

## LAS PRECIPITACIONES EXTREMAS EN LA CD. DE MÉXICO

Ernesto JÁUREGUI OSTOS

*Centro de Ciencias de la Atmósfera. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)*

### RESUMEN

En este trabajo se examina la posible influencia que tiene la Ciudad de México sobre las precipitaciones máximas diarias, así como la frecuencia espacio-temporal de los eventos extremos de lluvia mayores de 20 mm/día.

Utilizando series de lluvias máximas de 24 horas para un punto de observación (Tacubaya) para el periodo 1917-52 anterior al crecimiento/industrialización de la ciudad y otro reciente 1961-96, se encuentra que ha habido un incremento (de 20%) en la frecuencia de las lluvias máximas (>30 mm/día). Dicho aumento es estadísticamente significativo (al 0.1%).

Se hace una caracterización de la frecuencia y duración de los eventos de lluvia >20mm/d con especial énfasis en aquellos >45mm/d para el periodo 1994-98 y para los meses centrales de la estación de lluvias. Los episodios extremos de precipitación >45mm/s tienen una frecuencia de 5 a 7 casos/mes. Un análisis espacial de dichos eventos de tormentas individuales extremas revela dos tipos de distribución de isoyetas: uno en el que domina el efecto orográfico afectando los suburbios del sur y poniente de la ciudad. El otro donde el máximo de lluvia extrema ocurre en el centro del área urbana, que parece ser inducido por la misma ciudad (la isla de lluvia).

**Palabras clave:** isla de lluvia, climatología urbana, hidrología urbana, eventos extremos de precipitación.

### ABSTRACT

*In Mexico City rainstorms are often intense. During the last decades of the XX century the city has grown in an uncontrolled manner as is the case of many large cities in developing countries. Only recently planning to mitigate storm runoff has been initiated. This paper examines the possible influence of the capital city on extreme precipitation events > 20 mm/d. Using long-term series of maximum precipitation (>30 mm/d) for two periods: 1917-52 and 1961-97, and increase of 20% in the frequency of these storms has been found for the recent period corresponding to the accelerated growth of the capital city. Such increase is significant to 1%. Using rainfall data from a network of some 52 automatic stations operated by the Hydrological Office of the Federal District, frequency and duration of extreme rainfall is characterized for period 1994-98 for the central months of the rainy season. Extreme rainfall events >45mm/d occur 5 to 7 days/month. Mapping*

*single storm of extreme rainfall events shows two types of isoyetal distribution: one in which the orographic effect prevails affecting the suburbs to the south and west with flooding of streets, land slides, power cuts, traffic jams, etc. The other less frequent isoyetal maximum causing similar impact to the population occurs on the plains at the center of town. It is suggested that this maximum might be linked to possible thermal and frictional forcing provided by the city.*

*Key words: rain island, urban hydrology, extreme rainfall events, urban climatology.*

## 1. INTRODUCCIÓN

Los episodios de lluvia intensa causantes de anegamientos e inundaciones en áreas urbanas tienen graves efectos en la vida cotidiana por los daños materiales y hasta pérdidas humanas que ocasionan. La capital de México está asentada en su porción oriente sobre un antiguo lecho lacustre constituido por sedimentos de arcillas casi impermeables que limitan la infiltración al subsuelo. Al poniente cruzan la ciudad cursos de arroyos y ríos pequeños cuyo caudal es regulado por presas localizadas en el piemonte y que se encuentran ahora entubados en su cruce posterior por la ciudad.

En episodios de aguaceros intensos los vasos reguladores resultan insuficientes, produciéndose así las inundaciones, tanto por desbordamiento de represas en el poniente como por insuficiente drenaje en el oriente de la capital.

Otros ejemplos de áreas urbanas asentadas en la planicie (de un valle o una costa) que con el tiempo se extienden hacia las laderas de las montañas vecinas donde las precipitaciones extremas han ocasionado desastres por inundación o deslaves son: Río de Janeiro, Acapulco, Barcelona (DUNNE, 1986).

Las lluvias en la ciudad de México son de tipo monzón (de mayo a octubre) correspondiendo a un clima tropical de montaña. Estas precipitaciones son muy regulares en el tiempo y de corta duración, ocurriendo generalmente por la tarde después de una mañana soleada. En ocasiones se prolongan hasta entrada la noche, produciendo derrumbe de bardas, anegamiento de calles, deslaves de suelo en asentamientos irregulares ubicados en laderas del sur y poniente. Las descargas eléctricas nube/suelo dan lugar a cortes de corriente que apagan semáforos con el consecuente caos vial característico de esta época del año en la ciudad. La posible influencia que tiene la ciudad en la distribución de las precipitaciones de nubes convectivas y el fenómeno de la "isla de lluvia" han sido examinados por el presente autor en JÁUREGUI (1974), y JÁUREGUI y ROMALES (1996).

## 2. LOS DATOS

Se utilizan datos de la red pluviométrica (52 estaciones) para el periodo 1994-98 que mantiene la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) del Gobierno del Distrito Federal de la Ciudad de México. Se usan además las series de precipitación de algunas estaciones urbanas (4) de la red del Servicio Meteorológico.

## 3. MÉTODO

Se determina la frecuencia de los eventos de lluvia intensa (precipitación >20mm/24h) en 4 estaciones ubicadas tanto en la planicie del valle (al oriente) como en el lado poniente en el piemonte

(Fig. 1), así como el promedio de aguaceros  $> 20$  mm para el periodo 1994-1998 de las estaciones de la DGCOH.

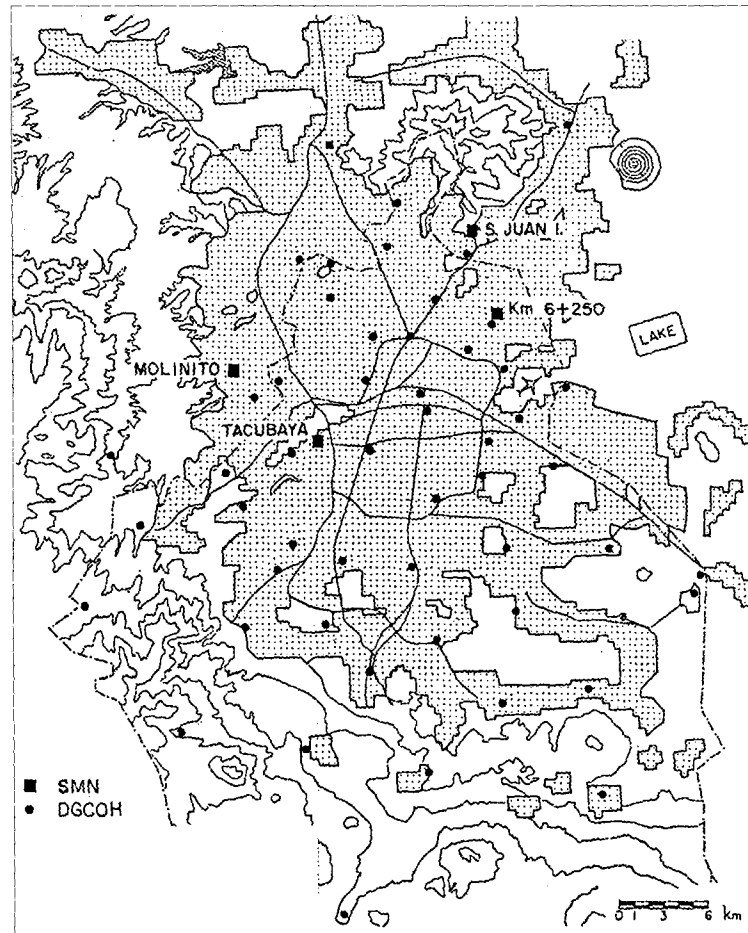


Fig. 1: Red Pluviométrica Automática de la DGCOH y estaciones del SMN.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Tendencia de la frecuencia de chubascos

En la Figura 2 se aprecia que la frecuencia de los días con chubascos intensos ( $>$  de 30 mm/24h) en el poniente de la ciudad se ha duplicado a partir de la década de los años sesenta cuando se ini-

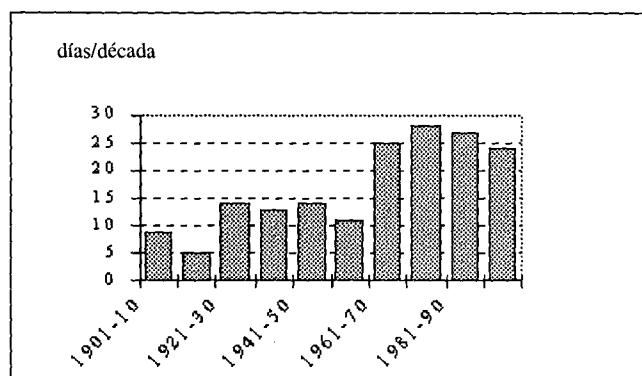


Fig. 2: Frecuencia de la precipitación máxima en 24/h de Tacubaya (> 30mm). Fuente : Servicio Meteorológico Nacional.

ció el crecimiento acelerado de la ciudad. Esta tendencia creciente de las precipitaciones intensas a partir de los años setenta del siglo XX se observa, aunque menos acentuada, en otros puntos de la ciudad. (Ver Fig. 1. para ubicación).

#### 4.2. Climatología de las lluvias intensas

Durante los meses de junio a septiembre se recoge el 78% de la precipitación anual en un promedio de 82 días (Tabla 1). En dicha tabla se puede apreciar que la altura de la precipitación de los aguaceros intensos es en el periodo junio-septiembre del orden de entre un medio y un tercio de la lluvia promedio mensual.

Tabla 1: CLIMATOLOGÍA DE LA PRECIPITACIÓN (MM) EN EL OBSERVATORIO DE TACUBAYA (VER FIGURA 1 PARA UBICACIÓN). PERIODO 1963-85

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Anual
Precip. Total mm.	9	7	12	27	53	154	182	173	149	65	6	7	844
Lluvia max/24hs	33	19	20	39	51	71	54	79	63	57	13	14	
No. días c/lluvia	2	3	4	8	13	18	23	22	19	10	4	3	129

En la tabla 2 se aprecia que la variabilidad de los aguaceros, siendo relativamente baja, declinó aún ligeramente, mientras que el promedio de su intensidad aumentó un 20% durante el periodo cuan-

Tabla 2: VARIACIÓN DEL PROMEDIO DE LAS LLUVIAS MÁXIMAS/DÍA EN DOS PERIODOS EN EL OBSERVATORIO DE TACUBAYA

Periodo	1917-52	1961-96	$\Delta$ (%)
$\sigma$ (mm)	12.1	13.3	10
Promedio (mm)	43.4	52.1	20
C.V. (%)	28	26	-8

do la ciudad creció aceleradamente. Al aplicar la prueba *t student* se encuentra que la diferencia de los promedios de lluvia máxima es significativa al nivel de 1%.

**4.3. Caracterización de los chubascos intensos**

La red pluviométrica de 52 estaciones automáticas cubre la mayor parte del área metropolitana de la ciudad teniendo por principal objetivo la vigilancia y detección de eventos extremos de lluvia en tiempo real. La red comenzó a operar en el año 1983. En el presente estudio se ha tomado una muestra disponible de 5 años: 1993-98 y para los 4 meses centrales (jun-sept) de la estación de lluvias.

**4.3a . Inicio y duración de los episodios de precipitación intensa (>20mm) (EPI)**

En la Figura 3 se aprecia que los EPI se inician frecuentemente entre las 3 p.m. y 5 p.m. en el mes de mayor número de eventos (julio) teniendo una duración típica de entre 2 a 6 horas.

Clase	Horas	No Eventos
1	13:00-14:00	2
2	14:00-15:00	2
3	15:00-16:00	10
4	16:00-17:00	10
5	17:00-18:00	10
6	18:00-19:00	8
7	19:00-20:00	4
8	20:00-21:00	1
9	21:00-22:00	5

Clase	Duración	Frecuencia
1	< 30 min	2
2	30-60 min	4
3	1-2 h	4
4	2-4 h	17
5	4-6 h	19
6	6-8 h	6
7	8-10 h	4
8	> 10 h	1

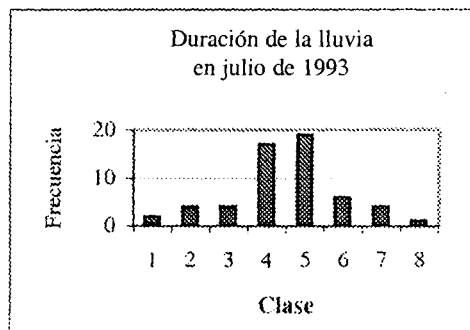
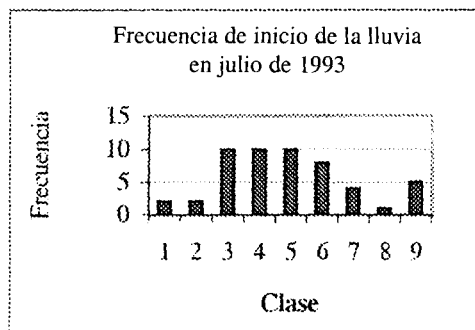
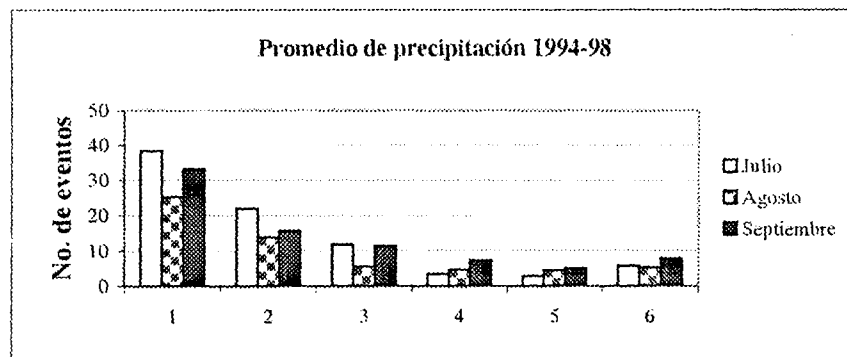


Fig 3: Inicio y duración de los chubascos intensos (>20mm) en el área urbana de la Ciudad de México en el mes de julio de 1993.

**4.4. Frecuencia de los EPI iguales y mayores de 20 mm/día**

En la Figura 4 se ilustra la frecuencia por clases de intensidad de los EPI mayores de 20 mm/d. Para los meses de julio a septiembre los EPI más frecuentes son los correspondientes a 20-25

mm/d. La frecuencia declina para las clases de intensidad mayor, repuntando ésta ligeramente para los EPI mayores de 45 mm/d que ocurrieron en promedio en el área de la capital durante el periodo 1994-98. En la siguiente sección se detallan los rasgos de estos episodios de precipitación extrema (>45 mm/d).



clase	mm	Julio	Agosto	Sept.
1	20-25	38	25	33
2	25.1-30	22	14	16
3	30.1-35	12	5	11
4	35.1-40	3	5	7
5	40.1-45	3	4	5
6	> 45	6	5	8

Fig. 4: Número promedio de aguaceros > 20mm para los meses de julio-sept. (Periodo 1994-98) registrados en la red pluviométrica automática de la DGCOH del D.F.

#### 4.5. Los eventos de lluvia extrema (>45 mm/d)

En la tabla adjunta a la Figura 4 puede verse que los episodios de lluvia > 45 mm/d varían de 5 a 7 casos por mes en promedio para 5 años recientes. La Figura 4 muestra que la frecuencia de aguaceros de las categorías de hasta 20 a 30 mm/d es más frecuente en julio, mientras que los chubascos más intensos (>45 mm/d) tienen una mayor frecuencia en septiembre. ¿En qué zonas de la ciudad ocurren estas lluvias extraordinarias? Las áreas de precipitaciones intensas ocurren a) en el poniente de la ciudad al pie del monte y b) en el centro geométrico del área urbana donde es posible que el fenómeno esté ligado a la llamada isla de calor.

##### 4.5a Las lluvias intensas del piemonte (orográficas)

La Figura 5 ilustra un caso en el que la precipitación se concentró en el rincón surponiente de la ciudad en el piemonte y viento abajo de la zona industrial del norte y noreste, justo donde se encuentran desarrollos urbanísticos recientes que por facilitar el escurrimiento rápido reducen la infiltración y recarga del acuífero del cual se abastece parte de la ciudad.

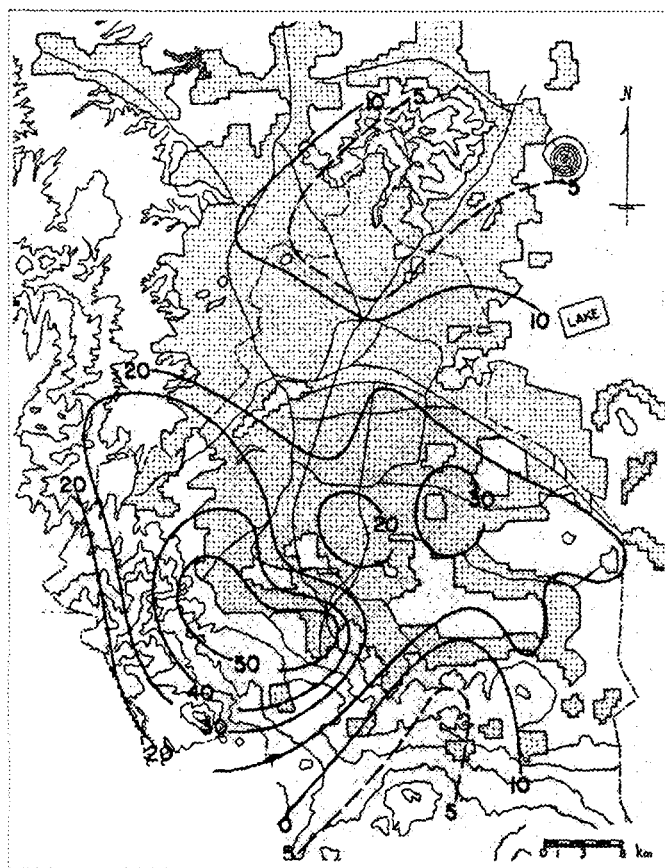


Fig. 5. Isoyetas (mm) del día 28 de julio de 1998.

Por otra parte es en estos terrenos de fuerte pendiente donde se localizan asentamientos irregulares de construcciones endebles de techos de cartón y calles sin pavimento donde el riesgo del impacto de las lluvias intensas sobre la población es mayor. En el caso que ilustra la Figura 5 la lluvia comenzó al atardecer terminando al filo de la media noche (con 3 a 6 horas de duración). La ubicación de este evento al pie de las montañas señala claramente la causa de su intensificación por levantamiento orográfico. Este es el caso más frecuente el cual se refleja en el marcado gradiente de noreste a suroeste de las isoyetas medias anuales (Fig. 6).

#### 4.5.b Las precipitaciones intensas en el centro de la ciudad, e.g. la isla de lluvia.

Un caso interesante de aguaceros extremos es el que ocurre aunque con menor frecuencia en el centro de la ciudad, asentada sobre terreno sensiblemente plano (Fig. 7). Ahí las precipitaciones intensas ocasionan igualmente anegamiento de calles, derribo de bardas y ramas de árboles

así como cortes de corriente eléctrica, que dan origen al consecuente caos vial en esta parte de intenso tráfico vehicular. Este es el llamado efecto de la isla de lluvia (JAUREGUI, 1976).

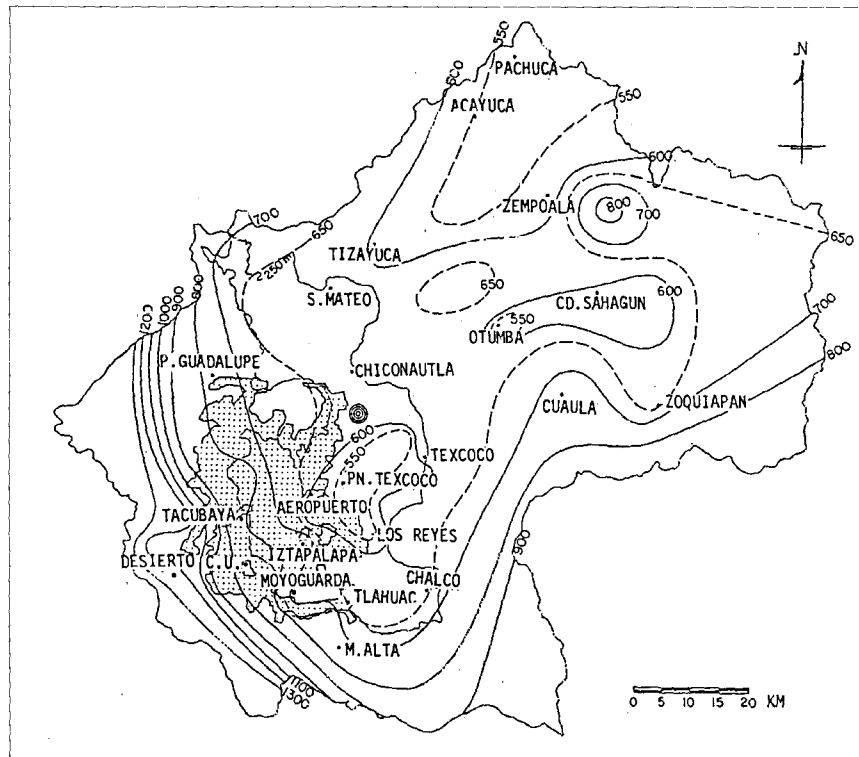


Fig. 6. Lluvia media anual en la Cuenca de México.

En la Figura 7 se ilustra un episodio de máxima precipitación  $> 45$  mm/d ubicado en el centro de la ciudad. Estando ahí la mayor densidad de construcciones sobre la planicie del valle, el origen del fenómeno no puede explicarse por levantamiento orográfico, ya que las precipitaciones en este caso decrecen hacia el piedemonte, sugiriendo que la causa probable del máximo pluvial esté relacionado con el forzamiento térmico, de fricción y de convergencia que proporciona la ciudad tanto, por el calor sensible adicional así como por la turbulencia mecánica que origina la rugosidad de la morfología urbana.

## 5. DISCUSIÓN

En el presente estudio se hace una caracterización de los episodios de lluvia extremos que se observan en el ámbito de la zona metropolitana de la ciudad de México utilizando una serie plu-



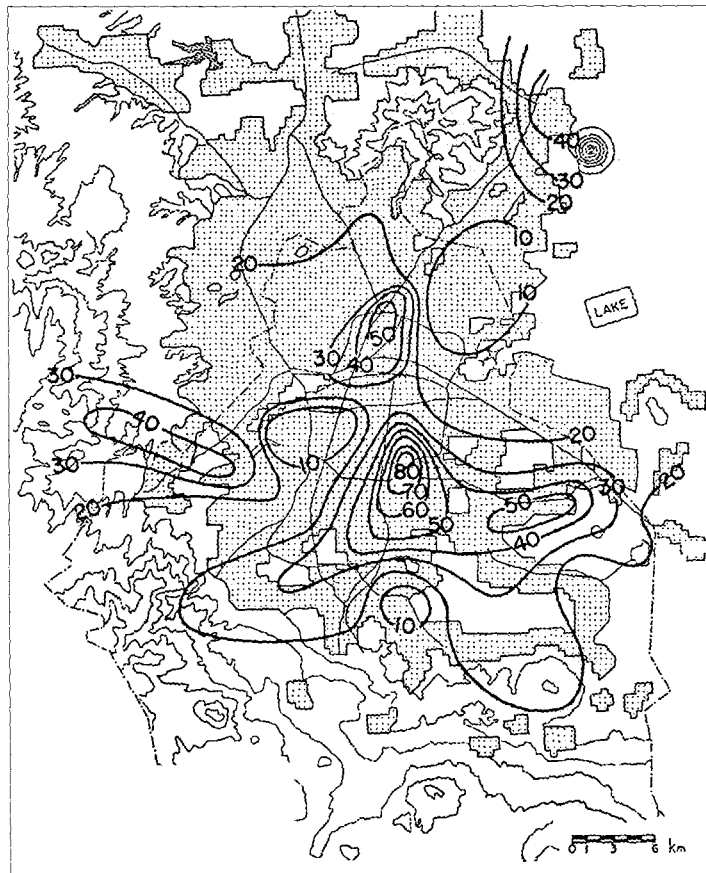


Fig. 7. Isoyetas (mm) del día 26 de septiembre de 1998.

viométrica de largo registro (el Observatorio de Tacubaya) además de datos horarios de la red pluviométrica de la Dirección General de Operación Hidráulica de la ciudad.

La serie de lluvias máximas de 24 h de Tacubaya ha servido para ilustrar un incremento en la frecuencia e intensidad de dichos eventos extremos en el periodo reciente que es el mismo en el que la ciudad experimentó un crecimiento acelerado (a partir de los años 60's). Como conclusión se propone la hipótesis de que este incremento en la frecuencia de eventos extremos de lluvia podría estar relacionado con el aumento en la extensión de la ciudad que proporciona energía adicional (eg la isla de calor) para el desarrollo posterior de las nubes convectivas que cruzan la ciudad.

Los eventos más frecuentes de lluvia intensa se localizan en los suburbios del poniente y sur de la ciudad, donde prevalecen asentamientos irregulares de la población de bajos recursos en convivencia con urbanizaciones de lujo. Estas condiciones urbanísticas son características de las gran-

des conurbaciones de países en desarrollo, donde la población de migrantes del campo a la ciudad se asienta en zonas perimetrales de alto riesgo por las precipitaciones extraordinarias.

## 6. RECONOCIMIENTOS

El autor agradece el apoyo computacional de la información pluviométrica al pasante de geografía Mario Casasola y a la geógrafa Elda Luyando. Agradecemos al climatólogo J.G. Rosales; responsable del archivo de Climatología del Servicio Meteorológico Nacional; por proporcionar acceso a la pluviometría de Tacubaya. Asimismo expresamos nuestro agradecimiento a la DGCOH del gobierno del D.F. por facilitar la información de la red pluviométrica de la ciudad.

## 7. REFERENCIAS

DUNNE, T. (1986): "Urban Hydrology in the tropics: problems, Data collection, Analysis". En *Proceedings WMO Tech. Conf. Mexico City 26-30 Nov. 1984*, WMO, n° 652, pp 405-432, Geneva.

JÁUREGUI, E. (1974): "La isla de lluvia de la cd. de México". *Rev. Recursos Hidráulicos*, Vol. 3(2), pp 138-51.

JAUREGUI, E. y ROMALES, E. (1996): "Urban effects on convective precipitation in Mexico City". *Atmospheric Environment*, Vol. 30, No. 20, pp 3363-3389.