

---

## 1. INTRODUCCIÓN

Entre los estudios para el análisis del régimen de lluvias de un país, se encuentra el régimen de intensidades de lluvia. Entre las aplicaciones más sobresalientes de este tipo de análisis lo constituye el diseño hidráulico de diferentes obras hidráulicas para la evacuación segura de la escorrentía originada por eventos de lluvias, en áreas urbanas y rurales. Normalmente, este tipo de aplicaciones requiere de eventos de lluvias intensas asociados a una duración y a una frecuencia de ocurrencia. Las curvas de duración-intensidad-frecuencia (DIF), ofrecen dicha relación.

En Guatemala, este tipo de curvas se encuentran deducidas para un número reducido de estaciones, para diferentes épocas y en documentos dispersos. Por otro lado no se cuenta, a la fecha, con un panorama espacial de este tipo de curvas a nivel nacional.

En el presente informe se presenta un resumen de los resultados de los análisis realizados durante el desarrollo del ESTUDIO DE INTENSIDADES DE PRECIPITACIÓN EN GUATEMALA. En este estudio se deducen curvas DIF para 23 estaciones ubicadas en diferentes regiones del país. Se presenta, a la vez, un panorama espacial del régimen de lluvias intensas en el país, mediante mapas de isolíneas de lluvia intensa asociada a diferentes períodos de retorno.

La información básica utilizada para los análisis respectivos fue obtenida de las cartas pluviográficas respectivas proporcionadas por INSIVUMEH.

---

## 2. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

La metodología para la deducción de las curvas DIF consiste, básicamente, en el método estándar de cálculo recomendado por el INSIVUMEH, en el informe técnico No. 4-88<sup>1</sup>. La metodología se resume en los siguientes pasos:

1. selección de la tormenta. El número de tormentas seleccionadas varían entre 40 y 98, dependiendo de la disponibilidad de información, a lo largo de periodos de registro entre 8 y 15 años. Solamente en dos estaciones se contó con información arriba de 35 años;
2. discretización del tiempo para cada lectura. En este caso se usan intervalos de 5 minutos;
3. definición de la duración de la tormenta. A diferencia del método estándar mencionado, en cuanto a la definición del inicio y final de la tormenta, en este estudio se hicieron lecturas para toda la tormenta, sin importar la magnitud de la intensidad.
4. organización de los hietogramas obtenidos para cada tormenta. Se obtienen magnitudes de intensidad máxima de lluvia para diferentes duraciones;
5. asociación de intensidades de lluvia máxima con frecuencias de ocurrencia. Las magnitudes de intensidad de lluvia máxima se asocia a los periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 30, 50 y 100 años;
6. obtención de las curvas DIF. El tipo de modelo para representar matemáticamente las curvas tiene la forma de

$$i_{Tr} = \frac{A}{(B + t)^n} \quad (1)$$

7. donde  $i_{Tr}$  es la intensidad de lluvia [mm/hr], asociada a una frecuencia de ocurrencia, representada por el periodo de retorno ( $Tr$ ),  $t$  es la duración [min]  $A$ ,  $B$  y  $n$  son parámetros de ajuste. Estos parámetros se obtienen mediante regresión no lineal. Los periodos de retorno analizados son: 2, 5, 10, 20, 25, 30, 50 y 100 años;
8. Finalmente, la presentación de las curvas DIF se hace en forma gráfica y en forma tabular. Además, se presentan mapas de isolíneas para duraciones de 5, 20 y 60 min, asociadas a periodos de retorno de 2, 10 y 30 años.

---

<sup>1</sup> Método estándar de cálculo de curvas de duración-intensidad-frecuencia. INSIVUMEH, Informe Técnico No. 4-88. Octubre de 1988. 77pp.

---

### 3. INFORMACIÓN BÁSICA

El análisis se ha realizado para 23 estaciones ubicadas en diferentes cuencas del país. En el Cuadro 1 se muestran las características principales de dichas estaciones de dichas estaciones; Entre ellas los años disponibles de información y el número de tormentas utilizadas en los análisis respectivos.

### 4. CURVAS DURACIÓN-INTENSIDAD-FRECUENCIA (DIF)

En el presente trabajo se determinan curvas DIF asociadas a 8 períodos de retorno: 2, 5, 10, 20, 25, 30, 50 y 100 años. La forma matemática de todas es la Ec. 1. Los parámetros de ajuste (A, B y n) de las ecuaciones se obtienen mediante optimización no lineal.

El Cuadro 2 muestra los parámetros de ajuste obtenidos para las familias de curvas DIF para cada estación. Así mismo, la Fig. 1 muestra una ilustración de la forma de dichas curvas en escala aritmética.

### 5. MAPAS DE ISOLINEAS DE INTENSIDADES DE LLUVIA

Para visualizar la variabilidad espacial de las curvas DIF, así como para facilitar la interpolar espacial de dichas curvas, se obtuvieron isolíneas de los valores de intensidad de lluvia para las duraciones de 5, 20 y 60 min y períodos de retorno 2, 10 y 30 años (ver Mapas del 1 al 9).

Cuadro 1 Características de las estaciones meteorológicas usadas en el análisis. A = años de registro y T = No. de tormentas.

| No. | CODIGO   | NOMBRE           | CUENCA           | DEPTO.        | MUNICIPIO        | ELEV | LATITUD | LONGITUD | REGISTRO  | A  | T  |
|-----|----------|------------------|------------------|---------------|------------------|------|---------|----------|-----------|----|----|
| 1   | 01.01.08 | COBAN            | CAHABON          | Alta Verapaz  | Cobán            | 1329 | 152803  | 902423   | 1989-2002 | 9  | 67 |
| 2   | 02.06.04 | SAN JERONIMO     | SALINAS          | Baja Verapaz  | S.Jeronimo       | 1020 | 150340  | 901405   | 1989-2001 | 8  | 40 |
| 3   | 03.01.01 | ALAMEDA ICTA     | MOTAGUA          | Chimaltenango | Chimaltenango    | 1793 | 143936  | 904910   | 1995-2002 | 8  | 61 |
| 4   | 04.04.02 | ESQUIPULAS       | OLOPA            | Chiquimula    | Esquipulas       | 1000 | 143332  | 892031   | 1990-2001 | 10 | 63 |
| 5   | 05.01.14 | SABANA GRANDE    | ACHIGUATE        | Escuintla     | Escuintla        | 740  | 142203  | 904802   | 1990-2002 | 8  | 72 |
| 6   | 05.08.01 | PUERTO SAN JOSE  | MARIA LINDA      | Escuintla     | S.Jose           | 2    | 135504  | 904910   | 1973-2002 | 10 | 39 |
| 7   | 05.10.08 | CAMANTULUL       | COYOLATE         | Escuintla     | Sta.Lucia Cotz.  | 280  | 141928  | 910327   | 1973-2002 | 11 | 65 |
| 8   | 06.01.00 | INSIVUMEH        | MARIA LINDA      | Guatemala     | Guatemala        | 1502 | 143511  | 903158   | 1940-2002 | 44 | 98 |
| 9   | 07.01.03 | HUEHUETENANGO    | SELEGUA          | Huehuetenango | Huehuetenango    | 1902 | 151928  | 912805   | 1986-2002 | 13 | 58 |
| 10  | 08.01.04 | PUERTO BARRIOS   | MOTAGUA          | Izabal        | Puerto Barrios   | 15   | 154416  | 883530   | 1994-2002 | 8  | 68 |
| 11  | 09.01.02 | POTRERO CARRILLO | MOTAGUA          | Jalapa        | Jalapa           | 1800 | 144550  | 895600   | 1990-2002 | 13 | 75 |
| 12  | 09.03.03 | LA CEIBITA PHC   | OSTUA-GUIJA      | Jalapa        | Monjas           | 961  | 142907  | 895310   | 1990-2001 | 12 | 77 |
| 13  | 10.03.01 | ASUNCION MITA    | OSTUA-GUIJA      | Jutiapa       | Asuncion Mita    | 478  | 142000  | 894200   | 1990-2001 | 12 | 67 |
| 14  | 10.11.02 | MONTUFAR         | PAZ              | Jutiapa       | Moyuta           | 10   | 134819  | 900811   | 1989-2002 | 11 | 86 |
| 15  | 11.01.05 | FLORES           | S.PEDRO          | Petén         | Flores           | 115  | 165544  | 895329   | 1999-2002 | 4  | 45 |
| 16  | 11.11.02 | EL PORVENIR      | PASION           | Petén         | Sayaxche         | 125  | 163129  | 902822   | 1981-1989 | 8  | 98 |
| 17  | 12.03.01 | MORAZAN          | MOTAGUA          | Progreso      | Morazán          | 360  | 145574  | 900907   | 1990-2001 | 12 | 67 |
| 18  | 13.14.03 | LABOR OVALLE     | SAMALA           | Quezaltenango | Olintepeque      | 2400 | 145212  | 913109   | 1955-2002 | 35 | 98 |
| 19  | 15.01.01 | RETALHULEU       | OCOSITO          | Retalhuleu    | Retalhuleu       | 239  | 143207  | 914040   | 1984-2002 | 15 | 84 |
| 20  | 18.01.04 | LOS ESCLAVOS     | LOS ESCLAVOS     | Santa Rosa    | Cuilapa          | 737  | 141510  | 901642   | 1990-2002 | 13 | 90 |
| 21  | 19.19.04 | SANTIAGO ATITLAN | ATITLAN          | Sololá        | Santiago Atitlán | 1592 | 143756  | 911353   | 1993-2002 | 9  | 64 |
| 22  | 22.03.02 | LA FRAGUA        | GRANDE DE ZACAPA | Zacapa        | Estanzuela       | 210  | 145751  | 893504   | 1990-2002 | 10 | 62 |
| 23  | 22.06.02 | LA UNION         | MOTAGUA          | Zacapa        | La Unión         | 1100 | 145800  | 891739   | 1991-2001 | 11 | 94 |

Cuadro 2 Parámetros **A**, **B** y **n** de las ecuaciones de la forma de la Ec. 1 obtenidas en los análisis.  
Tr=período de retorno (años). R2=coeficiente de determinación (-).

| Tr                     | 2       | 5       | 10      | 20      | 25      | 30      | 50      | 100     |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| <b>COBÁN</b>           |         |         |         |         |         |         |         |         |
| <b>A</b>               | 1,302   | 2,770   | 46,840  | 39,560  | 39,060  | 38,020  | 36,470  | 35,420  |
| <b>B</b>               | 12      | 16      | 45      | 45      | 45      | 45      | 45      | 45      |
| <b>n</b>               | 0.868   | 0.968   | 1.43    | 1.385   | 1.381   | 1.374   | 1.362   | 1.353   |
| <b>R2</b>              | 0.997   | 0.989   | 0.996   | 0.995   | 0.995   | 0.995   | 0.995   | 0.995   |
| <b>SAN JERÓNIMO</b>    |         |         |         |         |         |         |         |         |
| <b>A</b>               | 2,040   | 930     | 1,510   | 1,285   | 1,273   | 1,265   | 1,250   | 1,243   |
| <b>B</b>               | 20      | 6       | 8       | 7       | 7       | 7       | 7       | 7       |
| <b>n</b>               | 0.9     | 0.717   | 0.79    | 0.747   | 0.742   | 0.739   | 0.733   | 0.729   |
| <b>R2</b>              | 0.992   | 0.996   | 0.991   | 0.991   | 0.991   | 0.99    | 0.99    | 0.99    |
| <b>ALAMEDA ICTA</b>    |         |         |         |         |         |         |         |         |
| <b>A</b>               | 21,810  | 105,300 | 639,800 | 319,800 | 311,660 | 302,850 | 290,500 | 283,480 |
| <b>B</b>               | 35      | 45      | 70      | 65      | 65      | 65      | 65      | 65      |
| <b>n</b>               | 1.451   | 1.701   | 1.954   | 1.819   | 1.812   | 1.805   | 1.794   | 1.787   |
| <b>R2</b>              | 0.995   | 0.983   | 0.987   | 0.985   | 0.985   | 0.985   | 0.984   | 0.984   |
| <b>ESQUIPULAS</b>      |         |         |         |         |         |         |         |         |
| <b>A</b>               | 3,300   | 2,060   | 1,280   | 1,230   | 1,225   | 1,222   | 1,213   | 1,205   |
| <b>B</b>               | 20      | 11      | 6       | 6       | 6       | 6       | 6       | 6       |
| <b>n</b>               | 0.962   | 0.836   | 0.721   | 0.7     | 0.696   | 0.694   | 0.69    | 0.686   |
| <b>R2</b>              | 0.999   | 0.998   | 0.996   | 0.996   | 0.996   | 0.996   | 0.996   | 0.996   |
| <b>SABANA GRANDE</b>   |         |         |         |         |         |         |         |         |
| <b>A</b>               | 4,485   | 6,145   | 33,770  | 31,550  | 31,330  | 31,110  | 30,760  | 30,070  |
| <b>B</b>               | 25      | 30      | 40      | 40      | 40      | 40      | 40      | 40      |
| <b>n</b>               | 0.973   | 0.986   | 1.292   | 1.273   | 1.271   | 1.268   | 1.264   | 1.257   |
| <b>R2</b>              | 0.992   | 0.993   | 0.989   | 0.989   | 0.989   | 0.989   | 0.989   | 0.989   |
| <b>PUERTO SAN JOSÉ</b> |         |         |         |         |         |         |         |         |
| <b>A</b>               | 3,033   | 10,863  | 403,800 | 145,300 | 139,600 | 136,555 | 127,530 | 125,200 |
| <b>B</b>               | 35      | 60      | 140     | 140     | 140     | 140     | 140     | 140     |
| <b>n</b>               | 0.87    | 1.05    | 1.595   | 1.383   | 1.374   | 1.369   | 1.354   | 1.349   |
| <b>R2</b>              | 0.994   | 0.976   | 0.964   | 0.93    | 0.929   | 0.928   | 0.927   | 0.927   |
| <b>CAMANTULUL</b>      |         |         |         |         |         |         |         |         |
| <b>A</b>               | 226,260 | 42,560  | 27,420  | 15,540  | 10,590  | 10,580  | 10,300  | 10,110  |
| <b>B</b>               | 80      | 70      | 65      | 40      | 35      | 35      | 35      | 35      |
| <b>n</b>               | 1.654   | 1.284   | 1.187   | 1.1     | 1.029   | 1.028   | 1.02    | 1.014   |
| <b>R2</b>              | 0.96    | 0.984   | 0.966   | 0.987   | 0.987   | 0.987   | 0.987   | 0.987   |
| <b>INSIVUMEH</b>       |         |         |         |         |         |         |         |         |
| <b>A</b>               | 1,970   | 7,997   | 1,345   | 720     | 820     | 815     | 900     | 890     |
| <b>B</b>               | 15      | 30      | 9       | 2       | 2       | 2       | 2       | 2       |
| <b>n</b>               | 0.958   | 1.161   | 0.791   | 0.637   | 0.656   | 0.65    | 0.66    | 0.649   |
| <b>R2</b>              | 0.989   | 0.991   | 0.982   | 0.981   | 0.973   | 0.973   | 0.981   | 0.981   |

Continuación Cuadro 2.

| Tr                      | 2      | 5         | 10        | 20        | 25        | 30        | 50        | 100       |
|-------------------------|--------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>HUEHUETENANGO</b>    |        |           |           |           |           |           |           |           |
| <b>A</b>                | 1,215  | 4,935     | 15,870    | 5,464     | 5,410     | 5,395     | 5,320     | 5,270     |
| <b>B</b>                | 11     | 25        | 35        | 17        | 17        | 17        | 17        | 17        |
| <b>n</b>                | 0.874  | 1.09      | 1.292     | 1.102     | 1.097     | 1.095     | 1.089     | 1.084     |
| <b>R2</b>               | 0.997  | 0.993     | 0.981     | 0.989     | 0.989     | 0.989     | 0.989     | 0.989     |
| <b>PUERTO BARRIOS</b>   |        |           |           |           |           |           |           |           |
| <b>A</b>                | 2,405  | 4,850     | 13,630    | 11,910    | 11,680    | 11,580    | 11,380    | 11,240    |
| <b>B</b>                | 10     | 18        | 31        | 30        | 30        | 30        | 30        | 30        |
| <b>n</b>                | 0.855  | 0.933     | 1.1       | 1.069     | 1.063     | 1.06      | 1.055     | 1.05      |
| <b>R2</b>               | 0.994  | 0.992     | 0.989     | 0.989     | 0.989     | 0.989     | 0.989     | 0.989     |
| <b>POTRERO CARRILLO</b> |        |           |           |           |           |           |           |           |
| <b>A</b>                | 58,600 | 63,000    | 12,760    | 1,166     | 1,010     | 1,005     | 995       | 985       |
| <b>B</b>                | 40     | 40        | 25        | 5         | 4         | 4         | 4         | 4         |
| <b>n</b>                | 1.609  | 1.586     | 1.27      | 0.759     | 0.723     | 0.72      | 0.715     | 0.707     |
| <b>R2</b>               | 0.993  | 0.996     | 0.995     | 0.981     | 0.981     | 0.981     | 0.981     | 0.981     |
| <b>LA CEIBITA</b>       |        |           |           |           |           |           |           |           |
| <b>A</b>                | 1,360  | 2,080     | 1,509     | 1,835     | 1,825     | 1,815     | 1,805     | 1,795     |
| <b>B</b>                | 15     | 19        | 11        | 11        | 11        | 11        | 11        | 11        |
| <b>n</b>                | 0.845  | 0.879     | 0.813     | 0.836     | 0.833     | 0.83      | 0.827     | 0.822     |
| <b>R2</b>               | 0.998  | 0.996     | 0.992     | 0.976     | 0.975     | 0.975     | 0.974     | 0.974     |
| <b>ASUNCIÓN MITA</b>    |        |           |           |           |           |           |           |           |
| <b>A</b>                | 14,400 | 11,600    | 10,000    | 15,100    | 14,900    | 14,500    | 14,100    | 13,800    |
| <b>B</b>                | 40     | 40        | 40        | 50        | 50        | 50        | 50        | 50        |
| <b>n</b>                | 1.252  | 1.161     | 1.115     | 1.158     | 1.154     | 1.147     | 1.139     | 1.132     |
| <b>R2</b>               | 0.999  | 0.998     | 0.997     | 0.996     | 0.995     | 0.995     | 0.995     | 0.995     |
| <b>MONTUFAR</b>         |        |           |           |           |           |           |           |           |
| <b>A</b>                | 41,490 | 10,490    | 12,660    | 8,700     | 7,744     | 7,640     | 7,460     | 7,360     |
| <b>B</b>                | 45     | 28        | 32        | 23        | 22        | 22        | 22        | 22        |
| <b>n</b>                | 1.454  | 1.159     | 1.165     | 1.069     | 1.044     | 1.04      | 1.032     | 1.026     |
| <b>R2</b>               | 0.995  | 0.994     | 0.99      | 0.969     | 0.969     | 0.969     | 0.969     | 0.969     |
| <b>FLORES</b>           |        |           |           |           |           |           |           |           |
| <b>A</b>                | 4,073  | 2,570,000 | 2,320,000 | 2,170,000 | 2,160,000 | 2,160,000 | 2,130,000 | 2,130,000 |
| <b>B</b>                | 15     | 70        | 70        | 70        | 70        | 70        | 70        | 70        |
| <b>n</b>                | 1.053  | 2.156     | 2.124     | 2.107     | 2.105     | 2.104     | 2.101     | 2.1       |
| <b>R2</b>               | 0.997  | 0.992     | 0.993     | 0.993     | 0.993     | 0.993     | 0.993     | 0.993     |
| <b>EL PORVENIR</b>      |        |           |           |           |           |           |           |           |
| <b>A</b>                | 8,045  | 4,890     | 1,500     | 1,093     | 1,083     | 1,075     | 1,065     | 1,060     |
| <b>B</b>                | 25     | 20        | 8         | 5         | 5         | 5         | 5         | 5         |
| <b>n</b>                | 1.132  | 0.997     | 0.742     | 0.673     | 0.668     | 0.664     | 0.659     | 0.655     |
| <b>R2</b>               | 0.994  | 0.996     | 0.991     | 0.99      | 0.99      | 0.99      | 0.989     | 0.989     |

Continuación Cuadro 2.

| Tr                      | 2       | 5      | 10     | 20      | 25      | 30      | 50      | 100     |
|-------------------------|---------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|
| <b>MORAZÁN</b>          |         |        |        |         |         |         |         |         |
| A                       | 12,935  | 15,075 | 19,570 | 59,430  | 57,400  | 55,670  | 54,070  | 53,020  |
| B                       | 27      | 30     | 36     | 50      | 50      | 50      | 50      | 50      |
| n                       | 1.326   | 1.287  | 1.296  | 1.462   | 1.452   | 1.444   | 1.436   | 1.429   |
| R2                      | 0.998   | 0.994  | 0.989  | 0.986   | 0.985   | 0.985   | 0.985   | 0.985   |
| <b>LABOR OVALLE</b>     |         |        |        |         |         |         |         |         |
| A                       | 550     | 6,810  | 12,930 | 26,890  | 24,690  | 23,370  | 15,860  | 13,320  |
| B                       | 5       | 20     | 25     | 30      | 30      | 30      | 30      | 30      |
| n                       | 0.813   | 1.262  | 1.357  | 1.458   | 1.43    | 1.412   | 1.294   | 1.244   |
| R2                      | 0.958   | 0.993  | 0.994  | 0.994   | 0.992   | 0.99    | 0.98    | 0.978   |
| <b>RETALHULEU</b>       |         |        |        |         |         |         |         |         |
| A                       | 5,843   | 1,991  | 1,150  | 1,321   | 1,315   | 1,221   | 1,215   | 1,217   |
| B                       | 25      | 14     | 11     | 13      | 13      | 12      | 12      | 12      |
| n                       | 1.037   | 0.769  | 0.616  | 0.633   | 0.63    | 0.613   | 0.61    | 0.609   |
| R2                      | 0.998   | 0.988  | 0.976  | 0.975   | 0.975   | 0.974   | 0.974   | 0.974   |
| <b>LOS ESCLAVOS</b>     |         |        |        |         |         |         |         |         |
| A                       | 6,986   | 2,855  | 1,620  | 1,532   | 1,365   | 1,350   | 1,327   | 1,311   |
| B                       | 30      | 20     | 12     | 12      | 11      | 11      | 11      | 11      |
| n                       | 1.168   | 0.94   | 0.812  | 0.786   | 0.76    | 0.755   | 0.747   | 0.741   |
| R2                      | 0.992   | 0.993  | 0.998  | 0.998   | 0.998   | 0.998   | 0.998   | 0.998   |
| <b>SANTIAGO ATITLÁN</b> |         |        |        |         |         |         |         |         |
| A                       | 1,280   | 1,001  | 1,190  | 1,160   | 1,020   | 1,015   | 1,010   | 1,008   |
| B                       | 13      | 12     | 5      | 5       | 4       | 4       | 4       | 4       |
| n                       | 0.812   | 0.705  | 0.72   | 0.705   | 0.677   | 0.674   | 0.671   | 0.668   |
| R2                      | 0.993   | 0.986  | 0.991  | 0.988   | 0.987   | 0.987   | 0.986   | 0.986   |
| <b>LA FRAGUA</b>        |         |        |        |         |         |         |         |         |
| A                       | 2,360   | 3,980  | 3,480  | 844     | 840     | 836     | 831     | 827     |
| B                       | 19      | 22     | 18     | 7       | 7       | 7       | 7       | 7       |
| n                       | 0.99    | 1.025  | 0.983  | 0.642   | 0.639   | 0.637   | 0.632   | 0.628   |
| R2                      | 0.994   | 0.994  | 0.994  | 0.927   | 0.926   | 0.925   | 0.923   | 0.922   |
| <b>LA UNIÓN</b>         |         |        |        |         |         |         |         |         |
| A                       | 142,510 | 87,170 | 5,460  | 329,840 | 311,260 | 309,080 | 290,140 | 279,590 |
| B                       | 50      | 50     | 20     | 70      | 70      | 70      | 70      | 70      |
| n                       | 1.679   | 1.523  | 0.986  | 1.682   | 1.668   | 1.666   | 1.651   | 1.642   |
| R2                      | 0.995   | 0.988  | 0.993  | 0.993   | 0.992   | 0.992   | 0.992   | 0.992   |

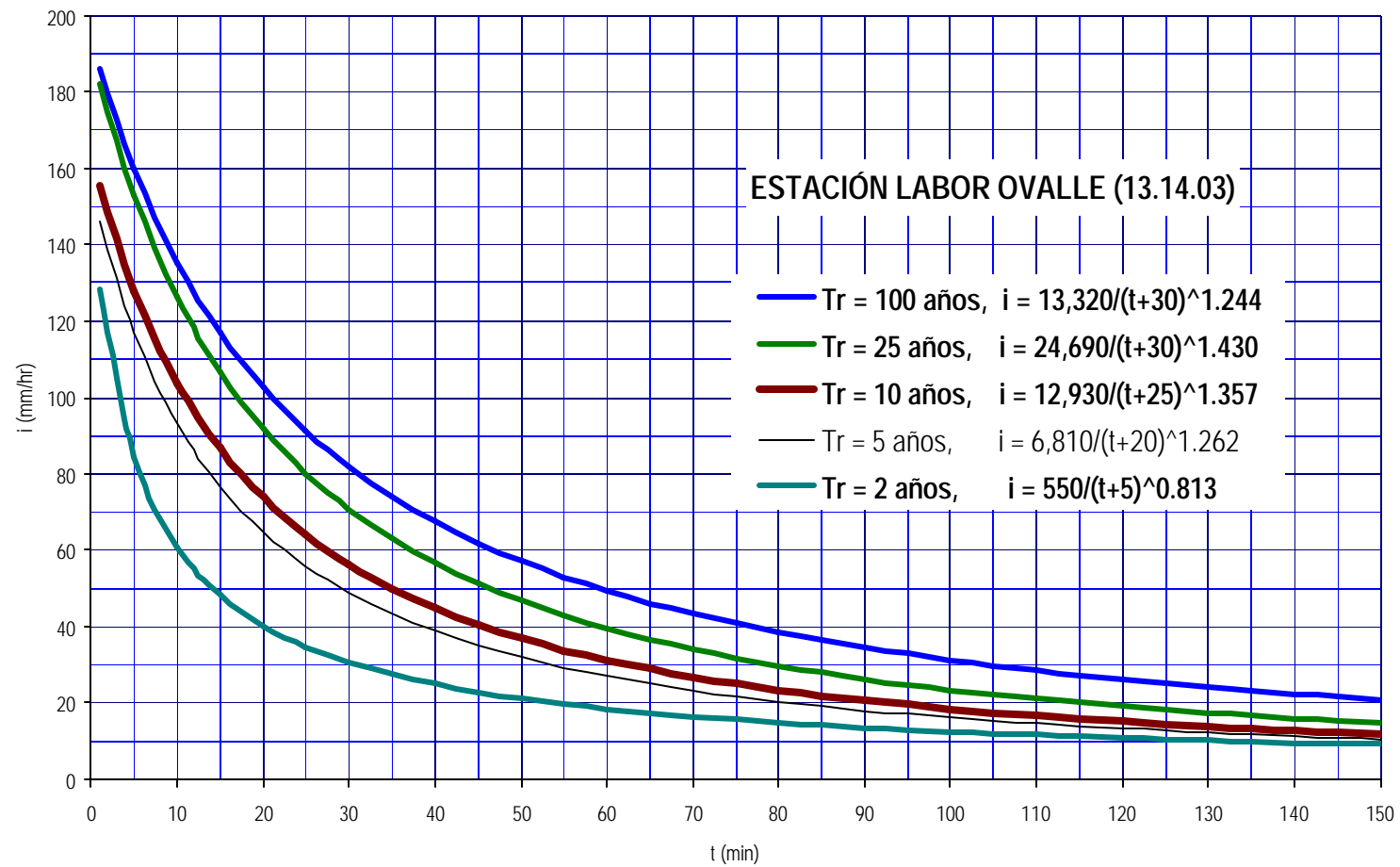


Fig. 1 Familia de curvas duración-intensidad-frecuencia para la estación Labor Ovalle.



---

## 6. COMENTARIOS FINALES

En el presente informe se presentan curvas de duración-intensidad-frecuencia para 23 estaciones en la República de Guatemala. Estas curvas están definidas por tres parámetros de ajuste obtenidos mediante optimización no lineal. Los datos de base se han obtenido estadísticamente en base a la discretización de diferente número de tormentas y con diferente período de registro.

Los períodos de registro son, relativamente cortos, entre 8 y 15 años, con excepción de las estaciones de INSIVUMEH Y LABOR OVALLE, cuyos registros son de 44 y 35 años, respectivamente. Para las estaciones con registros menores a 15 años, es conveniente usar con precaución las curvas DIF para períodos de retorno altos, como 50 y 100 años.

Los mapas de isolíneas de igual intensidad de lluvia se basan en datos calculados con la Ec. 1, usando los respectivos parámetros del Cuadro 2, para cada una de las 23 estaciones. Como puede observarse, dichas estaciones no están distribuidas uniformemente en el país. En regiones donde existe poca información para la definición de las isolíneas, se ha usado el criterio de seguir el comportamiento de las isoyetas medias anuales, publicadas por el Ministerio de Agricultura en el año 2000. Se hace notar que para la región Norte de Huehuetenango y El Quiché, así como para la planicie del El Petén, la información de los mapas debe tomarse con precaución, debido a la evidente falta de resolución de las estaciones base.

Los mapas de isolíneas pueden usarse para la interpolación espacial, la cual puede ser lineal o basarse en la experiencia del usuario. En cuanto a la interpolación de magnitudes de intensidad de lluvia con períodos de retorno diferentes a los representados en los mapas, se recomienda hacer una interpolación logarítmica.

---

## 7. EJEMPLO DE APLICACIÓN

A continuación se ilustra el uso de los mapas de isolíneas mediante un ejemplo de aplicación.

Una aplicación clásica de los valores de intensidad de lluvia es la estimación de caudales (Q) de diseño, asociados de determinados períodos de retorno, para cuencas tributarias pequeñas, usando el método racional (Ec. 2)

$$Q = \frac{CiA}{3.6} \quad (2)$$

Donde, Q = Caudal pico [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]  
C = Coeficiente de escorrentía [ - ]  
i = intensidad de precipitación [ $\text{mm}/\text{hr}$ ], con una duración igual a  $t_c$   
A = Area de la cuenca tributaria [ $\text{km}^2$ ]  
 $t_c$  = Tiempo de concentración de la cuenca [min]

El tiempo de concentración del área tributaria puede estimarse mediante fórmulas que se basan en parámetros morfométricos de las cuencas o en base a aspectos hidráulicos de las corrientes. Uno de las fórmulas utilizadas en nuestro medio es la de KIRPICH (Ec. 3), que usa el desnivel y longitud del cauce

$$t_c = \frac{3L^{1.15}}{154H^{0.38}} \quad (3)$$

donde L [m] es la longitud del cauce desde la cabecera de la cuenca tributaria y H [m] es el desnivel de dicho cauce.

El coeficiente de escorrentía, C, se estima en base a las características hidrogeológicas de las cuencas. En la literatura especializada de hidrología se publican tablas con valores de C en función, generalmente, de tres aspectos que se consideran determinantes en la generación de escorrentía como consecuencia de tormentas de lluvias: La cobertura, el tipo de suelo y las pendientes del terreno. El Cuadro 3 muestra, a manera de ilustración uno de dichas tablas.

Cuadro 3 Valores indicativos del coeficiente de escorrentía. Fuente: National Engineering Handbook, Sec. 4: Hydrology, USDA, 1972.

| Uso del suelo   | Pendiente del terreno | Capacidad de infiltración del suelo |                           |                             |
|-----------------|-----------------------|-------------------------------------|---------------------------|-----------------------------|
|                 |                       | Alto<br>(suelos arenosos)           | Medio<br>(suelos francos) | Bajo<br>(suelos arcillosos) |
| Tierra agrícola | < 5 %                 | 0.30                                | 0.50                      | 0.60                        |
|                 | 5 – 10 %              | 0.40                                | 0.60                      | 0.70                        |
|                 | 10 – 30 %             | 0.50                                | 0.70                      | 0.80                        |
| Potreros        | < 5 %                 | 0.10                                | 0.30                      | 0.40                        |
|                 | 5 – 10 %              | 0.15                                | 0.35                      | 0.55                        |
|                 | 10 – 30 %             | 0.20                                | 0.40                      | 0.60                        |
| Bosques         | < 5 %                 | 0.10                                | 0.30                      | 0.40                        |
|                 | 5 – 10 %              | 0.25                                | 0.35                      | 0.50                        |
|                 | 10 – 30 %             | 0.30                                | 0.50                      | 0.60                        |

Una vez conocido el tiempo de concentración, este valor se usa para estimar la intensidad de lluvia para el período de retorno deseado. Conociendo los parámetros de las ecuaciones respectivas, para el sitio de interés, simplemente se ingresa en la ecuación el valor de  $t_c$  como  $t$  (en la Ec. 1), Sin embargo, para sitios donde no se cuenta con dichos parámetros, los valores de intensidad de lluvia pueden estimarse a partir de los mapas de isolíneas.

A manera de ejemplo, considerar que se desea estimar la magnitud de la intensidad de lluvia para un período de retorno de 20 años. Asumir además que, la longitud del cauce más largo,  $L$ , de la cuenca de Interés es de 495 m y su desnivel es de 10.5 m. El sitio de interés se ubica en las coordenadas geográficas 90°00' N y 14°30' O (ver mapas). Aplicando la Ec. 3 se estima que  $t_c$  de la cuenca es 10 min.

En primer lugar se estiman, a partir de los mapas mencionados un cuadro de valores de intensidades, para el sitio de Interés (tres primeras filas del Cuadro 4). En seguida puede graficarse en escala semilogarítmica dichos valores, donde el eje de las abscisas es la duración y las ordenadas las intensidades (ver Fig. 2). De dicha gráfica se pueden obtener, por interpolación, los valores correspondientes a una duración de 10 min ( $t_c$  del ejemplo) (ver fila cuatro del Cuadro 4). Dichos valores pueden ahora graficarse en escala semilogarítmica, donde el eje de las abscisas es el período de retorno y las ordenadas la intensidad (ver Fig. 3). Luego,

por interpolación se obtiene el valor correspondiente (de  $t = 10$  min) para un período de retorno de 20 años. En este caso, el valor resulta ser 132 mm.

Cuadro 4 Valores de intensidades de lluvia para el sitio del ejemplo.

|  | Tr = 2 años | Tr = 10 años | Tr = 30 años |
|--|-------------|--------------|--------------|
| Valores estimados a partir de los mapas de isolíneas |             |              |              |
| t = 5 min  | 108         | 162          | 170          |
| t = 20 min   | 68          | 89           | 98           |
| t = 60 min   | 34          | 45           | 54           |
| Valores interpolados para el $t_c$ requerido         |             |              |              |
| t = 10 min   | 84          | 122          | 137          |
| Valor interpolado para Tr = 20 años es 132 mm        |             |              |              |

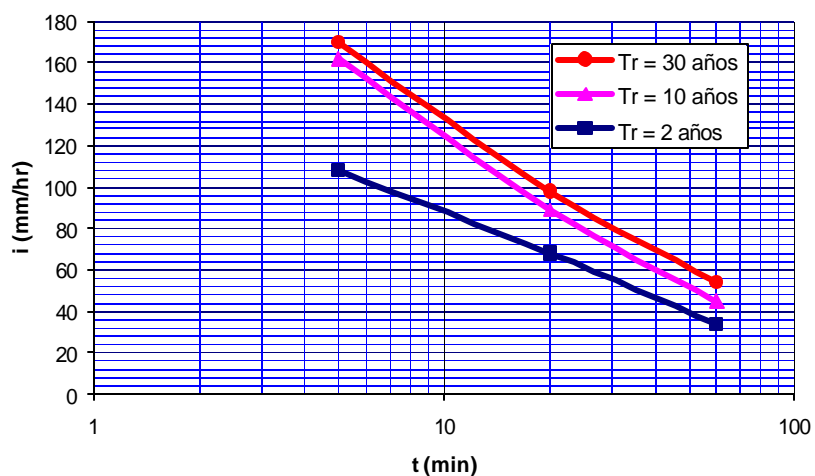


Fig. 2 Variación de la intensidad de lluvia con la duración en el sitio de interés.

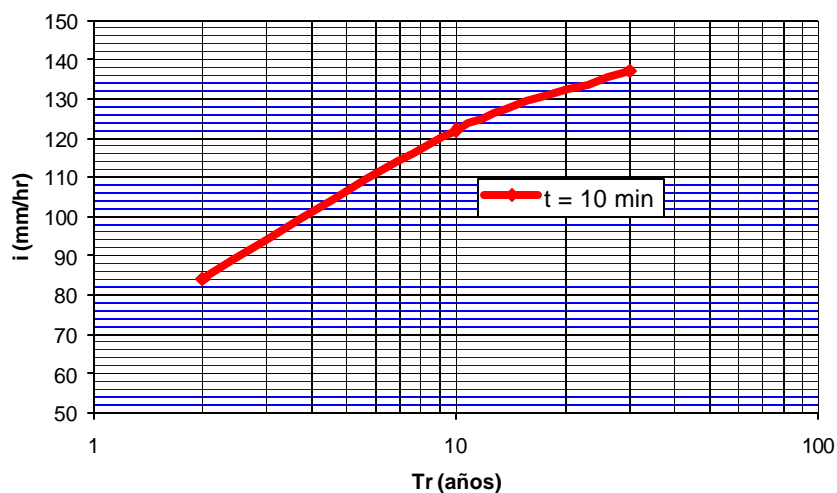


Fig. 3 Variación de la intensidad de lluvia con duración de 10 min, con el período de retorno en el sitio de interés.