

REGIONALIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL MODELO DIT PARA PREDICCIÓN DE LLUVIAS MÁXIMAS EN DISEÑO HIDROLÓGICO

Andrea F. Rico⁽¹⁾, Clarita M. Dasso^(1,2), Carlos M. García^(3,4), Gabriel Caamaño Nelli^(1,2)

⁽¹⁾ Instituto Nacional del Agua - Centro de la Región Semiárida

⁽²⁾ Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas - Universidad Nacional de Córdoba
Av. Ambrosio Olmos 1142 - 1er P - X 5016 GCA - Córdoba - Argentina Tel. 54-351- 4682781/ 82

⁽³⁾ Laboratorio de Hidráulica, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales., Universidad Nacional de Córdoba, Av. Filloy s/n, Ciudad Universitaria, Córdoba, Argentina

⁽⁴⁾ Universidad Católica de Córdoba. Grupo de Investigación de Estudios Hidrológicos en Cuencas Pobremente Aforadas (UCC-EHCPA) Camino a Alta Gracia km 7 ½, (X5016DHY), Córdoba, Argentina.

e-mail: arico@ina.gov.ar

RESUMEN

El modelo de predicción de lluvias máximas DIT estima la relación i - d - T entre intensidad (i) de lluvia, su duración (d) y el período de retorno (T) a partir de series pluviográficas con distribución Log-normal. Se basa en una estimación algebraica del factor de frecuencia normal e incorpora la duración de la lluvia en forma analítica, dándole sentido conceptual a sus parámetros y permite su transposición a estaciones pluviométricas. La expresión logarítmica de la i - d - T presenta cuatro parámetros: A , B , C , q . Este trabajo analiza el comportamiento regional de los parámetros del DIT en dos etapas: a) calibración de los cuatro parámetros del modelo DIT, sobre matrices i - d - T generadas a partir de funciones i - d - T empíricas existentes en distintas localidades del país y b) interpolación espacial de los parámetros en un Sistema de Información Geográfica (SIG), con distintos métodos. Los resultados consisten en mapas de isolíneas para cada parámetro, que muestran su variación espacial en el centro y norte del país. El procedimiento resulta aceptable para regionalizar los parámetros del modelo DIT.

Palabras Clave: Predicción, Lluvias de diseño, Función i - d - T , Interpolación espacial, Método spline.

ABSTRACT

The DIT rainfall prediction model estimates the Rainfall intensity-duration-return period (i - d - T) relationships from pluviographic maximum series with Log-normal distribution. The DIT model is based on an algebraic estimate of the normal frequency factor. DIT incorporates the duration of the rainfall in an analytical way, giving conceptual meaning to its parameters and allowing their transposition to pluviometric raingage stations (daily rainfall depths records). The i - d - T logarithmic expression has four parameters: A , B , C , q . This paper analyzes the regional behavior of each parameter of the DIT model in two stages: a) Calibration of the four DIT parameters, on i - d - T matrices generated from empirical i - d - T functions available at several locations, and b) Spatial interpolation of the parameters in a Geographical Information system (GIS), using different methods. The results consist of maps of isolines for each parameter, showing the spatial evolution in central and northern Argentina. The proposed methodology is acceptable regionalizing the DIT model parameters.

Keywords: Prediction, Rainfall design, i - d - T Function, Spatial interpolation, Spline method

INTRODUCCIÓN

El agua tiene un impacto positivo y sus efectos benéficos tornan habitual interpretarla como *recurso hídrico*. Pero este impacto puede ser negativo, debido a los efectos perniciosos de ciertos fenómenos hídricos y entonces se considera al agua como un *factor de riesgo*. En el presente contexto, el *riesgo* se interpreta como el resultado de relacionar la *amenaza* que entraña el fenómeno hídrico con la *vulnerabilidad* de los elementos expuestos.

La solución a esta problemática está dada por el *diseño hidrológico*. Éste se define como la evaluación del impacto de los procesos hidrológicos y la estimación de valores de las variables relevantes para modificarlo. Por lo tanto, la modificación del impacto tiende a aumentar el aprovechamiento (regulando aportes) o reducir excedentes de agua (control de eventos extremos) mediante la aplicación de medidas estructurales (obras) y no estructurales. Tanto la magnitud de las obras como las medidas no estructurales guardan relación directa con los caudales a que serán expuestas en el futuro.

Los *caudales de proyecto* se deben sintetizar de series históricas de descargas medidas. Sin embargo, es poco frecuente contar con esta información, lo cual obliga a realizar la síntesis de series de lluvias causantes de las crecidas, dando lugar a las *lluvias de diseño*. Éstas constituyen la entrada a modelos de transformación lluvia-descarga y a modelos de tránsito, para generar hidrogramas a la salida de la cuenca.

En proyectos de diseño hidrológico, es común usar una tormenta de diseño o un evento que involucre una relación entre la *intensidad (i)* de lluvia, su *duración (d)* y la *frecuencia (F)* o el *período de retorno (T)* apropiados para la obra y el sitio en que estará, conocida como relación *intensidad-duración-recurrencia* o *curva i-d-T*. Para definir la ecuación genérica de la relación i-d-T existen distintos enfoques. Los más difundidos son: las funciones de distribución probabilística (FDP), las fórmulas empíricas, un modelo conceptual o procedimientos combinados.

Caamaño Nelli y García (1999) propusieron un modelo para estimar la relación i-d-T a partir de series de máximos anuales de láminas de lluvia de distintas duraciones, con distribución Log-normal. El algoritmo, denominado DIT, se basa en una estimación algebraica del factor de frecuencia

normal, que incorpora la duración de la lluvia en forma analítica, dando así un sentido conceptual a los parámetros y permitiendo su transposición a estaciones pluviométricas.

El significado conceptual de los parámetros da lugar a una de las principales características del DIT: su aptitud para transposición a estaciones pluviométricas, mediante la técnica de *zonalización* (Caamaño Nelli y Dasso, 2003). Esta técnica de transposición combina una división zonal con una transferencia paramétrica dentro de cada zona. Al transponer la función i-d-T, desde la *estación base* (pluviográfica) a las *estaciones satélites* (pluviométricas) incógnitas de la zona, los parámetros se alteran según las rasgos climáticos locales de cada pluviómetro.

Esta particularidad del modelo permitió conformar la Red Regional de Lluvias de Diseño para la Provincia de Córdoba con 141 puntos con lluvias de diseño que incluye los principales centros urbanos y que se extiende sobre una superficie de 165.000 Km² (Caamaño Nelli y Dasso ,2003). El territorio cordobés fue dividido en siete zonas en función de sendas estaciones pluviográficas base a las cuales se le asignó representatividad sobre los pluviómetros satélites existentes en cada zona.

Basado en este antecedente, se analizó la posibilidad de lograr una red más amplia que cubriera gran parte del país, sin embargo, las dificultades debidas a la muy limitada disponibilidad de información pluviográfica en Argentina y la baja densidad de pluviómetros que permitiera realizar una división zonal adecuada, limitó esta expansión y generó la iniciativa de regionalizar los parámetros.

El objetivo de este estudio es evaluar la distribución espacial de los parámetros del modelo de predicción DIT con la finalidad de analizar el comportamiento de los mismos en la región centro y norte de Argentina.

MODELO DE PREDICCIÓN DIT

La relación i-d-T en el modelo DIT (Caamaño Nelli y García,1999), en su expresión final logarítmica es:

$$\ln i_{d,T} = A \cdot \Phi_y - B \cdot \delta_y + C \quad (1)$$

Siendo $i_{a,T}$ la intensidad media máxima de lluvia en mm/h, para una duración d en minutos, esperable en el período de retorno T en años Φ_y el factor de frecuencia (Chow, 1951) dado por

$$\Phi_y = 2,584458 \cdot (\ln T)^{3/8} - 2,252573 \quad (2)$$

mientras que δ_y es el factor de persistencia, definido como

$$\delta_y = (\ln d)^q \quad (3)$$

La Ecuación (1) presenta tres términos independientes entre sí, que provienen de la hipótesis de independencia entre duración, explicitada en δ_y y recurrencia, incluida en Φ_y .

Los coeficientes **A**, **B**, **C** de la Ecuación (1) y el exponente **q**, de la Ecuación (3) son los cuatro parámetros resultantes del modelo; A y C incorporan las características de la lluvia local, mientras que B y q, son parámetros zonales.

Una vez que el modelo DIT ha sido calibrado para un pluviógrafo base, la extrapolación a los pluviómetros asociados, consiste sólo en sustituir dos estadísticos: la media (μ) y el desvío estándar (σ) de los logaritmos de las lluvias máximas diarias. La sustitución se efectúa en los parámetros A y C, ajustados para el pluviógrafo, para obtener los respectivos **A'** y **C'** del pluviómetro (Ecuaciones 4 y 5) sin requerir calibración:

$$A' = A - \sigma + \sigma' \quad (4)$$

$$C' = C - \mu + \mu' \quad (5)$$

Los parámetros **B'** y **q'** para el pluviómetro son iguales a los de la zona al cual pertenece, o sea: $B' = B$ y $q' = q$ ambos constantes para toda la Zona.

REGION DE ESTUDIO E INFORMACIÓN DE BASE

La región de estudio abarcó especialmente el centro y norte de Argentina (Figura 1). En ella fue posible identificar 27 localidades que disponían de función i-d-T de distinta naturaleza obtenidas por diferentes autores. La Tabla 1 describe las características de la

información básica recopilada. En cuanto al tipo de función varias responden a métodos empíricos como Sherman (1931), Bell (1969) y Bernard (1932) y otras al modelo DIT. Respecto de los rangos de utilidad las duraciones variaban de 2 horas a 4 días, mientras que las recurrencias de 50 a 500 años



Figura 1. Ubicación de puestos con función i-d-T

Tabla 1. Tipos de funciones i-d-T seleccionadas

| ESTACIÓN | FUENTE | Func tipo | Máx. T (Años) | Máx. d (min) |
|------------------|--------------------------|-----------|-------------------------|--------------|
| Villa Dolores | Caamaño y García (1999) | DIT | 200 | 1440 |
| La Suela | | | 200 | 1440 |
| Ceres | | | 200 | 1440 |
| Córdoba Obs. | | | 200 | 1440 |
| Río Cuarto | | | 200 | 1440 |
| Marcos Juárez | | | 200 | 1440 |
| Laboulaye | | | 200 | 1440 |
| La Rioja | Weber (2009) | DIT | 1000 | 720 |
| Obs. Central SMN | Mauniño (2004) | Bell | 100 | 120 |
| Rafaela | Bertoni y otros (2009) | Sherman | 100 | 5760 |
| Santa Rosa | Farias y otros (2009) | Sherman | 500 | 180 |
| Pergamino | | | 500 | 180 |
| Tres Arroyos | | | 500 | 180 |
| Posadas | | | 500 | 180 |
| Chapetón | | | 500 | 180 |
| Famaillá | | | 500 | 180 |
| Resistencia | Farias y Olmos (2007) | Sherman | 500 | 180 |
| Salta | | | 500 | 180 |
| Formosa | | | 500 | 180 |
| Rosario | | | 500 | 180 |
| S. del Estero | | | 500 | 180 |
| S.M. Tucumán | | | 500 | 180 |
| Gran Mendoza | López y Maza (2009) | Sherman | 200 | 120 |
| Concordia | Zamanillo y otros (2008) | Sherman | 50 | 1440 |
| C. del Uruguay | | | 50 | 1440 |
| Paraná | | | 50 | 1440 |
| Trelew | | | Serra y Chachero (2009) | Bernard |
| | | | 500 | 1440 |

METODOLOGÍA

El desarrollo metodológico tuvo dos etapas a) calibración de los parámetros del modelo DIT sobre matrices i-d-T, generadas a partir de las funciones empíricas recopiladas y b) la aplicación de un Sistema de Información Geográfica (SIG), para interpolar espacialmente los parámetros del DIT con distintos métodos.

Calibración de los parámetros

La calibración de parámetros se efectuó sólo en las 19 estaciones que respondían a otros modelos de funciones que no fueran el DIT ya que éste en las 8 localidades de Córdoba y en la ciudad de La Rioja fue ajustado sobre datos pluviográficos

A partir de las funciones recopiladas se calcularon y tabularon las intensidades en función de las n duraciones y m recurrencias para las que fueron ajustadas en cada estación, conformando así matrices ($n \times m$) de ternas i-d-T de diferentes tamaños.

El procedimiento consistió en efectuar una regresión lineal múltiple con la terna generada en cada estación siguiendo la expresión logarítmica del modelo (Ecuación 1) El factor de frecuencia normal, Φ_y , puede calcularse en forma directa (Ecuación. 2), pero δy se desconoce a priori y por lo tanto fue necesaria una secuencia de pruebas, iterando con distintos valores del exponente q al cual está elevada la duración (Ecuación 3), hasta hallar su valor óptimo, utilizando el coeficiente de correlación r^2 como indicador.

Los ajustes arrojaron valores del coeficiente r^2 superiores a 0,99 en todos los casos. Para la iteración se tomó como condiciones iniciales el rango de valores de q hallados en las 8 estaciones ajustadas originalmente con DIT.

Interpolación espacial de los parámetros

Una vez ajustados los parámetros del DIT, el paso siguiente fue encontrar la distribución de los mismos a nivel regional. Para ello se recurrió a la interpolación espacial, usando como herramienta un Sistema de Información Geográfica (SIG), en especial la extensión *Spatial Analyst* de ArcGIS 9 con ArcMap versión 9.2 (ESRI, 2006)

Para obtener tentativamente la distribución espacial

de los parámetros y debido a que se trata de un conjunto de datos puntuales, éstos fueron transformados a una superficie continua rasterizada, mediante los tres métodos de interpolación espacial que provee Arc Map: Kriging, Inverso a la Distancia (IDW) y Mínima Curvatura (Spline).

El método geoestadístico de *Kriging* también denominado de interpolación global asume medias ponderadas, donde el conjunto de los pesos asignados a los puntos de muestreo minimiza la varianza de estimación, que es calculada en función de un modelo de variograma y de los emplazamientos relativos de los puntos, unos con respecto a otros, así como con relación al punto de estimación. El método *IDW* de naturaleza determinística asume que cada punto tiene una influencia local que disminuye con la distancia, mientras que el método *Spline*: también determinístico está inspirado en el principio de las reglas flexibles, en las cuales, la presión ejercida en un punto dado, produce una deformación que afecta un ambiente local determinado por ciertos puntos fijos o fronteras que se reproduce mediante funciones polinomiales de tercer grado.

Antes de su aplicación se realizó a cada método un análisis de sensibilidad muy extenso hasta encontrar la configuración óptima a ser usada en la implementación de los mismos.

En Kriging, se optó por el método Ordinario dado que, en este caso, no pueden asumirse tendencias y se adoptó un semivariograma de tipo esférico con radio de búsqueda variable. Para IDW se fijó también el mismo tipo de radio y una potencia de 2 que controla (basándose en la distancia) la importancia de los puntos conocidos sobre los valores interpolados. En Spline se utilizó la técnica de Tensión, que suaviza la rigidez de la superficie según el carácter del fenómeno modelado, creando una superficie más lisa. El número de puntos usados en el cálculo de cada píxel interpolado fue 12.

Las Figuras 2, 3 y 4 muestran los mapas generados para el parámetro B con las configuraciones descriptas para los 3 métodos de interpolación que provee ArcGIS.

En la aplicación, si bien Kriging, resulta el más aceptable para el análisis espacial de variables de tipo climáticas e hidrometeorológicas, en este caso, dada la baja densidad de la muestra y el

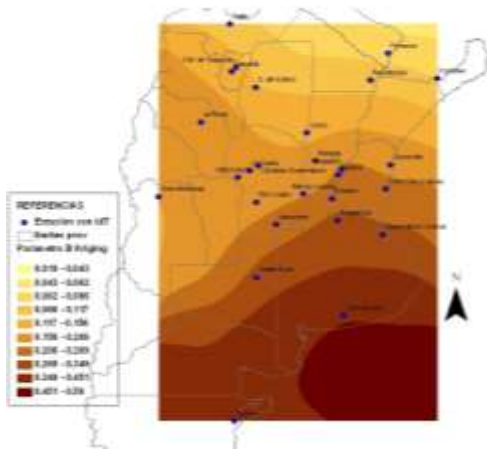


Figura 2. Distribución espacial del parámetro B del DIT por el método Kriging

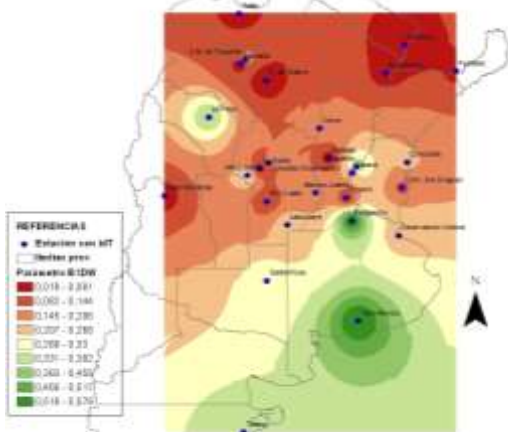


Figura 3. Distribución espacial del parámetro B del DIT por el método IDW

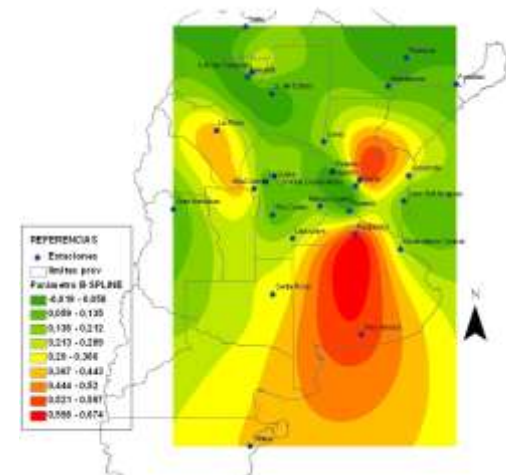


Figura 4. Distribución espacial del parámetro B del DIT por el método Spline

comportamiento de los parámetros que definen un semivariograma específico, no demostró una buena estimación. A pesar de que los mapas de isolíneas de los parámetros mostraron una incipiente tendencia regional, se constataron en cada punto de control (estaciones) diferencias importantes entre el valor real y el predicho.

En cuanto al método IDW fue descartado por generar, debido a su mecanismo de interpolación, en todos los parámetros, los denominados “ojos de buey” en torno a cada estación dato, proyectando un aspecto de elevada aleatoriedad en la interpolación.

Las configuraciones resultantes con Spline exhiben también estas rarezas pero en estaciones con valores extremos y muy dispares a los de las estaciones circundantes. Esto es razonable, pues refleja anomalías locales de los valores aportados al programa, no distorsiones causadas por éste. Los valores predichos por su parte se asemejan más a los reales. De modo que éste fue el método adoptado, pese a que efectúa extrapolaciones fuera del rango muestral, lo cual puede ser objetable.

RESULTADOS

En la Tabla 2 se indican los resultados de los parámetros calculados en las 27 localidades estudiadas, tanto los obtenidos en la calibración original del DIT (8 estaciones) como los ajustados sobre ternas idt generadas de otros modelos.

Tabla 2. Parámetros del modelo DIT

| ESTACIÓN | PROVINCIA | PARAMETROS DIT | | | |
|-------------------|-----------------|----------------|-------|-------|------|
| | | A | B | C | q |
| Villa Dolores | Córdoba | 0,318 | 0,291 | 5,361 | 1,42 |
| La Suela | Córdoba | 0,365 | 0,051 | 4,655 | 2,14 |
| Ceres | Santa Fé | 0,291 | 0,170 | 5,282 | 1,59 |
| Córdoba Obs | Córdoba | 0,337 | 0,158 | 5,190 | 1,67 |
| Río Cuarto | Córdoba | 0,356 | 0,089 | 4,814 | 1,91 |
| Marcos Juarez | Córdoba | 0,410 | 0,156 | 5,132 | 1,64 |
| Laboulaye | Córdoba | 0,394 | 0,241 | 5,426 | 1,48 |
| La Rioja | La Rioja | 0,414 | 0,398 | 4,972 | 1,14 |
| Obs Central BsAs | Buenos Aires | 0,328 | 0,246 | 5,387 | 1,41 |
| Rafaela | Santa Fé | 0,264 | 0,051 | 4,967 | 2,17 |
| Santa Rosa | La Pampa | 0,604 | 0,315 | 5,290 | 1,34 |
| Pergamino | Buenos Aires | 0,352 | 0,580 | 5,779 | 1,00 |
| Tres Arroyos | Buenos Aires | 0,352 | 0,570 | 5,561 | 1,00 |
| Posadas | Misiones | 0,269 | 0,073 | 5,137 | 1,99 |
| Chapetón | Entre Ríos | 0,269 | 0,436 | 6,163 | 1,22 |
| Famailá | Tucumán | 0,352 | 0,039 | 5,144 | 2,39 |
| Resistencia | Chaco | 0,252 | 0,066 | 5,109 | 2,01 |
| Salta | Salta | 0,336 | 0,054 | 4,593 | 2,16 |
| Formosa | Formosa | 0,269 | 0,040 | 4,909 | 2,29 |
| Rosario | Santa Fé | 0,352 | 0,077 | 4,993 | 2,02 |
| S. del Estero | Sgo. Del Estero | 0,369 | 0,019 | 4,643 | 2,78 |
| S.M. de Tucumán | Tucumán | 0,336 | 0,189 | 5,087 | 1,42 |
| Mendoza | Mendoza | 0,439 | 0,060 | 4,700 | 2,18 |
| Concordia | Entre Ríos | 0,402 | 0,213 | 5,421 | 1,50 |
| Conc. del Uruguay | Entre Ríos | 0,294 | 0,129 | 5,338 | 1,76 |
| Paraná | Entre Ríos | 0,355 | 0,173 | 5,235 | 1,58 |
| Trelew | Chubut | 0,624 | 0,379 | 4,559 | 1,23 |

A fin de corroborar el grado de confiabilidad de los valores obtenidos, se realizó un análisis de incertidumbre, a partir de los intervalos de confianza al 95% dados por las regresiones en los parámetros A, B y C. El exponente q al ser el parámetro de iteración no presenta intervalo de confianza.

El análisis se orientó a la posibilidad de encontrar un valor medio estadísticamente significativo de cada parámetro (asumiendo que responden a una distribución de probabilidad normal), que fueran representativos de todas las estaciones y con ello encontrar una relación regional para DIT.

En la Figura 5 se observan las barras de error dadas para el parámetro A que es el que muestra un intervalo apreciable para su análisis. Los parámetros B y C mostraron intervalos mínimos imposibilitando un buen análisis. Esto último podría deberse a la metodología utilizada para su obtención, es decir, una calibración sobre valores ya ajustados con otras funciones.

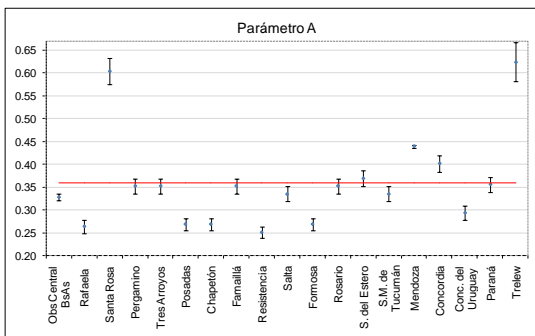


Figura 5. Intervalos de confianza del parámetro A para el análisis de incertidumbre.

En cuanto a los resultados numéricos obtenidos (Tabla 2) el parámetro A, ligado a la recurrencia, si bien presenta los valores extremos en las estaciones del sur del país, la mayor parte de los valores obtenidos se concentraron en un rango entre 0,25 y 0,45.

Para el parámetro B, asociado al factor de persistencia, se observa una mayor dispersión, ya que el rango está dado entre 0,019 en Santiago del Estero y los máximos en Tres Arroyos y Pergamino, con valores de 0,57 y 0,58 respectivamente, muy alejados de la media e influyendo fuertemente en ella, ya que más del 60% de los valores queda por debajo de 0,195

El rango de q superó el establecido antes de estos ensayos (1,15 - 2,15), por calibraciones previas de DIT sobre series pluviográficas de 8 estaciones. En Pergamino y Tres Arroyos q bajó a 1 y en Santiago del Estero fue 2,78.

Se advirtió una correspondencia biunívoca entre los valores límites de los parámetros B y q vinculados con la duración. Al máximo valor de B le corresponde el mínimo de q y viceversa.

Por último, C, el término independiente en la expresión logarítmica de la intensidad, dada su naturaleza y el rango de sus valores, presenta un máximo de 6,16 en Chapetón y un mínimo de 4,56 en Trelew, aunque la mayor parte de los valores se concentran muy próximos a 5.

Las Figuras 6 a 8 muestran los mapas resultantes de la distribución espacial de los parámetros A, C y q, obtenidos por el método seleccionado de Spline. Para B se observa en la Figura 5. Los valores se representan en 9 intervalos, 2 de los cuales, el mínimo y el máximo, están fuera de los rangos de los parámetros ajustados por razones operativas en la interpolación.

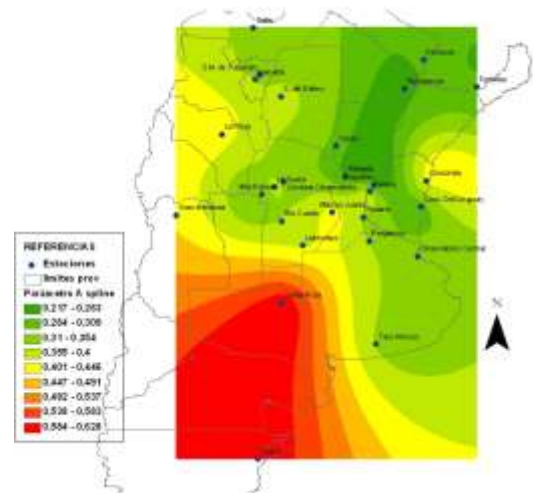


Figura 6. Mapa de distribución espacial del parámetro A del DIT por el método Spline

Respecto a la variación espacial de A (Figura 6), se observa un aumento de sus valores en sentido NE-SW. Para éste parámetro, se encontró cierta correspondencia con las regiones climáticas del país. Para regiones de clima subtropical se dan los valores de A más bajos, que aumentan progresivamente de 0,25 a 0,35, y para regiones

templadas y áridas serranas, los valores están entre 0,35 y 0,44. Los máximos correspondieron a la región árida patagónica.

El mapa de isolíneas de B (Figura 5) demuestra la alta frecuencia de valores (mas del 50%) en el intervalo 0,05-0,23. En rasgos generales el mapa de C (Figura 7) indica la concentración alrededor de un valor central de orden 5 en toda la región. Igual que en el caso de B, resalta el comportamiento anómalo de Chapetón respecto al resto

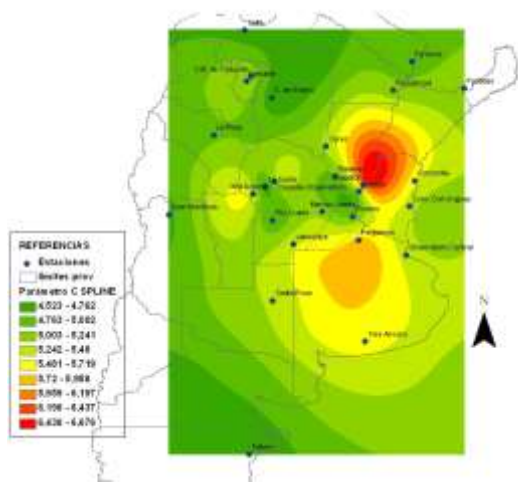


Figura 7. Mapa de distribución espacial del parámetro C del DIT por el método Spline

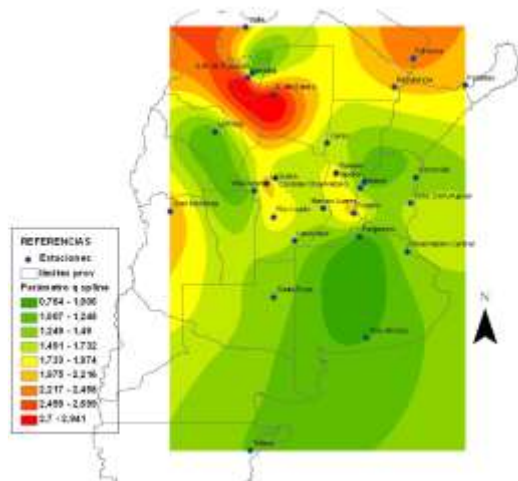


Figura 8. Mapa de distribución espacial del parámetro q del DIT por el método Spline

Por último, dada las tendencias opuestas detectadas en los parámetros B y q, es de esperar que el mapa de isolíneas de q (Figura 8) muestre esta particularidad. De hecho, los máximos de q (color rojo) que circundan Santiago del Estero corresponden a los mínimos de B (color verde).

CONCLUSIONES

Este estudio presenta resultados preliminares sobre la metodología empleada para analizar el comportamiento espacial de los parámetros del modelo DIT en grandes regiones de Argentina. El modelo DIT es una herramienta desarrollada y comprobada para predecir lluvias de diseño en la provincia de Córdoba.

Al extender su uso a las regiones central y norte del país, la densidad de la muestra resultó suficiente para aplicar la metodología planteada, pero evidenció la necesidad de contar con mayor número de estaciones para encontrar una relación espacial mas ajustada.

El procedimiento de calibración del DIT, a partir de ternas i-d-T generadas con otro tipo de funciones, arrojó coeficientes r^2 (como indicador del conjunto de valores óptimos de los parámetros) superiores a 0,99 en todos los casos. El buen ajuste del modelo sobre datos ya ajustados deja en pie la incertidumbre sobre el efecto que esto tiene sobre los resultados.

En cuanto a los valores de los parámetros ajustados, el parámetro A, vinculado a la recurrencia, mostró un rango más acotado al valor de la tendencia central de la muestra, exceptuando las estaciones del sur, mientras que los valores de B, asociados a la duración de la lluvia manifestaron una mayor dispersión. Igual comportamiento, pero en sentido inverso y en otro orden de magnitud se dio en q. El parámetro C, término independiente de la ecuación logarítmica de $i_{d,T}$, presentó un valor mas estable cerca de 5.

Metodológicamente, el Sistema de Información Geográfica *ArcGIS* proporcionó de manera aceptable todas las herramientas necesarias para la georreferenciación y el análisis espacial de los parámetros calibrados. Si bien dos de ellas, IDW y Kriging, fueron excluidas en el análisis final, por no representar el comportamiento espacial de

manera objetiva, no existe a priori razón suficiente para desestimarlas en aplicaciones con mayor densidad de datos.

Los mapas logrados con el método Spline demostraron tendencias espaciales incipientes en cada parámetro, destacándose la correlación de A con respecto a las regiones climáticas. En general en las zonas de clima subtropical se concentraron los valores mínimos de A mientras que los más altos aparecen en zonas templadas y áridas.

Las distribuciones espaciales de q, B y C evidenciaron anomalías en ciertas estaciones generando “ojos de buey” que dificultaron el análisis de su comportamiento.

Estos resultados aportan un procedimiento metodológico aceptable para mejorar la regionalización de los parámetros del modelo DIT a nivel nacional y dejan abiertos algunos interrogantes en cuanto a la dependencia entre los parámetros asociados a la duración de la lluvia y a las anomalías del campo de variación, causadas por algunas pocas estaciones.

REFERENCIAS

- Bell, F. C.; 1969. Generalized Rainfall-Duration-Frequency Relationships. *Journal of Hydraulic Engineering*. ASCE. Vol.95, N°1.
- Bernard, M.; 1932. Formulas for Rainfall Intensities of Long Duration. *Transac. American Society of Civil Engineers*, Vol. 110, 697-733. USA.
- Bertoni, J. C., Ganancias, F., Brarda, J. Tibaldo, O. Rudolf, C. y Verga, L. 2009. Actualización de Curvas idF de la Ciudad de Rafaela (Sta Fe, Argen.) II Taller Regionalización de Precipitaciones Máximas (UCC, UNC, UTN, INA) Córdoba, Argentina.
- Caamaño Nelli, G y. Dasso C. 2003. Lluvias de Diseño: Conceptos, Técnicas y Experiencias. Editorial Universitas. 222 páginas. ISBN: 987-9406-43-5. Córdoba, Argentina.
- Caamaño Nelli, G. y García C. M. 1999. Relación Intensidad-Duración-Recurrencia de Lluvias Máximas: Enfoque a través del Factor de Frecuencia, Caso Lognormal. *Ingeniería Hidráulica de México*. Vol. XIV, N°3, 37- 44. D.F., México.
- Chow, V. T. 1951. A General Formula for Hydrologic Frequency Analysis. *Transactions American Geophysical Union*. Vol. 32, N° 2, pp. 231-237. USA.
- ESRI Inc. 2006. ArcGIS 9. ArcMap Versión 9.2
- Farias, H. y Olmos, L. 2007 Validación de Relaciones IDF Generalizadas a Nivel Regional en el Norte Argentino. XXI Conagua 2007. Tucumán
- Farias, H. D, Olmos, L. e Ibañez, J. 2009. Análisis de Formulas Generalizadas para Lluvias Intensas con aplicaciones en Regiones de Sudamérica. II Taller sobre Regionalización de Precipitaciones Máximas (UCC, UNC, UTN, INA) Córdoba, Argentina
- López, P. y Maza, J. 2009. Tormenta de Proyecto para el Gran Mendoza. II° Taller sobre Regionalización de Precipitaciones Máximas (UCC, UNC, UTN, INA) Córdoba, Argentina
- Mauriño, M. 2004. Generalized Rainfall-Duration-Frequency Relationships: Applicability in Different Climatic Regions of Argentina. *Journal of Hydrologic Engineering*. ASCE, 1084-0699 (2004) 9:4(269)
- Rico, A. F. (2010) Distribución Espacial de los Parámetros del Modelo de Predicción DIT. *Práct. Superv de Ing Civil. Fac. de Ciencias Exactas, Físicas y Nat, UNC. Córdoba, Arg.*
- Rico, A.; Dasso, C.; Caamaño Nelli, G. y M. García (2010). Regionalización de parámetros de un Modelo para Predicción de Lluvias Máximas. I Congreso Internacional. de Hidrología de Llanuras. Tomo 1, 187-192 Azul, Bs As Argentina.
- Serra, J. y Chachero M.J. 2009. El Análisis estadístico de Precipitaciones y Tormenta de Diseño aplicados a la región del Valle Inferior del Río Chubut. II° Taller Regionalización de Precipitaciones Máximas (UCC, UNC, UTN, INA) Córdoba, Argentina
- Sherman C. W.; 1931. Frequency and Intensity of Excessive Rainfalls at Boston, Massach. *Transac. Amer. Society of Civil Engineers*. ASCE. 95. 951 -960. USA.
- Weber, J. F. 2009. Determinación de la relación intensidad-duración-recurrencia para la ciudad de La Rioja. II Taller sobre Regionalización de Precipitaciones Máximas. (UCC, UNC, UTN, INA) Córdoba, Argentina.
- Zamanillo, E.; Larenze, G.; Tito, M. J.; Pérez, M. Garat, M. y Gómez, P.. 2008 Regionalización de Precipitaciones Máximas para la Prov. de Entre Ríos. II Congreso. Internacional. sobre Gestión y Tratamiento Integral del Agua (ISBN 978987125344 9), Córdoba, Argentina.