

ENFOQUE INTEGRADO DE LOS ESTUDIOS DE PELIGRO POR GRANDES PRECIPITACIONES Y PRECIPITACIONES INTENSAS

INTEGRATED APPROACH TO STUDIES OF HAZARD FOR LARGE RAINFALL AND INTENSE PRECIPITATION

Dr. Eduardo O. Planos Gutiérrez*

Resumen

Para los estudios de las precipitaciones intensas con fines de diseño y para la valoración del peligro, la vulnerabilidad y el riesgo, entre otras aplicaciones, se utiliza el ajuste de funciones de distribución de frecuencias a series de eventos máximos y el análisis del riesgo estocástico. Sin embargo, estas herramientas tienen limitaciones, fundamentalmente, por la incertidumbre del cálculo probabilístico, sobretodo de los eventos de rara ocurrencia. En este trabajo, basado en una investigación elaborada para la República de Cuba (Planos et al, 2012), se ofrece un enfoque integrado del análisis de las precipitaciones intensas, sobre la base de un conjunto de indicadores comúnmente utilizados para la determinación de los parámetros de diseño de las obras hidráulicas y en otros estudios.

Abstract

For studies of heavy precipitation for design purposes, and for the hazard, vulnerability and risk assessment, among other applications, is used adjusting frequency distribution functions for maximum event series and the stochastic risk analysis. However, these tools are limited mainly by the uncertainty of the probabilistic calculation, especially in the event of rare occurrence. This paper provides an integrated approach to the study of heavy precipitation, based on a set of indicators commonly used to determine the design parameters of hydraulic and other studies.

Palabras Claves: grandes precipitaciones, precipitaciones intensas, intensidad - duración - frecuencia, análisis probabilístico, riesgo estocástico, peligro, vulnerabilidad, análisis integrado.

INTRODUCCIÓN

Las grandes precipitaciones y las precipitaciones intensas, que ocurren en intervalos inferiores a las 24 horas, son unos de los rasgos más significativos del clima de los países tropicales, por el rol determinante que tienen en la pluviosidad anual y en el balance hídrico de un país; y además, porque suelen provocar crecidas notables, que producen importantes inundaciones de origen fluvial, que afectan a los todos los ecosistemas naturales y las intervenciones humanas. Por otra parte, las precipitaciones intensas, definidas tan solo por la lámina acumulada en un intervalo de tiempo determinado, también tienen impactos severos, con independencia de la magnitud total acumulada al finalizar el evento pluvial, debido a que la lámina de agua que se acumula en un intervalo particular puede tener un efecto catastrófico en una escala espacial más reducida.

El análisis de estas precipitaciones es fundamental para aplicaciones relacionadas con el diseño de obras tránsito de caudales máximos, la prevención de inundaciones y la mecánica de suelos. Entre los múltiples métodos que existen para el análisis de

estas precipitaciones, la confección de curvas de intensidad duración frecuencia está ampliamente extendido en la práctica ingenieril; utilizando para ello el ajuste de funciones de distribución de frecuencia a series de poblaciones simples o mezcladas, con el apoyo de rigurosos métodos estadísticos relacionado con la formación y análisis de las series cronológicas. Sin embargo, esta útil herramienta no es suficiente como criterio de valoración del peligro, sobre todo porque no resuelve el problema de la incertidumbre de los cálculos probabilísticos, relacionada esencialmente con el hecho de que una magnitud de probabilidad dada puede ocurrir en cualquier momento, con independencia del período de retorno calculado.

En este trabajo se expone un enfoque integrado para la valoración del peligro por este tipo de fenómeno, que se fundamenta en el análisis de un conjunto de indicadores de peligro que comúnmente se calculan para realizar los estudios de peligro, vulnerabilidad y riesgo y para la determinación de los parámetros de diseño de las obras hidráulicas.

* Instituto de Meteorología de Cuba, eduardo.planos@insmet.cu

FUNDAMENTO DEL ESTUDIO

Para analizar los resultados que en este artículo se exponen, es conveniente señalar primero, las limitaciones fundamentales que el autor atribuye al enfoque exclusivamente probabilístico en los estudios de peligro y las ventajas que sobre éste tiene el análisis integrado. Entre los aspectos que más afectan la seguridad de los resultados del análisis probabilístico se pueden citar tres fundamentales: (a) el tradicional carácter local de estos estudios, desconociendo el comportamiento regional del fenómeno analizado, su variabilidad espacial y la de los parámetros característicos de las series, (b) la generalmente corta extensión de las series, que no caracterizan la variabilidad climática en toda su amplitud, lo cual influye en la relación entre los coeficientes de asimetría (CS) y variación (CV) de la serie, produciendo con frecuencia sesgos que dificultan el ajuste de las funciones de distribución, sobre todo cuando el análisis se realiza en regiones donde se manifiestan fenómenos meteorológicos con diferencias notables en su capacidad de producir lluvia y (c) la extrapolación de las series al calcular magnitudes de extenso período de retorno, cuyo resultado está determinado por el modelo de función de distribución escogido, y frecuentemente para retornos elevados suelen producir valores irrealistas. Lo anterior es aplicable tanto para los ajustes de funciones de distribución en poblaciones simples como mezcladas, aunque en el caso de las mezcladas mejora sustancialmente la calidad del ajuste.

Una premisa a tener siempre presente, es que el estudio del período de recurrencia de los fenómenos extremos no es meramente un problema estadístico. Tal como señala V. Klemes (1989), *".....el punto débil de los procedimientos convencionales es que los mismos no toman en cuenta las peculiaridades de los sucesos hidrometeorológicos y se basan en postulados probabilísticos incapaces de reflejar cabalmente lo que sucede en la naturaleza"*. La probabilidad del valor de diseño obtenido con el ajuste de cualquiera de las funciones de distribución aplicable en esta ciencia, es, tan sólo, representativa del comportamiento del suceso en el tiempo pasado, y como dice Klemes (1989), *".....incapaz de reflejar la dinámica de los siempre cambiantes - en el tiempo - fenómenos climáticos"*. De hecho, este valor constituye, únicamente, un índice para las decisiones del hidrólogo, que deberán sustentarse en una correcta interpretación del evento que analiza, tomando en cuenta la variabilidad y tendencia climáticas imperantes en el período que estudia y de acuerdo al propósito del trabajo que elabora.

Por su parte, el análisis integrado del peligro, basado en la utilización de los propios métodos probabilísticos (ajuste de funciones de distribución y riesgo estocástico) y en una adecuada selección de parámetros estadísticos y físico geográficos, tiene la ventaja de fundamentarse en el conocimiento de la variabilidad espacial de los parámetros escogidos y su relación con los elementos del paisaje geográfico;

lo cual posibilita establecer regiones homogéneas; suplir las insuficiencias de datos o de las series en zonas donde las observaciones son deficientes; relacionar espacialmente los parámetros de las series (magnitud de una probabilidad dada, CV, CS) con las características físico geográficas de los territorios (altura, pendiente), lográndose con esto dotar al análisis del peligro de un fundamento físico que le hace más potente que el análisis exclusivamente probabilístico.

METODOLOGÍA

Los métodos utilizados para la realización de este tipo de análisis son ampliamente conocidos en la práctica hidrológica (OMM, 2006), razón por la cual no es necesario describirlos de manera detallada. A continuación se exponen los aspectos más relevantes de estos métodos y de los procedimientos utilizados en el trabajo.

Análisis de los datos: se trabajó con una red de pluviómetros y pluviógrafos que en conjunto totalizan 835 estaciones que tienen una distribución espacial que abarca todos los ambientes físico geográficos del país (Tabla 1). Se emplearon datos de precipitación diaria de estaciones pluviométricas; valores de intensidad de la lluvia máxima por intervalos de tiempo característicos determinados en estudios precedentes (Crespo, 1983; Trusov et al., 1986; Koshiasvili, 1972; Limia y Planos, 2004; Planos et al., 2005 y Planos et al., 2010); series cronológicas parciales con umbral de 100 mm y series de lluvias máximas anuales de 24 horas. Todas las series utilizadas abarcaron el período 1961 - 2010.

Estos datos y series, además de ser sometidos a las pruebas estadísticas de análisis de calidad del dato y la determinación de propiedades de las series (tendencia, persistencia, aleatoriedad, homogeneidad), fueron analizados con criterios que se fundamentaron en el reconocimiento de la interrelación espacial entre los registros; la justificación física de los valores anómalos (desde los puntos de vista meteorológico y físico-geográfico); y el análisis de la situación sinóptica en la fecha de los registros mayores de 100 mm; lo cual fue fundamental para la elección de los datos.

Con independencia de que podría considerarse innecesario discutir la homogeneidad y aleatoriedad de las series de valores máximos anuales, dado que el modo de conformarlas garantiza la independencia física de los registros (Pérez, 1983); las series fueron sometidas a estos análisis; atendiendo a que el autor considera que ello no significa que sean ajenas a este fenómeno y a otras inconsistencias dependientes de las manifestaciones de ciclicidad, estacionariedad y tendencias (Planos et al., 2010), sobre todo, teniendo en cuenta que la variabilidad climática puede estar forzada por la persistencia de procesos atmosféricos que favorecen a los eventos que producen las grandes precipitaciones y las preci-

pitaciones intensas (Lapinel, 1988; Lecha et al., 1994 y Aveledo, 2010).

La composición de las series de eventos máximos está marcada por las condiciones climáticas imperantes durante el período que abarca la serie, razón por la cual, para hacer una evaluación más objetiva de ésta, es muy importante el conocimiento del escenario climático prevaleciente en el período analizado, para explicar posibles causas de no aleatoriedad y no homogeneidad de las series de valores máximos (Planos et al, 2010). Los métodos utilizados para el análisis de la homogeneidad y la aleatoriedad fueron la *Prueba de Helmer* para la homogeneidad (Campos Aranda, 1984 y Fill y Stedinger, 1995), la *Prueba de Langbein – Dalrymple* (Dalrymple, 1960), para la homogeneidad regional y la *Prueba de autocorrelación seriada de orden 1* y la *de Covarianza* para la aleatoriedad (Pérez, 1987).

Análisis probabilístico: (Blojinov, 1974; Mamedov, 1978; Campos Aranda, 1987; Kite, 1977; Sevruk y Geiger, 1981; Cunnane, 1989; Klemes, 1989; Shanin et al., 1993; Ferrer Polo, 1997; Llasat, 1997; Madsen y Rosbjerg, 1997 y Pizarro, 2001); sustentado en la amplia y satisfactoria aplicación de la función de distribución Gumbel en Cuba (Pérez, 1983); ésta fue la utilizada para el cálculo probabilístico; con el criterio de poblaciones mezcladas.

$$P(P \geq P_{max}) = k * P(P \geq P_{max}, P > 100 \text{ mm}) + (1 - k) * P(P \geq P_{max}, P \leq 100 \text{ mm})$$

donde k será la probabilidad de paso de valores iguales o mayores de 100 mm, $(1 - k)$ la probabilidad del evento inferior y $P(P \geq P_{max})$ la función de probabilidad ajustada a cada serie de eventos distintos, en esta caso Gumbel.

El análisis de la existencia de subseries estadísticamente representativas y la bondad de ajuste de las funciones de distribución se realizó por medio de la pruebas de *Mann-Whitney* y *Kolmogorov-Smirnov*.

Riesgo estocástico: aunque el análisis probabilístico es en sí mismo una valoración del peligro, expresado en término del período de retorno de una magnitud de valor dado; esta valoración no es suficiente, desde el punto de vista de la determinación más precisa de cuando pudiera ocurrir un fenómeno de consecuencias catastróficas.

El concepto de *riesgo estocástico* (Díaz Arenas, 1982), permite calcular la probabilidad de que un evento se presente en un número de años específicos, utilizando el análisis probabilístico binomial o el de Poisson. Campos Aranda (1984) explica el riesgo de falla de un cálculo probabilístico de la manera siguiente: “sea p la probabilidad de excedencia del evento igual a $1/Tr$, es decir, la probabilidad de ocurrencia en cualquier año; la probabilidad de no ocurrencia es entonces $(1 - p)$. Considerando que los eventos máximos anuales son estadísticamente independientes, la probabilidad de que un even-

to no ocurra en dos años es $(1 - p)^2$. Extendiendo este análisis a la vida útil (N) de una obra se tendrá $(1 - p)^N$. Finalmente, la probabilidad de que el evento si ocurra durante la vida útil será:

$$R = 1 - (1 - p)^N = 1 - (1 - 1/Tr)^N \text{ y } Tr = 1/(1 - R)^{1/N}$$

La probabilidad R se conoce como el riesgo de que un evento de probabilidad dada ocurra en un número de años”.

Como complemento del análisis probabilístico, en este trabajo se ha empleado el concepto binomial, para estimar la probabilidad de que una lámina igual o mayor a 100 mm, en 60 o 1440 min, ocurra en los próximos 2, 5, 10 y 20 años.

Indicadores de peligro básicos para el análisis integrado: estos fueron seleccionados sobre la base de la experiencia obtenida en estudios en Cuba (Planos et al, 2005 y Planos et al, 2012), dedicados al cálculo de los parámetros de diseño de obras de tránsito de caudales máximos (Planos, 1996; Planos et al., 2005; Planos et al., 2010). Los parámetros seleccionados se dividieron en rangos, que a su vez se categorizaron entre 1 y 5 (Tabla 2), como criterio de magnitud del peligro. Esta clasificación se estimó para cada serie utilizada en el trabajo, debidamente georeferenciada, y la magnitud total del peligro se consideró como el promedio de los indicadores. Con los valores de peligro obtenidos, en un mapa se obtuvieron regiones de peligro clasificadas como se muestra en la Tabla 3. Para cada una de las zonas de peligro se calcularon otros parámetros característicos para este tipo de estudio (ver Resultados).

RESULTADOS

El mapa de la Figura 1 muestra la regionalización del peligro por grandes precipitaciones y precipitaciones intensas obtenida con el análisis integrado. Para cada una de las zonas de peligro se determinaron los parámetros asociados a la intensidad de las precipitaciones y se establecieron relaciones entre algunos de los estadígrafos de las series. La tabla 4 contiene los valores promedios de los principales indicadores de peligro considerados en este estudio, apreciándose las diferencias que existen entre estas regiones. Las tablas 5 y 6, conjuntamente con las figuras 2, 3 y 4, muestran, a modo de ejemplo, las características del Área de peligro moderado (existe igual caracterización para las restantes áreas de peligro, aunque no es mostrada en este artículo).

Respecto al comportamiento de las grandes precipitaciones y las precipitaciones intensas, es claramente visible que predomina una relación de incremento entre la categoría del peligro y los parámetros analizados (Tabla 4), teniendo particular importancia el incremento con la altitud, como elemento representativo de la interacción de los fenómenos meteorológicos con el relieve; sobre lo cual es necesario mencionar nuevamente que en esta obra se está

tratando el análisis del peligro restringido a las precipitaciones, debido a que en otros tipo de análisis de peligro, por ejemplo, las inundaciones, el efecto de la altitud se comporta de manera contraria.

Estos resultados evidencian la fortaleza de este enfoque, porque el análisis probabilístico está acompañado de una regionalización de los parámetros utilizados para los estudios de peligro y otras aplicaciones, que a su vez se relaciona con elementos del paisaje físico geográfico, dotando al análisis de un adecuado enfoque físico. El enfoque integrado permite adoptar decisiones que tomen en cuenta la evaluación de la vulnerabilidad del territorio, basadas en un análisis multicriterio.

A modo de ejemplo se puede indicar, que con el estudio probabilístico en un pluviómetro ubicado en la Región Central de Cuba (22.5 LN y 80.1 LW; Figura

1), se determinó que las láminas de precipitación de 100, 50 y 20 años de período de retorno fueron, respectivamente, 105.5 mm, 95.8 mm y 80.2 mm; al utilizar el análisis integrado en esta localidad, es posible hacer una caracterización más amplia, adjudicándosele una categoría de peligro moderado al lugar representado por el mencionado equipo, siendo posible transponer, con los métodos y criterios adecuados, los atributos promedios, máximos y mínimos que se obtienen de las tablas y gráficos característicos de esta categoría de peligro, como valores posibles en la zona. Así, las decisiones que se tomen no serán solamente fundamentadas en el período de retorno obtenido para una localidad sino que se basarán en un conocimiento más amplio del comportamiento de estas precipitaciones en zonas con comportamiento similar.

Tabla 1. Distribución y parámetros de diseño de la red de pluviómetros (Planos y al., 2005)

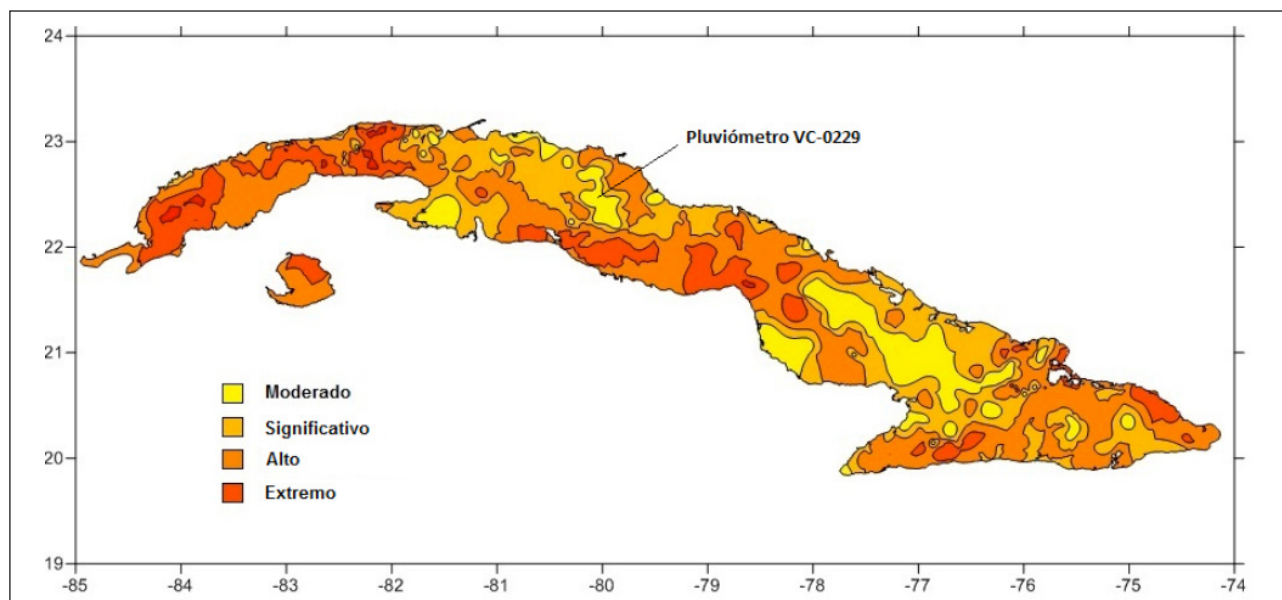
Altura (m)	Número de pluviómetros	Área Km ²	Densidad Pluv/1000km ²	Distancia promedio entre equipos (km)	Error total de interpolación (%)
Menor de 100	622	79300	8	12	9-11
101 – 200	138	16200	9	12	9-11
201 – 500	55	9661	6	13	9-12
501 – 1000	19	3544	5	14	9.5-11.5
Mayor de 1001	1	68	15	10	8-10
Total	835	108773	8	14	9.5-11.5

Tabla 2. Indicadores de peligro clasificados por rango y categorizados en grados de peligro

Indicador	Rango	Categoría
Lámina máxima absoluta	≤ 100	1
	100 – 149	2
	150 - 199	3
	200 – 249	4
	≥250	5
Frecuencia láminas > 100 mm	≤0.2	1
	0.2 – 0.49	2
	0.5 - 0.69	3
	0.7 – 0.99	4
	1.00	5
Lámina 100 años período de retorno	≤250	1
	250 – 349	2
	350 - 399	3
	400 - 449	4
	≥450	5
Probabilidad de una lámina => 100 mm en 2 años	≤ 0.2	1
	0.2 – 0.49	2
	0.50 – 0.69	3
	0.7 – 0.99	4
	≥1.00	5

Tabla 3. Rango de categoría de peligro

Rango Categoría	Descripción	Denominación zona peligro
< 2	Área de peligro moderado	AI
2 – 3.9	Área de peligro significativo	AII
3.9 – 4.9	Área de alto peligro	AIII
5	Área de peligro extremo	AIV

**Figura 1.** Mapa Integral de peligro intensas precipitaciones en Cuba. Basado en observaciones pluviométricas del Período 1961 – 2010 (Planos et al, 2012)**Tabla 4. Valor promedio por área de otros indicadores generales de peligro por grandes precipitaciones y las precipitaciones intensas. Basado en observaciones pluviométricas del Período 1961 - 2010**

Indicadores	Áreas de peligro			
	AI	AII	AIII	AIV
Altitud (m)	75	96	116	250
Lámina promedio \geq 100 mm	135,4	138,7	143,2	157,8
Frecuencia \geq 100 mm	0,31	0,47	0,68	0,82
Coefficiente de variación serie máximos absolutos anuales	0,33	0,46	0,56	0,81
Máximo Absoluto anual	157,7	243,2	326,1	506,4
Lámina de período de retorno de 100 años	192,2	276,5	353,0	531,9
Riesgo de que una lámina \geq 100 ocurra en un período de 2 años	0,57	0,70	0,82	0,91
Probabilidad lámina de 200 mm	0,18	0,40	0,69	0,79
Frecuencia láminas \Rightarrow 100 mm en el período húmedo	0,28	0,40	0,49	0,56
Frecuencia láminas \Rightarrow 100 mm en el período húmedo excluyendo registros ciclónicos	0,25	0,31	0,44	0,57
Frecuencia láminas \Rightarrow 100 mm en el período Seco	0,14	0,13	0,18	0,19
Frecuencia láminas \Rightarrow 100 mm provocadas por sistemas ciclónicos	0,29	0,42	0,57	0,68
Frecuencia láminas \Rightarrow 100 mm provocadas por sistemas frontales	0,10	0,08	0,08	0,08
Promedio anual láminas \Rightarrow 100 mm	135,4	138,7	143,2	157,8
Promedio anual láminas \Rightarrow 100 mm ponderada por la frecuencia anual	57,1	68,6	95,8	125,7
Influencia de láminas de \Rightarrow 100 mm en el promedio anual (%)	4,3	6,0	8,0	9,9
Promedio láminas \Rightarrow 100 mm del período húmedo	141,2	141,2	147,5	162,3
Promedio láminas \Rightarrow 100 mm del período húmedo ponderada por la frecuencia	40,6	56,9	71,1	90,4
Influencia de láminas \Rightarrow 100 mm en el promedio del período húmedo	4,7	6,2	8,3	10,2

Tabla 4 (continuación). Valor promedio por área de otros indicadores generales de peligro por grandes precipitaciones y las precipitaciones intensas. Basado en observaciones pluviométricas del Período 1961 – 2010

Indicadores	Áreas de peligro			
	AI	AII	AIII	AIV
Promedio =>100 en el período húmedo excluyendo registros ciclónicos	151,1	145,0	140,5	142,7
Promedio láminas => 100 mm del período húmedo excluyendo los sistema ciclónicos ponderada por la frecuencia	39,4	47,4	61,8	81,6
Influencia de láminas de => 100 mm en el promedio de período húmedo excluyendo sistema ciclónicos (%)	5,0	6,2	8,1	10,1
Promedio láminas => 100 mm del período seco	123,4	130,8	130,4	146,2
Promedio láminas => 100 mm del período seco ponderada por la frecuencia	9,7	17,1	24,3	27,6
Influencia de láminas de => 100 mm en el promedio de período seco (%)	3,7	5,3	6,9	8,4
Promedio láminas => 100 mm provocada por sistemas ciclónicos	211,0	184,3	139,6	124,7
Promedio láminas => 100 mm provocada por sistemas ciclónicos ponderada por la frecuencia	67,9	72,6	69,7	79,3
Influencia de láminas de => 100 mm de sistemas ciclónicos en el promedio de período húmedo	26,6	26,8	31,0	38,6
Promedio láminas => 100 mm provocada por sistemas frontales	138,2	134,2	137,3	168,4
Promedio láminas => 100 mm provocada por sistemas frontales ponderada por la frecuencia	5,0	10,3	10,6	13,4

Características del área de peligro moderado (AI)

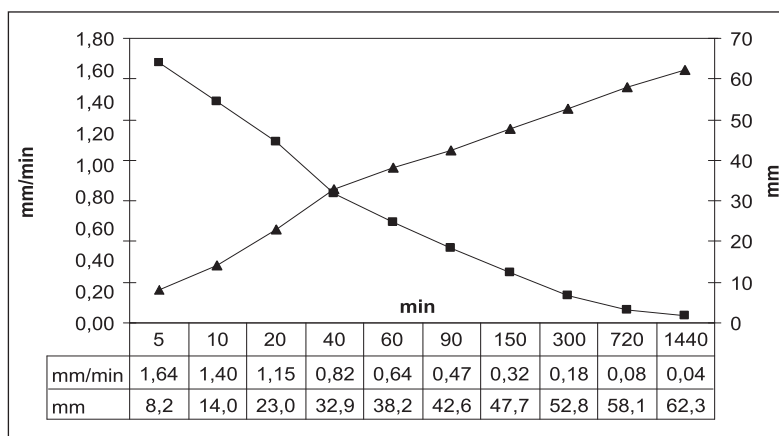


Figura 2. Relación entre valores promedio de intensidad y acrecentamiento de la lluvia en las áreas de peligro moderado (AI). Basado en observaciones pluviométricas del Período 1961 – 2010.

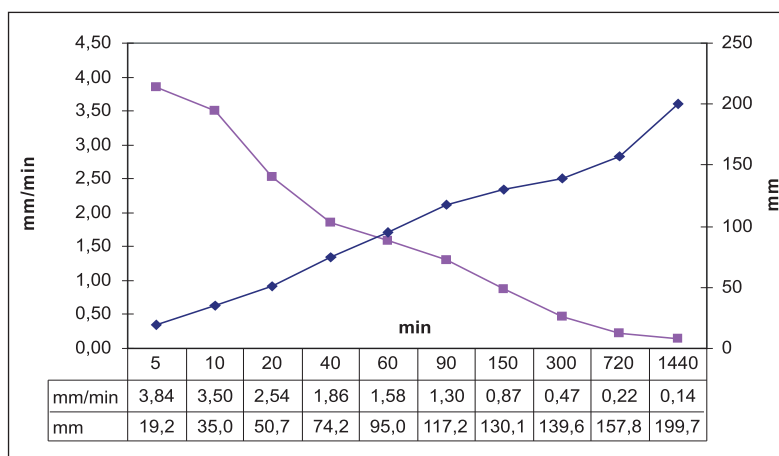


Figura 3. Relación entre valores máximos absolutos de Intensidad y acrecentamiento de la lluvia en las áreas de peligro moderado (AI). Basado en observaciones pluviométricas del Período 1961 – 2010.

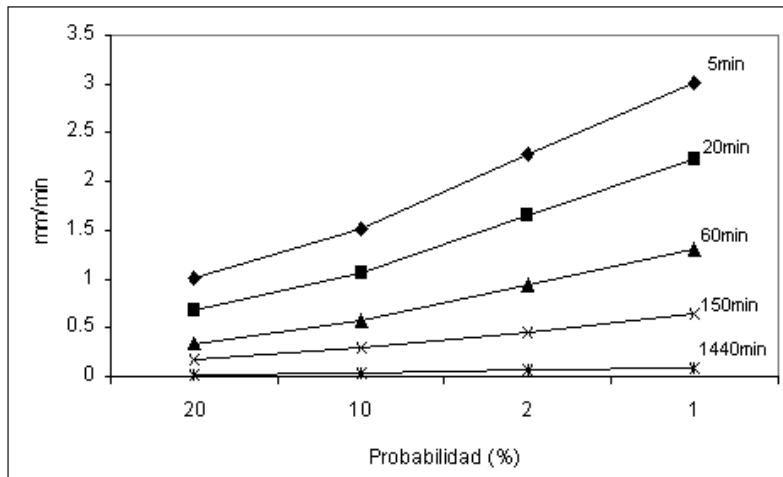
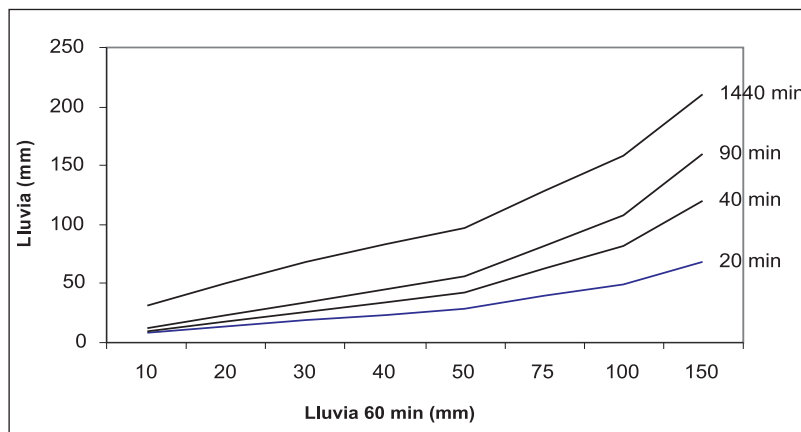


Figura 4. Curvas de Intensidad - Duración – Frecuencia en las áreas de peligro moderado (AI). Basado en observaciones pluviométricas del Período 1961 - 2010

Tabla 5. Parámetros Curvas de Intensidad - Duración – Frecuencia en las áreas de peligro moderado (AI). Basado en observaciones pluviométricas del Período 1961 - 2010

Probabilidad	Tiempo (min)				
	5	20	60	150	1440
0,2	1,01	0,69	0,35	0,18	0,02
0,1	1,52	1,07	0,58	0,29	0,04
0,02	2,29	1,66	0,94	0,47	0,07
0,01	3,02	2,23	1,31	0,65	0,09



$$LI_{20} = 1,2121LI_{60}^{0,8044} \quad LI_{90} = 1,2657LI_{60}^{0,9661}$$

$$LI_{40} = 1,0214LI_{60}^{0,9521} \quad LI_{1440} = 6,2223LI_{60}^{0,7021}$$

Figura 5. Curvas Estándar de Duración - Intensidad en las áreas de peligro moderado (AI). Basado en observaciones pluviométricas del Período 1961 - 2010

Tabla 6. Lámina de lluvia en intervalos característicos de tiempo dependiente de la lluvia en 60 min. (Parámetros de las Curvas Estándar de Duración Intensidad.) en las áreas de peligro moderado (AI). Basado en observaciones pluviométricas del Período 1961 – 2010.

Tiempo (min)	Lámina 60 min (mm)							
	10	20	30	40	50	75	100	150
20	7,7	13,5	18,7	23,6	28,2	39,1	49,2	68,2
40	9,1	17,7	26,0	34,2	42,3	62,3	81,9	120,5
90	11,7	22,9	33,8	44,7	55,4	82,0	108,3	160,2
150	15,6	28,3	40,0	51,1	61,9	87,5	111,9	158,2
300	25,1	40,8	54,2	66,3	77,6	103,1	126,2	167,7
1440	31,3	51,0	67,8	82,9	97,0	129,0	157,8	209,8

CONSIDERACIONES FINALES

El estudio del peligro por grandes precipitaciones y precipitaciones intensas es útil dado que tiene amplia aplicación en distintos campos. Este estudio, cuando se fundamentan en un análisis integrado de los parámetros característicos que tradicionalmente se consideran en las investigaciones ingenieriles y medioambientales, como son el ajuste de funciones de distribución de frecuencias, el análisis de la seguridad estocástica y la estimación de otros parámetros estadísticos y físico geográficos, permite obtener conclusiones más objetivas sobre el peligro; reduciendo las incertidumbres que fueron descritas para los resultados basados exclusivamente en ajustes probabilísticos.

El enfoque integrado posibilita regionalizar el peligro, en este caso, por grandes precipitaciones y precipitaciones intensas; obteniéndose regiones donde los parámetros asociados a la intensidad de la lluvia y las relaciones que se establecen entre éstos, tienen un comportamiento homogéneo. El mapa integral de peligro presentado, acompañado de gráficos de relaciones entre los parámetros y tablas de parámetros que representan su comportamiento máximo, promedio y mínimo, da la posibilidad hacer estudios a escala de proyecto ingeniero, sobre todo en zonas donde los datos y las informaciones son insuficientes. Aunque no se expone en este trabajo, debe decirse que este mapa de peligro, está también acompañado de tablas, que caracterizan los parámetros utilizados en el análisis, para cada municipio del país y para cada pluviómetro utilizado.

REFERENCIAS

Aveledo, J.C. 2010. Caracterización de las situaciones climáticas y sinópticas que favorecen la permanencia en la Región Occidental de Cuba de períodos estacionales consecutivos con abundantes acumulados de precipitaciones entre 1961 y 2000. Trabajo de diploma Licenciatura en Meteorología. Instituto Superior de Tecnología y Ciencias Aplicadas. La Habana. Cuba.

Blojinov, E.G. 1974. Distribución probabilística de las magnitudes del escurrimiento fluvial. Editorial Ciencia. Moscú, (en ruso).

Campos Aranda, D.F. 1984. Procesos del ciclo hidrológico, Vol.1. Universidad Autónoma de San Luis de Potosí, México.

Campos Aranda, D.F. 1987. Análisis probabilístico de avenidas máximas con poblaciones mezcladas. Ingeniería Hidráulica en México, septiembre-diciembre 1987.

Crespo E. 1983. Actualización de las curvas regionales de Intensidad Duración Frecuencia. Informe técnico de la Dirección de Hidrología, Intituto de Hidroeconomía, La Habana, Cuba.

Cunnane, C. 1989. Statistical distributions for flood frequency analysis, WMO 718, Operational Hydrology Report No 33.

Dalrymple, T. 1960. Flood Frequency Analysis. USGS Water Supply Paper 1543A

Díaz Arenas, A. 1982. Sobre la seguridad del valor de diseño en la vida útil de la obra. Conferencia Científico-técnica "20 años de desarrollo hidráulico en la Revolución".

Fill, H., Stedinger, J. R. 1995. "Homogeneity Tests Based Upon *Gumbel* Distribution and a Critical Appraisal of Dalrymple's Test" *Journal of Hydrology*, vol.166., pp.81-105.

Ferrer Polo, J. 1997. Mapping of statistical characterization of heavy rains at national scale. FRIEND, Third report: 1994-1997, Chapter 5 - Heavy rains. UNESCO. Cemagref Editions, p. 277-283.

Kite, G. W. 1977. Frequency and risk analysis in hydrology. Water Resources Publications. USA.

Klimes, V. 1989. The improbable probabilities of extreme floods and droughts. Hydrology of disasters. Proceeding of technical. World Meteorological Organization. Geneva.

- Koshiasvili, B. 1972. Las lluvias torrenciales en Cuba. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, La Habana, Cuba.
- Lapinel, B. 1988. La circulación atmosférica y las características espacio-temporales de las precipitaciones en Cuba. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Geográficas. Instituto de Meteorología, Academia de Ciencias de Cuba.
- Lecha, L.B, Paz, L.R y Lapinel B, B. 1994. El Clima de Cuba. Editorial Academia. La Habana, Cuba.
- Limia, M. y Planos, E. 2004: "Relación espacial de la lluvia con su intensidad máxima. Estudio de casos", Evento Trópico 2004, publicación digital.
- Llasat, M.C. 1997. Heavy rains. FRIEND, Third report: 1994-1997, Chapter 5 - Heavy rains. UNESCO. Cemagref Editions.
- Madsen H y Rosbjerg D. 1997. Recent advances in modelling of extreme hydrologic events. *Hydroinformatics 98*, Balkema, Vol. 2, 1129 – 1136.
- Mamedov, M. A. 1978. On empirical formulas for the guaranteed probability use in hydrological calculations. *Meteorology and Hydrology No 2.*, Leningrad.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM), 2006. Guía de prácticas hidrológicas. Adquisición y procesos de datos, análisis, predicción y otras aplicaciones. OMM No 168, Sexta edición, Ginebra, Suiza.
- Pérez Monteagudo O. 1983. Metodología para el cálculo de la intensidad-duración-frecuencia de las lluvias en Cuba. Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. La Habana. Cuba.
- Pizarro, R. 2001. Análisis comparativo de las curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (*IDF*) en 6 estaciones pluviográficas (VII Región del Maule, Chile). Universidad de Talca. Chile.
- Planos, E. 1996. Riesgos hidrometeorológicos en Cuba. IV Congreso Internacional de Desastres. La Habana, Cuba.
- Planos, E., Limia, M. y Vega, R. 2005. Intensidad de las precipitaciones en Cuba. Informe científico del Instituto de Meteorología. La Habana. Cuba.
- Planos, E., Limia, M., Vega, R., Hernández, M. y Boude, D. 2012. Características y causas de las grandes precipitaciones y las precipitaciones intensas en Cuba. Reporte científico del Instituto de Meteorología. Programa Científico Técnico ramal "Análisis y pronóstico del tiempo terrestre y espacial. La Habana. Cuba.
- Shanin, M., Van Oorschot, H.J.L., de Lange, S.J. 1993. "Statistical Analysis in Water Resources Engineering". Balkema/Rotterdam/Brookfield.
- Sevruk B., y Geiger, H., 1981. Selection of distribution types for extremes of precipitation. WMO No. 560. World Meteorological organization. Geneva.
- Trusov, I. I., Hernández E., y Crespo. E. 1986. Intensidades máximas de las precipitaciones en las regiones naturales de Cuba. Reporte de Investigación No 5, Instituto de Geografía, Academia de Ciencias de Cuba, La Habana.