

# JOURNAL OF ENVIRONMENTAL HYDROLOGY

*The Electronic Journal of the International Association for Environmental Hydrology*

*On the World Wide Web at <http://www.hydroweb.com>*

VOLUME 9

2001



## MODELACIÓN DE LLUVIAS EN LA PROVINCIA DE SANTA FE, ARGENTINA

(Rainfall modeling, Santa Fe Province, Argentina)

S. B. Vanlesberg  
M.L. Silber

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

---

*Los fenómenos hidrológicos en una zona determinada no se producen de manera homogénea, especialmente en el caso de la precipitación. Tratando de verificar la homogeneidad en el área elegida para el estudio, se realizó un análisis de precipitaciones diarias mediante la aplicación de dos técnicas: la Teoría de los Campos Paramétricos Continuos y un Modelo de Análisis Regional de Lluvias. Con la primera mediante la formulación de una estructura espacial de correlación, se logra realizar interpolaciones en aquellas series de datos que presentan valores faltantes, con óptimos resultados, es decir se obtienen series completas. Con la segunda se analiza la ocurrencia de eventos y su importancia en el aporte de lluvias, aplicando para ello una función de distribución que combina, la función de distribución de eventos en un período dado y la función de distribución del volumen total de lluvia durante cada período.*

---

---

*The hydrological phenomena in a certain area do not take place in a homogeneous way, especially in the case of the precipitation. To verify the homogeneity in the area selected for this study, two methods were used to conduct an analysis of daily precipitation: the Theory of Continuous Parametric Fields and a Model of Regional Rainfall Analysis.. With the first, by means of the formulation of a spatial correlation structure, it is possible to carry out interpolations in those series of data that present data gaps, with good results. The complete series are obtained. With the second, the occurrence of events and their importance in the contribution of rains is analyzed, applying a distribution function that combines the function of distribution of events in a given period and the function of distribution of the total volume of rain during every period. The area selected for application is the Bajos Submeridionales Santafesinos, Santa Fe Province, Argentina.*

---

## **INTRODUCCIÓN**

Los fenómenos hidrológicos en una zona determinada no se producen de manera homogénea, y esto se observa especialmente en el caso de la precipitación.

La lluvia constituye la componente de entrada más importante en los sistemas hidrológicos, siendo por lo tanto la responsable principal de los procesos de generación de crecidas y también la variable limitante de la disponibilidad del recurso agua en una región determinada.

La estimación, descripción y modelación de los registros y campos de intensidades de precipitación constituyen un importante campo de la investigación, cuyos resultados pueden aportar sustanciales mejoras en los métodos de pronóstico de crecidas, evaluación, planificación y gestión de los sistemas de recursos hídricos.

Se ha centrado por lo tanto la atención en esta variable, considerando series históricas de lluvia diaria en seis estaciones pluviométricas pertenecientes a la zona de Bajos Submeridionales de la Provincia de Santa Fe.

Se ha aplicado en principio la Teoría de los Campos Paramétricos Continuos con el objetivo de lograr series adecuadas, es decir sin valores faltantes; y un Modelo de Análisis Regional de Lluvias que analiza los eventos y su importancia en cuanto al volumen de lluvia aportado.

Se ha utilizado la función de distribución de ocurrencia de eventos y la función de distribución de la cantidad de agua caída en un período de tiempo  $t$  en el que se han registrado un determinado número de eventos.

Las características principales de las series de lluvia diaria son: intermitencia, presencia de periodicidades, y carácter estocástico. De todas estas características la que se presenta como principal obstáculo a la hora de modelar es la intermitencia en los registros, además de sus importantes fluctuaciones.

El carácter intermitente de la variable hace que deban considerarse procesos estocásticos en la formulación de un modelo matemático. Esta propuesta ha sido empleada en otros trabajos a los cuales se menciona en las referencias.

La aplicación de la Teoría de Probabilidad conjuntamente con la formulación de hipótesis precisas permite obtener la función de distribución de un determinado fenómeno hidrológico. Mediante las técnicas de la Estadística Inferencial es posible estimar parámetros, siempre con el objetivo de aplicar estos resultados a la solución de problemas concretos.

## **METODOLOGÍA**

Para este estudio se han seleccionado seis estaciones pluviométricas ubicadas en la zona norte de la provincia de Santa Fe, conocida como región de los Bajos Submeridionales santafesinos. Gran parte de las estaciones ubicadas en esta zona son o han sido operadas por organismos públicos, tales como el Servicio Meteorológico Nacional a través de Ferrocarriles o la Dirección Provincial de Hidráulica de la Provincia de Santa Fe, mientras que otras son operadas por productores o cooperativas de productores de la región. Se dispone en cada una de ellas de registros pluviométricos en el período 1960 - 1992.

Estos datos originales han sido ordenados y rellenados por los autores del presente trabajo mediante la aplicación de la Teoría de los Campos Paramétricos Continuos. Las estaciones

analizadas son: Antonio Pini - Estancia El Guanagán - El Nochero - Garabato - Guaycurú - Vera.

El fenómeno de la lluvia sobre un área se puede definir en términos de eventos, los cuales pueden considerarse formados por registros de precipitación diaria en forma ininterrumpida, limitados por valores umbrales definidos en cada caso o región analizada. En esta área de estudio se ha considerado que un valor umbral inferior adecuado es 1mm, por lo tanto los eventos de lluvia estarán formados por días consecutivos con lluvias superiores a este valor. De acuerdo a esta definición, se realizó el análisis en el período 60-92 en las estaciones seleccionadas para este estudio. Se considera que este período es meteorológicamente homogéneo, esto significa que dentro de él la probabilidad de ocurrencia de un evento lluvioso permanece aproximadamente constante.

Dentro del período estudiado se considera la ocurrencia de  $e$  eventos, cada uno con una intensidad determinada. Para el análisis de la variable ocurrencia de eventos lluviosos se parte de considerar el modelo Binomial; si el número de pruebas se hace grande (al tomar el año el número de pruebas es igual a 365) y la probabilidad de presentación del fenómeno se hace pequeña pero con el producto de estas dos cantidades aproximadamente constantes, el modelo que se deriva es el de Poisson. Con este modelo se modela la ocurrencia de eventos lluviosos, su función de cuantía es:

$$P(X = x) = e^{-\lambda_e} \cdot \lambda_e^x / x! \quad (1)$$

donde  $\lambda_e$  es el parámetro del modelo y su significado físico es el número medio de ocurrencias de eventos lluviosos en cada período analizado y se estima a partir de las series históricas.

Este modelo está íntimamente vinculado a los procesos estocásticos, dada su dependencia del tiempo en el que se realiza el análisis. Un fenómeno para ser clasificado como proceso de Poisson debe cumplir con las siguientes condiciones:

-estacionariedad: la probabilidad de que ocurra un evento dado en un intervalo de tiempo muy pequeño  $\Delta t$  es proporcional a ese tiempo e igual a  $\lambda \Delta t$ .

-no multiplicidad: la probabilidad de que ocurran dos o más eventos en un intervalo de tiempo pequeño  $\Delta t$  es despreciable comparado a  $\lambda \Delta t$ .

-independencia: el número de eventos en algún intervalo de tiempo es independiente del número de eventos en algún otro intervalo.

Para modelar la cantidad de lluvia precipitada se adopta la función de distribución exponencial cuya expresión es la siguiente:

$$f(x) = 1 - e^{-\lambda_p x} \quad (2)$$

a la que se le ha adicionado un término:  $(\lambda_p x)^j / j!$  que tiene en cuenta a los eventos.

Siendo  $n$  el número de días del evento y  $\lambda_p$  es el parámetro de la distribución cuyo significado es la inversa de la intensidad media de los eventos lluviosos en el período analizado.

La combinación de las expresiones (1) y (2) brinda la función del modelo que se busca y que permitirá modelar la precipitación sobre la región:

$$F(X) = \sum_{i=1}^{Nte} [(e^{-\lambda_e} \cdot \lambda_e^i / i!) \cdot (1 - e^{-\lambda_p x} \cdot (\sum_{j=0}^{i-1} (\lambda_p x)^j / j!))] \quad (3)$$

## ANÁLISIS

En todas las estaciones se llevó adelante el procesamiento de los datos (33 años de lluvia diaria) con el fin de obtener estimadores de los parámetros  $\lambda_e$  y  $\lambda_p$  para cada mes del año.

El análisis de los valores de estos estimadores permite decir que el comportamiento del fenómeno en la zona es bastante homogéneo. Esto puede observarse en la Tabla N°1 que muestra los valores de  $\lambda_e$  y su gráfico correspondiente para todas las estaciones (Figura N°1).

Es de hacer notar que en todas ellas los valores son del mismo orden de magnitud en los meses de enero a abril, mientras que de mayo a setiembre los valores del parámetro son más bajos, repuntando de octubre a diciembre. Esto significa que se registra mayor número de eventos de lluvia entre los meses enero a abril, y esto se da de manera homogénea en toda la zona analizada.

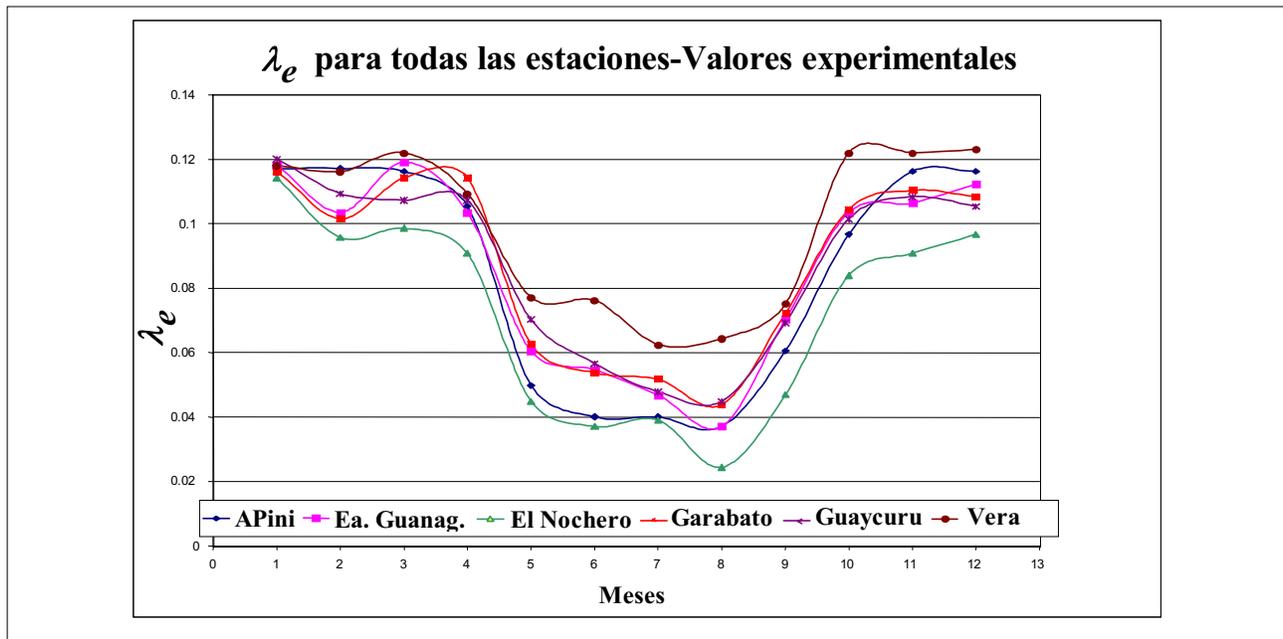


Figura N° 1. Lambdae ( $\lambda_e$ ) para todas las estaciones - Valores experimentales

El mismo análisis se ha realizado para el parámetro  $\lambda_p$  muestra de ello se presenta en la Tabla N°2 y su gráfico correspondiente para todas las estaciones (Figura N°2). La magnitud de este parámetro permite determinar la importancia de los eventos registrados. Se observa que los valores son del mismo orden, registrándose los más importantes (es decir los de mayor intensidad) en los meses de mayo a setiembre, esto indica que a pesar de ser menos frecuentes las lluvias son de mayor monto.

Este comportamiento de los parámetros permitió obtener los valores medios mensuales para el área. Luego a estos valores se les ajustaron polinomios de distintos órdenes. Los valores estimados se observan en la Tabla N°3 y sus gráficos correspondientes Figuras N°3 y N°4.

Para  $\lambda_e$  se ajustó un polinomio de grado cuatro con la siguiente expresión y los siguientes valores:

$$\lambda_e = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 + a_4 x^4$$

$$a_0 = 0.0942398 ; a_1 = 0.0332548 ; a_2 = -0.013848 ; a_3 = 0.0015393 ; a_4 = -0.000053;$$

siendo  $S=0.013145$  y  $r=0.93478$ .

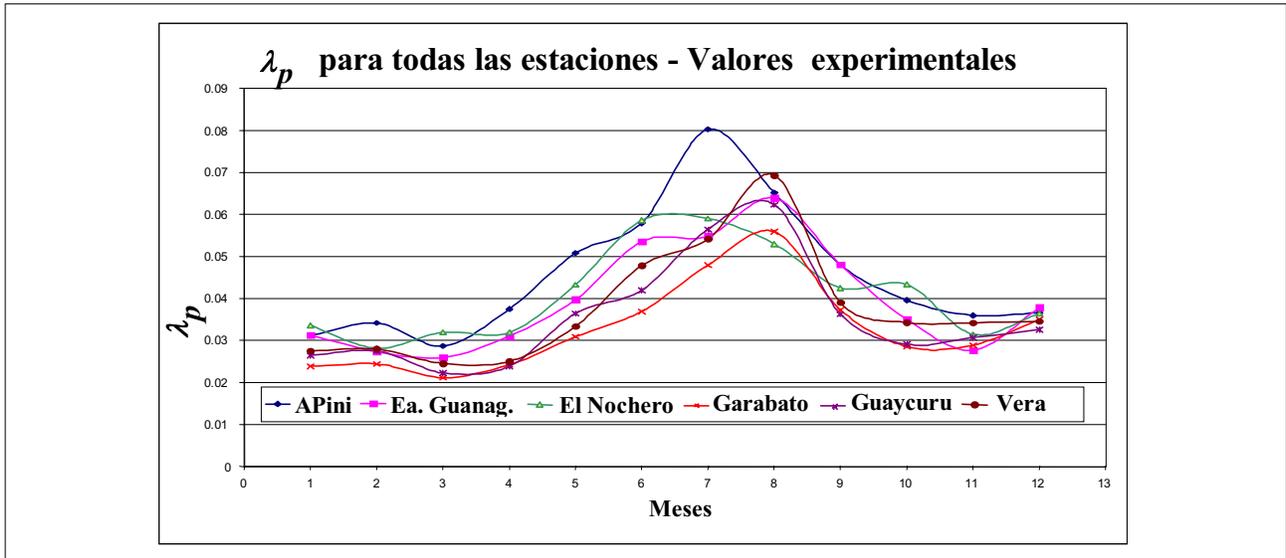


Figura N° 2. λ<sub>p</sub> para todas las estaciones - valores experimentales.

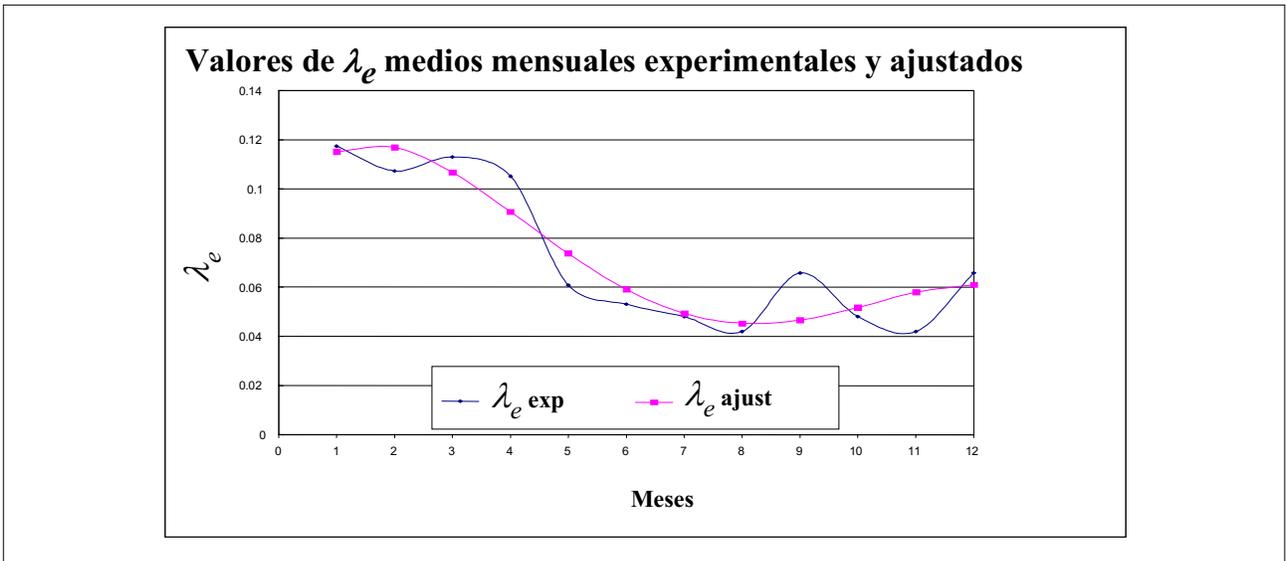


Figura N° 3. Valores de λ<sub>e</sub> medios mensuales experimentales y ajustados.

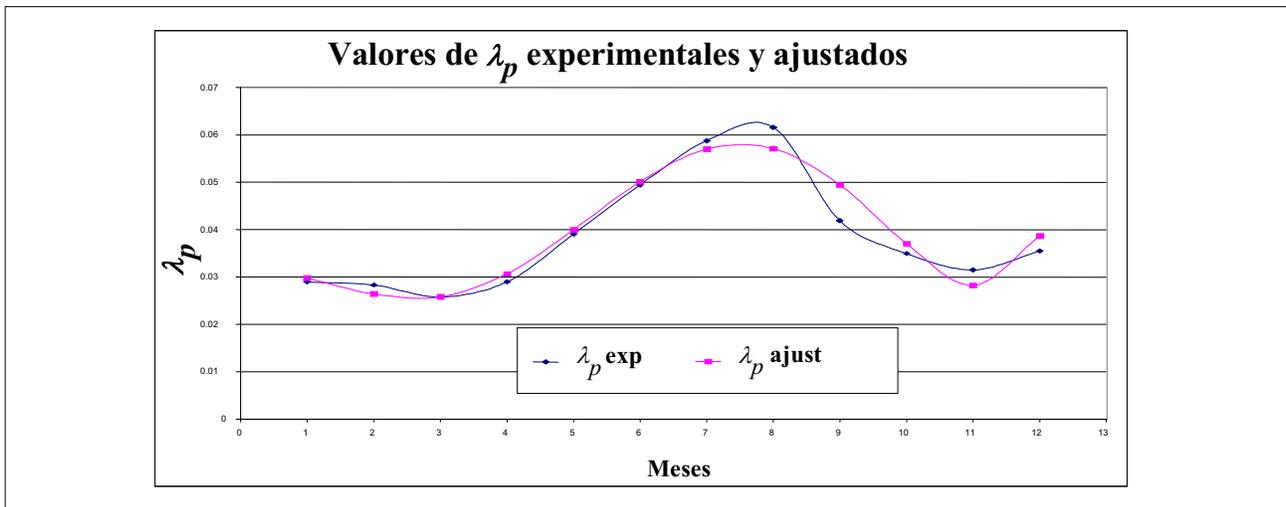


Figura N° 4. Valores de λ<sub>p</sub> medios mensuales experimentales y ajustados.

Tabla N°1 - Lambda eventos ( $\lambda_e$ ) para todas las estaciones

Meses	A.Pini	Ea.Guana g.	El Nochero	Garabato	Guaycurú	Vera
1	0.117188	0.118164	0.114258	0.116211	0.120117	0.118164
2	0.117188	0.103516	0.095703	0.101563	0.109375	0.116211
3	0.116211	0.119141	0.098633	0.114258	0.107422	0.122070
4	0.105469	0.103516	0.090820	0.114258	0.107422	0.109375
5	0.049805	0.060547	0.044922	0.062500	0.070313	0.077148
6	0.040039	0.054688	0.037109	0.053711	0.056641	0.076172
7	0.040039	0.046875	0.039063	0.051758	0.047852	0.062500
8	0.037109	0.037109	0.024414	0.043945	0.044922	0.064453
9	0.060547	0.070313	0.046875	0.072266	0.069336	0.075195
10	0.096680	0.103516	0.083984	0.104492	0.101563	0.122070
11	0.116211	0.106445	0.090820	0.110352	0.108398	0.122070
12	0.116211	0.112305	0.096680	0.108398	0.105469	0.123047

Tabla N°2 - Lambda precipitación ( $\lambda_p$ ) para todas las estaciones

Meses	A.Pini	Ea.Guana g.	El Nochero	Garabato	Guaycurú	Vera
1	0.031189	0.031263	0.033589	0.023791	0.026435	0.027491
2	0.034165	0.027354	0.028165	0.024393	0.027555	0.027918
3	0.028654	0.025918	0.031931	0.021169	0.022263	0.024524
4	0.037492	0.031057	0.031879	0.024215	0.023862	0.025079
5	0.050731	0.039647	0.043199	0.030899	0.036382	0.033310
6	0.057900	0.053542	0.058558	0.036863	0.041918	0.047794
7	0.080190	0.054799	0.059006	0.047913	0.056409	0.054081
8	0.065085	0.063862	0.052966	0.055845	0.062338	0.069285
9	0.047998	0.048003	0.042493	0.037259	0.036254	0.038954
10	0.039554	0.034929	0.043280	0.028503	0.029060	0.034228
11	0.035931	0.027618	0.031447	0.028880	0.030660	0.034185
12	0.036578	0.037767	0.036371	0.034991	0.032636	0.034563

Tabla N°3 - Valores de los parámetros medios mensuales estimados y ajustados

Meses	$\lambda_e$ estimado	$\lambda_e$ ajustado	$\lambda_p$ estimado	$\lambda_p$ ajustado
1	0.11735	0.115122	0.0289597	0.02974832
2	0.107259	0.116812	0.0282583	0.0264091
3	0.112956	0.106632	0.0257432	0.02578982
4	0.105143	0.090642	0.0289307	0.03067403
5	0.0608725	0.07363	0.039028	0.03993394
6	0.05306	0.059112	0.0494292	0.05010509
7	0.0480145	0.049332	0.058733	0.05696097
8	0.041992	0.045262	0.0615635	0.057087762
9	0.0657553	0.046602	0.0418268	0.04945827
10	0.0480145	0.05178	0.0349257	0.037008
11	0.041992	0.057952	0.0314535	0.02820832
12	0.0657553	0.061002	0.0354843	0.03864182

Para  $\lambda_p$  el polinomio y sus valores son:

$$\lambda_p = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3 + a_4 x^4 + a_5 x^5$$

$a_0 = 0.0275382$  ;  $a_1 = 0.0094281$ ;  $a_2 = -0.010086$  ;  $a_3 = 0.0032095$  ;  $a_4 = -0.000359$  ;

$a_5 = -0.000013$ ; siendo  $S=0.00425875$  y  $r= 0.96525$ .

En ambas expresiones  $x$  es el número de mes: 1.....12 (Enero...Diciembre).

Con los valores de los parámetros del modelo propuesto para cada una de las estaciones y cada uno de los meses se estimaron las precipitaciones utilizando la expresión (3), correspondientes a distintos períodos de retorno ( $T$ ); siendo  $T= 1/F(x)$ , el tiempo promedio hasta que se verifica un valor menor o igual a  $x$ . Se presentan los valores para el caso  $T= 50$  años en las estaciones El Nochero y Vera en los meses de Enero y Julio.

Una vez calculados estos valores de precipitación se utilizaron las expresiones de los polinomios ajustados a cada uno de los parámetros y se obtuvieron los valores de precipitación correspondientes a los mismos períodos de retorno. Se muestra el correspondiente a 50 años a efectos de su comparación, en dos estaciones ubicadas en lugares opuestos de la región analizada:

### CONCLUSIONES

Se puede inferir al analizar los resultados anteriores que los valores de precipitación correspondientes a un período de retorno 50 años (es decir para  $F(x)=0.02$ ), obtenidos utilizando

<b>Meses</b>	<b>El Nochero</b>	<b>Vera</b>	<b>Polinomios</b>
Enero	164	158	163
Julio	482	300	382

la expresión del modelo propuesto y usando los valores estimados de los parámetros, son aceptables.

Usando la expresión del modelo (3), pero utilizando los polinomios presentados para estimar los valores de los parámetros  $\lambda_e$  y  $\lambda_p$ , se obtienen valores de precipitación dentro del mismo orden de magnitud.

Entonces puede concluirse que esta metodología propuesta puede ser utilizada en esta zona para obtener valores de precipitación para distintos períodos de retorno, ya que existen lugares en esta área en los que se carece totalmente de información. Esta metodología será aplicada en otras zonas de la provincia ya que constituye una importante herramienta para la obtención de valores de diseño.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aparicio Mijares, F. J.- (1989)- Fundamentos de Hidrología de Superficie - Noriega Editores - Editorial Limusa - México.
- Benjamin, J., and C. Cornell - (1970)- Probability, Statistics and Decision for Civil Engineers - Mc Graw Hill Book company - New York
- Llamas, J. -(1985) - Hydrologie générale : Principes et Applications - Gaetan Morin Ed. - Quebec - Canadá.
- Silber, M. - (1988) - “Teoría de los Campos Paramétricos Continuos”

---

ADDRESS FOR CORRESPONDENCE  
 S. Vanlesberg  
 Universidad Nacional del Litoral C.C. 217  
 3000 Santa Fe  
 Argentina

Email:suvan@fich1.unl.edu.ar

---