

## **AGRADECIMIENTOS:**

Agradezco a

Mi familia por la confianza, apoyo y el esfuerzo realizado en todos estos años, dándome la posibilidad de cursar mis estudios.

A mis amigos y compañeros por todos estos años que pasamos juntos, donde todo este camino tan largo se hizo mucho más fácil recorrerlo.

A Raúl y Diego por darme la oportunidad de realizar la Practica Supervisada, por el tiempo dedicado, la ayuda y los consejos brindados todo este tiempo.

Al Ingeniero Sergio Menajovsky por su dedicación y compromiso siendo mi tutor

Anaya Emiliano

**Título del Trabajo:** “Estudio Hidrológico de la cuenca del Arroyo EL CHATO”.

**Nombre del autor:** Anaya Emiliano

**Matricula:** 36.053.332

**Carrera:** Ingeniería Civil

**Plan:** 2005

## **RESUMEN:**

El Arroyo “EL CHATO” se encuentra ubicado en la Provincia de Córdoba, comienza su desarrollo en un paleocauce del Río Tercero en las cercanías de la localidad de Pampayasta, entre las Rutas provinciales N° 2 y N° 10, y finaliza con la descarga al Río Saladillo.

La cuenca del Arroyo El Chato ha sido sistematizada año tras año, avanzando hacia las partes altas de la cuenca y sanando zonas que se encuentran a más de 100 Km de la descarga, todo ello sin la debida readecuación de la capacidad del arroyo en los distintos tramos.

Los niveles de desbordes alcanzados son cada vez mayores, se producen con más frecuencia y el tiempo de permanencia de las aguas es más prolongado, como consecuencia de esto se tienen campos anegados, caminos rurales cortados, impidiendo la producción agrícola y la accesibilidad a los campos. Además de esto, algunas obras de arte han sufrido erosiones que ponen en riesgo su estabilidad.

En este trabajo se realiza el estudio hidrológico de la cuenca Alta, Media y Baja del Arroyo El Chato, caracterizando y analizando el comportamiento de cada una de ellas. Además de esto se obtienen hidrogramas en diferentes puntos de control. Los resultados de este estudio servirán como base para un futuro análisis hidráulico de los últimos 30 Km, desde la Localidad de Laborde hasta la desembocadura en el Río Saladillo, con el objeto de readecuar la capacidad del mismo.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS:

<b>CAPITULO 1: INTRODUCCION .....</b>	<b>10</b>
1.1 MARCO REFERENCIAL DE LA PRÁCTICA SUPERVISADA .....	10
1.2 OBJETIVOS:.....	10
1.2.1 Objetivos Generales:.....	10
1.2.2 Objetivos Particulares: .....	10
1.3 METODOLOGIA DE TRABAJO EMPLEADA: .....	11
1.4 PROBLEMÁTICA PRESENTE:.....	12
<b>CAPITULO 2: CARACTERIZACION DE LAS CUENCAS .....</b>	<b>19</b>
2.1 GEOMORFOLOGIA E HIDROLOGIA: .....	19
2.1.1 Cuenca Alta .....	20
2.1.2 Cuenca Media.....	20
2.1.3 Cuenca Baja.....	21
2.2 SUELOS:.....	23
2.2.1 Cuenca media-alta.....	23
2.2.2 Cuenca media-baja .....	23
<b>CAPITULO 3: DETERMINACION DE PARAMETROS FISIOGRAFICOS .....</b>	<b>25</b>
3.1 DELIMITACION DE LAS CUENCAS DE APOORTE .....	25
3.1.1 Principales Cuencas de Aporte .....	27
3.2 DISCRETIZACION DE LAS CUENCAS DE APOORTE .....	29
3.3 DETERMINACION DE LOS PARAMETROS FISICOS .....	34
3.4 TIEMPOS DE CONCENTRACION.....	36
3.4.1 Dificultades y limitaciones de los métodos para predecir Tc.....	36
3.4.2 Formulas consideradas para estimar el Tiempo de Concentración.....	37
3.4.3 Estimación de los tiempos de concentración para las distintas cuencas y subcuencas analizadas .....	39

<b>CAPITULO 4: PRECIPITACIONES .....</b>	<b>41</b>
4.1 INTRODUCCION.....	41
4.1.1 Distribución de las precipitaciones.....	41
4.1.2 Metodología.....	43
4.2 DETERMINACION DE LAS PRECIPITACIONES.....	45
4.2.1 Estimación de las curvas I-D-T para la región analizada .....	47
4.2.2 Transferencia por extrapolación .....	48
4.3 TORMENTA DE DISEÑO.....	52
4.3.1 Periodo de Retorno .....	52
4.3.2 Duración.....	52
4.3.3 Lamina Precipitada .....	53
4.3.4 Distribución Temporal .....	53
4.3.5 Distribución Espacial.....	56
4.3.6 Hietogramas de proyecto .....	58
<b>CAPITULO 5: PROCESO DE TRANSFORMACION LLUVIA-CAUDAL.....</b>	<b>60</b>
5.1 INTRODUCCION.....	60
5.1.1 Conceptos de Modelos Hidrológicos: .....	60
5.1.2 Características del modelo HEC – HMS.....	61
5.1.3 Descripción del Modelo de simulación empleado HEC-HMS.....	62
5.2 FUNDAMENTOS TEORICOS DE LOS METODOS ADOPTADOS DE PRODUCCION Y TRANSFERENCIA:.....	66
5.2.1 Transformación Lluvia-Caudal:.....	66
5.2.2 Separación del Escurrimiento .....	70
5.2.3 Escurrimiento en Ríos y Canales:.....	77
5.2.4 Lagunas de retardo:.....	81
<b>CAPITULO 6: RESULTADOS DE LA MODELACION HIDROLOGICA.....</b>	<b>82</b>
6.1 Elección del método de simulación.....	82
6.2 Resultados de la Modelación:.....	83
6.2.1 Cuenca Alta: .....	84
6.2.2 Cuenca Media:.....	89

6.2.3 Cuenca Baja:.....	94
6.2.4 Cuenca Baja (Tramo a readecuar): .....	99
<b>CAPITULO 7: CONCLUSIONES .....</b>	<b>104</b>
7.1 CONCLUSIONES DE LA PRÁCTICA SUPERVISADA: .....	105
<b>CAPITULO 8: BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>106</b>
<b>CAPITULO 9: ANEXOS.....</b>	<b>108</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS:

<b>Figura 1.4-1</b> - Ubicación de la zona de estudio en la Provincia de Córdoba.....	12
<b>Figura 1.4-2</b> - Hidrografía de la Provincia de Córdoba.....	13
<b>Figura 1.4-3</b> - Cuenca Alta.....	14
<b>Figura 1.4-4</b> - Cuenca Alta.....	14
<b>Figura 1.4-5</b> - Cuenca Media.....	15
<b>Figura 1.4-6</b> - Cuenca Media.....	15
<b>Figura 1.4-7</b> - Cuenca Baja.....	15
<b>Figura 1.4-8</b> - Cuenca Baja.....	15
<b>Figura 1.4-9</b> - Descarga del Arroyo “EL CHATO” al Rio Saladillo.....	16
<b>Figura 1.4-10</b> - Desbordes del Arroyo “EL CHATO”.....	16
<b>Figura 1.4-11</b> - Anegamiento de estancias rurales.....	17
<b>Figura 1.4-12</b> - Alcantarillas deterioradas.....	17
<b>Figura 1.4-13</b> - Desbordes del Arroyo inundando la Ruta Provincial N°3.....	18
<b>Figura 2.1-1</b> - Distribución de los diferentes ambientes geomorfológicos en la Provincia de Córdoba.....	19
<b>Figura 3.1-1</b> - Discretización de la Provincia de Córdoba según cartas topográficas del IGM.....	26
<b>Figura 3.1-2</b> - Delimitación de cuencas principales sobre cartas topográficas IGM.....	28
<b>Figura 3.2-1</b> - Discretización de la cuenca alta del Arroyo El Chato.....	30
<b>Figura 3.2-2</b> - Discretización de la cuenca media del Arroyo El Chato.....	31
<b>Figura 3.2-3</b> - Discretización de la cuenca baja del Arroyo El Chato.....	32
<b>Figura 3.2-4</b> - Discretización de la cuenca baja de aporte directo al tramo a readecuar.....	33
<b>Figura 4.1-1</b> - Distribución de la lluvia media anual en la provincia de Córdoba (Fuente: Tesis de Maestría “Lámina de lluvia puntual para diseño Hidrológico”).....	42
<b>Figura 4.1-2</b> - Ubicación de estaciones pluviográficas y pluviométricas de la Provincia de Córdoba.....	44
<b>Figura 4.2-1</b> - Ubicación de la estación Pluviográfica de Marcos Juárez y estaciones pluviométricas de Hernando, Villa María y Justiniano Posse.....	46
<b>Figura 4.2-2</b> - Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia de la estación Marcos Juárez.....	48

<b>Figura 4.3-1</b> - Hietogramas típicos para tormentas intensas en la estación de Marcos Juarez (Fuente: “Regionalización de Precipitaciones Máximas para la Provincia de Córdoba.....55	55
<b>Figura 4.3-2</b> - Hietograma tipo para la zona de estudio.....56	56
<b>Figura 4.3-3</b> - Curvas profundidad-área para reducir precipitación puntual con el fin de obtener valores promedio del área (OMM, 1983).....57	57
<b>Figura 4.3-4</b> – Hietograma de proyecto de estación Hernando para TR=2 años.....58	58
<b>Figura 4.3-5</b> – Hietograma de proyecto de estación Villa Maria para TR=2 años.....58	58
<b>Figura 4.3-6</b> – Hietograma de proyecto de estación J.Posse para TR=2 años.....58	58
<b>Figura 5.2-1</b> - Hidrogramas sintéticos del SCS.....69	69
<b>Figura 5.2-2</b> - Relación precipitación total vs precipitación efectiva usando valores de CN.....72	72
<b>Figura 5.2-3</b> - Variables del método SCS.....73	73
<b>Figura 5.2-4</b> - Almacenamiento en canales.....77	77
<b>Figura 5.2-5</b> - Sucesión de lagunas a lo largo del Arroyo El Chato.....81	81
<b>Figura 6.2-1</b> - Ubicación del Punto de Control 1.....84	84
<b>Figura 6.2-2</b> - Hidrograma a la salida de la cuenca Alta para TR= 2 años.....86	86
<b>Figura 6.2-3</b> - Hidrograma a la salida de la cuenca Alta para TR= 10 años.....87	87
<b>Figura 6.2-4</b> - Hidrograma a la salida de la cuenca Alta para TR=50 años.....87	87
<b>Figura 6.2-5</b> - Ubicación del Punto de Control 2.....89	89
<b>Figura 6.2-6</b> - Hidrograma a la salida de la cuenca Media para TR= 2 años.....91	91
<b>Figura 6.2-7</b> - Hidrograma a la salida de la cuenca Media para TR= 10 años.....92	92
<b>Figura 6.2-8</b> - Hidrograma a la salida de la cuenca Media para TR= 50 años.....92	92
<b>Figura 6.2-9</b> - Ubicación del Punto de Control 3.....94	94
<b>Figura 6.2-10</b> - Hidrograma al inicio del Tramo a readecuar para TR= 2 años.....96	96
<b>Figura 6.2-11</b> - Hidrograma al inicio del Tramo a readecuar para TR= 10 años.....97	97
<b>Figura 6.2-12</b> - Hidrograma al inicio del Tramo a readecuar para TR= 50 años.....97	97
<b>Figura 6.2-13</b> - Ubicación del Punto de Control 4.....99	99
<b>Figura 6.2-14</b> - Hidrograma en la descarga al Rio Saladillo para TR=2 años.....101	101
<b>Figura 6.2-15</b> - Hidrograma en la descarga al Rio Saladillo para TR=10 años.....102	102

**Figura 6.2-16** - Hidrograma en la descarga al Rio Saladillo para TR=50 años.....102

**ÍNDICE DE TABLAS:**

**Tabla 3.1-1** - Designación de las hojas de cartas topográficas IGM.....25

**Tabla 3.3-1** - Parámetros físicos de la cuenca Alta.....35

**Tabla 3.4-1** - Parámetros físicos de las cuencas principales.....39

**Tabla 3.4-2** - Valores de los tiempos de concentración de las cuencas principales.....39

**Tabla 3.4-3** - Valores de los tiempos de concentración de las subcuencas pertenecientes a la cuenca alta.....40

**Tabla 4.2-1** - Intensidades en [mm/h] para distintos periodos de retorno (Marcos Juarez).....47

**Tabla 4.2-2** - Lamina total en [mm] para distintos periodos de retorno (Marcos Juarez).....47

**Tabla 4.2-3** - Características de las estaciones seleccionadas para la zona de estudio.....49

**Tabla 4.2-4** - Factor de escala para transformar las curvas I-D-T de todas las estaciones.....50

**Tabla 4.2-5** - Relaciones i-d-t y h-d-t Estación Hernando.....50

**Tabla 4.2-6** - Relaciones i-d-t y h-d-t Estación Villa María.....51

**Tabla 4.2-7** - Relaciones i-d-t y h-d-t Estación Justiniano Posse.....51

**Tabla 4.3-1** - Duraciones de lluvias adoptadas para cada una de las cuencas.....53

**Tabla 4.3-2** - Lámina precipitada para distintos periodos de retorno y duraciones.....53

**Tabla 4.3-3** - Coeficientes de decaimiento areal para las distintas cuencas.....57

**Tabla 4.3-4** - Láminas atenuadas.....58

**Tabla 5.2-1** - Valores de CN para las diferentes combinaciones hidrológicas suelo-vegetación para las cuencas en Condición II.....74

**Tabla 5.2-2** - Tabla adicional de valores de CN, para las cuencas en Condición II.....74

**Tabla 5.2-3** - Tabla adicional de valores de CN, para las cuencas en Condición II.....75

**Tabla 5.2-4** - Condiciones de humedad para la determinación del CN.....75

**Tabla 5.2-5** - Transformación de CN para diferentes condiciones de humedad antecedente del suelo.....75

**Tabla 5.2-6** - Asignación de CN (II) para cada una de las unidades hidrológicas definidas.....77



<b>Tabla 5.2-7</b> - Parámetros para el cálculo de los traslados por el método de Muskingum-Cunge (Cuenca Alta).....	80
<b>Tabla 6.2-1</b> - Caudales pasantes en punto de control 1.....	88
<b>Tabla 6.2-2</b> - Caudales pasantes en punto de control 2.....	93
<b>Tabla 6.2-3</b> - Caudales pasantes en punto de control 3.....	98
<b>Tabla 6.2-4</b> - Caudales pasantes en punto de control 4.....	103

## **CAPITULO 1: INTRODUCCION**

### **1.1 MARCO REFERENCIAL DE LA PRÁCTICA SUPERVISADA**

El presente trabajo conforma el informe técnico correspondiente a la asignatura denominada Práctica Profesional Supervisada, de la carrera de Ingeniería Civil de la Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales dependiente de la Universidad Nacional de Córdoba.

El informe que se presenta contiene toda la información sobre las tareas desarrolladas por el alumno. A toda esa información se le ha dado el marco teórico correspondiente, que integra los conceptos aprendidos durante el desarrollo de la carrera de grado con las tareas propias de la ingeniería que se desarrollan en la Consultora Anaya-Nader.

### **1.2 OBJETIVOS:**

#### **1.2.1 Objetivos Generales:**

El objetivo de esta Práctica Profesional Supervisada es elaborar un trabajo integrador, aplicando los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera de grado para desarrollar el estudio hidrológico de la cuenca Alta, Media y Baja del Arroyo El Chato, analizando el comportamiento de cada una de ellas. Los resultados de este estudio servirán como base para un futuro análisis hidráulico de los últimos 30 Km antes de la desembocadura en el Rio Saladillo, con el objeto de readecuar la capacidad del mismo.

#### **1.2.2 Objetivos Particulares:**

- Aplicar y profundizar los conocimientos adquiridos durante el desarrollo de la carrera de Ingeniería Civil en la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba.
- Aprender sobre el procesamiento y georeferenciación de imágenes satelitales y cartográficas para obtener medidas de parámetros fisiográficos y para información de índole general.
- Realizar un análisis y recopilación de antecedentes e información meteorológica, geomorfológica e hidrológica de la cuenca de aporte al Arroyo El Chato.
- Aprender sobre el uso y manejo de software para realizar un modelo hidrológico.
- Obtener hidrogramas en diferentes puntos de control.

- Ampliar a través de este trabajo la información existente en estudios realizados por la consultora Anaya-Nader.
- Lograr un desarrollo personal y profesional en un ámbito de trabajo cotidiano, a través de la interacción con profesionales.

### **1.3 METODOLOGIA DE TRABAJO EMPLEADA:**

Para cumplimentar con los objetivos propuestos, las actividades que se desarrollaron fueron:

- 1- Definición del área de estudio
- 2- Recopilación de antecedentes
- 3- Delimitación de las cuencas de aporte
- 4- Recolección de datos meteorológicos e hidrométricos
- 5- Localización espacial de las estaciones pluviométricas disponibles
- 6- Procesamiento y depuración de la información
- 7- Estimaciones del uso del suelo
- 8- Modelo hidrológico para caracterizar la transformación Lluvia-Caudal en la cuenca (HEC-HMS)
- 9- Determinación de los hidrogramas a la salida de cada cuenca.
- 10- Elaboración de conclusiones y análisis de resultados.

#### 1.4 PROBLEMÁTICA PRESENTE:

El Arroyo “EL CHATO” se encuentra ubicado en la Provincia de Córdoba, comprendido en los departamentos TERCERO ARRIBA, GRAL. SAN MARTIN Y UNION (Figura 1.4-1). Comienza su desarrollo en un paleocauce del Rio Tercero en las cercanías de la localidad de Pampayasta, entre las Rutas provinciales N° 2 y N° 10, el mismo atraviesa las rutas provinciales N° 4, 6, 3 y ruta nacional N° 158, con una extensión de aproximadamente 160 Km, terminando su recorrido con la descarga al Rio Saladillo.

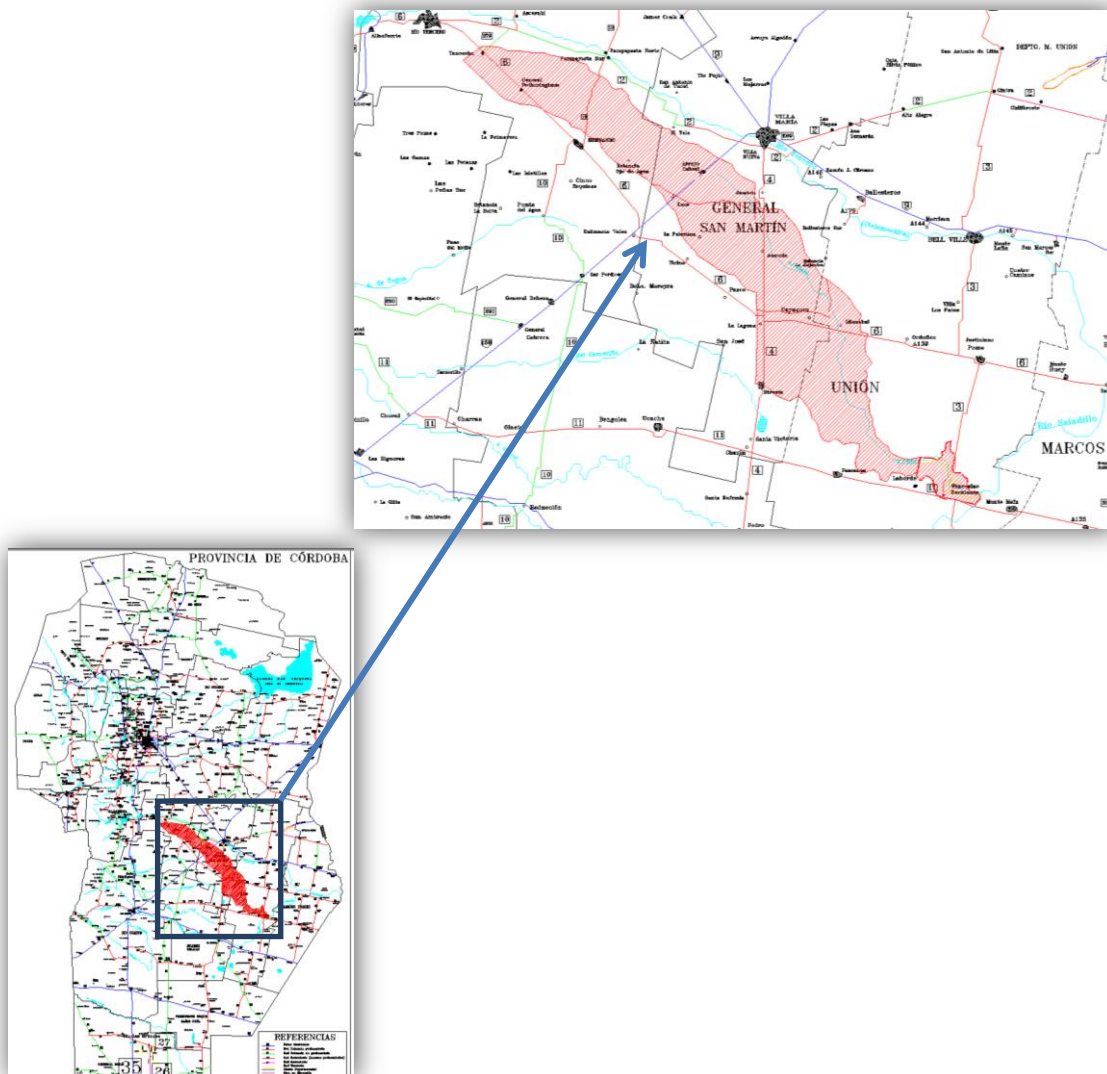
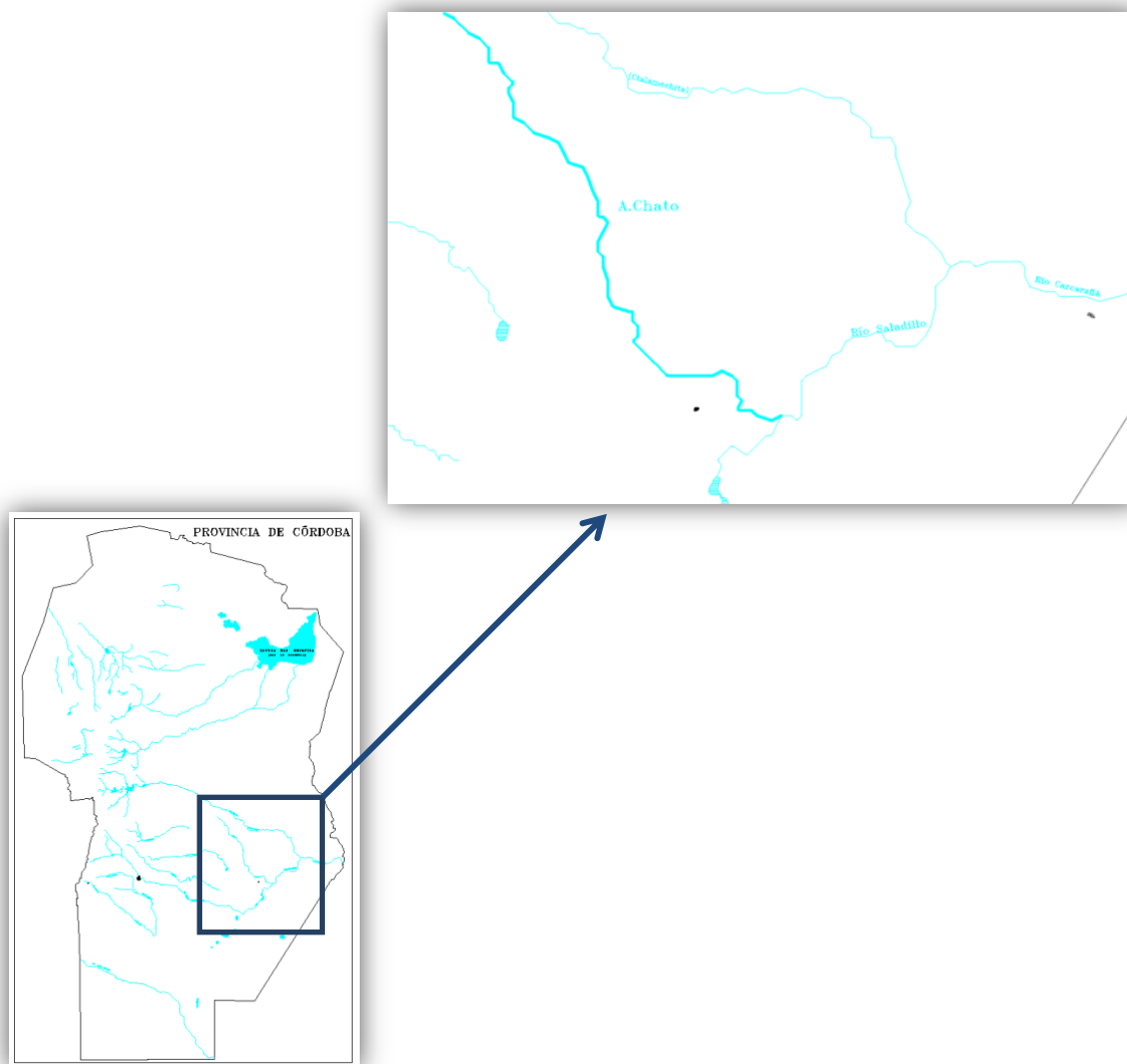


Figura 1.4-1 - Ubicación de la zona de estudio en la Provincia de Córdoba

A continuación se muestra la hidrografía existente de la Provincia de Córdoba, detallándose la intersección del Arroyo “EL CHATO” con el Río Saladillo y a su vez la confluencia de éste con el Río Tercero (Ctalamochita), formando el Río Carcaraña.



**Figura 1.4-2 - Hidrografía de la Provincia de Córdoba**

De acuerdo a los antecedentes disponibles, la cuenca del Arroyo El Chato ha sido sistematizada año tras año, avanzando hacia las partes altas de la cuenca y saneando zonas que se encuentran a más de 100 Km de la descarga, todo ello sin la debida readecuación de la capacidad del arroyo en los distintos tramos.

Los niveles de desbordes alcanzados son cada vez mayores, se producen con más frecuencia y el tiempo de permanencia de las aguas es más prolongado. Además de esto, algunas obras de arte han sufrido erosiones que ponen en riesgo su estabilidad. Para mitigar la problemática de las inundaciones y controlar el ascenso de la napa freática, la Subsecretaría de Recursos Hídricos ha proyectado y ejecutado gran cantidad de obras de sistematización de cuenca en el ámbito de todo el territorio provincial, y particularmente en esta región logrando resultados muy satisfactorios.

En la zona de estudio, se observa un relieve suavemente ondulado surcado por el cauce del Arroyo El Chato y otros menores temporarios de baja pendiente, con un drenaje lento y grandes almacenamientos locales de las aguas de lluvia, que anegan una gran cantidad de áreas productivas, y ocasionan cortes de caminos públicos y privados.

En general las aguas descargan al arroyo, el cual se encuentra canalizado y este los conduce en dirección Sureste-Este, al Río Saladillo luego de cruzar mediante alcantarillas la Ruta Provincial N° 3 y diversos caminos de la red terciaria.

En los últimos periodos lluviosos, la canalización del arroyo se ha visto superado por el agua debido a diversos factores, entre ellos los meteorológicos y uso del suelo, pero también por el estado en que se encuentra el cauce, con una importante cobertura de pastos, irregularidades locales en la traza y el fondo.

Las siguientes imágenes aéreas permiten visualizar el estado de inundabilidad de los campos, el orden en que se muestran es desde aguas arriba hacia la descarga al Río Saladillo.



**Figura 1.4-3** - Cuenca Alta



**Figura 1.4-4** - Cuenca Alta



**Figura 1.4-5 - Cuenca Media**



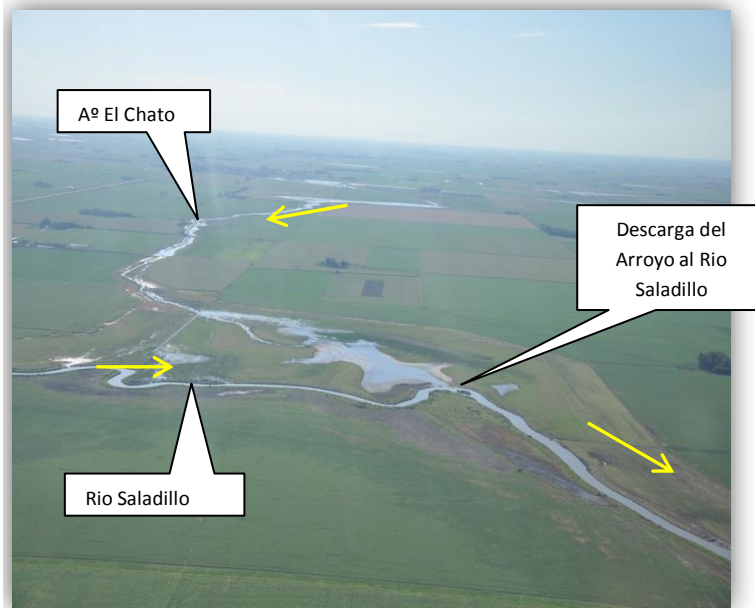
**Figura 1.4-6 - Cuenca Media**



**Figura 1.4-7 - Cuenca Baja**



**Figura 1.4-8 - Cuenca Baja**



**Figura 1.4-9** - Descarga del Arroyo “EL CHATO” al Rio Saladillo

En las siguientes imágenes se puede mostrar el problema a nivel de terreno, durante el relevamiento topográfico realizado en el lugar.



**Figura 1.4-10** - Desbordes del Arroyo “EL CHATO”





**Figura 1.4-11** - Anegamiento de estancias rurales

Este estado de inundabilidad de los campos, ha generado una gran presión sobre el arroyo, lo cual puso en evidencia la falta de capacidad de algunas obras de arte de cruce a los caminos e incluso rompiendo algunos de ellos, según puede verse en las siguientes fotos.



**Figura 1.4-12** - Alcantarillas deterioradas

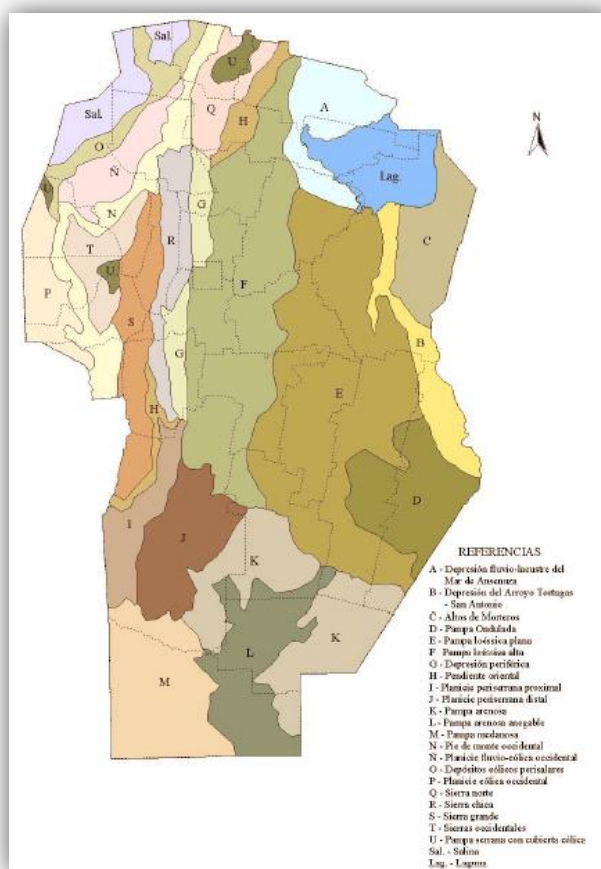


**Figura 1.4-13** - Desbordes del Arroyo inundando la Ruta Provincial N°3

## CAPITULO 2: CARACTERIZACION DE LAS CUENCAS

### 2.1 GEOMORFOLOGIA E HIDROLOGIA:

La provincia de Córdoba se divide en 22 ambientes geomorfológicos que definen aspectos geomórficos, estructurales y de vegetación bien marcados (ACASE – INTA, 2003). En la Figura 2.1-1 se muestra un mapa con la distribución de estos ambientes, cada uno de los cuales ha sido identificado con una letra.



**Figura 2.1-1** - Distribución de los diferentes ambientes geomorfológicos en la Provincia de Córdoba.

A continuación se describen los diferentes ambientes geomorfológicos y los tipos de suelos que se encuentran en las cuencas de aporte. Todo esto con información provista por el INTA de Justiniano Posse, consultando las hojas correspondientes de las Cartas de Suelos de la República Argentina (Hoja 3363-8 Hernando, Hoja 3363-21 Pascanas, Hoja 3363-14 General Cabrera, Hoja 3363-9 Villa María, Hoja 3363-15 Etruria, Hoja 3363-22 Laborde).

### **2.1.1 Cuenca Alta**

La cuenca alta de aporte al Arroyo El Chato, está ubicada dentro de la llanura central cordobesa, en una zona de transición entre la subregión morfológica denominada plataforma basculada o pampa alta y la pampa plana.

Ambas subregiones están separadas por la falla longitudinal de Alejandro-Hernando-Rayó Cortado, que con rumbo de N a S atraviesan la hoja aproximadamente al este de las localidades de Hernando y Punta del agua.

La Pampa alta se ubica al oeste de dicha falla y se caracteriza por un relieve de lomas muy extendidas con un escaso desnivel, pero con pendiente regional muy larga hacia el este, lo que determina que la erosión hídrica se encuentre activa, principalmente a lo largo de las vías de escurrimiento o bajo alargados y los caminos con dirección O-E, produciendo profundas cárcavas en los mismos y surcos en áreas rurales. El drenaje del área en general es organizado.

La Pampa Plana ocupa el sector oriental y se caracteriza por un escurrimiento superficial lento, por causa de la escasa pendiente donde los fenómenos erosivos se manifiestan con poca intensidad. El drenaje en general es desorganizado y las aguas se estancan en las depresiones y se evaporan lentamente. La capa de agua subterránea no muy profunda afecta en distinto grado estas depresiones, donde los suelos presentan problemas de drenaje, salinidad y alcalinidad.

Los materiales originarios de los suelos son loessicos de textura franco-limosa en la mayor parte del área y de textura franca al sur.

En la actualidad es casi imposible hallar comunidades vegetales intactas, el desmonte, el fuego y el arado han alterado irreversiblemente la vegetación nativa, aun en campos de inferior calidad, que son los menos modificados.

En su lugar, existen cultivos agrícolas (soja, sorgo, trigo, maíz, etc.) y pasturas particularmente basadas en alfalfa, acompañadas por especies tolerantes a las condiciones edáficas existentes y diversidad de malezas. La predominancia de cultivos primavera-estivales es debida principalmente a características climáticas, sobre todo a la distribución de las precipitaciones. En cuanto al sistema de labranza el más utilizado en los últimos años es el de Siembra Directa acompañado de bajos niveles de fertilización y en algunos casos puntuales de riego. También se emplean para las técnicas de producción semillas fiscalizadas, herbicidas e insecticidas y en algunos casos puntuales bajo riego.

### **2.1.2 Cuenca Media**

La cuenca media del Arroyo se encuentra dentro de la subregión geomorfológica denominada pampa loessica plana.

Se caracteriza por tener los siguientes aspectos:

- Está constituida por sedimentos eólicos de textura franco limosa y franca en el dominio de suelos zonales.
- Relieve muy suavemente ondulado cuyos gradientes locales no superan el 0.5% con pendiente regional muy suave hacia el sudeste.
- Los materiales originarios de los suelos consisten en potentes depósitos eólicos de textura franco limosa, haciéndose más livianos hacia el sur en franca transición hacia la pampa arenosa.
- La capa freática, normalmente de características salinas, no está muy profunda, se encuentra aproximadamente a unos 5 m de la superficie y fluctúa según la época del año, dependiendo también de los aportes excesivos en precipitaciones durante varios años consecutivos en el área de aportes.
- Los bajos pequeños o poco profundos y lomas suavemente deprimidas no están afectados por la capa freática, mientras que las concavidades mayores tales como áreas intermedias, aureolas de cubetas y lagunas es normal su presencia, dando lugar a procesos de alcalinización, salinización e hidromorfismo en los suelos.
- Las vías de desagüe o escurrimiento son muy frecuentes, mostrando un evidente control estructural y diverso grado de expresión. Las más notables o profundas están ocupadas por complejos salino-sódicos e hidromorficos. Estos desagües se disponen casi perpendicularmente a la pendiente regional funcionando como tales luego de las precipitaciones importantes, conduciendo lentamente los excesos hídricos hacia los bajos mayores (cubetas, lagunas y otros ambientes deprimidos) dando lugar a cuencas cerradas.
- Con referencia a los procesos erosivos, la llanura eólica en general conforma planos relativamente estables. Los suelos, dadas las características texturales de la capa arable (franco limosa) y buena estabilidad estructural, no son susceptibles a la erosión eólica o ésta es mínima.
- La erosión hídrica no se observa por falta de pendientes importantes a excepción de pequeñísimos planos inclinados hacia los desagües mayores de poca significación bajo el punto de vista cuantitativo.

### **2.1.3 Cuenca Baja**

La cuenca baja de aporte al Arroyo “EL CHATO” se encuentra dentro de la subregión geomorfológica de Escalones estructurales y de Lomas aplanadas.

La subregión de Escalones estructurales, se caracteriza por tener drenaje superficial pobre que es controlado estructuralmente. En general el relieve es muy plano y tanto las lomadas como el bajo del pie del escalón estructural se encuentran disecados por una serie de líneas de escurrimiento o vías de desagüe superficial, con un llamativo paralelismo y con rumbo noreste-suroeste. El drenaje está representado por estos cauces de avenamiento temporario, que tienen diferente grado de expresión y que conducen el agua de precipitación en dirección noreste con extremada lentitud.

La subregión geomorfológica de Lomas aplanadas, cuenta con drenaje superficial muy pobre, de cubetas y charcas comunicadas entre sí, presentando el diseño de drenaje el aspecto de “arañas”, todavía se manifiesta el control estructural en las vías de desagües. Está representado por amplias lomadas casi planas disecadas por líneas de escurrimiento con distinto grado de expresión.

En esta subregión adquieren características importantes la presencia de cubetas o charcas, con relieve cóncavo y que ocupan las partes más bajas de la región. Algunas alcanzan superficies mayores a 1 km<sup>2</sup>, con un sector de la aureola muy erosionada y otro de acumulación. Son numerosos también los pozos de infiltración, algunos aislados y otros comunicados entre sí. Generalmente se encuentran en la intersección de dos o más líneas de escurrimiento.

Rodeando a las lagunas o charcas y pozos de infiltración, se encuentran áreas intermedias con relieve ligeramente cóncavo o ligeras pendientes hacia los bajos propiamente dichos.

El drenaje es muy pobre, caracterizado, como se dijo anteriormente, por la presencia de lagunas y charcas con ordenamiento alguno, comunicados entre sí por cauce de avenamiento temporario o líneas de escurrimiento (drenaje centrípeto). Estas líneas de desagüe, solo actúan como tales, después de fuertes lluvias, llevando las aguas hacia las áreas intermedias y lagunas temporarias, donde generalmente se eliminan por evaporación e infiltración.

En algunos casos se forman lagunas permanentes por alimentación continua de la napa freática.

Los cursos superficiales están representados por los Ríos Ctlamochita, Carcarañá y algunas vías de avenamiento menores, que desembocan en la Cañada de San Antonio. Existen también lagunas de origen estructural en forma aislada. Llegan desde el Sur las aguas del Río Saladillo donde logra encauzarse en un lecho sinuoso de unos 20 m a 30 m de ancho, bordeado por pequeñas barrancas hasta unirse al Río Ctlamochita formando el Río Carcarañá.

Posteriormente, las barrancas disminuyen de altura, el lecho se ensancha y tras recorrer sesenta y cinco kilómetros, frente a Cruz Alta, entra en la Provincia de Santa Fe.

## **2.2 SUELOS:**

### **2.2.1 Cuenca media-alta**

Los suelos predominantes en esta zona son el Natralcualf típico y el Argiustol típico, los mismos se describen a continuación.

#### *Natralcualf típico:*

Es un suelo imperfectamente drenado, desarrollado a partir de sedimentos de textura franco limosa, vinculados a líneas de escurrimiento bien manifiestos y sectores deprimidos anegables.

El horizonte superficial decolorado y lavado, presenta evidencias de falta de aireación periódica por saturación del suelo con agua. La estructura es débil y los agregados inestables. A partir de 10 cm de profundidad se encuentra un horizonte enriquecido en arcilla de textura franco limosa y estructura columnar gruesa moderada con abundantes barnices en la cara de los agregados. Esta capa es muy poco permeable, constituyéndose un impedimento para el pasaje del agua a través del perfil.

Estos suelos están sujetos a anegamientos frecuentes y el agua es eliminada del perfil muy lentamente por percolación o evapotranspiración, ya que por la posición que ocupan en el paisaje, el escurrimiento superficial es inadecuado.

#### *Argiustol típico:*

Son suelos profundos, con drenaje moderado, desarrollados sobre materiales fluvio-eólicos re depositados, de áreas de derrame y paleocauces de textura franco limosa y vinculados a sectores planos a ligeramente deprimidos.

El horizonte superficial de 24 cm de espesor es de color oscuro, moderado contenido de materia orgánica, de textura franco a franco limosa y estructura en bloques moderados. Luego pasa en forma clara a un horizonte más arcilloso que se extiende hasta los 72 cm de profundidad, de color pardo oscuro, estructura prismática. Luego pasa en forma transicional al material originario que se encuentra a 104 cm de profundidad, es masivo, friable, de textura franco limosa y con calcáreo pulverulento en la masa del suelo.

### **2.2.2 Cuenca media-baja**

Los suelos de la región, desarrollados sobre sedimentos eólicos, franco limosos, presentan condiciones generales de drenaje natural libre. La característica sobresaliente de estas tierras es su importante desarrollo, fertilidad y alta productividad, consecuencia no sólo de sus caracteres físico químicos intrínsecos sino del régimen de precipitaciones invernales que le confiere a los suelos un mayor

potencial de producción agrícola-ganadera, encontrándose entre las mismas los suelos tradicionalmente de mayor productividad de la provincia.

Los Molisoles, que constituyen la casi totalidad de los suelos del área (99%), son suelos profundos, con un horizonte superior oscuro rico en materia orgánica y bien estructurado que facilita el movimiento superficial del aire y el agua. Este tipo de horizontes se desarrollan típicamente bajo una cobertura de gramíneas como la que conformó la estepa pampeana durante la pedogénesis, con el calcio dominando en el complejo de intercambio, lo que facilita la floculación de coloides. Entre estos Molisoles, los suelos de las lomas bien drenadas, son principalmente Argiudoles típicos, que cubren más del 80% de la región y que, además de los caracteres ya descritos, incluyen un horizonte de acumulación de arcilla en el subsuelo que contribuye a administrar la economía del agua en el perfil. Son estos los suelos más productivos y con menores limitaciones para su uso agropecuario dentro de la provincia.

Marginalmente, y hacia el Oeste de la región, a medida que disminuye el régimen de precipitaciones y, consecuentemente, la intensidad de la lixiviación, el horizonte de arcilla aluvial desaparece, pasando los suelos a ser taxonómicamente Hapludoles típicos, también de alta capacidad productiva aunque más inestables y de mayor fragilidad.

Sin embargo, estos suelos muy ricos en limos, muestran una tendencia al planchado y encostramiento superficial lo que aumenta el escurrimiento y disminuye la capacidad de infiltrar agua, desencadenando procesos de erosión hídrica, entre los que dominan los fenómenos de erosión laminar y en cárcavas en el sector más ondulado, en especial sobre las pendientes que concurren a los desagües más importantes.

Estas tierras fueron incorporadas tempranamente a la actividad agrícola, encontrándose hoy afectadas por importantes procesos de deterioro físico (disminución de la capacidad de almacenamiento y circulación del agua y el aire) y químico (acidificación, disminución de los contenidos de materia orgánica y nutrientes) y biológico que son, en parte, consecuencia de la gran presión de uso a la que están sometidas.



## CAPITULO 3: DETERMINACION DE PARAMETROS FISIOGRAFICOS

### 3.1 DELIMITACION DE LAS CUENCAS DE APORTE

La delimitación y subdivisión de las cuencas se realizó sobre la base de cartas topográficas I.G.M (Instituto Geográfico Militar), geo referenciadas y con la utilización de imágenes satelitales con diferentes composiciones de bandas y fechas. Todos los datos definidos con estas bases cartográficas, fueron verificados in-situ mediante relevamientos de campaña.

En la siguiente tabla se adjuntan la designación y numero pertenecientes a las hojas de las cartas topográficas IGM utilizadas, con su equidistancia y escala.

Designación	Nº de Hoja	Equidistancia	Escala
Monte Maíz	3363.22.4	1.25 m	1:50000
W. Escalante	3363.22.3	1.25 m	1:50000
Estancia La Bélgica	3363.22.2	1.25 m	1:50000
Laborde	3363.22.1	1.25 m	1:50000
Pascanas	3363.21.2	2.50 m	1:50000
Justiniano Posse	3363.16.4	1.25 m	1:50000
Ordoñez	3363.16.3	1.25 m	1:50000
Etruria	3363.15.4	2.50 m	1:50000
Estancia Monte Alto	3363.15.5	2.50 m	1:50000
Harás Gral Paz	3363.16.1	1.25 m	1:50000
La Laguna	3363.15.2	2.50 m	1:50000
Ticino	3363.15.1	2.50 m	1:50000
Ausonia	3363.9.4	2.50 m	1:50000
Luca	3363.9.3	2.50 m	1:50000
Dalmacio Vélez	3363.8.4	2.50 m	1:50000
Villa María	3363.9.2	2.50 m	1:50000
Arroyo Cabral	3363.9.1	2.50 m	1:50000
Hernando	3363.8.2	2.50 m	1:50000
Hernando Oeste	3363.8.1	2.50 m	1:50000
Pampayasta	3363.2.4	2.50 m	1:50000
Tancacha	3363.2.3	2.50 m	1:50000

**Tabla 3.1-1** - Designación de las hojas de cartas topográficas IGM

En la siguiente figura se muestra como se encuentra discretizada la Provincia de Córdoba según las Cartas topográficas del Instituto Geográfico Militar y cuales fueron utilizadas para la delimitación de las cuencas.

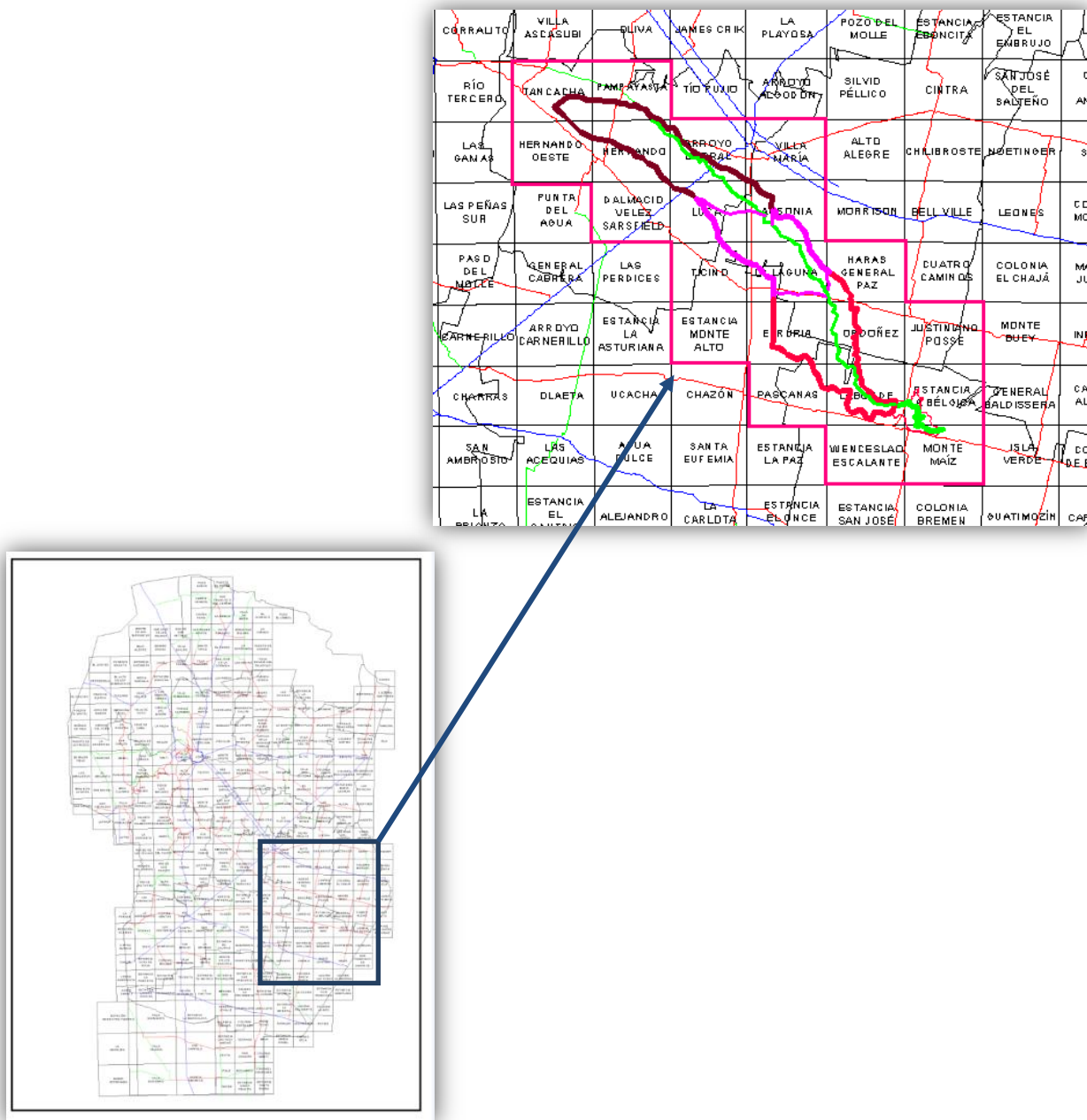


Figura 3.1-1 - Discretización de la Provincia de Córdoba según cartas topográficas del IGM.

### **3.1.1 Principales Cuencas de Aporte**

Se identificaron tres grandes cuencas de aporte al Arroyo el Chato, una cuenca Alta, media y baja. Se determinaron las áreas de estas cuencas principales para posteriormente realizar una adecuada discretización de las cuencas en unidades hidrológicas adecuadas como podemos observar en la Figura 3.1-2.

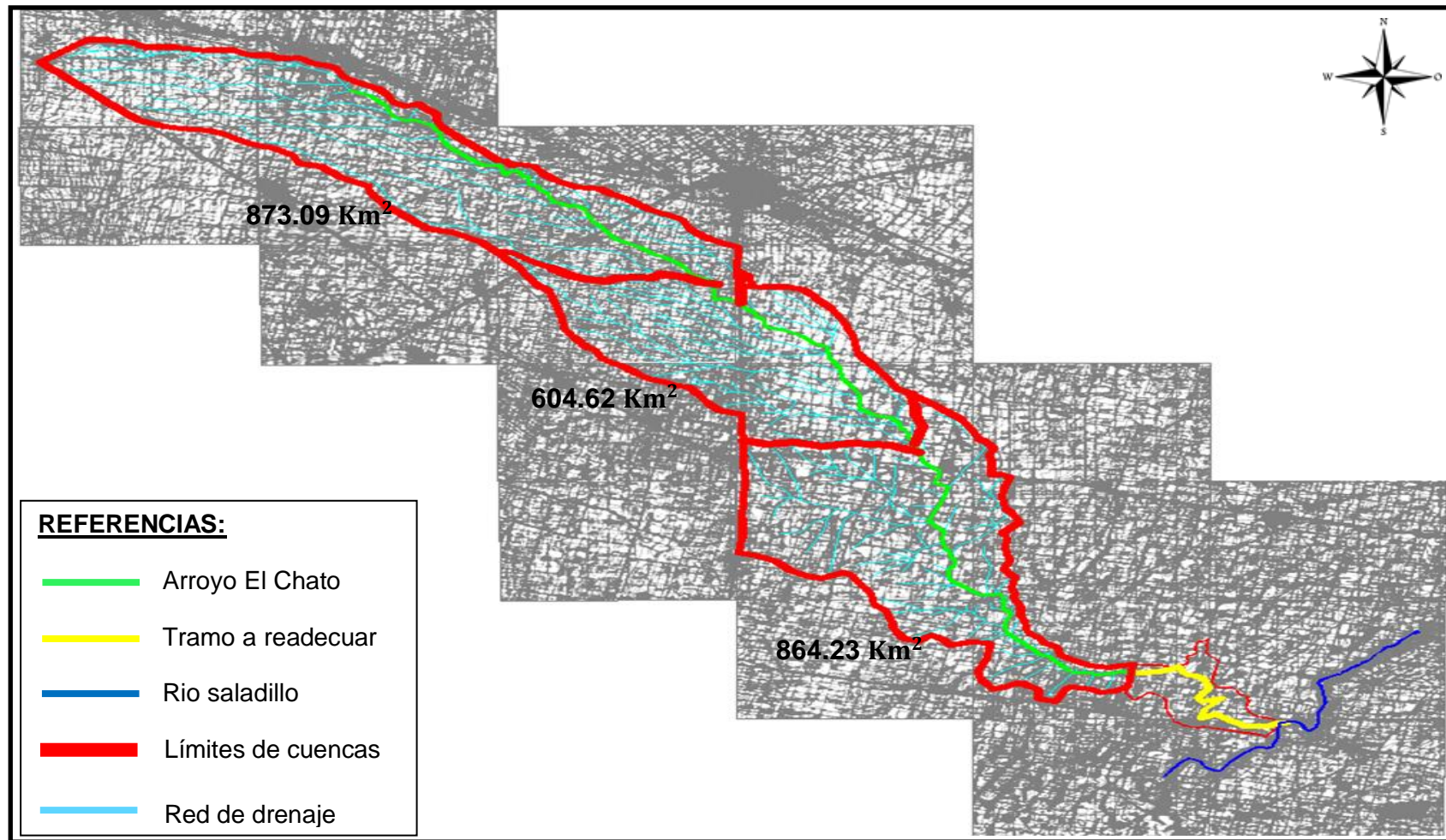


Figura 3.1-2 - Delimitación de cuencas principales sobre cartas topográficas IGM

### 3.2 DISCRETIZACION DE LAS CUENCAS DE APORTE

Para determinar el hidrograma de una cuenca donde no existe uniformidad espacial (hay reservorios, modificaciones en el lecho y área de inundación), es necesario realizar una subdivisión de la cuenca hidrográfica. Es conveniente la división de la cuenca en subcuencas de manera de hacer más representativos los parámetros que la definen.

Para discretizar una cuenca hidrográfica deben considerarse factores tales como: características hidrológicas y morfológicas homogéneas, localización de puntos de interés, y distribución espacial de precipitaciones, entre otros.

La discretización se realizó trazando las líneas divisorias de aguas (línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa la cuenca de las cuencas vecinas) de acuerdo a las curvas de nivel, teniendo en cuenta la posibilidad de obtener hidrogramas en distintos puntos de interés, como por ejemplo, la unión de dos o más río o arroyos. Para realizar esta tarea se aplicó el mismo procedimiento que el realizado para la determinación de las cuencas de aporte principales, sobre la base de cartas topográficas del Instituto Geográfico Militar.

Dentro de las cuencas Alta y Media se discretizo en subcuencas de hasta 200 km<sup>2</sup>. Mientras que en la cuenca baja la discretizacion fue mayor ya que dentro de ella se encuentra el tramo a readecuar y se requiere un mayor grado de detalle.

- La cuenca Alta con un área de 873.09 km<sup>2</sup> se subdividió en 32 subcuencas, como se observa en la Figura 3.2-1.
- La cuenca Media con un área de 604.62 km<sup>2</sup> se subdividió en 12 subcuencas, como se observa en la Figura 3.2-2.
- La cuenca Baja con un área de 864.23 km<sup>2</sup> se subdividió en 95 subcuencas, como se observa en la Figura 3.2-3.

Dentro de la cuenca baja, son 39 las subcuencas de aporte directo al tramo a readecuar, que ocupan una total de 96 km<sup>2</sup>, como se observa en la Figura 3.2-4.

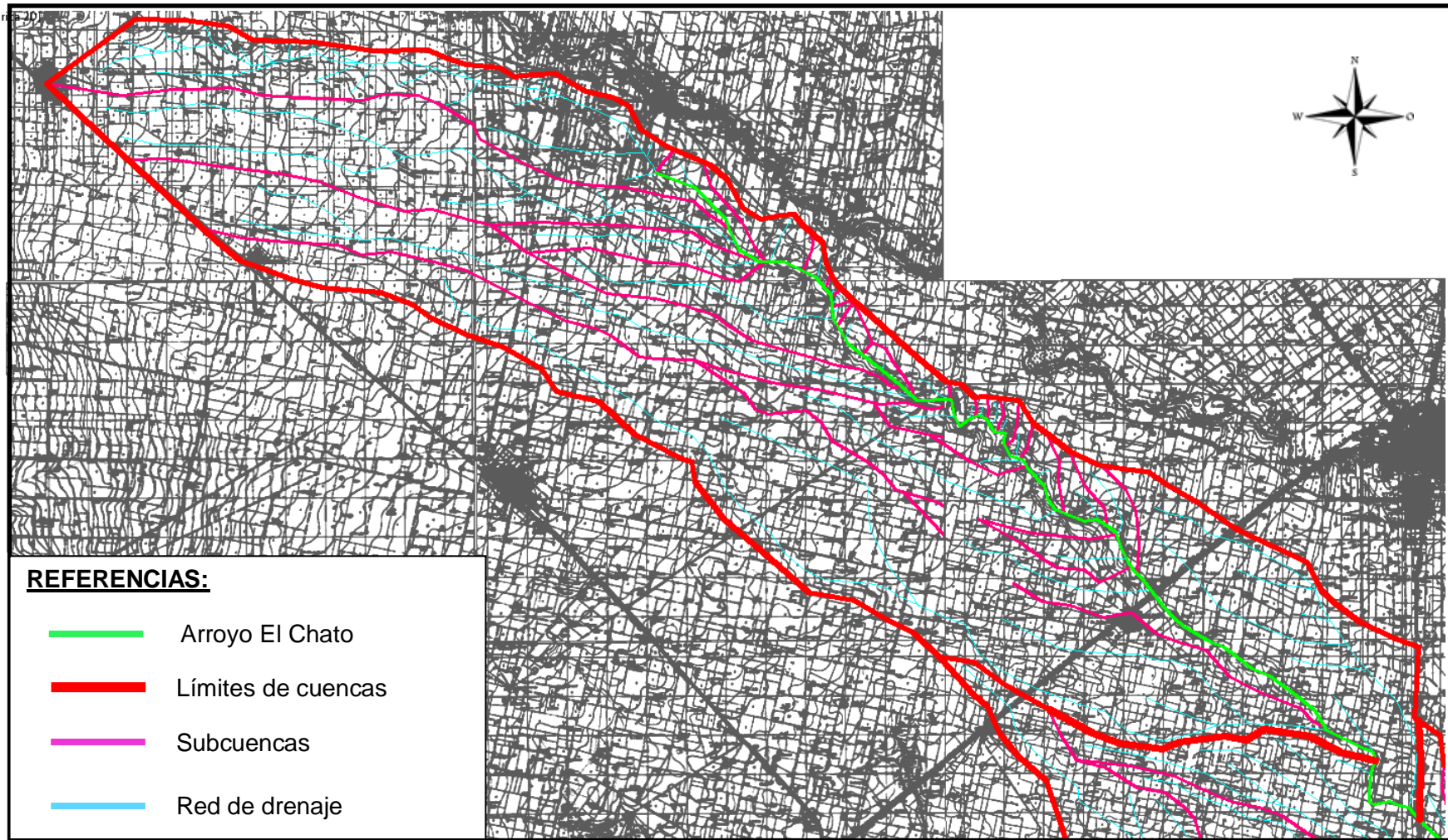


Figura 3.2-1 - Discretización de la cuenca alta del Arroyo El Chato

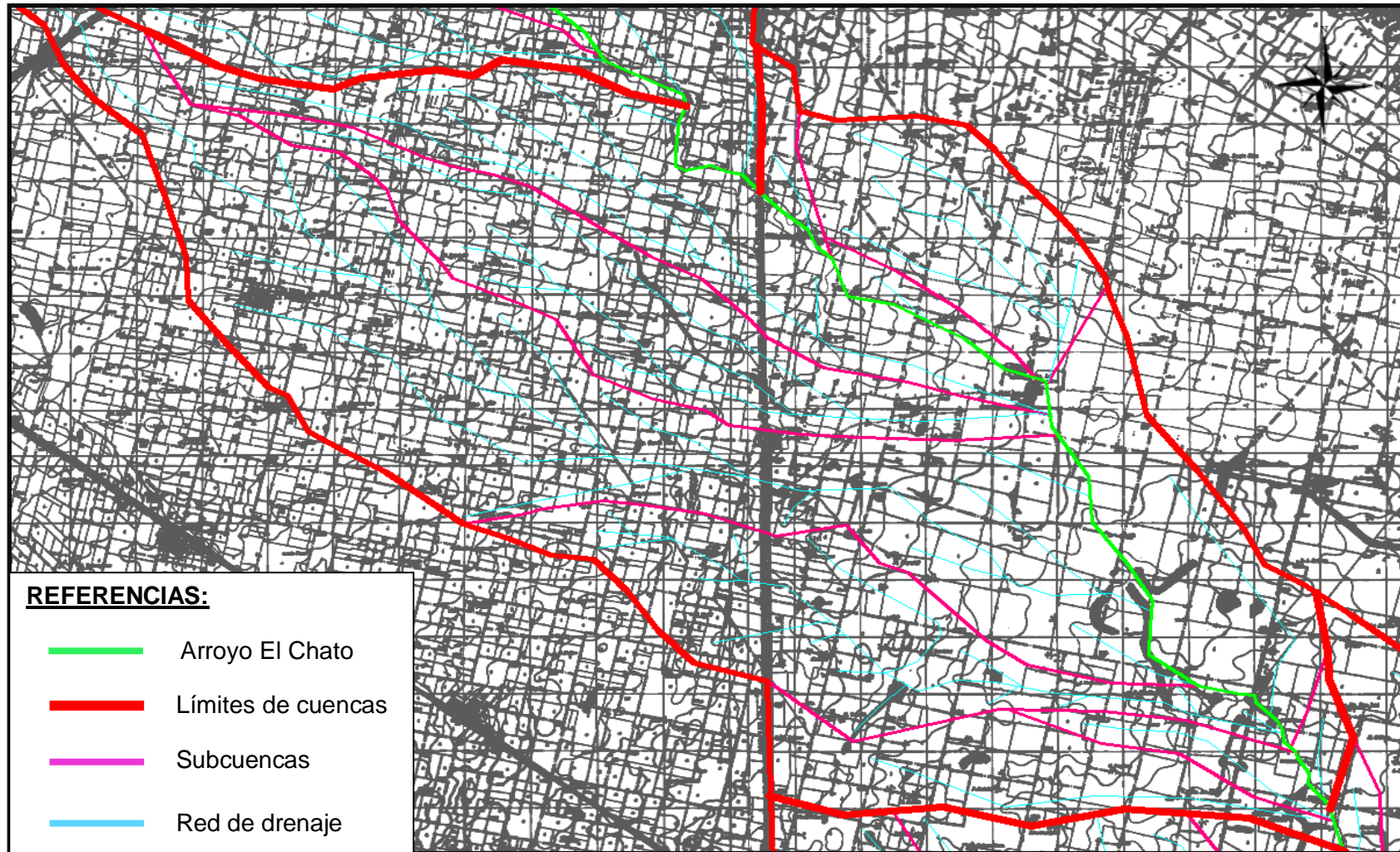


Figura 3.2-2 - Discretización de la cuenca media del Arroyo El Chato

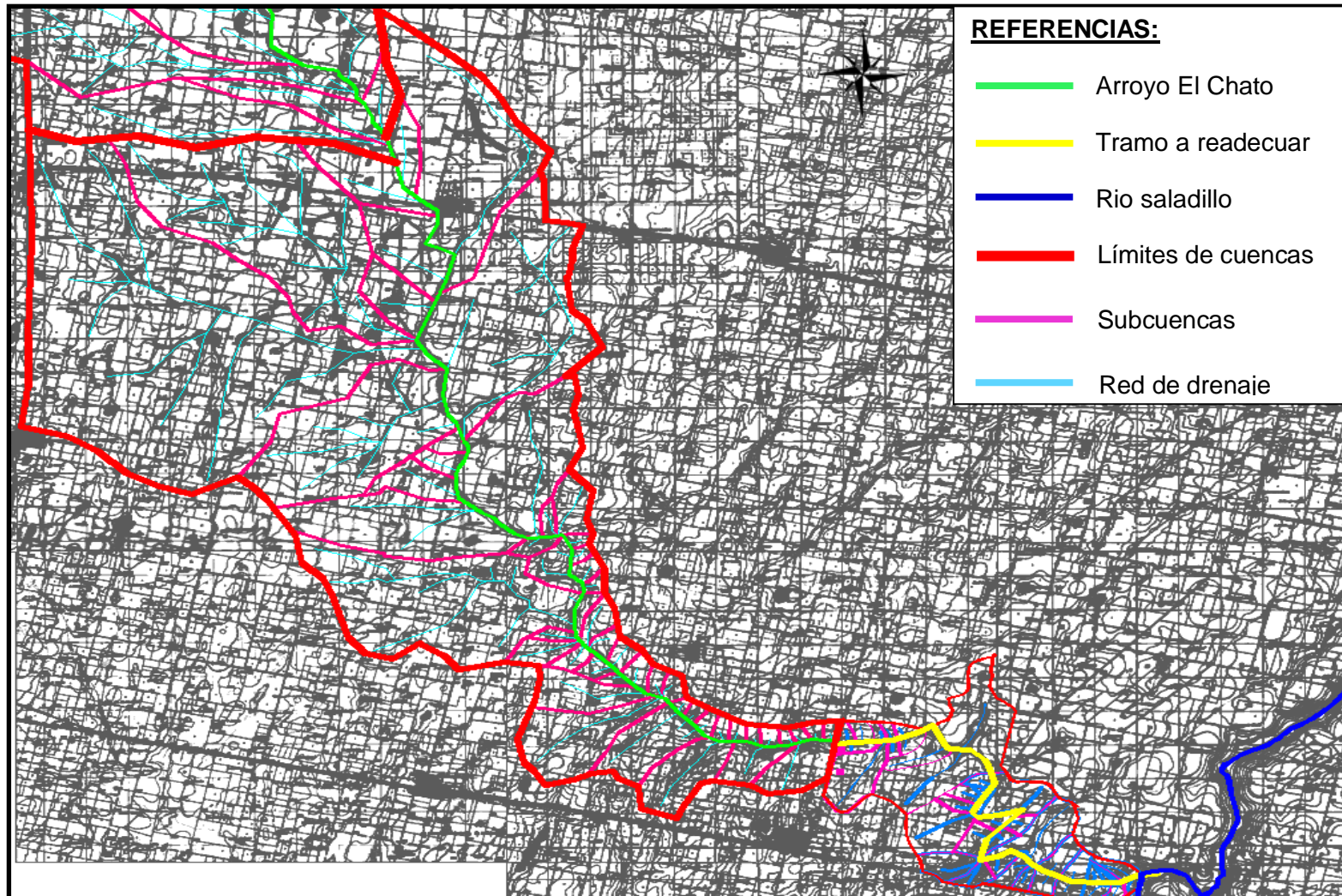


Figura 3.2-3 - Discretización de la cuenca baja del Arroyo El Chato



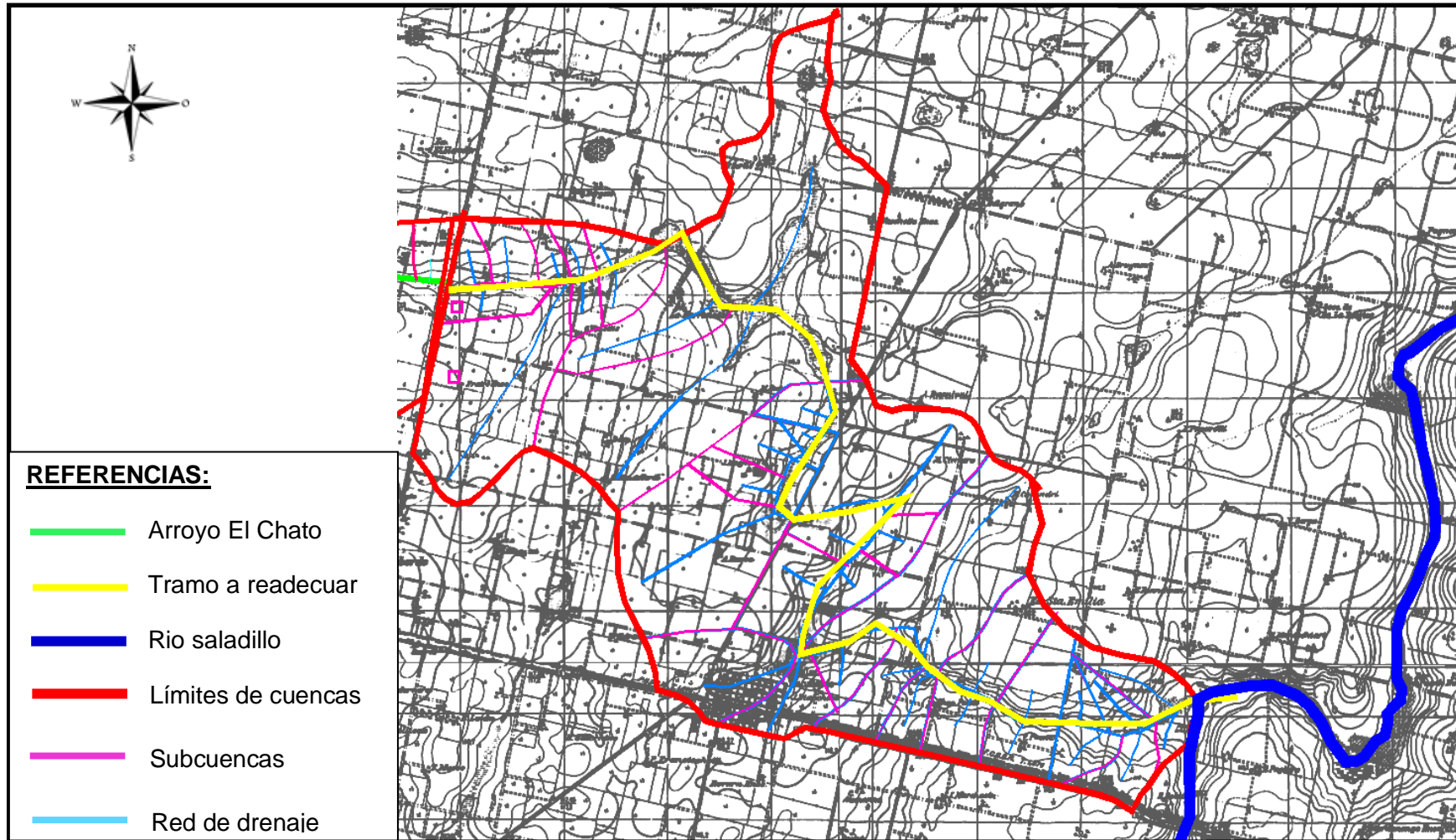


Figura 3.2-4 - Discretización de la cuenca baja de aporte directo al tramo a readecuar

### 3.3 DETERMINACION DE LOS PARAMETROS FISICOS

Un fenómeno natural de características hidrológicas está regido, en general, por una determinada cantidad de variables que interactúan entre sí, las que generan un evento meteorológico complejo cuya discretización se hace extremadamente complicada y compleja.

El reconocimiento de estas variables es el primer paso para lograr la representación numérica de este tipo de fenómenos constituyéndose una de las tareas con mayor importancia.

El modelo matemático está basado en una esquematización simplificada del contexto hidrológico, enmarcando no solo la cuenca sino también los eventos meteorológicos relevados y, posteriormente, la asignación de los distintos procesos involucrados para la representación del mismo. En esta concepción la cuantificación de las variables que actúan dentro del fenómeno es totalmente relevante.

La estructura hidrográfica se resolvió identificando las subcuencas que aportan a los cursos principales, determinando para cada una de ellas los parámetros que las caracterizan a nivel fisiográfico e hidrológico. Este estudio más detallado fue necesario frente al objetivo planteado al momento de definir las características que tendría el modelo numérico a realizar.

Para cada una de las cuencas hidrográficas principales se aplicó la misma metodología, se determinaron el área de cada subcuenca, la longitud del curso principal y la pendiente del mismo.

- Área de la cuenca (A): el área de la cuenca es sin duda una de las características geomorfológicas más importantes para el análisis hidrológico. La misma constituye el “factor de escala” en la relación de transformación lluvia-caudal, obteniendo valores que permitieron estudiar de modo detallado toda la zona de influencia del área bajo estudio. La determinación del área de cada una de las cuencas fue empleada en este estudio para analizar los parámetros fisiográficos fundamentales de las mismas como así también para el desarrollo del modelo hidrológico.
- Longitud del cauce principal (L): Se determina por medición directa de la longitud del cauce más importante de cada cuenca. En la elección de dicho cauce, se tiene en cuenta en cada caso, tanto la longitud del mismo, como su desnivel, buscando siempre el curso que presenta en lo posible, el máximo para ambos valores.

- *Pendiente Media (Sm)*: Relación entre la altura total del cauce principal (cota de máxima menos cota de mínima) y la longitud del mismo.

Se determinaron los parámetros físicos antes mencionados para cada una de las subcuencas definidas en la estructura hidrográfica. A continuación se puede observar la Tabla 3.3-1 correspondiente a la cuenca alta, las demás tablas se pueden consultar en el Anexo N°1.

SubCuenca	A (Ha)	L (km)	H (m)	Sc (%)
C1	1834	11,84	17,5	0,148
C2	596	1,66	5	0,301
C3	600	1,35	6,25	0,463
C4	912	2,49	5	0,201
C5	190	0,85	6,25	0,735
C6	4080	14,32	35	0,244
C7	448	0,32	5	1,563
C8	553	0,66	5	0,758
C9	62	0,5	2,5	0,500
C10	241	0,93	5	0,538
C11	643	2	7,5	0,375
C12	199	0,33	3,25	0,985
C13	4352	14,7	32,5	0,221
C14	690	3,35	10	0,299
C15	468	2,15	10	0,465
C16	200	0,64	7	1,094
C17	58	0,45	5	1,111
C18	105	1,32	7,5	0,568
C19	162	0,72	7	0,972
C20	200	1,23	8,5	0,691
C21	462	0,79	2,5	0,316
C22	517	2,19	10	0,457
C23	741	3,69	12,5	0,339
C24	3182	10,23	25	0,244
C25	910	3,58	12,5	0,349
C26	1139	12,77	20	0,157
C27	1485	3,48	5	0,144
C1.1	9646	28,60	60	0,210
C2.1	11498	18,30	35	0,191
C3.1	9600	29,20	67	0,229
C4.1	25236	53,70	103	0,191
C5.1	7410	22,18	35	0,158

**Tabla 3.3-1 - Parámetros físicos de la cuenca Alta**

### 3.4 TIEMPOS DE CONCENTRACION

El tiempo de concentración es uno de los parámetros del tiempo de respuesta característicos de una cuenca hídrica.

La mayoría de los métodos de función de transferencia consideran parámetros de tiempo característicos del escurrimiento de una cuenca.

El tiempo de concentración  $T_c$ , es uno de los parámetros utilizados con mayor frecuencia y constituye un ingrediente vital en el Método Racional y en otros métodos de estimación de respuestas máximas en cuencas urbanas. La utilización del mismo sin embargo, se extiende también a aplicaciones que persiguen otros objetivos tales como la simulación de eventos y el pronóstico de caudales. Los modelos utilizados para estos fines suelen utilizar técnicas de calibración o actualización de sus parámetros.

En la práctica existen tres alternativas básicas para estimar el valor de  $T_c$  en una cuenca:

1. A partir de pares de valores observados de lluvia-caudal;
2. Mediante el uso de fórmulas empíricas, y
3. Utilizando el enfoque físico basado en la ocurrencia de flujo cinemático.

Existe un gran número de fórmulas empíricas descritas en la literatura. Las mismas por lo general provienen de los países desarrollados y han sido deducidas para condiciones de caudales máximos. Aunque las fórmulas varíen entre sí, la mayoría relaciona  $T_c$  a diversos parámetros de la cuenca como la superficie, la longitud del curso, la pendiente del terreno, las condiciones de resistencia al flujo, etc. La aplicación de este tipo de fórmulas es simple, hecho que ha extendido su uso en el mundo. Sin embargo, la naturaleza empírica de las mismas, y la falta de una real diversidad en los datos utilizados en su ajuste limitan su valor.

#### 3.4.1 Dificultades y limitaciones de los métodos para predecir $T_c$

Pese a su influencia sobre la incertidumbre total en la estimación de caudales no existe en la práctica un método único para predecir con exactitud  $T_c$ . Los métodos basados en la definición clásica del  $T_c$  tienden a contemplar las características de la cuenca. Se basa en hipótesis simplificadoras tales como: comportamiento lineal de la cuenca, ocurrencia de un flujo uniforme, unicidad del valor del coeficiente de resistencia, unicidad del valor del radio hidráulico, distribución homogénea de la lluvia, etc. Por otra parte un mismo método utilizado por usuarios diferentes puede arrojar resultados diferentes debido a la subjetividad en la adopción de los valores de algunos coeficientes.

Los métodos basados en las características del conjunto hietograma-hidrograma también presentan limitaciones. Las principales de ellas se asocian a la inexistencia de métodos universales consagrados tanto para realizar la separación del hidrograma como para establecer la distribución temporal exacta de la lluvia neta. Por consiguiente, la combinación de distintos métodos conduce a la estimación de distintos valores de Tc. Otras limitaciones asociadas al hietograma corresponde a su heterogeneidad espacial y a la variación de su frecuencia o tiempo de retorno.

Es preciso considerar también que no existe una definición única y universal de cada uno de los parámetros de tiempo característicos del escurrimiento. Las diferencias residen en los instantes que son considerados por cada autor para describir el inicio y o fin de cada período.

### 3.4.2 Formulas consideradas para estimar el Tiempo de Concentración

#### 1. Método Racional Generalizado

Origen EEUU, adoptado por la ingeniería vial en Argentina. (ASCE, 1992)

$$T_c = \frac{60 * k * L}{H^{0,3}}$$

Donde Tc es el tiempo de concentración en horas; L es la longitud del cauce principal en Km; H la diferencia de nivel de la cuenca en metros; K es la rugosidad relativa (aproximadamente igual a 1).

#### 2. Formula de Temez (M.O.P.U)

Recomendada en España

$$T_c = \frac{0,3 * L^{0,76}}{S_c^{0,19}}$$

Donde Tc es el tiempo de concentración en horas; L es la longitud del cauce principal en Km; Sc es la pendiente media del cauce principal en m/m.

#### 3. Formula de Kiprich

Recomendada en España

$$T_c = 0,0195 * \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385}$$

Donde Tc es el tiempo de concentración en minutos; L es la longitud del cauce principal en metros; H la diferencia de nivel de la cuenca en metros.

#### **4. Formula de Carter**

Utilizada para Áreas menores a 1800 Ha, Pendientes del cauce principal menores a 0.5% y Longitudes del cauce principal menores a 11 Km.

$$T_c = \frac{1.7 * (L * 10)^{0.6}}{S_c^{0.30}}$$

Donde Tc es el tiempo de concentración en minutos; L es la longitud del cauce principal en Km; Sc es la pendiente media del cauce principal en m/m.

#### **5. Federal Aviation Administration**

$$T_c = \frac{3.26 * (1.1 - C) * (L)^{0.5}}{S_c^{0.33}}$$

Donde Tc es el tiempo de concentración en minutos; L es la longitud del cauce principal en metros; Sc es la pendiente media del cauce principal en m/m.

#### **6. Formula de Pilgrim**

Desarrollada para cuencas rurales de Australia (Pilgrim y Cordery, 1993).

$$T_c = 0.76 * (A)^{0.38}$$

Donde Tc es el tiempo de concentración en horas; A es el Área de la cuenca en Km<sup>2</sup>.

#### **7. Bransy Williams**

$$T_c = \frac{58 * L}{A^{0.1} * S_c^{0.2}}$$

Donde Tc es el tiempo de concentración en minutos; L es la longitud del cauce principal en Km; Sc es la pendiente media del cauce principal en m/m; A es el Área de la cuenca en Km<sup>2</sup>.

**8. Cartas de Velocidad Promedio**

$$Tc = \frac{1}{60 * (\frac{L}{V})}$$

Donde Tc es el tiempo de concentración en minutos; L es la longitud del cauce principal en metros; V velocidad promedio del flujo (aproximadamente 0.3 m/s).

**3.4.3 Estimación de los tiempos de concentración para las distintas cuencas y subcuencas analizadas**

Se han calculado los tiempos de concentración teniendo en cuenta las distintas variables que involucran cada una de las formulaciones antes mencionadas. La Tabla 3.4-1 muestra los parámetros necesarios para realizar las distintas estimaciones del tiempo de concentración para cada una de las cuencas principales, mientras que en la tabla 3.4-2 se presenta el tiempo de concentración calculado según las 8 formulas descriptas en la sección 3.4.2, realizando un promedio y adoptando un valor para cada cuenca principal.

Cuenca	Parámetros Físicos			
	A (Ha)	L (km)	H (m)	Sc (%)
<b>Alta</b>	87309.00	51.40	95.00	0.185
<b>Media</b>	60462.00	36.45	35.00	0.096
<b>Baja</b>	76823.00	50.05	32.50	0.065
<b>Total</b>	224594.00	137.90	162.50	0.118

**Tabla 3.4-1 - Parámetros físicos de las cuencas principales**

Cuenca	Tiempo de Concentración											
	Formula 1	Formula 2	Formula 3	Formula 4	Formula 5	Formula 6	Formula 7	Formula 8	Promedio		Adoptado	
									General	Ajustado	(min.)	(hs.)
<b>Alta</b>	786.7	1188.3	932.8	475.3	307.6	597.8	845.1	2855.6	998.6	804.34	<b>805</b>	<b>13.4</b>
<b>Media</b>	752.7	1036.4	921.1	470.7	322.1	519.9	708.8	2025.0	844.6	734.94	<b>735</b>	<b>12.3</b>
<b>Baja</b>	1056.8	1420.5	1367.0	640.2	430.0	569.4	1027.5	2780.6	1161.5	1013.59	<b>1015</b>	<b>16.9</b>
<b>Total</b>	1796.6	2740.3	2371.7	983.6	585.2	856.0	2257.3	7661.1	2406.5	1834.25	<b>1835</b>	<b>30.6</b>

**Tabla 3.4-2 - Valores de los tiempos de concentración de las cuencas principales**

A continuación la Tabla 3.4-3 muestra los resultados del tiempo de concentración para cada una de las subcuencas pertenecientes a la cuenca alta del Arroyo El Chato. El tiempo de concentración de las subcuencas pertenecientes a la cuenca media y baja se puede consultar en el Anexo N°2.

SubCuenca	Tiempo de Concentración											Adoptado	
	Formula	Formula	Formula	Formula	Formula	Formula	Formula	Formula	Formula	Promedio		(min.)	(hs.)
	1	2	3	4	5	6	7	8	General	Ajustado			
C1	301.0	406.2	328.2	210.6	159.0	137.7	299.6	657.8	312.5	284.1	<b>285.0</b>	4.8	
C2	61.5	79.7	55.0	52.3	47.0	89.9	40.8	92.2	64.8	64.2	<b>65.0</b>	1.1	
C3	46.7	62.8	39.7	40.6	36.7	90.1	30.4	75.0	52.8	50.3	<b>50.0</b>	0.8	
C4	92.2	117.2	87.8	75.4	65.9	105.6	63.5	138.3	93.2	90.7	<b>90.0</b>	1.5	
C5	29.4	40.5	23.3	26.8	25.0	58.2	19.6	47.2	33.7	32.0	<b>30.0</b>	0.5	
C6	295.7	426.6	313.1	203.0	147.9	186.6	302.5	795.6	333.9	287.9	<b>290.0</b>	4.8	
C7	11.8	16.7	8.2	11.9	11.9	80.6	5.8	17.8	20.6	13.1	<b>15.0</b>	0.3	
C8	24.4	33.2	18.9	22.8	21.8	87.3	13.6	36.7	32.3	26.3	<b>25.0</b>	0.4	
C9	22.8	29.1	18.0	21.9	21.8	38.0	13.9	27.8	24.2	23.5	<b>25.0</b>	0.4	
C10	34.4	46.0	28.2	31.1	29.0	63.7	22.3	51.7	38.3	36.7	<b>35.0</b>	0.6	
C11	65.6	88.1	58.3	54.8	47.9	92.5	46.6	111.1	70.6	67.9	<b>70.0</b>	1.2	
C12	13.9	18.6	10.0	13.9	14.1	59.2	7.1	18.3	19.4	14.8	<b>15.0</b>	0.3	
C13	310.4	443.6	332.1	212.6	155.0	191.3	314.7	816.7	347.0	300.8	<b>300.0</b>	5.0	
C14	100.7	136.2	94.7	80.0	66.9	95.0	81.2	186.1	105.1	98.0	<b>100.0</b>	1.7	
C15	64.7	89.3	56.8	53.7	46.3	82.0	49.6	119.4	70.2	66.0	<b>65.0</b>	1.1	
C16	21.4	30.2	16.1	20.1	19.0	59.3	13.5	35.6	26.9	23.7	<b>25.0</b>	0.4	
C17	16.7	23.1	12.2	16.2	15.8	37.1	10.7	25.0	19.6	18.2	<b>20.0</b>	0.3	
C18	43.3	59.4	36.1	37.7	33.9	46.5	34.0	73.3	45.5	42.8	<b>45.0</b>	0.8	
C19	24.1	33.8	18.4	22.3	20.9	54.8	15.9	40.0	28.8	26.6	<b>25.0</b>	0.4	
C20	38.8	54.2	31.7	34.1	30.7	59.3	28.5	68.3	43.2	41.5	<b>40.0</b>	0.7	
C21	36.0	44.9	30.4	33.0	31.9	81.6	19.7	43.9	40.2	36.7	<b>35.0</b>	0.6	
C22	65.9	90.9	58.0	54.6	47.0	85.1	50.2	121.7	71.7	67.4	<b>65.0</b>	1.1	
C23	103.8	143.1	97.2	81.6	67.4	97.6	86.6	205.0	110.3	101.6	<b>100.0</b>	1.7	
C24	233.7	330.4	241.7	165.9	125.0	169.8	221.5	568.3	257.1	227.2	<b>225.0</b>	3.8	
C25	100.7	139.0	93.9	79.4	65.7	105.5	81.8	198.9	108.1	100.1	<b>100.0</b>	1.7	
C26	311.9	425.6	340.2	216.6	162.0	114.9	335.0	709.4	327.0	298.5	<b>300.0</b>	5.0	
C27	128.8	161.1	129.3	101.9	87.0	127.1	90.4	193.3	127.4	123.1	<b>125.0</b>	2.1	
C1.1	502.4	743.0	565.7	321.9	219.9	258.8	571.5	1588.9	596.5	493.9	<b>495.0</b>	8.3	
C2.1	377.9	538.6	415.6	253.2	181.4	276.7	366.0	1016.7	428.3	371.3	<b>370.0</b>	6.2	
C3.1	496.3	742.0	555.3	317.3	215.7	258.4	573.4	1622.2	597.6	490.4	<b>490.0</b>	8.2	
C4.1	803.4	1221.0	952.9	483.3	311.0	373.0	993.2	2983.3	1015.1	804.5	<b>805.0</b>	13.4	
C5.1	458.0	646.5	519.0	301.0	213.0	234.2	481.7	1232.2	510.7	440.1	<b>440.0</b>	7.3	

**Tabla 3.4-3** - Valores de los tiempos de concentración de las subcuencas pertenecientes a la cuenca alta.



## **CAPITULO 4: PRECIPITACIONES**

### **4.1 INTRODUCCION**

Para numerosos propósitos ingenieriles es necesario conocer las precipitaciones máximas para distintas duraciones asociadas a su probabilidad de ocurrencia, a fin de poder realizar estimaciones de los caudales resultantes en los escurrimientos superficiales.

La información requerida depende del objetivo perseguido y en parte de la técnica de inferencia a emplear. Para estimar crecientes de proyecto incluye por lo común combinaciones de intensidad y persistencia extremas de la lluvia para cada probabilidad de ocurrencia o recurrencia (Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia o I-D-T), así como la estructura interna o el patrón de distribución temporal medio de la altura de agua caída en la tormenta (hietograma tipo).

Este tipo de información solo puede extraerse de registros de alta frecuencia, analógicos o cuasi continuos, normalmente fajas pluviográficas, y no se cuenta con él en cualquier lugar. Es en cambio habitual otro dato provisto por pluviómetros: la lámina diaria total. Se hace necesario entonces regionalizar la estadística de esta variable y asociarla al análisis pluviográfico para poder transferir el conocimiento que este aporta a cada punto de interés.

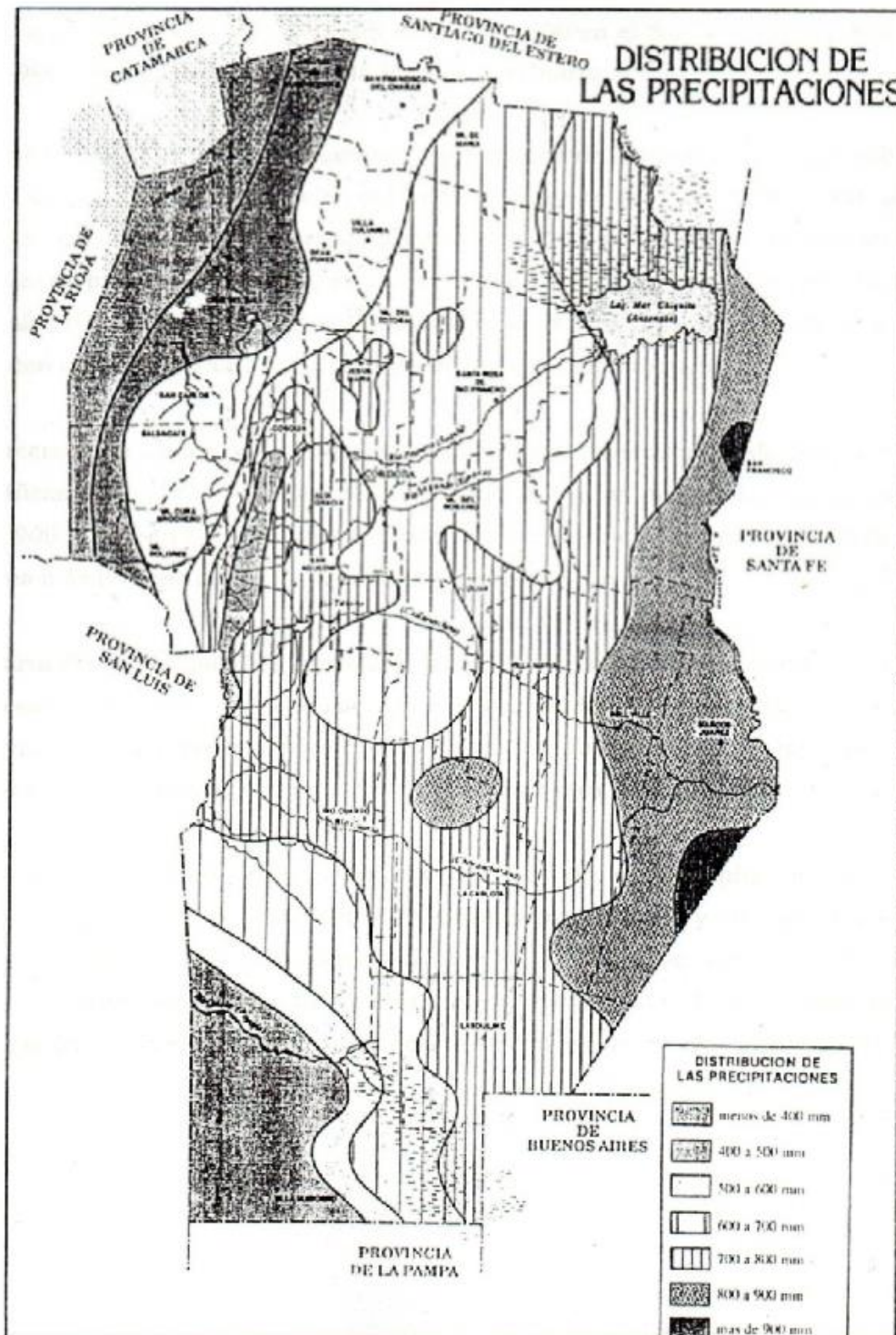
Para superar esta situación se elaboró en el pasado un Proyecto del cual formaron parte la Dirección Provincial de Hidráulica (actualmente Subsecretaría de Recursos Hídricos), el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) y el Centro de Investigaciones Hídricas de la Región Semiárida (CIRHSA) cuyo objetivo general fue desarrollar la tecnología necesaria para la estimación de tormentas de proyecto con alcance regional y específicamente llevar a cabo la tarea de regionalizar las lluvias máximas diarias para un gran número de puestos pluviométricos provinciales, deducir las relaciones entre intensidades duraciones y frecuencias así como las distribuciones temporales internas de las tormentas y finalmente proponer un mecanismo para evaluar hietogramas de proyecto de cualquier lugar de la Provincia.

#### **4.1.1 Distribución de las precipitaciones**

Según la carta de precipitaciones, que se muestra en la Figura 4.1-1, se ponen de manifiesto cinco áreas fundamentales de lluvias. En general la precipitación degrada desde el este-sudeste al noroeste de 800 a 400 mm anuales, mientras que las temperaturas aumentan en igual sentido.

En primer lugar la del este, con lluvias entre 900 y 800 mm con dos focos de más de 900 mm, uno alrededor de San Francisco y el otro al norte de Arias. Esta área lluviosa

se debe al mayor alcance y eficiencia de las masas de aire subtropical marítimo. La orientación meridional de esta franja es consecuencia de la elevada concentración estival de las precipitaciones, época durante la cual el anticiclón subtropical alcanza su máximo desplazamiento hacia el sur.



**Figura 4.1-1** - Distribución de la lluvia media anual en la provincia de Córdoba (Fuente: Tesis de Maestría “Lámina de lluvia puntual para diseño Hidrológico”).

Una segunda área es la diagonal de sentido SO - NE, a occidente de la anterior, con lluvias que oscilan entre los 800 mm en el NE y 500 en el SO, con un pequeño foco de 800 a 900 mm equidistantes de Villa María y Río Cuarto.

Se pone de manifiesto aquí el progresivo agotamiento de la humedad del aire subtropical de E a O, por un lado, y la acción del frente frío que se desplaza de SO al NE por otro. Además hay un aumento de precipitaciones a medida que el choque de aire frío con el caliente se produce más al N, es decir, donde este conserva mejor su condición original o sea cálida y húmeda. Finalmente, la extensión de área hacia el occidente, junto con el relieve, es una consecuencia de la excitación orográfica.

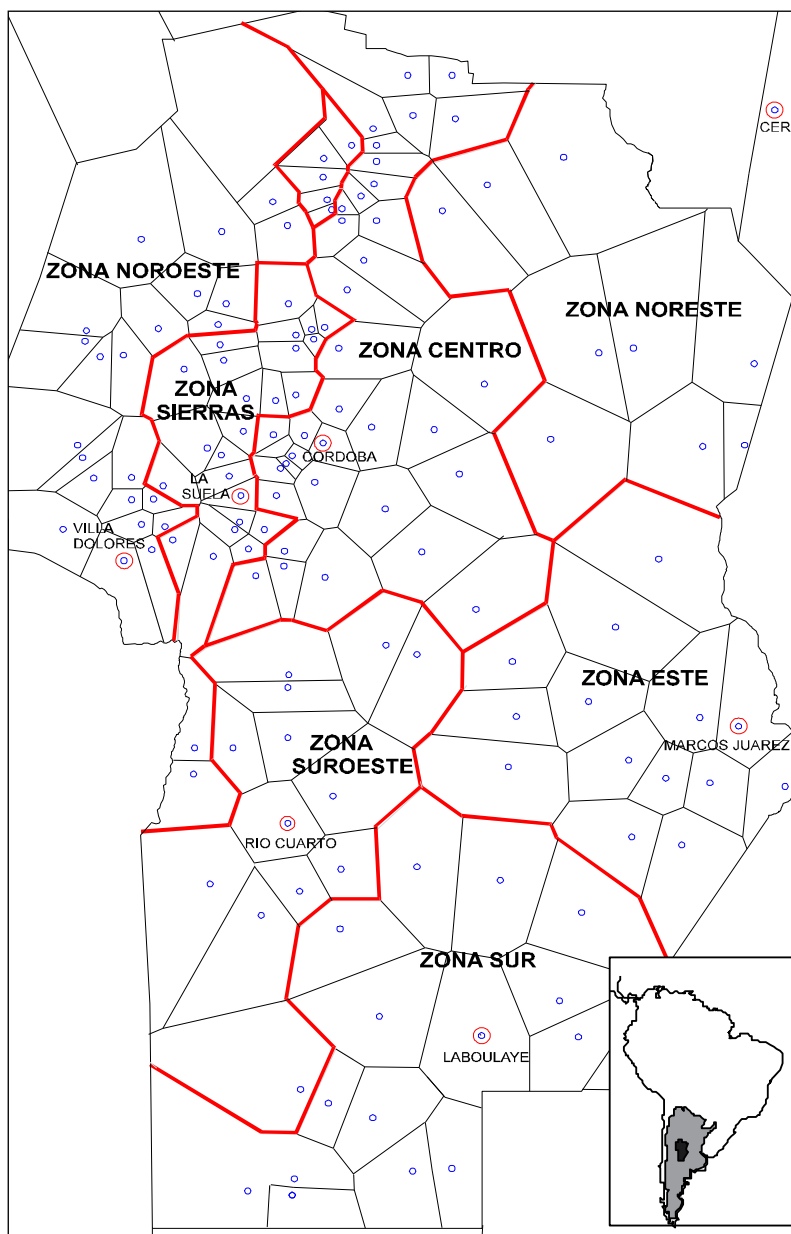
La tercera área, estrecha y larga es también una consecuencia de las excitaciones orográficas. En los niveles inferiores de las montañas las precipitaciones oscilan entre 800 y 900 mm, y en los altos niveles pasan estas cifras para producir los valores propios del área más lluviosa de la provincia (San Francisco y Arias).

La cuarta área corresponde a la planicie del NO. La tensión de vapor es baja, no obstante las elevadas temperaturas, a causa del escaso contenido de agua de las masas de aire. La lluvia disminuye desde el borde de las montañas, donde llega a 600 mm, hacia el NO, en que alcanza menos de 400 mm. Es la región más seca de la provincia.

Por último existe un área entre la anterior y la segunda, con precipitaciones inferiores a esta pero superiores a la planicie del NO. Oscilan entre los 600 y 700 mm. Su inserción puede explicarse por el agotamiento, hacia el O, de las masas húmedas del anticiclón tropical, efectos orográficos atenuados por la menor altitud de la montaña y la propagación, hacia el este, de la incidencia de las masas de aire cálido y seco del NO.

#### **4.1.2 Metodología**

La finalidad es calcular los hietogramas de tormenta de las subcuencas. El método empleado para el cálculo de las precipitaciones fue desarrollado en 1995 en el estudio denominado "Lluvias intensas: Alternativas de transposición en la Provincia de Córdoba", este trabajo describe diversos métodos de transposición de tormentas y evalúa su capacidad para ser usados localmente. Los estudios se hicieron usando información de 7 estaciones pluviográficas, con el objeto de extender su uso a una red de 141 puestos pluviométricos distribuidos en toda la provincia de Córdoba (Caamaño Nelli, García, Dasso, Bernasconi), como se muestra en la Figura 4.1-2.



**Figura 4.1-2 – Ubicación de estaciones pluviográficas y pluviométricas de la Provincia de Córdoba.**

La metodología empleada consiste básicamente en determinar de manera aproximada por extrapolación, las curvas Intensidad - Duración - Frecuencia (I - D - F) en aquellas estaciones pluviométricas que no las posean, en base a las curvas I-D-F de un puesto base y al cálculo de un factor.

Se utiliza una estación base que posea determinadas las curvas I-D-F. La precipitación media diaria anual a considerar en cada estación es la que corresponde al tiempo de recurrencia de 10 años.

Se calcula un factor para cada estación que es igual al cociente entre la precipitación máxima diaria anual de 10 años de recurrencia (de la estación a obtener las Curvas I-D-F) y la precipitación máxima diaria anual de la estación base.

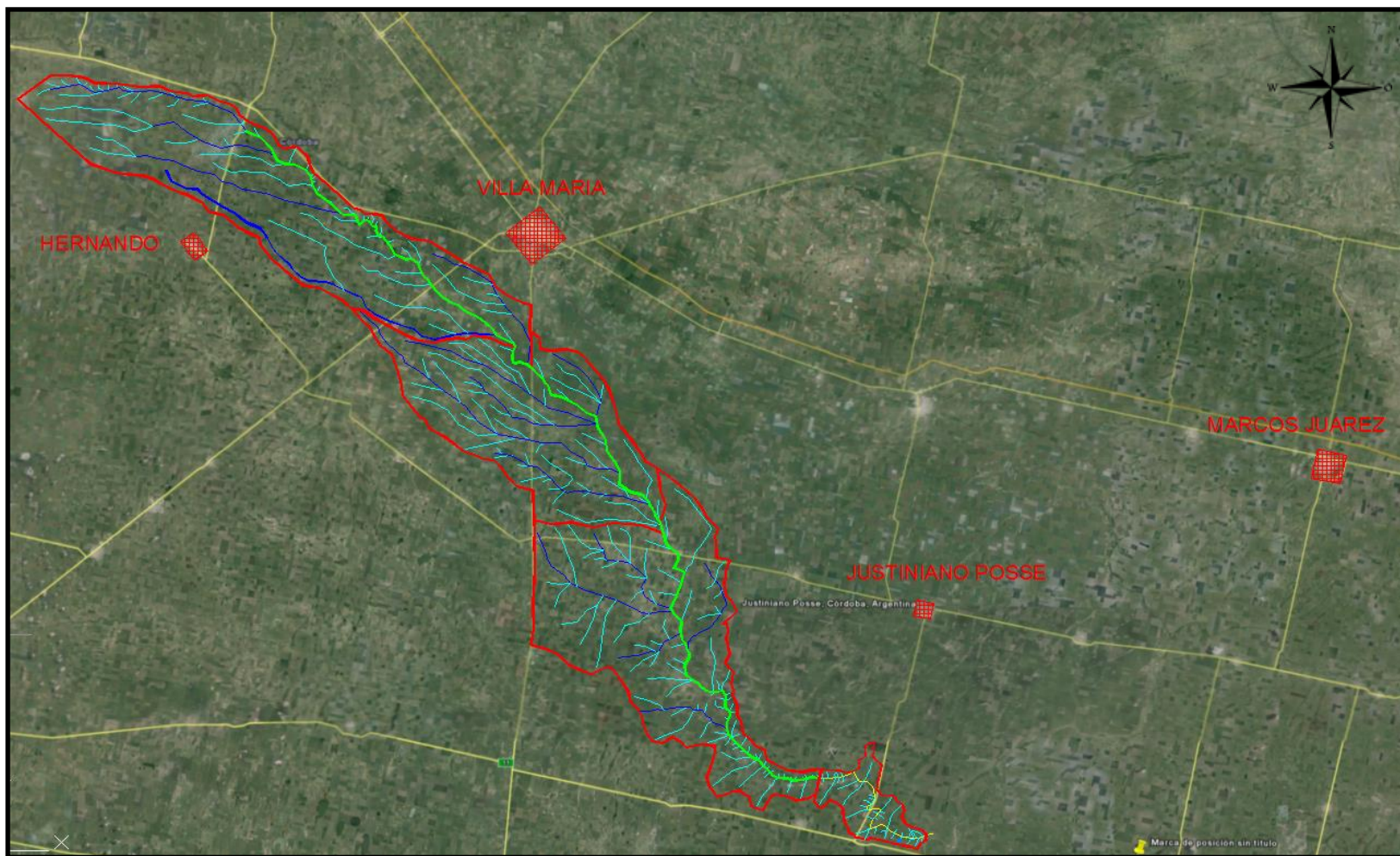
De las curvas I-D-F de la estación base se extraen los valores de intensidad y duración para los distintos tiempos de recurrencia, con los que se obtienen las alturas de precipitación para los distintos períodos de retorno.

La precipitación puntual en una cuenca será el producto de la altura de la lámina llovida por el factor correspondiente a la estación que se trate.

La distribución espacial de precipitaciones máximas es un elemento importante para el control de volúmenes erogados superficialmente. Una distribución espacial de lluvias máximas no representa necesariamente un patrón uniforme. Para tener en cuenta dicho fenómeno se ha desarrollado un método que consiste en la determinación de una curva altura pluviométrica - área - duración, que permite transferir un resultado puntual a uno espacial.

#### **4.2 DETERMINACION DE LAS PRECIPITACIONES**

La cuenca en estudio se encuentra definida casi en su totalidad dentro de la zona de influencia de la estación pluviográfica de Marcos Juarez, por lo tanto se toma esta estación como puesto base para el análisis. De la ubicación geográfica de los 141 puntos de medición que constituyen la red pluviométrica definida en el análisis realizado durante el proyecto de Regionalización de Precipitaciones Máximas para la Provincia de Córdoba, se seleccionaron aquellas estaciones pluviométricas de interés para nuestro estudio como se observa en la Figura 4.2-1.



**Figura 4.2-1** - Ubicación de la estación Pluviografica de Marcos juarez y estaciones pluviométricas de Hernando, Villa María y Justiniano Posse.

#### 4.2.1 Estimación de las curvas I-D-T para la región analizada

Para el dimensionado de las obras de drenaje y control de erosión, determinación de caudales máximos es necesario conocer la precipitación con un determinado riesgo de ocurrencia para una duración dada. El riesgo de ocurrencia está directamente relacionado con la frecuencia esperada para un evento o su período de recurrencia. Se pueden obtener relaciones entre las variables mencionadas (intensidad-duración-período de recurrencia) que permitan expresar una de ellas en función de las otras dos.

En el trabajo de regionalización de precipitaciones máximas se determinaron las curvas i-d-T utilizando distintas distribuciones de probabilidad (Gumbel, Gamma, Normal, Lognormal, LogPearson III, Weibull, etc.) para las estaciones base adoptadas en este trabajo.

Se adoptó la distribución Lognormal como curva teórica para relacionar Intensidades-Períodos de Retorno en la estación de Marcos Juárez. A partir de los valores de intensidad y período de retorno para cada duración es posible graficar las curvas i-d-T buscadas.

A continuación se muestran los resultados obtenidos correspondientes a la estación base seleccionada para este estudio.

P. Retorno (años)	Duracion ( minutos)									
	5	10	15	30	60	120	180	360	720	1440
2	130.8	104.6	87.8	60.4	38.5	23.3	17.1	9.9	5.7	3.2
5	162.7	130.2	109.3	75.2	48.0	29.0	21.3	12.4	7.1	4.0
10	192.1	153.7	129.0	88.8	56.6	34.2	25.1	14.6	8.4	4.8
25	239.1	191.3	160.6	110.5	70.4	42.6	31.3	18.2	10.4	5.9
50	282.1	225.8	189.5	130.4	83.1	50.3	36.9	21.4	12.3	7.0
100	333.0	266.4	223.6	153.9	98.1	59.4	43.6	25.3	14.5	8.3
200	393.0	314.4	263.9	181.7	115.8	70.1	51.4	29.8	17.1	9.8

Tabla 4.2-1 - Intensidades en [mm/h] para distintos periodos de retorno (Marcos Juárez)

P. Retorno (años)	Duracion ( minutos)									
	5	10	15	30	60	120	180	360	720	1440
2	10.90	17.43	21.95	30.22	38.52	46.62	51.34	59.57	68.32	77.88
5	13.56	21.70	27.32	37.61	47.95	58.04	63.90	74.16	85.04	96.94
10	16.00	25.61	32.25	44.39	56.59	68.50	75.42	87.54	100.36	114.41
25	19.92	31.88	40.14	55.26	70.45	85.26	93.88	108.96	124.92	142.42
50	23.51	37.63	47.37	65.22	83.14	100.63	110.80	128.58	147.48	168.07
100	27.75	44.40	55.91	76.97	98.12	118.76	130.76	151.74	174.00	198.36
200	32.75	52.41	65.98	90.83	115.80	140.15	154.32	179.04	205.32	234.10

Tabla 4.2-2 - Lamina total en [mm] para distintos periodos de retorno (Marcos Juárez)

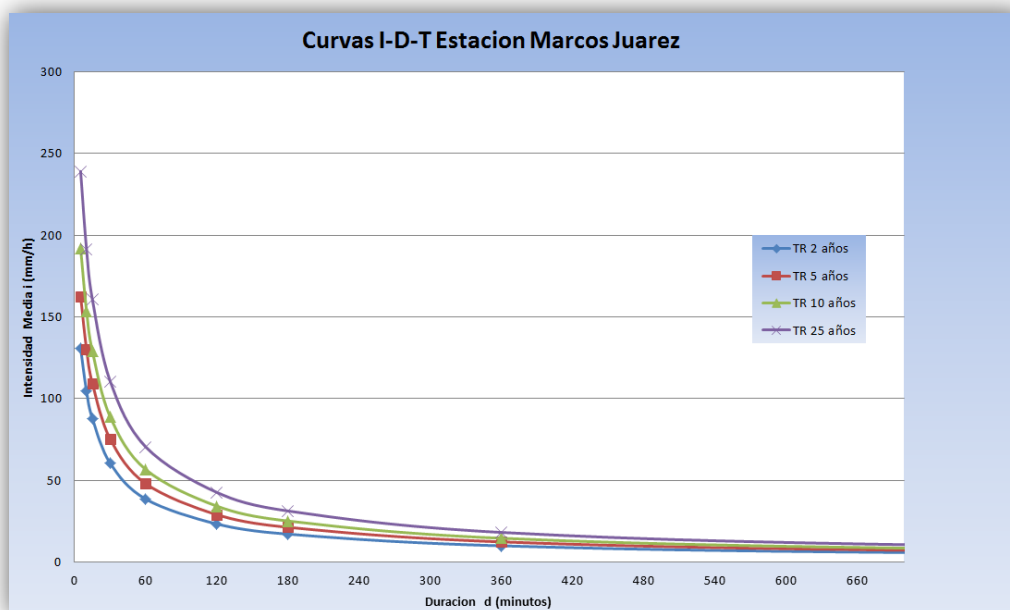


Figura 4.2-2 - Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia de la estación Marcos Juarez

#### 4.2.2 Transferencia por extrapolación

Los métodos de extrapolación se sustentan en la hipótesis de que las estaciones pluviográficas representan sendas zonas homogéneas. De tal modo, en tanto una de éstas, o un conjunto de varias adyacentes, abarque toda la región de estudio, la transposición será un proceso centrífugo de traslado de información desde el puesto base, dentro de cada zona, prescindente de su entorno. Esa concepción es equivalente a la que se aplica para extender espacialmente lluvias diarias mediante polígonos de Thiessen.

Esta clase de técnicas suele emplearse para transponer estimaciones de lluvias extremas, para varias duraciones, así como precipitaciones máximas probables, definidas por un análisis apropiado de tormentas históricas sobre la cuenca y sobre el área sujeta a influencias meteorológicas similares. Los parámetros de curvas i-d-T y del hietograma tipo también pueden ser extrapolados, con propósito de diseño.

En todo caso es necesario establecer de antemano que la posición del pluviógrafo es representativa del área en estudio, condición que depende de factores meteorológicos, en especial trayectoria y estructura de la tormenta: la extrapolación será válida si éstos afectan de modo estadísticamente similar toda la zona. El aspecto que se debe destacar de este enfoque del problema de la transposición es que las técnicas a que conduce son no paramétricas. No hay en ellas un modelo cuyas constantes se ajustan por regresión, ni un índice de correlación que sirva para evaluar su validez regional.



La semejanza meteorológica es el elemento de juicio y debe ser preestablecida para cada zona en estudio, lo que en la práctica implica verificar que cada estación pluviométrica cumple condiciones experimentalmente establecidas para adoptarla, a priori, como representativa de su zona y constatar que un conjunto de varias adyacentes abarca toda la región. Si, como aquí sucede, la extrapolación se hará a puestos pluviométricos, es necesario, además, determinar qué lote de éstos integra cada zona.

En caso de darse esta situación, los patrones de comportamiento del puesto base serán transferibles al área que se le asemeja, sin requerir convalidación a posteriori. En este trabajo se consideró a Marcos Juárez y a las estaciones seleccionadas en la Tabla 4.2-3 dentro de la misma zona homogénea. Convalidada la representatividad, puede pasarse a la extrapolación propiamente dicha.

Estacion	Codigo	Latitud Sur	Longitud Oeste	Prec. Max. Diaria Anual TR= 10 años
Hernando	7056	32°25'38"	63°43'53"	123.939
Villa Maria	7067	32°24'46"	63°14'52"	131.857
Just. Posse	7579	32°53'5"	62°40'45"	137.498
Marcos Juárez	7390	32°41'42"	62°6'13"	143.263

**Tabla 4.2-3** - Características de las estaciones seleccionadas para la zona de estudio

Dado que las series de anuales de lluvias diarias provistas por estos aparatos han sido procesadas estadísticamente en trabajos anteriores se empleará como factor de escala, en cada estación el cociente entre su lámina diaria y la del puesto base, para un período de retorno de 10 años, que se obtuvieron de análisis de frecuencia de lluvia diaria. Los valores de este factor para cada estación se pueden observar en la Tabla 4.2-4.

Factor de escala para transformar curva I-D-F de cada estacion	
FACTOR =	h diaria para TR=10 años en c/estacion
	h diaria para TR=10 años estacion base
ESTACION	FACTOR
Hernando	0.960
Villa Maria	0.865
Just. Posse	0.920

**Tabla 4.2-4** - Factor de escala para transformar las curvas I-D-T de todas las estaciones

Esta forma de proceder neutralizará la distorsión que pueden causar las diferencias de cantidad de lluvia entre la estación emisora y receptora de información.

De esta manera se estimaron las curvas i-d-T para todos los puestos pluviométricos, en los cuales no se tienen datos pluviográficos. Estas relaciones se muestran de la Tabla 4.2-5 a la Tabla 4.2-7 para cada uno de los pluviómetros seleccionados.

P. Retorno (años)	Duracion ( minutos)									
	5	10	15	30	60	120	180	360	720	1440
2	113.11	90.49	75.95	52.28	33.33	20.17	14.80	8.59	4.93	2.81
5	140.78	112.65	94.55	65.08	41.48	25.10	18.43	10.69	6.13	3.49
10	166.15	132.93	111.58	76.80	48.96	29.63	21.75	12.62	7.23	4.12
25	206.82	165.49	138.89	95.60	60.95	36.88	27.07	15.71	9.01	5.13
50	244.08	195.30	163.92	112.84	71.93	43.53	31.95	18.54	10.63	6.06
100	288.07	230.48	193.46	133.17	84.89	51.37	37.71	21.88	12.54	7.15
200	339.96	272.02	228.31	157.16	100.18	60.62	44.50	25.82	14.80	8.44

P. Retorno (años)	Duracion ( minutos)									
	5	10	15	30	60	120	180	360	720	1440
2	9.43	15.08	18.99	26.14	33.33	40.34	44.41	51.53	59.10	67.38
5	11.73	18.77	23.64	32.54	41.48	50.21	55.28	64.16	73.57	83.86
10	13.85	22.16	27.90	38.40	48.96	59.26	65.24	75.73	86.82	98.98
25	17.24	27.58	34.72	47.80	60.95	73.76	81.22	94.26	108.07	123.21
50	20.34	32.55	40.98	56.42	71.93	87.05	95.85	111.24	127.59	145.40
100	24.01	38.41	48.36	66.58	84.89	102.74	113.12	131.27	150.53	171.60
200	28.33	45.34	57.08	78.58	100.18	121.25	133.50	154.89	177.63	202.52

**Tabla 4.2-5** - Relaciones i-d-t y h-d-t Estación Hernando

P. Retorno (años)	Duracion ( minutos)									
	5	10	15	30	60	120	180	360	720	1440
2	120.34	96.27	80.80	55.62	35.46	21.46	15.75	9.14	5.24	2.99
5	149.77	119.84	100.59	69.24	44.14	26.71	19.61	11.38	6.52	3.72
10	176.76	141.43	118.71	81.71	52.09	31.52	23.14	13.43	7.70	4.39
25	220.04	176.06	147.77	101.71	64.84	39.24	28.80	16.71	9.58	5.46
50	259.68	207.78	174.39	120.05	76.52	46.31	33.99	19.72	11.31	6.45
100	306.47	245.21	205.82	141.67	90.31	54.65	40.12	23.28	13.35	7.61
200	361.68	289.40	242.90	167.20	106.58	64.50	47.34	27.46	15.75	8.98

P. Retorno (años)	Duracion ( minutos)									
	5	10	15	30	60	120	180	360	720	1440
2	10.03	16.05	20.20	27.81	35.46	42.91	47.25	54.83	62.88	71.68
5	12.48	19.97	25.15	34.62	44.14	53.42	58.82	68.26	78.27	89.22
10	14.73	23.57	29.68	40.86	52.09	63.04	69.41	80.57	92.37	105.30
25	18.34	29.34	36.94	50.86	64.84	78.48	86.40	100.29	114.97	131.08
50	21.64	34.63	43.60	60.02	76.52	92.62	101.97	118.34	135.74	154.69
100	25.54	40.87	51.45	70.84	90.31	109.30	120.35	139.66	160.15	182.57
200	30.14	48.23	60.72	83.60	106.58	129.00	142.03	164.79	188.97	215.46

Tabla 4.2-6 - Relaciones i-d-t y h-d-t Estación Villa Maria

P. Retorno (años)	Duracion ( minutos)									
	5	10	15	30	60	120	180	360	720	1440
2	125.49	100.39	84.26	58.00	36.97	22.37	16.42	9.53	5.46	3.11
5	156.18	124.97	104.89	72.20	46.02	27.85	20.44	11.86	6.80	3.88
10	184.32	147.48	123.79	85.21	54.32	32.87	24.13	14.00	8.03	4.58
25	229.45	183.59	154.09	106.06	67.61	40.92	30.03	17.43	9.99	5.70
50	270.79	216.67	181.86	125.18	79.80	48.29	35.45	20.57	11.80	6.72
100	319.58	255.70	214.62	147.74	94.17	56.99	41.83	24.27	13.92	7.93
200	377.16	301.78	253.29	174.35	111.14	67.26	49.37	28.64	16.42	9.36

P. Retorno (años)	Duracion ( minutos)									
	5	10	15	30	60	120	180	360	720	1440
2	10.46	16.73	21.07	29.00	36.97	44.75	49.27	57.17	65.57	74.75
5	13.02	20.83	26.22	36.10	46.02	55.70	61.33	71.18	81.62	93.04
10	15.36	24.58	30.95	42.60	54.32	65.74	72.38	84.02	96.32	109.80
25	19.12	30.60	38.52	53.03	67.61	81.83	90.10	104.58	119.89	136.69
50	22.57	36.11	45.46	62.59	79.80	96.58	106.34	123.41	141.55	161.31
100	26.63	42.62	53.66	73.87	94.17	113.98	125.50	145.63	167.00	190.38
200	31.43	50.30	63.32	87.17	111.14	134.51	148.11	171.84	197.06	224.68

Tabla 4.2-7 - Relaciones i-d-t y h-d-t Estación Justiniano Posse

### **4.3 TORMENTA DE DISEÑO**

Esta tormenta es la secuencia de precipitaciones capaz de provocar la crecida de diseño en la cuenca analizada. Su determinación implica definir la duración de la lluvia, la lámina total precipitada, su distribución temporal y espacial, y la porción de dicha lámina que efectivamente contribuye a la generación de escorrentías.

#### **4.3.1 Periodo de Retorno**

Los sistemas hidrológicos son afectados por eventos extremos, cuya magnitud está inversamente relacionada con la frecuencia de ocurrencia. Por definición, el periodo de retorno (o de recurrencia) es el tiempo promedio durante el cual se espera que la magnitud analizada sea igualada o superada, al menos, una vez.

Teniendo en cuenta que el presente trabajo servirá de base para el estudio hidráulico del los últimos 30 Km antes de la desembocadura, se analizarán recurrencias de 2 años (para dimensionar la capacidad del cauce) 10 años (para dimensionar las obras de arte en caminos de la red secundaria y terciaria) y de 50 años (para dimensionar las obras de arte en rutas) según el grado de riesgo aceptable, medidos en términos de frecuencia versus daños o riesgos asociados.

#### **4.3.2 Duración**

Existen distintas metodologías para establecer la duración de las tormentas intensas en una determinada cuenca para propósitos de diseño, entre las que se destacan la utilización de una duración levemente superior al tiempo de concentración de la cuenca, o aprovechando información pluviográfica disponible determinar la duración de tormenta “más frecuente”.

La duración de una tormenta de diseño se adopta en general igual o levemente superior al tiempo de concentración ( $t_c$ ) de la cuenca, permitiendo este criterio la contribución de toda el área de aporte con la consecuente determinación del caudal máximo.

Luego de analizar los resultados de los cálculos del tiempo de concentración y las duraciones típicas de las tormentas intensas en la zona de estudio se definieron las duraciones de las lluvias para cada una de las cuencas de análisis. El tiempo de concentración de la cuenca alta, media y baja oscilaba en valores entre 10 hs a 13 hs, por lo que se concluyó que 12hs de duración serían responsables de la magnitud del pico de crecida para cada una de las cuencas. A continuación en la Tabla 4.3-1 se muestra los valores adoptados.

Cuenca	Duracion de la lluvia	
	[hs]	[min]
Alta	12	720
Media	12	720
Baja	12	720

**Tabla 4.3-1** - Duraciones de lluvias adoptadas para cada una de las cuencas

### 4.3.3 Lamina Precipitada

Considerando la relación i-d-f adoptadas para la estación de Hernando, Villa María y Justiniano Posse, que se encuentran en la sección 4.2.4, los periodos de recurrencia planteados TR = 2, 10 y 50 años y la duración de tormenta d = 12 horas, se deducen las láminas totales precipitadas (P) que se detallan en la Tabla 4.3-2.

ESTACION	PERIODO DE RETORNO	DURACION	LAMINA PRECIPITADA
	[Años]	[hs]	[mm]
Hernando	2	12	59.10
	10	12	86.82
	50	12	127.59
Villa Maria	2	12	62.88
	10	12	92.37
	50	12	135.74
Just. Posse	2	12	65.57
	10	12	96.32
	50	12	141.55

**Tabla 4.3-2** - Lámina precipitada para distintos periodos de retorno y duraciones

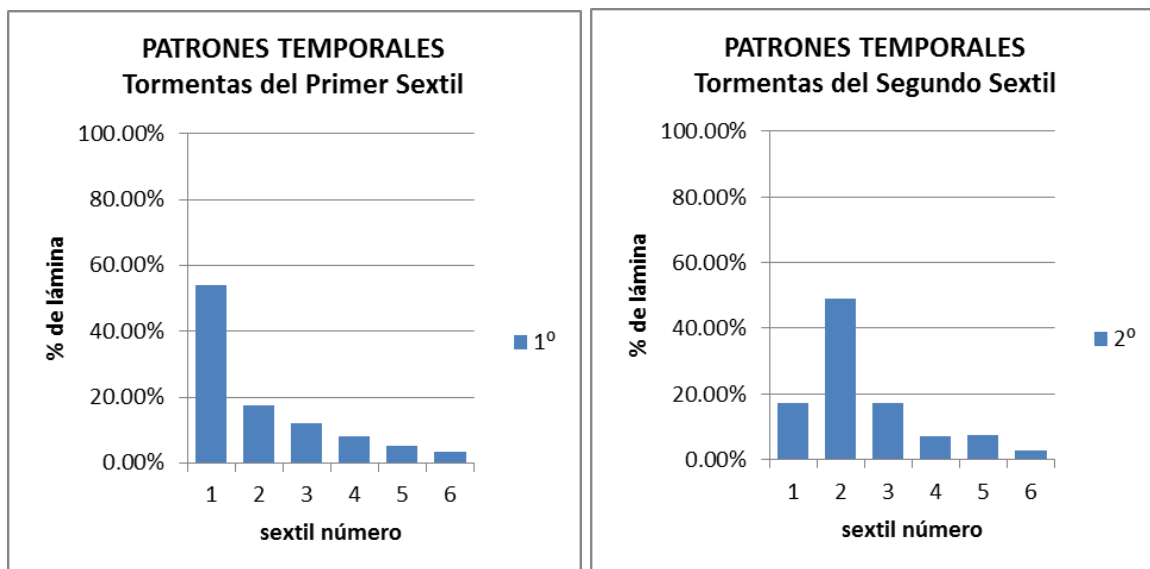
### 4.3.4 Distribución Temporal

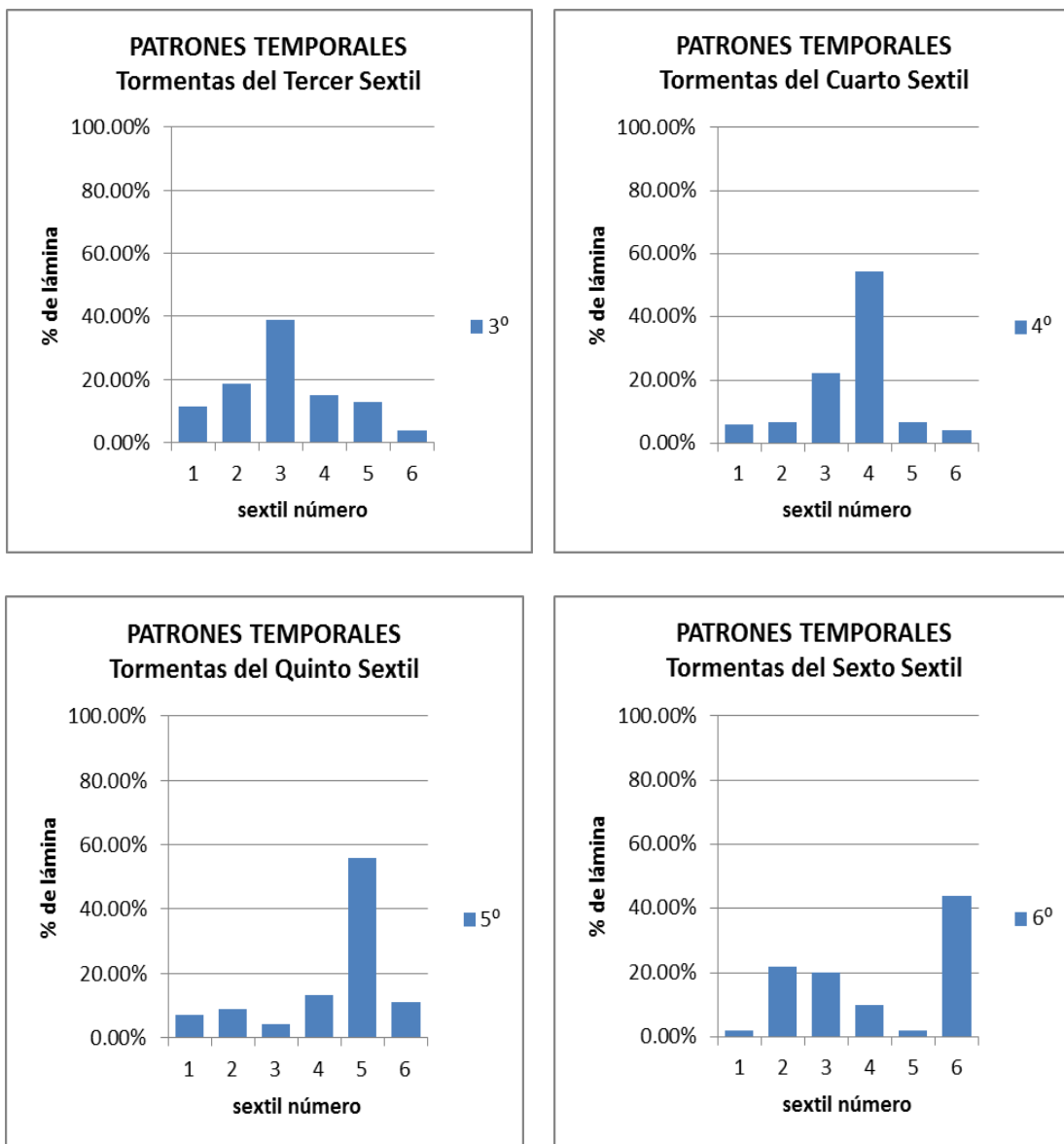
El conocimiento de la distribución temporal de tormentas intensas reviste gran importancia para la resolución de ciertos problemas hidrológicos, como el estudio de la escorrentía potencial de varios tipos de tormenta. La distribución temporal de las tormentas intensas es requerida como dato de entrada en los modelos de simulación lluvia-caudal, constituyendo un elemento determinante en la estimación del hidrograma de crecidas.

Para seleccionar tormentas intensas ocurridas en la estación que se analiza se deben establecer en primer lugar criterios para separar tormentas y consideraciones sobre la intensidad media y lámina mínima.

Para obtener los patrones de distribución temporal se tuvieron en cuenta, en el estudio mencionado, tres tipos de variables intervinientes en el problema: criterio de separación de tormentas, duración de la tormenta y ubicación del pico (intervalo de mayor intensidad de la precipitación). Luego de aplicar diversas metodologías (análisis de tormentas por duración, análisis de tormentas por sextil y análisis de tormentas por sextil y duración) se llegó a la conclusión que el patrón temporal típico dependía conjuntamente de la posición del pico y de la duración de la tormenta.

A continuación se muestran los resultados de los patrones temporales para la estación de Marcos Juárez obtenidos en el estudio de Regionalización de Precipitaciones Máximas para la Provincia de Córdoba, estos patrones temporales representan los porcentajes de lámina precipitada dividiendo la duración de la tormenta en 6 intervalos, de los cuales uno contiene el pico (de mayor intensidad) y los restantes decrecen en forma progresiva. La frecuencia de aparición de la posición del pico disminuye a medida que el patrón de tormenta se retrasa, es decir, que el patrón de lluvia con pico ubicado en el primer intervalo posee la mayor probabilidad de ocurrencia. Esta probabilidad decrece cuando el pico se ubica hacia los últimos sextiles o intervalos.





**Figura 4.3-1** - Hietogramas típicos para tormentas intensas en la estación de Marcos Juárez (Fuente: “Regionalización de Precipitaciones Máximas para la Provincia de Córdoba”)

Para definir la distribución temporal interna de las tormentas se partió de los hietogramas tipo ya determinados para la estación de Marcos Juárez, donde la suma de las probabilidades de ocurrencia para los patrones temporales con pico en el 1º y 2º sextil supera el 50%. De ambos patrones fue adoptado el que contiene el pico en el 2º sextil (dado que este patrón es en general más desfavorable para la generación de caudales). (Figura 4.3-2).

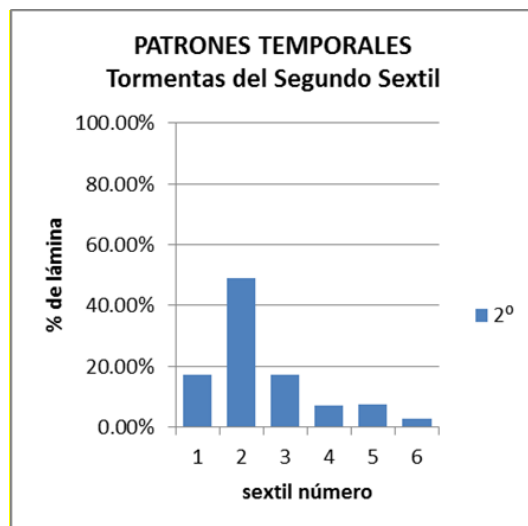


Figura 4.3-2 - Hietograma tipo para la zona de estudio

### 4.3.5 Distribución Espacial

La distribución espacial de precipitaciones máximas es un elemento importante para el control de volúmenes erogados superficialmente. Una distribución espacial de lluvias máximas no representa necesariamente un patrón uniforme. Para tener en cuenta dicho fenómeno se ha desarrollado un método que consiste en la determinación de una curva altura pluviométrica - área - duración, que permite transferir un resultado puntual a uno espacial.

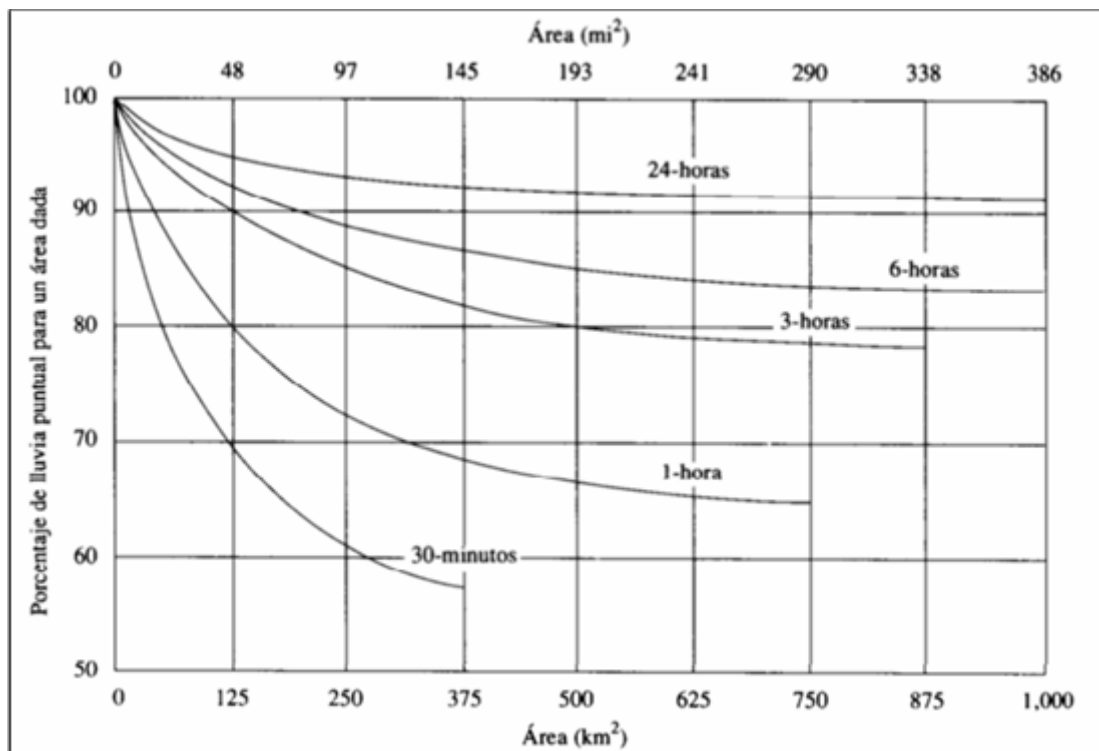
Dependiendo de las características climáticas y topográficas de la región, valores puntuales de intensidades máximas se consideran representativos en áreas de 2.5 hasta 25 km<sup>2</sup>. Para áreas mayores a 25 km<sup>2</sup> el valor de la precipitación puntual debe ser afectado por un coeficiente de reducción que depende del área de la cuenca y de la duración de la tormenta.

La precipitación media sobre la cuenca a utilizar en los cálculos será igual al producto de la precipitación puntual por el coeficiente de distribución espacial.

Los ábacos de atenuación utilizados son gráficos con curvas para varias duraciones, que indican el porcentaje de lluvia local a tomar como promedio sobre la cuenca. El U.S. Weather Bureau (1958) dedujo un algoritmo de este tipo para cuencas situadas al este del río Mississippi, que se popularizó al publicarla la WMO (1983). Leclerc y Schaake (Valdés, 1981) ajustaron una ecuación polinómica a esas curvas. En varios lugares del mundo se elaboraron luego representaciones de este tipo.



Para la cuenca alta, media y baja del arroyo El Chato se determinaron los valores mediante las curvas de reducción de altura de lluvia puntual a media areal de la cuenca publicadas por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en 1983 como se puede observar en la Figura 4.3-3.



**Figura 4.3-3** - Curvas profundidad-área para reducir precipitación puntual con el fin de obtener valores promedio del área (OMM, 1983)

La Tabla 4.3-3 muestra los coeficientes de abatimiento determinados para cada una de las cuencas.

CUENCA	AREA [Km2]	DURACION [Hs]	COEFICIENTE DE DECAIMIENTO
			AREAL [%]
Alta	873.09	12	88
Media	604.62	12	89
Baja	768.23	12	88

**Tabla 4.3-3** - Coeficientes de decaimiento areal para las distintas cuencas

En la siguiente Tabla se muestran las láminas atenuadas

ESTACION	PERIODO DE RETORNO [Años]	DURACION [hs]	LAMINA PRECIPITADA [mm]	LAMINA ATENUADA [mm]
HERNANDO	2	12	59.10	52.01
	10	12	86.82	76.40
	50	12	127.59	112.28
VILLA MARIA	2	12	62.88	55.96
	10	12	92.37	82.21
	50	12	135.74	120.81
J.POSSE	2	12	65.57	57.70
	10	12	96.32	84.76
	50	12	141.55	124.56

Tabla 4.3-4 - Láminas atenuadas

#### 4.3.6 Hietogramas de proyecto

A continuación se muestran los hietogramas de proyecto utilizados en la modelación para un periodo de retorno de 2 años. Los hietogramas de proyecto para un periodo de retorno de 10 y 50 años se muestran en el ANEXO N°3.

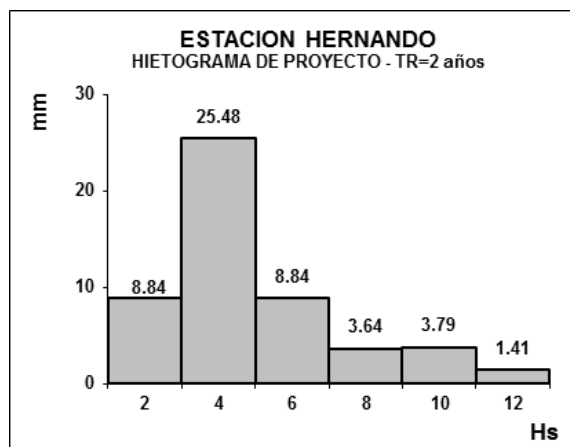


Figura 4.3-4 – Hietograma de proyecto de estación Hernando para TR=2 años

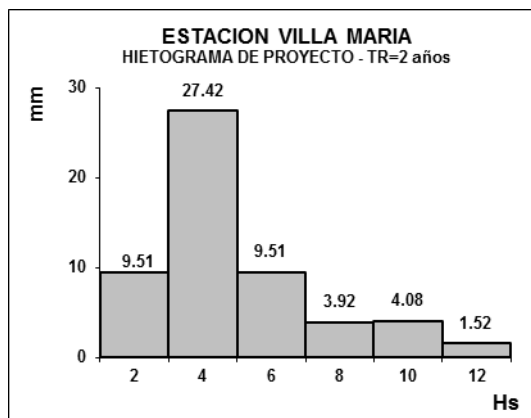


Figura 4.3-5 – Hietograma de proyecto de estación Villa Maria para TR=2 años

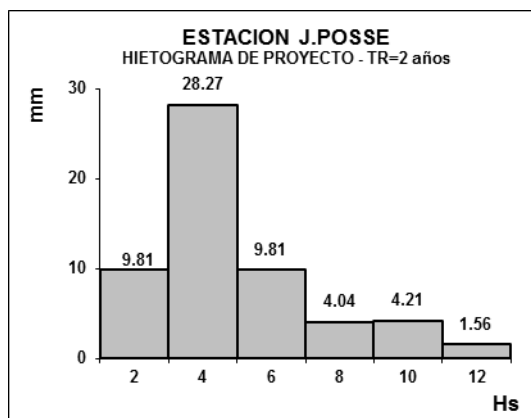


Figura 4.3-6 – Hietograma de proyecto de estación J. Posse para TR=2 años

## CAPITULO 5: PROCESO DE TRANSFORMACION LLUVIA-CAUDAL

### 5.1 INTRODUCCION

#### 5.1.1 Conceptos de Modelos Hidrológicos:

Un modelo matemático es aquel sistema de ecuaciones que representa la respuesta de los componentes de un sistema, frente a cambios en las condiciones del mismo. Un modelo de simulación hidrológica tiene como objetivo básico reproducir, en la mejor forma posible, total o parcialmente el ciclo hidrológico.

Esta reproducción va desde la precipitación hasta la llegada de la escorrentía al sitio final de descarga, etapa que comprende en general los siguientes pasos:

- a) Precipitación en forma de lluvia o nieve.
- b) Intercepción por parte de la vegetación, evaporación, infiltración y retención en pequeñas depresiones de la superficie.
- c) Inicio del flujo superficial.
- d) Modificación del flujo superficial, por almacenamiento, en su tránsito hacia los cursos naturales o artificiales.
- e) Inicio del flujo canalizado y tránsito a lo largo canales naturales o artificiales.
- f) Descarga en el cuerpo de agua de recepción final.

Existen dos tipos de modelos de simulación:

- *Modelos de simulación continua*: reproducen o generan los elementos de un ciclo hidrológico, para un periodo de tiempo prolongado. Este tipo de modelo realiza cálculos en detalle utilizando algoritmos, para simular la humedad del suelo y el movimiento del agua subterránea, incluyendo el efecto de almacenamiento y las variaciones de la evaporación.
- *Modelos de simulación de eventos*: son aquellos concebidos para el estudio de un solo evento, por ejemplo, la generación del hidrograma ocasionado por una tormenta. Al estudiar un periodo de tiempo corto, utiliza menos tiempo de cálculo que los de simulación continua y requiere menos información de entrada.

### 5.1.2 Características del modelo HEC – HMS

El sistema de modelación hidrológica fue diseñado para simular los procesos de precipitación-escorrimento en cuencas hidrográficas. Es aplicable a un amplio rango de áreas geográficas, resolviendo una gran variedad de problemas.

Esto incluye, problemas como el suministro de agua y anegamientos en grandes cuencas, hasta el escurrimiento en pequeñas cuencas rurales o urbanas. Los hidrogramas producidos por el programa son utilizados directamente, o en combinación, con otro programa para el estudio de la disponibilidad de agua, drenaje urbano, predicciones de crecientes, impacto de urbanización, diseño de vertederos de reservorios, reducción del daño causado por el caudal, regulación de caudales, y operación de sistemas.

El programa trabaja bajo un sistema completamente integrado, que incluye una base de datos, utilidades para la entrada de datos, la herramienta computacional, y las herramientas de reporte de resultados. Una interfase gráfica permite al usuario moverse con libertad entre las diferentes partes del programa. Su funcionalidad y apariencia son las mismas bajo cualquiera de las plataformas soportadas.

Los datos se almacenan en Data Storage System HEC-DSS (HEC, 1994). El almacenamiento y la lectura de los datos es manejada por el programa y es generalmente transparente para el usuario. La información sobre precipitación y descarga puede ser ingresada manualmente, o puede ser cargada desde un archivo DSS previamente creado. Los resultados almacenados en la base de datos son accesibles por otros programas HEC.

Los datos pueden ser ingresados en forma individual a cada elemento o simultáneamente a todos los elementos de un mismo componente. Las tablas y las formas para los datos de entrada son ingresadas desde un esquema visual de la cuenca.

La herramienta computacional cuenta con más de 30 años de experiencia en programas de simulación hidrológica. Muchos algoritmos desde HEC-1 (HEC, 1998) HEC-1F (HEC, 1989), PRECIP (HEC, 1989), y HEC-IFH (HEC, 1992) han sido modernizados y combinados con nuevos algoritmos para formar una completa librería de rutinas de simulación.

Los resultados de la modelación son visualizados en el esquema de la subcuenca. Los sumarios (tablas) globales o de cada elemento incluyen información sobre el caudal pico, tiempo al pico y volumen total. Las tablas series-tiempo y los gráficos están disponibles para cada elemento.

### 5.1.3 Descripción del Modelo de simulación empleado HEC-HMS

La obtención de los hidrogramas de escurrimiento para lluvias de distintas frecuencias se obtuvo a través del Modelo HEC-HMS. Este modelo permite simular la transformación de lluvias históricas o hipotéticas en escurrimiento, a través de un sistema que integra diferentes métodos hidrológicos para encontrar la lluvia en exceso, transformarla en caudal y transitarla por los cauces. Las siglas HEC significan Hydrologic Engineering Center (Centro de Ingeniería Hidrológica), del Centro de Investigación del U. S. Army Corps of Engineers, en Davis, California, donde fue desarrollado.

El planteamiento del modelo consiste en esquematizar conceptualmente el sistema hidrológico en estudio, poniendo de manifiesto los procesos involucrados en el fenómeno de transformación lluvia – caudal mediante una simplificación de la realidad. La ejecución de una simulación con el programa operativo HEC-HMS (versión 3.4), requiere de las siguientes especificaciones:

- El primer conjunto, llamado Modelo de Cuenca (Basin Model), contiene parámetros y datos conectados para elementos hidrológicos.
- El segundo conjunto llamado Modelo Meteorológico, consiste en datos meteorológicos en especial la precipitación y de la información requerida para procesarlos.
- El tercer conjunto, llamado Especificaciones de Control, con el cual se especifica información para efectuar la simulación.

#### **Modelo de Cuenca:**

Con objeto de poder representar adecuadamente el comportamiento hidrológico de una determinada cuenca, es preciso, en primer lugar, llevar a cabo una representación esquemática de la misma, que refleje de la mejor manera posible, su morfología y las características de su red de drenaje. En dicha representación esquemática se utilizan generalmente diversos tipos de elementos, dentro de los cuales se desarrollan los procesos hidrológicos. En este sentido, el programa HEC-HMS incluye los siguientes elementos:

- Subcuenca: Este tipo de elemento se caracteriza porque no recibe ningún flujo entrante y da lugar a un único flujo saliente, que es el que se genera en la subcuenca a partir de los datos meteorológicos, una vez descontadas las pérdidas de agua, transformado el exceso de precipitación en escurrimiento superficial y añadido el flujo base. Se utiliza para representar cuencas vertientes de muy variado tamaño.

- Tramo de cauce: Se caracteriza porque recibe uno o varios flujos entrantes y da lugar a un solo flujo saliente. Los flujos entrantes, que provienen de otros elementos de la cuenca, tales como subcuencas u otros tramos de cauce, se suman antes de abordar el cálculo del flujo saliente. Este tipo de elementos se suele utilizar para representar tramos de ríos o arroyos en los que se produce el tránsito de un determinado hidrograma.
  
- Embalse: Es un tipo de elemento que recibe uno o varios flujos entrantes, procedentes de otros elementos, y proporciona como resultado del cálculo un único flujo saliente. Se utiliza para poder representar fenómenos de laminación de avenidas en lagos y embalses.
  
- Confluencia: Se caracteriza porque recibe uno o varios flujos entrantes y da lugar a un solo flujo saliente, con la particularidad de que el flujo saliente se obtiene directamente como suma de los flujos entrantes, considerando nula la variación del volumen almacenado en la misma. Permite representar la confluencia propiamente dicha de ríos o arroyos, aunque ello no es imprescindible, ya que los flujos entrantes pueden proceder también de subcuencas parciales.
  
- Derivación: Este tipo de elemento se caracteriza porque da lugar a dos flujos salientes, principal y derivado, procedentes de uno o más flujos entrantes. Se puede utilizar para representar la existencia de vertederos laterales que derivan el agua hacia canales o zonas de almacenamiento separadas del cauce propiamente dicho.
  
- Fuente: Junto con la subcuenca, es una de las dos maneras de generar caudal en el modelo de cuenca. Se suele utilizar para representar condiciones de contorno en el extremo de aguas arriba, y el caudal considerado puede proceder del resultado del cálculo efectuado en otras cuencas.
  
- Sumidero: Recibe uno o varios flujos entrantes y no da lugar a ningún flujo saliente. Este tipo de elemento puede ser utilizado para representar el punto más bajo de una cuenca endorreica o el punto de desagüe final de la cuenca en cuestión.

La combinación de estos tipos de elementos, con las adecuadas conexiones entre ellos, constituye finalmente la representación esquemática de la cuenca total.

### **Modelo Meteorológico:**

Precipitación: por lo general la entrada a un sistema de cálculo es la precipitación ya sea de un evento histórico o uno hipotético con una probabilidad asociada.

Cuantificación de las pérdidas de agua: contempla diferentes alternativas:

- Establecimiento de un umbral de precipitación, por debajo del cual no se produce escorrentía superficial, y una tasa constante de pérdidas por encima del citado umbral.
- Utilización del concepto de número de curva (CN), desarrollado por el U.S. Soil Conservation Service (SCS), teniendo en cuenta los usos del suelo, el tipo de suelo y el contenido de humedad previo al episodio lluvioso que se considera.
- Método de Green y Ampt, que tiene en cuenta, entre otros, aspectos tales como la permeabilidad del suelo y el déficit inicial de humedad del mismo.
- Modelo SMA (Soil Moisture Accounting), que permite simular el movimiento del agua a través del suelo y del subsuelo, su intercepción y almacenamiento en diferentes zonas, y el escurrimiento superficial del exceso.

En cuanto a la evapotranspiración no se requiere de información cuando se simula eventos ya que este proceso se considera despreciable mientras ocurre una precipitación.

Determinación del hidrograma Unitario: El programa HEC-HMS contempla dos posibles alternativas, basadas en modelos de tipo empírico o conceptual, respectivamente.

Entre los modelos de tipo empírico, basados todos ellos, en mayor o menor medida, en el concepto de hidrograma unitario, propuesto originalmente por Sherman en 1932, el programa permite seleccionar uno de los siguientes:

- Hidrograma unitario definido por el usuario.
- Hidrograma sintético de Snyder.
- Hidrograma del Soil Conservation Service.
- Hidrograma de Clark (original y modificado).

Tránsito del hidrograma por el cauce: La agrupación de caudales de agua de diversa procedencia (superficial, etc.) en un punto de un cauce y su variación a lo largo del tiempo constituye un hidrograma. El discurrir de estos caudales hacia aguas abajo, a lo largo de un determinado tramo de cauce, da lugar a un nuevo hidrograma en el extremo de aguas abajo del mismo. El programa permite escoger entre los siguientes modelos a la hora de tratar de representar la transformación que experimenta la onda de crecida entre el inicio y final de un tramo de cauce:



- Lag.
- Puls modificado.
- Muskingum.
- Muskingum-Cunge.
- Onda cinemática

### **Control del Modelo:**

Además de establecer un modelo de cuenca y un modelo meteorológico, es preciso definir, previamente a la ejecución del programa un conjunto de variables de control:

- Fecha y hora del comienzo del período de tiempo que se pretende analizar.
- Fecha y hora del final del período de tiempo que se pretende analizar.
- Incremento de tiempo de cálculo.

Es importante resaltar que esta estructuración del programa en tres bloques independientes es muy versátil, ya que permite representar diferentes situaciones de manera muy sencilla, sin más que realizar modificaciones en alguno de los bloques. Así, por ejemplo, se pueden tener diferentes modelos de cuenca, con distintos valores de parámetros, o modelos meteorológicos, correspondientes a distintas lluvias, o bien conjuntos de variables de control, con distintos períodos de tiempo o incrementos de tiempo de cálculo, todos susceptibles de ser combinados entre sí.

Con respecto al tiempo de cálculo, su valor está definido por el usuario y determina la resolución del modelo, es decir, el intervalo de tiempo en el que se proporcionan los resultados correspondientes a una determinada ejecución.

Aunque el rango de valores posibles se sitúa, en principio, entre 1 minuto y 24 horas, pueden existir restricciones directas o indirectas, en función del modelo concreto que se considere en la representación de algunos de los procesos.

La utilización del modelo de Muskingum para representar el tránsito de hidrogramas a lo largo de tramos de cauce introduce una restricción de tipo indirecto, en relación con el incremento de tiempo de cálculo. En este caso, con objeto de garantizar la precisión y la estabilidad de la solución, se recomienda dividir la longitud total del tramo de cauce considerado en una serie de subtramos, de manera que la longitud de cada uno coincida aproximadamente con la distancia recorrida por el flujo durante el incremento de tiempo de cálculo.

## 5.2 FUNDAMENTOS TEORICOS DE LOS METODOS ADOPTADOS DE PRODUCCION Y TRANSFERENCIA:

### 5.2.1 Transformación Lluvia-Caudal:

#### 5.2.1.1 Hidrograma Unitario (SCS):

El hidrograma unitario es la función respuesta de pulso unitario para un sistema hidrológico lineal. Se define como el hidrograma de escorrentía directa resultante de una unidad de medida de exceso de lluvia generado uniformemente sobre el área de drenaje a una tasa constante a lo largo de una duración efectiva. Solo puede ser utilizado con la escorrentía superficial.

Este puede usarse para deducir el hidrograma resultante de cualquier cantidad de exceso de lluvia. Las suposiciones básicas en este modelo son:

- El exceso de precipitación tiene una intensidad constante dentro de la duración efectiva.
- El exceso de precipitación está uniformemente distribuido a través de toda el área de drenaje.
- El tiempo base (duración de la escorrentía directa) resultante de un exceso de lluvia de una duración dada es constante.
- Las ordenadas de todos los hidrogramas de escorrentía directa de una base de tiempo común son directamente proporcionales a la cantidad total de escorrentía directa representada por cada hidrograma.
- Para una cuenca dada, el hidrograma resultante de un exceso de lluvia dado refleja las características no cambiantes de la cuenca.
- El hidrograma unitario se considera único para una cuenca dada e invariable con respecto al tiempo. Este es el principio de invarianza temporal, que junto con los principios de superposición y proporcionalidad es fundamental para el método del hidrograma unitario. Estos se aplican solamente cuando las condiciones del canal permanecen sin cambio y las cuencas no tienen almacenamiento apreciable.

### 5.2.1.2 Hidrograma unitario sintético.

El hidrograma unitario se aplica solamente para la cuenca y para el punto de la corriente donde se midió la información de caudales. Los procedimientos de *Hidrogramas Unitarios Sintéticos* se utilizan para desarrollar hidrogramas unitarios para otros puntos en la corriente dentro de la misma cuenca, o para cuencas de características hídricas similares.

Los *Hidrogramas Unitarios Sintéticos* sirven para obtener hidrogramas unitarios usando únicamente datos de características generales de la cuenca. A continuación se describen los *Hidrogramas Unitarios Sintéticos* utilizados más generalizados.

### 5.2.1.3 Hidrograma Unitario Triangular

Mockus (1957) desarrolló un Hidrograma Unitario Sintético de forma triangular. De la geometría del Hidrograma Unitario se deduce el gasto pico como:

$$q_p = \frac{0,555 \cdot A}{t_b}$$

Donde A= área de la cuenca en km<sup>2</sup>; t<sub>p</sub>= tiempo del pico en horas y q<sub>p</sub> = caudal del pico en m<sup>3</sup>/seg/mm.

Del análisis de varios hidrogramas, Mockus concluye que el tiempo base t<sub>b</sub>, y el tiempo del pico, t<sub>p</sub>, se relacionan mediante la expresión:

$$t_b = 2,67 \cdot t_p$$

A su vez el tiempo del pico se expresa como:

$$t_p = \frac{d_e}{2} + t_r$$

Donde d<sub>e</sub> es la duración en exceso y t<sub>r</sub> el tiempo de retraso, el cual se estima mediante el tiempo de concentración t<sub>c</sub>, como:

$$t_r = 0,6 \cdot t_c$$

Además, la duración en exceso con la que se tiene mayor caudal del pico, a falta de mejores datos, se puede calcular aproximadamente como;

$$d_e = 2\sqrt{t_c}$$

Para cuencas grandes, o bien,  $d_e = t_c$  para las pequeñas. Todos los tiempos y la duración en exceso están en horas. Sustituyendo se obtiene:

$$q_p = \frac{0,208 \cdot A}{t_p}$$

dónde:

$$t_p = \sqrt{t_c} + 0,6 \cdot t_c$$

A partir de las expresiones anteriores el SCS propuso 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 de exceso de precipitación, el hidrograma unitario puede estimarse a partir del hidrograma sintético adimensional (Figura 5.2-1) para la cuenca dada. Los valores de  $q_p$  y de  $T_p$  pueden estimarse utilizando un hidrograma unitario triangular.

En base a la revisión de un gran número de hidrogramas unitarios, el SCS 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:

$$q_p = \frac{C \cdot A}{T_p}$$

donde  $C = 2,08$  y  $A$  es el área de drenaje.

Un estudio de los hidrogramas unitarios de muchas cuencas rurales grandes y pequeñas indica que el tiempo de retardo  $t_p \approx 0,6 \cdot T_c$  (Mijares, 1996), donde  $T_c$  es el tiempo de concentración de la cuenca. Por medio del hidrograma unitario triangular el tiempo de ocurrencia del pico es

$$T_p = \frac{t_r}{2} + t_p$$

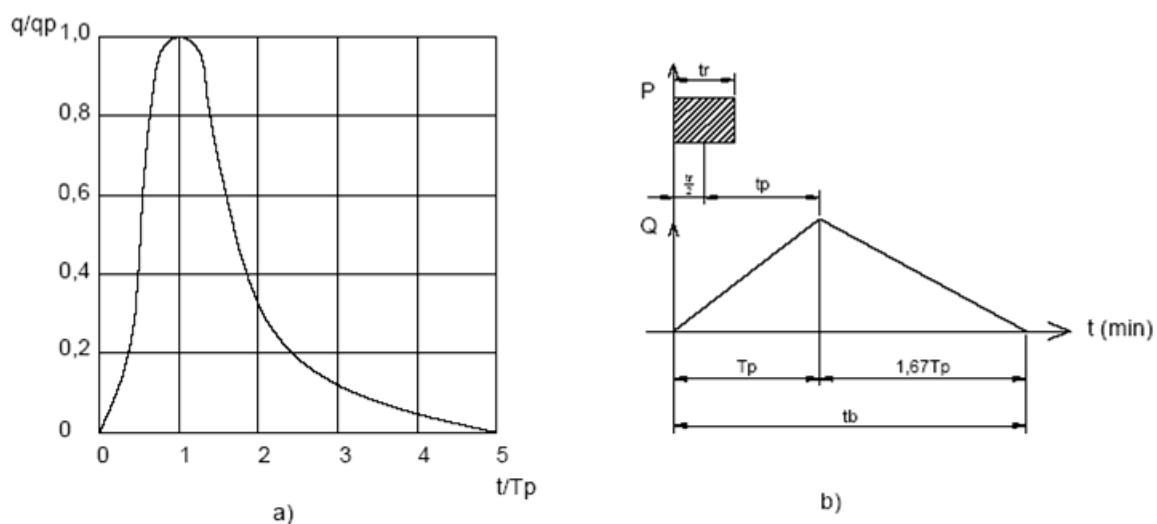


Figura 5.2-1 - Hidrogramas sintéticos del SCS

## 5.2.2 Separación del Escurrimiento

### 5.2.2.1 Método del servicio de conservación de suelos (SCS-CN):

Este método permite estimar el escurrimiento directo a partir de los complejos hidrológicos suelo-vegetación. Cada tipo de suelo se basa en la premisa de que los suelos con perfiles de características semejantes (especialmente su espesor, textura, contenido de materia orgánica y grado de saturación) responden a una forma prácticamente semejante bajo el efecto de una tormenta de larga duración y de intensidad apreciable.

Los grupos principales de suelos hidrológicos son:

- A.** Suelos con potencial de escurrimiento mínimo, incluyen a las arenas profundas con poco limo y arcilla y también a los loess, muy permeables.
- B.** Suelos arenosos menos profundos que los del grupo A, y loess menos profundo o menos compacto que los del grupo A, que poseen una infiltración media superior después de haberse mojado completamente.
- C.** Comprende los suelos poco profundos y los que contienen arcillas y coloides. En general poseen infiltración inferior a la promedio después de la saturación.
- D.** Son los suelos que poseen el mayor potencial de escurrimiento. Este grupo incluye a la mayoría de las arcillas que aumentan su volumen al mojarse y también a los suelos poco profundos que poseen subhorizontes casi impermeables cerca de la superficie.

Las clases de usos y tratamientos de suelos son factores importantes en la determinación del escurrimiento directo.

La combinación de los grupos de suelos, el uso y tratamiento de los mismos determinan el complejo hidrológico suelo-vegetación. Se han utilizado tormentas para construir curvas para los distintos complejos de suelos en función del escurrimiento directo. Los números (CN) muestran el valor relativo de los complejos hidrológicos como productores directos del escurrimiento. Cuanto más elevado es el número, mayor es el volumen de escurrimiento directo que puede esperarse de una tormenta. El método del Servicio de Conservación de Suelos permite entonces determinar el escurrimiento directo a través de tres variables: la precipitación, la humedad anterior y el complejo hidrológico suelo-vegetación. El algoritmo de cálculo se basa en la siguiente ecuación:

$$\frac{(P - Q)}{S} = \frac{Q}{P}$$

Dónde: S es la pérdida potencial máxima al inicio de la tormenta [mm], P es la precipitación acumulada [mm], (Q) es el escurrimiento directo [mm].

Esta relación es válida solamente en el caso de que la lluvia produzca escurrimiento. Se considera una pérdida inicial  $I_a$  de la precipitación acumulada P en la expresión anterior y despejando Q se obtiene:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{[(P - I_a) + S]}$$

Como S incluye a  $I_a$ , se puede obtener una relación empírica entre ambas variables. Datos obtenidos en las cuencas de diferentes partes de EE.UU. indican que se pueden considerar a  $I_a$  como el 20% de las pérdidas potenciales máximas (S).

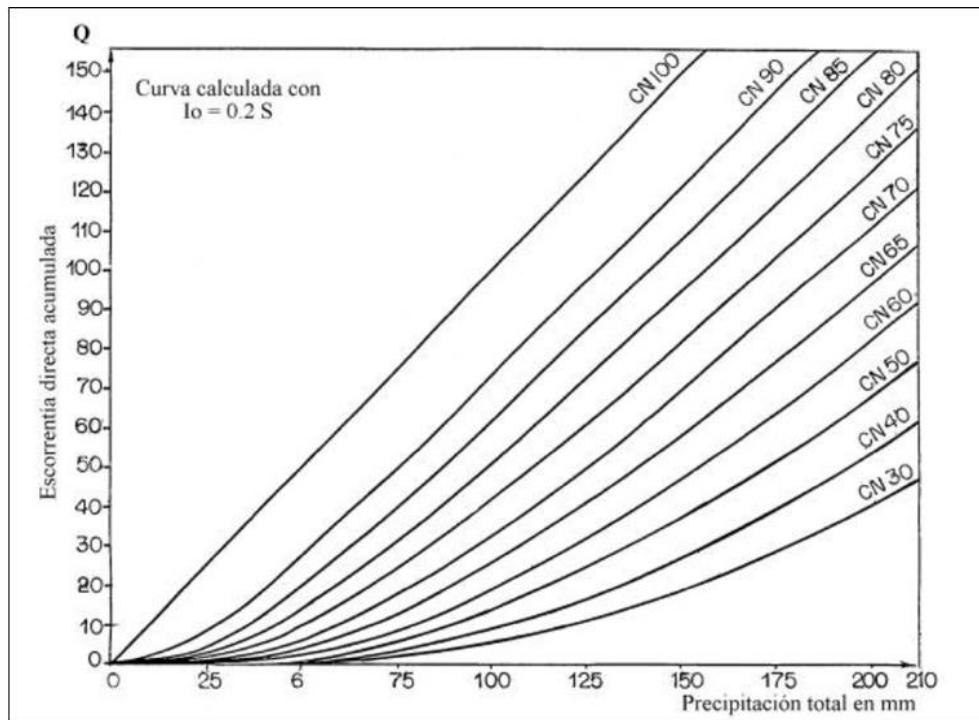
$$I_a = 0.2 * S$$

Substituyendo la expresión anterior por  $I_a$  en las ecuaciones anteriores se obtiene:

$$P < I_a \rightarrow Q = 0$$

$$P > I_a \rightarrow Q = \frac{(P - 0.2 * S)^2}{(P + 0.8 * S)}$$

Con esta ecuación podemos trazar curvas como se muestra en la Figura 5.2-2, que relaciona el escurrimiento directo acumulado con la precipitación total.



**Figura 5.2-2** - Relación precipitación total vs precipitación efectiva usando valores de CN.

El parámetro CN (número de curva de escorrentía o complejo hidrológico suelo y cobertura vegetal) es en realidad una transformación empírica del parámetro S. La ecuación de CN en milímetros es:

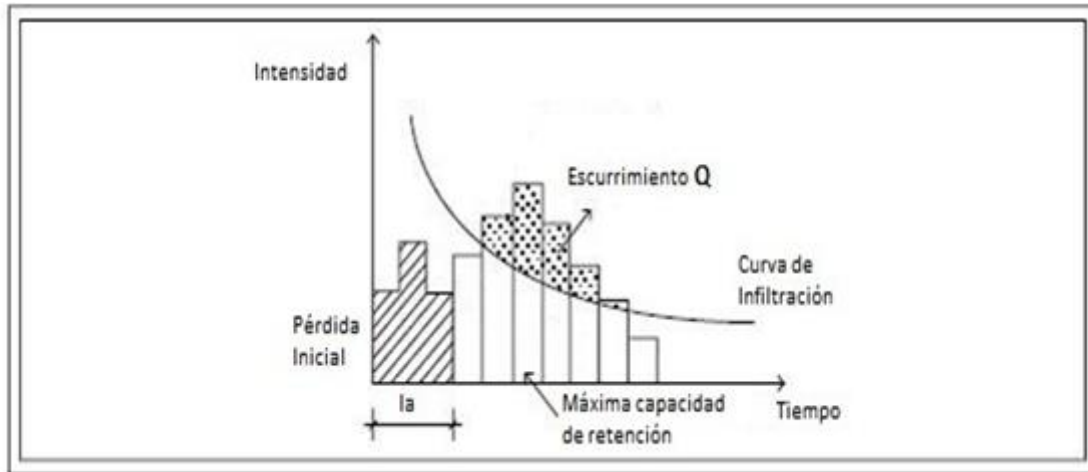
$$Q = \frac{25400}{S + 254}$$

Las gráficas del escurrimiento directo Q, en función de la precipitación de la tormenta P en las cuencas naturales, demuestran que Q se aproxima a P, mientras P aumenta en la tormenta. Los mismos datos muestran que (P-Q) se aproximan a una constante mientras que P continúa aumentando. La constante S es la diferencia máxima (P-Q) que podría ocurrir para la tormenta dada en las condiciones de la cuenca.

La variable S es, entonces, un potencial máximo (P-Q) real que ocurre y está limitado por el agua almacenada en el suelo o por la intensidad de la infiltración al aumentar P.

En la Figura 5.2-3 se muestra que  $I_a$ , es igual a la precipitación que ocurre antes que comience el escurrimiento. Físicamente  $I_a$ , consta principalmente de: interceptación, infiltración y almacenamiento superficial.





**Figura 5.2-3** - Variables del método SCS

Los tipos de usos de la tierra y los tratamientos se clasifican con respecto a las avenidas que puede producir el escurrimiento. Cuanto más un uso de la tierra o un tratamiento aumenten la retención total, tanto más descenderá en la escala de producción de avenidas por el escurrimiento. De la Tabla 5.2-1 a la Tabla 5.2-3 se indica un resumen de los números de las curvas (CN) de escurrimiento para las diferentes combinaciones hidrológicas suelo-vegetación. Estos números corresponden para las cuencas en condiciones II e  $I_a = 0.2 * S$ .

El volumen de precipitación en un período de 5 a 30 días anteriores a una tormenta determinada se llama precipitación antecedente y las condiciones que se producen en la cuenca con respecto al escurrimiento potencial, se denominan condiciones precedentes. En general cuanto mayor es la precipitación precedente mayor será el escurrimiento directo que ocurre en una tormenta dada.

Los efectos de la infiltración y la evapotranspiración durante el período precedente también son importantes, porque pueden aumentar o disminuir el efecto de la lluvia precedente. Debido a las dificultades para determinar las condiciones precedentes producida por la lluvia a partir de los datos normalmente disponibles las condiciones se reducen los tres casos que muestra la Tabla 5.2-4.

Uso del Suelo y Cubierta	Tratamiento ó Método	Condición para la Infiltración	Grupo Hidrológico del Suelo			
			A	B	C	D
Barbecho	SR		77	86	91	94
Cultivos en hileras	SR	Mala	72	81	88	91
	SR	Buena	67	78	85	89
	C	Mala	70	79	84	88
	C	Buena	65	75	82	86
	CyT	Mala	66	74	80	88
	CyT	Buena	62	71	78	88
Granos pequeños	SR	Mala	65	76	84	88
	SR	Buena	63	75	83	87
	C	Mala	63	74	82	85
	C	Buena	61	73	81	84
	CyT	Mala	61	72	79	82
	CyT	Buena	59	70	78	81
Legumbres tupidas o rotación de pradera	SR	Mala	66	77	85	89
	SR	Buena	58	72	81	85
	C	Mala	64	75	83	85
	C	Buena	55	69	78	83
	CyT	Mala	63	73	80	83
	CyT	Buena	51	67	76	80
Pradera o pastizal		Mala	68	79	86	89
		Regular	49	69	79	84
	C	Mala	47	67	81	88
	C	Buena	10	35	70	79
	C	Regular	25	59	75	83
Pradera (permanente)			30	58	71	70
Bosques (lotes de bosques)		Mala	45	66	77	83
		Regular	36	60	73	79
		Buena	25	55	70	77
Cascos de estancias			59	74	82	86
Caminos (revestidos)			72	82	87	89
(Con pavimentos duros)			74	84	90	92

SR son hileras rectas. T son terrazas.  
C son líneas de nivel. CyT son terrazas a nivel.

**Tabla 5.2-1** - Valores de CN para las diferentes combinaciones hidrológicas suelo-vegetación para las cuencas en Condición II

Uso y Cubierta del Suelo	Grupo Hidrológico del Suelo			
	A	B	C	D
Suelo desnudo	77	85	91	93
Pasto (matas de pasto o baja densidad de siembra)	51	70	80	84
Cultivos menores (jardines o huertas)	45	66	77	83
Caña de azúcar (quema de residuos)	43	65	77	82
Caña de azúcar (surcos en contorno)	42	58	72	79
Vegetación natural	25-30	41-45	57-63	66
Matorral de hoja caduca (roble o natural con piso de gramilla)	29-33	43-48	69-65	67
Pasturas irrigadas	32-37	46-51	62-68	70
Frutales con verdeo anual	37-41	50-55	64-69	71
Pastos anuales	46-49	57-60	68-72	74
Cereales de cosecha fina	61-64	69-71	76-80	81
Cereales de cosecha gruesa	67-69	74-76	80-83	84

**Tabla 5.2-2** - Tabla adicional de valores de CN, para las cuencas en Condición II

Áreas urbanas	Grupo Hidrológico del Suelo			
	A	B	C	D
Baja densidad (15 al 18% de la sup.)	69-71	75-78	82-84	86
Media densidad (21 al 27% de la sup.)	71-73	77-80	84-86	88
Alta densidad (50 al 75% de la sup.)	73-75	79-82	86-88	90

**Tabla 5.2-3** - Tabla adicional de valores de CN, para las cuencas en Condición II

Condición	Tipo suelo	Descripción
I	Suelo seco	Los suelos están secos, pero no hasta el punto de marchitamiento.
II	Suelo con capacidad de campo	Condición promedio. Normalmente es la condición que se considera en el diseño como precedente a las crecientes (suelo en capacidad de campo)
III	Suelo en saturación	Cuando ha llovido mucho el suelo está con muy baja infiltración inicial (sólo es posible la infiltración básica)

**Tabla 5.2-4** - Condiciones de humedad para la determinación del CN

Los CN de una condición pueden convertirse a otra usando la Tabla 5.2-5.

CN para la Condición II	CN correspondientes para las Condiciones	
	I	III
100	100	100
95	87	99
90	78	98
85	70	97
80	63	94
75	57	91
70	51	87
65	45	83
60	40	79
55	35	75
50	31	70
45	27	65
40	23	60
35	19	55
30	15	50
25	12	45
20	9	39
15	7	33
10	4	26
5	2	17
0	0	0

**Tabla 5.2-5** - Transformación de CN para diferentes condiciones de humedad antecedente del suelo

➤ **Tareas de Campaña para determinar el número de curva (CN):**

Para la estimación del número de curva CN de las distintas cuencas se establecieron semejanzas entre los valores de estas tablas y los estimados en base a recorridas de la zona en estudio, imágenes satelitales y con información disponible en cartas de suelo.

Los resultados se presentan en la tabla Tabla 5.2-6 donde se puede observar los valores de CN para condición antecedente de humedad tipo II asignados a cada una de las unidades hidrológicas en las que se subdividió cada una de las cuencas principales.

Las tablas con los resultados para las demás cuencas se pueden encontrar en el Anexo N°4.

<b>CUENCA ALTA</b>	
<b>SUBCUENCA</b>	<b>CN (II)</b>
C1	89
C2	89
C3	89
C4	89
C5	89
C6	89
C7	89
C8	89
C9	89
C10	89
C11	89
C12	89
C13	89
C14	89
C15	85
C16	85
C17	85
C18	85
C19	85
C20	85
C21	85
C22	85
C23	85
C24	85
C25	85
C26	85
C27	85
C1.1	89
C2.1	89

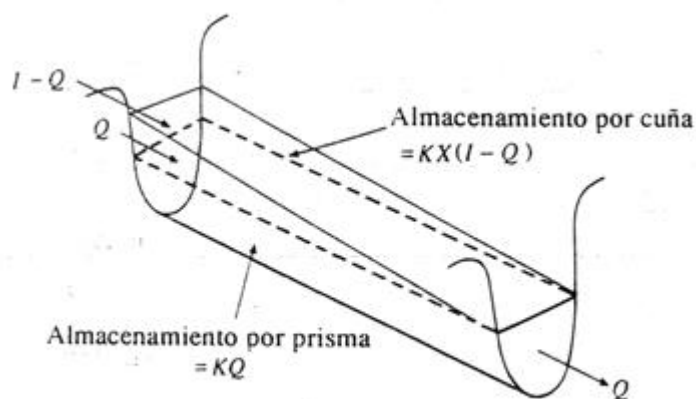
<b>C3.1</b>	89
<b>C4.1</b>	85
<b>C5.1</b>	85

**Tabla 5.2-6** - Asignación de CN (II) para cada una de las unidades hidrológicas definidas.

### 5.2.3 Escurrimiento en Ríos y Canales:

#### 5.2.3.1 Método de Muskingum

Este método involucra el concepto de almacenamiento de prisma y de cuña (Figura 5.2-3). Fue desarrollado por McCarthy, (1938) para determinar la relación que manifiesta el río Muskingum en Ohio (USA), con el paso de una onda de creciente. El almacenamiento de prisma es esencialmente el correspondiente al de la superficie del agua en flujo permanente y el de cuña es el almacenamiento adicional referente al verdadero perfil de la superficie del agua durante la creciente.



**Figura 5.2-4** - Almacenamiento en canales.

El almacenamiento de prisma se computa como el flujo de salida, Q, multiplicado por el tiempo de traslado de la onda de crecida a través del tramo del río, K. El de cuña se computa como la diferencia entre flujo de entrada y salida (I-Q), multiplicado por K y un factor adimensional de ponderación, X, relativo a la importancia del flujo de entrada y de salida en el almacenamiento, S, dentro del tramo. Por lo tanto, el método de Muskingum define el almacenamiento en el tramo, S, como una función lineal de los almacenamientos ponderados de prisma más el de cuña, así:

$$S = KQ + KX(I - Q)$$

$$S = KQ + KXI - KXQ$$

Operando algebraicamente, se tiene la ecuación del método de Muskingum:

$$S = K[XI + Q(1 - X)]$$

El valor de X determina el grado de atenuación de la onda al pasar por el tramo del río, depende de la forma del almacenamiento de cuña y varía entre:

$$0 \leq X \leq 0.5$$

Así, si  $X = 0$ ;  $S = KQ$ , se produce la máxima atenuación, lo que indica que el embalse es función sólo de la salida. Si  $X = 0.5$ , tanto el ingreso (I) como la salida (Q) tienen el mismo peso y por este motivo, la onda transita sin atenuación.

Planteando la ecuación de continuidad en su forma discreta:

$$(S_2 - S_1) = \frac{(I_2 - I_1)}{2} * Dt - \frac{(Q_2 - Q_1)}{2} * Dt$$

Dónde:  $I_1$  es el caudal medio de ingreso al volumen de control en el tiempo 1,  $I_2$  es el caudal medio de ingreso al volumen de control en el tiempo 2,  $S_1$  es el almacenamiento en el tiempo 1,  $S_2$  es el almacenamiento en el tiempo 2,  $Q_1$  es el caudal medio de salida del volumen de control en el tiempo 1,  $Q_2$  es el caudal medio de salida del volumen de control en el tiempo 2.

Los subíndices 1 y 2, corresponden a los valores al inicio y al final del tiempo  $Dt$ , respectivamente. El tiempo  $Dt$  o período de tránsito, debe ser lo suficientemente corto, de tal forma que lo supuesto en la ecuación, no se aparte sensiblemente de la realidad. En particular si  $Dt$ , es muy largo, es posible perder el valor del pico del caudal de entrada.

Combinando la ecuación del método de Muskingum y la ecuación de continuidad en su forma discreta y resolviendo para  $Q_2$  se obtiene la ecuación de trabajo del método:

$$Q_2 = C_1 I_2 + C_2 I_1 + C_3 Q_1$$

Dónde, los subíndices 1 y 2 en la ecuación se refieren a los valores de los caudales I y Q al inicio y al final del intervalo  $Dt$ . Los coeficientes  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  se definen como:

$$C_1 = \frac{KX - 0.5Dt}{K - KX + 0.5Dt}$$

$$C_2 = \frac{KX + 0.5Dt}{K - KX + 0.5Dt}$$

$$C3 = \frac{K - KX - 0.5Dt}{K - KX + 0.5Dt}$$

Se debe cumplir que:

$$C1 + C2 + C3 = 1$$

El valor del tiempo de traslado, K, se puede estimar como: a) el intervalo entre puntos similares en los hidrogramas de entrada y salida; (b) el intervalo de tiempo medido entre los centroides de las áreas de los dos hidrogramas; (c) el tiempo entre los picos de los hidrogramas. K, se expresa en la misma unidad de tiempo que Dt (días, horas o minutos). Estimado K, el valor de X se estima por ensayo y error: se asume un valor de X, se calcula el hidrograma de salida y se compara con el medido hasta obtener un resultado aceptable y, si es necesario después se reajusta K. Con el uso de modelos de tránsito de ondas o crecientes (modeloHEC-1 ó HMS) se pueden calcular K y X por optimización.

Otro concepto a tener en cuenta, es el número de subtramos en que se divide el tramo, lo cual asume mayor importancia en el uso de modelos matemáticos de tránsito:

$$\text{Numero de subtramos} = \frac{K}{Dt}$$

Para evitar valores negativos de X e inestabilidades se debe cumplir que:

$$2KX \leq Dt \leq K$$

### **5.2.3.2 Método de Muskingum-Cunge:**

Cunge combinó métodos hidráulicos con la simplicidad del método de Muskingum.

Calcula las dos constantes utilizadas en el método de Muskingum, K y X, mediante parámetros hidráulicos del cauce.

$\Delta x$  = Longitud del tramo del cauce considerado

c = “celeridad” = velocidad media m

m = aproximadamente 5/3 para cauces naturales amplios

S0 = pendiente media del cauce (adimensional)

Q = caudal

B = anchura del cauce

La correcta aplicación de este método requiere elegir correctamente el  $\Delta t$  y el  $\Delta x$ . Para ello se dividirá el tramo estudiado en subtramos, de modo que el caudal de salida de uno de ellos será el caudal de entrada del siguiente (US Army Corps of Engineers, 1994).

Los parámetros necesarios para el cálculo de los traslados por el método de Muskingum para la cuenca alta, media y baja del Arroyo El Chato se obtuvieron elaborando tres tablas (una para cada cuenca principal).

A continuación se muestran los resultados para la cuenca alta, las demás tablas se pueden consultar en el Anexo N° 5.

TRAMO	LONGITUD [M]	PENDIENTE [M/M]	n MANNING	FORMA	ANCHO [M]	PENDIENTE LATERAL [xH:1V]
1-2	2093	0,0009	0,024	Trapezoidal	8	10
2-3	3600	0,0009	0,024	Trapezoidal	8	10
3-4	1450	0,0008	0,024	Trapezoidal	8	10
4-5	2543	0,0006	0,024	Trapezoidal	8	10
5-6	1096	0,001	0,024	Trapezoidal	8	10
6-7	427	0,0008	0,024	Trapezoidal	8	10
7-8	399	0,0008	0,024	Trapezoidal	8	10
8-9	369	0,0006	0,024	Trapezoidal	8	10
9-10	1060	0,0006	0,024	Trapezoidal	8	10
10-11	2480	0,001	0,024	Trapezoidal	8	10
11-12	3995	0,0008	0,024	Trapezoidal	8	10
12-13	915	0,0006	0,024	Trapezoidal	8	10
13-14	784	0,001	0,024	Trapezoidal	8	10
14-15	539	0,0008	0,024	Trapezoidal	8	10
15-16	625	0,0006	0,024	Trapezoidal	8	10
16-17	494	0,0006	0,024	Trapezoidal	8	10
17-18	1496	0,001	0,024	Trapezoidal	8	10
18-19	472	0,0008	0,024	Trapezoidal	8	10
19-20	912	0,0008	0,024	Trapezoidal	8	10
20-21	2031	0,0008	0,024	Trapezoidal	8	10
21-22	2170	0,0007	0,024	Trapezoidal	8	10
22-23	1000	0,0011	0,024	Trapezoidal	8	10
23-24	1048	0,0012	0,024	Trapezoidal	8	10
24-25	1997	0,0012	0,024	Trapezoidal	8	10
25-26	11341	0,0012	0,024	Trapezoidal	8	10
26-27	2616	0,0009	0,024	Trapezoidal	8	10
27-28	988	0,0008	0,024	Trapezoidal	8	10

Tabla 5.2-7 - Parámetros para el cálculo de los traslados por el método de Muskingum-Cunge. (Cuenca Alta)



### 5.2.4 Lagunas de retardo:

La cuenca Baja, a partir de la localidad de Idiazábal cuenta actualmente con una sucesión de lagunas distribuidas de forma aproximadamente lineal a lo largo del Arroyo y continuando hasta la descarga en el Río Saladillo, como puede observarse en la siguiente figura.



**Figura 5.2-5 - Sucesión de lagunas a lo largo del Arroyo El Chato**

Estos bajos funcionan como lagunas de retardo, provocando una modificación del hidrograma de crecida, disminuyendo el caudal pico. Se produce una restitución del volumen acumulado con un caudal bajo sobre un periodo más o menos largo, correspondiente a la distribución del caudal máximo en el tiempo.

Para que el modelo sea más representativo de la realidad, se tuvo en cuenta el efecto amortiguador de estas lagunas en la modelación. Los datos de entrada para representarlas son tablas de Elevación - Área, que se obtuvo a partir de imágenes satelitales, cartas del IGM y relevamientos en campaña y curvas de Elevación - Descarga que representan las alcantarillas reguladoras a la salida de cada una de estas lagunas, las cuales se rigen por la siguiente ley:

$$Q = C_o * A_o * \sqrt{(2 * g * H_o)}$$

Donde  $C_o$  es un coeficiente de descarga, que varía de 0,4 a 0,6,  $A_o$  es el área del orificio [ $m^2$ ] y  $H_o$  es la carga efectiva por sobre el orificio [ $m$ ].

Ambas tablas pueden ser consultadas en el Anexo N°6.

## CAPITULO 6: RESULTADOS DE LA MODELACION HIDROLOGICA

### 6.1 ELECCIÓN DEL MÉTODO DE SIMULACIÓN

Para llevar a cabo la simulación hidrológica de las cuencas analizadas en este trabajo, se adoptó la siguiente alternativa de modelación:

#### *Modelo de Cuenca:*

- *Transformación lluvia-caudal:* Hidrograma Unitario Sintético Adimensional SCS.
- *Tránsito hidrológico en canales:* método de Muskingum - Cunge.
- *Pérdidas:* el método utilizado para considerar las pérdidas de la precipitación, (infiltración, intercepción vegetal y almacenamiento superficial) es el SCS para abstracciones, número de curva (CN).

#### *Modelo Meteorológico:*

Asignación de la lluvia: se aplicaron los eventos con las duraciones, recurrencias y distribución temporal adoptadas en la sección 4.3.5.

#### *Especificaciones de Control:*

En función de las duraciones de lluvia y el grado de respuesta de la cuenca, se adoptaron diferentes tiempos de control, y un intervalo de tiempo para el cómputo de los resultados de 1 hora.

## **6.2 RESULTADOS DE LA MODELACIÓN:**

A continuación se muestran los resultados de la modelación de las tres cuencas principales Alta, Media y Baja, que conforman la cuenca del Arroyo El Chato.

Se presenta un mapa de cada una de las cuencas indicando con un número la designación de cada una de las subcuencas definidas y los puntos de control y además un plano con el esquema de modelación hidrológica, proveniente del programa HEC-HMS.

Posteriormente se resumen en una tabla los caudales pasantes para 2, 10 y 50 años de recurrencia obtenidos de la modelación en cada uno de los puntos de control, donde:

P.C.1 = Salida Cuenca Alta

P.C.2 = Salida Cuenca Media

P.C.3 = Inicio de Tramo a Readecuar

P.C.4 = Descarga del Arroyo al Rio Saladillo

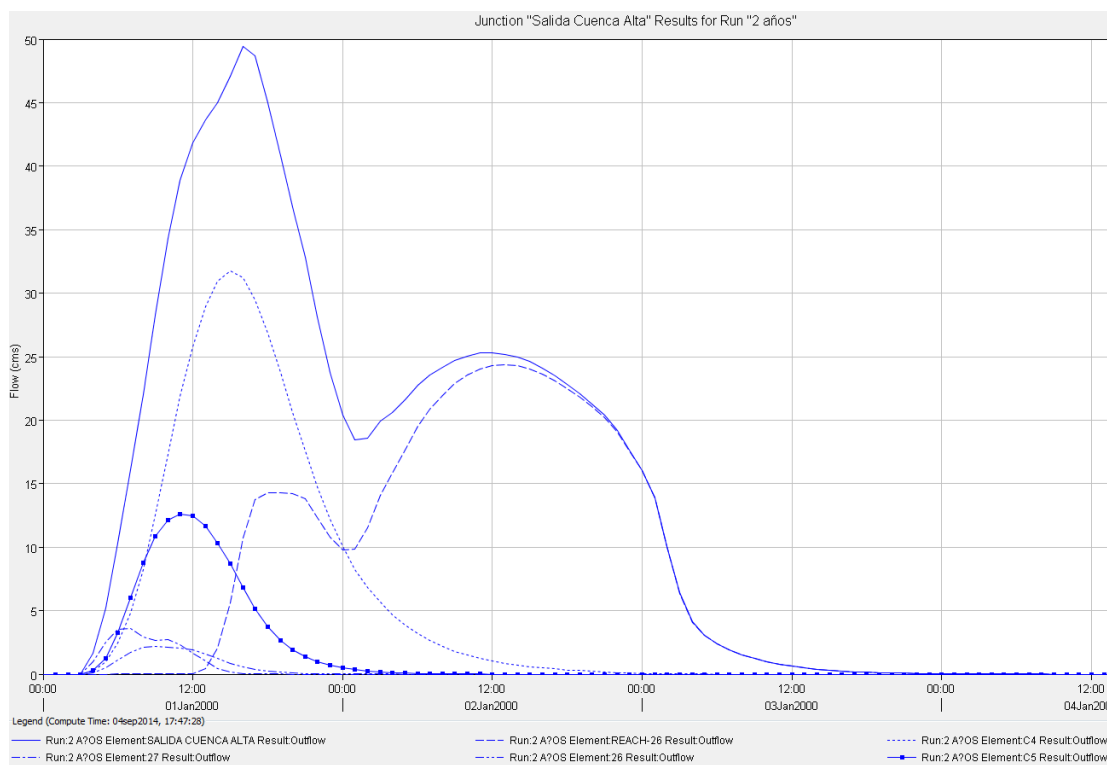
6.2.1 Cuenca Alta:



Figura 6.2-1 - Ubicación del Punto de Control 1

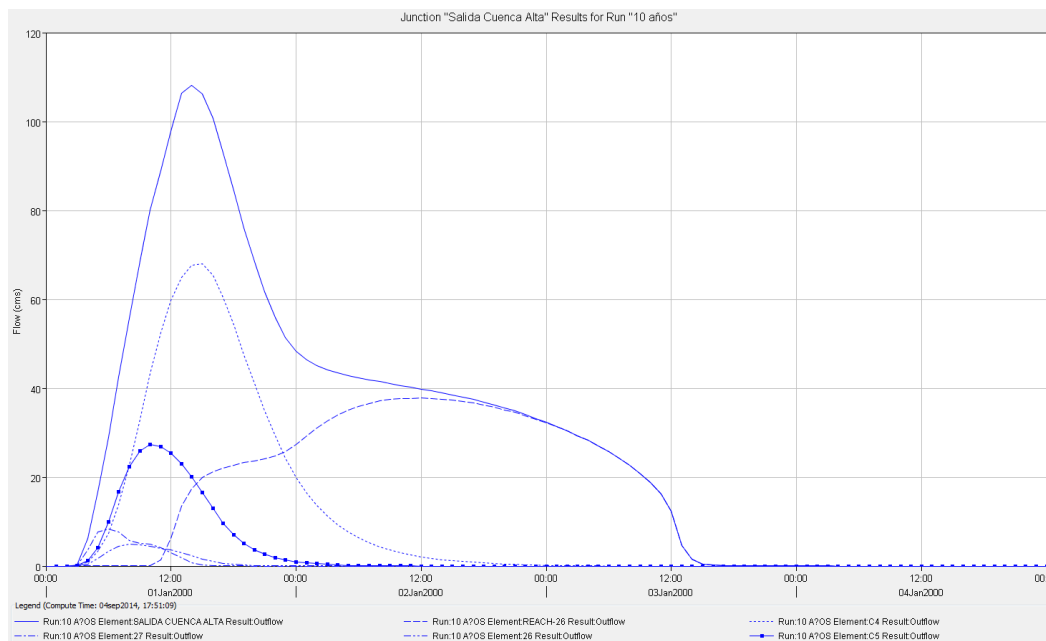


A continuación se presentan los hidrogramas resultantes correspondientes al punto de control 1 (Salida Cuenca Alta), para 5, 10 y 50 años de recurrencia, resultantes de la modelación con el programa HEC-HMS, y una tabla resumen con los caudales máximos alcanzados:



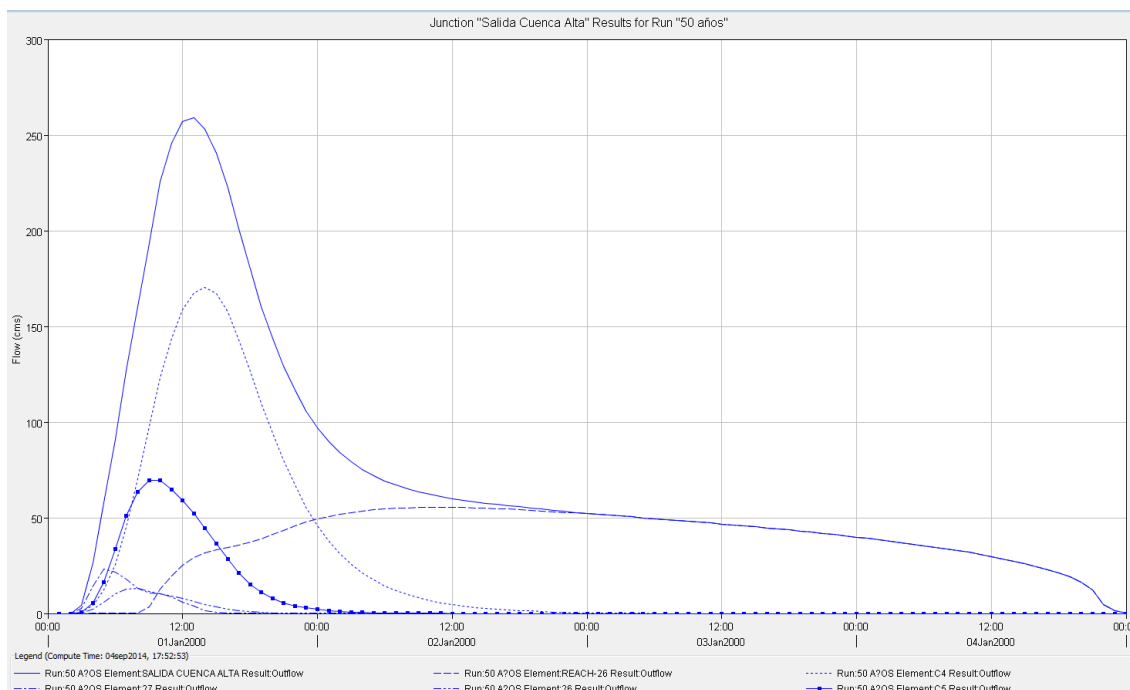
**Figura 6.2-2 - Hidrograma a la salida de la cuenca Alta para TR= 2 años**

Se observa en el hidrograma que se alcanza un primer caudal pico de  $49,45 \text{ m}^3/\text{s}$  y se da a las 15:00 hs de comenzado el evento, este pico se genera por el aporte de la subcuenca C4, C5, 26, 27, que descargan en este punto de control. Posteriormente se vuelve a generar otro pico, menor que el anterior de  $25 \text{ m}^3/\text{s}$  a 36 hs de comenzado el evento.



**Figura 6.2-3 - Hidrograma a la salida de la cuenca Alta para TR= 10 años**

Se observa en el hidrograma que el caudal máximo es de  $108,12 \text{ m}^3/\text{s}$  y se da a las 13:00 hs de comenzado el evento. Este caudal pico se reduce a aproximadamente  $40 \text{ m}^3/\text{s}$  a 36 hs de comenzado el evento.



**Figura 6.2-4 - Hidrograma a la salida de la cuenca Alta para TR=50 años**

Se observa en el hidrograma que el caudal pico alcanzado es de  $258,96 \text{ m}^3/\text{s}$  y se da a las 12:30 hs de comenzado el evento. Este caudal pico se reduce a aproximadamente  $50 \text{ m}^3/\text{s}$  a 48 hs de comenzado el evento, reduciendo su valor a 4 días de comenzado el evento.

En la siguiente tabla se resumen los caudales máximos alcanzados en el punto de control 1 para un tiempo de recurrencia de 2, 10, y 50 años.

PUNTO DE CONTROL	CAUDALES [m <sup>3</sup> /s]		
	TR= 2 años	TR= 10 años	TR= 50 años
P.C.1	49,45	108,12	258,96

**Tabla 6.2.-1** - Caudales pasantes en punto de control 1



6.2.2 Cuenca Media:

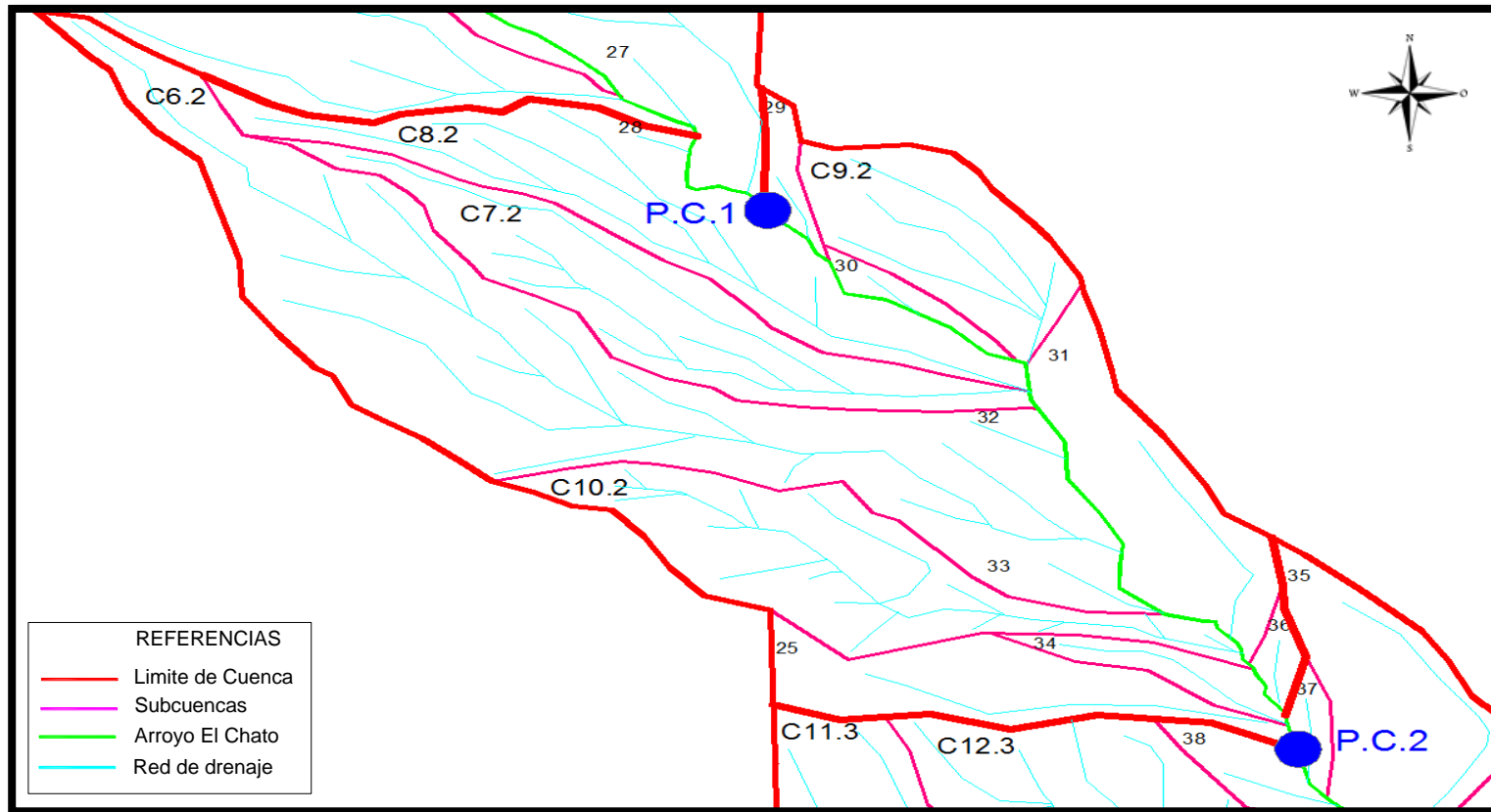
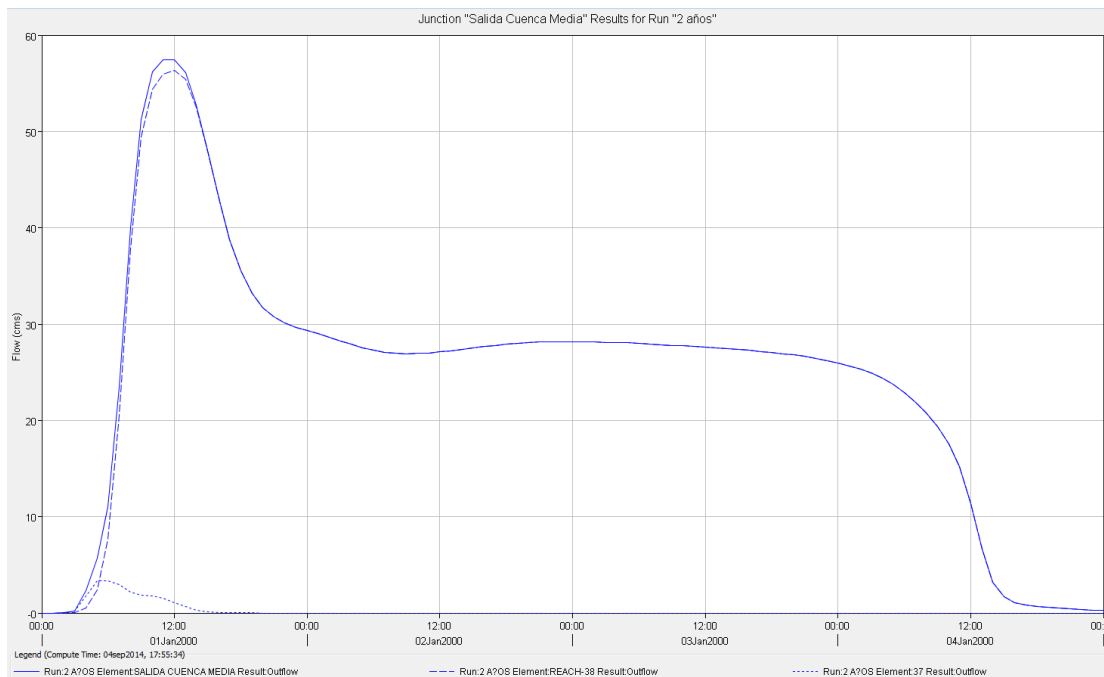


Figura 6.2-5 - Ubicación del Punto de Control 2

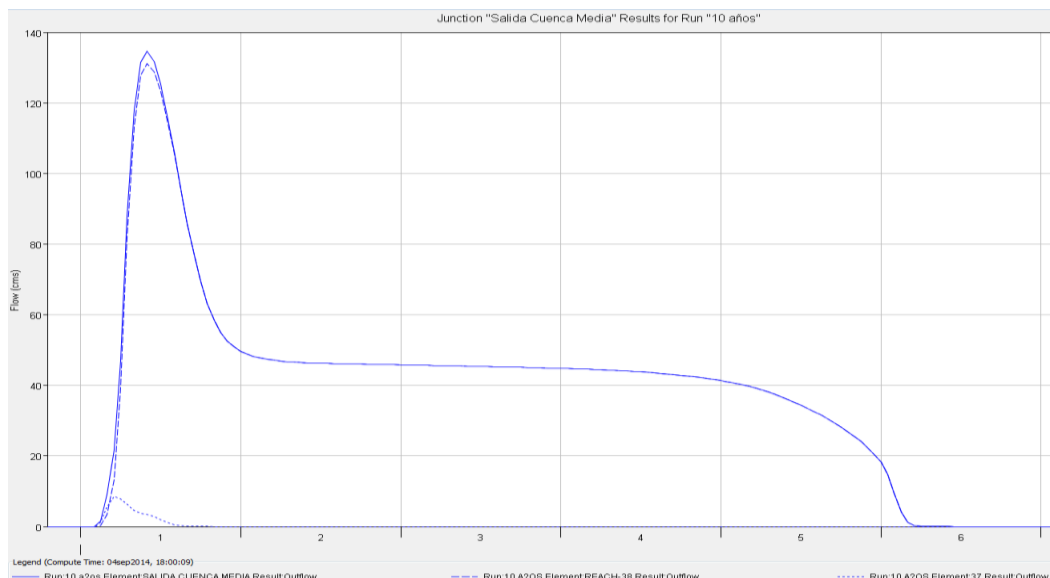


A continuación se presentan los hidrogramas resultantes correspondientes al punto de control 2 (Salida Cuenca Media), para 2, 10 y 50 años de recurrencia, resultantes de la modelación con el programa HEC-HMS, y una tabla resumen con los caudales máximos alcanzados:



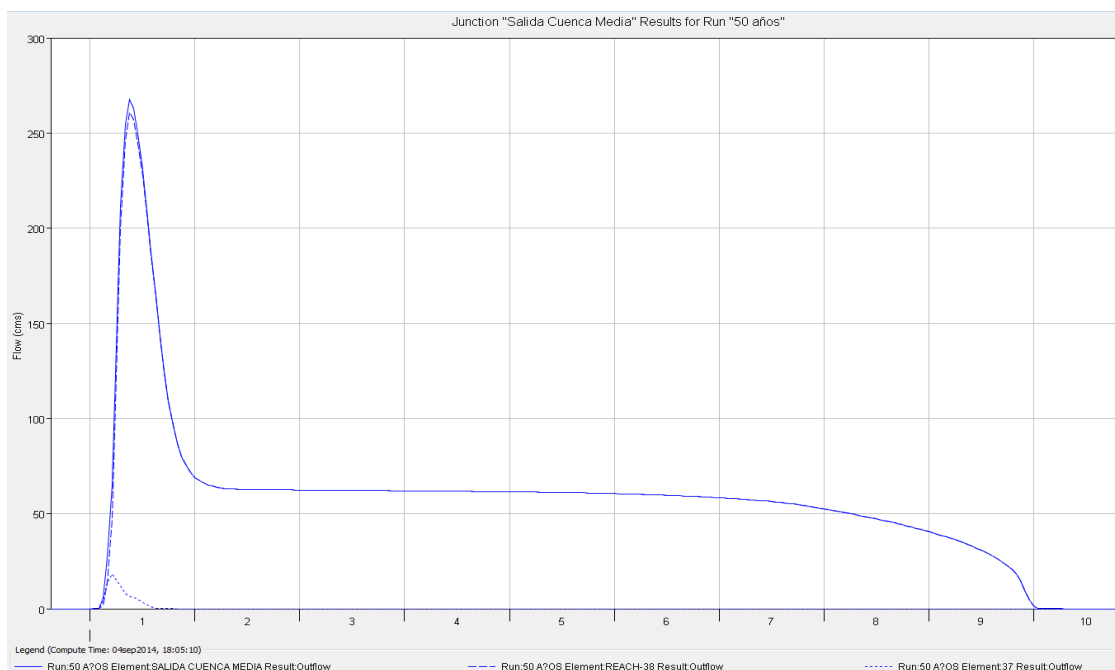
**Figura 6.2-6 - Hidrograma a la salida de la cuenca Media para TR= 2 años**

Se observa en el hidrograma que el caudal maximo es de  $57,50 \text{ m}^3/\text{s}$  y se da a las 12:00 hs de comenzado el evento. Este caudal pico se reduce a aproximadamente  $29 \text{ m}^3/\text{s}$  a 24 hs del comienzo y manteniéndose casi constante hasta 3 dias.



**Figura 6.2-7** - Hidrograma a la salida de la cuenca Media para TR= 10 años

Se observa en el hidrograma que el caudal maximo es de  $134,88 m^3/s$  y se da a las 11:30 hs de comenzado el evento. Este caudal pico se reduce a aproximadamente  $50 m^3/s$  a 24 hs del comienzo y manteniéndose casi constante hasta 4 dias, donde comienza a reducir su valor.



**Figura 6.2-8** - Hidrograma a la salida de la cuenca Media para TR= 50 años

Se observa en el hidrograma que el caudal máximo es de  $267,38\text{m}^3/\text{s}$  y se da a las 10:30 hs de comenzado el evento. Este caudal pico se reduce a aproximadamente  $50\text{m}^3/\text{s}$  a 24 hs del comienzo y manteniéndose casi constante hasta 4 días, donde comienza a reducir su valor.

En la siguiente tabla se resumen los caudales máximos alcanzados en el punto de control 2 para un tiempo de recurrencia de 2, 10, y 50 años.

PUNTO DE CONTROL	CAUDALES [m <sup>3</sup> /s]		
	TR= 2 años	TR= 10 años	TR= 50 años
P.C.2	57,5	134,88	267,38

**Tabla 6.2-2** - Caudales pasantes en punto de control 2

### 6.2.3 Cuenca Baja:

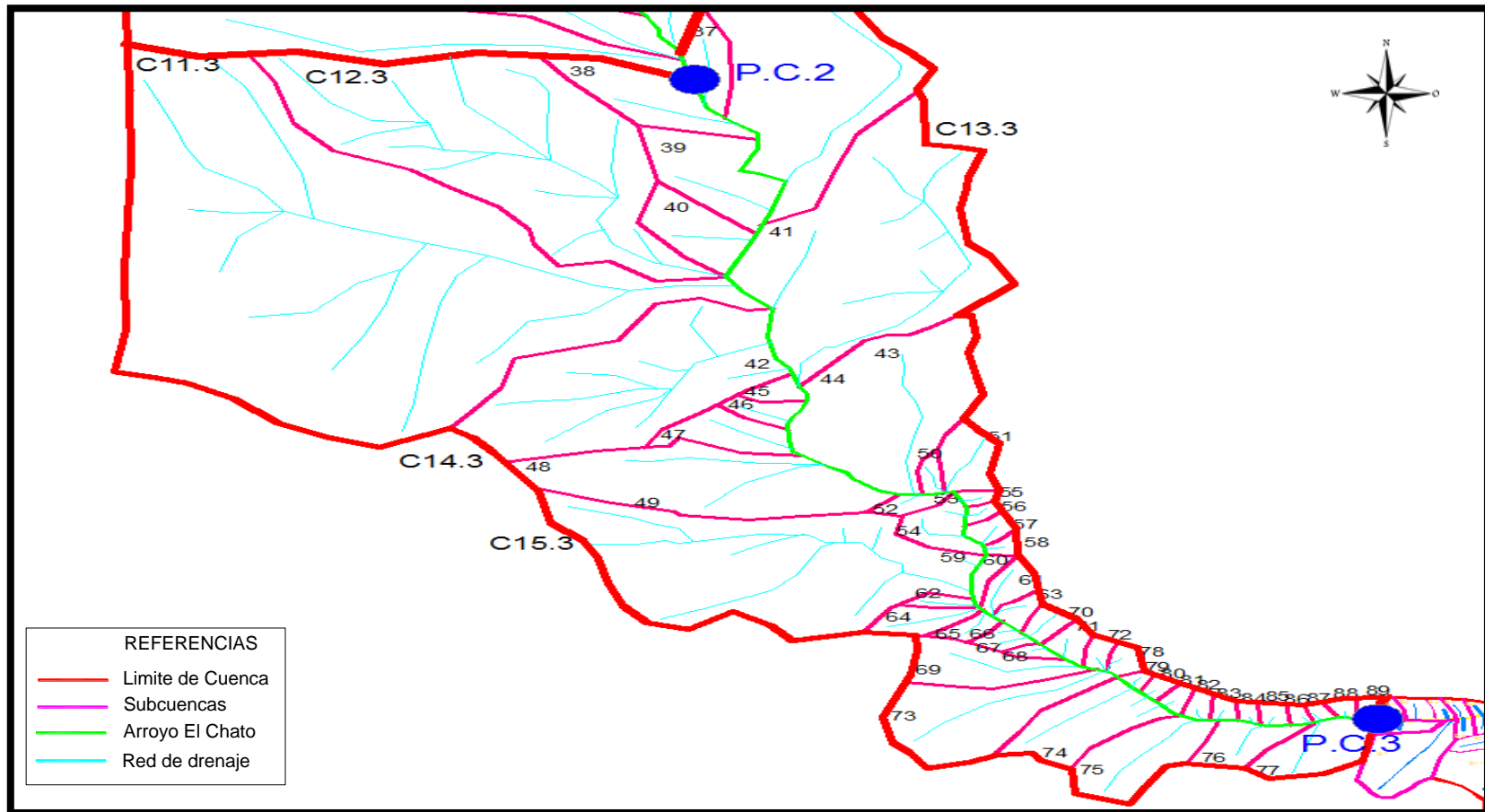
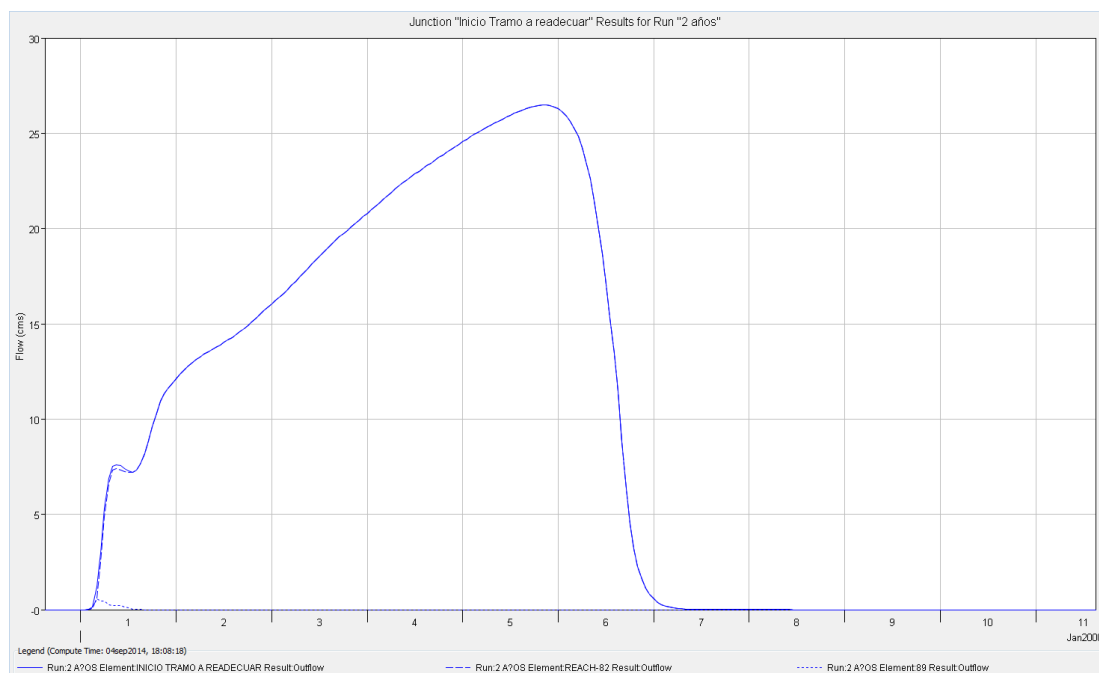


Figura 6.2-9 - Ubicación del Punto de Control 3



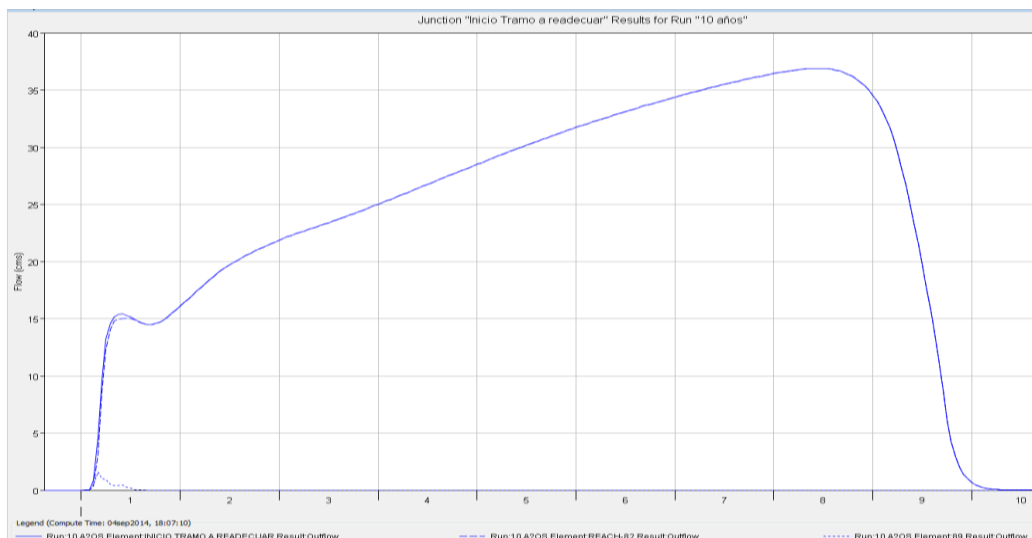
A continuación se presentan los hidrogramas resultantes correspondientes al punto de control 3 (Inicio Tramo a readecuar), para 5, 10 y 50 años de recurrencia, resultantes de la modelación con el programa HEC-HMS, y una tabla resumen con los caudales máximos alcanzados:



**Figura 6.2-10** - Hidrograma al inicio del Tramo a readecuar para TR= 2 años

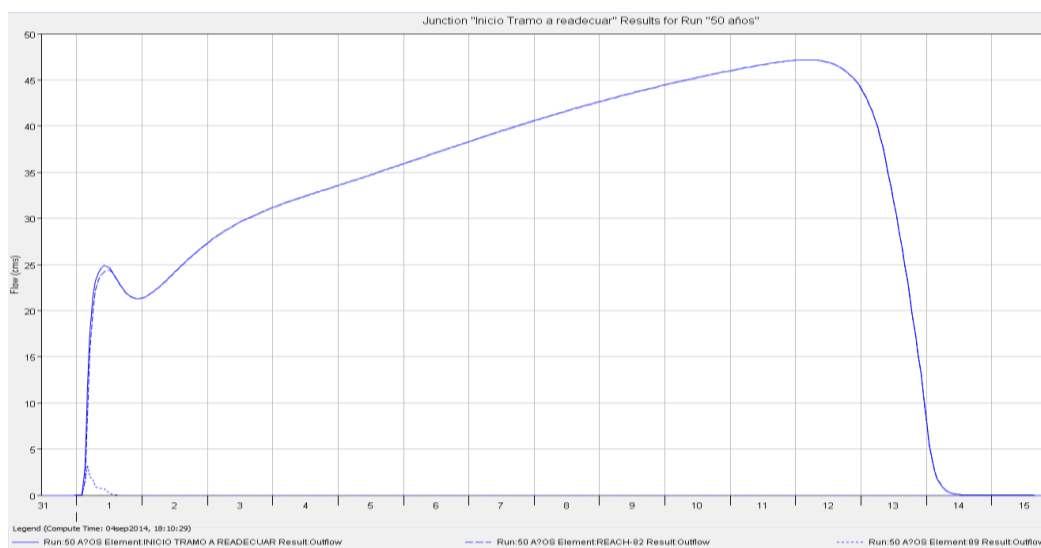
Se observa en el hidrograma que el caudal máximo es de  $26,48m^3/s$  y se da a los 5 días de comenzado el evento.





**Figura 6.2-11** - Hidrograma al inicio del Tramo a readecuar para TR= 10 años

Se observa en el hidrograma que el caudal máximo es de  $36,91\text{m}^3/\text{s}$  y se da a los 7 días de comenzado el evento.



**Figura 6.2-12** - Hidrograma al inicio del Tramo a readecuar para TR= 50 años

Se observa en el hidrograma que el caudal máximo es de  $47,18\text{m}^3/\text{s}$  y se da a los 11 días de comenzado el evento.

En la siguiente tabla se resumen los caudales máximos alcanzados en el punto de control 3 para un tiempo de recurrencia de 2, 10, y 50 años.

PUNTO DE CONTROL	CAUDALES [m <sup>3</sup> /s]		
	TR= 2 años	TR= 10 años	TR= 50 años
<b>P.C.3</b>	26,48	36,91	47,18

**Tabla 6.2-3** - Caudales pasantes en punto de control 3

### 6.2.4 Cuenca Baja (Tramo a readecuar):

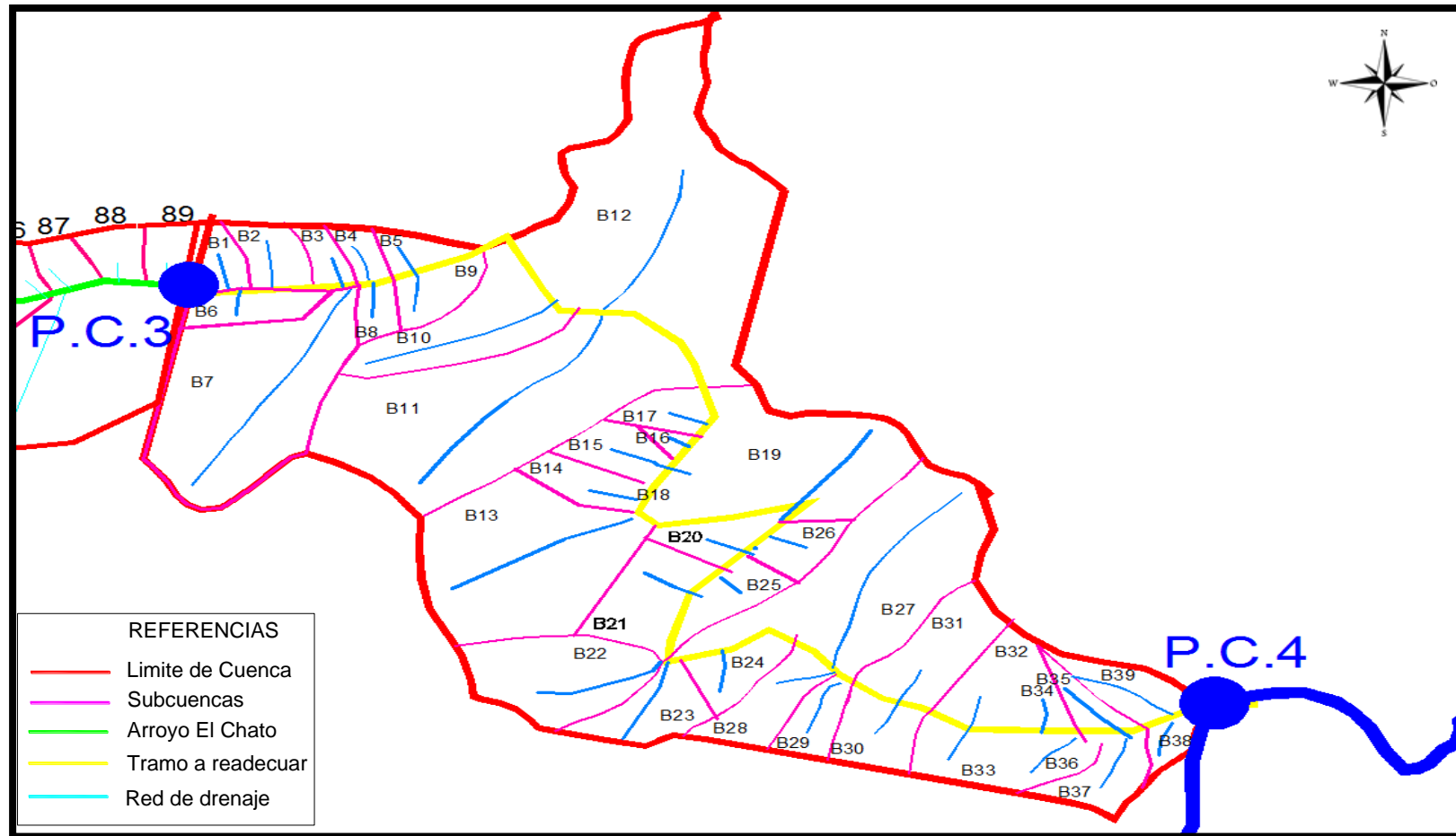
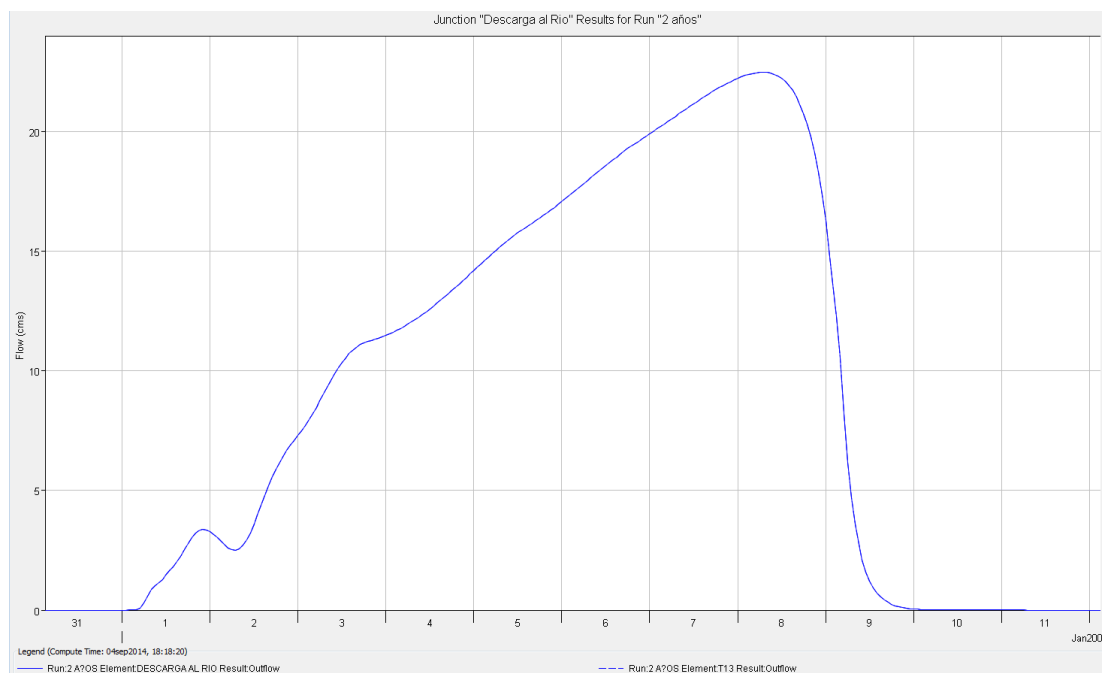


Figura 6.2-13 - Ubicación del Punto de Control 4

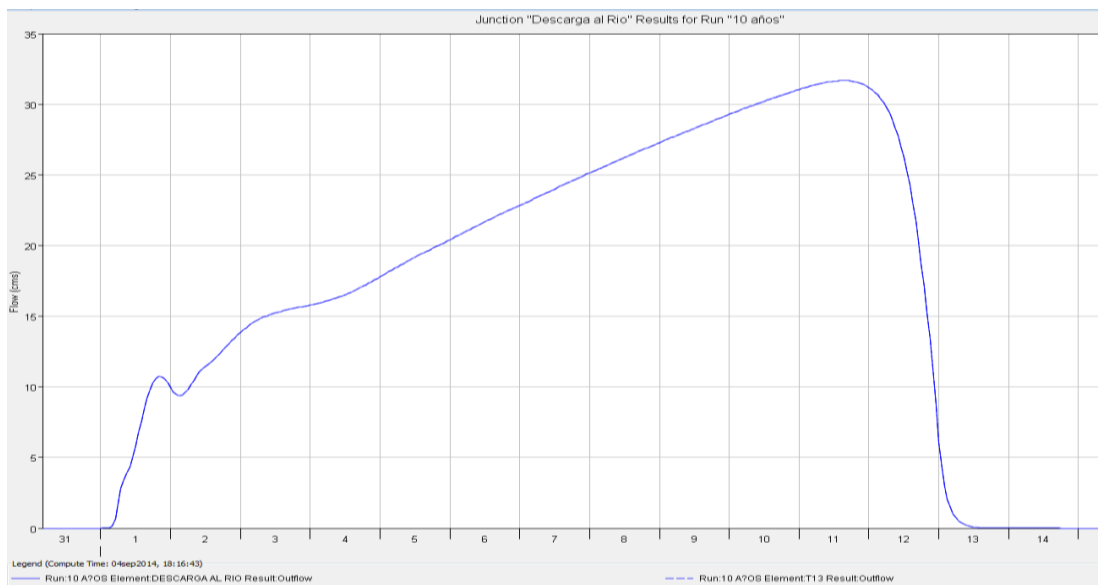


A continuación se presentan los hidrogramas resultantes correspondientes al punto de control 4 (Descarga a Río Saladillo), para 2, 10 y 50 años de recurrencia, resultantes de la modelación con el programa HEC-HMS, y una tabla resumen con los caudales máximos alcanzados:



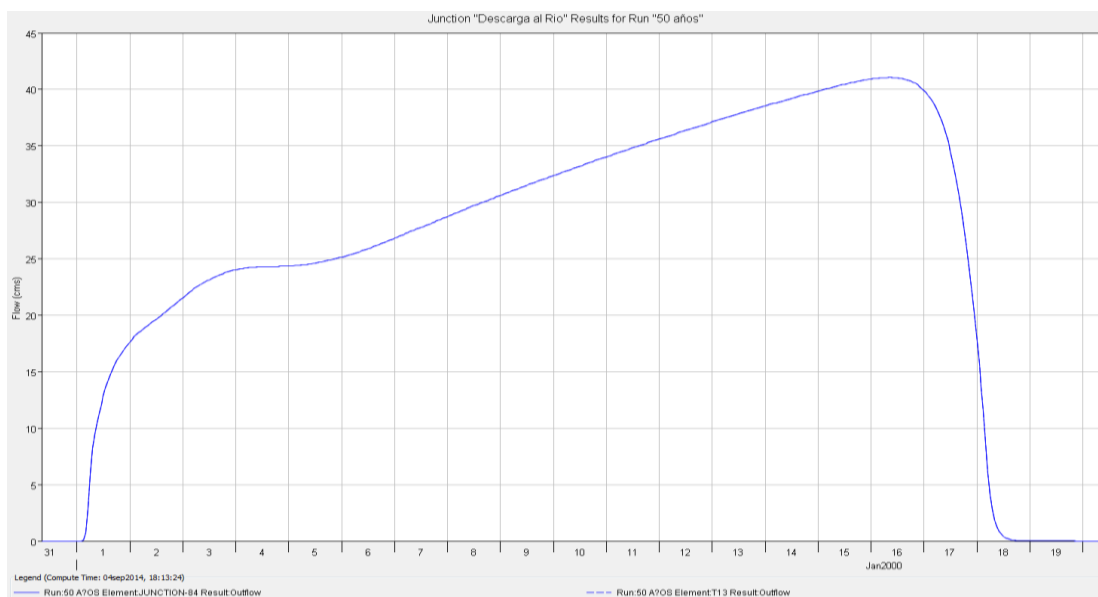
**Figura 6.2-14 - Hidrograma en la descarga al Río Saladillo para TR=2 años**

Se observa en el hidrograma que el caudal máximo es de  $47,18m^3/s$  y se da a los 11 días de comenzado el evento.



**Figura 6.2-15** - Hidrograma en la descarga al Rio Saladillo para TR=10 años

Se observa en el hidrograma que el caudal máximo es de  $31,68m^3/s$  y se da a los 11 días de comenzado el evento.



**Figura 6.2-16** - Hidrograma en la descarga al Rio Saladillo para TR=50 años

Se observa en el hidrograma que el caudal máximo es de  $41,05m^3/s$  y se da a los 15 días de comenzado el evento.

En la siguiente tabla se resumen los caudales máximos alcanzados en el punto de control 4 para un tiempo de recurrencia de 2, 10, y 50 años.

PUNTO DE CONTROL	CAUDALES [m <sup>3</sup> /s]		
	TR= 2 años	TR= 10 años	TR= 50 años
P.C.4	22,47	31,68	41,05

**Tabla 6.2-4 - Caudales pasantes en punto de control 4**

## CAPITULO 7: CONCLUSIONES

- Se obtuvo información meteorológica, geomorfológica e hidrológica suficiente y detallada para toda la zona de estudio.
- A partir de imágenes satelitales y cartográficas se pudo discretizar la cuenca de forma adecuada y logrando un grado de detalle suficiente para el objetivo de este trabajo, verificando in-situ mediante relevamientos de campaña la zona del tramo a readecuar, siendo que ésta es la más crítica.
- Se pudo realizar un diagnóstico del funcionamiento integral de la Cuenca Alta, Media y Baja, encontrando diferencias y similitudes entre ellas.
- Se observó que la cuenca Alta y Media tiene un comportamiento similar, donde se presentan pendientes medias y bajas, con un drenaje que en general es organizado, no existiendo casi la presencia de lagunas o charcas. Además estas Cuencas ya se vienen sistematizado año tras año, y saneando las partes altas, observando mejoras en el escurrimiento y reduciendo el tiempo de permanencia de las aguas.
- La cuenca Baja presenta pendientes muy bajas, casi nulas, con presencia de charcas o lagunas con una organización aproximadamente lineal a lo largo de todo el arroyo, con un drenaje superficial muy pobre, estas lagunas funcionan como amortiguadoras de los caudales picos, donde el tiempo de permanencia de las aguas es mayor, como se puede observar en los hidrogramas. Como consecuencia de esto se tienen campos anegados, caminos rurales cortados, impidiendo la producción agrícola, la accesibilidad a los campos, y un problema importante que es el corte de la Ruta Provincial N°3.
- Se obtuvieron hidrogramas en diferentes puntos de control, que serán transitados en un modelo hidráulico para poder continuar con la segunda parte del proyecto que es la readecuación del tramo que comienza en la zona Norte de la Localidad de Laborde hasta la descarga al Rio Saladillo.
- El modelo de simulación es óptimo para la transformación lluvia – caudal pero no reproduce de forma adecuada el tránsito de crecidas. Esto se deduce de los altos caudales registrados a la salida de los puntos de control donde se aforaron caudales mucho más bajos. Este déficit del modelo hidrológico se puede corregir mediante la aplicación de un modelo hidrodinámico, que reproduzca mejor las condiciones de transporte en cauces de llanura como el Arroyo El Chato.
- En un posterior trabajo de investigación se podrán calcular cuales son los caudales para diversos periodos de retorno, considerando la cobertura vegetal original de la cuenca y por lo tanto cuantificar el impacto antrópico.
- En otro trabajo de investigación se podría profundizar sobre el uso de almacenamientos temporarios en la cuenca alta y media, para disminuir los caudales en el tramo a readecuar. En dichas cuencas existen depresiones que



podrían ser usadas para almacenar. En esa investigación se indicaría cual sería la mejor zona para almacenar el agua temporalmente.

#### **7.1 CONCLUSIONES DE LA PRÁCTICA SUPERVISADA:**

- Obtención de experiencia práctica, aplicando y profundizando los conceptos adquiridos durante los años de estudio de la carrera.
- Incorporación de nuevos conocimientos relacionados con el uso de programas computacionales de aplicación.
- Desarrollo de habilidades para un mejor desenvolvimiento en el ámbito laboral profesional y de trabajo multidisciplinario.
- Elaboración de un informe de utilidad para estudios posteriores y/o análisis relacionados con la temática tratada.

## **CAPITULO 8: BIBLIOGRAFIA**

**ACASE – INTA (2003):** Los Suelos. Nivel de Reconocimiento 1:500.000. Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba. ACASE - Dirección de Ambiente. INTA – EEA Manfredi.

**APARICIO MIJARES, F. J. (1989),** “Fundamentos de Hidrología de Superficie”, Limusa-Noriega Editores. México.

**Caamaño Nelli G. et. al. (1993):** Regionalización de Precipitaciones Máximas para la Provincia de Córdoba. INCYTH. CIHRSA. CONICET. SMN. DPH. CONICOR.

**Capitanelli, R (1977):** Geomorfología. Capítulo V en Geografía Física de la Provincia de Córdoba. Cap. V pp. 263-279. Editorial Boldt. Córdoba.

**CARLOS MARCELO GARCIA (2000),** “Lámina de lluvia puntual para diseño hidrológico”, Maestría en Ciencias de la Ingeniería, Mención Recursos Hídricos, UNC., Córdoba, Argentina.

**CARTAS DE SUELOS DE LA REPUBLICA ARGENTINA – INTA (1988):**

Hoja 3363-8 Hernando, Hoja 3363-21 Pascanas, Hoja 3363-14 General Cabrera, Hoja 3363-9 Villa María. INTA – Ministerio de Agricultura, Ganadería y Recursos Renovables.

**CHOW V. T., MAIDMENT, DR., MAYS, L. W. (1993).** “Hidrología Aplicada”. Editorial Mc. Graw Hill. Bogotá, Colombia.

**GABRIEL CAAMAÑO NELLI, CARLOS G. CATALINI, LAURA COLLADÓN, CLARITA MARIA DASSO, CARLOS MARCELO GARCIA, ERIK DANIEL ZIMMERMAN (2003),** “Lluvias de Diseño, Conceptos, Técnicas y Experiencias”, Universitas.

**Hydrologic Engineering Center (1998):** HEC-1. Flood Hydrograph Package. User Manual. US Army Corps of Engineers.

**Hydrologic Engineering Center (2010):** HEC-HMS. User Manual, Version 3.5. US Army Corps of Engineers.

**MIATELLO, R. A; ROQUE, M. E; VÁZQUEZ, J.B. (1979).** “Geografía física de la Provincia de Córdoba”

**SERGIO FATTORELLI – PEDRO C. FERNANDEZ (2011):** Diseño Hidrológico

**Tucci C.E.M. (ed.) (1993):** Hidrologia: Ciência e Aplicação. Coleção ABRH, Brasil, Vol. 4, 943 p.

**U.S. Environment Protection Agency (1992):** Storm Water Management Model (version 4). User Manual. Environmental Research Laboratory. Georgia.

**VEN TE CHOW (1994),** “Hidráulica de Canales Abiertos”, Mc. Graw Hill.

## **CAPITULO 9: ANEXOS**

Los anexos están estructurados de la siguiente manera:

- ANEXO N°1: Determinación de los parámetros físicos de las cuencas
- ANEXO N°2: Estimación de los tiempos de concentración de las cuencas
- ANEXO N°3: Hietogramas de proyecto
- ANEXO N°4: Determinación de los números de curva CN para las cuencas
- ANEXO N°5: Parámetros para el cálculo de los traslados por el método de Muskingum-Cunge.
- ANEXO N°6: Parámetros para modelar lagunas de retardo
- ANEXO N°7: Plano de planimetría general de la cuenca del Arroyo EL CHATO

**ANEXO N°1: Determinación de los parámetros físicos de las cuencas**

**TABLA N° 1: Parámetros físicos de la cuenca Media:**

SubCuenca	A (Ha)	L (km)	H (m)	Sc (%)
C28	271	1.87	5.00	0.267
C29	727	2.86	5.00	0.175
C30	638	2.34	5.00	0.214
C31	5127	9.71	10.00	0.103
C32	975	3.54	4.00	0.113
C33	1222	4.39	5.00	0.114
C34	1166	8.61	5.00	0.058
C35	5849	14.81	11.25	0.076
C36	480	2.65	2.50	0.094
C6.2	19164	43.90	66.25	0.151
C7.2	6985	19.81	25.00	0.126
C8.2	7562	28.75	46.00	0.160
C9.2	4769	11.80	16.50	0.140
C10.2	7644	23.13	27.50	0.119

**TABLA N° 2: Parámetros físicos de la cuenca Baja:**

SubCuenca	A (Ha)	L (km)	H (m)	Sc (%)
C37	573	3,61	4,00	0,111
C38	1259	4,00	5,00	0,125
C39	1422	3,42	5,00	0,146
C40	905	2,45	2,50	0,102
C41	1150	4,37	2,50	0,057
C42	353	1,94	3,00	0,155
C43	2412	7,70	6,25	0,081
C44	1218	8,01	5,00	0,062
C45	188	1,58	0,25	0,016
C46	253	1,64	2,75	0,168
C47	658	3,00	5,00	0,167
C48	1605	6,08	10,00	0,164
C49	1594	4,42	5,00	0,113
C50	134	1,43	3,25	0,227
C51	550	3,18	3,25	0,102
C52	182	0,80	1,25	0,156
C53	123	0,66	4,25	0,644
C54	354	2,00	3,25	0,163

C55	84	0,73	3,00	0,411
C56	91	0,82	3,00	0,366
C57	167	1,00	2,00	0,200
C58	91	0,61	1,25	0,205
C59	126	0,51	3,00	0,588
C60	162	3,03	2,50	0,083
C61	302	2,58	4,25	0,165
C62	129	1,76	6,75	0,384
C63	168	1,20	3,00	0,250
C64	372	3,03	6,75	0,223
C65	183	1,26	4,25	0,337
C66	59	0,61	3,00	0,492
C67	110	1,00	3,75	0,375
C68	91	0,42	3,00	0,714
C69	933	4,29	6,75	0,157
C70	188	1,44	3,75	0,260
C71	211	0,96	3,75	0,391
C72	131	0,82	1,75	0,213
C73	1887	7,08	5,50	0,078
C74	1021	4,42	6,50	0,147
C75	1173	4,83	3,75	0,078
C76	537	2,00	3,00	0,150
C77	808	2,82	2,75	0,098
C78	153	0,88	1,00	0,114
C79	64	0,61	2,50	0,410
C80	90	0,36	1,75	0,486
C81	109	0,40	1,75	0,438
C82	118	0,61	2,00	0,328
C83	99	0,58	1,75	0,302
C84	75	0,34	1,50	0,441
C85	107	0,47	1,75	0,372
C86	68	0,45	2,75	0,611
C87	70	0,65	3,00	0,462
C88	83	0,35	1,75	0,500
C89	74	0,41	1,75	0,427
B1	73	0,65	3,00	0,462
B2	114	0,90	3,00	0,333
B3	65	0,60	3,00	0,500
B4	61	0,75	3,00	0,400
B5	81	0,62	1,75	0,282
B6	114	0,51	1,75	0,343
B7	763	4,37	4,25	0,097
B8	60	0,64	1,75	0,273
B9	103	0,66	1,75	0,265
B10	337	1,83	4,25	0,232
B11	1072	4,20	3,00	0,071
B12	1345	2,90	1,75	0,060
B13	742	2,89	1,75	0,061

B14	109	0,70	3,00	0,429
B15	111	0,73	3,00	0,411
B16	24	0,32	1,75	0,547
B17	86	0,60	2,50	0,417
B18	78	0,50	1,75	0,350
B19	604	2,10	3,00	0,143
B20	135	0,72	3,00	0,417
B21	238	0,94	3,00	0,319
B22	356	1,91	3,75	0,196
B23	168	1,59	3,00	0,189
B24	122	0,78	4,25	0,545
B25	116	0,39	1,75	0,449
B26	96	0,55	1,75	0,318
B27	764	3,87	3,00	0,078
B28	181	0,86	4,25	0,494
B29	101	1,10	4,25	0,386
B30	159	0,75	3,50	0,467
B31	243	0,62	3,50	0,565
B32	177	0,63	4,25	0,675
B33	150	0,65	3,75	0,577
B34	64	0,64	4,25	0,664
B35	82	1,31	6,75	0,515
B36	109	0,92	5,00	0,543
B37	136	1,00	3,75	0,375
B38	62	0,64	3,00	0,469
B39	155	1,64	8,00	0,488
C11.3	20844	23,32	25,00	0,107
C12.3	8435	16,98	17,50	0,103
C13.3	5717	15,44	5,00	0,032
C14.3	4692	9,62	10,00	0,104
C15.3	6235	13,13	20,00	0,152

**ANEXO N°2: Estimación de los tiempos de concentración de las cuencas.**

**TABLA N° 1: Valores del tiempo de concentración para la cuenca Media:**

SubCuenca	Tiempo de Concentración											
	Formula 1	Formula 2	Formula 3	Formula 4	Formula 5	Formula 6	Formula 7	Formula 8	Promedio		Adoptado	
	1	2	3	4	5	6	7	8	General	Ajustado	(min.)	(hs.)
<b>C28</b>	69,2	89,3	63,1	58,3	51,9	66,6	50,9	103,9	69,1	66,4	<b>65</b>	1,1
<b>C29</b>	105,9	133,7	103,0	85,4	73,9	96,9	76,8	158,9	104,3	100,3	<b>100</b>	1,7
<b>C30</b>	86,6	110,5	81,7	71,3	62,5	92,2	61,1	130,0	87,0	84,1	<b>85</b>	1,4
<b>C31</b>	292,0	374,2	323,8	208,4	162,4	203,6	238,3	539,4	292,8	273,4	<b>275</b>	4,6
<b>C32</b>	140,1	170,8	143,7	110,6	95,1	108,3	100,7	196,7	133,2	129,0	<b>130</b>	2,2
<b>C33</b>	162,5	200,8	169,0	125,6	105,6	118,0	121,9	243,9	155,9	149,6	<b>150</b>	2,5
<b>C34</b>	318,8	380,8	368,0	230,3	185,1	116,0	274,8	478,3	294,0	293,0	<b>295</b>	4,9
<b>C35</b>	429,9	546,5	503,9	294,2	222,0	214,0	381,2	822,8	426,8	396,3	<b>395</b>	6,6
<b>C36</b>	120,8	141,8	123,2	98,2	87,4	82,8	83,9	147,2	110,7	109,2	<b>110</b>	1,8
<b>C6.2</b>	748,6	1095,4	893,2	459,5	304,1	336,0	874,8	2438,9	893,8	734,6	<b>735</b>	12,3
<b>C7.2</b>	452,5	619,0	518,5	300,8	216,8	229,0	452,6	1100,6	486,2	428,7	<b>430</b>	7,2
<b>C8.2</b>	547,0	785,3	630,4	350,3	241,3	236,0	621,4	1597,2	626,1	529,3	<b>530</b>	8,8
<b>C9.2</b>	305,3	409,5	334,4	213,7	161,7	198,0	274,4	655,6	319,1	289,2	<b>290</b>	4,8
<b>C10.2</b>	513,5	704,3	597,7	336,1	239,0	236,9	530,0	1285,0	555,3	486,8	<b>485</b>	8,1



TABLA N° 3: Valores del tiempo de concentración para la cuenca Baja:

SubCuenca	Tiempo de Concentración												
	Formula	Formula	Formula	Formula	Formula	Formula	Formula	Formula	Formula	Promedio		Adoptado	
	1	2	3	4	5	6	7	8	General	Ajustado	(min.)	(hs.)	
C37	142,9	174,0	146,9	112,6	96,6	88,5	108,7	200,6	133,9	130,3	130	2,2	
C38	148,1	183,8	151,8	115,5	97,7	119,4	108,7	222,2	143,4	137,9	140	2,3	
C39	126,6	158,4	126,7	100,3	85,8	125,0	89,0	190,0	125,2	121,0	120	2,0	
C40	111,7	131,6	112,5	91,5	81,8	105,3	71,6	136,1	105,3	105,7	105	1,8	
C41	199,2	228,1	219,6	154,0	132,5	115,4	140,1	242,8	178,9	178,9	180	3,0	
C42	83,7	101,9	80,1	70,2	63,4	73,6	57,4	107,8	79,8	78,8	80	1,3	
C43	266,6	328,3	296,8	194,8	156,6	152,9	213,7	427,8	254,7	242,8	245	4,1	
C44	296,5	355,6	338,6	215,8	174,3	117,9	250,9	445,0	274,3	271,9	270	4,5	
C45	143,7	134,4	164,5	123,0	122,2	58,0	78,5	87,8	114,0	114,9	115	1,9	
C46	72,6	88,3	68,2	61,9	56,7	64,9	49,3	91,1	69,1	68,8	70	1,2	
C47	111,1	139,9	108,9	89,2	76,9	93,3	82,1	166,7	108,5	104,1	105	1,8	
C48	182,8	239,9	188,6	136,8	110,0	130,9	152,6	337,8	184,9	171,9	170	2,8	
C49	163,6	202,1	170,4	126,4	106,2	130,6	119,6	245,6	158,1	152,1	150	2,5	
C50	60,2	75,1	54,6	52,1	47,9	51,0	43,1	79,4	57,9	56,8	55	0,9	
C51	134,0	160,4	137,5	106,9	93,2	87,2	97,7	176,7	124,2	121,6	120	2,0	
C52	44,9	51,9	40,3	41,1	40,6	57,3	25,2	44,4	43,2	43,9	45	0,8	
C53	25,7	34,2	20,2	24,0	23,0	49,3	16,3	36,7	28,7	27,3	25	0,4	
C54	84,3	103,3	80,5	70,4	63,3	73,7	58,5	111,1	80,6	79,2	80	1,3	
C55	31,5	40,3	25,9	29,1	28,1	42,7	20,5	40,6	32,3	32,6	35	0,6	
C56	35,4	45,0	29,6	32,3	30,9	44,0	23,4	45,6	35,8	36,2	35	0,6	
C57	48,7	58,6	43,6	43,7	41,8	55,4	30,3	55,6	47,2	48,1	50	0,8	
C58	34,2	40,1	29,5	32,2	32,4	44,0	19,5	33,9	33,2	33,7	35	0,6	
C59	22,0	28,6	17,1	21,1	20,8	49,8	12,8	28,3	25,1	23,0	25	0,4	
C60	138,1	161,1	143,8	110,8	97,7	54,8	109,8	168,3	123,0	126,9	125	2,1	

<b>C61</b>	100,3	125,0	97,4	81,7	71,6	69,4	76,5	143,3	95,7	92,1	<b>90</b>	1,5
<b>C62</b>	59,5	79,6	52,4	50,4	44,6	50,2	48,0	97,8	60,3	56,7	<b>55</b>	0,9
<b>C63</b>	51,8	64,5	46,0	45,6	42,5	55,5	34,7	66,7	50,9	51,0	<b>50</b>	0,8
<b>C64</b>	102,5	133,4	98,1	82,2	70,2	75,1	82,8	168,3	101,6	95,7	<b>95</b>	1,6
<b>C65</b>	49,0	63,3	42,6	42,9	39,4	57,4	34,0	70,0	49,8	49,1	<b>50</b>	0,8
<b>C66</b>	26,3	33,9	21,1	24,8	24,2	37,3	17,1	33,9	27,3	27,4	<b>25</b>	0,4
<b>C67</b>	40,4	52,0	34,2	36,2	33,9	47,3	27,8	55,6	40,9	40,7	<b>40</b>	0,7
<b>C68</b>	18,1	23,8	13,7	17,7	17,7	44,0	10,5	23,3	21,1	19,1	<b>20</b>	0,3
<b>C69</b>	145,2	185,6	146,6	112,4	93,7	106,5	114,7	238,3	142,9	135,2	<b>135</b>	2,3
<b>C70</b>	58,1	73,6	52,1	50,2	45,9	58,0	40,9	80,0	57,3	56,3	<b>55</b>	0,9
<b>C71</b>	38,7	50,0	32,6	34,9	32,8	60,6	24,8	53,3	41,0	40,4	<b>40</b>	0,7
<b>C72</b>	41,6	49,8	36,5	38,0	37,0	50,5	25,1	45,6	40,5	41,4	<b>40</b>	0,7
<b>C73</b>	254,7	310,6	283,0	187,7	152,3	139,2	203,2	393,3	240,5	231,9	<b>230</b>	3,8
<b>C74</b>	151,3	192,3	154,0	116,8	97,3	110,3	118,7	245,6	148,3	140,6	<b>140</b>	2,3
<b>C75</b>	194,9	232,3	210,9	149,2	125,9	116,2	145,4	268,3	180,4	176,4	<b>175</b>	2,9
<b>C76</b>	86,3	104,9	83,0	72,2	65,0	86,4	57,0	111,1	83,2	83,0	<b>85</b>	1,4
<b>C77</b>	124,9	147,8	127,6	100,9	89,1	100,9	84,2	156,7	116,5	115,2	<b>115</b>	1,9
<b>C78</b>	52,8	59,2	49,1	47,9	47,3	53,6	30,1	48,9	48,6	49,9	<b>50</b>	0,8
<b>C79</b>	27,8	35,1	22,6	26,2	25,7	38,5	17,6	33,9	28,4	28,5	<b>30</b>	0,5
<b>C80</b>	18,3	22,8	14,1	18,1	18,7	43,8	9,7	20,0	20,7	18,7	<b>20</b>	0,3
<b>C81</b>	20,3	25,2	15,9	19,9	20,4	47,1	10,8	22,2	22,7	20,6	<b>20</b>	0,3
<b>C82</b>	29,7	36,7	24,6	28,0	27,7	48,6	17,3	33,9	30,8	30,1	<b>30</b>	0,5
<b>C83</b>	29,4	35,8	24,4	27,8	27,8	45,4	17,0	32,2	30,0	29,6	<b>30</b>	0,5
<b>C84</b>	18,1	22,2	14,0	18,0	18,7	40,9	9,5	18,9	20,0	18,3	<b>20</b>	0,3
<b>C85</b>	23,8	29,3	19,2	23,0	23,3	46,8	13,1	26,1	25,6	24,1	<b>25</b>	0,4
<b>C86</b>	19,9	25,8	15,3	19,3	19,3	39,4	11,9	25,0	22,0	20,8	<b>20</b>	0,3
<b>C87</b>	28,0	36,0	22,7	26,2	25,5	39,8	18,2	36,1	29,1	29,1	<b>30</b>	0,5
<b>C88</b>	17,8	22,2	13,6	17,7	18,2	42,5	9,5	19,4	20,1	18,2	<b>20</b>	0,3
<b>C89</b>	20,8	25,8	16,4	20,4	20,8	40,7	11,6	22,8	22,4	21,1	<b>20</b>	0,3

<b>B1</b>	28,0	36,0	22,7	26,2	25,5	40,5	18,1	36,1	29,1	29,1	<b>30</b>	0,5
<b>B2</b>	38,8	49,1	33,0	35,2	33,4	47,9	25,6	50,0	39,1	39,6	<b>40</b>	0,7
<b>B3</b>	25,9	33,4	20,7	24,4	23,9	38,7	16,6	33,3	27,1	26,9	<b>25</b>	0,4
<b>B4</b>	32,4	41,3	26,7	29,8	28,7	37,8	21,9	41,7	32,5	32,8	<b>35</b>	0,6
<b>B5</b>	31,5	38,2	26,4	29,6	29,3	42,1	18,8	34,4	31,3	31,6	<b>30</b>	0,5
<b>B6</b>	25,9	31,7	21,1	24,8	24,9	47,9	14,4	28,3	27,4	26,1	<b>25</b>	0,4
<b>B7</b>	169,9	206,2	179,0	131,3	111,1	98,7	131,2	242,8	158,8	154,8	<b>155</b>	2,6
<b>B8</b>	32,5	39,4	27,4	30,4	30,1	37,6	20,2	35,6	31,6	32,3	<b>30</b>	0,5
<b>B9</b>	33,5	40,5	28,4	31,3	30,9	46,1	19,8	36,7	33,4	33,5	<b>35</b>	0,6
<b>B10</b>	71,1	90,2	65,5	60,0	53,8	72,4	50,1	101,7	70,6	68,8	<b>70</b>	1,2
<b>B11</b>	181,2	212,2	195,5	140,7	120,7	112,3	129,7	233,3	165,7	163,3	<b>165</b>	2,8
<b>B12</b>	147,1	165,3	156,9	118,5	106,1	122,4	90,5	161,1	133,5	135,3	<b>135</b>	2,3
<b>B13</b>	146,6	164,8	156,2	118,1	105,7	97,7	95,7	160,6	130,7	130,8	<b>130</b>	2,2
<b>B14</b>	30,2	38,7	24,7	28,0	27,1	47,1	19,0	38,9	31,7	31,3	<b>30</b>	0,5
<b>B15</b>	31,5	40,3	25,9	29,1	28,1	47,4	19,9	40,6	32,9	32,6	<b>35</b>	0,6
<b>B16</b>	16,2	20,4	12,3	16,3	16,9	26,5	9,6	17,8	17,0	16,6	<b>15</b>	0,3
<b>B17</b>	27,3	34,6	22,2	25,8	25,3	43,1	16,8	33,3	28,5	28,1	<b>30</b>	0,5
<b>B18</b>	25,4	31,1	20,6	24,4	24,5	41,5	14,6	27,8	26,2	25,6	<b>25</b>	0,4
<b>B19</b>	90,6	109,8	87,8	75,4	67,7	90,3	59,8	116,7	87,3	86,9	<b>85</b>	1,4
<b>B20</b>	31,1	39,7	25,5	28,8	27,8	51,1	19,2	40,0	32,9	32,1	<b>30</b>	0,5
<b>B21</b>	40,6	51,2	34,7	36,6	34,7	63,4	25,0	52,2	42,3	41,7	<b>40</b>	0,7
<b>B22</b>	77,1	96,2	72,2	64,7	58,1	73,9	53,8	106,1	75,3	73,7	<b>75</b>	1,3
<b>B23</b>	68,6	84,3	63,7	58,7	53,7	55,5	48,7	88,3	65,2	64,1	<b>65</b>	1,1
<b>B24</b>	30,3	40,1	24,5	27,8	26,4	49,2	19,9	43,3	32,7	32,1	<b>30</b>	0,5
<b>B25</b>	19,8	24,6	15,5	19,5	19,9	48,2	10,4	21,7	22,4	20,2	<b>20</b>	0,3
<b>B26</b>	27,9	34,1	23,0	26,5	26,6	44,9	16,0	30,6	28,7	28,1	<b>30</b>	0,5
<b>B27</b>	167,0	196,3	177,9	130,7	112,7	98,8	121,6	215,0	152,5	151,0	<b>150</b>	2,5
<b>B28</b>	33,4	44,0	27,4	30,4	28,7	57,1	21,5	47,8	36,3	35,3	<b>35</b>	0,6
<b>B29</b>	42,8	55,6	36,4	37,9	35,2	45,8	30,7	61,1	43,2	42,3	<b>40</b>	0,7

<b>B30</b>	30,9	40,1	25,2	28,5	27,3	54,4	19,3	41,7	33,4	32,3	<b>30</b>	0,5
<b>B31</b>	25,5	33,5	20,2	24,0	23,3	63,9	14,7	34,4	29,9	26,8	<b>25</b>	0,4
<b>B32</b>	24,5	32,8	19,1	23,0	22,1	56,6	14,9	35,0	28,5	26,1	<b>25</b>	0,4
<b>B33</b>	26,2	34,6	20,8	24,5	23,7	53,2	16,1	36,1	29,4	27,7	<b>30</b>	0,5
<b>B34</b>	24,9	33,2	19,5	23,3	22,4	38,5	16,8	35,6	26,8	26,5	<b>25</b>	0,4
<b>B35</b>	44,3	60,1	37,3	38,7	34,9	42,3	35,2	72,8	45,7	43,0	<b>45</b>	0,8
<b>B36</b>	34,1	45,5	27,8	30,8	28,7	47,1	23,8	51,1	36,1	35,7	<b>35</b>	0,6
<b>B37</b>	40,4	52,0	34,2	36,2	33,9	51,3	27,2	55,6	41,3	41,3	<b>40</b>	0,7
<b>B38</b>	27,6	35,5	22,3	25,9	25,2	38,0	18,0	35,6	28,5	28,7	<b>30</b>	0,5
<b>B39</b>	52,7	72,1	45,2	45,0	39,8	53,9	41,8	91,1	55,2	51,8	<b>50</b>	0,8
<b>C11.3</b>	532,7	722,8	626,0	348,4	248,4	346,9	493,4	1295,6	576,8	511,7	<b>510</b>	8,5
<b>C12.3</b>	431,7	572,2	497,8	291,4	214,7	246,0	396,4	943,3	449,2	405,9	<b>405</b>	6,8
<b>C13.3</b>	571,6	663,3	722,5	389,5	301,1	212,2	472,4	857,8	523,8	520,1	<b>520</b>	8,7
<b>C14.3</b>	289,3	370,9	320,3	206,7	161,2	196,8	237,7	534,4	289,7	270,3	<b>270</b>	4,5
<b>C15.3</b>	320,7	436,9	351,3	222,1	165,8	219,3	292,2	729,4	342,2	307,1	<b>305</b>	5,1

### ANEXO N°3: Hietogramas de proyecto

FIGURA N°1: Hietograma de proyecto de estación Hernando para un TR=10 años

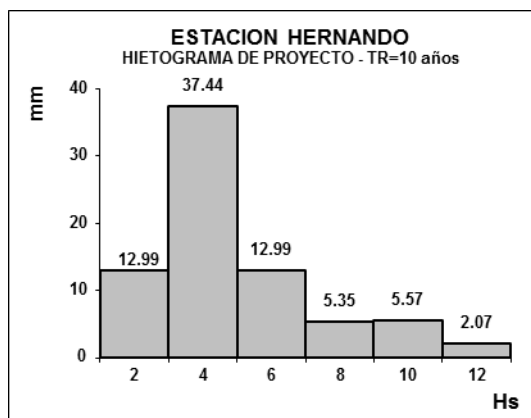


FIGURA N°2: Hietograma de proyecto de estación Villa Maria para un TR=10 años

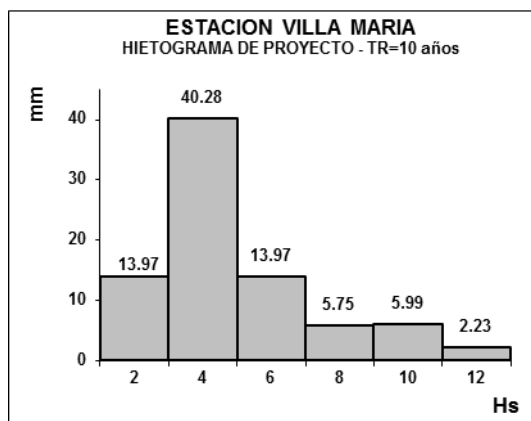


FIGURA N°3: Hietograma de proyecto de estación J.Posse para un TR=10 años

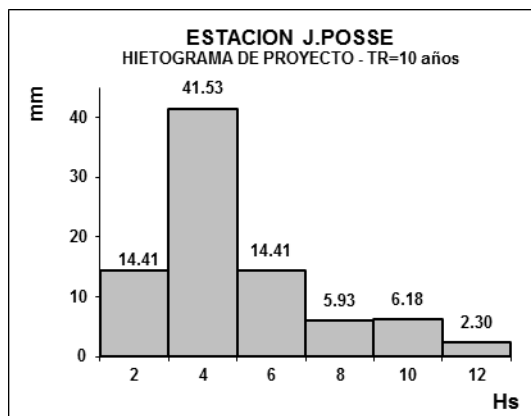


FIGURA N°4: Hietograma de proyecto de estación Hernando para un TR=50 años

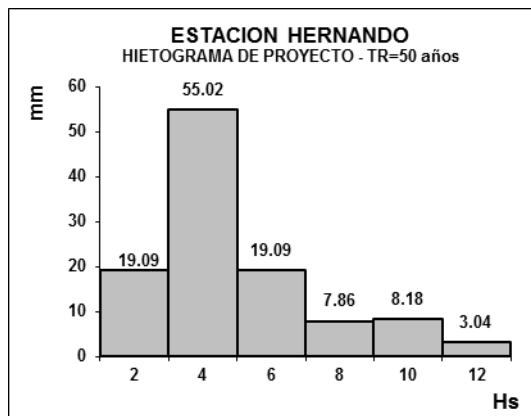


FIGURA N°5: Hietograma de proyecto de estación Villa Maria para un TR=50 años

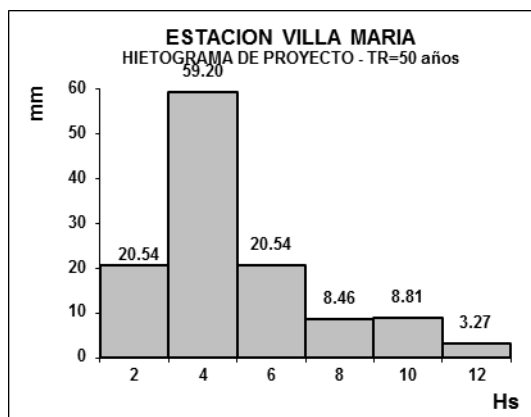
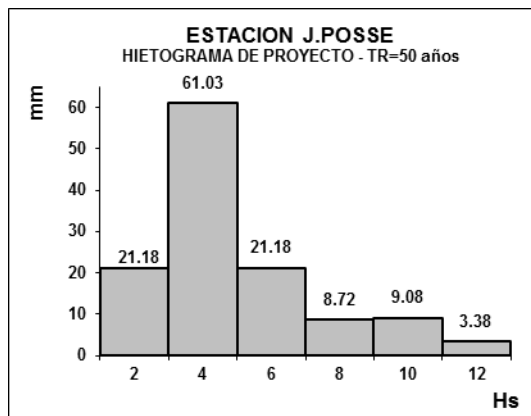


FIGURA N°6: Hietograma de proyecto de estación J.Posse para un TR=50 años



**ANEXO N°4: Determinación de los números de curva CN para las cuencas.**

**TABLA N°1: Asignación de CN (II) para cada una de las unidades hidrológicas definidas**

CUENCA MEDIA	
SUBCUENCA	CN (II)
C28	78
C29	78
C30	78
C31	78
C32	78
C33	78
C34	78
C35	78
C36	78
C6.2	78
C7.2	78
C8.2	78
C9.2	78
C10.2	78

**TABLA N°2: Asignación de CN (II) para cada una de las unidades hidrológicas definidas**

CUENCA BAJA	
SUBCUENCA	CN (II)
C37	72
C38	72
C39	72
C40	72
C41	72
C42	72
C43	72
C44	72
C45	72
C46	72
C47	72
C48	72
C49	72
C50	72
C51	75
C52	75

CUENCA BAJA	
SUBCUENCA	CN (II)
B1	70
B2	70
B3	70
B4	70
B5	70
B6	70
B7	70
B8	70
B9	70
B10	70
B11	70
B12	70
B13	70
B14	70
B15	70
B16	70

<b>C53</b>	75
<b>C54</b>	75
<b>C55</b>	75
<b>C56</b>	75
<b>C57</b>	75
<b>C58</b>	75
<b>C59</b>	75
<b>C60</b>	75
<b>C61</b>	75
<b>C62</b>	75
<b>C63</b>	75
<b>C64</b>	75
<b>C65</b>	75
<b>C66</b>	75
<b>C67</b>	75
<b>C68</b>	75
<b>C69</b>	75
<b>C70</b>	75
<b>C71</b>	70
<b>C72</b>	70
<b>C73</b>	70
<b>C74</b>	70
<b>C75</b>	70
<b>C76</b>	70
<b>C77</b>	70
<b>C78</b>	70
<b>C79</b>	70
<b>C80</b>	70
<b>C81</b>	70
<b>C82</b>	70
<b>C83</b>	70
<b>C84</b>	70
<b>C85</b>	70
<b>C86</b>	70
<b>C87</b>	70
<b>C88</b>	70
<b>C89</b>	70

<b>B17</b>	70
<b>B18</b>	70
<b>B19</b>	70
<b>B20</b>	70
<b>B21</b>	70
<b>B22</b>	70
<b>B23</b>	70
<b>B24</b>	70
<b>B25</b>	70
<b>B26</b>	70
<b>B27</b>	70
<b>B28</b>	70
<b>B29</b>	70
<b>B30</b>	70
<b>B31</b>	70
<b>B32</b>	70
<b>B33</b>	70
<b>B34</b>	70
<b>B35</b>	70
<b>B36</b>	70
<b>B37</b>	70
<b>B38</b>	70
<b>B39</b>	70
<b>C11.3</b>	72
<b>C12.3</b>	72
<b>C13.3</b>	72
<b>C14.3</b>	72
<b>C15.3</b>	75



**ANEXO N°5: Parámetros para el cálculo de los traslados por el método de Muskingum-Cunge.**

**TABLA N°1: Parámetros para el cálculo de los traslados por el método de Muskingum - Cuenca Media.**

TRAMO	LONGITUD [M]	PENDIENTE [M/M]	n MANNING	FORMA	ANCHO [M]	PENDIENTE LATERAL [xH:1V]
28 - 29	988	0,0009	0,024	Trapezoidal	8	10
29 - 30	2600	0,0009	0,024	Trapezoidal	8	10
30 - 31	2798	0,002	0,024	Trapezoidal	8	10
31 - 32	4876	0,001	0,024	Trapezoidal	8	10
32 - 33	4137	0,0009	0,024	Trapezoidal	8	10
33 - 34	1181	0,0009	0,024	Trapezoidal	8	10
34 - 35	7554	0,0009	0,024	Trapezoidal	8	10
35 - 36	2924	0,002	0,024	Trapezoidal	8	10
36 - 37	2409	0,0008	0,024	Trapezoidal	8	10
37 - 38	600	0,0009	0,024	Trapezoidal	8	10
38 - 39	2578	0,0009	0,024	Trapezoidal	8	10
39 - 40	792	0,002	0,024	Trapezoidal	8	10

**TABLA N°2: Parámetros para el cálculo de los traslados por el método de Muskingum - Cuenca Baja.**

TRAMO	LONGITUD [M]	PENDIENTE [M/M]	n MANNING	FORMA	ANCHO [M]	PENDIENTE LATERAL [xH:1V]
40 - 41	1283	0,0008	0,024	Trapezoidal	8	10
41 - 42	3434	0,001	0,024	Trapezoidal	8	10
42 - 43	1542	0,002	0,024	Trapezoidal	8	10
43 - 44	1732	0,0009	0,024	Trapezoidal	8	10
44 - 45	3761	0,0009	0,024	Trapezoidal	8	10
45 - 46	1822	0,002	0,024	Trapezoidal	8	10
46 - 47	1470	0,0008	0,024	Trapezoidal	8	10
47 - 48	966	0,001	0,024	Trapezoidal	8	10
48 - 49	1342	0,0002	0,024	Trapezoidal	8	10
49 - 50	1303	0,002	0,024	Trapezoidal	8	10
50 - 51	1262	0,0008	0,024	Trapezoidal	8	10
51 - 52	3248	0,0008	0,024	Trapezoidal	8	10
52 - 53	912	0,002	0,024	Trapezoidal	8	10
53 - 54	571	0,0008	0,024	Trapezoidal	8	10
54 - 55	815	0,0008	0,024	Trapezoidal	8	10
55 - 56	1008	0,002	0,024	Trapezoidal	8	10
56 - 57	681	0,0008	0,024	Trapezoidal	8	10
57 - 58	251	0,0008	0,024	Trapezoidal	8	10
58 - 59	816	0,002	0,024	Trapezoidal	8	10
59 - 60	710	0,0008	0,024	Trapezoidal	8	10
60 - 61	354	0,002	0,024	Trapezoidal	8	10
61 - 62	814	0,0008	0,024	Trapezoidal	8	10
62 - 63	625	0,001	0,024	Trapezoidal	8	10
63 - 64	325	0,0008	0,024	Trapezoidal	8	10
64 - 65	840	0,001	0,024	Trapezoidal	8	10

<b>65 - 66</b>	651	0,0008	0,024	Trapezoidal	8	10
<b>66 - 67</b>	452	0,0008	0,024	Trapezoidal	8	10
<b>67 - 68</b>	768	0,0008	0,024	Trapezoidal	8	10
<b>68 - 69</b>	984	0,0008	0,024	Trapezoidal	8	10
<b>69 - 70</b>	1025	0,002	0,024	Trapezoidal	8	10
<b>70 - 71</b>	400	0,0008	0,024	Trapezoidal	8	10
<b>71 - 72</b>	325	0,002	0,024	Trapezoidal	8	10
<b>72 - 73</b>	600	0,0008	0,024	Trapezoidal	8	10
<b>73 - 74</b>	412	0,001	0,024	Trapezoidal	8	10
<b>74 - 75</b>	741	0,0008	0,024	Trapezoidal	8	10
<b>75 - 76</b>	514	0,0008	0,024	Trapezoidal	8	10
<b>76 - 77</b>	457	0,002	0,024	Trapezoidal	8	10
<b>77 - 78</b>	758	0,0008	0,024	Trapezoidal	8	10
<b>78 - 79</b>	658	0,0008	0,024	Trapezoidal	8	10
<b>79 - 80</b>	847	0,002	0,024	Trapezoidal	8	10
<b>80 - 81</b>	257	0,0008	0,024	Trapezoidal	8	10
<b>81 - 82</b>	245	0,001	0,024	Trapezoidal	8	10
<b>82 - 83</b>	354	0,0002	0,024	Trapezoidal	8	10
<b>T1</b>	534	0,002	0,024	Trapezoidal	8	10
<b>T2</b>	600	0,001	0,024	Trapezoidal	8	10
<b>T3</b>	1410	0,0002	0,024	Trapezoidal	8	10
<b>T4</b>	3400	0,002	0,024	Trapezoidal	8	10
<b>T5</b>	4500	0,0008	0,024	Trapezoidal	8	10
<b>T6</b>	1200	0,001	0,024	Trapezoidal	8	10
<b>T7</b>	4200	0,0002	0,024	Trapezoidal	8	10
<b>T8</b>	2100	0,0008	0,024	Trapezoidal	8	10
<b>T9</b>	2800	0,002	0,024	Trapezoidal	8	10
<b>T10</b>	1000	0,0008	0,024	Trapezoidal	8	10
<b>T11</b>	1100	0,001	0,024	Trapezoidal	8	10

<b>T12</b>	1700	0,0002	0,024	Trapezoidal	8	10
<b>T13</b>	1000	0,002	0,024	Trapezoidal	8	10
<b>T14</b>	1000	0,0008	0,024	Trapezoidal	8	10

**ANEXO N°6: Parámetros para modelar lagunas de retardo**

**TABLA N°1: Elevación - Área y Elevación - Descarga (L1)**

ELEVACION [m]	AREA [1000 m2]
0,00	1000
0,12	1045
0,16	1090
0,26	1135
0,30	1180
0,35	1225
0,45	1270
0,84	1315
0,91	1360
1,41	1405
1,48	1450
1,58	1495
1,67	1540
1,78	1585
1,86	1630
1,92	1675
1,96	1720
2,10	1765
2,28	1810

ELEVACION [m]	DESCARGA [m3/s]
0	0,00
0,1	11,20
0,2	15,84
0,3	19,40
0,4	22,40
0,5	25,04
0,6	27,43
0,7	29,63
0,8	31,68
0,9	33,60
1	35,42
1,1	37,15
1,2	38,80
1,3	40,38
1,4	41,91
1,5	43,38
1,6	44,80
1,7	46,18
1,8	47,52
1,9	48,82
2	50,09

**TABLA N°2: Elevación - Área y Elevación - Descarga (L2)**

ELEVACION [m]	AREA [1000 m2]
0	1135
0,14	1180
0,34	1225
0,42	1270
0,49	1315
0,54	1360
0,63	1405
0,71	1450
0,82	1495
0,88	1540
0,91	1585
1,1	1630
1,23	1675
1,29	1720
1,35	1765
1,39	1810
1,45	1850
1,59	1890
1,67	1950
1,85	1967

ELEVACION [m]	DESCARGA [m3/s]
0	0,00
0,1	16,80
0,2	23,76
0,3	29,10
0,4	33,60
0,5	37,57
0,6	41,15
0,7	44,45
0,8	47,52
0,9	50,40
1	53,13
1,1	55,72
1,2	58,20
1,3	60,57
1,4	62,86
1,5	65,07
1,6	67,20
1,7	69,27
1,8	71,28
1,9	73,23

**TABLA N°3: Elevación - Área y Elevación - Descarga (L3)**

ELEVACION [m]	AREA [1000 m2]
0	980
0,135	1020
0,158	1090
0,27	1120
0,28	1180
0,34	1230
0,42	1568
0,53	1647
0,61	1693
0,74	1742
0,84	1797
0,86	1820

ELEVACION [m]	DESCARGA [m3/s]
0	0,00
0,1	14,00
0,2	19,80
0,3	24,25
0,4	28,00
0,5	31,30
0,6	34,29
0,7	37,04
0,8	39,60
0,9	42,00
1	44,27
1,1	46,43

0,92	1835
1,2	1950
1,23	2005
1,39	2034
1,47	2150
2,1	2341
2,25	2380
2,35	2460
2,46	2583

1,2	48,50
1,3	50,48
1,4	52,38
1,5	54,22
1,6	56,00
1,7	57,72
1,8	59,40
1,9	61,02
2	62,61
2,1	64,16
2,2	65,67
2,3	0,00
2,4	0,00
2,5	0,00

**TABLA N°4: Elevación - Área y Elevación - Descarga (L4)**

ELEVACION [m]	AREA [1000 m2]
0,00	50
0,10	90
0,19	153
0,20	263
0,26	354
0,38	487
0,44	536
0,48	632
0,58	748
0,68	851
0,74	932
0,86	1120
0,97	1352
1,10	1380
1,25	1462
1,65	1530
1,74	1647

ELEVACION [m]	DESCARGA [m3/s]
0,00	0,00
0,10	13,44
0,20	19,01
0,30	23,28
0,40	26,88
0,50	30,05
0,60	32,92
0,70	35,56
0,80	38,01
0,90	40,32
1,00	42,50
1,10	44,58
1,20	46,56
1,30	48,46
1,40	50,29
1,50	52,05
1,60	53,76
1,70	55,41
1,80	57,02