

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

Facultad de Ingeniería

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de Grado

Previo a la obtención del título de:

INGENIERA CIVIL

Tema:

***“ESTUDIO HIDROLOGICO-HIDRAULICO DEL PUENTE
SOBRE EL RIO LOS AMARILLOS EN LA POBLACION SANTO
DOMINGO”***

Por:

ANDRES EDUARDO IBARRA DIAZ

Director:

Ing. PEDRO CASTRO VILLALVA

Guayaquil, Ecuador

2010

TRABAJO DE GRADO

TEMA:

***“ESTUDIO HIDROLOGICO-HIDRAULICO DEL PUENTE SOBRE EL RIO LOS AMARILLOS
EN LA POBLCION DE SANTO DOMINGO”***

Presentado a la Facultad de Ingeniería
Carrera de Ingeniería Civil de la
Universidad Católica de Santiago de Guayaquil

Por:

ANDRES EDUARDO IBARRA DIAZ

Para dar a cumplimiento con uno de los requisitos para optar por el

Título de

INGENIERA CIVIL

Tribunal de Sustentación:

Ing. PEDRO CASTRO VILLALVA
DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

Ing. Miguel Cabrera Santos
PROFESOR INVITADO

Dr.Ing. Walter Mera Ortiz
DECANO DE LA FACULTAD

Ing. Lilia Valarezo
DIRECTORA DE LA CARRERA

ÍNDICE

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES.....	9
CAPÍTULO 2: OBJETIVO.....	12
CAPÍTULO 3: DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA.....	14
3.1. Ubicación del puente proyectado.....	15
3.2. Topografía.....	15
3.3. Vegetación.....	16
3.4. Suelos.....	16
3.5. Uso del Suelo.....	16
3.6. Hidrografía.....	16
3.7. Climatología.....	18
3.7.1. Heliofanía.....	18
3.7.2. Temperatura.....	19
3.7.3. Precipitación.....	19
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS HIDROLÓGICO.....	21
4.1. Análisis de lluvia.....	22
4.1.1. Método de generación del Hietograma mediante la Regionalización del INAMHI (1999).....	22
4.1.1.1. Curva IDF. Regionalización del INAMHI.....	24
4.1.1.2. Hietograma de diseño.....	24
4.1.1.2.1. Método del bloque alterno.....	24
4.1.2. Generación del Hietograma mediante el método para calcular las curvas intensidad duración frecuencia de lluvias de una área geográfica a partir de la información pluviométrica.....	27
4.2. Selección de la frecuencia de diseño.....	42
4.3. Comparación de resultados y selección del Hietograma.....	42
CAPÍTULO 5: SIMULACIÓN HIDROLÓGICA.....	45
5.1. Componente hidrológico.....	46
5.2. Aplicación del modelo HEC HMS.....	56

5.2.1. Modelo meteorológico.....	56
5.2.2. Especificaciones de control.....	58
5.2.3. Simulación hidrológica y obtención de resultados.....	58
CAPÍTULO 6: CAUDAL DE DISEÑO.....	60
CAPÍTULO 7: ANÁLISIS HIDRÁULICO.....	62
7.1. Simulación Hidráulica.....	64
7.1.1. Información Topográfica del cauce.....	64
7.1.2. Coeficiente de resistencia de Manning.....	65
7.1.3. Coeficientes de contracción y expansión.....	67
7.1.4. Caudal de diseño.....	68
7.1.5. Condiciones de frontera.....	69
7.1.5.1. Profundidad Normal.....	69
7.1.6. Estructura hidráulica en el cauce (puente).....	70
7.2. Análisis de resultados y determinación de parámetros de diseño.....	71
7.2.1. Longitud del Puente.....	71
7.2.2. Gálibo.....	72
7.3. Análisis de Socavación.....	72
7.3.1. Socavación General.....	73
7.3.2. Aplicación de las fórmulas de Socavación.....	75
7.3.3. Interpretación de resultados de la Socavación General.....	77
7.4. Protecciones.....	78
CAPÍTULO 8: CONCLUSIONES.....	82

LISTADO DE FIGURAS

- 1 Ubicación del proyecto
- 2 Ubicación del proyecto en el mapa de regionalización del INAMHI
- 3 Curva Intensidad Duración Frecuencia. Regionalización INAMHI
- 4 Hietograma - Regionalización del INAMHI
- 5 Red Hidrometeorológica de la Zona del Proyecto
- 6 Polígonos de Thiessen
- 7 Distribución Extrema Gumbel Tipo I. P_{MAX} Estación San Carlos
- 8 Distribución Extrema Gumbel Tipo I. P_{MAX} Estación Bucay
- 9 Distribución Extrema Gumbel Tipo I. P_{MAX} Estación Chillanes
- 10 Curva Intensidad-Duración-Frecuencia Estación San Carlos
- 11 Curva Intensidad-Duración-Frecuencia Estación Bucay
- 12 Curva Intensidad-Duración-Frecuencia Estación Chillanes
- 13 Hietograma Estación San Carlos
- 14 Hietograma Estación Bucay
- 15 Hietograma Estación Chillanes
- 16 Diagrama de Aplicación de la información para HEC HMS
- 17 Tabla Numero de Curva (CN) USDA (antes SCS)
- 18 Esquemización modelación Hidrológica
- 19 Datos de entrada para el Modelo de Cuenca
- 20 Ingreso de datos. Modelo meteorológico
- 21 Ingreso de datos. Especificaciones de Control
- 22 Entrada de Secciones transversales y Estaciones del Cauze HEC RAS
- 23 Entrada de Valores. "n" Manning HEC RAS
- 24 Entrada de Coeficiente contracción/expansión HEC RAS
- 25 Entrada de datos. Caudal de Diseño HEC RAS
- 26 Entrada de Valores. Condiciones de Frontera HEC RAS
- 27 Entrada de Valores. Sección Puente HEC RAS
- 28 Entrada de Valores. Sección Puente HEC RAS
- 29 Elementos Socavación General
- 30 Perfil Teórico de Socavación
- 31 Esquema de protección de taludes
- 32 Diques de Encauzamiento

LISTADO DE TABLAS

1	Áreas e Índices de Compacidad de Cuencas Aportantes
2	Intensidades $t_r = 100$ años
3	Hietograma. Regionalización del INAMHI
4	Precipitación máxima diaria Estación Chillanes
5	Precipitación máxima diaria Estación Bucay
6	Precipitación máxima diaria Estación San Carlos
7	APLICACIÓN DISTRIBUCIÓN EXTREMA GUMBEL TIPO 1 (Estación San Carlos)
8	APLICACIÓN DISTRIBUCIÓN EXTREMA GUMBEL TIPO 1 (Estación Bucay)
9	APLICACIÓN DISTRIBUCIÓN EXTREMA GUMBEL TIPO 1 (Estación Chillanes)
10	Coefficientes relacionados con P_{MAX} 1 hora para cualquier tiempo de retorno
10a	Coefficientes relacionados con P_{MAX} 24 Horas para los diferentes periodos de retorno
11	CALCULO DE LA CURVA INTENSIDAD - DURACIÓN - FRECUENCIA SAN CARLOS
12	CALCULO DE LA CURVA INTENSIDAD - DURACIÓN - FRECUENCIA BUCAY
13	CALCULO DE LA CURVA INTENSIDAD - DURACIÓN - FRECUENCIA CHILLANES
14	Hietograma de las diferentes estaciones para diferentes periodos de retorno
15	Numero de Curva Ponderado
16	Cuadro de resumen de los datos de entrada para HEC HMS
17	Factores Influyentes en el coeficiente n Manning
18	Coefficientes contracción/Expansión para Flujo Subcrítico
19	Factor de corrección por contracción del cauce (Juárez Badillo E. y Rico Rodríguez A., 1992).
20	Pesos Específicos del tipo de suelo de las perforaciones
21	Profundidad media de flujo que genera Esfuerzo Cortante
22	Diámetros medios del material protección, D_{50}

PLANOS

- 1 Cuencas subcuencas
- 2 Implantación del levantamiento Topográfico y Secciones Transversales
- 3 Perfil Estratigráfico
- 4 Sección del Puente, Implantación de estructura y protecciones

APÉNDICES

- 1 Cálculo de la Pendiente compensada del Cauce
- 2 Cálculo del Tiempo de Concentración
- 3 Resultados Simulación hidrológica HEC HMS
- 4 Resultados Simulación hidrológica HEC RAS
- 5 Estudio de Suelos
- 6 Cálculo de la Socavación General
- 7 Aplicación de las Formulas para el Diseño de Protecciones

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

1. ANTECEDENTES:

La población de Santo Domingo, ubicada a 4 Km. de la cabecera cantonal de Simón Bolívar, en la Provincia del Guayas, se ha desarrollado en ambas márgenes del Río Los Amarillos y a ella se puede acceder utilizando la vía asfaltada que enlaza Simón Bolívar con Lorenzo de Garaycoa , la misma que está trazada sobre la margen derecha del río.

La mayor parte del poblado se asienta sobre la margen izquierda del río, y sus moradores, para su desplazamiento a los centros de intercambio o a las poblaciones cercanas, utilizan un puente peatonal que no permite el paso de cargas pesadas de productos de la zona.

Santo Domingo, es una población con una intensa y variada producción agrícola, entre los cuales se destacan el banano y el cacao, y para su transporte, utilizan diversas vías de 6^{to}, 7^{mo} orden y caminos de veranos que convergen al recinto, los cuales se convierten en intransitables en época de lluvias. Además, con las crecientes de los ríos y por la configuración hidrográfica de la zona, conformada por diversos esteros, éstos caminos, durante la época lluviosa, quedan inundados dejando en uso únicamente algunos de ellos, pero en mal estado, lo que aumenta las horas de viaje e incrementan los costos de transporte, el deterioro de los vehículos y el peligro de accidentes.

Por estas dificultades, se hace necesaria la implementación de un puente vehicular para el servicio de esta población y de su entorno, pues el mismo facilitaría el traslado de los productos a los centros de procesamiento, consumo y comercialización.

CAPÍTULO 2

OBJETIVOS

2. OBJETIVO

El propósito del presente trabajo es la ejecución del **ESTUDIO HIDROLÓGICO - HIDRÁULICO DEL PUENTE VEHICULAR SOBRE EL RÍO LOS AMARILLOS, EN LA POBLACIÓN DE SANTO DOMINGO**, de modo que éste se constituya en una parte del estudio integral del puente, el que deberá ser complementado con estudios Geotécnicos, Estructurales y otras ramas afines, necesarios para la elaboración del proyecto completo, para su posterior contratación y ejecución.

CAPÍTULO 3

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA

3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA

En este capítulo se describirá de manera general, las características más relevantes de la zona de estudio y de la cuenca de drenaje del rio, para proporcionar una amplia perspectiva del proyecto.

3.1. Ubicación del puente proyectado

El proyecto se encuentra ubicado en las coordenadas UTM WGS84 Zona 17S: 670.995 E - 9'776.492 N. Ver Fig. N°1

Aproximadamente, 200 m. aguas arriba, a partir del puente proyectado, se encuentra un puente peatonal metálico que es el único medio disponible para cruzar el río.

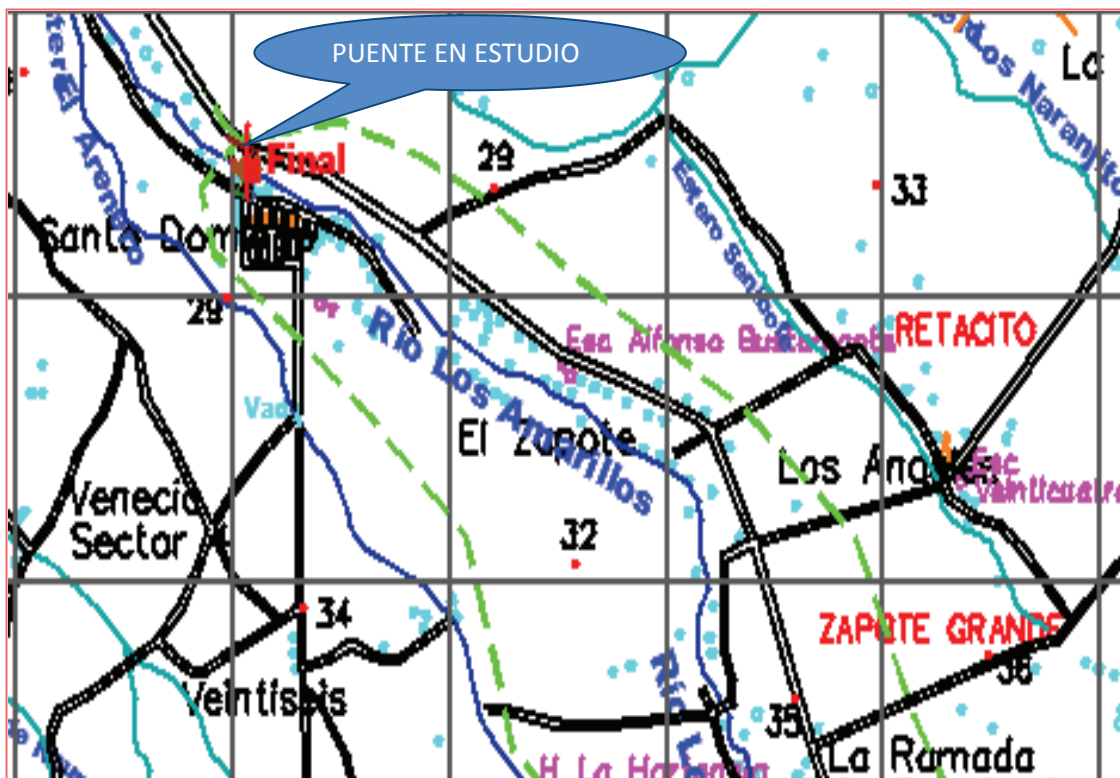


Fig. N° 1 Ubicación del proyecto

3.2. Topografía

La cuenca del Río Los Amarillos está incluida en las provincias de Guayas y Bolívar, con territorios pertenecientes a los cantones Simón Bolívar, El Triunfo, Gral. Elizalde (Bucay) y Chillanes

En la cuenca se distinguen claramente 2 tipos de relieve del terreno. La zona montañosa alta, ubicada en la Provincia de Bolívar hasta el cantón Bucay, en la Provincia del Guayas, con pendientes comprendidas entre el 30% y 25 %, llegando a cotas del orden de los 2000 m.s.n.m. y la parte baja de la cuenca que va desde

Bucay hasta Santo Domingo de Guzmán, en el sitio del puente, con una elevación aproximada de 25 m.s.n.m.

3.3. Vegetación

La vegetación es variada, predominando las áreas cultivadas, en las que se encontró: especies alimenticias y maderables, además de aquellas utilizadas como cercas vivas para delimitar linderos, y otras de uso industrial y forrajeras.

Los bosques han sido talados y su lugar ha sido ocupado inmediatamente por vegetación secundaria compuesta por plantas y arbustos, que reverdecen con la aparición de las primeras lluvias, pero que no sustituyen el poder de protección a la erosión de los suelos como los bosques naturales.

3.4. Suelos

Los suelos distribuidos, a lo largo de la cuenca de drenaje, tienen una textura variable en concordancia con su origen y tipo de material parental. Los suelos de las terrazas son de textura fina a media y los suelos arenosos coinciden con los afloramientos de areniscas, además de presentarse depósitos de material aluvial y fluvial.

3.5. Uso del Suelo

Las actividades económicas más destacadas y de mayor demanda son la agricultura y la ganadería. Actualmente hay extensas plantaciones de: banano, cacao, teca, naranja, maracuyá, papaya, yuca, y plantaciones de ciclo corto como arroz, maíz y caña de azúcar, entre otros cultivos.

Con respecto a la ganadería, se señala la presencia de pastizales en las zonas altas y llanuras bajas en la zona correspondiente a la costa, destacándose el ganado bovino y ovino.

3.6. Hidrografía

La cuenca del Río Los Amarillos, hasta la zona del proyecto, se compone de varios afluentes que se describen a continuación:

- Estero Los Huecos, en el recinto Santa Teresita
- Estero Guineo, a la altura de La Dolorosa.

- Estero Las Garzas, a la altura del recinto Los Amarillos
- El Río Los Amarillos cambia de nombre a Río Chagüe a la altura de la población de Jesús del Gran Poder.
- Río Chagüe grande y Estero Chagüe Chico a la altura del cantón Gral. Antonio Elizalde (Bucay).
- Río Limón a la altura del cantón Gral. Antonio Elizalde (Bucay).
- Sistemas de Quebradas desde la Cooperativa Agrícola Adolfo Kleer hasta La Miran.

En las cartas topográficas en escala 1:50.000, generada por el IGM, previamente digitalizada, se trazaron las divisorias de aguas y se determinó el área total de drenaje (148.21 Km²), con punto de cierre a la altura del cruce del puente, ver **Plano N° 1**.

Una vez identificada la red hídrica se procedió a efectuar la división hidrográfica, específicamente en subcuencas. Posteriormente, se determinó los siguientes parámetros fisiográficos de cada una de las subcuencas: Superficie (A), Perímetro, (P), Índice de Compacidad (K_C), Pendiente media del cauce principal (S), Desnivel (H), Longitud del cauce Principal (L).

Se definieron en total 26 subcuencas, 18 tramos de corriente, innumerables uniones de corrientes y 1 punto de salida. En la **Tabla N° 1**, se presenta el cuadro con las divisiones en subcuencas y su correspondiente Superficie, Perímetro e Índice de Compacidad.

Tabla N°1. Áreas e Índices de Compacidad de Cuencas Aportantes

Cuenca	Superficie	Perímetro	K _c	Cuenca	Superficie	Perímetro	K _c
	Km ²	Km			Km ²	Km	
1	88.739	84.52	1.53	14	2.105	6.38	1.24
2	6.364	20.20	2.26	15	1.517	5.76	1.32
3	0.602	4.16	1.51	16	3.239	8.54	1.34
4	4.388	10.52	1.42	17	1.368	5.31	1.28
5	2.928	9.13	1.50	18	1.980	6.91	1.38
6	5.714	12.8	1.51	19	1.332	6.41	1.57
7	0.847	6.00	1.84	20	2.739	7.47	1.27
8	1.463	5.49	1.28	21	3.347	8.60	1.33
9	2.743	8.19	1.39	22	2.345	6.78	1.25
10	1.380	5.27	1.27	23	3.779	8.82	1.28
11	2.201	7.64	1.45	24	1.011	4.27	1.20
12	1.031	5.98	1.66	25	1.780	6.96	1.47
13	0.668	4.79	1.65	26	2.597	7.53	1.32

Mediante la Cartografía IGM, anteriormente citada, se identificó la corriente principal con su respectiva longitud (L), pendiente (S) y Desnivel (H). Así mismo se localizó los caminos del agua con mayor recorrido, medidos entre la divisoria de aguas y el inicio del cauce principal y se determinó las pendientes medias, como se muestra en el **Apéndice 1**.

3.7. Climatología

Entre las variables principales que definen el clima se tiene: heliofanía, temperatura, precipitación, humedad, evaporación, tensión del vapor, dirección y fuerza del viento, radiación solar, etc. Por la relevancia en el presente estudio se describirá las tres primeras.

3.7.1. Heliofanía

Se entiende por Heliofanía (insolación), el número de horas en que el sol se hace presente en un lugar determinado. En la cuenca en estudio, como en toda la llanura litoral, hasta una altura de 500 m, en la ladera de la cordillera Occidental, el promedio anual de horas de brillo solar fluctúa entre las 600 y

1700 horas. En la región montañosa, la insolación fluctúa entre las 1200 y 2000 horas anuales con ciertas excepciones de lugares muy lluviosos.

3.7.2. Temperatura

Es el grado de calor o de frío de la atmósfera. La temperatura está vinculada estrechamente con la altura. Entre los 1500 y 2000 metros, correspondientes a la parte montañosa de la cuenca, los valores medios varían entre los 10°C y 16°C. En la Zona Baja, la media anual se establece entre los 24 °C y 26°C, con extremos que raramente sobrepasan los 36°C o bajan a menos de los 14°C.

3.7.3. Precipitación

Es la cantidad de agua procedente de la atmósfera. Por estar ubicada la cuenca en provincias de la Costa y de la Sierra, las precipitaciones son variables. La parte del litoral se caracteriza por presentar su época lluviosa entre los meses de Diciembre y Abril, con intensidades de lluvia considerables y precipitaciones totales alrededor de los 3000 mm, a diferencia de la parte Interandina Montañosa que presenta dos períodos lluviosos, de Febrero a Mayo y de Octubre a Noviembre, una época seca muy marcada, entre Junio y Septiembre, y otra menos acentuada en Diciembre-Enero. Los totales pluviométricos fluctúan entre los 700 y 1500 mm.

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS HIDROLÓGICO

4. ANÁLISIS HIDROLÓGICO

Para de determinar el caudal de diseño requerido para el dimensionamiento del puente, y al no existir registros hidrométricos en la zona del proyecto, se utilizó, a partir de los registros pluviométricos, un modelo Lluvia – Escorrimento, incluido en el software HEC HMS, el que requiere de una serie de datos de entrada que se describen en este numeral.

4.1. Análisis de Lluvia

El modelo lluvia escurrimiento escogido, requiere el conocimiento de ciertas características de las tormentas, como son la duración, distribución a través del tiempo y la intensidad de las mismas. Estas características son definidas mediante las curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), y a partir de ellas se determinó el Hietograma de diseño. Para la generación de las mismas y los Hietogramas de diferentes frecuencias se aplicaron dos métodos:

- a) Utilizando la **REGIONALIZACIÓN DEL INAMHI (1999)**
- b) Mediante el procedimiento desarrollado por Israel Bastidas et al. (1990) que se describe en el documento publicado en el VI Congreso Nacional de Hidráulica cuyo título es: **“MÉTODO PARA CALCULAR LAS CURVAS INTENSIDAD - DURACIÓN - FRECUENCIA DE LLUVIAS DE UNA ÁREA GEOGRÁFICA A PARTIR DE LA INFORMACIÓN PLUVIOMÉTRICA”**.⁽³⁾,

4.1.1. Método de generación del Hietograma mediante la Regionalización del INAMHI (1999)

Para una estimación preliminar se consideró el “Estudio de Lluvias Intensas”, realizado por el INAMHI, en el que se ha zonificado al país en 35 regiones de igual intensidad, las cuales responden a una ecuación del tipo:

$$I_{TR} = \frac{KId_{TR}}{t^n}$$

I_{TR} = Intensidad de precipitación para cualquier periodo de retorno (mm/h)

Id_{TR} = Intensidad diaria para cualquier periodo de retorno dado (mm/h)

TR = Periodo de retorno (años)

t = Tiempo de duración de la lluvia en minutos.

K y n = Constantes de ajustes determinados aplicando los mínimos cuadrados

La zona de estudio está incluida en la zona 9 del estudio del INAMHI, cuyas ecuaciones son:

ZONA	DURACIÓN	ECUACIÓN
9	5 MIN < 116 MIN	$I_{TR} = 40.035 t^{-0.3410} I_{d_{TR}}$
	116 MIN < 1440 MIN	$I_{TR} = 355.49 t^{-0.8043} I_{d_{TR}}$

En la **Tabla N° 2** se presentan los valores de intensidades calculados mediante las ecuaciones indicadas, para diferentes duraciones y para un periodo de retorno de 100 años.

El Parámetro $I_{d_{TR}}$ se lo determinó en 8.7, debido a que la zona del proyecto se encuentra comprendida entre las curvas 9 y 8, razón por la cual se hizo una ponderación de las mismas en función del área (**Fig. N° 2**)

Tabla N° 2 Intensidades tr = 100 años

Intensidad (mm/h)		
	tr(años)	100
	$I_{d_{TR}}$	8.7
Duración (min)	60	86.22
	360	27.18
	720	15.57
	1440	8.91

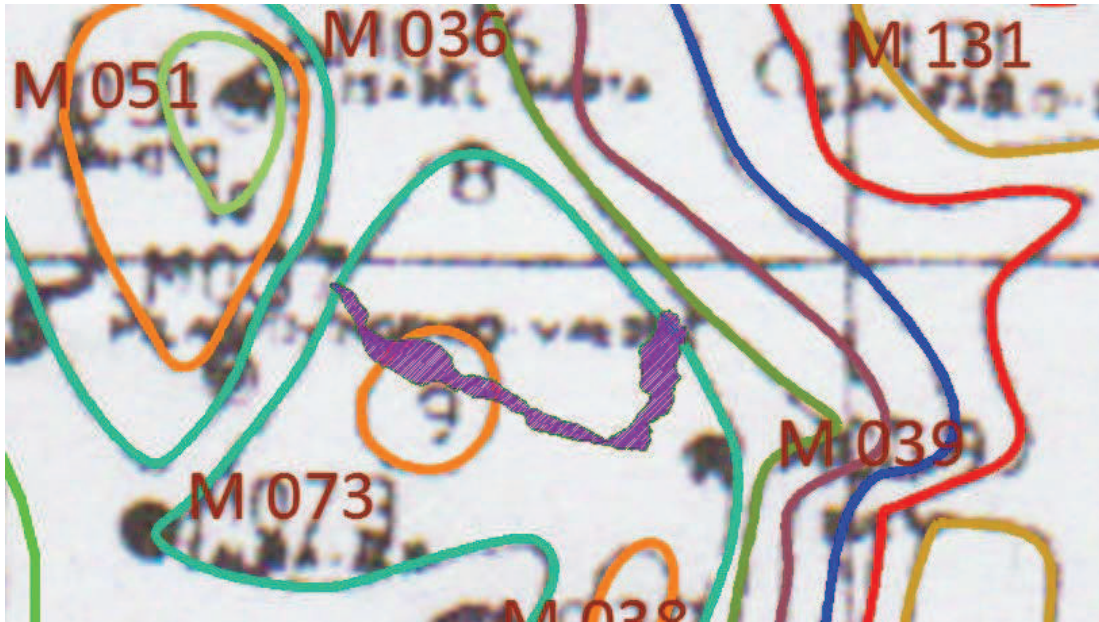


Fig. Nº 2 Ubicación del proyecto en el mapa de regionalización del INAMHI

4.1.1.1. Curva IDF. Regionalización del INAMHI

Una vez obtenidas las intensidades para las diferentes duraciones de lluvia según las ecuaciones de la Regionalización del INAMHI, se procedió al trazado de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia presentada en la Fig. Nº 3, para una frecuencia de 100 años. Utilizando el mismo procedimiento se determinó las curvas IDF para diferentes períodos de retorno

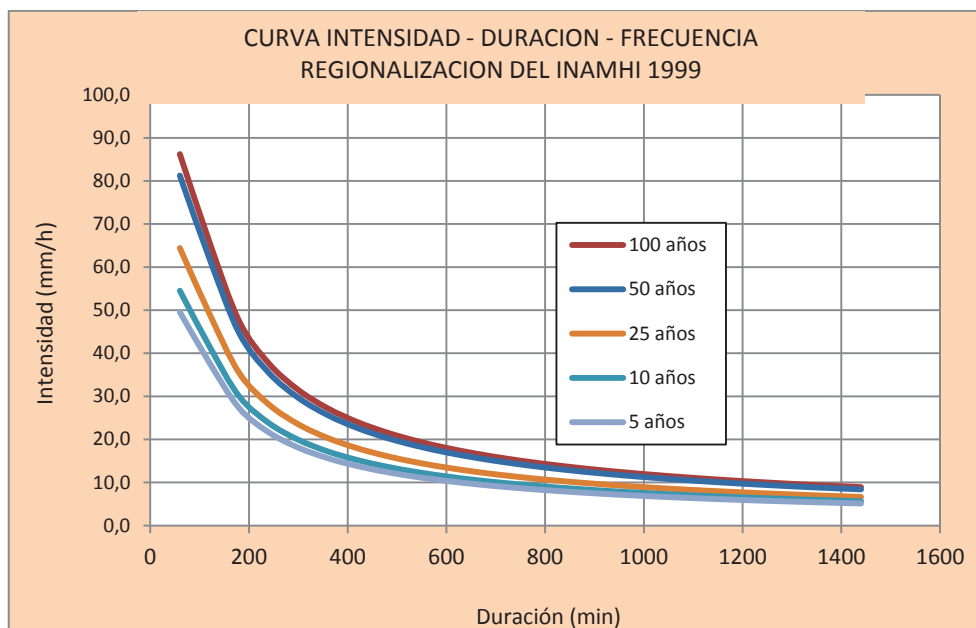


Fig. Nº 3 Curva Intensidad Duración Frecuencia. Regionalización INAMHI

4.1.1.2. Hietograma de diseño

Existen algunos métodos para la obtención de Hietograma para diseño basados en las curvas IDF tales como: bloques alternos, lluvia uniforme, Hietograma triangular, método de la intensidad instantánea, etc.

El método de Bloques Alternos se seleccionó como la alternativa adecuada para generar el Hietograma en base a la curva IDF, debido a que con la información de la red Hidrometeorológica del país no es posible definir la real distribución de lluvia en un intervalo de tiempo.

4.1.1.2.1. Método de los bloques alternos

El Hietograma de diseño producido por este método, especifica una altura de precipitación que ocurre en n intervalos de tiempo sucesivos de duración Δt sobre una duración total T_d , de tal manera que $T_d = n \Delta t$.

Después de seleccionar el periodo de retorno de diseño, la intensidad es leída en la curva IDF para cada una de las duraciones y la altura de precipitación correspondiente se obtiene al multiplicar la intensidad por la duración.

Las diferencias entre valores sucesivos de altura de precipitación, se constituyen en las alturas de los bloques, por cada unidad de tiempo Δt .

Estos bloques se reordenan de manera que la intensidad máxima ocurra en el centro de la duración requerida T_d y que los demás bloques en orden descendente alternativamente hacia la derecha y hacia la izquierda del bloque central para formar el Hietograma de diseño.

La **Fig. N° 4**, presenta el gráfico del Hietograma generado a partir de las curvas IDF correspondientes a la regionalización del INAMHI. La representación numérica del Hietograma se presentan en la **Tabla N° 3**.

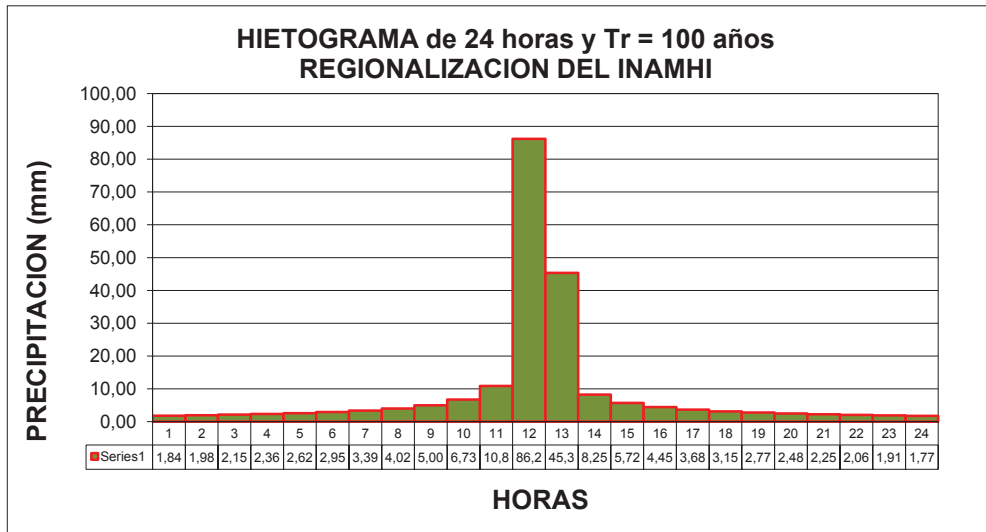


Fig. N° 4 Hietograma de Precipitación - Regionalización del INAMHI

Tabla N° 3. Hietogramas. Regionalización del INAMHI

Tiempo (horas)	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)				
	100	50.0	25	10	5
1	1.84	1.73	1.37	1.16	1.06
2	1.98	1.87	1.48	1.25	1.14
3	2.15	2.03	1.61	1.36	1.24
4	2.36	2.22	1.76	1.49	1.36
5	2.62	2.47	1.96	1.65	1.50
6	2.95	2.78	2.20	1.86	1.69
7	3.39	3.20	2.54	2.15	1.95
8	4.02	3.79	3.01	2.54	2.31
9	5.00	4.71	3.73	3.16	2.87
10	6.73	6.34	5.02	4.25	3.86
11	10.86	10.24	8.12	6.87	6.24
12	86.22	81.27	64.42	54.51	49.55
13	45.33	42.72	33.87	28.66	26.05
14	8.25	7.77	6.16	5.21	4.74
15	5.72	5.39	4.27	3.61	3.29
16	4.45	4.19	3.33	2.81	2.56
17	3.68	3.47	2.75	2.33	2.11
18	3.15	2.97	2.36	1.99	1.81
19	2.77	2.61	2.07	1.75	1.59
20	2.48	2.34	1.85	1.57	1.43
21	2.25	2.12	1.68	1.42	1.29
22	2.06	1.94	1.54	1.30	1.18
23	1.91	1.80	1.42	1.21	1.10
24	1.77	1.67	1.33	1.12	1.02

4.1.2. Generación del Hietograma mediante el método para calcular las curvas intensidad duración frecuencia de lluvias de una área geográfica a partir de la información pluviométrica.

Para la aplicación de este segundo método para obtener el Hietograma de tormenta se requiere de la definición de las curvas IDF de las estaciones climatológicas que se consideran representativas de la cuenca.

El análisis de la red meteorológica existente, muestra que en el entorno de la zona de estudio, se puede seleccionar 5 estaciones que disponen de información pluviométrica de aceptable extensión de registro: Ingenio San Carlos (El Batey), Bucay, Chillanes, Milagro y Babahoyo, cuya ubicación se presenta en la **Fig. N° 5**

Para establecer su influencia en la cuenca del proyecto se ha aplicado el método de los Polígonos de Thiessen que se muestran en la **Fig. N° 6**. En esta figura se observa que las estaciones Babahoyo y Milagro tienen marginal influencia, por lo tanto, para el estudio se considerarán como representativas las estaciones San Carlos (El Batey), Bucay y Chillanes.

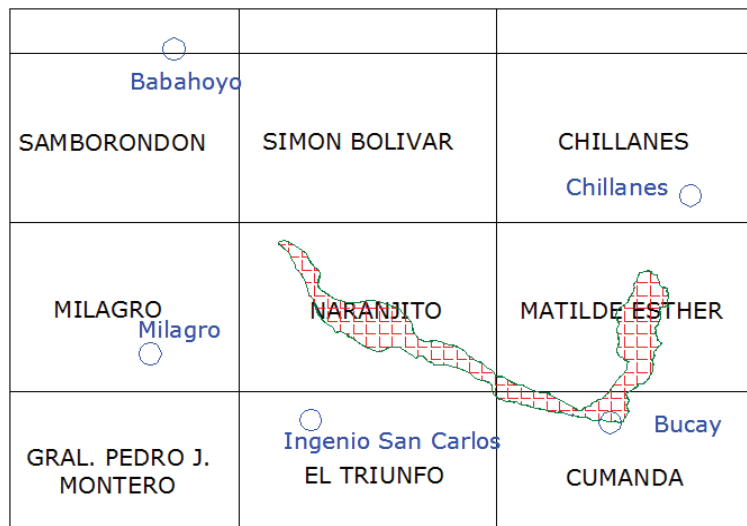


Fig. N° 5 Red Hidrometeorológica de la Zona del Proyecto

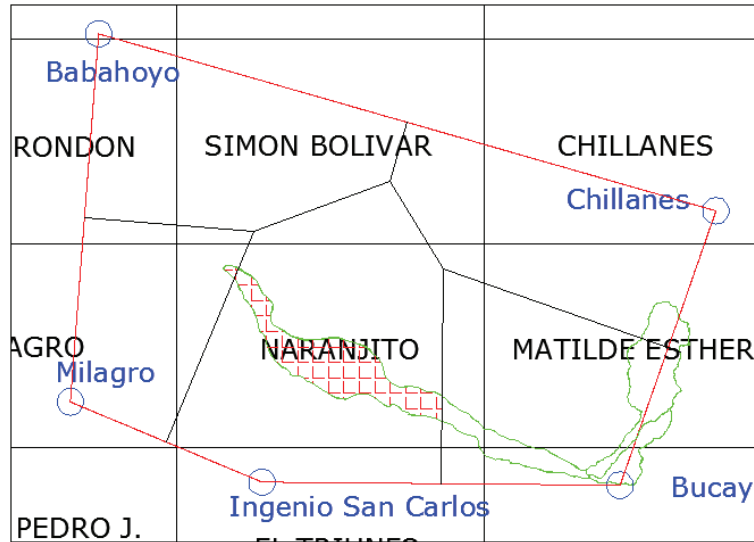


Fig. N° 6 Polígonos de Thiessen

Tabla Nº 4 Precipitación máxima diaria Estación Chillanes

LATITUD 01°56'41" S
 LONGITUD 79°03'54" O
 ALTITUD 2.300 m.s.n.m.

PRECIPITACIÓN
 MÁXIMA DIARIA
 EN mm

CONTROLADA POR: INAMHI
 ESTACIÓN: CHILLANES
 CUENCA

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAYO	JUN.	JUL.	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	MAX. DIARIA ANUAL
1959													
1960													
1961													
1962													
1963	30.3	31.8	37.4	19.4	9.6	3.5	2.5	0.5	0.0	4.2	4.4	13.8	37.4
1964	14.8	71.3	24.4	28.2	8.2	11.6	2.6	2.6	6.6	12.8	8.0	10.8	71.3
1965	12.6	9.4	36.0	37.2	15.5	8.8	2.4	2.2	7.0	7.2			37.2
1966		23.6	28.8	100.0	19.5	1.0	8.5	1.2	0.3	14.1	11.0	19.2	100.0
1967	20.3	25.8	18.5	8.5	22.6	4.7	1.5	2.2	5.3	15.7	0.0	4.0	25.8
1968	11.5	20.6	36.0	20.2	37.4	7.7	6.2	6.6	6.1	15.8	8.8	29.0	37.4
1969	26.1	13.6	21.2	45.4	21.7	12.8	3.0	3.7	9.0	0.5	9.6	23.7	45.4
1970	67.0	24.4	45.0	25.6	36.5	7.5	0.0	1.2	9.4	5.8	2.2	8.0	67.0
1971	29.6	14.6	19.8	46.4	3.4	4.0	4.2	3.7	13.2	11.0	2.0	11.5	46.4
1972	12.4	39.2	54.0	14.6	18.0		2.0	3.0	4.5	1.5	5.5	47.5	54.0
1973	22.9	70.0	30.2	22.8	18.0	20.4	2.7	6.0	7.3	7.7	1.5	12.5	70.0
1974	10.8	24.1	56.2	16.4	34.2	7.1	4.2	3.4	8.3	12.4	16.8	18.8	56.2
1975	13.9	23.4	13.6	19.4	8.7	14.1	9.4	11.3	3.2	18.4	7.5	11.9	23.4
1976	61.6	31.3	40.3	29.7	17.2	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	17.3	15.5	61.6
1977	30.5	39.1	22.4	3.0	5.2	5.1					7.6	14.0	39.1
1978	8.2	53.2	35.3	35.2	11.2	0.0	3.1	0.0	16.5	1.2	3.8		53.2
1979													
1980													
1981													
1982													71.7
1983													51.3
1984													28.2
1985													40.6
1986													36.6
1987													34.3
1988													64.2
1989													51.3
1990													43.6
1991													73.6
1992													
1993													50.5
1994													
1995													34.3
1996													38.7
1997													
1998													46.0
1999													
2000													
2001													62.1
2002													58.0
2003													34.2
2004													
2005													41.6
2006													
SUMA	372.5	515.4	519.1	472.0	286.9	115.0	52.3	47.6	96.7	128.3	106.0	240.2	825.4
PROM.	24.8	32.2	32.4	29.5	17.9	7.7	3.5	3.2	6.4	8.6	7.1	17.2	51.6

Fuente: CEDEGE , INAMHI

Tabla Nº 5 Precipitación máxima diaria Estación Bucay

LATITUD 02°08'15" S
 LONGITUD 79°11'46" O
 ALTITUD 480 m.s.n.m.

PRECIPITACIÓN
 MÁXIMA DIARIA
 EN mm

CONTROLADA POR
 ESTACIÓN BUCAY

INAMHI

AÑO	ENE	FEB.	MAR	ABR.	MAYO	JUN.	JUL.	AGO.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	MAX. DIARIA ANUAL
1964													
1965													
1966		107.0	224.2		10.3			6.5		6.3	4.2	7.4	224.2
1967	16.3	10.4	55.3				5.3	4.4	3.1				55.3
1968													
1969											5.2	19.0	19.0
1970	50.0	49.7	28.9	54.1	64.6	18.2	8.2	2.1	1.5	2.0	8.4	10.4	64.6
1971	79.9	64.4	124.2	52.3	47.0	13.7	12.0	1.3	3.2	4.9	6.5	52.6	124.2
1972	57.9	84.4	62.8	61.6	60.0	40.2	12.0		2.0	11.4	4.4	96.4	96.4
1973		121.3		52.2		17.4	2.3	3.5	10.8	6.0	2.5	15.8	121.3
1974	84.7	77.7	56.8	22.8	15.6	14.6	2.2	2.0	13.8	3.5	7.0	68.1	84.7
1975	37.3	98.6	123.5	68.6	55.2	14.0	5.9	9.3	3.2	15.0	6.5	35.0	123.5
1976	87.9	104.2	87.6	60.0	38.4	18.5	5.4	5.8	3.6	5.0	16.4	37.0	104.2
1977	80.6	124.4	65.0	36.0	25.4	10.2	5.0	1.0	8.8	2.4	4.1	43.4	124.4
1978	15.2	93.6	52.8	75.2	19.2	7.0	2.7	3.8	1.8	4.2	3.0	78.0	93.6
1979													
1980													
1981													
1982	42.7	50.0	63.8		10.8	2.1	2.7	2.0	6.6	7.7	81.6	100.5	100.5
1983	101.0	100.8	83.3	103.0	68.2	87.0	79.4	25.5	16.5	21.1	98.5	90.9	103.0
1984	31.6	92.8	110.3	100.0	37.9	15.4	2.1	3.3	11.7	3.8	14.4	12.2	110.3
1985	29.6	59.8	110.3	32.7	19.2	5.6	1.9	2.9	4.7	4.2	2.4	55.8	110.3
1986	67.9	116.3	68.1		11.0	5.2	3.1	3.5	8.5	5.5	8.4	57.8	116.3
1987	27.8	18.0	17.6	16.8	53.9	11.7	4.0	8.7	5.3	6.7	10.5	12.0	53.9
1988	102.2	62.4	25.2	31.1	83.3	9.9	11.5	2.4	1.9	3.9	17.3	25.0	102.2
1989	93.7	127.3	156.7	91.0	45.8	4.9	2.5	1.2	3.2	6.0	14.5	33.2	156.7
1990													
1991	55.8	125.3	97.2	32.7	20.4	7.3	2.4	4.8	2.1	6.4	13.0	81.0	125.3
1992	116.7		72.0		97.6	42.3	7.3		1.9	5.1	9.8	36.2	116.7
1993	116.4	114.6		87.2	40.4	11.9	49.8	3.0	3.4	6.2	4.1	71.8	116.4
1994	191.9	86.2	62.8	62.8	34.7	10.0	5.5	1.3	1.0	5.0	3.2	47.3	191.9
1995	100.9	72.6	55.1	130.8	45.8	5.8	15.6	13.6	4.1	2.6	41.8	63.6	130.8
1996	140.9	118.4	87.4	45.1	3.5	3.2	3.2	1.6	2.6	7.5	4.5	16.2	140.9
1997					110.3	74.6	59.2	57.6	153.7	98.2	153.6	105.4	153.7
1998													
1999													
2000													
2001													
2002													
2003													
2004													
2005													
2006													
SUMA	509.8	935.7	881.1	482.8	335.7	153.8	61.0	39.7	51.8	60.7	68.2	463.1	1235.4
PROM.	56.6	85.1	88.1	53.6	37.3	17.1	6.1	4.0	5.2	6.1	6.2	42.1	95.0

Fuente: CEDEGE , INAMHI

Tabla Nº 6 Precipitación máxima diaria Estación San Carlos

LATITUD 2°11'55" S
 LONGITUD 79°25'57" W
 ALTITUD

LLUVIA
 MAX DIARIA

CONTROLADA POR ESTACIÓN CUENCA
 CEDEGE SAN CARLOS (EL BATEY)

COD. M-218

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEPT	OCT	NOV	DIC	MAX. DIARIA ANUAL
1965													
1966	98.6	132.1	57.9	54.4	4.1	0.2	0.2	0.5	0.8	1.8	2.3	3.7	132.1
1967	100.7	111.0	38.3	17.6	1.3	2.2	0.4	0.2	1.9	1.4	0.5	1.6	111.0
1968	44.7	53.8	16.6	14.9	1.9	1.3	0.1	1.0	0.2	1.2	1.4	46.3	53.8
1969	45.8	77.2	93.7	80.3	85.0	6.3	11.6	0.5	1.1	3.2	17.3	32.2	93.7
1970	83.7	44.8	31.1	94.0	38.0	8.7	0.0	0.7	0.5	0.7	1.1	21.0	94.0
1971	42.3	21.9	72.5	32.5	8.0	7.0	0.5	0.6	2.0	1.4	1.6	10.0	72.5
1972	23.5	47.4	62.2	76.8	99.2	95.0	22.5	1.8	2.4	0.6	1.3	91.3	99.2
1973	98.6	45.4	241.5	73.3	64.5	2.0	0.8	0.4	4.2	1.2	2.0	6.7	241.5
1974	39.0	56.0	18.8	44.8	32.0	0.4	0.2	0.4	3.5	2.4	6.0	11.1	56.0
1975	82.0	107.8	125.0	90.1	2.2	11.0	1.8	3.7	0.3	9.5	1.2	1.6	125.0
1976	81.2	128.5	90.2	59.0	65.0	11.0		0.0		1.7	0.5	9.2	128.5
1977	37.0	89.0	85.0	35.4	0.7		0.0	0.6	17.5				89.0
1978			43.2	27.8	7.5	0.7	0.7	0.2	8.4	0.6	7.0	8.6	43.2
1979		32.1	51.3	61.5	10.0	0.0	0.2	0.3	0.3	0.7	0.8	0.5	61.5
1980	48.2	69.3	58.0	96.0	77.0	0.2	0.3	0.3	0.3	15.5	1.4	12.0	96.0
1981	190.0	63.4	71.3	39.5	2.7	0.2	1.2	1.2					190.0
1982		134.4			5.3	0.5	0.9	0.3	1.0	3.0	94.0	39.0	134.4
1983	307.0	61.3	99.0	77.7	76.0	136.3	54.5	21.0	39.8	4.0	1.8	36.5	307.0
1984	8.0	87.2		66.0	3.3	7.0	0.4	0.8	2.5	0.6	22.5	19.0	87.2
1985	39.7	10.0	67.0	35.0	4.2	7.8	1.1	0.5	2.0	0.5	0.5	21.0	67.0
1986	114.0	80.2	64.5	82.9	3.7	0.4	0.6	0.5	3.0	2.2	2.2	4.2	114.0
1987	103.4	170.2	120.0	64.8	22.7	2.1	0.5	13.4					170.2
1988													
1989					18.6	19.0				15.2	0.0	14.0	
1990													
1991	76.4	81.4	90.1	34.7	99.2	0.0	0.0	0.3	0.4	0.0	1.2	17.2	99.2
1992	78.7	56.4	93.0	102.9	72.1	18.3	5.7	1.2	0.0		4.9	4.6	102.9
1993	69.2	74.9					0.0	0.0	0.5	0.0	2.3	138.7	138.7
1994	78.4	97.2	62.5	75.1	114.8	1.8	1.5	0.0	0.0	2.0	0.0		114.8
1995	63.0	53.0	58.8	46.0	19.5	0.0	2.3	1.1	0.7	1.0	4.7	14.9	63.0
1996	34.2	72.1					1.7	1.3	0.4	0.4	0.4	19.3	72.1
1997	48.0	99.3	153.0	116.4	130.7	73.3	68.0	42.2	71.2	27.4	162.3	100.2	162.3
1998	95.1	280.5	78.2	130.9	122.3	116.9	30.1	0.5	0.5	2.5	0.3	106.9	280.5
1999	42.4	67.9	152.8	56.0	50.5	0.0	0.5	0.3	4.0	2.9			152.8
2000	44.0				68.6	7.2	0.6	0.1	5.1	0.8	1.0	4.2	68.6
2001													
2002													
2003	58.4	74.9	63.5	76.2	8.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.4	76.2
2004	43.1	76.2	78.7	63.5	25.4	4.3	0.0	0.0	1.5	5.3	0.5	4.0	78.7
2005	40.3	17.5	73.9	30.4	0.0	0.0							73.9
2006													
SUMA	1201.5	1426.0	1038.9	888.4	811.5	390.6	168.4	83.5	131.1	62.5	298.1	539.7	2085.1
PROM.	80.1	95.1	94.4	74.0	54.1	26.0	10.5	5.2	8.7	4.2	19.9	38.6	115.8

Fuente: CEDEGE , INAMHI

Las estaciones seleccionadas solo disponen de información pluviométrica, de precipitación máxima diaria, las que se presentan, en las **Tablas N° 4, N° 5 y N° 6**. Estas precipitaciones máximas diarias son afectadas por el factor 1,2 para convertirlas en precipitaciones máximas en 24 horas, conforme fue verificado en el método desarrollado en la referencia 1. El procedimiento desarrollado para generar estas curvas, con los datos disponibles, es el siguiente:

En primer lugar, determinar mediante una ley de distribución aplicable a valores extremos, las precipitaciones máximas en 24 horas para diferentes periodos de retorno. Luego, a los valores obtenidos, utilizando procedimientos descritos en la literatura especializada, se los distribuye en diferentes duraciones.

Por su amplia difusión y aplicación en el análisis de eventos extremos, se ha seleccionado, la distribución de Gumbel

$$F(x) = \int e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} dx$$

$$\alpha = \frac{1.2825}{\sigma}$$

$$\beta = \mu - 0.45\sigma$$

σ : Desviación estándar

μ : Media

α, β : Coeficientes que se derivan de la desviación estándar.

La aplicación de esta ley a las precipitaciones máximas en 24 horas, de las tres estaciones seleccionadas (determinadas a partir de las precipitaciones máximas diarias registradas), se presentan en las **Fig. N° 7, 8 y 9**, y las **Tablas N° 7, 8 y 9**.

TABLA No. 7 APLICACIÓN DISTRIBUCIÓN EXTREMA GUMBEL TIPO 1 (Estación San Carlos)

	P diaria	P.max. (1.2)	Prob.	μ	σ	α	β	Pmax	TR
		24 horas							
				138.9	73.6344	0.01742	105.735		
1	307.0	368.4	97.22						
2	280.5	336.6	94.44					42.7	1.052632
3	241.5	289.8	91.67					126.8	2
4	190.0	228.0	88.89					191.9	5
5	170.2	204.2	86.11					234.9	10
6	162.3	194.8	83.33					289.4	25
7	152.8	183.4	80.56					329.8	50
8	138.7	166.4	77.78					369.8	100
9	134.4	161.3	75.00					409.8	200
10	132.1	158.5	72.22					462.5	500
11	128.5	154.2	69.44					502.3	1000
12	125.0	150.0	66.67					27.4	1.020408
13	114.8	137.8	63.89						
14	114.0	136.8	61.11						
15	111.0	133.2	58.33						
16	102.9	123.5	55.56						
17	99.2	119.0	52.78						
18	99.2	119.0	50.00						
19	96.0	115.2	47.22						
20	94.0	112.8	44.44						
21	93.7	112.4	41.67						
22	89.0	106.8	38.89						
23	87.2	104.6	36.11						
24	78.7	94.4	33.33						
25	76.2	91.4	30.56						
26	73.9	88.7	27.78						
27	72.5	87.0	25.00						
28	72.1	86.5	22.22						
29	68.6	82.3	19.44						
30	67.0	80.4	16.67						
31	63	75.6	13.89						
32	61.5	73.8	11.11						
33	56.0	67.2	8.33						
34	53.8	64.6	5.56						
35	43.2	51.8	2.78						
36									

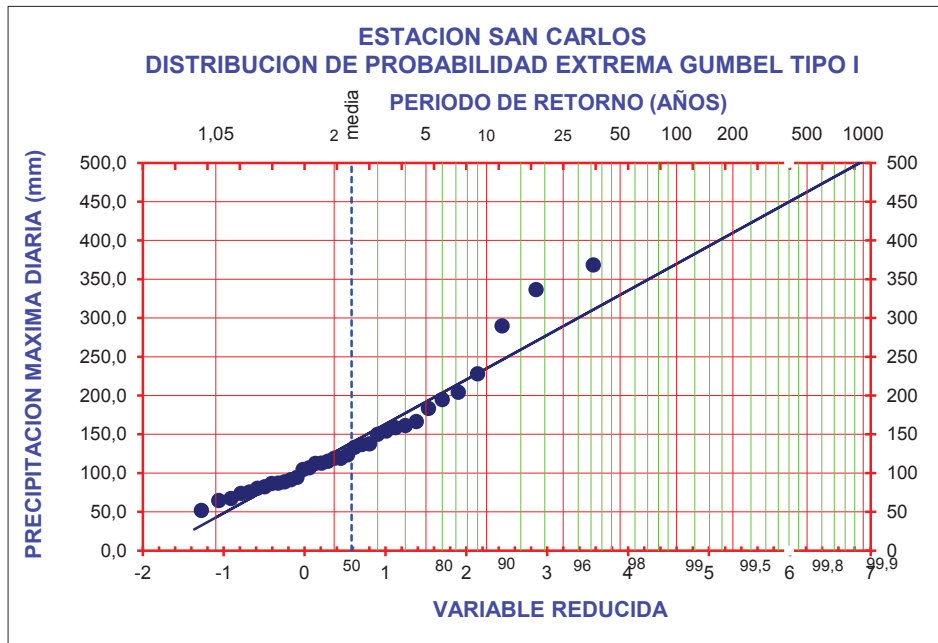


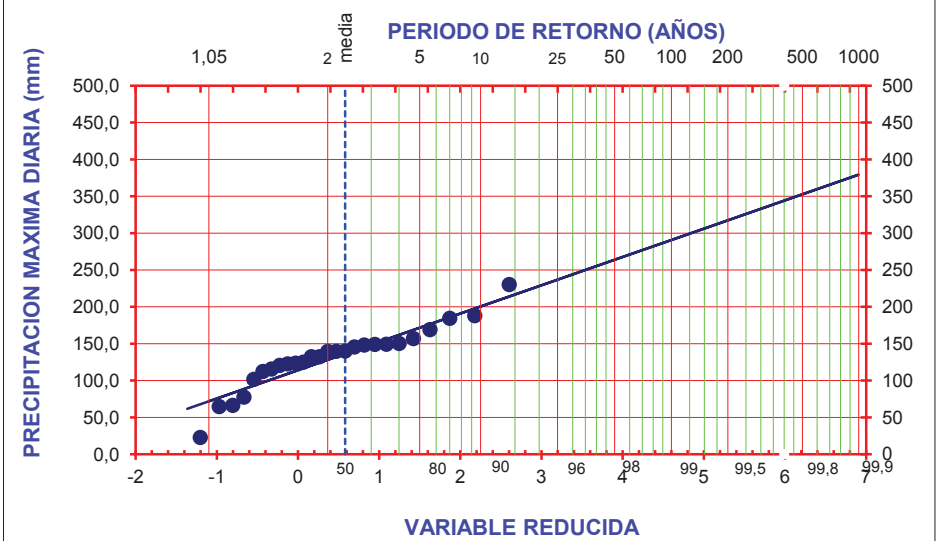
Fig. N° 7 Distribución Extrema Gumbel Tipo I. P_{MAX} Estación San Carlos

TABLA No. 8 APLICACIÓN DISTRIBUCIÓN EXTREMA GUMBEL TIPO 1 (Estación Bucay)

	P diaria	P.max. (1.2)	Prob.	μ	σ	α	β	Pmax	TR
		24 horas							
				136.2	49.2449	0.02604	114.028		
1	224.2	269.0	96.43					71.9	1.052632
2	191.9	230.3	92.86					128.1	2
3	156.7	188.0	89.29					171.6	5
4	153.7	184.4	85.71					200.4	10
5	140.9	169.1	82.14					236.8	25
6	130.8	157.0	78.57					263.8	50
7	125.3	150.4	75.00					290.7	100
8	124.4	149.3	71.43					317.4	200
9	124.2	149.0	67.86					352.6	500
10	123.5	148.2	64.29					379.2	1000
11	121.3	145.6	60.71					61.7	1.020408
12	116.7	140.0	57.14						
13	116.4	139.7	53.57						
14	116.3	139.6	50.00						
15	110.3	132.4	46.43						
16	110.3	132.4	42.86						
17	104.2	125.0	39.29						
18	103	123.6	35.71						
19	102.2	122.6	32.14						
20	100.5	120.6	28.57						
21	96.4	115.7	25.00						
22	93.6	112.3	21.43						
23	84.7	101.6	17.86						
24	64.6	77.5	14.29						
25	55.3	66.4	10.71						
26	53.9	64.7	7.14						
27	19	22.8	3.57						
28									
29									

ESTACION BUCAY
DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD EXTREMA GUMBEL TIPO I

PERIODO DE RETORNO (AÑOS)



VARIABLE REDUCIDA

Fig. N° 8 Distribución Extrema Gumbel Tipo I. P_{MAX} Estación Bucay

TABLA No.9 APLICACIÓN DISTRIBUCIÓN EXTREMA GUMBEL TIPO 1 (Estación Chillanes)

	P diaria	P.max. (1.2)	Prob.	μ	σ	α	β	P _{max}	TR
		24 horas							
				72.9	15.8734	0.0808	65.7277		
1	100.0	120.0	97.14					52.1	1.052632
2	73.6	88.3	94.29					70.3	2
3	71.7	86.0	91.43					84.3	5
4	71.3	85.6	88.57					93.6	10
5	70.0	84.0	85.71					105.3	25
6	67	80.4	82.86					114.0	50
7	64.2	77.0	80.00					122.7	100
8	62.1	74.5	77.14					131.3	200
9	61.6	73.9	74.29					142.6	500
10	58.0	69.6	71.43					151.2	1000
11	56.2	67.4	68.57					48.8	1.020408
12	54.0	64.8	65.71						
13	53.2	63.8	62.86						
14	51.3	61.6	60.00						
15	51.3	61.6	57.14						
16	50.5	60.6	54.29						
17	46.4	55.7	51.43						
18	46.0	55.2	48.57						
19	45.4	54.5	45.71						
20	43.6	52.3	42.86						
21	41.6	49.9	40.00						
22	40.6	48.7	37.14						
23	39.1	46.9	34.29						
24	38.7	46.4	31.43						
25	37.4	44.9	28.57						
26	37.4	44.9	25.71						
27	37.2	44.6	22.86						
28	36.6	43.9	20.00						
29	34.3	41.2	17.14						
30	34.3	41.2	14.29						
31	34.2	41.0	11.43						
32	28.2	33.8	8.57						
33	25.8	31.0	5.71						
34	23.4	28.1	2.86						
35									
36									

ESTACION CHILLANES
DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD EXTREMA GUMBEL TIPO I

PERIODO DE RETORNO (AÑOS)

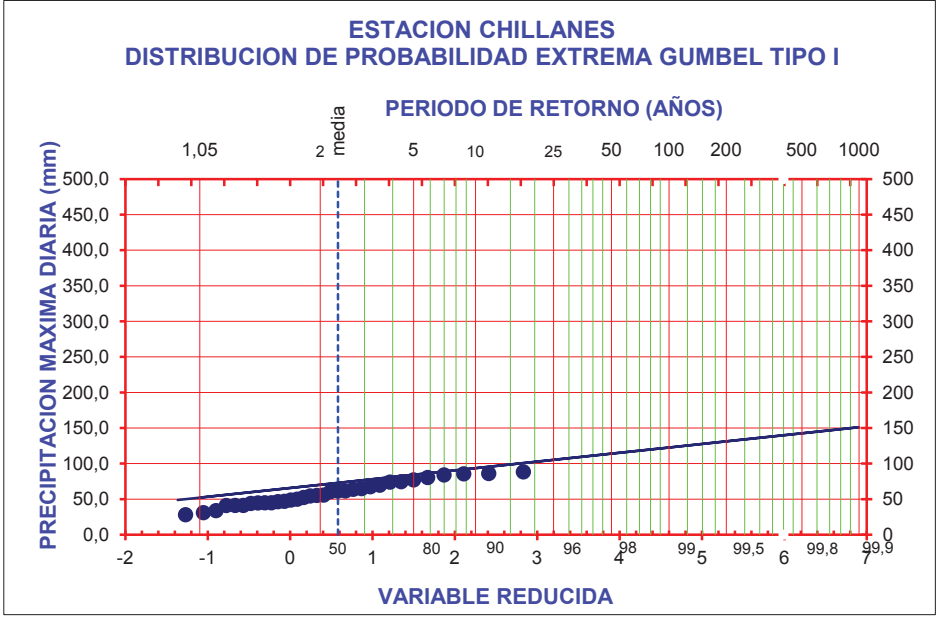


Fig. Nº 9 Distribución Extrema Gumbel Tipo I. P_{MAX} Estación Chillanes

La distribución de los valores obtenidos, para menores tiempos de duración de tormenta, se realizó utilizando los coeficientes determinados en la referencia 3, que se indican en las **Tablas Nº 10 y Nº 10a**. Observándose que los coeficientes la **Tablas Nº 10** están relacionados con la precipitación

máxima horaria, que es de 0.435 de la precipitación máxima en 24 horas y los de la **Tablas N° 10a**, con la precipitación máxima en 24 horas.

Estos mismos coeficientes, de las alturas de lluvia en diferentes duraciones con respecto a la altura de lluvia para una hora de duración, son utilizados para diferentes periodos de retorno. ⁽¹⁾

Tabla N° 10 Coeficientes relacionados con P_{MAX} 1 hora para cualquier tiempo de retorno	
DURACION (min)	RELACION
5	0.29
10	0.45
15	0.57
30	0.79
60	1.00
120	1.20

Tabla N° 10a Coeficientes relacionados con P_{MAX} 24 Horas para los diferentes periodos de retorno			
Tr (años)	DURACION (horas)		
	6	12	24
2	0.600	0.744	1.00
5	0.580	0.730	1.00
10	0.570	0.720	1.00
25	0.554	0.708	1.00
50	0.542	0.698	1.00
100	0.530	0.686	1.00

Los resultados de la aplicación de los coeficientes indicados a la precipitación máxima de 24 horas de las estaciones seleccionadas se muestran en las **Tablas N° 11, N° 12 y N° 13**,

TABLA N° 11 CALCULO DE LA CURVA INTENSIDAD - DURACIÓN - FRECUENCIA ESTACIÓN METEOROLÓGICA : SAN CARLOS

TR	PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN mm								
	AÑOS	5 min	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min	360 min	720 min
2	16.0	24.8	31.4	43.6	55.1	66.2	76.1	94.3	126.8
5	24.2	37.6	47.6	65.9	83.5	100.1	111.3	140.1	191.9
10	29.6	46.0	58.3	80.7	102.2	122.6	133.9	169.2	234.9
25	36.5	56.6	71.7	99.4	125.9	151.1	160.3	204.9	289.4
50	41.6	64.5	81.8	113.3	143.4	172.1	178.7	230.2	329.8
100	46.7	72.4	91.7	127.1	160.9	193.1	196.0	253.7	369.8

TR	INTENSIDADES MÁXIMAS EN mm/hora								
	AÑOS	MINUTOS							
	5	10	15	30	60	120	360	720	1440
2	191.9	148.9	125.7	87.1	55.1	33.1	12.7	7.9	5.3
5	290.4	225.3	190.3	131.9	83.5	50.1	18.5	11.7	8.0
10	355.6	275.9	233.0	161.5	102.2	61.3	22.3	14.1	9.8
25	438.0	339.9	287.0	198.9	125.9	75.5	26.7	17.1	12.1
50	499.2	387.3	327.1	226.6	143.4	86.1	29.8	19.2	13.7
100	559.9	434.4	366.8	254.2	160.9	96.5	32.7	21.1	15.4

**TABLA N° 12 CALCULO DE LA CURVA INTENSIDAD - DURACIÓN - FRECUENCIA
ESTACIÓN METEOROLÓGICA : BUCAY**

TR	PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN mm								
	AÑOS	5 min	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min	360 min	720 min
2	16.2	25.1	31.8	44.0	55.7	66.9	76.9	95.3	128.1
5	21.6	33.6	42.6	59.0	74.7	89.6	99.5	125.3	171.6
10	25.3	39.2	49.7	68.9	87.2	104.6	114.2	144.3	200.4
25	29.9	46.4	58.7	81.4	103.0	123.6	131.2	167.7	236.8
50	33.3	51.6	65.4	90.7	114.8	137.7	143.0	184.2	263.8
100	36.7	56.9	72.1	99.9	126.4	151.7	154.0	199.4	290.7

TR	INTENSIDADES MÁXIMAS EN mm/hora								
	AÑOS	MINUTOS							
	5	10	15	30	60	120	360	720	1440
2	193.9	150.5	127.1	88.0	55.7	33.4	12.8	7.9	5.3
5	259.8	201.6	170.2	118.0	74.7	44.8	16.6	10.4	7.2
10	303.4	235.4	198.8	137.8	87.2	52.3	19.0	12.0	8.4
25	358.5	278.2	234.9	162.8	103.0	61.8	21.9	14.0	9.9
50	399.4	309.9	261.7	181.3	114.8	68.9	23.8	15.3	11.0
100	440.0	341.4	288.3	199.8	126.4	75.9	25.7	16.6	12.1

**TABLA N° 13 CALCULO DE LA CURVA INTENSIDAD - DURACIÓN - FRECUENCIA
ESTACIÓN METEOROLÓGICA : CHILLANES**

TR	PRECIPITACIONES MÁXIMAS EN mm								
	AÑOS	5 min	10 min	15 min	30 min	60 min	120 min	360 min	720 min
2	8.9	13.8	17.4	24.1	30.6	36.7	42.2	52.3	70.3
5	10.6	16.5	20.9	29.0	36.7	44.0	48.9	61.5	84.3
10	11.8	18.3	23.2	32.2	40.7	48.8	53.3	67.4	93.6
25	13.3	20.6	26.1	36.2	45.8	55.0	58.3	74.6	105.3
50	14.4	22.3	28.3	39.2	49.6	59.5	61.8	79.6	114.0
100	15.5	24.0	30.4	42.2	53.4	64.0	65.0	84.1	122.7

TR	INTENSIDADES MÁXIMAS EN mm/hora								
	AÑOS	MINUTOS							
	5	10	15	30	60	120	360	720	1440
2	106.4	82.5	69.7	48.3	30.6	18.3	7.0	4.4	2.9
5	127.6	99.0	83.6	57.9	36.7	22.0	8.1	5.1	3.5
10	141.7	109.9	92.8	64.3	40.7	24.4	8.9	5.6	3.9
25	159.4	123.7	104.5	72.4	45.8	27.5	9.7	6.2	4.4
50	172.6	133.9	113.1	78.4	49.6	29.8	10.3	6.6	4.8
100	185.7	144.1	121.7	84.3	53.4	32.0	10.8	7.0	5.1

A partir de los valores calculados se obtuvieron las curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia usando el modelo de ajuste $I = at^b$ presentadas en las Fig. N° 10, 11 y 12. Con sus respectivas ecuaciones para los diferentes periodos de retorno.

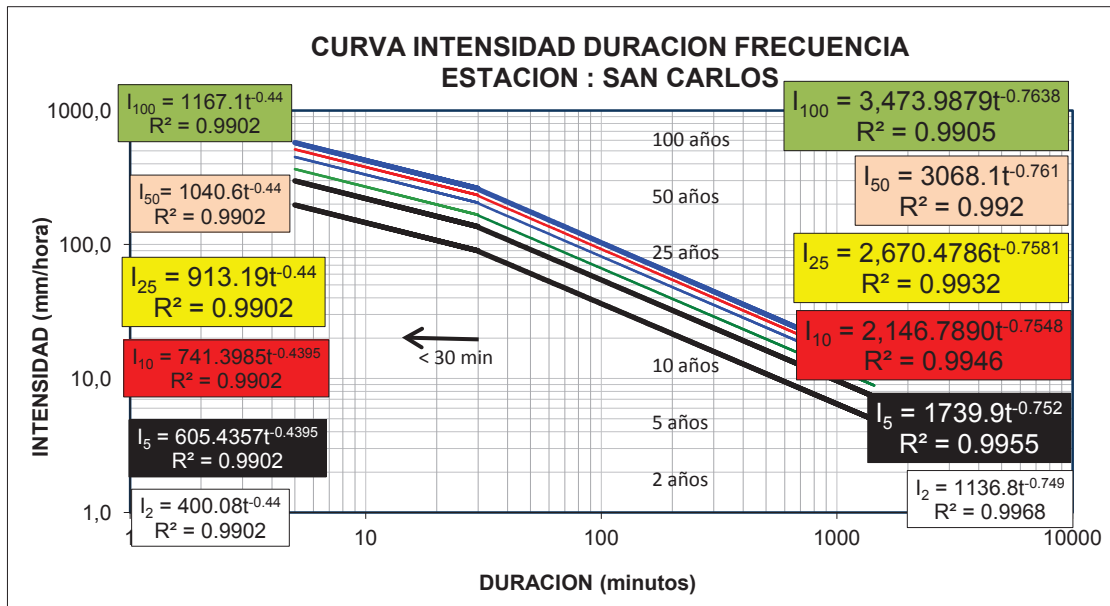


Fig. N° 10 Curva Intensidad-Duración-Frecuencia. Estación San Carlos

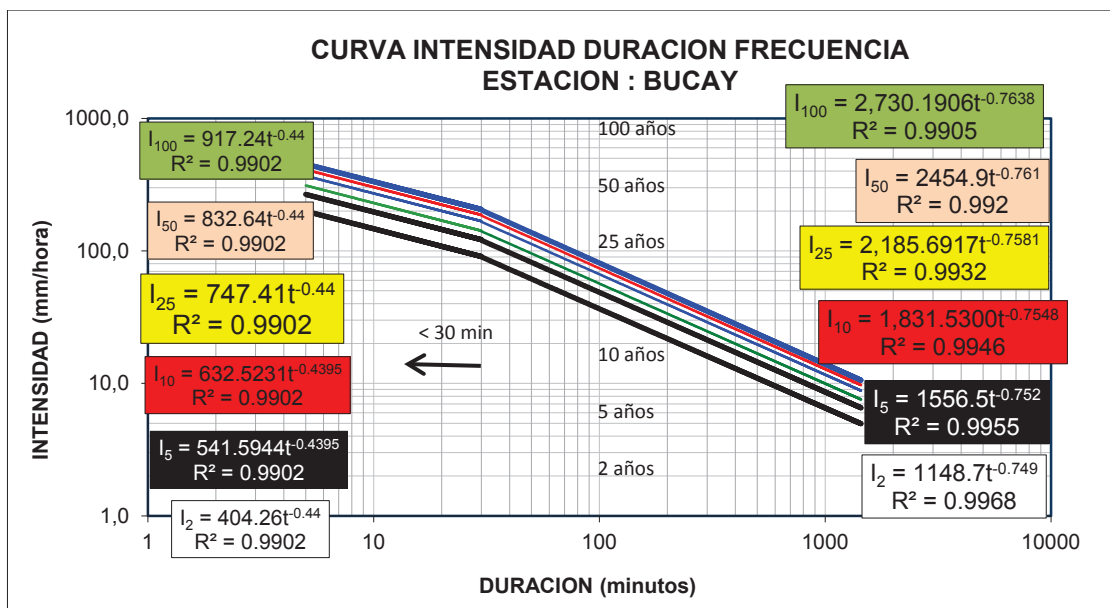


Fig. N° 11 Curva Intensidad-Duración-Frecuencia. Estación Bucay

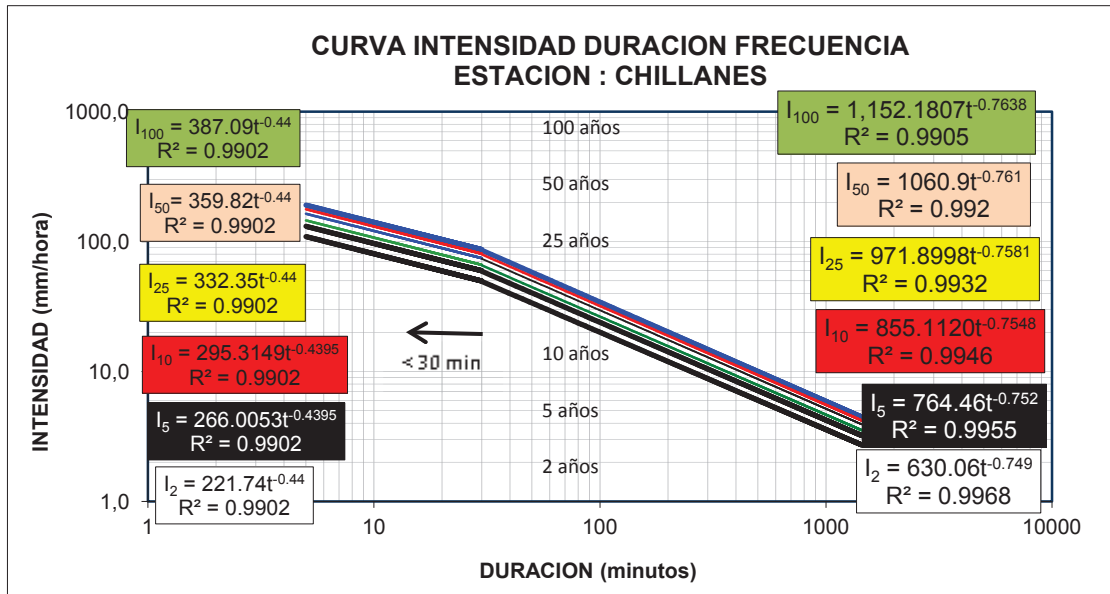


Fig. N° 12 Curva Intensidad-Duración-Frecuencia. Estación Chillanes

Una vez obtenidas las curvas IDF para cada período de retorno, se calcularon las intensidades para diferentes duraciones de tormenta, las mismas que se transformaron en alturas de lluvia con las cuales, se procede a generar el Hietograma para cada una de las estaciones, utilizando el método de bloques alternos, descrito en el numeral 4.1.1.2.1

Las Fig. N° 13, N° 14 y N° 15, presentan los Hietogramas de lluvia generados a partir de las curvas IDF correspondientes a las Estaciones: San Carlos (El Batey), Bucay y Chillanes. Los valores de los Hietogramas se presentan en la Tabla N° 14.

Tabla N° 14 Hietograma de las estaciones seleccionadas para diferentes periodos de retorno

ESTACIÓN SAN CARLOS							ESTACIÓN BUCAY							ESTACIÓN CHILLANES						
PERIODO DE RETORNO (AÑOS)							PERIODO DE RETORNO (AÑOS)							PERIODO DE RETORNO (AÑOS)						
	100	50.0	25	10	5	2		100	50.0	25	10	5	2		100	50.0	25	10	5	2
1	3.34	3.04	2.74	2.28	1.91	1.29	1	2.62	2.43	2.24	1.95	1.71	1.30	1	1.11	1.05	1.00	0.91	0.84	0.72
2	3.58	3.27	2.94	2.45	2.05	1.38	2	2.81	2.61	2.40	2.09	1.83	1.40	2	1.19	1.13	1.07	0.98	0.90	0.77
3	3.87	3.53	3.17	2.65	2.21	1.49	3	3.04	2.82	2.60	2.26	1.98	1.51	3	1.28	1.22	1.16	1.05	0.97	0.83
4	4.23	3.85	3.46	2.89	2.41	1.63	4	3.32	3.08	2.83	2.46	2.16	1.65	4	1.40	1.33	1.26	1.15	1.06	0.90
5	4.67	4.25	3.82	3.18	2.66	1.79	5	3.67	3.40	3.13	2.71	2.38	1.81	5	1.55	1.47	1.39	1.27	1.17	0.99
6	5.23	4.76	4.27	3.56	2.97	2.00	6	4.11	3.81	3.50	3.04	2.66	2.03	6	1.73	1.65	1.56	1.42	1.31	1.11
7	5.97	5.43	4.88	4.06	3.39	2.28	7	4.69	4.35	3.99	3.46	3.03	2.31	7	1.98	1.88	1.78	1.62	1.49	1.27
8	7.02	6.38	5.73	4.76	3.97	2.68	8	5.52	5.11	4.69	4.06	3.55	2.71	8	2.33	2.21	2.08	1.90	1.75	1.48
9	8.62	7.84	7.02	5.84	4.86	3.27	9	6.78	6.27	5.75	4.98	4.35	3.31	9	2.86	2.71	2.56	2.32	2.14	1.82
10	11.44	10.38	9.29	7.71	6.42	4.32	10	8.99	8.31	7.61	6.58	5.75	4.36	10	3.79	3.59	3.38	3.07	2.82	2.39
11	18.03	16.34	14.60	12.10	10.06	6.75	11	14.17	13.07	11.95	10.32	9.00	6.82	11	5.98	5.65	5.31	4.82	4.42	3.74
12	152.29	136.05	119.83	97.64	80.05	52.91	12	119.69	108.86	98.08	83.30	71.61	53.50	12	50.51	47.04	43.61	38.89	35.17	29.35
13	27.09	24.51	21.88	18.09	15.01	10.05	13	21.29	19.61	17.90	15.43	13.43	10.17	13	8.98	8.48	7.96	7.21	6.60	5.58
14	13.88	12.59	11.27	9.34	7.77	5.22	14	10.91	10.07	9.22	7.97	6.95	5.28	14	4.60	4.35	4.10	3.72	3.42	2.90
15	9.80	8.90	7.98	6.62	5.52	3.71	15	7.70	7.12	6.53	5.65	4.94	3.75	15	3.25	3.08	2.90	2.64	2.42	2.06
16	7.73	7.02	6.30	5.24	4.37	2.94	16	6.07	5.62	5.16	4.47	3.91	2.97	16	2.56	2.43	2.29	2.09	1.92	1.63
17	6.45	5.87	5.26	4.38	3.65	2.46	17	5.07	4.69	4.31	3.74	3.27	2.49	17	2.14	2.03	1.92	1.74	1.61	1.37
18	5.57	5.07	4.55	3.79	3.16	2.13	18	4.38	4.06	3.73	3.23	2.83	2.16	18	1.85	1.75	1.66	1.51	1.39	1.18
19	4.93	4.49	4.03	3.36	2.80	1.89	19	3.87	3.59	3.30	2.87	2.51	1.91	19	1.63	1.55	1.47	1.34	1.23	1.05
20	4.43	4.04	3.63	3.03	2.53	1.71	20	3.49	3.23	2.97	2.58	2.26	1.72	20	1.47	1.40	1.32	1.21	1.11	0.95
21	4.04	3.68	3.31	2.76	2.31	1.56	21	3.18	2.95	2.71	2.36	2.06	1.57	21	1.34	1.27	1.20	1.10	1.01	0.86
22	3.72	3.39	3.05	2.54	2.13	1.44	22	2.92	2.71	2.50	2.17	1.90	1.45	22	1.23	1.17	1.11	1.01	0.93	0.80
23	3.45	3.15	2.83	2.36	1.98	1.33	23	2.71	2.52	2.32	2.02	1.77	1.35	23	1.15	1.09	1.03	0.94	0.87	0.74
24	3.23	2.94	2.65	2.21	1.85	1.25	24	2.54	2.35	2.17	1.89	1.65	1.26	24	1.07	1.02	0.96	0.88	0.81	0.69

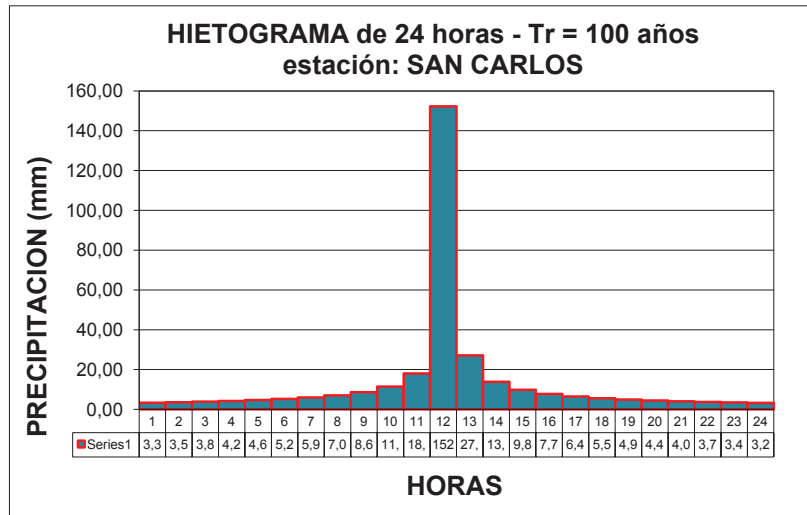


Fig. N° 13 Hietograma – Estación San Carlos

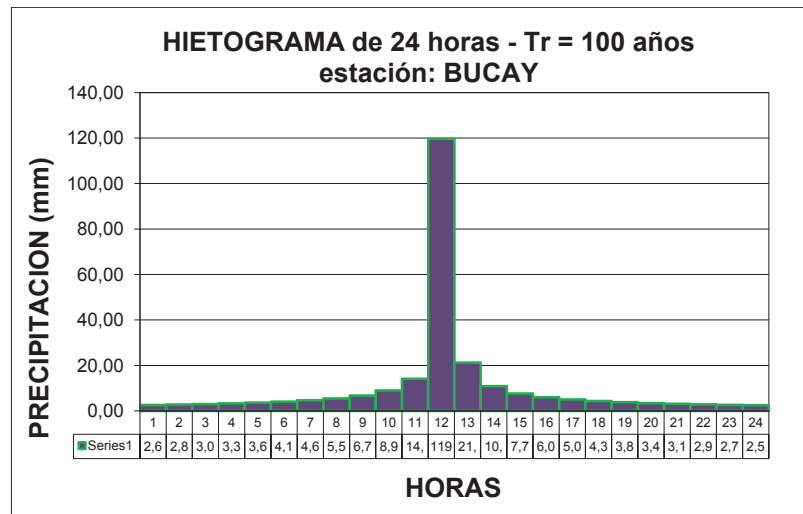


Fig. N° 14 Hietograma – Estación Bucay

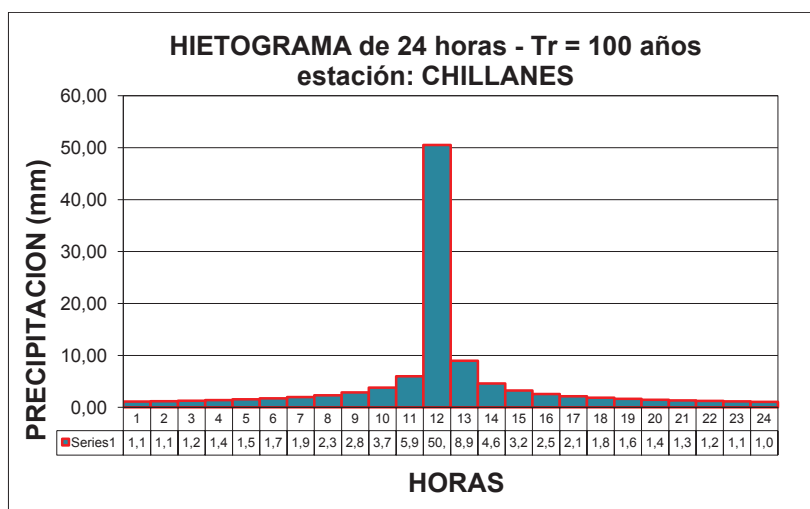


Fig. N° 15 Hietograma – Estación Chillanes

4.2. Selección de la frecuencia de diseño

Ven Te Chow, en su libro. “Hidrología Aplicada”, presenta una tabla que describe los diferentes tipos de obras hidráulicas y los diferentes periodos de retorno que se deberían aplicar para su diseño.

El país, afectado periódicamente por el Fenómeno El Niño, está sujeto a periodos de intensas lluvias, tales como las ocurridas en los años 1982-1983 y 1997-1998, las cuales sobrepasaron las precipitaciones estimadas para los periodos de retorno de 25 y 50 años.

En tales circunstancias, considerando la importancia de esta estructura y para su óptima funcionalidad en el futuro, se escoge un tiempo de retorno de 100 años.

Tipo de estructura	Periodo de retorno (años)	ELV
Alcantarillas de carreteras		
Volúmenes de tráfico bajos	5-10	-
Volúmenes de tráfico intermedios	10-25	-
Volúmenes de tráfico altos	50-100	-
→ Puentes de carreteras		
Sistema secundario	10-50	-
Sistema primario	50-100	-
Drenaje agrícola		
Culverts	5-50	-
Surcos	5-50	-
Drenaje urbano		
Alcantarillas en ciudades pequeñas	2-25	-
Alcantarillas en ciudades grandes	25-50	-
Aeropuertos		
Volúmenes bajos	5-10	-
Volúmenes intermedios	10-25	-
Volúmenes altos	50-100	-
Diques		
En fincas	2-50	-
Alrededor de ciudades	50-200	-
Presas con poca probabilidad de pérdidas de vidas (baja amenaza)		
Presas pequeñas	50-100	-
Presas intermedias	100+	-
Presas grandes	-	50-100%

Criterios de diseño para estructuras hidráulicas (Tomado de Hidrología Aplicada, Ven Te Chow)

4.3. Comparación de resultados y selección del Hietograma

Una vez realizadas las comparaciones entre los Hietogramas de la regionalización del INAMHI con los Hietogramas obtenidos de los datos de precipitaciones máxima diarias de las Estaciones San Carlos (El Batey), Bucay

y Chillanes, se concluyó que clasificar las subcuencas según su estación más influyente, permite realizar una mejor simulación de las condiciones reales de la cuenca.

CAPÍTULO 5

SIMULACIÓN HIDROLÓGICA

5. SIMULACIÓN HIDROLÓGICA

Ante la ausencia de información hidrométrica en la zona del proyecto, que permita realizar un análisis de las series históricas de caudales y predecir los caudales probables asociados a diferentes períodos de retorno que presentaría el cauce principal del Río Los Amarillos, fue necesario realizar el análisis del proceso mediante un modelo lluvia-escorrentía, para lo cual se seleccionó el modelo hidrológico HEC-HMS del U.S. Army Corps of Engineering. Este es un programa de simulación hidrológica tipo evento, lineal y semi-distribuido, desarrollado para estimar los hidrogramas de salida en una cuenca o varias subcuencas (caudales máximos y tiempos al pico) a partir de condiciones extremas de lluvias, aplicando para ello algunos de los métodos de cálculo de Hietogramas de diseño, pérdidas por infiltración, flujo base y conversión en escorrentía directa, que ha alcanzado gran aceptación en el ámbito de la hidrología.

La aplicación del modelo comprende dos etapas básicas, la primera corresponde al componente hidrológico y la segunda a la aplicación del modelo propiamente dicha.

5.1. Componente hidrológico

Para la realización del estudio hidrológico, se obtuvo la información que se esquematiza en la **Fig. N° 16**, la misma que consiste en lo siguiente:

- Características fisiográficas de la cuenca
- Número de curva de escorrentía (CN)
- Tiempo de concentración (t_c)
- Tiempo de retardo (t_L)
- Análisis de frecuencia de eventos de lluvia máxima en 24 horas
- Selección de periodos de retorno
- Parámetros K y X para tránsito de caudales
- Modelo de cuenca.

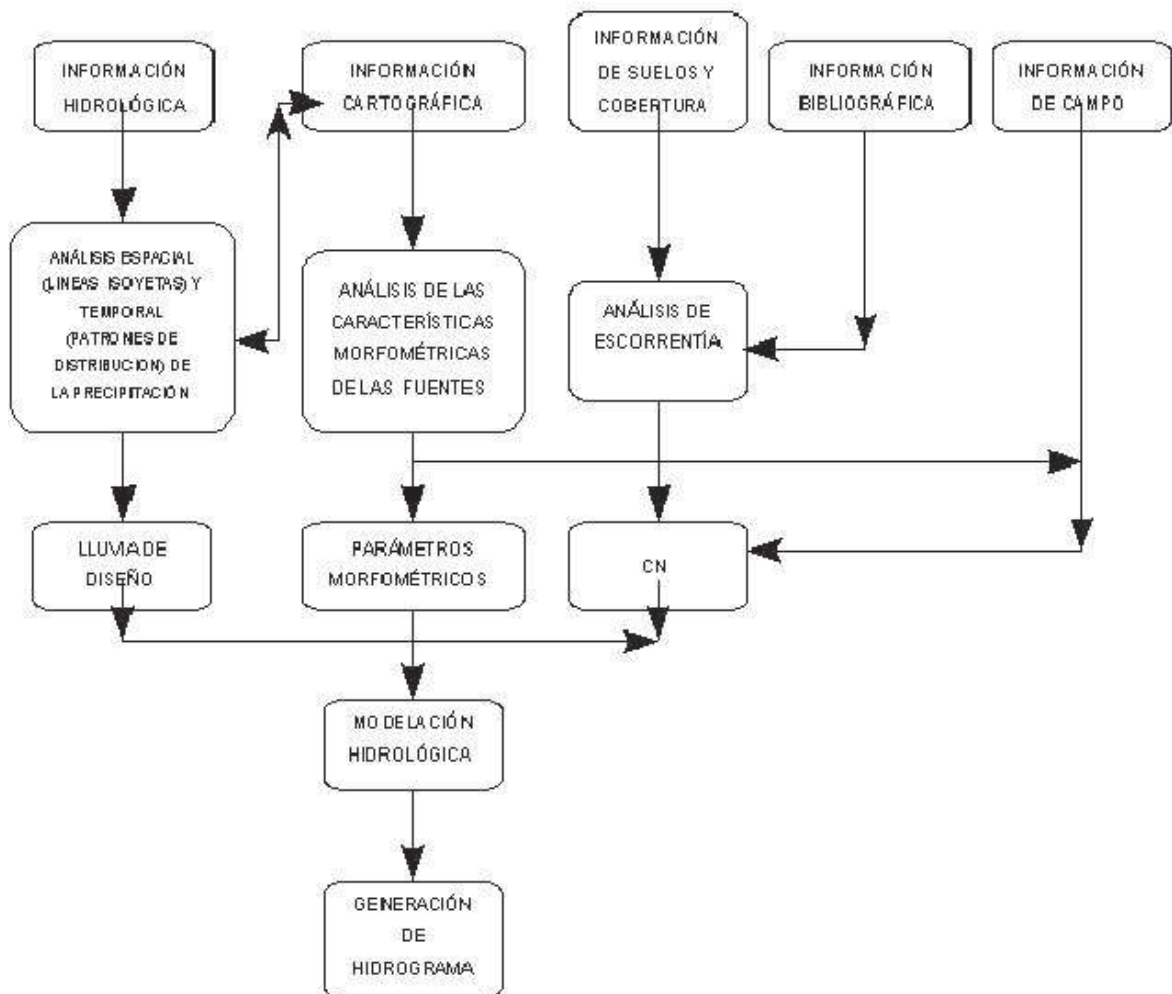


Fig. N° 16 Diagrama de Aplicación de la información para HEC HMS

Características fisiográficas de la cuenca.

Para la aplicación del modelo se requiere conocer las características fisiográficas de las subcuencas que fueron detalladas en el numeral 3.

Número de curva de escorrentía (CN)

La selección del valor de CN depende fundamentalmente de las características de la cuenca de drenaje, como son: la condición antecedente de humedad del suelo (CAH), uso de la tierra o cubierta y condiciones del suelo (grupo hidrológico). Conforme se detalla en la **Fig. N° 17**, tomada del libro de “Hidrología Aplicada” de Ven Te Chow.

Números de curva de escorrentía para usos selectos de tierra agrícola, sub-urbana y urbana (condiciones antecedentes de humedad II, $I_a = 0.2S$)

Descripción del uso de la tierra	Grupo hidrológico del suelo			
	A	B	C	D
Tierra cultivada ¹ : sin tratamientos de conservación con tratamientos de conservación	72 62	81 71	88 78	91 81
Pastizales: condiciones pobres condiciones óptimas	68 39	79 61	86 74	89 80
Vegas de ríos: condiciones óptimas	30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas, cubierta buena ²	45 25	66 55	77 70	83 77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc. óptimas: cubierta de pasto en el 75% o más condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%	39 49	61 69	74 79	80 84
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)	89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)	81	88	91	93
Residencial ³ :				
Tamaño promedio del lote Porcentaje promedio impermeable ⁴				
1/8 acre o menos 65	77	85	90	92
1/4 acre 38	61	75	83	87
1/3 acre 30	57	72	81	86
1/2 acre 25	54	70	80	85
1 acre 20	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc. ⁵	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y alcantarillados ⁵	98	98	98	98
grava	76	85	89	91
tierra	72	82	87	89

1 Para una descripción más detallada de los números de curva para usos agrícolas de la tierra, remitirse a Soil Conservation Service, 1972, Cap. 9

2 Una buena cubierta está protegida del pastizaje, y los desechos del retiro de la cubierta del suelo.

3 Los números de curva se calculan suponiendo que la escorrentía desde las casas y de los accesos se dirige hacia la calle, con un mínimo del agua del techo dirigida hacia el césped donde puede ocurrir infiltración adicional.

4 Las áreas permeables restantes (césped) se consideran como pastizales en buena condición para estos números de curva.

5 En algunos países con climas más cálidos se puede utilizar 95 como número de curva.

Fig. N° 17 Tabla Numero de Curva (CN) USDA (antes SCS) 1/2

Codificación de los grupos hidrológicos del suelo

Grupo Hidrológico	Descripción	Cod.
A	Suelos profundos muy permeables, incluso saturados, con tanto por ciento elevado de arenas o gravas y con poco o nada de limo y arcillas.	3
B	Suelos de permeabilidad moderada cuando ya están saturados, franco-arenosos, menos profundos que los del grupo A.	5
C	Suelos poco permeables cuando ya están saturados, franco-arcilloso o que presentan algún estrato impermeable que hace difícil la infiltración.	7
D	Suelos con gran impermeabilidad, arcillosos, profundos o que poseen un subsuelo muy impermeable.	11

Fig. N° 17 Tabla Numero de Curva (CN) USDA (antes SCS) 2/2

Los CN característicos de las subcuencas y que se utilizaron en el modelo, se los obtuvo en forma ponderada, considerando 2 regiones en las cuencas, una desde Bucay hacia arriba y la otra parte baja desde Bucay hasta Santo Domingo.

El número de curva ponderado se lo obtuvo mediante la siguiente fórmula:

$$CN = \frac{\sum (CN_i \times A_i)}{\sum A_i}$$

Donde

CN_i : Numero de curva parcial para tipo de suelo

A_i : Área parcial

$\sum A$: Área total de la cuenca

En la **Tabla N° 15**, se presenta el procedimiento de cálculo para cada una de las regiones, observando que para la parte alta el CN es 74 y para la parte baja es 70.

Tabla N° 15 Numero de Curva Ponderado

ZONA ALTA							
CUENCAS 12 HASTA 26		GRUPO HIDROLOGICO				PROMEDIO	C PONDERADO
		A	B	C	D		
Bosques cubierta buena	40.0%	45	66	77	83	71.50	28.60
Tierra cultivada	60.0%	62	71	78	81	74.50	44.70
	100.0%						74.00
ZONA BAJA							
CUENCAS DESDE LA 1 HASTA 12							
Tierra cultivada	27.0%	62	71	78	81	74.50	20.12
Zona Herbácea	33.0%		62	74	85	68.00	22.44
Pastizales	40.0%	39	61	74	80	67.50	27.00
	100.0%						70.00

Tiempo de concentración (t_c)

Este es otro parámetro que se requiere para la aplicación del modelo y es el tiempo a partir del cual toda la cuenca contribuye al escurrimiento en un punto de interés dentro del cauce. Para estimar el tiempo de concentración en una cuenca existen diferentes fórmulas de cálculo, entre ellas la California Culverts Practice (1942) que se deriva de la formula desarrollada por Kirpich (1940), Izzard (1946), Federal Aviation Administration (1970) etc.

La fórmula de California Culverts Practice (1942) se la seleccionó por haber sido desarrollada para cuencas pequeñas y pendientes moderadas como la del estudio. La expresión matemática de la fórmula es:

$$T_c = 0.0195 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$$

Donde

T_c = Tiempo de concentración, en minutos

L = Longitud del cauce principal, en m.

H = Desnivel, en m.

En el **Apéndice 2** se presentan los cálculos de los tiempos de concentración

Tiempo de retardo (t_L)

En el análisis de hidrogramas de escurrimiento, el retardo es el tiempo medido desde el centro de masa de la lluvia efectiva hasta el caudal máximo del Hidrograma de escurrimiento. El Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, con base en el estudio de muchos eventos de lluvia para un amplio rango de condiciones en cuencas hidrográficas, recomienda la siguiente relación empírica para calcular el tiempo de retardo en función del tiempo de concentración:

$$t_L = 0.60 t_c$$

Esta relación se aplica para una condición natural promedia y una distribución de escurrimiento aproximadamente uniforme sobre la cuenca.

Análisis de frecuencia de eventos de lluvia máxima en 24 horas

Esta actividad se realizó a partir de la información de las lluvias máximas en 24 horas de las series de tiempo anuales para una red de 3 estaciones localizadas en la zona de influencia del proyecto, tal como se explicó de manera más detallada en el numeral 4.1.2.3

Selección de periodos de retorno

Como previamente se estableció en el numeral 4.2 se estableció un periodo de retorno de 100 años.

Parámetros K y X para tránsito de caudales

Para considerar el tránsito de caudales a lo largo del cauce (método de propagación de hidrogramas), se aplica el método de Muskingum, el cual considera los parámetros K y X. El parámetro K es el tiempo de tránsito de la onda de creciente a través de un tramo considerado y se puede estimar mediante la siguiente expresión:

$$K=0.5T_c$$

En donde:

T_c es el tiempo de concentración por el cauce principal de la subcuenca (tiempo de viaje a través del tramo).

El Valor de X depende de la forma de almacenamiento por cuña modelado, puede considerarse una constante que, en teoría, puede estar entre 0 y 0.50, pero normalmente su valor oscila entre 0.20 – 0.30.

En este caso se seleccionó un valor de 0.20 para el valor de X , en razón a las características de pendiente y de caudal, propias del cauce.

Modelo de cuenca.

La información para definir este modelo se encuentra en el numeral 3. Luego se procede al ingreso de los parámetros que corresponden a los tramos de corrientes, que en el presente estudio, son utilizados para la aplicación del método de tránsito de Muskingum Standard. La **Fig. N° 18** ilustra la esquematización realizada. También Incluye las subcuencas y los tramos de tránsito de caudales.

El cuadro de resumen de los datos obtenidos del Componente Hidrológico, necesarios para la simulación, se presenta en la **Tabla N° 16**.

Tabla Nº 16 Cuadro de resumen de los datos de entrada para HEC HMS (1/2)

TRAMO		L (Km)	t _c (horas)	t _c (horas)	K	X
INICIO	FIN	Km	parcial	acum.	0.5	0.2
A	FINAL	61.180	25.655	29.400	12.828	0.200
A	FINAL	61.180	25.655	27.803	12.828	0.200
B	A	1.650	1.205	2.147	0.602	0.200
C	B	3.589	0.942	0.942	0.471	0.200
D	A	8.033	1.923	3.744	0.961	0.200
E	D	0.793	0.229	1.821	0.114	0.200
F	E	0.549	0.114	1.593	0.057	0.200
G	F	0.874	0.192	1.479	0.096	0.200
H	G	0.366	0.072	1.286	0.036	0.200
I	H	0.364	0.080	1.215	0.040	0.200
J	I	0.171	0.039	1.135	0.019	0.200
K	J	0.941	0.194	1.096	0.097	0.200
L	K	0.465	0.104	0.903	0.052	0.200
M	L	0.580	0.096	0.798	0.048	0.200
N	M	0.552	0.106	0.702	0.053	0.200
O	N	1.408	0.258	0.596	0.129	0.200
P	O	1.535	0.276	0.339	0.138	0.200
Q	P	0.369	0.063	0.063	0.032	0.200

Tabla Nº 16 Cuadro de resumen de los datos de entrada para HEC HMS (2/2)

Cuenca	Superficie (Km ²)	Perímetro (Km)	Kc	CN	Tc (horas)	TL (horas) 0.6 Tc	Pend. Med. (m/m)	Desnivel (m)	Longitud (Km)
1	88.739	84.52	2.53	70.000	25.655	15.393	0.002	126.81	61.180
2	6.364	20.20	2.26	70.000	2.016	1.209	0.046	400.24	8.611
3	0.602	4.16	1.51	70.000	0.523	0.314	0.013	22.06	1.650
4	4.388	10.52	1.42	70.000	0.942	0.565	0.030	107.93	3.589
5	2.928	9.13	1.50	70.000	1.205	0.723	0.030	139.18	4.690
6	5.714	12.80	1.51	70.000	1.068	0.641	0.113	669.61	5.923
7	0.847	6.00	1.84	70.000	0.435	0.261	0.092	208.63	2.261
8	1.463	5.49	1.28	70.000	0.214	0.129	0.360	598.03	1.663
9	2.743	8.19	1.39	70.000	0.350	0.210	0.239	567.40	2.372
10	1.380	5.27	1.27	70.000	0.243	0.146	0.276	464.65	1.683
11	2.201	7.64	1.45	70.000	0.375	0.225	0.260	717.38	2.755
12	1.031	5.98	1.66	70.000	0.249	0.150	0.331	623.02	1.880
13	0.668	4.79	1.65	70.000	0.118	0.071	0.330	270.73	0.819
14	2.105	6.38	1.24	74.000	0.248	0.149	0.275	472.97	1.720
15	1.517	5.76	1.32	74.000	0.232	0.139	0.330	610.82	1.852
16	3.239	8.54	1.34	74.000	0.326	0.196	0.338	805.34	2.381
17	1.368	5.31	1.28	74.000	0.274	0.165	0.339	723.18	2.136
18	1.980	6.91	1.38	74.000	0.239	0.143	0.336	615.99	1.834
19	1.332	6.41	1.57	74.000	0.228	0.137	0.305	481.73	1.579
20	2.739	7.47	1.27	74.000	0.316	0.190	0.325	788.35	2.428
21	3.347	8.60	1.33	74.000	0.306	0.183	0.246	558.58	2.266
22	2.345	6.78	1.25	74.000	0.185	0.111	0.371	525.30	1.414
23	3.779	8.82	1.28	74.000	0.359	0.215	0.262	710.20	2.715
24	1.011	4.27	1.20	74.000	0.161	0.097	0.387	467.88	1.209
25	1.780	6.96	1.47	74.000	0.199	0.120	0.388	641.13	1.651
26	2.597	7.53	1.32	74.000	0.300	0.180	0.172	319.43	1.860
TOTAL	148.206								

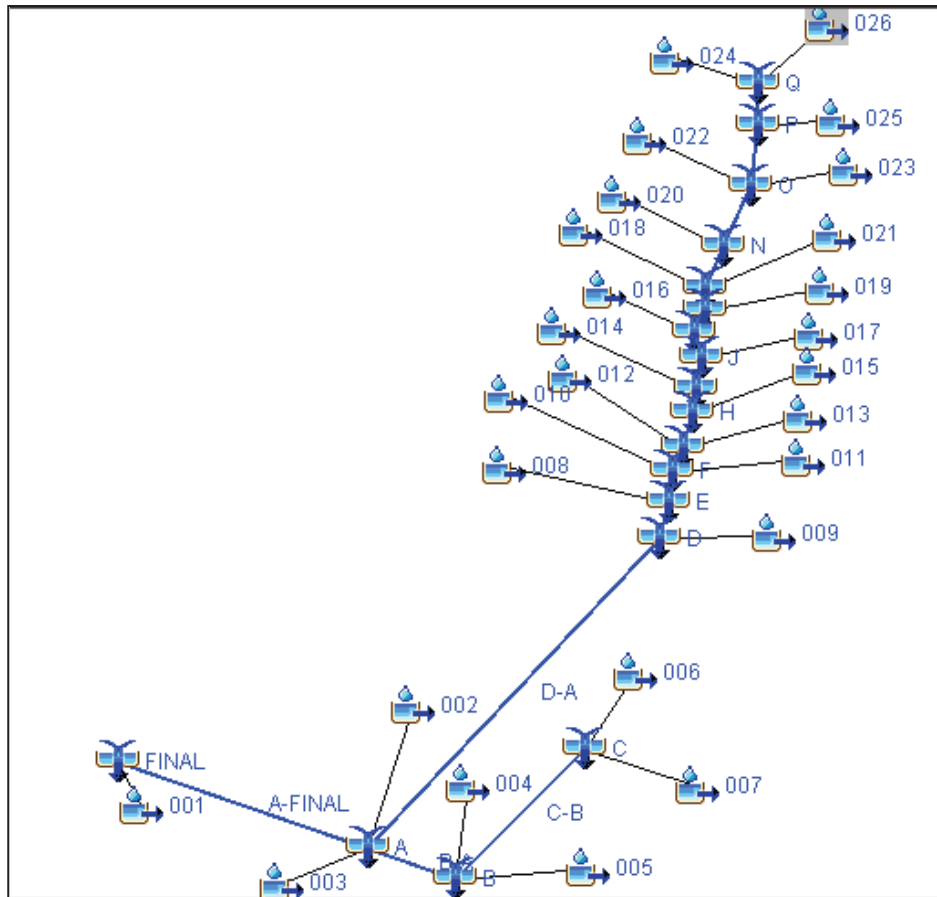


Fig. N° 18 Esquematación modelación Hidrológica

La Fig. N° 19, presenta la interfaz grafica del programa en el cual, se ingresan los datos requeridos por el modelo de cuenca que se encuentran en la **Tabla N° 16**. Como método de generación de hidrogramas para cada subcuenca, se utilizó el Hidrograma Unitario Sintético de Clark debido a su aplicabilidad en el modelo y como pérdida se utilizó, como se mencionó en el numeral anterior, el Número de Curva (CN)

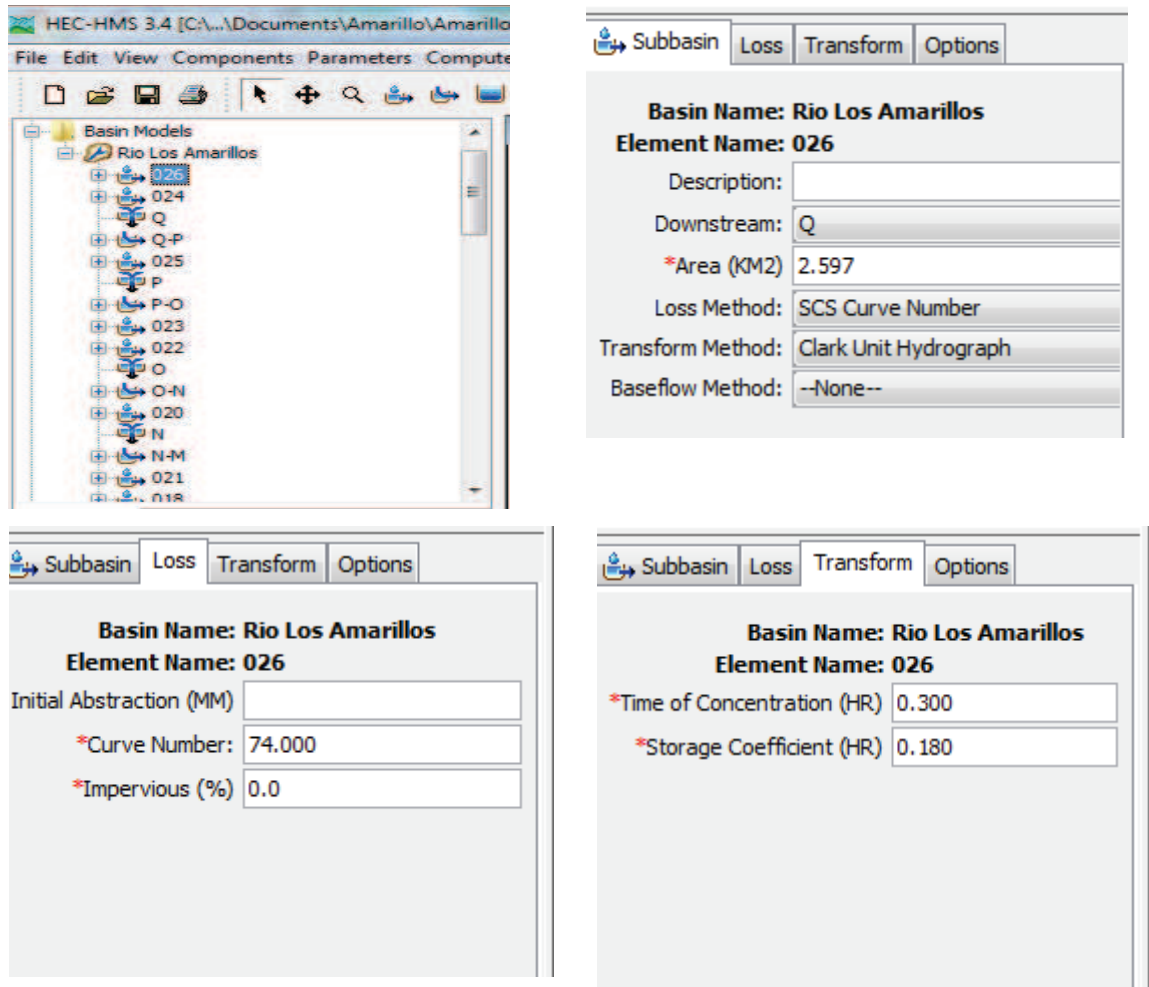


Fig. Nº 19 Datos de entrada para el Modelo de Cuenca

5.2. Aplicación del modelo HEC HMS

La aplicación del modelo HEC-HMS para un proyecto determinado comprende cuatro etapas básicas, estas son: la creación de un modelo de cuenca, la creación de un modelo meteorológico, la definición de especificaciones de control y, finalmente, la etapa de simulación y resultados.

5.2.1. Modelo meteorológico.

Antes de definir el modelo meteorológico se introducen los datos de precipitación, que en este caso corresponden a los incrementos de precipitación tomados de los Hietogramas para 100 años de la zona de influencia de cada una de las estaciones consideradas en este estudio para el

periodo de retorno seleccionado. Para cada subcuenca se seleccionaron los eventos de lluvia correspondientes a la estación meteorológica más influyente.

Para la cuenca 1 se tomó en consideración el Hietograma de la estación San Carlos (El Batey) afectado por un factor de reducción 0.96 de lluvia puntual, mediante las Curvas de Área – Profundidad, debido a la extensión de la cuenca (Ven Te Chow, Hidrología Aplicada Pag. 464), para las cuencas 2 hasta la 21, se trabajó con el Hietograma de la estación Bucay y para las cuencas desde la 22 hasta la 26, se utilizó la estación Chillanes.

La Fig. N° 20, presenta un ejemplo del ingreso de los datos en el modelo HEC HMS.

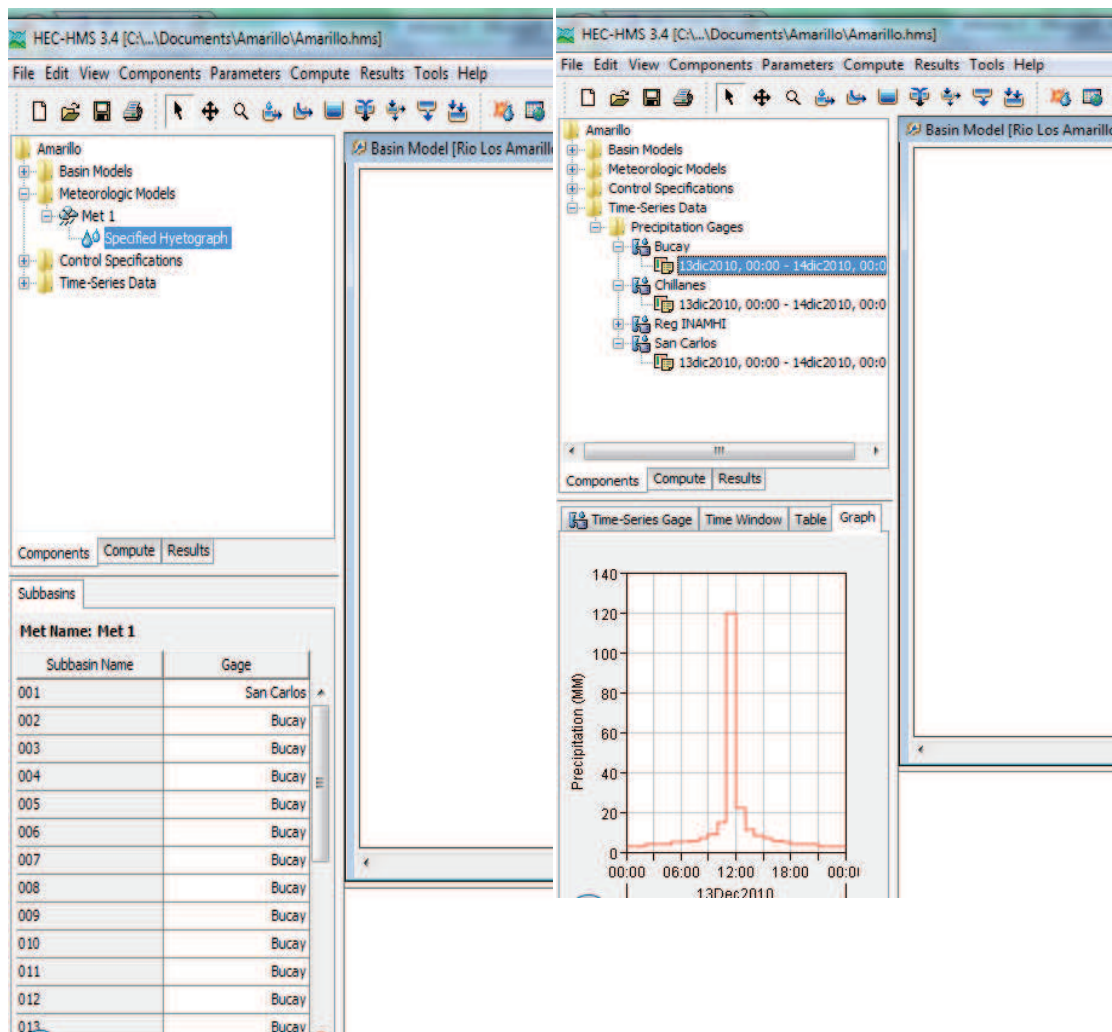


Fig. N° 20 Ingreso de datos. Modelo meteorológico

5.2.2. Especificaciones de control

Aquí se definen los periodos a simular, los tiempos de lluvia e intervalos. Una vez definido el modelo de la cuenca y seleccionado un modelo meteorológico se puede realizar la modelación hidrológica para diferentes intervalos de tiempo o con diferentes incrementos.

Fig. N° 20 Ingreso de datos. Especificaciones de Control

5.2.3. Simulación hidrológica y obtención de resultado

La impresora no tiene suficiente memoria disponible para este trabajo.

Realice una de las siguientes operaciones e intente imprimir de nuevo:

Escoja "Optimizar para portabilidad" como formato de salida.

En el panel Configuración de dispositivo, compruebe que "Memoria PostScript disponible" tiene el

Reduzca el número de fuentes del documento.

Imprima el documento por partes.