27.0	80.5	153.8	152.4	166.8	95.4	130.8	58.6	6.1	7.3	1.0	885.5
2010-2011	0.0	10.6	45.1	47.4	108.3	138.1	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	--
2011-2012	13.2	30.1	18.1	86.8	189.4	120.5	220.0	126.6	98.4	5.7	8.0	8.8	925.7
2012-2013	5.9	67.5	57.0	87.5	107.3	122.5	338.0	187.9	36.2	44.6	24.0	18.1	1096.5
2013-2014	16.6	35.0	69.4	65.3	146.2	149.2	111.3	200.7	49.1	24.6	8.2	18.1	893.7
2014-2015	51.8	45.1	90.4	60.0	119.0	150.8	116.0	130.6	61.3	48.3	13.7	8.4	895.4
2015-2016	26.3	37.7	57.0	70.8	142.8	79.6	160.0	109.3	80.7	13.9	16.5	15.1	809.7
2016-2017	7.5	59.0	52.7	15.1	81.5	222.1	173.4	134.9	74.6	38.6	1.6	1.0	862.0
2017-2018	15.5	39.9	70.8	37.3	91.6	176.5	96.5	142.7	109.6	13.7	24.8	23.5	842.4
2018-2019	49.1	11.6	98.7	49.0	95.2	181.9	134.5	166.1	61.8	23.4	2.7	5.9	879.9
2019-2020	0.0	36.0	44.6	128.0	149.3	137.8	128.8	147.8	28.4	67.2	5.1	0.5	873.5
Media	13.2	30.1	57.0	55.9	107.3	132.1	128.1	123.0	58.1	20.9	7.1	6.5	752.4
Máxima	51.8	89.9	104.8	153.8	201.3	222.1	338.0	200.7	109.6	67.2	34.3	23.5	1096.5
Mínima	0.0	4.2	18.1	11.0	31.1	60.5	64.5	44.5	17.2	3.0	0.0	0.0	505.9
Des. Est.	13.9	18.9	22.6	33.7	38.0	36.8	53.3	40.5	23.6	15.0	8.7	6.3	145.7
Coef. Asim.	1.8	1.1	0.4	1.1	0.4	0.2	2.3	-0.4	0.1	1.2	1.6	1.0	0.2

LEYENDA :



Sin dato registrado



Dato completado con promedio mensual historico

Fuente :

Septiembre 1987 - Julio 2020: Senamhi

Tabla A-3
Precipitación Total Mensual - Estación La Oroya

Estación : La Oroya Long. : 75° 57' 0" O Dpto. : Junín
 Parámetro : Precipitación Total Mensual Lat. : 11° 34' 00" S Prov. : Yauli
 Alt. : 3 861 m s.n.m. Dist. : Santa Rosa de Sacco

Año	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
2013-2014	57.5	32.4	64.0	36.6	90.8	154.7	139.2	160.6	70.4	37.2	0.0	29.7	873.1
2014-2015	1.1	36.3	48.9	71.5	98.4	121.5	163.5	74.1	42.0	23.1	0.0	7.6	688.0
2015-2016	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	--
2016-2017	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	111.0	72.4	37.8	7.4	1.4	--
2017-2018	21.6	48.3	47.2	63.4	140.7	103.1	90.0	131.4	42.2	19.0	28.7	19.1	754.7
2018-2019	32.4	27.9	76.3	78.4	37.0	68.7	90.4	90.4	54.0	24.0	6.2	12.4	598.1
2019-2020	0.8	29.8	58.8	70.7	150.6	83.5	99.2	S/D	S/D	S/D	S/D	9.9	--
Media	21.5	34.2	57.5	61.4	95.4	95.7	103.4	91.1	50.5	25.6	13.3	15.1	651.1
Máxima	155.1	71.7	105.3	130.8	179.1	171.7	163.5	160.6	129.0	94.1	144.3	91.1	932.0
Mínima	0.8	9.8	26.7	24.2	37.0	27.8	58.9	36.5	14.1	3.6	0.0	0.0	356.7
Des. Est.	30.1	14.6	19.2	25.7	35.8	38.7	31.3	34.5	26.2	18.9	27.8	18.4	137.3
Coef. Asim.	3.7	0.6	0.3	0.9	0.6	0.2	0.4	0.2	1.0	2.0	4.2	2.8	-0.4

LEYENDA :

Des. Est. Desviación estándar

Coef. Asim. Coeficiente de asimetría

S/D	Sin dato registrado
-----	---------------------

	Dato completado con promedio mensual historico
--	--

Fuente : Mayo 1992 - Julio 2020: Senamhi

Tabla A-4
Precipitación Total Mensual - Estación Marcapomacocha

Estación : Marcapomacocha

Long. : 76° 1' 0" O

Dpto. : Lima

Parámetro : Precipitación Total Mensual

Lat. : 12° 7' 00" S

Prov. : Yauyos

Alt. : 4 323 m s.n.m.

Dist. : Tanta

Año	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
1964-1965	25	62	99	39	46	81	132	88	68	14	0	12	665
1965-1966	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	0	--
1966-1967	26	34	121	64	157	S/D	S/D	S/D	S/D	38	7	20	--
1967-1968	45	75	138	41	62	120	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	--
1968-1969	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	74	127	90	45	20	13	--
1969-1970	27	79	128	81	198	282	134	100	85	36	7	6	1163
1970-1971	17	155	99	41	153	126	141	216	71	4	8	1	1031
1971-1972	57	24	58	64	196	155	132	213	98	4	6	40	1047
1972-1973	7	56	99	59	113	213	170	208	155	42	23	18	1162
1973-1974	19	80	227	165	147	242	206	240	149	1	14	17	1507
1974-1975	61	64	55	39	133	238	193	237	57	112	44	0	1233
1975-1976	17	60	30	61	146	245	288	215	49	43	18	24	1196
1976-1977	40	149	53	95	278	186	381	138	65	88	4	3	1479
1977-1978	1	14	51	167	125	176	487	249	142	1	18	15	1446
1978-1979	9	69	117	206	111	106	428	327	42	38	3	0	1455
1979-1980	0	54	58	46	142	205	167	318	78	9	17	63	1158
1980-1981	26	35	296	154	141	229	384	181	86	8	2	0	1542
1981-1982	45	54	96	171	290	243	296	118	39	0	0	0	1352
1982-1983	40	70	310	139	125	301	153	539	45	38	0	0	1760

Tabla A-4
Precipitación Total Mensual - Estación Marcapomacocha

Estación : Marcapomacocha

Long. : 76° 1' 0" O

Dpto. : Lima

Parámetro : Precipitación Total Mensual

Lat. : 12° 7' 00" S

Prov. : Yauyos

Alt. : 4 323 m s.n.m.

Dist. : Tanta

Año	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
1983-1984	1	87	51	165	213	127	385	391	136	58	33	16	1662
1984-1985	34	62	170	105	211	129	211	170	147	82	64	20	1405
1985-1986	28	114	18	94	132	236	143	257	199	35	0	64	1321
1986-1987	26	33	99	69	180	307	235	104	62	39	26	27	1208
1987-1988	30	68	70	133	128	194	137	145	96	49	1	0	1051
1988-1989	2	36	76	72	90	148	229	130	75	46	41	15	961
1989-1990	55	48	126	59	144	248	54	148	68	53	109	9	1121
1990-1991	19	97	178	208	161	172	72	224	64	104	30	1	1330
1991-1992	25	62	99	39	78	102	130	149	53	12	35	5	789
1992-1993	36	35	154	62	144	284	246	267	264	18	0	7	1516
1993-1994	10	49	59	187	145	191	168	204	55	31	9	3	1110
1994-1995	25	51	34	59	144	79	92	136	65	25	10	8	726
1995-1996	6	41	84	35	92	116	133	88	69	39	1	0	703
1996-1997	25	34	64	55	96	136	201	66	38	20	3	8	746
1997-1998	75	59	69	121	168	94	140	139	43	5	27	0	939
1998-1999	14	74	116	42	86	150	249	161	82	33	22	19	1048
1999-2000	22	89	80	97	141	232	253	186	66	71	4	14	1255

Tabla A-4
Precipitación Total Mensual - Estación Marcapomacocha

Estación : Marcapomacocha

Long. : 76° 1' 0" O

Dpto. : Lima

Parámetro : Precipitación Total Mensual

Lat. : 12° 7' 00" S

Prov. : Yauyos

Alt. : 4 323 m s.n.m.

Dist. : Tanta

Año	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
2000-2001	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	396	79	S/D	15	39	--
2001-2002	14	166	99	127	90	112	87	184	80	20	12	32	1022
2002-2003	31	92	98	141	93	91	161	156	82	31	2	8	986
2003-2004	34	61	51	83	176	172	128	87	52	25	26	27	922
2004-2005	33	48	126	130	140	99	136	124	37	18	2	5	899
2005-2006	13	24	44	33	130	162	94	182	77	15	22	9	805
2006-2007	38	54	71	128	199	133	114	221	88	39	1	4	1090
2007-2008	19	64	102	76	106	191	126	114	39	7	7	5	855
2008-2009	16	26	119	40	113	160	198	138	91	64	7	11	984
2009-2010	29	62	134	184	205	184	148	167	74	31	8	1	1227
2010-2011	10	34	78	56	195	200	171	193	111	35	0	13	1095
2011-2012	20	103	52	135	168	124	177	140	123	22	17	18	1099
2012-2013	12	53	82	124	165	151	172	182	43	32	44	24	1084
2013-2014	26	31	83	55	127	176	176	277	101	41	11	34	1139
2014-2015	26	68	51	53	140	170	135	134	97	55	18	28	974
2015-2016	23	49	63	107	156	64	190	140	95	28	15	17	946
2016-2017	7	39	97	17	106	245	195	202	128	106	4	3	1148
2017-2018	16	69	111	87	102	150	141	207	177	56	26	18	1160

Tabla A-4
Precipitación Total Mensual - Estación Marcapomacocha

Estación : Marcapomacocha

Long. : 76° 1' 0" O

Dpto. : Lima

Parámetro : Precipitación Total Mensual

Lat. : 12° 7' 00" S

Prov. : Yauyos

Alt. : 4 323 m s.n.m.

Dist. : Tanta

Año	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
2018-2019	50	31	160	77	95	185	162	186	58	38	5	11	1058
2019-2020	25	43	44	131	202	103	135	154	48	86	5	1	978
Media	25	62	99	95	144	172	186	190	86	38	16	14	1129
Máxima	75	166	310	208	290	307	487	539	264	112	109	64	1760
Mínima	0	14	18	17	46	64	54	66	37	0	0	0	665
Des. Est.	16	31	57	50	48	60	91	85	44	27	19	14	245
Coef. Asim.	0.8	1.5	1.9	0.6	0.8	0.3	1.5	1.8	1.8	1.0	2.7	1.7	0.4

LEYENDA :



Sin dato registrado



Dato completado con promedio mensual historico

Fuente : Noviembre 1964 - Julio 2020: Senamhi

Tabla A-5
Precipitación Total Mensual - Estación Milloc

Estación : Milloc

Long. : 76° 20' 60" O

Dpto. : Lima

Parámetro : Precipitación Total Mensual

Lat. : 11° 34' 17" S

Prov. : Huarochiri

Alt. : 4 384 m s.n.m.

Dist. : Carampoma

Año	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
1985-1986	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	169	165	175	87	40	0	26	S/D
1986-1987	12	31	24	50	137	144	112	68	28	3	8	13	631
1987-1988	13	90	39	138	80	169	99	162	71	40	0	1	902
1988-1989	7	57	39	45	82	164	169	178	75	18	14	3	851
1989-1990	29	21	53	18	140	131	156	59	49	34	54	3	746
1990-1991	15	23	108	187	105	72	88	103	47	30	9	10	797
1991-1992	0	49	85	43	77	65	156	134	35	12	10	11	675
1992-1993	33	19	117	40	55	198	127	126	82	11	0	7	814
1993-1994	11	39	83	124	218	312	52	155	71	55	29	13	1163
1994-1995	35	75	102	151	295	209	166	262	128	51	6	5	1484
1995-1996	15	44	71	76	137	132	152	116	57	32	5	0	837
1996-1997	10	40	48	48	93	137	193	57	39	21	0	6	690
1997-1998	48	54	47	80	181	174	131	136	48	26	2	0	927
1998-1999	18	48	86	60	42	132	273	115	80	52	4	10	919
1999-2000	22	44	98	71	149	283	229	202	48	53	0	15	1215
2000-2001	55	16	51	53	334	339	204	379	58	17	3	19	1528

Tabla A-5
Precipitación Total Mensual - Estación Milloc

Estación : Milloc
Parámetro : Precipitación Total Mensual

Long. : 76° 20' 60" O
Lat. : 11° 34' 17" S
Alt. : 4 384 m s.n.m.

Dpto. : Lima
Prov. : Huarochiri
Dist. : Carampoma

Año	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
2001-2002	2	108	33	120	88	83	152	169	87	31	12	25	908
2002-2003	22	51	69	128	122	132	138	168	63	5	0	14	913
2003-2004	2	42	62	29	142	166	133	89	49	16	19	9	758
2004-2005	10	53	100	103	178	101	57	102	22	6	0	0	732
2005-2006	3	18	69	47	147	165	121	173	87	9	0	0	839
2006-2007	12	27	76	102	144	128	114	217	94	37	0	0	951
2007-2008	0	38	78	59	77	220	205	113	62	26	0	0	879
2008-2009	16	12	57	48	101	164	196	158	118	26	0	4	897
2009-2010	20	37	121	207	157	154	165	195	69	3	5	4	1137
2010-2011	2	39	63	86	196	185	149	162	94	13	0	9	997
2011-2012	17	32	43	108	184	221	226	184	124	30	3	0	1171
2012-2013	4	64	54	99	139	124	205	140	42	52	9	8	941
2013-2014	21	8	63	75	145	199	146	197	46	16	1	24	940
2014-2015	30	70	83	81	173	165	129	107	78	22	19	4	962
2015-2016	39	51	76	83	108	67	194	133	66	9	9	2	837
2016-2017	0	52	48	85	98	215	216	221	108	31	3	0	1078

Tabla A-5
Precipitación Total Mensual - Estación Milloc

Estación : Milloc

Long. : 76° 20' 60" O

Dpto. : Lima

Parámetro : Precipitación Total Mensual

Lat. : 11° 34' 17" S

Prov. : Huarochiri

Alt. : 4 384 m s.n.m.

Dist. : Carampoma

Año	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
2017-2018	0	41	59	33	129	155	111	199	151	38	19	9	944
2018-2019	36	11	96	46	120	217	200	155	47	26	2	3	960
2019-2020	0	38	55	165	197	112	121	130	71	26	0	0	915
Media	16	42	69	85	140	166	156	155	71	26	7	7	939
Máxima	55	108	121	207	334	339	273	379	151	55	54	26	1528
Mínima	0	8	24	18	42	65	52	57	22	3	0	0	631
Des. Est.	14	22	24	45	60	62	48	60	29	15	11	7	196
Coef. Asim.	0.9	0.9	0.3	0.9	1.3	0.8	0.1	1.3	0.8	0.3	2.8	1.1	1.3

LEYENDA :

 S/D Sin dato registrado

 Dato completado con promedio mensual historico

Fuente : Enero 1986 - Agosto 2020: Senamhi

Tabla A-6
Precipitación Total Mensual - Estación San Cristobal

Estación : San Cristobal

Long. : 76° 7' 15" O

Dpto. : Junín

Parámetro : Precipitación Total Mensual

Lat. : 11° 46' 27"

Prov. : Yauli

Alt. : 4 680 m s.n.m.

Dist. : Yauli

Año	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
2005-2006	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	219	184	194	116	7	19	4	S/D
2006-2007	33	60	116	193	172	171	159	172	84	32	2	5	1199
2007-2008	7	30	54	112	150	190	210	187	66	10	3	16	1035
2008-2009	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	21	4	23	S/D
2009-2010	32	20	91	135	172	169	174	158	79	16	5	16	1066
2010-2011	28	31	73	70	198	247	187	170	107	29	3	20	1162
2011-2012	17	69	38	110	167	143	146	131	163	8	12	10	1012
2012-2013	1	38	88	99	194	137	167	183	57	44	14	21	1044
2013-2014	16	27	108	87	150	190	149	232	71	33	12	31	1106
2014-2015	1	42	54	60	170	190	149	157	105	32	19	4	983
2015-2016	22	35	65	97	126	110	172	137	99	20	12	18	913
2016-2017	4	43	88	112	146	255	230	269	176	68	22	12	1424
2017-2018	12	67	111	78	132	201	220	240	112	28	36	36	1273

Tabla A-6
Precipitación Total Mensual - Estación San Cristobal

Estación : San Cristobal Long. : 76° 7' 15" O Dpto. : Junín
 Parámetro : Precipitación Total Mensual Lat. : 11° 46' 27" Prov. : Yauli
 Alt. : 4 680 m s.n.m. Dist. : Yauli

Año	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
2018-2019	52	33	142	109	170	216	177	193	97	33	5	13	1241
2019-2020	1	44	83	198	266	123	199	200	50	83	7	8	1262
2020-2021	8	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Media	17	42	85	112	170	183	180	187	99	31	12	16	1132
Máxima	52	69	142	198	266	255	230	269	176	83	36	36	1424
Mínima	1	20	38	60	126	110	146	131	50	7	2	4	913
Des. Est.	15	15	28	40	34	42	26	37	35	20	9	9	138
Coef. Asim.	1.0	0.7	0.2	1.2	1.6	0.0	0.5	0.6	0.9	1.3	1.3	0.7	0.5

LEYENDA :



S/D Sin dato registrado



Dato completado con promedio mensual historico

Fuente : Enero 2005 - Agosto 2020: Senamhi

Tabla A-7
Precipitación Total Mensual - Estación San José de Parac

Estación : San José de Parac

Long. : 76° 15' 29" O

Dpto. : Lima

Parámetro : Precipitación Total Mensual

Lat. : 11° 48' 02" S

Prov. : Huarochiri

Alt. : 3 829 m s.n.m.

Dist. : San Mateo

Año	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
1964-1965	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	98	34	2	0	11	S/D
1965-1966	0	1	41	48	84	117	101	68	47	0	0	0	508
1966-1967	0	9	81	14	88	130	154	168	5	2	0	3	653
1967-1968	0	4	91	15	99	44	64	64	47	0	0	0	427
1968-1969	0	15	10	48	54	31	117	145	17	0	0	0	436
1969-1970	0	S/D	12	46	45	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1979-1980	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	109	21	8	5	S/D	S/D
1980-1981	0	3	41	64	63	145	167	140	19	0	0	0	643
1981-1982	15	14	36	70	129	144	127	90	62	0	0	2	690
1982-1983	1	8	61	70	36	86	75	141	91	5	5	0	579
1983-1984	0	25	33	20	163	119	293	202	38	29	34	0	955
1984-1985	4	3	50	87	142	80	123	144	49	19	7	0	708
1985-1986	6	29	14	29	116	172	160	134	68	19	0	18	765
1986-1987	17	7	12	50	100	127	129	68	33	8	0	4	555
1987-1988	16	16	16	55	81	114	109	106	74	10	0	0	596
1988-1989	1	22	34	28	85	153	175	175	28	8	6	0	715
1989-1990	2	19	67	18	99	95	35	46	31	20	23	0	455
1990-1991	2	3	41	63	66	25	50	122	33	6	2	1	414
1991-1992	0	6	34	17	31	117	40	49	19	1	0	0	315
1992-1993	1	15	49	9	24	97	109	127	52	6	0	1	490
1993-1994	0	11	53	96	108	138	174	144	51	26	3	2	807

Tabla A-7
Precipitación Total Mensual - Estación San José de Parac

Estación : San José de Parac

Long. : 76° 15' 29" O

Dpto. : Lima

Parámetro : Precipitación Total Mensual

Lat. : 11° 48' 02" S

Prov. : Huarochiri

Alt. : 3 829 m s.n.m.

Dist. : San Mateo

Año	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
1994-1995	7	29	15	43	97	79	57	103	33	3	1	0	466
1995-1996	2	12	30	59	95	133	155	124	48	2	1	1	660
1996-1997	1	8	22	36	72	116	115	131	19	1	0	0	520
1997-1998	9	29	27	50	126	119	137	123	34	0	3	1	658
1998-1999	0	28	40	20	64	108	219	102	63	40	2	0	685
1999-2000	2	24	47	52	94	155	157	167	23	22	0	3	744
2000-2001	10	9	54	27	120	159	98	166	29	6	0	1	677
2001-2002	1	25	25	117	40	102	105	112	49	17	5	1	599
2002-2003	0	19	45	64	83	122	93	141	41	2	0	0	610
2003-2004	0	2	56	11	150	37	131	88	45	7	7	2	535
2004-2005	2	16	64	81	149	100	72	143	24	1	0	0	652
2005-2006	0	2	41	11	119	156	108	176	70	1	4	0	689
2006-2007	2	10	31	64	131	104	112	168	48	2	0	0	671
2007-2008	2	3	42	20	69	134	155	101	32	0	0	0	558
2008-2009	6	4	55	46	117	162	150	157	62	17	0	14	790
2009-2010	7	6	112	150	130	140	123	147	51	8	3	0	876
2010-2011	3	52	16	48	174	183	148	158	79	17	0	0	878
2011-2012	2	24	28	78	170	86	167	115	128	3	0	3	803
2012-2013	0	25	61	66	121	86	171	155	32	33	2	1	753
2013-2014	11	6	42	46	87	120	107	160	41	8	0	6	631
2014-2015	30	20	51	56	125	127	98	127	37	11	7	0	690

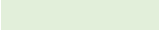
Tabla A-7
Precipitación Total Mensual - Estación San José de Parac

Estación : San José de Parac Long. : 76° 15' 29" O Dpto. : Lima
 Parámetro : Precipitación Total Mensual Lat. : 11° 48' 02" S Prov. : Huarochiri
 Alt. : 3 829 m s.n.m. Dist. : San Mateo

Año	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
2015-2016	16	22	35	41	98	37	162	120	53	2	5	0	589
2016-2017	1	38	16	3	124	218	199	214	97	33	0	0	942
2017-2018	1	10	59	39	59	144	101	189	105	10	7	4	727
2018-2019	15	3	39	34	56	181	133	124	38	2	0	1	625
2019-2020	0	23	34	47	157	100	117	155	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Media	4	15	41	48	99	117	127	131	47	9	3	2	645
Máxima	30	52	112	150	174	218	293	214	128	40	34	18	955
Mínima	0	1	10	3	24	25	35	46	5	0	0	0	315
Des. Est.	6	11	21	29	38	41	48	37	25	10	6	4	140
Coef. Asim.	2.1	1.0	1.0	1.1	0.0	-0.3	0.7	-0.2	1.2	1.3	3.8	3.2	0.0

LEYENDA :

 S/D Sin dato registrado

 Dato completado con promedio mensual historico

Fuente : Marzo 1965 - Diciembre 1969; Febrero 1980 - Marzo 2020: Senamhi

Tabla A-8
Precipitación Total Mensual - Estación Tanta

Estación : Tanta
Parámetro : Precipitación Total Mensual

Long. : 76° 1' 0" O
Lat. : 12° 7' 00"
Alt. : 4 323 m s.n.m.

Dpto. : Lima
Prov. : Yauyos
Dist. : Tanta

Año	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
1963-1964	9	27	41	141	118	87	157	215	96	21	7	0	919
1964-1965	1	10	50	68	75	98	246	143	67	30	0	8	796
1965-1966	1	3	45	10	91	160	115	159	96	25	0	0	705
1966-1967	4	33	84	80	151	156	258	137	53	43	0	15	1014
1967-1968	4	23	101	26	44	139	139	134	39	5	0	2	654
1968-1969	23	69	116	70	76	95	160	129	115	0	4	0	856
1969-1970	5	40	114	144	268	336	168	136	157	78	0	9	1454
1970-1971	0	111	29	110	188	77	177	219	70	0	0	0	981
1971-1972	28	0	35	48	177	140	73	354	234	0	0	14	1104
1972-1973	9	0	59	99	78	230	101	192	151	59	0	6	986
1973-1974	12	105	126	84	160	260	259	254	109	25	18	0	1410
1974-1975	31	16	27	80	108	111	110	215	197	87	11	0	993
1975-1976	16	58	91	42	85	164	165	128	35	22	25	15	846
1976-1977	8	0	21	41	57	126	122	141	75	20	0	0	610
1977-1978	1	15	29	69	53	74	84	93	82	24	4	0	527
1978-1979	11	28	53	18	30	44	103	98	54	17	6	0	463
1979-1980	0	8	13	26	21	71	36	91	20	2	0	10	298
1980-1981	10	6	68	78	57	83	190	222	32	0	0	0	745

Tabla A-8
Precipitación Total Mensual - Estación Tanta

Estación : Tanta
Parámetro : Precipitación Total Mensual

Long. : 76° 1' 0" O
Lat. : 12° 7' 00"
Alt. : 4 323 m s.n.m.

Dpto. : Lima
Prov. : Yauyos
Dist. : Tanta

Año	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
1981-1982	10	16	29	53	41	92	86	79	55	21	3	3	489
1982-1983	5	13	28	92	53	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
1983-1984	9	27	9	22	57	98	122	89	47	52	66	1	598
1984-1985	5	2	12	49	74	96	96	112	99	21	16	12	594
1985-1986	19	3	21	42	48	106	182	148	148	116	60	35	928
1986-1987	63	77	128	62	75	179	126	43	24	0	7	9	794
1987-1988	20	6	13	31	48	69	70	97	54	8	3	8	428
1988-1989	12	3	5	46	71	96	68	115	47	19	3	6	490
1989-1990	16	8	28	114	27	39	33	64	80	16	17	25	467
1990-1991	20	35	11	79	72	107	92	70	75	46	16	12	635
1991-1992	15	3	23	54	40	64	48	83	21	3	7	14	373
1992-1993	15	15	42	61	81	206	246	203	121	28	12	8	1037
1993-1994	9	36	101	162	163	218	315	160	103	33	23	4	1327
1994-1995	9	89	38	86	93	218	77	165	56	13	3	2	848
1995-1996	0	37	66	81	136	216	233	172	130	16	0	0	1086
1996-1997	14	17	59	37	134	177	250	174	36	5	0	0	904
1997-1998	21	50	44	134	174	252	134	130	94	0	0	0	1035
1998-1999	9	36	65	73	124	162	293	170	155	85	7	6	1184

Tabla A-8
Precipitación Total Mensual - Estación Tanta

Estación : Tanta
Parámetro : Precipitación Total Mensual

Long. : 76° 1' 0" O
Lat. : 12° 7' 00"
Alt. : 4 323 m s.n.m.

Dpto. : Lima
Prov. : Yauyos
Dist. : Tanta

Año	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
1999-2000	7	22	149	129	270	208	309	256	104	47	0	12	1512
2000-2001	16	59	105	75	208	241	174	311	24	16	0	2	1230
2001-2002	0	47	57	192	57	151	179	279	128	26	0	4	1119
2002-2003	0	52	95	148	133	197	202	220	105	32	0	7	1191
2003-2004	0	7	61	59	224	62	280	98	84	13	5	2	896
2004-2005	13	77	113	102	208	131	136	207	147	6	0	0	1139
2005-2006	0	10	26	36	161	204	182	249	169	6	6	0	1049
2006-2007	12	58	70	134	193	254	181	289	142	21	6	0	1361
2007-2008	6	15	119	67	108	219	168	125	70	0	0	0	897
2008-2009	6	3	46	63	132	218	290	287	114	33	0	0	1192
2009-2010	19	14	145	168	194	194	169	234	47	0	0	0	1184
2010-2011	0	30	45	95	260	273	209	243	172	0	0	0	1327
2011-2012	0	68	89	173	249	97	256	293	93	37	0	0	1356
2012-2013	0	29	71	71	195	178	317	217	93	0	0	0	1172
2013-2014	0	0	74	68	56	183	230	280	137	0	0	0	1029
2014-2015	0	13	61	136	197	174	196	179	74	0	0	0	1028
2015-2016	0	0	35	29	109	69	86	66	93	0	0	5	490
2016-2017	0	0	S/D	S/D	S/D	252	252	334	S/D	0	0	0	S/D

Tabla A-8
Precipitación Total Mensual - Estación Tanta

Estación : Tanta
Parámetro : Precipitación Total Mensual

Long. : 76° 1' 0" O
Lat. : 12° 7' 00"
Alt. : 4 323 m s.n.m.

Dpto. : Lima
Prov. : Yauyos
Dist. : Tanta

Año	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
2017-2018	0	0	107	57	118	173	127	207	119	0	0	0	909
2018-2019	0	0	60	79	80	161	189	91	93	0	0	0	755
2019-2020	0	0	S/D	60	132	63	159	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Media	9	27	61	79	118	153	168	174	93	21	6	5	915
Máxima	63	111	149	192	270	336	317	354	234	116	66	35	1512
Mínima	0	0	5	10	21	39	33	43	20	0	0	0	298
Des. Est.	11	28	38	43	67	68	75	76	47	25	13	7	302
Coef. Asim.	2.5	1.3	0.6	0.8	0.6	0.3	0.2	0.4	0.6	1.8	3.5	2.3	-0.1

LEYENDA :



S/D

Sin dato registrado



Dato completado con promedio mensual historico

Fuente : Octubre 1963 - Enero 2020: Senamhi

Tabla A-9
Precipitación Total Mensual - Estación Tingo

Estación	: Tingo	Long.	: 76° 29' 0" O	Dpto.	: Lima
Parámetro	: Precipitación Total Mensual	Lat.	: 11° 37' 0" S	Prov.	: Huarochiri
		Alt.	: 3 980 m s.n.m.	Dist.	: Huanza



Año	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
1995-1996	7	59	110	60	137	161	225	138	66	24	0	1	988
1996-1997	0	2	19	9	25	96	168	182	42	18	0	5	566
1997-1998	7	33	64	88	179	242	150	232	87	4	0	0	1086
1998-1999	14	16	47	35	139	48	91	104	99	10	1	4	607
1999-2000	4	16	16	73	70	75	132	89	36	48	0	1	558
2000-2001	13	66	108	40	133	184	84	134	89	1	1	2	855
2001-2002	2	68	50	81	73	70	145	171	86	6	3	3	756
2002-2003	1	4	75	55	119	75	109	197	85	16	12	1	747
2003-2004	1	32	50	18	169	41	187	140	79	8	20	2	747
2004-2005	3	72	66	102	204	145	111	181	63	6	0	0	953
2005-2006	1	2	24	44	128	160	178	236	110	2	6	0	892
2006-2007	2	27	69	91	198	190	184	282	96	13	1	0	1153
2007-2008	3	24	71	31	116	146	180	109	48	5	3	0	736
2008-2009	7	5	67	35	111	167	235	183	69	46	1	0	927
2009-2010	21	22	103	158	192	195	148	220	98	3	0	0	1157
2010-2011	5	17	30	50	209	221	218	226	158	8	0	0	1141
2011-2012	11	31	30	84	186	121	195	189	169	27	0	0	1042
2012-2013	0	69	84	99	193	91	217	172	63	27	0	7	1022
2013-2014	13	31	106	65	146	184	147	190	80	21	1	8	992
2014-2015	19	33	95	62	139	179	164	180	83	36	9	3	1003
2015-2016	22	46	88	84	127	52	207	152	91	9	0	0	879

Tabla A-9
Precipitación Total Mensual - Estación Tingo

Estación	: Tingo	Long.	: 76° 29' 0" O	Dpto.	: Lima
Parámetro	: Precipitación Total Mensual	Lat.	: 11° 37' 0" S	Prov.	: Huarochiri
		Alt.	: 3 980 m s.n.m.	Dist.	: Huanza

Año	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
2016-2017	0	54	47	65	151	256	262	277	75	42	0	0	1229
2017-2018	9	43	94	26	81	165	143	224	151	47	6	5	992
2018-2019	11	16	67	55	99	247	209	243	68	15	6	0	1035
2019-2020	0	17	37	125	156	134	191	99	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Media	7	32	65	65	139	146	171	182	87	18	3	2	919
Máxima	22	72	110	158	209	256	262	282	169	48	20	8	1229
Mínima	0	2	16	9	25	41	84	89	36	1	0	0	558
Des. Est.	7	22	29	34	46	63	45	52	32	15	5	2	185
Coef. Asim.	0.8	0.5	0.0	0.7	-0.5	-0.1	-0.1	0.0	1.1	0.8	2.4	1.3	-0.5

LEYENDA :

 S/D	Sin dato registrado
	Dato completado con promedio mensual historico

Fuente : Setiembre 1995 - Marzo 2020: Senamhi

Tabla A-10
Precipitación Total Mensual - Estación Vilca

Estación : Vilca
Parámetro : Precipitación Total Mensual

Long. : 75° 49' 34" O
Lat. : 12° 06' 52" S
Alt. : 3 832 m s.n.m.

Dpto. : Lima
Prov. : Yauyos
Dist. : Huancaya

Año	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
1963-1964	12	3	34	107	266	236	210	128	143	20	0	0	1159
1964-1965	0	29	57	37	43	121	225	135	38	11	0	16	712
1965-1966	32	60	62	69	142	189	104	179	52	21	10	3	923
1966-1967	2	51	170	149	190	283	450	454	38	10	11	10	1819
1967-1968	21	54	96	123	116	168	199	115	28	2	9	0	929
1968-1969	0	13	45	64	123	43	66	41	71	8	0	0	476
1969-1970	3	38	57	43	191	142	102	89	63	26	0	0	756
1970-1971	0	43	67	40	115	173	216	134	71	17	0	0	876
1971-1972	0	1	67	7	61	107	100	201	22	0	0	1	568
1972-1973	0	8	88	67	67	124	105	105	30	2	0	0	596
1973-1974	9	8	57	169	177	255	211	156	38	6	9	0	1094
1974-1975	71	31	18	9	45	99	189	227	48	4	0	0	742
1975-1976	6	32	67	98	168	295	149	193	62	1	0	0	1071
1976-1977	30	47	67	5	27	118	199	170	28	0	0	1	693
1977-1978	0	1	23	55	33	147	172	77	28	0	0	2	539
1978-1979	5	2	9	18	59	55	214	281	31	1	0	0	675
1979-1980	1	2	6	16	50	62	63	263	55	7	0	2	527
1980-1981	0	11	157	64	86	235	271	311	137	1	0	0	1270

Tabla A-10
Precipitación Total Mensual - Estación Vilca

Estación : Vilca
Parámetro : Precipitación Total Mensual

Long. : 75° 49' 34" O
Lat. : 12° 06' 52" S
Alt. : 3 832 m s.n.m.

Dpto. : Lima
Prov. : Yauyos
Dist. : Huancaya

Año	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
1981-1982	0	14	54	92	77	253	218	177	99	0	7	0	991
1982-1983	0	3	19	54	73	93	102	50	32	13	7	0	445
1983-1984	0	6	67	13	38	154	346	202	141	103	36	0	1105
1984-1985	0	31	39	62	145	142	146	139	43	33	28	4	812
1985-1986	0	20	37	46	52	239	269	231	167	55	0	2	1117
1986-1987	0	17	67	8	71	331	146	74	18	4	13	0	749
1987-1988	0	14	102	117	122	228	210	228	125	55	5	0	1207
1988-1989	0	19	44	51	156	169	191	182	82	24	15	5	938
1989-1990	0	15	15	55	77	120	86	58	56	10	2	7	500
1990-1991	16	19	30	28	39	63	34	126	77	5	1	0	436
1991-1992	29	38	67	18	40	88	173	51	21	14	10	9	557
1992-1993	2	31	0	11	32	142	173	91	114	51	12	32	691
1993-1994	28	167	375	400	550	580	597	495	71	66	21	14	3363
1994-1995	71	120	213	69	277	336	251	433	136	34	0	35	1974
1995-1996	0	43	40	40	79	160	78	57	43	7	0	0	547
1996-1997	36	15	41	76	72	150	175	169	22	5	8	7	773
1997-1998	41	39	45	104	147	199	165	120	50	0	9	0	919
1998-1999	3	17	50	90	112	80	188	122	117	20	1	3	801

Tabla A-10
Precipitación Total Mensual - Estación Vilca

Estación : Vilca
Parámetro : Precipitación Total Mensual

Long. : 75° 49' 34" O
Lat. : 12° 06' 52" S
Alt. : 3 832 m s.n.m.

Dpto. : Lima
Prov. : Yauyos
Dist. : Huancaya

Año	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
1999-2000	0	38	65	60	146	232	160	173	55	4	0	12	945
2000-2001	19	43	52	69	104	166	118	228	45	18	7	11	880
2001-2002	8	46	87	96	123	92	147	128	88	14	13	24	867
2002-2003	14	50	73	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
2003-2004	12	31	66	37	135	40	221	70	35	21	14	1	683
2004-2005	20	96	76	64	129	59	117	133	80	17	6	5	800
2005-2006	12	39	38	18	162	136	149	167	84	3	17	5	829
2006-2007	31	37	81	104	90	141	107	206	106	29	7	3	941
2007-2008	2	18	78	69	111	202	152	77	68	5	1	2	784
2008-2009	8	20	56	50	158	158	175	182	116	20	10	8	960
2009-2010	8	11	150	153	281	168	139	104	41	11	0	0	1064
2010-2011	0	19	35	65	156	195	188	221	78	17	0	5	980
2011-2012	19	55	72	70	151	106	138	169	138	10	4	3	933
2012-2013	0	59	59	68	102	119	164	129	89	39	15	6	850
2013-2014	34	8	36	61	79	160	99	203	49	18	1	0	747
2014-2015	5	43	35	43	200	180	101	138	91	23	7	0	866
2015-2016	37	22	17	62	138	169	162	108	89	16	0	0	821
2016-2017	0	18	47	70	164	241	195	208	90	17	12	0	1062

Tabla A-10
Precipitación Total Mensual - Estación Vilca

Estación : Vilca
Parámetro : Precipitación Total Mensual

Long. : 75° 49' 34" O
Lat. : 12° 06' 52" S
Alt. : 3 832 m s.n.m.

Dpto. : Lima
Prov. : Yauyos
Dist. : Huancaya

Año	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
2017-2018	8	48	73	60	100	206	132	160	72	2	0	28	888
2018-2019	35	2	139	91	61	214	81	221	83	31	4	8	970
2019-2020	0	28	22	127	210	121	160	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Media	12	31	67	70	123	169	173	169	71	17	6	5	913
Máxima	71	167	375	400	550	580	597	495	167	103	36	35	3363
Mínima	0	1	0	5	27	40	34	41	18	0	0	0	436
Des. Est.	17	29	57	58	84	88	90	93	37	19	8	8	436
Coef. Asim.	1.8	2.4	3.2	3.4	2.6	1.9	2.4	1.6	0.7	2.2	1.7	2.3	3.6

LEYENDA :



Sin dato registrado



Dato completado con promedio mensual historico

Fuente : Setiembre 1963 - Febrero 2020: Senamhi

Tabla A-11
Precipitación Total Mensual - Estación Yauli

Estación : Yauli Long. : 76° 05' 00" O Dpto. : Junín
 Parámetro : Precipitación Total Mensual Lat. : 11° 40' 00" S Prov. : Yauli
 Alt. : 4 141 m s.n.m. Dist. : Yauli

Año	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
1996-1997	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	136	153	49	36	8	6	S/D	S/D
1997-1998	62	73	62	74	126	125	114	138	48	31	33	29	914
1998-1999	3	29	115	66	97	179	348	125	101	42	1	16	1121
1999-2000	4	41	74	77	148	192	178	150	69	32	7	19	991
2000-2001	38	37	131	58	160	160	126	148	66	30	11	28	992
2001-2002	21	36	83	87	110	60	148	264	89	44	13	89	1043
2002-2003	28	95	72	88	105	61	97	146	81	41	7	14	833
2003-2004	45	49	49	52	95	38	53	45	89	10	33	23	580
2004-2005	31	33	62	50	88	71	80	94	45	19	15	7	593
2005-2006	11	34	49	31	51	91	82	82	58	11	22	2	522
2006-2007	32	30	60	68	86	114	74	120	54	32	2	12	683
2007-2008	11	34	63	38	51	109	76	113	53	15	12	1	576
2008-2009	9	12	91	72	93	190	163	131	123	18	5	21	929
2009-2010	32	19	70	90	183	239	188	149	46	20	12	7	1055
2010-2011	24	46	89	125	190	286	388	433	152	51	12	76	1872
2011-2012	29	160	157	205	451	223	308	251	288	24	43	41	2180
2012-2013	25	76	173	258	411	322	388	265	182	51	44	76	2273
2013-2014	60	53	138	70	177	153	199	210	55	37	5	77	1233
2014-2015	15	73	107	79	149	157	204	135	123	34	5	9	1089
2015-2016	34	18	44	62	133	43	172	117	60	11	31	15	740
2016-2017	3	53	79	14	115	248	180	179	72	54	4	1	1001

Tabla A-11
Precipitación Total Mensual - Estación Yauli

Estación : Yauli
Parámetro : Precipitación Total Mensual

Long. : 76° 05' 00" O
Lat. : 11° 40' 00" S
Alt. : 4 141 m s.n.m.

Dpto. : Junín
Prov. : Yauli
Dist. : Yauli

Año	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Total
2017-2018	14	22	90	85	125	130	120	102	94	14	16	54	865
2018-2019	39	34	145	92	146	105	141	116	64	81	14	21	998
2019-2020	5	16	63	118	197	114	72	64	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D
Media	25	47	90	85	152	148	169	151	89	31	15	29	1049
Máxima	62	160	173	258	451	322	388	433	288	81	44	89	2273
Mínima	3	12	44	14	51	38	53	45	36	8	1	1	522
Des. Est.	17	32	36	52	95	74	96	83	55	18	13	27	466
Coef. Asim.	0.6	2.1	0.9	2.1	2.2	0.6	1.2	1.8	2.3	0.9	1.1	1.1	1.6

LEYENDA :



S/D

Sin dato registrado



Dato completado con promedio mensual historico

Fuente : Enero 1997 - Marzo 2020: Senamhi

Tabla A-12
Precipitación Máxima en 24 horas - Estación San Cristóbal

Estación : San Cristóbal Long. : 76° 07' 15"
 Parámetro : Precipitación Máxima en 24 horas Lat. : 11° 46' 27"
 Alt. : 4 680 m s.n.m. Dpto. : Junín
 Prov. : Yauli
 Dist. : Yauli

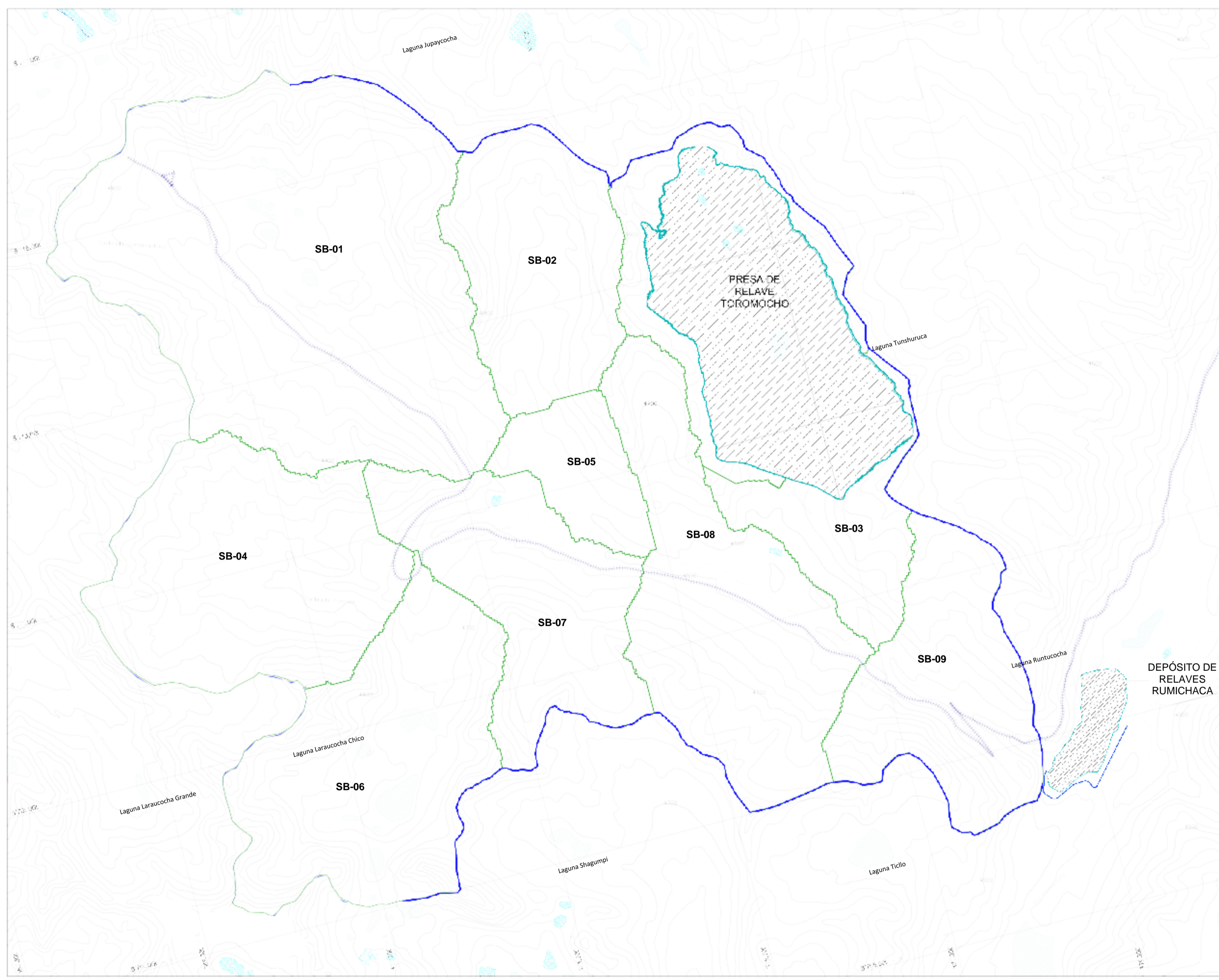
Año	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Max. Anual
2005-2006	S/D	S/D	S/D	S/D	20	22	14	15	14	2	5	2	22
2006-2007	9	14	20	26	31	20	27	11	8	13	1	2	31
2007-2008	2	7	12	S/D	20	18	26	12	10	4	2	S/D	26
2008-2009	S/D	6	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	5	4	1	11	--
2009-2010	9	2	10	14	12	13	13	16	9	4	1	1	16
2010-2011	9	7	12	13	14	18	18	16	17	6	1	9	18
2011-2012	5	14	4	18	17	14	16	14	27	7	4	3	27
2012-2013	0	7	13	9	13	15	20	17	11	6	3	4	20
2013-2014	10	5	13	13	10	15	16	24	6	9	2	7	24
2014-2015	1	6	16	19	1	15	16	22	17	6	5	2	22
2015-2016	13	11	14	13	11	18	31	15	5	4	2	11	31
2016-2017	2	6	33	15	19	26	28	21	20	11	12	19	33
2017-2018	3	15	21	8	18	21	25	17	13	8	13	9	25
2018-2019	17	16	22	19	22	22	22	22	24	7	4	4	24
2019-2020	1	9	14	29	23	17	20	23	11	14	4	3	29
2020-2021	3	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	--
Media	6	9	16	16	16	18	21	18	13	7	4	6	25
Máxima	17	16	33	29	31	26	31	24	27	14	13	19	33
Mínima	0	2	4	8	1	13	13	11	5	2	1	1	16

LEYENDA :

 S/D Sin dato registrado

Fuente : Diciembre 2005 - Agosto 2020: Senamhi

ANEXO B



LEYENDA

- Curvas Principales
- Curvas Secundarias
- Rio
- Quebrada
- Línea Ferrea
- Cuenca Rumichaca
- Sub Cuencas
- Espejo de Relave(4210 m.s.n.m.)
- Limite de Propiedad
- Limite de Topografía
- Dique
- Poblados
- Lagos

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

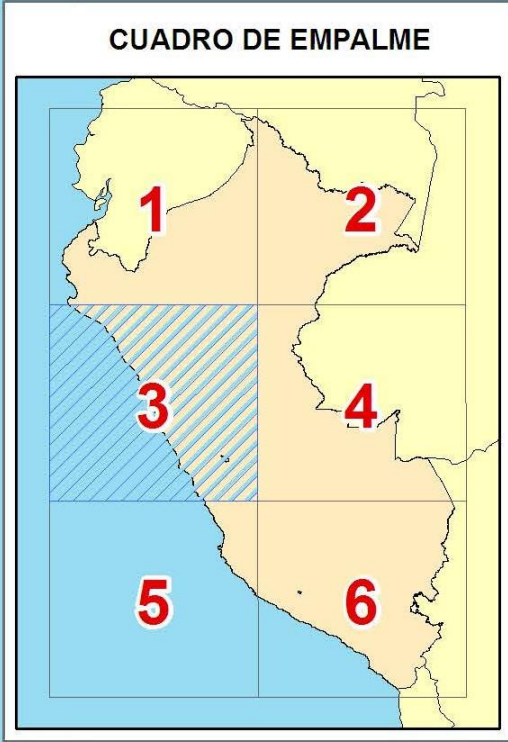
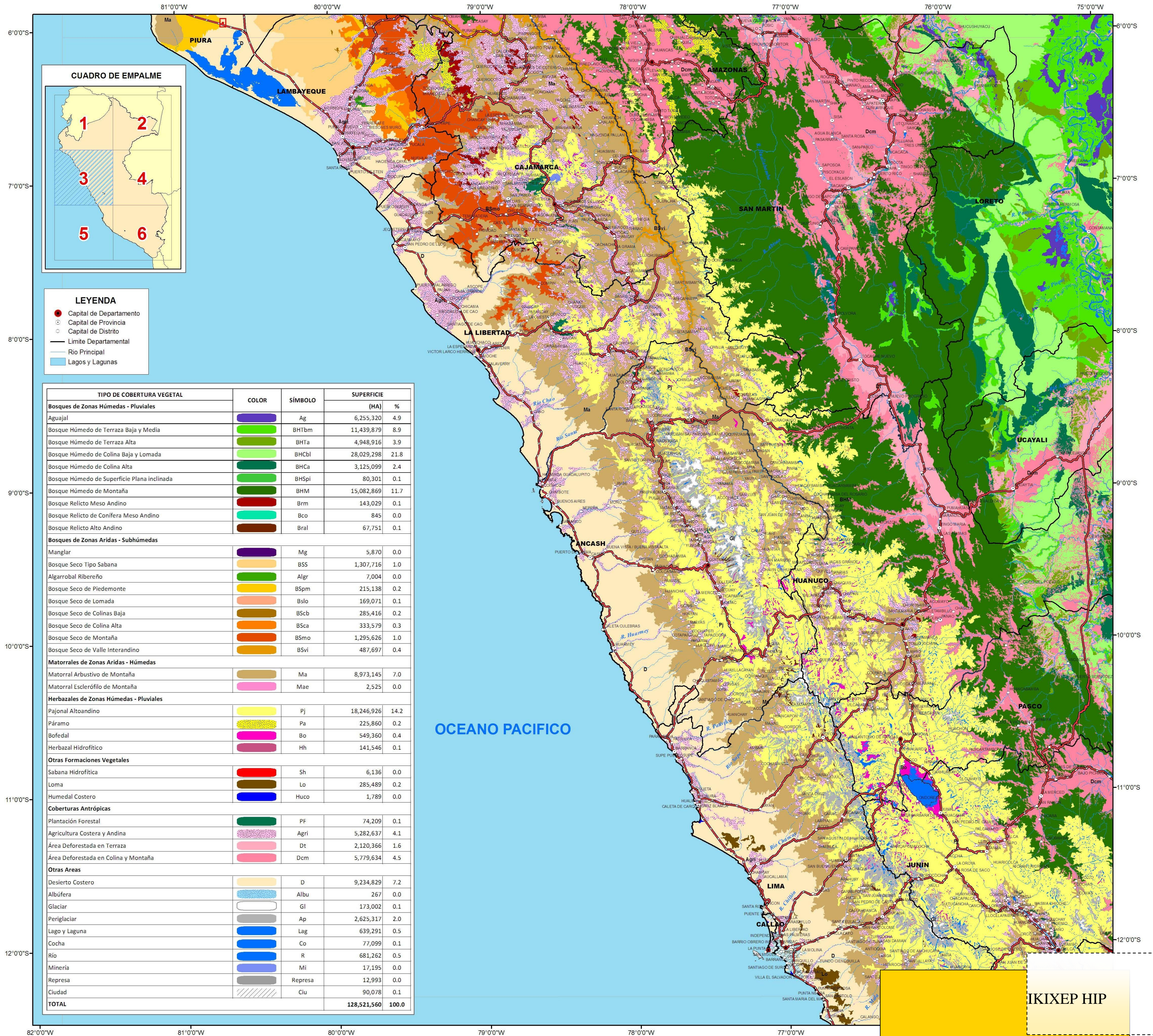
DIMENSIONAMIENTO DE OBRAS HIDRÁULICAS EN ZONAS ALTOANDINAS - CASO CANAL DE DERIVACIÓN RUMICHACA

HIDROGRAFIA DE LA CUENCA RUMICHACA

VICTOR VLADIMIR MEDINA
SAL Y ROSAS

SEPTIEMBRE-2018 1/1000

01



LEYENDA

- Capital de Departamento
- Capital de Provincia
- Capital de Distrito
- Limite Departamental
- Río Principal
- Lagos y Lagunas

TIPO DE COBERTURA VEGETAL	COLOR	SÍMBOLO	SUPERFICIE	
			(HA)	%
Bosques de Zonas Húmedas - Pluviales				
Aguajal	■	Ag	6,255,320	4.9
Bosque Húmedo de Terraza Baja y Media	■	BHTbm	11,439,879	8.9
Bosque Húmedo de Terraza Alta	■	BHTa	4,948,916	3.9
Bosque Húmedo de Colina Baja y Lomada	■	BHCbl	28,029,298	21.8
Bosque Húmedo de Colina Alta	■	BHCa	3,125,099	2.4
Bosque Húmedo de Superficie Plana inclinada	■	BHSpI	80,301	0.1
Bosque Húmedo de Montaña	■	BHM	15,082,869	11.7
Bosque Relicto Meso Andino	■	Brm	143,029	0.1
Bosque Relicto de Conifera Meso Andino	■	Bco	845	0.0
Bosque Relicto Alto Andino	■	Bral	67,751	0.1
Bosques de Zonas Áridas - Subhúmedas				
Manglar	■	Mg	5,870	0.0
Bosque Seco Tipo Sabana	■	BSS	1,307,716	1.0
Algarrobal Ribereño	■	Algr	7,004	0.0
Bosque Seco de Piedemonte	■	BSpm	215,138	0.2
Bosque Seco de Lomada	■	Bslo	169,071	0.1
Bosque Seco de Colinas Baja	■	BScb	285,416	0.2
Bosque Seco de Colina Alta	■	BSca	333,579	0.3
Bosque Seco de Montaña	■	Bsmo	1,295,626	1.0
Bosque Seco de Valle Interandino	■	BSvi	487,697	0.4
Matrallas de Zonas Áridas - Húmedas				
Matarral Arbustivo de Montaña	■	Ma	8,973,145	7.0
Matarral Esclerófilo de Montaña	■	Mae	2,525	0.0
Herbazales de Zonas Húmedas - Pluviales				
Pajonal Altoandino	■	Pj	18,246,926	14.2
Páramo	■	Pa	225,860	0.2
Bofedal	■	Bo	549,360	0.4
Herbazal Hidrofítico	■	Hh	141,546	0.1
Otras Formaciones Vegetales				
Sabana Hidrofítica	■	Sh	6,136	0.0
Loma	■	Lo	285,489	0.2
Humedal Costero	■	Huco	1,789	0.0
Coberturas Antrópicas				
Plantación Forestal	■	PF	74,209	0.1
Agricultura Costera y Andina	■	Agri	5,282,637	4.1
Área Deforestada en Terraza	■	Dt	2,120,366	1.6
Área Deforestada en Colina y Montaña	■	Dcm	5,779,634	4.5
Otras Áreas				
Desierto Costero	■	D	9,234,829	7.2
Albúfera	■	Albu	267	0.0
Glaciar	■	Gl	173,002	0.1
Periglaciar	■	Ap	2,625,317	2.0
Lago y Laguna	■	Lag	639,291	0.5
Cocha	■	Co	77,099	0.1
Río	■	R	681,262	0.5
Minería	■	Mi	17,195	0.0
Represa	■	Represa	12,993	0.0
Ciudad	■	Ciu	90,078	0.1
TOTAL			128,521,560	100.0



ANEXO C

Tabla C-1
Estimado de Costo de Construcción de Canal Rumichaca
Escenario 1 - Tr200 Tormenta Propuesta para San Cristobal
Universidad Nacional de Ingeniería - Facultad de Ingeniería Civil

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Factor de Crecimiento	Cantidad	Costo Unitario (US\$)	Costo Parcial (US\$)	Sub-Total (US\$)
2.0.0.0	CANAL RUMICHACA							4 448 349
2.1.0.0	Canal Tramo I: 0+00 a 0+512 (L= 512 m)						332 938	
2.1.1.0	Movimiento de Tierra							
2.1.1.1	Excavación masiva en suelo (Inc. elim. D ≤ 1.0 Km)	m ³	10 115	1.10	11 127	4.24	47 224	
2.1.1.2	Excavación masiva en roca fracturada (Inc. elim. D ≤ 1.0 km)	m ³	1 785	1.10	1 964	8.67	17 022	
2.1.1.3	Excavación para canal	m ³	13 333	1.10	14 666	7.69	112 780	
2.1.1.4	Relleno Común	m ³	165	1.10	181	3.54	643	
2.1.1.5	Transporte de material excedente de excavación D > 1 km	m ³ -Km	56 074	1.10	61 681	0.99	61 064	
2.1.1.6	Relleno estructural compactado manualmente	m ³	6 377	1.10	7 014	13.43	94 204	
2.1.2.0	Civil							
2.1.2.1	Concreto f'c = 100 Kg/cm ² para solados	m ³	156	1.05	164	151.34	24 849	
2.1.2.2	Concreto f'c = 280 Kg/cm ²	m ³	1 561	1.05	1 639	220.90	362 111	
2.1.2.3	Encofrado y desencofrado	m ²	7 080	1.05	7 434	25.69	190 952	
2.1.2.4	Acero de refuerzo fy = 4200 Kg/cm ²	kg	122 410	1.05	128 530	1.99	255 908	
2.1.2.5	Junta water stop 8"	m	1 726	1.00	1 726	27.06	46 690	
2.1.2.6	Junta water stop 6"	m	1 025	1.00	1 025	15.36	15 747	
2.1.2.7	Sello hidrofílico Greenstreak Hidrotite CJ-1020-2K o Sika Swell	m	1 726	1.00	1 726	23.50	40 549	
2.2.0.0	Canal Tramo II: 0+512 a 1+023 (L= 511 m)						2 447 435	
2.2.1.0	Movimiento de Tierra							
2.2.1.1	Excavación masiva en suelo (Inc. elim. D ≤ 1.0 Km)	m ³	172 829	1.10	190 112	4.24	806 896	
2.2.1.2	Excavación masiva en roca fracturada (Inc. elim. D ≤ 1.0 km)	m ³	30 499	1.10	33 549	8.67	290 845	
2.2.1.3	Relleno Común	m ³	1 610	0.00	0	3.54	0	
2.2.1.4	Excavación para canal	m ³	12 802	1.10	14 082	7.69	108 291	
2.2.1.5	Transporte de material excedente de excavación D > 1 km	m ³ -Km	643 561	1.10	707 917	0.99	700 837	
2.2.2.0	Civil							
2.2.2.1	Concreto f'c = 100 Kg/cm ² para solados	m ³	176	1.05	185	151.34	27 987	
2.2.2.2	Concreto f'c = 280 Kg/cm ²	m ³	1 686	1.05	1 770	220.90	391 041	
2.2.2.3	Acero de refuerzo fy = 4200 Kg/cm ²	kg	7 513	1.05	7 888	1.99	15 706	
2.2.2.4	Junta water stop 8"	m	2 093	1.00	2 093	27.06	56 640	
2.2.2.5	Sello hidrofílico Greenstreak Hidrotite CJ-1020-2K o Sika Swell	m	2 093	1.00	2 093	23.50	49 191	
2.3.0.0	Canal Tramo III: 1+023 a 1+693 (L= 670 m)						1 635 217	
2.3.1.0	Movimiento de Tierra							
2.3.1.1	Excavación masiva en suelo (Inc. elim. D ≤ 1.0 Km)	m ³	10 808	1.10	11 889	4.24	50 460	
2.3.1.2	Excavación masiva en roca fracturada (Inc. elim. D ≤ 1.0 km)	m ³	1 907	1.10	2 098	8.67	18 188	
2.3.1.3	Excavación para canal	m ³	17 424	1.10	19 167	7.69	147 390	
2.3.1.4	Relleno Común	m ³	59	1.10	64	3.54	228	
2.3.1.5	Transporte de material excedente de excavación D > 1 km	m ³ -Km	65 243	1.10	71 767	0.99	71 050	
2.3.1.6	Relleno estructural compactado manualmente	m ³	8 333	1.10	9 167	13.43	123 113	
2.3.2.0	Civil							
2.3.2.1	Concreto f'c = 100 Kg/cm ² para solados	m ³	204	1.05	215	151.34	32 474	
2.3.2.2	Concreto f'c = 280 Kg/cm ²	m ³	2 040	1.05	2 142	220.90	473 236	
2.3.2.3	Encofrado y desencofrado	m ²	9 256	1.05	9 718	25.69	249 620	
2.3.2.4	Acero de refuerzo fy = 4200 Kg/cm ²	kg	159 974	1.05	167 973	1.99	334 441	
2.3.2.5	Junta water stop 8"	m	2 263	1.00	2 263	27.06	61 247	
2.3.2.6	Junta water stop 6"	m	1 340	1.00	1 340	15.36	20 580	
2.3.2.7	Sello hidrofílico Greenstreak Hidrotite CJ-1020-2K o Sika Swell	m	2 263	1.00	2 263	23.50	53 191	
2.4.0.0	Canal Tramo IV: 1+693 a 1+717 (L= 24 m)						32 759	
2.4.1.0	Movimiento de Tierra							
2.4.1.1	Excavación masiva en suelo (Inc. elim. D ≤ 1.0 Km)	m ³	142	1.10	156	4.24	662	
2.4.1.2	Excavación masiva en roca fracturada (Inc. elim. D ≤ 1.0 km)	m ³	0	1.10	0	8.67	0	
2.4.1.3	Relleno Común	m ³	0	0.00	0	3.54	0	
2.4.1.4	Excavación para canal	m ³	597	1.10	657	7.69	5 051	
2.4.1.5	Transporte de material excedente de excavación D > 1 km	m ³ -Km	2 216	1.10	2 438	0.99	2 414	
2.4.2.0	Civil							
2.4.2.1	Concreto f'c = 100 Kg/cm ² para solados	m ³	8	1.05	9	151.34	1 305	
2.4.2.2	Concreto f'c = 280 Kg/cm ²	m ³	79	1.05	83	220.90	18 238	
2.4.2.3	Acero de refuerzo fy = 4200 Kg/cm ²	kg	350	1.05	368	1.99	732	
2.4.2.4	Junta water stop 8"	m	86	1.00	86	27.06	2 332	
2.4.2.5	Sello hidrofílico Greenstreak Hidrotite CJ-1020-2K o Sika Swell	m	86	1.00	86	23.50	2 025	
COSTO DIRECTO (M-US\$)								4 448 349
COSTOS INDIRECTOS (% DEL COSTO DIRECTO)								
	Gastos Generales	23.0%						1 023 120
	Utilidad	10.0%						444 835
	Gerencia y supervisión de construcción	10.0%						444 835
	Aseguramiento de calidad	10.0%						444 835
COSTO INDIRECTO								2 357 625
COSTO DIRECTO + COSTO INDIRECTO								6 805 974
Contingencia (% del Costo Directo + Costo Indirecto)								1 020 896
COSTO DE CAPITAL (SIN VPN)								7 826 870

Ingreso de Datos

Tabla C-2
Estimado de Costo de Construcción de Canal Rumichaca
Escenario 1 - Tr200 Tormenta Tipo IA
Universidad Nacional de Ingeniería - Facultad de Ingeniería Civil

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Factor de Crecimiento	Cantidad	Costo Unitario (US\$)	Costo Parcial (US\$)	Sub-Total (US\$)
2.0.0.0	CANAL RUMICHACA							3 517 268
2.1.0.0	Canal Tramo I: 0+00 a 0+512 (L= 512 m)						228 804	
2.1.1.0	Movimiento de Tierra							
2.1.1.1	Excavación masiva en suelo (Inc. elim. D ≤ 1.0 Km)	m ³	9 120	1.10	10 032	4.24	42 579	
2.1.1.2	Excavación masiva en roca fracturada (Inc. elim. D ≤ 1.0 km)	m ³	1 609	1.10	1 770	8.67	15 347	
2.1.1.3	Excavación para canal	m ³	7 835	1.10	8 619	7.69	66 277	
2.1.1.4	Relleno Común	m ³	75	1.10	83	3.54	293	
2.1.1.5	Transporte de material excedente de excavación D > 1 km	m ³ -Km	44 022	1.10	48 424	0.99	47 939	
2.1.1.6	Relleno estructural compactado manualmente	m ³	3 816	1.10	4 197	13.43	56 369	
2.1.2.0	Civil							
2.1.2.1	Concreto f'c = 100 Kg/cm ² para solados	m ³	110	1.05	116	151.34	17 516	
2.1.2.2	Concreto f'c = 280 Kg/cm ²	m ³	1 154	1.05	1 211	220.90	267 570	
2.1.2.3	Encofrado y desencofrado	m ²	5 099	1.05	5 354	25.69	137 529	
2.1.2.4	Acero de refuerzo fy = 4200 Kg/cm ²	kg	88 442	1.05	92 865	1.99	184 897	
2.1.2.5	Junta water stop 8"	m	1 275	1.00	1 275	27.06	34 500	
2.1.2.6	Junta water stop 6"	m	1 025	1.00	1 025	15.36	15 747	
2.1.2.7	Sello hidrofílico Greenstreak Hidrotite CJ-1020-2K o Sika Swell	m	1 275	1.00	1 275	23.50	29 963	
2.2.0.0	Canal Tramo II: 0+512 a 1+023 (L= 511 m)						2 096 983	
2.2.1.0	Movimiento de Tierra							
2.2.1.1	Excavación masiva en suelo (Inc. elim. D ≤ 1.0 Km)	m ³	157 147	1.10	172 862	4.24	733 679	
2.2.1.2	Excavación masiva en roca fracturada (Inc. elim. D ≤ 1.0 km)	m ³	27 732	1.10	30 505	8.67	264 454	
2.2.1.3	Relleno Común	m ³	1 031	0.00	0	3.54	0	
2.2.1.4	Excavación para canal	m ³	7 552	1.10	8 307	7.69	63 883	
2.2.1.5	Transporte de material excedente de excavación D > 1 km	m ³ -Km	574 200	1.10	631 620	0.99	625 304	
2.2.2.0	Civil							
2.2.2.1	Concreto f'c = 100 Kg/cm ² para solados	m ³	133	1.05	139	151.34	21 092	
2.2.2.2	Concreto f'c = 280 Kg/cm ²	m ³	1 281	1.05	1 345	220.90	297 155	
2.2.2.3	Acero de refuerzo fy = 4200 Kg/cm ²	kg	5 709	1.05	5 994	1.99	11 935	
2.2.2.4	Junta water stop 8"	m	1 572	1.00	1 572	27.06	42 538	
2.2.2.5	Sello hidrofílico Greenstreak Hidrotite CJ-1020-2K o Sika Swell	m	1 572	1.00	1 572	23.50	36 943	
2.3.0.0	Canal Tramo III: 1+023 a 1+693 (L= 670 m)						1 167 803	
2.3.1.0	Movimiento de Tierra							
2.3.1.1	Excavación masiva en suelo (Inc. elim. D ≤ 1.0 Km)	m ³	8 946	1.10	9 840	4.24	41 766	
2.3.1.2	Excavación masiva en roca fracturada (Inc. elim. D ≤ 1.0 km)	m ³	1 579	1.10	1 737	8.67	15 054	
2.3.1.3	Excavación para canal	m ³	10 240	1.10	11 264	7.69	86 616	
2.3.1.4	Relleno Común	m ³	30	1.10	33	3.54	118	
2.3.1.5	Transporte de material excedente de excavación D > 1 km	m ³ -Km	47 242	1.10	51 966	0.99	51 447	
2.3.1.6	Relleno estructural compactado manualmente	m ³	4 986	1.10	5 485	13.43	73 667	
2.3.2.0	Civil							
2.3.2.1	Concreto f'c = 100 Kg/cm ² para solados	m ³	144	1.05	151	151.34	22 892	
2.3.2.2	Concreto f'c = 280 Kg/cm ²	m ³	1 508	1.05	1 583	220.90	349 681	
2.3.2.3	Encofrado y desencofrado	m ²	6 666	1.05	7 000	25.69	179 784	
2.3.2.4	Acero de refuerzo fy = 4200 Kg/cm ²	kg	115 584	1.05	121 363	1.99	241 638	
2.3.2.5	Junta water stop 8"	m	1 673	1.00	1 673	27.06	45 256	
2.3.2.6	Junta water stop 6"	m	1 340	1.00	1 340	15.36	20 580	
2.3.2.7	Sello hidrofílico Greenstreak Hidrotite CJ-1020-2K o Sika Swell	m	1 673	1.00	1 673	23.50	39 304	
2.4.0.0	Canal Tramo IV: 1+693 a 1+717 (L= 24 m)						23 678	
2.4.1.0	Movimiento de Tierra							
2.4.1.1	Excavación masiva en suelo (Inc. elim. D ≤ 1.0 Km)	m ³	110	1.10	121	4.24	515	
2.4.1.2	Excavación masiva en roca fracturada (Inc. elim. D ≤ 1.0 km)	m ³	0	1.10	0	8.67	0	
2.4.1.3	Relleno Común	m ³	0	0.00	0	3.54	0	
2.4.1.4	Excavación para canal	m ³	352	1.10	387	7.69	2 979	
2.4.1.5	Transporte de material excedente de excavación D > 1 km	m ³ -Km	1 388	1.10	1 527	0.99	1 511	
2.4.2.0	Civil							
2.4.2.1	Concreto f'c = 100 Kg/cm ² para solados	m ³	6	1.05	7	151.34	984	
2.4.2.2	Concreto f'c = 280 Kg/cm ²	m ³	60	1.05	63	220.90	13 859	
2.4.2.3	Acero de refuerzo fy = 4200 Kg/cm ²	kg	266	1.05	280	1.99	557	
2.4.2.4	Junta water stop 8"	m	65	1.00	65	27.06	1 752	
2.4.2.5	Sello hidrofílico Greenstreak Hidrotite CJ-1020-2K o Sika Swell	m	65	1.00	65	23.50	1 521	
COSTO DIRECTO (M-US\$)								3 517 268
COSTOS INDIRECTOS (% DEL COSTO DIRECTO)								
	Gastos Generales	23.0%						808 972
	Utilidad	10.0%						351 727
	Gerencia y supervisión de construcción	10.0%						351 727
	Aseguramiento de calidad	10.0%						351 727
COSTO INDIRECTO								1 864 152
COSTO DIRECTO + COSTO INDIRECTO								5 381 420
Contingencia (% del Costo Directo + Costo Indirecto)								807 213
COSTO DE CAPITAL (SIN VPN)								6 188 633

Ingreso de Datos

Tabla C-3
Estimado de Costo de Construcción de Canal Rumichaca
Escenario 1 - Tr200 Tormenta Tipo I
Universidad Nacional de Ingeniería - Facultad de Ingeniería Civil

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Factor de Crecimiento	Cantidad	Costo Unitario (US\$)	Costo Parcial (US\$)	Sub-Total (US\$)
2.0.0.0	CANAL RUMICHACA							4 203 942
2.1.0.0	Canal Tramo I: 0+00 a 0+512 (L= 512 m)						289 231	
2.1.1.0	Movimiento de Tierra							
2.1.1.1	Excavación masiva en suelo (Inc. elim. D ≤ 1.0 Km)	m ³	9 635	1.10	10 599	4.24	44 985	
2.1.1.2	Excavación masiva en roca fracturada (Inc. elim. D ≤ 1.0 km)	m ³	1 700	1.10	1 870	8.67	16 215	
2.1.1.3	Excavación para canal	m ³	11 075	1.10	12 182	7.69	93 679	
2.1.1.4	Relleno Común	m ³	125	1.10	137	3.54	487	
2.1.1.5	Transporte de material excedente de excavación D > 1 km	m ³ -Km	50 936	1.10	56 030	0.99	55 469	
2.1.1.6	Relleno estructural compactado manualmente	m ³	5 307	1.10	5 837	13.43	78 397	
2.1.2.0	Civil							
2.1.2.1	Concreto f'c = 100 Kg/cm ² para solados	m ³	138	1.05	145	151.34	21 997	
2.1.2.2	Concreto f'c = 280 Kg/cm ²	m ³	1 407	1.05	1 478	220.90	326 435	
2.1.2.3	Encofrado y desencofrado	m ²	6 312	1.05	6 627	25.69	170 219	
2.1.2.4	Acero de refuerzo fy = 4200 Kg/cm ²	kg	109 592	1.05	115 071	1.99	229 111	
2.1.2.5	Junta water stop 8"	m	1 556	1.00	1 556	27.06	42 090	
2.1.2.6	Junta water stop 6"	m	1 025	1.00	1 025	15.36	15 747	
2.1.2.7	Sello hidrofílico Greenstreak Hidrotite CJ-1020-2K o Sika Swell	m	1 556	1.00	1 556	23.50	36 554	
2.2.0.0	Canal Tramo II: 0+512 a 1+023 (L= 511 m)						2 431 201	
2.2.1.0	Movimiento de Tierra							
2.2.1.1	Excavación masiva en suelo (Inc. elim. D ≤ 1.0 Km)	m ³	178 198	1.10	196 018	4.24	831 963	
2.2.1.2	Excavación masiva en roca fracturada (Inc. elim. D ≤ 1.0 km)	m ³	31 447	1.10	34 591	8.67	299 880	
2.2.1.3	Relleno Común	m ³	1 361	0.00	0	3.54	0	
2.2.1.4	Excavación para canal	m ³	10 733	1.10	11 806	7.69	90 788	
2.2.1.5	Transporte de material excedente de excavación D > 1 km	m ³ -Km	657 049	1.10	722 754	0.99	715 527	
2.2.2.0	Civil							
2.2.2.1	Concreto f'c = 100 Kg/cm ² para solados	m ³	161	1.05	169	151.34	25 554	
2.2.2.2	Concreto f'c = 280 Kg/cm ²	m ³	1 539	1.05	1 616	220.90	356 919	
2.2.2.3	Acero de refuerzo fy = 4200 Kg/cm ²	kg	6 857	1.05	7 200	1.99	14 335	
2.2.2.4	Junta water stop 8"	m	1 903	1.00	1 903	27.06	51 505	
2.2.2.5	Sello hidrofílico Greenstreak Hidrotite CJ-1020-2K o Sika Swell	m	1 903	1.00	1 903	23.50	44 731	
2.3.0.0	Canal Tramo III: 1+023 a 1+693 (L= 670 m)						1 453 989	
2.3.1.0	Movimiento de Tierra							
2.3.1.1	Excavación masiva en suelo (Inc. elim. D ≤ 1.0 Km)	m ³	10 143	1.10	11 158	4.24	47 356	
2.3.1.2	Excavación masiva en roca fracturada (Inc. elim. D ≤ 1.0 km)	m ³	1 790	1.10	1 969	8.67	17 069	
2.3.1.3	Excavación para canal	m ³	14 473	1.10	15 920	7.69	122 427	
2.3.1.4	Relleno Común	m ³	47	1.10	52	3.54	183	
2.3.1.5	Transporte de material excedente de excavación D > 1 km	m ³ -Km	58 273	1.10	64 100	0.99	63 459	
2.3.1.6	Relleno estructural compactado manualmente	m ³	6 935	1.10	7 629	13.43	102 455	
2.3.2.0	Civil							
2.3.2.1	Concreto f'c = 100 Kg/cm ² para solados	m ³	181	1.05	190	151.34	28 748	
2.3.2.2	Concreto f'c = 280 Kg/cm ²	m ³	1 839	1.05	1 931	220.90	426 611	
2.3.2.3	Encofrado y desencofrado	m ²	8 251	1.05	8 663	25.69	222 517	
2.3.2.4	Acero de refuerzo fy = 4200 Kg/cm ²	kg	143 223	1.05	150 384	1.99	299 421	
2.3.2.5	Junta water stop 8"	m	2 040	1.00	2 040	27.06	55 213	
2.3.2.6	Junta water stop 6"	m	1 340	1.00	1 340	15.36	20 580	
2.3.2.7	Sello hidrofílico Greenstreak Hidrotite CJ-1020-2K o Sika Swell	m	2 040	1.00	2 040	23.50	47 951	
2.4.0.0	Canal Tramo IV: 1+693 a 1+717 (L= 24 m)						29 521	
2.4.1.0	Movimiento de Tierra							
2.4.1.1	Excavación masiva en suelo (Inc. elim. D ≤ 1.0 Km)	m ³	149	1.10	164	4.24	696	
2.4.1.2	Excavación masiva en roca fracturada (Inc. elim. D ≤ 1.0 km)	m ³	0	1.10	0	8.67	0	
2.4.1.3	Relleno Común	m ³	0	0.00	0	3.54	0	
2.4.1.4	Excavación para canal	m ³	501	1.10	551	7.69	4 234	
2.4.1.5	Transporte de material excedente de excavación D > 1 km	m ³ -Km	1 949	1.10	2 144	0.99	2 122	
2.4.2.0	Civil							
2.4.2.1	Concreto f'c = 100 Kg/cm ² para solados	m ³	8	1.05	8	151.34	1 192	
2.4.2.2	Concreto f'c = 280 Kg/cm ²	m ³	72	1.05	75	220.90	16 646	
2.4.2.3	Acero de refuerzo fy = 4200 Kg/cm ²	kg	320	1.05	336	1.99	669	
2.4.2.4	Junta water stop 8"	m	78	1.00	78	27.06	2 121	
2.4.2.5	Sello hidrofílico Greenstreak Hidrotite CJ-1020-2K o Sika Swell	m	78	1.00	78	23.50	1 842	
COSTO DIRECTO (M-US\$)								4 203 942
COSTOS INDIRECTOS (% DEL COSTO DIRECTO)								
	Gastos Generales	23.0%						966 907
	Utilidad	10.0%						420 394
	Gerencia y supervisión de construcción	10.0%						420 394
	Aseguramiento de calidad	10.0%						420 394
COSTO INDIRECTO								2 228 089
COSTO DIRECTO + COSTO INDIRECTO								6 432 031
Contingencia (% del Costo Directo + Costo Indirecto)								964 805
COSTO DE CAPITAL (SIN VPN)								7 396 835

 Ingreso de Datos

Tabla C-5
Estimado de Costo de Construcción de Canal Rumichaca
Escenario 1 - Tr200 Tormenta Tipo II
Universidad Nacional de Ingeniería - Facultad de Ingeniería Civil

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Factor de Crecimiento	Cantidad	Costo Unitario (US\$)	Costo Parcial (US\$)	Sub-Total (US\$)
2.0.0.0	CANAL RUMICHACA							5 022 290
2.1.0.0	Canal Tramo I: 0+00 a 0+512 (L= 512 m)						403 744	
2.1.1.0	Movimiento de Tierra							
2.1.1.1	Excavación masiva en suelo (Inc. elim. D ≤ 1.0 Km)	m ³	10 443	1.10	11 487	4.24	48 756	
2.1.1.2	Excavación masiva en roca fracturada (Inc. elim. D ≤ 1.0 km)	m ³	1 843	1.10	2 027	8.67	17 574	
2.1.1.3	Excavación para canal	m ³	17 246	1.10	18 971	7.69	145 885	
2.1.1.4	Relleno Común	m ³	221	1.10	243	3.54	859	
2.1.1.5	Transporte de material excedente de excavación D > 1 km	m ³ -Km	63 190	1.10	69 509	0.99	68 814	
2.1.1.6	Relleno estructural compactado manualmente	m ³	8 248	1.10	9 073	13.43	121 856	
2.1.2.0	Civil							
2.1.2.1	Concreto f'c = 100 Kg/cm ² para solados	m ³	185	1.05	194	151.34	29 329	
2.1.2.2	Concreto f'c = 280 Kg/cm ²	m ³	1 800	1.05	1 890	220.90	417 409	
2.1.2.3	Encofrado y desencofrado	m ²	8 287	1.05	8 702	25.69	223 505	
2.1.2.4	Acero de refuerzo fy = 4200 Kg/cm ²	kg	142 277	1.05	149 391	1.99	297 443	
2.1.2.5	Junta water stop 8"	m	1 989	1.00	1 989	27.06	53 820	
2.1.2.6	Junta water stop 6"	m	1 025	1.00	1 025	15.36	15 747	
2.1.2.7	Sello hidrofílico Greenstreak Hidrotite CJ-1020-2K o Sika Swell	m	1 989	1.00	1 989	23.50	46 742	
2.2.0.0	Canal Tramo II: 0+512 a 1+023 (L= 511 m)						2 653 406	
2.2.1.0	Movimiento de Tierra							
2.2.1.1	Excavación masiva en suelo (Inc. elim. D ≤ 1.0 Km)	m ³	182 551	1.10	200 806	4.24	852 283	
2.2.1.2	Excavación masiva en roca fracturada (Inc. elim. D ≤ 1.0 km)	m ³	32 215	1.10	35 436	8.67	307 205	
2.2.1.3	Relleno Común	m ³	1 959	0.00	0	3.54	0	
2.2.1.4	Excavación para canal	m ³	16 125	1.10	17 737	7.69	136 396	
2.2.1.5	Transporte de material excedente de excavación D > 1 km	m ³ -Km	686 794	1.10	755 474	0.99	747 919	
2.2.2.0	Civil							
2.2.2.1	Concreto f'c = 100 Kg/cm ² para solados	m ³	199	1.05	209	151.34	31 638	
2.2.2.2	Concreto f'c = 280 Kg/cm ²	m ³	1 899	1.05	1 994	220.90	440 549	
2.2.2.3	Acero de refuerzo fy = 4200 Kg/cm ²	kg	8 464	1.05	8 887	1.99	17 694	
2.2.2.4	Junta water stop 8"	m	2 368	1.00	2 368	27.06	64 075	
2.2.2.5	Sello hidrofílico Greenstreak Hidrotite CJ-1020-2K o Sika Swell	m	2 368	1.00	2 368	23.50	55 647	
2.3.0.0	Canal Tramo III: 1+023 a 1+693 (L= 670 m)						1 927 276	
2.3.1.0	Movimiento de Tierra							
2.3.1.1	Excavación masiva en suelo (Inc. elim. D ≤ 1.0 Km)	m ³	11 935	1.10	13 129	4.24	55 723	
2.3.1.2	Excavación masiva en roca fracturada (Inc. elim. D ≤ 1.0 km)	m ³	2 106	1.10	2 317	8.67	20 085	
2.3.1.3	Excavación para canal	m ³	22 539	1.10	24 793	7.69	190 654	
2.3.1.4	Relleno Común	m ³	82	1.10	90	3.54	318	
2.3.1.5	Transporte de material excedente de excavación D > 1 km	m ³ -Km	77 158	1.10	84 873	0.99	84 025	
2.3.1.6	Relleno estructural compactado manualmente	m ³	10 779	1.10	11 857	13.43	159 251	
2.3.2.0	Civil							
2.3.2.1	Concreto f'c = 100 Kg/cm ² para solados	m ³	241	1.05	253	151.34	38 330	
2.3.2.2	Concreto f'c = 280 Kg/cm ²	m ³	2 352	1.05	2 469	220.90	545 503	
2.3.2.3	Encofrado y desencofrado	m ²	10 833	1.05	11 375	25.69	292 172	
2.3.2.4	Acero de refuerzo fy = 4200 Kg/cm ²	kg	185 939	1.05	195 236	1.99	388 721	
2.3.2.5	Junta water stop 8"	m	2 609	1.00	2 609	27.06	70 600	
2.3.2.6	Junta water stop 6"	m	1 340	1.00	1 340	15.36	20 580	
2.3.2.7	Sello hidrofílico Greenstreak Hidrotite CJ-1020-2K o Sika Swell	m	2 609	1.00	2 609	23.50	61 314	
2.4.0.0	Canal Tramo IV: 1+693 a 1+717 (L= 24 m)						37 863	
2.4.1.0	Movimiento de Tierra							
2.4.1.1	Excavación masiva en suelo (Inc. elim. D ≤ 1.0 Km)	m ³	160	1.10	176	4.24	746	
2.4.1.2	Excavación masiva en roca fracturada (Inc. elim. D ≤ 1.0 km)	m ³	0	1.10	0	8.67	0	
2.4.1.3	Relleno Común	m ³	0	0.00	0	3.54	0	
2.4.1.4	Excavación para canal	m ³	752	1.10	827	7.69	6 361	
2.4.1.5	Transporte de material excedente de excavación D > 1 km	m ³ -Km	2 735	1.10	3 009	0.99	2 979	
2.4.2.0	Civil							
2.4.2.1	Concreto f'c = 100 Kg/cm ² para solados	m ³	9	1.05	10	151.34	1 476	
2.4.2.2	Concreto f'c = 280 Kg/cm ²	m ³	89	1.05	93	220.90	20 547	
2.4.2.3	Acero de refuerzo fy = 4200 Kg/cm ²	kg	395	1.05	414	1.99	825	
2.4.2.4	Junta water stop 8"	m	98	1.00	98	27.06	2 638	
2.4.2.5	Sello hidrofílico Greenstreak Hidrotite CJ-1020-2K o Sika Swell	m	98	1.00	98	23.50	2 291	
COSTO DIRECTO (M-US\$)								5 022 290
COSTOS INDIRECTOS (% DEL COSTO DIRECTO)								
	Gastos Generales	23.0%						1 155 127
	Utilidad	10.0%						502 229
	Gerencia y supervisión de construcción	10.0%						502 229
	Aseguramiento de calidad	10.0%						502 229
COSTO INDIRECTO								2 661 814
COSTO DIRECTO + COSTO INDIRECTO								7 684 103
Contingencia (% del Costo Directo + Costo Indirecto)								1 152 615
COSTO DE CAPITAL (SIN VPN)								8 836 719

Ingreso de Datos

Tabla C-4
Estimado de Costo de Construcción de Canal Rumichaca
Escenario 1 - Tr200 Tormenta Tipo III
Universidad Nacional de Ingeniería - Facultad de Ingeniería Civil

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Factor de Crecimiento	Cantidad	Costo Unitario (US\$)	Costo Parcial (US\$)	Sub-Total (US\$)
2.0.0.0	CANAL RUMICHACA							4 935 149
2.1.0.0	Canal Tramo I: 0+00 a 0+512 (L= 512 m)						390 369	
2.1.1.0	Movimiento de Tierra							
2.1.1.1	Excavación masiva en suelo (Inc. elim. D ≤ 1.0 Km)	m ³	10 324	1.10	11 356	4.24	48 200	
2.1.1.2	Excavación masiva en roca fracturada (Inc. elim. D ≤ 1.0 km)	m ³	1 822	1.10	2 004	8.67	17 374	
2.1.1.3	Excavación para canal	m ³	16 561	1.10	18 217	7.69	140 084	
2.1.1.4	Relleno Común	m ³	211	1.10	233	3.54	824	
2.1.1.5	Transporte de material excedente de excavación D > 1 km	m ³ -Km	61 813	1.10	67 995	0.99	67 315	
2.1.1.6	Relleno estructural compactado manualmente	m ³	7 891	1.10	8 680	13.43	116 572	
2.1.2.0	Civil							
2.1.2.1	Concreto f'c = 100 Kg/cm ² para solados	m ³	179	1.05	188	151.34	28 515	
2.1.2.2	Concreto f'c = 280 Kg/cm ²	m ³	1 761	1.05	1 849	220.90	408 490	
2.1.2.3	Encofrado y desencofrado	m ²	8 070	1.05	8 473	25.69	217 630	
2.1.2.4	Acero de refuerzo fy = 4200 Kg/cm ²	kg	139 073	1.05	146 026	1.99	290 743	
2.1.2.5	Junta water stop 8"	m	1 947	1.00	1 947	27.06	52 670	
2.1.2.6	Junta water stop 6"	m	1 025	1.00	1 025	15.36	15 747	
2.1.2.7	Sello hidrofílico Greenstreak Hidrotite CJ-1020-2K o Sika Swell	m	1 947	1.00	1 947	23.50	45 743	
2.2.0.0	Canal Tramo II: 0+512 a 1+023 (L= 511 m)						2 629 786	
2.2.1.0	Movimiento de Tierra							
2.2.1.1	Excavación masiva en suelo (Inc. elim. D ≤ 1.0 Km)	m ³	181 342	1.10	199 476	4.24	846 640	
2.2.1.2	Excavación masiva en roca fracturada (Inc. elim. D ≤ 1.0 km)	m ³	32 002	1.10	35 202	8.67	305 171	
2.2.1.3	Relleno Común	m ³	1 925	0.00	0	3.54	0	
2.2.1.4	Excavación para canal	m ³	15 763	1.10	17 340	7.69	133 341	
2.2.1.5	Transporte de material excedente de excavación D > 1 km	m ³ -Km	681 546	1.10	749 701	0.99	742 204	
2.2.2.0	Civil							
2.2.2.1	Concreto f'c = 100 Kg/cm ² para solados	m ³	197	1.05	206	151.34	31 232	
2.2.2.2	Concreto f'c = 280 Kg/cm ²	m ³	1 877	1.05	1 971	220.90	435 420	
2.2.2.3	Acero de refuerzo fy = 4200 Kg/cm ²	kg	8 365	1.05	8 783	1.99	17 488	
2.2.2.4	Junta water stop 8"	m	2 340	1.00	2 340	27.06	63 308	
2.2.2.5	Sello hidrofílico Greenstreak Hidrotite CJ-1020-2K o Sika Swell	m	2 340	1.00	2 340	23.50	54 982	
2.3.0.0	Canal Tramo III: 1+023 a 1+693 (L= 670 m)						1 877 671	
2.3.1.0	Movimiento de Tierra							
2.3.1.1	Excavación masiva en suelo (Inc. elim. D ≤ 1.0 Km)	m ³	11 764	1.10	12 941	4.24	54 925	
2.3.1.2	Excavación masiva en roca fracturada (Inc. elim. D ≤ 1.0 km)	m ³	2 076	1.10	2 284	8.67	19 798	
2.3.1.3	Excavación para canal	m ³	21 643	1.10	23 807	7.69	183 073	
2.3.1.4	Relleno Común	m ³	78	1.10	86	3.54	303	
2.3.1.5	Transporte de material excedente de excavación D > 1 km	m ³ -Km	75 279	1.10	82 807	0.99	81 979	
2.3.1.6	Relleno estructural compactado manualmente	m ³	10 312	1.10	11 343	13.43	152 346	
2.3.2.0	Civil							
2.3.2.1	Concreto f'c = 100 Kg/cm ² para solados	m ³	235	1.05	246	151.34	37 265	
2.3.2.2	Concreto f'c = 280 Kg/cm ²	m ³	2 302	1.05	2 417	220.90	533 847	
2.3.2.3	Encofrado y desencofrado	m ²	10 549	1.05	11 076	25.69	284 493	
2.3.2.4	Acero de refuerzo fy = 4200 Kg/cm ²	kg	181 751	1.05	190 839	1.99	379 966	
2.3.2.5	Junta water stop 8"	m	2 553	1.00	2 553	27.06	69 091	
2.3.2.6	Junta water stop 6"	m	1 340	1.00	1 340	15.36	20 580	
2.3.2.7	Sello hidrofílico Greenstreak Hidrotite CJ-1020-2K o Sika Swell	m	2 553	1.00	2 553	23.50	60 004	
2.4.0.0	Canal Tramo IV: 1+693 a 1+717 (L= 24 m)						37 322	
2.4.1.0	Movimiento de Tierra							
2.4.1.1	Excavación masiva en suelo (Inc. elim. D ≤ 1.0 Km)	m ³	158	1.10	173	4.24	736	
2.4.1.2	Excavación masiva en roca fracturada (Inc. elim. D ≤ 1.0 km)	m ³	0	1.10	0	8.67	0	
2.4.1.3	Relleno Común	m ³	0	0.00	0	3.54	0	
2.4.1.4	Excavación para canal	m ³	735	1.10	809	7.69	6 219	
2.4.1.5	Transporte de material excedente de excavación D > 1 km	m ³ -Km	2 679	1.10	2 946	0.99	2 917	
2.4.2.0	Civil							
2.4.2.1	Concreto f'c = 100 Kg/cm ² para solados	m ³	9	1.05	10	151.34	1 457	
2.4.2.2	Concreto f'c = 280 Kg/cm ²	m ³	88	1.05	92	220.90	20 307	
2.4.2.3	Acero de refuerzo fy = 4200 Kg/cm ²	kg	390	1.05	410	1.99	816	
2.4.2.4	Junta water stop 8"	m	96	1.00	96	27.06	2 607	
2.4.2.5	Sello hidrofílico Greenstreak Hidrotite CJ-1020-2K o Sika Swell	m	96	1.00	96	23.50	2 264	
COSTO DIRECTO (M-US\$)								4 935 149
COSTOS INDIRECTOS (% DEL COSTO DIRECTO)								
	Gastos Generales	23.0%						1 135 084
	Utilidad	10.0%						493 515
	Gerencia y supervisión de construcción	10.0%						493 515
	Aseguramiento de calidad	10.0%						493 515
COSTO INDIRECTO								2 615 629
COSTO DIRECTO + COSTO INDIRECTO								7 550 778
Contingencia (% del Costo Directo + Costo Indirecto)								1 132 617
COSTO DE CAPITAL (SIN VPN)								8 683 394

 Ingreso de Datos

Tabla C-5
Estimado de Costo de Construcción de Canal Rumichaca
Escenario 1 - Tr200 Tormenta Tipo II
Universidad Nacional de Ingeniería - Facultad de Ingeniería Civil

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Factor de Crecimiento	Cantidad	Costo Unitario (US\$)	Costo Parcial (US\$)	Sub-Total (US\$)
2.0.0.0	CANAL RUMICHACA							5 022 290
2.1.0.0	Canal Tramo I: 0+00 a 0+512 (L= 512 m)						403 744	
2.1.1.0	Movimiento de Tierra							
2.1.1.1	Excavación masiva en suelo (Inc. elim. D ≤ 1.0 Km)	m ³	10 443	1.10	11 487	4.24	48 756	
2.1.1.2	Excavación masiva en roca fracturada (Inc. elim. D ≤ 1.0 km)	m ³	1 843	1.10	2 027	8.67	17 574	
2.1.1.3	Excavación para canal	m ³	17 246	1.10	18 971	7.69	145 885	
2.1.1.4	Relleno Común	m ³	221	1.10	243	3.54	859	
2.1.1.5	Transporte de material excedente de excavación D > 1 km	m ³ -Km	63 190	1.10	69 509	0.99	68 814	
2.1.1.6	Relleno estructural compactado manualmente	m ³	8 248	1.10	9 073	13.43	121 856	
2.1.2.0	Civil							
2.1.2.1	Concreto f'c = 100 Kg/cm ² para solados	m ³	185	1.05	194	151.34	29 329	
2.1.2.2	Concreto f'c = 280 Kg/cm ²	m ³	1 800	1.05	1 890	220.90	417 409	
2.1.2.3	Encofrado y desencofrado	m ²	8 287	1.05	8 702	25.69	223 505	
2.1.2.4	Acero de refuerzo fy = 4200 Kg/cm ²	kg	142 277	1.05	149 391	1.99	297 443	
2.1.2.5	Junta water stop 8"	m	1 989	1.00	1 989	27.06	53 820	
2.1.2.6	Junta water stop 6"	m	1 025	1.00	1 025	15.36	15 747	
2.1.2.7	Sello hidrofílico Greenstreak Hidrotite CJ-1020-2K o Sika Swell	m	1 989	1.00	1 989	23.50	46 742	
2.2.0.0	Canal Tramo II: 0+512 a 1+023 (L= 511 m)						2 653 406	
2.2.1.0	Movimiento de Tierra							
2.2.1.1	Excavación masiva en suelo (Inc. elim. D ≤ 1.0 Km)	m ³	182 551	1.10	200 806	4.24	852 283	
2.2.1.2	Excavación masiva en roca fracturada (Inc. elim. D ≤ 1.0 km)	m ³	32 215	1.10	35 436	8.67	307 205	
2.2.1.3	Relleno Común	m ³	1 959	0.00	0	3.54	0	
2.2.1.4	Excavación para canal	m ³	16 125	1.10	17 737	7.69	136 396	
2.2.1.5	Transporte de material excedente de excavación D > 1 km	m ³ -Km	686 794	1.10	755 474	0.99	747 919	
2.2.2.0	Civil							
2.2.2.1	Concreto f'c = 100 Kg/cm ² para solados	m ³	199	1.05	209	151.34	31 638	
2.2.2.2	Concreto f'c = 280 Kg/cm ²	m ³	1 899	1.05	1 994	220.90	440 549	
2.2.2.3	Acero de refuerzo fy = 4200 Kg/cm ²	kg	8 464	1.05	8 887	1.99	17 694	
2.2.2.4	Junta water stop 8"	m	2 368	1.00	2 368	27.06	64 075	
2.2.2.5	Sello hidrofílico Greenstreak Hidrotite CJ-1020-2K o Sika Swell	m	2 368	1.00	2 368	23.50	55 647	
2.3.0.0	Canal Tramo III: 1+023 a 1+693 (L= 670 m)						1 927 276	
2.3.1.0	Movimiento de Tierra							
2.3.1.1	Excavación masiva en suelo (Inc. elim. D ≤ 1.0 Km)	m ³	11 935	1.10	13 129	4.24	55 723	
2.3.1.2	Excavación masiva en roca fracturada (Inc. elim. D ≤ 1.0 km)	m ³	2 106	1.10	2 317	8.67	20 085	
2.3.1.3	Excavación para canal	m ³	22 539	1.10	24 793	7.69	190 654	
2.3.1.4	Relleno Común	m ³	82	1.10	90	3.54	318	
2.3.1.5	Transporte de material excedente de excavación D > 1 km	m ³ -Km	77 158	1.10	84 873	0.99	84 025	
2.3.1.6	Relleno estructural compactado manualmente	m ³	10 779	1.10	11 857	13.43	159 251	
2.3.2.0	Civil							
2.3.2.1	Concreto f'c = 100 Kg/cm ² para solados	m ³	241	1.05	253	151.34	38 330	
2.3.2.2	Concreto f'c = 280 Kg/cm ²	m ³	2 352	1.05	2 469	220.90	545 503	
2.3.2.3	Encofrado y desencofrado	m ²	10 833	1.05	11 375	25.69	292 172	
2.3.2.4	Acero de refuerzo fy = 4200 Kg/cm ²	kg	185 939	1.05	195 236	1.99	388 721	
2.3.2.5	Junta water stop 8"	m	2 609	1.00	2 609	27.06	70 600	
2.3.2.6	Junta water stop 6"	m	1 340	1.00	1 340	15.36	20 580	
2.3.2.7	Sello hidrofílico Greenstreak Hidrotite CJ-1020-2K o Sika Swell	m	2 609	1.00	2 609	23.50	61 314	
2.4.0.0	Canal Tramo IV: 1+693 a 1+717 (L= 24 m)						37 863	
2.4.1.0	Movimiento de Tierra							
2.4.1.1	Excavación masiva en suelo (Inc. elim. D ≤ 1.0 Km)	m ³	160	1.10	176	4.24	746	
2.4.1.2	Excavación masiva en roca fracturada (Inc. elim. D ≤ 1.0 km)	m ³	0	1.10	0	8.67	0	
2.4.1.3	Relleno Común	m ³	0	0.00	0	3.54	0	
2.4.1.4	Excavación para canal	m ³	752	1.10	827	7.69	6 361	
2.4.1.5	Transporte de material excedente de excavación D > 1 km	m ³ -Km	2 735	1.10	3 009	0.99	2 979	
2.4.2.0	Civil							
2.4.2.1	Concreto f'c = 100 Kg/cm ² para solados	m ³	9	1.05	10	151.34	1 476	
2.4.2.2	Concreto f'c = 280 Kg/cm ²	m ³	89	1.05	93	220.90	20 547	
2.4.2.3	Acero de refuerzo fy = 4200 Kg/cm ²	kg	395	1.05	414	1.99	825	
2.4.2.4	Junta water stop 8"	m	98	1.00	98	27.06	2 638	
2.4.2.5	Sello hidrofílico Greenstreak Hidrotite CJ-1020-2K o Sika Swell	m	98	1.00	98	23.50	2 291	
COSTO DIRECTO (M-US\$)								5 022 290
COSTOS INDIRECTOS (% DEL COSTO DIRECTO)								
	Gastos Generales	23.0%						1 155 127
	Utilidad	10.0%						502 229
	Gerencia y supervisión de construcción	10.0%						502 229
	Aseguramiento de calidad	10.0%						502 229
COSTO INDIRECTO								2 661 814
COSTO DIRECTO + COSTO INDIRECTO								7 684 103
Contingencia (% del Costo Directo + Costo Indirecto)								1 152 615
COSTO DE CAPITAL (SIN VPN)								8 836 719

Ingreso de Datos

ANEXO D

Anexo D: Rutinas para Identificar y Analiza Tormentas

'Se puede obtener estos códigos dentro de un archivo Excel utilizando el siguiente enlace:

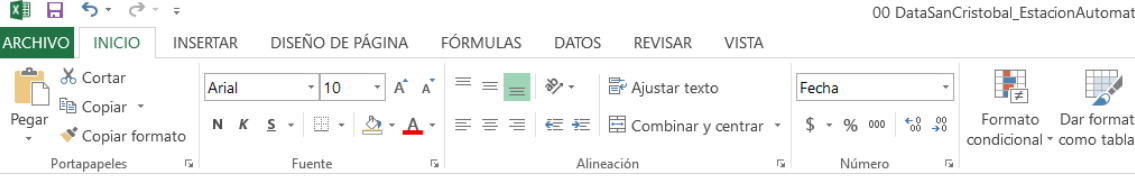
<https://1drv.ms/u/s!Ai8ANhVzSro6gZJuDQQcHYIxbC95Wg?e=tUj7gX>

'Rutina 1: Identificación de tormentas

'Colocar datos de fecha y hora de registro en la columna C, iniciando en fila 8 de la “Hoja1” de un archivo del programa Excel.

'Colocar datos de precipitación registrada en milímetros (mm) en la columna D, iniciando en fila 8 de la “Hoja1” de un archivo del programa Excel.

'Vista de Hoja de Datos de ingreso



00 DataSanCristobal_EstacionAutomat

Estacion	Date	Time	Rain	Tem Out	Hi Temp	Low Temp	Out Hum	Dew Pt.	Wind Speed
YASC-1 San Cristobal	20/12/2005	12:00	0	5.4	5.8	4.9	60	-1.8	3.2
YASC-1 San Cristobal	20/12/2005	12:02	0	5.7	5.7	5.7	59	-1.7	1.6
YASC-1 San Cristobal	20/12/2005	12:03	0	5.8	5.8	5.7	59	-1.6	1.6
YASC-1 San Cristobal	20/12/2005	12:04	0	5.8	5.8	5.8	59	-1.6	0
YASC-1 San Cristobal	20/12/2005	12:05	0	5.8	5.8	5.8	59	-1.6	4.8
YASC-1 San Cristobal	20/12/2005	12:06	0	5.8	5.8	5.8	59	-1.6	1.6
YASC-1 San Cristobal	20/12/2005	12:07	0	5.8	5.8	5.8	62	-0.9	3.2
YASC-1 San Cristobal	20/12/2005	12:08	0	5.9	5.9	5.8	63	-0.6	1.6
YASC-1 San Cristobal	20/12/2005	12:09	0	5.9	5.9	5.9	65	-0.1	6.4

'Se escribirá en la “Hoja2” del mismo archivo los siguientes datos de todas las tormentas identificadas:

'-Numero de fila de inicio (en columna A)

'-Numero de fila final (en columna B)

'-Precipitación en milímetros (mm) (en columna C)

'-Duración en días (en columna D)

'La escritura iniciara en la Fila 2

'Vista de Hoja de Datos de salida

2005_2016_24h_C1.xlsm -

ARCHIVO INICIO INSERTAR DISEÑO DE PÁGINA FÓRMULAS DATOS REVISAR VISTA

Portapapeles Fuente Alineación Número

Calibri 11 A A Ajustar texto General \$ % 000 0.00 0.00 Formato condicional Dar formato como tabla

H22

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	1	2	3	4	5				
2									
3		Date	Time	Rain	Time				
4		2005-12-20	38706.42	0.00	10:00				
5		2005-12-20	38706.44	0.00	10:30				
6		2005-12-20	38706.46	0.00	11:00				
7		2005-12-20	38706.48	0.00	11:30				
8		2005-12-20	38706.50	0.00	12:00				
9		2005-12-20	38706.50	0.00	12:02				
10		2005-12-20	38706.50	0.00	12:03				
11		2005-12-20	38706.50	0.00	12:04				
12		2005-12-20	38706.50	0.00	12:05				
13		2005-12-20	38706.50	0.00	12:06				
14		2005-12-20	38706.50	0.00	12:07				

Sub LeerTormentas()

Dim i As Long

Dim n As Long

Dim j As Long

Dim k As Long

Dim l As Long

Dim m As Long

Dim Void As Double

Dim A() As Double

n = 0

i = 5

Void = 1 / 24

Do While (ActiveSheet.Cells(i, 4) <> "")

Do While (ActiveSheet.Cells(i, 4) = 0 And ActiveSheet.Cells(i, 4) <> "")

i = i + 1

Loop

j = i - 1

Do

i = i + 1

Do While (ActiveSheet.Cells(i, 4) <> 0 And ActiveSheet.Cells(i, 4) <> "")

i = i + 1

Loop

k = i - 1

Do While (ActiveSheet.Cells(i + 1, 4) <> "" And ActiveSheet.Cells(i + 1, 4) = 0)

i = i + 1

Loop

If ActiveSheet.Cells(i + 1, 4) <> 0 Then

l = i

End If

Loop While ((ActiveSheet.Cells(l, 3) - ActiveSheet.Cells(k, 3) <= Void) And ActiveSheet.Cells(i + 1, 4) <> "")

ReDim Preserve A(3, n + 1)

n = n + 1

A(0, n) = j

A(1, n) = k

For m = j To k Step 1

A(2, n) = A(2, n) + ActiveSheet.Cells(m, 4)

Next m

A(3, n) = ActiveSheet.Cells(k, 3) - ActiveSheet.Cells(j, 3)

i = i + 1

Loop

Worksheets("Hoja2").Activate 'Se escriben resultados en la Hoja 2

For i = 1 To n Step 1

ActiveSheet.Cells(i + 1, 1) = A(0, i)

ActiveSheet.Cells(i + 1, 2) = A(1, i)

ActiveSheet.Cells(i + 1, 3) = A(2, i)

ActiveSheet.Cells(i + 1, 4) = A(3, i)

Next i

MsgBox "Se contaron " & n & " tormentas"

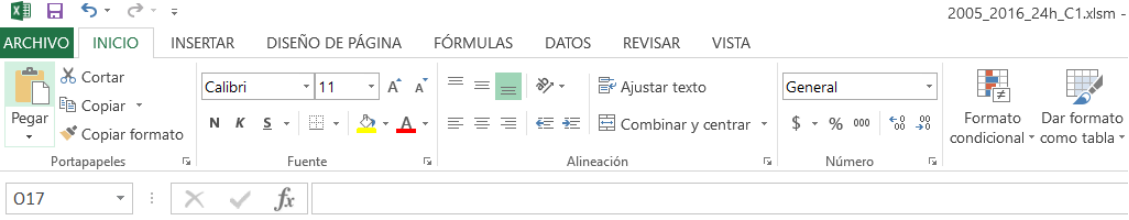
End Sub

'Rutina 2: Escritura de tormentas seleccionadas

'Una vez ordenadas las tormentas de menor a mayor precipitación acumulada en la "Hoja2" se procede a escribir estas tormentas en diferentes hojas la cantidad de tormentas que se especifique, en orden descendente, a criterio del evaluador.

'Las tormentas se escriben en forma registrada y en forma de bloques alternos

'Ejemplo de Vista de Hoja de Datos de salida



2005_2016_24h_C1.xlsm

	A	B	C	D	E	F	G	H	
1	Inter. Tiempo (h)	Tiempo Acum (h)	Tiempo Acum (%)	P(mm)	P Acum(mm)	P Acum (%)		Inter. Tiempo (h)	Tiempo
2	0.00	0	0	0	0	0		0	
3	0.50	0.50	0.02	0.20	0.20	0.01		0.50	0
4	0.50	1.00	0.04	1.60	1.80	0.10		0.50	1
5	0.50	1.50	0.07	2.00	3.80	0.21		0.50	1
6	0.50	2.00	0.09	2.00	5.80	0.32		0.50	2
7	0.50	2.50	0.11	1.00	6.80	0.38		0.50	2
8	0.50	3.00	0.13	1.00	7.80	0.43		0.50	3
9	0.50	3.50	0.16	0.80	8.60	0.48		0.50	3
10	0.50	4.00	0.18	0.60	9.20	0.51		0.50	4
11	0.50	4.50	0.20	0.60	9.80	0.54		0.50	4
12	0.50	5.00	0.22	0.60	10.40	0.58		0.50	5
13	0.50	5.50	0.24	0.40	10.80	0.60		0.50	5
14	0.50	6.00	0.27	0.20	11.00	0.61		0.50	6
15	0.50	6.50	0.29	0.20	11.20	0.62		0.50	6
16	0.50	7.00	0.31	0.40	11.60	0.64		0.50	7
17	0.50	7.50	0.33	0.00	11.60	0.64		0.50	7

Sub Escribir_Tormentas_v2()

Dim A() As Double

Dim B() As Double

Dim Nombre As String

'Las tormentas ya deben estar ordenadas de mayor a menor en precipitación total

i = 2 'Fila de inicio de listado de tormentas

n = 1 'contador de cuantas tormentas van escribiéndose

Do While n <= 20 'Se analizaran 20 tormentas

Worksheets("Hoja2").Activate

Do While Not (ActiveSheet.Cells(i, 6) > 12 And ActiveSheet.Cells(i, 6) <= 35)

i = i + 1

Loop

m1 = ActiveSheet.Cells(i, 1) 'celda inicio de tormenta en hoja 1

m2 = ActiveSheet.Cells(i, 2) 'celda final de tormenta en hoja 1

m = m2 - m1 'número de celdas que ocupa la tormenta

'Copiar Hoja3


```
Sheets("Hoja3").Select
Sheets("Hoja3").Copy Before:=Sheets(1)
'Ponerle de nombre hoja n+3
Nombre = "Hoja" & n + 3
```

```
Sheets("Hoja3 (2)").Select
Sheets("Hoja3 (2)").Name = Nombre
```

```
Worksheets(Nombre).Activate
Range("B2").Select
```

```
'Activar hoja n+3
```

```
Worksheets("Resumen").Cells(n + 1, 1) = Worksheets("Hoja1").Cells(m1, 3)
Worksheets("Resumen").Cells(n + 1, 2) = Worksheets("Hoja2").Cells(i, 3)
Worksheets("Resumen").Cells(n + 1, 3) = Worksheets("Hoja2").Cells(i, 4) * 24
```

```
For j = 2 To (2 + m) Step 1
```

```
    Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(j, 2) = (Worksheets("Hoja1").Cells(m1 + j - 2, 3) -  
Worksheets("Hoja1").Cells(m1, 3)) * 24 'Escribendo tiempo acumulado
```

```
    Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(j, 4) = Worksheets("Hoja1").Cells(m1 + j - 2, 4)
```

```
'Escribendo P(mm) por intervalo de tiempo
```

```
Next j
```

```
For j = 2 To (2 + m) Step 1
```

```
    If j = 2 Then
```

```
        Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(j, 1) = 0 'Intervalo tiempo
```

```
        Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(j, 5) = 0 'P(mm) acumulado
```

```
    Else
```

```
        Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(j, 1) = Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(j, 2) -  
Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(j - 1, 2) 'Intervalo tiempo
```

```
        Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(j, 5) = Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(j, 4) +  
Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(j - 1, 5)
```

```
    End If
```

```
Next j
```

```
For j = 2 To (2 + m) Step 1
```

```
    Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(j, 3) = Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(j, 2) /  
Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(2 + m, 2)
```

```
    Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(j, 6) = Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(j, 5) /  
Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(2 + m, 5) 'P(mm) acumulado en %
```

```
Next j
```

```
'Ahora bloques alternos
```

```
For j = 2 To (2 + m) Step 1 'Copiando Datos
```

```
    Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(j, 8) = Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(j, 1)
```

```
    Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(j, 11) = Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(j, 4)
```

```
Next j
```

```
'Copiado de Grabar macro, ordena ascendentemente la fila de P(mm)
```

```

Range(Cells(1, 8), Cells(2 + m, 13)).Select
Selection.AutoFilter
Range("G1").Select 'seleccion esta celda para marca
ActiveWorkbook.Worksheets("Hoja" & n + 3).AutoFilter.Sort.SortFields.Clear
ActiveWorkbook.Worksheets("Hoja" & n + 3).AutoFilter.Sort.SortFields.Add Key:=Range( _
    "K1:K" & 2 + m), SortOn:=xlSortOnValues, Order:=xlAscending, DataOption:= _
    xlSortNormal
With ActiveWorkbook.Worksheets("Hoja" & n + 3).AutoFilter.Sort
    .Header = xlYes
    .MatchCase = False
    .Orientation = xlTopToBottom
    .SortMethod = xlPinYin
    .Apply
End With
Selection.AutoFilter
Range("G11").Select 'seleccion esta celda final

```

```

ReDim A(1 + m, 2) 'Define matriz

```

```

For j = 2 To 2 + m Step 1 'Escribe en matriz
    A(j - 1, 1) = Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(j, 8) 'Escribe intervalo de tiempo (mm)
    A(j - 1, 2) = Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(j, 11) 'Escribe P(mm)
Next j

```

```

'Escribimos ordenados en forma "Alterna"
Indicador = 0 '0: Desde arriba, 1: Desde Abajo
Ar = 0
Ab = 0
ReDim B(1 + m, 2)

```

```

For j = 1 To 1 + m Step 1
    If Indicador = 0 Then
        B(1 + Ar, 1) = A(j, 1)
        B(1 + Ar, 2) = A(j, 2)
        Ar = Ar + 1
        Indicador = 1
    Else: B(1 + m - Ab, 1) = A(j, 1)
        B(1 + m - Ab, 2) = A(j, 2)
        Ab = Ab + 1
        Indicador = 0
    End If
Next j

```

```

For j = 2 To 2 + m Step 1 'Copiando
    Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(j, 8) = B(j - 1, 1)
    Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(j, 11) = B(j - 1, 2)
Next j

```

```

For j = 2 To 2 + m Step 1 'Los que se acumulan
    If j = 2 Then
        Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(j, 9) = 0
        Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(j, 12) = 0
    End If
Next j

```

```
Else: Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(j, 9) = Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(j, 8) +  
Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(j - 1, 9)  
Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(j, 12) = Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(j, 11) +  
Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(j - 1, 12)
```

```
End If
```

```
Next j
```

```
For j = 2 To 2 + m Step 1 'Los que se dividen
```

```
Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(j, 10) = Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(j, 9) /  
Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(2 + m, 9)
```

```
Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(j, 13) = Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(j, 12) /  
Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(2 + m, 12)
```

```
Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(j, 14) = Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(j, 11) /  
Worksheets("Hoja" & n + 3).Cells(2 + m, 12)
```

```
Next j
```

```
'Llenando Celdas de Hoja Interpo
```

```
Worksheets("Interpo").Activate
```

```
ActiveSheet.Cells(4, n + 1) = "=interpo(A4,Hoja" & n + 3 & "!" & J$2:$J$" & m + 2 & ",Hoja" & n  
+ 3 & "!" & M$2:$M$" & m + 2 & ")"
```

```
n = n + 1
```

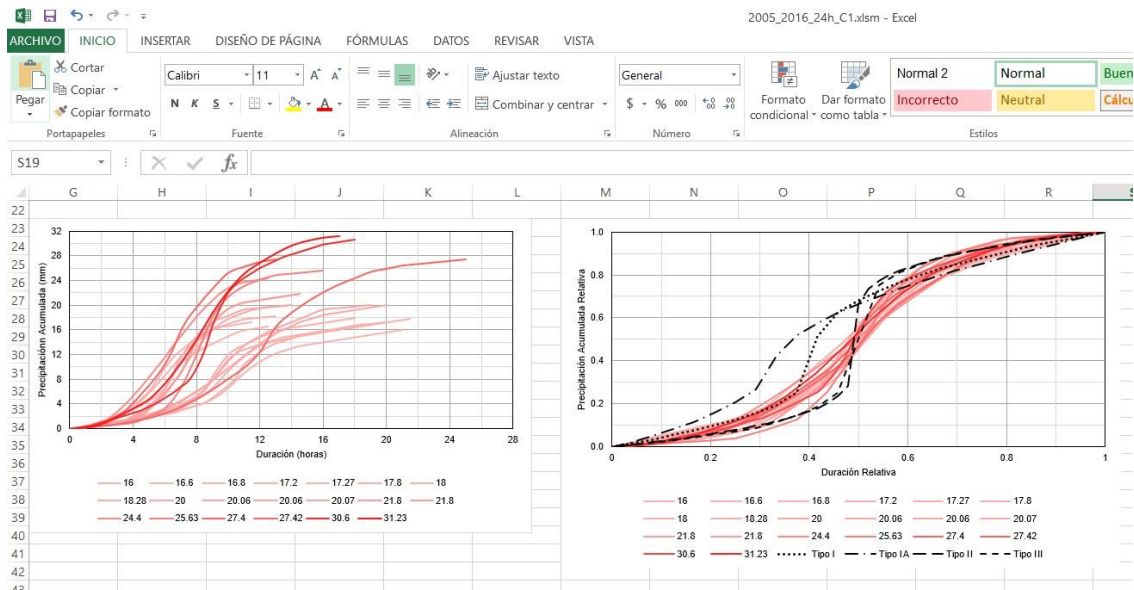
```
i = i + 1
```

```
Loop
```

```
End Sub
```

'Rutina 3: Grafico de Precipitación acumulada Normalizados en Bloques alternos

'Ejemplo de Vista de Hoja de Datos de salida



Sub Grafico_v2()

For n = 4 To 23 Step 1

A = 27 - n

m = 24 - n

B = Worksheets("Resumen").Cells(25 - n, 2)
Worksheets("Grafico").Activate

ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 1").Activate
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(n - 3).Name = B
ActiveChart.FullSeriesCollection(n - 3).XValues = "=Hoja" & A & "!"\$B\$2:\$B\$100"
ActiveChart.FullSeriesCollection(n - 3).Values = "=Hoja" & A & "!"\$D\$2:\$D\$100"

ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 2").Activate
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(n - 3).Name = B
ActiveChart.FullSeriesCollection(n - 3).XValues = "=Hoja" & A & "!"\$B\$2:\$B\$100"
ActiveChart.FullSeriesCollection(n - 3).Values = "=Hoja" & A & "!"\$E\$2:\$E\$100"

ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 3").Activate
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(n - 3).Name = B
ActiveChart.FullSeriesCollection(n - 3).XValues = "=Hoja" & A & "!"\$C\$2:\$C\$100"
ActiveChart.FullSeriesCollection(n - 3).Values = "=Hoja" & A & "!"\$F\$2:\$F\$100"

ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 4").Activate
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries

```
ActiveChart.FullSeriesCollection(n - 3).Name = B
ActiveChart.FullSeriesCollection(n - 3).XValues = "=Hoja" & A & "!$I$2:$I$100"
ActiveChart.FullSeriesCollection(n - 3).Values = "=Hoja" & A & "!$K$2:$K$100"
```

```
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 5").Activate
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(n - 3).Name = B
ActiveChart.FullSeriesCollection(n - 3).XValues = "=Hoja" & A & "!$I$2:$I$100"
ActiveChart.FullSeriesCollection(n - 3).Values = "=Hoja" & A & "!$L$2:$L$100"
```

```
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 6").Activate
ActiveChart.SeriesCollection.NewSeries
ActiveChart.FullSeriesCollection(n - 3).Name = B
ActiveChart.FullSeriesCollection(n - 3).XValues = "=Hoja" & A & "!$J$2:$J$100"
ActiveChart.FullSeriesCollection(n - 3).Values = "=Hoja" & A & "!$M$2:$M$100"
```

[Next n](#)

[End Sub](#)

'Rutina 4: Asignación de color de leyenda para tormentas en orden descendente de precipitación acumulada

Sub Areas()

For g = 1 To 6 Step 1

ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico " & g).Activate

For n = 1 To 20 Step 1

p = Worksheets("Resumen").Cells(n + 1, 2)
c = 180 + (0 - 180) * (p - 6) ^ 4 / (32 - 6) ^ 4
ActiveSheet.ChartObjects("Gráfico 6").Activate
ActiveChart.FullSeriesCollection(21 - n).Select

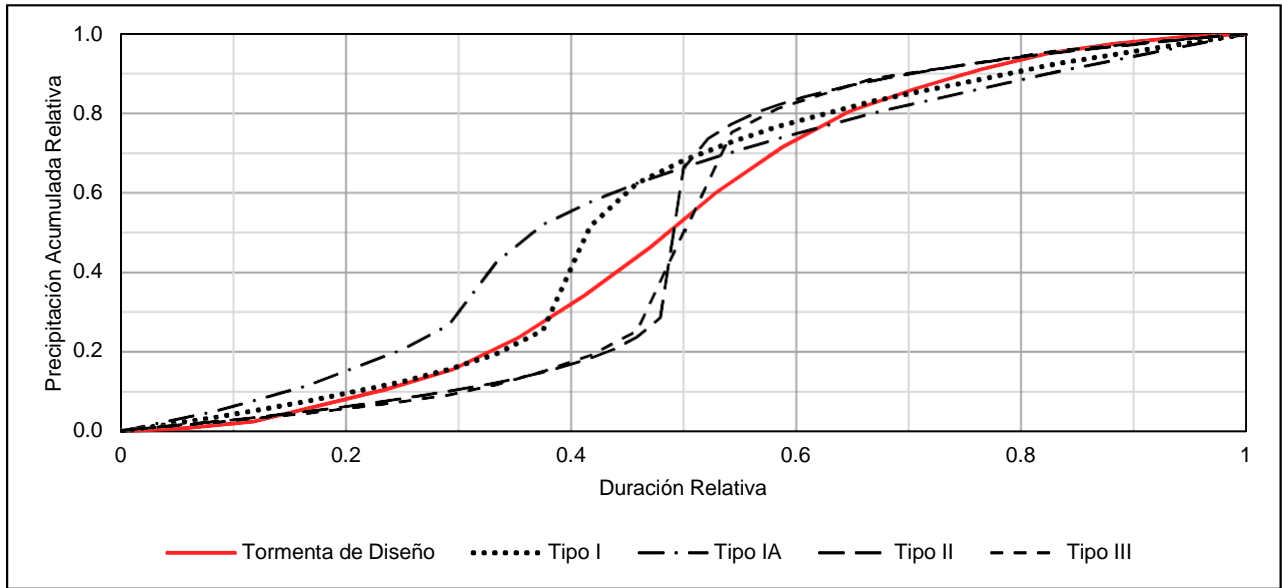
With Selection.Format.Line
.Visible = msoTrue
.ForeColor.RGB = RGB(255, c, c)
.Transparency = 0
End With

Next n

Next g

End Sub

ANEXO E



Área de Drenaje 0.45 km²
 Tiempo de Concentración 13 minutos
 Tiempo de Retardo 7.8 minutos

Tabla 2: Caudales Registrados y Estimados

Precipitación Registrada	Caudal Registrado	Caudal usando la tormenta Tipo I	Caudal usando la tormenta Tipo IA	Caudal usando la tormenta Tipo II	Caudal usando la tormenta Tipo III	Caudal usando la tormenta de diseño
41	0.3	0.2	0.1	0.5	0.9	0.75

