

**OBTENCION DE CURVAS DE  
INTENSIDAD – FRECUENCIA – DURACION  
PARA EL DEPARTAMENTO DE CALDAS**

**ING. LUIS ARTURO GOMEZ TOBON  
ING. JORGE ALONSO ARISTIZABAL ARIAS**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
SEDE MEDELLIN  
FACULTAD DE MINAS  
INGENIERIA CIVIL  
MANIZALES 2002**

**OBTENCION DE CURVAS DE  
INTENSIDAD – FRECUENCIA – DURACION  
PARA EL DEPARTAMENTO DE CALDAS**

**ING. LUIS ARTURO GOMEZ TOBON  
ING. JORGE ALONSO ARISTIZABAL ARIAS**

**TRABAJO DIRIGIDO DE GRADO  
PROGRAMA DE ESPECIALIZACION EN  
RECURSOS HIDRAULICOS**

**DIRECTOR :  
LUIS FERNANDO CARVAJAL SERNA  
INGENIERO CIVIL, M. S. C**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA  
SEDE MANIZALES  
INGENIERIA CIVIL  
MANIZALES 2002**

## **CONTENIDO**

**Lista de tablas**

**Lista de figuras**

<b>Resumen</b>	<b>01</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>03</b>
<b>1.1. Generalidades</b>	<b>03</b>
<b>1.2. Información zona de estudio</b>	<b>04</b>
<b>1.3. Objetivos</b>	<b>07</b>
<b>1.4. Información</b>	<b>08</b>
<b>2. Fundamentos teóricos</b>	<b>11</b>
<b>2.1 Curvas intensidad duración frecuencia</b>	<b>11</b>
<b>2.2 Distribución de valores extremos</b>	<b>13</b>
<b>2.3 Modelo de Liria y Torres</b>	<b>15</b>
<b>2.4 Regionalización de las curvas</b>	<b>16</b>

<b>3. Metodología</b>	<b>22</b>
<b>3.1 Obtención de curvas intensidad frecuencia duración</b>	<b>22</b>
<b>3.2 Obtención de las ecuaciones por el modelo de Liria y Torres</b>	<b>26</b>
<b>Análisis de resultado y conclusiones</b>	<b>58</b>
<b>Recomendaciones</b>	<b>61</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>62</b>
<b>Anexos</b>	<b>65</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Pág.</b>
1. Cuadro de estaciones seleccionadas para el Departamento de Caldas con referencia a Chocó.	10
2. Zonificación del Departamento por estaciones.	18
3. Precipitación promedio anual de acuerdo con el mapa de isoyetas de la zona.	19
4. Cuadro resumen de los parámetros para las cabeceras municipales (lts/ha/seg).	26
5. cuadro resumen de los parámetros para las cabeceras municipales (mm/h).	26
6. cuadro de precipitación para las estaciones seleccionadas del departamento de Caldas.	28

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Pág.
1. Mapa de isoyetas para el departamento de Caldas.	20
2. Ubicación de las estaciones utilizadas en este estudio.	21
3. Curvas de intensidad duración frecuencia método de máximas anuales.	32
4. Curvas de intensidad duración frecuencia método de excedencias anuales.	40
5. Comparación de las ecuaciones de máximas anuales contra ecuaciones de excedencias anuales	48
3. Comparación de las ecuaciones de máximas anuales contra ecuaciones de excedencias anuales municipio de Chinchina.	49
4. Comparación de las ecuaciones de máximas anuales contra ecuaciones de excedencias anuales municipio de Manizales.	50

5. Comparación de las ecuaciones de máximas anuales contra ecuaciones de excedencias anuales, municipio de Manzanares. 51
6. Comparación de las ecuaciones de máximas anuales contra ecuaciones de excedencias anuales, municipio de Marquetalia. 52
7. Comparación de las ecuaciones de máximas anuales contra ecuaciones de excedencias anuales, municipio de Palestina 53
8. Comparación de las ecuaciones de máximas anuales contra ecuaciones de excedencias anuales, municipio de Puerto Salgar 54
9. Comparación de las ecuaciones de máximas anuales contra ecuaciones de excedencias anuales, municipio de Supía. 55
10. Comparación de las ecuaciones del año 1978 contra la ecuación de máximas anuales del año 2000 para la ciudad de Manizales. 56
11. Comparación de las ecuaciones del año 1978 contra la ecuación de máximas anuales del año 2000 para la ciudad de Manizales. 57

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO	Pág.
1. Histogramas por las zonas de regionalización.	65



## SUMARIO

El presente trabajo pretende tener un conocimiento más confiable de la precipitación y de su relación con el escurrimiento de las lluvias, en el departamento de Caldas.

Para este propósito se acopió información existente, realizada por diferentes entidades y personas en particular, que han trabajado en el tema y estudiado de manera más precisa, con el uso de herramientas matemáticas y estadísticas, el fenómeno de la escorrentía.

Es de todos conocido que el escurrimiento en cauces naturales o artificiales no es uniforme, sino que presenta dos condiciones extremas a saber: a) Epocas de escurrimiento muy reducido en las que no se dispone de agua suficiente para el uso en la generación de energía, riego, aprovechamiento humano, etc, y b) Epocas en las que el escurrimiento excesivo puede desbordar los cauces naturales o artificiales y provocan daños a veces cuantiosos.

Así las cosas se trató de actualizar las curvas I-D-F, que como se mencionó anteriormente, han sido elaboradas por diferentes entidades. Su actualización se realizó por métodos estadísticos aplicando la metodología de análisis de eventos extremos y demás existentes para este tipo de ajustes en sitios del Departamento donde hay estaciones pluviográficas con series estadísticas confiables (al menos diez años). Para estos sitios referenciados se elaboraron curvas tomando los eventos de máximas anuales y de excedencias anuales.

La zona del Departamento donde no existe la información pluviográfica, se dividió en ocho zonas lo más homogéneas posibles en cuanto a su régimen torrencial y se les aplicó la metodología empleada por LIRIA Y TORRES, de uso frecuente para este tipo de casos, encontrándose las ecuaciones respectivas que dan los parámetros de diseño, para cada zona en particular.

## SUMMARY

The present report pretends to have a reliable knowledge of the precipitation and of its relationship with the glide of the rains, in the department of Caldas.

Existent information was gathered for this purpose, this information was carried out by different entities and people that have been working and studying the theme in more precise way they have used mathematical and statistical tools to study the phenomenon of the escorrentia.

It is known one that the glide in natural or artificial channels is not uniform, but rather it presents two extreme conditions that are: a) times in which the glide is very reduced, there isn't enough water to use in energy generation, watering human use etc. And b) times in which the excessive glide can overflow the natural or artificial channels and they sometimes can use considerable damages.

In the present project the principal objective was to moderniza the I-D-F curves. Like it was mentioned

previously, they have been elaborated by different entities. Its actualization was carried out by using statistical methods applying the methodology of analysis of existent extreme events for this type for adjustments in locations of the Department where there are stations pluviografics with reliable statistical series (ten years). For these indexed places curves were elaborated taking the events of maximum annual and extremely.

## RESUMEN

Uno de los primeros pasos a seguir en muchos proyectos de diseño hidrológico, es la determinación del evento o de los eventos de lluvias que se deben emplear para generar los caudales de diseño. Lo cual debe involucrar una relación entre la intensidad de lluvia (o profundidad), la duración y las frecuencias o períodos de retorno apropiados para la obra y el sitio.

Las curvas Intensidad-Frecuencia-Duración son propias para cada sitio en especial; para su obtención se debe efectuar un análisis, lo cual se realiza a través de procesos estadísticos de los registros históricos de las tormentas.

El primer estudio promulgado para la evaluación de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia para el departamento de Caldas fue realizado por la firma Hidrotec Ltda. en el año de 1979; luego la firma SODEIC Ltda. realizó el estudio general para la cuenca del río Chinchiná; posteriormente se realizó el "Estudio Hidrológico Del Departamento De Caldas" por parte del Ing. Gustavo Silva Medina en el año de 1986. En el año de 1988 el Ing. José Fernando Kogson presentó como tesis de grado el análisis de la intensidad duración y frecuencia de la lluvia en la zona cafetera de Colombia. En el año de 1994 el ingeniero Alvaro Jaramillo actualizó el anterior estudio, para el año de 1997. Los Ingenieros Juan Fernando Pareja y Jorge Iván Osorio presentaron como trabajo de grado el "Estudio Hidrológico de Caldas Revisión y Actualización de las Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia".

Para la elaboración del presente trabajo se trató de tomar la experiencia realizada por la facultad de Minas de la Universidad Nacional seccional Medellín en lo referente a la obtención de este tipo de curvas.

La información utilizada en el presente estudio fue suministrada por la Federación Colombiana de Cafeteros y la Central Hidroeléctrica de Caldas; con lo cual se desarrolló el análisis de siete estaciones pluviográficas y veinte estaciones pluviométricas. Aunque en el Departamento existen un número mayor de estas estaciones la gran mayoría de ellas se encuentran fuera de servicio, o sus registros no están debidamente procesados.

## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Generalidades.

La utilización de metodologías actualizadas, durante el diseño de las obras de tipo hidráulico es de vital importancia debido a las drásticas variaciones climatológicas en todo el mundo.

El objeto de este trabajo es la determinación de las lluvias para hallar los caudales de diseño en alcantarillados, presas, bocatomas, llanuras de inundación, etc, utilizando modelos lluvia-escorrentía, como la fórmula racional o hidrógramas sintéticos unitarios y modelos lluvia escorrentía.

## **1.2 Información de la zona de estudio.**

### **Departamento de Caldas**

Creado el 11 de abril de 1905, segregado de los departamentos del Cauca, Antioquia y Tolima, posee un área jurisdiccional de 7.888 Km<sup>2</sup> conformado por 27 municipios, 18 sus corregimientos, 114 sus inspecciones de policía y 95 caseríos.

Dadas las condiciones topográficas de un sistema montañoso este departamento ofrece los cuatro pisos térmicos. Predominan el manejo de la tierra, la producción agrícola principalmente la del café y de la caña de azúcar.

Se detallan a continuación algunos datos importantes de los municipios del departamento de Caldas donde se encuentran instaladas las estaciones pluviográficas estudiadas en el presente trabajo.

### **Manizales**

Es la capital del departamento de Caldas fundada para el mes de octubre de 1849 ubicada a 5° 4' de Latitud Norte y 75° 31' al Oeste de Greenwich. Su altura sobre el nivel del mar es de 2126 metros, su clima es de 17°C, y su extensión de 508 Km<sup>2</sup>.

### **Chinchiá**

Fundado en 1857 y elevado a su condición jurídica y administrativa unos pocos años después, este municipio se ubica 4° 59' de Latitud Norte y 75° 36' Longitud Oeste, su



altura sobre el nivel del mar 1.378 metros y su temperatura promedio es de 21°C. Su extensión territorial es de 131 Km<sup>2</sup>, la mayor parte del suelo corresponde al piso térmico medio y está regado por los ríos Cauca, Chinchiná, y Campoalegre, entre otros.

### **La Dorada**

Situada en la margen izquierda del río Magdalena en el sitio llamado puerto Conejo, fue fundada en el año de 1900. su ubicación es la siguiente 5° 27´ de Latitud Norte 74° 40´ de Longitud Oeste su altura sobre el nivel del mar es de 178 metros y una temperatura promedio de 27°C.

El área municipal es de 507 Km<sup>2</sup>, con tierras quebradas pero también con zonas planas, bañadas por los ríos Doña Juana, Guarinó, La Miel y Magdalena, además de muchas corrientes menores.

### **Manzanares**

Fundada en el año de 1864 y erigido municipio el 13 de Octubre de 1887, su ubicación es la siguiente: 5° 15´ de Latitud Norte 40° 20´ Longitud Oeste, su altura sobre el nivel del mar es de 1871 metros, su temperatura promedio es de 19°C, con una extensión de aproximada de 224 Km<sup>2</sup>. Son los principales ríos el Guarinó, el San Juan, amén de numerosas quebradas.

### **Marquetalia**

Este poblado fue fundado en el año de 1886 y llevado a la categoría de Municipio en el año de 1924. Los 117 Km<sup>2</sup> de su jurisdicción son regados por varias quebradas: la Parda, la Zaina, el Oro y otras más.

Se ubica a los 5° 17´ de Latitud Norte y 58° 30´ de Longitud Oeste su altura sobre el nivel del mar es de 1700 metros y una temperatura promedio de 19°C.

### **Palestina**

Fundada en el año de 1876 y elevada a la condición de municipio en dos oportunidades en el año de 1876 y 1913, se ubica a los 5° 0´ 30´´ de Latitud Norte y 1° 26´ Longitud Oeste, pose una temperatura promedio de 19°C y una elevación sobre el nivel del mar de 1630 metros. Su extensión es de 118 Km<sup>2</sup> la cual es bañada por varios ríos: el Cauca, Uno y el Campoalegre entre otros que se suman a numerosas quebradas.

### **Supía**

Este municipio fue fundado por los años de 1737, se ubica en los 5° 26´ 43´´ de Latitud Norte y 34° 15´ de Longitud Oeste, su altura sobre el nivel del mar es de 1225 metros con una temperatura promedio de 21°C. Este territorio comprende una extensión de 114 Km<sup>2</sup>, regada por los ríos Cauca, el Orcón y Supía.

### **1.3 Objetivos.**

- **Construir las curvas intensidad-duración-frecuencia (i-d-f) para las estaciones pluviográficas del departamento de Caldas.**
- **Construir las curvas i-d-f por regionalización, para las zonas del departamento donde no hay medición continua de la precipitación, apoyados en información pluviométrica.**
- **Comparar los resultados obtenidos con las curvas existentes realizadas para el departamento de Caldas, en ocasiones anteriores.**

#### **1. 4 Información**

La primera premisa que se debe cumplir para la obtención de las curvas de intensidad-duración-frecuencia, es disponer de estaciones pluviográficas que contengan longitudes de registros de por lo menos 10 años, para así poder realizar un análisis estadístico confiable de los registros de las tormentas.

Debido a que la gran mayoría de estaciones hidrometeorológicas del departamento de Caldas no tienen este tipo de información procesada, o la longitud de sus registros no cumplen nuestra primera premisa, el estudio se enfoca a revisar, comparar, actualizar y calcular los registros de las tormentas para las cabeceras municipales y otras estaciones representativas del Departamento, con base en los registros pluviográficos (escasos), y pluviométricos.

Se cuenta con un catálogo de las estaciones hidrometeorológicas pertenecientes al departamento; estas estaciones fueron convertidas y referenciadas a coordenadas planas de Gauss con origen en Chocó. (Tabla No. 1).

Para cada estación se seleccionaron los aguaceros, determinando los eventos por excedencias anuales y por máximas anuales, para así realizar los ajustes y análisis estadísticos que requiere la metodología, utilizada para el propósito final.

Estas curvas se utilizan para el diseño hidrológico y generalmente el conjunto de una estación se ajusta a la expresión:

$$i_M = \frac{K.Tr^m}{(t + t_o)^n} \quad (1.1)$$

- Donde**  $i_M$ : Es la Intensidad de precipitación en mm/hora.  
 $t$ : Duración de la lluvia en minutos.  
 $K$ - $t_o$ - $m$ - $n$ : Son constantes determinadas mediante ajuste matemático.  
 $Tr$ : Período de retorno en años.

**Nota:**

La ecuación (1.1), da la  $i_M$  con base en registros pluviográficos.

<b>SELECCIÓN ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS INFORMACIÓN POSIBLEMENTE DISPONIBLE COORDENADAS PLANAS REFERENCIADAS A CHOCÓ</b>								
No.	TE	NOMBRE ESTACION	NOMBRE SUBCUENCA	MUNICIPIO	COORDENADAS		ENT	Cod. Plano
					Norte	Este		
1	PM	ARGENTINA LA	SUPIA	RIOSUCIO	1096120,631	1153049,113	03	73
2	CO	RAFAEL ESCOBAR	SUPIA	SUPIA	1096133,590	1158591,809	03	173
3	PM	DESCANSO EL	CAUCA	MARMATO	1097981,688	1160434,956	03	52
4	PM	MANUELITA LA	CAUCA	RIOSUCIO	1085063,104	1154922,142	03	55
5	PM	SUB ANSERMA	RISARALDA	ANSERMA	1070290,302	1143866,051	14	140
6	PM	LLANADAS SALAMINA	MAIBA	SALAMINA	1090634,353	1171539,410	03	38
7	PM	GUAIMARAL	ARMA	AGUADAS	1114623,270	1178865,827	03	41
8	PM	JAVA	CHINCHINA	MANIZALES	1048223,867	1169794,792	03	77
9	PM	SANCANCIO PLANTA	CHINCHINA	MANIZALES	1050080,849	1175337,220	14	111
10	CO	AGRONOMIA	CHINCHINA	MANIZALES	1050085,365	1177186,169	03	167
11	PM	MARGARITA LA	Q CAMBIA	RISARALDA	1059225,313	1142042,216	14	118
12	CO	LUKER GJA	CHINCHINA	PALESTINA	1053721,533	1154991,776	03	172
13	PM	ARGENTINA LA	CAMPOALEGRE	PALESTINA	1048190,695	1155003,674	03	94
14	PM	RECREO EL	CAUCA	PALESTINA	1048198,705	1158701,372	03	62
15	PM	SUB CHIPRE	CHINCHINA	MANIZALES	1051915,696	1171634,975	14	138
16	CP	CENICAFE	CHINCHINA	CHINCHINA	1042684,218	1166109,554	03	181
17	CP	NARANJAL	CHINCHINA	CHINCHINA	1040812,375	1153170,338	03	182
18	PM	SIERRA LA	CAMPOALEGRE	CHINCHINA	1042671,831	1160562,443	03	83
19	PM	SUB VITERBO	RISARALDA	VITERBO	1049990,074	1132815,145	14	134
20	PM	ALTO DE LA VIRGEN	GUARINO	MARULANDA	1075964,256	1201150,273	14	123
21	CO	STA HELENA	GUARINO	MARQUETALIA	1077876,737	1223327,368	03	175
22	PM	SUB MARQUETALIA	PENSILVANIA	MARQUETALIA	1077882,767	1225176,027	14	137
23	CO	LLANADAS	GUARINO	MANZANARES	1066788,304	1215967,350	03	166
24	PM	SUB DORADA	MAGDALENA	LA DORADA	1094630,208	1265786,438	14	136
25	PM	PALMA LA	PENSILVANIA	PENSILVANIA	1090798,609	1226981,601	14	146
26	PM	PALMA LA	MORO	SAMANA	1092668,300	1234368,657	14	127
27	PM	SUB ALTA SUIZA	CHINCHINA	MANIZALES	1051920,131	1173483,847	14	139
28	PM	SUB NEIRA	TAPIAS	NEIRA	1062982,651	1173456,905	14	135
29	PM	SUB ARANZAZU	CHAMBERI	ARANZAZU	1074049,860	1175277,743	14	141
30	PM	SUB CHINCHINA	CHINCHINA	CHINCHINA	1042680,043	1164260,503	14	143
31	PM	ARPT. PALANQUEROS	MAGDALENA	PTO. SALGAR	1094630,208	1265786,438	01	194
32	ME	PENSILVANIA	PENSILVANIA	PENSILVANIA	1087062,118	1212207,118	14	186

Tipo de Estacion

CO : Climatológica Ordinaria

CP : Climatológica Principal

PM : Pluviométrica

ME: Meteorológica

Codigos de Referencia

01 Ideam

03 Cenicafe

14 Chec

Tabla No. 1 (Cuadro de estaciones seleccionadas para el departamento de Caldas con referencia a Chocó).

## 2. FUNDAMENTOS TEORICOS

### 2.1 Curvas Intensidad duración frecuencia

Las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia son elementos que usualmente presentan la información de manera gráfica, con la duración en el eje horizontal y la intensidad en el eje vertical, mostrando una serie de curvas, para cada uno de los períodos de retorno que se adopten para un diseño en particular.

La intensidad es la tasa temporal de precipitación, es decir, la profundidad por unidad de tiempo (mm/h o Lts/ha/seg). Comúnmente se utiliza la intensidad promedio, que puede expresarse como.

$$i = \frac{P}{t_d} \quad (2.1)$$

Donde  $P$  es la profundidad de la lluvia (mm) y  $t_d$  es la duración, dada usualmente en horas. La frecuencia se expresa en función del período de retorno,  $T_R$ , que es el intervalo de tiempo promedio entre eventos de precipitación que igualan o exceden la magnitud de diseño (Chow et al, 1993).

Por otra parte para considerar la variabilidad espacial y temporal se debe realizar el estudio de la distribución de la

precipitación en la superficie de la cuenca, así como la distribución en el tiempo, de la misma.

Para tal efecto se deben tomar los registros pluviográficos de cada una de las estaciones determinando la distribución de la lluvia en el tiempo con un nivel de probabilidad dado.

Para cada una de las estaciones pluviográficas se escogieron los máximos registros por dos metodologías: la de excedencias anuales y las de máximas anuales, para cada año de las series disponibles. Seleccionadas las precipitaciones se procede a la toma de los datos; se toma como dato inicial la máxima precipitación en un intervalo de 5 minutos y se continúa con la precipitación máxima consecutiva en orden descendente para dicho intervalo. Los datos ya seleccionados se descartan, continuando con la selección a lado y lado tomando la precipitación máxima para los intervalos de tiempo indicados.

A estas láminas precipitadas en cada intervalo de tiempo se les hizo un análisis de frecuencia, ajustándoles una distribución empírica general, la cual tiene la siguiente expresión:

$$P = \frac{m-b}{n+1-2b} \quad (2.2)$$

Donde:

- P: es la probabilidad de excedencia.  
m: es la posición del evento de la muestra organizado de mayor a menor.  
n: numero de datos.



**b:           Constantes de acuerdo con las teorías de distribución así:**

Hazen	(0.5)	Chegodayev	(0.3)
Weibull	(0.0)	Blom	(3/8)
Gringorten	(0.44)	Tukey	(1/3)

Se escoge la constante de Hazen (0.5), puesto que este modelo estadístico es el que ha arrojado mejores resultados para esta región del país (Referencia 8, 11).

## **2.2 DISTRIBUCION DE VALORES EXTREMOS**

Los valores extremos son valores máximos o mínimos seleccionados de conjuntos de datos. Por ejemplo, el caudal máximo anual en un lugar dado es el mayor caudal registrado durante un año y los valores de caudal máximo anual para cada año de registro histórico conforman un conjunto de valores extremos que pueden analizarse estadísticamente. Fisher y Tippett (1928) han demostrado que las distribuciones de valores extremos seleccionadas de conjuntos de muestras de cualquier distribución de probabilidad convergen en una de las tres formas de distribuciones de valor extremo, llamadas tipo I, II y III respectivamente, cuando el número de valores extremos seleccionados es grande. Las propiedades de las tres formas limitantes fueron desarrolladas en mayor detalle por Gumbel (1941) para la distribución de valor extremo tipo I (EVI, por sus siglas en inglés), por Frechet (1927) para la distribución de valor extremo tipo II (EVII) y por Weibull (1939) para la distribución de valor extremo tipo III (EVIII).

Jenkinson (1955) demostró que estas tres formas limitantes eran casos especiales de una distribución única llamada distribución de valor extremo general (GEV, por sus siglas en inglés). La función de distribución de probabilidad para la GEV es

$$F(x) = \exp \left[ - \left( 1 - k \frac{x-u}{\alpha} \right)^{1/k} \right]$$

Donde  $k$ ,  $u$  y  $\alpha$  son parámetros que deben ser determinados.

Los tres casos limitantes son: 1) para  $k=0$ , la distribución de valor extremo tipo I, para la cual la función de densidad de probabilidad esta dada en tablas, 2) para  $k<0$ , la distribución de valor extremo tipo II, para la cual se aplica con  $(u + \alpha/k) \leq x \leq \infty$ , y 3) para  $k>0$ , la distribución de valor extremo tipo III para la cual se aplica en  $-\infty \leq x \leq (u + \alpha/k)$ . En todos los tres casos, se supone que  $\alpha$  es positivo.

Para la distribución EVI,  $x$  no tiene límites, mientras que para EVII,  $x$  esta acotada por abajo (por  $u + \alpha/k$ ), y para la distribución EVIII,  $x$  está similarmente acotada por arriba. Las distribuciones EVI y EVII también se conocen como las distribuciones Gumbel y Frechet respectivamente. Si una variable  $x$  esta descrita por la distribución EVIII, entonces se dice que  $-x$  tiene una distribución Weibull.

### 2.3 Modelo de Liria y Torres

A continuación se presenta la metodología de Liria y Torres utilizada para obtener curvas de intensidad duración frecuencia, basadas en una experiencia realizada en el territorio Español. Este modelo ha sido el pilar de varios trabajos realizados en la facultad de Minas de la Universidad Nacional Sede Medellín. El método se basa en la utilización de registros pluviométricos, buscando la correlación entre la precipitaciones máximas de 24 horas obtenidas de los registros pluviométricos y precipitaciones máximas de distintas duraciones para lo cual es indispensable en las zonas de estudio contar con estaciones pluviográficas ya que esta es una metodología de regionalización.

Esta metodología busca hallar una serie de relaciones de tipo lineal de la siguiente forma:

$$\frac{\overline{I_t}}{I_d} = f(t) \quad (2.3)$$

donde:

$I_t$  Valor medio de la Intensidad de las precipitaciones máximas anuales de una duración cualquiera.

$I_d$  Valor medio de las lluvias máximas anuales en mm/h.

$$\bar{I}_i = \frac{P_d}{24} \quad (2.4)$$

$P_d$  Media de las precipitaciones máximas anuales.

Obtenemos así una ecuación de la forma:

$$I_{i,TR} = \bar{I}_i \cdot (A + B \cdot (\text{Log} T_R)) \quad (\text{Referencia 7})$$

## 2.4 Regionalización de las curvas

Como las curvas i-d-f son indispensables para el diseño hidrológico, es necesario su elaboración a partir de metodologías de regionalización o con base en el análisis de registros diarios, para las zonas donde no se tiene información de pluviógrafos.

Para este fin se utilizó la metodología usada en el trabajo de grado "Obtención de Curvas Intensidad Frecuencia Duración para el Departamento de Antioquia", realizado por los ingenieros Alejandro León Botero y Sergio Iván Muñoz (Referencia 6).

En el análisis estadístico de la información se realizó un estudio teniendo en cuenta las siguientes variables.

- Mapa de isoyetas del departamento de Caldas.
- Gráficas de altitud vs precipitación media multianual por cuencas hidrográficas.

- **Gráficas de altitud vs precipitación media multianual por zonas de las isoyetas.**
- **Histograma de tormentas por estación.**

A continuación se presentan la zonificación realizada en el departamento de Caldas y utilizada en este trabajo, esta zonificación se realizó teniendo en cuenta la cercanía geográfica entre estaciones y la similitud de precipitación de la zona escogida.

**Cuadro de estaciones por zonas seleccionadas**

ZONAS	ESTACION			ELEVACION	PRECIPITACION
	#	CODIGO	NOMBRE	M	mm
ZONA 1	1	03, - 83	LA SIERRA	1450	210, 4
	2	03- 182	EL NARANJAL	1400	223, 6
ZONA 2	3	03, - 77	JAVA	1780	151, 5
	4	14- 138	CHIPRE	2170	192, 8
	5	14- 111	SANCANCIO	1850	157, 5
	6	14- 139	MANIZALES	2055	174, 4
	7	03- 167	AGRONOMIA	2150	155, 6
ZONA 3	8	14- 123	ALTO DE LA VIRGEN	2850	202, 0
	9	03- 166	LLANADAS	1420	239, 9
ZONA 4	10	03- 175	SANTA HELENA	1450	331, 9
	11	14- 137	MARQUETALIA	1600	247, 9
	12	14- 127	LA PALMA SAMANA	1300	592, 9
	13	14- 146	LA PALMA PENSILVANIA	2150	353, 5
	14	14- 186	PENSILVANA	1975	233, 2
ZONA 5	15	14- 134	VITERBO	1000	169, 9
	16	14- 118	LA MARGARITA	1740	181, 8
	17	03- 172	GRANJA LUKER	1020	184, 4
	18	03, - 62	EL RECREO	1450	223, 5
	19	03, - 94	ARGENTINA	1350	196, 0
	20	14- 135	NEIRA	2020	169, 4
	21	03- 181	CENICAFE	1310	210, 8
	22	14- 143	CHINCHINA	1340	223, 3
ZONA 6	23	14- 136	DORADA	200	169, 0
	24	01- 194	PALANQUEROS	200	139, 4
ZONA 7	25	14- 141	ARANZAZU	1870	166, 7
	26	03- 41	GUAIMARAL	1600	155, 7
	27	03, - 38	LLANADAS	1500	166, 9
	28	14- 140	ANSERMA	1660	165, 0
	29	03, - 55	RIOSUCIO	1320	166, 3
	30	03, - 52	MARMATO	1650	157, 3
	31	03, - 73	LA ARGENTINA	1420	204, 2
	32	03- 173	RAFAEL ESCOBAR	1320	162, 2

Tabla No. 2 (Zonificación del Departamento por estaciones)

<b>PRECIPITACION PROMEDIO ANUAL</b>		
<b>DEPARTAMENTO DE CALDAS</b>		
<b>Lluvia Promedio Anual (mm)</b>	<b>Municipio</b>	<b>N.M.S.N.M. (m)</b>
750 – 1750	Marmato	1050
	Supia	1183
	Riosucio	1783
	Viterbo	988
	Anserma	1763
	Villamaría	1920
	Neira	1969
	Filadelfia	1550
	Salamina	1775
	La Merced	1819
1750 – 2250	Aguadas	2170
	Belalcazar	1632
	Risaralda	1743
	Chinchiná	1378
	Palestina	1630
	Manizales	2126
	Aranzazu	1910
	Marulanda	2825
La Dorada	178	
2250 – 2750	Pácora	1819
2750 – 3250	Manzanares	1871
	Pensilvania	2100
3250 – 5000	Marquetalia	1560
	Victoria	675
	Samaná	1460

**Tabla No. 3 (Precipitación promedio anual de acuerdo con el mapa de isoyetas de la zona).**

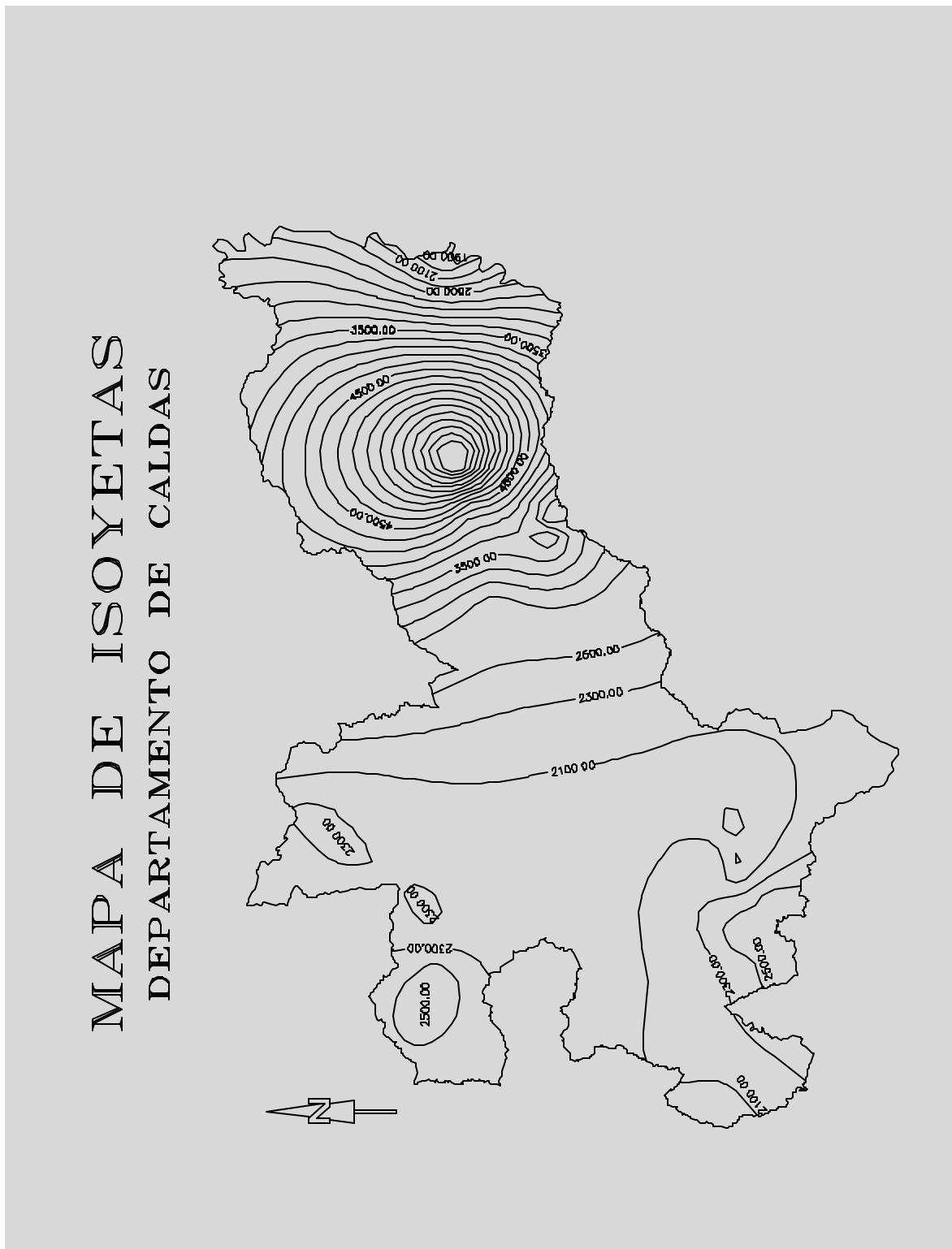


Figura No. 1 (Mapa de isoyetas del departamento de Caldas).



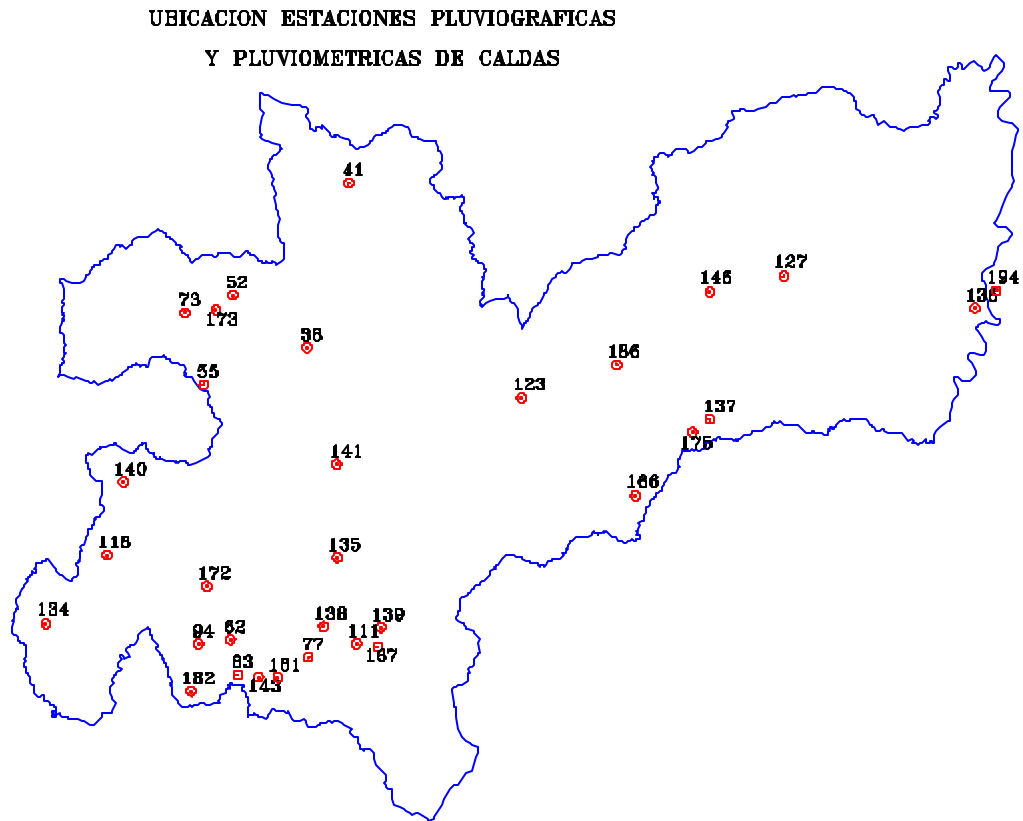


Figura No. 2 (Ubicación de las estaciones utilizadas en este estudio).

### **3. METODOLOGÍA**

#### **3.1 OBTENCIÓN DE CURVAS INTENSIDAD DURACIÓN FRECUENCIA.**

Como se dijo anteriormente se obtuvieron curvas a partir de dos procedimientos (máximas anuales y excedencias anuales).

El procedimiento realizado es de tipo gráfico y fue el siguiente:

- Se seleccionan los aguaceros con altas precipitaciones en cualquier período de 5 minutos.
- Tomando estos valores, se saca el acumulado de la precipitación; posteriormente se procedió a ordenar los datos en orden decreciente por cada columna de duración.
- Con los datos ya ordenados se calcula el valor de la intensidad. Posteriormente se opta por una de las teorías de posicionamiento gráfico de acuerdo con la naturaleza del problema, aplicando la fórmula general para la probabilidad (CHOW V. T).
- Se calcula entonces la probabilidad (Pr %) y el tiempo de recurrencia (Tr años) para cada uno de los eventos organizados.
- Para el departamento de Caldas se evaluaron los puntos con el coeficiente de Hazen de 0.5 por ser este un modelo de tendencias intermedias que se ajusta a los estudios reali-

zados para el departamento de Caldas, como se dijo anteriormente. La teoría de posicionamiento gráfico escogida corresponde a la distribución de Hazen, la cual se seleccionó debido al tipo de comportamiento que se observó al graficar entre sí algunas de las teorías de distribución existentes como: Chegodayev, Weibull, Blom, Gringorten, Tukey, donde se observó que la distribución Hazen ante períodos de retorno altos presentaba una tendencia más recta y a su vez arroja datos de probabilidad más bajos que las demás distribuciones con lo cual se puede construir curvas más conservadoras para la zona de estudio.

- Obtenidos los valores de  $Pr$  y  $Tr$  como variable  $X$  y la intensidad como variable  $Y$  se grafican las series de datos de acuerdo con el tipo de teoría escogida para la distribución de los valores (Hazen), estas gráficas presentan el comportamiento típico de las lluvias en las zonas escogidas. Graficando los valores de  $Pr$  contra  $I$  para cada serie de datos en papel log-normal, log-log y normal, y los valores de  $Tr$  contra  $I$  en papel Log-normal, se obtienen las curvas que representan el comportamiento típico real de las lluvias de la región, se deben observar las tendencias para las lluvias de larga y corta duración. Estas curvas deben ser suavizadas trazando una envolvente que se asemeje a la curva inicial.
- Obtenidas ya las curvas se procede a realizar un ajuste matemático en función de la ecuación referenciada anteriormente, para lo cual se determinan los valores de  $n$  y  $t_0$ , graficando los valores de la duración y la intensidad en papel log-log, obteniendo así unos alineamientos casi

rectos. A los valores de duración se les comienza a ajustar por adición un valor  $t_0$  hasta que los puntos escogidos pertenecientes a los alineamientos se acomoden a una línea recta. Este procedimiento resulta del ensayo error y se pueden discriminar a juicio del evaluador una o varias series de datos.

- Por el método de regresión lineal se halla la pendiente de  $n$  en cada una de las series de tiempo de recurrencia ya ajustadas con  $t_0$ , el cual se promedia para obtener así un valor definitivo de  $n$ .
- Para la determinación del  $K$  y  $m$  se utilizó el papel log-log empleando los valores de la intensidad debidamente tabulados en función de 1 y 100 minutos, las rectas obtenidas son de la forma:

$$C = KT_r^m \quad (3.1)$$

Realizando entonces el análisis matemático,  $K$  es la ordenada cuando el  $T_r$  es igual a 1, y  $m$  es la pendiente de dicha curva, estos valores se llevaron a una tabla donde se les aprecia el comportamiento de la ecuación mencionada. Así se hallan las respectivas regresiones para obtener los valores del intercepto  $K$  y la pendiente de las líneas  $m$ .

- Estos datos obtenidos se ajustan a la ecuación característica de las curvas de intensidad duración frecuencia, (1.1).

- **Obtenidas las curvas por el método gráfico de acuerdo con la metodología anterior, se realizó el ajuste de la información utilizando la distribución log Gumbel y la distribución log Normal, para tal caso se modelaron los datos con estas distribuciones, las cuales a su vez fueron evaluadas por medio de unas pruebas de bondad de ajuste: la Chi-cuadrada y la Kolmogorov, donde se pudo apreciar que estos eventos de lluvia se ajustaron de una mejor manera a la distribución de log Gumbel.**

De esta forma se desarrolla así la metodología de excedencias anuales y máximas anuales.

Por ejemplo, para la estación de Agronomía en Manizales se obtuvieron las siguientes ecuaciones:

$$I = \frac{360 * Tr^{0.16}}{(t + 4)^{0.52}} \quad \text{Para Excedencias anuales mm/h.}$$

$$I = \frac{327 * Tr^{0.16}}{(t + 4)^{0.47}} \quad \text{Para Máximas anuales mm/h.}$$

ESTACION			PARAMETROS DE LAS CURVAS INTENSIDAD FRECUENCIA DURACION (Lts/Ha/Seg)							
#	CODIGO	NOMBRE	METODO DE EXCEDENCIAS				METODO DE MÁXIMAS			
			K	m	n	c	K	M	n	c
182	14	Chinchi ná	867	0, 12	0, 48	4	695	0, 2	0, 52	2
167	14	Mani zales	1000	0, 16	0, 52	4	909	0, 16	0, 47	4
166	14	Manzanares	1392	0, 16	0, 56	4	1043	0, 13	0, 62	3
137	14	Marquetalia	861	0, 12	0, 34	4	923	0, 12	0, 29	1
172	14	Pal estina	847	0, 13	0, 51	2	806	0, 17	0, 46	2
194	1	Pto Salgar	1239	0, 16	0, 53	4	1017	0, 17	0, 46	4
173	14	Supia	861	0, 10	0, 51	2	867	0, 15	0, 48	3

Tabla No. 4 (Cuadro resumen de los parámetros para las cabeceras municipales Lts/Ha/seg.).

ESTACION			PARAMETROS DE LAS CURVAS INTENSIDAD FRECUENCIA DURACION (mm/h)							
#	CODIGO	NOMBRE	METODO DE EXCEDENCIAS ANUALES				METODO DE MAXIMAS ANUALES			
			K	m	n	c	K	M	n	c
182	3	Chinchi ná	312	0, 12	0, 48	4	250	0, 2	0, 52	2
167	3	Mani zales	360	0, 16	0, 52	4	327	0, 16	0, 47	4
166	3	Manzanares	501	0, 16	0, 56	4	375	0, 13	0, 62	3
137	3	Marquetalia	310	0, 12	0, 34	1	332	0, 12	0, 29	1
172	3	Pal estina	305	0, 13	0, 51	2	290	0, 17	0, 46	2
194	1	Pto. Salgar	384	0, 17	0, 49	4	366	0, 17	0, 46	4
173	3	Supia	310	0, 10	0, 51	2	312	0, 15	0, 48	3

Tabla No. 5 (Cuadro resumen de los parámetros para las cabeceras municipales mm/h.)

### 3.2 Obtención de las ecuaciones por el modelo de Liria y Torres.

El procedimiento a seguir se indica a continuación:

- Se divide el departamento en zonas homogéneas desde el punto de vista de la precipitación, las cuales se observan en la figura No. 1 y las estaciones que las componen se describen en la tabla No. 1.
- Se realiza el análisis de frecuencia para una estación pluviográfica, para tal propósito se escogió la distribución Gumbel.
- Se grafica el comportamiento de  $I_d$  (intensidad para una duración  $d$  promedio) contra  $I$  (que es la precipitación máxima promedio diaria), lo que genera una curva de comportamiento exponencial de donde obtenemos por el método de ajuste de mínimos cuadrados los términos de la ecuación  $I_t/I_d$ .
- Posteriormente se grafica el comportamiento  $I_d$  promedio contra el  $T_r$  el cual genera una curva de comportamiento potencial, con la que se obtiene los términos para la ecuación  $I_{t, tr}/I_d$  por medio del modelo de ajuste de mínimos cuadrados.
- Se realiza un ajuste de las estaciones por homogeneidad de la zona, (se compara el régimen de pluviosidad de las estaciones pluviográficas y pluviométricas).

Desarrollada esta metodología se obtuvieron los siguientes ecuaciones, las cuales se describen en los cuadros con las estaciones que se ubican en las zonas de influencia del cálculo.

**CUADRO DE ESTACIONES PLUVIOMETRICAS SELECCIONADAS  
PARA EL DEPARTAMENTO DE CALDAS**

<b>ESTACION</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>SUMA</b>	<b>MAXIMO</b>
CENICAFE	210,82	2529,79	304,93
GRANJA LUKER	184,35	2212,21	264,08
AGRONOMIA MANIZALES	155,62	1867,44	256,49
EL DESCANSO MARMATO	157,28	1887,34	232,73
LA ARGENTINA RIOSUCIO	204,19	2450,25	294,08
LA MANUELITA RIOSUCIO	166,29	1995,44	242,16
GUAIMARAL AGUADAS	155,70	1868,42	231,89
RAFAEL ESCOBAR SUPIA	162,21	1946,49	226,92
LLANADAS LA MERCED	166,98	2003,74	265,25
LLANADAS MANZANARES	239,95	2879,39	363,95
LA SIERRA CHINCHINA	210,40	2524,75	305,00
JAVA MANIZALES	151,47	1666,18	231,57
EL RECREO PALESTINA	223,47	2681,68	298,45
EL NARANJAL CHINCHINA	223,59	2683,06	300,17
LA ARGENTINA PALESTINA	195,97	2351,64	261,46
SANTA HELENA MARQUETALIA	331,92	3983,02	457,68
PENSILVANIA	233,18	2798,20	348,33
DORADA	169,76	2037,15	326,20
MARQUETALIA	247,86	2974,26	346,76
MARULANDA	202,01	2424,10	321,60
LA MARGARITA	181,81	2181,70	292,10
LA PALMA PENSILVANIA	344,13	4129,61	490,11
LA PALMA SAMANA	592,89	7114,72	873,34
SAN CANCIO	157,54	1890,44	268,39
MANIZALES	174,13	2089,52	289,05
CHI PRE	192,76	2313,15	325,02
NEIRA	169,41	2032,92	256,31
VITERBO	169,86	2038,34	235,13
ARANZAZU	166,74	2000,84	255,45
ANSERMA	164,98	1979,80	235,80
PALANQUEROS	139,42	1673,00	233,10
CHINCHINA	223,30	2679,62	323,24

PROMEDIO  
SUMA  
MAXIMO

Promedio mensual multianual de la estación (mm).  
Lluvia promedio anual de la serie (mm).  
Máximo dato mensual promedio de la serie (mm).

Tabla No. 6 (Cuadro de precipitación para las estaciones seleccionadas del departamento de Caldas).



**Ecuaciones por la metodología de Liria y Torres para las zonas escogidas del departamento de Caldas.**

Zona 1.	$\frac{I_{t,Tr}}{I_t} = 0.4739 + 1.2257 \text{Log}(Tr)$	$\frac{I_t}{I_d} = 5.7051 - 1.2068 \text{Ln}(t)$
<i>Estación</i>	<i>No.</i>	
<i>El Naranjal</i>	182	
<i>La Sierra</i>	83	

Zona 2.	$\frac{I_{t,Tr}}{I_t} = 0.3983 + 1.3780 \text{Log}(Tr)$	$\frac{I_t}{I_d} = 6.1488 - 1.3735 \text{Ln}(t)$
<i>Estación</i>	<i>No.</i>	
<i>Java</i>	77	
<i>Chipre</i>	138	
<i>Sancancio</i>	111	
<i>Manizales</i>	139	
<i>Agronomia</i>	167	

Zona 3.	$\frac{I_{t,Tr}}{I_t} = 0.5402 + 1.0485 \text{Log}(Tr)$	$\frac{I_t}{I_d} = 5.2439 - 1.1669 \text{Ln}(t)$
<i>Estación</i>	<i>No.</i>	
<i>Alto de la Virgen</i>	123	
<i>Llanadas</i>	166	

Zona 4.	$\frac{I_{t,Tr}}{I_t} = 0.5738 + 0.9876 \text{Log}(Tr)$	$\frac{I_t}{I_d} = 4.5455 - 0.9024 \text{Ln}(t)$
<i>Estación</i>	<i>No.</i>	
<i>Santa Helena</i>	175	
<i>Marquetalia</i>	137	
<i>La Palma Samana</i>	127	
<i>La Palma Pensilvania</i>	146	
<i>Pensilvania</i>	186	

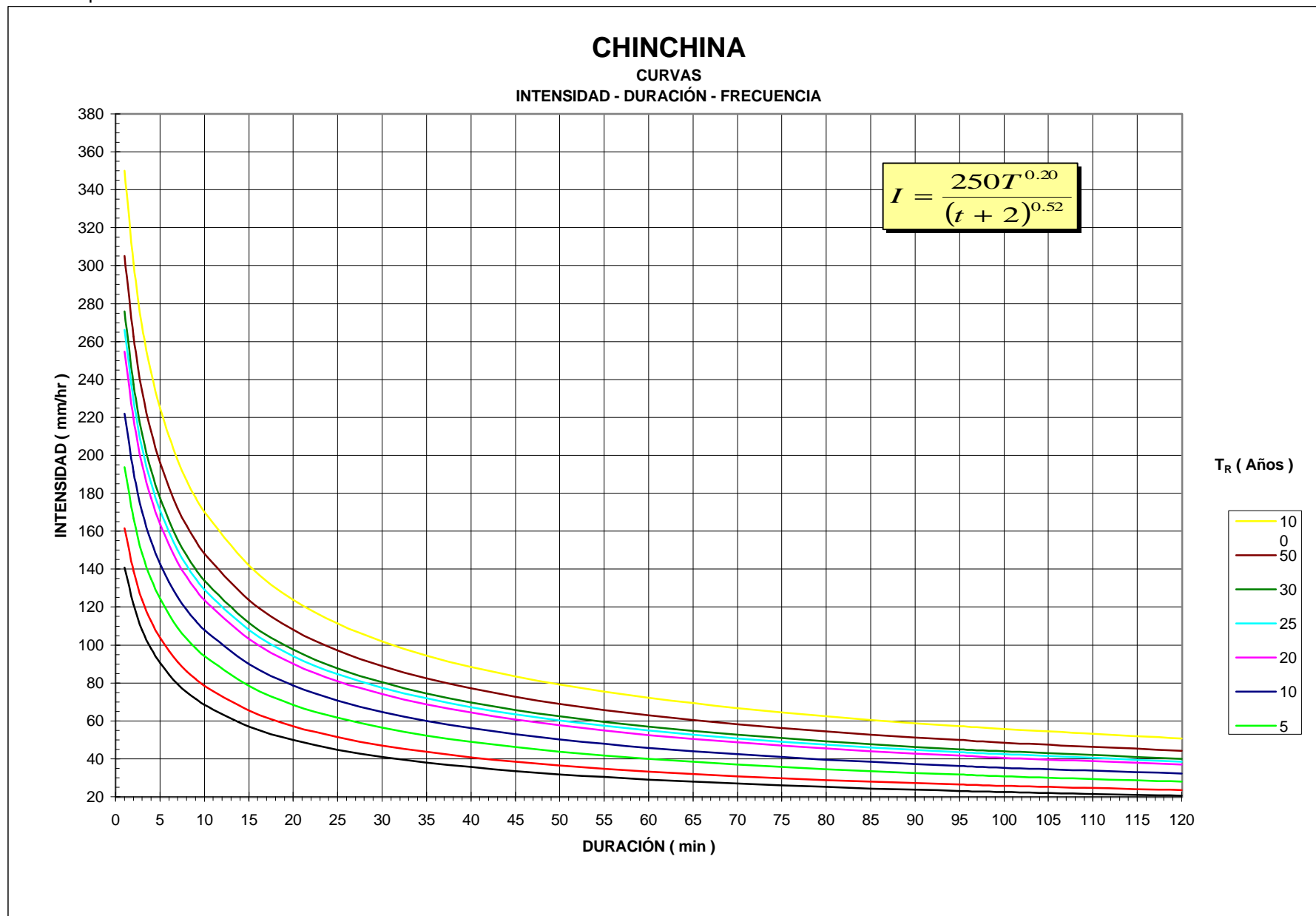
Zona 5.	$\frac{I_{t,Tr}}{I_t} = 0.2538 + 1.7594 \text{Log}(Tr)$	$\frac{I_t}{I_d} = 6.0164 - 1.3402 \text{Ln}(t)$
<i>Estación</i>	<i>No.</i>	
<i>Viterbo</i>	134	
<i>La Margarita</i>	118	
<i>Granja Lu ker</i>	172	
<i>El Re creo</i>	62	
<i>Argentina</i>	94	
<i>Neira</i>	135	
<i>Cenicafe</i>	181	
<i>Chinchina</i>	143	

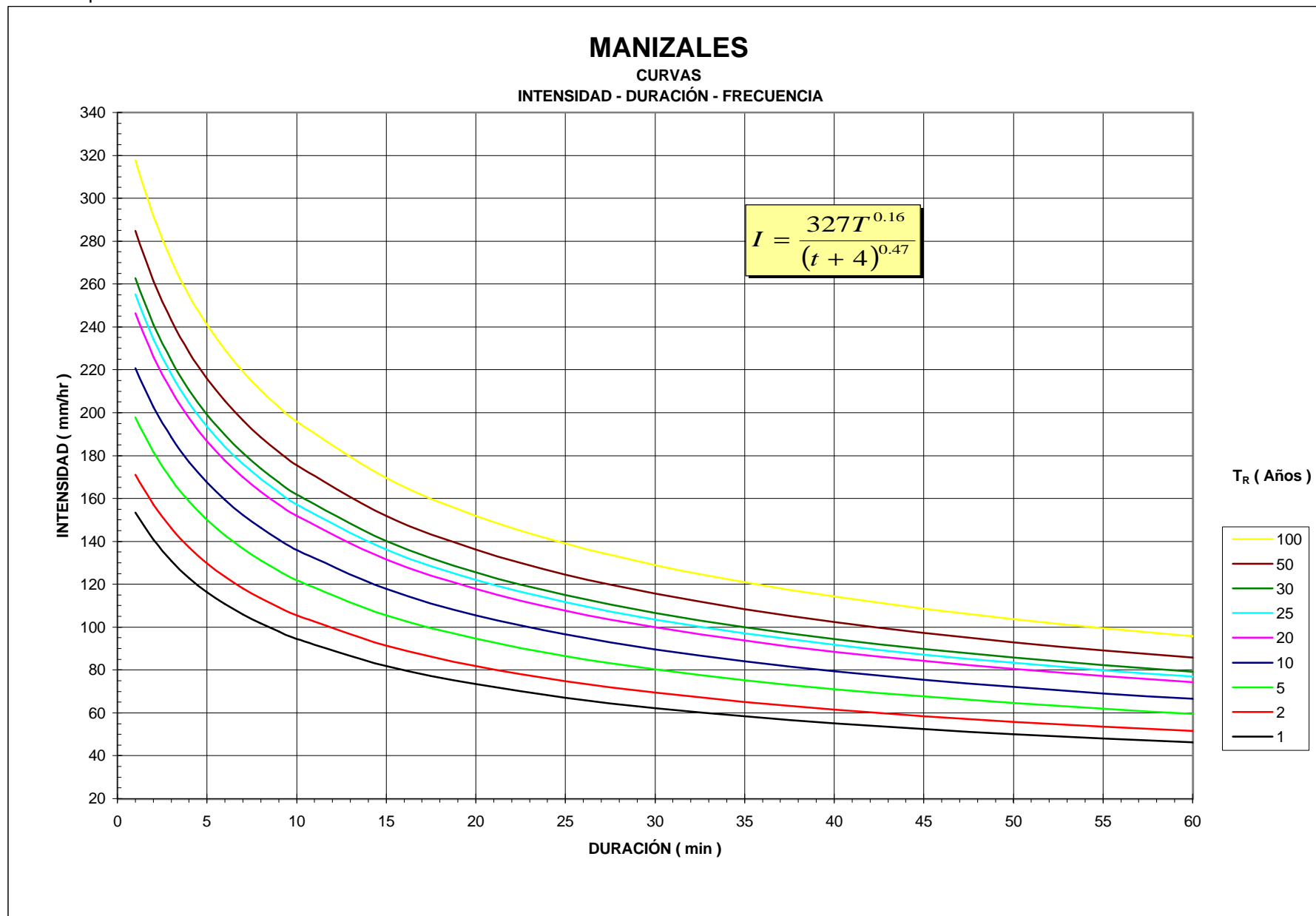
Zona 6.	$\frac{I_{t,Tr}}{I_t} = 0.4487 + 1.2638 \text{Log}(Tr)$	$\frac{I_t}{I_d} = 4.8593 - 0.9928 \text{Ln}(t)$
<i>Estación</i>	<i>No.</i>	
<i>Dorada</i>	136	
<i>Palanqueros</i>	194	

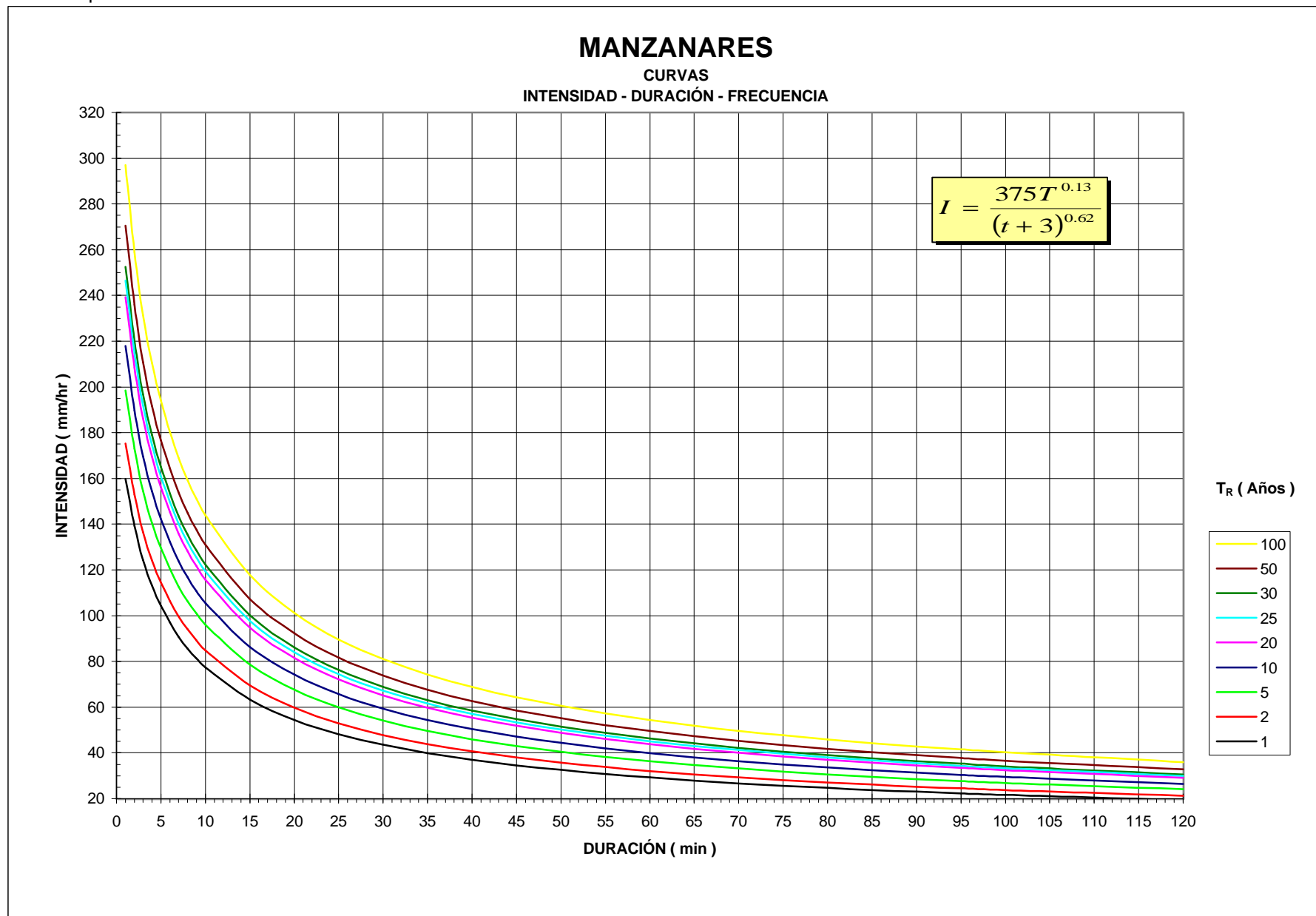
Zona 7.	$\frac{I_{t,Tr}}{I_t} = 0.4345 + 1.2939 \text{Log}(Tr)$	$\frac{I_t}{I_d} = 5.2836 - 1.0995 \text{Ln}(t)$
<i>Estación</i>	<i>No.</i>	
<i>Aranzazu</i>	141	
<i>Guaimaral</i>	41	
<i>Llanadas</i>	38	
<i>Anserma</i>	140	
<i>Riosucio</i>	55	
<i>Marmato</i>	52	
<i>La Argentina</i>	73	
<i>Rafael Escobar</i>	173	

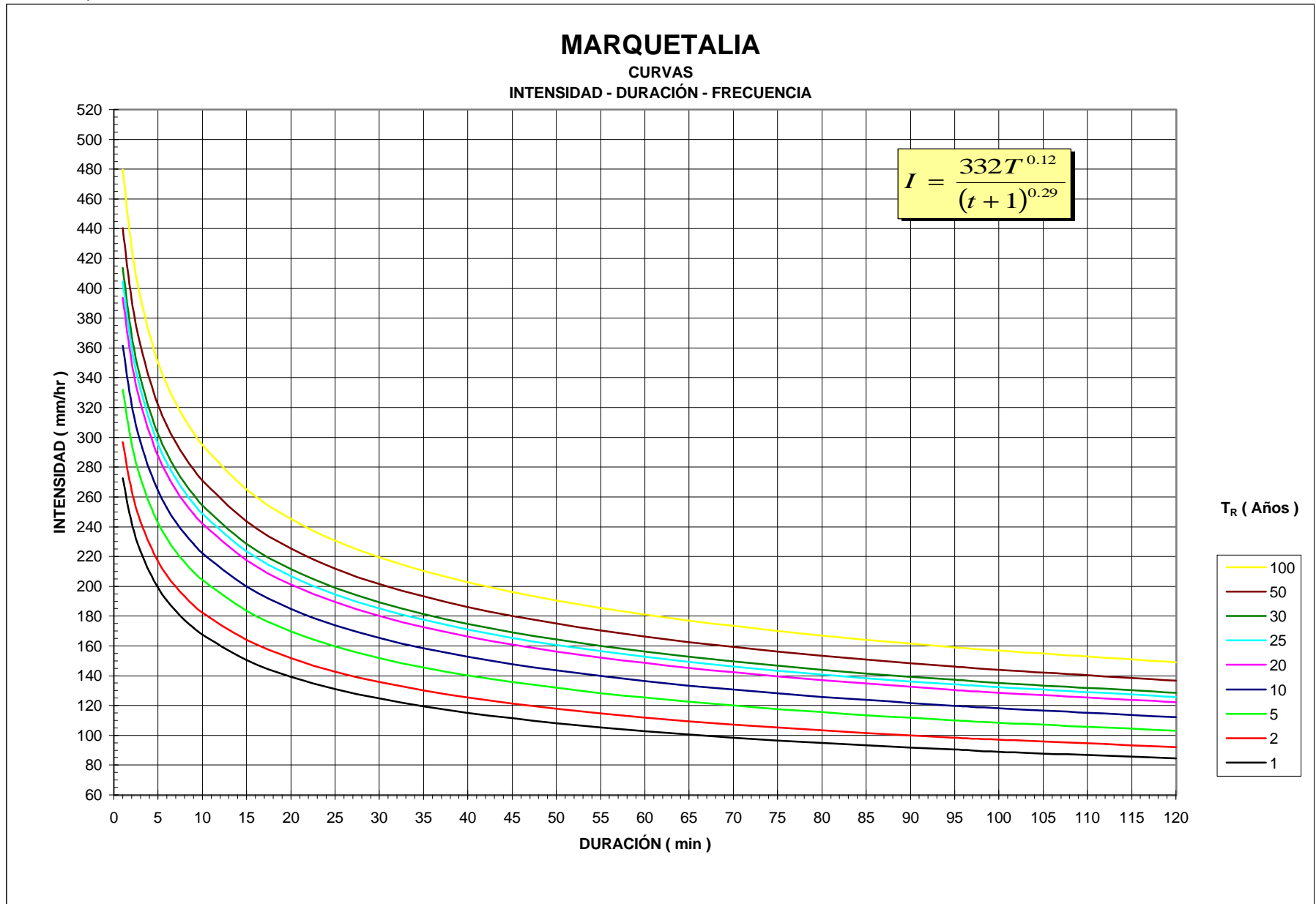
El parámetro de “ $I_d$ ” que corresponde al valor medio de la intensidad de las lluvias máximas anuales en mm/h, se obtiene de el valor de la precipitación promedio diaria de la tabla No.6 el cual resulta de dividir este parámetro de precipitación por 24 horas.

**CURVAS**  
**INTENSIDAD DURACIÓN FRECUENCIA**  
**METODO DE MÁXIMAS ANUALES**  
**ESTACIONES PLUVIOGRAFICAS**

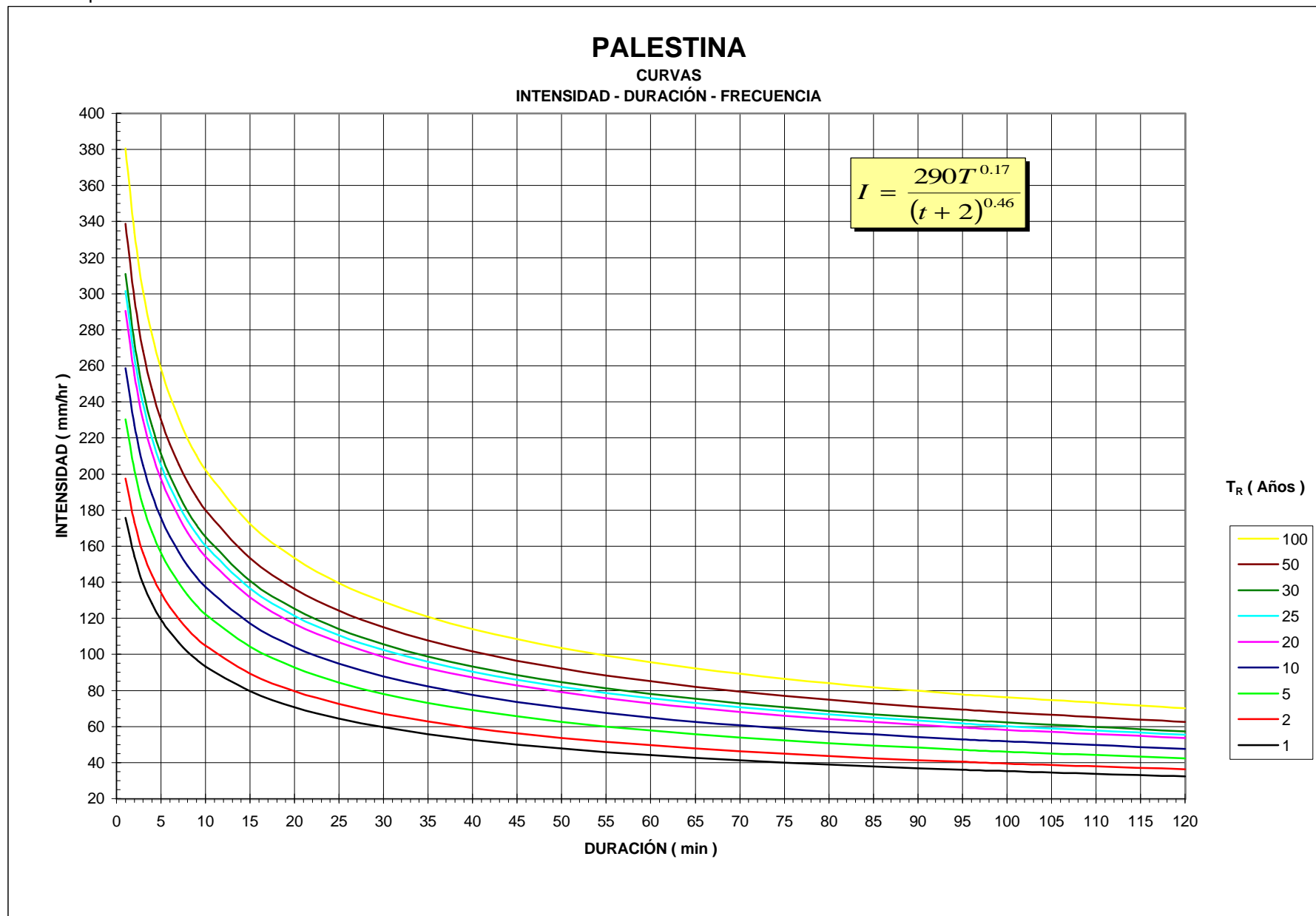


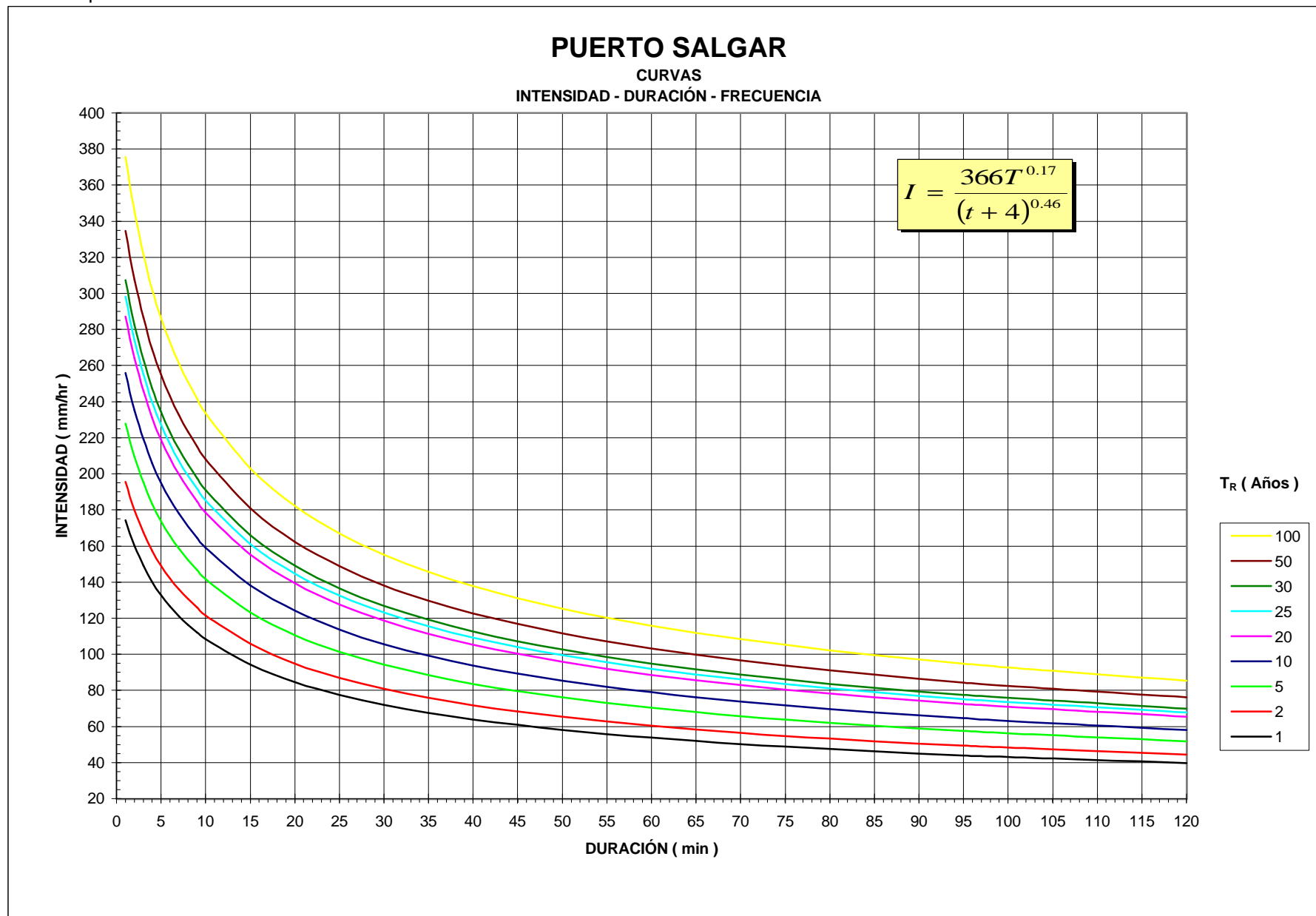


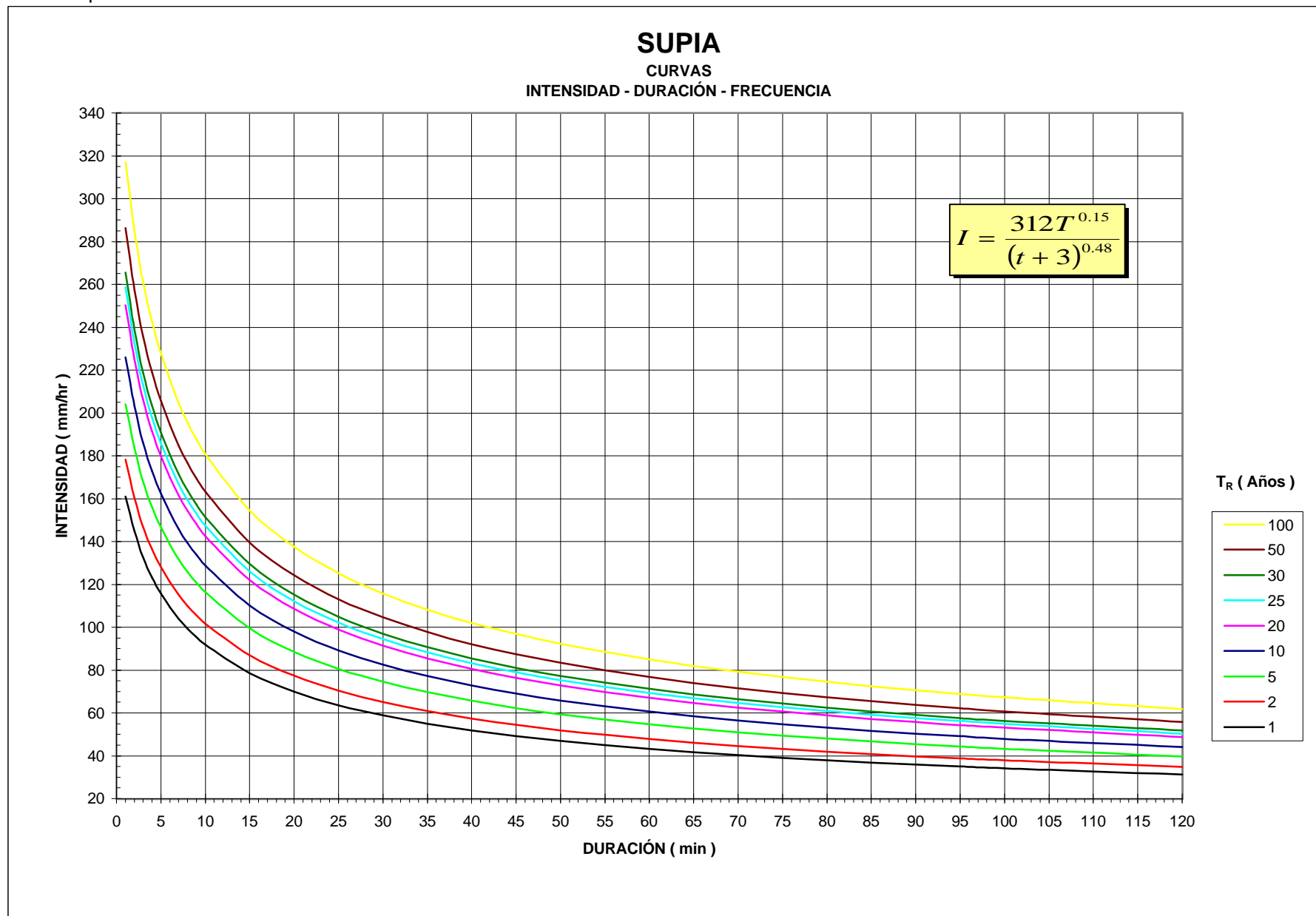




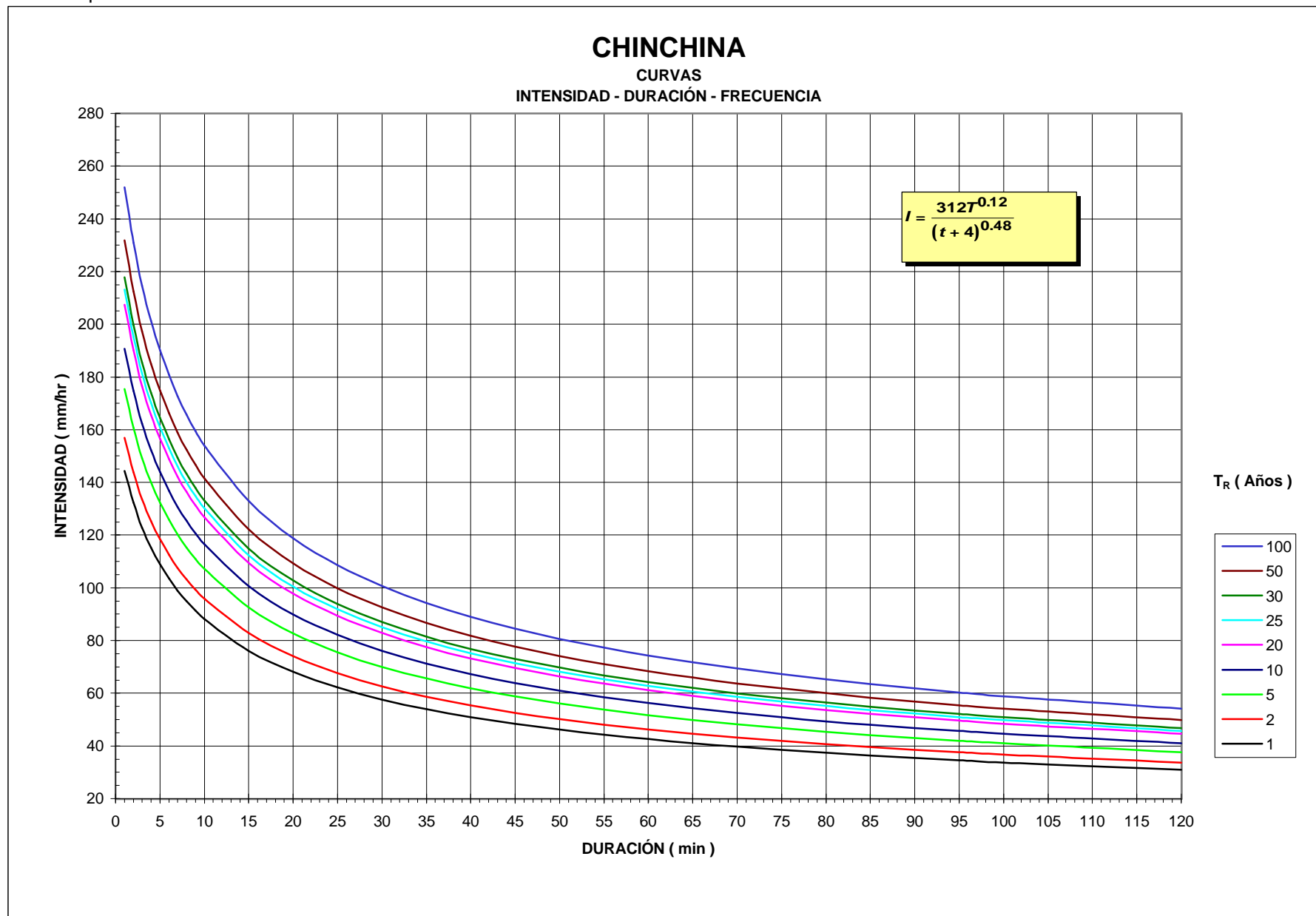


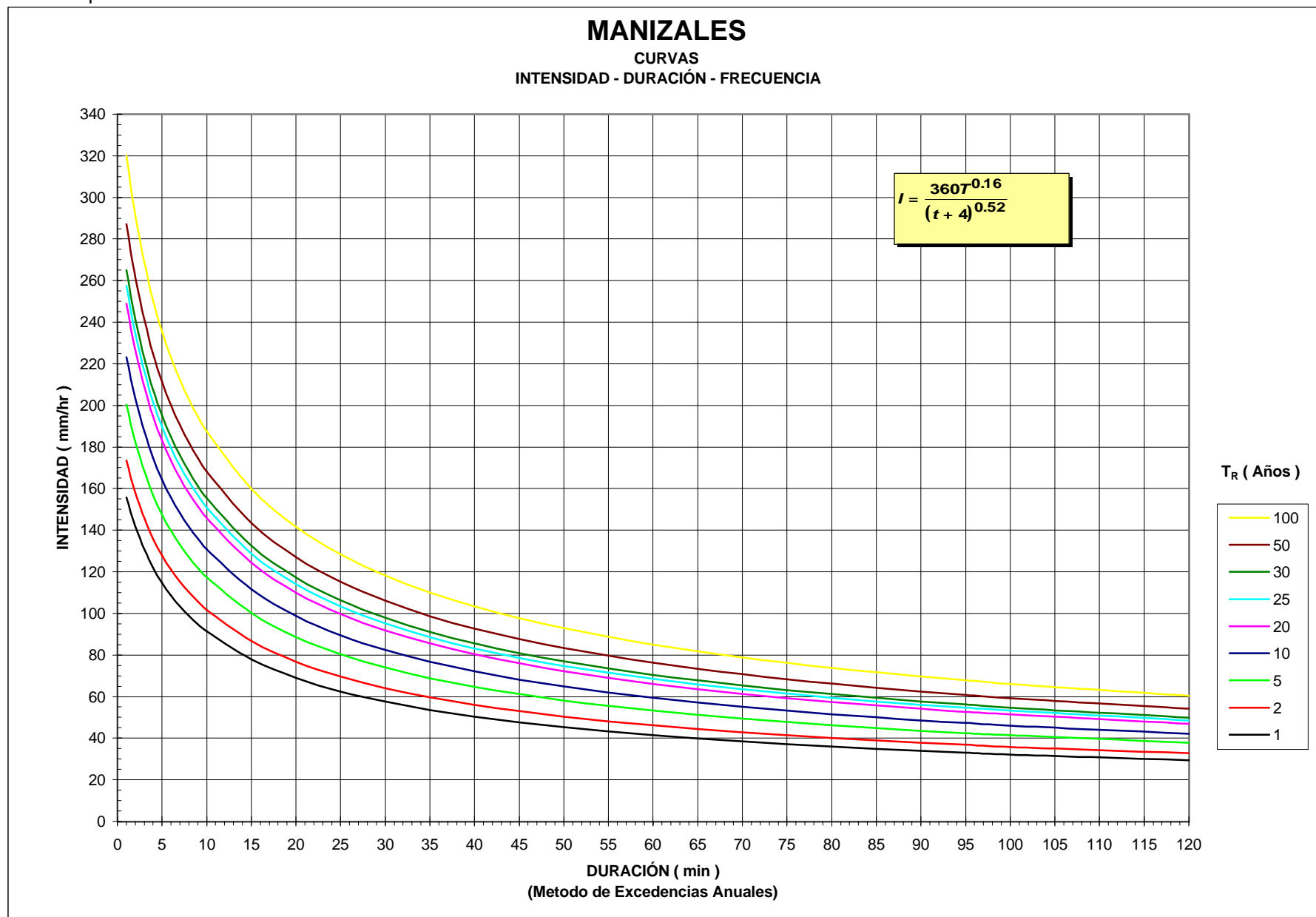


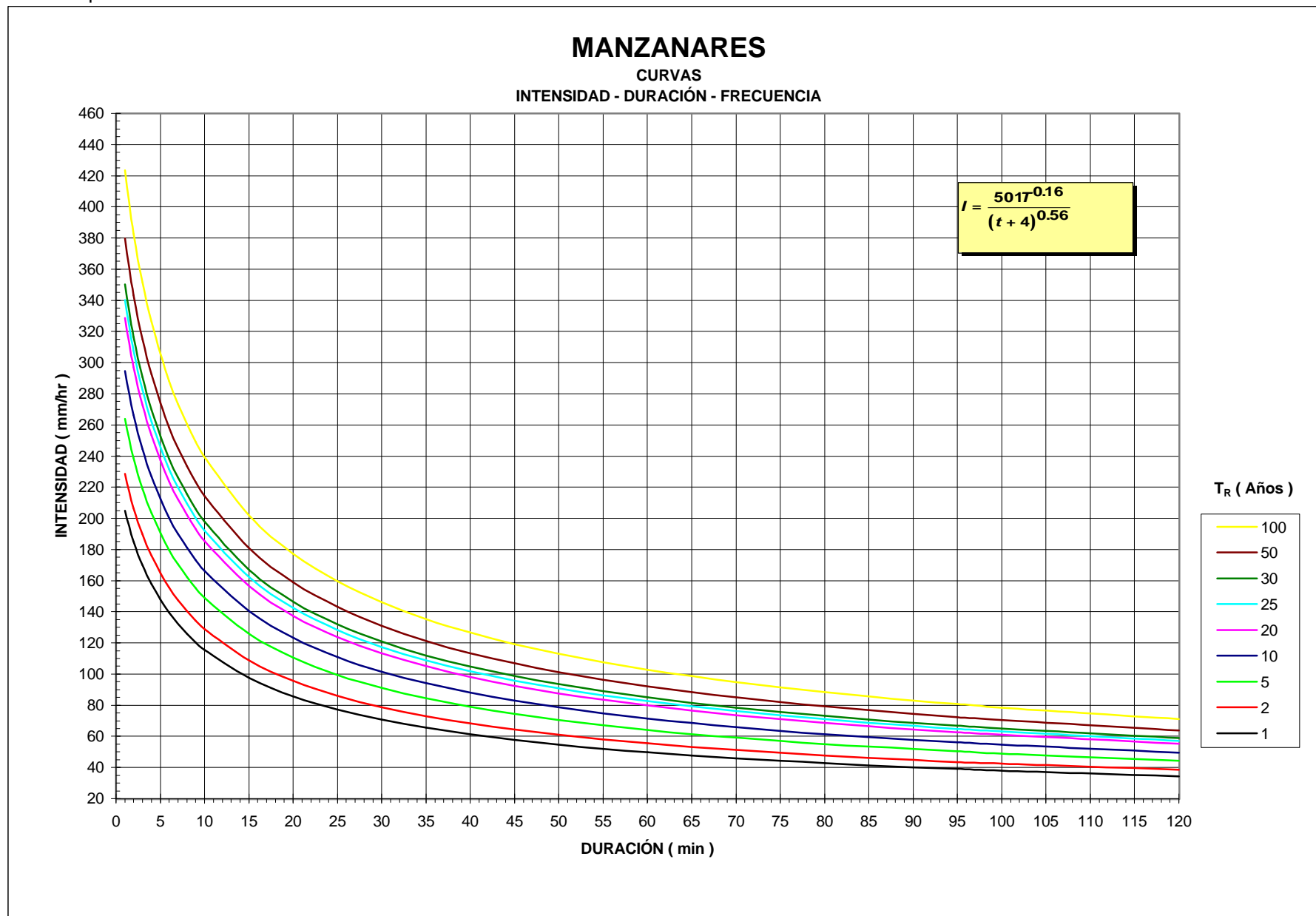


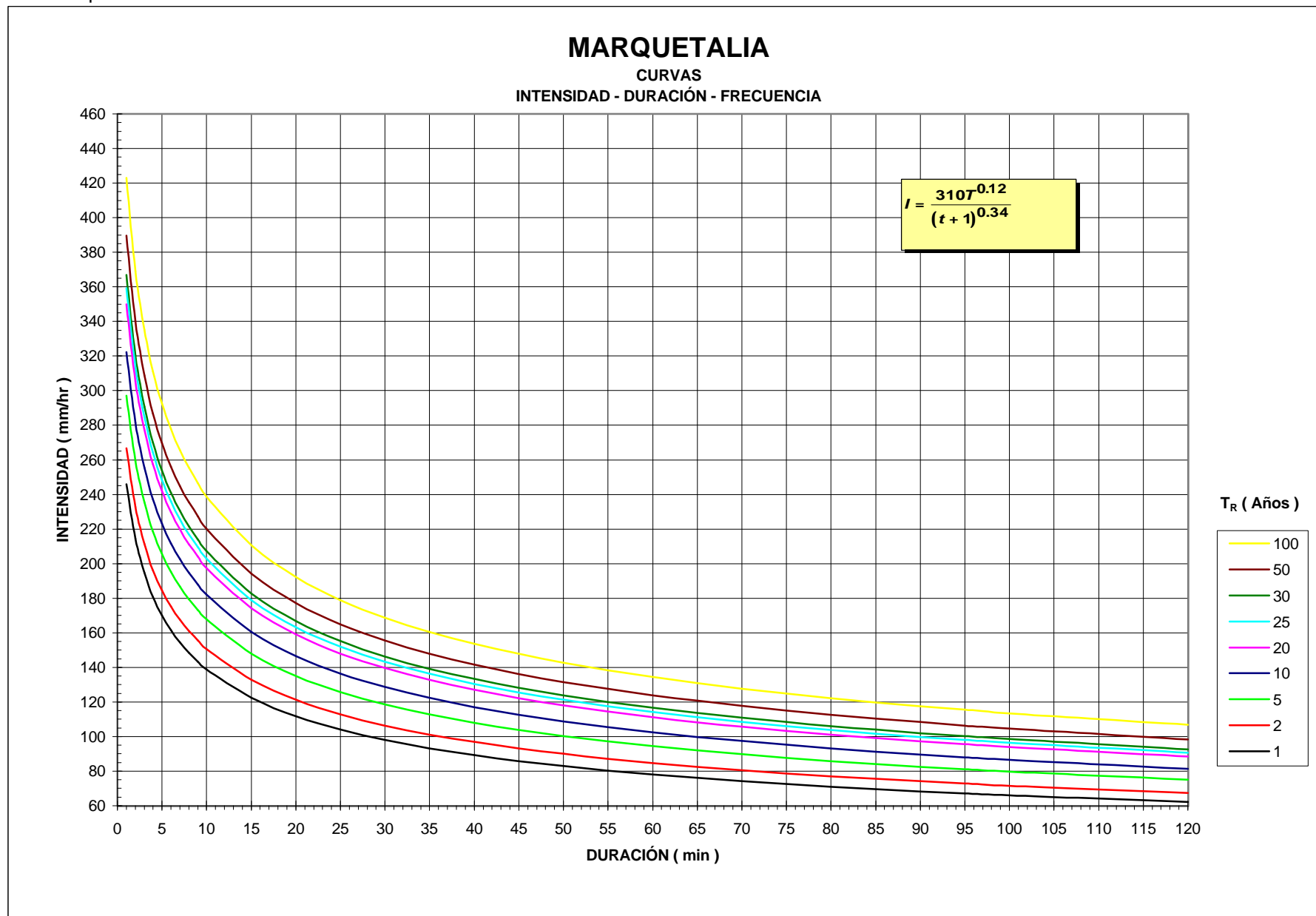


**CURVAS  
INTENSIDAD DURACIÓN FRECUENCIA  
METODO DE EXCEDENCIAS ANUALES  
ESTACIONES PLUVIOGRAFICAS**

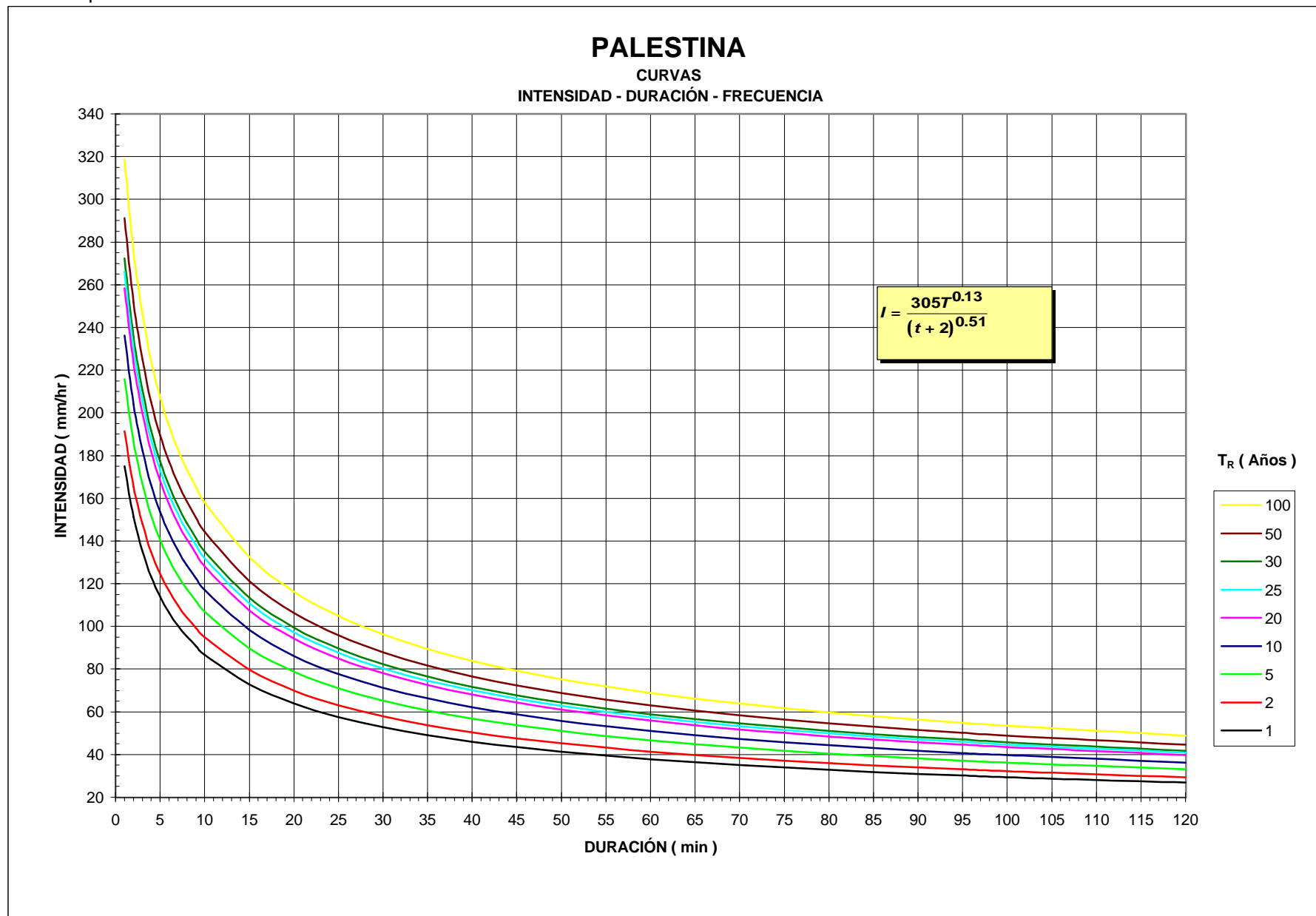


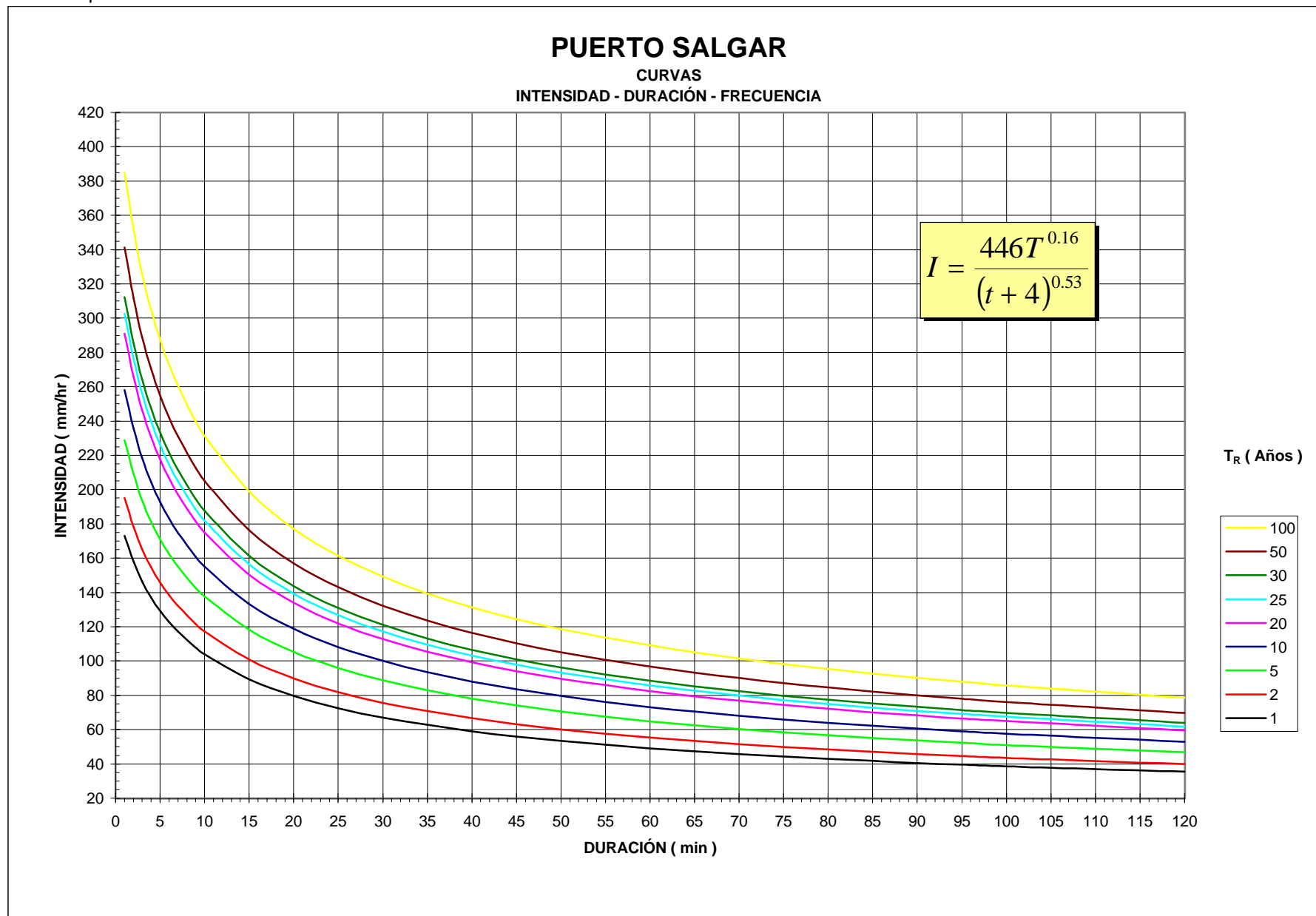


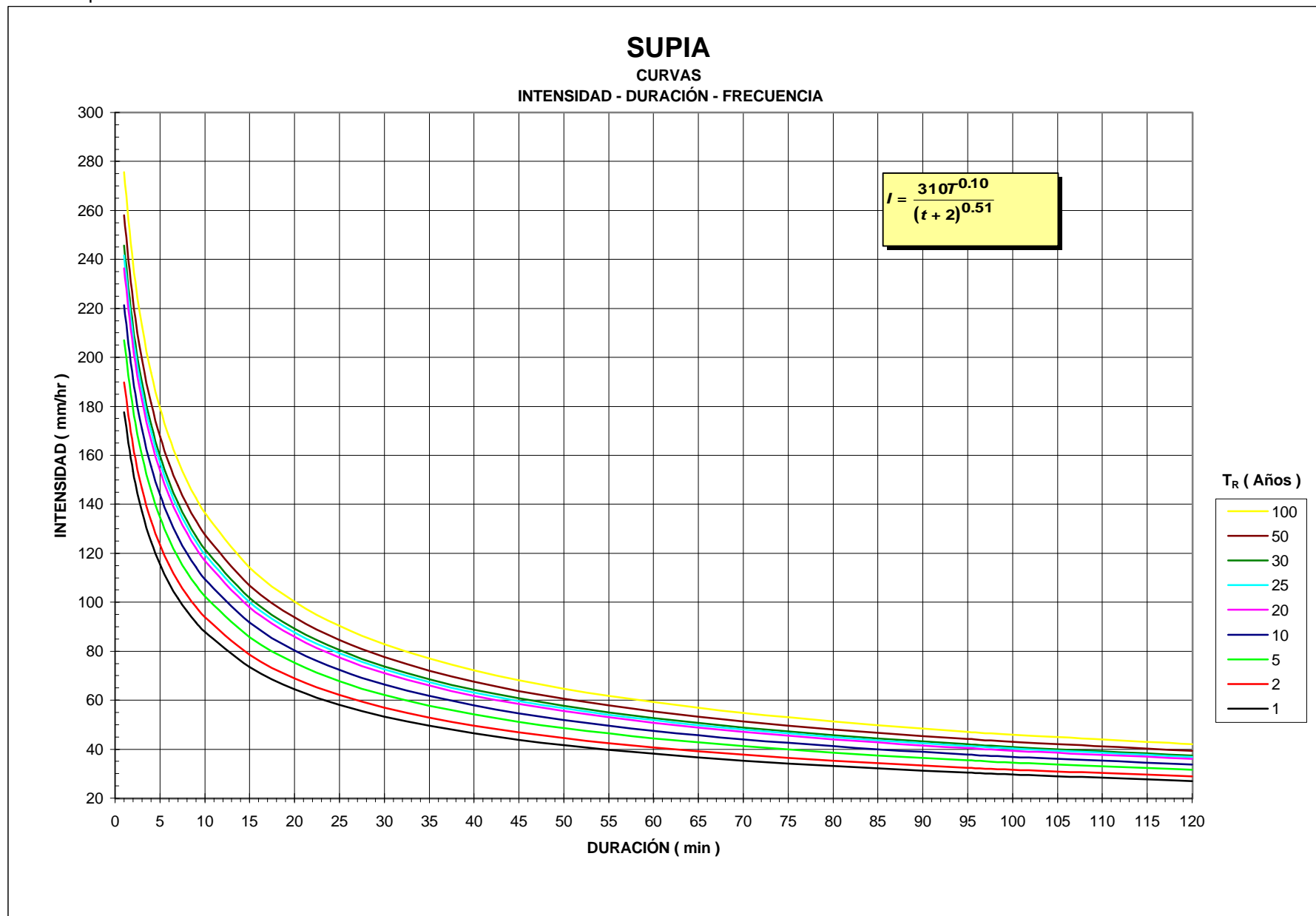












**COMPARACIÓN ENTRE LAS ECUACIONES  
DE MÁXIMAS ANUALES CONTRA  
ECUACIONES DE EXCEDENCIAS ANUALES  
ESTACIONES PLUVIOGRAFICAS**

Municipio de Chinchina

$$I_E = \frac{312 \cdot Tr^{0.12}}{(t + 4)^{0.48}}$$

$$I_M = \frac{250 \cdot Tr^{0.20}}{(t + 2)^{0.52}}$$

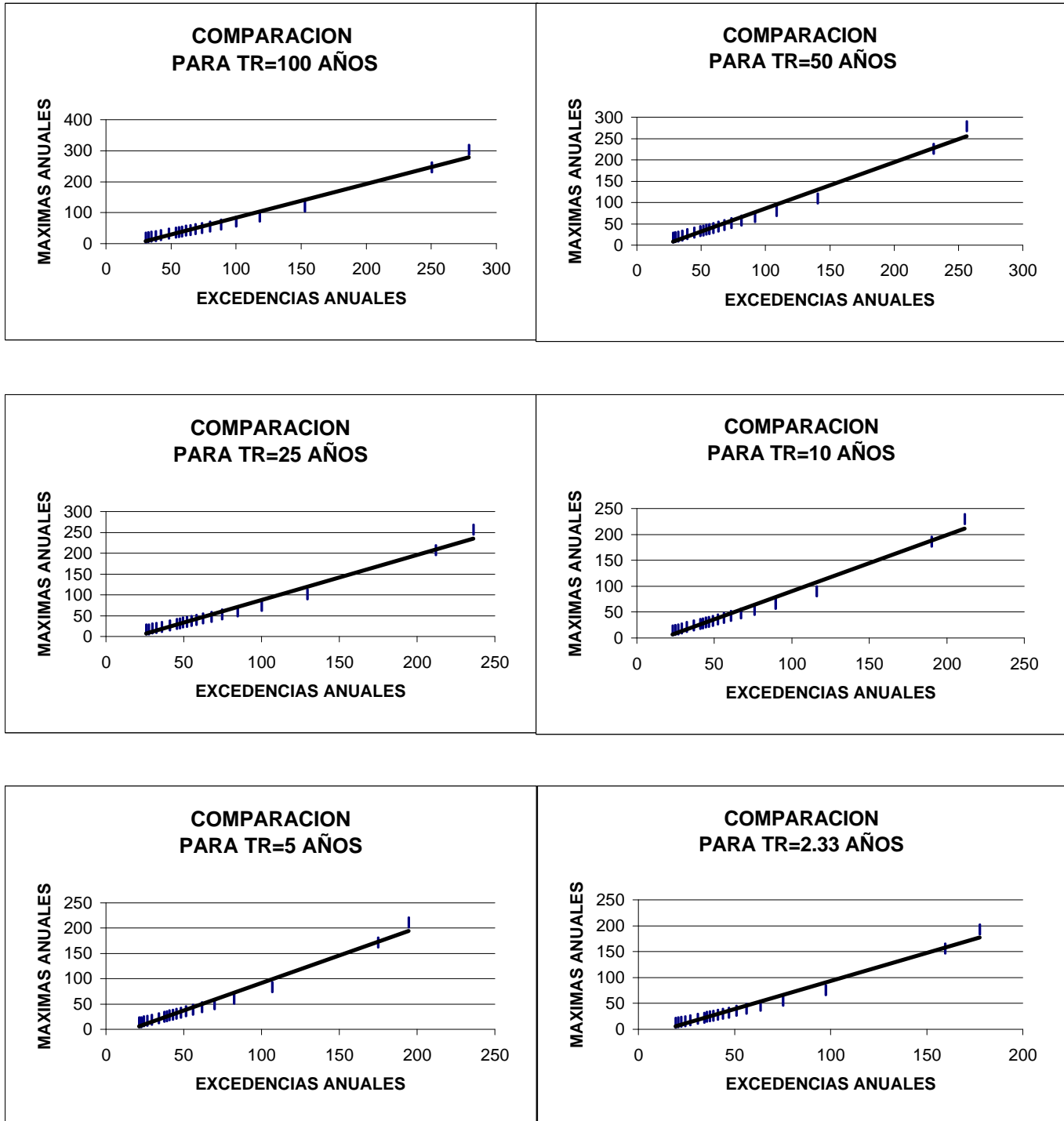


Figura No. 3 (Comparación de las ecuaciones de Excedencias anuales con Máximas anuales).

Municipio de Manizales

$$I_E = \frac{360 \cdot Tr^{0.16}}{(t+4)^{0.52}}$$

$$I_M = \frac{327 \cdot Tr^{0.16}}{(t+4)^{0.47}}$$

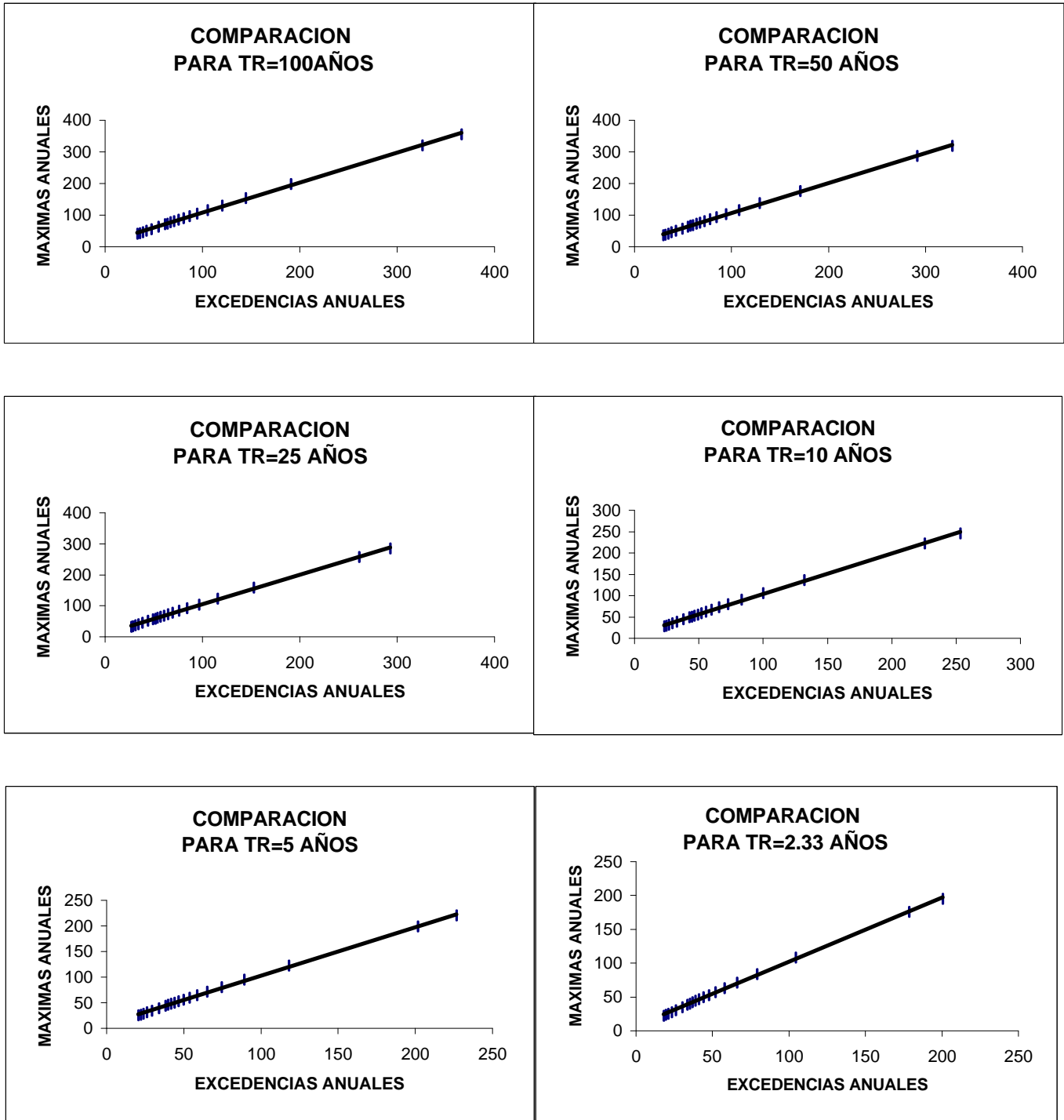


Figura No. 4 (Comparación de las ecuaciones de Excedencias anuales con Máximas anuales).

Municipio de Manzanares

$$I_E = \frac{501 \cdot Tr^{0.16}}{(t + 4)^{0.56}}$$

$$I_M = \frac{375 \cdot Tr^{0.13}}{(t + 3)^{0.62}}$$

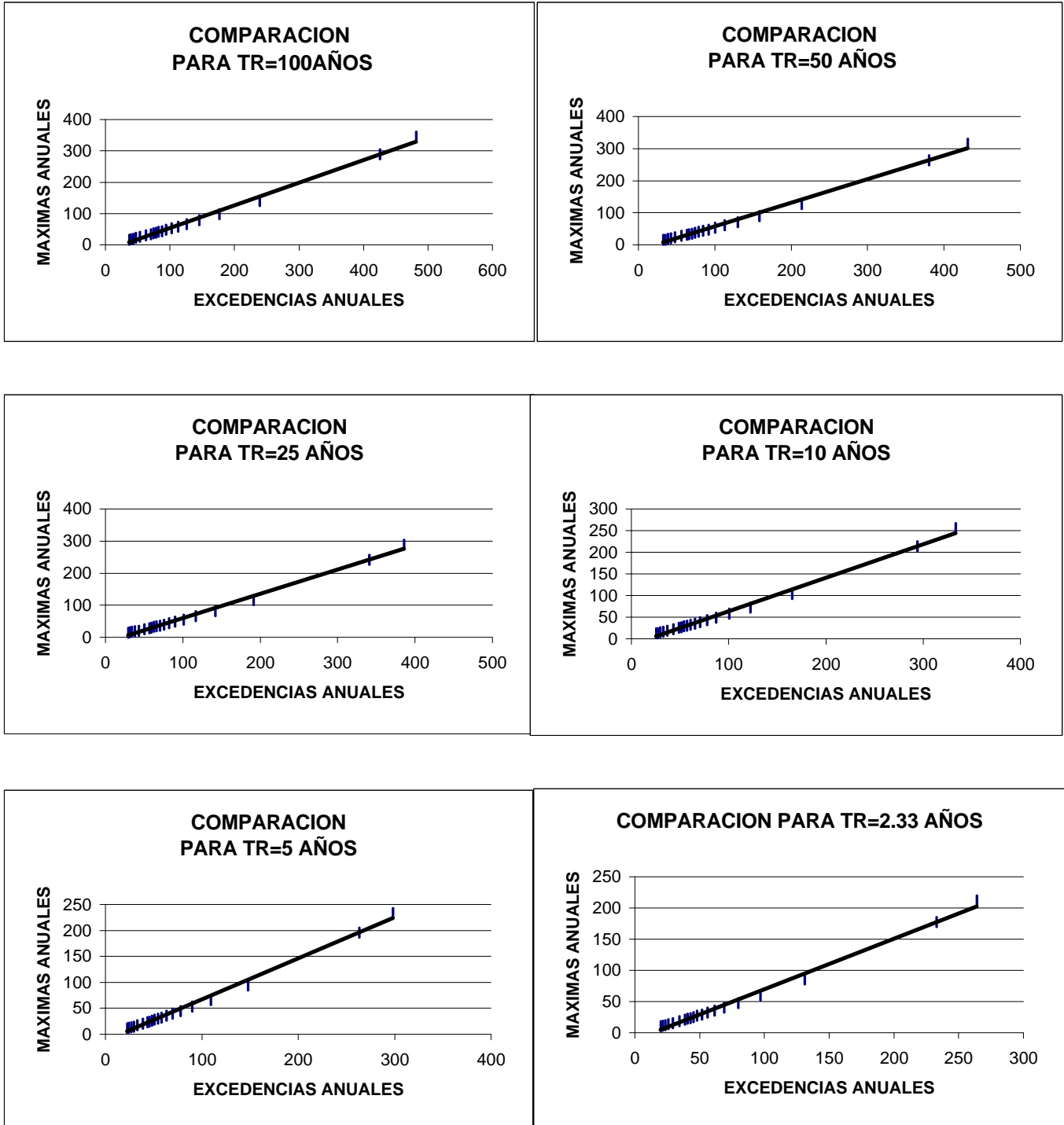


Figura No. 5 (Comparación de las ecuaciones de Excedencias anuales con Máximas anuales).

Municipio de Marquetalia

$$I_E = \frac{310 \cdot Tr^{0.12}}{(t+1)^{0.34}}$$

$$I_M = \frac{332 \cdot Tr^{0.12}}{(t+1)^{0.29}}$$

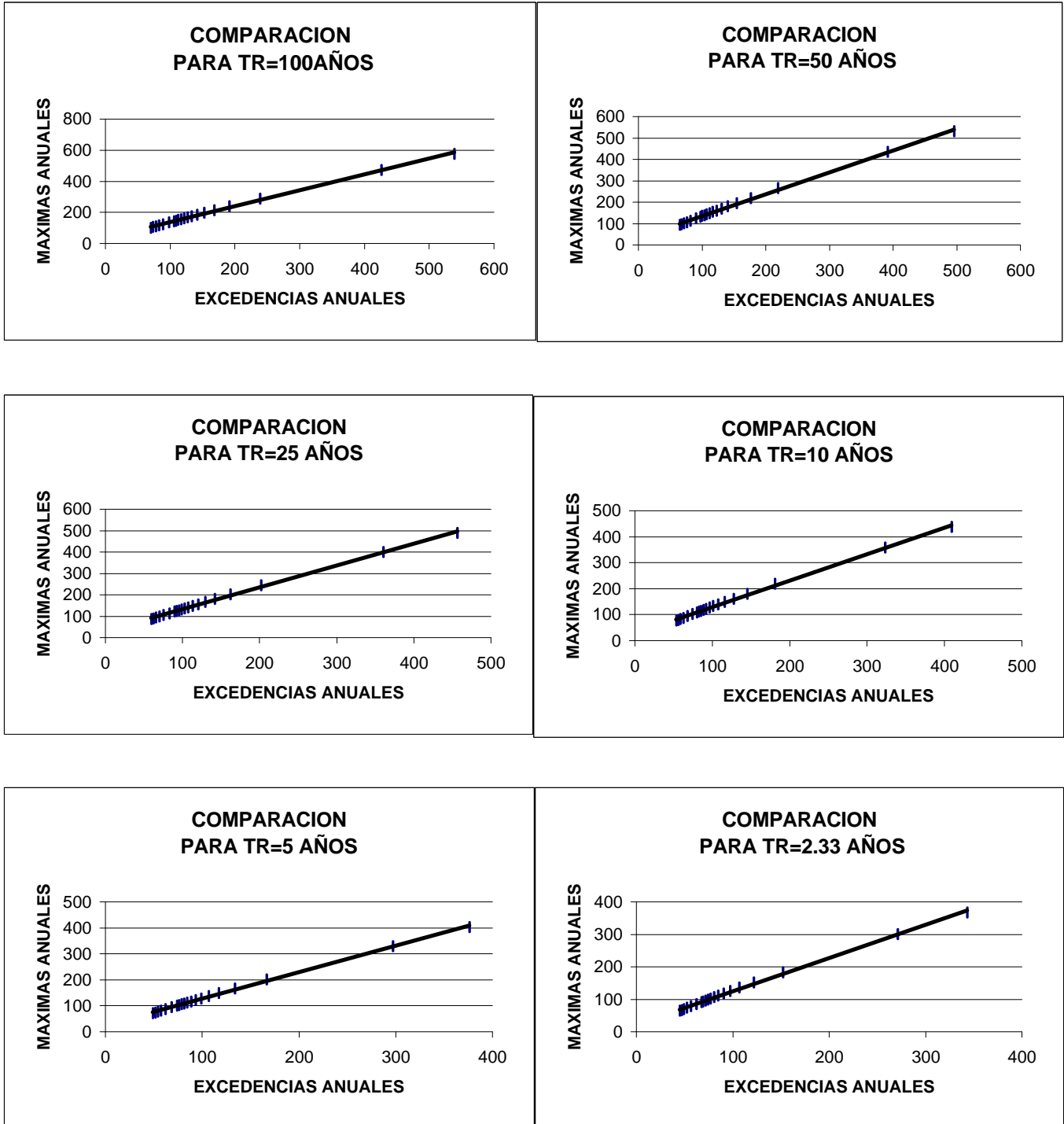


Figura No. 6 (Comparación de las ecuaciones de Excedencias anuales con Máximas anuales).



Municipio de Palestina

$$I_E = \frac{305 \cdot Tr^{0.13}}{(t+2)^{0.51}}$$

$$I_M = \frac{290 \cdot Tr^{0.17}}{(t+2)^{0.46}}$$

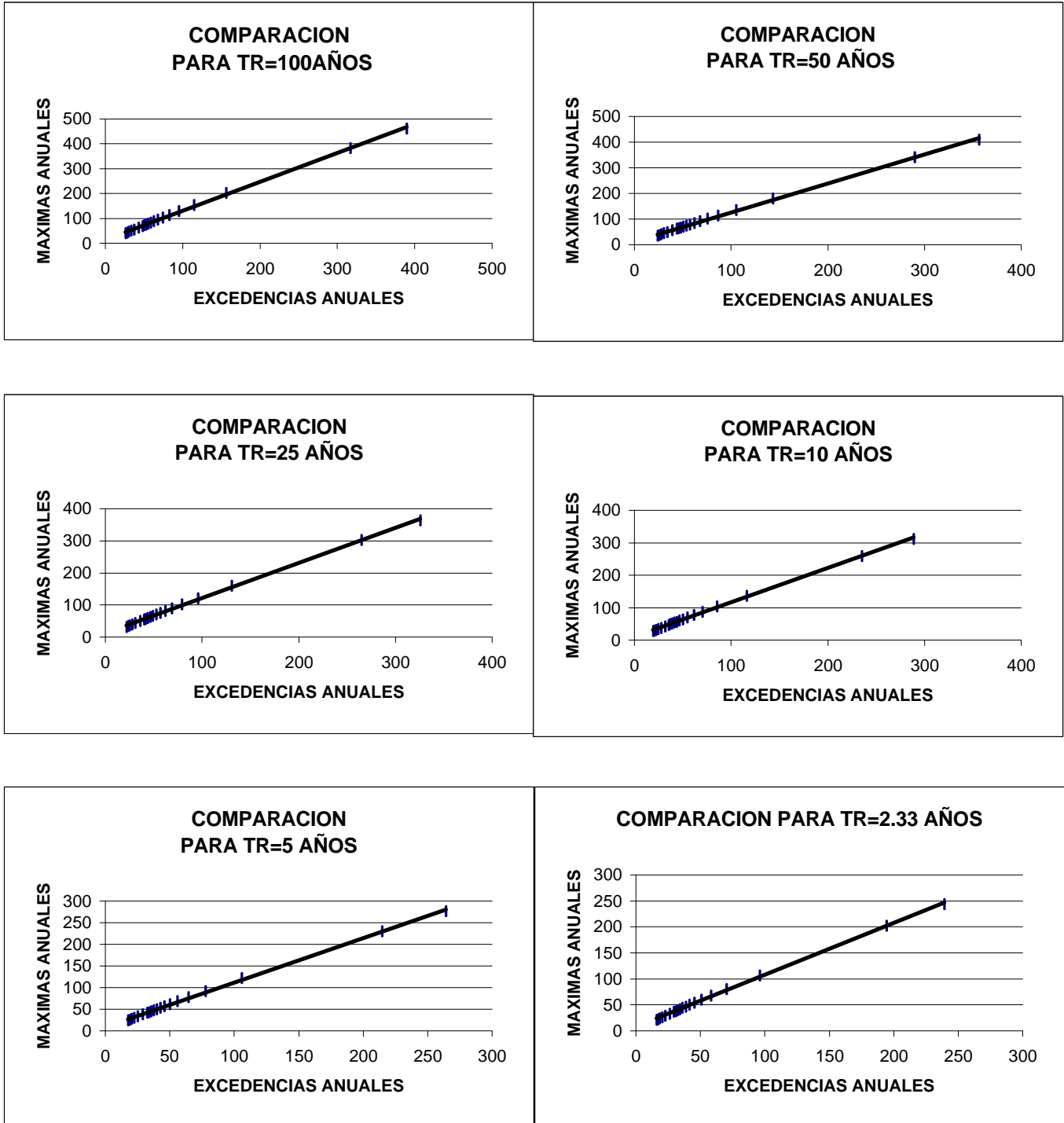


Figura No. 7 (Comparación de las ecuaciones de Excedencias anuales con Máximas anuales).

Municipio de Puerto Salgar

$$I_E = \frac{384 \cdot Tr^{0.17}}{(t+4)^{0.49}}$$

$$I_M = \frac{366 \cdot Tr^{0.17}}{(t+4)^{0.46}}$$

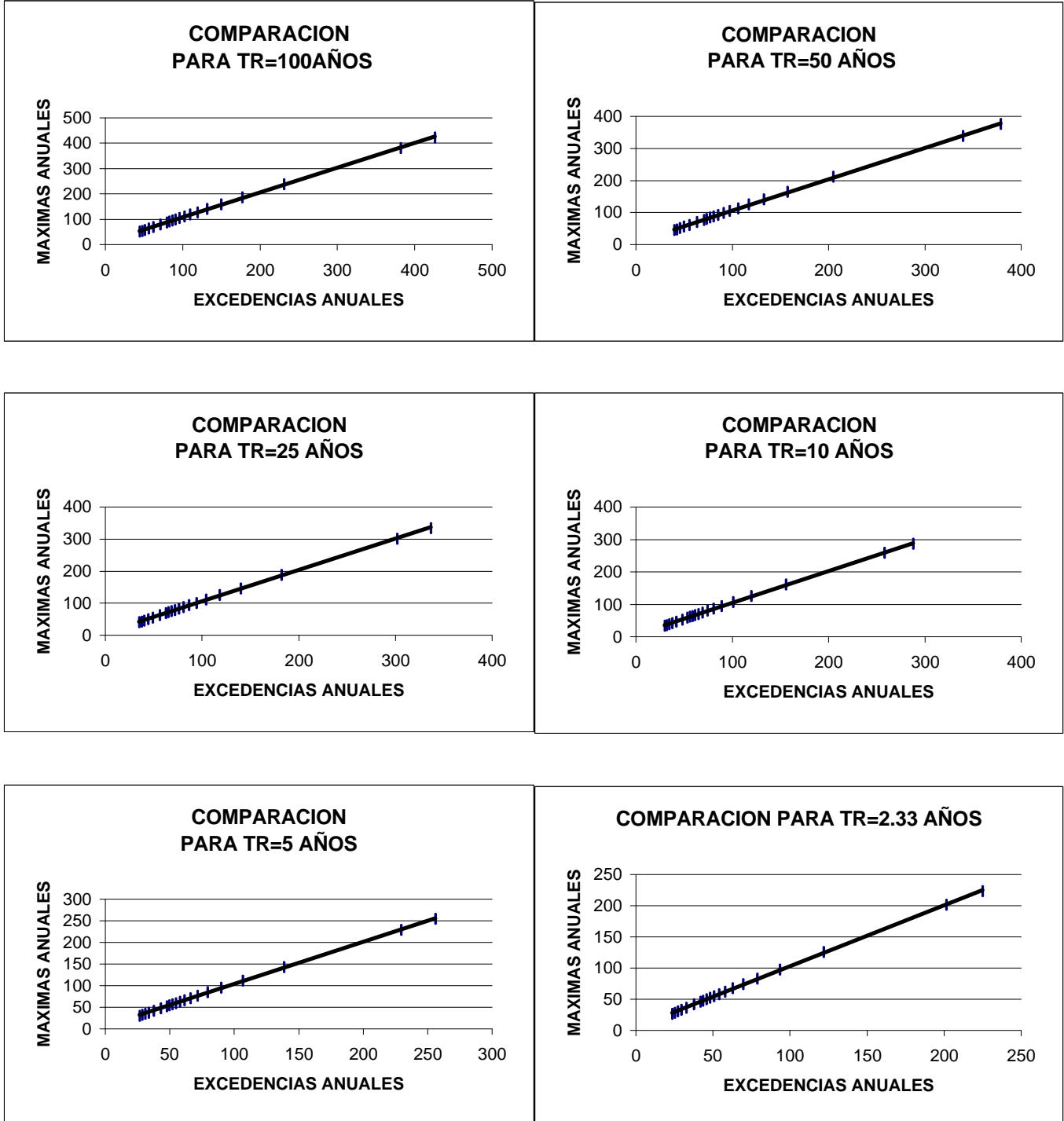


Figura No. 8 (Comparación de las ecuaciones de Excedencias anuales con Máximas anuales).

Municipio de Supia

$$I_E = \frac{310 \cdot Tr^{0.10}}{(t+2)^{0.51}}$$

$$I_M = \frac{312 \cdot Tr^{0.15}}{(t+3)^{0.48}}$$

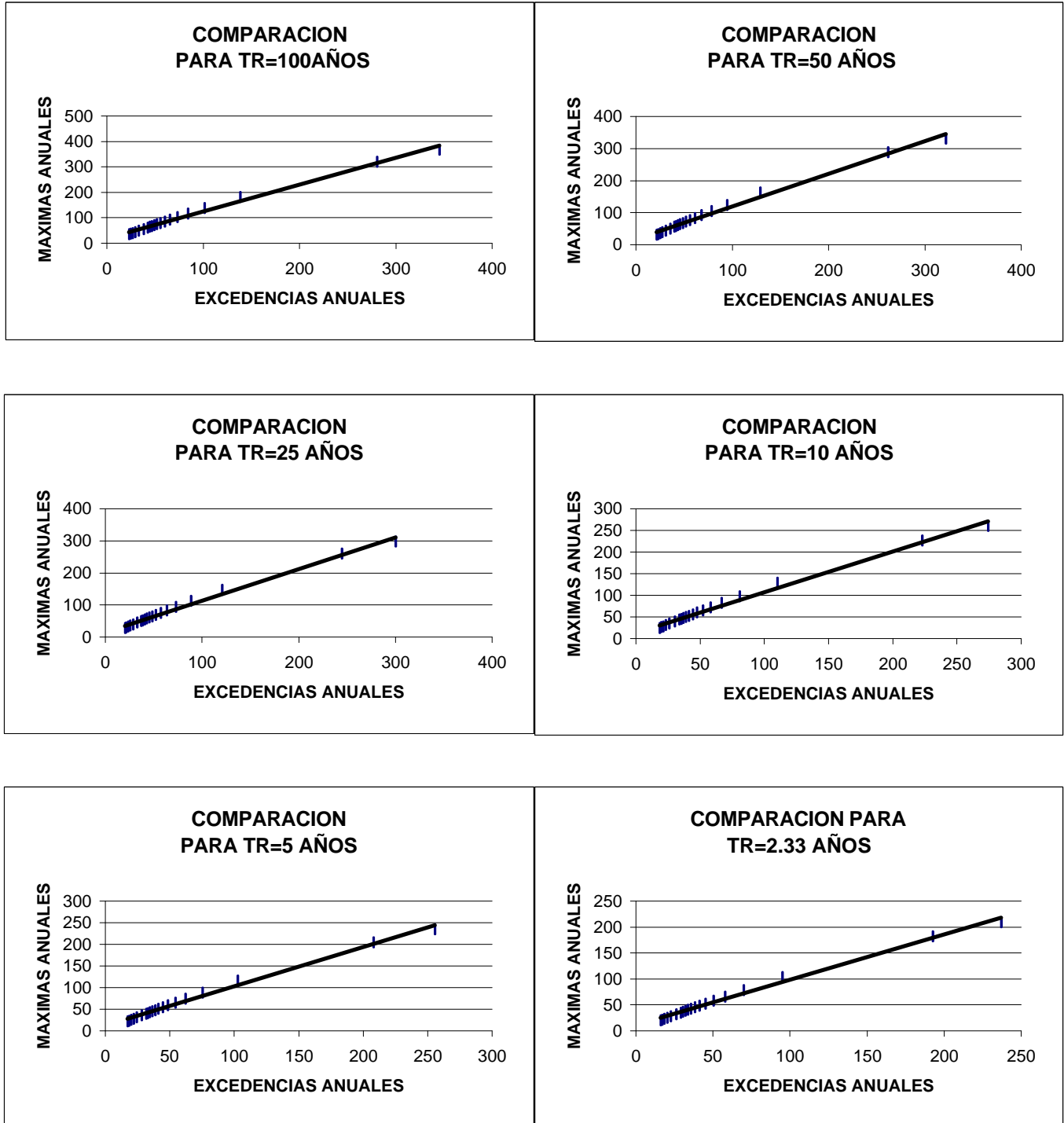


Figura No. 9 (Comparación de las ecuaciones de Excedencias anuales con Máximas anuales).

Municipio de Manizales

Ecuacion curvas 2000

$$I = \frac{327 \cdot Tr^{0.16}}{(t + 4)^{0.47}}$$

Ecuacion curvas 1978

$$I = \frac{350 \cdot Tr^{0.13}}{(t + 6)^{0.52}}$$

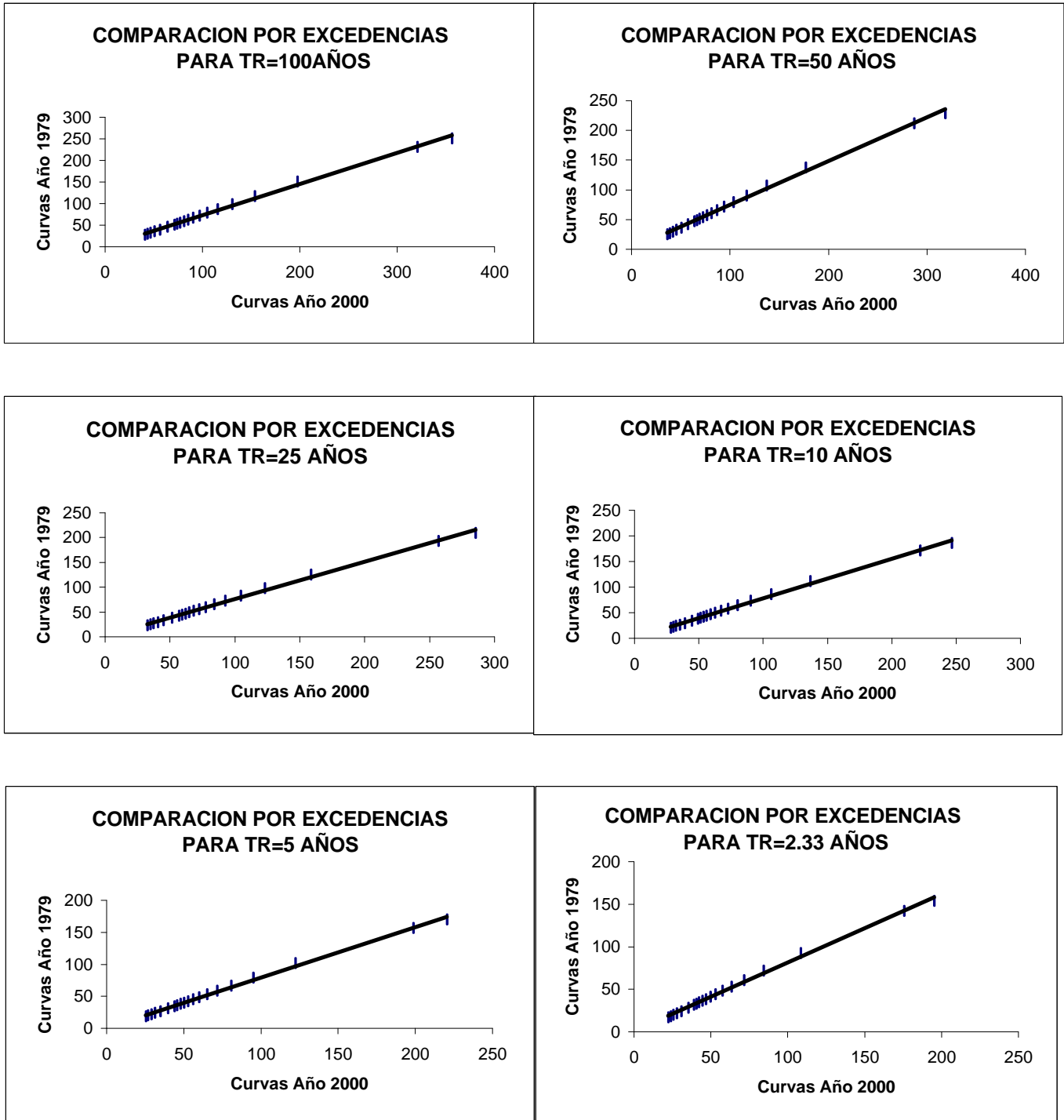


Figura No. 10 (Comparación entre las ecuaciones para el municipio de Manizales de los años de 1978 y 2000).

Municipio de Manizales

Ecuacion curvas 2000

$$I = \frac{360 \cdot Tr^{0.16}}{(t + 4)^{0.52}}$$

Ecuacion curvas 1978

$$I = \frac{350 \cdot Tr^{0.13}}{(t + 6)^{0.52}}$$

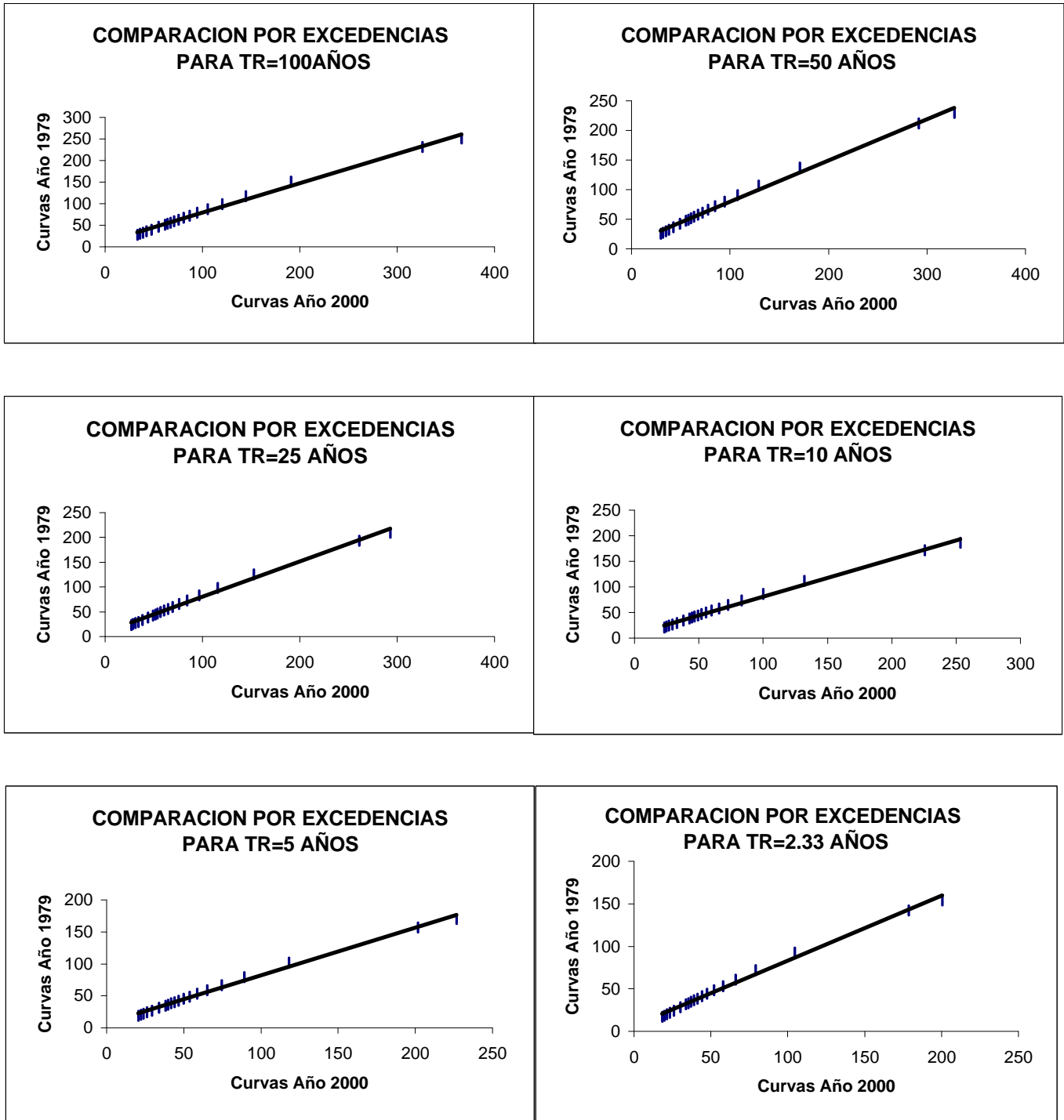


Figura No. 11 (Comparación entre las ecuaciones para el municipio de Manizales de los años de 1978 y 2000).

## ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

- La región del departamento de Caldas cuenta con distintas estaciones pluviográficas y pluviométricas que recogen este tipo de información. El número de estaciones es del orden de 190, pero debido a la falta de cultura en el país para el análisis de esta información, la gran mayoría de las estaciones se encuentran fuera de servicio o los datos obtenidos de estas no son confiables. Por tal motivo el objeto de este trabajo fue dotar al mayor número de las cabeceras municipales del departamento de Caldas con el estudio de las curvas de intensidad - duración - frecuencia en la medida que la información se encontró disponible para este estudio.
- El grado de confiabilidad de los resultados depende en gran medida de la lectura de los registros, y de la interpretación de los datos pluviográficos que se les hace a los eventos máximos.
- Se puede establecer, de acuerdo con los histogramas de las diferentes estaciones del presente estudio, que los períodos de mayor lluvia en el departamento de Caldas corresponden a los meses de Abril y Mayo, y de Octubre y Noviembre.
- Se encontró gran similitud entre el método de excedencias anuales y máximas anuales en la gran mayoría

de las estaciones, aunque para valores altos del períodos de retorno, las intensidades con las series de máximas anuales son mayores que las intensidades obtenidas con las series de excedencias anuales.

- Se pretende con el método de Liria y Torres, hacer una regionalización de las zonas buscando la mayor homogeneidad hidrológica y geográfica entre las estaciones, para así tener herramientas confiables para estudios hidrológicos en las diferentes localidades donde se encuentren ubicadas.
- Las ecuaciones obtenidas en el presente trabajo son válidas únicamente para las estaciones que fueron calculadas.
- Se pudo observar que los resultados en los trabajos anteriores y los realizados en el presente trabajo son muy aproximados, lo que nos da a entender que los métodos de trabajo estadístico se ajustan a los tipos de datos que se generan en esta región.
- Realizada la comparación de las curvas calculadas para el municipio de Manizales entre el estudio realizado por Hidrotec y el presente trabajo, se observó gran similitud entre las ecuaciones, dando mayores valores de intensidad las curvas calculadas en este estudio, es de anotar que la serie histórica utilizada para el cálculo del estudio de Hidrotec abarca una serie de años entre 1955 y 1978 (serie de 24 años), y el presente estudio abarca una serie de años entre 1955 y 1996 (serie de 42 años).

- El método de Liria y Torres, puede emplearse en Colombia con el propósito de regionalizar los parámetros para hallar intensidades de diferentes duraciones de lluvias y períodos de retorno.
- Para el departamento de Caldas, la zona Oriente, es la que más carece de información hidrológica por no poseer longitudes de registro de lluvias confiables.
- La metodología expuesta en este trabajo se puede tomar como base para ajustar los parámetros en la medida que los registros pluviométricos y pluviográficos tengan series de mayor duración.
- Los datos de intensidad obtenidos por la metodología de Liria y Torres, presentan valores más bajos si se comparan con los datos generados por las curvas de intensidad de los registros pluviográficos para la misma zona, esto quiere decir que el método, desde el punto de vista hidrológico es más conservativo. La diferencia entre ambas metodologías radica esencialmente en los procedimientos matemáticos y estadísticos que ambas utilizan.



## RECOMENDACIONES

- Se deja al buen criterio del diseñador el empleo de los resultados obtenidos por este método, en la búsqueda de los parámetros de diseño, que como el caudal, es básico para dimensionar las estructuras encargadas de transportar y retener el recurso agua, cuando es necesario disponer de él, para emplearlo en diversos fines y contemplar la posibilidad de que se presente en exceso, para prevenir efectos indeseables.
- Aunque el departamento de Caldas posee muchas estaciones pluviométricas y pluviográficas, el número de las que en la actualidad sirven es muy poco, por lo tanto la obtención de parámetros confiables para el diseño de las obras es muy reducido. Por lo expuesto anteriormente es recomendable que las entidades que tengan necesidad de estos parámetros se preocupen, tanto en complementar la red general de estaciones, como en operarlas adecuadamente.

## BIBLIOGRAFÍA

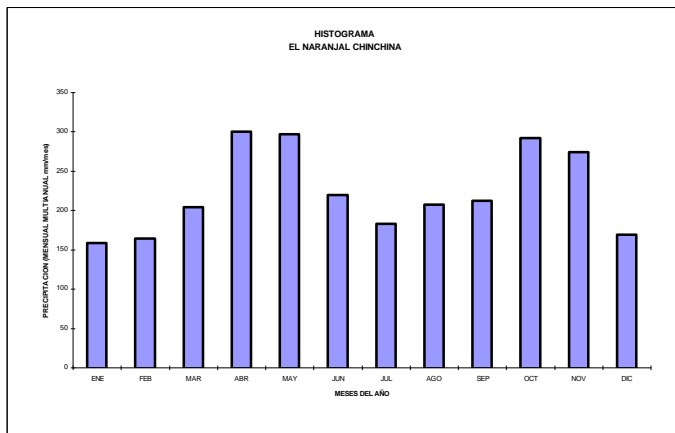
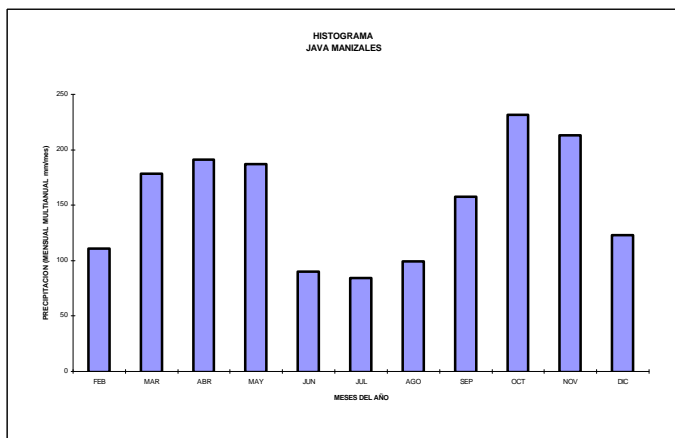
1. MONSALVE S, German. Hidrológica en la Ingeniería, Primera Edición. Editorial Escuela Colombiana de Ingenieros. 1995. 358 p.
2. CHOW, Ven Te; MAIDMENT, David y MAYS, Larry. Hidrológica Aplicada. Primera edición, Colombia, Editorial Mc Graw Hill, 1993. 573 p.
3. ARAMBURO, Luis E; PORRAS, Hernán. Estadística y Probabilidad Aplicada a Hidrología. Universidad Industrial de Santander, Facultad de Ingeniería Civil. Bucaramanga. 65 p.
4. SILVA M, Gustavo. Hidrología Básica. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Publicaciones. 1988. 136 p.
5. STEVEN C, Charra; CANALE, Raymond. Métodos Numéricos para Ingenieros. Colombia, Editorial Mac Graw Hill. 1995. 136 p.
6. BOTERO B, Alejandro; MUÑOS G, Sergio. Obtención de Curvas Intensidad Frecuencia Duración para el Departamento de Antioquia. Tesis Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. 1997. 53 p.

7. SMITH Q, Ricardo; VELEZ O, Maria V. Hidrología de Antioquia. Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos, Facultad de Minas, Universidad Nacional, Departamento de Antioquia, Obras Publicas, Antioquia. 1997.
8. PAREJA B, Juan F; OSORIO M, Jorge I. Estudio Hidrológico de Caldas Revisión y Actualización de las Curvas de Intensidad Duración Frecuencia. Tesis Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Sede Manizales. 1997. 214 p.
9. MUNICIPIOS COLOMBIANOS. Senado de la Republica Presidencia, Santa Fe de Bogota. 1989. 482 p.
10. CANAVOS, George C. Probabilidad y Estadística Aplicaciones y Métodos. Colombia, Editorial Mc Graw Hill, 1997. 651 p.
11. HIDROTEC. Manizales - Salamina, curvas Intensidad-Duración - Frecuencia. Corporación Regional Autónoma para las ciudades de Manizales, Salamina, Aranzazu "CRAMSA", 1978.
12. K. J. A REVFEIM. An initial model of the relationship between rainfall events and daily rainfalls. Meteorological service; Wellington 1 (New Zealand) Journal de Hydrology, 1994. 357-364.
13. Wailen, Peter R; Caviedes, Cesar N. Interannual variability of monthly precipitation in Costa Rica. Journal of Climate, Octubre 1994. vol 9, 2606-2613.

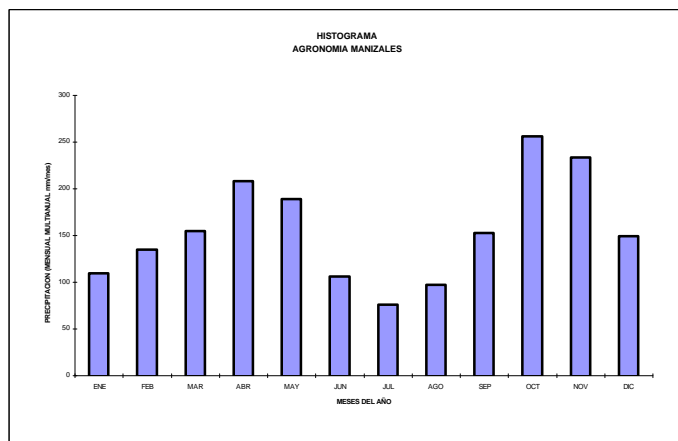
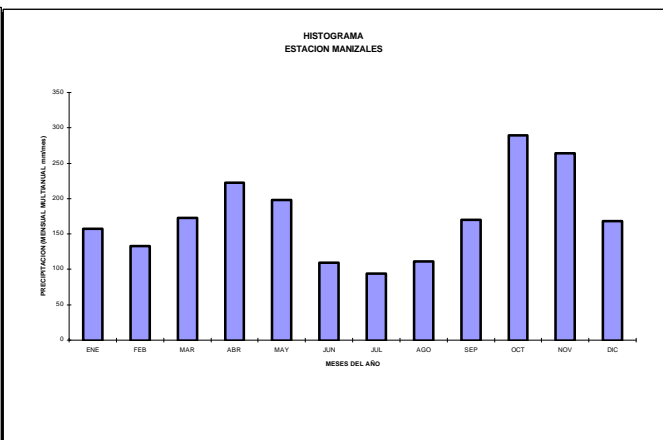
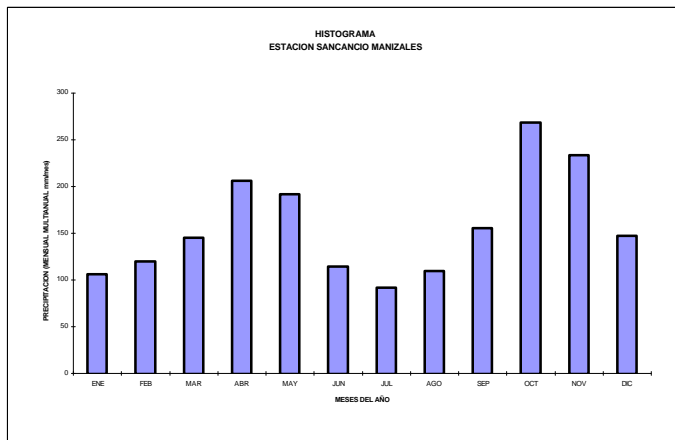
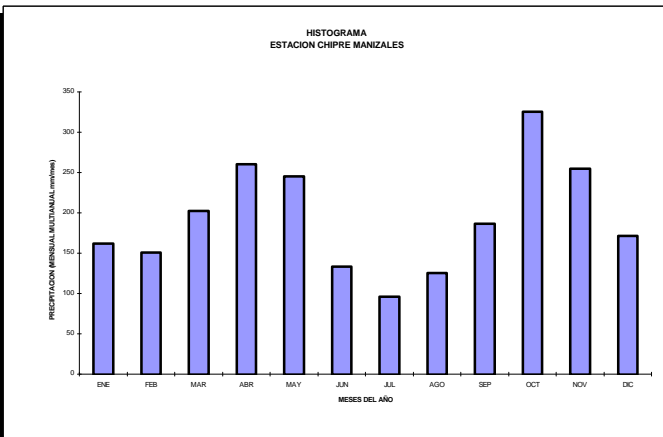
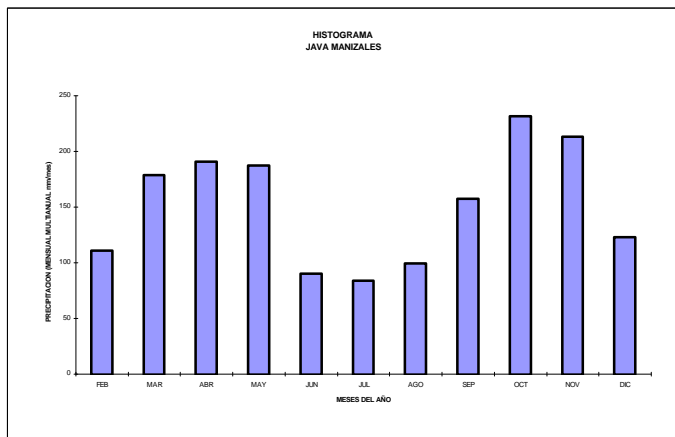
14. Campos A, Daniel Francisco. Aplicación del método del índice de crecientes en la región hidrológica numero 10, Sinaloa. Ingeniería Hidráulica en México, Septiembre-Diciembre de 1994. Vol 9, Num 3, 41-55.
15. Alvarez, M; Puertas, J; Soto, B; Diaz F, F. Análisis Regional de las precipitaciones máximas en Galicia mediante el método del índice de avenida. Ingeniería del Agua, Diciembre de 1999. Vol 6, Num 4, 283-290.
16. Poveda J, German; Mesa S, Oscar J; Carvajal, Luis F; Salazar, José E. Lluvias en Colombia: correlación con el clima del océano Pacífico y análisis de funciones ortogonales empíricas. XVI Congreso Latinoamericano De Hidráulica, Noviembre de 1994, 93-105.
17. Poveda J, German; Mesa S, Oscar J; Carvajal, Luis F; Salazar, José E. Efectos del fenómeno de “el niño-oscilación del sur” en la hidrológica Colombiana. XVI Congreso Latinoamericano De Hidráulica, Noviembre de 1994, 373-384.
18. Jaramillo R, Alvaro; Kogson Q, Fernando. Características de las lluvias máximas en la zona cafetera Colombiana. Cenicafe, 1994, 25-34.
19. Antigüedad A, Iñaki; García M, Jesús; Llamas Siendones, José. Modelo de análisis regional de lluvias aplicada al país Vasco. Ingeniería hidráulica en México, Enero-Abril 1993, 29-35.

**ANEXO HISTOGRAMAS POR  
LAS ZONAS DE REGIONALIZACION**

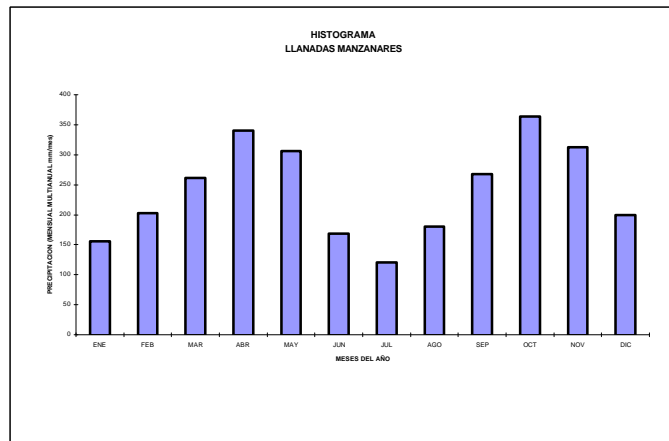
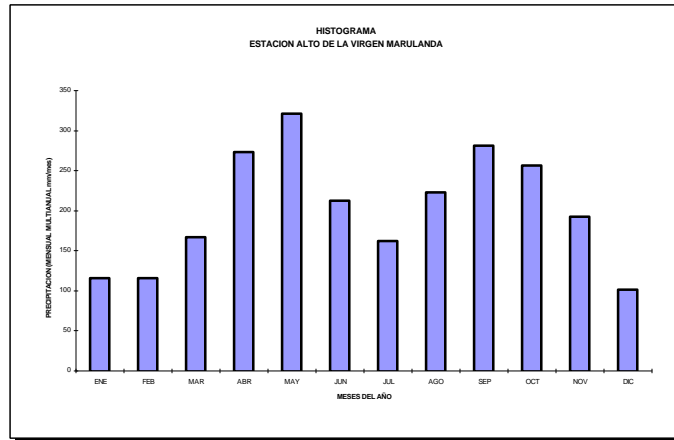
### HISTOGRAMAS ZONA No.1



HISTOGRAMAS  
 ZONA No.2

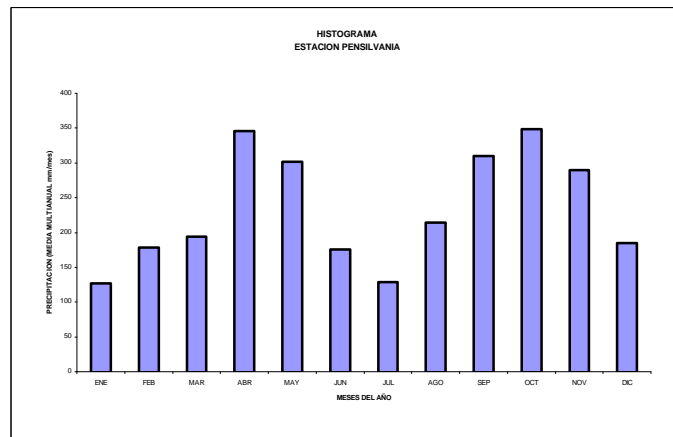
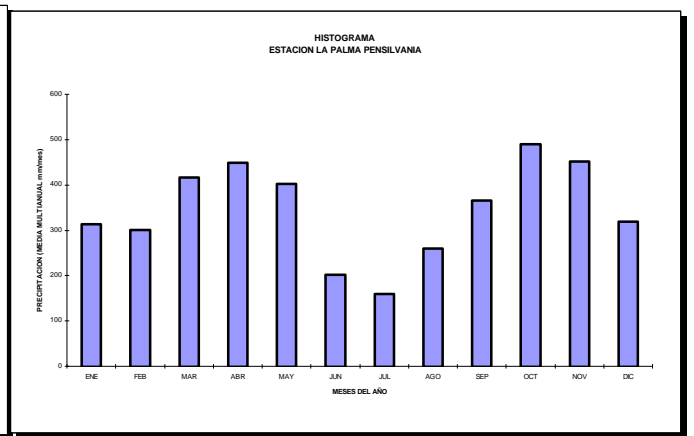
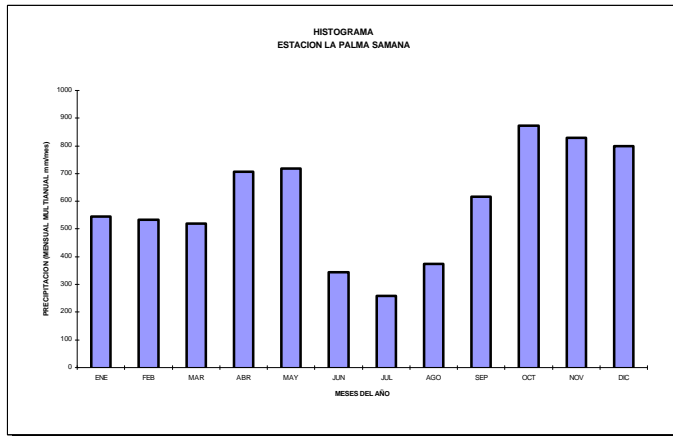
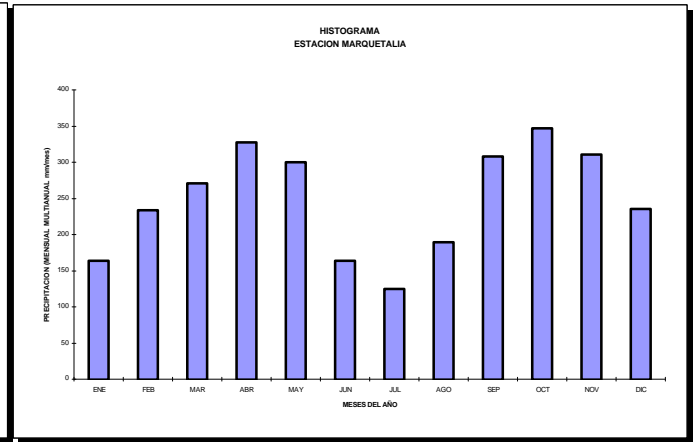
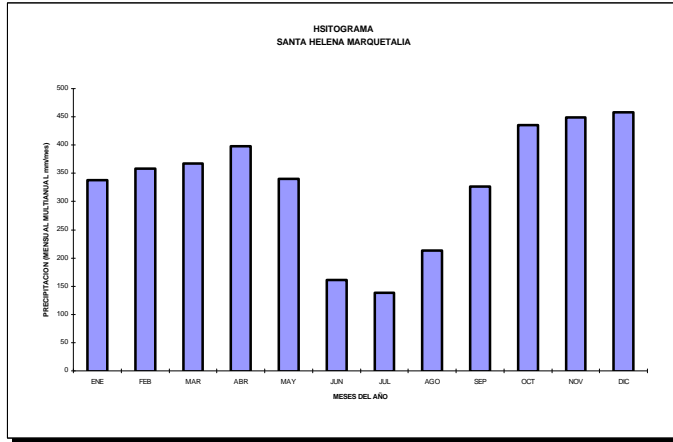


### HISTOGRAMAS ZONA No.3

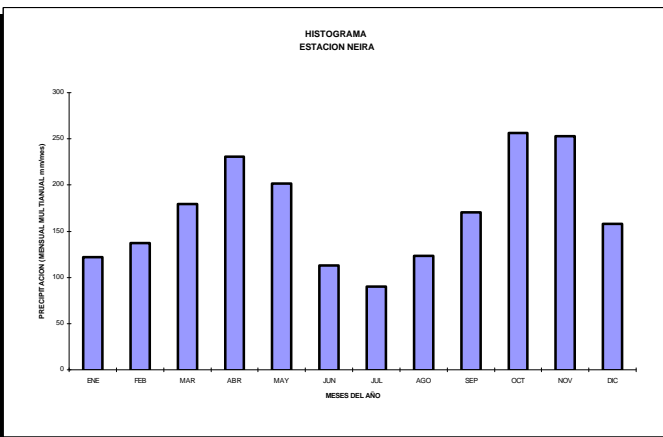
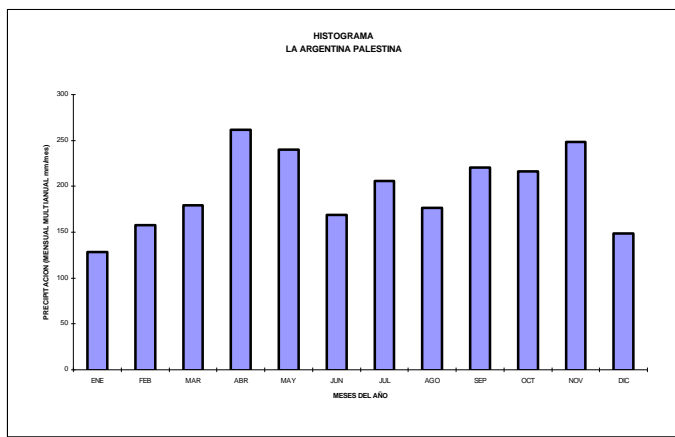
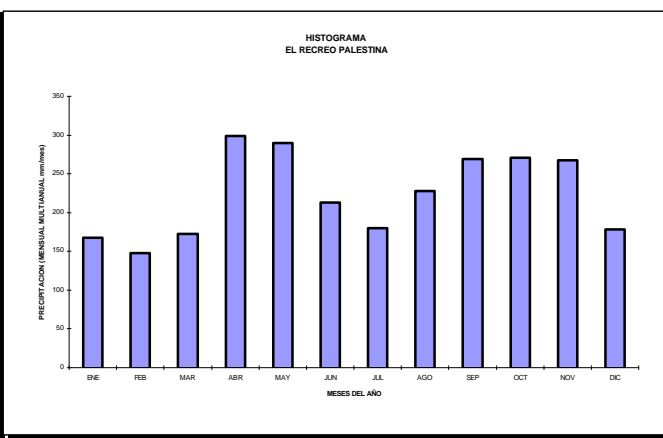
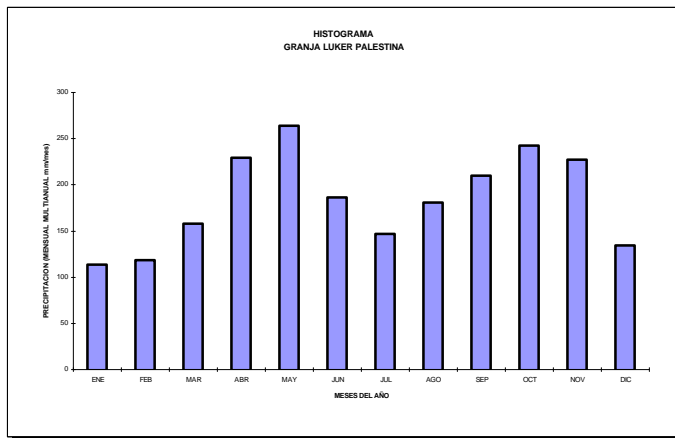
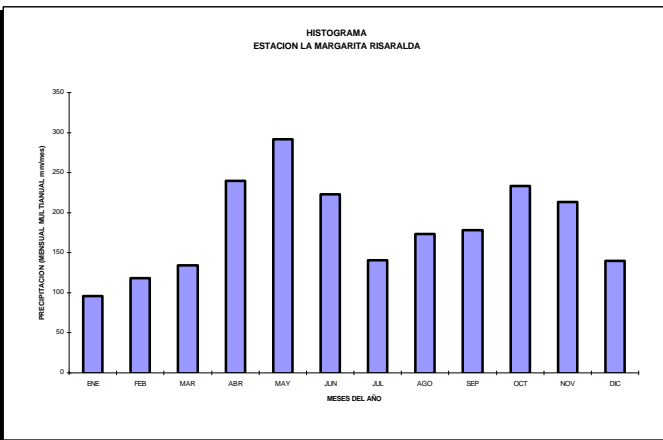
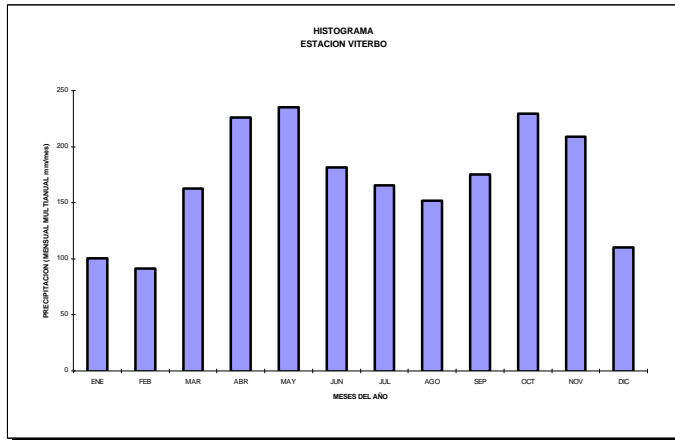


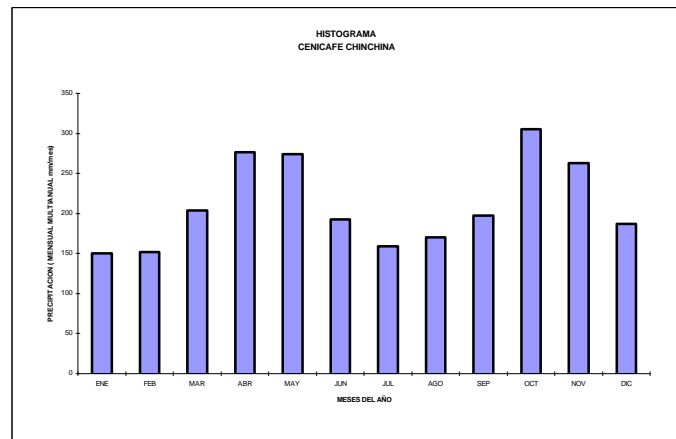
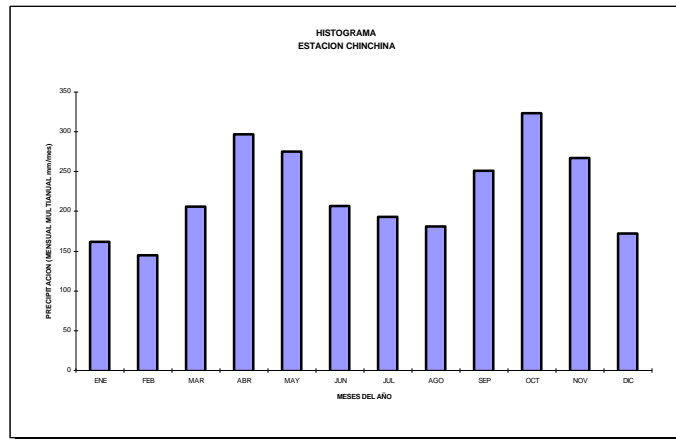


HISTOGRAMAS  
 ZONA No.4

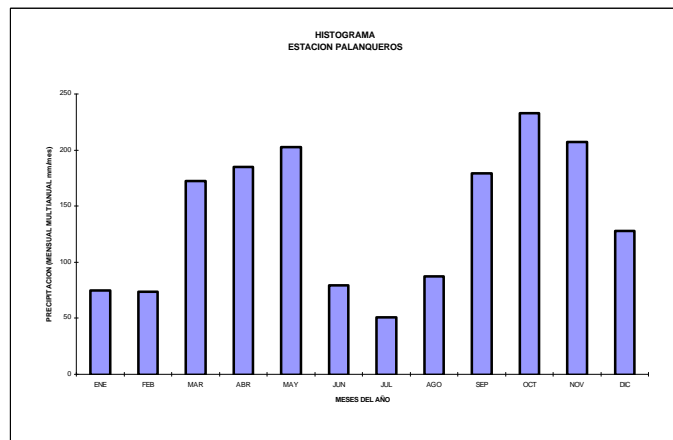
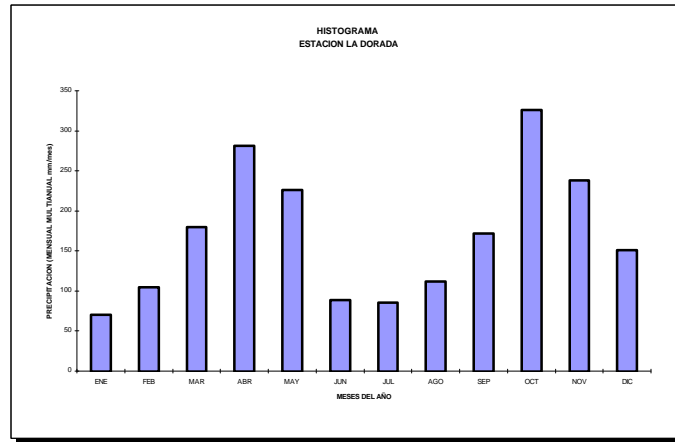


HISTOGRAMAS  
 ZONA No.5





### HISTOGRAMAS ZONA No.6



HISTOGRAMAS  
 ZONA No.7

