

**GENERACION DE TORMENTAS DE DISEÑO PARA LAS ESTACIONES  
METEOROLÓGICAS DE LA CUENCA DEL RIO DE ORO**

**DIANA MARIA ARDILA ARDILA  
LUIS CARLOS CALDERON CARDOZO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2006**

**GENERACION DE TORMENTAS DE DISEÑO PARA LAS ESTACIONES  
METEOROLÓGICAS DE LA CUENCA DEL RIO DE ORO**

**DIANA MARIA ARDILA ARDILA  
LUIS CARLOS CALDERON CARDOZO**

Trabajo de Grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

**Director  
JORGE ALBERTO GUZMAN JAIMES  
Ingeniero Civil, M.Sc.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECHANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL  
BUCARAMANGA  
2006**

*A Dios, por permitirme alcanzar esta meta,  
A Juanchito, el motivo de mi vida  
A Sergio, por su incondicional amor y apoyo*

*Diana Maria*

*Este trabajo lo dedico primero a Dios eterno colaborador,  
a mis padres Jesús y Raquel, que han puesto gran parte de  
su vida para la superación y bienestar de la familia,  
a mi Tío Pedro por su apoyo incondicional, a mis  
hermanos, familiares y amigos que me apoyaron  
para la consecución de este trabajo.*

*Luís Carlos*

## **AGRADECIMIENTOS**

El grupo de investigación hace un pequeño reconocimiento plasmando en este escrito los nombres de aquellas personas que de alguna forma aportaron su ayuda sin esperar nada a cambio.

Director del proyecto, Ingeniero M.Sc, Jorge Alberto Guzmán, por su incondicional colaboración y orientación.

Cristian Quintero, encargado del manejo de la Red Meteorológica de la CDMB, por facilitarnos la información requerida.

A Luis Carlos Quintero, funcionario de la CDMB.

John Jairo Díaz Olarte

Sergio Antonio Bueno Carreño

Luis Eduardo Rodríguez Galán

Adriana Serrano

Doña Raquel Cardozo

Diego Elkin Bueno

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCION	1
<b>1. DEFINICION DE LA ZONA DE ESTUDIO</b>	<b>3</b>
1.1 UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	3
1.2 CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA	4
1.2.1 Relieve	4
1.2.2 Clima	5
1.2.3 Precipitación	6
1.3 ESTACIONES METEOROLOGICAS	6
1.3.1 Selección de Estaciones de Estudio	6
1.3.2 Inspección de las Estaciones Meteorológicas	8
<b>2. PROCESAMIENTO DE INFORMACION</b>	<b>27</b>
2.1 PARAMETROS Y METODOLOGIA	27
2.2 SELECCIÓN DE DATOS	28
2.2.1 Estación La Esperanza.	28
2.2.2 Estación La Flora.	28
2.2.3 Estación CDMB.	30
2.2.4 Estación Club Campestre.	31
2.2.5 Estación PTAR o Totumos.	32
2.2.6 Estación El Rasgón.	33
2.3 REVISION PLUVIOGRAFICA	34

2.3.1	Parámetros del Proceso.	34
2.3.2	Convenciones Para Registro de la Información.	35
2.3.3	Errores Encontrados	36
2.4	SEPARACION DE EVENTOS	39
2.4.1	Criterios para Independización de Eventos de Lluvia.	39
<b>3.</b>	<b>CARACTERIZACIÓN DE LA INFORMACION</b>	<b>42</b>
3.1	ESTUDIO DE INTENSIDADES	42
3.1.1	Valores de Intensidad.	42
3.1.2	Distribución de Frecuencia.	43
3.1.3	Porcentaje de Intensidades Máximas respecto a Precipitación Total de 24 horas.	44
3.2	DURACIONES CARACTERISTICAS DE LOS EVENTOS EXTREMOS	49
3.3	PRECIPITACIONES MAXIMAS Y PERÍODOS DE RETORNO	52
3.3.1	Series Máximas Diarias Multianuales	52
3.3.2	Período de Retorno	53
<b>4.</b>	<b>TORMENTAS DE DISEÑO</b>	<b>56</b>
4.1	GENERACION DE CURVAS DE HUFF	57
4.1.1	Historia de las Curvas de Huff.	57
4.1.2	Información para la obtención de Curvas de Huff.	58
4.1.3	Procedimiento para Obtención de Curvas de Huff.	58
4.1.4	Resultados	61

4.1.5	Confiabilidad de las Curvas	62
4.2	HISTOGRAMAS DE DISEÑO	63
4.2.1	Parámetros para Construcción de Histogramas	63
4.2.2	Histogramas para Diferentes Duraciones.	64
4.2.3	Simulación Estocástica para Interpretación de Curvas de Huff.	65
<b>5.</b>	<b>ANÁLISIS DE INFORMACION</b>	<b>71</b>
5.1	APLICACIÓN DE LAS CURVAS DE HUFF	71
5.1.1	Influencia de los patrones de precipitación en diferentes áreas de diseño.	71
5.1.2	Ejemplo de obtención de tormenta de diseño	73
5.2	CRECIENTES OBTENIDAS A PARTIR DE HISTOGRAMAS DE CURVAS DE HUFF, Y CURVAS SCS TIPO I Y TIPO III.	77
5.2.1	Selección de Eventos a Modelar	77
5.2.2	Resultados	77
5.3	CURVAS DE HUFF vs. MODELO RACIONAL	85
5.4	PENDIENTE DE LAS CURVAS DE HUFF	89
5.5	ESPACIALIZACIÓN DE LAS CURVAS DE HUFF	91
<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>93</b>
6.1	CONCLUSIONES	93
6.2	RECOMENDACIONES	95
	Bibliografía	96

## LISTA DE ANEXOS

- ANEXO A INFORMACION PLUVIOGRAFICA PROCESADA
  
- ANEXO B EVENTOS DE TORMENTA OBTENIDOS PARA CADA ESTACION Y PORCENTUALIZACION DE LA LLUVIA EN ESCALA DE DURACION Y PRECIPITACION
  
- ANEXO C DISTRIBUCIONES DE FRECUENCIA DE PORCENTAJES DE PRECIPITACION PARA CADA PORCENTAJE DE DURACION Y TABLAS DE PROBABILIDAD PARA CONSTRUCCION DE CURVAS DE HUFF
  
- ANEXO D HIETOGRAMAS GENERALES OBTENIDOS DE LAS CURVAS DE HUFF Y CALCULO DE HIETOGRAMAS PARA EVENTOS CON DURACIONES ENTRE 30 Y 180 MINUTOS
  
- ANEXO E DISTRIBUCIONES DE FRECUENCIA DE INTENSIDADES EN 10 MINUTOS A 1 HORA
  
- ANEXO F EVALUACION DE CRECIENTES PRODUCIDAS A PARTIR DE EVENTOS DE PRECIPITACION CON CURVAS DE HUFF DE 10%, 50% Y 90% Y CURVAS SCS TIPO I Y TIPO II
  
- ANEXO G CURVA INTENSIDAD VS AREA
  
- ANEXO H CURVAS DE HUFF DE LOS EVENTOS CON RESOLUCIÒN TEMPORAL DE 30 MINUTOS PRESENTADOS EN LA ESTACION CDMB

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>	
Figura 1.1	Ubicación de la Zona de Estudio	3
Figura 1.2	Esquema en Planta - Finca La Esperanza	10
Figura 1.3	Esquema Planta Quinto Piso- Edificio CDMB Carrera 23 N°37-63	13
Figura 1.4	Esquema Club Campestre de Bucaramanga- Zona de Estación Meteorológica	15
Figura 1.5	Esquema PTAR- Zona Estación Meteorológica	18
Figura 1.6	Esquema Finca El Rasgón – Zona Estación Meteorológica	19
Figura 1.7	Estaciones Meteorológicas de la Cuenca del Río de Oro	26
Figura 2.7	Precipitación de 9 de Febrero de 1998. La Flora	40
Figura 4.1	Esquema de Diseño de un Sistema Hidrológico	56
Figura 5.1	Alineación de las Estaciones	92

## LISTA DE GRAFICAS

	<b>Pág.</b>
Grafica 2.1 Distribución de frecuencia acumulada para la estación La Esperanza, datos pluviométricos.	29
Grafica 2.2 Distribución de frecuencia acumulada para la estación La Flora, datos pluviométricos	30
Grafica 2.3 Distribución de frecuencia acumulada para la estación CDMB, datos pluviométricos	31
Grafica 2.4 Distribución de frecuencia acumulada para la estación Club Campestre, datos pluviométricos	32
Grafica 2.5 Distribución de frecuencia acumulada para la estación PTAR TOTUMOS, datos pluviométricos	33
Grafica 2.6 Distribución de frecuencia acumulada para la estación El Rasgón, datos pluviométricos	34
Grafica 3.1 Distribución de frecuencia – intensidades en 10 minutos – Estación La Esperanza	44
Grafica 3.2 Medias Porcentuales de Intensidades Maximas en diferentes Duraciones – Respecto a Lluvia en 24 horas	47
Grafica 3.3 Comparacion de las Medias Porcentuales de Intensidades Maximas de diferente duracion, en la estacion La Esperanza, sin incluir en una de las curvas la informacion de 30 minutos	48
Grafica 3.4 Hietogramas de frecuencia de las duraciones de los eventos estudiados	51

Grafica 3.5 Precipitacion Vs Duracion de los eventos obtenidos para todas las estaciones	52
Gráfica 4.1 Ejemplo de Distribución Porcentual de la Lluvia	59
Gráfica 4.2 Distribución de Probabilidad 10% de Duración- Eventos 10 minutos Estación La Esperanza	60
Gráfica 4.3 Curvas de Huff- Estación La Esperanza	61
Gráfica 4.4 Hietograma de Diseño-90% Probabilidad-Estación La Esperanza	63
Gráfica 4.5 Curva de Huff para probabilidad de Excedencia de 10% - Estación El Rasgón	64
Gráfica 4.6 Hietogramas para probabilidad de excedencia 10%- Estación El Rasgón	65
Gráfica 4.7 Simulación Estocástica para Obtención de Curvas Masa de Tormentas	66
Gráfica 4.8 Curvas de Huff para la estación La Esperanza	67
Gráfica 4.9 Curvas de Huff para la estación El Rasgón	68
Gráfica 4.10 Curvas de Huff para la estación PTAR o Totumos	69
Gráfica 4.11 Curvas de Huff para la estación Club Campestre	70
Gráfica 5.1 Patrones de Precipitación a partir de Curvas de Huff	72
Gráfica 5.2 Hietograma para Precipitación Total de 156.21mm y duración 150 min Probabilidad de Ocurrencia de 90%	75
Gráfica 5.3 Hietograma para Precipitación Total de 156.21mm y duración 150 min Probabilidad de Ocurrencia de 50%	76
Gráfica 5.4 Hietograma para Precipitación Total de 156.21mm y duración 150 min Probabilidad de Ocurrencia de 10%	76

Gráfica 5.5	Hidrogramas para eventos modelados con duración 30 minutos	
	Caso calentamiento 1	79
Gráfica 5.6	Hidrogramas para eventos modelados con duración 60 minutos	
	Caso calentamiento 1	80
Gráfica 5.7	Hidrogramas para eventos modelados con duración 180 minutos	
	Caso calentamiento 1	81
Gráfica 5.8	Hidrogramas para eventos modelados con duración 30 minutos	
	Caso calentamiento 2	82
Gráfica 5.9	Hidrogramas para eventos modelados con duración 60 minutos	
	Caso calentamiento 2	83
Gráfica 5.10	Hidrogramas para eventos modelados con duración 180 minutos	
	Caso calentamiento 2	84
Gráfica 5.11	Evento Espacializado- Período de Retorno de 50 años	88
Gráfica 5.12	Hidrogramas de Respuesta Modelados	88
Gráfica 5.13	Máximas Intensidades Presentadas en los eventos con duraciones entre 30 y 180 minutos, para probabilidades de 0.9, 0.5 y 0.1	90
Gráfica 5.14	Máximas Intensidades de Cada Estación	90

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1.1 Características Fisiográficas de la Cuenca del Río de Oro	4
Tabla 1.2 Estaciones Meteorológicas de la CDMB	7
Tabla 1.3 Información General-Estación La Esperanza	8
Tabla 1.4 Información General-Estación La Flora	9
Tabla 1.5 Información General – Estación CDMB	12
Tabla 1.6 Información General- Estación Club Campestre	14
Tabla 1.7 Información General-Estación PTAR	16
Tabla 1.8 Información General- Estación El Rasgón	17
Tabla 1.9 Detalle de Información Pluviográfica - Estaciones CDMB y Rasgón	20
Tabla 1.10 Detalle de Información Pluviográfica - Estación La Flora	21
Tabla 1.11 Detalle de Información Pluviográfica - Estaciones Club Campestre, La Esperanza y PTAR	22
Tabla 1.12 Detalle de Observadores - Estaciones La Esperanza y La Flora	23
Tabla 1.13 Detalle de Observadores - Estaciones CDMB, Club Campestre, PTAR y Rasgón	24
Tabla 2.1 Resultados del Procesamiento Pluviografico	36
Tabla 2.2 Detalle de los eventos obtenidos	41
Tabla 3.1 Cantidad de Valores de Intensidad	43
Tabla 3.2 Intensidades Máximas para cada Estación	43
Tabla 3.3 Porcentajes de Intensidad Máximas con respecto a la Precipitación total en 24 horas	46

Tabla 3.4	Series de Precipitación Máxima Multianual para cada Estación	54
Tabla 3.5	Prueba de Bondad Kolmogorov-Smirnov para distribución de Gumbel de series multianuales de Precipitación	54
Tabla 3.6	Precipitación Diaria para Períodos de Retorno de 50 y 100 años	55
Tabla 4.1	Duración de Eventos para Curvas de Huff	58
Tabla 4.2	Calculo de Histogramas - Probabilidad de Excedencia de 10% - Estacion El Rasgon	65
Tabla 5.1	Calculo de Histogramas para Precipitación Total de 156.21 mm y Duración de 2horas	74
Tabla 5.2	Máximas Intensidades presentadas para 10, 20 y 30 minutos	75
Tabla 5.3	Caudales máximos en mm/h generados para eventos con diferente distribución de intensidades	78
Tabla 5.4	Precipitación obtenida por el Modelo Racional	86
Tabla 5.5	Tiempo de Concentración para la cuenca de Río Frío	87
Tabla 5.6	Caudales obtenidos por Método Racional	88
Tabla 5.7	Caudales obtenidos por los dos métodos	90

## LISTA DE FOTOS

		<b>Pág.</b>
Foto 1.1	Ubicación Inicial de la Estación La Esperanza	10
Foto 1.2.	Ubicación Actual de la Estación La Esperanza	10
Foto 1.3	Ubicación del Pluviógrafo- Estación La Flora	11
Foto 1.4	Pluviógrafo CDMB - Enero de 2006	13
Foto 1.5	Pluviómetro CDMB - Enero de 2006	13
Foto 1.6	Zona Boscosa en la Estación Club Campestre – Enero de 2006	14
Foto 1.7	Pluviógrafo Club Campestre - Enero de 2006	15
Foto 1.8	Pluviómetro Club Campestre	15
Foto 1.9	Vista General de la Estación Club Campestre	15
Foto 1.10	Estación Meteorológica Automática PTAR - Enero de 2006	18
Foto 1.11	Vista General de la Estación El Rasgón	19
Foto 1.12	Pluviógrafo - Estación El Rasgón	19
Foto 1. 13	Pluviómetro - Estación El Rasgón	19
Foto 2.1	Evento 21 Noviembre 1990- La Esperanza	37
Foto 2.2	Evento 7 Octubre 1982- La Esperanza	37
Foto 2.3	26 Abril 1993- La Esperanza	38
Foto 2.4	10 Marzo 1986- Estación La Esperanza	38

## **RESUMEN**

### **TITULO**

GENERACION DE TORMENTAS DE DISEÑO PARA LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE LA CUENCA DEL RIO DE ORO\*

### **AUTORES**

ARDILA ARDILA, Diana María\*\*

CALDERON CARDOZO, Luis Carlos\*\*

### **PALABRAS CLAVES**

Curvas de huff, hietogramas, intensidades, precipitación, duración

### **DESCRIPCIÓN**

La precipitación es la variable de entrada en los modelos hidrológicos para cálculos de escorrentía y caudales, requeridos para la planeación de proyectos de ingeniería y agricultura entre otras áreas. Los análisis de flujo no permanente se han visto limitados en su aplicación por no contar con una distribución de las intensidades de lluvia en el tiempo. Una posible solución a lo anterior es presentada en este documento por medio de la aplicación del método de las "Curvas de Huff", el cual permite la desagregación aproximada de las cantidades de precipitación. El desarrollo de las curvas de huff se realizó con la información obtenida en seis estaciones pluviográficas localizadas dentro de la cuenca del Río de Oro. El proceso de elaboración de estas curvas es explicado en detalle así como también se presentan las necesidades para la regionalización de las curvas y así potencializar el uso de estas. Basados en estas se elaboraron hietogramas de tormentas de diseño para cada una de las probabilidades de ocurrencia y para duraciones desde los 30 hasta los 180 minutos.

---

\* Trabajo de Investigación

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas-Escuela de Ingeniería Civil- Director Jorge Alberto Guzman Jaimes.

## **ABSTRACT**

**TITLE:** GENERATION OF DESIGN STORMS FOR THE METEOROLOGIC STATIONS IN THE BASIN OF THE GOLD RIVER\*.

### **AUTHORS:**

ARDILA ARDILA, Diana Maria\*\*

CALDERON CARDOZO, Luis Carlos\*\*

### **KEYWORDS:**

**Huff curves, storm design, intensities, precipitation, extrem rainfall.**

### **DESCRIPTION:**

The rainfall is the input variable for the application of diverse simulation models watersheds and this in his turn are applied in projects of diverse character. The analysis of nonpermanent flow has been see limited in its application by no rely on distribution of the intensities of rainfall. A possible solution to the above is represented in this paper through to application of methods "Huff curves", which allow the approach disaggregating of the precipitation amounts. the development of Huff curves based on information obtain in six pluviographs stations localized within basin of Gold River. The elaboration process of this curves is explained in detail thus to is presented the need to regionalization and thus powerful the use of this. With this ideas was elaborated hietographs storm design for each one of the probabilities of occur and for durations since 30 until 180 minutes.

---

\* Trabajo de Investigación

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas-Escuela de Ingeniería Civil- Director Jorge Alberto Guzman Jaimes.

## INTRODUCCION

Los modelos hidrológicos se han convertido en la principal herramienta de estudio tanto para aplicaciones en diseños de ingeniería, comportamiento atmosférico, controles hidráulicos agrícolas, entre otras. En la actualidad y en la región los modelos hidrológicos de respuesta se fundamentan en la estimación de intensidades de precipitación y de tiempos de concentración por medio de las curvas IDF, así como también se aplican otros modelos como el de la US-SCS, el método racional y los hidrogramas triangulares sintéticos. En relación a lo anterior este documento presenta un modelo de apoyo, denominado Método de las Curvas de Huff, las cuales brindan información obtenida estadísticamente acerca de la evolución temporal de un evento de precipitación. Ejemplos de aplicación de las curvas de Huff se encuentran en Estados Unidos y en Europa (Bonta, 2004).

Las curvas de Huff resaltan su importancia en el hecho de que brindan una distribución temporal de la precipitación, permitiendo así la aplicación de estas en los modelos de flujo no permanente. Los modelos de flujo permanente han sido considerados objeto de aplicación con los métodos anteriores, pero estos siempre han tenido el inconveniente de sobreestimar los valores de precipitación, viéndose reflejado esto en los costos de ejecución de los proyectos. La metodología a pesar de que se aplicó en el año 1967, solo ha atraído la atención de estudiosos del tema desde hace aproximadamente 20 años. Estos han creado diversas metodologías de selección y análisis de la información que se puede extraer de las gráficas. Las curvas de Huff se enmarcan dentro de ejes porcentuales de duración y precipitación acumulada, las cuales a su vez se agrupan de acuerdo a probabilidades de ocurrencia.

La aplicación de esta metodología se hizo para los valores extremos de precipitación con probabilidad de ocurrencia de 2.5%, presentados en seis estaciones meteorológicas que pertenecen a la CDMB, y que se encuentran dentro de la cuenca del Río de Oro. De cada una de las estaciones se presenta inicialmente la historia que han tenido en cuanto a los observadores, el funcionamiento de los equipos, los daños mecánicos que han sufrido, los cambios de lugar de medición, el estado del entorno en el que se encuentran, entre otros, ya que pueden ser un indicativo de la calidad de la información utilizada en la construcción de las curvas.

Paso seguido, se presenta el proceso realizado sobre la información pluviográfica y pluviométrica requerida para la obtención de datos que permitan la generación de las curvas. Estos datos, corresponden a una base de datos de tormentas reales de las cuales se conocen las intensidades a lo largo del evento, con la mejor resolución posible brindada en los pluviogramas.

Igualmente se describe el proceso de elaboración de las curvas de Huff, el cual solo se pudo aplicar para la información obtenida de 4 estaciones meteorológicas, dado que estas se registraron con una resolución temporal apropiada para las duraciones que presentan los eventos lluviosos en la cuenca, y se presenta la utilidad de las mismas en la obtención de hietogramas de precipitación con buena resolución temporal.

# 1. DEFINICION DE LA ZONA DE ESTUDIO

## 1.1 UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

La zona de estudio es la Cuenca del Río de Oro, subcuenca de la cuenca superior del Río Lebrija, ubicada al nororiente del departamento de Santander entre los  $06^{\circ} 55' 00''$  y  $07^{\circ} 10' 20''$  de latitud Norte y los  $72^{\circ} 57' 50''$  y  $73^{\circ} 13' 10''$  de longitud Este. Su extensión cubre la totalidad del Área Metropolitana de Bucaramanga (AMB) comprendida por los municipios de Bucaramanga, Floridablanca, Piedecuesta y Girón, ocupando un área de la cuenca de 10.10%, 19.50%, 39.80% y 30.60% respectivamente.

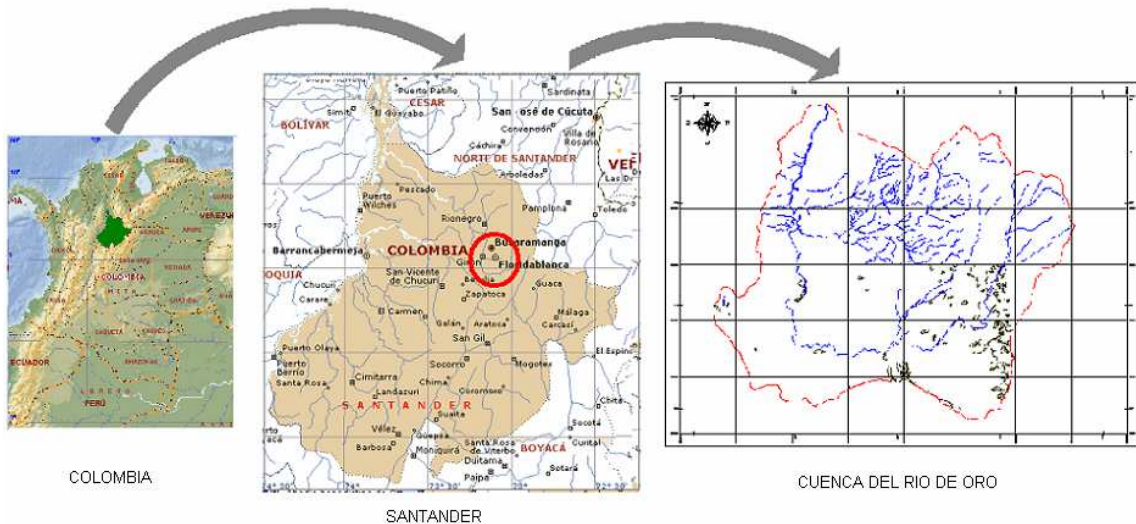


Figura 1.1 Ubicación de la Zona de Estudio

Las características físicas de la cuenca se mencionan en la tabla 1.1 (Duarte, 2001).

PARAMETRO FISICO	SIMBOLO	VALOR	UNIDAD
Area	A	581,92	Km <sup>2</sup>
Perimetro	P	112,70	Km
Longitud	L	68,92	Km
Ancho	W	8,44	Km
Pendiente Media	-	58,9	%
Orden de la Cuenca	$\omega$	7	

*Tabla 1.1 Características Fisiográficas de la Cuenca del Río de Oro*

La cuenca del Río de Oro, está conformada por un conjunto de tres subcuencas. La cuenca de Río Frío, la cuenca de Río de Oro Alto y la cuenca de Río de Oro Bajo.

## **1.2 CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA**

### **1.2.1 Relieve**

El AMB, ubicada en el piedemonte de la cordillera oriental, presenta una orografía variable, con zonas de relieve quebrado y ondulado en los municipios de Floridablanca, Piedecuesta, Girón y parte de Bucaramanga y zonas de meseta en la terraza de Bucaramanga. Se localiza a una altitud aproximada de 1000 m.s.n.m, con altitudes cercanas a 1200 m.s.n.m en las mesetas de Lebrija y Ruitoque.

Es importante mencionar que la orografía adyacente a la zona de estudio es de gran influencia en el comportamiento climático de la misma por las altitudes que pueden presentar las montañas o depresiones en el relieve. Los elementos orográficos que se destacan alrededor del AMB son la Cordillera Oriental, la Sierra Nevada del Cocuy, el Valle de Magdalena, la cordillera Central y la depresión del Río Chicamocha.

### 1.2.2 Clima

El clima en la cuenca del Río de Oro está enmarcado dentro del régimen climático mundial y afectado por parámetros locales. Debe tenerse en cuenta que el clima involucra todo el sistema de la tierra y que los fenómenos locales dependen del sistema meteorológico mundial (CDMB, 2005). El AMB se encuentra afectada por la Zona de Convergencia Intertropical ZCI, la cual es una franja de bajas presiones y altas temperaturas en la zona ecuatorial, en donde las líneas de flujo de los vientos alisios provenientes de los hemisferios norte y sur, chocan generando movimientos convectivos y propiciando la formación de sistemas nubosos.

La actividad de la ZCI, sumada con la orografía de la zona de estudio desencadena procesos que demarcan el comportamiento climático local. Las cadenas montañosas ejercen algunos efectos topográficos de barrera sobre las corrientes eólicas y los sistemas nubosos entre los cuales se encuentran:

- ◆ Ascensión de los clusters nubosos de la ZCI.
- ◆ Calentamiento de las nubes por el calor irradiado por la superficie de las montañas, generando movimientos ascendentes de los vientos y nubes, desencadenando precipitaciones de tipo convectivo.
- ◆ Modificación de la circulación de los frentes fríos y ciclónicos mediante cambios relativamente bruscos de dirección ocasionados por el choque de los mismos con las laderas del macizo de Santander, desatando aguaceros torrenciales.
- ◆ Enfriamiento nocturno de las nubes acumuladas junto a la cordillera, aumentando la densidad de las mismas obligándolas a descender y produciendo levantamiento del aire mas caliente. Este proceso es inestable y puede desencadenar precipitaciones de gran intensidad.

### **1.2.3 Precipitación**

La zona presenta un régimen de precipitación bimodal, con precipitaciones importantes en los meses de Abril a Junio y de Septiembre a Noviembre, y temporada seca de Diciembre a Marzo.

Las épocas lluviosas están influenciadas por el paso de los clusters tropicales de la Zona de Convergencia Intertropical, los cuales son interceptados por la cordillera oriental obligándolos a ascender y originando constantes precipitaciones. Igualmente, las actividades ciclónicas y de huracanes generan la localización de vientos y frentes nubosos en el piedemonte de la cordillera oriental favoreciendo los procesos de precipitación.

Durante los meses de Diciembre a Marzo es muy limitada la presencia de clusters tropicales, por lo tanto las precipitaciones también son limitadas. En estos meses la zona se ve afectada por el flujo de aire superficial de viento alisio de NE del hemisferio norte, donde se produce subsidencia de las masas de aire por la convergencia de las corrientes provenientes del hemisferio sur, lo cual genera inversiones de temperatura a alturas de 1500 a 2000 m.s.n.m, por encima de las cuales el aire carece de humedad, limitando el proceso de formación de nubes y produciendo la temporada seca.

## **1.3 ESTACIONES METEOROLOGICAS**

### **1.3.1 Selección de Estaciones de Estudio**

La cuenca del Río de Oro cuenta con un conjunto de estaciones estratégicamente ubicadas que captan información meteorológica comprendida por datos de precipitación, temperatura, radiación solar, humedad, entre otros parámetros. Para efectos de este trabajo, el parámetro requerido es el de precipitación.

El criterio para la selección de las estaciones de estudio se basó principalmente en el tiempo de operación de las mismas y en la facilidad de obtención de la información.

Desde el punto de vista de facilidad de acceso a la información se seleccionaron las estaciones de la CDMB.

En cuanto al tiempo de operación, es conveniente trabajar con estaciones de las cuales se tenga suficiente información tanto pluviométrica como pluviográfica, por lo tanto, se seleccionaron las que presentan por lo menos 15 años en funcionamiento.

De acuerdo a la tabla 1.2, las estaciones que cumplen con los criterios de selección son: LA ESPERANZA, LA FLORA, CDMB, CLUB CAMPESTRE, PTAR y EL RASGON.

TIPO	ESTACION	PERIODO DE REGISTRO		TIEMPO DE OPERACIÓN (años)	CUMPLE
PG	CDMB - TELECOM	08-Oct-81	01-Ago-05	24.33	SI
PG	CLUB CAMPESTRE	01-Sep-82	03-Mar-05	23.42	SI
CO	EL RASGON	09-Jun-82	31-May-04	23.58	SI
CO	LA ESPERANZA	04-Sep-79	13-May-05	26.42	SI**
PG	LA FLORA	01-Oct-81	20-May-04	22.67	SI**
PM	LA MARIANA	15-Jun-81	31-Ago-04	23.83	NO*
CO	PTAR - TOTUMOS	08-Ago-85	14-Sep-05	20.50	SI***
PM	SEVILLA	01-Ago-81	31-Ago-04	24.42	NO*

Tabla 1.2 Estaciones Meteorológicas de la CDMB

\* Las estaciones La Mariana y Sevilla fueron descartadas debido a que captan precipitación únicamente pluviométrica y para el presente estudio se requiere la información pluviográfica.

\*\* Hasta la fecha mencionada dejaron de funcionar los aparatos.

\*\*\* A partir de mediados del 1999, se reemplazó el PVG por un pluviómetro automático, que almacena la información cada hora.

### 1.3.2 Inspección de las Estaciones Meteorológicas

Para el presente estudio, es de importancia recopilar información histórica del funcionamiento de las estaciones de estudio, ya que esta puede ser de gran utilidad en la valoración de la información de precipitación.

De las estaciones de estudio se obtuvo la siguiente información:

- Durante el tiempo de servicio los equipos han recibido mantenimiento de limpieza, calibración y pintura.
- La marca de los equipos pluviográficos es THIES-Bottingen, de procedencia Alemana
- La información se encuentra en registros diarios y semanales de papel, archivados en cajas según el tipo de información y almacenadas en la división de Archivo de la CDMB, en la Finca La Esperanza.
- La información de la estación PTAR, a partir de febrero de 2002 se encuentra en formato digital con resolución temporal de 1 hora, producida por la estación automática.
- **Estación La Esperanza.**

INFORMACION GENERAL	
<b>ESTACION</b>	LA ESPERANZA
Tipo	Climatológica Ordinaria
Fuente	Río Frio
Fecha Instalación	Septiembre de 1979
COORDENADAS (mts)	
Norte	1.273.581,60
Este	1.111.228,36
Elevación	1.000,00

Tabla 1.3 Información General-Estación La Esperanza

La estación está localizada en la Finca La Esperanza, al suroriente del municipio de Floridablanca. La localización que se dio a los equipos de medición de la estación es la que se muestra en la Foto 1.1. Esta ubicación presento inconvenientes ya que no cumple con las mínimas normas de distancia a espacio abierto.

La estación fue desmontada en el año 2003 debido a la construcción del centro de reposo de fauna silvestre, dejando de operar durante aproximadamente 3 meses. La estación se instaló nuevamente en la terraza del edificio de semillas y silvicultura, con el pluviógrafo, el pluviómetro y el heliógrafo. Los demás equipos no fueron instalados ya que debido al calentamiento de la placa los datos son alterados, por lo tanto la ubicación no era aconsejable.

Durante el tiempo de operación del pluviógrafo, se reportó en varias ocasiones el daño en el reloj, casos en los cuales este era reparado en el IDEAM. En mayo del 2005 el pluviógrafo dejó de funcionar debido a fallas irreparables en el reloj.

- **Estación La Flora.**

<b>INFORMACION GENERAL</b>	
ESTACION	LA FLORA
Tipo	Pluviografica
Fuente	Rio de Oro Bajo
Fecha instalacion	Enero de 1979
<b>COORDENADAS (mts)</b>	
Norte	1.280.894
Este	1.107.543
Elevacion	1.100

*Tabla 1.4 Información General-Estación La Flora*

Foto 1.1  
Ubicación inicial de la Estación  
La Esperanza  
Zona 5, donde se construyó el Centro  
de Reposo de Fauna Silvestre

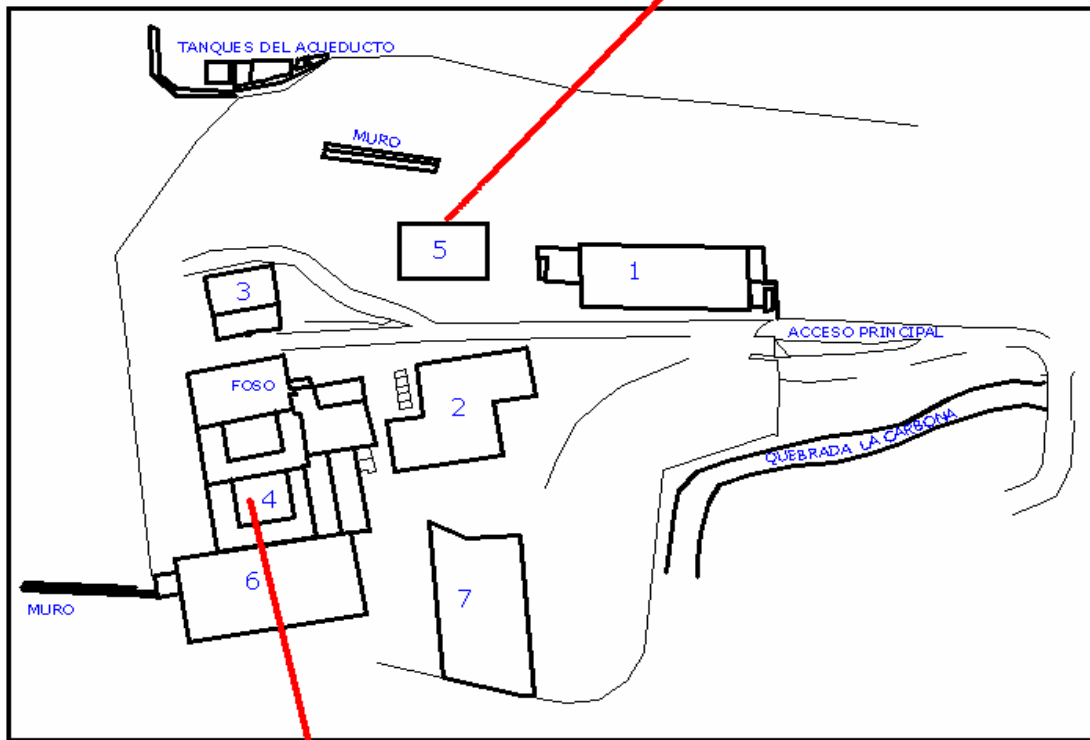


Figura 1.2 Esquema en Planta - Finca La Esperanza



Foto 1.2.  
Ubicación Actual de la Estación La Esperanza  
Zona 4- Edificio de Semillas y Silvicultura

Fue instalada en 1979, contando únicamente con un pluviógrafo. La localización exacta es dentro de la planta de tratamiento de agua potable de La Flora, del Acueducto de Bucaramanga.



*Foto 1.3 Ubicación del Pluviógrafo- Estación La Flora- Fuente CDMB*

En la foto 1.3, se muestra el pluviógrafo de la estación, ubicado en la cubierta del cuarto que se localizaba al finalizar la sección de los tanques sedimentadores.

Esta estación presentó constantes cambios de observador. La información pluviográfica fue recopilada en registros semanales.

El 14 de abril del 2004 el reloj del pluviógrafo presento daños, por lo que la estación dejó de funcionar. Meses después, el Acueducto solicitó el retiro del equipo ya que se requería el espacio para una construcción y en la actualidad esta estación no está operando.

- **Estación CDMB.**

<b>INFORMACION GENERAL</b>	
<b>ESTACION</b>	CDMB
Tipo	Pluviometrica y pluviografica
Fuente	Cuenca del Rio Lebrija
Fecha instalacion	Enero de 1974
<b>COORDENADAS (mts)</b>	
Norte	1.279.071
Este	1.105.857
Elevacion	950

*Tabla 1.5 Información General – Estación CDMB*

Inició su operación en 1974 en el edificio de Telecom localizado en la Calle 36 con Carrera 18, del centro de Bucaramanga. El Pluviógrafo, único equipo con el que contaba la estación, estaba instalado en el último piso.

Una vez construido el edificio de la CDMB, en la carrera 23 No. 37-63, aproximadamente a 800 metros de distancia con el edificio de Telecom, la estación fue trasladada, empezando a operar también con un pluviómetro. Allí, los equipos fueron instalados en la terraza del quinto piso, en el nivel 15.3 m, lugar del que no se han movido hasta la actualidad. (Ver figura 1.3).

En la actualidad los dos equipos están operando. Periódicamente han recibido limpieza, calibración, y el pluviógrafo ha tenido constantes cambios de sifón.

Los equipos se encuentran aproximadamente a 1.5 mts del borde de la terraza.

Foto 1.4  
Pluviógrafo  
CDBM  
Enero de  
2006



Foto 1.5  
Pluviómetro  
CDBM  
Enero de 2006

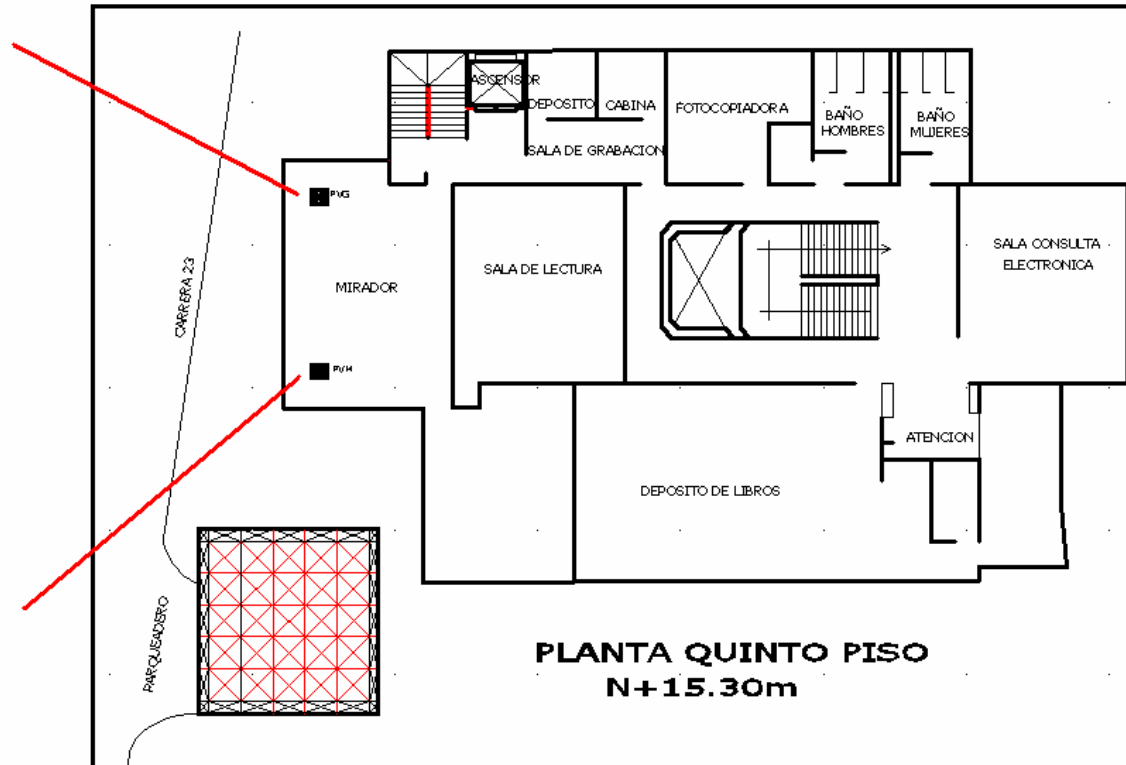


Figura 1.3 Esquema Planta Quinto Piso- Edificio CDBM Carrera 23 N°37-63

- **Estación Club Campestre.**

INFORMACION GENERAL	
ESTACION	CLUB CAMPESTRE
Tipo	Pluviometrica y pluviografica
Fuente	Rio Frio
Fecha instalacion	Octubre de 1982
COORDENADAS (mts)	
Norte	1.273.072
Este	1.106.399
Elevacion	940

*Tabla 1.6 Información General- Estación Club Campestre*

Inició operaciones en 1982. La estación cuenta desde la fecha con un Pluviómetro y un Pluviógrafo, localizados en el costado sur oriental de la cancha de fútbol, sobre un tanque de agua subterráneo. Alrededor de los equipos de medición, sembraron árboles que interceptan la lluvia afectando las medidas principalmente del pluviómetro.



*Foto 1.6 Zona Boscosa en la Estación Club Campestre – Enero de 2006*

En la actualidad los dos equipos operan. La probeta de medida del pluviómetro se encuentra en malas condiciones (la base está vencida y el material está cristalizado). La malla de cerramiento de la estación se encuentra en malas condiciones.(Ver foto 1.9)



Foto 1.7  
Pluviógrafo  
Club Campestre  
Enero de 2006

Figura 1.4 Esquema Club Campestre de Bucaramanga- Zona de Estación Meteorológica

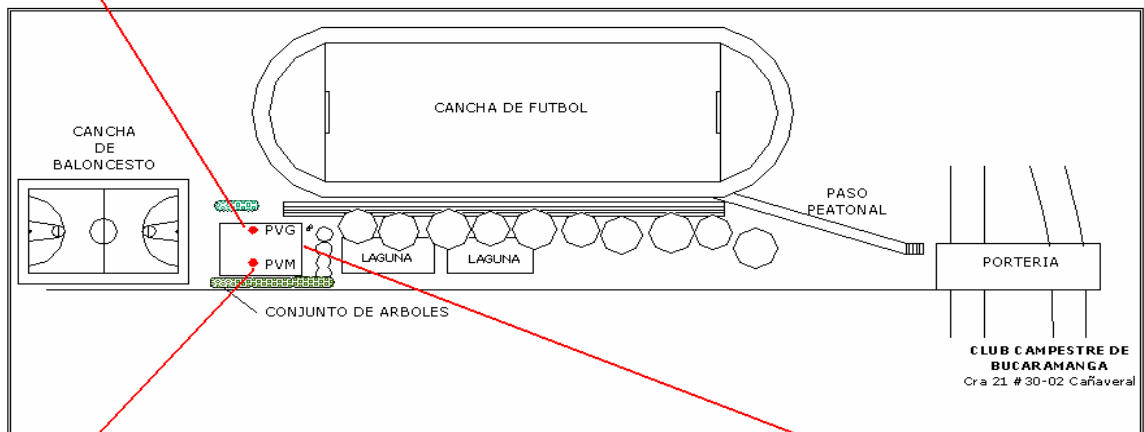


Foto 1.8 Pluviómetro Club Campestre



Foto 1.9 Vista General de la Estación Club Campestre

- **Estación PTAR.**

INFORMACION GENERAL	
ESTACION	PTAR
Tipo	Climatologica Ordinaria
Fuente	Rio Frio
Fecha instalacion	Agosto de 1985
COORDENADAS (mts)	
Norte	1.272.989
Este	1.102.856
Elevacion	785

*Tabla 1.7 Información General-Estación PTAR*

La estación empezó a operar en 1985 como estación Climática Ordinaria en la finca de propiedad privada llamada Los Totumos. El 4 de diciembre de 1990 se desinstaló para ser movida aproximadamente 800 metros hacia la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Río Frío PTAR, en donde empezó a funcionar a partir del 8 de abril de 1998 con los mismos equipos que operaban en Los Totumos. Tanto en Los Totumos como en la PTAR se presentó constantes inconvenientes con los observadores en cuanto a la veracidad de los datos entregados.

En 1999, se desinstaló la estación y empezó a operar la estación automática con equipos marca MET ONE INSTRUMENTS. Esta nueva estación perteneciente a la red de control de calidad del aire, fue ubicada en un sitio poco apropiado ya que muy cerca al sitio se encuentra un árbol cuya copa interfiere en las medidas de los equipos. (Ver figura 1.5)

Hasta aproximadamente febrero del 2002, la estación automática fue manejada por la empresa "KA2", la cual entregaba los datos a la CDMB en formato digital con resolución temporal de 1 hora para datos de precipitación. La información de este período es dudosa, ya que presenta muchas incoherencias al correlacionar los datos de precipitación con los de humedad relativa y radiación solar.

A partir de febrero del 2002, la CDMB se hizo cargo de la estación, la cual fue entregada con algunos sensores y elementos totalmente corroídos, lo cual lleva a pensar que esta no recibió mantenimiento anteriormente. Desde la fecha hasta la actualidad, la estación ha recibido mantenimiento periódico, limpieza una vez por semana y calibración de equipos cada seis meses. En la actualidad la estación opera en la misma ubicación.

Con respecto a la información, en esta estación se presentan casos de información de registros diarios en papel de registros semanales.

- **Estación El Rasgón.**

<b>INFORMACION GENERAL</b>	
<b>ESTACION</b>	EL RASGON
Tipo	Climatologica Ordinaria
Fuente	Rio de Oro Alto
Fecha instalacion	Agosto de 1985
<b>COORDENADAS (mts)</b>	
Norte	1.270.294
Este	1.119.913
Elevacion	2.185

*Tabla 1.8 Información General- Estación El Rasgón*

La estación El Rasgón inició operaciones en Agosto de 1985. Se ubica en la finca del mismo nombre, de propiedad de la CDMB, localizada a 30 minutos del corregimiento de Sevilla en el municipio de Piedecuesta, en donde se realizan actividades en pro de la conservación de la cabecera del Río de Oro. Contó inicialmente con un pluviógrafo instalado al costado izquierdo de la casa del observador. Allí permaneció durante aproximadamente 2 años. Después de este lapso, se instaló una Estación Climatológica Ordinaria aproximadamente a 100 metros del sitio inicial de operación del pluviógrafo, por lo que éste fue movido a esta ubicación.

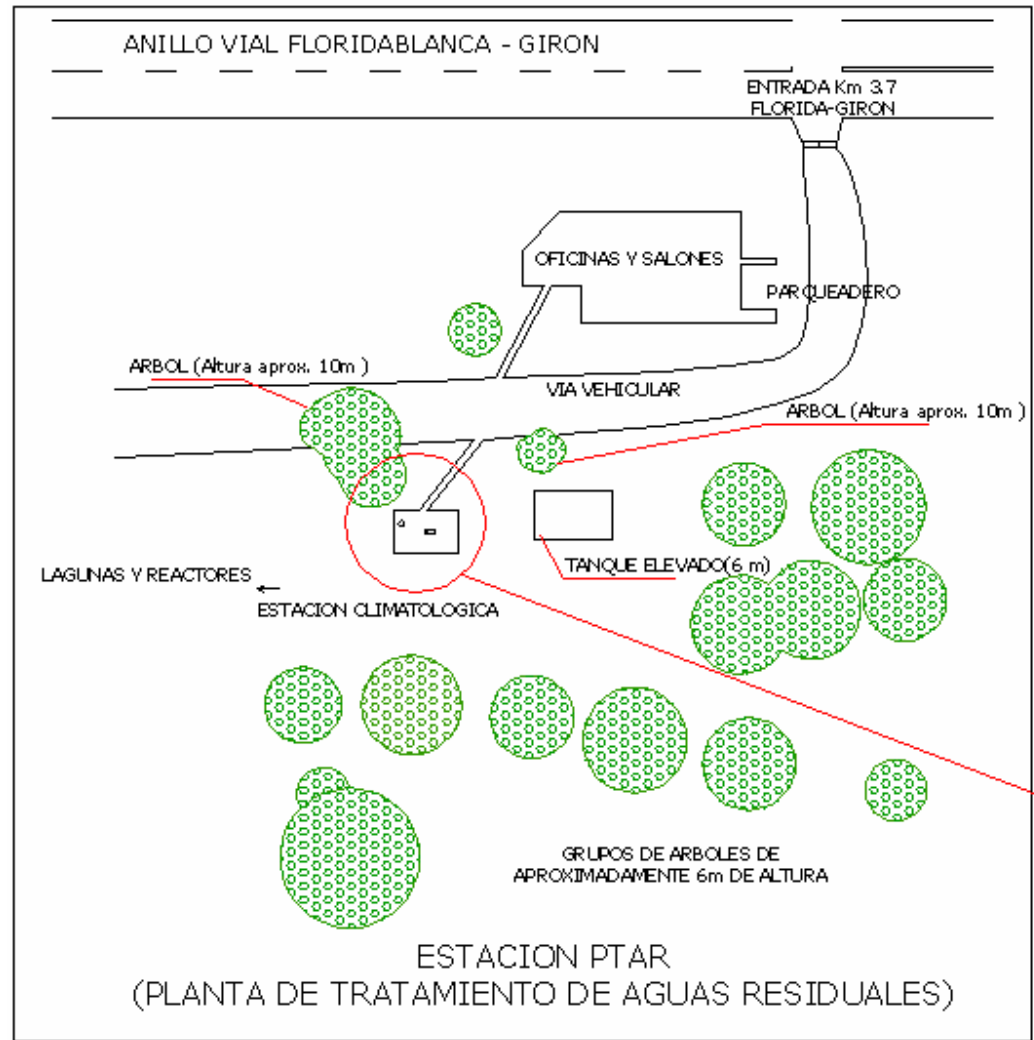


Foto 1.10 Estación Meteorológica Automática PTAR - Enero de 2006

Figura 1.5 Esquema PTAR- Zona Estación Meteorológica

La información pluviográfica existente se presenta a partir del 9 de marzo de 1987 en registros diarios (escala temporal de 10 minutos). En esta estación el pluviómetro empezó a operar desde el 2 de octubre de 1994 y los registros de precipitación en la serie pluviométrica que corresponden al tiempo anterior a esta fecha fueron tomados de los pluviógrafos.

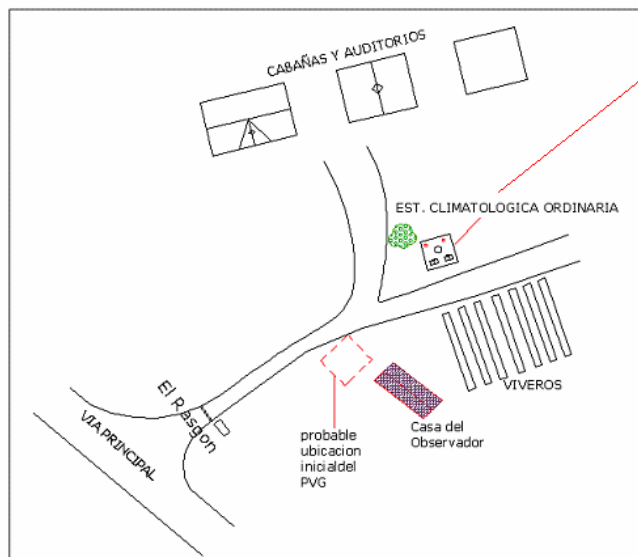


Figura 1.6 Esquema Finca El Rasgón- Zona Estación Meteorológica



Foto 1.11 Vista General de la Estación El Rasgón



Foto 1.12 Pluviógrafo



Foto 1.13 Pluviómetro

A continuación se presenta un detalle de los registros pluviográficos, donde se consignan los intervalos de tiempo en que el Pluviógrafo presentó problemas, o fechas importantes en la operación de la estación. Igualmente, se muestra una tabla en la cual están referenciados los observadores que ha tenido cada estación.

Esta información fue extraída de los registros Diarios de Observación Meteorológica, planillas de Dirección y Velocidad del Viento en Superficie y planillas pluviométricas de cada estación.

ESTACION	DETALLE DE INFORMACION PLUVIOGRAFICA						
	PROBLEMAS DE RELOJ		PROBLEMAS DE PLUMILLA		OTROS DETALLES		
					FECHA	OBSERVACIONES	
CDMB	31-Ago-82	03-Sep-82	16-Nov-82	18-Nov-82	08-Oct-81		Primera lectura PVG
	13-Oct-82	15-Oct-82	19-Jun-85	25-Jun-85	01-Dic-84	10-Dic-84	PVG fuera de servicio
	26-Oct-82	28-Oct-82	23-Ago-86	26-Ago-86	01-Ene-85	07-Ene-85	PVG fuera de servicio
	09-Nov-82	11-Nov-82	15-Nov-86	18-Nov-86	20-May-88	31-May-88	No se cambio grafica, no hay datos.
	07-Ene-82	14-Ene-82	12-Jun-86	16-Jun-86	27-May-88	01-Jun-88	No hay registros
	18-Ene-82	05-Feb-82			08-Jul-88	18-Jul-88	Perdida de las llaves.
	27-Sep-84	02-Oct-84			11-Ene-89	17-Ene-89	No se cambio grafica, no hay datos.
	23-Sep-85	01-Oct-85			10-Feb-89	21-Feb-89	No se cambio grafica, no hay datos.
	15-Oct-85	06-Nov-85			15-Mar-89	20-Mar-89	No se cambio grafica, no hay datos.
	09-May-86	26-May-86			18-May-89	23-May-89	No se cambio grafica, no hay datos.
	12-Jun-86	16-Jun-86			29-Mar-90	02-Abr-90	No se cambio grafica, no hay datos.
	20-Nov-84	21-Nov-84			15-Abr-90	19-Abr-90	No hay registros
	27-Sep-84	02-Oct-84			27-Abr-90	04-May-90	No hay registros
	04-Jun-84	09-Jun-84			17-May-90	22-May-90	No se cambio grafica, no hay datos.
	02-Oct-85	16-Oct-85			20-Jun-90	27-Jun-90	No hay registros
	01-Nov-85	07-Nov-85			14-Dic-90	18-Dic-90	No se cambio grafica, no hay datos.
	11-Abr-86	15-Abr-86			24-Dic-92	13-Ene-93	No hay registros
				26-Dic-92	15-Ene-93	No hay registros	
				15-Abr-93	20-Abr-93	No hay registros	
				23-May-93	25-May-93	No hay registros	
				23-Mar-94	23-Mar-94	Traslado de la estacion de TELECOM a Edificio de la CDMB	
RASGON					30-Nov-89	21-Jul-90	PVG fuera de servicio
					31-Oct-90	26-Nov-90	PVG fuera de servicio
					01-Jul-93	09-Sep-93	PVG fuera de servicio
					10-Sep-93		Se reinstalo el PVG
					02-Oct-94		Primera lectura PVM

Tabla 1.9 Detalle de Información Pluviográfica - Estaciones CDMB y Rasgón

ESTACION	DETALLE DE INFORMACION PLUVIOGRAFICA						
	PROBLEMAS DE RELOJ		PROBLEMAS DE PLUMILLA		OTROS DETALLES		
					FECHA	OBSERVACIONES	
LA FLORA	01-May-86	06-May-86	21-Nov-85	27-Nov-85	14-Ene-79	Desde esta fecha hay datos de lluvia en las planillas, pero no existen las graficas.	
	05-Ago-88	09-Ago-88			01-Oct-81	Primera lectura PVG	
	15-Nov-88	30-Nov-88			02-Ene-86	09-Ene-86	No hay registros
	26-Mar-83	30-Mar-83			11-Nov-86	18-Nov-86	Perdida de llaves.
	28-Abr-86	29-Abr-86			25-May-88	31-May-88	No hay registros
	02-Nov-94	24-Nov-94			14-Jun-88	18-Jun-88	No hay registros
	01-Dic-94	13-Dic-94			22-Jun-88	28-Jun-88	No hay registros
	12-Sep-93	15-Sep-93			12-Ene-89	17-Ene-89	No hay registros
	02-Nov-94	24-Nov-94			02-Feb-90	07-Feb-90	No hay registros
	01-Dic-94	14-Dic-94			15-Feb-90	20-Feb-90	No hay registros
	04-Oct-96	17-Oct-96			17-May-90	22-May-90	No hay registros
	11-Dic-96	04-Jul-97			13-Dic-90	18-Dic-90	No hay registros
	20-Mar-99	30-Mar-99			12-Sep-91	17-Sep-91	No hay registros
					24-Dic-91	07-Ene-92	No hay registros
					24-Jul-92	28-Jul-92	No hay registros
					12-Dic-92		Visita de mantenimiento general.
					13-Ene-93	20-Ene-93	No hay registros
					15-Abr-93	20-Abr-93	No hay registros
				07-May-93	18-May-93	No hay registros	
				27-Nov-93	05-Ene-93	No hay registros	
				09-Jun-94	14-Jun-94	No hay registros	
				20-Jul-94	25-Jul-94	No hay registros	

Tabla 1.10 Detalle de Información Pluviográfica - Estación La Flora

ESTACION	DETALLE DE INFORMACION PLUVIOGRAFICA					
	PROBLEMAS DE RELOJ		PROBLEMAS DE PLUMILLA		OTROS DETALLES	
					FECHA	OBSERVACIONES
CLUB CAMPESTRE	16-Jul-84	25-Jul-84			01-Sep-82	Primera lectura PVG
					17-Mar-86 24-Mar-86	No hubo observador, no hay datos.
					01-Ago-86 31-Oct-86	Informacion extraviada por el operador.
					01-Dic-86 31-Dic-86	Informacion extraviada por el operador.
					13-Abr-87 30-Abr-87	No hubo observador, no hay datos.
				17-Nov-94	Visita de mantenimiento general.	
LA ESPERANZA	No aparece detalle en libreta pluviometrica		No aparece detalle en libreta pluviometrica		04-Sep-79	Primera lectura PVG, comenzando a las 14:20
PTAR	18-Sep-89	23-Oct-89	04-Feb-92	13-Feb-92	08-Ago-85	Primera lectura PVG
	30-May-91	31-Jul-91			16-Ago-85	Primera lectura PVM
					09-Dic-90 08-Abr-91	traslado de la estacion de los Totumos a la PTAR.
					04-Mar-93 30-Abr-93	No hay registros
					10-Sep-93 26-Oct-93	No hay registros, por daño en el sifon.

Tabla 1.11 Detalle de Información Pluviográfica - Estaciones Club Campestre, La Esperanza y PTAR

ESTACION	OBSERVADORES	TIEMPO	OBSERVACIONES
ESPERANZA	Dulcelina Jimenez de Lizcano		Según los Diarios de Observacion Meteorologicos las lecturas eran tomadas en turnos por las dos personas
	Luis Beltran Lizcano	30-Sep-79 30-Jul-81	
	Luis M. Florez	31-Jul-81 31-Ene-96	Esporáicamente tomaba lecturas Luis Beltran.
	Salomon	Se desconocen fechas	
FLORA	Jairo Enrique Estrada	01-May-79 29-Mar-83	
	Identificado como J.E.S.	30-Mar-83 20-Nov-84	
	Edisson Rincon S.	21-Nov-84 24-Mar-85	
	Luis Vargas	25-Mar-85 30-Jul-85	
	Edisson Rincon S.	31-Jul-85 19-Feb-86	
	Luis Vargas	20-Feb-86 01-Abr-86	
	Suarez Prada	02-Abr-86 27-May-86	
	Suarez Quintero	28-May-86 24-Jun-86	
	Mariano Suarez	25-Jun-86 08-Jul-86	
	Vasquez	09-Jul-86 26-Ago-86	
	Edisson Rincon S.	27-Ago-86 07-Oct-86	
	Luis Alfredo C.	08-Oct-86 04-Nov-86	
	Mario	05-Nov-86 10-Mar-87	
	Luis Alfredo	11-Mar-87 30-Jun-87	
	Luis Carlos Quintero Leon (Tecnico)	01-Jul-87 22-Sep-87	
	Mariano Suarez	23-Sep-87 10-Nov-87	
	Luis Vargas	11-Nov-87 08-Mar-88	
	Edisson Rincon S.	09-Mar-88 09-Ago-88	
	Mariano Suarez	10-Ago-88 08-May-90	
	Edisson Rincon S.	09-May-90 03-Feb-93	
	Mariano Suarez	04-Feb-93 29-Dic-93	
	William	30-Dic-93 31-Ene-95	
	Mariano Suarez	01-Feb-95 03-Jul-97	
Nestor	04-Jul-97 01-Jul-99		
Solis I.	02-Jul-99 -		

Tabla 1.12 Detalle de Observadores - Estaciones La Esperanza y La Flora

ESTACION	OBSERVADORES	TIEMPO	OBSERVACIONES
CDMB	Jairo Estrada	01-Jun-79 15-May-84	
	"No fue posible descifrar la firma"	16-May-84 20-Nov-84	
	Eduardo Rincon S.	21-Nov-84 01-Abr-86	
	Suarez Prada	02-Abr-86 26-May-86	
	Mariano Suarez	27-May-86 22-Jul-86	
	Eduardo Rincon	23-Jul-86 07-Oct-86	
	Luis Alfredo Morales	08-Oct-86 30-Dic-86	
	Mariano Suarez	31-Dic-86 19-Ene-88	
	Luis Alfredo Morales	20-Ene-88 09-Feb-88	
	Mariano Suarez	10-Feb-88 18-Jul-88	
	Eduardo Rincon S.	19-Jul-88 16-Ago-88	
	Mariano Suarez	17-Ago-88 05-Abr-89	
	"No fue posible descifrar la firma"	06-Abr-89 11-Nov-92	
	Mariano Suarez	12-Nov-92 05-Ene-94	
	William	06-Ene-94 04-Abr-95	
	Mariano Suarez	05-Abr-95 25-Mar-96	
	"No fue posible descifrar la firma"	26-Mar-96 04-Jul-97	
Alfonso Lozano	05-Jul-97 20-Feb-03		
Orlando Sanguino	21-Feb-03 A la fecha		
CLUB CAMPESTRE	Maria Ines Caballero	01-Oct-82 30-Nov-83	
	Hugo Fernando Colmenares	01-Dic-83 16-Mar-86	
	Daniel Diaz Rojas	25-Mar-86 31-Jul-86	
	Alfredo Rodriguez	01-Ago-86 12-Feb-87	
	Orlando Cediell Neira	13-Feb-87 A la fecha	
PTAR	Jorge Dario Torres	16-Oct-85 27-Abr-86	
	Luis Alejandro Mora	28-Abr-86 31-Mar-89	
	Luis Carlos Quintero Leon (tecnico)	01-Abr-89 31-Dic-90	
	Sergio Paredes	01-Ene-91 24-Jun-92	
	Blanca Isabel Duarte Reyes	25-Jun-92 30-Dic-95	
RASGON	David Morales	27-Abr-94 30-Sep-94	Atrás de esta fecha no se encuentran registros firmados.
	Gustavo Guarin Caballero	01-Oct-94 A la fecha	

Tabla 1.13 Detalle de Observadores - Estaciones CDMB, Club Campestre, PTAR y Rasgón

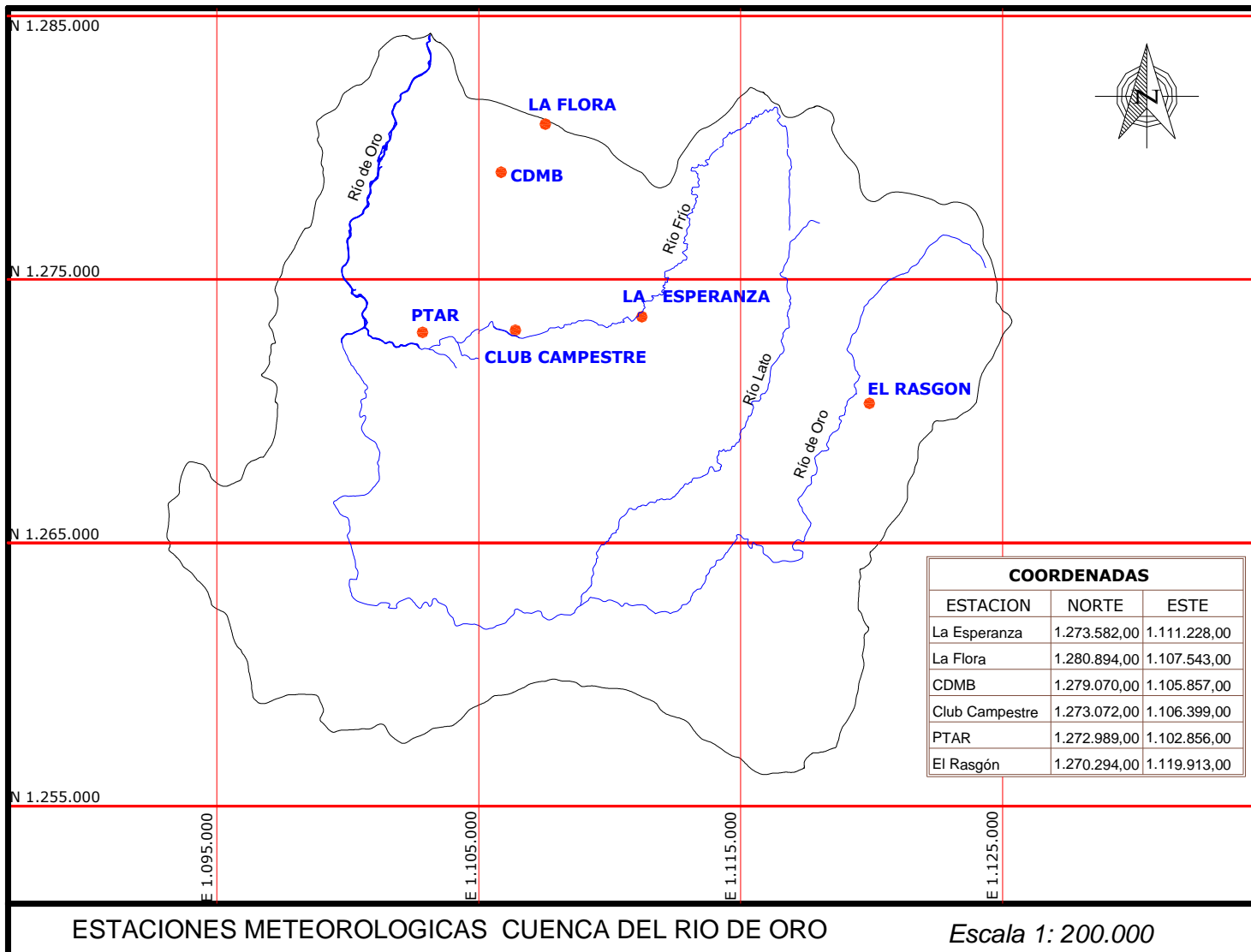
En revisión de información pluviográfica a enero de 2006, se encontró los siguientes períodos de considerable duración con información no disponible:

- La Esperanza                      2 Octubre de 1996 hasta 2 Diciembre de 2001
- Club Campestre                    1 Enero de 1996 hasta 20 Marzo de 2001
- PTAR o Totumos                    30 Diciembre de 1995 hasta 30 Enero de 2002
- El Rasgón                            13 Agosto de 1995 hasta 29 de Junio de 2001

Se presume que esta información se encuentra prestada, pero se desconoce el nombre de la entidad que la solicitó ya que el préstamo fue realizado por el administrador de la Red Meteorológica inmediatamente anterior al administrador vigente en la fecha de realización de este estudio.

La información pluviográfica comprendida en los intervalos de tiempo mencionados que aparece en el Anexo 1 fue obtenida del Estudio de Valores Extremos de Precipitación en la Cuenca del Río de Oro, (Duarte, 2002), y corresponde únicamente a eventos con 1% de probabilidad de excedencia.

A continuación se presenta el plano de la cuenca con la ubicación de las estaciones meteorológicas mencionadas.



COORDENADAS		
ESTACION	NORTE	ESTE
La Esperanza	1.273.582,00	1.111.228,00
La Flora	1.280.894,00	1.107.543,00
CDMB	1.279.070,00	1.105.857,00
Club Campestre	1.273.072,00	1.106.399,00
PTAR	1.272.989,00	1.102.856,00
El Rasgón	1.270.294,00	1.119.913,00

ESTACIONES METEOROLOGICAS CUENCA DEL RIO DE ORO

Escala 1: 200.000

## 2. PROCESAMIENTO DE INFORMACION

### 2.1 PARAMETROS Y METODOLOGIA

Para el presente estudio, la información requerida corresponde a la información de la precipitación en la zona de estudio, la cual fue procesada de acuerdo a los siguientes parámetros:

- ◆ Para realizar el procesamiento de información se tuvo en cuenta la información pluviométrica diaria de cada estación, suministrada por la CDMB, seleccionando de cada serie histórica los días en que la precipitación total diaria estuviera en un rango de probabilidad de ocurrencia inferior o igual al 2.5%. Para esto, se hizo uso del software SPELL-STAT, en el cual se produjeron las distribuciones de frecuencia acumulada para cada estación, y mediante método gráfico se interpoló para encontrar el valor mínimo de precipitación total diaria que cumpliera con la especificación de probabilidad mencionada anteriormente. Bajo este valor se filtró la serie histórica de precipitación pluviométrica para cada estación.
- ◆ Para los días seleccionados se realizó una revisión pluviográfica registrando para cada uno de ellos la evolución de la precipitación a lo largo de 24 horas a partir de las 7 de la mañana, descartando aquellos en que la intensidad era relativamente baja. En este proceso de registro se encontró información pluviográfica con resolución temporal de 10 minutos y una hora, con escala de precipitación de 10 mm cada 0.1 mm. Para cada día, se obtuvo la precipitación pluviográfica total diaria.

- ◆ Se aislaron los eventos de precipitación, considerando un evento de precipitación como el ocurrido entre dos intervalos de tiempo con precipitación cero. Estos eventos fueron nuevamente sometidos a una revisión gráfica, en la que se observó el comportamiento de la precipitación, señalando aquellos eventos que presentaban un comportamiento poco normal (intensidades constantes) y verificándolos nuevamente con el registro pluviográfico.

## **2.2 SELECCIÓN DE DATOS**

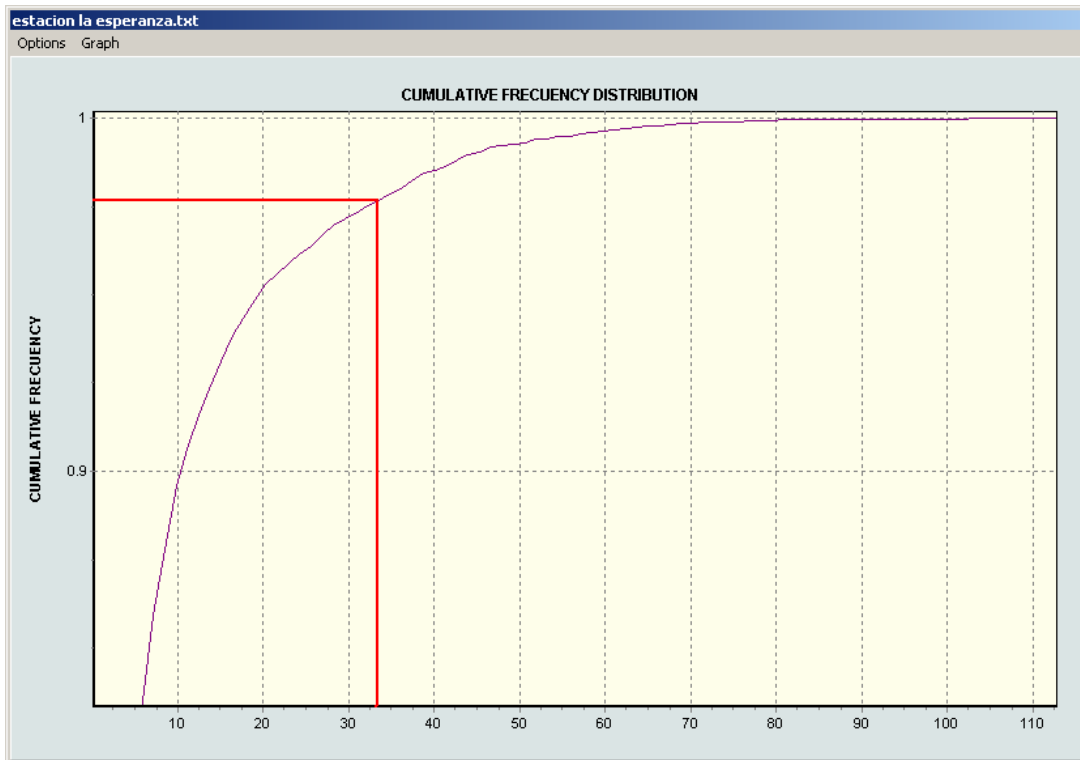
### **2.2.1 Estación La Esperanza.**

En la estación La Esperanza, se contó con una serie pluviométrica de 9345 registros diarios de precipitación contados a partir de 4 de Septiembre de 1979, reportando un registro máximo de precipitación el 21 de mayo de 2000 con 131.4 mm de precipitación. La distribución de frecuencia acumulada correspondiente se muestra en la gráfica 2.1, a partir de la cual se obtuvo un valor mínimo de precipitación de 30.3 mm de precipitación para la probabilidad de ocurrencia de 2.5%.

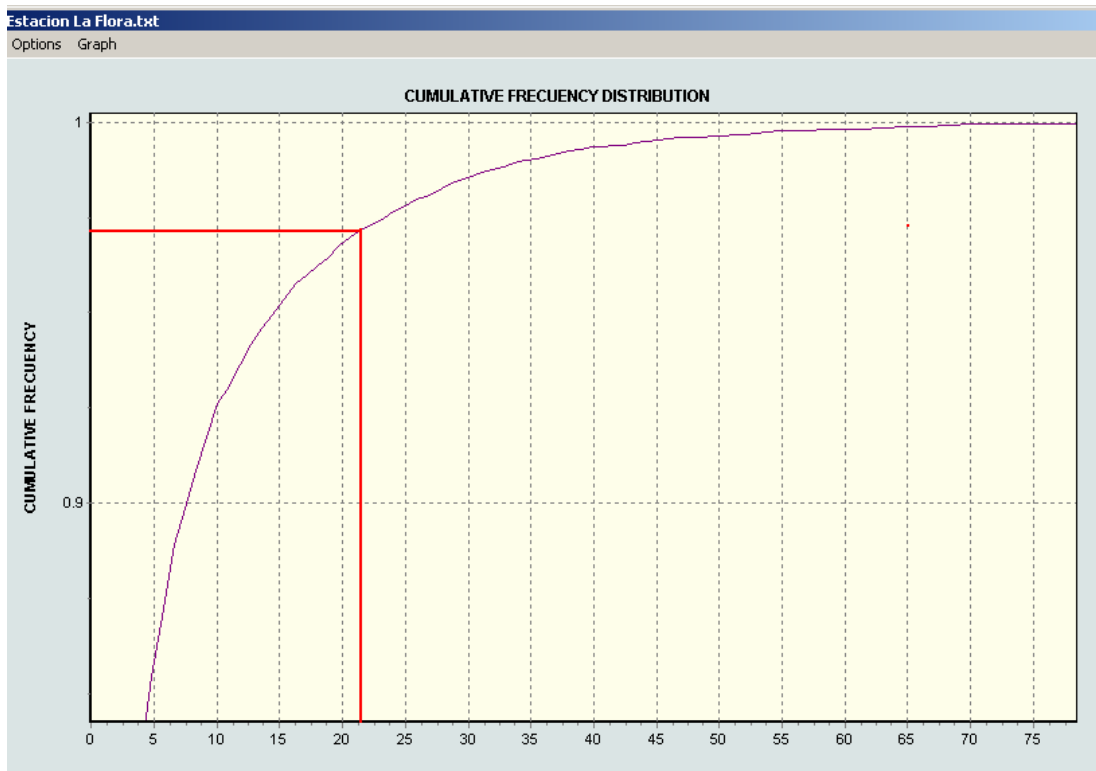
En base al valor mínimo de precipitación se revisó la serie pluviométrica y se obtuvo un total de 264 registros requeridos para la revisión pluviográfica.

### **2.2.2 Estación La Flora.**

En la estación La Flora, se contó con una serie pluviométrica de 9198 datos correspondientes a registros diarios de precipitación contados a partir de 1 de Octubre 1981. El registro de precipitación máximo registrado es de 87.6 mm ocurrido el 7 de mayo de 2001. La distribución de frecuencia acumulada correspondiente se muestra en la gráfica 2.2, la cual muestra un valor de precipitación de 22.6 mm para la probabilidad de ocurrencia de 2.5%, requiriéndose un total de 211 registros diarios para revisión pluviográfica.



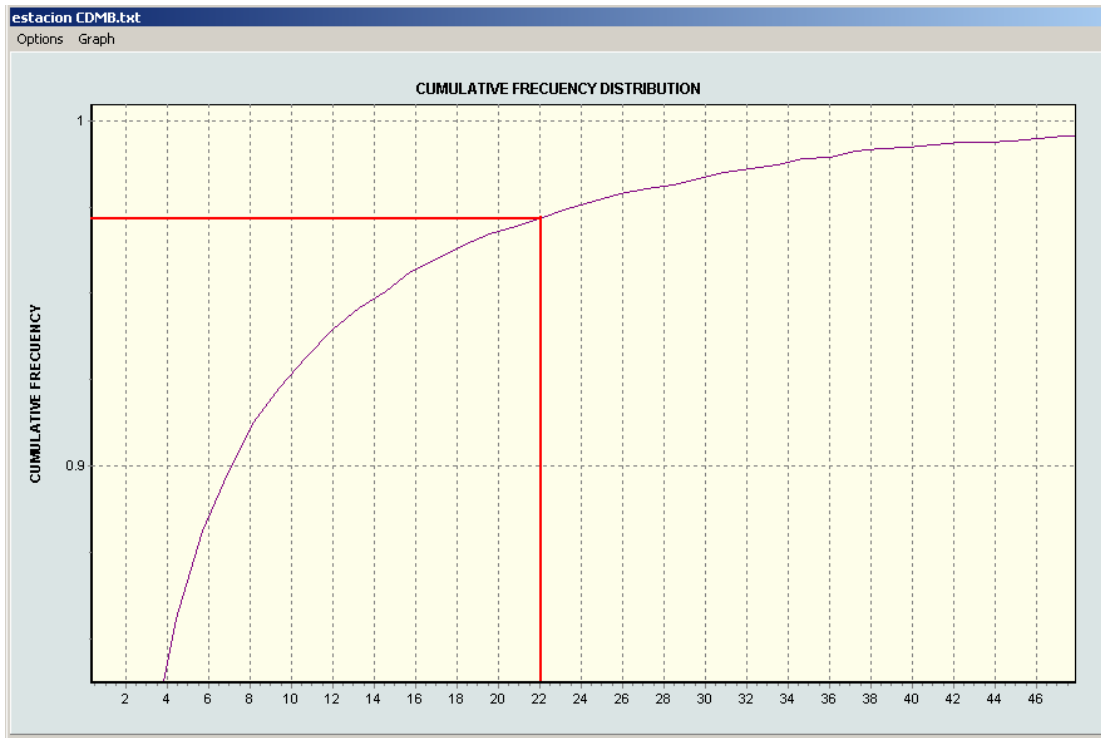
Grafica 2.1 Distribución de frecuencia acumulada para la estación La Esperanza, datos pluviométricos.



Gráfica 2.2 Distribución de frecuencia acumulada para la estación La Flora, datos pluviométricos

### 2.2.3 Estación CDMB.

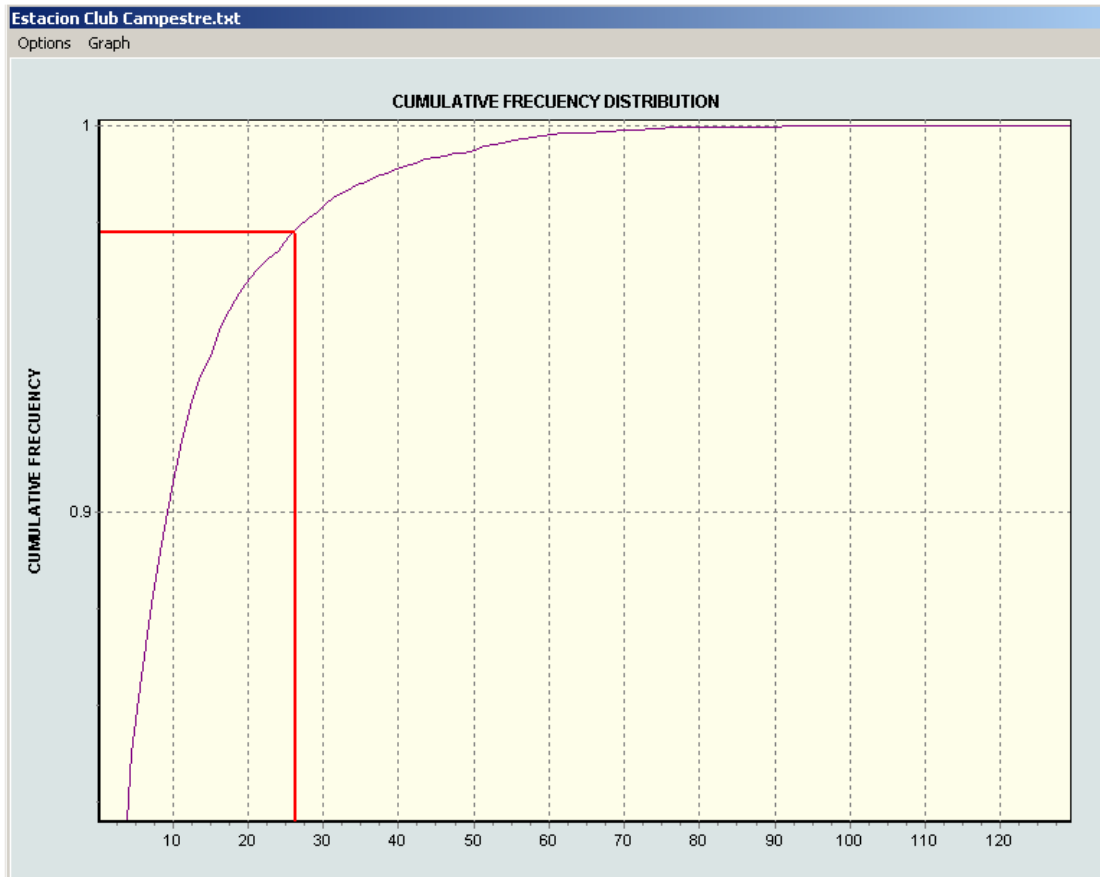
En esta estación la información pluviométrica corresponde a 9684 registros pluviométricos diarios de precipitación contados a partir del 8 de octubre de 1981. El registro de precipitación máximo registrado en esta estación es de 126.20 mm ocurrido el 12 de Febrero de 2005. La distribución de frecuencia acumulada correspondiente a la serie pluviométrica de la estación CDMB se muestra en la gráfica 2.3, de la cual se obtiene un valor mínimo de precipitación de 22.00 mm para la probabilidad de ocurrencia de 2.5%, requiriéndose un total de 254 registros diarios para revisión pluviográfica.



Gráfica 2.3 Distribución de frecuencia acumulada para la estación CDMB, datos pluviométricos

#### 2.2.4 Estación Club Campestre.

En esta estación la información pluviométrica corresponde a 8182 registros pluviométricos diarios de precipitación contados a partir del 1 de Septiembre de 1982. El registro de precipitación máximo registrado en esta estación es de 130mm ocurrido el 12 de Febrero de 2005. La distribución de frecuencia acumulada correspondiente a la serie pluviométrica de la estación Club Campestre se muestra en la gráfica 2.4, de la cual se obtiene un valor mínimo de precipitación de 26.30 mm para la probabilidad de ocurrencia de 2.5%, requiriéndose un total de 216 registros diarios para revisión pluviográfica.

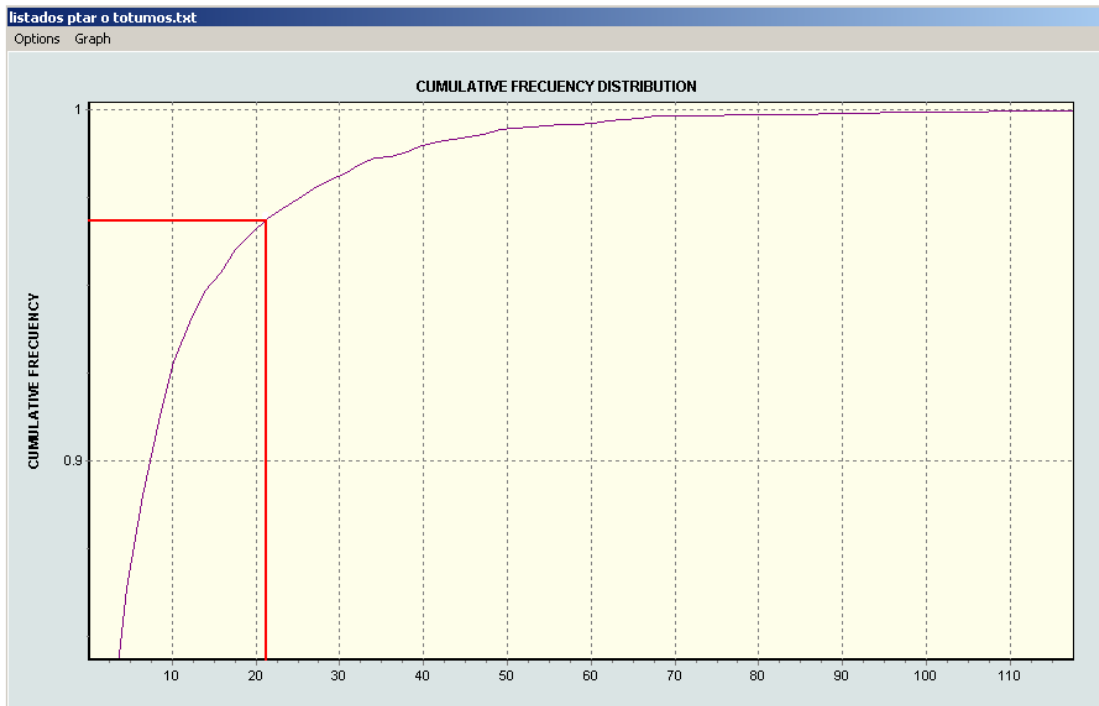


Grafica 2.4 Distribución de frecuencia acumulada para la estación Club Campestre, datos pluviométricos

### 2.2.5 Estación PTAR o Totumos.

En la estación PTAR, se contó con una serie pluviométrica de 7278 registros diarios de precipitación contados a partir del 8 de Agosto de 1985, reportando un registro máximo de precipitación el 28 de Octubre de 1998 con 157.50mm de precipitación. La distribución de frecuencia acumulada correspondiente se muestra en la gráfica 2.5, a partir de la cual se obtuvo un valor mínimo de precipitación de 21.20mm de precipitación para la probabilidad de ocurrencia de 2.5%.

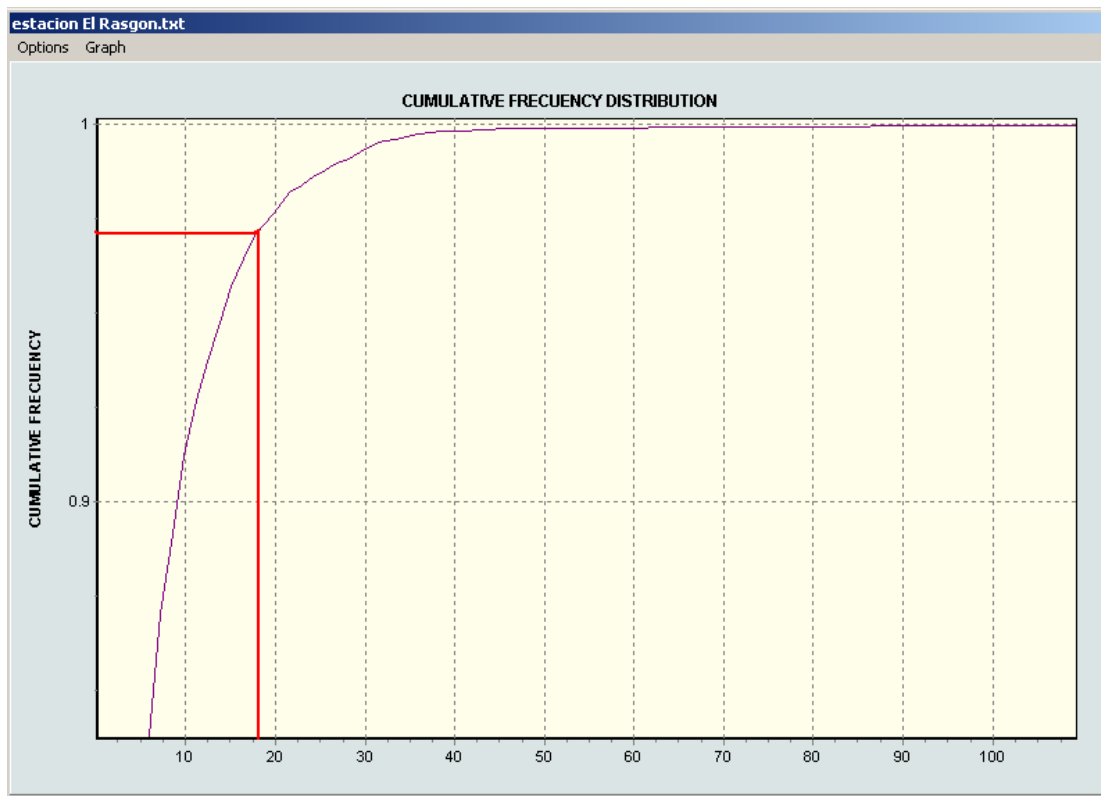
En base al valor mínimo de precipitación se reviso la serie pluviométrica y se obtuvo un total de 243 registros requeridos para la revisión pluviográfica.



Gráfica 2.5 Distribución de frecuencia acumulada para la estación PTAR TOTUMOS, datos pluviométricos

### 2.2.6 Estación El Rasgón.

En la estación El Rasgón, se contó con 6636 registros pluviométricos contados a partir del 9 de Junio de 1986, registrando la máxima precipitación diaria el 1 de Abril de 1997 con 131 mm. La distribución de frecuencia acumulada correspondiente se muestra en la gráfica 2.6, a partir de la cual se obtuvo un valor mínimo de precipitación de 17.9 mm para la probabilidad de ocurrencia de 2.5%, requiriéndose 207 registros para revisión pluviográfica.



Grafica 2.6 Distribución de frecuencia acumulada para la estación El Rasgón, datos pluviométricos

## 2.3 REVISION PLUVIOGRAFICA

### 2.3.1 Parámetros del Proceso.

Este proceso se hizo bajo los siguientes parámetros:

- ◆ Se realizó la revisión pluviográfica registrando la precipitación a lo largo de 24 horas de acuerdo al horario local meteorológico (7 a.m. a 7 a.m. del día siguiente).
- ◆ Se descartaron eventos de baja intensidad y larga duración.
- ◆ Se verificó la precipitación pluviográfica procesada a formato digital, con la registrada en el pluviógrafo.

- ◆ Todas las observaciones pertinentes a los registros gráficos se consignaron como metadatos en la información digital.
- ◆ Se relacionó la información no obtenida clasificándola como faltante, errónea o no requerida, según el caso.

### **2.3.2 Convenciones Para Registro de la Información.**

El registro de la información se hizo manejando el formato mostrado en el Anexo A, registrando fecha y hora de la ocurrencia de la precipitación. Los datos se leyeron con una cifra decimal, debido a la resolución de la escala de precipitación de los pluviógrafos.

Para el registro de la información se definieron las siguientes convenciones para relacionar la información no obtenida:

- ◆ **Dato Faltante (D.F.):** Corresponde a información de la cual no se pudo tener acceso físico. En las estaciones de PTAR, El Rasgón, Club Campestre y La Esperanza se presento Datos Faltantes en un gran período de tiempo de aproximadamente cinco años, debido a que la información correspondiente a este lapso de tiempo y para las estaciones mencionadas no estaba disponible en la CDMB en el momento de realizar el estudio. Otro de los motivos por los cuales se presentan Datos Faltantes es debido a la no operación de la estación o de los equipos de medición.
- ◆ **Dato Erróneo (D.E.):** Se registró un dato no obtenido como dato erróneo, aquél del cual si se tiene registro físico, pero que no es confiable porque se observa anomalías en el pluviograma. Las principales anomalías encontradas fueron la tendencia con pendiente negativa del pluviograma, registros que no eran legibles debido a la interrupción intermitente de la línea del pluviograma o por la distorsión de la misma por gotas de agua en el registro entre otros.

- ◆ **Dato No Requerido (D.N.R.):** Los registros que aparecen como D.N.R. corresponden a información que fue obviada por presentar baja intensidad durante todo el transcurso de las 24 horas de análisis, o algunas fechas que no presentaban precipitación total mayor o igual a la calculada para la probabilidad de ocurrencia de 2.5%, y que aparece como registro requerido ya que en la información pluviométrica si presenta precipitación alta. En estos casos se noto un error en la digitación de la información pluviométrica.

En la tabla que se presenta a continuación, se muestra el detalle de registros encontrados para cada estación.

ESTACION	DATOS REVISADOS	D.F	D.E	D.N.R	DATOS OBTENIDOS
LA ESPERANZA	247	47	11	14	175
LA FLORA	211	36	6	1	168
CDMB	306	56	5	2	243
CLUB CAMPESTRE	216	74	8	10	124
PTAR	195	5	3	23	164
EL RASGON	106	13	8	12	73

Tabla 2.14 Resultados del Procesamiento Pluviográfico

### 2.3.3 Errores Encontrados

Durante el proceso de inspección de los registros pluviográficos se observó algunas inconsistencias en los pluviogramas como las siguientes:

- Pluviogramas en los que el trazado de la aguja no coincide con la escala de precipitación del papel. Se presentan casos en los cuales el nivel mínimo del pluviograma no es el nivel cero del papel y/o el nivel máximo no es 10 mm (ver foto 2.1). Este tipo de problema es muy común en la información pluviográfica estudiada, y obedece a descalibración por fallas mecánicas en los pluviógrafos. En estos casos, las lecturas pluviográficas fueron reescaladas teniendo en

cuenta que para un período de llenado la capacidad del equipo medidor es de 10mm.

- Se observó pluviogramas en los cuales el trazado del mismo presenta pendiente negativa (ver foto 2.2). En estos casos se evidenció un problema en el sistema de vaciado debido a alguna posible obstrucción en el sifón. La información que presentaba este problema se registro como Dato Erróneo (D.E), ya que no es posible dar una correcta interpretación física del evento de lluvia en estos casos.

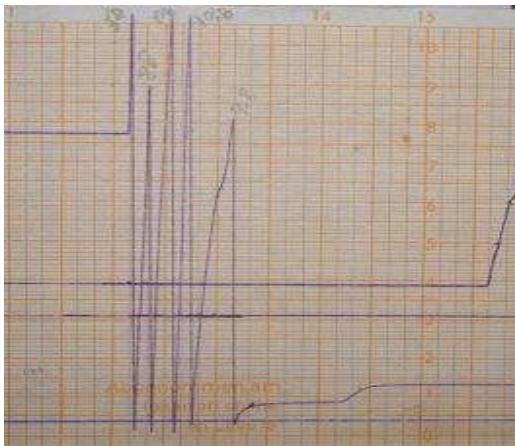


Foto 2.1. Evento 21 Noviembre 1990- La Esperanza

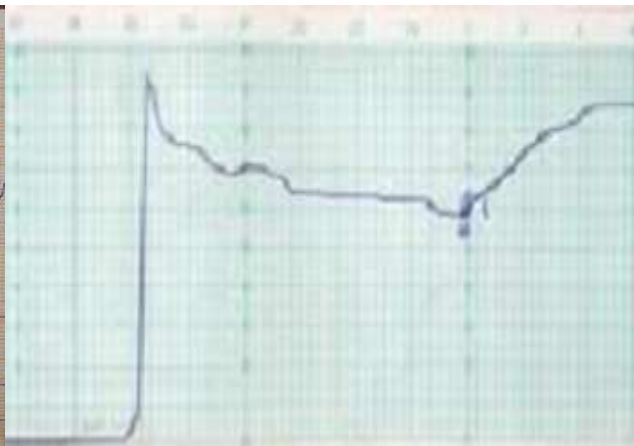


Foto 2.2. Evento 7 Octubre 1982- La Esperanza

- Otra inconsistencia encontrada fue la discontinuidad en el trazado del pluviograma, la cual es de gran cuidado cuando se pretende establecer el comportamiento de los eventos de precipitación en el tiempo. Para el caso de estudio de precipitaciones totales diarias este es un problema de fácil solución ya que sin importar como fue el evento se puede saber cuanta fue la precipitación identificando el punto en que reaparece la línea del pluviograma. Sin embargo, si se desea conocer la intensidad de la lluvia a intervalos de 10, 30 o 60 minutos, una interrupción en el trazado del pluviograma representa información no existente de cuya inferencia se tendría mucha incertidumbre.

Por lo tanto, para estos casos se registró la información como D.N.E. Para las fechas de estudio este problema fue de poca frecuencia. Para el caso presentado en la foto 2.3, se presenta una interrupción del pluviograma en un intervalo de tiempo corto, igual o inferior al intervalo de tiempo mínimo al que se está leyendo la precipitación, por lo tanto, en este caso, la precipitación fue leída sin inconvenientes. Cuando se presentó interrupciones con intervalos mayores de tiempo la lectura no fue tomada.

- Otro inconveniente encontrado al realizar las lecturas pluviográficas fue la distorsión de los pluviogramas por caída de gotas de agua en el registro. En estos casos, el tratamiento fue visual, identificando cual era la tendencia y la línea original del registro. (Ver foto 2.4).

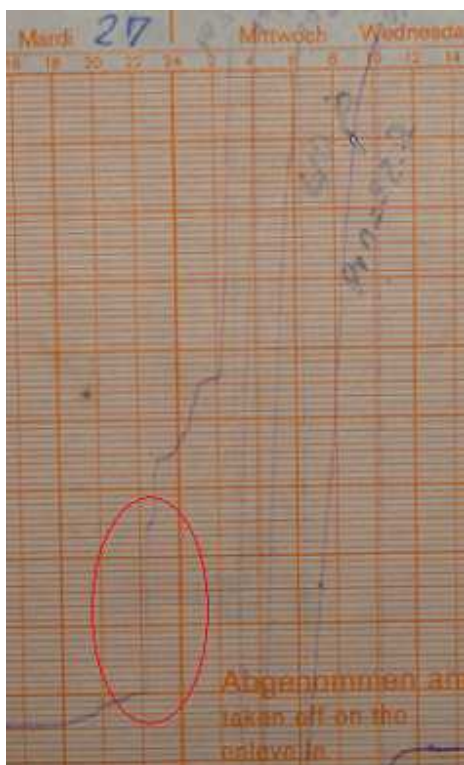


Foto 2.3 26 Abril 1993- La Esperanza

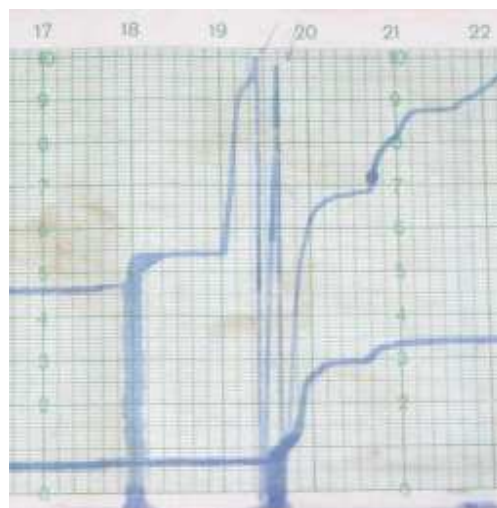


Foto 2.4 10 Marzo 1986- Estación La Esperanza

- Para el caso de la estación PTAR, la cual es automática desde el año 1999, los vacíos presentados se tomaron como Datos Faltantes, ya que es información no recuperable.
- En la estación PTAR TOTUMOS se usaron escalas gráficas para periodos de una semana, cuando el aparato pluviográfico se encontraba trabajando a una escala diaria, es decir, se registro un evento de un día sobre un pluviograma semanal, en estos casos hubo la necesidad de reescalar manualmente la grafica para así poder interpretar los valores de la misma de acuerdo a la hora del evento. Las fechas en las que se encontraron estas inconsistencias fueron en el 15 de enero, 25 y 29 de Julio de 1988, y el 16 de Mayo de 1995, estos hechos fueron intermitentes al parecer por escasez de papelería en la estación.
- Registros pluviográficos sin fecha alguna fueron encontrados en los archivos de la estación del Club Campestre entre las fechas de 1 de noviembre de 1983 y 12 de Mayo de 1984.

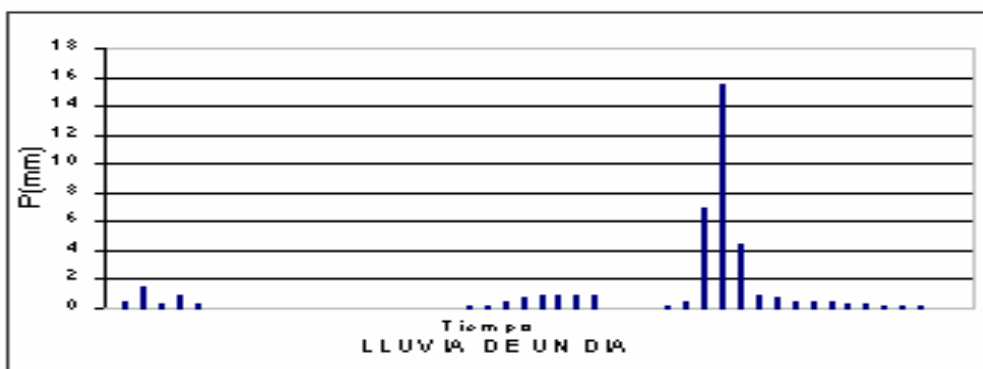
## **2.4 SEPARACION DE EVENTOS**

El aislamiento de los eventos de precipitación, consistió en extraer de los registros pluviográficos aquella porción en la que efectivamente ocurrió un proceso de precipitación, eliminando los intervalos de tiempo en los cuales no se presentó lluvia.

### **2.4.1 Criterios para Independizar Eventos de Lluvia.**

Para realizar el aislamiento de los eventos de lluvia, se considero un evento de precipitación como aquel ocurrido desde el momento en que la precipitación deja de ser cero, hasta el momento en que vuelve a presentarse una intensidad cero. De acuerdo a esto, es preciso mencionar que por cada día del cual se tiene

información pluviográfica, no necesariamente ocurre un evento de precipitación. Es posible encontrar días en que ocurrió mas de un evento de lluvia, o por el contrario encontrar eventos que no ocurrieron en su totalidad en un día, esto último debido a que el registro pluviográfico de un día se termina a las 7 a.m., y es posible que solo unas horas antes haya iniciado un evento.



Grafica 2.7 Precipitación de 9 de Febrero de 1998. La Flora

En la figura 2.7, se muestra la precipitación del 9 de febrero de 1998, registrada por la estación La Flora, con una resolución temporal de 60 minutos. Se observa claramente que en el transcurso de las 24 horas registradas se presentaron tres eventos de precipitación, los dos primeros, eventos de baja intensidad (menor de 2mm) y con duraciones de 2.5 y 4 horas respectivamente, y el tercero, con una duración de 7.5 horas, alcanza una intensidad máxima de 15.5mm.

Una vez aislados todos los eventos, estos se sometieron a una revisión individual mediante la observación gráfica de la tendencia de las precipitaciones, señalando comportamientos extraños de las mismas y comparándolos nuevamente con los pluviógrafos para descartar errores en la interpretación de los pluviogramas.

En la tabla 2.2, se muestra la cantidad de eventos obtenidos para cada estación.

ESTACION	CANTIDAD DE EVENTOS OBTENIDOS		
	10 MIN	30 MIN	60 MIN
LA ESPERANZA	93	71	0
LA FLORA	0	185	0
CDMB	0	248	0
CLUB CAMPESTRE	13	122	0
PTAR	76	0	71
EL RASGON	44	14	0

*Tabla 2.15 Detalle de Eventos Obtenidos*

Para evaluar los eventos de lluvia continuos, separados por tiempos de no lluvia, Restrepo y Eagleson (1982), propusieron una metodología basada en un modelo exponencial derivado del proceso de Poisson, la cual permite calcular el MDPD (Mínima duración del periodo seco), permitiendo esta identificar si dos periodos de lluvia consecutivos son independientes o no. Sin embargo, esta metodología no fue aplicada debido a que ello requiere la información pluviográfica continua en una estación lluviosa completa.

Los respectivos eventos de lluvia se muestran en el Anexo B.

### 3. CARACTERIZACIÓN DE LA INFORMACION

#### 3.1 ESTUDIO DE INTENSIDADES

##### 3.1.1 Valores de Intensidad.

El estudio de intensidades se basó en la generación de distribuciones de probabilidad para los valores de intensidad medidos en 10, 20, 30, 40, 50 y 60 minutos, en cada estación. Para ello, se obtuvo inicialmente todos los valores correspondientes a las intensidades en los respectivos intervalos de tiempo así:

- 10 minutos Todas las intensidades conocidas para eventos de 10 minutos
- 20 minutos 2 Intensidades de 10 minutos consecutivas
- 30 minutos 3 intensidades de 10 minutos consecutivas mas todas las intensidades conocidas para eventos de 30 minutos
- 40 minutos 4 intensidades de 10 minutos consecutivas
- 50 minutos 5 intensidades de 10 minutos consecutivas
- 60 minutos 6 intensidades de 10 minutos consecutivas mas 2 intensidades de 30 minutos consecutivas mas las intensidades de 1 hora (caso de PTAR)

De acuerdo a lo anterior, se obtuvo la siguiente cantidad de datos:

ESTACION	CANTIDAD DE VALORES DE INTENSIDAD					
	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min
LA ESPERANZA	1338	1179	1703	992	969	1353
LA FLORA	0	0	1244	0	0	1059
CDMB	0	0	1629	0	0	1381
CLUB CAMPESTRE	191	178	860	152	139	699
PTAR	1046	970	893	816	742	1217
EL RASGON	539	496	557	407	364	417
TOTAL	3114	2823	6886	2367	2214	6126

Tabla 3.16 Cantidad de Valores de Intensidad

Para las estaciones CDMB y LA FLORA, donde solo se cuenta con eventos de resolución temporal de 30 minutos, solo se pueden obtener intensidades a 30 minutos y 1 hora.

### 3.1.2 Distribución de Frecuencia.

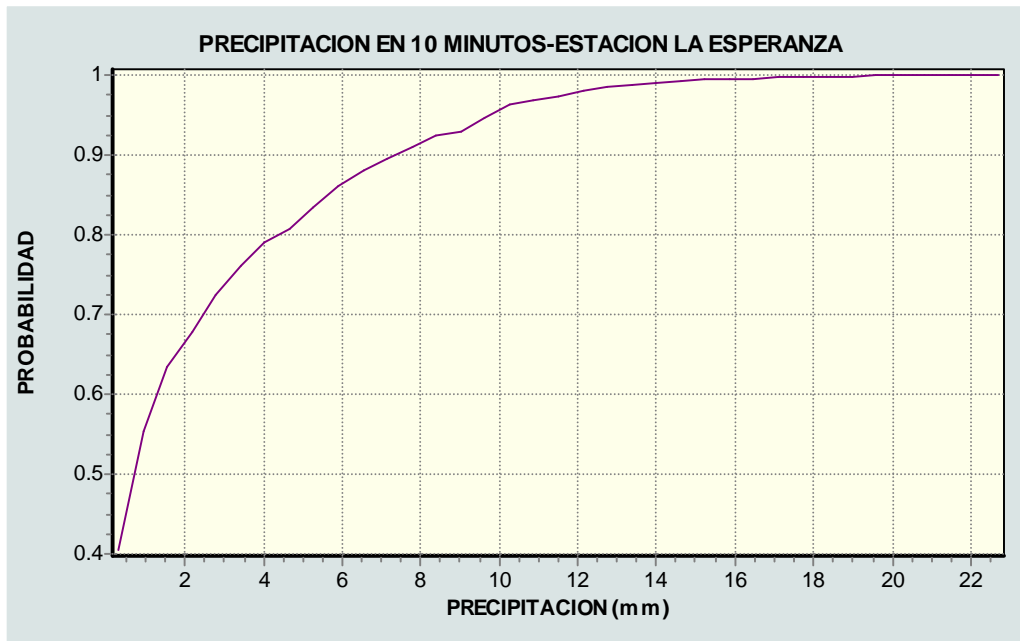
Para cada conjunto de datos se produjo una distribución de frecuencia. Este proceso se realizó con la ayuda del software SPELL-STAT.

En la gráfica 3.1 se muestra la distribución de frecuencia obtenida para las intensidades de 10 minutos en la estación La Esperanza. En ella se puede observar que se puede esperar intensidades hasta de 22 mm en 10 minutos, siendo esta la mayor intensidad presentada en las cuatro estaciones de las cuales se tenían datos de precipitación en este intervalo de tiempo.

ESTACION	PRECIPITACIONES MAXIMAS (mm)					
	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min
LA ESPERANZA	22	30	43	50	58	60
LA FLORA	-	-	33	-	-	43
CDMB	-	-	40	-	-	52
CLUB CAMPESTRE	15	17	27	31	38.5	42.5
PTAR	18.5	33.5	45	55	62	63.5
EL RASGON	13.5	24.5	30	33.5	42.5	47

Tabla 3.17 Intensidades Máximas para cada Estación

Los datos mostrados en la tabla 3.2, corresponden a los valores de intensidad máximas para intervalos de tiempo de 10 minutos a 1 hora. En esta, se puede observar que las máximas intensidades se han presentado en la estación PTAR y La Esperanza, y que la variabilidad de la lluvia espacialmente es representativa entre las estaciones La Esperanza, Club Campestre y PTAR, las cuales se encuentran relativamente cerca.



Gráfica 3.1 Distribución de Frecuencia- Intensidades en 10 minutos- Estación La Esperanza

### 3.1.3 Porcentaje de Intensidades Máximas respecto a Precipitación Total de 24 horas.

Debido a que la mayor parte de la información de pluviosidad que se posee es la proveniente de los equipos pluviométricos la cual se presenta con resolución temporal diaria, y debido a que en pequeñas cuencas la información requerida es de resolución temporal baja, es importante obtener relaciones que permitan obtener un dato sobre la intensidad máxima que puede presentarse en un período de tiempo corto, entre 10 minutos y 2 horas.

Para obtener estas relaciones se realizó el siguiente procedimiento:

- Obtención de la intensidad máxima en 10, 20, ...110 y 120 minutos del periodo de registro de 24 horas.
- Cada uno de estos valores, fue comparado con el respectivo valor de Precipitación Total en 24 horas.

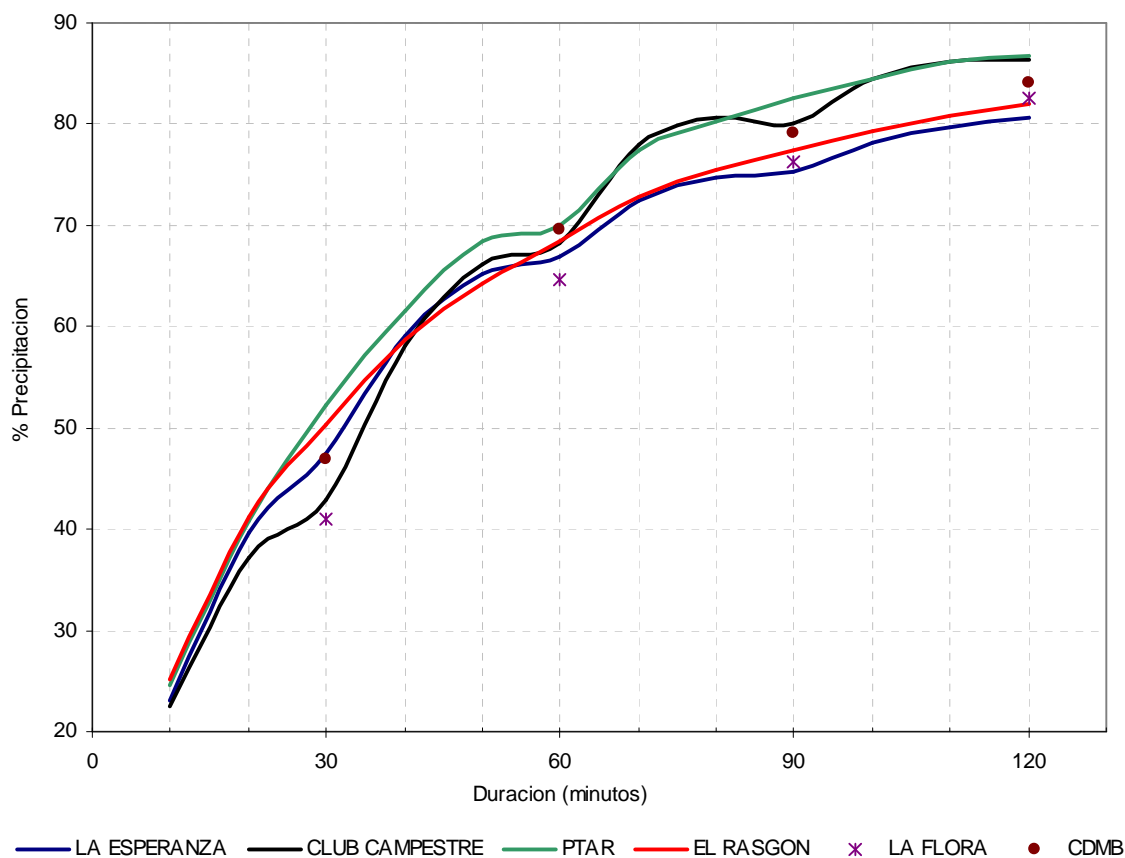
- Para cada intervalo de duración se obtuvo los descriptores estadísticos y se graficó el valor porcentual promedio de intensidades máximas, gráfica 3.2.

De este proceso se obtuvo los resultados mostrados en la tabla 3.3 y en la gráfica 3.2, en la cual se puede observar el porcentaje promedio de precipitación con respecto a la precipitación total en 24 horas, para intervalos de tiempo entre 10 minutos y 2 horas.

En la gráfica se puede observar que en la estación PTAR se presentan las mayores intensidades. Esto puede obedecer a precipitaciones de tipo convectivo, que decrecen en intensidad hacia las zonas de alta montaña. Igualmente, se puede observar que las curvas para las diferentes estaciones no presentan muchas diferencias entre sí, mostrando correlación entre los datos.

LA ESPERANZA												
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
<b>Promedio</b>	23.07	39.69	47.55	59.03	65.12	66.91	72.45	74.74	75.37	78.11	79.65	80.71
<b>Varianza</b>	82.53	229.27	314.96	369.38	404.43	399.59	402.81	385.17	362.66	359.15	351.64	322.39
<b>Desv Std</b>	9.08	15.14	17.75	19.22	20.11	19.99	20.07	19.63	19.04	18.95	18.75	17.96
<b>Maximo</b>	51.83	89.03	94.84	97.56	99.70	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
<b>Minimo</b>	7.66	11.26	14.41	15.99	18.24	21.40	23.87	25.00	26.80	27.70	31.98	35.14
CLUB CAMPESTRE												
<b>Promedio</b>	22.56	37.11	42.84	58.07	66.19	68.26	77.96	80.62	80.00	84.48	86.15	86.31
<b>Varianza</b>	78.61	158.75	292.13	250.23	247.91	335.01	201.80	210.52	288.40	150.82	132.00	247.74
<b>Desv Std</b>	8.87	12.60	17.09	15.82	15.75	18.30	14.21	14.51	16.98	12.28	11.49	15.74
<b>Maximo</b>	40.06	55.59	98.70	84.29	90.02	100.00	94.93	95.58	100.00	96.89	97.55	100.00
<b>Minimo</b>	9.38	18.76	14.49	37.51	42.31	25.37	53.00	54.63	32.24	61.57	61.80	38.61
PTAR												
<b>Promedio</b>	24.67	40.77	52.28	61.61	68.51	69.90	77.39	80.26	82.59	84.41	86.28	86.72
<b>Varianza</b>	124.86	264.85	339.26	389.16	404.52	448.09	371.91	348.82	327.89	304.72	276.83	264.21
<b>Desv Std</b>	11.17	16.27	18.42	19.73	20.11	21.17	19.28	18.68	18.11	17.46	16.64	16.25
<b>Maximo</b>	53.72	85.31	94.59	97.16	98.63	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
<b>Minimo</b>	5.23	10.46	15.41	20.84	25.57	24.90	31.17	33.10	34.68	37.48	41.16	37.09
EL RASGON												
<b>Promedio</b>	25.24	41.19	50.36	58.67	64.27	68.41	72.77	75.59	77.49	79.27	80.82	82.00
<b>Varianza</b>	174.51	328.49	465.97	416.56	429.95	414.47	416.62	409.44	375.62	366.11	344.87	321.78
<b>Desv Std</b>	13.21	18.12	21.59	20.41	20.74	20.36	20.41	20.23	19.38	19.13	18.57	17.94
<b>Maximo</b>	65.54	90.96	100.00	97.74	98.31	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
<b>Minimo</b>	4.18	7.53	9.21	12.97	15.48	17.99	19.70	21.21	23.11	26.14	29.92	33.71
LA FLORA												
<b>Promedio</b>			41.01			64.59			76.18			82.55
<b>Varianza</b>			336.21			358.90			330.34			277.89
<b>Desv Std</b>			18.34			18.94			18.18			16.67
<b>Maximo</b>			92.06			100.00			100.00			100.00
<b>Minimo</b>			0.00			25.22			29.39			35.15
CDMB												
<b>Promedio</b>			46.86			69.65			79.19			84.13
<b>Varianza</b>			313.31			370.23			333.88			288.79
<b>Desv Std</b>			17.70			19.24			18.27			16.99
<b>Maximo</b>			97.20			100.00			100.00			100.00
<b>Minimo</b>			13.06			24.79			28.22			33.56

Tabla 3.18 Caracterización porcentual de Intensidades Máximas con respecto a la Precipitación total en 24 horas.

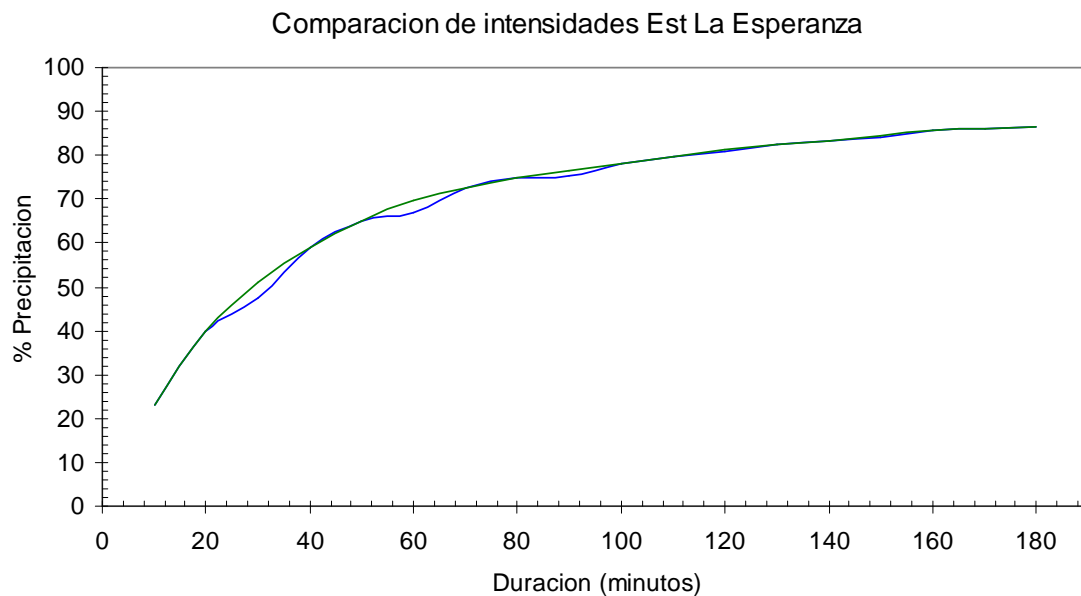


Gráfica 3.2 Medias porcentuales de Intensidades máximas en diferentes duraciones. Porcentaje respecto a la Precipitación Total en 24 horas

En la gráfica 3.2, las intensidades máximas en 10 minutos reportan porcentajes hasta de 25% del total de la lluvia en 24 horas. Las relaciones máximas promedio de las intensidades en 40 minutos con respecto a la precipitación total de 24 horas reportadas por las estaciones El Rasgón, La Esperanza y Club Campestre tienden a ser las mismas (57.5%).

Los incrementos en los porcentajes de precipitación son significativos hasta llegar a los 80 minutos, lo cual sería un primer indicador de la duración aproximada de los eventos de tipo convectivo. Posterior a este valor la gráfica tiende a completar el porcentaje de la precipitación siguiendo una curva más horizontal.

La información con diferente resolución temporal produce desviaciones de las curvas en los puntos en los que coinciden los lapsos de tiempo, la variación máxima se presenta en la estación La Esperanza, gráfica 3.3, y es aproximada al 7% a los 30 minutos.



Gráfica 3.3 Comparación de las Medias porcentuales de Intensidades máximas de diferente duración, en la estación La Esperanza, sin incluir en una de las curvas la información de 30 minutos.

Los comportamientos abruptos de la curva de la estación Club Campestre se pueden justificar en el hecho de que estas se elaboraron con mucha más información con resolución de 30 minutos que con la de 10 minutos.

Las ecuaciones de ajuste para las curvas de la gráfica 3.2, se elaboraron a dos intervalos, el primero va hasta los 60 minutos y el segundo desde los 60 hasta los 240 minutos, y son:

PTAR	1. $Y = 26.505 \ln(x) - 37.139$	$R^2 = 0.9933$
	2. $Y = -1E-07x^4 + 8E-05x^3 - 0.0201x^2 + 2.2217x - 6.3085$	$R^2 = 0.9908$

El Rasgón	1. $Y = 24.292 \ln(x) - 31.216$	$R^2 = 0.9986$
	2. $Y = 4E-06x^3 - 0.0027x^2 + 0.5919x + 42.362$	$R^2 = 0.9955$

La Esperanza

$$1. Y = 25.421 \ln(x) - 36.181$$

$$R^2 = 0.9899$$

$$2. Y = 5E-06x^3 - 0.0027x^2 + 0.5923x + 41.484$$

$$R^2 = 0.9913$$

Donde  $y$ : relación Intensidad máxima con respecto a la precipitación en 24 horas

$x$ : Tiempo en que se mide la intensidad de la lluvia

Estas curvas de ajuste, son de gran utilidad para estimar precipitaciones totales máximas de duraciones cortas, las cuales son las características para tormentas de diseño en pequeñas cuencas.

Para la estación Club Campestre, no se obtuvo línea de tendencia, ya que el número de datos que cuentan con resolución temporal de 10 minutos, es tan solo 13, y por lo tanto no son representativos. De la misma forma, este análisis no se puede realizar para las estaciones La Flora y CDMB, ya que en estas estaciones no se pueden obtener datos de intensidades además de las de 30 minutos. Sin embargo, los datos para las intensidades cada 30 minutos hasta los 120 minutos son mostrados en la tabla 3.2.

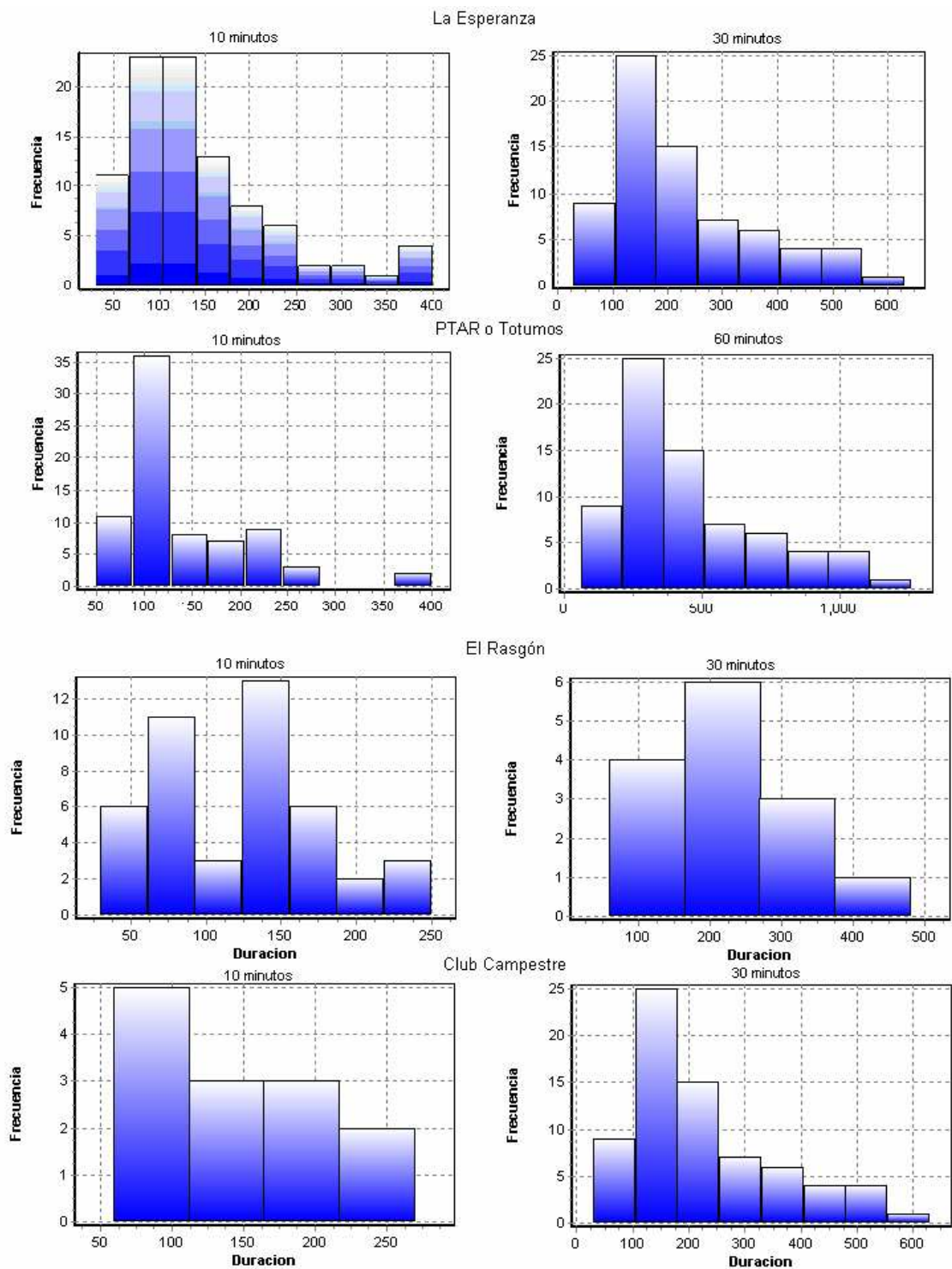
### **3.2 DURACIONES CARACTERISTICAS DE LOS EVENTOS EXTREMOS**

Así como se analizó el comportamiento de las intensidades, también es importante analizar el comportamiento de las duraciones presentadas en los eventos extremos estudiados.

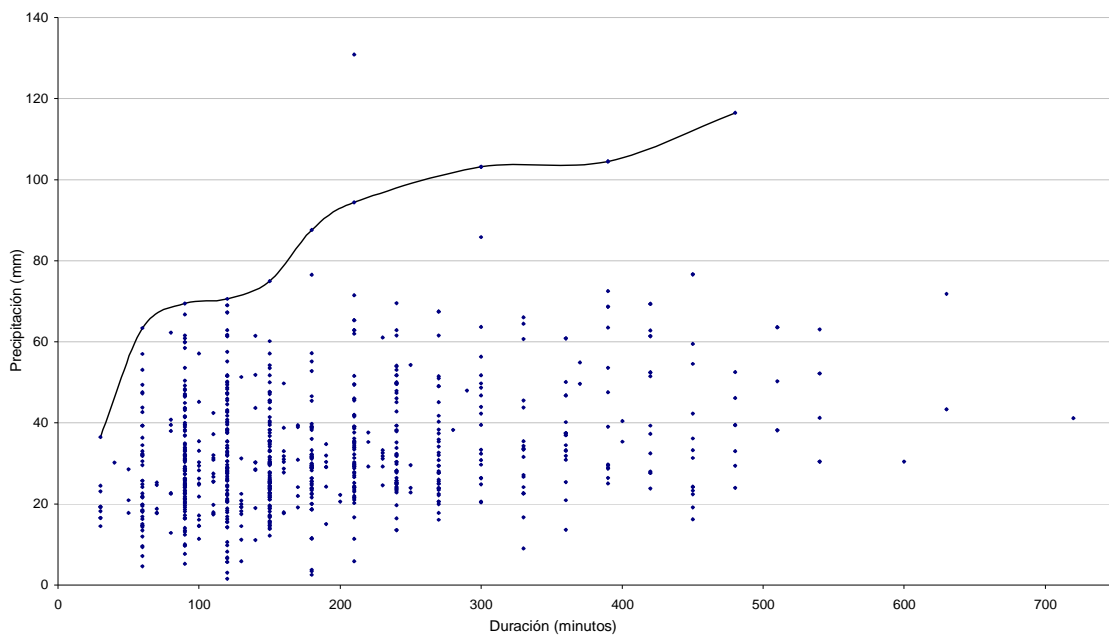
En la gráfica 3.4, se presentan los hietogramas de frecuencia de las duraciones. Se presenta un hietograma diferente para cada grupo de datos con diferente resolución temporal, ya que en los eventos de mayor resolución no se visualizan períodos secos que si se observaron en los eventos de 10 minutos, por lo tanto para las mayores resoluciones se presentaran eventos de mayores duraciones.

En los hietogramas de frecuencia mostrados en la gráfica 3.4, se puede observar que para los eventos con resolución temporal de 10 minutos, las duraciones mas frecuentes se encuentran en un rango de 1 a 2.5 horas. Para los eventos con resoluciones de 30 minutos y 1 hora, se observa que las duraciones más frecuentes se encuentran en un rango de 1.5 a 4 horas.

Igualmente, se observa que dentro de los eventos extremos estudiados, las máximas duraciones alcanzadas fueron del orden de 21 horas, reportado por la estación PTAR el 15 de marzo de 1998. Sin embargo, como se dijo anteriormente, los eventos de resolución temporal de 1 hora y 30 minutos, presentan períodos secos no visibles que si son notorios en los eventos de resolución temporal de 10 minutos.



Gráfica 3.4 Hietogramas de frecuencia de las duraciones de los eventos estudiados. (Duraciones en minutos)



Gráfica 3.5 Precipitación Vs Duración de los eventos obtenidos para todas las estaciones

En la gráfica 3.5 se puede observar eventos cuyas duraciones mas frecuentes oscilan entre 60 minutos y 3 horas.

### 3.3 PRECIPITACIONES MÁXIMAS Y PERÍODOS DE RETORNO

#### 3.3.1 Series Máximas Diarias Multianuales.

Las series de precipitación máximas diarias multianuales fueron obtenidas de la información pluviométrica de cada estación, y se muestran en la tabla 3.4, junto con los respectivos descriptores estadísticos.

Los valores corresponden a la máxima precipitación en 24 horas presentada en un período de tiempo de 365 días.

### 3.3.2 Período de Retorno.

El Período de Retorno ( $T_r$ ) se define como el tiempo promedio en años que debe transcurrir entre dos eventos cuya intensidad excede un determinado valor y está relacionado inversamente con el valor de probabilidad de ocurrencia:

$$T_r = \frac{1}{p} \quad \text{[Ecuación 3.1]}$$

El Período de Retorno es una variable que juega un papel importante a la hora de obtener una tormenta de diseño. Es importante tener en cuenta que los períodos de retorno para las lluvias son distintos de los periodos de retorno de las crecientes, es decir, una lluvia de 50 años de período de retorno no produce necesariamente la creciente de 50 años, ya que en esta última intervienen muchas otras variables como los coeficientes de infiltración, la pendiente de la red de drenaje entre otras.

Para la evaluación de las precipitaciones diarias que se pueden presentar en un evento de lluvia para un determinado período de retorno se realizó el ajuste de las series de precipitación máximas multianuales de cada estación a la distribución de Gumbel, cuya función de distribución de probabilidad  $f(x)$ , media y varianza están dadas por:

$$f(x) = e^{-e^{-\alpha(x-\beta)}} \quad \text{[Ecuación 3.2]}$$

$$E(x) = \beta + \frac{0.5772}{\alpha} \quad \text{[Ecuación 3.3]}$$

$$\text{Var}(x) = \frac{\pi^2}{6\alpha^2} = \frac{1.645}{\alpha^2} \quad \text{[Ecuación 3.4]}$$

Donde:

$\alpha$	=	$1 / (0.779696 * S)$
$\beta$	=	$x - 0.450047 * S$
$S$	=	Desviación Típica de la muestra
$X$	=	Media aritmética de la muestra

AÑO	MAXIMOS MULTIANUALES					
	ESTACION					
	La Esperanza	CDMB	Club Campestre	La Flora	PTAR	El Rasgon
1979	57.00	50.40	-	67.70	-	-
1980	60.00	54.90	-	55.00	-	-
1981	66.70	42.10	-	33.40	-	-
1982	76.40	51.50	61.50	49.80	-	-
1983	91.40	64.00	91.70	46.40	-	-
1984	43.10	22.50	57.50	62.80	-	-
1985	51.00	61.60	76.50	75.60	48.10	-
1986	58.50	48.90	39.10	40.90	66.80	31.10
1987	95.60	64.60	62.00	85.90	65.10	34.60
1988	67.70	86.20	76.00	52.40	44.80	61.80
1989	75.00	76.80	57.00	66.60	55.20	49.70
1990	61.30	45.60	67.00	39.10	63.60	24.80
1991	59.50	49.50	55.70	38.40	31.70	30.40
1992	52.50	45.50	70.00	33.00	56.10	26.40
1993	52.30	48.60	59.50	58.10	65.10	23.80
1994	69.00	41.50	65.00	50.20	51.00	25.10
1995	65.00	62.40	51.50	20.90	67.00	28.40
1996	61.40	73.00	83.00	41.50	78.00	65.00
1997	103.80	62.20	51.50	52.90	67.50	131.00
1998	104.50	66.60	67.00	51.50	157.50	79.10
1999	67.50	62.70	57.10	62.90	30.40	32.30
2000	131.40	66.70	113.30	83.20	91.20	100.00
2001	79.20	74.50	60.50	87.60	42.00	40.00
2002	40.30	70.60	52.60	47.40	80.60	42.10
2003	68.70	61.60	66.50	64.50	70.80	31.20
2004	54.40	53.60	48.20	61.60	71.60	43.70
2005	52.90	126.20	125.60	DF	147.80	DF

MAXIMO	131.40	126.20	125.60	87.60	157.50	131.00
PROMEDIO	69.11	60.53	67.30	54.97	69.14	47.39
MINIMO	40.30	22.50	39.10	20.90	30.40	23.80
VARIANZA	429.95	348.66	391.98	281.11	1007.20	830.86
DESV EST	20.74	18.67	28.48	19.55	40.41	32.58

Tabla 3.19 Series de Precipitación Máxima Multianual para cada Estación

Para cada caso, se hizo una prueba de bondad de Kolmogorov-Smirnov, para comprobar que la serie se ajuste a la distribución de Gumbel.

ESTACION	X	S	$\alpha$	$\beta$	D Max	n	Dcritito
LA ESPERANZA	69.11	20.74	0.061839496	59.77602522	0.1104	27	0.26236
CDMB	60.53	18.67	0.06869583	52.12762251	0.1292	27	0.26236
CLUB CAMPESTRE	67.3	28.48	0.045033397	54.48266144	0.1986	24	0.27619
LA FLORA	54.97	19.55	0.065603639	46.17158115	0.0843	26	0.26671
PTAR	69.14	40.41	0.031738459	50.95360073	0.1413	21	0.29275
RASGON	47.39	32.58	0.039366211	32.72746874	0.1914	19	0.30582

Tabla 3.5 Prueba de Bondad Kolmogorov- Smirnov para distribución de Gumbel de series máximas diarias multianuales de precipitación.

Como puede observarse en la tabla 3.5, el  $D_{m\acute{a}x}$  presentado en cada estaci3n es inferior al  $D_{cr\acute{i}tico}$ , por lo tanto se acepta el ajuste de Gumbel.

Igualmente se confirm3 la aplicabilidad de la distribuci3n de Gumbel a las series multianuales por medio de los l\imites de confianza, y seg\un los resultados gr\aficos observados en el programa Spell-Stat, los valores m\aximos multianuales de cada estaci3n se ajustan a la distribuci3n de Gumbel con un l\imite de confianza del 95%.

En la tabla 3.6, se muestran los valores de precipitaci3n para los per\iodos de retorno de 50 y 100 a\nos, los cuales fueron obtenidos del ajuste de Gumbel.

PRECIPITACION (mm) SEG\UN PERIODO DE RETORNO		
ESTACION	PERIODO DE RETORNO (A\NOS)	
	50	100
La Esperanza	122.87	134.16
CDMB	108.93	119.10
Club Campestre	118.63	129.41
La Flora	98.44	107.56
PTAR	151.41	168.69
El Rasgon	122.12	137.81

*Tabla 3.6 Precipitaci3n Diaria para Per\iodos de Retorno de 50 y 100 a\nos*

## 4. TORMENTAS DE DISEÑO

Una tormenta de diseño es un patrón de precipitación definido para utilizarse en el estudio de la respuesta hidrológica de una cuenca.

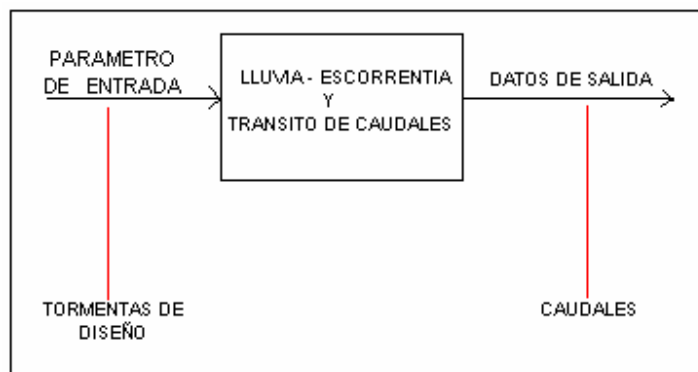


Figura 4.6 Esquema de Diseño en un Sistema Hidrológico

Como puede observarse en la figura 4.1, en el diseño de un sistema hidrológico las tormentas de diseño representan el parámetro de entrada, las cuales son sometidas a procesos de lluvia-escorrentía y tránsito de caudales.

En la literatura, se pueden encontrar varios métodos para cálculo de tormentas de diseño. Entre éstos se encuentran los basados en un punto de las curvas IDF, los basados en una curva IDF completa y los métodos basados en la estandarización obtenida directamente de eventos extremos de precipitación. (Prodanovic y Simonovic, 2004).

Entre los métodos de estandarización de eventos extremos de precipitación se encuentra el método SCS (Soil Conservation Service), 1986, recomendado únicamente para eventos con duración entre 1 y 24 horas y el método de Huff, 1967, que no presenta restricciones en cuanto a la duración de los eventos, y en el cual se concentrará la atención para la obtención de tormentas de diseño.

## **4.1 GENERACION DE CURVAS DE HUFF**

Las Curvas de Huff son relaciones adimensionales que indican el porcentaje de precipitación acumulada descargada en un evento de lluvia, en un porcentaje de la duración total del evento para diferentes probabilidades de que el evento descrito sea excedido.

### **4.1.1 Historia de las Curvas de Huff.**

Estas curvas fueron desarrolladas y aplicadas por primera vez por su autor Huff en 1967, en Illinois, Este Medio de Estados Unidos, en una zona de aproximadamente 1037 Km<sup>2</sup>. Según Bonta, 2004, la información pluviográfica correspondió a 12 años de registro de 49 estaciones, permitiendo la obtención de 261 eventos de lluvia entre 1 y 48 horas de duración.

Los eventos fueron seleccionados teniendo en cuenta que la precipitación promedio de la red de estaciones fuera mayor a 12.7 mm, o que una o mas estaciones registraran eventos de 25.4 mm o más.

Este primer estudio se caracterizó por la categorización de los eventos en primer, segundo, tercer y cuarto cuartil, de acuerdo a si el mayor porcentaje de la precipitación total se dio en la primera, segunda, tercera o cuarta parte de la duración de la tormenta, por lo tanto, el resultado fue un conjunto de 36 curvas probabilísticas, 9 para cada cuartil.

Huff , 1990, actualizó su estudio incluyendo información de 12 estaciones más que cubrían un área aproximada de 25.9 Km<sup>2</sup>, en Champaign área urbana en el este central de Illinois, y 6 estaciones más en Chicago, realizando el estudio con 417 tormentas adicionales.

Las curvas han sido aplicadas en Estados Unidos y en Europa, y han mostrado gran flexibilidad en el cálculo de tormentas de diseño, al ser comparadas con otras tres metodologías (Bonta, 2004).

Con respecto a las Curvas de Huff, existen muchos temas pendientes de investigación, como lo son establecer criterios para conocer el número mínimo de eventos que se deben tener para el desarrollo de curvas confiables, la forma para separar los eventos de lluvia, la influencia de las estaciones del año en las curvas, la escogencia de la curva de Huff con la cual se debe construir la tormenta de diseño, entre otros, (Bonta, 2004).

#### 4.1.2 Información para la obtención de Curvas de Huff.

Para efectos de este estudio, el cálculo de curvas de Huff se realizó para los siguientes eventos en cada estación:

ESTACION	CANTIDAD EVENTOS	INTERVALO DE DURACION DE LOS EVENTOS(min)
ESPERANZA	93	30 - 630
CLUB CAMPESTRE	13	30 - 720
TOTUMOS PTAR	76	30 - 630
EL RASGON	44	30 - 250

*Tabla 4.20 Duración de Eventos para Curvas de Huff*

Los eventos mencionados en la tabla 4.1, corresponden a tormentas con resolución temporal de 10 minutos.

La información existente para las estaciones CDMB y La Flora, es respectivamente de 248 eventos con duraciones entre 30 y 720 minutos, y 185 eventos con duración entre 60 y 510 minutos, en ambos casos información con resolución temporal de 30 minutos.

Adicionalmente, se cuenta con toda la información referenciada en la tabla 2.2.

#### 4.1.3 Procedimiento para Obtención de Curvas de Huff.

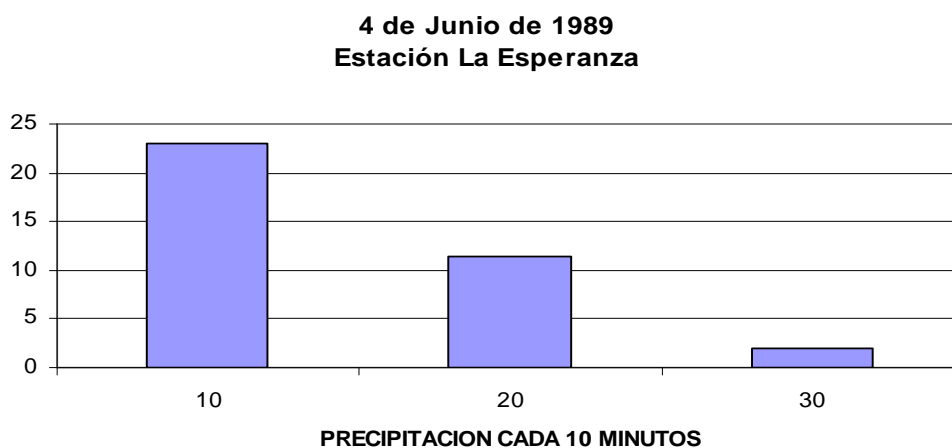
Para la obtención de las curvas de Huff de cada estación se utilizaron los eventos seleccionados en el procesamiento de información, los cuales se encuentran en resoluciones temporales de 10 minutos, 30 minutos y/o 1 hora.

El procedimiento seguido para la obtención de las curvas fue el siguiente:

1. Teniendo en cuenta los valores de precipitación y duración de los eventos, se calculó el porcentaje acumulado de precipitación, de acuerdo a los porcentajes de duración del evento (10%, 20%, 30%, 40%, 50%,.....90%).

En la gráfica 4.1, se muestra el evento del 4 de junio de 1989, registrado en la estación La Esperanza. La precipitación total del evento es 36.5 mm y tiene una duración total de 30 minutos. Al realizar la distribución porcentual de la precipitación en intervalos de 10% de la duración (cada 3 minutos) para el evento del 4 de Junio de 1989, mostrado en la figura 3.1 se obtiene:

<b>% DURACION</b>	10	20	30	40	50	60	70	80	90
<b>% PRECIPITACION</b>	18.90	37.81	56.71	69.32	78.77	88.22	95.07	96.71	98.36

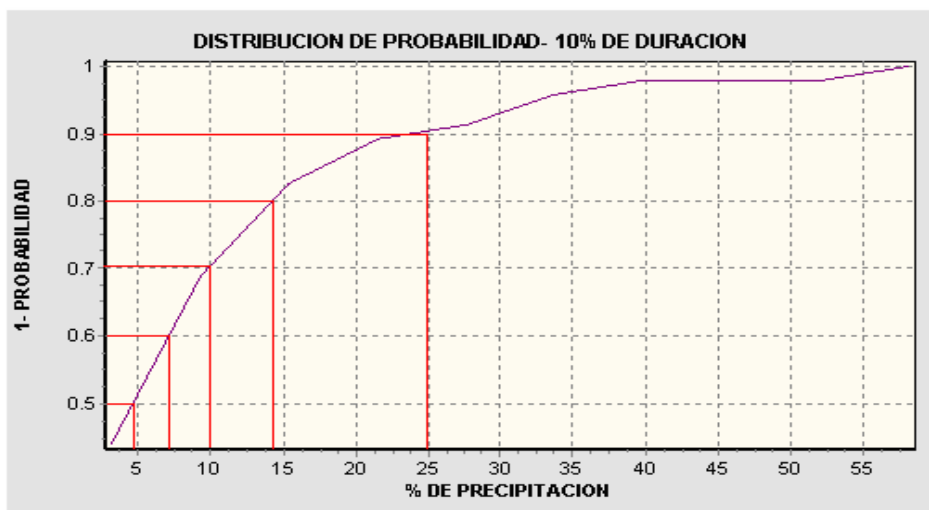


Gráfica 4.3 Ejemplo de Distribución Porcentual de la Lluvia

Este proceso se realizó para cada uno de los eventos de cada estación. Para los eventos con resolución temporal de 30 minutos y 1 hora se presentó inconvenientes en la distribución porcentual de la lluvia debido a que por ser intensidades de intervalos de tiempo relativamente grandes, se desconoce como fue la evolución en la intensidad de la lluvia en el transcurso del intervalo.

2. Teniendo para cada porcentaje de duración los respectivos porcentajes de lluvia, se calculó una distribución de frecuencia acumulada que permita establecer para diferentes probabilidades (10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80% y 90%), los porcentajes de precipitación. Este proceso se realizó mediante distribuciones de frecuencia de los distintos conjuntos de datos, utilizando el software SPELL-STAT.

En la gráfica 4.2 se muestra la distribución de frecuencia relativa acumulada de los porcentajes de precipitación para el 10% de duración de los eventos con resolución temporal de 10 minutos de la estación La Esperanza.

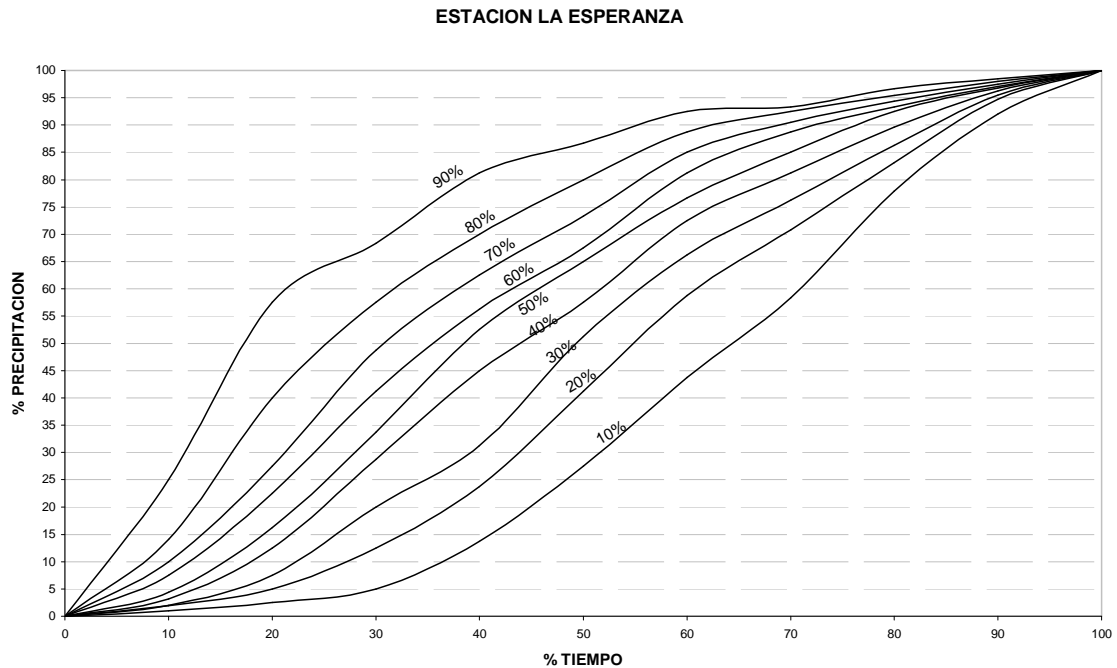


Gráfica 4.4 Distribución de Probabilidad 10% de Duración- Eventos 10 minutos Estación La Esperanza

Para las diferentes probabilidades de excedencia se interpoló gráficamente para evaluar el porcentaje de precipitación. Una vez obtenidos los porcentajes de precipitación para todas las probabilidades, y en todas las series correspondientes a porcentajes de duración, se producen las curvas de Huff, correspondiendo cada curva a los porcentajes de precipitación vs. Porcentajes de duración de la misma probabilidad de excedencia.

#### 4.1.4 Resultados.

En la gráfica 4.3 se muestran las curvas de Huff obtenidas para la estación La Esperanza a partir de los eventos con resolución temporal de 10 minutos.



Gráfica 4.5 Curvas de Huff- Estación La Esperanza

**Eventos con resolución temporal de 30 minutos.** Para estos eventos se intentó realizar una distribución porcentual de la precipitación en los porcentajes de duración correspondientes a las intensidades conocidas. Al realizar el cálculo de porcentajes de precipitación para las diferentes probabilidades, se obtuvo incongruencias que llevaban a interceptar curvas de Huff de diferente probabilidad y a mostrar pendientes negativas en las mismas. Esto se presenta debido a que para las distribuciones de frecuencia para cada duración no intervienen los mismos eventos y los resultados obtenidos no representan el comportamiento de un evento de lluvia.

#### **4.1.5 Confiabilidad de las Curvas.**

En la obtención de un conjunto de Curvas de Huff confiables intervienen factores como la cantidad y calidad de la información. Para efectos de las curvas de Huff calculadas para las cuatro estaciones: La Esperanza, El Rasgón, PTAR y Club Campestre, la calidad de los datos puede ser valorada a partir de la información consignada en el capítulo 1.

En la estación La Esperanza la información pluviográfica es dudosa, debido a la ubicación que tuvo el equipo de medida durante su operación, lo que a su vez incide en la confiabilidad de las curvas de Huff producidas.

En la estación El Rasgón no se reportó inconvenientes en la ubicación y operación de los equipos, por lo tanto la calidad de la información parece confiable. Así mismo, se contó con una cantidad aceptable de eventos y por lo tanto las curvas de Huff para esta estación son las más confiables.

En la estación PTAR se tuvo conocimiento de frecuentes inconvenientes en cuanto a la toma de lecturas, debido a esto la calidad de la información obtenida es dudosa al igual que las curvas de Huff. En cuanto a la cantidad de información, se obtuvo un número aceptable de eventos de lluvia.

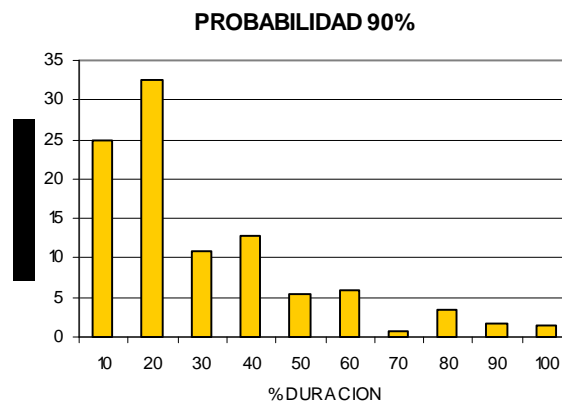
En la estación Club Campestre, se obtuvo poca información con alta resolución temporal (10 minutos) y esta es de dudosa veracidad debido a la presencia de vegetación de más de 2 metros de altura alrededor de la estación.

## **4.2 HIETOGRAMAS DE DISEÑO**

### **4.2.1 Parámetros para Construcción de Hietogramas**

Los hietogramas de diseño fueron obtenidos a partir de la interpretación de las curvas de Huff. Inicialmente, se obtuvieron hietogramas de cada curva de Huff, en función de los porcentajes de duración en intervalos de 10%.

La gráfica 4.4 muestra el hietograma de diseño con probabilidad de ocurrencia del 90% para la estación La Esperanza. El hietograma representa el patrón de lluvia por debajo del cual se encuentran el 90% de los eventos estudiados, o el límite que es igualado o excedido por el 10% de los eventos de precipitación.



Gráfica 4.4 Hietograma de Diseño-90% Probabilidad-Estación La Esperanza

Sin embargo, representar hietogramas en función del porcentaje de duración no resulta muy útil, ya que dependiendo de la duración del evento con el cual se desea diseñar se tendrá información con buena o mala resolución temporal. Es necesario entonces producir hietogramas para diferentes duraciones, cuya resolución temporal sea buena.

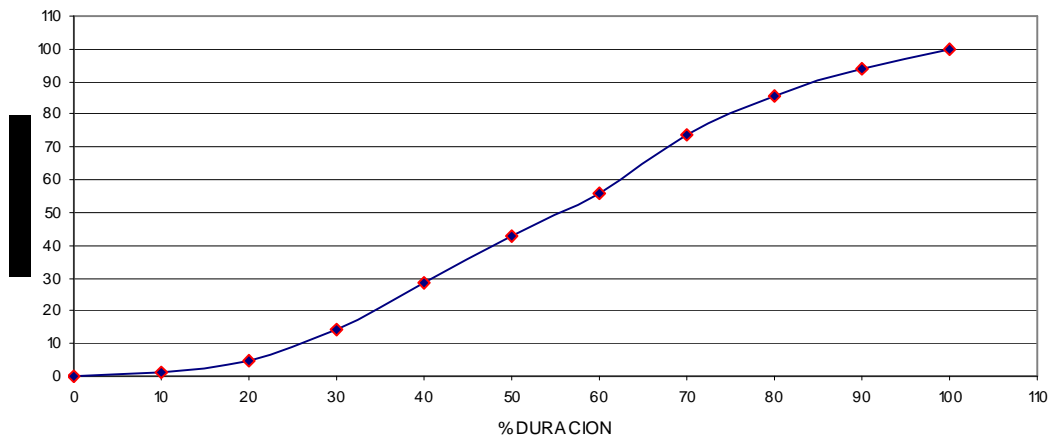
Para este efecto, se estableció generar hietogramas bajo los siguientes parámetros:

- La resolución temporal es de 10 minutos.
- La duración mínima es de 30 minutos, ya que es el tiempo mínimo observado que presenta eventos de lluvia bien desarrollados.
- La duración máxima trabajada es de 3 horas (180 minutos), la cual fue definida bajo el concepto de Tiempo de Concentración, considerando que en las pequeñas cuencas urbanas de la zona de estudio los tiempos de concentración son de este orden.

- Los hietogramas se generaron con incrementos en la duración total de 10 minutos.
- Este proceso se realizó para las curvas de Huff con probabilidad de excedencia de 90%, 50% y 10%.

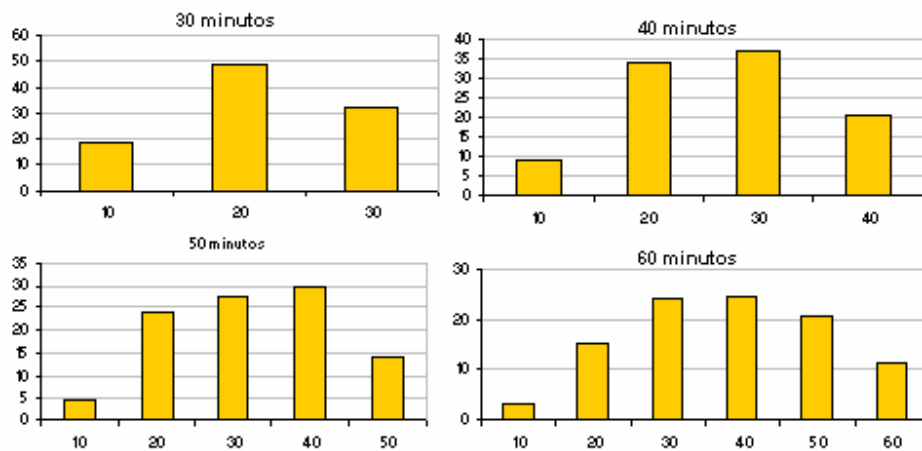
#### 4.2.2 Hietogramas para Diferentes Duraciones.

El proceso de construcción de hietogramas se realizó calculando los porcentajes acumulados de precipitación correspondientes a incrementos de 10 minutos, e interpolando gráficamente para dichos porcentajes de duración el porcentaje de precipitación.



Gráfica 4.5 Curva de Huff para probabilidad de Excedencia de 10% - Estación El Rasgón

En la gráfica 4.5 se muestra la Curva de Huff para probabilidad de excedencia del 10% en la estación El Rasgón. Interpolando gráficamente para los porcentajes presentados en la tabla 4.2, se obtienen los hietogramas mostrados en la gráfica 4.6, que corresponden a duraciones de 30 a 60 minutos.



Gráfica 4.6 Duracion vs %Precipitacion. Hietogramas para probabilidad de excedencia 10%- Estación El Rasgón.

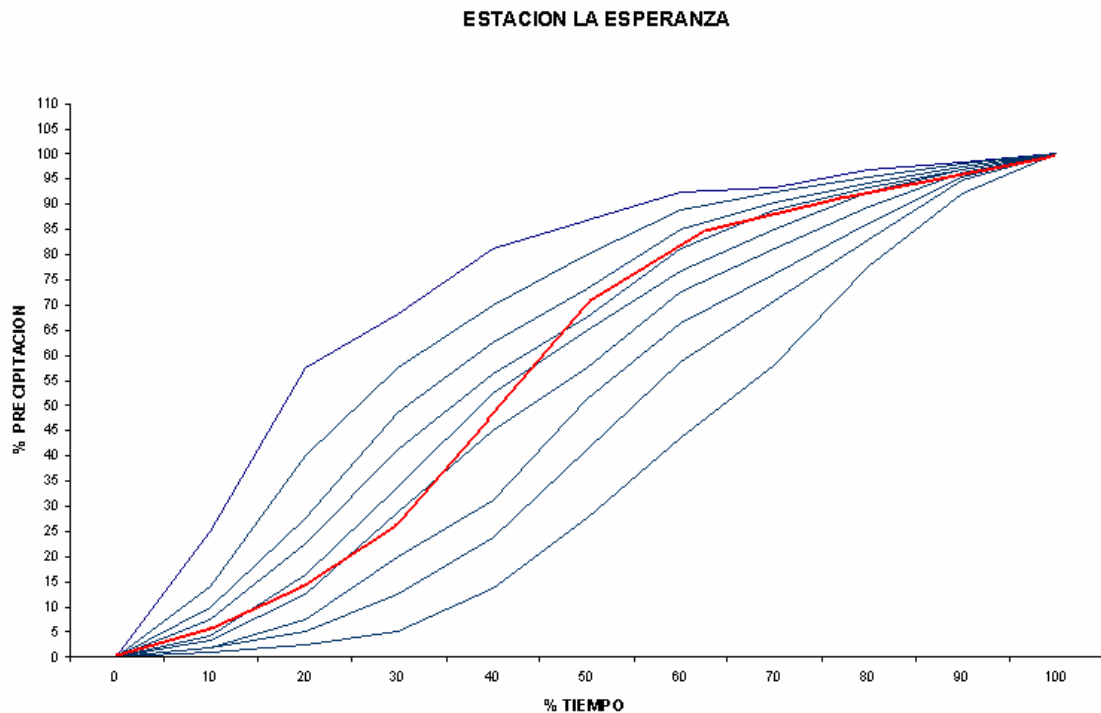
% DURACION	% PRECIP ACUMULADA	DURACION TOTAL (minutos)	DURACION ACUMULADA (minutos)	%PRECIPITACION PARCIAL
33.33	18.83	30	10	18.83
66.67	67.70		20	48.87
100.00	100.00		30	32.30
25.00	9.25	40	10	9.25
50.00	43.00		20	33.75
75.00	79.70		30	36.70
100.00	100.00		40	20.30
20.00	4.50	50	10	4.50
40.00	28.50		20	24.00
60.00	55.70		30	27.20
80.00	85.70		40	30.00
100.00	100.00		50	14.30
16.67	3.37	60	10	3.37
33.33	18.83		20	15.46
50.00	43.00		30	24.17
66.67	67.70		40	24.70
83.33	88.43		50	20.73
100.00	100.00		60	11.57

Tabla 4.21 Cálculo de Hietogramas- Probabilidad de excedencia de 10% - Estación El Rasgón

#### 4.2.3 Simulación Estocástica para Interpretación de Curvas de Huff.

Se ha propuesto anteriormente una metodología para interpretar las curvas de Huff en la obtención de curvas masa de eventos de lluvia, basada en la conservación de la probabilidad de ocurrencia durante todos los intervalos de tiempo del desarrollo del evento, lo que significa seguir una curva.

Diferente a lo anterior, Bonta, 2004, propone una metodología para obtener curvas masa de tormentas en la cual la probabilidad de ocurrencia para todos los intervalos de tiempo son independientes entre sí y aleatorios.

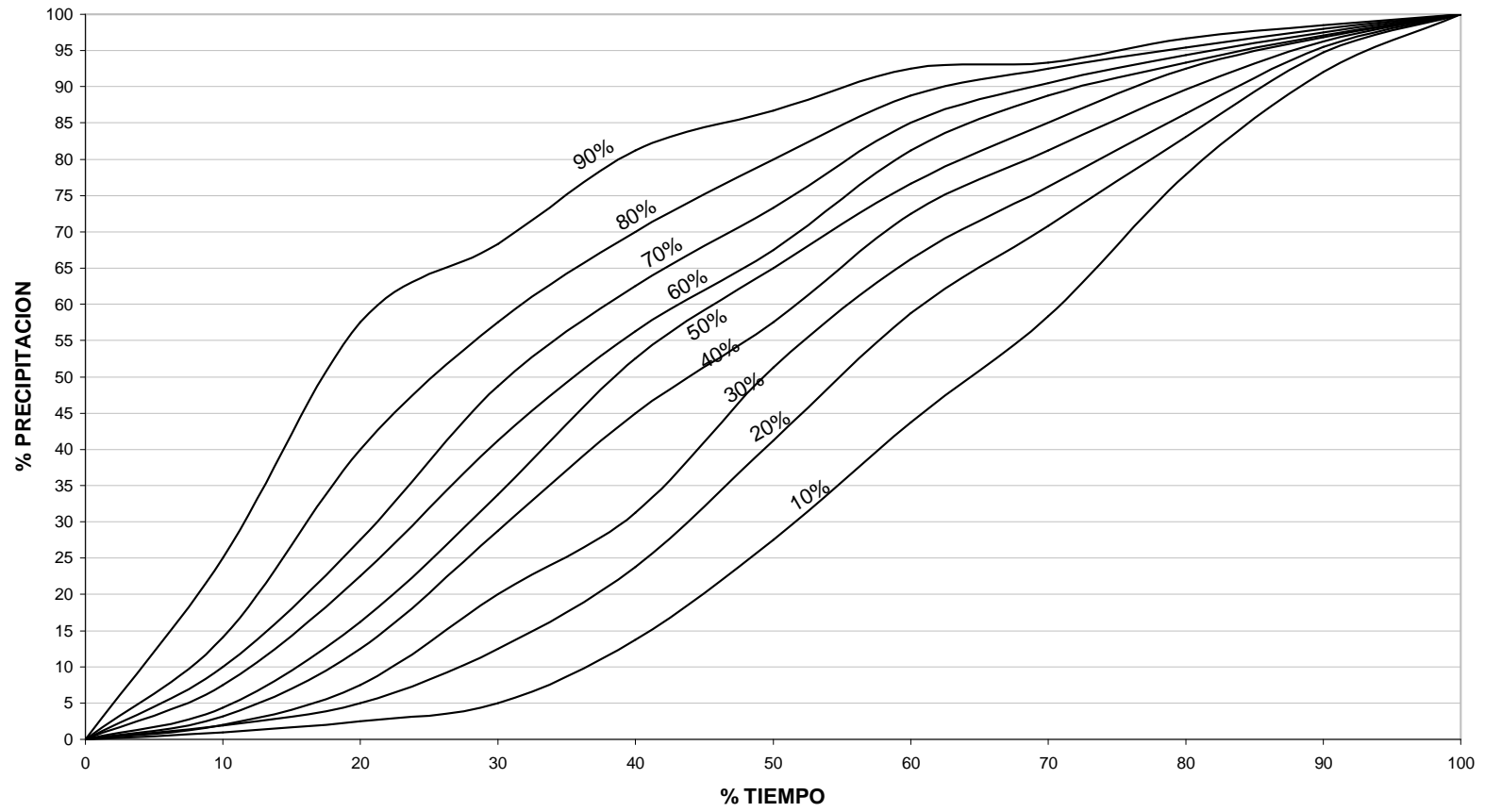


*Gráfica 4.7 Simulación Estocástica para Obtención de Curvas Masa de Tormentas*

En la gráfica 4.7, se muestran las curvas de Huff de la estación La Esperanza. El trazado rojo, corresponde a la curva masa de un evento de tormenta obtenido mediante la determinación de la probabilidad de excedencia por el Método de Montecarlo (aleatoriamente), para cada intervalo de 10% de la duración.

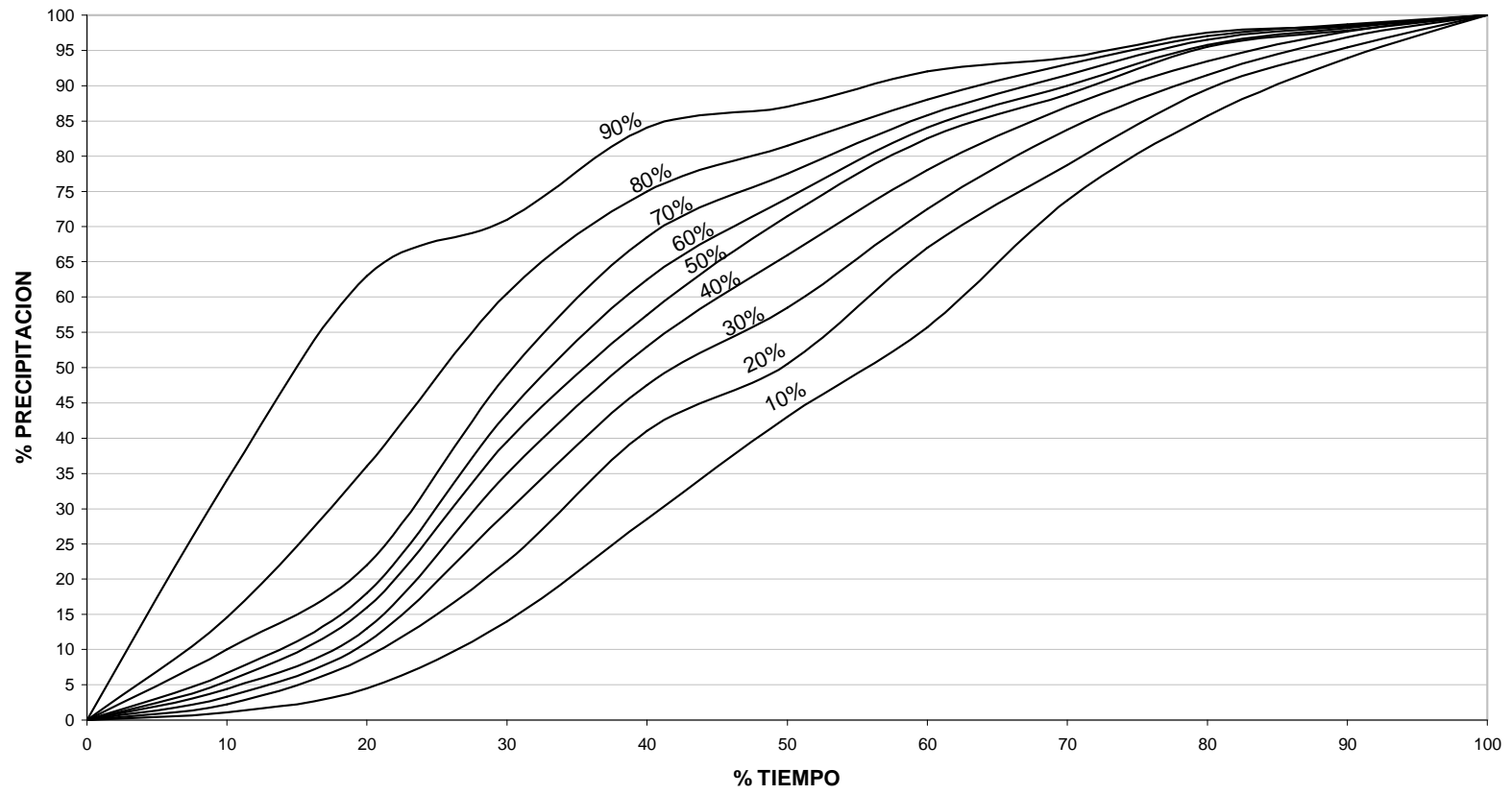
Al aplicar esta metodología para obtención de eventos de lluvia es importante tener en cuenta que existe una infinidad de posibles distribuciones internas de las intensidades en las tormentas, y por ello modelos fijos de diseño de tormentas no se encuentran disponibles. A continuación se presentan las curvas de Huff obtenidas para cada estación, las tablas de cálculo se muestran en los Anexos B y C.

### ESTACION LA ESPERANZA



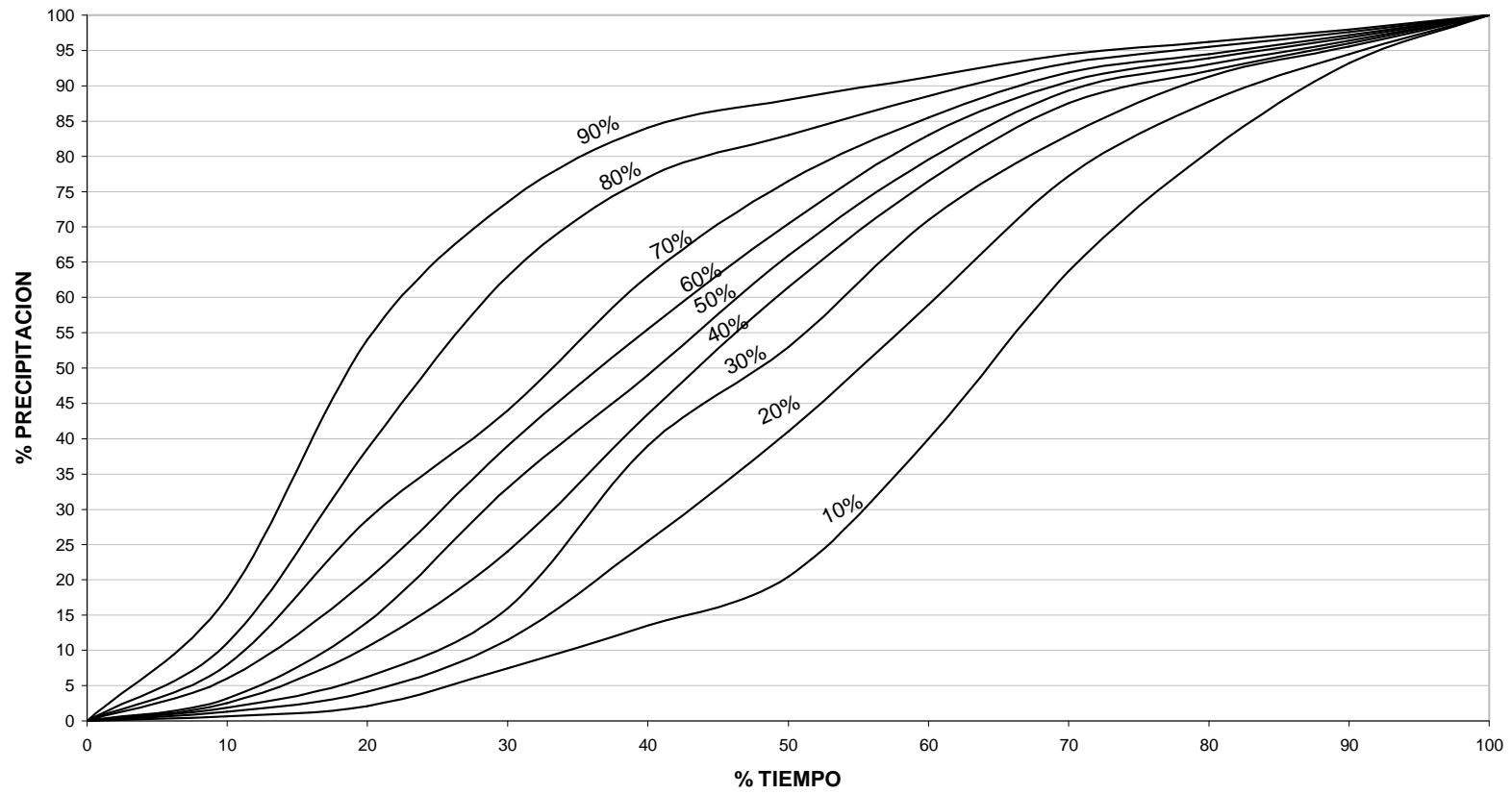
Gráfica 4.8 Curvas de Huff para la estación La Esperanza

### ESTACION EL RASGON



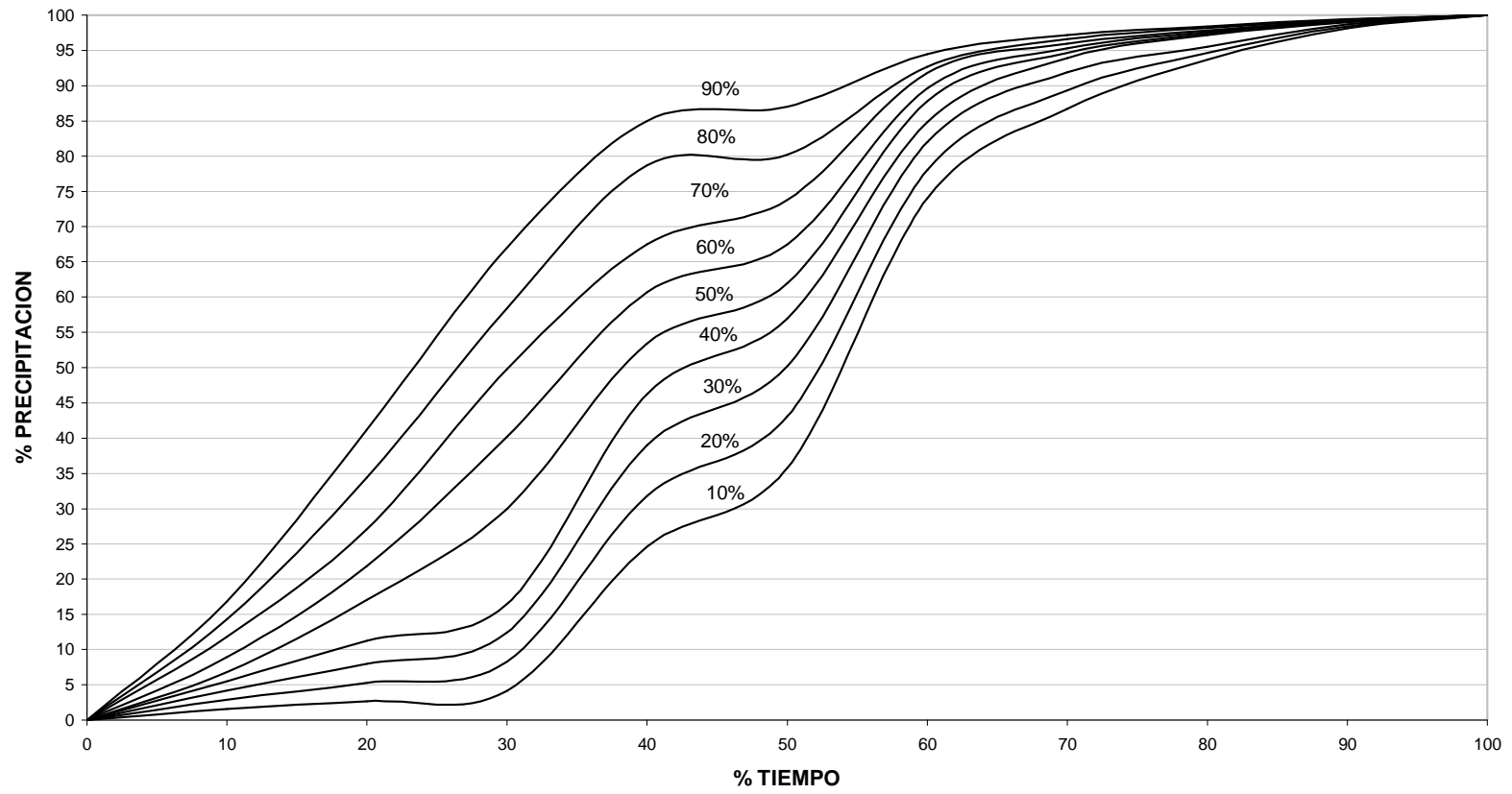
Gráfica 4.9 Curvas de Huff para la estación El Rasgón

### ESTACION PTAR TOTUMOS



Gráfica 4.10 Curvas de Huff para la estación PTAR o Totumos

### ESTACION CLUB CAMPESTRE



Gráfica 4.11 Curvas de Huff para la estación Club Campestre

## **5. ANALISIS DE INFORMACION**

### **5.1 APLICACIÓN DE LAS CURVAS DE HUFF**

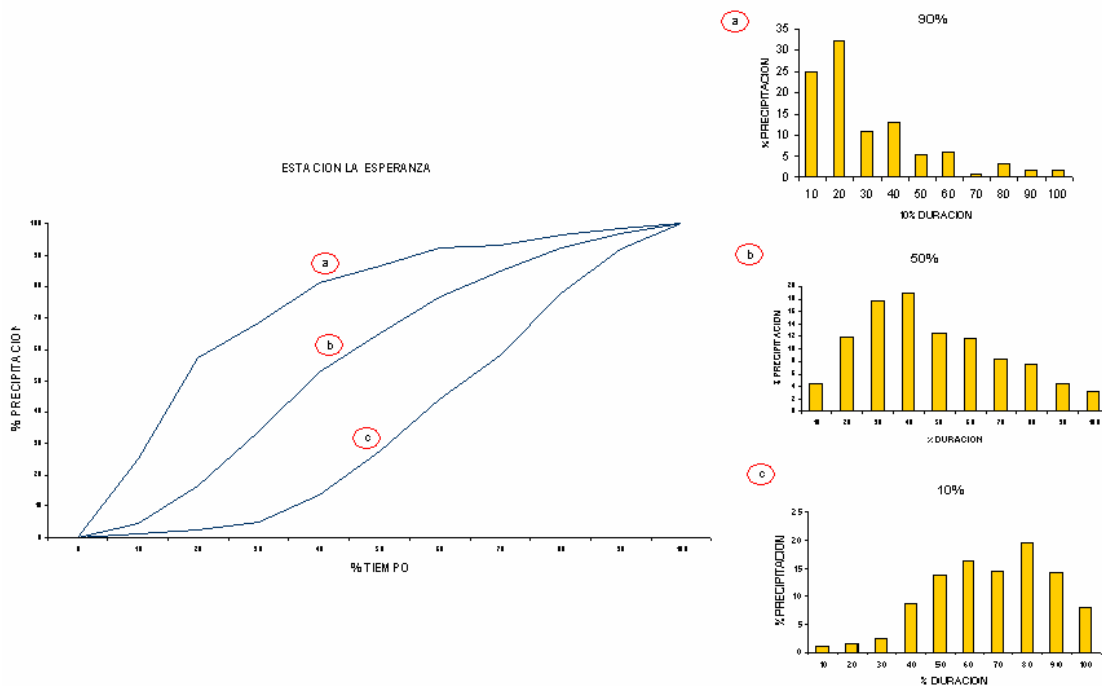
En la literatura encontrada con respecto a la aplicación de las curvas de Huff para la obtención de tormentas de diseño no se mencionan aún parámetros o criterios que permitan definir el proceso adecuado para tal fin.

En la gráfica 5.1 se muestran los hietogramas de precipitación obtenidos para las curvas de Huff con probabilidad de ocurrencia de 10%, 50% y 90%. El hietograma resultante para la probabilidad de ocurrencia del 90%, gráfica 5.1.a, presenta un régimen de precipitación con intensidades inicialmente altas y finalmente suaves, comportamiento típico de lluvias de tipo convectivo. El hietograma obtenido de la curva con probabilidad de ocurrencia del 50%, muestra un régimen de precipitación en el cual las intensidades más altas se alcanzan en el intermedio del desarrollo del evento (figura 5.1.b), con variabilidad baja entre las intensidades. Por último, de la curva con probabilidad de ocurrencia del 10%, se obtienen hietogramas de precipitación que muestran intensidades suaves al inicio del evento y terminan con intensidades altas (figura 5.1.c). Estas dos curvas (5.1.b y 5.1.c), presentan regímenes de precipitación que obedecen a lluvias de tipo orográfico.

#### **5.1.1 Influencia de los Patrones de Precipitación en Diferentes Áreas de Diseño.**

De acuerdo a lo anterior, es importante generar curvas de masa y/o hietogramas de precipitación que para efectos de diseño, represente una condición crítica.

- En el diseño hidrológico de crecientes, donde interesa la obtención de caudales producidos por un evento de lluvia, además de la precipitación intervienen muchos otros factores que afectan la respuesta de la cuenca. Entre ellos se pueden mencionar la tasa de infiltración de los suelos, la pendiente de los drenajes, la forma de la cuenca, la cual es un indicador de los tiempos de concentración, entre otros. Estos factores influyen de tal forma que para un evento de precipitación correspondiente a un determinado período de retorno, no corresponde la creciente del mismo período de retorno ya que la cuenca no siempre va a reaccionar de la misma forma. En el numeral 5.2 se muestran los resultados obtenidos de caudales generados por eventos de precipitación producidos por las curvas de Huff, y se comparan con los obtenidos para las curvas SCS tipo I y tipo III.



Gráfica 5.6 Patrones de Precipitación a partir de Curvas de Huff

- En los aspectos geotécnicos, la precipitación cobra gran importancia en la evaluación de estabilidad de suelos, taludes y/o laderas, ya que un patrón de precipitación de lluvias convectivas puede ocasionar una reacción distinta en los flujos subsuperficiales a la generada por las precipitaciones orográficas.

Esto debido a que en las lluvias convectivas, se presentan mayores intensidades mientras que en las lluvias orográficas la precipitación se distribuye más uniformemente en el tiempo, y son de más larga duración.

### **5.1.2 Ejemplo De Obtención De Una Tormenta De Diseño.**

Una de las grandes utilidades de las curvas de Huff, se presenta en cuencas pequeñas donde se presentan tiempos de concentración cortos, que pueden ser un indicativo de la duración del evento de lluvia de diseño.

Un ejemplo de aplicación es mencionado a continuación, para el cual la tormenta de diseño estará definida por las siguientes variables:

- Probabilidad de Ocurrencia
- Precipitación Total de la Tormenta
- Duración del Evento
- Evolución de las Intensidad de la lluvia durante el evento

La tormenta de diseño es para una zona cercana a la zona de influencia de la estación La Esperanza, por lo tanto la información a utilizar será la correspondiente a esta estación, y se asume una cuenca pequeña con Tiempo de Concentración de 2 horas.

La primera variable, la obtenemos a partir de la ecuación 3.1, para lo cual el dato de entrada es el período de retorno, que definiremos como 100 años. De acuerdo a esto, se obtiene un valor de probabilidad de ocurrencia de 0.01.

Para la obtención de la precipitación total de la tormenta para el período de retorno definido, se utiliza la ecuación 3.2, que define la distribución de probabilidad de Gumbel, para la cual  $X$  representa el valor de la precipitación y  $f(x)$  el valor de la probabilidad. Este proceso se realizó directamente en el software SPELL-STAT, y

el resultado obtenido fue 156.21 mm, analizando la serie de precipitaciones máximas multianuales de la estación La Esperanza. En cuanto a la duración del evento este será el correspondiente al Tiempo de Concentración de la cuenca, el cual fue definido inicialmente como 150 minutos.

El proceso siguiente, es producir el hietograma de diseño. Para ello, analizaremos las tres posibilidades que existen para las curvas de Huff con probabilidad de ocurrencia de 10%, 50% y 90%, a partir de los hietogramas generados para duración de 150 minutos, para lo cual el único procedimiento requerido es multiplicar los porcentajes calculados por la precipitación total del evento. (Ver anexo C).

TIEMPO (minutos)	% PRECIPITACION			PRECIPITACION (mm)		
	90% PROB	50% PROB	10% PROB	90% PROB	50% PROB	10% PROB
10	16.67	2.92	0.64	26.04	4.56	0.99
20	19.17	5.42	0.83	29.94	8.46	1.30
30	21.67	7.92	1.03	33.85	12.37	1.61
40	7.22	11.67	1.67	11.28	18.22	2.60
50	7.92	12.08	3.75	12.37	18.88	5.86
60	8.61	12.50	5.83	13.45	19.53	9.11
70	3.61	8.33	9.17	5.63	13.02	14.32
80	3.75	8.05	10.00	5.86	12.58	15.62
90	3.89	7.77	10.83	6.08	12.14	16.92
100	0.55	5.56	9.72	0.86	8.69	15.18
110	1.39	5.28	11.38	2.17	8.25	17.77
120	2.22	5.00	13.03	3.47	7.81	20.35
130	1.23	2.87	9.42	1.92	4.48	14.71
140	1.11	2.50	7.37	1.74	3.91	11.52
150	1.00	2.13	5.33	1.56	3.33	8.33
PRECIPITACION TOTAL				156.21	156.21	156.21
MAXIMA INTENSIDAD				33.85	19.53	20.35

Tabla 5.22 Calculo de Hietogramas para Precipitación Total de 156.21 mm y Duración de 150 minutos

En la figura 5.2 a 5.4, se presentan los respectivos hietogramas, en los cuales se observan las diferentes tendencias que se presentan en la evolución de las intensidades de acuerdo a la probabilidad de ocurrencia en la curva de Huff.

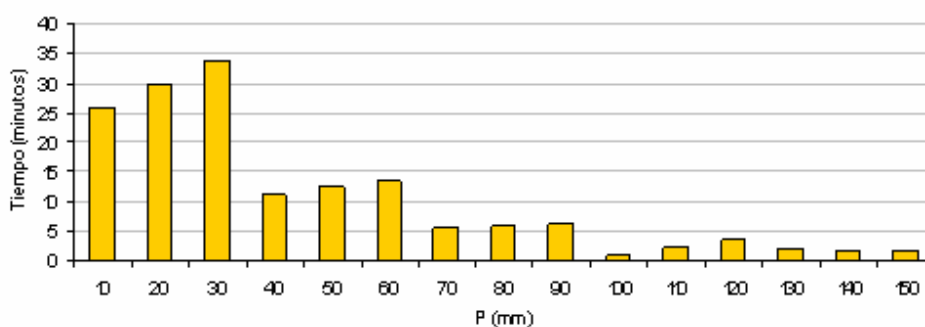
Como se puede observar en la tabla 5.1, la mayor intensidad se presentó con la distribución que produce la curva con probabilidad de ocurrencia del 90%. Sin

embargo, es importante analizar cual patrón de precipitación representa una condición más crítica en el momento de generar una creciente.

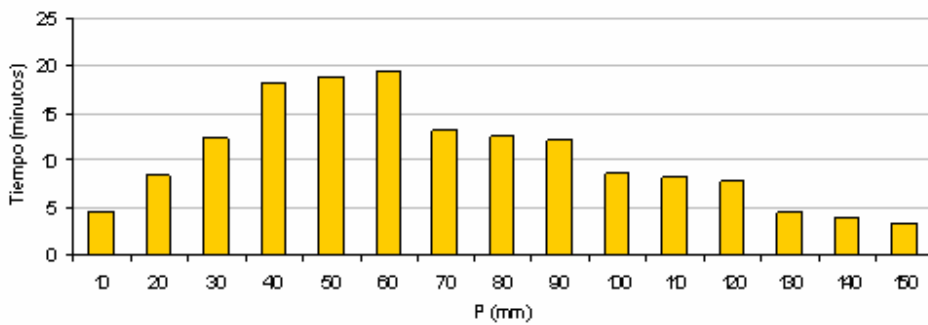
TIEMPO (minutos)	MAXIMAS INTENSIDADES (mm)		
	90% PROB	50% PROB	10% PROB
10	33.85	19.53	20.35
20	63.79	38.40	38.12
30	89.82	56.63	53.31

Tabla 5.23 Máximas Intensidades presentadas para 10, 20 y 30 minutos

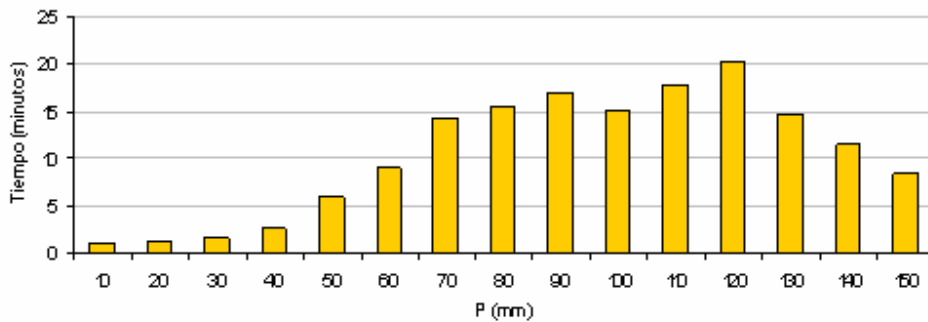
Las intensidades máximas que se presentan para los tres modelos de distribución se muestran en la tabla 5.2, en la cual se puede observar que para la distribución inicial, las intensidades para los tres intervalos de tiempo son las mayores. Al comparar los valores presentados en la tabla 5.2 con los de la tabla 3.2, se puede observar que los valores mas cercanos se presentan para el ajuste presentado por la curva de probabilidad del 10%.



Gráfica 5.7 Hietograma para Precipitación Total de 156.21 mm y Duración de 150 minutos Probabilidad de Ocurrencia de 90%



Gráfica 5.8 Hietograma para Precipitación Total de 156.21 mm y Duración 150 minutos Probabilidad de Ocurrencia de 50%



Gráfica 5.9 Hietogramas para Precipitación Total de 156.21 mm y Duración de 150 minutos Probabilidad de Ocurrencia de 10%

Los hietogramas obtenidos corresponden a eventos puntuales que en el momento de modelarse deben ser afectados por un factor de espacialización de acuerdo al área, de tal forma que se pueda obtener un evento de lluvia promedio para la cuenca. Esto debido a que las curvas de Huff utilizadas corresponden a la estandarización de eventos puntuales medidos en una misma estación.

## **5.2 CRECIENTES OBTENIDAS A PARTIR DE HIETOGRAMAS DE CURVAS DE HUFF, Y CURVAS SCS TIPO I Y TIPO III.**

Se realizó un análisis de las crecientes a partir de hietogramas de precipitación obtenidos para las curvas de Huff de 10%, 50% y 90% de probabilidad. Adicionalmente, se realizó el mismo procedimiento para las curvas de masa sintéticas SCS Tipo I y Tipo III.

### **5.2.1 Selección de Eventos a Modelar.**

En la gráfica 3.5 se muestran las características de duración y precipitación de los eventos extremos obtenidos en el procesamiento de información. A partir de esta gráfica se seleccionó los siguientes eventos para modelación:

30 minutos	36.5 mm
60 minutos	63.4 mm
180 minutos	87.6 mm

La duración de los eventos fue seleccionada teniendo en cuenta la duración más corta, y las duraciones mas frecuentes. Los valores de precipitación corresponden a los máximos presentados para cada duración.

El proceso de generación de los hidrogramas es explicado en el anexo F.

### **5.2.2 Resultados.**

En las gráficas 5.5 a 5.10 se muestran los hidrogramas obtenidos para los eventos de precipitación estudiados con duraciones de 30, 60 y 180 minutos, en la cuenca de Río Frío.

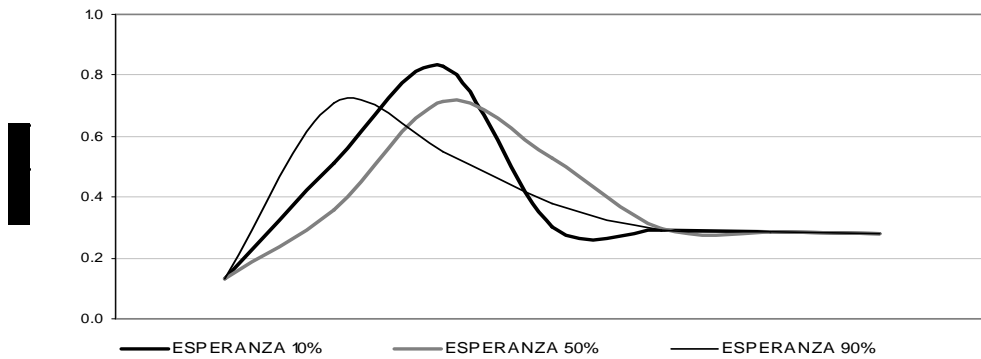
Los caudales máximos en mm/hora presentados en cada caso se muestran en la tabla 5.3.

	ESPERANZA 90%	ESPERANZA 50%	ESPERANZA 10%	PTAR 90%	PTAR 50%	PTAR 10%	SCS TIPO I	SCS TIPO III
Evento de calentamiento Caso 1								
30 minutos	0.708	0.714	0.828	0.755	0.772	0.808	0.861	0.866
60 minutos	0.948	0.859	1.066	1.183	0.912	1.088	1.183	1.217
180 minutos	0.851	0.662	0.824	1.068	0.733	0.817	1.068	1.617
Evento de calentamiento Caso 2								
30 minutos	0.834	0.762	1.038	0.726	0.658	1.043	0.725	0.673
60 minutos	1.605	1.458	1.795	2.046	1.504	1.815	1.513	1.482
180 minutos	1.423	1.002	1.170	1.485	1.028	1.222	1.805	2.836

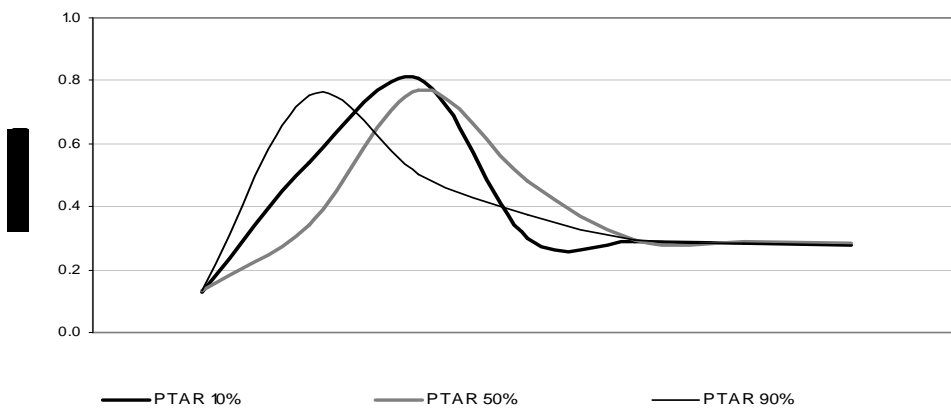
*Tabla 5.24 Caudales máximos en mm/h generados para eventos con diferente distribución de intensidades*

Para la obtención de los hidrogramas, previo al evento de estudio se introdujo dos casos de lluvia como eventos de calentamiento. El evento de calentamiento Caso 1, corresponde a un período de lluvias intermitentes durante 2 días, con características de intensidad en 10 minutos inferiores a 3mm. El Evento de calentamiento Caso 2, corresponde a lluvias de corta duración (hasta 1 hora) e intensidades de hasta 11 mm.

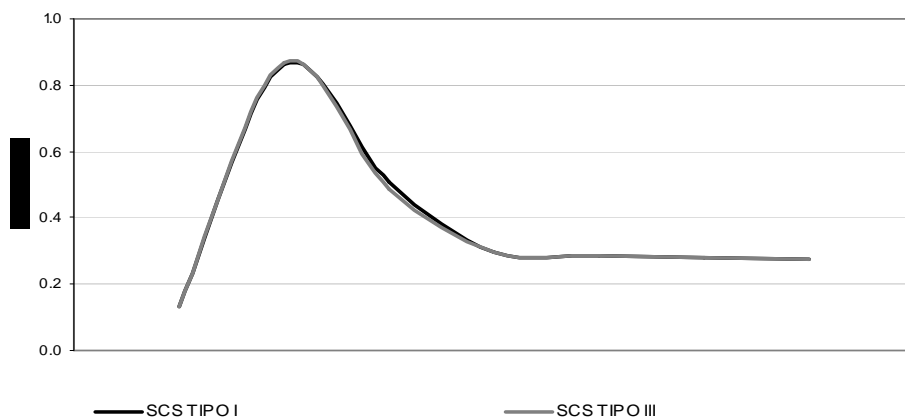
HIDROGRAMAS PARA EVENTO DE LLUVIA DE 36.5mm- 30 MIN  
ESTACION LA ESPERANZA



PTAR

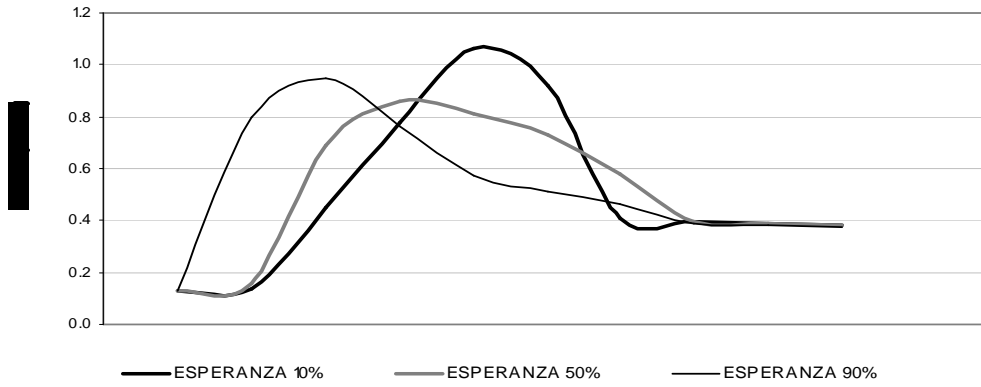


SCS

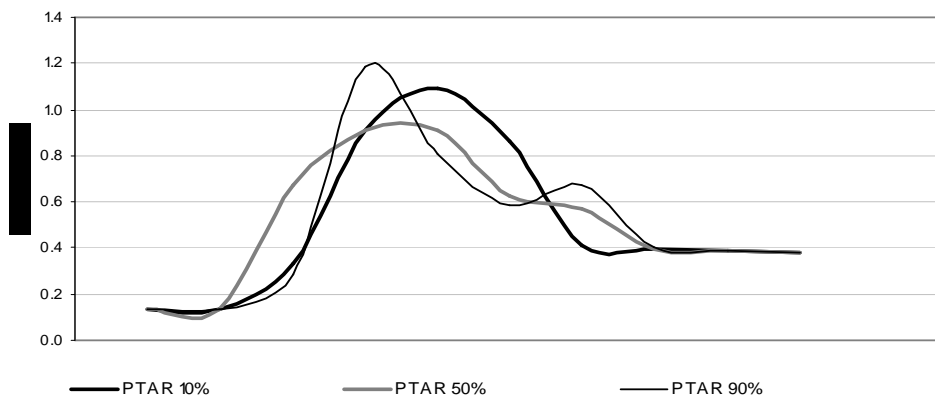


Gráfica 5.10 Hidrogramas para eventos modelados con duración 30 minutos- Caso calentamiento 1

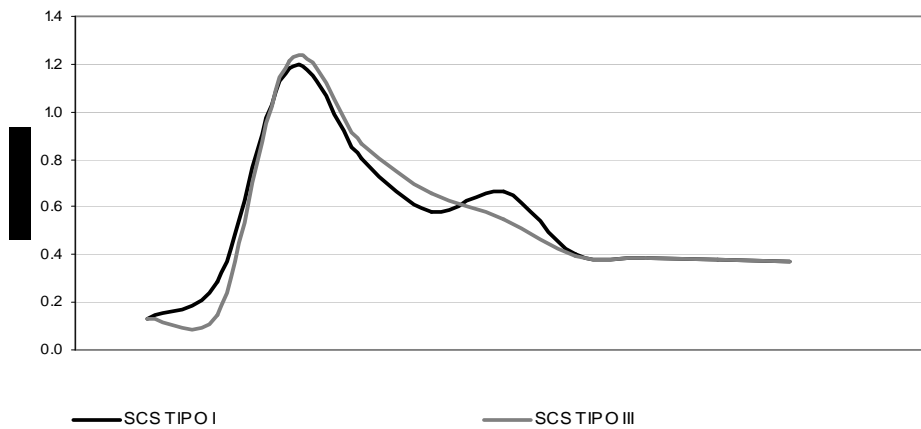
HIDROGRAMAS PARA EVENTO DE LLUVIA DE 63.4mm - 60 MIN  
ESTACION LA ESPERANZA



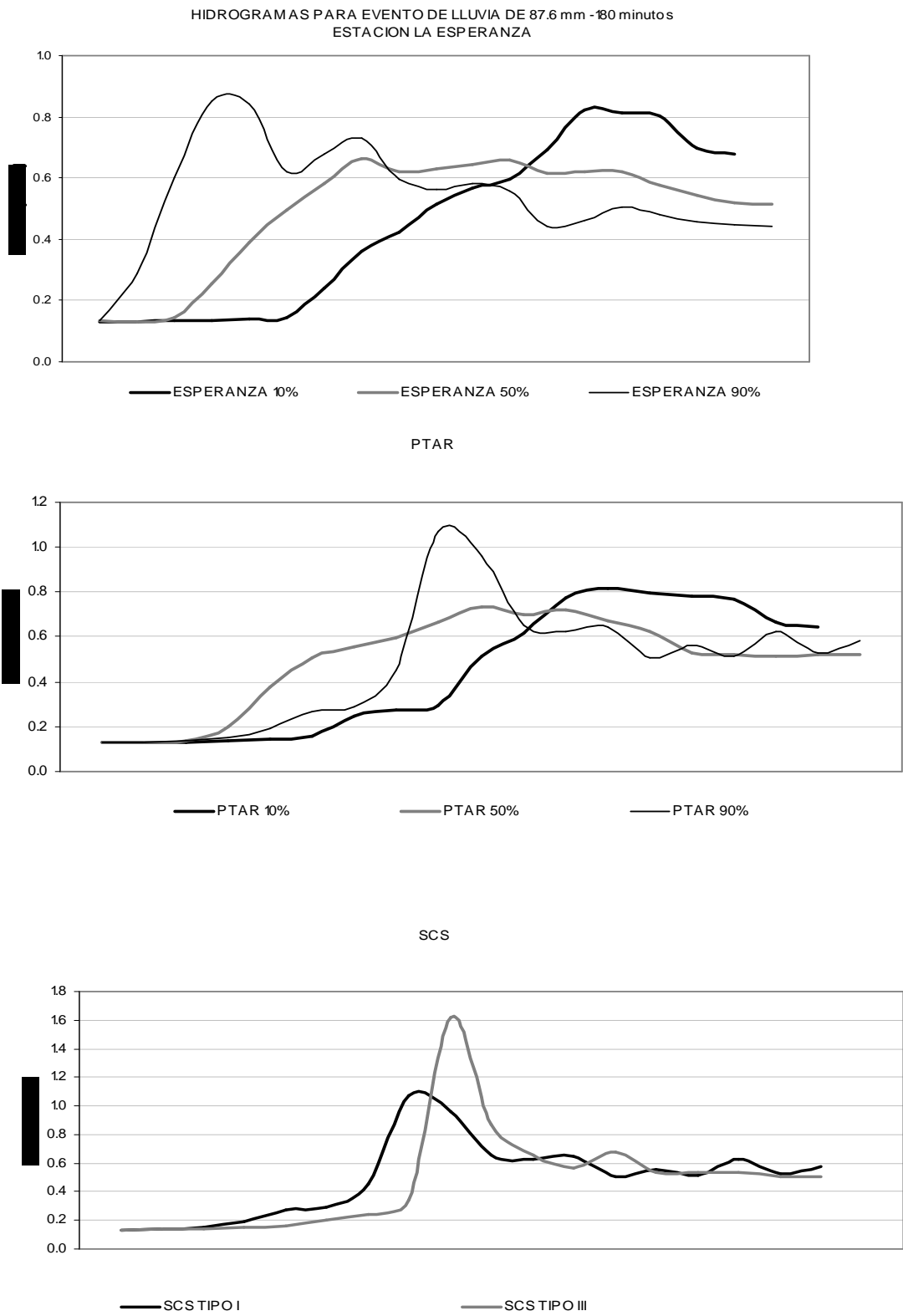
PTAR



SCS

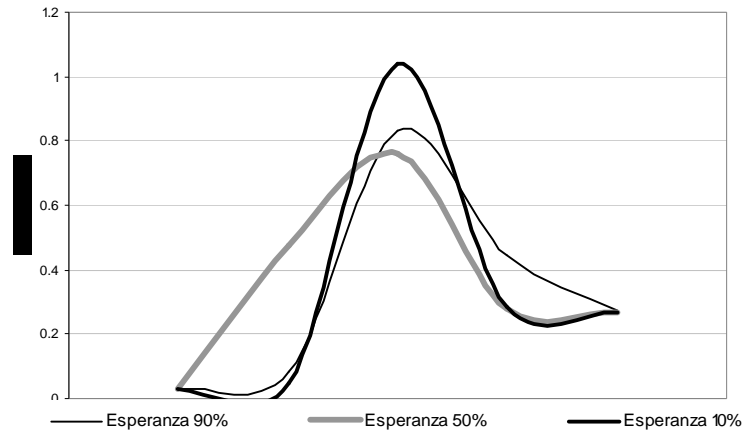


Gráfica 5.11 Hidrogramas para eventos modelados con duración 60 minutos- Caso calentamiento 1

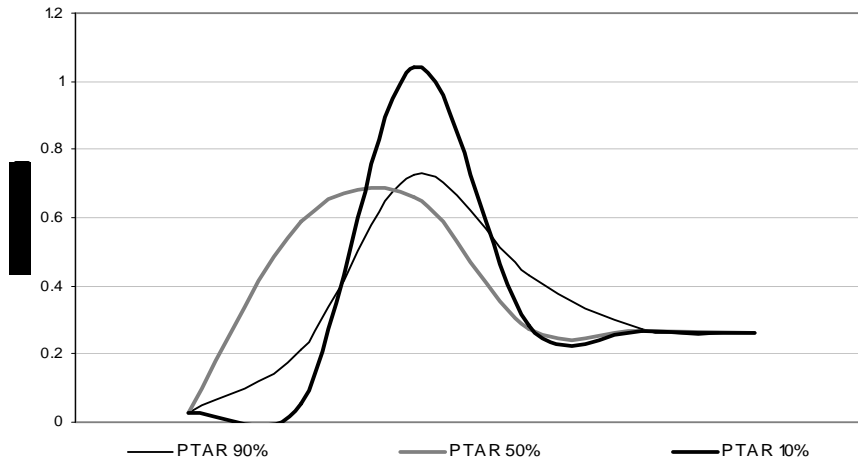


Gráfica 5.12 Hidrogramas para eventos modelados con duración 180 minutos- Caso calentamiento 1

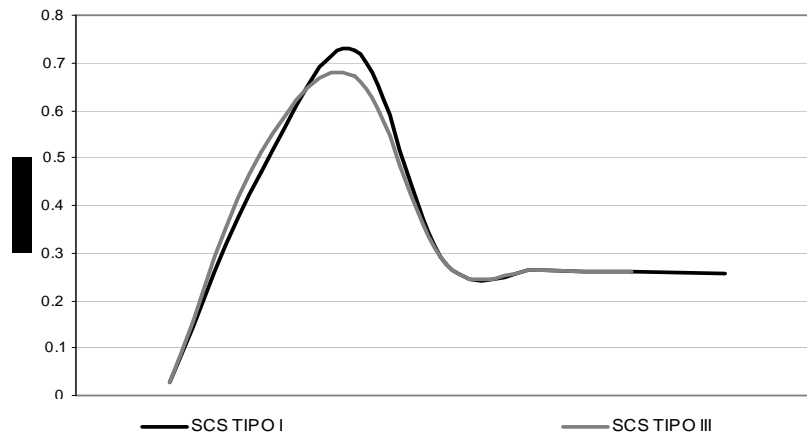
HIDROGRAMAS PARA EVENTO DE LLUVIA DE 36.5mm-30 MIN  
ESTACION LA ESPERANZA



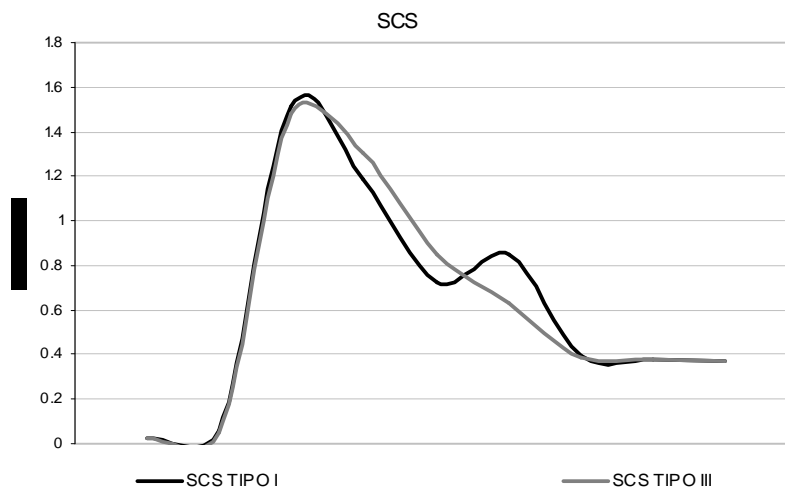
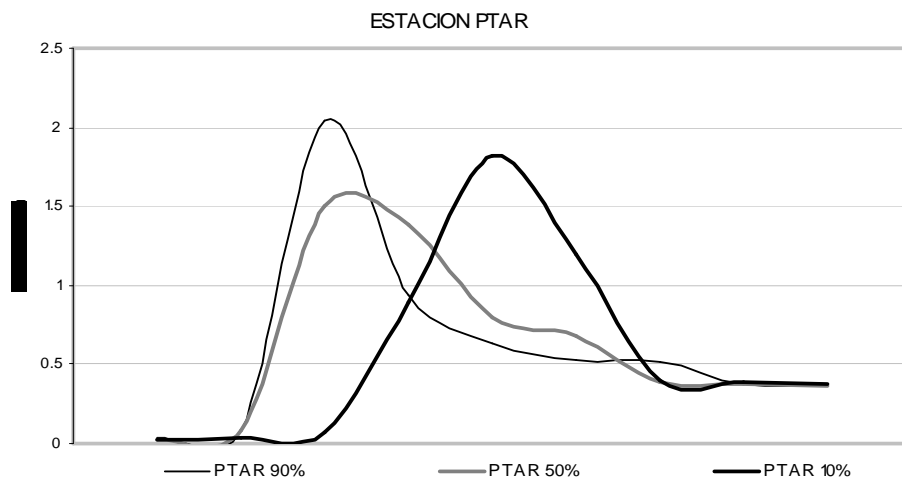
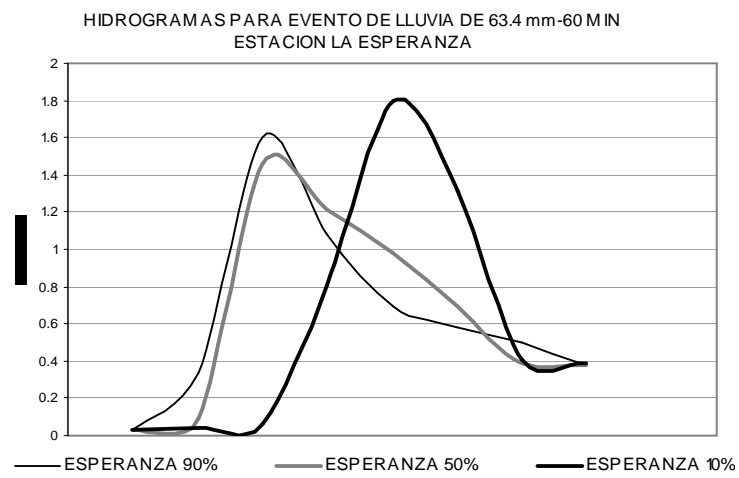
ESTACION PTAR



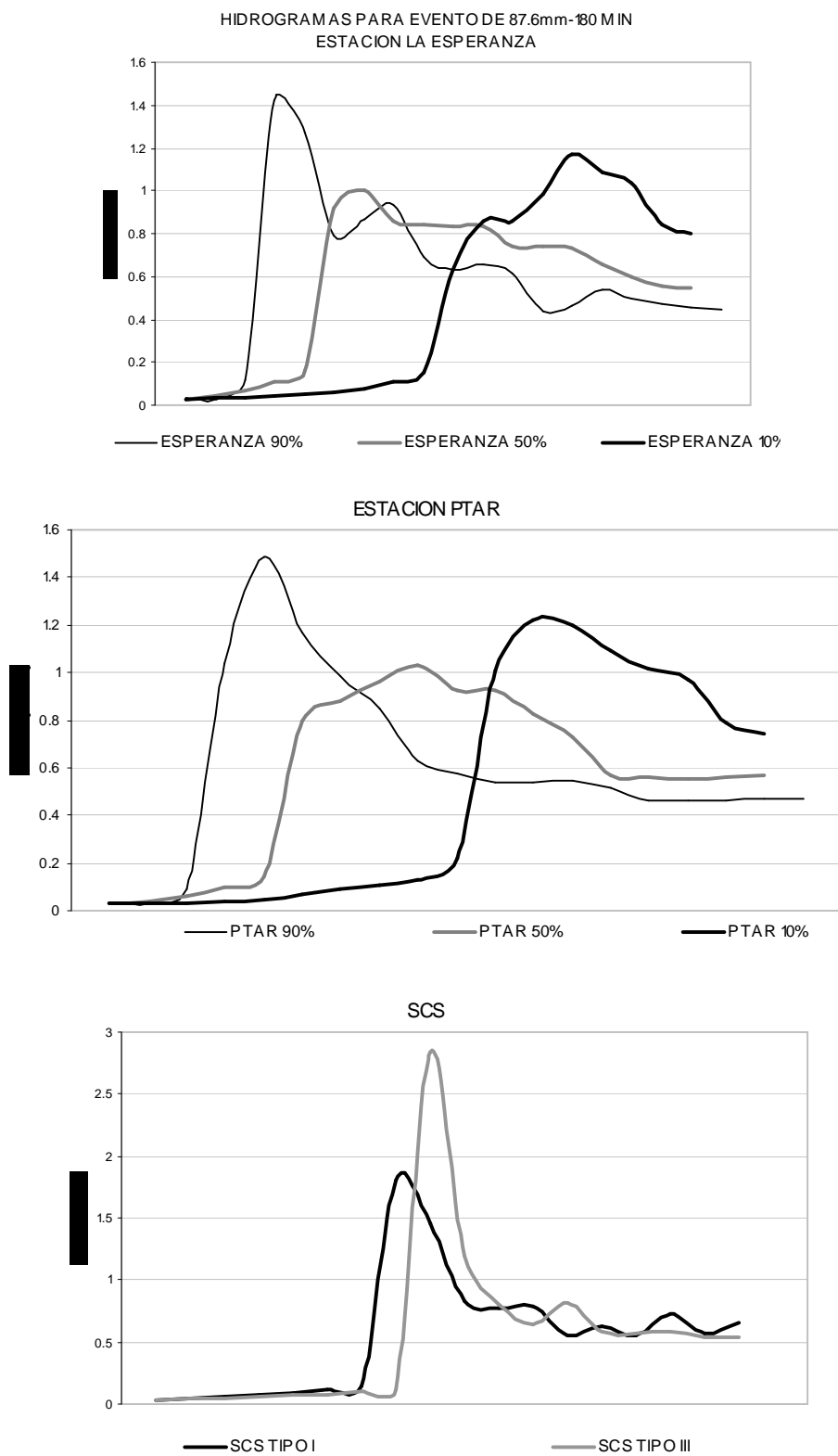
SCS



Gráfica 5.13 Hidrogramas para eventos modelados con duración 30 minutos- Caso calentamiento 2



Gráfica 5.14 Hidrogramas para eventos modelados con duración 60 minutos- Caso calentamiento 2



Gráfica 5.15 Hidrogramas para eventos modelados con duración 180 minutos- Caso calentamiento 2

De las gráficas 5.5 a 5.10 se puede observar:

- Los caudales presentados para los eventos modelados con el caso de calentamiento 1, fueron siempre menores que los obtenidos para los mismos eventos con el caso de calentamiento 2, lo que indica más crítica la situación de lluvias de grande intensidad y corta duración, previas a un evento extremo.
- Los caudales máximos observados se presentan para curvas de Huff con distribución de precipitación de 10% ó 90%.
- Se observa la disminución en la diferencia de los caudales picos obtenidos con las curvas de Huff a medida que se aumenta la duración. Igualmente, se puede notar que a medida que se aumenta la duración, los valores de intensidad correspondientes a la resolución temporal de 10 minutos también disminuyen su variabilidad, entre diferentes curvas de Huff.
- Curvas de Huff de diferente estación e igual valor de probabilidad, mostraron variabilidad en los caudales máximos presentados.
- Las curvas SCS presentaron mayores caudales para todas las duraciones en el evento de precipitación previa del Caso 1. Para el Caso 2, estas curvas únicamente presentaron el mayor caudal en el evento de 180 minutos.

### **5.3 CURVAS DE HUFF vs. MODELO RACIONAL**

Una metodología muy práctica para obtener relaciones Precipitación-Escorrentía es el modelo racional  $Q = c * i * A$ , donde las condiciones y dinámica de la cuenca se tienen en cuenta únicamente en la variable  $c$ , y la precipitación es considerada como la intensidad de lluvia promedio en la cuenca, medida en el tiempo de concentración de la misma. Debido a lo anterior, el modelo racional tiene

aplicabilidad para consideraciones de flujo permanente, lo cual es difícil de asumir en zonas de grandes áreas.

Es importante entonces comparar los caudales obtenidos a partir de la aplicación de este modelo, con los obtenidos mediante la modelación de un evento de lluvia en el cual se tenga en cuenta la evolución de éste en el tiempo. Para tal fin, se realizó el siguiente procedimiento:

1. Para los eventos modelados en el numeral 5.2, teniendo en cuenta el caso de calentamiento 2, se seleccionó para cada duración la distribución de lluvia correspondiente al caudal máximo presentado, siendo en cada caso los siguientes:

PTAR 10%	30 minutos (P = 36.5mm)
PTAR 90%	60 minutos (P = 63.4mm)
PTAR 90%	180 minutos (P = 87.6mm)

2. Para cada evento se evaluó el coeficiente de escorrentía (c), siendo este el cociente del volumen de escorrentía directa y el volumen total de precipitación. La información de flujo base es suministrada por el modelo NAM-GPH. Los valores de c, son mostrados a continuación:

Duración (minutos)	Ce	Q <sub>máx</sub> (mm/h)	i (mm/h)	P. T. (mm)
30	0.289	1.043	3.614290137	1.807145068
60	0.309	2.046	6.621597251	6.621597251
180	0.287	1.485	5.182175951	15.54652785

Tabla 5.25 Precipitación obtenida por el Modelo Racional

Como puede observarse, los valores de precipitación obtenidos por el método racional son muy pequeños comparados con los valores de precipitación que fueron ingresados en el modelo. Esto significa que el modelo racional producirá para este último valor de precipitación un caudal muchísimo mayor a los obtenidos en la modelación.

También se realizó el proceso contrario, en el cual para un mismo valor de precipitación se obtuvo los caudales por el método racional y mediante la modelación del hietograma. Para esto, el procedimiento realizado fue el siguiente:

1. Se evaluó el tiempo de concentración en la cuenca de Río Frío.

Método y Fecha	Fórmula	Valores
California Culverts Practice 1942	$t_c = 60(11.9L^3 / H)^{0.385}$ <p>L = longitud del curso de agua mas largo, mi H = diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida, pies tc = Tiempo de Concentración (minutos)</p>	<p>158.1123467 tc = 160 minutos L = 19.734 mi H = 7381.89 ft</p>

Tabla 5.26 Tiempo de Concentración para la cuenca de Río Frío

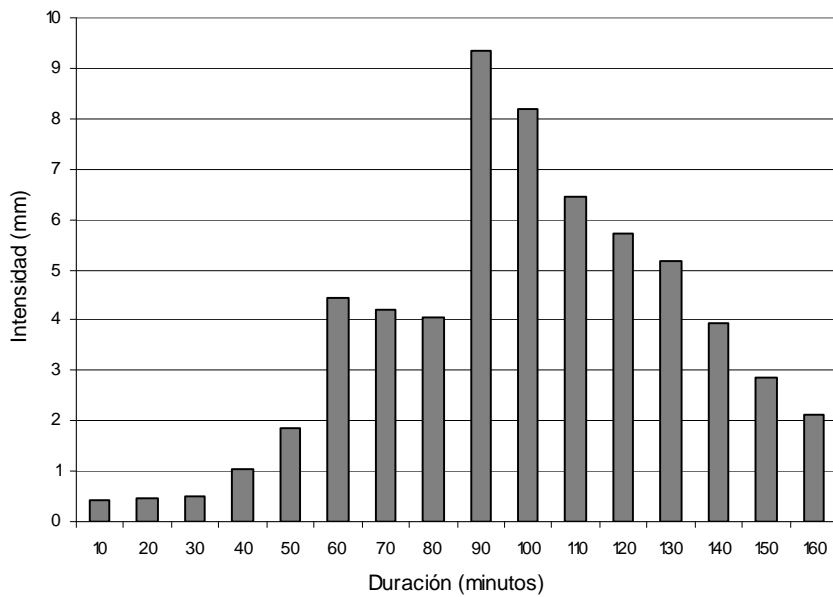
De acuerdo a lo anterior, para la cuenca de Río Frío el tiempo de concentración es de aproximadamente 160 minutos.

2. Para el tiempo de concentración se obtuvo las intensidades de las curvas IDF de la CDMB, para períodos de retorno de 10, 25 y 50 años. Asumiendo un coeficiente de escorrentía de 0.309 (el máximo obtenido anteriormente), y considerando un área de 122.24 Km<sup>2</sup>, se calculó los caudales pico en cada caso aplicando el modelo racional.

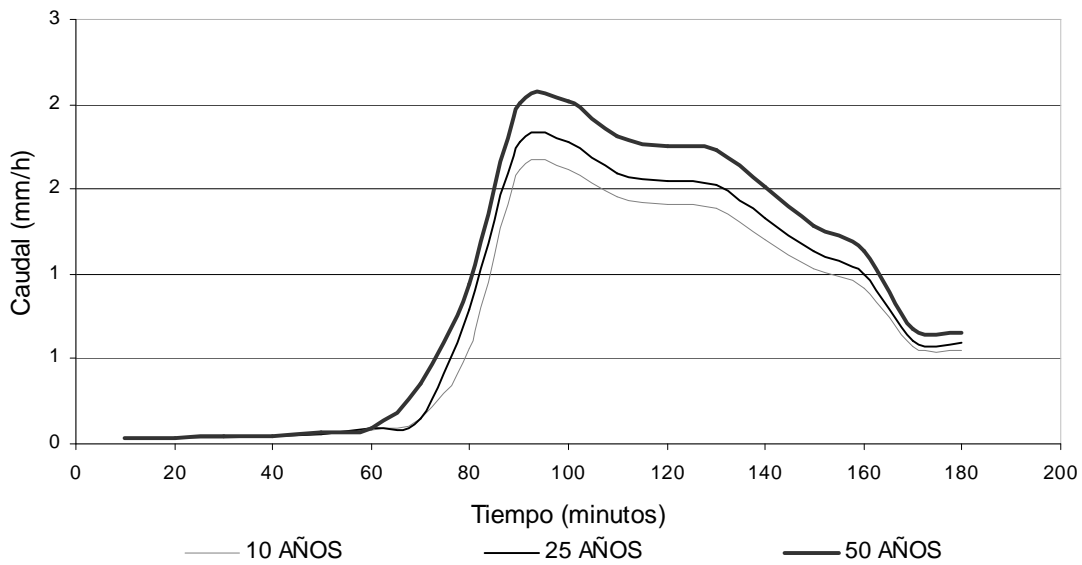
Periodo de Retorno	Intensidad (Lt/seg-Ha)	Coeficiente de Escorrentía	Q (m <sup>3</sup> /seg)
50 Años	140	0.309	239.0278
25 Años	125	0.309	213.4177
10 Años	115	0.309	196.3443

Tabla 5.27 Caudales obtenidos por Método Racional

3. Para los valores de precipitación correspondientes a cada período de retorno, se hizo una distribución de precipitación con duraciones de 160 minutos, para curvas de Huff del 90% de probabilidad en las estaciones PTAR, Club Campestre y La Esperanza, obteniendo una distribución promedio para la lluvia. Esta distribución fue modelada en NAM-GPH obteniendo los resultados que se muestran a continuación:



Gráfica 5.16 Evento Espacializado- Periodo de Retorno de 50 años



Gráfica 5.17 Hidrogramas de Respuesta Modelados

TIEMPO (minutos)	Caudal (mm/h)		
	50 AÑOS	25 AÑOS	10 AÑOS
CAUDAL PICO (mm/h)	2.0151	1.7737	1.622320803
CAUDAL PICO (m <sup>3</sup> /seg)	68.42	60.23	55.08680416
MET. RACIONAL(m <sup>3</sup> /seg)	239.03	213.42	196.3442934

Tabla 5.28 Caudales obtenidos

Como puede observarse en la tabla 5.7, los caudales obtenidos por el modelo racional son 300% más grandes que los obtenidos mediante la modelación, siendo los dos caudales posibles. Sin embargo, esperar caudales del orden de 200 m<sup>3</sup>/seg en la cuenca de Río Frío resulta fácil para condiciones de la cuenca que induzcan a un coeficiente de escorrentía mayor a 0.3, mientras que caudales del orden de 60 m<sup>3</sup>/seg son valores mucho más reales para la cuenca analizada.

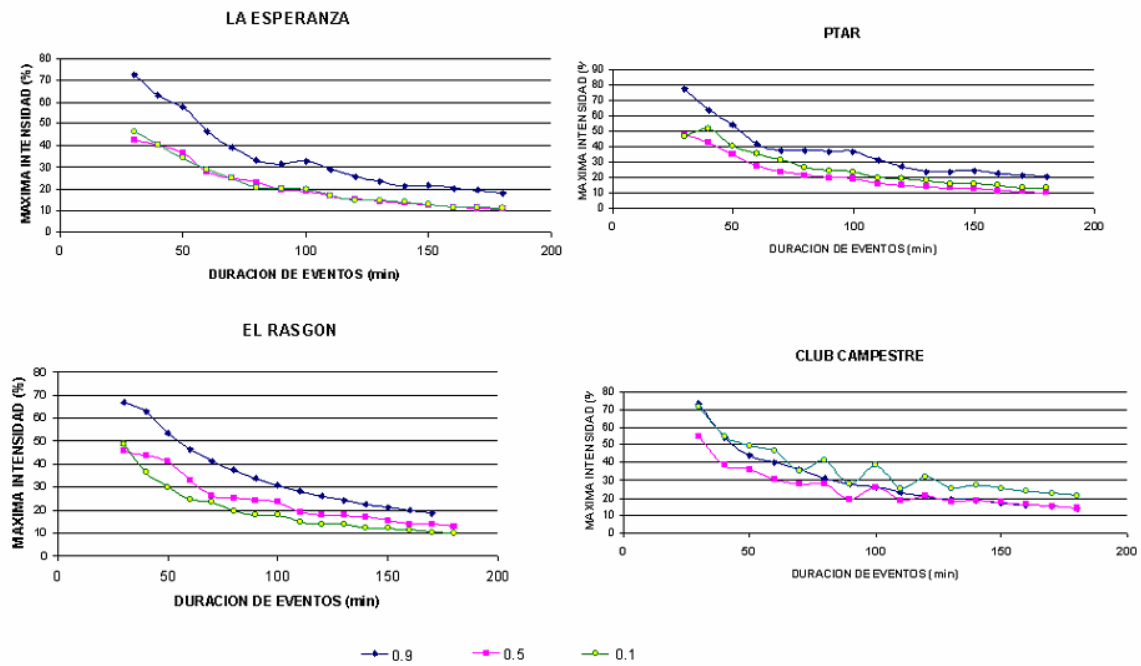
Lo anterior comprueba entonces que el modelo racional es un método sensible al área de aplicación, presentando aplicabilidad a zonas pequeñas, y a medida que se aumenta el área, los valores resultantes son excesivamente mayorados, debido a la suposición de condición de flujo uniforme, la cual es menos posible mientras se aumente el área de estudio.

#### **5.4 PENDIENTE DE LAS CURVAS DE HUFF**

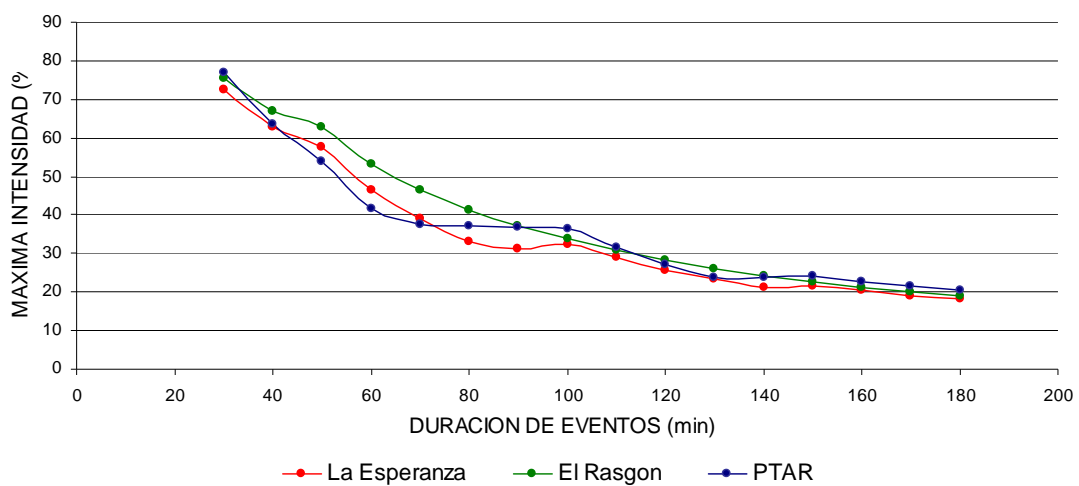
En las curvas de Huff, las cuales son curvas masa estándar del comportamiento de los eventos extremos, la derivada del porcentaje de precipitación con respecto al porcentaje de duración, que es lo mismo que la pendiente de las curvas, corresponden a la intensidad presentada en cada intervalo. En las curvas de Huff, y en los hietogramas de precipitación se puede observar que las curvas de 90% y 10% de probabilidad de ocurrencia, presentan las pendientes más altas al inicio y final de la curva respectivamente.

En la gráfica 5.13, se observan las intensidades máximas que se presentan para las diferentes duraciones (30 a 180 minutos), según las curvas de Huff de 90%, 50% y 10%. Como puede notarse, las intensidades máximas para todas las duraciones se presentaron para la curva de Huff con probabilidad de 90%, a excepción de Club Campestre, donde las mayores intensidades se obtienen para la curva de Huff del 10%.

Para la estación La Esperanza, las curvas de Huff de 50% y 10% arrojan intensidades máximas muy cercanas para eventos con la misma duración y precipitación, solo que estas intensidades máximas se ubican en intervalos de tiempo distintos del desarrollo del evento para cada curva de Huff.



Gráfica 5.18 Máximas Intensidades Presentadas en los eventos con duraciones entre 30 y 180 minutos, para probabilidades de 0.9, 0.5 y 0.1



Gráfica 5.19 Máximas Intensidades de Cada Estación

En la gráfica 5.14, donde se presentan las máximas intensidades por cualquier distribución que se obtiene en cada estación, se puede observar que en la estación El Rasgón, se producen hietogramas que presentan mayores intensidades que en las demás estaciones para eventos con duración de hasta 90 minutos. Para los eventos con duraciones de 100 minutos en adelante, la variabilidad presentada en las intensidades máximas de hietogramas es poca, presentándose las menores intensidades máximas en la estación La Esperanza.

Las curva de máximas intensidades en función de la duración de los eventos para la estación Club Campestre, ver gráfica5.13, reflejan un comportamiento distinto comparado con el de las demás estaciones, evidenciando la poca confiabilidad de las curvas de Huff cuando se cuenta con escasa información para producirlas.

## **5.5 ESPACIALIZACIÓN DE LAS CURVAS DE HUFF**

Hasta el momento, las curvas de Huff obtenidas representan el comportamiento característico de los eventos extremos en cuatro puntos correspondientes a los de la ubicación de las respectivas estaciones. Es importante entonces, espacializar las curvas obtenidas de tal forma que se pueda obtener hietogramas en cualquier punto de la zona estudiada.

Para realizar la espacialización de las curvas de Huff en la cuenca del Río de Oro, es importante tener en cuenta también las condiciones críticas que pueden ocasionar mayor escorrentía, por lo tanto deben tenerse en cuenta aspectos como:

- Se debe interpolar con los valores de porcentaje de precipitación acumulada obtenidas para cada porcentaje de duración en las curvas de Huff.

- Se debe tener en cuenta que no necesariamente se espacializa la información con porcentajes para la misma probabilidad de ocurrencia en todas las estaciones, sino que estas pueden ser distintas planteando las condiciones de lluvia intensa aguas arriba y lluvia suave aguas abajo, viceversa o en las condiciones de lluvia deseadas.
- El resultado de la espacialización es un plano de isoyetas para cada intervalo de porcentaje de duración acumulada que muestre porcentajes de precipitación acumulada dentro del área de influencia de las estaciones.

En la figura 5.1, se muestran las estaciones trabajadas de las cuales se obtuvieron curvas de Huff. Como se puede observar las estaciones se encuentran ubicadas de tal forma que el área encerrada es muy pequeña ya que se encuentran alineadas, por tal motivo la espacialización de la información no se puede realizar.



*Figura 5.7 Alineación de las Estaciones*

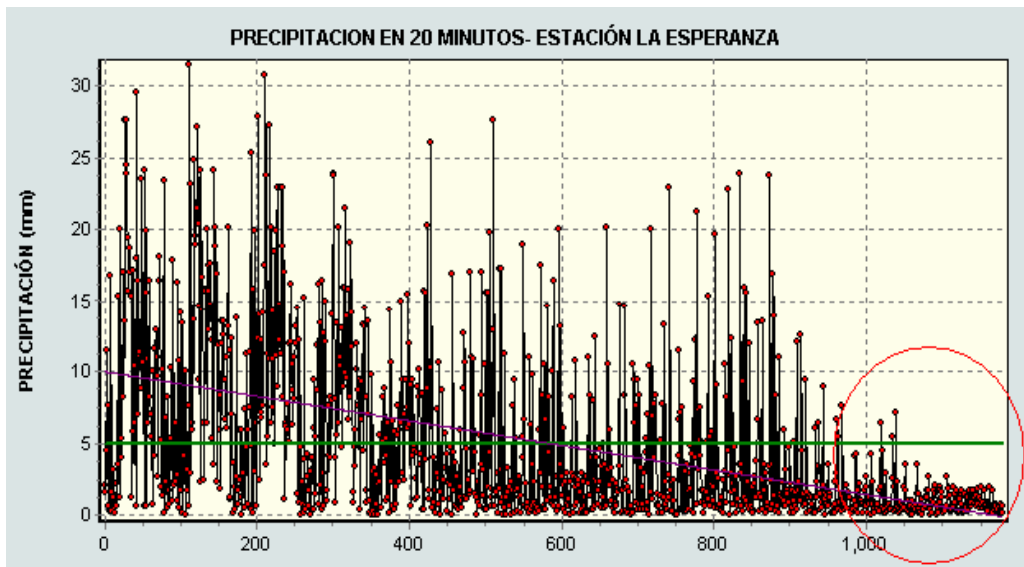
Esta ubicación sugiere la necesidad de información con la calidad requerida para producir curvas de Huff en puntos más estratégicamente ubicados en el área de la cuenca y resalta la importancia de las mediciones de pluviosidad.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 CONCLUSIONES

- El procesamiento de la información pluviográfica cobra una gran importancia en la obtención de curvas de Huff, ya que esta debe representar lo mas acertadamente la evolución real de las tormentas registradas, y en los pluviogramas se presentan muchas anomalías que deben saberse interpretar para no alterar el comportamiento real de los eventos.
- Para la construcción de curvas de Huff, se requiere de información pluviográfica con alta resolución temporal (10 minutos), ya que la información pluviográfica de 30 minutos y 1 hora, genera incongruencias en las curvas representadas en intersecciones entre curvas de Huff de diferente probabilidad. Esto, debido a que para los eventos de lluvia típicos de la zona, 30 minutos y 1 hora representan porcentajes grandes de la duración total de los eventos.
- No se puede definir un criterio que permita escoger la curva de Huff de diseño, sin embargo, de acuerdo a la forma de los hietogramas, existen herramientas que permiten realizar modelaciones rápidamente de flujos no permanentes, de tal forma que en la escogencia de un patrón de precipitación para efectos de diseño, se pueda evaluar varias alternativas de lluvia y se pueda apreciar la situación mas crítica para el caso específico de estudio.
- No se observó limitaciones en la obtención de hietogramas de precipitación con cualquier resolución temporal.

- Se observó en el estudio de intensidades que los eventos extremos finalizan con intensidades bajas, presentándose las mayores intensidades en los primeros intervalos de tiempo de duración del mismo. Este comportamiento se evidencia en la gráfica 6.1, en la cual se muestran consecutivamente las intensidades en orden de ocurrencia de todos los eventos. Este comportamiento se evidenció en todas las estaciones.
- Las curvas de Huff no representan eventos de lluvia, sino que muestran el rango en el cual se pueden presentar eventos extremos.



Gráfica 6.1 Comportamiento evolutivo de intensidades dentro de los eventos de lluvia

- La espacialización de las curvas de Huff, es un mecanismo útil que permite producir patrones de precipitación en zonas donde no se cuenta con información. Sin embargo, este proceso requiere que las estaciones o puntos donde se cuenta con información, estén distribuidos espacialmente en el área de estudio, ya que distribuciones lineales de estos puntos solo permiten definir patrones de precipitación a lo largo de la línea.
- Haciendo un análisis a las intensidades presentes en algunas zonas de las curvas de huff se comprobó que las más altas se presentan para las curvas

de probabilidad del 90%, por lo tanto se enlaza al hecho de que las lluvias de tipo convectivo son mas intensas que las de régimen orográfico.

- El análisis de la relación de la intensidad máxima con respecto a la precipitación total de 24 horas, es una herramienta útil para estimar precipitaciones totales de eventos con corta duración.

## **6.2 RECOMENDACIONES**

- Realizar un estudio de evaluación de “Mínimos períodos Secos”, que permitan establecer un parámetro claro para la independización de los eventos de lluvia, y se evalúe la variabilidad de las curvas de Huff, aplicando este criterio.
- Recopilar información pluviográfica con resolución temporal de 10 minutos, en zonas que permitan en un futuro realizar una espacialización de curvas de Huff para toda la cuenca del Río de Oro.
- Actualizar el presente estudio con investigación que permita establecer parámetros como la cantidad mínima de eventos de lluvia requeridos para producir curvas de Huff representativas.
- Evaluar el comportamiento de las curvas de Huff, para eventos extremos característicos de cada estación invernal del año.

## Bibliografía

- Ana Cecilia Arbeláez A., María Victoria Vélez O. y Ricardo Smith Q.** Diseño hidrológico con información escasa un caso de estudio: Río San Carlos. Postgrado en Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín.
- Bonta, J. V. 2004.** Stochastic simulation of storm occurrence, depth, duration, and within-storm intensities. Transactions of the ASAE. Vol. 47(5):1573-1584
- Bonta, J. V. 2004.** Development and utility of Huff curves for disaggregating precipitation amounts. Applied Engineering in Agriculture. Vol. 20(5):641-653
- Bonta, J. V., and A. R. Rao. 1988.** Factors affecting the identification of independent storms events. Journal of Hydrology 98: 275–293
- Desa, M., Shaffy, M., Mohamed, K. and Lateh.** Hydrological network and measured rainfall variability in tioman island. The Regional Humid Tropics Hydrology and Water Resources Centre for Southeast Asia and the Pacific (HTC Kuala Lumpur) and Department of Irrigation and Drainage Pahang Darul Makmur.
- Duarte, Daniel. 2002.** Estudio de valores extremos de precipitación en la cuenca del río de oro. Tesis de grado. Universidad Industrial de Santander.
- FLOYD A. HUFF. 1990.** Time Distributions of Heavy Rainstorms in Illinois. State of Illinois, Department of Energy and Natural Resources. Circular 173
- Geotecnología LTDA y CDMB. Julio de 2005.** Documento de Diagnóstico, Amenazas de Inundación y Erosión en el Río de Oro. Capítulo 9 Meteorología y eventos lluviosos extraordinarios, Capítulo 10 Análisis de la información hidrológica.
- Predrag Prodanovic and Slobodan P. Simonovic. Nov. 2004.** Generation of synthetic design storms for the Upper Thames River basin. CFCAS project: Assessment of Water Resources Risk and Vulnerability to Changing Climatic Conditions. Project Report V.
- Restrepo P. J., and P. S. Eagleson. 1982.** identification of independent rainstorms. Journal of Hydrology. 55:303-319
- TB Zere, CW van Huyssteen and M Hensley. January 2005.** Estimation of runoff at Glen in the Free State Province of South Africa. ISSN 0378-4738 = Water SA Vol. Vol. 31 No. 1. <http://www.wrc.org.za>.

# **ANEXOS**

## **ANEXO A**

### **INFORMACION PLUVIOGRÁFICA PROCESADA**

**(Estas son hojas de calculo de EXCEL y se encuentran en una carpeta denominada ANEXO A)**

## **ANEXO B**

### **EVENTOS DE TORMENTA OBTENIDOS PARA CADA ESTACION Y PORCENTUALIZACION DE LA LLUVIA EN ESCALA DE DURACION Y PRECIPITACION**

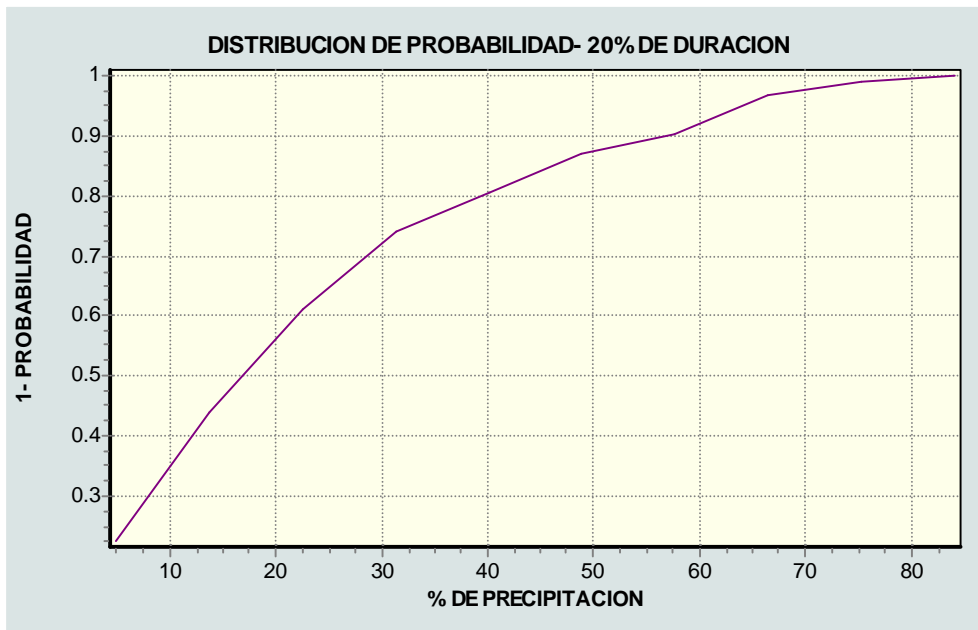
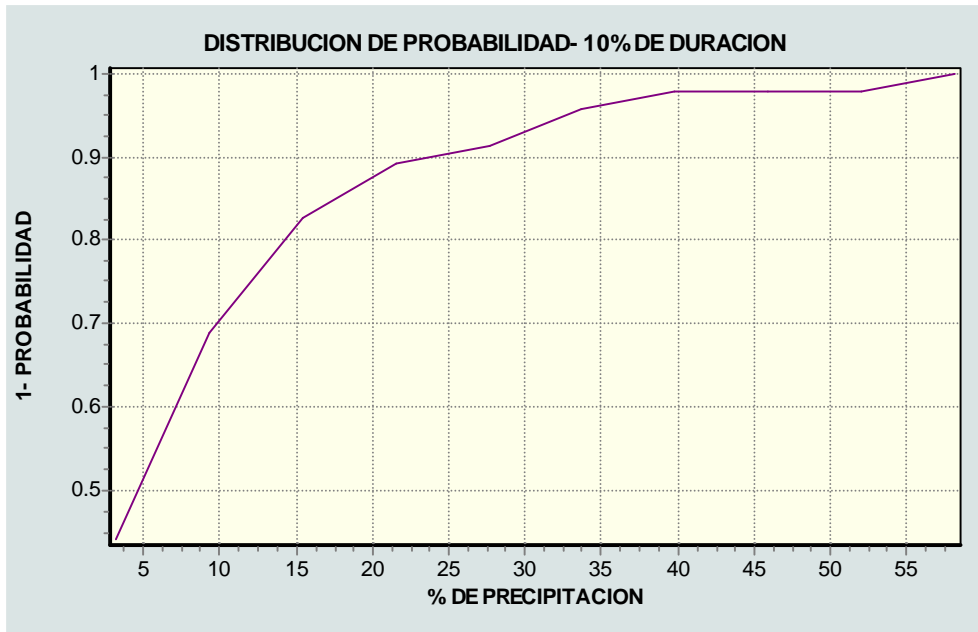
**(Estas son hojas de calculo de EXCEL y se  
encuentran en una carpeta denominada ANEXO B)**

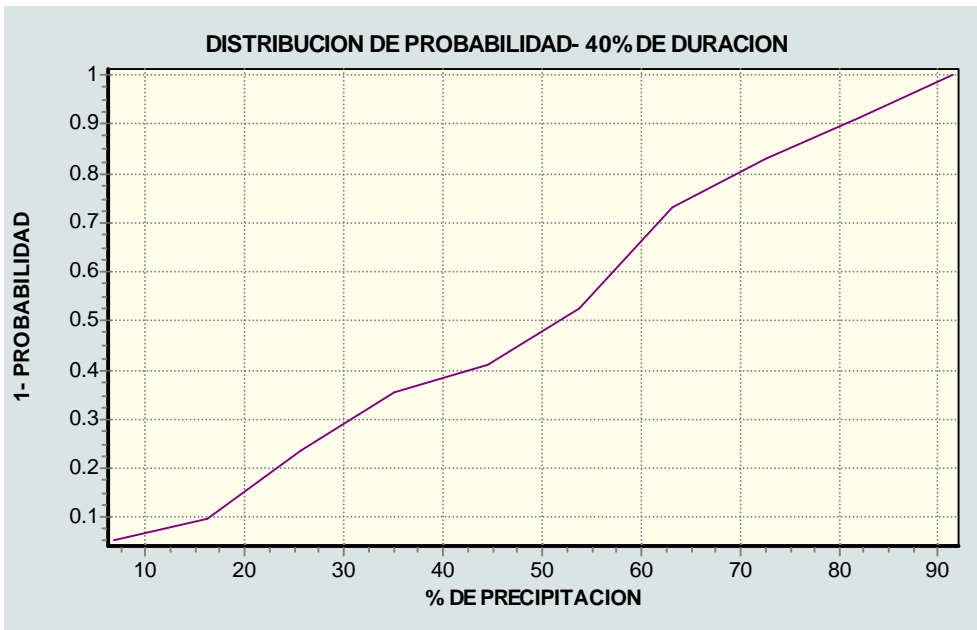
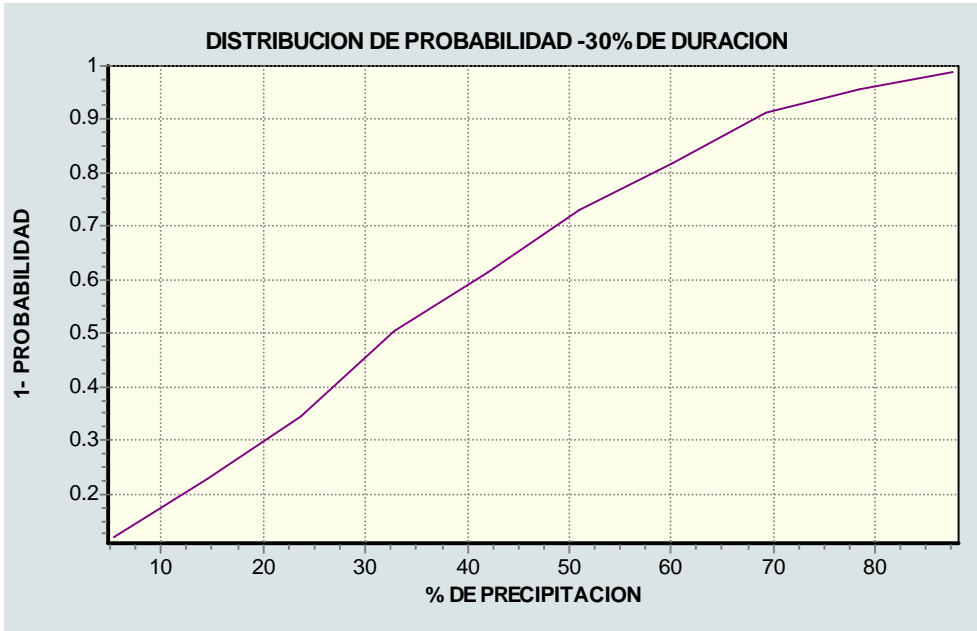
**ANEXO C**

**DISTRIBUCIONES DE FRECUENCIA DE  
PORCENTAJES DE PRECIPITACION PARA CADA  
PORCENTAJE DE DURACION Y TABLAS DE  
PROBABILIDAD PARA CONSTRUCCION DE  
CURVAS DE HUFF**

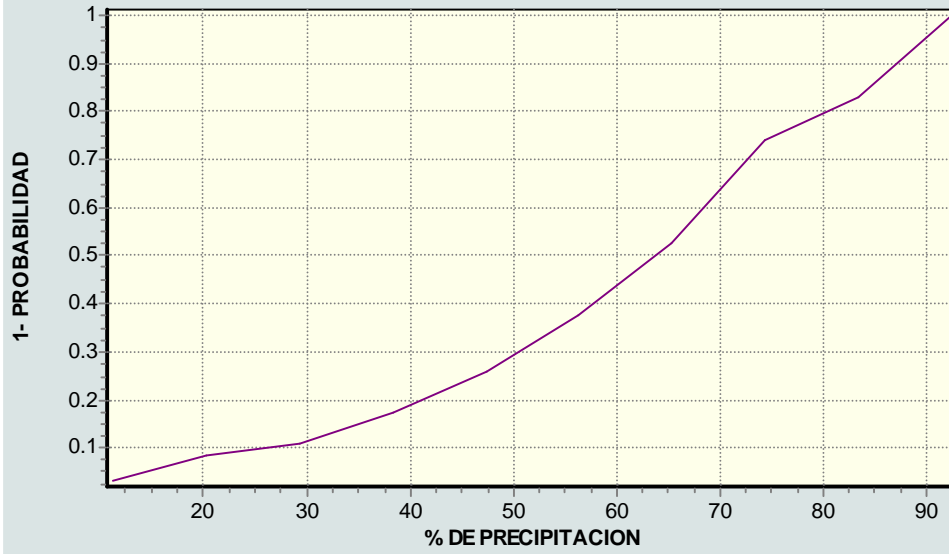
# DISTRIBUCIONES DE FRECUENCIA DE PORCENTAJES DE PRECIPITACION PARA CADA PORCENTAJE DE DURACION

## ESTACION LA ESPERANZA

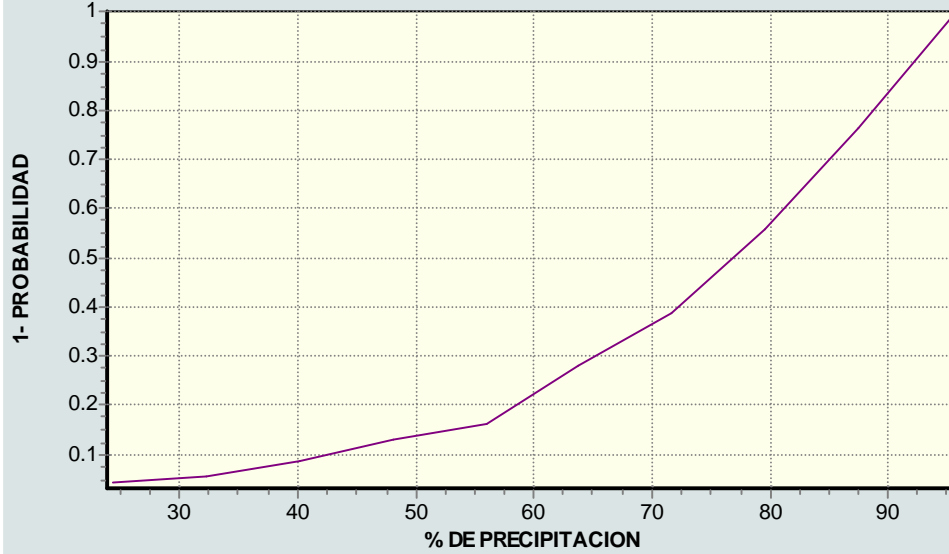


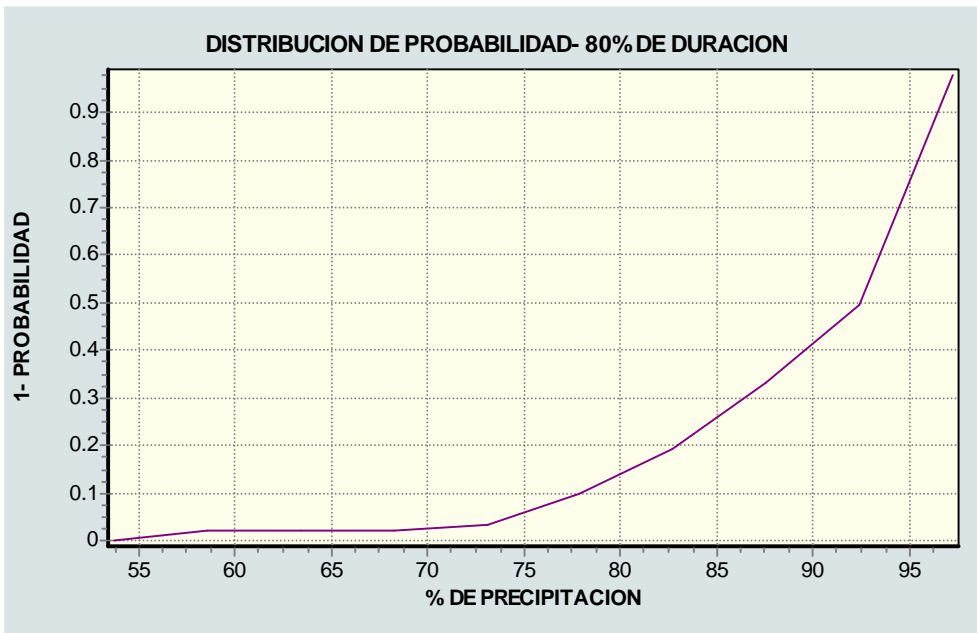
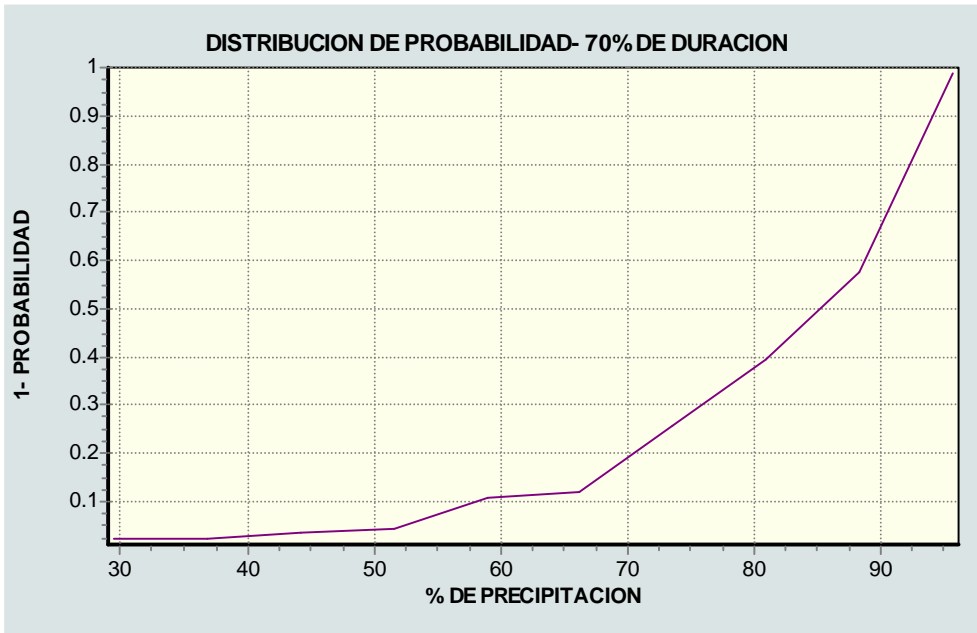


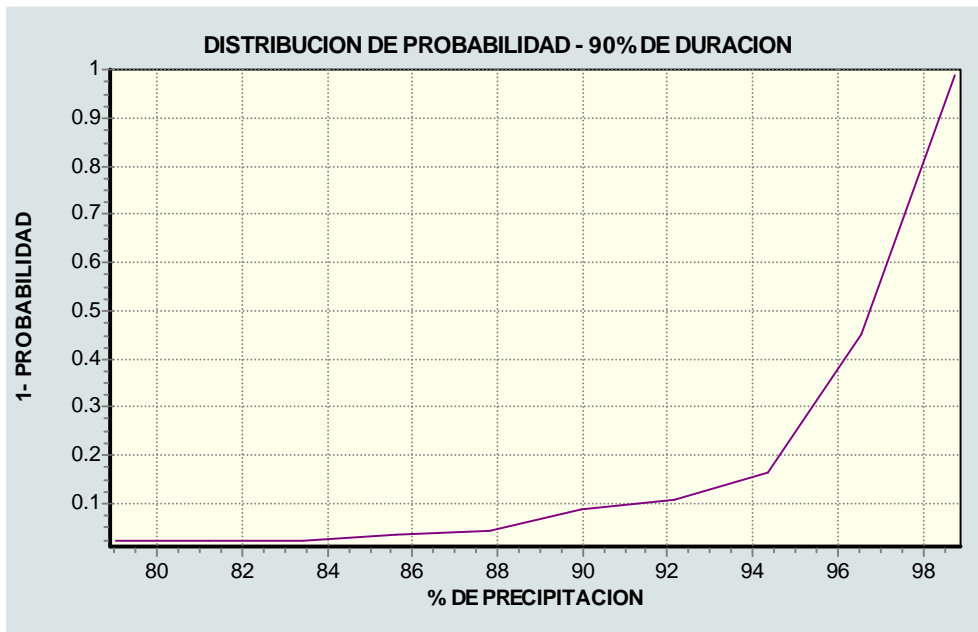
**DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD -50% DE DURACION**



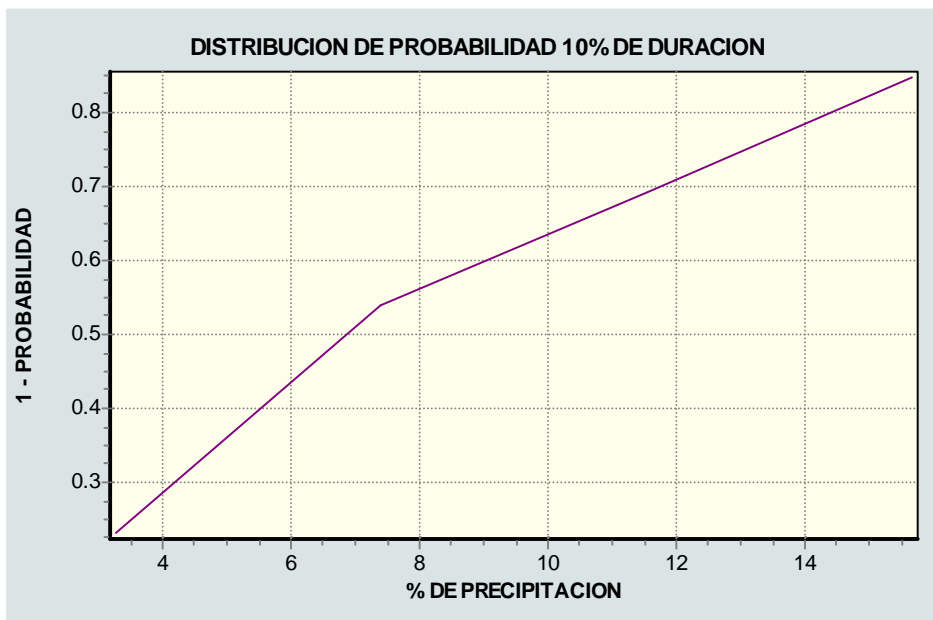
**DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD- 60% DE DURACION**

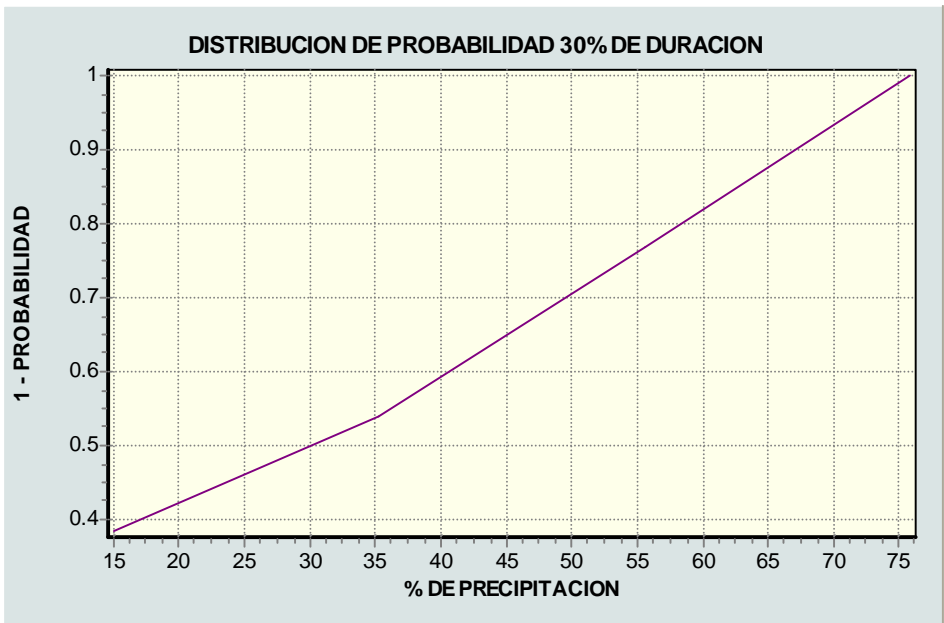
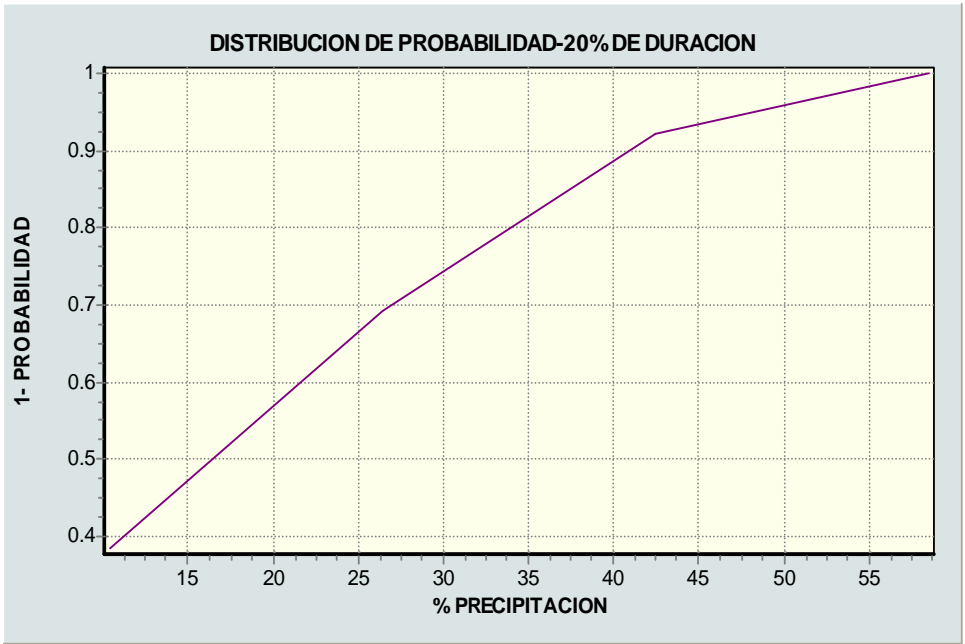




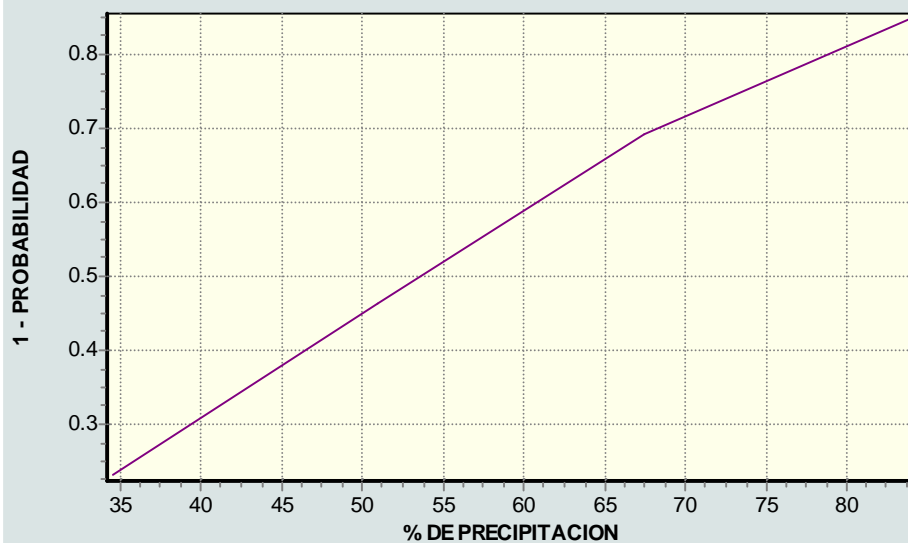


**ESTACION CLUB CAMPESTRE**

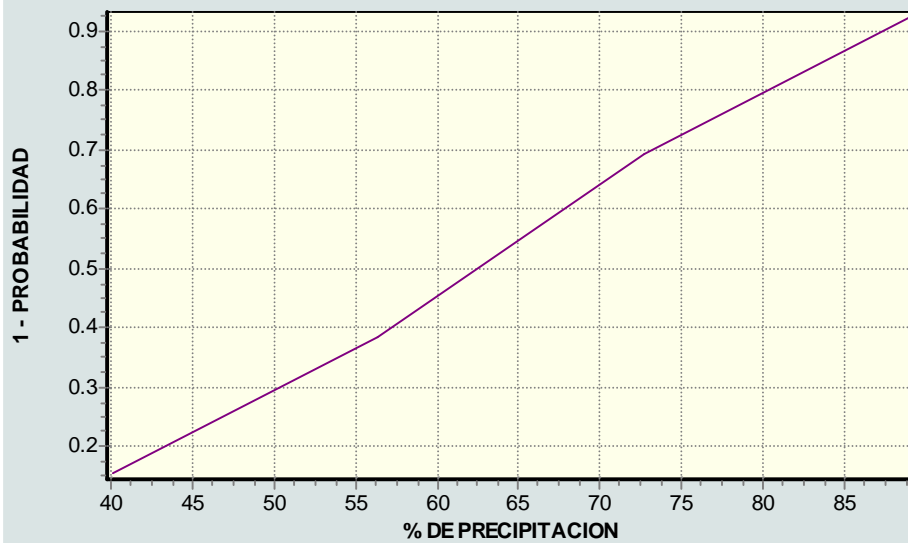


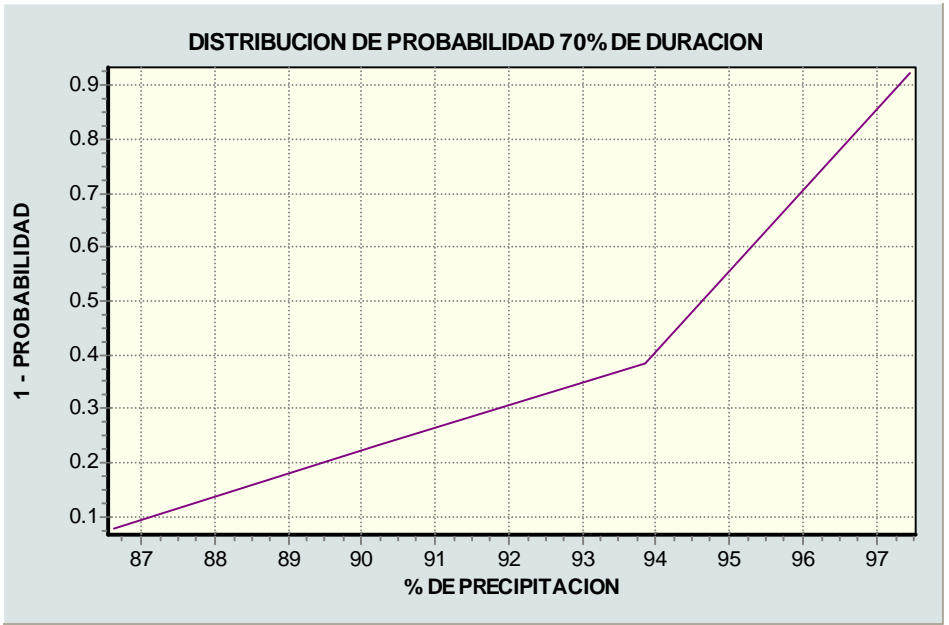
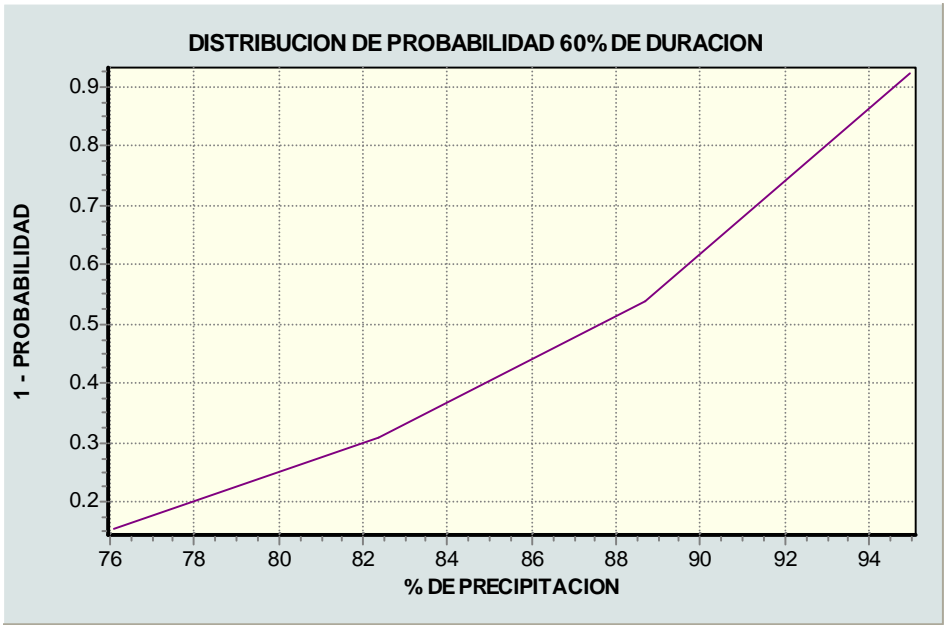


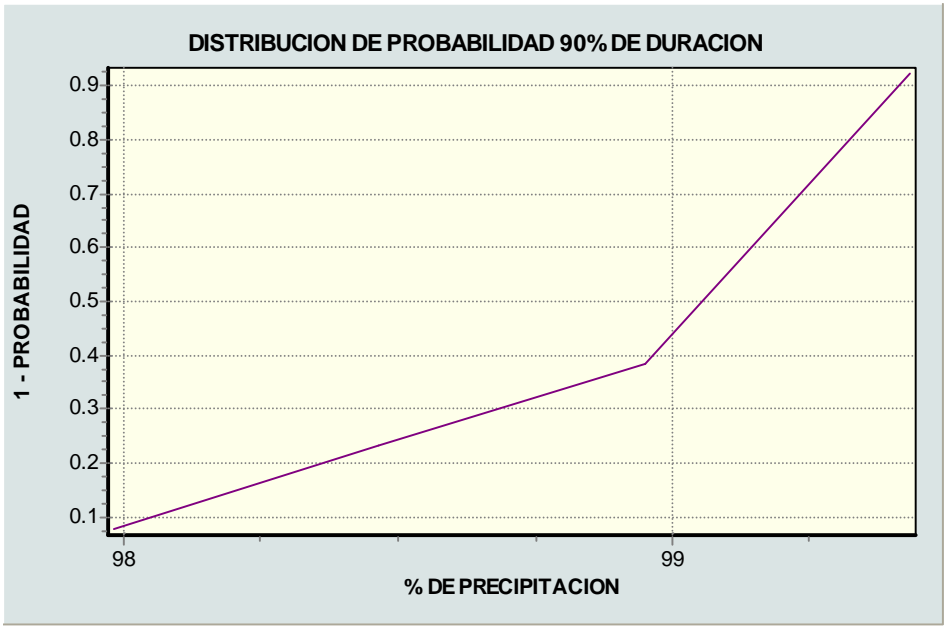
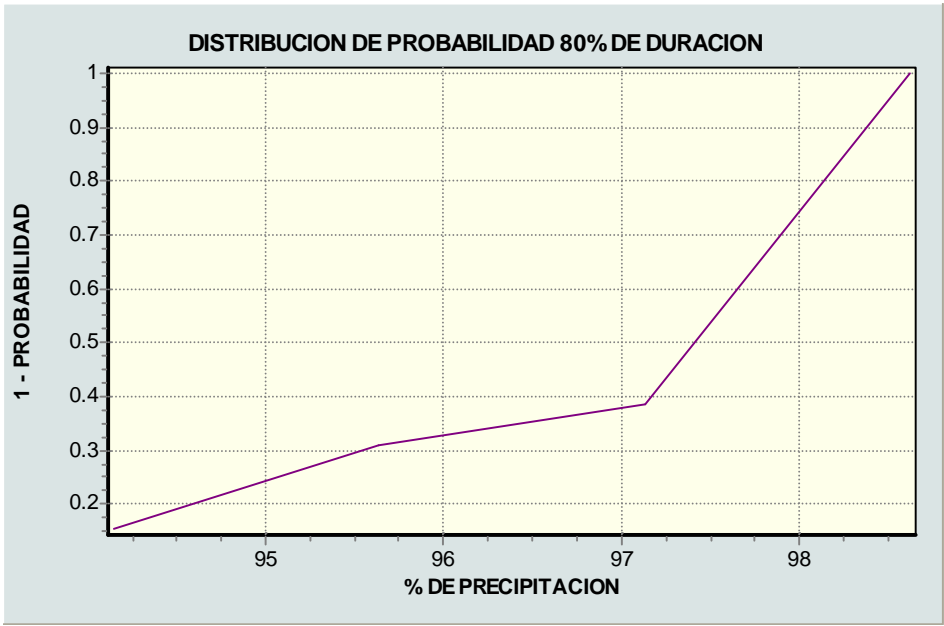
**DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD 40% DE DURACION**



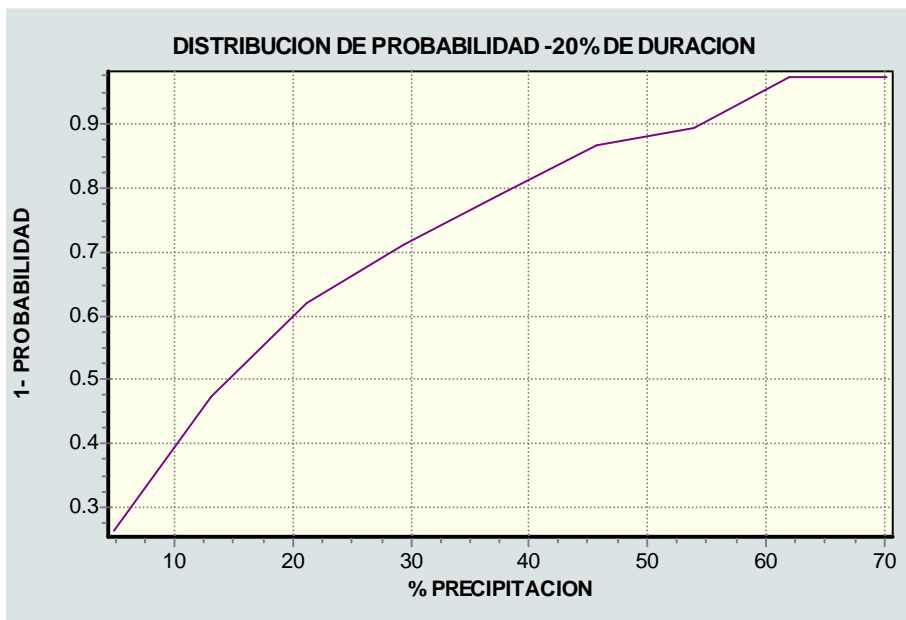
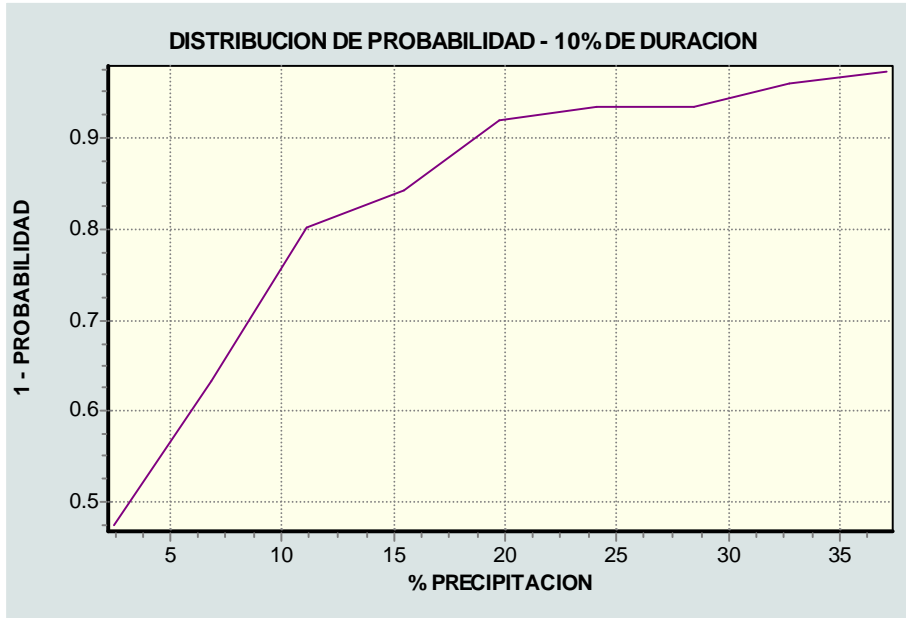
**DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD 50% DE DURACION**



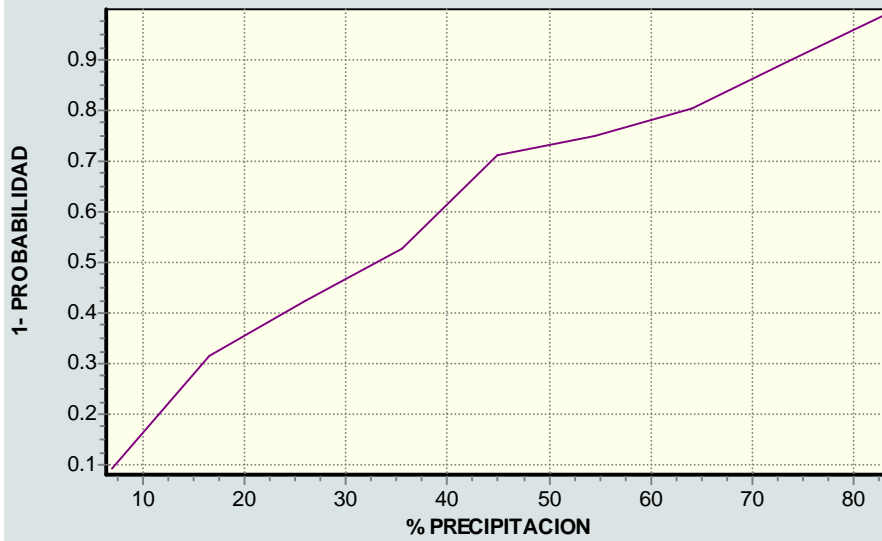




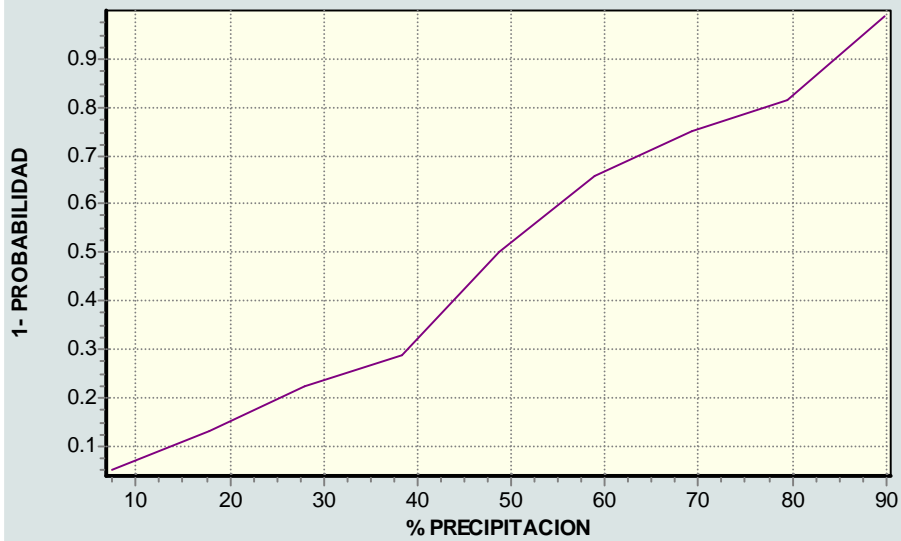
## ESTACION PTAR O TOTUMOS



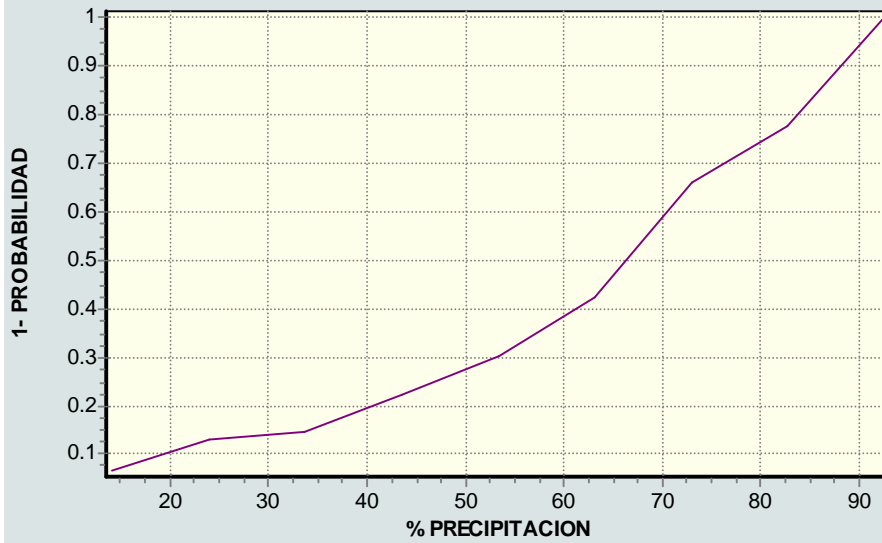
**DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD-30% DE DURACION**



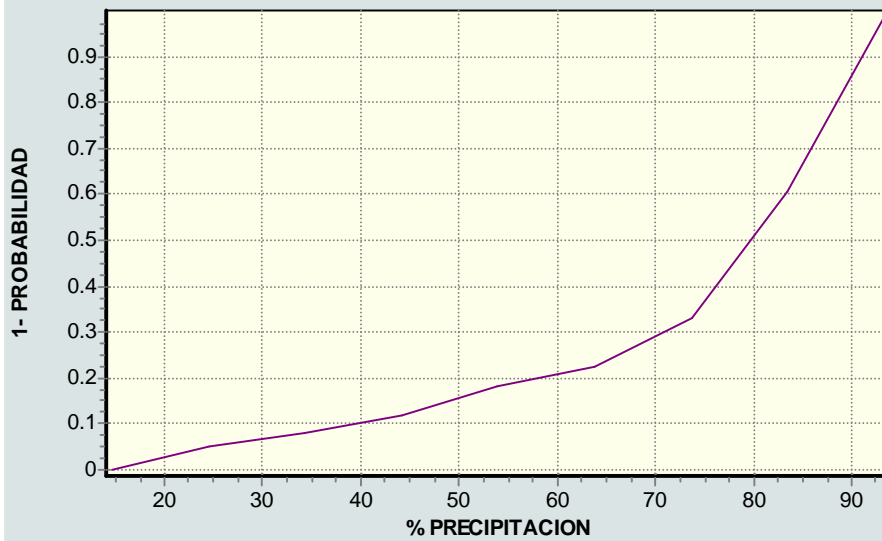
**DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD- 40% DE DURACION**



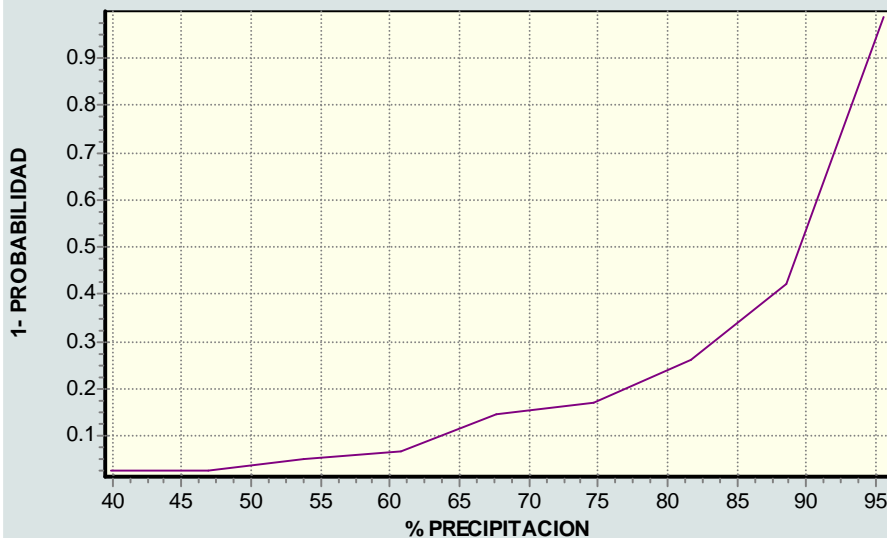
**DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD-50% DE DURACION**



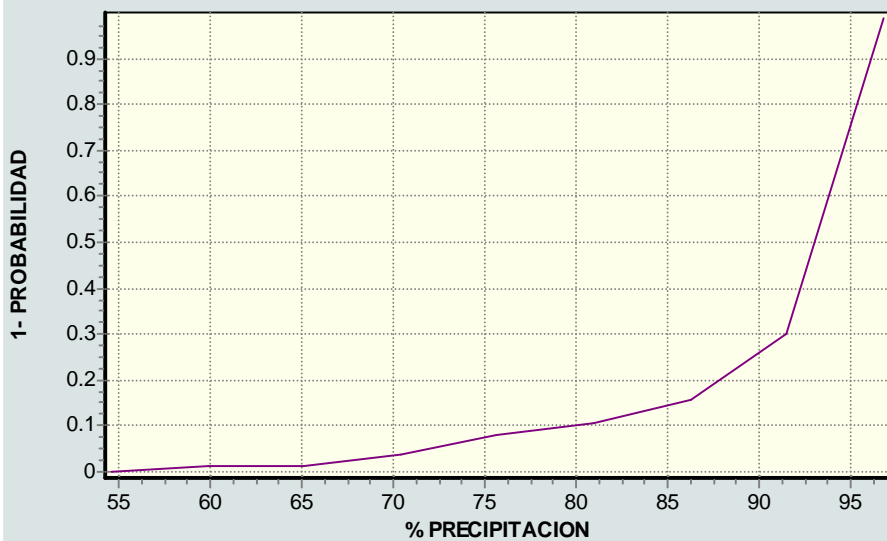
**DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD - 60% DE DURACION**

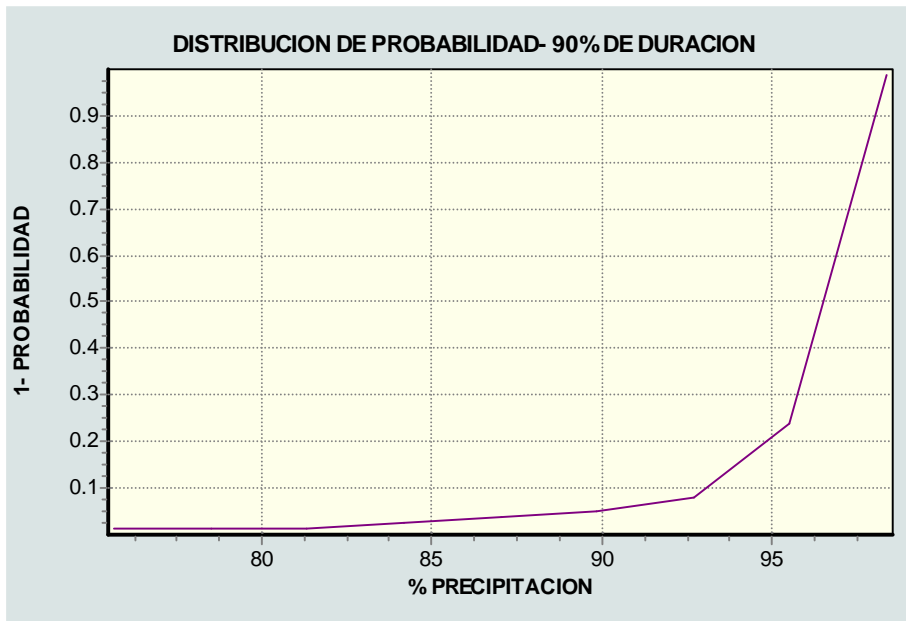


**DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD- 70% DE DURACION**

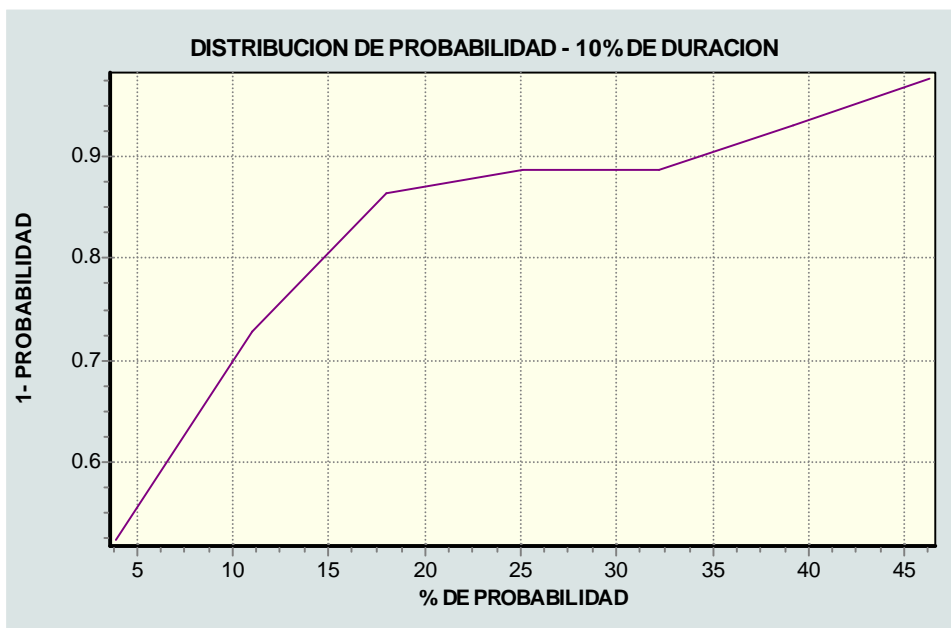


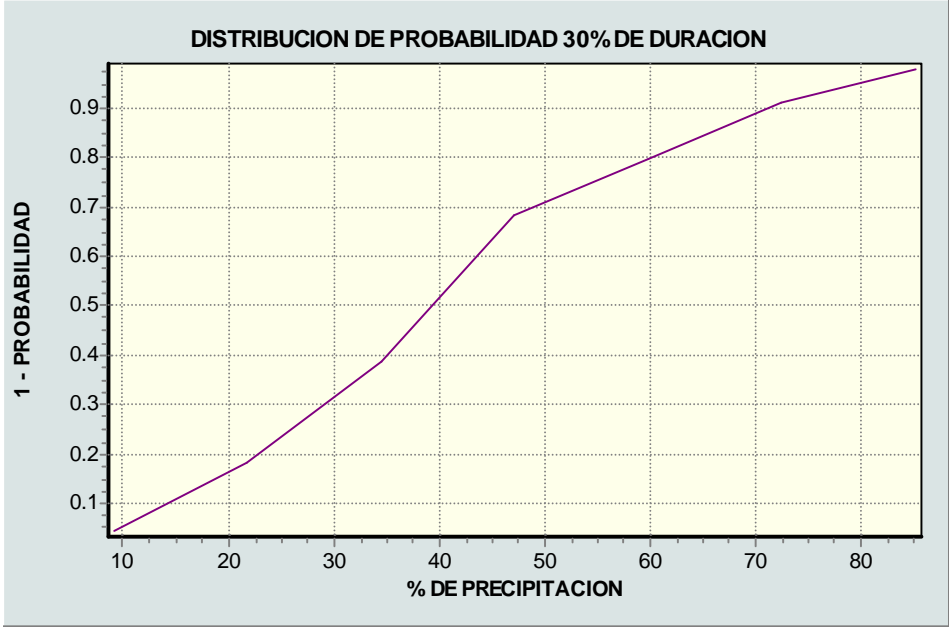
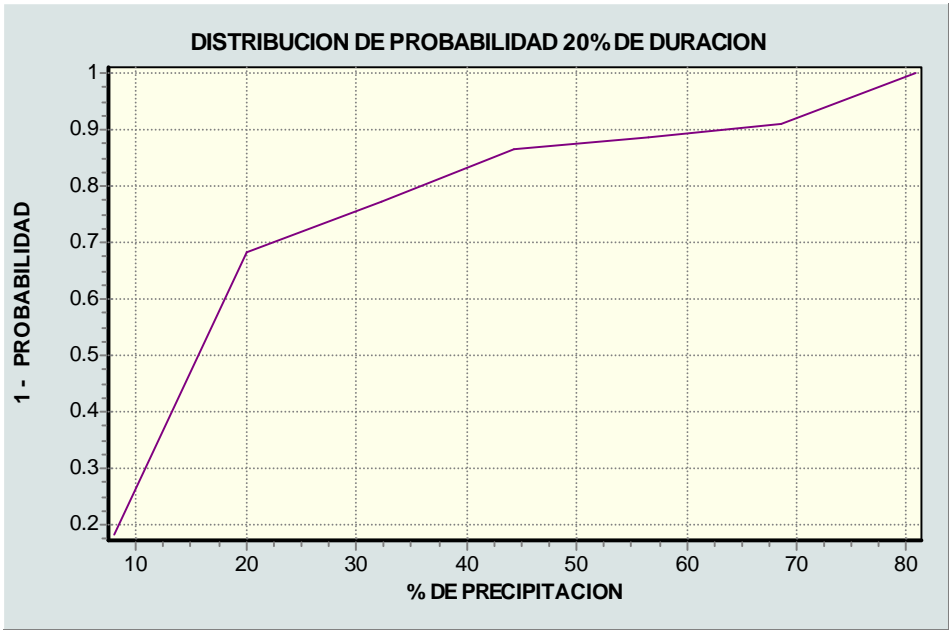
**DISRIBUCION DE PROBABILIDAD- 80% DE DURACION**

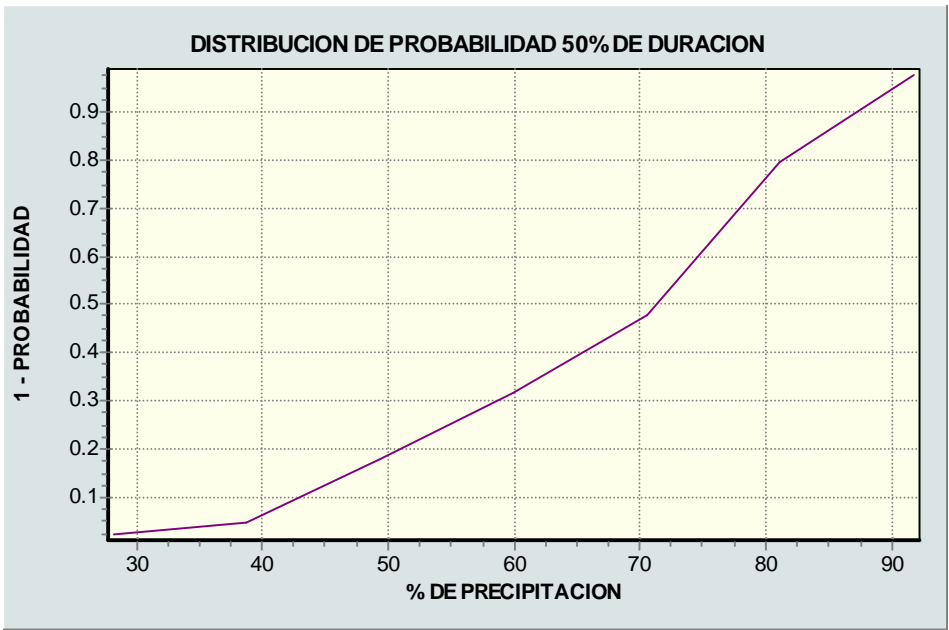
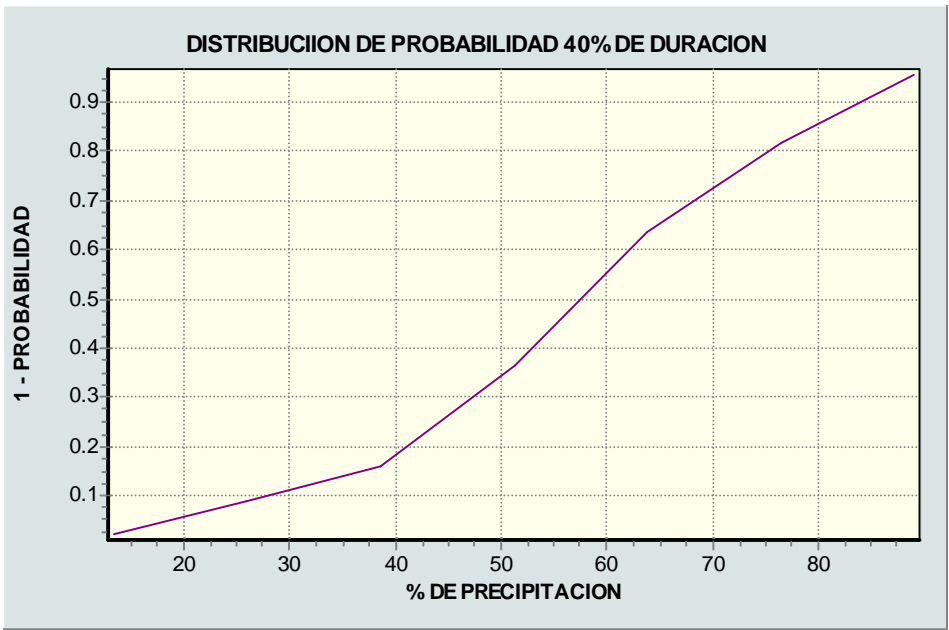




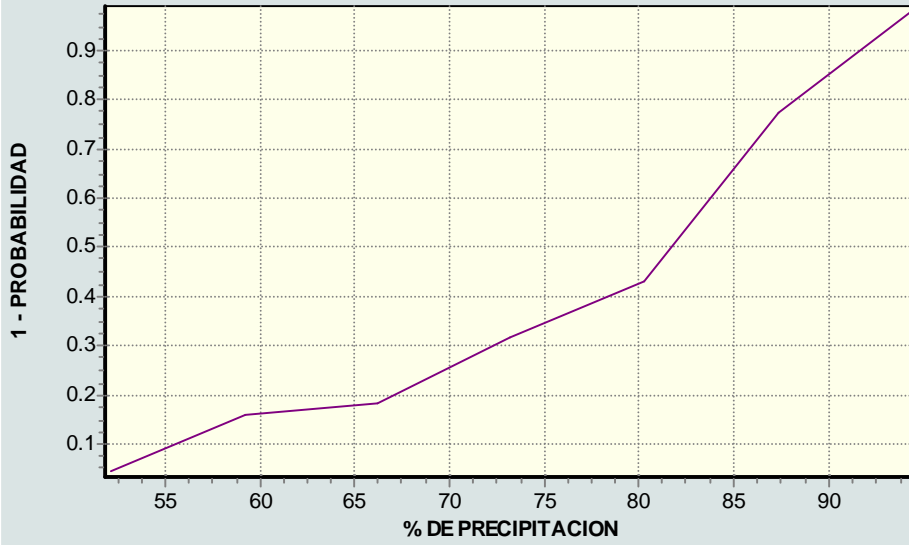
## ESTACION EL RASGON



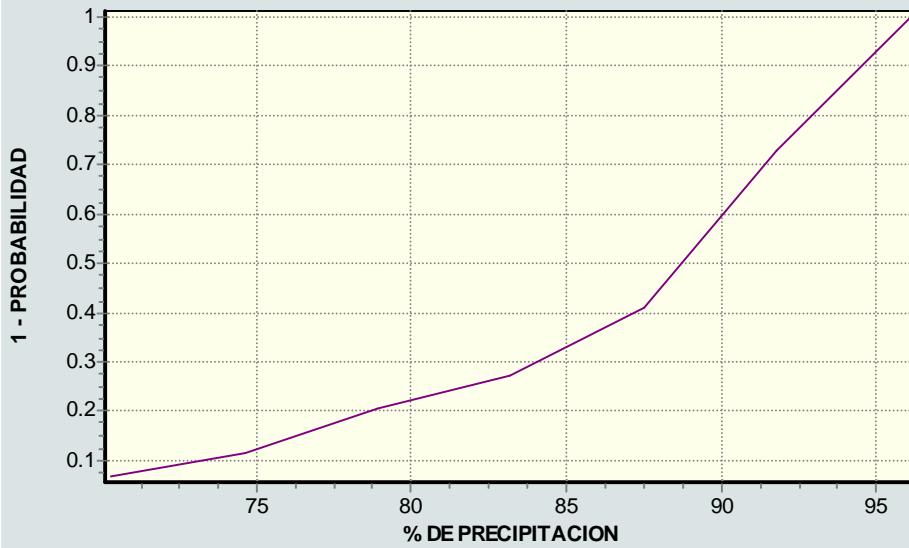




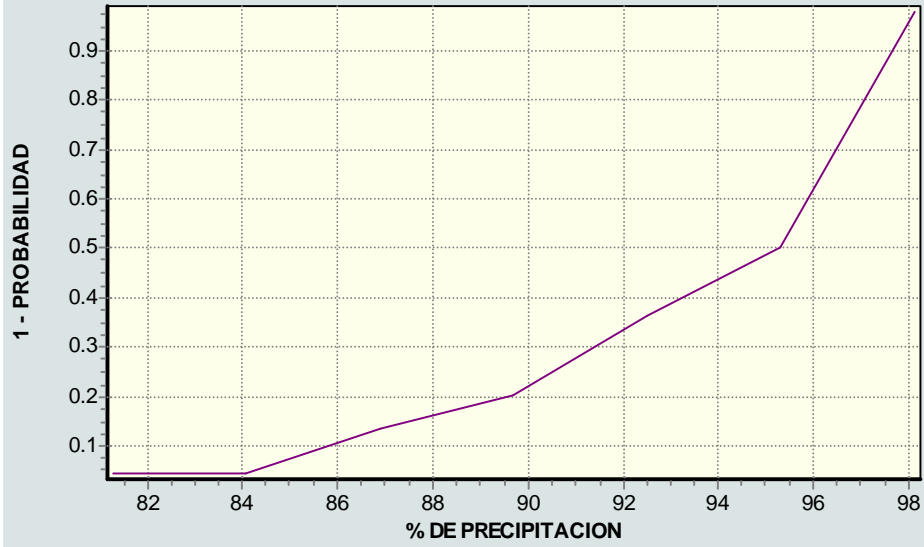
**DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD 60% DE DURACION**



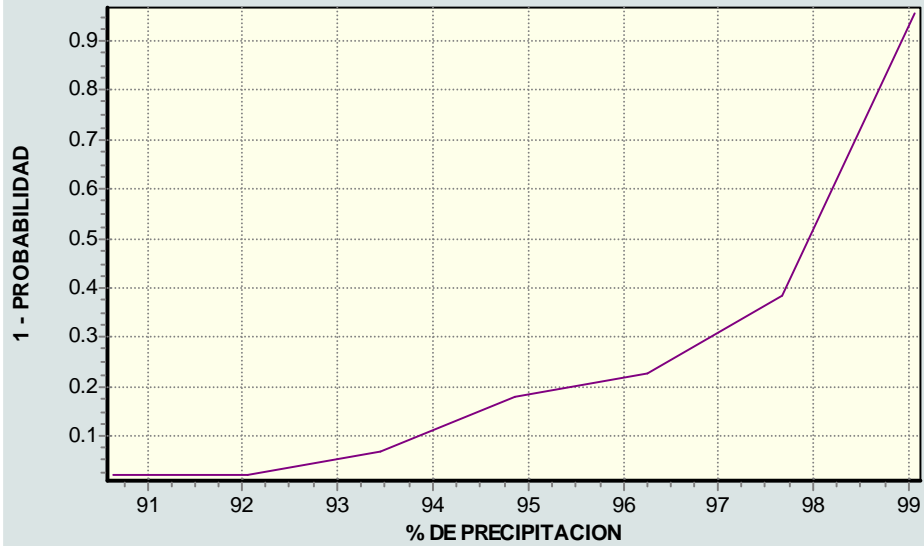
**DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD 70% DE DURACION**



DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD 80% DE DURACION



DISTRIBUCION DE PROBABILIDAD 90% DE DURACION



**TABLA DE PROBABILIDAD PARA GENERACION DE CURVAS DE HUFF**

ESTACION LA ESPERANZA

PROBABILIDAD	% DE DURACION										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
90%	0.00	25.00	57.50	68.33	81.25	86.66	92.50	93.33	96.66	98.50	100.00
80%	0.00	14.06	40.00	57.50	70.00	80.00	88.75	92.50	95.42	98.00	100.00
70%	0.00	10.00	27.50	48.75	62.50	73.33	85.00	90.50	94.38	97.50	100.00
60%	0.00	7.50	22.50	41.25	56.25	67.50	81.25	88.75	93.33	97.10	100.00
50%	0.00	4.38	16.25	33.75	52.50	65.00	76.66	85.00	92.50	96.80	100.00
40%	0.00	3.21	12.50	28.75	45.00	57.50	72.50	81.25	89.58	96.25	100.00
30%	0.00	2.04	7.50	20.00	31.25	51.25	66.25	76.25	86.25	95.50	100.00
20%	0.00	1.91	5.00	12.50	23.75	41.25	58.75	70.83	83.13	94.75	100.00
10%	0.00	0.95	2.50	5.00	13.75	27.50	43.75	58.33	77.88	92.00	100.00

**TABLA DE PROBABILIDAD PARA GENERACION DE CURVAS DE HUFF**

ESTACION PTAR O TOTUMOS

PROBABILIDAD	% DE DURACION										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
90%	0.00	17.50	54.00	73.50	84.00	88.00	91.20	94.50	96.20	98.00	100.00
80%	0.00	11.00	38.50	63.00	77.00	83.00	88.50	93.20	95.50	97.60	100.00
70%	0.00	8.00	28.50	44.00	63.00	76.50	85.50	91.90	94.50	97.20	100.00
60%	0.00	6.00	20.00	39.00	55.50	70.50	83.00	90.60	93.90	96.80	100.00
50%	0.00	3.20	14.00	33.00	49.00	66.00	79.50	89.30	93.00	96.40	100.00
40%	0.00	2.56	10.50	24.00	43.50	61.50	76.50	87.50	92.10	96.00	100.00
30%	0.00	1.92	6.25	16.00	39.00	53.00	71.00	83.00	91.30	95.60	100.00
20%	0.00	1.30	4.15	11.50	25.50	41.00	59.00	77.20	87.70	94.50	100.00
10%	0.00	0.65	2.10	7.50	13.50	20.50	40.00	63.75	80.70	93.20	100.00

**TABLA DE PROBABILIDAD PARA GENERACION DE CURVAS DE HUFF**

ESTACION EL RASGON

PROBABILIDAD	% DE DURACION										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
90%	0.00	34.00	63.00	71.00	84.00	87.00	92.00	94.00	97.50	98.50	100.00
80%	0.00	14.60	36.00	60.50	75.00	81.50	88.00	93.00	97.00	98.70	100.00
70%	0.00	10.00	22.00	49.00	68.50	77.50	85.80	91.50	96.50	98.40	100.00
60%	0.00	6.70	18.00	43.50	62.50	74.00	84.00	90.00	95.80	98.20	100.00
50%	0.00	5.50	16.00	39.50	57.50	71.50	82.50	88.75	95.50	97.80	100.00
40%	0.00	4.45	13.00	35.00	53.00	66.00	78.00	87.00	93.50	97.70	100.00
30%	0.00	3.35	11.00	29.50	47.50	58.50	72.50	83.75	91.50	96.90	100.00
20%	0.00	2.23	9.00	22.50	41.00	50.50	67.00	78.75	89.50	95.40	100.00
10%	0.00	1.12	4.50	14.00	28.50	43.00	55.70	73.70	85.70	93.90	100.00

**TABLA DE PROBABILIDAD PARA GENERACION DE CURVAS DE HUFF**

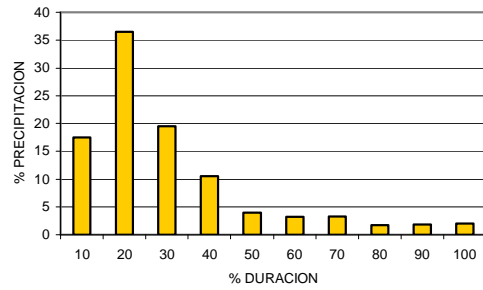
ESTACION CLUB CAMPESTRE

PROBABILIDAD	% DE DURACION										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
90%	0.00	16.80	41.25	67.00	85.00	87.00	94.50	97.20	98.40	99.40	100.00
80%	0.00	14.30	34.38	58.40	78.70	80.20	92.70	96.60	98.20	99.32	100.00
70%	0.00	11.80	27.08	49.80	67.50	73.80	91.80	95.90	97.80	99.24	100.00
60%	0.00	8.90	21.88	40.20	60.70	67.50	89.60	95.30	97.60	99.16	100.00
50%	0.00	6.80	17.08	30.00	53.40	62.00	87.80	94.60	97.40	99.08	100.00
40%	0.00	5.50	11.25	16.50	46.20	57.00	84.80	93.90	97.20	98.95	100.00
30%	0.00	4.20	8.00	12.40	39.00	50.20	82.00	91.90	95.50	98.70	100.00
20%	0.00	2.90	5.33	8.25	31.80	43.13	78.00	89.30	94.60	98.40	100.00
10%	0.00	1.60	2.66	4.13	24.60	35.80	74.00	86.70	93.70	98.10	100.00

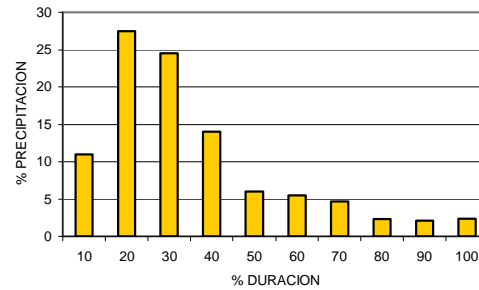
**ANEXO D**  
**HIETOGRAMAS GENERALES OBTENIDOS DE LAS**  
**CURVAS DE HUFF**

**CALCULO DE HIETOGRAMAS PARA EVENTOS CON**  
**DURACIONES ENTRE 30 Y 180 MINUTOS**

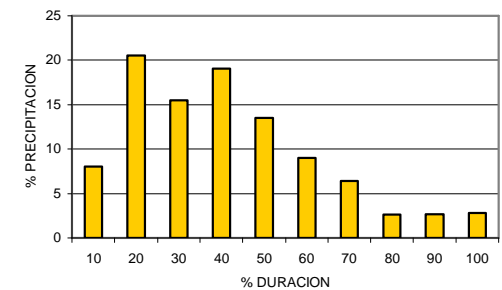
**PROBABILIDAD 90%**



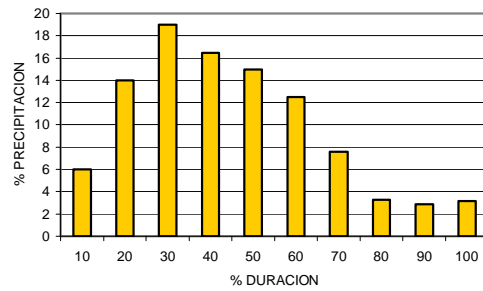
**PROBABILIDAD 80%**



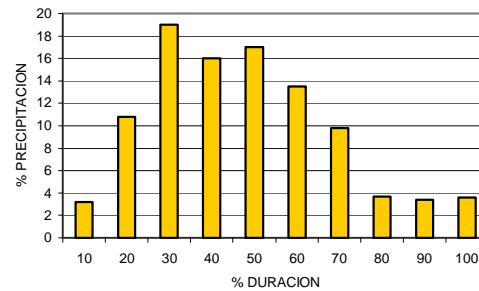
**PROBABILIDAD 70%**



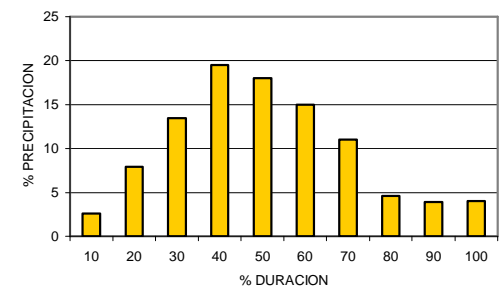
**PROBABILIDAD 60%**



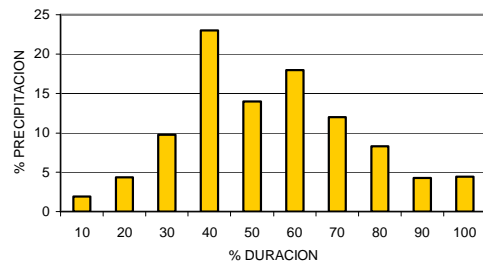
**PROBABILIDAD 50%**



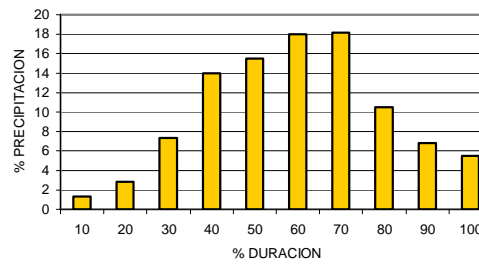
**PROBABILIDAD 40%**



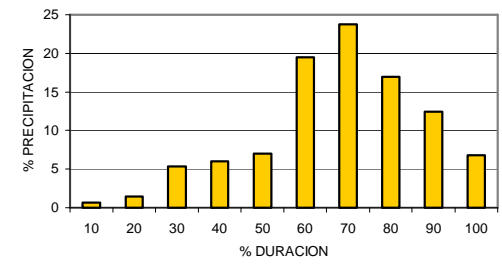
**PROBABILIDAD 30%**



**PROBABILIDAD 20%**

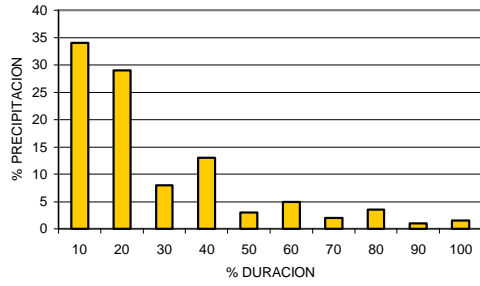


**PROBABILIDAD 10%**

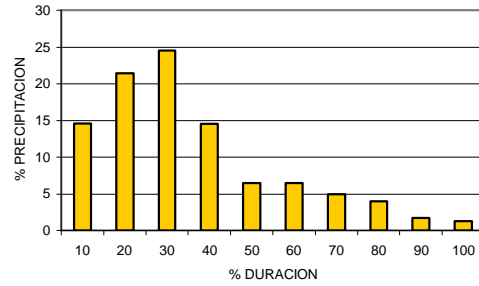


**ESTACION PTAR TOTUMOS**

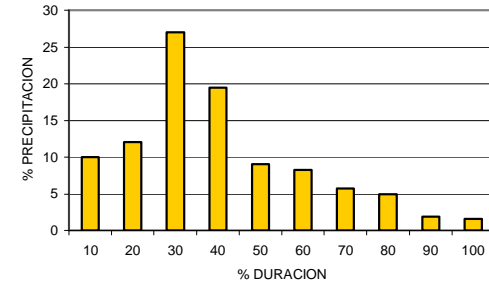
**PROBABILIDAD 90%**



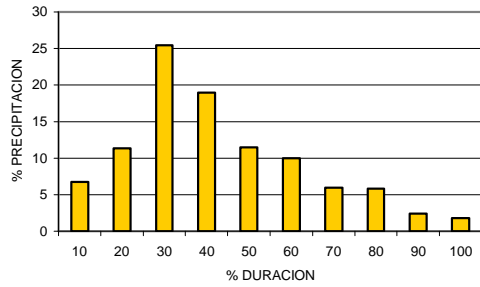
**PROBABILIDAD 80%**



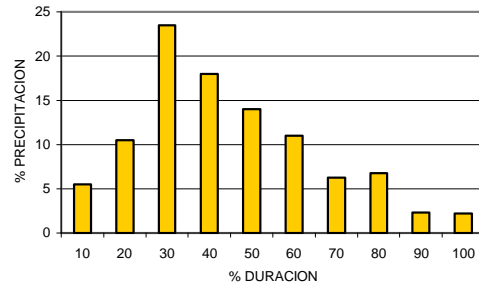
**PROBABILIDAD 70%**



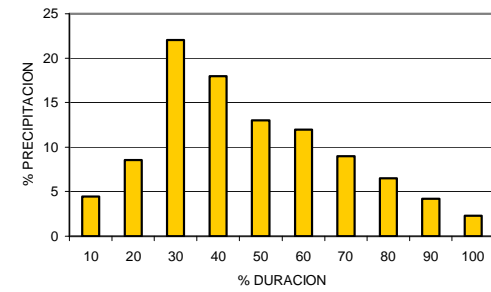
**PROBABILIDAD 60%**



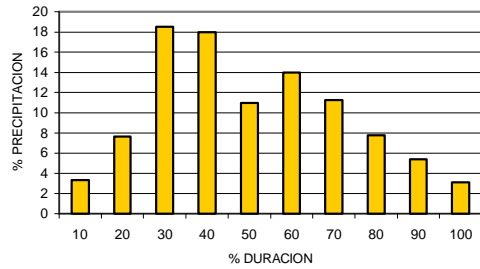
**PROBABILIDAD 50%**



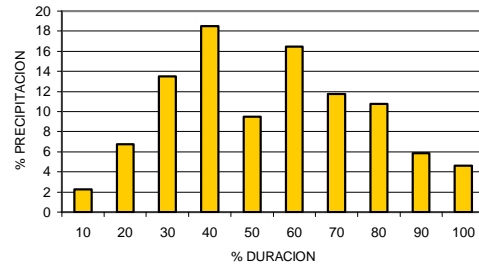
**PROBABILIDAD 40%**



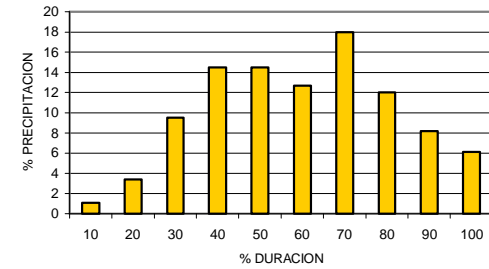
**PROBABILIDAD 30%**



**PROBABILIDAD 20%**

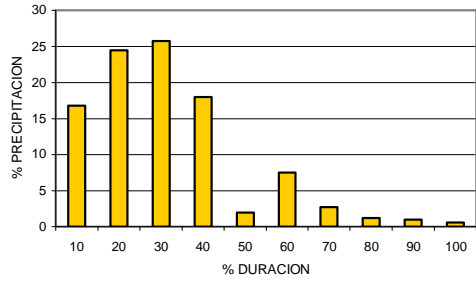


**PROBABILIDAD 10%**

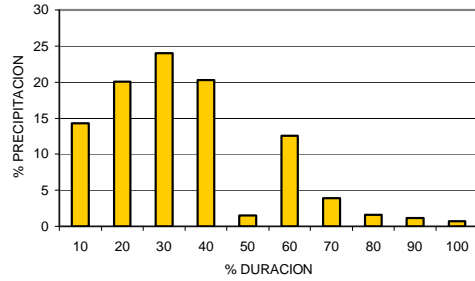


**ESTACION EL RASGON**

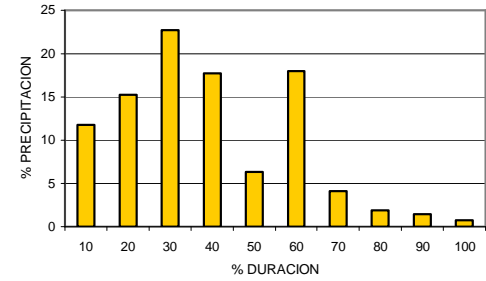
**PROBABILIDAD 90%**



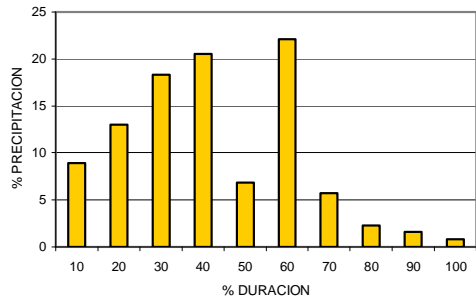
**PROBABILIDAD 80%**



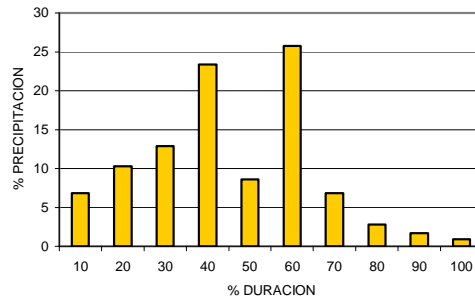
**PROBABILIDAD 70%**



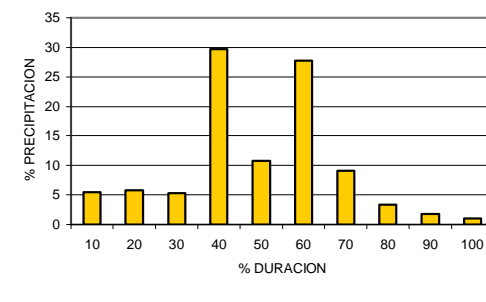
**PROBABILIDAD 60%**



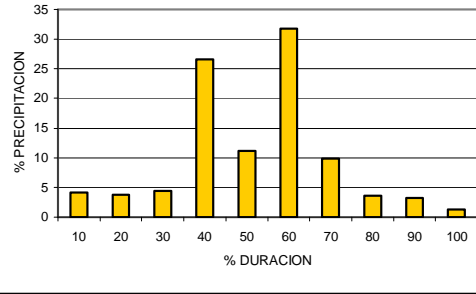
**PROBABILIDAD 50%**



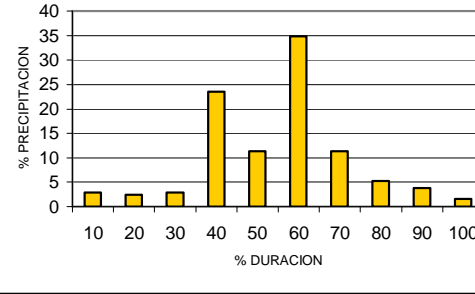
**PROBABILIDAD 40%**



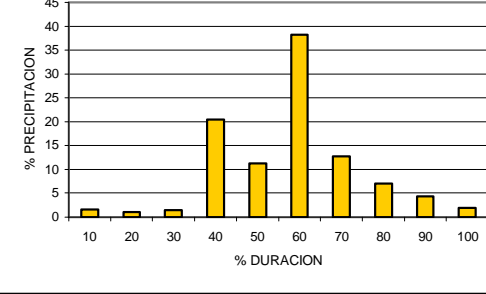
**PROBABILIDAD 30%**



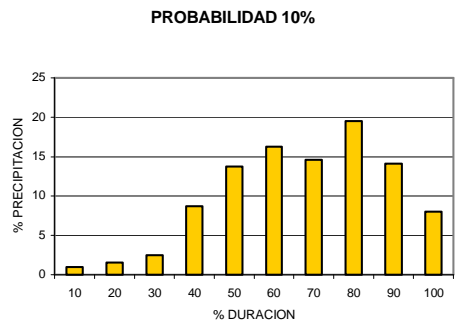
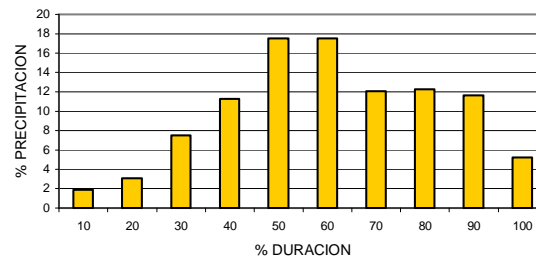
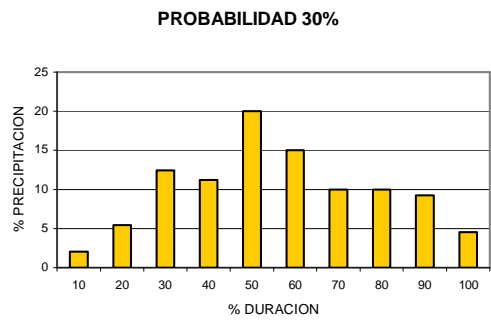
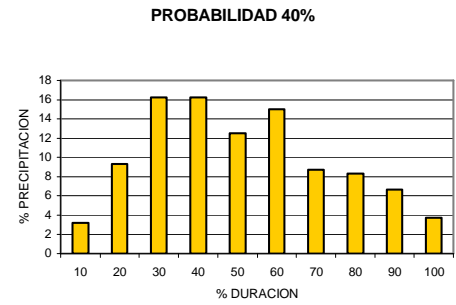
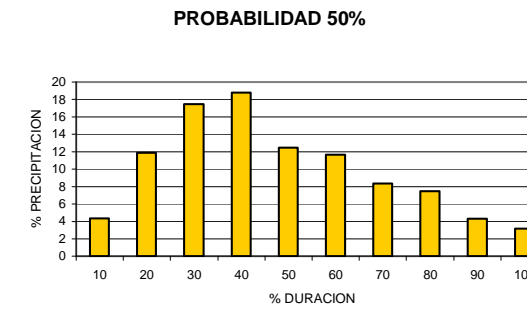
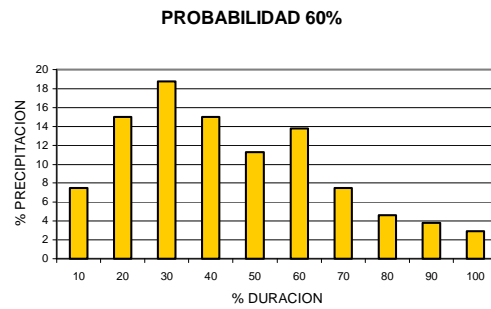
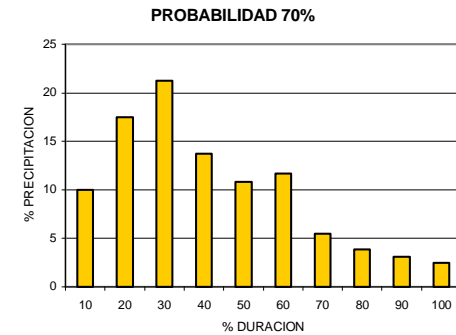
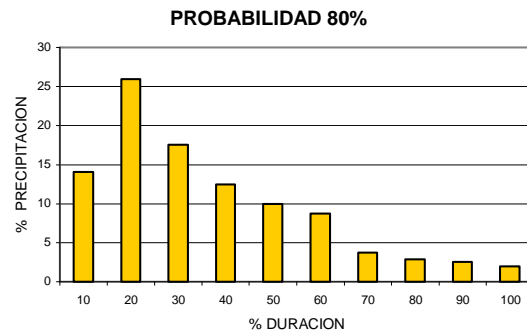
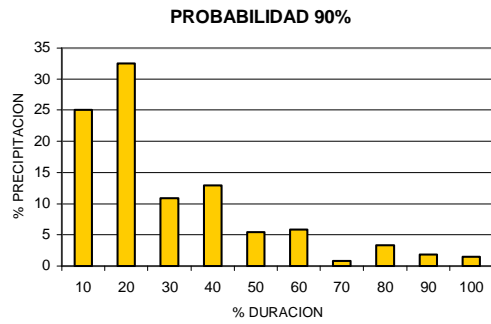
**PROBABILIDAD 20%**



**PROBABILIDAD 10%**



**CLUB CAMPESTRE**

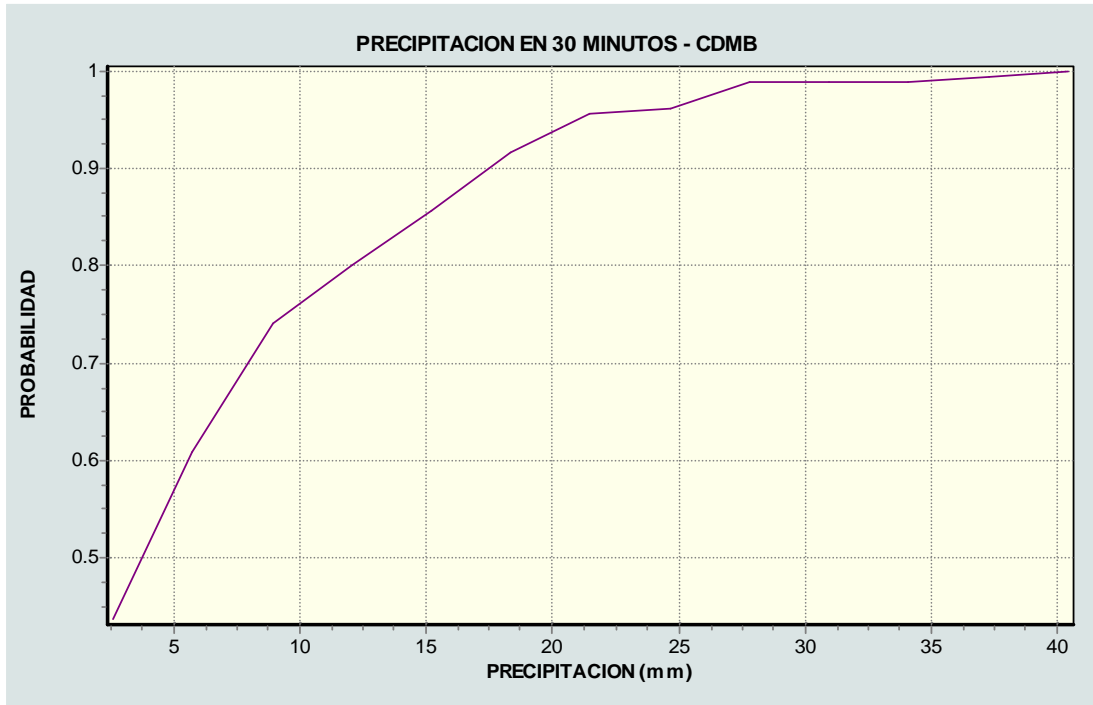


**ESTACION LA ESPERANZA**

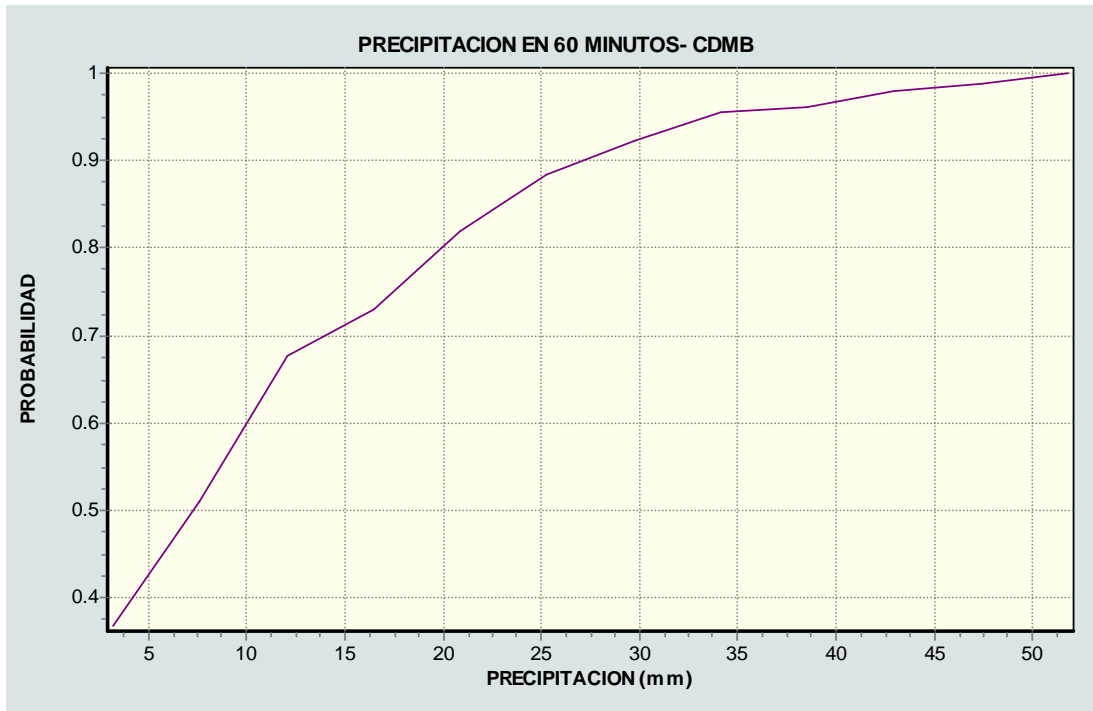
## **ANEXO E**

### **DISTRIBUCIONES DE FRECUENCIA DE INTENSIDADES EN 10 MINUTOS A 1 HORA**

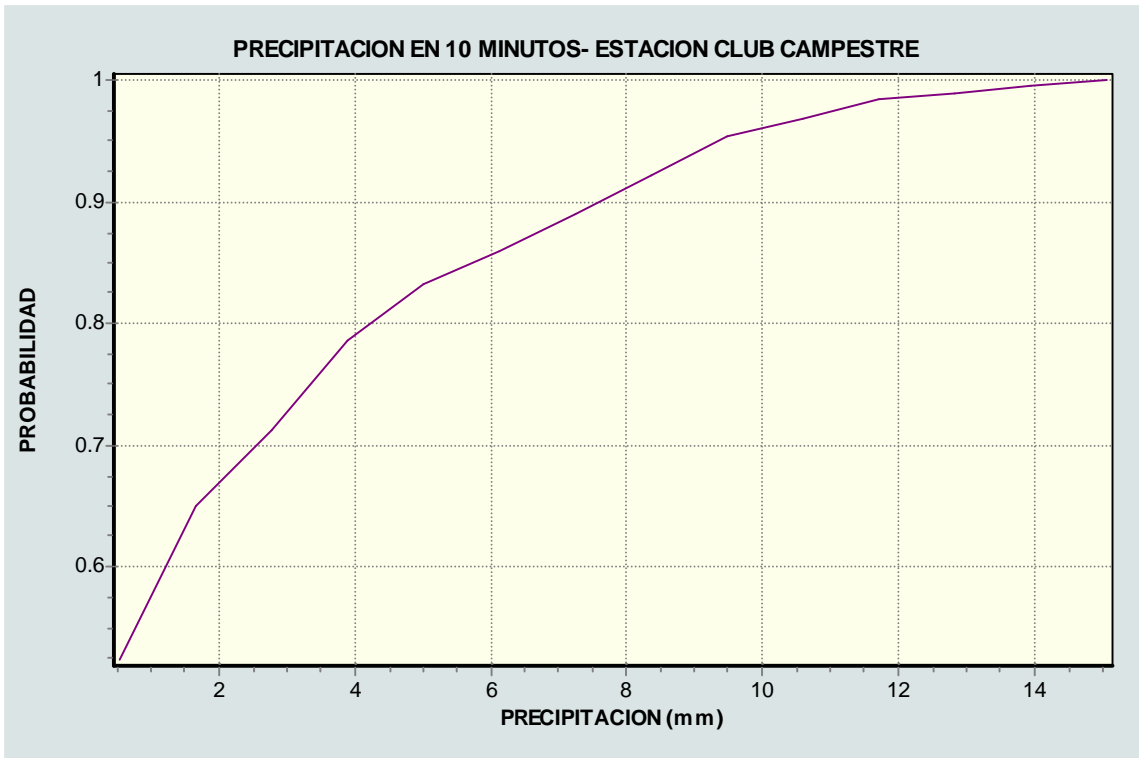
DISTRIBUCION DE FRECUENCIA PARA INTENSIDADES DE 30 MINUTOS EN LA ESTACION CDMB



DISTRIBUCION DE FRECUENCIA PARA INTENSIDADES DE 60 MINUTOS EN LA ESTACION CDMB



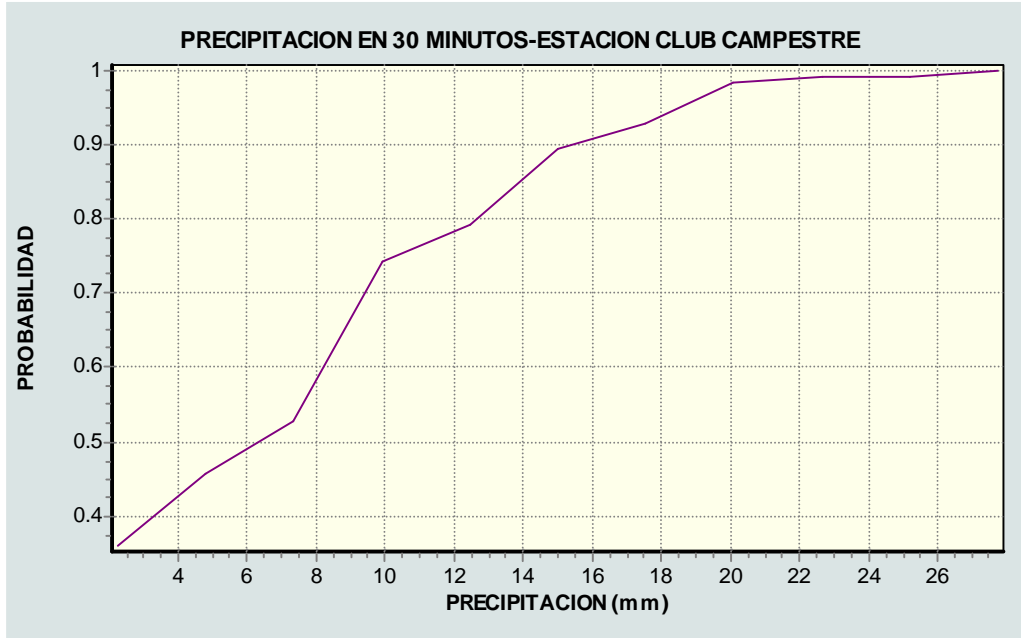
DISTRIBUCION DE FRECUENCIA PARA INTENSIDADES DE 10 MINUTOS EN LA ESTACION CLUB CAMPESTRE



DISTRIBUCION DE FRECUENCIA PARA INTENSIDADES DE 20 MINUTOS EN LA ESTACION CLUB CAMPESTRE



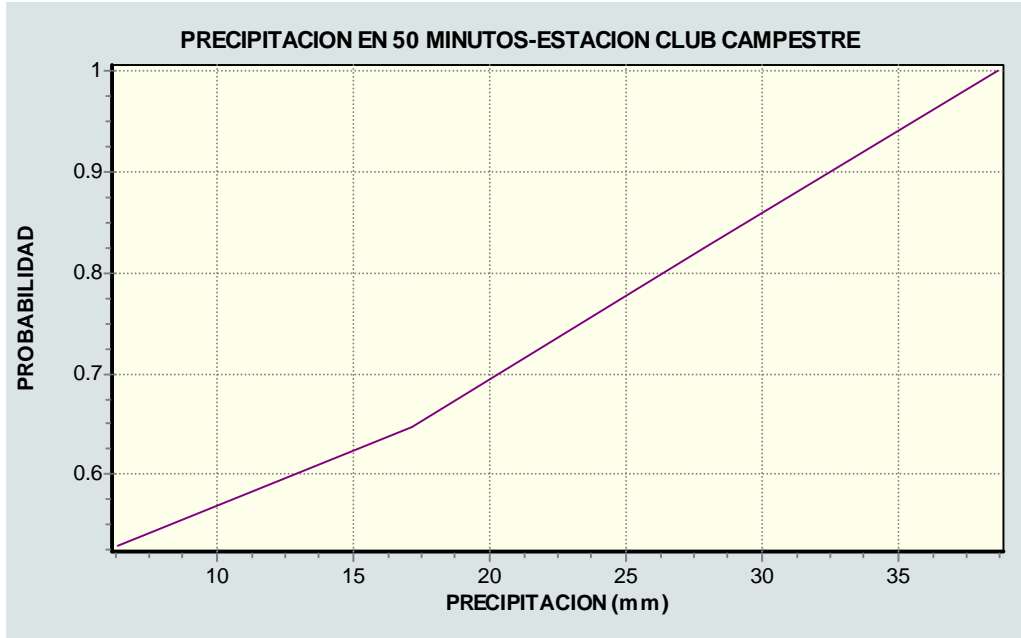
DISTRIBUCION DE FRECUENCIA PARA INTENSIDADES DE 30 MINUTOS EN LA ESTACION CLUB CAMPESTRE



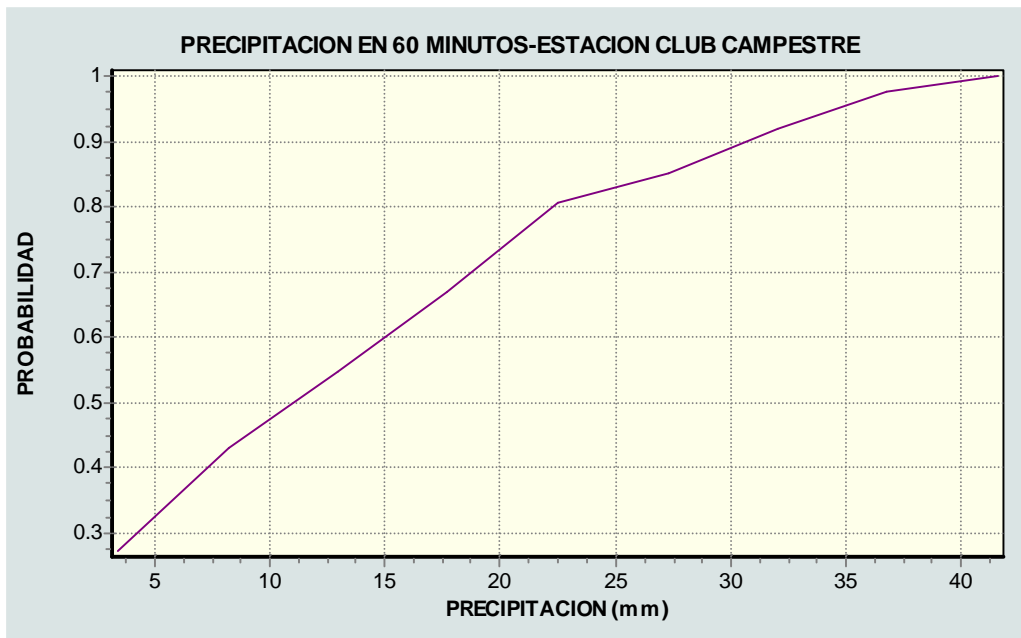
DISTRIBUCION DE FRECUENCIA PARA INTENSIDADES DE 40 MINUTOS EN LA ESTACION CLUB CAMPESTRE



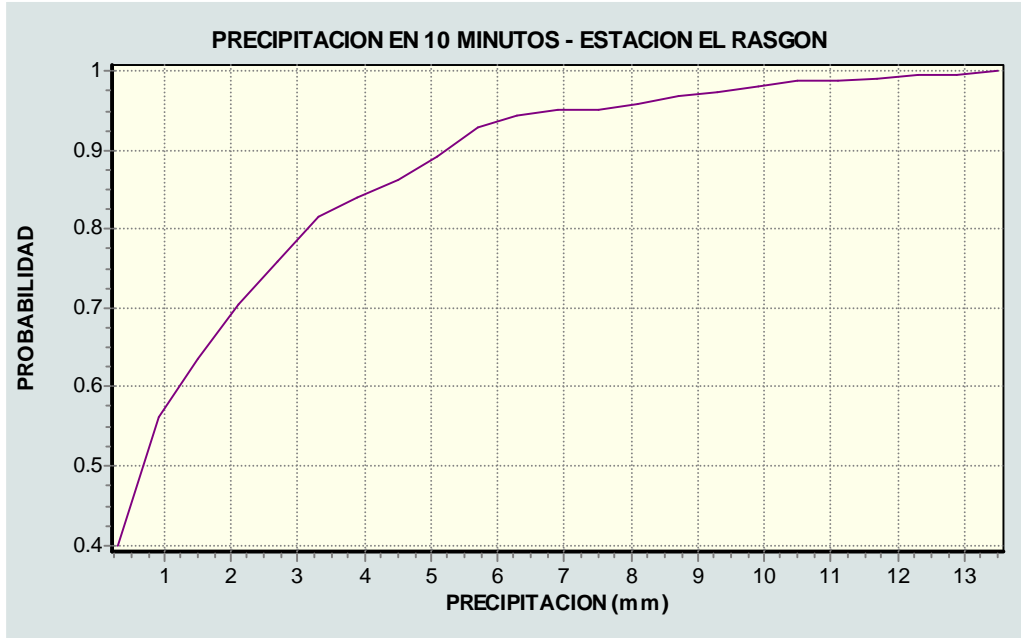
DISTRIBUCION DE FRECUENCIA PARA INTENSIDADES DE 50 MINUTOS EN LA ESTACION CLUB CAMPESTRE



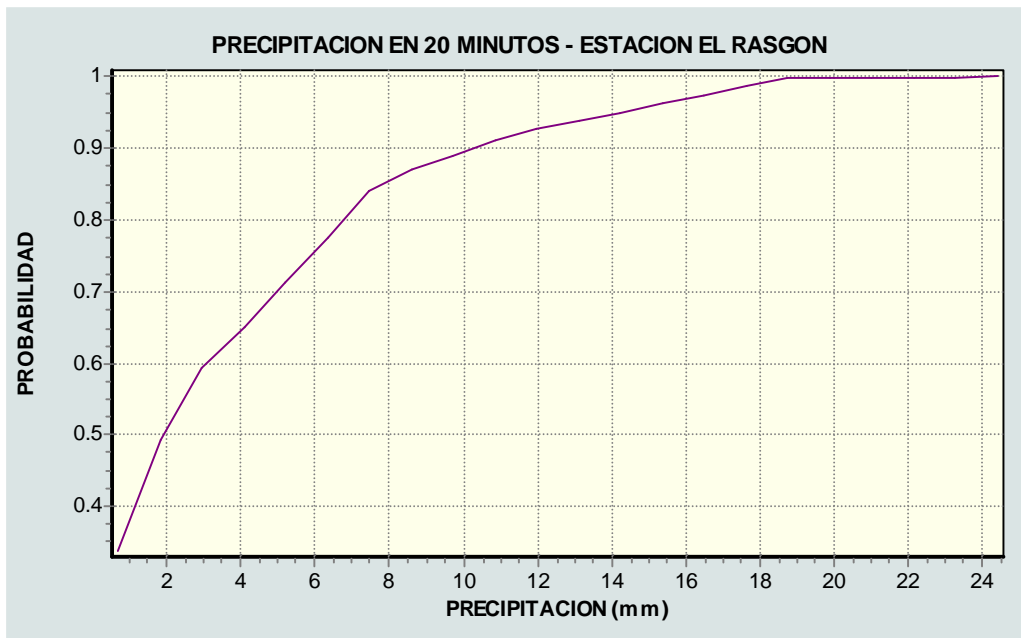
DISTRIBUCION DE FRECUENCIA PARA INTENSIDADES DE 60 MINUTOS EN LA ESTACION CLUB CAMPESTRE



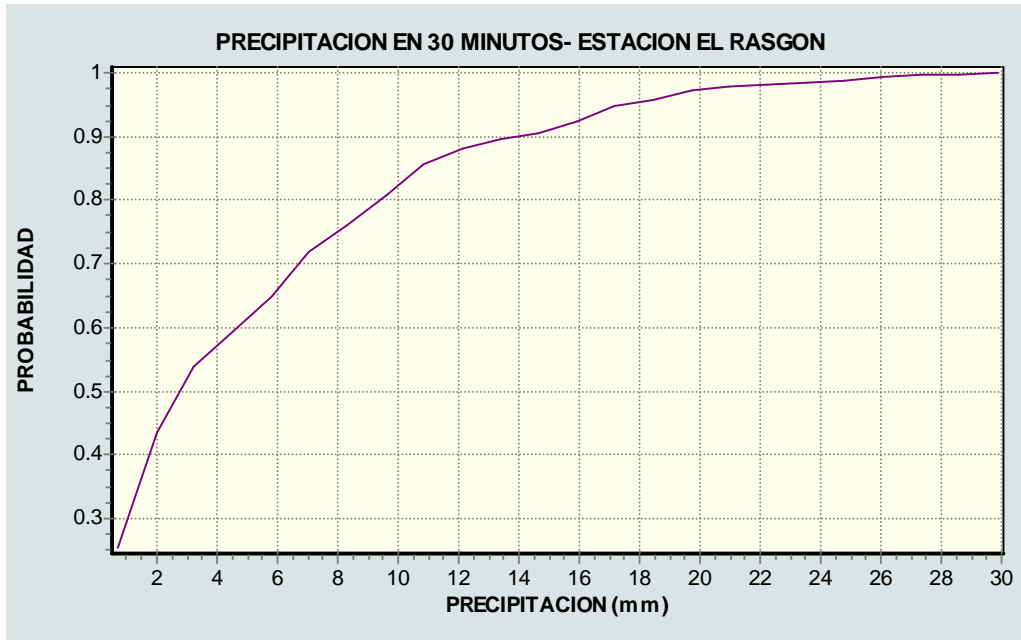
DISTRIBUCION DE FRECUENCIA PARA INTENSIDADES DE 10 MINUTOS EN LA ESTACION EL RASGON



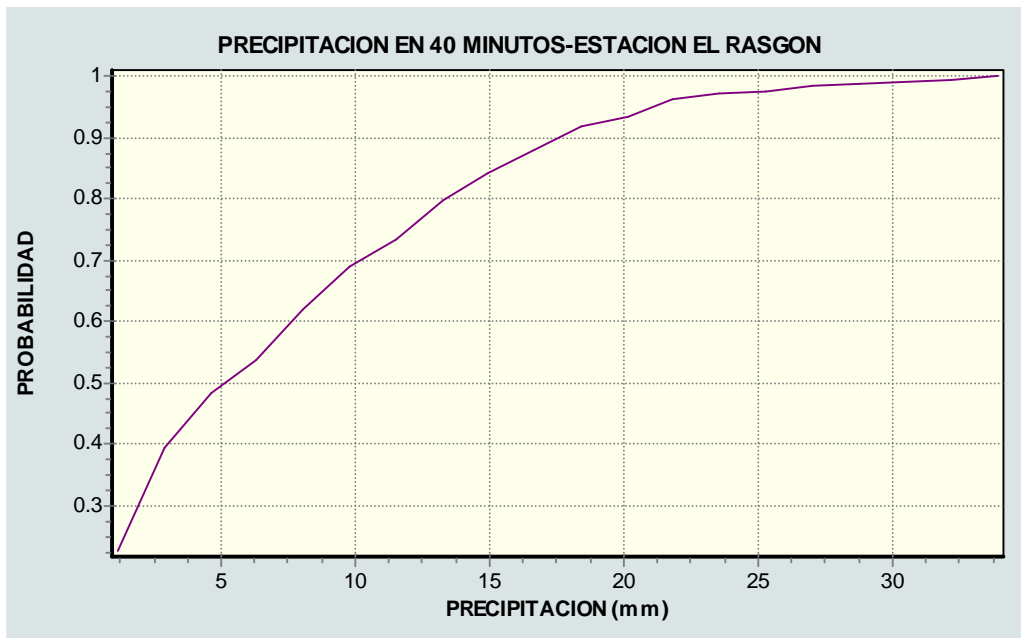
DISTRIBUCION DE FRECUENCIA PARA INTENSIDADES DE 20 MINUTOS EN LA ESTACION EL RASGON



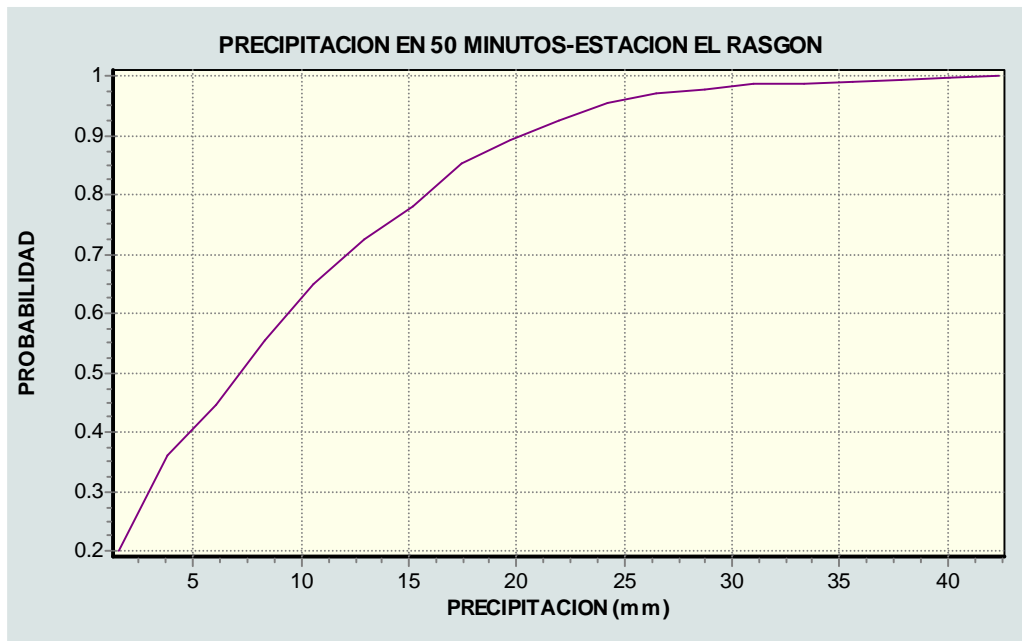
DISTRIBUCION DE FRECUENCIA PARA INTENSIDADES DE 30 MINUTOS EN LA ESTACION EL RASGON



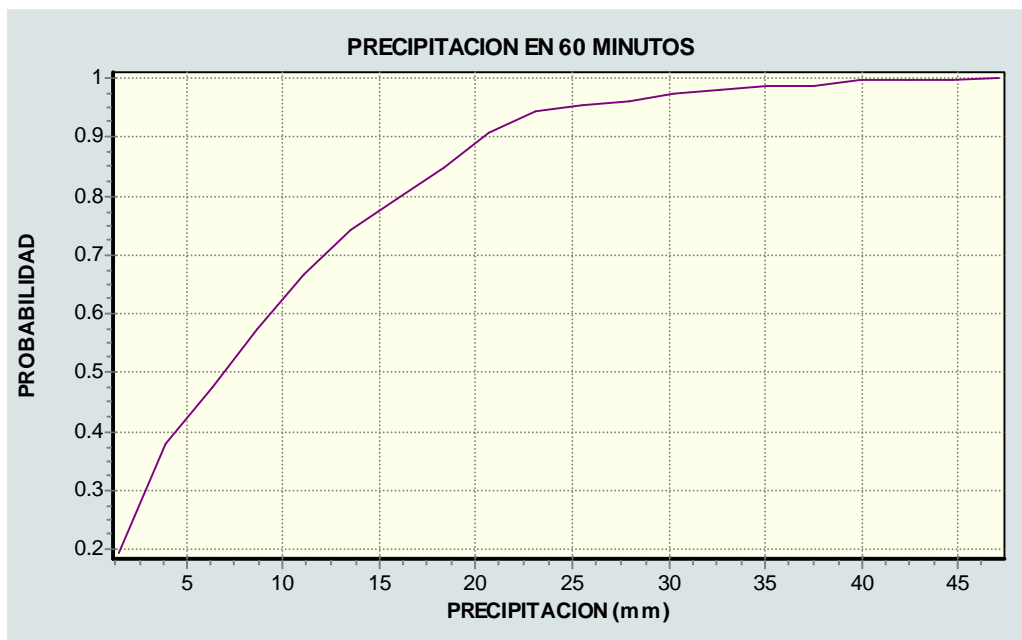
DISTRIBUCION DE FRECUENCIA PARA INTENSIDADES DE 40 MINUTOS EN LA ESTACION EL RASGON



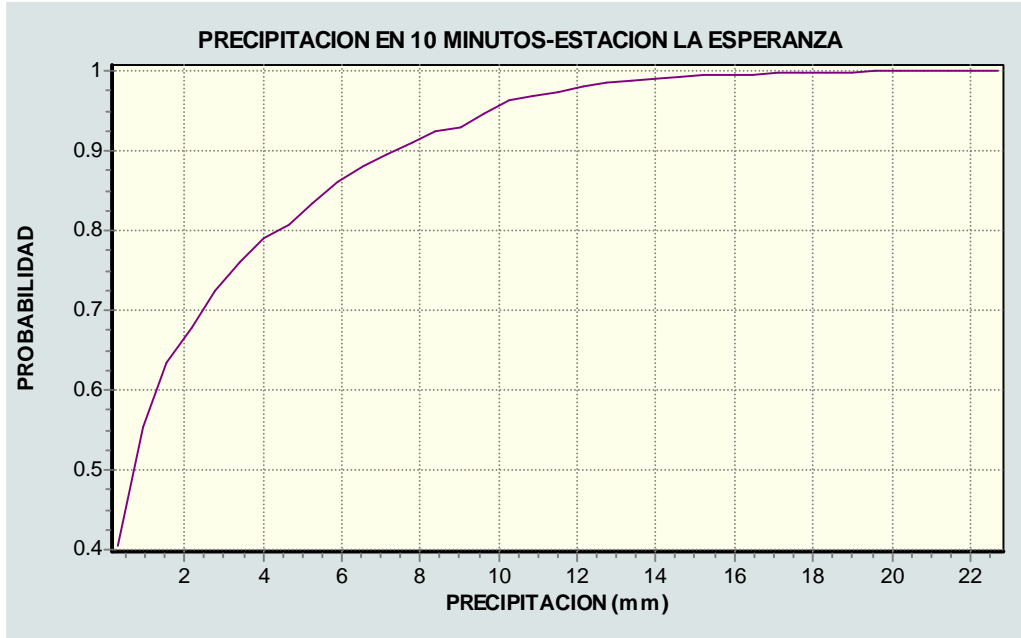
### DISTRIBUCION DE FRECUENCIA PARA INTENSIDADES DE 50 MINUTOS EN LA ESTACION EL RASGON



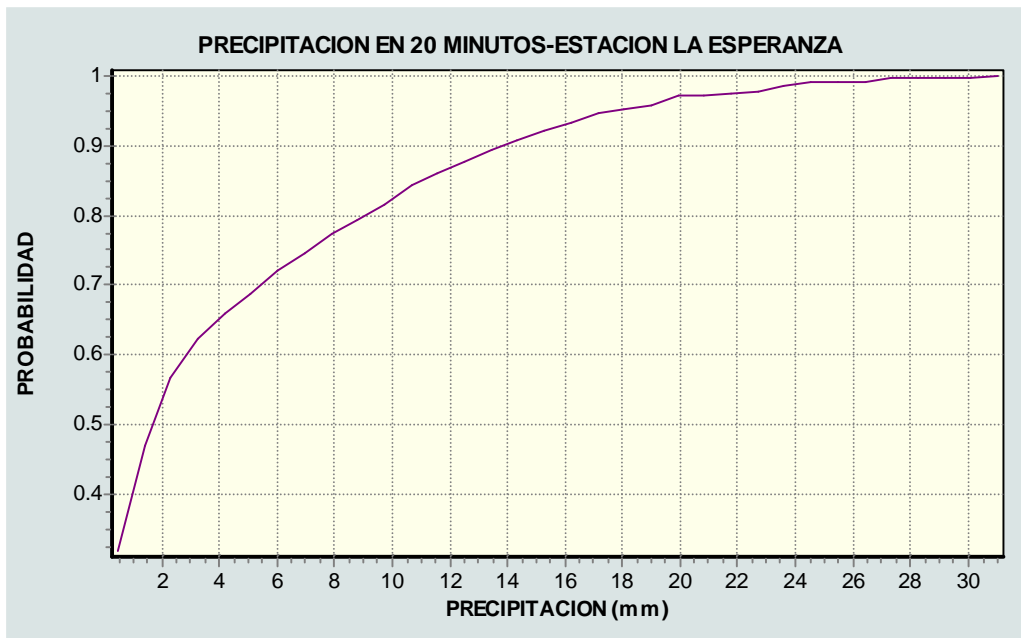
### DISTRIBUCION DE FRECUENCIA PARA INTENSIDADES DE 60 MINUTOS EN LA ESTACION EL RASGON



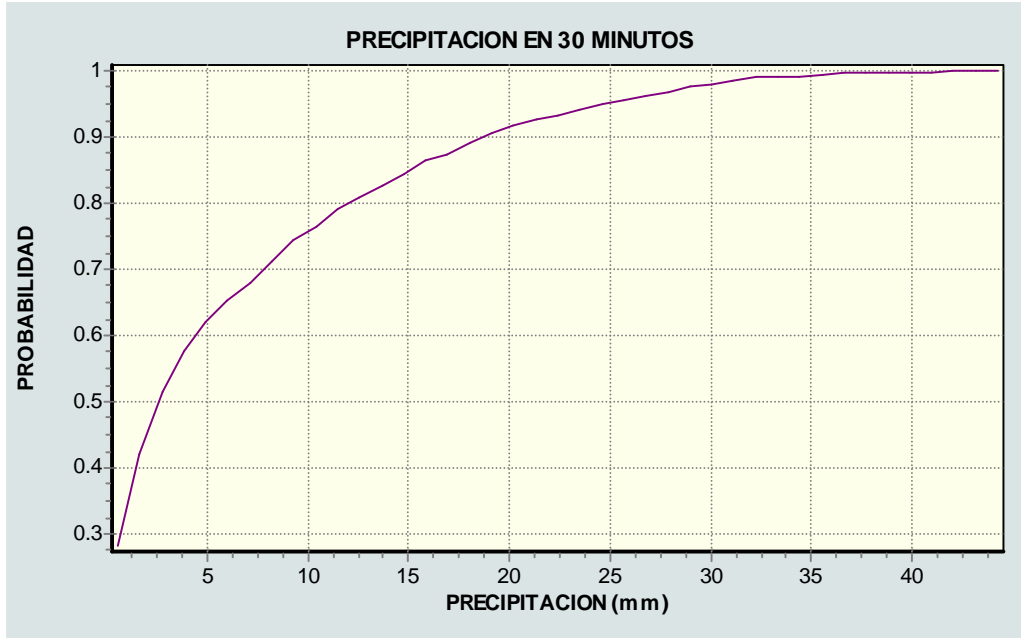
DISTRIBUCION DE FRECUENCIA PARA INTENSIDADES DE 10 MINUTOS EN LA ESTACION LA ESPERANZA



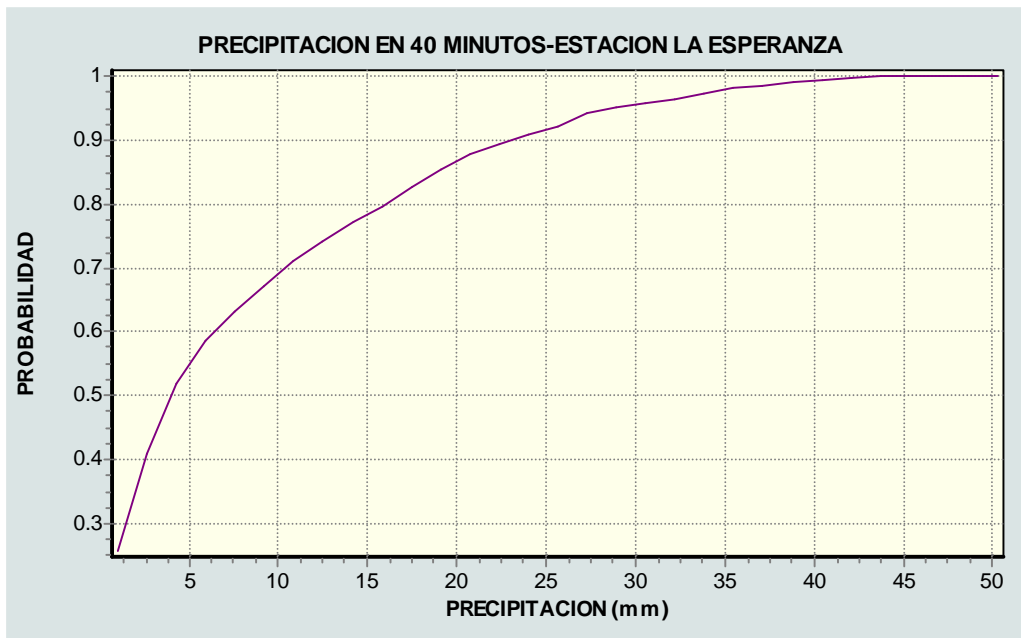
DISTRIBUCION DE FRECUENCIA PARA INTENSIDADES DE 20 MINUTOS EN LA ESTACION LA ESPERANZA



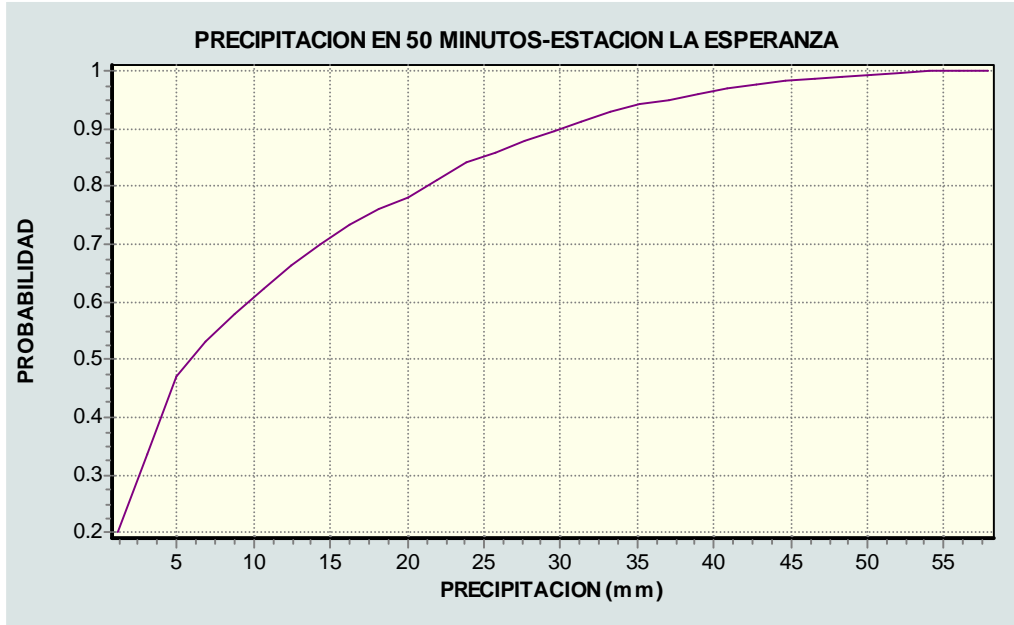
DISTRIBUCION DE FRECUENCIA PARA INTENSIDADES DE 30 MINUTOS EN LA ESTACION LA ESPERANZA



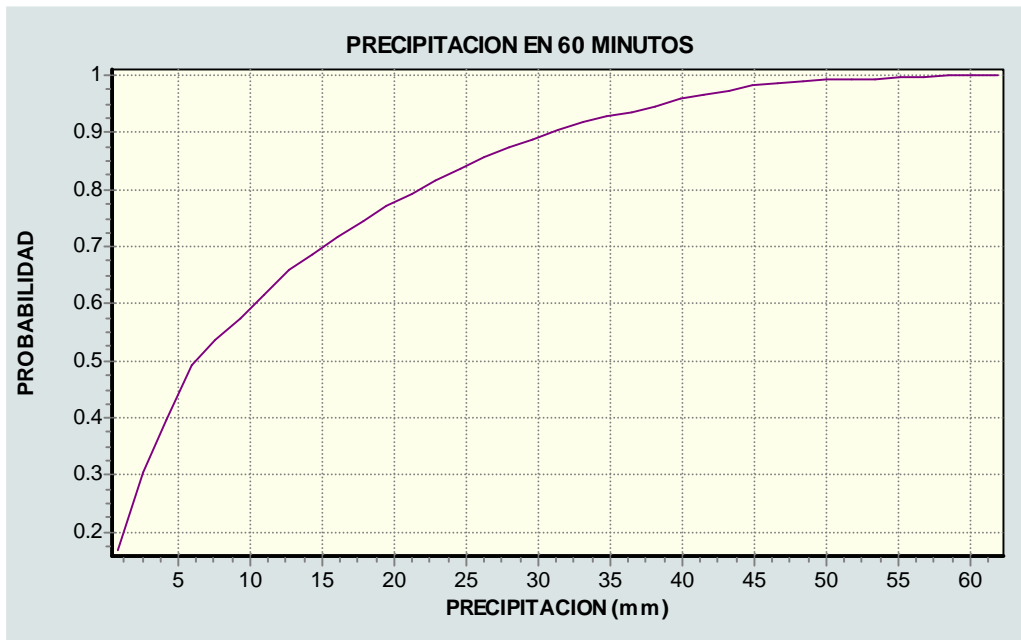
DISTRIBUCION DE FRECUENCIA PARA INTENSIDADES DE 40 MINUTOS EN LA ESTACION LA ESPERANZA



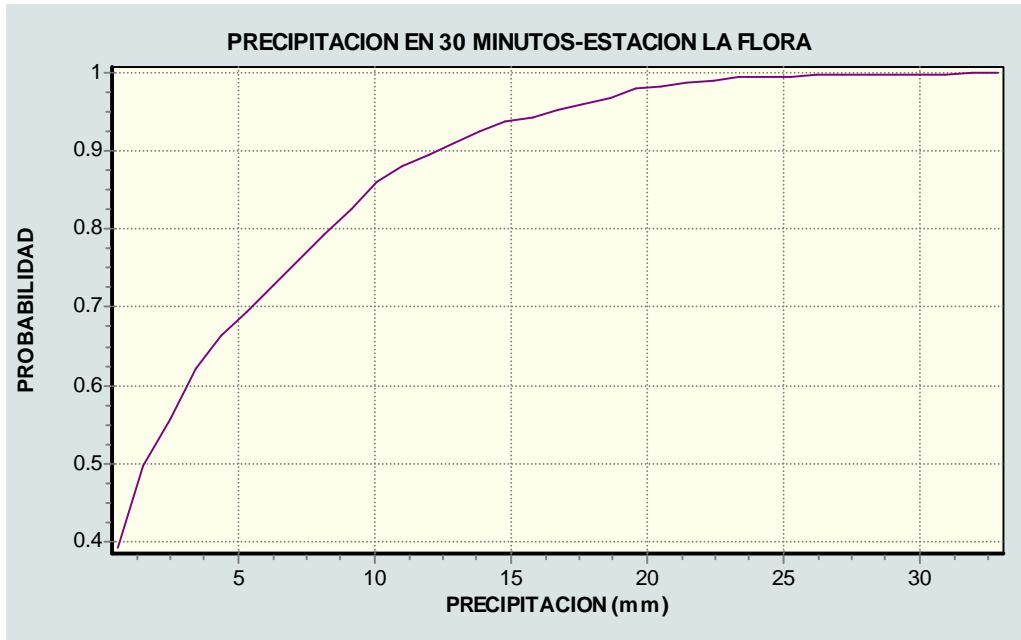
DISTRIBUCION DE FRECUENCIA PARA INTENSIDADES DE 50 MINUTOS EN LA ESTACION LA ESPERANZA



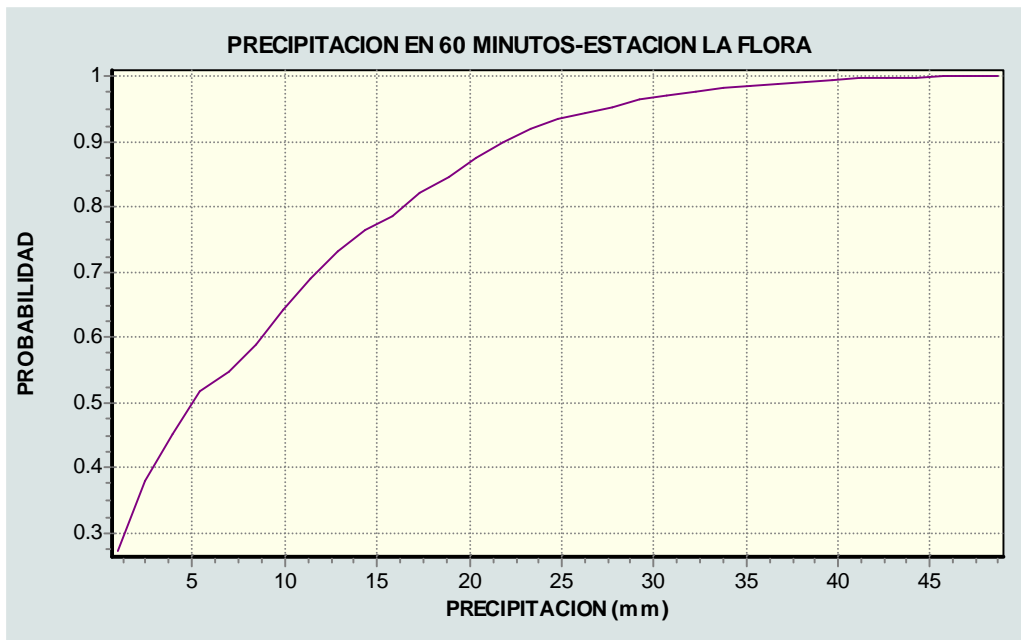
DISTRIBUCION DE FRECUENCIA PARA INTENSIDADES DE 60 MINUTOS EN LA ESTACION LA ESPERANZA



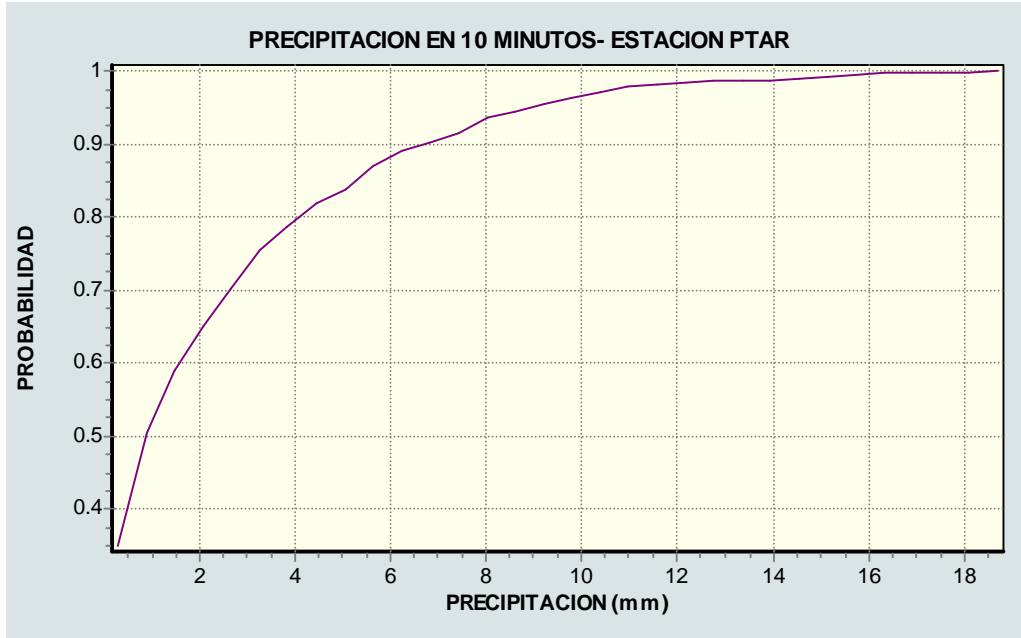
DISTRIBUCION DE FRECUENCIA PARA INTENSIDADES DE 30 MINUTOS EN LA ESTACION LA FLORA



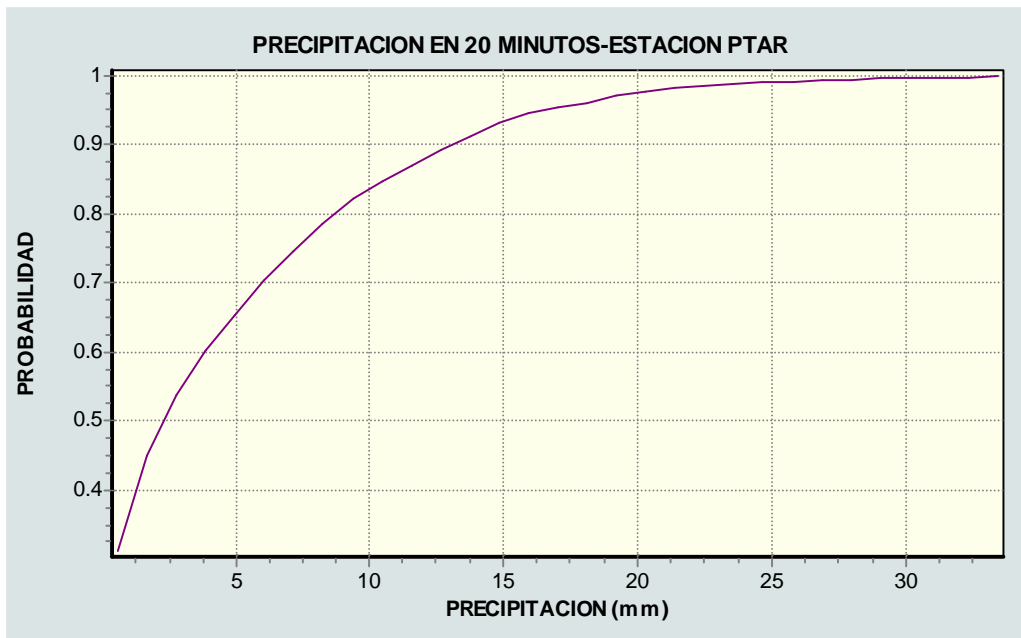
DISTRIBUCION DE FRECUENCIA PARA INTENSIDADES DE 60 MINUTOS EN LA ESTACION LA FLORA



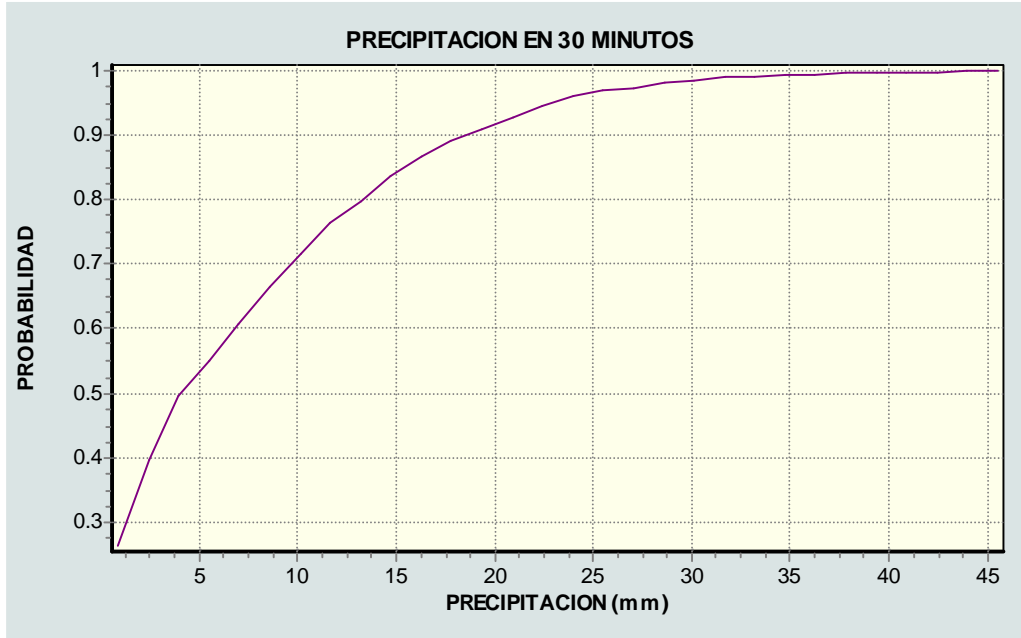
DISTRIBUCION DE FRECUENCIA PARA INTENSIDADES DE 10 MINUTOS EN LA ESTACION PTAR O TOTUMOS



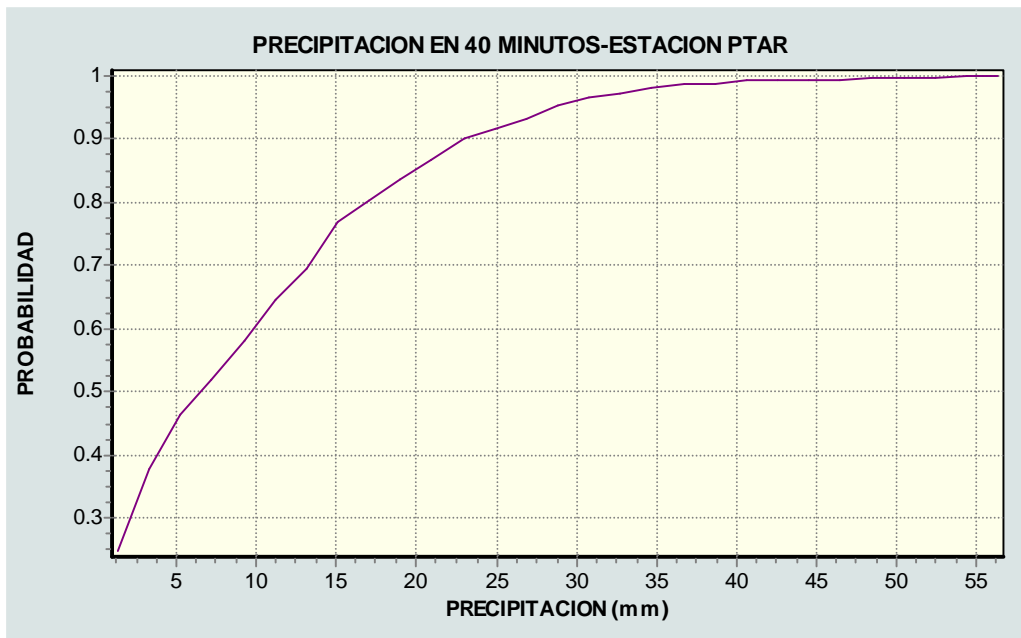
DISTRIBUCION DE FRECUENCIA PARA INTENSIDADES DE 20 MINUTOS EN LA ESTACION PTAR O TOTUMOS



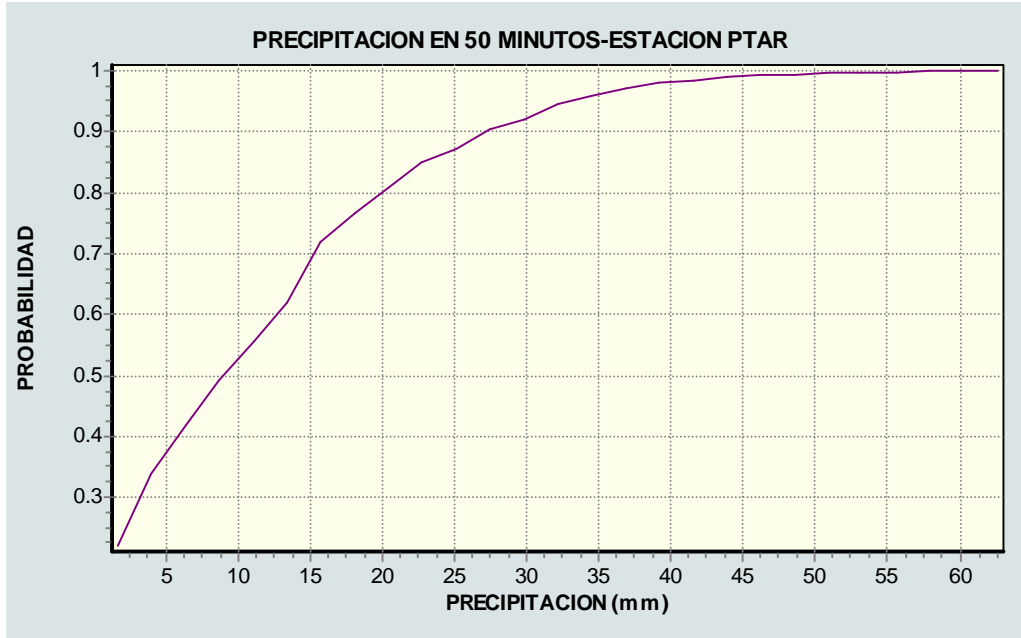
DISTRIBUCION DE FRECUENCIA PARA INTENSIDADES DE 30 MINUTOS EN LA ESTACION PTAR O TOTUMOS



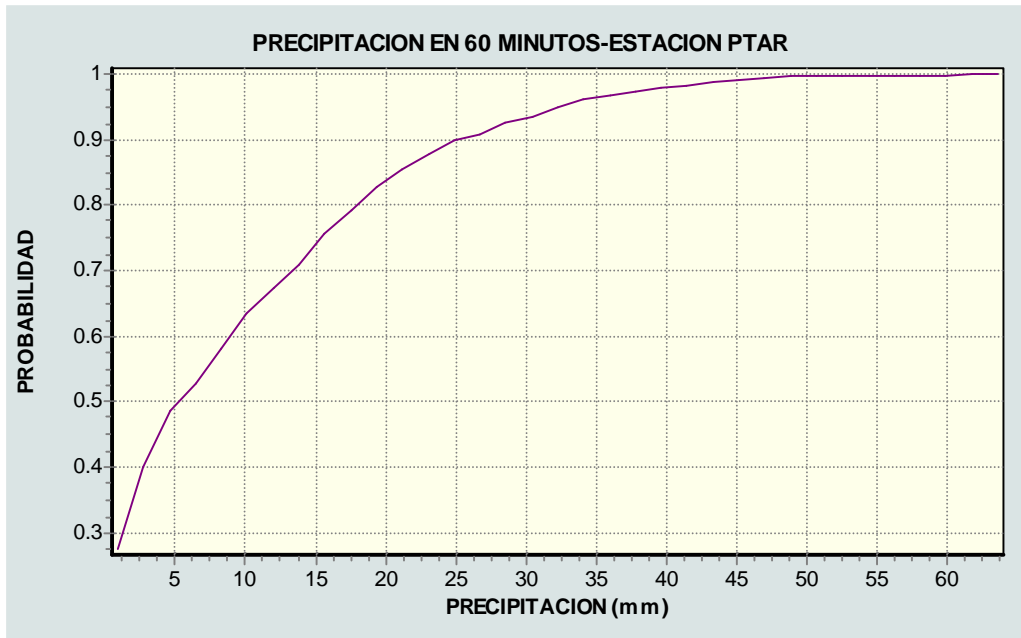
DISTRIBUCION DE FRECUENCIA PARA INTENSIDADES DE 40 MINUTOS EN LA ESTACION PTAR O TOTUMOS



DISTRIBUCION DE FRECUENCIA PARA INTENSIDADES DE 50 MINUTOS EN LA ESTACION PTAR O TOTUMOS



DISTRIBUCION DE FRECUENCIA PARA INTENSIDADES DE 60 MINUTOS EN LA ESTACION PTAR O TOTUMOS



## **ANEXO F**

**EVALUACION DE CRECIENTES PRODUCIDAS A  
PARTIR DE EVENTOS DE PRECIPITACION CON  
CURVAS DE HUFF DE 10%, 50% Y 90% Y CURVAS  
SCS TIPO I Y TIPO II**

Uno de los parámetros importantes en la selección de un patrón de lluvia es la consideración de la relación P-Q, la cual se evalúo con el fin de determinar con cual patrón se produce la mayor escorrentía.

## **HERRAMIENTA UTILIZADA PARA GENERAR LAS CRECIENTES**

- **Modelo NAM-GPH.** Para generar las crecientes se hizo uso de esta herramienta, la cual es un programa que simula la dinámica de una cuenca basándose en un sistema de tanques, en donde cada uno representa una zona del suelo (zona superficial, zona insaturada y zona saturada), teniendo en cuenta las variables que describen los respectivos procesos, como por ejemplo la infiltración, la percolación, la evaporación, la ascensión capilar, el flujo superficial, entre otras variables. El diagrama de funcionamiento de los tanques se muestra en la figura F.1, y se muestran en este las nomenclaturas utilizadas para referirse a las constantes y variables que definen los procesos que se presentan en la dinámica de una cuenca.

- **Funcionamiento del Modelo.**

La herramienta funciona a partir de datos de precipitación, evapotranspiración y temperatura (esta última en caso de existir nieve), precedidos todos por una columna de fecha en formato numérico, que indica la resolución temporal de la información. Los datos son ingresados en unidades de mm en formato TXT, los cuales son leídos desde el software.

Como se mencionó anteriormente, el software trabaja con un conjunto de variables que simulan la dinámica de los procesos que se pueden presentar en el análisis de la relación P-Q. Estas variables están definidas por constantes propias de cada cuenca que se obtienen inicialmente mediante un proceso de calibración.

- **Proceso de Calibración.**

Este proceso se realiza mediante la comparación de los valores simulados de descarga de un determinado evento, con los caudales medidos en ese mismo evento. Para esto, se requiere ingresar datos con las variables mencionadas anteriormente, con una variable adicional que corresponde a caudales, medidos en mm/hr. El proceso de calibración se realiza en **Model/Parameter Calibration**. Aquí se permite variar los valores de una, varias o todas las constantes para buscar el Nash-Sutcliffe (que corresponde a un coeficiente de ajuste) seleccionado. En este proceso de calibración se muestra que las constantes son definidas entre un rango de valores mínimos y máximos que define el usuario. La calibración lo que busca es un valor randómico comprendido entre el rango definido que produzca el coeficiente de ajuste seleccionado iterando el número de veces que se defina. Cuando los valores de caudal medidos y los valores de caudal simulados se aproximan significativamente, el proceso de calibración ha terminado y las constantes arrojadas serán las que definen el comportamiento de la cuenca.

## MODELACION DE CRECIENTES

### 1. Definición de Constantes

Para la modelación de las crecientes se tuvo en cuenta las siguientes constantes calibradas para las subcuencas de la Cuenca del Río de Oro:

CONSTANTES PARA RESOLUCION HORARIA						
Variable	ALTO	FRIO	IGLESIA	ROSITA	BAJO	SURATA
Lmax	200	200	200	200	160	120
Umax	12	12	30	30	12	4
Cmelt	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
CQOF	0.2	0.5	0.2	0.15	0.2	0.3
CQIF	0.1	0.025	0.02	0.02	0.1	0.025
CBFL	0.3	0.8	0.3	0.8	0.9	0.4
CLIF	0.01	0	0.1	0.1	0	0
CLOF	0.1	0.5	0.1	0.1	0.5	0.2
CLG	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
CK1	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	1
CK2	0.5	0.2	0.1	0.1	0.4	0.9
CKBFU	10	25	80	80	40	10
CKBFL	50	60	200	200	80	50



En este análisis, se observó que los picos de las descargas con resolución temporal de 10 minutos resultan mayoradas con respecto a las descargas obtenidas con la resolución horaria.

$$Q_H = k * Q_{10\text{min}}$$

*Ecuación 1*

Para las subcuencas calibradas se obtuvo los siguientes picos de caudal con las dos resoluciones:

CUENCA	RESOLUCION HORARIA			RESOLUCION 10 MINUTOS		k
	Fecha	QH (mm/hora)	QH (mm/10 min)	Fecha	Q10 min (mm/10min)	
Alto	09/02/2005 05:00	6.665	1.111	09/02/2005 04:00	2.735	0.406
Frío	12/02/2005 09:00	5.534	0.922	12/02/2005 08:00	1.550	0.595
Iglesia	12/02/2005 09:00	8.120	1.353	12/02/2005 06:10	2.533	0.534
Rosita	12/02/2005 09:00	8.303	1.384	12/02/2005 06:10	2.755	0.502
Bajo	12/02/2005 09:00	7.542	1.257	12/02/2005 06:10	2.728	0.461
Suratá	12/02/2005 08:00	5.043	0.841	12/02/2005 02:00	1.970	0.427
					<b>k promedio</b>	<b>0.488</b>

Como valor promedio se obtuvo un valor de  $k = 0.488$ .

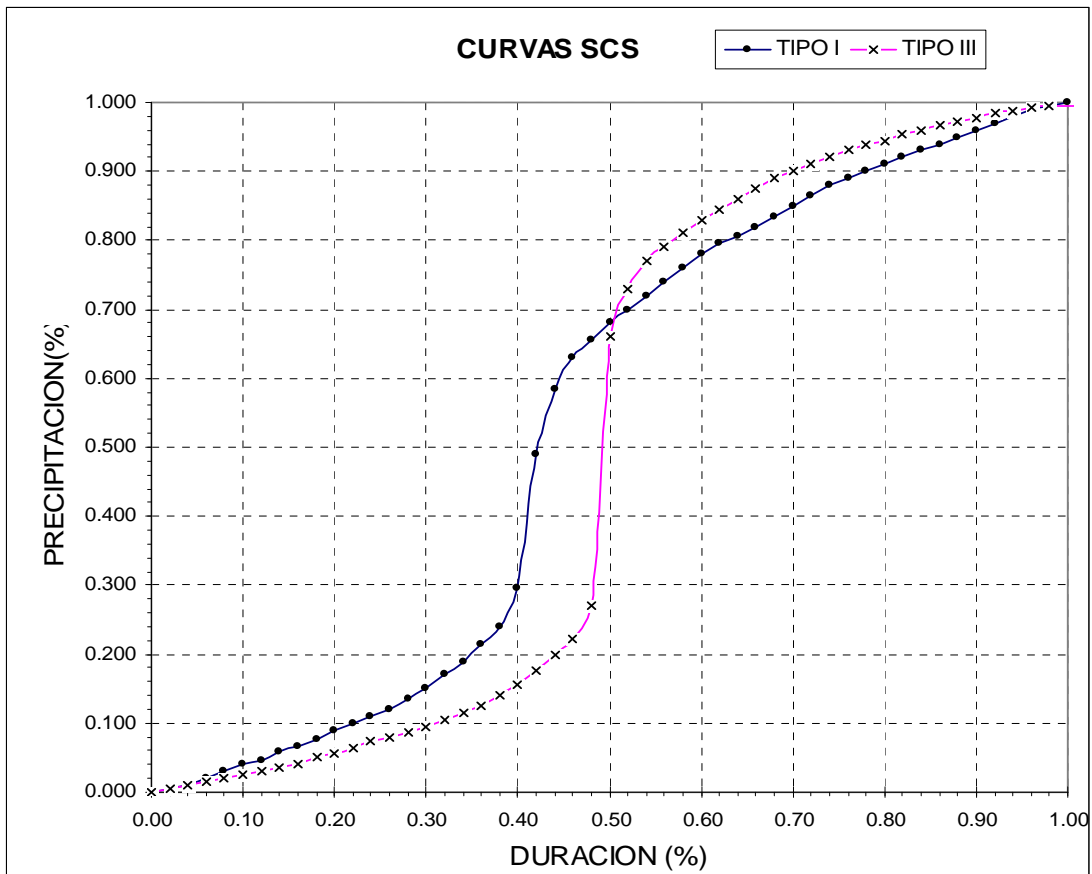
## 2. Definición de Patrones de Precipitación a Analizar

Se seleccionaron los casos de lluvia presentados por las curvas de Huff de 10%, 50% y 90% de probabilidad de ocurrencia presentadas por las estaciones La Esperanza y PTAR, las cuales pertenecen a la cuenca de Río Frío, por lo tanto las constantes a usar serán las correspondientes a esta cuenca.

A partir de esta información, se produjo hietogramas para duraciones de eventos de 30, 60 y 180 minutos, con precipitaciones de 36.5, 63.4 y 87.6 mm respectivamente, las cuales fueron afectadas por el factor de área correspondiente a 0.452, cuyo cálculo es mostrado en el Anexo G.

Igualmente, para estas mismas duraciones y precipitación se produjo los patrones de lluvia generados por las curvas sintéticas SCS Tipo I y Tipo III, cuyas curvas masa se muestran en la gráfica F.1.

\* Las curvas de masa sintéticas de la SCS son aplicables a eventos con duraciones inferiores de 24 horas.



Gráfica F.1 Curvas SCS Tipo I y Tipo III

De acuerdo a lo anterior, los casos de lluvia a modelar son los mostrados en la tabla F.2.

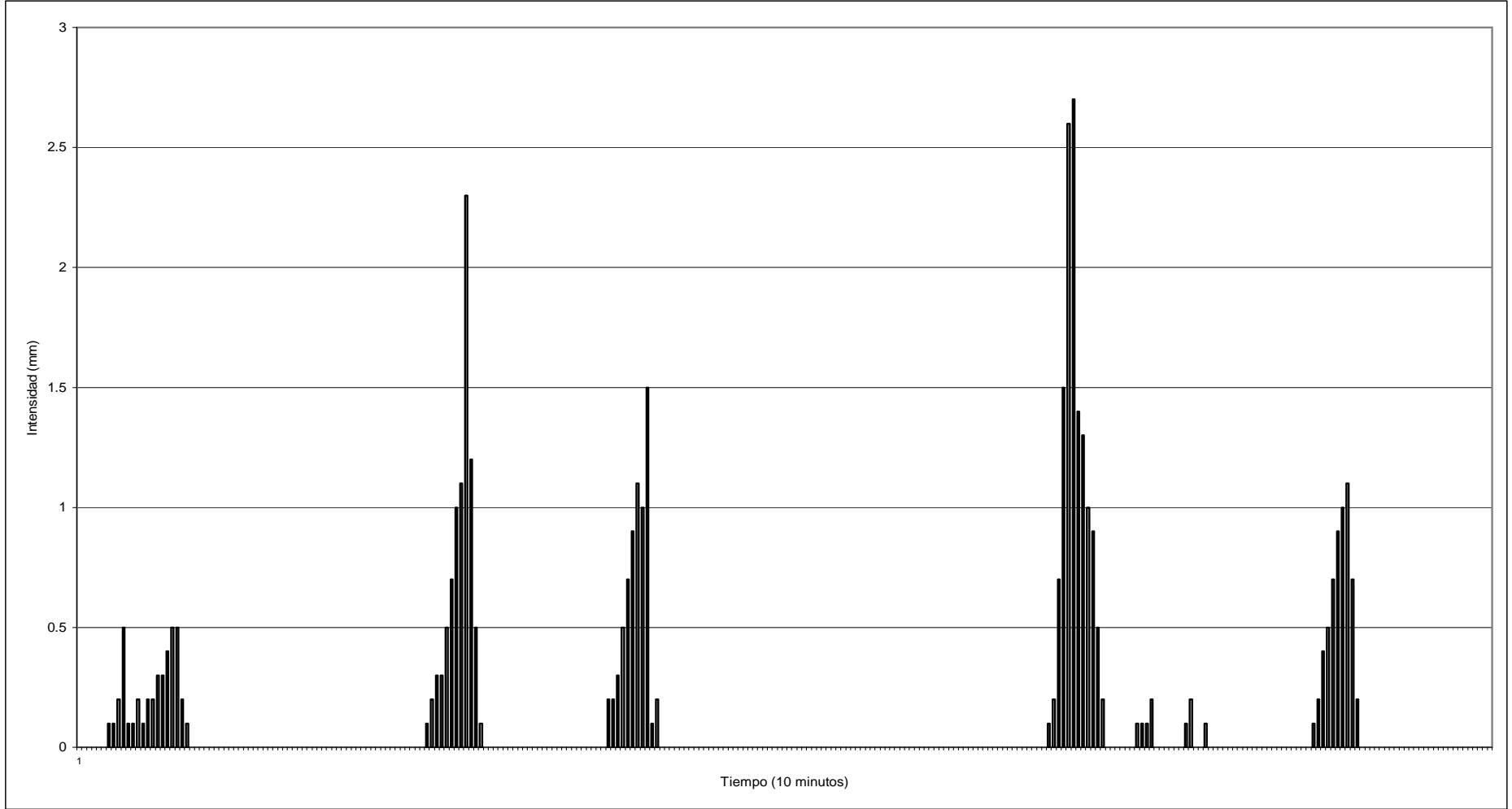
Debido a que los eventos son de relativa corta duración, es necesario anteponer a los casos de estudio, situaciones de lluvia de calentamiento. Para esto, se generó información de 2 días, mostrando lluvias intermitentes que en un caso

corresponden a lluvias de baja intensidad y en otro caso corresponden a lluvias de intensidades similares a las que se presentan en los casos a modelar.

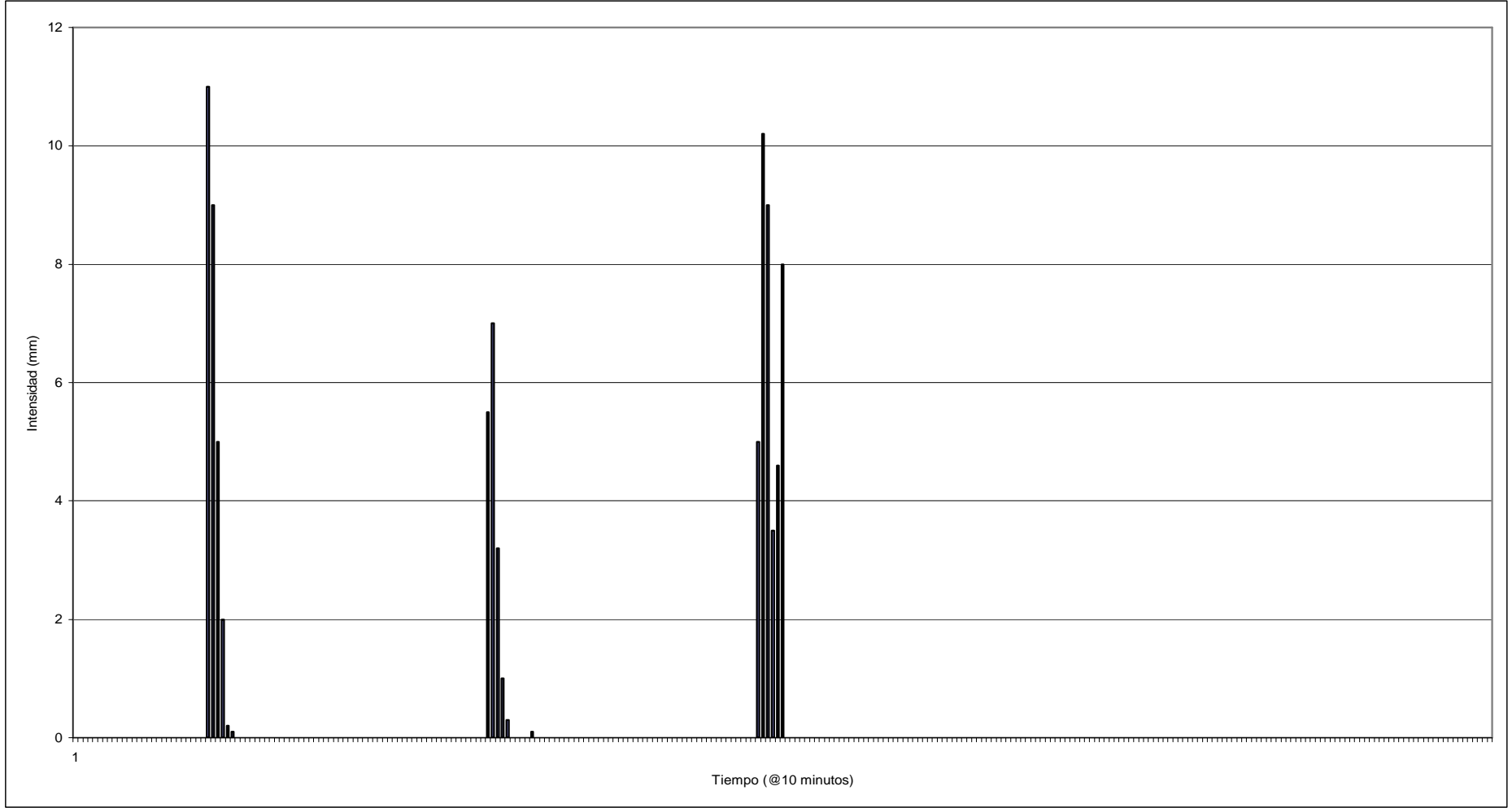
En las gráficas F.2 y F.3 se muestran los dos casos propuestos como eventos de calentamiento.

DURACION	PTAR			LA ESPERANZA			SCS	
	90%	50%	10%	90%	50%	10%	Tipo I	Tipo III
30 minutos	12.703	6.324	1.567	11.984	6.599	1.306	2.970	1.815
	2.706	7.870	7.644	3.368	6.965	7.515	10.889	12.374
	1.089	2.304	7.287	1.146	2.933	7.677	2.640	2.310
60 minutos	11.988	2.980	0.463	13.373	3.522	0.569	2.006	1.433
	10.078	8.005	2.259	7.442	7.940	1.700	3.152	1.719
	3.152	7.928	3.152	4.019	7.164	5.612	14.328	16.334
	1.547	5.741	10.125	1.832	4.935	7.442	4.585	5.158
	0.974	2.321	8.320	1.209	3.357	8.343	2.006	2.579
	0.917	1.681	4.337	0.781	1.739	4.991	2.579	1.433
180 minutos	3.850	0.704	0.143	5.499	0.962	0.210	0.792	0.713
	4.685	1.038	0.178	5.829	1.292	0.236	0.990	0.475
	8.029	2.376	0.319	7.149	2.612	0.340	0.990	0.792
	6.533	3.097	0.667	5.242	3.107	0.424	1.188	0.594
	4.289	4.179	1.188	2.382	3.850	0.550	1.584	0.594
	3.102	3.784	1.267	2.658	4.015	1.375	1.584	1.188
	2.310	3.520	1.320	2.842	4.125	1.925	3.564	1.188
	1.166	3.696	1.496	1.520	3.025	2.805	10.295	2.376
	0.880	3.740	1.540	1.190	2.750	3.025	5.939	19.006
	0.704	2.970	4.289	1.285	2.565	3.575	2.376	3.960
	0.708	2.807	4.476	1.064	2.419	3.501	1.980	1.980
	0.726	2.156	5.224	0.183	1.835	3.207	1.980	1.188
	0.585	1.619	4.626	0.403	1.761	3.644	0.792	1.980
	0.374	0.814	3.729	0.733	1.650	4.299	1.188	0.792
	0.387	0.774	3.141	0.536	1.227	3.584	0.792	0.792
0.396	0.748	2.750	0.405	0.946	3.107	1.584	0.792	
0.431	0.783	1.747	0.345	0.752	2.029	0.792	0.594	
0.440	0.792	1.496	0.330	0.704	1.760	1.188	0.594	

Tabla F.2 Casos de Precipitación a Modelar- Duraciones 30, 60 y 180 minutos



Gráfica F.2 Caso 1- Evento de calentamiento con duraciones de hasta 3 horas, e intensidades máximas de 3.8mm



Gráfica F.3 Caso 2- Evento de calentamiento con duraciones de hasta 1 hora, e intensidades máximas de 11mm

CAUDALES OBTENIDOS PARA EL EVENTO DE PRECIPITACION TOTAL 158.94mm Y DISTRIBUCIONES DE INTENSIDAD INDICADAS (Evento de calentamiento Caso 1)							
ESPERANZA 90%	ESPERANZA 50%	ESPERANZA 10%	PTAR 90%	PTAR 50%	PTAR 10%	SCS TIPO I	SCS TIPO III
<b>EVENTOS CON DURACION DE 30 MINUTOS</b>							
0.112	0.112	0.112	0.112	0.112	0.112	0.112	0.112
7.310	3.943	0.634	7.759	3.771	0.797	1.674	0.952
12.717	15.433	6.469	10.999	16.791	7.085	13.812	12.382
5.721	10.415	20.289	5.602	8.796	19.741	10.340	8.839
7.931			6.092				0.608
<b>EVENTOS CON DURACION DE 60 MINUTOS</b>							
0.114	0.114	0.114	0.114	0.114	0.114	0.114	0.114
0.112	0.112	0.112	0.112	0.112	0.112	0.112	0.112
4.631	1.085	0.111	4.132	0.890	0.111	0.539	0.333
11.020	4.900	0.669	13.430	4.558	0.824	1.666	0.903
7.946	8.873	2.907	6.726	9.525	1.878	10.328	8.832
4.715	8.428	7.195	4.227	9.746	7.931	8.681	11.699
3.703	6.936	11.927	3.277	5.427	12.471	4.983	5.782
2.975	4.604	9.712	3.206	4.502	8.868	6.149	3.751
0.732			3.862		0.732		2.111
<b>EVENTOS CON DURACION DE 3 HORAS</b>							
0.114	0.114	0.114	0.114	0.114	0.114	0.114	0.114
0.112	0.112	0.112	0.112	0.112	0.112	0.112	0.112
1.250	0.111	0.111	0.820	0.111	0.111	0.111	0.111
2.930	0.449	0.121	2.031	0.301	0.117	0.317	0.140
5.232	1.006	0.132	4.891	0.863	0.125	0.470	0.372
5.380	1.580	0.149	6.092	1.457	0.166	0.608	0.424
3.404	2.440	0.304	5.221	2.473	0.480	0.851	0.347
3.848	3.186	0.568	4.478	2.975	0.605	1.002	0.631
4.269	3.895	0.880	3.862	3.341	0.732	2.111	0.880
3.019	3.531	1.456	2.694	3.944	0.915	6.781	1.030
2.693	3.578	1.962	2.384	4.447	1.069	6.452	9.650
2.841	3.643	2.718	2.189	4.108	2.629	3.687	7.020
2.630	3.701	3.189	2.198	4.197	3.540	3.391	2.793
1.598	3.245	3.412	2.226	3.703	4.884	3.509	4.235
1.826	3.262	4.167	2.063	3.218	5.231	2.254	2.655
2.217	3.230	5.239	1.803	2.345	4.950	2.712	2.152
1.991	2.815	5.022	1.803	2.299	4.699	2.290	3.411
1.824	2.517	4.835	1.802	2.277	4.520	3.244	2.465
1.738	2.301	3.825	1.835	2.327	3.533	2.364	1.942
1.705	2.247	3.602	1.838	2.349	3.301	2.850	1.922

Tabla F.3 Caudales en mm/10 min, obtenidos para el evento de precipitación total de 158.94, con duraciones de 30, 60 y 180 minutos y distribuciones de intensidad indicadas.  
Evento de calentamiento Caso 1

CAUDALES OBTENIDOS PARA EL EVENTO DE PRECIPITACION TOTAL 158.94mm Y DISTRIBUCIONES DE INTENSIDAD INDICADAS (Evento de calentamiento Caso 2)							
ESPERANZA 90%	ESPERANZA 50%	ESPERANZA 10%	PTAR 90%	PTAR 50%	PTAR 10%	SCS TIPO I	SCS TIPO III
<b>EVENTOS CON DURACION DE 30 MINUTOS</b>							
0.059	0.059	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
6.365	3.202	0.069	14.469	6.409	0.399	2.171	0.711
10.563	8.517	10.175	11.110	14.748	10.550	16.013	17.257
12.041	11.768	16.421	8.203	10.760	16.075	11.497	10.820
11.567	12.027	7.979	6.021	6.756	7.908	6.867	6.647
10.374	11.068	6.048	5.254	5.656	6.029	5.662	5.536
9.033	9.737	5.343	4.764	5.092	5.332	5.082	4.977
7.783	8.411	4.855	4.347	4.642	4.846	4.630	4.534
6.706	7.234	4.432	3.973	4.242	4.425	4.229	4.141
5.807	6.241	4.052	3.634	3.880	4.045	3.866	3.785
5.068	5.422	3.706	3.326	3.551	3.700	3.537	3.462
4.461	4.749	3.393	3.046	3.252	3.387	3.238	3.168
3.958	4.196	3.107	2.792	2.981	3.103	2.967	2.902
3.538	3.736	2.848	2.561	2.734	2.844	2.720	2.659
3.182	3.349	2.613	2.351	2.509	2.609	2.496	2.439
2.877	3.019	2.399	2.160	2.305	2.396	2.292	2.239
2.612	2.735	2.204	1.986	2.120	2.201	2.106	2.058
2.380	2.487	2.027	1.828	1.951	2.025	1.938	1.892
2.175	2.269	1.866	1.684	1.797	1.864	1.784	1.742
<b>EVENTOS CON DURACION DE 60 MINUTOS</b>							
0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.059	0.006	0.059
3.848	0.517	0.059	3.380	0.333	0.059	2.171	0.059
7.745	3.408	0.104	8.045	3.182	0.255	16.013	0.420
10.089	6.826	2.055	10.362	6.869	1.425	11.497	5.919
10.792	9.377	5.274	10.923	9.819	5.281	6.867	9.939
10.554	10.780	9.090	10.529	10.966	9.363	5.662	11.504
9.828	11.014	11.626	9.792	11.057	11.746	5.082	11.513
8.730	10.159	11.613	8.695	10.141	11.659	4.630	10.514
7.605	8.970	10.590	7.576	8.930	10.601	4.229	9.230
6.591	7.780	9.285	6.566	7.738	9.282	3.866	7.978
5.724	6.720	8.016	5.705	6.681	8.008	3.537	6.875
5.001	5.821	6.900	4.987	5.789	6.892	3.238	5.947
4.403	5.076	5.963	4.391	5.049	5.956	2.967	5.181
3.906	4.461	5.190	3.897	4.440	5.184	2.720	4.551
3.490	3.953	4.555	3.483	3.936	4.551	2.496	4.030
3.138	3.528	4.032	3.132	3.515	4.029	2.292	3.596
2.836	3.169	3.595	2.832	3.158	3.593	2.106	3.230
2.575	2.863	3.228	2.571	2.854	3.226	1.938	2.916
2.346	2.597	2.913	2.343	2.590	2.913	1.784	2.646
<b>EVENTOS CON DURACION DE 3 HORAS</b>							
0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006	0.006
1.314	0.005	0.005	0.445	0.005	0.005	0.005	0.005
4.335	0.208	0.049	3.310	0.153	0.035	0.172	0.089
6.382	1.444	0.104	6.251	0.945	0.076	0.398	0.264
6.638	2.673	0.178	7.150	2.502	0.146	1.035	0.444
5.480	3.664	0.270	6.765	3.721	0.289	1.629	0.616
5.586	4.424	0.386	6.356	4.257	0.864	1.895	1.202
5.900	5.113	1.614	5.973	4.645	1.448	3.192	1.671
5.248	5.030	2.505	5.208	5.206	1.762	7.728	1.922
4.875	5.110	3.126	4.778	5.724	1.993	7.586	11.522
4.800	5.217	3.907	4.451	5.690	3.711	5.960	8.596
4.581	5.310	4.427	4.250	5.802	4.696	5.519	5.884
3.880	5.073	4.728	4.095	5.572	5.890	5.489	6.130
3.644	5.020	5.374	3.853	5.240	6.396	4.714	5.297
3.716	4.963	6.283	3.537	4.618	6.425	4.705	4.731
3.500	4.674	6.432	3.345	4.351	6.380	4.364	5.143
3.259	4.377	6.448	3.188	4.163	6.333	4.727	4.640
3.057	4.102	5.929	3.067	4.038	5.783	4.253	4.133
2.894	3.912	5.682	2.951	3.921	5.494	4.334	3.863

Tabla F.4 Caudales en mm/ 10 min., obtenidos para el evento de precipitación total de 158.94, con duraciones de 30, 60 y 180 minutos y distribuciones de intensidad indicadas. Evento de calentamiento Caso 2

## **ANEXO G**

### **CURVA INTENSIDAD VERSUS AREA**

## CURVA INTENSIDAD VS AREA

Para la modelación de crecientes de los eventos de lluvia seleccionados, estos fueron afectados por un factor de área, debido a que las precipitaciones iniciales corresponden a la máxima intensidad puntual presentada en la cuenca de estudio, y los datos de entrada deben corresponder a la precipitación promedio de la cuenca.

Para la obtención del factor de área se obtuvo una curva de Precipitación vs. Área, para los eventos ocurridos entre el 8 y 12 de febrero de 2005. Se seleccionó ocho horas de lluvia, en las cuales se observó las mayores intensidades de lluvia:

Febrero 8 9:00a.m.            Febrero 9 1:00a.m.  
Febrero 9 3:00a.m.            Febrero 9 4:00a.m.  
Febrero 9 5:00a.m.            Febrero 11 5:00a.m.  
Febrero 11 6:00a.m.            Febrero 12 6:00a.m.

La información poseída correspondió a la suministrada por las estaciones mencionadas en la tabla G-1.

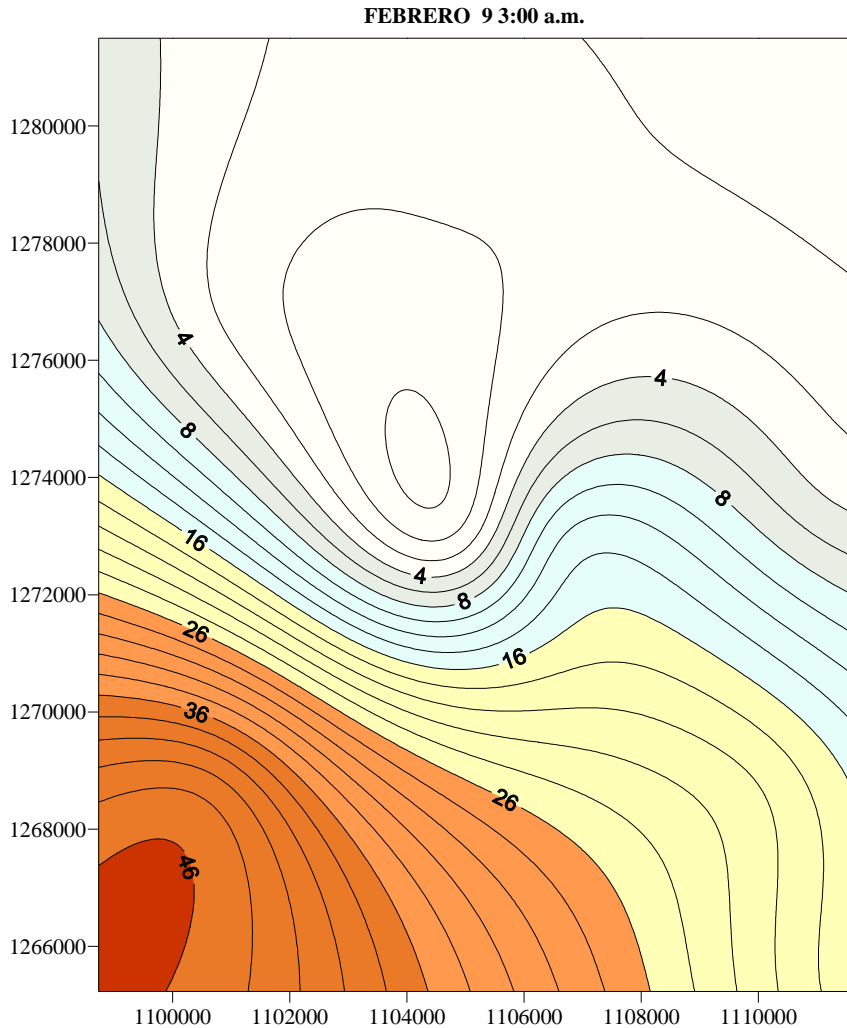
ESTACION	TIPO	NORTE	ESTE
Granja Piedecuesta	PG	1265228.44	1111558.92
IDEAM	PG	1280115.37	1106165.91
Llano Grande	PG	1268739.27	1100571.11
Apto Palonegro	PG	1279868.90	1098742.90
Ruitoque	PG	1268701.86	1110037.82
La Esperanza	PG	1273581.60	1111228.36
Club Campestre	PG	1273071.53	1106398.82
CDMB	PG	1279070.65	1105857.40
Centro	Automatica	1279145.60	1104976.11
Chimita	Automatica	1276795.85	1100617.85
PTAR	Automatica	1273104.76	1104883.23
UIS	Automatica	1281493.52	1105534.11

Tabla G-1 Estaciones Meteorológicas Cuenca Río de Oro

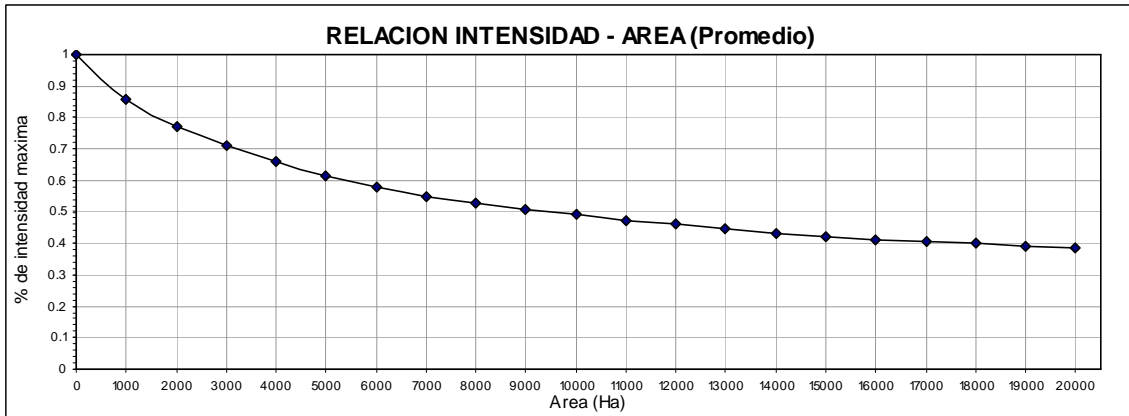
### **Metodología Utilizada para Obtención de la Curva**

Para la obtención de la curva se realizó el siguiente procedimiento:

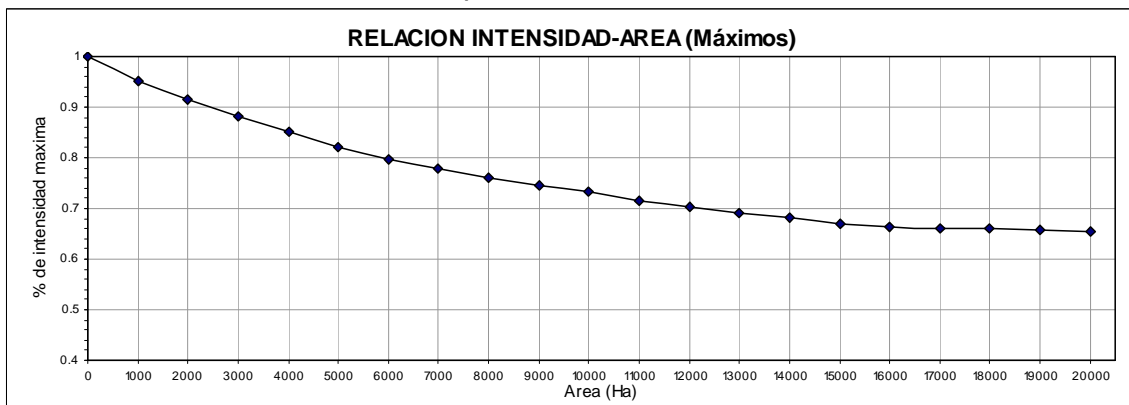
- Para cada hora de lluvia seleccionada se realizó la espacialización de la lluvia por medio del software Surfer Versión 8.0.



- Se identificó para cada espacialización el punto en el cual se presentó la mayor intensidad. A partir de este punto, se evaluó la precipitación promedio presentada en áreas circulares concéntricas con el punto de mayor intensidad. Este proceso se realizó en el software SPELL-MAP.
- Posteriormente, se produjo para cada espacialización la curva Intensidad vs. Área, y finalmente, se obtuvo una curva promedio y la curva máxima presentada.



Para el área de la cuenca analizada en las modelaciones (Cuenca de Río Frío: 12224 Ha), el factor de área corresponde a 0.452 según la curva promedio. Para la curva máxima este valor corresponde a 0.70.



## **ANEXO H**

**CURVAS DE HUFF DE LOS EVENTOS CON  
RESOLUCION TEMPORAL DE 30 MINUTOS  
PRESENTADOS EN LA ESTACION CDMB**

Como se había mencionado en el apartado 4.1.4 la representación probabilística de los eventos con resolución temporal de 30 minutos presentaba incongruencias con los comportamientos reales de un evento de precipitación.

Al observar detalladamente las tendencias de cada una de las curvas se encontró que existen dos patrones de precipitación que se diferencian según la duración del evento, patrones de precipitación convectivos y orográficos, de menor y mayor duración, respectivamente.

La estación de la CDMB ha tenido en toda su historia registros con resolución temporal de 30 minutos y esta ha sido la que cuenta con el mayor número de eventos extremos.

Para la elaboración de estas curvas no se combinaron eventos de diferente duración, con el fin de evitar de que no estén siempre los mismos eventos en las diferentes abscisas probabilísticas.

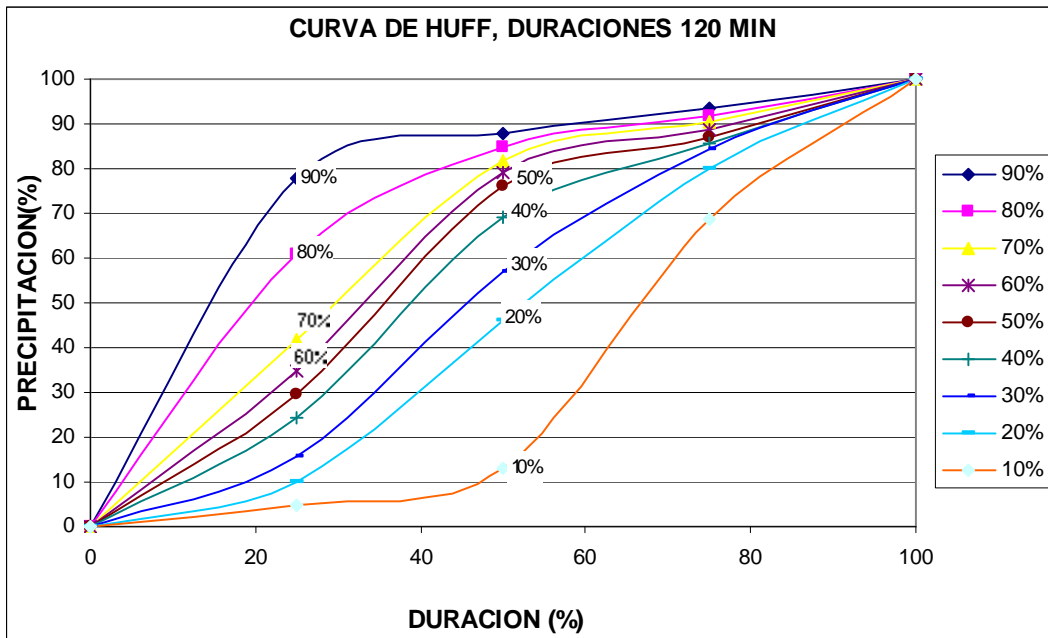
Por tal razón se elaboraron curvas de Huff para los eventos que tuvieran las siguientes duraciones: 120, 150, 210 y 270 minutos, no se elaboraron para las otras duraciones por no contar con un número adecuado de eventos.

Si comparamos la gráfica de duración de 120 min. con la de 210, se distinguen valores de intensidad más fuertes en esta última hacia el 50% de la duración mientras que en la primera estas se dan al comienzo del evento. Aun así no es fácil estimar un valor de duración que delimite entre la precipitación convectiva y la orográfica. Para dicha labor se debe contar con una mayor cantidad de eventos que garanticen la confiabilidad del rango estimado.

Para estudios posteriores se podrá contar con una mayor cantidad de eventos y además se recomienda el aumento del valor de probabilidad de ocurrencia de los eventos con el fin de abarcar un mayor rango de eventos.

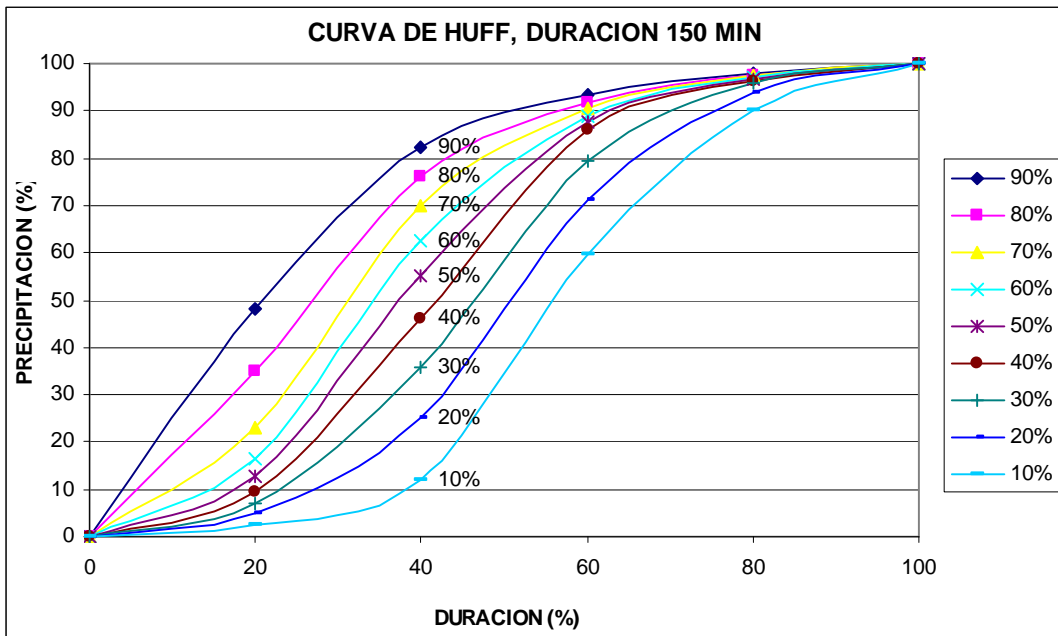
**CURVA DE HUFF, DURACION: 120 MINUTOS**

probabilidad	0	25	50	75	100
90	0	77.7	87.75	93.55	100
80	0	60.89	84.82	91.95	100
70	0	41.93	81.91	90.35	100
60	0	34.79	78.99	88.75	100
50	0	29.49	76.06	87.15	100
40	0	24.22	69.27	85.55	100
30	0	15.48	56.78	84.5	100
20	0	10.2	46.06	80	100
10	0	4.9	13.16	68.9	100



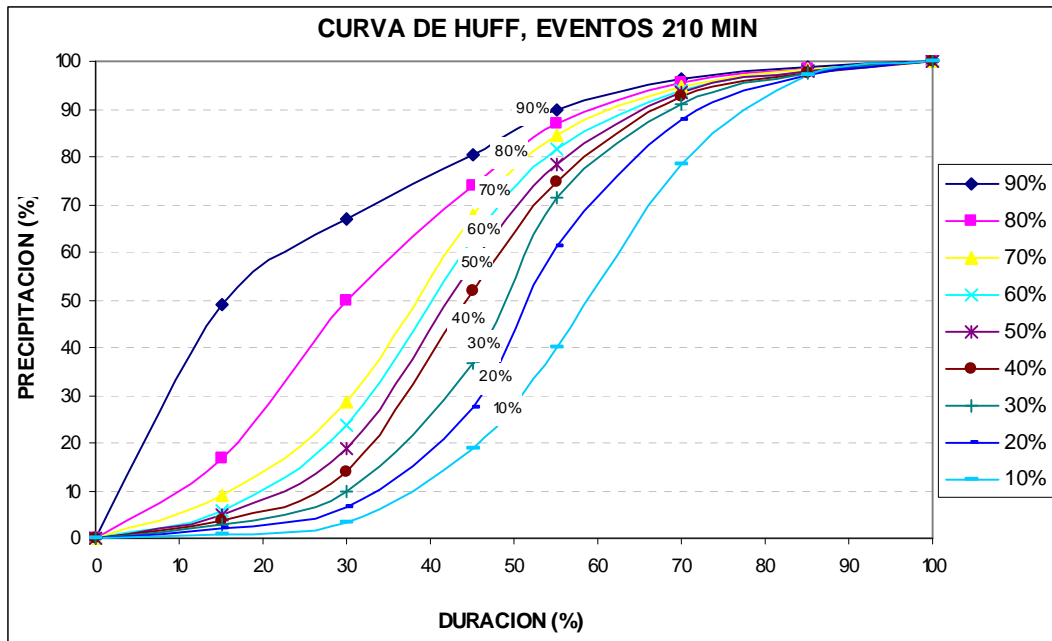
**CURVA DE HUFF, DURACION: 150 MINUTOS**

probabilidad	0	20	40	60	80	100
90%	0	48.3	82.5	93.4	98.1	100
80%	0	34.8	76.25	91.95	97.72	100
70%	0	23	69.9	90.5	97.34	100
60%	0	16.3	62.5	89.05	96.96	100
50%	0	12.6	55.1	87.6	96.58	100
40%	0	9.5	46	86.15	96.2	100
30%	0	7.12	36	79.5	95.82	100
20%	0	4.74	25.1	71	94	100
10%	0	2.36	11.8	59.7	90.1	100



**CURVA DE HUFF, DURACION: 210 MINUTOS**

probabilidad	0	15	30	45	55	70	85	100
90%	0	48.95	66.85	80.23	89.70	96.37	98.64	100
80%	0	16.90	49.95	73.70	87.05	95.60	98.44	100
70%	0	9.05	28.40	67.76	84.30	94.83	98.23	100
60%	0	5.75	23.63	62.70	81.63	94.05	98.02	100
50%	0	4.79	18.80	57.60	78.40	93.29	97.82	100
40%	0	3.83	13.95	51.77	74.80	92.51	97.61	100
30%	0	2.88	9.79	36.55	71.23	90.91	97.40	100
20%	0	1.92	6.53	27.18	61.28	87.63	97.20	100
10%	0	0.96	3.26	18.75	40.00	78.56	96.99	100



CURVA DE HUFF, DURACION: 270 MINUTOS										
probabilidad	0	10	20	35	45	55	65	80	90	100
90%	0	23.70	55.43	83.78	82.34	88.60	92.35	92.27	97.19	100
80%	0	10.08	26.36	65.25	75.83	85.36	91.17	91.14	96.58	100
70%	0	6.57	19.44	53.45	69.31	82.13	89.98	90.02	95.97	100
60%	0	4.37	12.53	45.75	58.17	78.90	88.80	88.89	95.35	100
50%	0	3.64	9.96	38.04	45.11	74.24	87.62	87.77	94.74	100
40%	0	2.91	7.97	30.33	39.68	69.39	86.43	86.65	94.13	100
30%	0	2.18	5.98	22.63	34.25	61.98	85.25	85.53	93.52	100
20%	0	1.46	3.98	14.92	28.82	47.35	84.05	84.41	92.90	100
10%	0	0.73	1.99	7.43	15.61	23.67	82.87	83.28	92.29	100

