



Regionalización de precipitaciones máximas acumuladas de 7, 15 y 30 días para las provincias de Chaco y Formosa

Mendez, Guillermo José¹ - Ruberto, Alejandro Ricardo - Pilar, Jorge Victor - Depettris, Carlos Alberto

Recibido: 07 de abril de 2011 • Aceptado: 28 de abril de 2011

Resumen

El presente documento resume el trabajo de regionalización de precipitaciones máximas de siete, quince y treinta días de duración para las provincias de Chaco y Formosa. Se ajustaron las curvas de probabilidad regional para precipitaciones máximas acumuladas de duraciones de 7, 15 y 30 días, luego fueron realizados mapas de dichas variables para una recurrencia mínima e interanual de 2,33 años, a fin de obtener la variabilidad espacial de este valor. Estos resultados permitieron la comparación con otros estudios de regionalización en las provincias de Chaco y Formosa enfocados en precipitaciones máximas acumuladas de 1, 2 y 3 días y evaluar la evolución de dicha variable hidrológica en función de la cantidad de días acumulados.

Para tiempos de recurrencia de 2,33 años las precipitaciones máximas acumuladas de 7 días presentan una variación de 130mm a 210mm; las de 15 días de 170mm a 280mm y las de 30 días de 225mm a 375mm.

En todos los casos se presenta un gradiente negativo de sureste a noroeste, y al ir aumentando los días acumulados de la variable hidrometeorológica analizada, los sectores que se apartan del mencionado gradiente van morigerando su diferencia con la tendencia regional.

Palabras clave: regionalización, precipitaciones, llanura chaqueña

Abstract

This document summarizes the regionalization process considering the annual seven, fifteen and thirty days precipitation amounts for the provinces of Chaco and Formosa. Regional probability curves were adjusted for the annual maximum of seven, fifteen and thirty and then, the maps of these variables were developed for a minimum and annual recurrence of 2.33 years, in order to obtain the spatial variability of these values. These results allowed the comparison with other studies of regionalization in the provinces of Chaco and Formosa focused on maximum accumulated rainfall of 1, 2 and 3 days. And therefore evaluate the evolution of the hydrological variable depending on the number of days.

The annual maximum of seven day precipitation amounts, for recurrence of 2.33 years, vary from 130mm to 130mm, those of fifteen day vary to 170mm a 280mm and those of thirty day vary to 225mm to 375mm.

All the cases present a negative gradient from southeast to northwest and those sectors which deviate from the regional tendency reduce their differences when the number of day growth.

Keywords: regionalization, precipitations, Chaco flatlands

¹ Grupo de Investigación del Departamento de Hidráulica - Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Nordeste (UNNE) - Av. Las Heras 727 (CPA H3500COI), Resistencia, Chaco, Argentina.

✉ guillermojosemendez@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

Siendo que las precipitaciones diarias son una variable hidrológica relativamente fácil de medir, la falta de estaciones de medición en zonas de baja densidad poblacional o errores sistemáticos en las mediciones de las precipitaciones son frecuentes en la región de la Llanura Chaqueña. Los datos de precipitaciones son recolectados por distintos organismos provinciales y nacionales, a través de sus respectivas estaciones meteorológicas, sin que exista hasta la fecha una base de datos unificada, verificada y actualizada con un mismo criterio.

A través de la regionalización se busca estimar valores numéricos de variables hidrometeorológicas, por ejemplo precipitación, en zonas donde existen vacíos de información. Se basa en la hipótesis de la similitud estadística regional (Tucci, 1997).

La regionalización utiliza un conjunto de datos espacialmente diseminados de cierta variable, observados en distintos puntos de una región, para estimar cuantiles asociados a diferentes probabilidades de excedencia para un cierto lugar dentro de esa región. El análisis de frecuencias regional puede ser usado para aumentar la confiabilidad de cuantiles calculados de un punto, o bien, para calcular los cuantiles en lugares sin registro de datos (Naghetini y Pinto, 2007). Cabe aclarar que la regionalización, como cualquier técnica matemática o estadística, no puede crear información sino que permite explorar mejor los datos existentes.

Existen varias metodologías de regionalización entre las que se destaca: i) el método de los valores seleccionados, donde se regionalizan los cuantiles asociados a un riesgo; ii) el método de los parámetros, donde se regionalizan los parámetros de una distribución estadística y iii) el método de la curva adimensional, que adimensionaliza la variable a regionalizar relacionándola con una variable explicativa. El método de índice de precipitaciones, se cataloga dentro de la última metodología y parte del principio de que existe una proporcionalidad fija entre las precipitaciones de diferentes tiempos de retorno.

El presente documento resume el trabajo de regionalización de precipitaciones máximas de siete, quince y treinta días de duración para las provincias de Chaco y Formosa, mediante el método de índice de precipitaciones (IP).

ZONA DE ESTUDIO

La zona estudiada se limitó a las provincias de Chaco y Formosa situadas en el nordeste de la República Argentina, región de la Llanura Chaqueña, abarcando una superficie de 175.290km² (correspondiente al 6% de la superficie del territorio nacional). En la Figura 1 se indica la ubicación de la zona de estudio en la República Argentina.

Esta región se caracteriza por tener un relieve plano, sin accidentes geográficos sobresalientes y presenta un suave declive en dirección NO - SE. Tiene un clima subtropical con estación seca y en verano se producen las mayores y más intensas precipitaciones. La frecuencia de las mismas y el total precipitado anual presentan un gradiente negativo de este a oeste.

La irrupción alternada de masas de origen tropical y polar determina el ritmo meteorológico normal de las planicies del norte argentino.

Durante el invierno se destaca la menor actividad de los frentes fríos como productores de lluvia, ya que se trata de frentes que reemplazan aire continental por un nuevo aire continental. El más frecuente de los tipos pluviales lo constituye la

lluvia moderada o llovizna, mientras que los aguaceros más intensos, si bien son menos recurrentes, aportan la cuota mayor al total de la estación. La franja comprendida entre los meridianos 59°30' y 60°30' comprende el límite oriental de la zona con dominio de sequías invernales.

La estación cálida es la más propicia a la producción de lluvias. Ello se debe más a la calidad del aire, que interviene en las perturbaciones, que a la frecuencia de los procesos frontales. En verano la distribución de la humedad relativa presenta una franja de valores altos en los valles aluvionales de los ríos Paraná y Paraguay y los frentes calientes tienen mayor representación que en el invierno, ya que la actividad ciclónica pasa por un mínimo. Estas condiciones atmosféricas del período cálido son potencialmente las más propicias para la producción de altas precipitaciones y aún cuando la frecuencia de empujes polares pasa por un mínimo, cuando ellos se producen, el contraste con el aire húmedo es tan marcado que se generan procesos pluviales violentos. Así el más frecuente de los tipos pluviales del verano es el chaparrón intenso y la frecuencia de precipitaciones superiores a 10mm y 50mm muestra un eje de altos valores que es coincidente con la línea de inestabilidad Formosa - Pehuajó (Bruniard, 1981).

DATOS UTILIZADOS

Se utilizaron datos de precipitaciones diarias de 44 estaciones del Chaco, 54 estaciones de Formosa, 4 estaciones de Santa Fe y 1 estación de Salta.

Los datos del Chaco fueron suministrados por la Administración Provincial del Agua (APA) de la provincia del Chaco, los de Formosa por la Dirección de Recursos Naturales de esta provincia y los de Santa Fe y Salta por la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación de la República Argentina.

En la Figura 2 se ilustra la ubicación de las estaciones utilizadas, notándose que en el noroeste del Chaco la densidad de estaciones es escasa, coincidente con una baja densidad poblacional.

METODOLOGÍA

El procedimiento utilizado para realizar la regionalización fue una variante del Método del Índice de Crecientes - MIC (Tucci, 2002), que fue adoptado por ser simple y de fácil resolución. Para aplicar el método de regionalización se siguieron los siguientes pasos:

- Análisis de frecuencias: se ajustaron curvas de probabilidades de ocurrencia de precipitaciones de cada estación.
- Índice de Precipitaciones (IP): se determinaron los índices de precipitaciones de cada estación, que se utilizan como variable adimensionalizada para el procesamiento regional.
- Prueba de homogeneidad: se verificó que las estaciones analizadas cumplieran con el criterio de homogeneidad hidrológica desde el punto de vista de las precipitaciones.
- Determinación de la curva regional: se ajustaron curvas de probabilidades de la variable adimensionalizada para la región.
- Trazado de los mapas de regionalización: se trazaron las isohietas para precipitaciones máximas anuales acumuladas de 7, 15 y 30 días.

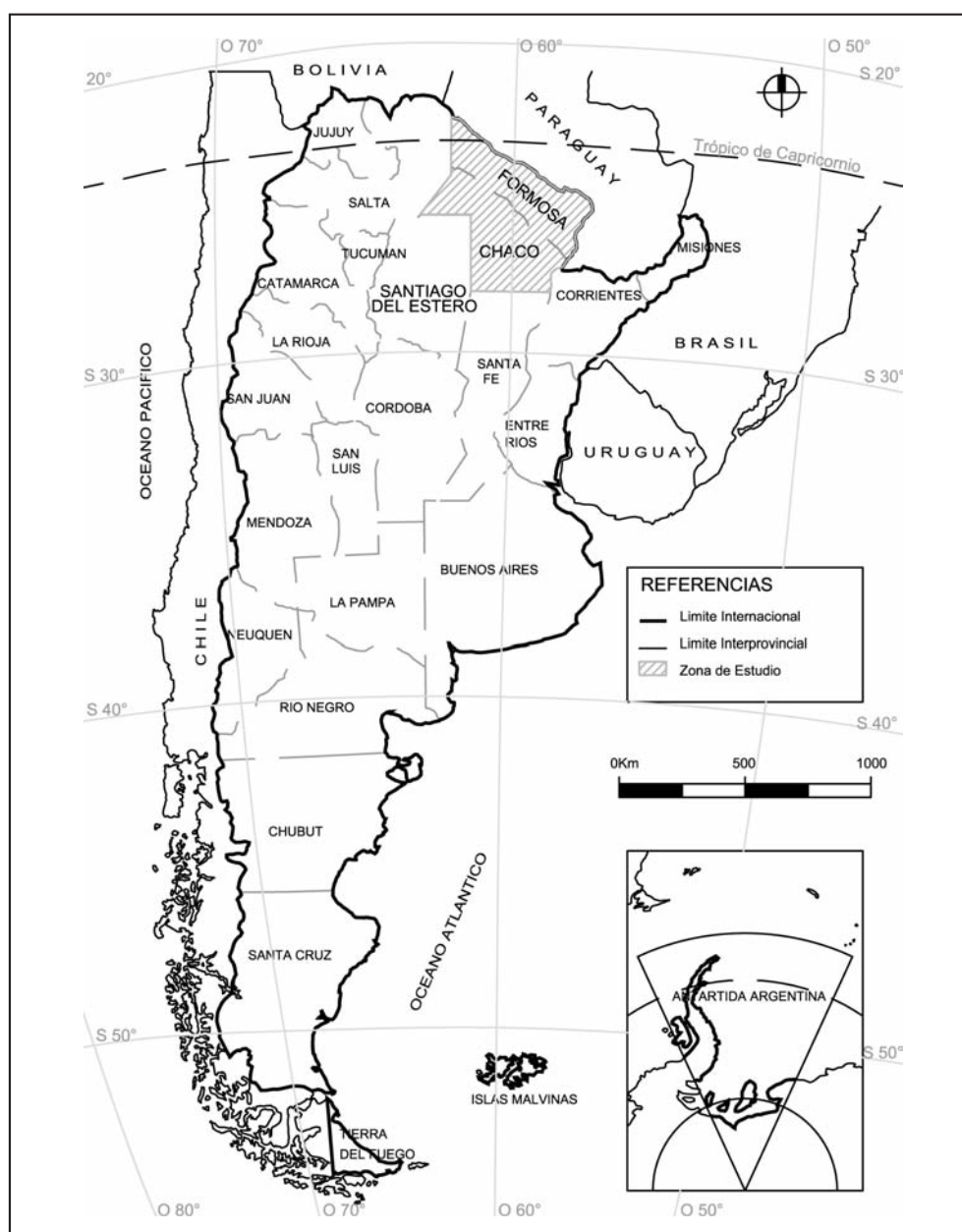


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio en la República Argentina.

Análisis de frecuencia

Para el ajuste de la curva de probabilidades de ocurrencia de precipitaciones se utilizó el software AfMulti, desarrollado por Paoli y Cacik, de la FICH - UNL (Paoli et al., 1991), que permite ajustar distribuciones de probabilidades a series de datos.

Se determinaron las probabilidades de excedencia de precipitación acumuladas para 7, 15 y 30 días de duración, para TR de 50, 40, 30, 25, 20, 15, 10, 5, 2,33 y 2 años. La bondad del ajuste se determinó en base a los tests de “Chi cuadrado” y “Kolmogorov – Smirnov”.

Para la adopción de la distribución de probabilidad se optó por aquella que presentaba el menor error cuadrático medio de la variable (ECMV). La distribución que presentaba menor ECMV para las precipitaciones máximas anuales acumuladas de 7 días fue la de “Valores Extremos Generalizados” (GEV), en

tanto que para 15 y 30 días fue “Log Pearson”. En la Tabla 1 se indican los ECMV promedio de todas las estaciones analizadas para las distribuciones de GEV y Log Pearson, que en todos los casos, presentaron los menores valores respecto a las demás distribuciones analizadas.

Tabla 1. Error cuadrático medio de la variable promedio de todas las estaciones analizadas

Días	ECMVprom	
	GEV	Log Pearson
7	11,41	11,44
15	14,29	14,02
30	16,60	16,30

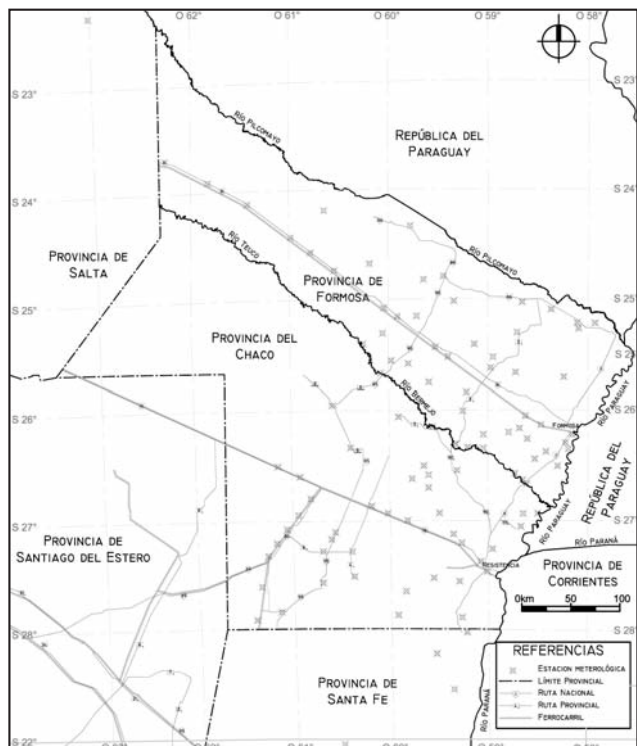


Figura 2. Ubicación de las estaciones de Chaco, Formosa, Santa Fe y Salta

Para el ajuste de precipitaciones máximas anuales acumuladas de 7, 15 y 30 se utilizó la distribución GEV debido a: i) la diferencia de ECMV promedios entre los distribuciones Log Pearson y GEV es despreciable; ii) es la misma distribución utilizada por Mendez, et al (2009) para las precipitaciones máximas acumuladas de 1, 2 y 3 días.

Índice de precipitaciones locales

En la regionalización de caudales se utiliza el índice de crecienter que es calculado como la relación entre el caudal medio de desborde (TR de 1,5 a 2 años) y el caudal medio de largo período, factor que permite analizar la amplitud de las crecientes con relación a las condiciones medias de un río (Tucci, 2002).

Por analogía con este índice, se definió el índice de precipitación (IP) que se calculó como la relación entre la precipitación máxima anual para un determinado TR y la precipitación máxima media anual, que en este estudio fue estimada como de 2,33 años de tiempo de recurrencia. Para su cálculo se utilizó la ecuación mostrada en (1).

$$I_{TRj} = \frac{P_{TRj}}{P_{Mj}} \tag{1}$$

donde:

ITRj: Índice de Precipitaciones para un tiempo de recurrencia (TR) de la estación “j”;

PTRj: Precipitación máxima anual para un tiempo de recurrencia (TR);

PMj: Precipitación máxima media anual para un TR de 2,33 años.

Fueron calculados los IP locales para lluvias máximas anuales acumuladas de 7, 15 y 30 días de duración y TR de 50, 40, 30, 25, 20, 15, 10, 5 y 2 años.

En líneas generales, se observó que esos IP locales no presentan gran variación de una estación a otra, aunque se destaca que la dispersión de dichos valores aumenta con el TR y la duración de la precipitación. En la Tabla 2 son mostrados: el promedio, valores máximos y mínimo de los IP locales para precipitaciones máximas anuales de 7, 15 y 30 días de duración.

Prueba de homogeneidad hidrológica

Para la prueba de homogeneidad hidrológica se aplicó el criterio de Langbein (Dalrymple, 1960) en precipitaciones máximas anuales acumuladas de 7, 15 y 30 días, que consistió en realizar:

- Para cada estación se determinaron las precipitaciones con tiempo de recurrencia de 2,33 años (PM) y 10 años (P10) mediante la distribución de probabilidades GEV.
- Se calculó el promedio de los IP locales de todas las estaciones para tiempos de recurrencia de 10 años (IP10prom).

Tabla 2. Parámetros estadísticos de los IP locales.

Días	Parámetro	Tiempo de Recurrencia [años]							
		50	40	30	25	15	10	5	2
7	Máximo	3,00	2,77	2,51	2,36	1,97	1,71	1,37	0,95
	Mínimo	1,58	1,55	1,51	1,49	1,41	1,34	1,19	0,92
	Promedio	2,12	2,02	1,91	1,85	1,66	1,51	1,27	0,94
	Desvio Estándar	0,33	0,29	0,24	0,22	0,15	0,10	0,04	0,01
25	Máximo	2,85	2,64	2,40	2,26	1,91	1,67	1,35	0,96
	Mínimo	1,51	1,49	1,45	1,43	1,36	1,30	1,18	0,92
	Promedio	1,97	1,89	1,80	1,75	1,59	1,46	1,25	0,94
	Desvio Estándar	0,30	0,26	0,21	0,19	0,14	0,10	0,04	0,01
30	Máximo	2,55	2,39	2,21	2,11	1,82	1,62	1,32	0,96
	Mínimo	1,49	1,46	1,43	1,41	1,35	1,29	1,17	0,92
	Promedio	1,86	1,79	1,72	1,67	1,54	1,43	1,24	0,95
	Desvio Estándar	0,25	0,21	0,18	0,16	0,11	0,08	0,04	0,01

- Para cada estación se multiplicó PM con el IP10prom, para obtener una precipitación de 10 años de recurrencia de cada estación (TRc), pero esta vez obtenida mediante un parámetro regional.
- Se graficaron los TRc de cada estación versus la longitud del registro de lluvias de la misma. Si los puntos de las estaciones están dentro de la faja delimitada, la región es homogénea, en tanto que las estaciones que quedaron fuera fueron excluidas del proceso de regionalización.

En las Figuras 3, 4 y 5 se ilustran los resultados de las pruebas de homogeneidad para precipitaciones máximas anuales acumuladas de 7, 15 y 30 días de duración respectivamente.

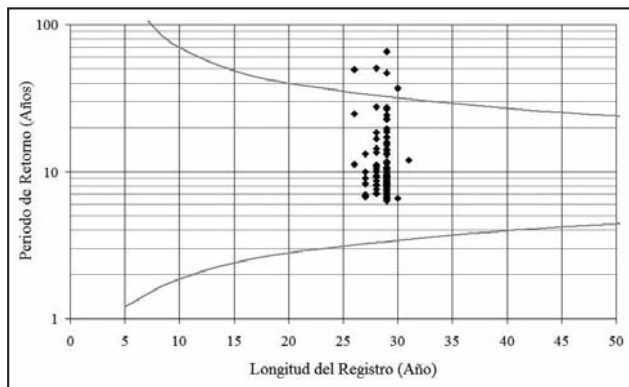


Figura 3. Prueba de homogeneidad hidrológica para precipitaciones máximas anuales acumuladas de 7 días de duración.

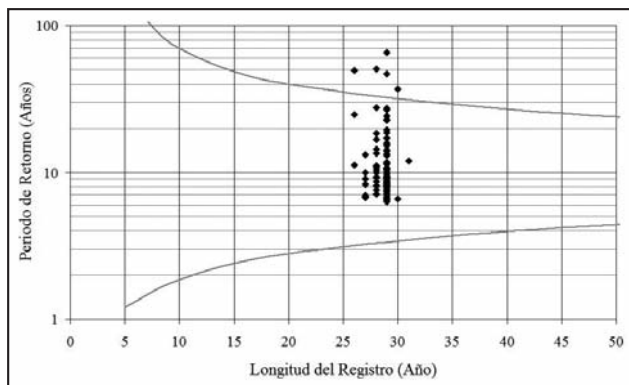


Figura 4. Prueba de homogeneidad hidrológica para precipitaciones máximas anuales acumuladas de 15 días de duración.

En la Tabla 3 se detallan las estaciones descartadas por la prueba de Langbein para precipitaciones máximas anuales acumuladas de 7, 15 y 30 días.

Curva regional de probabilidades

Se determinaron los IP regionales mediante la curva de probabilidades regional, que permite resumir las curvas de probabilidades locales en un solo gráfico.

La determinación de la curva de probabilidades regional, se realizó ajustando la ecuación (2).

$$I_{TR} = a - b \cdot \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{TR} \right) \right] \quad (2)$$

donde:

I_{TR} : Índice de Precipitaciones regional para un TR dado;
a y b: parámetros de ajuste de la curva de probabilidades regional.

La expresión (2) proviene de la variable reducida de la distribución de Gumbel, expresada en función del tiempo del retorno.

El ajuste de los parámetros a y b fue realizado mediante la herramienta "solver" de Excel, con el cual se buscaron los valores de dichos parámetros que presentaban el R2 más cercano a 1. Así se obtuvieron esos valores para precipitaciones máximas anuales acumuladas de 7, 15 y 30 días, que conjuntamente con los parámetros obtenidos para precipitaciones máximas anuales acumuladas de 1, 2 y 3 días, obtenidas por *Mendez y otros (2009)*, se detallan en la Tabla 4:

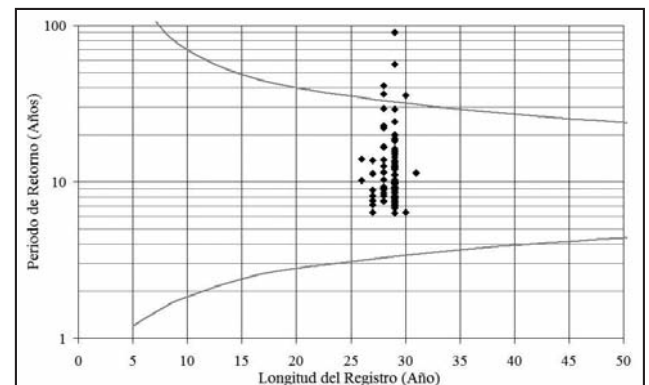


Figura 5. Prueba de homogeneidad hidrológica para precipitaciones máximas anuales acumuladas de 30 días de duración.

Tabla 3. Estaciones descartadas por prueba de Langbein.

7 Días	15 Días	30 Días
Cnias Unidas	Las Garcitas	Las Palmas
Lag Limpia	B. Gomez	B. Gomez
Apeyerey	Colonia Aborigen	Cnia Aborigen
B. Gomez	Irigoyen	El Resguardo
Cnia Aborigen	Loma Senez	Irigoyen
Herradura	Mansilla	Mansilla
Ing. Juarez	Naick Neck	Naick Neck
Loma Senez	Villa Escolar	Uriburu
Mansilla		Villa Escolar
Naick Neck		Esc N 1256
Uriburu		Florencia
Villa Escolar		
Esc N 1256		
Florencia		

Tabla N°4. Parámetros de la curva de probabilidades regional

Duración	A	b	R ²
1 día	0,799	0,325	0,78
2 días	0,779	0,351	0,80
3 días	0,786	0,342	0,76
7 días	0,796	0,330	0,81
15 días	0,827	0,288	0,80
30 días	0,850	0,257	0,82

Mapas de regionalización

Se trazaron las isohietas de precipitaciones para un tiempo de recurrencia de 2,33 años y duraciones de 7, 15 y 30 días.

Los mapas de regionalización permiten observar la variación espacial de la variable regionalizada y utilizando los mapas de regionalización trazados por *Mendez y otros (2009)* es posible observar la evolución de las isohietas al ir aumentando la cantidad de días en que se acumula la altura total precipitada. Los mapas de regionalización trazados para precipitaciones máximas acumuladas de 1, 2, 3, 7, 15 y 30 días son mostrados en las Figuras 6, 7, 8, 9, 10 y 11.

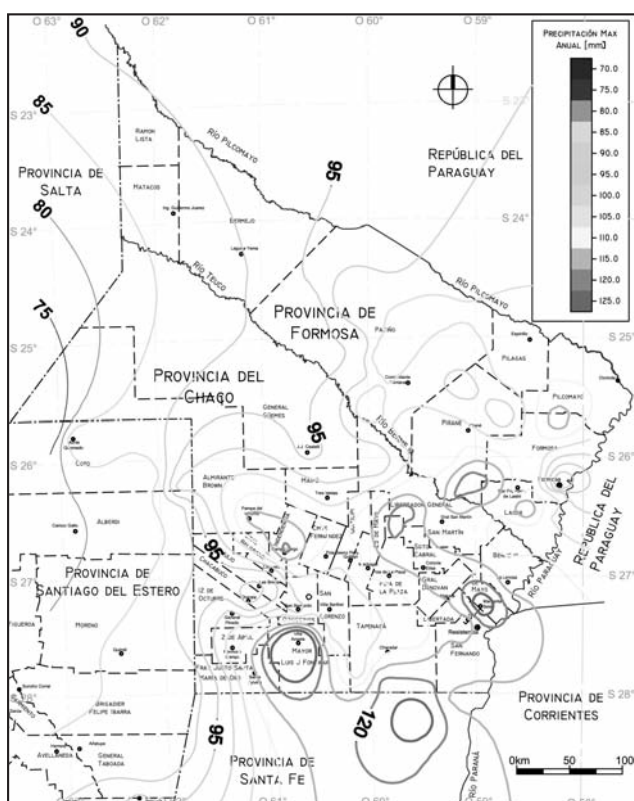


Figura 6. Mapa de precipitaciones máximas acumuladas de 1 día y 2,33 años de TR.

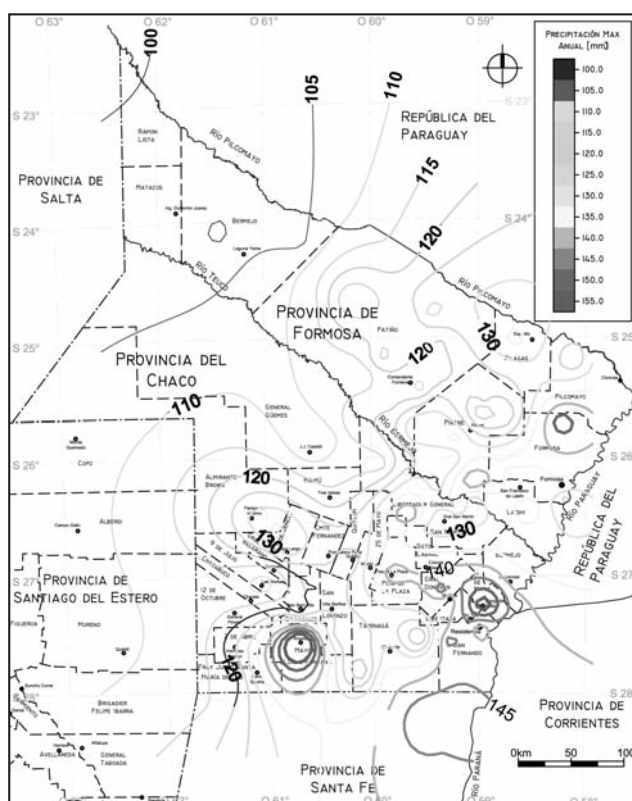


Figura 7. Mapa de precipitaciones máximas acumuladas de 2 días y 2,33 años de TR.

CONCLUSIONES

En los mapas de regionalización para precipitaciones máximas anuales acumuladas de 7, 15 y 30 días se constata una variación espacial similar a los de 1, 2 y 3 días obtenidos por *Mendez y otros (2009)*. En todos los casos se presenta un gradiente negativo de sureste a noroeste, lo que coincide con el comportamiento hidrológico de la zona. Al ir aumentando los días acumulados de la variable hidrometeorológica analizada es posible constatar que aquellos sectores que se apartan del mencionado gradiente van morigerando su diferencia con la tendencia regional. Esto puede deberse a la influencia de los eventos convectivos, de gran variabilidad espacial, sobre la altura total precipitada en análisis de corta duración (*Pilar et al., 2002*).

Para tiempos de recurrencia de 2,33 años las precipitaciones máximas acumuladas de 7 días presentan una variación

de 130mm a 210mm, las de 15 días de 170mm a 280mm y las de 30 días de 225mm a 375mm.

Todas las curvas de probabilidades regionales ajustadas presentan un R² aceptables, en torno a 0,80; sin que exista una variabilidad en dicho valor en función de los días acumulados de la variable hidrometeorológica.

AGRADECIMIENTOS

Al área Estudios Básicos de la Administración Provincial de Agua (APA) de la provincia del Chaco, a la Unidad Provincial Coordinadora del Agua (UPCA) de la provincia de Formosa y la Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación por los datos suministrados.

A la Universidad Nacional del Nordeste (UNNE) y al Fondo para la Investigación Científica y Tecnológica (FONCYT), por la financiación otorgada.

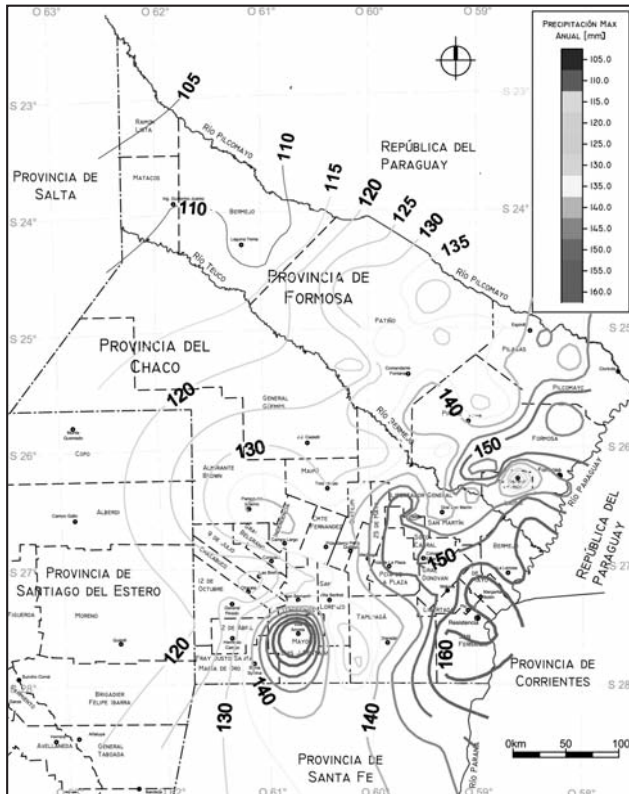


Figura 7. Mapa de precipitaciones máximas acumuladas de 3 días y 2,33 años de TR.

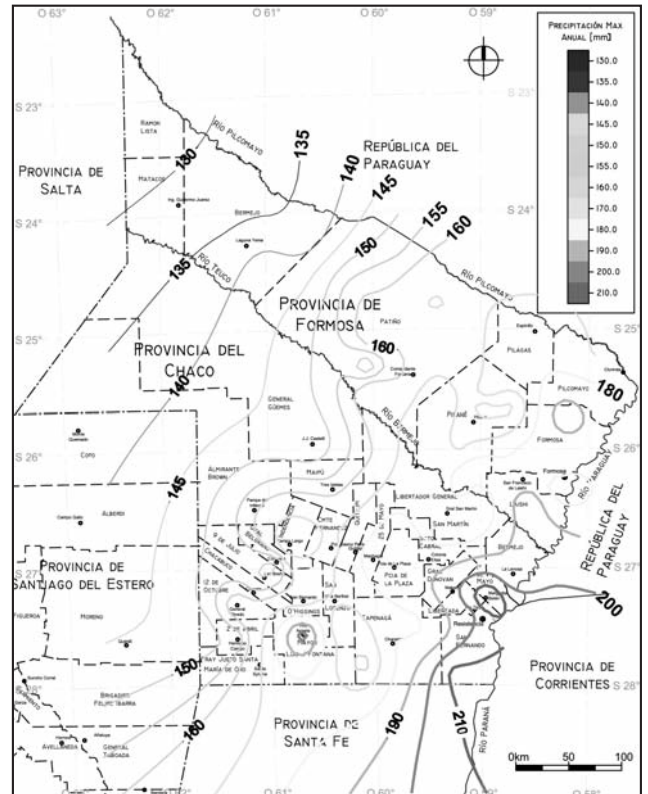


Figura 9. Mapa de precipitaciones máximas acumuladas de 7 días y 2,33 años de TR.

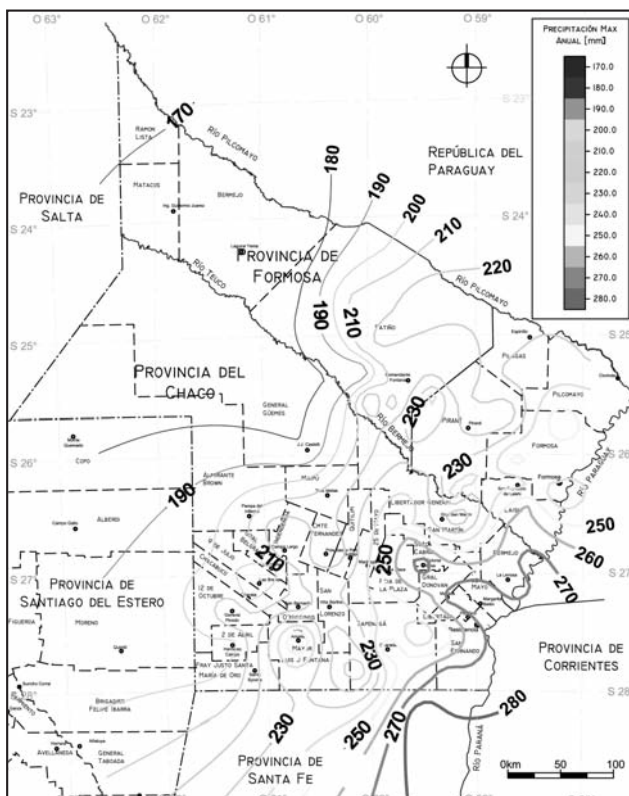


Figura 10. Mapa de precipitaciones máximas acumuladas de 15 días y 2,33 años de TR.

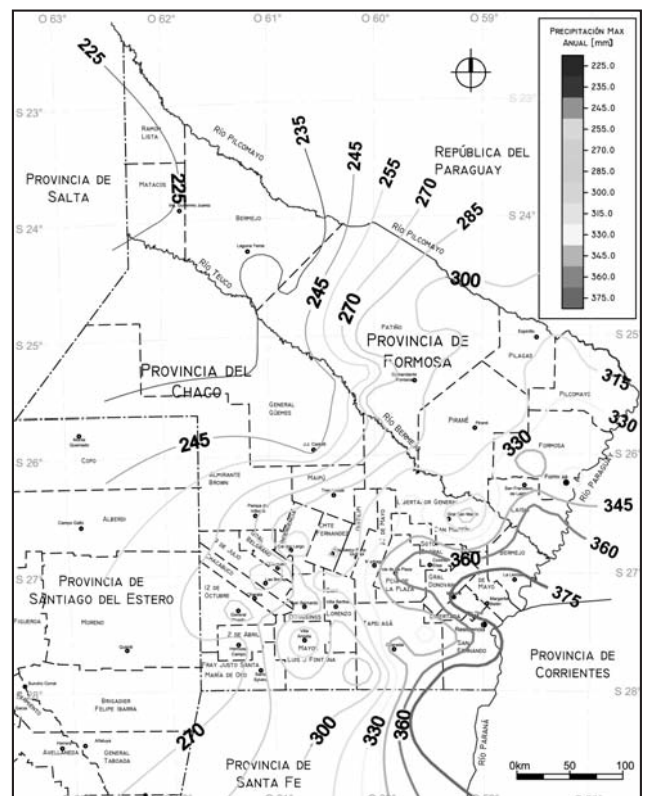


Figura 11. Mapa de precipitaciones máximas acumuladas de 30 días y 2,33 años de TR.

TRABAJOS CITADOS EN EL TEXTO

- BRUNIARD, E.D., 1981.
El Clima de las Planicies del Norte Argentino (Ensayo metodológico de geografía de los climas).
Tesis de Doctorado en Geografía de la Facultad de Humanidades de la Universidad Nacional del Nordeste.
- DALRYMPLE, T., 1960.
Flood frequency analyses.
Paper 1543-A. Manual of Hydrology: Part 3. Flood Flow Techniques. Geological Survey Water, Supply paper.
- MENDEZ, G., RUBERTO, A. Y PILAR, J. 2009.
Regionalización de Precipitaciones para las Provincias de Chaco, Formosa y Santiago del Estero.
XXII Congreso Nacional del Agua, Trelew, Chubut.
- NAGHETTINI, M., PINTO, E.J.A., 2007.
Hidrología Estadística. Serviço Geológico do Brasil, Superintendência Regional Belo Horizonte.
Belo Horizonte, Brasil.
- PAOLI, C., CACIK, P. Y BOLZICCO, J., 1991.
Manual del programa AfMulti.
Convenio Agua y Energía Eléctrica - Facultad de Ingeniería y Ciencia Hidricas, UNL, 46 pp. Santa Fe.
- PILAR, J., DEPETTRIS, C. Y BRONER, S., 2002.
Estimación de la PMP en la cuenca del río Negro (Chaco).
XXI Congreso Nacional del Agua, Villa Carlos Paz, Córdoba.
- TUCCI, C.E.M., 1997.
Hidrologia. Editora da UFRGS,
Porto Alegre, Brasil.
- TUCCI, C.E.M., 2002.
Regionalização de Vazoes.
Editora da UFRGS, Porto Alegre, Brasil.