

II Taller sobre REGIONALIZACIÓN DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS

Organizan



Universidad Católica de Córdoba - *Universidad Jesuita*
Facultad de Ingeniería



Universidad Nacional de Córdoba
Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales
Instituto Superior de Estudios Ambientales



Instituto Nacional del Agua
Centro de la Región Semiárida



Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Concordia
Facultad Regional Córdoba

Auspiciantes



Subsecretaría de Recursos Hídricos
de la Nación

AARH

Asociación Argentina de Recursos
Hídricos



Subsecretaría de
Recursos Hídricos
de la Provincia de Córdoba

Córdoba (Argentina), marzo de 2009

A dramatic landscape featuring a dark, stormy sky with heavy, dark grey clouds. A bright light source, likely the sun, is breaking through the clouds on the right side, creating a bright, hazy glow. Below the sky, a range of mountains is visible, with a town or city nestled in the valley. The foreground shows a residential area with houses and trees, including a prominent white house with a red roof. The overall mood is dramatic and atmospheric.

TORMENTAS DE DISEÑO

TORMENTAS DE DISEÑO CON DATOS ESCASOS – CASO DE BARILOCHE

Carlos PAOLI, Rosana HÄMMERLY, Ricardo GIACOSA, Pablo CACIK

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral, Santa Fe, Argentina

Ante la necesidad de pasar a proyecto ejecutivo las obras de drenaje urbano propuestas en el Estudio del Plan Director de la ciudad de Bariloche, se solicitó la revisión de los parámetros de diseño, dentro de ellos la determinación de las tormentas de diseño, incorporando a la vez la información adicional generada posteriormente a la formulación del Plan.

A tal efecto se efectuó una revisión del análisis de precipitaciones máximas diarias a través del contraste de datos y el planteo de correlaciones entre las estaciones cercanas para intentar justificar mejor los valores a trasladar de estaciones confiables como aeropuerto a valores representativos de ciudad, si es que ello era necesario. También se efectuaron nuevamente los análisis de frecuencia de distintas estaciones y para diferentes períodos.

A partir de la nueva información suministrada se mejoraron las estimaciones de las relaciones de cantidades máximas para distintas duraciones en la estación DPA ubicada en el centro de la ciudad, intentando inclusive el ajuste estadístico para recurrencias inferiores a 10 años.

En el caso de la estación aeropuerto ubicado fuera de la ciudad y sobre cuyos datos se elaboraron algunas curvas I-D-T históricas, la serie de datos presenta grandes interrupciones en períodos intermedios, volviendo modernamente a generar registros que también se incorporaron con la finalidad de efectuar una comparación con la serie de la estación DPA.

Debe quedar claro que todas son aproximaciones con un grado de incertidumbre variable que se irán acotando en la medida en que se disponga de mayor longitud de registros y se puedan ir ajustando progresivamente las curvas I-D-T para la estación más representativa de la ciudad. A los efectos de adoptar valores de diseño para el dimensionamiento de medidas de intervención (obras o medidas no estructurales), son válidas las simplificaciones establecidas, mientras nos se disponga de mejor información.

De los análisis realizados queda claro que la mejor alternativa metodológica que finalmente se adoptó fue la de conformar las tormentas de diseño a partir del Análisis de Frecuencia, maximización y trazado de las curvas I-D-T de la serie 1999-2006 de la estación Bariloche-DPA, debido a que la serie moderna de años de tormentas de Aeropuerto es más corta y las correlaciones analizadas no indican como recomendable la transposición de valores al no asegurar una mayor confiabilidad.

La “tormenta de diseño”, también denominada “tormenta de proyecto” tiene como sus denominaciones lo indican, una finalidad netamente ingenieril y su adopción tiene en cuenta el uso a realizar de la misma, pudiendo por lo tanto diferir aun para un mismo sitio según los requerimientos y condiciones de aplicación. Esto generalmente no es bien entendido y a veces se confunde la disposición de “la curva I-D-T”, que sí es una característica establecida de las lluvias locales, con “la tormenta de diseño”, que debe construirse para cada caso entre otras cosas a partir de la curva I-D-T. Cinco son las características principales que definen una tormenta de diseño y que es necesario adoptar y combinar: Recurrencia de la tormenta de diseño; Intervalo o paso de tiempo del hietograma (dt); Duración de la tormenta; Distribución de intensidades Máximas y Distribución areal

Se analizó la distribución temporal de las tormentas máximas seleccionadas para la duración total de las mismas, donde se observa que se presentan situaciones de lluvia que pueden abarcar largos períodos de tiempo de 2, 3 o más días de duración, en algunos casos con lluvias débiles y persistentes. En otros casos se van sucediendo eventos lluviosos de entre 2 a 8 horas con interrupciones y decaimientos importantes del monto de lluvia entre evento y evento. Son muy pocas las situaciones en que se producen altas concentraciones de lluvia para intervalos de tiempo inferiores a la hora. En función de realizar un análisis más pormenorizado se estudió la distribución temporal relativa para duraciones de 2 y 6 horas. Para ello se seleccionaron los núcleos de tormentas de 2 y 6 hs de duración, y se elaboraron los diagramas de Huff.

A partir de los resultados obtenidos se elaboraron tormentas de diseño para duraciones de 30, 60 y 120 minutos y se decidió adoptar una distribución centrada

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE VALORES EXTREMOS DE PRECIPITACION EN EL ÁREA METROPOLITANA BUENOS AIRES

Tito LASANTA, Blanca VITALE

Universidad Tecnológica Nacional –Facultad Regional Buenos Aires

Se presenta en el trabajo el estudio estadístico de valores extremos de precipitación en el Área Metropolitana Buenos Aires (AMBA). El área bajo estudio está caracterizada por una fuerte antropización, donde la transformación de medios naturales en áreas urbanizadas, produjo serias alteraciones ecológicas y consecuencias económicas y sociales negativas, agravadas en los últimos años como consecuencia del denominado cambio climático.

El planteamiento del problema se resume en la determinación de una distribución de lluvias adecuada. La investigación enfatiza el estudio de datos de precipitación para la determinación de una distribución teórica de probabilidades asociada a la ocurrencia de los eventos extremos, así como la determinación de intensidades de valores extremos de lluvia para diferentes recurrencias, a partir de series de precipitaciones. Se aplicaron distribuciones teóricas para series de lluvias representativas del área de estudio, convalidadas mediante la aplicación de las pruebas de bondad de ajuste correspondientes.

Los datos procesados estadísticamente en el presente trabajo corresponden al intervalo de tiempo entre 1990 y 2004. Las estaciones consideradas proporcionan buena cobertura geográfica y las series seleccionadas, en los períodos adoptados, presentan buena calidad de la información. No ha sido posible disponer de períodos de una extensión mayor, que presenten simultáneamente buena calidad de información en las tres estaciones consideradas; no obstante, se considera que los resultados del análisis estadístico realizado constituyen una aproximación válida.

Se han considerado cuatro estaciones, seleccionándose las siguientes tres fuentes: Estación meteorológica Estefanía, del Instituto Nacional del Agua (INA), con registros desde 1994 a 2003; Estación meteorológica Villa Ortúzar, del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la Fuerza Aérea Argentina, con registros desde 1990 a 1999; y Estación meteorológica del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), en Castelar, con registros desde 1990 a 2004.

Se agregó al estudio una serie de extremos de contaminaciones por cloruros obtenidos mediante registros sistemáticos de grados de contaminación con cloruros (de hidrógeno, zinc, vinilo, mercurio, metileno y férrico) medidas en el Río de la Plata, en la toma de agua para suministro de agua potable a la Ciudad de Buenos Aires, medidos por la empresa Aguas Argentinas.

Se analizaron modelos de regresión vinculando los datos y se aplicaron herramientas estadísticas, que permitieron probar el cumplimiento de las hipótesis básicas de homogeneidad de los datos. De cada estación se consideraron series de intensidades de lluvias, medidas en milímetros por minuto, considerando intervalos, de 5, 10, 15, 20, 30, 45 y 60 minutos, así como de 2, 3, 4, 6, 12, 24 y 48 horas, generándose, en consecuencia, una cantidad mínima de 14 series de valores extremos por estación disponiendo así, de 42 series de extremos de lluvias.

Los valores extremos son, de acuerdo con Riccardi (2004), valores máximos o mínimos seleccionados de un conjunto de datos, como por ejemplo valores máximos de cada período de registro histórico. En Leadbetter et al (1982), se estudian las relaciones existentes entre los valores extremos y los procesos aleatorios que los originan y se presenta la teoría clásica de valores extremos, en la que se especifican las formas posibles de las distribuciones límites de máximos, que constituyan secuencias de variables aleatorias independientes. Como indican los autores, Fisher y Tippett demostraron que las distribuciones de valores extremos, seleccionadas de conjuntos de muestras de cualquier distribución de probabilidad, convergen en tres familias de distribuciones estables llamadas distribuciones de valores extremos tipo I, II y III, conocidas como distribuciones de Gumbel, Frechet y Weibull respectivamente.

Se ajustaron a las series de valores extremos de las frecuencias empíricas observadas, las distribuciones teóricas de extremos expuestas en el párrafo anterior, estimando los parámetros de las distribuciones mediante los momentos, calculados con los datos de las series de lluvias y de contaminantes. Se agregó al análisis el ajuste mediante la distribución de Pareto, que es de aplicación frecuente en el estudio de datos particulares. Como se trabajó en forma directa con series de extremos depuradas, se tomó como umbral, para todas las distribuciones, el mínimo valor de cada serie.

Como conclusión puede decirse que como consecuencia del análisis de los resultados obtenidos, se observa que la distribución de Gumbel es la más apropiada en el ajuste de series empíricas de valores extremos de intensidades de precipitación. Se observó que tal conclusión es válida para las 14 series de diferentes valores de intensidad de lluvia, que analizamos en cada una de las 3 estaciones meteorológicas consideradas. En efecto, se comprobó que la distribución de Gumbel proporcionó un mejor ajuste, en las 42 series de lluvias que analizamos. A la misma conclusión se arriba en el análisis del ajuste de distribuciones, sobre las series de contaminantes.

BIBLIOGRAFÍA

LEADBETTER, M.; *Extremes and Related Properties of Random Sequences and Processes*. New York. Springer Verlag. 1982

BRAS, Rafael; RODRÍGUEZ ITURBE, Ignacio. *Random Functions*. Addison Wesley. 1985.

VUJICA, Yevjevich. *Probability and Statistics*. Fort Collins. WRP. 1978

BOWKER, Albert. *Estadística para Ingenieros*. México. Prentice Hall. 1984.

BENJAMÍN, Jack. *Probabilidad y Estadística*. Colombia. Mc. Graw Hill. 1999.

MILLER, Tyler. *Introducción a la Ciencia Ambiental*. Madrid. Thomson. 2002.

GREENPEACE. *Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes*. Documento Institucional. Netherlands. Greenpeace. 2001.

RICCARDI, Gerardo. *Hidrología en Medios Antropizados*. Rosario. UNR. 2004.

TORMENTA DE PROYECTO PARA EL GRAN MENDOZA

Patricia LÓPEZ, Jorge MAZA

Instituto Nacional del Agua (INA)

En este estudio se utilizaron las Series de Máximos Anuales y para obtenerlas se procesaron los registros de todos los sensores de precipitación de la red telemétrica operada por el CRA desde 1983.

Se consideró importante incorporar en este análisis, trece tormentas importantes observadas en la estación Observatorio Parque Gral. San Martín del SMN (período 1946-1965) y la del 4 de enero de 1970 en la estación Chacras de Coria (SMN) como parte del registro de los sensores 2100 y 2200, respectivamente.

La prueba de Mann-Whitney fue utilizada para probar si las observaciones provenientes de la estación Observatorio y las del sensor 2100 podían ser consideradas como pertenecientes a la misma población. Para todas las duraciones analizadas se aceptó la hipótesis nula para un nivel de significación α del 10% (prueba dos lados), es decir, las dos muestras independientes pertenecen a la misma población y en consecuencia fueron consideradas en el análisis como una sola.

La aplicación de una técnica de análisis regional de frecuencias (*índice de crecientes*) permitió incluir toda la información disponible en el pedemonte mendocino.

A pesar de que todos los sensores se encuentran localizados en un área relativamente pequeña, y en consecuencia se podría suponer que los registros son homogéneos, se decidió aplicar una prueba de homogeneidad desarrollada por Langbein. Esta prueba se aplicó a todas las series de duraciones 5, 30, 60 y 120 minutos y los resultados obtenidos demuestran que las series se pueden considerar homogéneas, ya que todos los valores están comprendidos entre las curvas límite.

El análisis regional de frecuencias requiere determinar la función de distribución para toda la región homogénea. Existen numerosas técnicas para evaluar la bondad de ajuste, en este estudio se decidió utilizar los diagramas de momentos L.

Se utilizaron los resultados obtenidos de la aplicación de la prueba de homogeneidad, para determinar si las series ajustan a una VE1 o GVE. La prueba de homogeneidad exigió el ajuste de distribuciones VE1 o GVE a todas las series de duraciones 5, 30, 60 y 120 minutos. Con el propósito de investigar cuál de éstas era la más apropiada se utilizó una prueba estadística potente para esta finalidad. En este trabajo se optó por la distribución VE1 para ajustar la curva regional, para todas las duraciones analizadas.

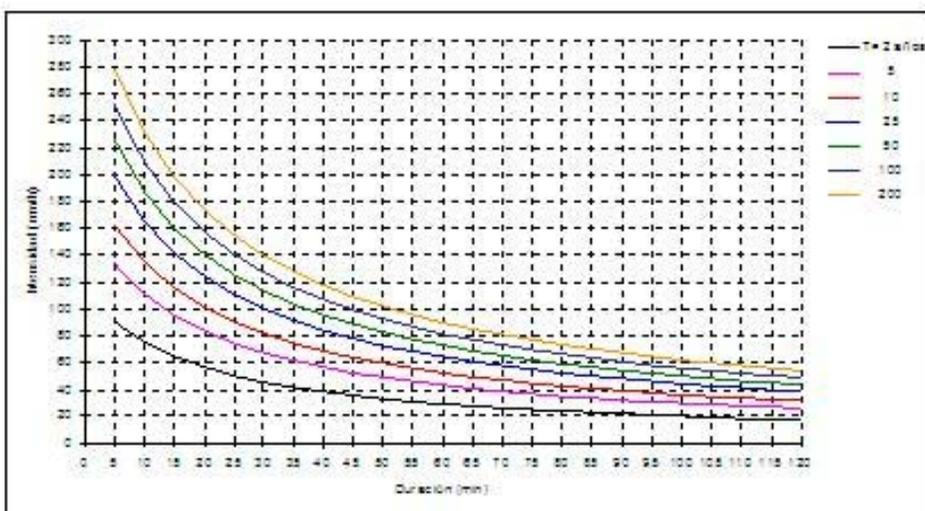
Un tema relevante en el análisis de frecuencias es la selección del método de estimación de parámetros de la función de distribución escogida, ya que distintas combinaciones Distribución - Método de Estimación (D/E) no solamente producen estimaciones diferentes, sino que algunas producen estimaciones más eficiente y robustas. El empleo del *índice de crecientes* combinado con GVE/momentos-L produce, para una región homogénea, estimaciones más robustas y confiables que el ajuste de distribuciones de dos o más parámetros a cada estación, principalmente cuando los registros son cortos. Por lo expuesto, se decidió utilizar este método para estimar los parámetros de la distribución VE1 regional.

Los resultados de este estudio permiten estimar, para cualquier sensor de la red, las relaciones funcionales IDF para duraciones de 5 a 120 minutos y períodos de retorno deseados y una IDF media para la región que se adjunta.

En base a los hietogramas de 16 tormentas registradas en la Red Hidrometeorológica Telemétrica del INA-CRA y de 7 tormentas registradas en estaciones del SMN, se pudo obtener una distribución temporal media que caracteriza a las tormentas de la región. Los mencionados hietogramas se transformaron a curvas de precipitaciones acumuladas y se hicieron adimensionales, considerando los totales de precipitación y de duración. Se realizó un análisis de regresión con varias expresiones, dando el mejor ajuste ($R^2 = 0,9564$) la correspondiente a la función de densidad de probabilidades acumulada acotada en sus extremos (0;1) conocida como BETA de dos parámetros

En base a los mapas de isohietas de 17 tormentas registradas en la Red Hidrometeorológica Telemétrica del INA-CRA se pudo obtener una curva de decaimiento espacial (exponencial negativa) media que caracteriza a las tormentas de la región.

Relaciones Intensidad Duración Frecuencia (IDF) para el pedemonte del Gran Mendoza



Hietograma de diseño de duración 1 hora

Tiempo (min)	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
% Lámina total	4.2	9.7	12.7	14.0	14.0	13	11.2	8.9	6.4	3.9	1.7	0.3

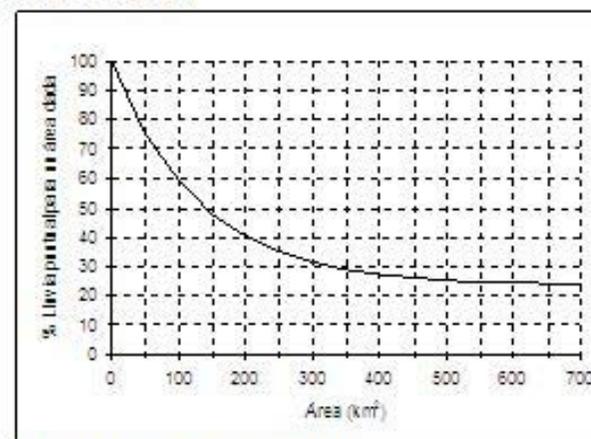
Relación IDF ajustada

$$I_{D,T_R} = \frac{c(T_R)}{(D+0.268)^{0.333}}$$

I_{D,T_R} = Intensidad (mm h); D = Duración (h)

T_R (años)	2	5	10	25	50	100	200
$c(T_R)$	36.049	53.303	64.727	79.161	89.869	100.498	111.088

Curva Lámina-Área para reducir precipitación puntual a valores promedios en el área



Relación Lámina-Área ajustada

$$\% \text{ Lluvia puntual} = 1 - 0.7632(1 - e^{-0.00169 A})$$

A = Área (km²)

DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN INTENSIDAD – DURACIÓN – RECURRENCIA PARA LA CIUDAD DE LA RIOJA

Juan Francisco WEBER

Laboratorio de Hidráulica, Departamento de Ingeniería Civil, Fac. Reg. Córdoba, UTNI, Maestro M. López esq. Cruz Roja Arg., Cdad. Universitaria - CP (X5016ZAA) - Córdoba, Argentina, jweber@civil.frc.utn.edu.ar

RESUMEN.

Para diversos proyectos de obras hidráulicas, tales como vertederos, sistemas de drenaje, etc. como así también en la zonificación de un sitio en base al riesgo hídrico, es necesario conocer tres propiedades que caracterizan las precipitaciones máximas: intensidad, duración y recurrencia (o periodo de retorno). La relación entre estas tres variables se debe deducir a partir de las observaciones de lluvias intensas durante un periodo de tiempo suficientemente largo y representativo de los eventos extremos locales (Tucci, 1993). Contar con las curvas i-d-T para un determinado sitio permite simplificar considerablemente los posteriores trabajos de diseño hidrológico.

El presente trabajo tiene como objetivo determinar la relación intensidad – duración – recurrencia (idT) para las lluvias máximas de la ciudad de La Rioja, República Argentina, a partir de los datos pluviográficos recolectados por el SMM y actualmente disponibles en la APA (Weber, 2008).

La información pluviográfica disponible abarca un periodo discontinuo de 25 años hidrológicos, subdividido en tres subperiodos: el primero, desde 1961 hasta 1978; el segundo, desde 1981 hasta 1989; y el tercero, desde 1995 a 1998. Cabe destacar que si bien la información se extiende más allá de estos límites, debido a la falta de completitud de algunos años la longitud efectiva de la serie fue reducida. Para caracterizar el año hidrológico, se realizó un análisis de frecuencias de precipitaciones en función de cada mes.

Para asignar probabilidades de excedencia (y por tanto periodos de retorno) a las intensidades máximas anuales, se siguió el procedimiento de las posiciones de graficación o posiciones de ploteo (Chow et al, 1994). Para ello se utilizó la fórmula de Weibull.

Se consideraron tres tipos de relaciones idT:

- la fórmula de Sherman
- la ecuación de Bogomazov y Petrov, aplicada sobre los logaritmos de las láminas
- el modelo DIT (Caamaño y Dasso, 2003)

En particular, para la aplicación de este último, se realizó un análisis estadístico que permitió justificar la aplicabilidad de la distribución lognormal a la serie considerada.

Se realizó un ajuste de los parámetros de los tres tipos de relaciones idT consideradas, a través de un software de optimización desarrollado ad hoc. Los parámetros de calidad de ajuste considerados fueron: el desvío estándar de la estimación y el coeficiente de determinación.

Se concluye que el modelo DIT es el más adecuado para representar la serie considerada, obteniéndose de este modo los parámetros de una relación idT para la ciudad de La Rioja, de directo uso en problemas de diseño hidrológico. Se muestran las importantes diferencias de las primeras dos fórmulas consideradas frente a este último modelo, en particular para periodos de retorno altos. A su vez, se destaca la ventaja de ajustar un modelo como el DIT de base estadística (Caamaño y García, 1999), lo cual permitiría en un futuro su transposición a otras estaciones pluviométricas de la provincia.

REFERENCIAS

Caamaño Nelli, G., Dasso, C. (2003). Lluvias de Diseño. Universitas, Córdoba.

Caamaño Nelli, G., García, C. M. (1999). Relación intensidad-duración-recurrencia de lluvias máximas: enfoque a través del factor de frecuencia – caso lognormal. Ingeniería Hidráulica en México, Vol. XIV, Num. 3, pags. 37-44.

Chow, V. T., Maidment, D. R., Mays, L. W. (1994). Hidrología Aplicada. Mc Graw Hill, Santa Fe de Bogotá.

Tucci, C. M. (1993). Hidrologia: Ciência e Aplicação. Editora da Universidade, UFRGS.

Weber, J. F. (2008). Determinación de la relación intensidad – duración – recurrencia para la ciudad de La Rioja. Informe técnico – Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional La Rioja. Convenio U.T.N., F.R.L.R. - Dir. Prov. de Vivienda y Urbanismo, Programa de Mejoramiento de Barrios II (1842/OC-AR).

ACTUALIZACION DE RELACIONES INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA (IDF) DE LA CIUDAD DE RAFAELA

(PROVINCIA DE SANTA FE, ARGENTINA)

*Juan Carlos BERTONI⁽¹⁾, Facundo Matías GANANCIAS MARTÍNEZ^{(1), (2)}, Juan Pablo BRARDA^{(1), (3)},
Oscar TIBALDO⁽³⁾, Cristian RUDOLF⁽³⁾ y Luis VERGA⁽³⁾*

(1) Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba, (2) Becario CONICET – Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Provincia de Córdoba, (3) Dirección de Estudios y Proyectos. Secretaría de Obras Públicas. Municipalidad de Rafaela

En el campo de la ingeniería hidrológica el estudio de curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) interesa para el proyecto de obras hidráulicas menores tales como puentes, canales, alcantarillas, desagües urbanos, etc.

En este trabajo se sintetizan las tareas realizadas con el fin de actualizar las curvas IDF correspondientes a la ciudad de Rafaela (Santa Fe, Argentina) para duraciones comprendidas entre 5 min y 3 días y tiempos de retorno entre 2 y 100 años. Se emplearon informaciones pluviométricas de la estación INTA Rafaela (período 1930-2006) y registros pluviográficos (período 1970-2006). Fueron aplicadas doce distribuciones estadísticas teóricas alternativas, ajustadas mediante seis métodos posibles de estimación de parámetros. La selección del modelo se basó en el Error Estándar de Ajuste y en el gráfico sobre papel probabilístico, resultando la distribución Generalizada Exponencial, con los parámetros ajustados por Máxima Verosimilitud. Una única ecuación, con cuatro parámetros calculados por regresión múltiple (Mínimos Cuadrados) representa la nueva familia de curvas IDF.

Un método de regionalización de curvas IDF, basado en datos provenientes de varias ciudades del territorio argentino, fue utilizado para comparar los valores de intensidades obtenidos. También se analizaron las curvas IDF de otras localidades de la región. En todos los casos se observó una buena adecuación general.

ANÁLISIS DE LAS LLUVIAS MÁXIMAS DIARIAS EN LA REGIÓN CHAQUEÑA

Luís Olmos, Jesús Ibáñez, Daniel Farías.

Instituto de Recursos Hídricos, Fac. de Cs. Exactas y Tecnologías, UNSE- Av. Belgrano (S) 1912, (4200) Santiago del Estero, Argentina - E-mail: lolmos@unse.edu.ar - hdf@unse.edu.ar - jesus_7603@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

Debido a la carencia de información básica, se utilizan diversas metodologías sintéticas para deducir el caudal de diseño en obras hidráulicas de control cuyo período de retorno no supera los 50 años.

El trabajo consiste en poder presentar una expresión matemática por cada subregión o un mapa con la distribución espacial de la lluvia máxima diaria. Para lograr dicho objetivo, se evalúa la aplicación del método de Índice de Creciente (I.C.)

La región de estudio es una parte de la llanura chaqueña que abarca casi la totalidad de las siguientes provincias: Santiago del Estero (83 estaciones), Formosa (35 estaciones) y Chaco (41 estaciones). Además una franja de la provincia de Tucumán (con 18 estaciones), limítrofe con Santiago del Estero y la parte centro este de la provincia de Salta (con 15 estaciones) y Jujuy (con 9 estaciones). Las series de datos que están comprendidas entre los años 1954 hasta el año 2006, trabajándose como mínimo con series de 25 registros.

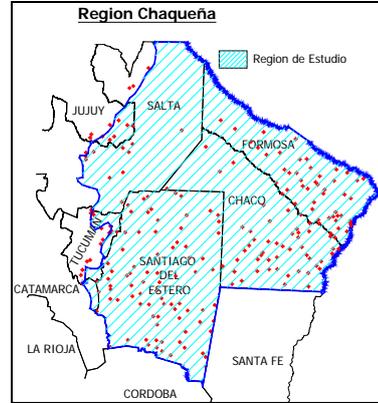


Figura 1. Ub. Geográfica de estaciones estudiadas.

DESARROLLO DE LA METODOLOGÍA DEL I.C.

Análisis de Frecuencias

El análisis de frecuencia hidrológicos (AFH) se basó en la serie del máximo anual (AMS), es decir, en el evento más grande en cada año completo de registro.

Luego del proceso de validación de datos, se lleva a cabo el ajuste de una serie de cuatro funciones de probabilidad.

Que proporcionar la flexibilidad suficiente para representar los datos hidrológicos extremos (Olmos et al, 2006). Las funciones utilizadas son: Log Normal de Tres Parámetros (LN3), Pearson III (P3), Log Pearson III (LP3) y General de Valores Extremos de Tres Parámetros (GVE).

Para llevar a cabo la selección del modelo probabilístico se utiliza el índice Chi². Dicho índice para una serie de datos estimados con un modelo teórico es:

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^N \frac{(O_j - e_j)^2}{e_j} \quad [1]$$

Dónde O_j y e_j son los datos observados y estimados respectivamente. La aplicación de este test da como resultado que la distribución de Valores Extremos Generalizada es la que mejor ajusta.

$$\frac{P_{TRi}}{P_{Mi}} = a - b \cdot \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{TR} \right) \right] \quad [4]$$

Calculo de los Índices de Creciente

En primer lugar se determina el índice de creciento para cada estación en base a:

$$XTR_j = PTR_j / PM_j \quad \text{para todo TR y j estaciones} \quad [2]$$

PM_j : P_{2,33} años de retorno

PTR_j: la precipitación para 2, 5, 10, 20, y 50 años

Definidos estos índices, se definen las subregiones en base a los criterios siguientes y que definen la división presentada en la Figura 2.

1) La región de estudio se sectoriza respetando la división de la llanura chaqueña (Húmeda, Seca, Semiárida)

2) En una segunda etapa en función del índice climático de Demartone. Fig. 2.

$$IM = (P/T+10) \quad [3]$$

P: Precipitación Media Anual

T: Temperatura Media Anual

3) Usando la altimetría y su ubicación relativa con respecto a cordones orográficos o la zona costera atlántica.

4) Por último se uso el coeficiente de asimetría. Con estas subregiones y los promedios de los índices para TR por subregión se determina la curva de frecuencia o índice de creciento regional respectiva. La ecuación general ajustada es la (4) y los parámetros de la misma por subregión se presenta en la Tabla 1.

Test de Homogeneidad Regional de Langbein

Para probar la homogeneidad de las subregiones seleccionadas se aplica el test de Langbein. El test consiste de los pasos siguientes:

A) Para cada estación se determina la precipitación para Tr de 10 y 2,33 años mediante su función de frecuencia ajustada.

B) Para cada estación se calcula el cociente entre estos valores y se promedia los mismos por subregión seleccionada.

C) Para cada estación se multiplica la P_{2,33} con el promedio de los cocientes para obtener una P₁₀ corregida.

D) Con la función de frecuencia ajustada (GEV) de cada estación se determina el tiempo de retorno de la P₁₀ corregida.

Tabla 1.- Parámetros por subregión

Parametros	Zona 1	Zona 2	Zona 3
a	0,85009	0,82278	0,75378
b	0,26149	0,28521	0,39259
Correla.	0,99997	0,99877	0,99841
Parametros	Zona 4	Zona 5	Zona 6
a	0,76725	0,81841	0,89788
b	0,37146	0,31431	0,24104
Correla.	0,99842	0,99985	0,98442
Parametros	Zona 7	Zona 8	Zona 9
a	0,87947	0,79757	0,85604
b	0,22532	0,33776	0,26336
Correla.	0,99847	0,99989	0,99914
Parametros	Zona 10	Zona 11	Zona 12
a	0,80617	0,83956	0,82354
b	0,32631	0,28776	0,30762
Correla.	0,99995	0,99959	0,99997
Parametros	Zona 13	Zona 14	Zona 15
a	0,80406	0,84016	0,83950
b	0,33879	0,27114	0,25701
Correla.	100,000	0,99994	0,99917
Parametros	Zona 16	Zona 17	Zona 18
a	0,79197	0,81724	0,89142
b	0,33656	0,30723	0,20457
Correla.	0,99893	0,99983	0,99879
Parametros	Zona 19	Zona 20	Zona 21
a	0,82425	0,79210	0,81939
b	0,29101	0,33407	0,29835
Correla.	0,99957	0,99850	0,99950

E) Se dibujan los Tr ajustados versus la longitud de registro de su estación (en años). Si los puntos están dentro de los límites de confianza la subregión es homogénea. Los puntos fuera de estos límites no deben ser usados. (Ponce, 1994)
 Los límites de confianza obtenidos se presentan en la Tabla 2 para una confiabilidad del 95% (Dalrymple, 1960) y los resultados obtenidos se presentan en la Figura 3.

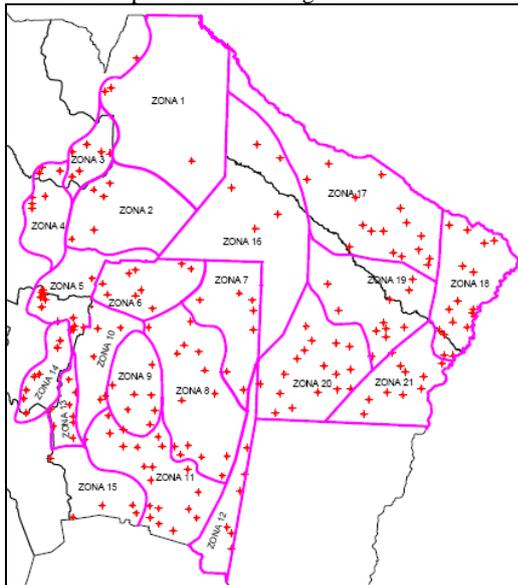


Figura 2- Subregiones definidas para la regionalización

Tabla 2.- Límites de confianza para el test de Langbein

n (años)	Límite de confianza inferior	Límite de confianza superior
5	1,2	160
10	1,85	70
20	2,8	40
50	4,4	24
100	5,6	18
200	6,5	15,5
500	7,7	13
1000	8,3	12

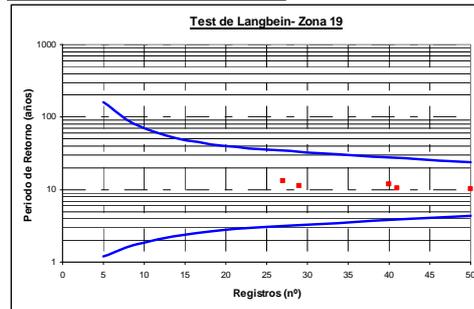


Figura 3 - Test de homogeneidad para la Zona 19

Regionalización la variable normalizada PM

El proceso de regionalización consiste en evaluar la correlación de la variable normalizada PM, es decir la precipitación para 2,33 años de recurrencia, en función de algún atributo asociado a la precipitación que tenga una distribución espacial. Una vez obtenida esa relación, se está en condiciones de obtener la precipitación máxima diaria de proyecto para cualquier punto de interés de la región en estudio mediante $PTR = XTR * PM$.

En el caso particular la expresión utilizada para evaluar la correlación de la precipitación normalizada en función de las variables independientes normalizadas se presentan a continuación y los resultados en la Tabla 3.

$$PTRI = A + B * Alt + C * X + D * Y \quad [5]$$

Tabla 3 – Parámetros de la ecuación de $P_{2,33}$ por subregión

Parámetros	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Parámetros	Zona 13	Zona 14	Zona 15
A	-3,46056324	4,49661505	119,4268067	A	-5,9171574	9,36149754	7,07892719
B	0,018925428	0,019039218	-1,24502486	B	-0,000992993	0,010199498	0,068804709
C	-0,44145108	-4,66501269	29,3885831	C	-0,053042526	-2,17093015	-1,03893257
D	0,81471313	1,85625841	29,87108123	D	1,03051769	1,92427298	-0,37019764
Correla.	0,776	0,876	0,825	Correla.	0,6782	0,9082	0,9999
Parámetros	Zona 4	Zona 5	Zona 6	Parámetros	Zona 16	Zona 17	Zona 18
A	-6,19481893	5,54190562	15,52665986	A	7,73903114	3,39667333	1,12937164
B	-0,037285867	-0,10204709	0,24640678	B	-0,050857853	0,20747383	-0,29217879
C	-3,45465475	0,36772793	1,8603539	C	-1,06883718	0,92791584	-0,74403286
D	2,74607366	-0,73452027	-3,11495213	D	-0,33672492	-0,89427119	0,45541729
Correla.	0,896	0,925	0,6986	Correla.	0,9213	0,6913	0,6054
Parámetros	Zona 7	Zona 8	Zona 9	Parámetros	Zona 19	Zona 20	Zona 21
A	-4,63618411	15,66452108	-16,534197	A	-2,71190887	-2,52434086	-2,67888815
B	-0,36282164	-0,26819152	-1,45583129	B	2,14966692	0,12378498	-1,28264986
C	0,54585721	1,74513649	2,95159578	C	6,9379393	0,011222917	-3,51067812
D	0,5831279	1,49779797	4,43692249	D	-3,79913311	0,51981512	2,7384674
Correla.	0,7461	0,6291	0,931	Correla.	0,7772	0,6189	0,7172
Parámetros	Zona 10	Zona 11	Zona 12	Parámetros	Zona 10	Zona 11	Zona 12
A	-15,71664654	-18,7069145	1,19947062	C	6,99378864	2,07634769	1,56935552
B	0,22252998	0,002923387	0,41566102	D	-1,36158674	1,75420341	-0,97628967
Correla.	0,8325	0,6345	0,652	Correla.	0,8325	0,6345	0,652

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- *La función de probabilidad adoptar en la estimación de la PMD en la región seca de la llanura chaqueña es la GVE.
- *El método del Índice de Creciente es de simple aplicación, pero para regionalizar se requiere de conocimiento de S.I.G.
- *El proceso de discretizar en un mayor número de subregiones, fue justificado con la comparación de la curva de frecuencia regional general versus la de cada subregión, obteniéndose diferencias superiores al 10% a partir de períodos de retorno de 5 años.
- *Los coeficientes de correlación son muy buenos en la mayoría de los casos y aceptable en el resto, lo que indica la bondad y robustez de la adaptación del método al estudio de lluvias máximas diarias.
- *La obtención de expresiones que definan la distribución espacial de la PMD permiten a través de métodos sintéticos (Bell, Chen, Fernandez, S.C.S.), previa transformación en lluvia máxima de 24 horas, obtener directamente las curvas I-D-F para cualquier sitio de interés en la región de estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

*Dalrymple (1960): Flood-Frequency Analysis; Manual of Hydrology; Part3: Flood-Flow Techniques; Geological Survey Water-Supply Paper 1543-A

*Farías, G., Dessi, A., Maselli, F. y Crotti C. (2006): Integración de Series de Datos Satelitales y Climáticos para la Definición de Areas Climáticamente Homogéneas en el Centro Nordeste de Argentina. Centro de Investigación, Observación, Monitoreo territorial y Ambiental. Santa Fé, Argentina.

*Olmos L., Borsellino M. y Mattar M. (2.006) " Estudio de las Lluvias Máximas Diarias de la Pcia. de Jujuy" XXII Congreso Latinoamericano de Hidráulica – C. Guayana, Venezuela.

Ponce, V.M. (1994): Engineering Hydrology – Principles and practices; Prentice Hall.

HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA LA VISUALIZACIÓN Y CÁLCULO DE TORMENTAS DE DISEÑO EN LA PROVINCIA DE ENTRE RÍOS.

Eduardo A. ZAMANILLO, Gustavo R. LARENZE, María Josefina TITO, Martín M. PÉREZ, María Eugenia GARAT.

Facultad Regional Concordia. Universidad Tecnológica Nacional. Salta 277. Concordia. Entre Ríos.
Teléfono / Fax: +54 345 421 4590. E-mail: gihha@frcon.utn.edu.ar, jostit@ai.fcad.uner.edu.ar

RESUMEN:

El objetivo de este trabajo es presentar las herramientas informáticas que permiten tanto la visualización como el cálculo de tormentas de proyecto para períodos de retorno menores de 50 años que se presentan en el Manual de Tormentas de Diseño para la Provincia de Entre Ríos.

En este sentido se presentan dos versiones de consulta: un Sistema de Información Geográfica (SIG) que utiliza la plataforma ArcExplorer 2, y una versión en formato HTML.

También se presenta una aplicación que funciona en un entorno Excel con macros programadas en Visual Basic, y que se utiliza como herramienta de cálculo para estimar la Precipitación Máxima Diaria, la relación I-D-T y la distribución temporal de tormentas de distintas duraciones para cualquier coordenada geográfica ubicada en el ámbito de la Provincia de Entre Ríos.

Palabras clave: cálculo tormentas de diseño, sistemas de información geográfica, relaciones I-D-T

PROPUESTA DE TORMENTA DE DISEÑO PARA EL ÁREA DEL GRAN ROSARIO.

E. ZIMMERMANN, G. RICCARDI, P. BASILE y C.V. LÓPEZ

CURIHAM - Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales. Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Universidad Nacional de Rosario. Riobamba 245 bis (2000) Rosario. Santa Fe. Argentina, e-mail: erikz@fceia.unr.edu.ar

El presente trabajo tiene por objetivo estimar una tormenta de diseño compatible con las características pluviométricas observadas en el área del sur santafecino. La propuesta incluye el análisis de información pluvial regional, la estimación de hietogramas horarios, las condiciones precedentes de humedad y la distribución espacial de la tormenta.

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN PLUVIAL REGIONAL

En principio se observaron intensidades máximas asociadas a las principales lluvias convectivas observadas en nuestra región en los últimos 15 años aproximadamente, las cuales produjeron severos procesos de inundación en las diferentes localidades afectadas (Pergamino 1995, Rosario 1996, Cañada de Gomez 2001, Serodino 2002, Chabas 2007, Alcorta, Melincué y Chovet 2008). Con dichas intensidades se elaboró una curva empírica envolvente que superó en magnitudes de intensidades la curva IDR actualizada para Rosario. La ecuación ajustada fue ($r^2=0.9255$):

$imáx = 527.19 D^{-0.3743}$ donde $imáx$ se expresa en mm/h y la duración D en minutos.

También se realizó un análisis de series temporales pluviométricas en nueve estaciones del sur santafecino detectando una tendencia creciente de los montos anuales de lluvia, aunque paralelamente no se detectó la misma tendencia con las precipitaciones máximas anuales. Analizando las frecuencias de ocurrencia de lluvia para los intervalos menores a 10 mm, entre 10 y 40 mm, 40 y 90 mm y mayores de 90 mm se detectó un aumento de la frecuencia de lluvias entre 10 y 40 mm, causa principal del incremento anual observado. Esto redundaba en condiciones antecedentes más húmedas.

PROPUESTA DE HIETOGRAMA DE DISEÑO.

Se han contemplado dos hietogramas de diseño: (a) uno con la metodología clásica considerando una tormenta de 5 días de duración, cuyas láminas diarias están distribuidas mediante el método de bloques alternos y obtenidas mediante análisis estadístico convencional. La distribución sub-diaria está basada en relaciones de láminas para distintas duraciones obtenidas de las IDR de Rosario; y (b) otro hietograma obtenido con las intensidades máximas extraídas de la envolvente empírica mencionada anteriormente, aplicando el método del bloque alterno. Se estimó un hietograma de 6 hs. de duración cuya precipitación total fue de 349 mm.

PROPUESTA DE CONDICIONES ANTECEDENTES.

Con el fin de estimar las condiciones antecedentes a las tormentas registradas se consideró un índice de precipitación antecedente (IPA), cuyo parámetro de decaimiento, variable estacionalmente, reflejó en buena medida la extracción de humedad del perfil del suelo mediante evapotranspiración. Por otro lado, se consideró una profundidad radicular representativa de las coberturas existentes y una variación del IPA acotada en el entorno de la humedad del perfil para punto de marchitez permanente y saturación. Esto permite asimilar el procedimiento, originalmente de base empírica, a un balance hídrico simplificado. Incluso el valor del IPA refleja el grado de saturación cuando se lo relaciona con los límites de humedad físicos.

Se determinaron valores de IPA para los días previos a las tormentas máximas anuales en cada estación considerada (6 estaciones del sur santafecino con períodos de hasta 70 años de datos) y se realizó un análisis estadístico de IPA, considerando esta variable con una distribución probabilística conjunta con la precipitación de diseño. Considerando las tormentas de gran magnitud, superiores a los 200 mm, se seleccionó una muestra de IPA para dichas tormentas y se consideró su distribución marginal.

Se han considerado para las lluvias de 10 años y 100 años de recurrencia dos situaciones de condiciones antecedentes para corridas preliminares del modelo de transformación lluvia-caudal a utilizar: (a) una moderada asociada a una recurrencia de dos (2) años y (b) una severa asociada a una recurrencia de veinte (20) años.

PROPUESTA DE DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA TORMENTA DE DISEÑO.

Se presenta un modelo estadístico de distribución espacial de tormentas basado en el uso de semivariogramas (SV) típicos del área de estudio, los cuales se utilizan en la metodología de interpolación espacial de kriging.

Para la determinación de los mismos se tomó una muestra representativa conformada por 11 tormentas registradas en 30 localidades, todas ubicadas en la cuenca del Arroyo Saladillo (Santa Fe, Argentina), en un área de influencia aproximada de 3000 km². Las tormentas, seleccionadas en el período 2002-2007, fueron de cinco días de duración con una media areal ponderada superior a los 75 mm.

Se observó un patrón lineal de los SV para las tormentas medias diarias mayores a 35 mm y un patrón exponencial para las tormentas menores. Los parámetros que definen los SV se relacionaron con las precipitación media del evento obteniéndose una buena correlación. Esto permite pronosticar un comportamiento espacial para la tormenta de diseño, asignando un patrón lineal para el SV, cuya pendiente y ordenada al origen se obtienen a partir de la lámina de lluvia propuesta.

La confección del patrón espacial de la tormenta se basó, entonces, en la metodología de interpolación de kriging considerando un decaimiento conforme al SV caracterizado por la lámina del foco de la tormenta, la cual es estimada previamente.

ANÁLISIS DE FORMULAS GENERALIZADAS PARA LLUVIAS INTENSAS CON APLICACIONES EN REGIONES DE SUDAMERICA

Hector Daniel FARIAS, Luis Alejandro OLMOS, Jesús Armando IBAÑEZ

Instituto de Recursos Hídricos, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Av. Belgrano (S) 1912, (4200) Santiago del Estero. Teléfono +54-385-4509563. Fax +54-385-4222595. E-mail: hfarias@bigfoot.com

En este estudio se presenta un análisis de las fórmulas generalizadas de Bell para lluvias intensas. A través de la aplicación de funciones IDF ajustadas con datos observados en varias estaciones de diversas de Argentina y Sudamérica, con una cobertura de varias sub-regiones climáticas importantes, se evalúan las capacidades de esta formulación con sus parámetros originales, proporcionándose recomendaciones sobre las ventajas y limitaciones para su aplicación, como los rangos de duraciones y de recurrencias. Asimismo se extiende el análisis a varias zonas de Sudamérica. Posteriormente se analizan posibles variaciones de los parámetros con un criterio regional, que permitan conseguir mejores ajustes para zonas definidas. Se encuentra que en la mayoría de los casos el mejoramiento en las predicciones con parámetros reajustados resulta marginal en relación a los resultados que se obtienen con la aplicación de las fórmulas de Bell sin alterar el valor de sus parámetros originales. Los resultados indican que en aquellas regiones con déficit de datos pluviográficos la aplicación de esta metodología puede constituir una alternativa aceptable para estimar las relaciones IDF, siempre que se tengan en cuenta las limitaciones de la misma.

PALABRAS CLAVES: Lluvias Intensas, Curvas IDF, Argentina, Sudamérica.

EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE PRECIPITACIONES Y TORMENTA DE DISEÑO APLICADOS A LA REGIÓN DEL VALLE INFERIOR DEL RÍO CHUBUT

Juan Serra, María Jesús Chachero

Departamento de Ingeniería Civil Hidráulica - Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco. Trelew, Chubut, Argentina. Tel/Fax: +54 (0) 2965 428403 - dich1@tw.unp.edu.ar, jserra@satlink.com - mjchachero@speedy.com.ar

El presente trabajo resume investigaciones y estado del arte en relación al régimen de precipitaciones y análisis de tormentas en la región del Valle Inferior del Río Chubut, y sus aplicaciones a casos.

En la década del '80, la antigua Dirección General de Estudios y Proyectos del Ministerio de Economía, Servicios y Obras Públicas de la Provincia del Chubut (MESOP), se proponía la realización de estudios, proyectos y obras de control de crecidas en diferentes urbanizaciones del Valle Inferior del Río Chubut. Ciudades como Rawson, Gaiman, Trelew, Dolavon y Puerto Madryn presentaban riesgos crecientes de inundaciones torrenciales por lluvias locales. Confluían a este riesgo la amenaza por crecidas de importantes "cañadones" urbanos, cuyas características y magnitud eran escasamente conocidas, y la elevada vulnerabilidad asociada, producto de la sostenida urbanización sin que medie una adecuada planificación y gestión territorial.

En ese contexto se desarrolla un primer estudio de precipitaciones (Vicenty, 1984), con una serie disponible de 10 años de datos (fajas pluviográficas) de la Estación Experimental del INTA en la ciudad de Trelew. Basado en esta predicción de IDF se proyectaron en esa década diversas obras hidráulicas menores que atendían a controlar efectos de crecidas en zonas urbanas.

En el período 1992-1995, el estudio de precipitaciones en la región del VIRCh es formalmente incorporado en un proyecto de investigación (Serra et al, 95), que incluyó la revisión de la documentación original y el método de análisis de tormenta, ampliando la serie a 14 años de datos, y el desarrollo de software de apoyo apropiado para la producción de funciones PDR-IDR. Los resultados fueron oportunamente publicados en el Congreso Nacional del Agua de La Plata en el año 1994 (Villegas et al, 1994).

Estos trabajos fueron base para el diseño de importantes obras de control de crecidas, entre las que se destacan obras de defensas en el cañadón Dolavon, Cañadón del Parque Industrial de Trelew, Cuenco 2 de Puerto Madryn y otras obras hidráulicas menores en el VIRCh. Se destaca también su aplicación en el proyecto de investigación de ordenación de cuencas en el área aluvional comprendida entre el Dique Florentino Ameghino y Boca Toma (Serra et al, 1998).

En Abril de 1998 ocurre un evento de características extraordinarias que abarca toda la región. La lluvia caída alcanzó 230,1 mm en sólo 54 horas, (según datos del Servicio Meteorológico Nacional para la ciudad de Trelew). Esta lluvia, caída en poco más de 2 días, es de una magnitud equivalente a la precipitación normal de un año y medio. No menos impactante resultó la máxima lluvia en 24 horas (151mm). La recurrencia de la tormenta estimada -en base a los estudios existentes -sin esta tormenta-, es de 170 años para la máxima diaria, y de 300 años para la máxima en 18 horas.

En 1998 se revisan las ecuaciones de tormenta incorporando cinco años de datos, y esta tormenta en particular. Para mejorar el ajuste se toman las distribuciones de duraciones menores a 24 horas proporcionadas por la serie de datos pluviográficos de INTA Trelew, y se ajustan a las tormentas diarias máximas del período 1933-1998 (SMN, Aeropuerto Trelew). La incorporación de estos nuevos datos modifica sustancialmente las estimaciones de IDF, y de lluvias máximas diarias. Los resultados obtenidos fueron de gran importancia para el diseño de nuevas obras de regulación, ajuste y rediseño de obras de evacuación y obras de defensas construidas en el período 1998-2000. El último estudio de revisión y actualización se efectúa en el año 2006, en el marco de otro proyecto de la misma línea investigativa (Serra et al, 2007). El "Estudio de Precipitaciones en la ciudad de Trelew, su análisis estadístico y ecuación de lluvia" (Chachero, 2006) provee el juste más reciente obtenido por métodos convencionales.

Intensidad-Duración-Recurrencia

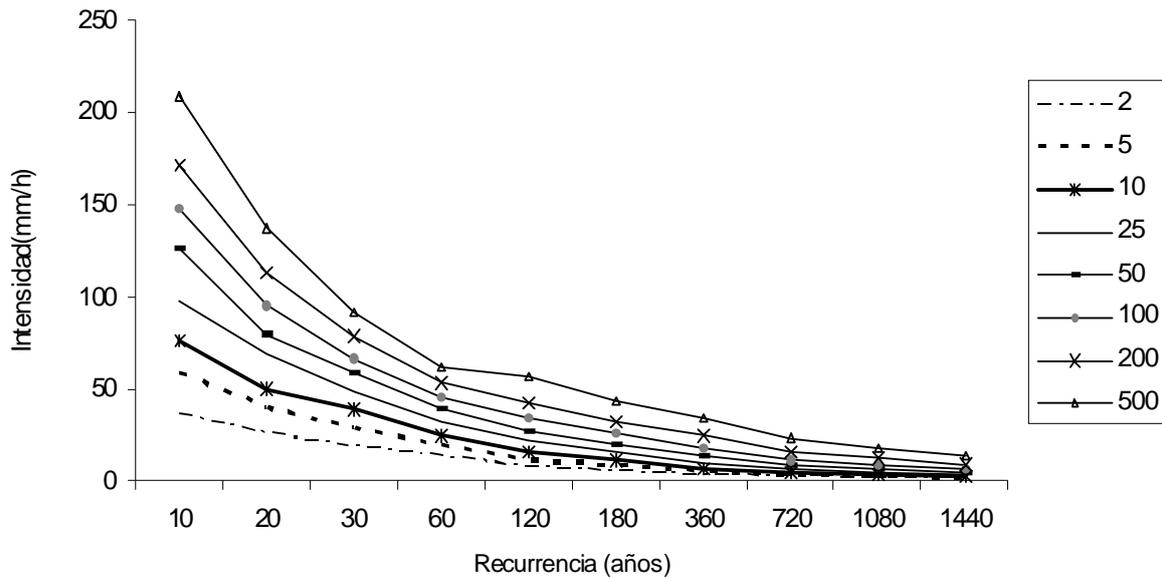


Fig. 1. Curvas IDF para Trelew y área de influencia, región del Valle Inferior del Río Chubut (Chachero, 2006)

El mejor ajuste para este trabajo se ha obtenido separando en dos familias de curvas, correspondiendo un primer grupo a duraciones hasta 120 minutos y el segundo para duraciones mayores a 120 minutos, resultando:

$$D \leq 120 \text{ minutos: } i = \frac{141.36 \cdot T^{0.302}}{d^{0.61n}} \quad D > 120 \text{ minutos: } i = \frac{136.45 \cdot T^{0.442}}{d^{0.693}}$$

Las ecuaciones logradas contribuyen a mejorar el conocimiento que se tiene sobre el régimen de precipitaciones en la región del VIRCh, su aplicación a casos y diseño de obras hidráulicas. En investigaciones actuales, el proyecto procura avanzar en la caracterización espacial de las lluvias de diseño, un estudio limitado por la disponibilidad de la información básica existente.

REFERENCIAS

- Vicenty, Osvaldo (1984) "Estudio de Precipitaciones de la ciudad de Trelew". Biblioteca de la DGEyP. Inédito.
- Serra J., Sainz Trápaga J. Malnero, A., Chachero, Villegas T. (1995) "Estimación de Crecidas en el Valle Inferior del Río Chubut". Informe Final. SCyT, UNPSJB.
- Serra J., Sainz Trápaga J. Malnero, A., Chachero, Villegas T. (1998) "Ordenación del cuenco aluvional en el área Dique Amgehino-Boca Toma y su impacto en el VIRCH". Informe Final. SCyT, UNPSJB.
- Villegas J., Serra J., Ferrarías S., Bulacio M. (1994) "Estudio de Precipitaciones en el Valle Inferior del Río Chubut". SCyT, UNPSJB. Congreso Nacional del Agua, La Plata, 1994.
- Serra J., Chachero J. J., Malnero H., Sainz Trápaga J., Ambrosio M., Kaless G. (2007) "Modelos físicos y matemáticos de aplicación para el control de crecidas en ambientes torrenciales patagónicos". SCyT, UNPSJB.
- Chachero M. J. (2006) "Estudio de Precipitaciones en la ciudad de Trelew. Análisis estadístico y ecuación de lluvia". SCyT, UNPSJB. PI 274.

A dramatic landscape featuring a city nestled in a valley, surrounded by lush green trees in the foreground. In the background, a range of mountains is visible under a heavy, dark, and stormy sky with some light breaking through on the right side. The overall mood is atmospheric and intense.

REGIONALIZACIÓN DE VARIABLES HIDROLÓGICAS

ESTIMACION DE CAUDALES MEDIANTE REGIONALIZACION HIDROLOGICA: APLICACIÓN EN LA REGION SERRANA CENTRAL DE ARGENTINA

Facundo Matías GANANCIAS MARTÍNEZ^{(1), (2)}, Juan Carlos BERTONI⁽¹⁾

(1) Instituto Superior de Recursos Hídricos – Universidad Nacional de Córdoba, (2) Becario CONICET – Ministerio de Ciencia y Tecnología de la Provincia de Córdoba

La regionalización hidrológica explora al máximo las informaciones existentes, buscando estimar las variables hidrológicas en lugares carentes de datos o bien donde los existentes resultan insuficientes por cantidad o por calidad. Esta técnica permite explorar mejor las muestras puntuales y, en consecuencia, mejorar las estimaciones de las variables; verificar la consistencia de las series hidrológicas; identificar la falta de puestos de observación, etc.

En este trabajo se presenta la regionalización de caudales en la cuenca alta del Río Cuarto, un sistema hidrológico serrano representativo de la provincia de Córdoba, Argentina. En la zona existen 7 estaciones hidrométricas en un radio de 100 km, las cuales poseen registros de 22 a 43 años de datos. Las características de homogeneidad regional fueron evaluadas siguiendo el procedimiento de los Trazos Multidimensionales propuestos por Andrews en 1972, confirmándose que las regiones son hidrológicamente homogéneas. Fueron aplicados diferentes métodos de regionalización: Avenida Índice, Estaciones Año, Box-Cox, Regresión y Correlación Lineal y Técnica de Momentos Estandarizados de Probabilidad Pesada. La comparación de resultados entre los caudales correspondientes a distintas recurrencias obtenidos por análisis de frecuencia puntual en cada una de las estaciones y por regionalización mostró comportamientos dispares, dependientes de la calidad de la información básica. En varios casos el error de estimación no superó el 5%, considerado satisfactorio para los fines perseguidos.

REGIONALIZACIÓN DE PARÁMETROS DEL PREDICTOR DIT

Gabriel CAAMAÑO NELLI, Clarita M. DASSO, Laura COLLADON y Andrea RICO

CONICET – CIRSA, INA

El modelo DIT (Caamaño Nelli y García, 1999) permite la predicción estadística de intensidades medias máximas (i) de lluvias extremas de distintas duraciones (d) y recurrencias (T), a través de un algoritmo que vincula las tres variables en una sola expresión analítica. Se basa en la hipótesis de distribución Lognormal de las láminas máximas anuales de cualquier duración y en la estimación algebraica del factor de frecuencia normal. Representa una superficie tridimensional continua que puede transponerse mediante la técnica de zonalización. El modelo presenta cuatro parámetros, dos de los cuales, A y C , incorporan los rasgos locales de la lluvia diaria, mientras que B y q responden a características zonales. Ha sido empleado para estimar láminas de diseño en más de 150 estaciones de lluvia de la Provincia de Córdoba, para rangos de 5 a 1440 minutos de duración.

El objetivo de este estudio es calibrar el modelo DIT y regionalizar sus parámetros con la finalidad de verificar su extrapolabilidad a regiones de características climáticas disímiles. La metodología consiste en generar grillas i - d - T a partir de funciones empíricas (Sherman, Bell y otras) ajustadas en distintas localidades del país, sobre las cuales calibrar los parámetros del DIT. Los resultados esperados consisten en mapas de isolíneas de los valores hallados para cada parámetro que permitan visualizar el comportamiento regional de los mismos en la zona central y noreste del país.

EFFECTOS METODOLOGICOS Y RESULTADOS DE LA REGIONALIZACIÓN DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA LA PROVINCIA DE ENTRE RÍOS

Eduardo A. ZAMANILLO, Gustavo R. LARENZE, María Josefina TITO, Martín M. PÉREZ, María Eugenia GARAT y Patricia C. GÓMEZ.

Facultad Regional Concordia. Universidad Tecnológica Nacional. Salta 277. Concordia. Entre Ríos. Teléfono / Fax: +54 345 421 4590. E-mail: gijha@frcon.utn.edu.ar, jostit@ai.fcad.uner.edu.ar

Se presenta información de base imprescindible para la planificación territorial y para el diseño y operación de obras de infraestructura relacionadas con los recursos hídricos en la Provincia de Entre Ríos.

Se describe la metodología y los resultados obtenidos de recopilar, analizar y procesar los registros existentes en estaciones pluviométricas de la provincia de Entre Ríos, provincias vecinas y la República Oriental del Uruguay, para regionalizar las precipitaciones máximas diarias.

Se discuten los criterios para seleccionar las estaciones representativas, realizar el ajuste estadístico y los mapas de precipitaciones máximas para períodos de retorno de 2, 5, 10, 20 y 50 años y duraciones de uno, dos, tres y cuatro días. Se analiza el impacto en los resultados de utilizar distintas distribuciones estadísticas teóricas (Gumbel, Log-Normal, GEV, Pearson) y longitudes de registro de 20, 25, 30, 40 y 50 años. Se utiliza el Criterio de Información de Akaike y los errores cuadráticos medios en la variable y la frecuencia para seleccionar la distribución de mejor ajuste local y regional.

Se presentan específicamente los mapas regionalizados mediante el uso de la distribución de GEV y el método del Índice de Creciente. Se vinculan las relaciones intensidad-duración-recurrencia existentes con los resultados de la regionalización de máximos diarios con el objeto de estimar intensidades para duraciones menores a un día en zonas donde no existe registro pluviométrico ni pluviográfico en la Provincia de Entre Ríos. Se muestran los resultados de aplicar dos metodologías alternativas para estimar el patrón de distribución temporal de tormentas intensas: el Método de Pilgrim, Cordery y French y el Método de los Bloques Alternos.

PALABRAS CLAVES: Regionalización, precipitación máxima, diseño hidrológico, análisis frecuencia, relaciones I-d-T

REGIONALIZACIÓN DE LLUVIAS INTENSAS DE LA REPÚBLICA ARGENTINA

Gustavo Alberto DEVOTO

Universidad Católica Argentina, Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas y de Ingeniería. Avda. Alicia Moreau de Justo 1500 – (1107) Buenos Aires. Fax: 4314-5633. gdevoto@enre.gov.ar

Argentina es un país con un territorio extenso y poca población lo cual sumado a una generalizada falta de interés por la medición hidrometeorológica, hace que la escasez de datos sea casi una constante a la hora de encarar proyectos de ingeniería civil. Esta situación es particularmente crítica cuando de precipitaciones intensas se trata.

Nuestro país tiene un gran desarrollo longitudinal y está emplazado como una cuña entre dos océanos. La barrera orográfica de la cordillera de los Andes impide de un modo eficaz la advección de vapor de agua desde el Pacífico en la zona de los vientos del oeste, mientras que el agua precipitable sobre el centro y norte de Argentina proviene del Atlántico y en menor grado de la parte noreste del continente Sudamericano.

Estas características físicas y geográficas inciden en la gran variabilidad espacial que presentan las precipitaciones medias anuales en nuestro territorio.

Sin embargo la variabilidad espacial resulta ser menor cuando tratamos con precipitaciones intensas, porque estos fenómenos atmosféricos extremos de corta duración, caracterizados por sus valores máximos anuales, están gobernados en definitiva por la capacidad de la atmósfera de producir precipitaciones severas en breves lapsos, proceso éste puramente estocástico y de valores extremos en el que no interviene la frecuencia de días de lluvia. Como consecuencia de ello, los valores que resultan son menos dependientes de la localización y de consideraciones climatológicas particulares, lo cual favorece su regionalización.

Se propone aquí un método para la estimación de las *curvas Intensidad Frecuencia Duración* (I-D-F) en la República Argentina para aquellas localidades sin información que se apoya en 4 mapas con isolíneas de medias y coeficientes de variación para las precipitaciones intensas de 1 y 12 horas de duración y adopta a la función de distribución de Gumbel para la caracterización estocástica de las lluvias extremas.

El método es de aplicación en el cálculo de las crecidas de diseño de obras de drenaje urbano y el dimensionamiento de alcantarillas y de puentes viales o ferroviarios emplazados sobre cursos fluviales de cuencas pequeñas sin registros de aforos.

A dramatic landscape photograph. In the foreground, there are lush green trees and several houses with red-tiled roofs. In the middle ground, a city is visible, nestled in a valley. In the background, there are rolling mountains. The sky is filled with a massive, dark, and ominous storm cloud system, with some light breaking through on the right side.

***USO DE IMÁGENES SATELITALES Y
DE RADAR PARA ESTIMAR
CAMPOS DE PRECIPITACIÓN***

PREVISIÓN DE TORMENTAS INTENSAS CON RADAR

José Luis MACOR

Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, Universidad Nacional del Litoral. Ciudad Universitaria, 3000 Santa Fe, Argentina

La población mundial mantiene un crecimiento sostenido, concentrándose principalmente en las áreas urbanas de los litorales fluviales y franjas costeras continentales. La ocupación de zonas de alto riesgo hídrico, la falta o deficiencia de sistemas de alerta y previsión hidrometeorológica y de gestión integrada de cuencas, entre otras acciones antrópicas, agravan las consecuencias de los eventos naturales extremos, produciendo impactos ambientales cada vez más severos. A esto hay que sumar el efecto del cambio climático global, el cual juega un rol preponderante en la generación de tormentas intensas e inundaciones de magnitud.

A menudo, cuando se habla de alerta hidrometeorológico se presume un plazo de varios días, suficientes para desplegar los medios necesarios para prevenir y mitigar posibles daños. Sin embargo, ciertos fenómenos atmosféricos se caracterizan por ser altamente intensos y tener un tiempo de vida relativamente corto, así como una variabilidad espacial y temporal muy importante. La producción de escurrimiento debido a lluvias intensas sobre áreas urbanas o cuencas con fuertes pendientes, puede traducirse en anegamientos o crecidas repentinas, en cuyo caso se impone la necesidad de una previsión inmediata de la precipitación.

En general, los campos de nubes y de precipitación son difíciles de simular a través de modelos climáticos o meteorológicos, dado que éstos trabajan con escalas espacio- temporales relativamente grandes, en relación a las celdas de tormenta y por lo tanto la lluvia es esencialmente parametrizada. Por lo tanto, los fenómenos meteorológicos extremos resultan difícilmente pronosticables por dichos modelos.

La detección y el monitoreo de la evolución de estos fenómenos mediante redes pluviométricas online, resultan poco precisos debido a la baja densidad de distribución de los aparatos de medición. Además, la interpolación de mediciones puntuales no refleja la verdadera situación hidrometeorológica.

El uso de imágenes satelitales permite ver el desarrollo nuboso de las tormentas, pero por la órbita en que se encuentran los satélites de uso meteorológico, dichas imágenes abarcan áreas muy extensas que no permiten la observación de las celdas convectivas generadoras de altas intensidades de lluvia.

Los radares meteorológicos tienen la ventaja de suministrar información sobre reflectividad de lluvia (que puede ser transformada en intensidad), con una alta resolución espacial y con intervalos de tiempo entre escaneos del radar que permiten la identificación de tormentas y el monitoreo de la evolución de los campos de nubes y de precipitaciones.

A partir de esta información espacio-temporal detallada, resulta importante desarrollar un modelo de previsión que estime la evolución de las tormentas detectadas. Esto tiene una importancia capital, dado que utilizando la previsión estimada como entrada a modelos hidrológicos, se puede hacer previsión hidrológica inmediata, estableciendo niveles de agua y caudales en puntos de interés particular, lo cual permitirá tener un panorama más preciso a los tomadores de decisión.

El departamento de Hidrología de la FICH investiga el desarrollo de un modelo de previsión, que conformará una herramienta importante en vista a la implementación de sistemas de alerta inmediata, teniendo en cuenta las situaciones de emergencia hídrica que se presentan, principalmente en las zonas muy pobladas, y que en general coinciden con áreas de alto riesgo hídrico.

A partir de la instalación de un RADAR meteorológico en la Estación Experimental del INTA de Paraná y la correspondiente Terminal en el ámbito de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral, esta línea de investigación tiene por objetivos abordar la teledetección de precipitaciones severas mediante RADAR, profundizando su conocimiento y buscando mejorar las técnicas de estimación y previsión de lluvias a corto plazo.

Para ello se prevé implementar un modelo escalar de previsión basado en las técnicas desarrolladas por Macor (2007), las que se apoyan en las propiedades multiescalares de las imágenes de RADAR meteorológico, utilizando multifractales. Los métodos multifractales tienen la ventaja de requerir un número limitado de parámetros que tienen una significación física fuerte y pueden ser fácilmente evaluados. Desde el punto de vista de la previsión podemos decir que estas técnicas tienen en cuenta la dinámica fuertemente no lineal de las celdas de precipitación.

La aproximación multifractal puede ser percibida como un método que combina las ventajas de la aproximación determinista y los métodos estadísticos de tratamiento de imágenes. En efecto, respetando las simetrías de escalas de las ecuaciones de gobierno de la dinámica atmosférica, los modelos de cascada permiten simular sobre una gran gama de escalas espaciales y temporales, campos de nubes y precipitación, generando una jerarquía de estructuras con una variedad de tamaños, duraciones, intensidades y velocidades de desplazamiento.

La metodología a utilizar corresponde a una previsión estocástica particular: se determina el pasado del generador de la cascada y se utiliza su memoria para la generación de la previsión. El interés de esta metodología es que facilita previsiones conformes a la ley de pérdida de predicibilidad. En este tipo de previsiones de lluvia la resolución espacio-temporal se degrada siguiendo en general una ley de potencia (Schertzer et al., 2004; Macor, 2007).

Esta línea de investigación se encuadra en los lineamientos surgidos de diversas reuniones científicas y simposios internacionales (III Early Warning Conference, Bonn, 2006; Declaración de Zaragoza, Zaragoza, 2006, etc.) donde ha quedado plasmada la necesidad de progresar en el plano científico y técnico sobre sistemas de vigilancia y alerta hidrometeorológica inmediata, haciéndose hincapié en la previsión de lluvias intensas.

EL USO DE PRODUCTOS DE LA TELEDETECCIÓN SATELITAL Y DEL MODELADO NUMÉRICO DEL MOVIMIENTO ATMOSFÉRICO EN LA REGIONALIZACIÓN DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS.

Daniel BARRERA

CONICET / Universidad de Buenos Aires / Universidad Nacional del Litoral

La transposición de un evento extremo de precipitación a otras localidades de una región puede lograrse mediante una ecuación que relacione la precipitación máxima con variables explicativas atmosféricas tales como el agua precipitable, el punto de rocío y diversos índices de inestabilidad convectiva.

En esta presentación se analizarán las posibilidades actuales de contar con campos de algunas de estas variables, a partir de la información que brindan las imágenes y sondeos satelitales, y los sistemas de análisis numérico que combinan datos aerológicos con salidas de modelos de predicción del tiempo.

Se analizará asimismo la posibilidad de ajustar los valores observados de un evento extremo de precipitación, mediante el uso de técnicas satelitales de estimación de lluvia de origen convectivo.

A dramatic landscape featuring a city nestled in a valley, surrounded by lush green trees and rolling mountains. The sky is filled with dark, heavy clouds, with a bright light source breaking through on the right side, creating a strong contrast and highlighting the textures of the clouds and the distant mountain ranges. The overall mood is atmospheric and intense.

***EVOLUCIÓN ESPACIAL Y
TEMPORAL DE LAS
PRECIPITACIONES***

HIETOGRAMAS PARA DISEÑO HIDROLÓGICO: CLASIFICACIÓN Y EMPLEO REGIONAL

Ezequiel MASCUKA, Gabriel CAAMAÑO NELLI, Laura COLLADON

CIRSA, INA- CONICET

El interés de inferir la distribución en el tiempo de una lluvia máxima predicha radica en su efecto sobre la crecida de proyecto que produce. La búsqueda de patrones de precipitación verosímiles ha originado un amplio surtido de técnicas de estimación, cuya comprensión hace necesario ordenar la diversidad de enfoques antes de analizar sus ventajas.

La altura de agua caída y las variables que expresan su desarrollo cronológico (como posición y tamaño relativo del pico de intensidad) son aleatorias e interdependientes. Por ende, la verdadera recurrencia de una lluvia en su totalidad (monto y estructura temporal) debe provenir de una función de densidad de probabilidad conjunta.

No obstante, la práctica habitual consiste en estipular la recurrencia y la duración del suceso y servirse de una relación *i-d-T* determinada para valorar la intensidad. El patrón de fraccionamiento se deduce por separado, como si fuese un canon independiente de la magnitud.

En la diferencia de ambos planteos se basa la clasificación de hietogramas de diseño, en estadísticos y determinísticos, que aquí se presenta, cuyo desglose abarca las numerosas opciones propuestas.

Esta tipificación permite discernir los procedimientos que han sido pensados para una estación (aunque sus resultados pueden ser extrapolados) de los que son intrínsecamente regionales. Estos últimos se sitúan en la **clase** de los *determinísticos* y en la **familia** de los *adimensionales*.

La exposición concluye describiendo brevemente algunos métodos regionales como ser los de Lin *et al.* (2004, 2007).

COMPARACIÓN DE TÉCNICAS DE SÍNTESIS DE HIETOGRAMAS PARA DISEÑO

Gabriel CAAMAÑO NELLI, Clarita M. DASSO, Ezequiel MASCUKA

CONICET – CIRSA, INA

Se suele asumir que sintetizar eventos históricos es el modo de deducir la distribución temporal más realista de lluvias de diseño. Sin embargo, los inconvenientes de las técnicas de este tipo inducen a analizar si procedimientos distintos, de manejo más conveniente, son aptos para sustituirlas. A tal fin, se debe adoptar un prototipo sintético, frente al cual comparar los hietogramas de otra índole. Esto choca con el problema de que cada método de síntesis conduce a un patrón diferente. El objeto del presente trabajo fue explorar si es lógico considerarlos equivalentes. El examen se efectuó en 4 estaciones del centro de Argentina, sobre 4 duraciones de lluvia y condujo a establecer que:

- Los métodos de síntesis denominados Distribución Acumulada (Huff, 1967) y Ordenamiento de Intervalos (Pilgrim et al., 1969) conducen a resultados análogos sólo incidentalmente.
- En cuanto a la posición del pico o al perfil completo del hietograma, la mayor aproximación se da normalmente cuando en el método de Huff se usan probabilidades de no excedencia altas.
- Por el tamaño relativo de la moda de la distribución (% de la precipitación en el percentil de máxima), los mejores acoples aparecen para niveles de probabilidad superiores aún.
- En pocos casos la mayor paridad ocurre para la mediana muestral, que es el valor recomendable. Por tanto, si la predicción efectuada por una técnica fuese correcta, la debida a la otra distaría de serlo, al alejar mucho la recurrencia de la lluvia de diseño de la asumida, que es la de la lámina.
- Aún en el caso del porcentaje ideal (en cuanto a la semejanza en su conjunto), la correlación es baja y no se pueden compendiar los gráficos de los dos métodos de síntesis explorados.
- Como los hietogramas tipo de Huff y Pilgrim et al. son patrones distintos, sin concordancia esencial entre si, no existe un prototipo único para evaluar resultados de técnicas de otra índole.

APROXIMACIÓN DE HIETOGRAMAS SINTÉTICOS POR INTENSIDAD INSTANTÁNEA

Gabriel CAAMAÑO NELLI, Ezequiel MASCUKA

CIRSA, INA- CONICET

Cuando se trata de predecir la progresión temporal de futuras precipitaciones, numerosos autores opinan que la síntesis de hietogramas de eventos reales es el procedimiento más convincente. Si se asume este criterio, la bondad de cualquier otro prototipo que se proponga debe medirse por su semejanza con una distribución sintetizada. Sin embargo, se ha comprobado que los procedimientos de síntesis conducen a formas muy disímiles, de modo que no hay un único paradigma a emular.

Por otra parte, existen técnicas que extraen el hietograma tipo de la función intensidad-duración-recurrencia (**i-d-T**), algunas de las cuales presentan ventajas apreciables. Tal es el caso del método de Intensidad Instantánea (**II**), cuyo resultado brinda: a) coherencia automática con la función intensidad-duración-recurrencia de la cual proviene; b) una función continua; c) menor demanda de datos (i-d-T en vez de eventos históricos, no siempre disponibles); d) cálculo menos engorroso y propenso a errores y e) una expresión analítica de la distribución, si se conoce la ecuación i-d-T.

En este trabajo, los hietogramas de II provenientes del modelo DIT (para 4 duraciones de lluvia en 4 estaciones) se comparan con los de síntesis propuestos por Pilgrim et al. (1969) y Huff (1967), así como con una versión combinada de ambos. A falta de un patrón de contraste, el objetivo no es juzgar el estándar de Intensidad Instantánea, sino evaluar si puede considerarse representativo de alguna de las demás alternativas ensayadas. El análisis se basa en un Coeficiente de Pico (para calificar la semejanza de empinamiento) y en el Coeficiente de Determinación (para valorar el parecido general de las formas). La función objetivo a maximizar, producto de estos coeficientes, indica que los hietogramas de II presentan una correlación débil con los generados según Pilgrim et al. y según Huff, pero son razonablemente análogos a la combinación de ambos.

ABATIMIENTO ESPACIAL TEMPORALMENTE DISTRIBUIDO DE LÁMINA PRECIPITADA EN CUENCAS DE MONTAÑA

Carlos Gastón CATALINI¹, Gastón Gil MONTERO¹, Carlos Marcelo GARCÍA¹, Gabriel CAAMAÑO NELLI²

¹ Universidad Católica de Córdoba – Facultad de Ingeniería – EHCPA. ² Centro de la Región Semiárida del Instituto Nacional del Agua, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas - Universidad Nacional de Córdoba.

Camino a Alta Gracia 7 1/2, Córdoba, República Argentina. E-mail: cgcatalini@hotmail.com

Usualmente las obras hidráulicas se dimensionan en función del evento crítico que deberán soportar, denominado *creciente de proyecto*. Si los registros de caudal son insuficientes para deducirla, se la estima con modelos de transformación lluvia-escorrentía, alimentados con un patrón sintético local de precipitación, que se extrapola a toda la cuenca.

La extrapolación areal de la lámina, para obtener la *lluvia de diseño* entrante, implica reducir el valor dado por la relación intensidad-duración-recurrencia de una estación de referencia, ya que el máximo estimado no se producirá simultáneamente en todo el sistema.

Dicha corrección se efectúa mediante funciones del área de aporte y la duración de lluvia, deducidas de tormentas intensas. Aunque las mismas no suelen considerar la distribución temporal del decaimiento durante el acontecimiento de un evento.

METODOLOGIA

La *precipitación media areal* (PMA), es definida como el producto entre la precipitación en el estación núcleo (máximo observado para duraciones de 30 minutos), $P_0 = f(d,T)$, por el coeficiente de decaimiento espacial, $CDE = f'(d,A)$, siendo d la duración del intervalo de lluvia, T su recurrencia y A el área a la que se extrapolará la lámina local. El coeficiente de decaimiento espacial (CDE) usualmente puede ser obtenido a través de tablas, ecuaciones o gráficos que lo vinculan con la duración total del evento y el área de la cuenca.

Actualmente dentro del equipo de investigación EHCPA (Estudios Hidrológicos en Cuencas Pobremente Aforadas de la Facultad de Ingeniería de la UCC), se encuentra trabajando mediante el empleo de un Sistema de Información Geográfica, (IDRISI – Los Andes) con el cual a partir de la cartografía básica digitalizada, de la ubicación espacial de cada una de las estaciones pluviométricas y de la información proveniente de las mismas la cual es tabulada según el formato compatible con el SIG generándose una base de datos.

Con dicha base de datos se genera un vector, es decir, a cada estación (punto con coordenadas geográficas de la estación) se le asigna un valor correspondiente a la altura de lámina registrada. Posteriormente se interpola el vector, obteniéndose una imagen raster de la lámina de precipitada para un determinado intervalo de tiempo dentro del evento bajo análisis (adoptándose 30 minutos). Pero esta interpolación no se limita al contorno de la cuenca sino que se incluyen estaciones adyacentes. Luego se superponen la imagen correspondiente al área de la cuenca con la obtenida en el paso anterior. Y por último con la composición anterior se puede obtener una distribución de frecuencia de los valores de cada uno de los pixel dentro de la cuenca y de esta distribución el valor de atenuación espacial.

La Figura 1 permite observar parte del análisis realizado para un evento en particular y para dos intervalos de tiempo subsecuentes, por último la Figura 2 permite comparar el hietograma observado para el evento bajo análisis y el valor del CDE observado, como regla general se ha detectado una tendencia a valores bajos del CDE, para duraciones bajas, y una mayor uniformidad espacial para eventos de larga duración.

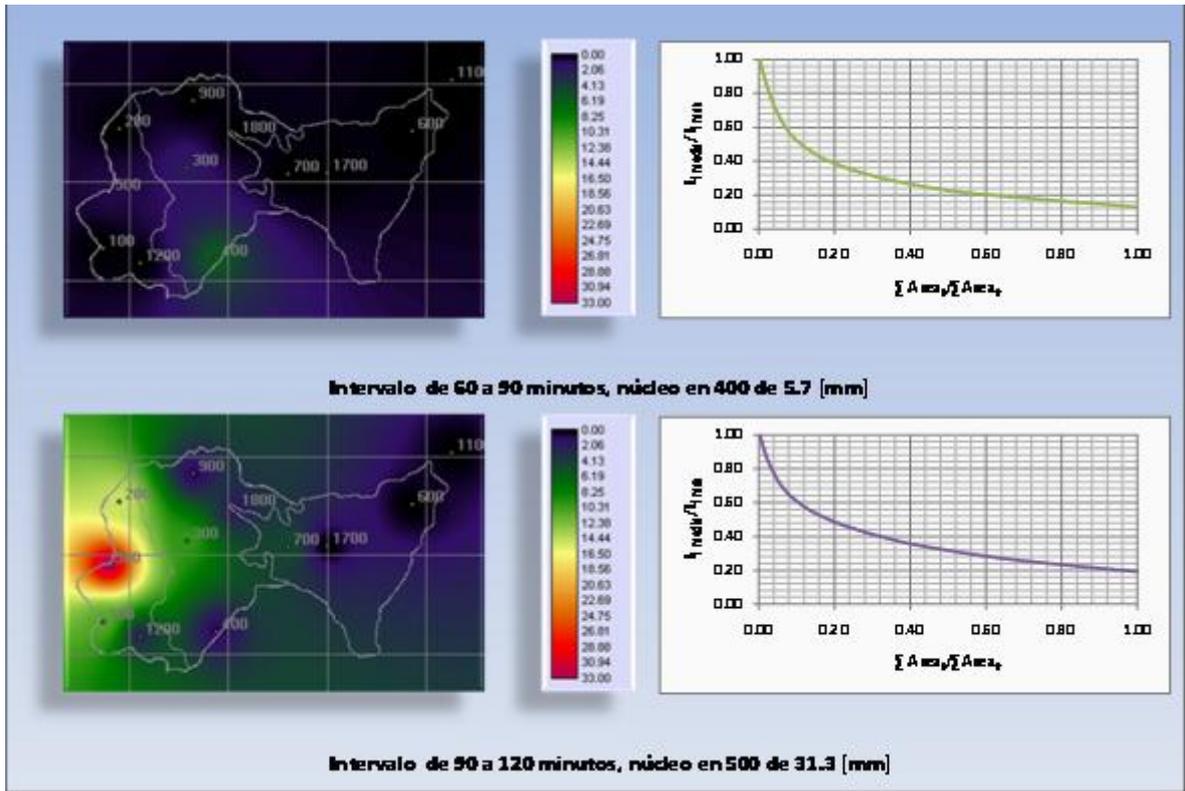


Figura 1. Mapas de Isohietas y Coeficiente de Decaimiento Espacial. Evento del 27 de Diciembre de 2007. Duraciones indicadas en la figura

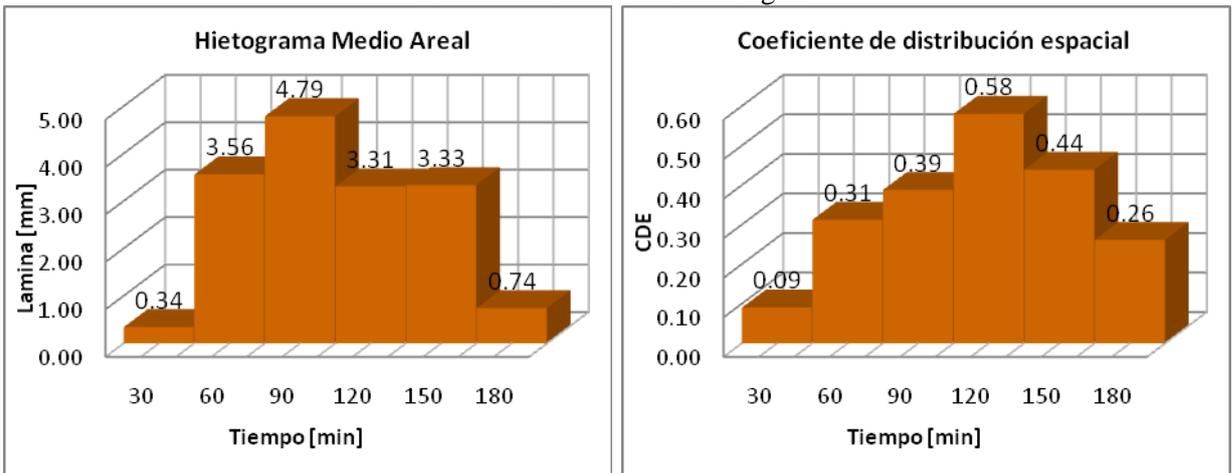


Figura 2. Hietograma medio areal observado y coeficiente de distribución espacial observado para cada intervalo de tiempo. Evento del 27 de diciembre de 2007

CAMBIOS DE TENDENCIAS EN LA PRECIPITACIÓN DE DOS ESTACIONES REPRESENTATIVAS DE LA PRADERA PAMPEANA ARGENTINA

Andrés C. RAVELO, Roberto E. ZANVETTOR y Ricardo IRASTORZA

Facultad de Ciencias Agropecuarias, UNC, C.C. 509, 5000 Córdoba

En lo que va del siglo los valores pluviométricos en amplias zonas del planeta continúan mostrando una tendencia errática, manifestada ya en décadas anteriores. Numerosos autores han estudiado los cambios pluviométricos utilizando largas series de datos, y para algunos lugares se han encontrado tendencias claras. En Canadá, Shen (1999) detectó un incremento de aproximadamente 10% en la precipitación media anual durante los últimos 80 años. Se han informado incrementos para el período 1942-1991, en Méjico (Reyes Coca, 1994) y en Australia (Coughlan, 1991).

La Argentina ha mostrado una tendencia similar para la segunda mitad del siglo XX. En algunos trabajos (Sierra *et al.*, 1994; Perez *et al.*, 1999; Casagrande *et al.*, 2000) se reporta una tendencia positiva durante dicho período. Ravelo *et al.* (2002) identificaron una tendencia positiva para series de precipitaciones anuales en la provincia de Córdoba durante el período 1931-2000. Para este mismo período, Ravelo *et al.* (2004) zonificaron la región pampeana argentina según tendencias de series pluviométricas y determinaron una netamente positiva (registrada en una zona que abarca el norte de la región y otra que comprende el sur de Córdoba, este de La Pampa, oeste y sur de Buenos Aires) y una nula o ligeramente positiva determinada para una gran superficie que se extiende desde el sudeste de Córdoba hacia el sudeste de Buenos Aires.

El objetivo de este trabajo fue analizar dos estaciones representativas de dichas tendencias, incorporando las precipitaciones registradas en los años transcurridos durante el presente siglo.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se realizó sobre la base del trabajo de Ravelo *et al.* (2004), en el cual se analizaron datos pluviométricos de 25 estaciones meteorológicas de la región pampeana argentina. En dicho artículo se destacaron dos casos representativos: uno de tendencia positiva muy marcada — General Pico — y otro de tendencia ligeramente negativa —Rosario. En el presente estudio se incorporaron los datos del período 2001-2007 para las citadas estaciones.

Se estableció la tendencia para el período 1931-2007 mediante el programa Infostat (UNC, 2002) y se realizó el ajuste de la serie por regresión lineal. Se determinó la significancia del coeficiente de regresión, o pendiente de la recta de ajuste, mediante el test t de Student; la variabilidad interanual fue establecida mediante un coeficiente de variabilidad

expresado en porcentaje (Snedecor & Cochran, 1974).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El promedio de precipitaciones del período 2001-2007 para General Pico muestra un descenso, mucho más marcado que en la década anterior. Por el contrario, en Rosario el promedio de ese período presenta un importante aumento. Consecuentemente, si se comparan los períodos 1931-2000 y 1931-2007 se comprueba que ha disminuido la tendencia positiva para General Pico, mientras que la de Rosario cambia el signo de la tendencia, que ahora es ligeramente positiva.

CONCLUSIONES

Tanto General Pico como Rosario fueron elegidas oportunamente como representativas de tendencias netamente positivas y neutras, respectivamente. Paradojicamente, los valores incorporados, correspondientes a los últimos 7 años, muestran una disminución en las precipitaciones en General Pico y un incremento en Rosario. Esto significa una alteración en las tendencias: atenúa la pendiente positiva de aquélla y modifica el signo en esta última.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Casagrande, G.; G. Vergara; E.M. Sierra y S. Pérez, 2000. Tendencias de las precipitaciones (1921-1998) en el centro-este de la provincia de La Pampa (Argentina). Anales VIII Reunión Argentina de Agromet.. Mendoza, Argentina
- Pérez, S.; E.M. Sierra; G. Casagrande y G. Vergara, 1999. Cambios en el régimen de precipitaciones del oeste de la Región Pampeana Argentina 1921-1998. Anais II Reunio Latinoamericana de Agrometeorología, Florianópolis, Brasil.
- Ravelo, A.C.; R.O. Irastorza y L.E. Luque, 2002. Variabilidad de la tendencia en series pluviométricas de la provincia de Córdoba (Argentina). Rev. Arg. de Agrometeorología, 2 (1):69-74.

- Ravelo, A.C.; R.O. Irastorza y R.E. Zanvettor, 2004. Zonificación de la región pampeana argentina según tendencias de series pluviométricas (1931-2000). Rev. Arg. de Agrometeorología, 3-4: 85-90.
- Salinger, M.J., 1992. Rainfall trenes in New Zealand and outlying islands, 1920-1990. New Zealand Meteor. Service. 33 pp.
- Shen, S.S. 1999. An assessment of the change in temperatura and precipitation in Alberta. Science and Techology Branch, Environ. Sci. Div., Alberta. 19 pp.
- Sierra, E.M.; R.H. Hurtado y L. Spescha. 1994. Corrimiento de las isoyetas anuales medias decenales en la región Pampeana. 1941-1990. Rev. Fac. Agr., 14(2): 139-144.
- Snedecor, G.W. and W.G.Cochran, 1974. Statistical Methods. The IOWA State University Press. Ames, Iowa. U.S.A. 507 pp.
- Universidad Nacional de Córdoba, 2002. Infostat versión 1.1. Estadística y Diseño, Fac. C. Agropecuarias. Córdoba.

CLASIFICADOR Y GENERADOR DE LLUVIAS SINTÉTICO USANDO REDES NEURONALES ARTIFICIALES.

Oscar Raúl DÖLLING, Eduardo A. VARAS

Facultad de Ingeniería, Univ. Nacional de San Juan

Varios autores han propuesto procedimientos para distribuir la magnitud total de la lluvia en función del tiempo, con el fin de producir histogramas representativos para las tormentas de diseño. Este trabajo generaliza resultados anteriores de análisis de regionalización y caracterización de lluvias, planteando una formulación matemática que incorpora redes neuronales artificiales para clasificar tormentas y generar hietogramas de diseño para un lugar de interés sin mediciones de lluvia, en un entorno de simulación continua.

Los resultados muestran la capacidad de la red neuronal para representar un espacio tridimensional de interpolación del porcentaje de lluvia acumulada en función de tres dimensiones principales que son el identificador de Grupo de tormenta; el porcentaje de duración acumulada de la lluvia y la Probabilidad de Excedencia asociada a la tormenta. Esta habilidad de generalizar conceptos permite la complementación de información en casos de datos escasos. Este potencial es importante en el ámbito de las ciencias hidrológicas, especialmente en países latinoamericanos que sufren de falta de datos hidrológicos debido a la escasez de recursos financieros.

PALABRAS CLAVE: Tormentas de diseño – Redes Neuronales Artificiales – Simulación continua - Hietogramas probabilísticas.

ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA CORRELACIÓN ENTRE LA INTENSIDAD Y LA DURACIÓN SOBRE LA FORMA DE LA FUNCIÓN DE DENSIDAD DE PROBABILIDADES DE LA ALTURA DE PRECIPITACIÓN

Rafael SEOANE^(1,2,3) Alejandra VORNETTI⁽²⁾ y Mónica GELMI⁽²⁾

1) Instituto Nacional del Agua (INA). 2) Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA) 3) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

El objetivo de este trabajo es estudiar los efectos de la correlación entre las variables intensidad y duración sobre la función de densidad de probabilidades y los momentos de la altura de la precipitación para distintas escalas de tiempo.

Las expresiones de la función de densidad y los dos primeros momentos de la altura de precipitación se deducen a partir de la función de densidad de probabilidades bivariada propuesta por Gumbel (1960) que incluye la correlación entre la intensidad y la duración de los eventos de precipitación.

La metodología desarrollada se aplica en la cuenca del arroyo Tapalqué, provincia de Buenos Aires, que se caracteriza por una llanura con leves ondulaciones. El área de la cuenca estudiada es de 1560 km² y la precipitación media para el período 1988-1997 es 900 mm. Los meses seleccionados para este análisis son los comprendidos entre octubre y abril que es cuando se producen las mayores precipitaciones y crecidas.

Los parámetros de la función de densidad de probabilidades de Gumbel se estiman para series de precipitación observada en diferentes pluviómetros localizados en la cuenca del arroyo Tapalqué, en escalas horaria y diaria.

En esta etapa se estima el intervalo de confianza del coeficiente de correlación para las distintas series estudiadas. Los resultados obtenidos muestran que el coeficiente de correlación es significativamente distinto de cero para la serie observada en escala de tiempo horaria. El efecto de incluir el coeficiente de correlación entre la intensidad y duración sobre la forma de la función de densidad bivariada se muestra gráficamente.

Los resultados de aplicar las nuevas expresiones deducidas a la serie de precipitación observada en escala horaria, muestran la importancia de incluir la correlación para preservar los momentos de primero y segundo orden de la altura de precipitación. Estos resultados indican que los momentos de altura de precipitación estimados bajo la hipótesis de independencia sobreestiman los valores históricos, mientras que el nuevo modelo se ajusta mejor a los datos observados.

El ajuste gráfico obtenido con la función de distribución acumulada de la altura de precipitación que incluye la correlación entre la intensidad y la duración es mejor que el obtenido bajo la hipótesis de independencia. Para cuantificar la calidad del ajuste se utilizaron los estadísticos de Kolmogorov-Smirnov y Cramer von Mises que miden las distancias entre la función de distribución acumulada estimada con el modelo de Gumbel y la distribución empírica. Ambas distancias indican que la función de distribución que incluye la correlación está más cerca de la distribución empírica.

También se analiza el ajuste de la función de densidad de probabilidades teórica al conjunto de observaciones, superponiendo la función de densidad ajustada y el histograma de los datos. Gráficamente se observa que el ajuste alcanzado con la función de densidad de probabilidades de la altura de precipitación que incluye la correlación entre la intensidad y la duración, es mejor que el obtenido bajo la hipótesis de independencia.

Con el propósito de estudiar la influencia que la expresión de la función bivariada tiene sobre los momentos de la altura de precipitación, se comparan las estimaciones de los dos primeros momentos de la serie histórica observada en Boconó, Venezuela, con los estimados usando dos modelos: el de Córdova y Rodríguez Iturbe (1985), que utiliza una función de densidad de probabilidades bivariada propuesta por Nagao y Kadoya (1971), y el considerado en este trabajo con las nuevas expresiones deducidas usando la función de densidad bivariada de Gumbel (1960).

Los resultados indican que el desvío estándar de la altura de precipitación estimado utilizando la función bivariada propuesta por Gumbel es más cercano al estimado con los datos observados que el estimado con la función bivariada de Nagao y Kadoya, para un coeficiente de correlación distinto de cero, mientras que la media es del mismo orden que el valor estimado con los datos observados para ambos modelos.

VARIABILIDAD DE LA PRECIPITACION PUNTUAL EN EL AREA DEL GRAN S. M. DE TUCUMÁN

Hugo Roger PAZ, Roberto Ricardo LAZARTE SFER

Laboratorio de Construcciones Hidráulicas – Universidad Nacional de Tucumán, Maciel 150 – Yerba Buena – Tucumán. Tel: (0381) – 4354834 Mail: hpaz@herrera.unt.edu.ar ; Junín 665 – 2ºB – (4000) S.M. de Tucumán. +54 381 4304081. r-lazarte@arnet.com.ar

RESUMEN

La precipitación puntual de la tormenta de diseño es el valor de precipitación máxima a considerar que cae en algún punto de la cuenca y se obtiene a partir del estudio estadístico-probabilístico de una serie de valores extremos de lluvia medidos en algún punto de la zona bajo estudio.

En el caso del área del Gran San Miguel de Tucumán se obtiene la lámina de lluvia puntual a partir de la relación Intensidad-Duración-Recurrencia desarrollada con registros pluviográficos y pluviométricos de la estación meteorológica El Colmenar (EEAOC). Se utiliza dicha I-D-R pues aporta la serie mas larga de registros (1942-1993).

Dado que el análisis de frecuencia realizado para obtener la I-D-R se hizo sobre extremos históricos registrados en El Colmenar, es necesario evaluar si estos son representativos de los extremos históricos del Gran San Miguel de Tucumán. Las tormentas presentan una gran variabilidad espacial en la precipitación, siendo poco probable que si uno cuenta con un solo pluviómetro dicho máximo sea registrado, por el contrario, se puede tener precipitaciones puntuales aún mayores en otros puntos sin registro.

Atendiendo a lo expuesto se plantea la necesidad de estudiar la representatividad de los valores puntuales obtenidos a partir de la I-D-R de El Colmenar al ser aplicados a una cuenca con un área importante. Se plantea conocer los valores finales de una nueva relación I-D-R con base en la de El Colmenar que pueda ser aplicable a las grandes áreas que conforman las cuencas del Gran San Miguel de Tucumán. El estudio correspondiente se desarrolla como parte de un proyecto de investigación del Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Tucumán.

Se trabaja con registros pluviométricos de distintas fuentes de manera de realizar un análisis geoestadístico que permitirá conocer la relación entre los extremos medidos en El Colmenar y los medidos en los restantes puntos de registro disponibles. Los resultados obtenidos hasta la fecha muestran que los valores puntuales aplicables a grandes áreas son mayores a los obtenidos de la relación I-D-R de El Colmenar y valida las hipótesis del estudio.

El resultado del presente proyecto será una herramienta fundamental de diseño hidrológico para el Gran San Miguel de Tucumán, aplicable a todos los proyectos de ingeniería que impliquen la aplicación de modelos precipitación-caudal.

PALABRAS CLAVES: Precipitación puntual, grandes cuencas, variabilidad

EVENTOS PARA DISEÑO HIDROLÓGICO: INTERVALOS DE MÁXIMA INTENSIDAD ANUAL

Carlos Marcelo GARCÍA¹, Gabriel Eduardo CAAMAÑO NELL² y Clarita María DASSO²

(1) Laboratorio de Hidráulica – FCEFyN Carlos Paz, Córdoba, Argentina.. (2) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (Centro de la Región Semiárida - Instit.Nac.del Agua). V^a Carlos Paz, Córdoba, Argentina.

Las obras de ingeniería destinadas a conducir, regular o sortear cursos superficiales de agua o a contrarrestar sus efectos indeseados se dimensionan en función de la magnitud del evento crítico que deberán soportar. Éste se expresa como una crecida hipotética, la “*Creciente de Proyecto*”, deducida estadísticamente de las mediciones previas de descarga. Cuando los registros históricos son insuficientes para tal fin, como es habitual, la crecida de proyecto se estima a través de modelos de transformación lluvia-escorrentía y de tránsito, alimentados con un patrón sintético de lluvia, maximizado a nivel de la cuenca de aporte. Esta entrada al sistema hidrológico se denomina “*Tormenta de Diseño*” y está constituida por tres elementos: 1º) La “*lámina de lluvia local*”, 2º) Su distribución temporal y 3º) Su atenuación espacial.

La lámina local es la esperada en un punto del espacio, asumido como centro del fenómeno. Se infiere de un análisis estadístico sobre la intensidad media (**i**) de las lluvias máximas anuales observadas, para combinaciones de duración (**d**) y recurrencia (**T**) dadas, de la siguiente manera: Desplazando un lapso de duración prefijada a lo largo de los registros de cada año hidrológico se ubica el valor máximo de lluvia. Asignando una frecuencia empírica, como la Weibull a cada dato de la serie de máximos anuales, se obtienen luego ternas **i-d-T**. La función que resulta del ajuste gráfico o analítico de éstas permite estimar la lámina o la intensidad media para valores de duración y recurrencia establecidos por el proyectista.

Como la variación espacial y temporal de intensidad en la tormenta define la forma de la crecida que genera, para repartir en el tiempo y espacio la intensidad media se pone en juego los dos otros elementos de la tormenta de diseño (su distribución temporal y su atenuación espacial) los cuales se estiman a partir del análisis de tormentas históricas intensas.

Aunque haya que establecer condiciones mínimas (de separación, intensidad media, lámina total) para considerar las tormentas como intensas, así como criterios para agrupar (por duración y/o posición del pico) hietogramas de características similares, y esto introduce subjetividad en el procedimiento, es práctica común emplear estas tormentas sintéticas para distribuir espacial y temporalmente la lámina extraída de las relaciones **i-d-T**. No se advierte, al hacerlo, la incompatibilidad de ambas herramientas. En efecto, no hay razón para que los intervalos móviles, usados al obtener la función intensidad-duración-recurrencia, coincidan con la persistencia real de una tormenta, pudiendo cubrir una pequeña porción de ésta, englobarla junto a un período sin lluvia o agrupar más de un evento.

Para subsanar la inconsistencia descrita, en este estudio se realiza el análisis espacial y temporal sobre el mismo lapso, **d**, en que se estima la intensidad media, llamado “*Intervalo de máxima anual*” (**IMA**). Es decir, los *eventos* en que se basa el análisis estadístico no son ya las tormentas intensas, sino los intervalos de máxima anual. Los hietogramas de diseño (con su atenuación espacial), además de coincidir en el tiempo con la lámina a distribuir, representarán entonces los patrones históricos observados.

Un contraste de resultados muestra la distorsión global de las distribuciones temporales y espaciales generadas al procesar una serie pluviográfica con la metodología habitual.

INDICE

TORMENTAS DE DISEÑO CON DATOS ESCASOS – CASO DE BARILOCHE	2
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE VALORES EXTREMOS DE PRECIPITACION EN EL ÁREA METROPOLITANA BUENOS AIRES	3
TORMENTA DE PROYECTO PARA EL GRAN MENDOZA	5
DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN INTENSIDAD – DURACIÓN – RECURRENCIA PARA LA CIUDAD DE LA RIOJA	7
ACTUALIZACION DE RELACIONES INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA (IDF) DE LA CIUDAD DE RAFAELA (PROVINCIA DE SANTA FE, ARGENTINA)	8
ANÁLISIS DE LAS LLUVIAS MÁXIMAS DIARIAS EN LA REGIÓN CHAQUEÑA	9
HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS PARA LA VISUALIZACIÓN Y CÁLCULO DE TORMENTAS DE DISEÑO EN LA PROVINCIA DE ENTRE RÍOS	11
PROPUESTA DE TORMENTA DE DISEÑO PARA EL ÁREA DEL GRAN ROSARIO	12
ANALISIS DE FORMULAS GENERALIZADAS PARA LLUVIAS INTENSAS CON APLICACIONES EN REGIONES DE SUDAMERICA	14
EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE PRECIPITACIONES Y TORMENTA DE DISEÑO APLICADOS A LA REGIÓN DEL VALLE INFERIOR DEL RÍO CHUBUT	15
ESTIMACION DE CAUDALES MEDIANTE REGIONALIZACION HIDROLOGICA: APLICACIÓN EN LA REGION SERRANA CENTRAL DE ARGENTINA	18
REGIONALIZACIÓN DE PARÁMETROS DEL PREDICTOR DIT	19
EFFECTOS METODOLOGICOS Y RESULTADOS DE LA REGIONALIZACIÓN DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA LA PROVINCIA DE ENTRE RÍOS	20
REGIONALIZACIÓN DE LLUVIAS INTENSAS DE LA REPÚBLICA ARGENTINA	21
USO DE IMÁGENES SATELITALES Y DE RADAR PARA ESTIMAR CAMPOS DE PRECIPITACIÓN	22
PREVISIÓN DE TORMENTAS INTENSAS CON RADAR	23
EL USO DE PRODUCTOS DE LA TELEDETECCIÓN SATELITAL Y DEL MODELADO NUMÉRICO DEL MOVIMIENTO ATMOSFÉRICO EN LA REGIONALIZACIÓN DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS	25
HIETOGRAMAS PARA DISEÑO HIDROLÓGICO: CLASIFICACIÓN Y EMPLEO REGIONAL	27
COMPARACIÓN DE TÉCNICAS DE SÍNTESIS DE HIETOGRAMAS PARA DISEÑO	28
APROXIMACIÓN DE HIETOGRAMAS SINTÉTICOS POR INTENSIDAD INSTANTÁNEA	28
ABATIMIENTO ESPACIAL TEMPORALMENTE DISTRIBUIDO DE LÁMINA PRECIPITADA EN CUENCAS DE MONTAÑA	29
CAMBIOS DE TENDENCIAS EN LA PRECIPITACIÓN DE DOS ESTACIONES REPRESENTATIVAS DE LA PRADERA PAMPEANA ARGENTINA	31
CLASIFICADOR Y GENERADOR DE LLUVIAS SINTÉTICO USANDO REDES NEURONALES ARTIFICIALES	33
ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA CORRELACIÓN ENTRE LA INTENSIDAD Y LA DURACIÓN SOBRE LA FORMA DE LA FUNCIÓN DE DENSIDAD DE PROBABILIDADES DE LA ALTURA DE PRECIPITACIÓN	34
VARIABILIDAD DE LA PRECIPITACION PUNTUAL EN EL AREA DEL GRAN S. M. DE TUCUMÁN	35
EVENTOS PARA DISEÑO HIDROLÓGICO: INTERVALOS DE MÁXIMA INTENSIDAD ANUAL	36