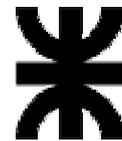


**TORMENTAS DE DISEÑO
PARA LA PROVINCIA
DE ENTRE RIOS**

**Dirección de Hidráulica
de Entre Ríos**



**Facultad Regional Concordia
Universidad Tecnológica Nacional**



Tormentas de diseño para la provincia de Entre Ríos / Eduardo Alberto Zamanillo ... [et.al.] ; con colaboración de Gustavo Roberto Larenze ... [et.al.]. - 1a ed. - Buenos Aires: Univ. Tecnológica Nacional, 2008.
104 p; 26x19 cm.

ISBN 978-950-42-0109-0

1. Ingeniería Hidráulica. I. Zamanillo, Eduardo Alberto II. Larenze, Gustavo Roberto, colab.

CDD 627

Diseño de Tapa: Grupo de Investigación en Hidrología e Hidráulica Aplicada - U.T.N. F.R. Concordia

Primera Edición

Impreso en Argentina

Depositado de acuerdo a la Ley 11.723

Provincia de Entre Ríos

Gobernador

Dn. Sergio Daniel URRIBARRI

Ministro de Gobierno, Justicia, Educación, Obras y Servicios Públicos

Cr. Adán Humberto BAHL

Secretario de Planeamiento e Infraestructura

Arq. Guillermo Luis FEDERIK

Director de Hidráulica de Entre Ríos

Ing. Sergio Gustavo FONTANA

Jefe de Departamento de Hidrología y Ordenamiento de Cuencas

Ing. Ms Sc. Oscar Carlos DUARTE

Equipo de Dirección de Hidraulica

Ing. Cristian Rodolfo GIETZ

Téc. Nilda Mónica GARCÍA

Téc. Héctor Antonio CASA

Universidad Tecnológica Nacional

Facultad Regional Concordia

Decano

Ing. José J. Penco

SECRETARIOS

Secretario Académico

Ing. Fabián A. Avid

Secretaria de Ciencia y Tecnología

Ing. Nidia G. Azzaretti

Secretario de Extensión Universitaria

Ing. Juan de Dios MacDougall

Secretario de Asuntos Estudiantiles

Sr. Agustín Leyes

Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Concordia

Grupo de Investigación en Hidrología e Hidráulica Aplicada

(GIHHA)

Equipo de Trabajo

Director de Proyecto:

Ing. Eduardo A. Zamanillo

Sub- director:

Ing. Gustavo R. Larenze

Docentes Investigadores:

Lic. María Josefina Tito

Mg. Martín M. Pérez

Ing. María Eugenia Garat

Tesista de Grado:

Prof. Patricia C. Gómez

Alumnos Becarios:

María Valeria Tugnarelli

Ale R. Leineker

Pablo J. Paskosky

Cristian A. Rossi

Agradecimientos:

La Facultad Regional Concordia de la Universidad Tecnológica Nacional y el GIHHA agradecen la valiosa contribución realizada por las siguientes instituciones:

- Dirección de Hidráulica de Entre Ríos*
- Servicio Meteorológico Nacional*
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - EE Concordia*
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - EE Paraná*
- Comisión Técnica Mixta de Salto Grande - Departamento de Hidrología*
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - EE Concepción del Uruguay*
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - Instituto de Clima y Agua*
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - EE San Pedro*
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - EE Rosario del Tala*
- Instituto Nacional del Agua - Centro Regional Litoral*
- Comisión Administradora Para El Fondo Especial De Salto Grande*
- Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Rosario*
- Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional del Litoral*
- Sociedad Rural de Gualeguay*

Concordia, Mayo de 2009

Presentación

Como Decano de la Facultad Regional Concordia, de la Universidad Tecnológica Nacional, tengo el privilegio de presentar a la comunidad técnico-científica los resultados de un proyecto de investigación que ha sido desarrollado en el ámbito de nuestra Casa de Estudios.

En particular, esta publicación tiene como objetivo difundir la metodología y los principales resultados de alcance práctico producidos por el Proyecto denominado "Regionalización de Precipitaciones Máximas para la Provincia de Entre Ríos" desarrollado en la Facultad por el Grupo de Investigación en Hidrología e Hidráulica Aplicada (GIHHA).

El proyecto ha sido financiado por la Secretaría de Ciencia, Tecnología y Posgrado de la Universidad y ha contado con la inestimable colaboración de numerosas entidades públicas y privadas relacionadas con la gestión de los recursos hídricos principalmente a través del suministro de información básica indispensable para el mismo.

El apoyo explícito recibido por este y otros proyectos que se desarrollan en la Facultad está enmarcado en la firme decisión estratégica de la Universidad y de las autoridades de la Casa, de desarrollar las capacidades de nuestros recursos humanos en la solución de problemas de la región y del país.

En este sentido, en el Proyecto no solamente han participado los Docentes Investigadores autores de esta publicación, sino que se han posibilitado numerosos trabajos finales de grado y habiéndose iniciado, asimismo, la formación en investigación de seis becarios alumnos.

Tal como expresamente manifestaran entidades públicas y privadas en el Taller de Presentación del Proyecto, realizado en el mes de noviembre de 2008, la metodología y las herramientas de visualización y cálculo aquí presentadas han sido valoradas positivamente por la comunidad técnica especializada.

Especialmente merece destacarse el aval recibido tanto del Colegio de Ingenieros Civiles de Entre Ríos como de las Direcciones Provinciales de Hidráulica (DPH) y de Vialidad (DPV).

Finalmente, debo destacar también que de esta publicación resulta el primer libro electrónico editado por la Facultad Regional Concordia y tres registros de propiedad intelectual correspondientes a los aplicativos de software desarrollados.

Ing. José Jorge Penco
DECANO

Prólogo

Esta publicación tiene como objeto principal presentar los resultados y las herramientas de visualización y cálculo del Proyecto de Investigación “Regionalización de Precipitaciones Máximas para la Provincia de Entre Ríos”.

Cuando el Grupo de Investigación en Hidrología e Hidráulica Aplicada (GIHHA) de la Facultad Regional Concordia de la Universidad Tecnológica Nacional solicitó a la Dirección de Hidráulica de Entre Ríos (DHER) la colaboración necesaria para el desarrollo de dicha investigación, no dudamos en comprender la importancia que para nuestra provincia tendrían sus resultados.

Es por ello que la DHER contribuyó mediante el aporte de su base de datos histórica de mediciones pluviométricas y pluviográficas de los estudios técnicos relacionados, colaborando también a través del apoyo de sus profesionales y técnicos en las etapas de inicio del proyecto y de verificación de productos y resultados.

Con los resultados del estudio se obtiene una sensible mejora en lo relativo a la disponibilidad de información básica para la elaboración de estudios hidrológicos y de diseño de obras hidráulicas menores en áreas rurales y urbanas.

El ingeniero proyectista de sistemas de drenaje, de obras hidráulicas en general o de vías de comunicación tiene a su disposición todos los elementos necesarios para ajustar su diseño y estudiar sin demora solicitudes alternativas directamente relacionadas con el lugar geográfico de la Provincia, incluyendo los aspectos vinculados tanto al interior como al exterior de la tormenta de diseño.

Los alumnos de las Facultades de Ingeniería de la Provincia reconocerán la utilidad de este libro al estudiar Hidrología Aplicada y materias conexas y, adicionalmente, aprovecharán la ventaja de su posterior empleo como libro de referencia en su práctica profesional.

Encontrarán guías y recomendaciones para el uso e instalación de los productos computacionales asociados al libro y, cuando lo necesiten, podrán recurrir siempre al resumen teórico o a las referencias que cubren ampliamente los fundamentos conceptuales y metodológicos de las técnicas empleadas.

Finalmente, es nuestra intención que este modelo de acción mancomunada de la Universidad y de los Organismos Competentes del Estado Provincial para contribuir a resolver problemas específicos de la sociedad pueda reproducirse en el futuro en ésta y en otras áreas de interés común.

Ing. Ms. Sc. Oscar C. Duarte
Jefe Dpto. Hidrología y O. de Cuencas

Ing. Sergio G. Fontana
Director de Hidráulica de Entre Ríos

Capítulo 1.- Antecedentes

1.1.- Introducción

El objetivo de esta publicación es proveer información de base imprescindible para la planificación territorial y para el diseño y operación de obras de infraestructura relacionadas con los recursos hídricos.

Para cualquier dimensionamiento de estructuras hidráulicas, desde una alcantarilla hasta una presa de embalse, resulta imprescindible cuantificar el tipo de tormenta que la obra deberá soportar y el correspondiente riesgo asociado.

El tipo de información requerida para el análisis hidrológico incluye altura de agua caída, probabilidad de ocurrencia (recurrencia), intensidad, duración y patrón de distribución temporal.

A través de esta publicación es posible aprovechar la información pluviométrica existente combinada a nivel regional con los registros pluviográficos disponibles en la Provincia de Entre Ríos para la determinación de tormentas de proyecto.

El contenido del este Manual refleja los principales resultados prácticos del Proyecto de Investigación VAINCD 451H “Regionalización de Precipitaciones Máximas para la Provincia de Entre Ríos” desarrollado por el Grupo de Investigaciones en Hidrología e Hidráulica Aplicada de la Facultad Regional Concordia de la Universidad Tecnológica Nacional con el apoyo de la Dirección Provincial de Hidráulica y el financiamiento de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad.

Estos resultados permiten calcular tormentas de diseño para recurrencias de 2, 5, 10, 20, 25 y 50 años en cualquier punto de la Provincia incluyendo la estimación de una relación intensidad-duración-recurrencia (I-D-T) y la distribución temporal de la tormenta.

En todos los casos el uso de este Manual está orientado a facilitar el trabajo de los Profesionales Especializados para la estimación de eventos de baja recurrencia para el diseño de obras hidráulicas menores en áreas rurales y urbanas.

1.2.- Información básica

Para la elaboración de este Manual se recopiló, analizó y procesó la información básica suministrada por los siguientes organismos: Servicio Meteorológico Nacional, Dirección de Hidráulica de la Provincia de Entre Ríos, Estación Experimental INTA Concordia, Estación Experimental INTA Concepción del Uruguay, Estación Experimental INTA Paraná, Comisión Técnica Mixta de Salto Grande, Sociedad Rural de Gualaguay, Dirección Nacional de Meteorología de Uruguay y Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación, así como otras estaciones experimentales de INTA en las provincias de Buenos Aires y Santa Fe.

1.3.- Contenido del Manual

El Capítulo 2 resume los resultados de la regionalización de precipitaciones máximas diarias en la Provincia de Entre Ríos, e incluye una descripción sintética de la metodología de regionalización adoptada, del proceso de recopilación y análisis estadístico de la información pluviométrica y de la elección de la distribución de probabilidad teórica. Como resultado se muestran los mapas de isohietas de precipitaciones máximas diarias.

Las relaciones intensidad-duración-recurrencia correspondientes a los pluviógrafos provinciales se presentan en el Capítulo 3, que describe brevemente las etapas de digitalización, procesamiento y análisis estadístico de la información pluviográfica.

El Capítulo 4 analiza los patrones de distribución temporal de las tormentas intensas, identificando los criterios adoptados para la separación y selección de tormentas. Presenta los hietogramas de diseño correspondientes a la metodología de Pilgrim, Cordery y French y al método de los bloques alternos.

En el Capítulo 5 se describen los criterios generales de regionalización de las relaciones intensidad-duración-recurrencia en sitios que carecen de información pluviográfica, basada en un procedimiento de desagregación temporal de la precipitación máxima diaria regionalizada.

El capítulo 6 detalla las características de los sistemas de información implementados para la visualización y consulta de resultados en las principales localidades de la provincia. Describe la estructura y funcionamiento de dos versiones de consulta: el Sistema de Información Geográfica (SIG) que utiliza la plataforma ArcExplorer 2, y su versión en formato HTML.

El Capítulo 7 describe el funcionamiento de la aplicación complementaria, denominada "Lluvias E.R.", 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.

Tanto en la página web de la Facultad Regional Concordia de la UTN (www.frcon.utn.edu.ar) cuanto en la página web de la Dirección de Hidráulica de la Provincia de Entre Ríos (www.hidraulica.gov.ar) se encuentra información sobre cómo obtener las herramientas informáticas asociadas al presente libro.

1.4.- Responsabilidad de uso

La Facultad Regional Concordia de la Universidad Tecnológica Nacional no se responsabiliza por el uso indebido de las herramientas de cálculo y visualización que acompañan a esta publicación.

La utilización de las mismas debe estar a cargo de un profesional competente en el diseño de obras hidráulicas.

Capítulo 2.- Regionalización de las Precipitaciones Máximas Diarias

2.1.- Introducción

La regionalización de variables hidrológicas comprende un conjunto de técnicas de inferencia estadística y de modelos probabilísticos, que utilizan el conjunto de datos observados, espacialmente distribuidos en puntos de una región considerada homogénea, para estimar los cuantiles asociados a diferentes probabilidades de excedencia en un punto cualquiera dentro de esa región.

Este capítulo presenta los resultados de la regionalización de las precipitaciones máximas diarias en el ámbito de la Provincia de Entre Ríos, cuyo procesamiento involucró un total de trescientos cincuenta series pluviométricas, con longitudes de 15 a 50 años distribuidas en toda la provincia, y en provincias y países limítrofes.

En base al análisis del conjunto de datos individuales se verificó la hipótesis de homogeneidad hidrológica y se desarrolló la metodología de regionalización utilizando el Método del Índice de Crecientes (Ref. 2.7 y 2.9.)

2.2.- Períodos de retorno de diseño

En los proyectos de diseño hidrológico deben definirse inicialmente el o los eventos de precipitación que alimentarán los modelos lluvia-caudal. Usualmente se utiliza una tormenta de diseño que tiene asociada una intensidad media de lluvia, una duración y un período de retorno (T_r)

Dado que la magnitud de un evento extremo es inversamente proporcional a su frecuencia de ocurrencia, se requiere definir el intervalo de recurrencia o período de retorno T_r , que por definición es el tiempo medio entre ocurrencias en el largo plazo.

La adopción de la magnitud del evento extremo dependerá del costo y del riesgo asociado a la falla de la obra. La Tabla 2.1 presenta rangos de valores usuales de períodos de retorno (T_r) de diseño de estructuras hidráulicas, recomendados por la bibliografía.

Tabla 2.1.- Criterios de diseño generalizados para estructuras hidráulicas
(Fuente: Chow, Maidment, Mays, 1994)

Tipo de estructura	Período de retorno (años)
Alcantarillas de carreteras	
Volúmenes de tráfico bajos	5-10
Volúmenes de tráfico intermedios	10-25
Volúmenes de tráfico altos	50-100
Puentes de carreteras	
Sistema secundario	10-50
Sistema primario	50-100
Drenaje agrícola	5-50
Drenaje urbano	
Alcantarillas en ciudades pequeñas	2-25
Alcantarillas en ciudades grandes	25-50
Aeropuertos	
Volúmenes de tráfico bajos	5-10
Volúmenes de tráfico intermedios	10-25
Volúmenes de tráfico altos	50-100

2.3.- Síntesis de la metodología de regionalización

2.3.1- Selección de estaciones pluviométricas representativas

La primera etapa de la regionalización de precipitaciones máximas consistió en la recopilación de información pluviométrica, la cual resultó en una base de datos constituida por 350 estaciones pluviométricas, pertenecientes a distintos organismos públicos y privados localizados en las provincias de Entre Ríos, Corrientes, Buenos Aires, Santa Fe y en la República Oriental del Uruguay.

En base al análisis de los registros de las estaciones pluviométricas, se seleccionaron series de 20 años de registro (1986-2005), de 25 años (1981-2005), de 30 años (1976-2005), de 40 años (1966-2005) y de 50 años (1956-2005).

La Tabla 2.2 muestra la relación entre la longitud de la serie y la cantidad de estaciones. Las series más cortas no representan adecuadamente el fenómeno, mientras que las más largas sólo permiten una representación pobre del campo de las precipitaciones máximas.

Tabla 2.2.- Cantidad de estaciones seleccionadas por longitud de registro

	20 años	25 años	30 años	40 años	50 años
Entre Ríos	38	33	21	18	11
Externas	37	36	16	10	0

Considerando la representatividad temporal de las series de datos, el uso de los resultados para el diseño de obras hidráulicas de pequeña y mediana escala, y la distribución geográfica de las estaciones, se adoptó una longitud de serie de 30 años.

La Figura 2.1 muestra la ubicación de las estaciones pluviométricas seleccionadas para 30 años de registro, cuyas coordenadas geográficas se indican en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3.- Estaciones pluviométricas seleccionadas - Longitud de registro: 1976-2005

ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD
1. GUALEGUAYCHÚ AERO	-33.000	-58.617
2. ISLETAS	-32.217	-60.350
3. CRUCESITAS III	-32.127	-59.699
4. HERNANDEZ	-32.338	-60.027
5. FEBRE	-32.467	-59.917
6. SAUCE VIEJO AERO	-31.700	-60.817
7. PARANÁ AERO	-31.783	-60.483
8. COLÓN	-32.217	-58.150
9. PAYSANDÚ	-32.350	-58.033
10. C. DEL URUGUAY INTA	-32.483	-58.333
11. GILBERT	-32.530	-58.932
12. VILLAGUAY	-31.850	-59.083
13. SAN SALVADOR	-31.633	-58.500
14. LOS CHARRÚAS	-31.181	-58.183
15. CONCORDIA AERO	-31.300	-58.017
16. EL YUQUERÍ	-31.383	-58.117
17. PASO JUNCUÉ	-30.350	-59.250
18. SAN GUSTAVO	-30.691	-59.387
19. LA PAZ	-30.747	-59.607
20. BANDERAS	-30.825	-59.234
21. EC-YESO Oeste	-30.857	-59.379
22. SAN JAIME	-30.333	-58.300
23. PEDRO VALLEJOS	-31.245	-59.745
24. COLONIA AVIGDOR	-31.184	-59.401
25. MERCEDES (URUGUAY)	-33.250	-58.067
26. CASTELAR INTA	-34.667	-58.650
27. PERGAMINO INTA	-33.933	-60.550
28. SAN PEDRO INTA	-33.683	-59.683
29. OLIVEROS INTA	-32.550	-60.850
30. ROSARIO AERO	-32.917	-60.783
31. ZAVALLA	-33.017	-60.883
32. EST. LA ESPERANZA	-30.200	-58.283
33. MERCEDES INTA	-29.167	-58.017
34. M. CASEROS AERO	-30.267	-57.650
35. PASO DE LOS LIBRES AERO	-29.683	-57.150
36. COLONIA	-34.450	-57.850
37. RECONQUISTA	-29.183	-57.150



Figura 2.1.- Estaciones pluviométricas seleccionadas

2.3.2.- Análisis estadístico de la Información pluviométrica

Se efectuó el análisis de frecuencia de precipitaciones máximas diarias para las 37 estaciones seleccionadas correspondientes a la serie de máximos de 30 años de longitud de registro. Para el procesamiento de la información pluviométrica se utilizó el Sistema AFMULTI (Universidad Nacional del Litoral - Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas - 1994).

Se utilizaron las distribuciones de probabilidad Lognormal, General de Valores Extremos (GEV), Gumbel y Pearson.

2.3.3.- Selección de la distribución de probabilidad

Se analizó el ajuste de las distribuciones de probabilidad teóricas a las series de datos observados para el conjunto de estaciones pluviométricas. Las dos distribuciones que presentaron el mejor ajuste individual fueron la distribución Gumbel, y la Distribución General de Valores Extremos (GEV).

Para medir la bondad del ajuste se consideraron el error cuadrático medio de la variable (E.C.M.V.), el error cuadrático medio de la frecuencia (E.C.M.F.) y el Criterio de Información de Akaike. (Ref. 2.10.)

El criterio de información de Akaike (AIC (p)), pondera la varianza residual y el número de parámetros del modelo en donde, para la distribución GEV, $p = 3$, y para la distribución Gumbel, $p = 2$. De esta forma un modelo será mejor que otro si el AIC es menor independientemente del número de parámetros.

En la Tabla 2.4 se muestran los valores promedio obtenidos para estos estimadores discriminando entre las estaciones dentro de la provincia y las externas. Esta tabla muestra que los indicadores presentan un mejor ajuste para la distribución GEV que para la Gumbel.

Tabla 2.4.- Valor promedio obtenido para ECM de la variable, ECM de la frecuencia y AIC(p)

ESTACIONES	ECM VARIABLE		ECM FRECUENCIA		AIC(p)VARIABLE	
	GUMBEL	GEV	GUMBEL	GEV	GUMBEL	GEV
Entre Ríos	6,81	6,03	0,04	0,03	94,28	91,77
Externas	8,31	7,27	0,05	0,04	122,30	118,04

Como resultado de los tests regionalizados de bondad de ajuste se adoptó la Distribución General de Valores Extremos (GEV) para caracterizar la distribución probabilística de las precipitaciones en Entre Ríos.

2.3.4.- Análisis regional de frecuencia

El análisis regional de frecuencia utiliza el conjunto de datos espacialmente distribuidos en puntos de una región considerada homogénea, para estimar los cuantiles asociados a diferentes probabilidades de excedencia en un punto cualquiera dentro de esa región. Esta condición fue verificada para las estaciones seleccionadas utilizando el Test de Homogeneidad Hidrológica (Ref. 2.3.)

De las diversas metodologías de regionalización recomendadas por la bibliografía internacional especializada se adoptó el Método del Índice de Crecientes, uno de los métodos regionales más difundidos debido a su sencillez. Se basa en el uso simultáneo de datos procedentes de un número de estaciones próximas que pueden considerarse homogéneas (Ref. 2.7 y 2.9).

El procedimiento supone que los máximos anuales de precipitación en un conjunto de estaciones o región homogénea poseen distribuciones idénticas excepto por un factor de escala propio de cada estación. De esta forma, el máximo anual X_j en una estación j de la región puede expresarse como:

$$X_j = \mu_j \cdot \eta$$

donde el factor de escala μ_j es una constante particular de cada estación y el índice de crecientes η es la curva regional de cuantiles adimensionales, común a todas las estaciones.

La adimensionalización de las series se llevó a cabo dividiendo cada valor de la misma P_{TRj} (para $T_r = 2, 5, 10, 20, 25$ y 50 años) por un factor μ_j , el cual se adoptó igual al valor medio de la serie de máximos diarios. Por lo tanto:

$$\mu_j = P_{Mj} = \text{Media de los máximos diarios de cada estación}$$

$$P_{TRj} = \text{Precipitación Máxima para el periodo de retorno } T_r \text{ en la estación } j$$

Los cocientes o índices de crecientes locales de cada estación se calcularon para duraciones iguales a 1, 2, 3 y 4 días según:

$$\eta_j = P_{TRj}/P_{Mj}$$

Para cada duración y recurrencia de diseño, el Índice de crecientes regional se determinó a partir de los cocientes locales, como el valor promedio de los correspondientes a las estaciones seleccionadas, según se indica en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5.- Índices de creciente regionales para períodos de retorno de 2 a 50 años y duraciones de 1 a 4 días

Duración (días)	Período de retorno (años)					
	2	5	10	20	25	50
1	0.93	1.23	1.44	1.67	1.74	1.99
2	0.93	1.24	1.46	1.68	1.76	1.99
3	0.92	1.24	1.46	1.68	1.76	2.00
4	0.93	1.24	1.46	1.68	1.76	2.00

Por otra parte se llevó a cabo la regionalización de la Precipitación Máxima Media, para duraciones iguales a 1, 2, 3 y 4 días, que se presentan en los mapas de isohietas indicados en las Figuras 2.2 a 2.5.

El uso combinado de la Tabla 2.5 y las Figuras 2.2 a 2.5 permite estimar en cada punto de la Provincia la Precipitación máxima P_{TR} (mm) correspondiente a un período de retorno T_r (años) para duraciones de 1, 2, 3 y 4 días.

En el Anexo I se presentan los mapas de precipitaciones máximas para 2, 5, 10, 20, 25 y 50 años de tiempo de retorno, para duraciones de 1, 2, 3 y 4 días resultantes de combinar los índices de la Tabla 2.5, con los mapas de las figuras 2.2 a 2.5.

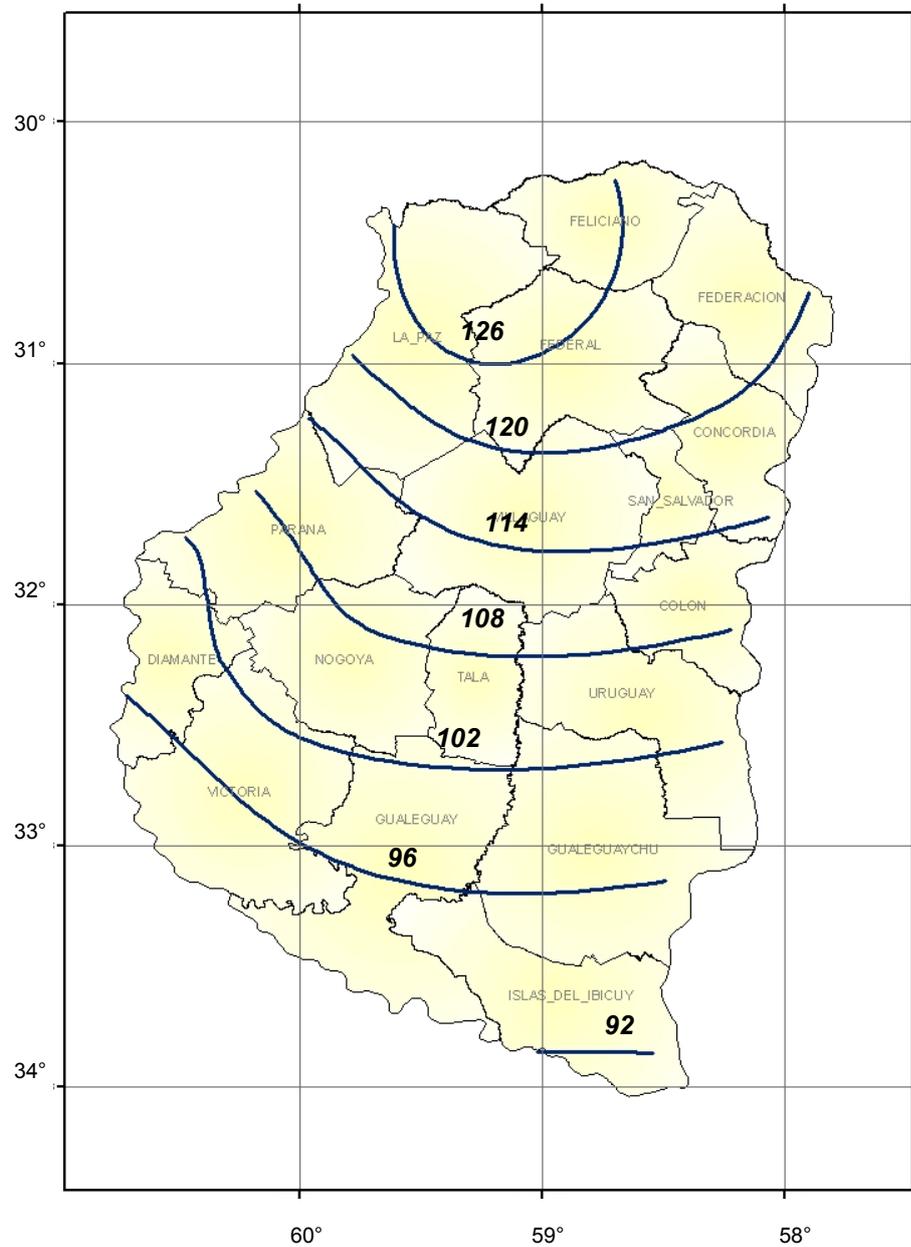


Figura 2.2.- Isohietas de valores medios de precipitaciones máximas PM (mm) - Duración: 1 día

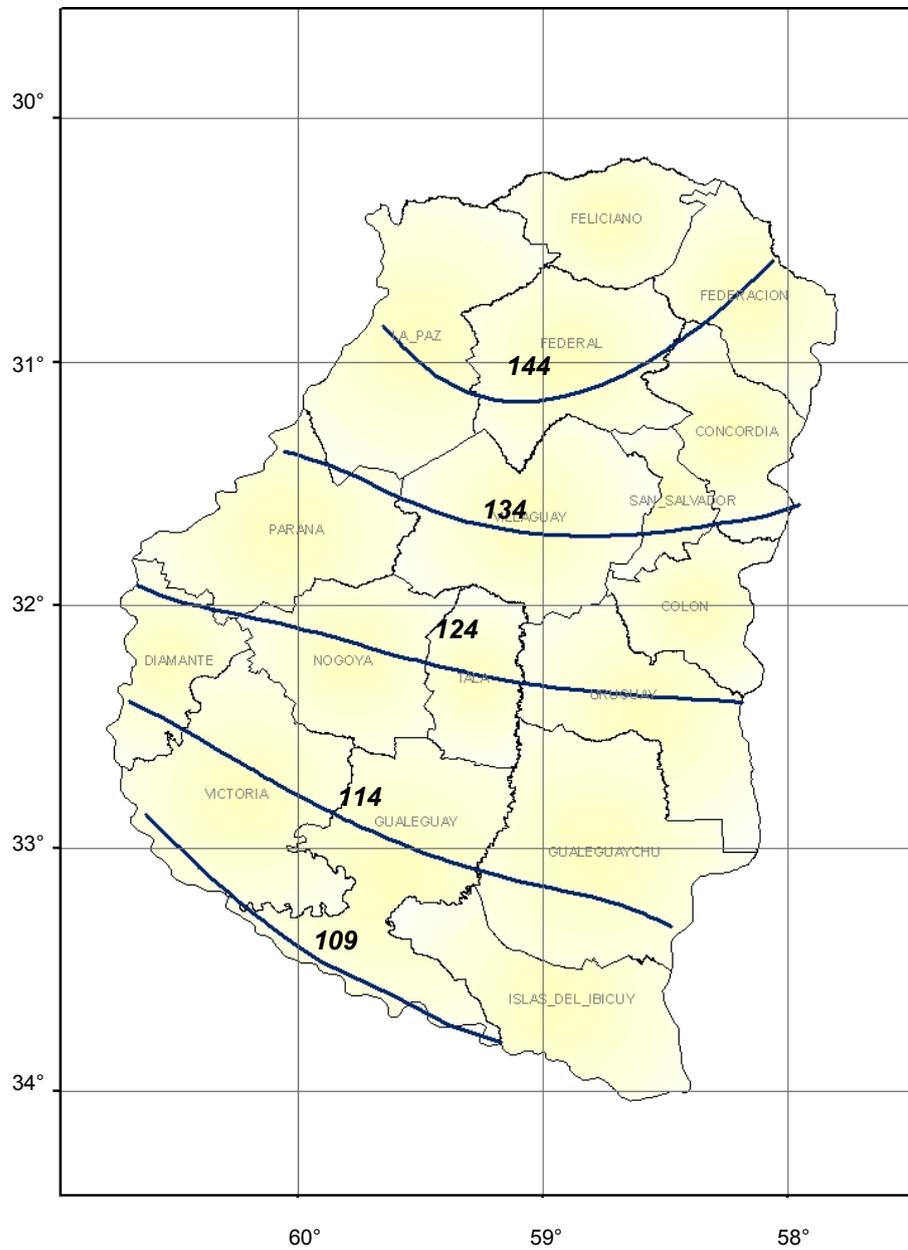


Figura 2.3.- Isohietas de valores medios de precipitaciones máximas PM (mm) - Duración: 2 días

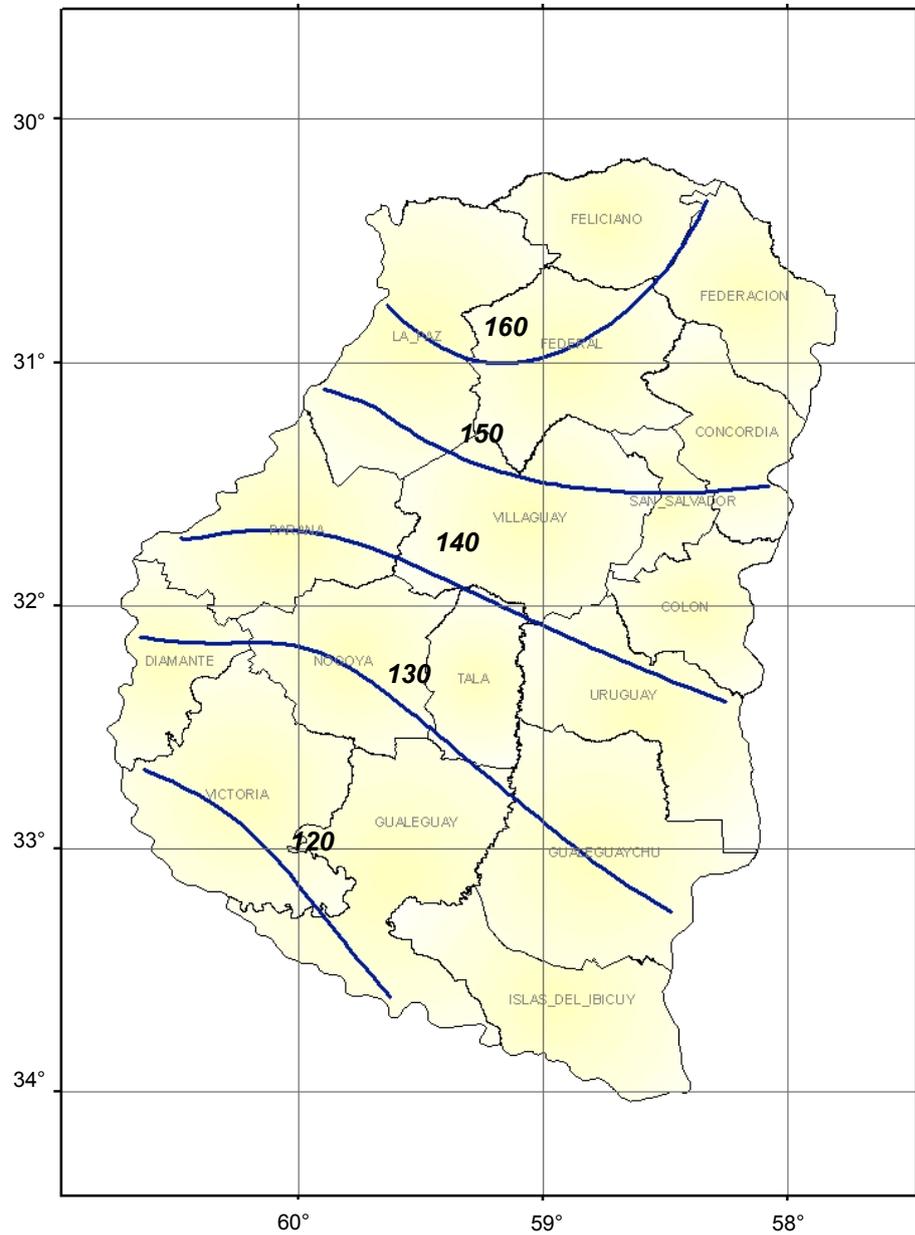


Figura 2.4.- Isohietas de valores medios de precipitaciones máximas PM (mm) - Duración: 3 días

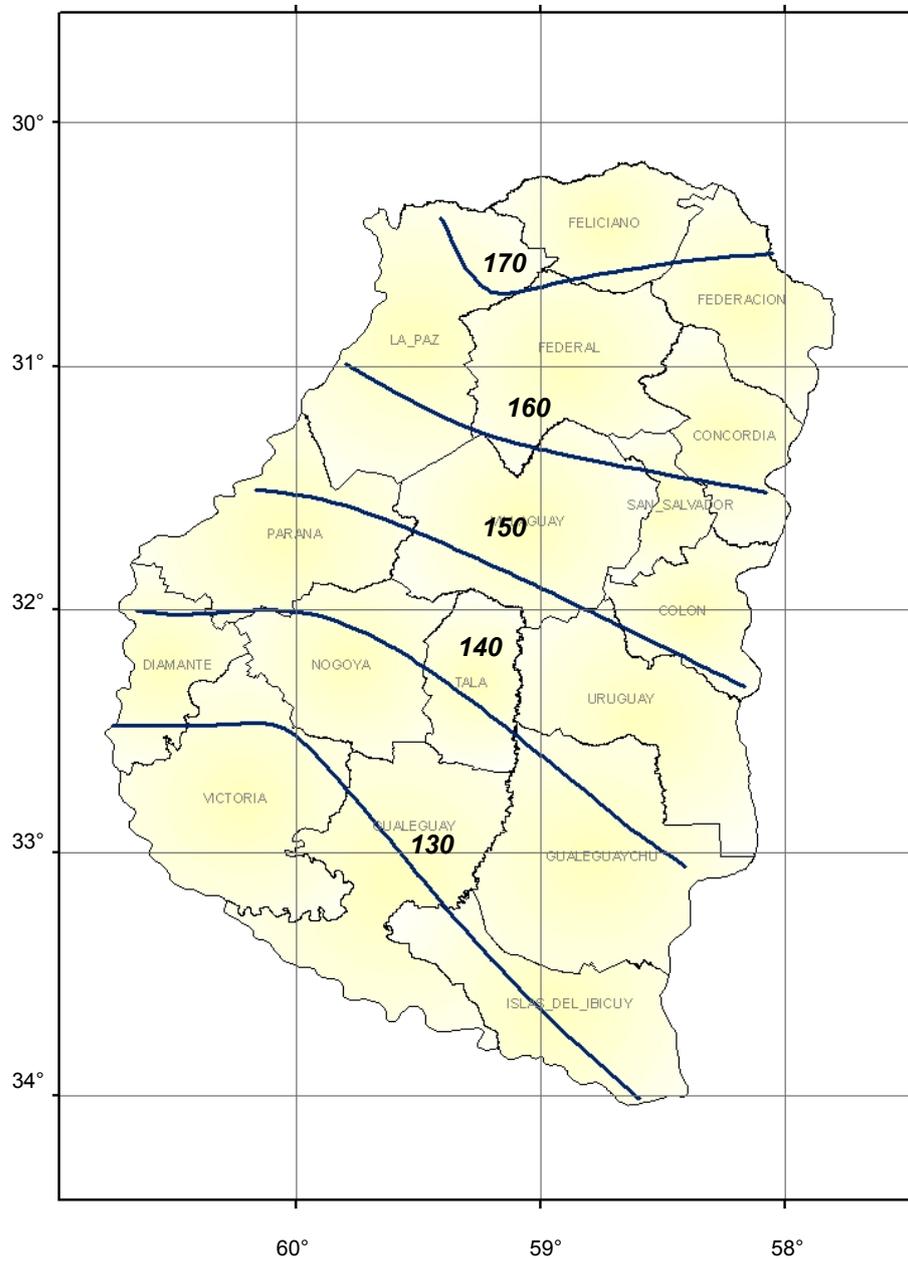


Figura 2.5.- Isohietas de valores medios de precipitaciones máximas PM (mm) - Duración: 4 días

2.3.5.- Ejemplo de aplicación

Se desea determinar la relación lámina acumulada-período de retorno para un emplazamiento ubicado en la Provincia de Entre Ríos cuyas coordenadas geográficas son las siguientes: Latitud: 32°, Longitud: 60°.

En base al mapa de Isohietas de Precipitaciones Máximas Medias P_M de duración 1 día (Figura 2.2), el valor correspondiente al sitio de interés es:

$$P_{M(1 \text{ día})} = 107 \text{ mm}$$

Utilizando los índices de crecientes regionales indicados en la Tabla 2.5 se obtienen los valores de precipitación máxima diaria correspondientes a los períodos de retorno de diseño, según se indica en la Tabla 2.6, representados gráficamente en la Figura 2.6.

Tabla 2.6.- Estimación de la precipitación máxima diaria (mm) - (Lat 32 °S, Long 60°W)

Tr (años)	2	5	10	20	25	50
Índice de creciente regional η	0.93	1.23	1.44	1.67	1.74	1.99
Precipitación máxima diaria (mm) $P_{TR} = P_M * \eta_j$	100	132	154	179	186	213

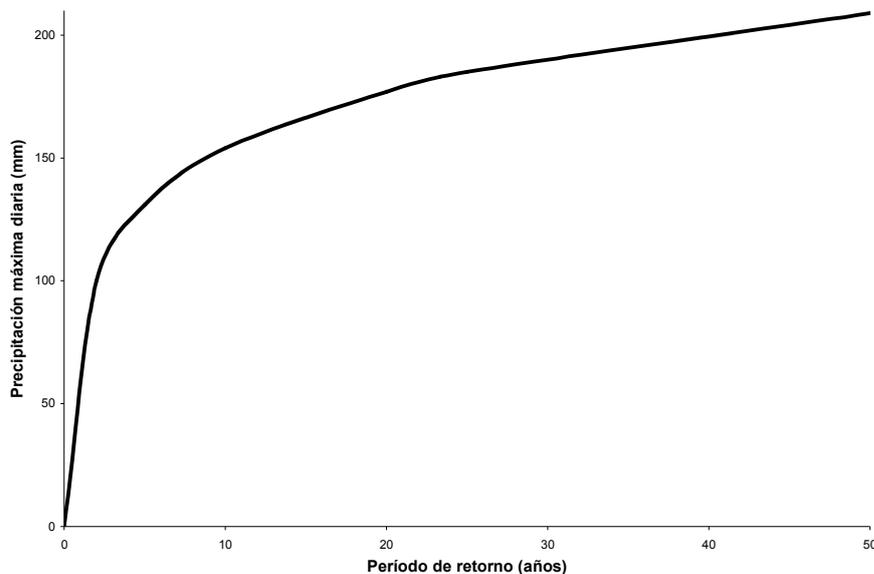


Figura 2.6.- Relación lámina acumulada-período de retorno - (Lat 32 °S, Long 60°W)

2.4.- Referencias

- 2.1. **CAAMAÑO NELLI, G.E., DASSO, C.M.** - "Lluvias de Diseño" - Conceptos, Técnicas y Experiencias. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Universitas-Editorial Científica Universitaria. Argentina, 2003.
- 2.2. **CHOW, V.T., MAIDMENT, D.R., MAYS, L.W.** - "Hidrología Aplicada". McGraw - Hill Interamericana, S.A. Bogotá. Colombia, 1994.
- 2.3. **DALRYMPLE, T.**, "Manual of Hidrology, Part 3 - Flood-Flow Techniques". Homogeneity Test. Geological Survey Water Suply Paper 1543-A. Washington, 1960.
- 2.4. **GARCIA C.M., ZAMANILLO, E.A., CAAMAÑO NELLI, G.E.**, "Regionalización de Precipitaciones Máximas Diarias para la Provincia de Córdoba". Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Centro de Investigaciones Hídricas de la Región Semiárida (CIHRSA), 1994
- 2.5. **G.I.H.H.A. (GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA APLICADA).** "Informes de Avance". Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concordia. 2006, 2007, 2008.
- 2.6. **GÓMEZ, P.**, "Regionalización de Precipitaciones Máximas Diarias para la Provincia de Entre Ríos". Tesis de Grado, Universidad Nacional de Lomas de Zamora, 2008.
- 2.7. **OLMOS, L.A., IBÁÑEZ, J., HARTMANN A.**, - "Aplicación del Método del Índice de Crecientes en Lluvias Máximas Diarias de la Provincia de Santiago del Estero". - Instituto de Recursos Hídricos - Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, 2007.
- 2.8. **PAOLI, C., BOLZICCO, J., CACIK, P.**, "Análisis de Frecuencia de Variables Hidrológicas". Universidad Nacional del Litoral. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, 1994.
- 2.9. **SAENZ DE ORMIJANA, F., HIDALGO CASTRO F.J., SANTA PEREZ, A.** - "Estimación de Precipitaciones Máximas mediante el Método Regional del Índice de Avenida". Revista de Obras Públicas, España 1991.
- 2.10. **SALAS, J.D., DELLEUR, J.W., YEVJEVICH, V., LANE, WL.** - "Applied Modelling of Hidrologic Time Series". Water Resources Publications, 1980.
- 2.11. **TUCCI, E.M.** - "Hidrología, Ciencia y Aplicación". Segunda Edición. Porto Alegre, 1997.
- 2.12. **ZAMANILLO, E.A., LARENZE, G., TITO, M.J., PÉREZ, M.M., GARAT, M.E., GÓMEZ, P.**, "Regionalización de Precipitaciones Máximas Diarias para la Provincia de Entre Ríos". Segundo Congreso Internacional sobre Gestión y Tratamiento Integral del Agua. Córdoba, 2008.

Capítulo 3.- Relaciones intensidad - duración - recurrencia

3.1.- Introducción

Para proyectos de obras hidráulicas, tales como sistemas de drenaje rural o urbano, alcantarillas, desagües pluviales, vertederos de represas, etc., es necesario conocer los tres parámetros que caracterizan las precipitaciones máximas: intensidad, duración y recurrencia.

Las relaciones intensidad-duración-recurrencia permiten definir el valor de intensidad media de lluvia i para una duración d igual al tiempo en que la totalidad de la cuenca de aporte se encuentra solicitando a la obra con el caudal de diseño, y para una recurrencia T acorde al riesgo asociado a la falla.

La intensidad media de lluvia disminuye a medida que se incrementa la duración de la tormenta. A su vez, para una duración de tormenta determinada, cuanto mayor sea la recurrencia o tiempo de ocurrencia T de la tormenta, mayor será su intensidad, según se esquematiza en la Figura 3.1, para recurrencias T_A , T_B Y T_C .

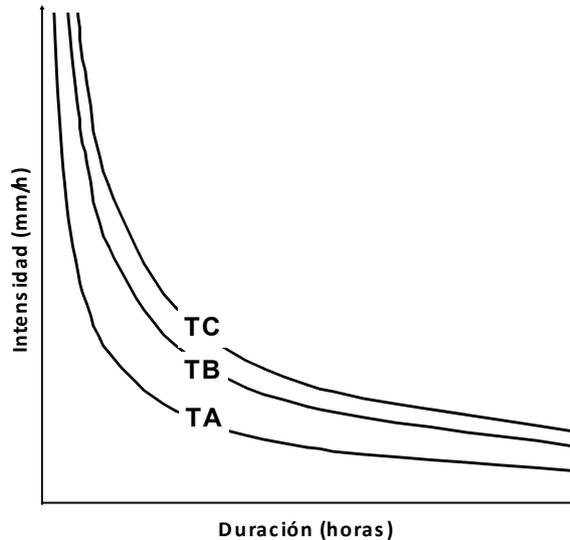


Figura 3.1.- Relaciones intensidad-duración-recurrencia

La intensidad puede ser también sustituida por la precipitación total al ser multiplicada por su duración obteniéndose curvas de Precipitación, Duración Recurrencia (P-D-T).

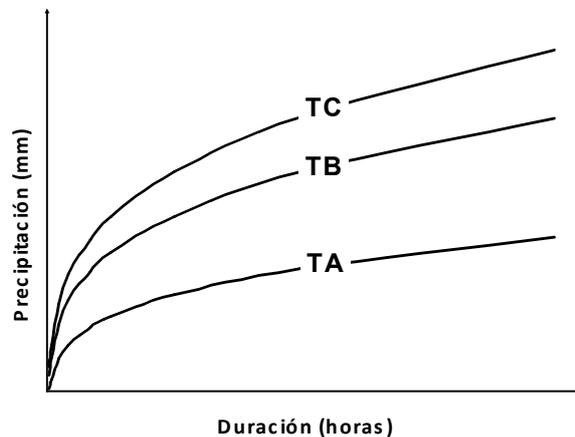


Figura 3.2.- Relaciones precipitación-duración-recurrencia

La determinación de la relación entre esas tres variables (I-D-T) debe ser deducida de las observaciones de lluvias intensas durante un período de tiempo suficientemente largo y representativo de los eventos extremos de la localidad en estudio.

Para construir las curvas antes mencionadas deben seleccionarse las mayores precipitaciones de cada año según su duración y efectuar el análisis estadístico a través de distintas distribuciones de probabilidad de extremos, a los efectos de determinar cuál de ellas presenta el mejor ajuste a los datos observados.

3.2.- Estaciones pluviográficas seleccionadas

En la Provincia de Entre Ríos sólo las localidades de Concordia, Concepción del Uruguay y Paraná cuentan con registros pluviográficos de longitud suficiente para caracterizar la variación de las curvas intensidad - duración - recurrencia.

Se obtuvieron los registros provenientes de las Estaciones Experimentales INTA Concordia, Paraná y Concepción del Uruguay, y del Servicio Meteorológico Nacional (S.M.N.) de los Aeropuertos Concordia y Paraná.

Los records de información obtenida y procesada se indican en la Tabla 3.1:

Tabla 3.1.- Longitud de registro de la información pluviográfica

Estación	Record pluviográfico	INTA	S.M.N.
	Años	Años	Años
Concordia	1961 - 2004	1992-2004	1961-2004
Paraná	1963 - 2005	1963-1998	1999-2005
Concepción del Uruguay	1980 - 2005	1980-2005	-

3.3.- Procesamiento de la información Pluviográfica

3.3.1.- Intensidades Máximas de Precipitación

Los registros pluviográficos suministrados por el INTA y por el Servicio Meteorológico Nacional consisten en fajas de papel, para cuyo tratamiento se diseñó un procedimiento de digitalización, que incluyó el escaneo de las fajas, su adaptación a una plantilla de AutoCAD Map y la transformación del registro pluviográfico en una serie de puntos, uno por cada cambio de pendiente, que identifican modificaciones en la intensidad de lluvia.

Una vez definidos los intervalos de máxima intensidad anual, comprendidos entre 5 minutos y 24 horas se procedió al análisis de los registros de cada estación, utilizando un software de procesamiento específico que interpreta los datos digitalizados y transforma las variaciones de X en períodos de tiempo y las variaciones de Y en lluvia caída. (Ref. 3.7). Las intensidades máximas de precipitación registradas se presentan en los Anexos 2.1, 2.2 y 2.3.

3.3.2.- Análisis estadístico

El análisis estadístico de las alturas máximas de precipitación se efectuó ajustando los valores observados a las distribuciones Lognormal, Gumbel, GEV y Pearson. Como no se observaron diferencias apreciables en el rango de frecuencias analizado, se adoptó la Ley Gumbel para estimar las intensidades máximas para distintas probabilidades de excedencia.

Para cada período de retorno se determinaron las intensidades correspondientes a las láminas máximas estimadas. Se obtuvieron las relaciones I-D-T para las localidades de Concordia, Concepción del Uruguay y Paraná a partir del ajuste de dichas intensidades a una expresión **Sherman** de cuatro parámetros, definida por:

$$i = \frac{K \cdot Tr^m}{(d + c)^n}$$

Donde:

i: Intensidad de precipitación en mm/h.

T_r : Período de retorno en años.

d: duración de la precipitación en minutos.

k, m, n y c: parámetros que se determinan para cada localidad en base a un análisis de regresión lineal múltiple.

3.4.- Relaciones I-D-T de los pluviógrafos provinciales

Como resultado del procesamiento y análisis de la información pluviográfica actualizada se actualizaron las ecuaciones I-D-T para la Provincia de Entre Ríos, las cuales se representan gráficamente en las Figuras 3.3, 3.4 y 3.5. Cabe destacar que estas relaciones son válidas para duraciones de entre 10 y 1440 minutos, y para recurrencias de hasta 50 años.

Concordia:

$$i = \frac{652,4 \cdot (Tr)^{0,26}}{(d + 5)^{0,71}}$$

Concepción del Uruguay:

$$i = \frac{1086,9 \cdot (Tr)^{0,19}}{(d + 9)^{0,78}}$$

Paraná:

$$i = \frac{601 \cdot (Tr)^{0,23}}{(d + 6)^{0,69}}$$

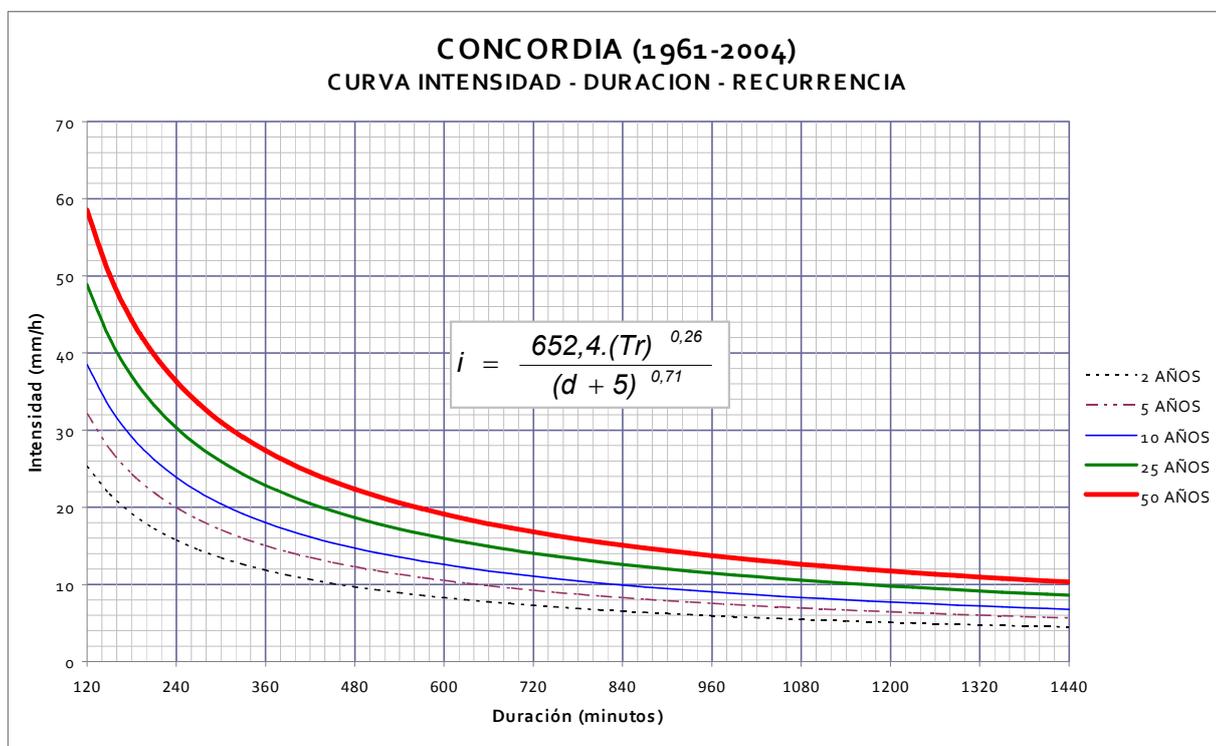
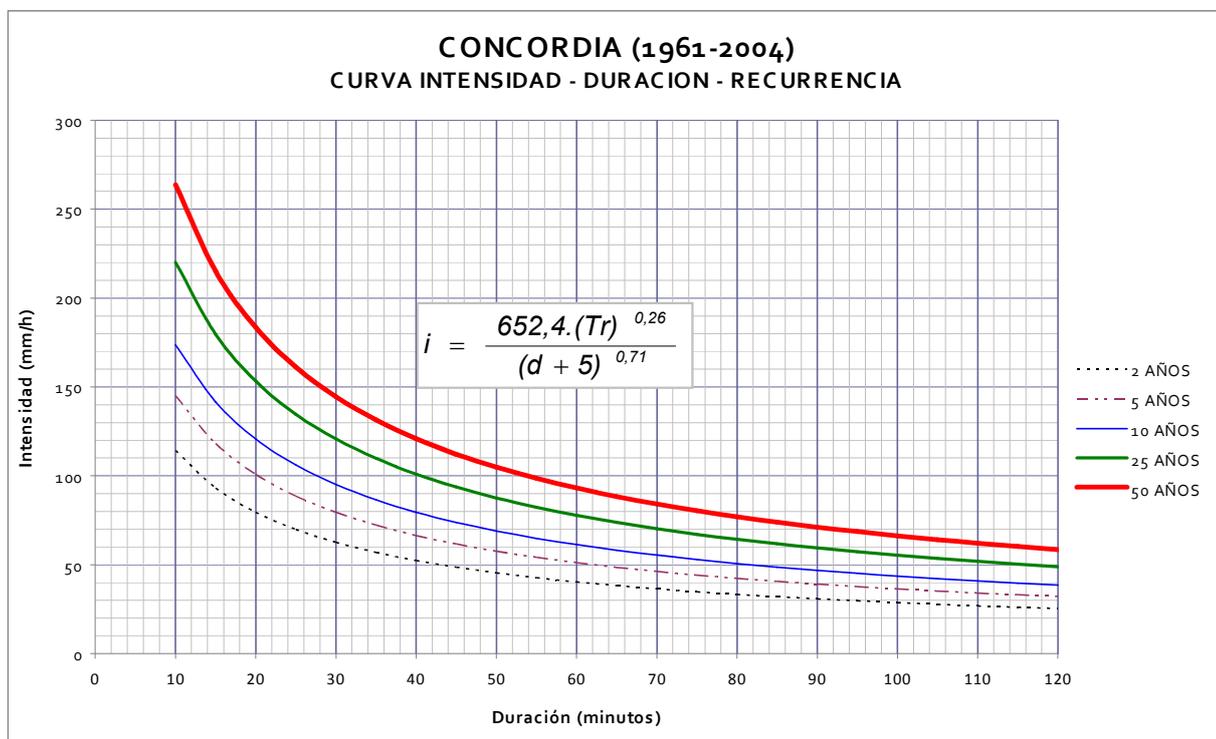


Figura 3.3.- Relaciones intensidad-duración-recurrencia Concordia (1961-2004).

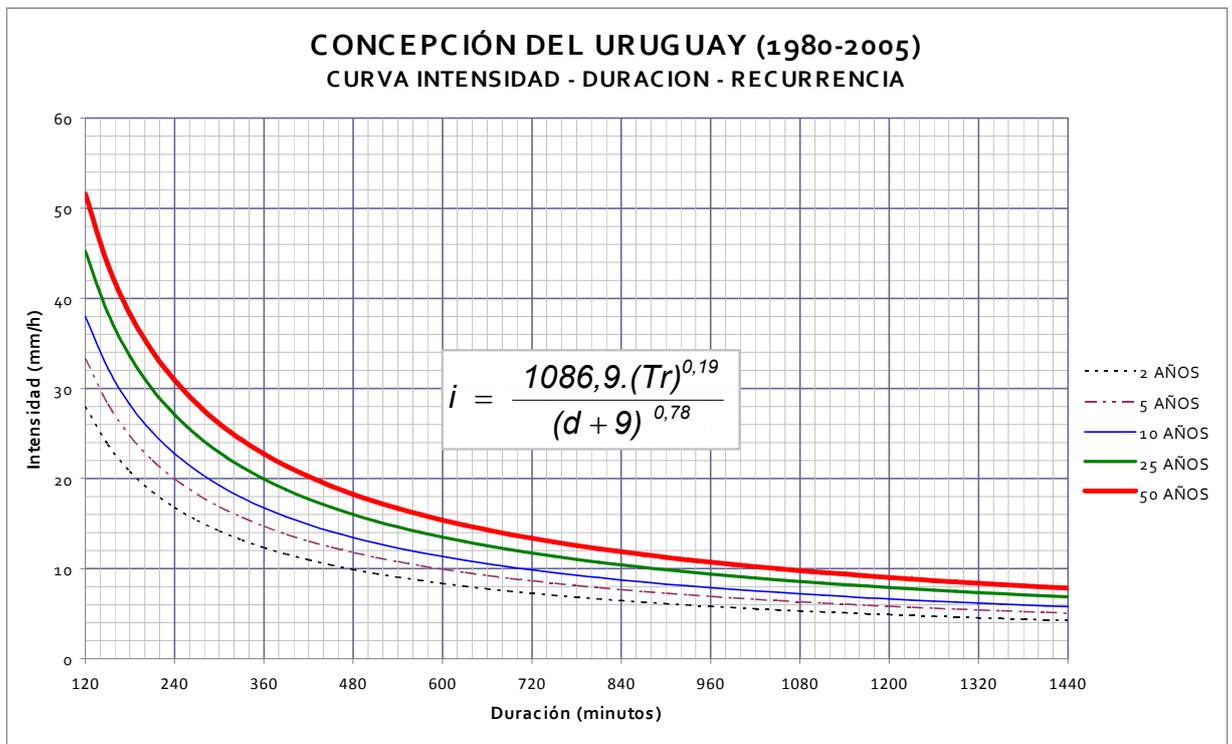
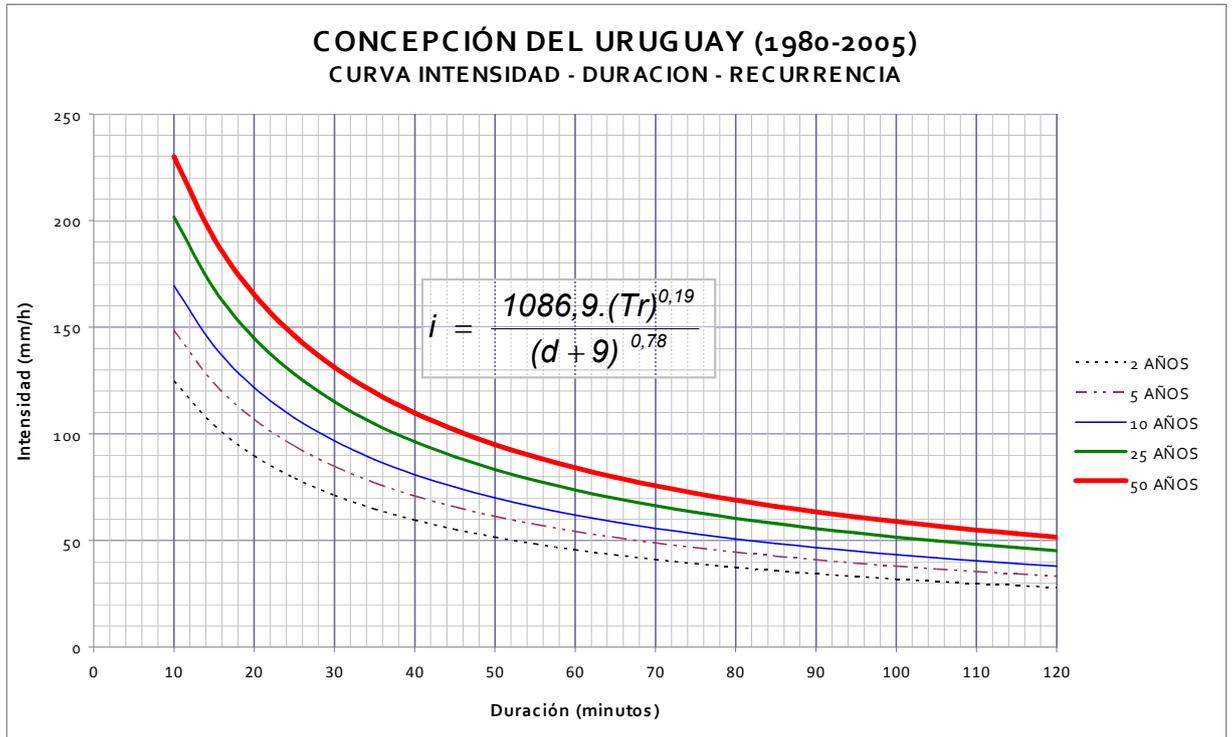


Figura 3.4.- Relaciones intensidad-duración-recurrencia Concepción del Uruguay (1980-2005)

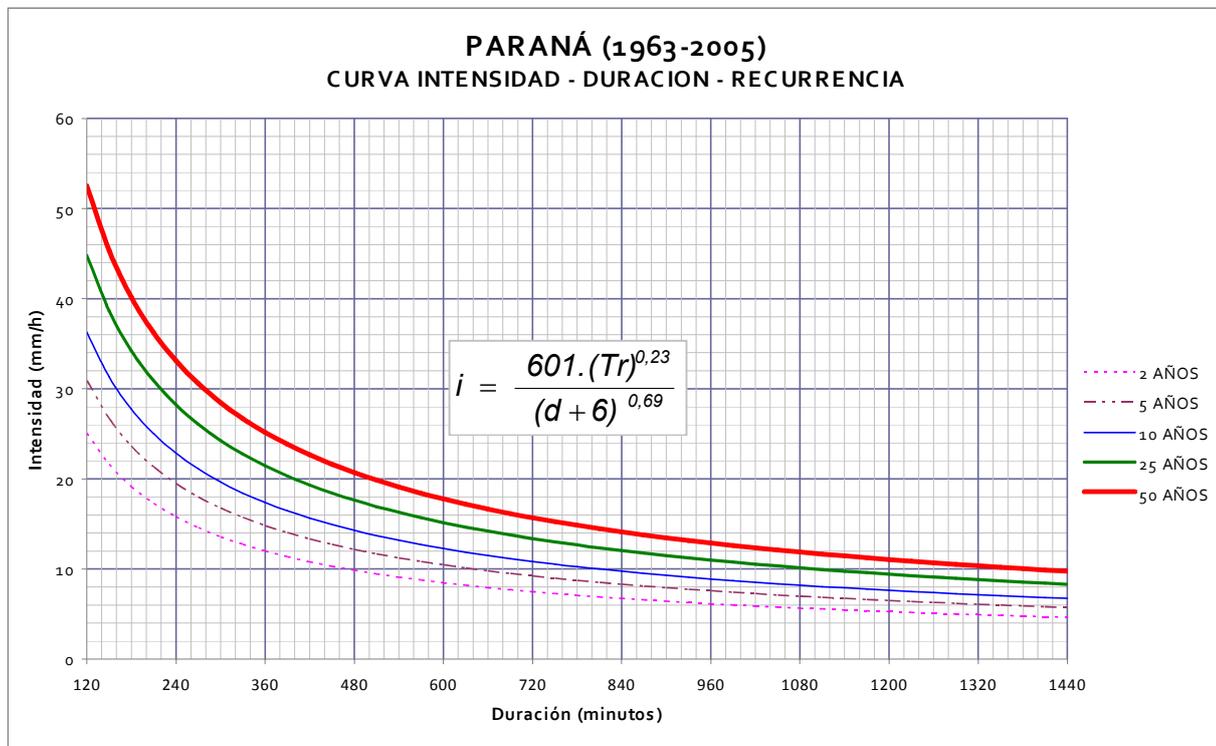
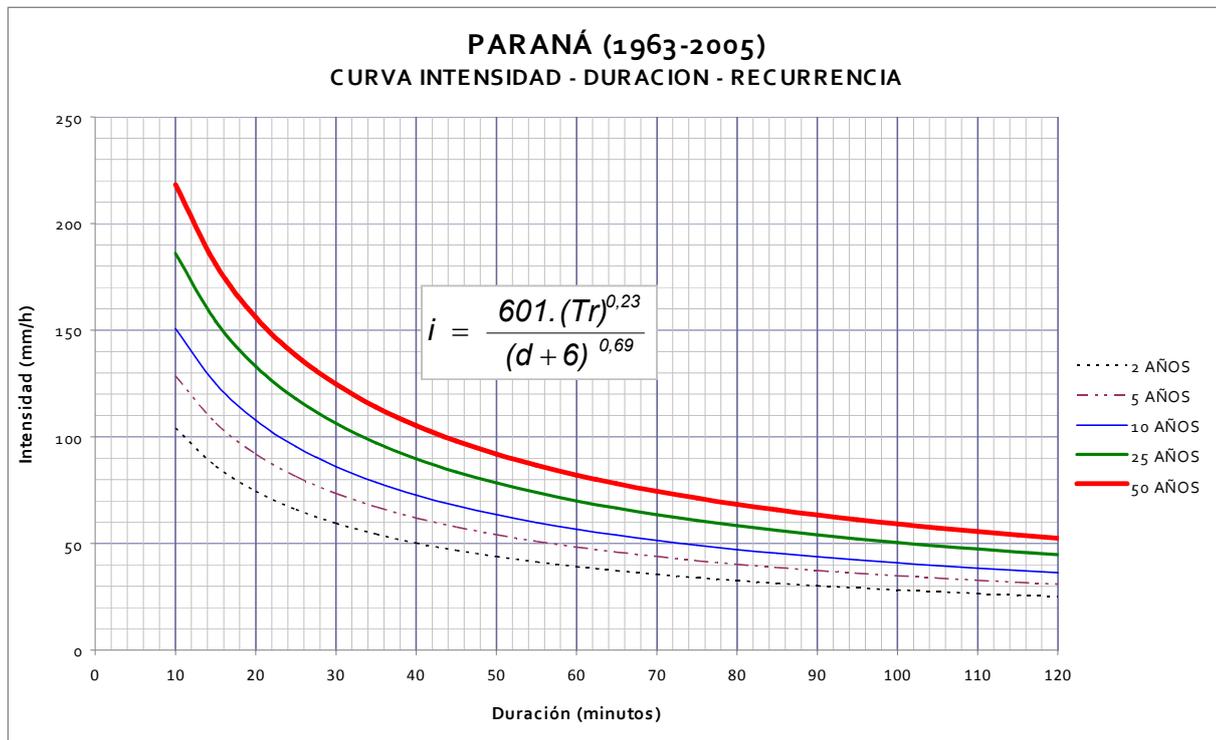


Figura 3.5.- Relaciones intensidad-duración-recurrencia Paraná (1963-2005).

3.5.- Tablas de uso práctico

Las Tablas 3.2, 3.3 y 3.4 indican las intensidades de precipitación resultantes de la aplicación de las relaciones I-D-T, para duraciones usualmente empleadas en el diseño, comprendidas entre 10 minutos y 24 horas.

Tabla 3.2.- Relación intensidad-duración-recurrencia Concordia

INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN CONCORDIA (mm/hora)									
Tr (años)	Duración (minutos)								
	10	15	30	60	120	180	360	720	1440
50	263	215	144	93	58	44	27	17	10
25	220	180	121	78	49	37	23	14	9
20	208	169	114	73	46	35	22	13	8
10	173	142	95	61	38	29	18	11	7
5	145	118	79	51	32	24	15	9	6
2	114	93	63	40	25	19	12	7	4

Tabla 3.3.- Relación intensidad-duración-recurrencia Concepción del Uruguay

INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN CONCEPCIÓN DEL URUGUAY (mm/hora)									
Tr (años)	Duración (minutos)								
	10	15	30	60	120	180	360	720	1440
50	230	192	131	84	52	38	23	13	8
25	202	168	115	74	45	34	20	12	7
20	193	161	110	71	43	32	19	11	7
10	169	141	97	62	38	28	17	10	6
5	148	124	85	54	33	25	15	9	5
2	125	104	71	46	28	21	12	7	4

Tabla 3.4.- Relación intensidad-duración-recurrencia Paraná

INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN PARANÁ (mm/hora)									
Tr (años)	Duración (minutos)								
	10	15	30	60	120	180	360	720	1440
50	218	181	125	82	53	40	25	16	10
25	186	154	106	70	45	34	21	13	8
20	177	146	101	66	43	33	20	13	8
10	151	125	86	57	36	28	17	11	7
5	128	106	73	48	31	24	15	9	6
2	104	86	59	39	25	19	12	7	5

3.6.- Precipitación media sobre una cuenca - Decaimiento areal

Para predecir el caudal de proyecto es necesario definir la distribución espacial típica de la lluvia, asumiendo un valor medio de precipitación sobre la cuenca en base a los registros puntuales, cuya representatividad espacial resulta limitada.

Se considera que las láminas locales son válidas en un radio de pocos kilómetros en torno al pluviógrafo (2,5 a 25 Km²), en función de las características climáticas y topográficas de la región. La lluvia media en superficies mayores difiere del máximo local y debe ser inferida a partir de este valor utilizando algoritmos de reducción. Los mismos permiten determinar el coeficiente de decaimiento areal, que refleja el porcentaje de lluvia local a adoptar como precipitación media en la cuenca.

La Figura 3.6 muestra las curvas para calcular la precipitación media sobre una cuenca, expresada como porcentaje de los valores de precipitación puntual, en función del área y de la duración de la tormenta.

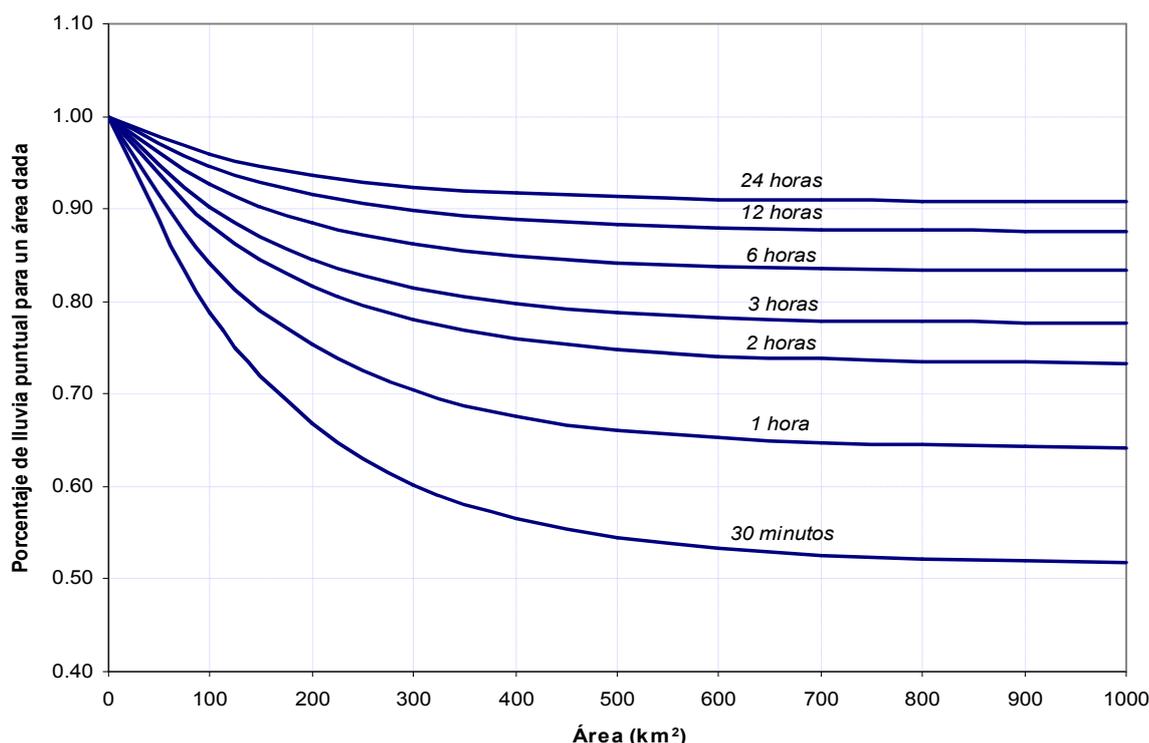


Figura 3.6.- Coeficientes de decaimiento areal

(Fuente: Organización Meteorológica Mundial, 1983 - U.S. Weather Bureau, 1958)

El coeficiente de decaimiento areal se obtiene según la siguiente expresión (Ref. 3.6.):

$$CA(Ac, d) = 1 - (0.3549 d^{-0.1272}) \cdot (1 - e^{(-0.005792 \cdot Ac)})$$

Siendo:

Ac: área de la cuenca (Km²)

d: duración de la tormenta (horas)

Estos valores fueron obtenidos para Estados Unidos a partir de tormentas en las cuales su distribución no se encontraba influenciada por la orografía y se considera válida su utilización en el ámbito de la Provincia de Entre Ríos.

3.7.- Referencias

- 3.1. **APARICIO MIJARES, F.J.** - "Fundamentos de Hidrología en Superficie". Noriega Editores-Editorial Limusa-México, 2001.
- 3.2. **AGUA Y ENERGÍA** - "Concepción del Uruguay - Estudio Hidrológico", 1985.
- 3.3. **CAAMAÑO NELLI, G.E., DASSO, C.M.** - "Lluvias de Diseño" - Conceptos, Técnicas y Experiencias. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Universitas-Editorial Científica Universitaria Argentina, 2003.
- 3.4. **CONSEJO FEDERAL DE INVERSIONES** - "Concordia - Estudio de Intensidad-Duración-Frecuencia", 1987.
- 3.5. **CHOW, V.T., MAIDMENT, D.R., MAYS, L.W.** - "Hidrología Aplicada". McGraw - Hill Interamericana, S.A. Bogotá. Colombia, 1994.
- 3.6. **GENTA, J.L., CHARBONNIER, F.** - "Curso de Hidrología Aplicada". Universidad de la República, Facultad de Ingeniería. Montevideo, 2003.
- 3.7. **PÉREZ, M.M., LARENZE, G., ZAMANILLO, E.A.** - "Análisis de interiores y exteriores de tormenta para la Provincia de Entre Ríos". III Jornadas de Difusión de proyectos de investigación-extensión. INEX 2008. Universidad Nacional de Entre Ríos, Concepción del Uruguay. 2008.
- 3.8. **TUCCI, E.M.** - "Hidrología, Ciencia y Aplicación". Segunda Edición. Porto Alegre, 1997.

Capítulo 4.- Análisis de interiores de tormenta

4.1.- Introducción

El conocimiento de la distribución en el tiempo de tormentas intensas reviste gran importancia para la resolución de ciertos problemas hidrológicos, como por ejemplo el diseño de sistemas de drenaje urbanos.

Por otra parte la distribución temporal de las tormentas intensas es requerida como dato de entrada en los modelos de simulación lluvia - caudal, constituyendo un elemento determinante en la estimación del hidrograma de crecidas.

En este capítulo se presentan dos metodologías alternativas para la determinación del patrón de distribución temporal de tormentas intensas: el Método de Pilgrim, Cordery y French (1977, Ref 4.7.) y el Método de los Bloques Alternos (Ref 4.1.).

4.2.- Criterios de separación y selección de tormentas intensas.

En cada estación pluviográfica se presenta una gran cantidad de ocurrencia de tormentas, razón por la cual se deberá seleccionar de todas ellas las consideradas tormentas "intensas", para lo cual se deben establecer criterios de separación de tormentas y determinación de intensidad media y lámina mínimas.

4.2.1.- Separación de tormentas

La separación de tormentas se realiza fijando un tiempo mínimo en el cual no se registra lluvia como condición para considerar que se trata de eventos diferentes. El valor de separación que se tomó como base inicial del análisis es 2 horas (criterio de Eagleson) (Refs. 4.2 y 4.3.)

4.2.2.- Intensidad media y lámina precipitada mínimas

Por otra parte debe definirse una intensidad media mínima para considerar que una tormenta es intensa, y un valor total de lámina precipitada mínima.

La intensidad media mínima fijada fue de 0,1 mm/min, siguiendo el criterio propuesto por Lázaro Medina en "Estudio Piloto de Lluvias Intensas en la República Argentina", (Ref. 4.5.) lo que significa que las tormentas con intensidad media menor al umbral 0,09 mm/min no fueron incluidas en este análisis.

El valor adoptado para definir la lámina mínima precipitada, en virtud de los registros disponibles, es igual a 20 mm.

4.3.- Duraciones analizadas

Para realizar el análisis de los interiores de tormenta se establecieron los siguientes rangos de duración:

Rango 1: duración menor a 30 minutos

Rango 2: entre 30 y 60 minutos

Rango 3: entre 60 y 120 minutos

Rango 4: entre 120 y 180 minutos

Rango 5: entre 180 y 360 minutos

Rango 6: entre 360 y 720 minutos

Rango 7: entre 720 y 1440 minutos

Se desarrolló un sistema para procesar los registros pluviográficos disponibles (Ref. 4.6.), el que permitió la determinación del número total de tormentas correspondientes a cada duración, con intensidad media $\geq 0,1$ mm/min, y la combinación de distintos requerimientos adicionales (separación y lámina).

4.4.- Método de Pilgrim, Cordery y French

4.4.1.- Metodología

Este método está basado en la publicación “Australian Rainfall and Runoff del Institution of Engineer of Australia”, donde presenta la metodología para determinar los patrones de distribución temporal de tormentas intensas (“Temporal Patterns of Design Rainfall for Sydney, 1969). (Refs. 4.4. Y 4.7).

4.4.2.- Patrones de distribución temporal de las tormentas intensas

La duración total de la tormenta fue dividida en cuantiles variables, de acuerdo a su rango. De esta forma, las duraciones mayores a 120 minutos fueron divididas en 6 cuantiles, mientras que para las tormentas de corta duración se adoptaron los siguientes cuantiles: tres para duraciones menores o iguales a 30 minutos, cuatro para duraciones entre 30 y 60 minutos y cinco para duraciones variables entre 60 y 120 minutos.

Para las tres estaciones pluviográficas se determinaron los porcentajes de precipitación respecto a la precipitación total correspondientes a cada cuantil, los cuales se presentan en las Tablas 4.1, 4.2 y 4.3, donde se indica también el número de tormentas a partir de las cuales se definió el patrón de distribución temporal.

Como resultado del análisis y procesamiento se presentan los hietogramas de diseño para los pluviógrafos provinciales indicados en las Figuras 4.1 a 4.3.

Tabla 4.1.- Concordia - Porcentajes de Precipitación total

ESTACIÓN CONCORDIA							
Duración (minutos)	Porcentaje de precipitación de cada cuantil						Cantidad de tormentas
<30	0.33	0.50	0.17				112
entre 30 y 60	0.27	0.56	0.12	0.05			17
entre 60 y 120	0.31	0.53	0.11	0.04	0.02		14
entre 120 y 180	0.15	0.51	0.25	0.03	0.06	0.01	16
entre 180 y 360	0.13	0.47	0.23	0.09	0.05	0.03	48
entre 360 y 720	0.46	0.14	0.20	0.10	0.06	0.04	25
entre 720 y 1440	0.07	0.36	0.22	0.19	0.13	0.04	6

Tabla 4.2.- Concepción del Uruguay - Porcentajes de Precipitación total

ESTACIÓN CONCEPCIÓN DEL URUGUAY							
Duración (minutos)	Porcentaje de precipitación de cada cuantil						Cantidad de tormentas
<30	0.51	0.32	0.17				159
entre 30 y 60	0.56	0.29	0.10	0.05			23
entre 60 y 120	0.55	0.29	0.10	0.04	0.02		20
entre 120 y 180	0.24	0.55	0.11	0.03	0.06	0.01	26
entre 180 y 360	0.50	0.22	0.13	0.08	0.05	0.02	64
entre 360 y 720	0.41	0.25	0.10	0.16	0.06	0.03	40
entre 720 y 1440	0.04	0.29	0.09	0.37	0.15	0.06	6

Tabla 4.3.- Paraná - Porcentajes de Precipitación total

ESTACIÓN PARANÁ							
Duración (minutos)	Porcentaje de precipitación de cada cuantil						Cantidad de tormentas
<30	0.32	0.51	0.18				363
entre 30 y 60	0.14	0.49	0.30	0.07			60
entre 60 y 120	0.26	0.51	0.13	0.07	0.02		49
entre 120 y 180	0.25	0.53	0.11	0.06	0.03	0.02	72
entre 180 y 360	0.52	0.23	0.12	0.07	0.04	0.02	150
entre 360 y 720	0.09	0.23	0.45	0.15	0.06	0.03	67
entre 720 y 1440	0.12	0.40	0.23	0.15	0.07	0.03	12

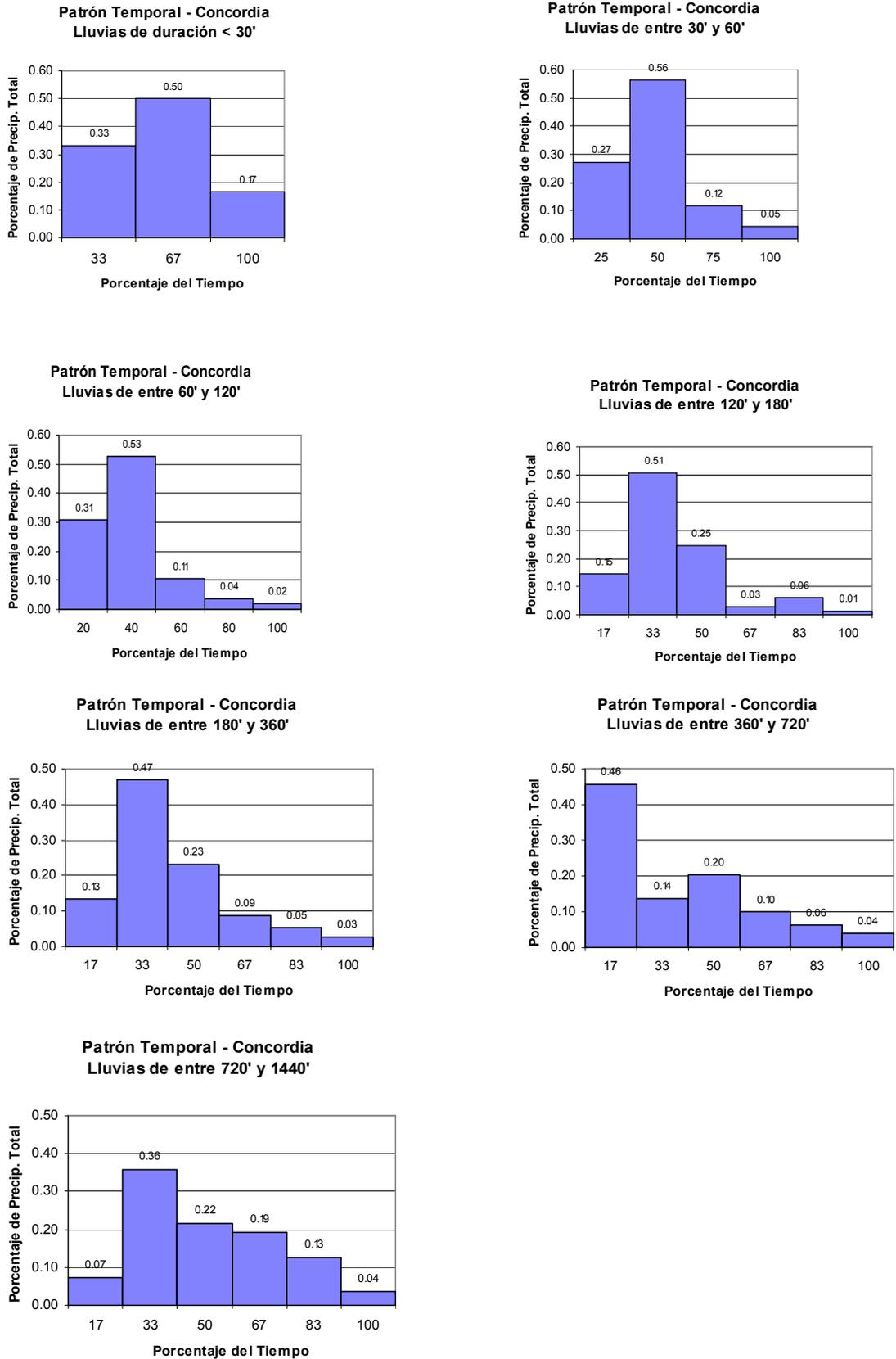
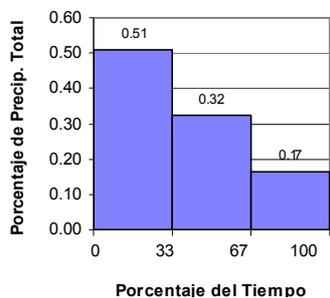
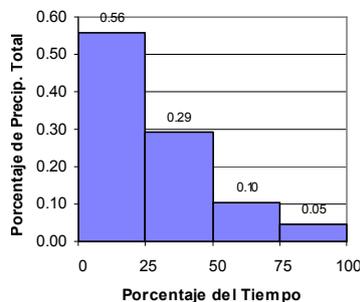


Figura 4.1.- Concordia - Patrones de distribución temporal

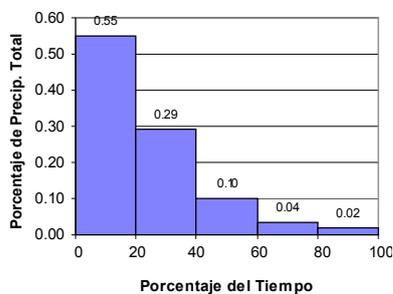
Patrón Temporal - C.del Uruguay
Lluvias de hasta 30'



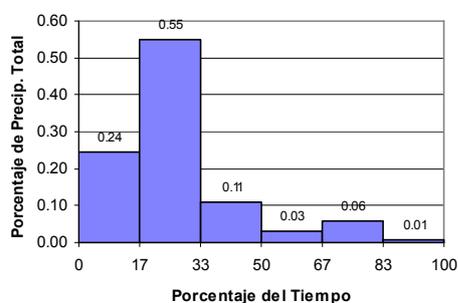
Patrón Temporal - C.del Uruguay
Lluvias de entre 30' y 60'



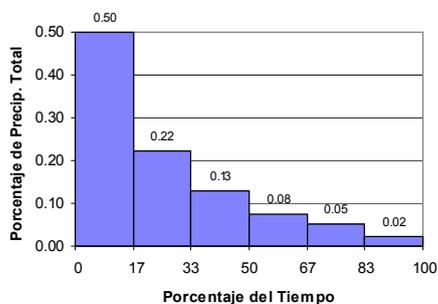
Patrón Temporal - C. del Uruguay
Lluvias de entre 60' y 120'



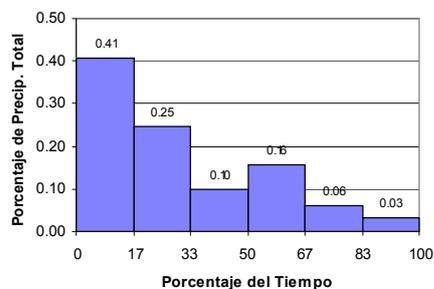
Patrón Temporal - C. del Uruguay
Lluvias de entre 120' y 180'



Patrón Temporal - C.del Uruguay
Lluvias de entre 180' y 360'



Patrón Temporal - C. del Uruguay
Lluvias de entre 360' y 720'



Patrón Temporal - C.del Uruguay
Lluvias de entre 720' y 1440'

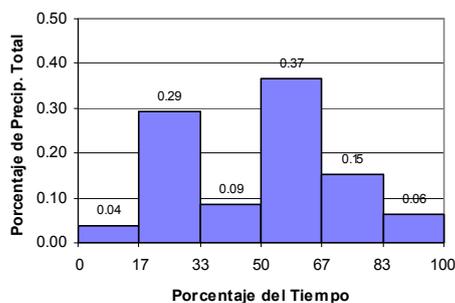


Figura 4.2.- Concepción del Uruguay - Patrones de distribución temporal

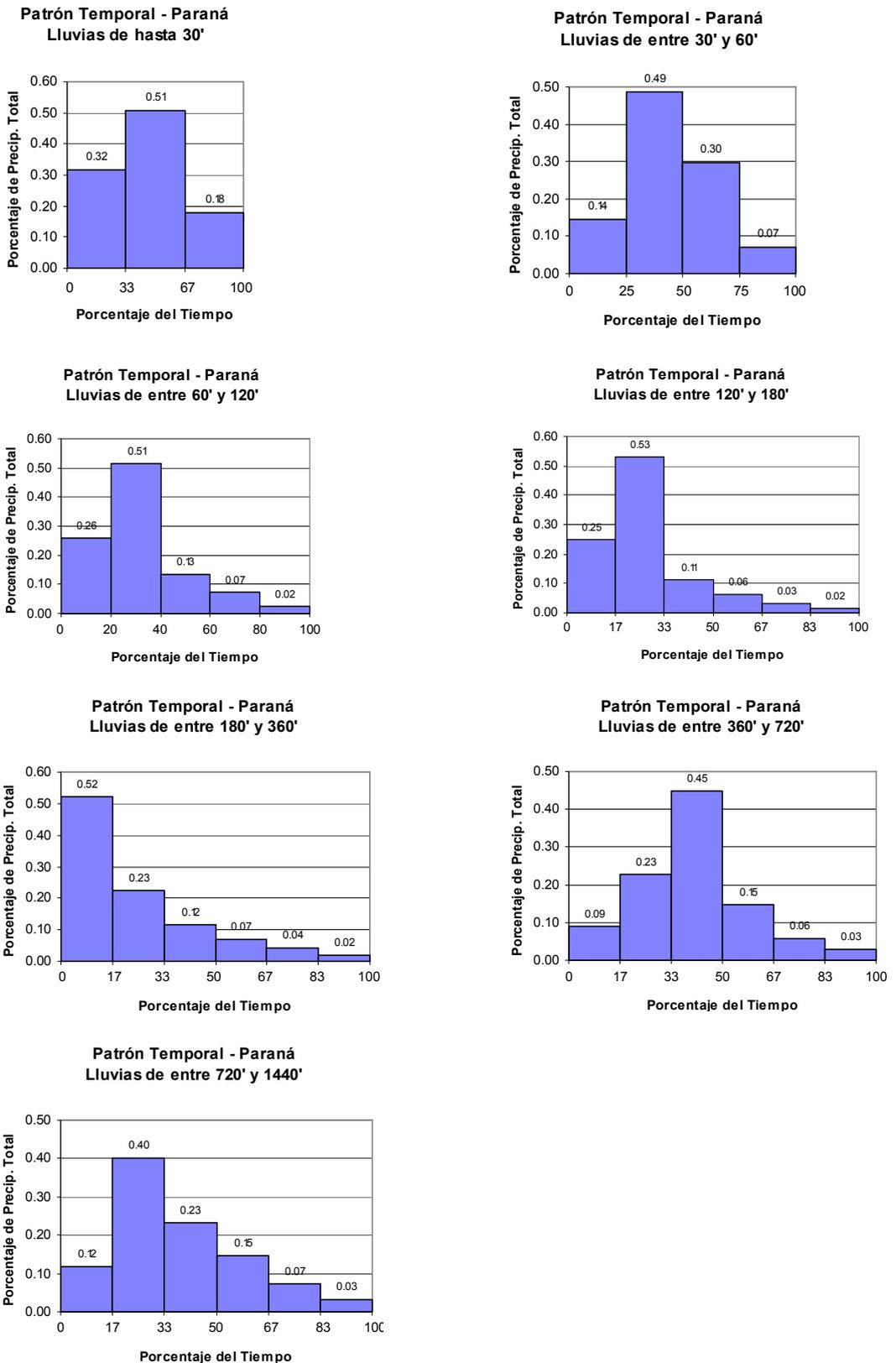


Figura 4.3.- Paraná - Patrones de distribución temporal

4.4.3.- Ejemplo de Aplicación

Se desea determinar el hietograma de precipitación de diseño, por el Método de Pilgrim, para una tormenta de 2 horas de duración en la localidad de Concordia, para un período de retorno de 10 años.

La relación intensidad-duración-recurrencia de tipo Sherman determinada para la localidad de Concordia responde a la siguiente ecuación:

$$i = \frac{652,4 \cdot (T_r)^{0,26}}{(d + 5)^{0,71}}$$

De acuerdo a la misma, para $T_r = 10$ años y $d = 120$ minutos, resultará una intensidad de 38,52 mm/h al cual le corresponde una lámina de 77 mm.

Aplicando los porcentajes de lámina y tiempo correspondientes a la Tabla 4.1 (Rango 3: duración entre 60' y 120') se determina el patrón de distribución temporal de la tormenta analizada, cuyos valores se indican en la Tabla 4.4 y se representan gráficamente en la Figura 4.4.

Tabla 4.4.- Hietograma de diseño Concordia - Método de Pilgrim
Duración: 120 minutos - Recurrencia: 10 años

CONCORDIA - HIETOGRAMA DE DISEÑO			
Porcentaje de tiempo (%)	Porcentaje de Precipitación (%)	Tiempo (minutos)	Precipitación (mm)
20	31	24	24
40	53	48	41
60	11	72	8
80	4	96	3
100	2	120	2

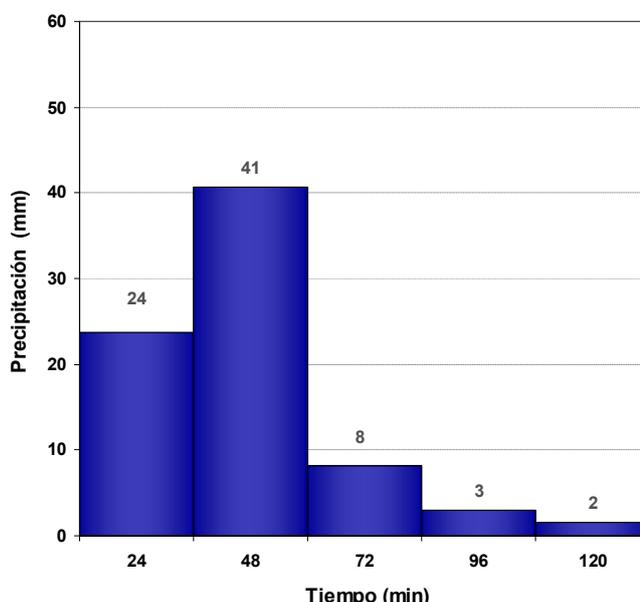


Figura 4.4.- Hietograma de diseño Concordia - Método de Pilgrim
Duración: 120 minutos - Recurrencia: 10 años

4.5.- Método de los bloques alternos

El método de los bloques alternos es una forma simple para desarrollar un hietograma de diseño utilizando una curva de intensidad- duración- recurrencia. El hietograma de diseño producido por este método especifica las láminas de precipitación que ocurren en n intervalos de tiempo sucesivos de duración Δt sobre una duración total de $T_d = n. \Delta t$. (Ref.4.1.)

4.5.1.- Metodología

En primer lugar debe definirse el período de retorno de diseño; posteriormente la intensidad se calcula con una curva I-D-T para cada una de las duraciones $\Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t, \dots, n.\Delta t.$, obteniéndose la lámina de precipitación multiplicando la intensidad y su duración.

Se toman diferencias entre valores sucesivos de lámina de precipitación, con lo cual se determinan la cantidad de precipitación por unidad de tiempo Δt (bloques de precipitación).

Estos bloques se reordenan en una secuencia temporal, de modo que la intensidad máxima ocurra en el centro de la duración total T_d y que los demás bloques queden en orden descendente alternativamente hacia la derecha y a la izquierda del bloque central, para formar el hietograma de diseño.

4.5.2.- Ejemplo de aplicación:

Se desea determinar el hietograma de precipitación de diseño, por el Método de bloques alternos, para una tormenta de 2 horas de duración en la localidad de Concordia, para un período de retorno de 10 años, adoptando incrementos de tiempo iguales a 10 minutos. Se supone que la intensidad máxima se produce en la mitad de la duración de la tormenta.

La relación intensidad-duración-recurrencia de tipo Sherman determinada para la localidad de Concordia responde a la siguiente ecuación

$$i = \frac{652,4.(Tr)^{0,26}}{(d + 5)^{0,71}}$$

A partir de la misma se determinan las intensidades correspondientes a los intervalos de tiempo establecidos. Las mismas se indican en la tercera columna de la Tabla 4.5.

En la cuarta columna se calcula la precipitación caída en cada intervalo. Se supone que los 20 minutos de máxima precipitación incluyen el intervalo de 10 minutos más lluviosos, por lo cual si a éstos les corresponde una precipitación de 28.9 mm, en los diez minutos restantes la precipitación será igual a $40.3 - 28.9 = 11.3$ mm. De la misma forma se calculan la precipitación caída en los restantes intervalos de 10 minutos.

Tabla 4.5.- Método de los bloques alternos -Incrementos de precipitación

Intervalo	T (minutos)	I (mm/hora)	P acumulada (mm)	ΔP (mm)	Bloques alternos (mm)
1	10	173.6	28.9	28.9	2.3
2	20	120.8	40.3	11.3	2.7
3	30	95.1	47.6	7.3	3.3
4	40	79.6	53.0	5.5	4.5
5	50	69	57.5	4.5	7.3
6	60	61.3	61.3	3.8	28.9
7	70	55.4	64.6	3.3	11.3
8	80	50.7	67.6	2.9	5.5
9	90	46.8	70.2	2.7	3.8
10	100	43.6	72.7	2.5	3
11	110	40.9	74.9	2.3	2.5
12	120	38.5	77.0	2.1	2.1

Para construir el hietograma la precipitación registrada en los 10 minutos más lluviosos debe ubicarse en el centro (en este caso el intervalo N° 6). A su derecha, la correspondiente al 2° intervalo más lluvioso. A la izquierda, la registrada en el 3er intervalo más lluvioso, a la derecha el 4°, y así sucesivamente. El patrón de distribución temporal así generado se indica en la Figura 4.5.

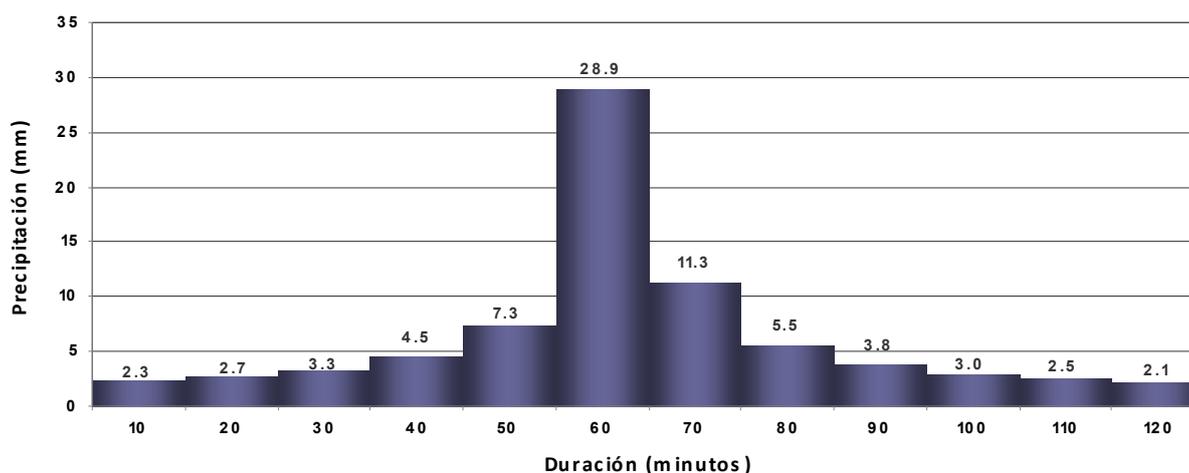


Figura 4.5.- Hietograma de diseño - Método de los bloques alternos Concordia - Duración: 120 minutos - Recurrencia: 10 años

4.6.- Referencias

- 4.1. **CHOW, V.T., MAIDMENT, D.R., MAYS, L.W.** - "Hidrología Aplicada". McGraw - Hill Interamericana, S.A. Bogotá. Colombia, 1994.
- 4.2. **DI BENEDETTO, H.M.** - "Análisis y elaboración de metodologías para el aprovechamiento de datos de lluvia diaria para la estimación de intensidades". Dirección Provincial de Hidráulica-Centro de Investigaciones Hídricas de la región semiárida (CIHRSA). Córdoba, 1991.
- 4.3. **DI BENEDETTO, H.M., ZAMANILLO, E.A., CAAMAÑO NELLI, G.E.** - "Hietogramas típicos de tormentas intensas en la estación La Suela, Provincia de Córdoba". Dirección Provincial de Hidráulica-Centro de Investigaciones Hídricas de la región semiárida (CIHRSA). Córdoba, 1991.
- 4.4. **G.I.H.H.A. (GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA APLICADA).** "Informes de Avance". Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concordia. 2006, 2007, 2008.
- 4.5. **MEDINA, L., MOYANO, M.C.** - "Estudio piloto de lluvias intensas en la República Argentina". Hidrología Cuad. N°2. INCYTH. Buenos Aires, 1975.
- 4.6. **PÉREZ, M.M., LARENZE, G., ZAMANILLO, E.A.** - "Análisis de interiores y exteriores de tormenta para la Provincia de Entre Ríos". III Jornadas de Difusión de proyectos de investigación-extensión. INEX 2008. Universidad Nacional de Entre Ríos, Concepción del Uruguay. 2008.
- 4.7. **PILGRIM, D.H., CORDERY I., FRENCH, R.** - "Australian rainfall and runoff". The Institution of Engineers, Australia, 1977.
- 4.8. **TUCCI, E.M.** - "Hidrología, Ciencia y Aplicación". Segunda Edición. Porto Alegre, 1997.

Capítulo 5.- Regionalización de las relaciones intensidad-duración-recurrencia

5.1.- Transposición de lluvias con objetivos de diseño

Para estimar las intensidades de diseño en los sitios que carecen de información pluviográfica se generó un procedimiento basado en la desagregación temporal de la precipitación máxima diaria regionalizada (Ref.5.1).

5.2.- Área de influencia de los pluviógrafos

De acuerdo a las condiciones propuestas por Pierrehumbert (1977) para Australia (Refs. 5.3, 5.4 y 5.5) se delimitaron las zonas de homogeneidad meteorológica asociadas a cada estación pluviográfica. De esta forma, y de acuerdo a la disponibilidad de registros pluviográficos, la Provincia de Entre Ríos se dividió en las zonas indicadas en la Figura 5.1.

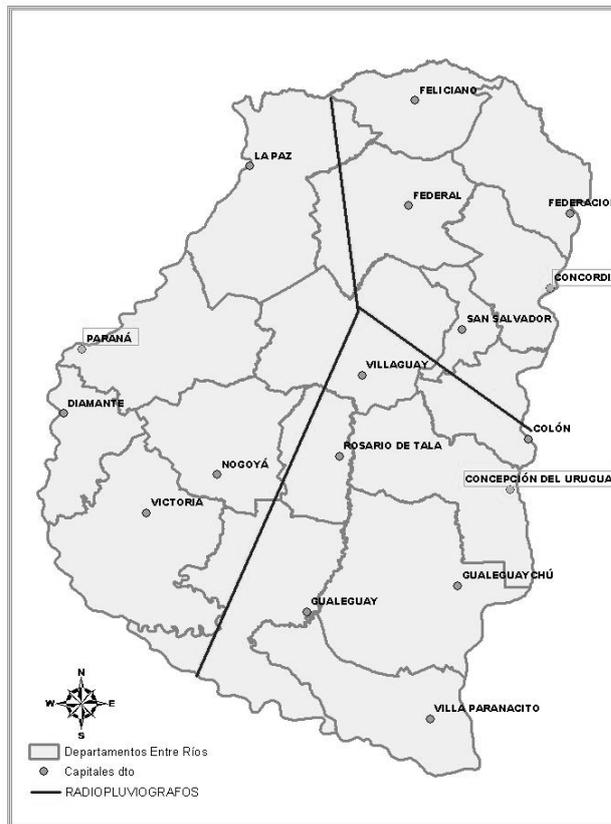


Figura 5.1.- Zonas de homogeneidad meteorológica de Entre Ríos.

5.3.- Metodología adoptada para la Provincia de Entre Ríos

A cada zona de homogeneidad meteorológica se le atribuye el mismo patrón de distribución temporal de la lámina total precipitada, caracterizado por los cocientes $rd/24$ entre láminas de distintas duraciones d (min) con respecto a la precipitación de 24 horas ($P_{24\text{horas}}$) y por las relaciones $RT = P_{24\text{horas}}/P_{\text{máx}}$ diaria. Los cocientes

$rd/24$ se obtienen de la relación I-D-T representativa de la región de homogeneidad meteorológica.

Es decir que en una localidad donde puede estimarse la precipitación máxima diaria ($P_{\text{máx}} \text{ diaria}$) en base a los mapas regionalizados, las láminas h_d correspondientes a duraciones d menores a 24 horas pueden obtenerse afectando a la misma por los cocientes antes mencionados, extrapolados desde la estación pluviográfica. Por lo tanto:

$$h_d \text{ (mm)} = (r_{d/24}) \cdot P_{24} = (r_{d/24}) \cdot (RT \cdot P_{\text{máx}} \text{ diaria})$$

Para cada período de retorno TR, la desagregación temporal de las precipitaciones máximas diarias permite determinar las láminas h_d (mm) para todo el rango de duraciones d (min) menores a 24 horas, a partir de las cuales quedan definidas las correspondientes intensidades $i_d = h_d \cdot 60/d$ (mm/hora), generando una nube de puntos sobre la que es posible ajustar una ecuación tipo Sherman:

$$i = \frac{K \cdot Tr^m}{(d + c)^n}$$

donde K, m, n y c son parámetros a determinar en base a un análisis de regresión lineal múltiple.

5.4.- Desagregación temporal de las tormentas

Este método se basa en dos características observadas en las curvas I-D-T correspondientes a puestos pluviográficos ubicados en diversas partes del mundo (Ref.5.7.):

a.- Existe una tendencia de las curvas de probabilidad de diferentes duraciones a mantenerse paralelas entre sí.

b.- Para diferentes lugares del mundo existen relaciones similares entre precipitaciones medias máximas de diferentes duraciones:

Las relaciones entre duraciones se obtienen según la expresión:

$$r_{t_1/t_2} = \frac{\text{precipitación de duración } t_1}{\text{precipitación de duración } t_2}$$

La relación $RT = P_{24 \text{ horas}} / P_{\text{máx}} \text{ diaria}$ incorpora al análisis la diferencia que existe entre el día pluviométrico o pluviográfico (generalmente con hora de inicio y fin de registro predeterminadas) y el intervalo móvil de 24 horas que abarca las máximas intensidades de tormenta. En base a estudios realizados en distintas partes del mundo se observa que los valores medios de esta relación oscilan en torno al valor $RT = 1.14$.

Las relaciones ($r_{d/24}$) entre láminas de duración d y la precipitación de 24 horas permiten efectuar la desagregación temporal de la lámina total precipitada, cuando sólo se cuenta con registros pluviométricos. Valores típicos de estas relaciones se presentan en al Tabla 5.1 (Ref. 5.3.).

Tabla 5.1.- ($rd/24$) estimadas en diversos países - (García, 2002)

Relaciones estimadas para varios países											
Región	Autor y año	Índice	(rd/ 24) para distintas duraciones d (minutos)								
			5	10	15	30	60	120	180	360	720
América Central	Hargreaves, 1981	Máximo				0.50	0.56	0.64	0.69	0.78	0.88
		Mínimo				0.35	0.42	0.51	0.57	0.69	0.83
Argentina	Medina, 1975 Lucero, 1994	Máximo	0.12	0.20	0.28	0.45	0.57	0.78	0.78	0.82	0.97
		Mínimo	0.10		0.23	0.32	0.39	0.52	0.54	0.69	0.83
Argentina (Córdoba)	García, 2000	Máximo	0.22	0.33	0.41	0.55	0.65	0.73	0.79	0.87	0.94
		Mínimo	0.11	0.19	0.26	0.41	0.52	0.60	0.67	0.79	0.91
Australia	Pierrehumbert, 1977	Máximo	0.12	0.17	0.22	0.31	0.40	0.48	0.53	0.63	0.78
		Mínimo	0.10	0.15	0.19	0.27	0.35	0.41	0.45	0.56	0.74
Brasil	Bertoni, 1993	Máximo	0.14		0.26	0.37	0.45	0.56		0.72	0.85
		Mínimo	0.07		0.19	0.28	0.40	0.53			
India	Kothyari 1992	Máximo	0.19	0.24	0.27	0.33	0.40	0.49	0.55	0.67	0.82
		Mínimo	0.18	0.23	0.25	0.31	0.39	0.48	0.54	0.66	0.81
Nigeria	Oyebande 1982	Máximo					0.74		0.84	0.92	0.95
		Mínimo					0.56		0.71	0.81	0.85
U.S.A.	Hershfield, 1961 Chen, 1983 French, 1983 Peterson, 1986 Osborn 1988 Bell 1969, Froehlich, 1995	Máximo	0.14	0.23	0.44	0.49	0.56	0.63	0.68	0.77	0.88
		Mínimo			0.28	0.38	0.40	0.50	0.56	0.70	0.84
Coef. de variación de los máximos			0.26	0.26	0.29	0.22	0.22	0.19	0.17	0.13	0.08
Coef. de variación de los mínimos			0.36	0.21	0.16	0.16	0.17	0.11	0.15	0.12	0.06

5.4.1.- Relaciones RT de los pluviógrafos provinciales

A partir del contraste entre los registros pluviográficos y pluviométricos se determinaron las relaciones entre la precipitación de 24 horas y la precipitación máxima diaria para los pluviógrafos emplazados en Concordia, Concepción del Uruguay y Paraná, obteniéndose los siguientes valores:

Tabla 5.2.- Relaciones RT de los pluviógrafos provinciales

Localidad	RT
Concordia	1.16
Concepción del Uruguay	1.14
Paraná	1.15

5.4.2.- Relaciones $(rd/24)$ de los pluviógrafos provinciales

Se determinaron como el cociente entre las láminas estimadas a partir de las ecuaciones intensidad-duración-recurrencia. Los valores correspondientes a cada estación pluviográfica se indican en la Tabla 5.3.

Tabla 5.3.- Relaciones $(rd/24)$ de los pluviógrafos provinciales

Localidad	Duración (minutos)								
	10	30	60	90	120	180	360	720	1440
Concordia	0.18	0.29	0.38	0.43	0.47	0.54	0.66	0.82	1
C.del Uruguay	0.20	0.35	0.45	0.51	0.55	0.61	0.73	0.85	1
Paraná	0.16	0.27	0.35	0.41	0.45	0.51	0.65	0.80	1

5.5.- Ejemplo de aplicación.

Se ejemplifican los rasgos principales de la metodología de transposición para la localidad de Gilbert (32° 31' S y 58° 59' W), ubicada en el área de influencia del pluviógrafo de Concepción del Uruguay, que se presenta en la Figura 5.2.



Figura 5.2.- Ubicación de la estación pluviométrica Gilbert.

En la Tabla 5.4 se presentan los valores de precipitaciones máximas diarias obtenidos para las coordenadas de la localidad a partir de los mapas regionalizados de precipitaciones máximas.

Tabla 5.4.- Gilbert - $P_{m\acute{a}x\ diaria}$ estimada (1976-2005)

T_r (años)	2	5	10	20	25	50
$P_{m\acute{a}x\ diaria}$ (mm)	97	128	150	172	179	204

Según se indica en la Tabla 5.2, el valor promedio de la relación RT entre las láminas de 24 horas ($P_{24horas}$) y las láminas máximas diarias ($P_{m\acute{a}x\ diaria}$) para el pluviógrafo emplazado en Concepción del Uruguay es igual a 1.14.

A partir de la relación I-D-T de Concepción del Uruguay se definieron las relaciones $r_{d/24}$ entre láminas de duración d (min) y las láminas de 24 horas correspondientes a los períodos de retorno T_r , que se presentan en la Tabla 5.5.

Tabla 5.5.- ($r_{d/24}$) - Concepción del Uruguay (1980-2005).

Duración d (minutos)								
10	30	60	90	120	180	360	720	1440
0.20	0.35	0.45	0.51	0.55	0.61	0.73	0.85	1.00

Las precipitaciones máximas diarias estimadas para la localidad de Gilbert en base al mapa regionalizado se desagregaron temporalmente afectándolas por las relaciones $r_{d/24}$, obteniéndose las láminas $h_d = r_{d/24} \cdot RT \cdot P_{m\acute{a}x \text{ diaria}}$ indicadas en la Tabla 5.6.

Tabla 5.6.- Desagregación temporal $P_{m\acute{a}x \text{ diarias}}$ Gilbert (1976-2005) - Láminas h_d (mm).

Tr (años)	Duración d (minutos)											
	Pm _{áx}	RT	P24	10	30	60	90	120	180	360	720	1140
50	204	1.14	232	47.3	81	103.8	117.5	127.5	141.9	168.4	198.1	231.8
25	179	1.14	204	41.7	71.4	91.5	103.5	112.3	125.1	148.4	174.5	204.3
20	172	1.14	196	40	68.4	87.7	99.3	107.7	119.9	142.3	167.3	195.8
10	150	1.14	170	34.7	59.5	76.2	86.3	93.6	104.2	123.7	145.4	170.2
5	128	1.14	145	29.7	50.8	65.1	73.6	79.9	88.9	105.6	124.1	145.3
2	97	1.14	110	22.5	38.5	49.3	55.8	60.5	67.4	80	94.1	110.1

A partir de las láminas h_d (mm) se determinan las intensidades i_d (mm/hora) correspondientes a todo el rango de duraciones menores a 24 horas, generando una nube de puntos que simula las intensidades de diseño, que se indican en la Tabla 5.7 y se representan gráficamente en la Figura 5.3.

Tabla 5.7.- Desagregación temporal $P_{m\acute{a}x \text{ diarias}}$ Gilbert (1976-2005) - Intensidades i_d estimadas (mm/hora).

Tr (años)	Duración d (minutos)									
	10	30	60	90	120	180	360	720	1140	
50	283.9	162	103.8	78.3	63.7	47.3	28.1	16.5	9.7	
25	250.1	142.8	91.5	69	56.2	41.7	24.7	14.5	8.5	
20	239.8	136.9	87.7	66.2	53.8	40	23.7	13.9	8.2	
10	208.5	119	76.2	57.5	46.8	34.7	20.6	12.1	7.1	
5	177.9	101.5	65.1	49.1	39.9	29.6	17.6	10.3	6.1	
2	134.8	76.9	49.3	37.2	30.3	22.5	13.3	7.8	4.6	

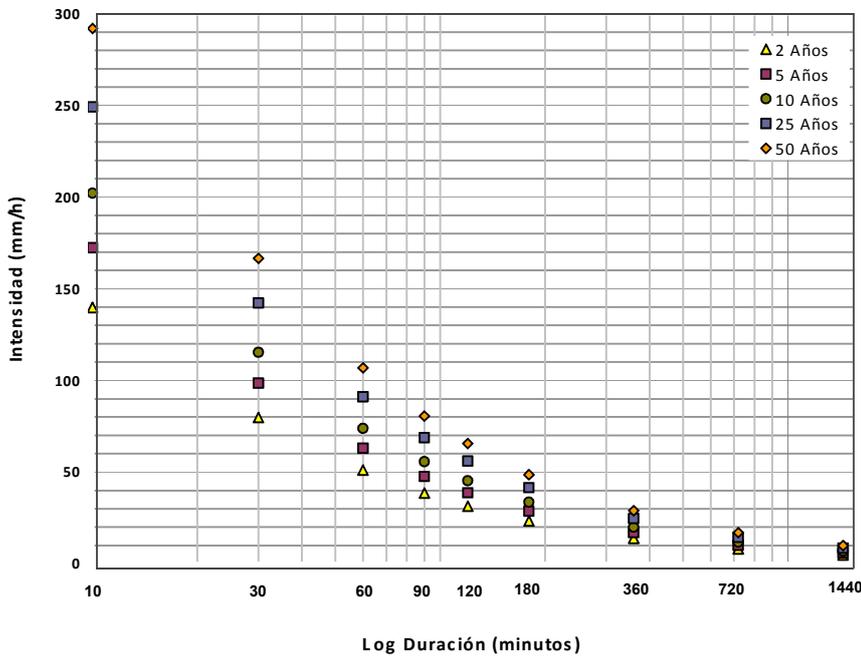


Figura 5.3- Intensidades i_d estimadas (mm/hora) - (Gilbert 1976-2005).

Finalmente, a través de un análisis de regresión lineal múltiple puede efectuarse el ajuste de estos puntos a una ecuación tipo Sherman de cuatro parámetros, determinándose la ecuación I-D-T para la localidad de Gilbert:

$$i = \frac{k \cdot Tr^m}{(d + c)^n} = \frac{1188.4 \cdot Tr^{0.23}}{(d + 9)^{0.78}}$$

Donde:

- c, k, m y n = Parámetros a determinar.
- T_r = Período de retorno en años.
- d = Duración en minutos.

Aplicando el valor constante $c = 9$ se obtiene un coeficiente de determinación $R^2 = 0.998$, que indica un buen ajuste a la nube de puntos generada a partir de los datos de la Tabla 5.7.

La relación intensidad-duración-recurrencia obtenida para la localidad de Gilbert se presenta en la Figura 5.4.

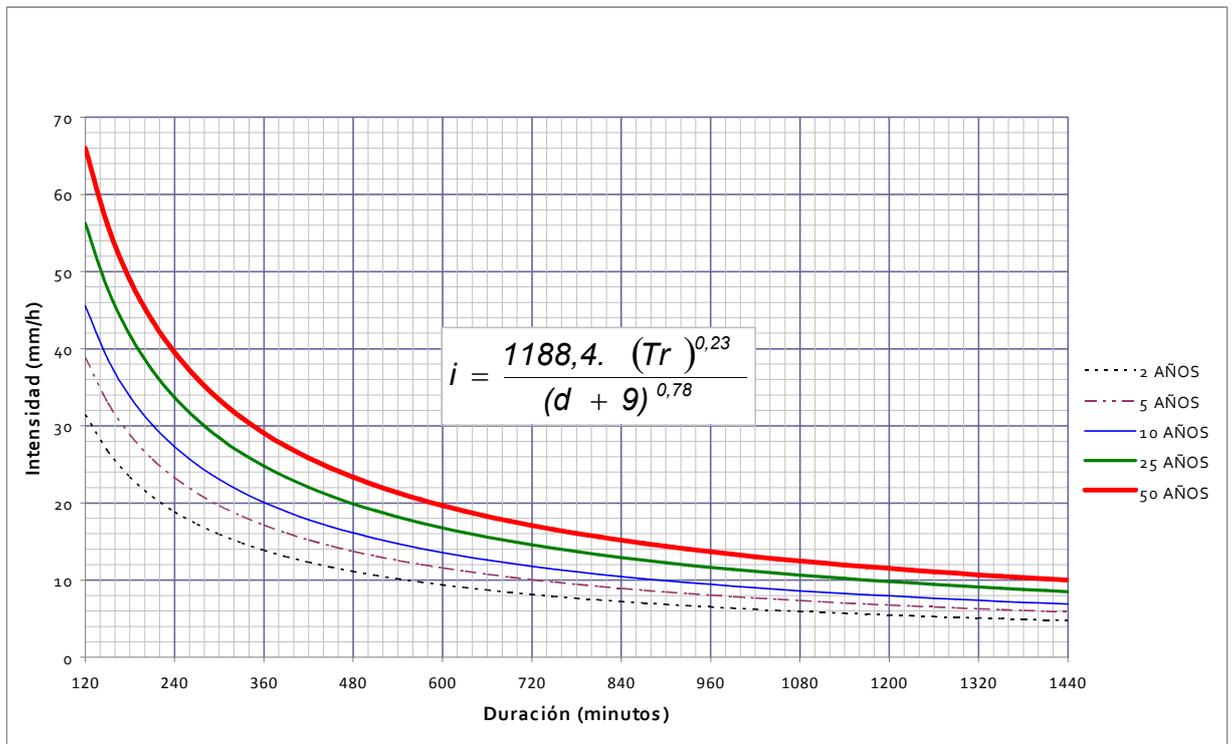
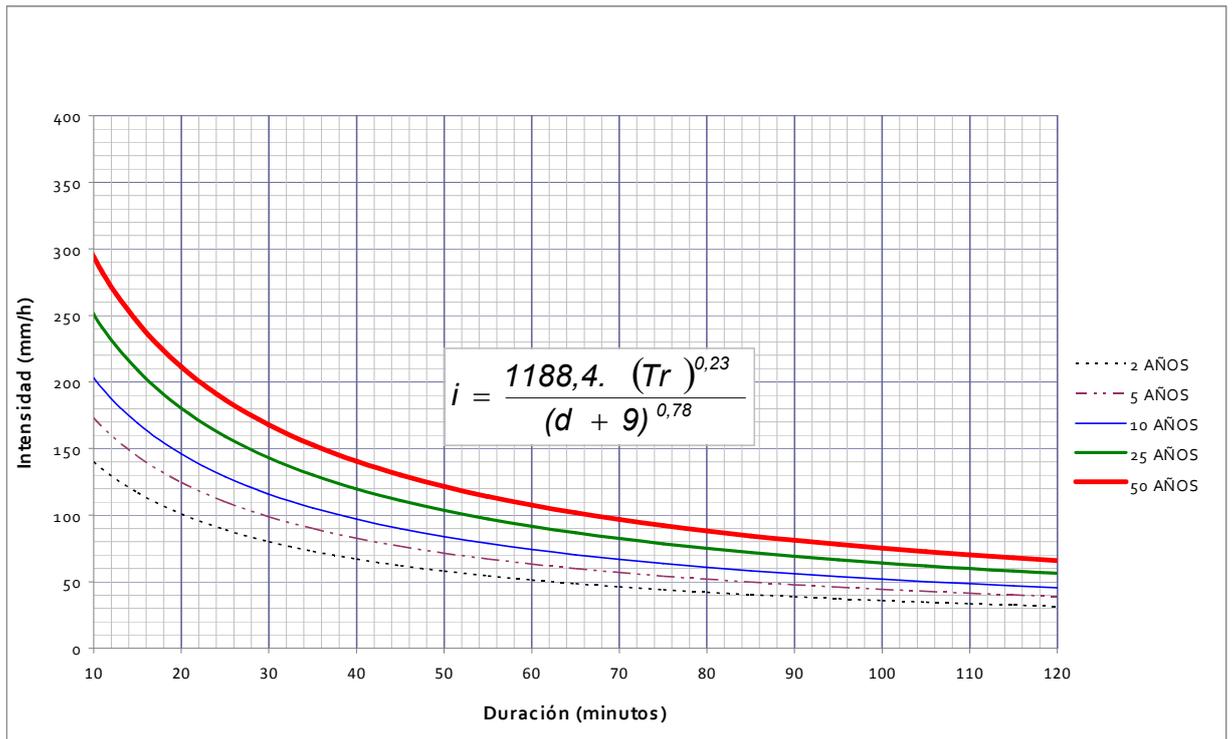


Figura 5.4.- Curvas I-D-T Gilbert

5.6.- Referencias

- 5.1. **BORSELLINO, M.J., MATTAR M.T., OLMOS, L.A.**, “Estimación de curvas i-d-f para datos de lluvias a nivel diario - Aplicación a la región centro-oeste de Santiago del Estero”. Instituto de Recursos Hídricos, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías - Universidad Nacional de Santiago del Estero, 2002.
- 5.2. **DI BENEDETTO, H.M.** - “Análisis y elaboración de metodologías para el aprovechamiento de datos de lluvia diaria para la estimación de intensidades”. Consejo de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Provincia de Córdoba, Dirección Provincial de Hidráulica de la Provincia de Córdoba, Centro de Investigaciones Hídricas de la Región Semiárida (CIHRSA), 1991.
- 5.3. **GARCÍA, C.M.** - “Lámina de Lluvia Puntual para Diseño Hidrológico”. Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 2000.
- 5.4. **CAAMAÑO NELLI, G.E., DASSO, C.M.** - “Lluvias de Diseño” - Conceptos, Técnicas y Experiencias. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Universitatis - Editorial Científica Universitaria Argentina, 2003.
- 5.5. **PILGRIM, D.H., CORDERY I., FRENCH, R.** - “Australian rainfall and runoff”. The Institution of Engineers, Australia, 1977.
- 5.6. **DEVOTO, G.A.** - “Regionalización de Lluvias Intensas en Argentina”. Universidad Católica Argentina. Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas y de Ingeniería, 2002
- 5.7. **TUCCI, E.M.** - “Hidrología, Ciencia y Aplicación”. Segunda Edición. Porto Alegre, 1997.

Capítulo 6.- Descripción y utilización de los sistemas de información asociados

6.1.- Sistema de Información Geográfica

6.1.1.- Descripción general

En el Sistema de Información Geográfica (Referencia 6.1 y 6.2) **RegPrecMax** se presenta la información sobre regionalización de precipitaciones máximas en la provincia de Entre Ríos, mediante las capas de información que se describen en la Tabla 6.1.

CAPA	DESCRIPCIÓN	TOPOLOGIA	ATRIBUTOS
DEPARTAMENTOSLOGO	Departamentos- Logo	Imagen	
CAPITALES DTO	Capital de Departamento	Puntos	Nombre Capital - Nombre Dto.
MAXIMOSLOC	Para cada una de las localidades los máximos 1, 2, 3 y 4 días .	Puntos	Nombre Localidad-Coordenadas-Hotlink
IDF	Para cada una de las localidades las curvas IDF.	Puntos	Nombre Localidad-Coordenadas-Hotlink
RADIO PLUVIOGRAFOS	Determina la zona de influencia de cada pluviógrafo	Lineas	
INTERIORES30MTR10	Para cada una de las capitales de departamento, interiores de tormenta , por el método de Pilgrim, de duración 30 min. y período de retorno de 10 años.	Puntos	Nombre Dto -Capital- Hotlink
INTERIORES30MTR20	Para cada una de las capitales de departamento, interiores de tormenta , por el método de Pilgrim, de duración 30 min. y período de retorno de 20 años.	Puntos	Nombre Dto -Capital- Hotlink
INTERIORES360MTR10	Para cada una de las capitales de departamento, interiores de tormenta , por el método de Pilgrim, de duración 360 min. y período de retorno de 10 años.	Puntos	Nombre Dto -Capital- Hotlink
INTERIORES360MTR20	Para cada una de las capitales de departamento, interiores de tormenta , por el método de Pilgrim, de duración 360 min. y período de retorno de 20 años.	Puntos	Nombre Dto -Capital- Hotlink
MAXIMOS1DIATR2B	Isolneas correspondientes a la regionalización de los máximos de un día y dos años de período de retorno	Lineas	Precipitación máximas en mm.
MAXIMOS1DIATR5B	Isolneas correspondientes a la regionalización de los máximos de un día y 5 años de período de retorno	Lineas	Precipitación máximas en mm.
MAXIMOS1DIATR10B	Isolneas correspondientes a la regionalización de los máximos de un día y 10 años de período de retorno	Lineas	Precipitación máximas en mm.
MAXIMOS1DIATR20B	Isolneas correspondientes a la regionalización de los máximos de un día y 20 años de período de retorno	Lineas	Precipitación máximas en mm.
MAXIMOS1DIATR25B	Isolneas correspondientes a la regionalización de los máximos de un día y 25 años de período de retorno	Lineas	Precipitación máximas en mm.
MAXIMOSUNDIATR50B	Isolneas correspondientes a la regionalización de los máximos de un día y 50 años de período de retorno	Lineas	Precipitación máximas en mm.
MAXIMOS2DIASTR2B	Isolneas correspondientes a la regionalización de los máximos de 2 días y dos años de período de retorno	Lineas	Precipitación máximas en mm.
MAXIMOS2DIASTR5B	Isolneas correspondientes a la regionalización de los máximos de 2 días y 5 años de período de retorno	Lineas	Precipitación máximas en mm.
MAXIMOS2DIASTR10B	Isolneas correspondientes a la regionalización de los máximos de 2 días y 10 años de período de retorno	Lineas	Precipitación máximas en mm.
MAXIMOS2DIASTR20B	Isolneas correspondientes a la regionalización de los máximos de 2 días y 20 años de período de retorno	Lineas	Precipitación máximas en mm.

MAXIMOS2DIASTR25B	Isolneas correspondientes a la regionalización de los máximos de 2 días y 25 años de período de retorno	Lineas	Precipitación máximas en mm.
MAXIMOS2DIASTR50B	Isolneas correspondientes a la regionalización de los máximos de 2 días y 50 años de período de retorno	Lineas	Precipitación máximas en mm.
MAXIMOS3DIASTR2B	Isolneas correspondientes a la regionalización de los máximos de 3 días y dos años de período de retorno	Lineas	Precipitación máximas en mm.
MAXIMOS3DIASTR5B	Isolneas correspondientes a la regionalización de los máximos de 3 días y 5 años de período de retorno	Lineas	Precipitación máximas en mm.
MAXIMOS3DIASTR10B	Isolneas correspondientes a la regionalización de los máximos de 3 días y 10 años de período de retorno	Lineas	Precipitación máximas en mm.
MAXIMOS3DIASTR20B	Isolneas correspondientes a la regionalización de los máximos de 3 días y 20 años de período de retorno	Lineas	Precipitación máximas en mm.
MAXIMOS3DIASTR25B	Isolneas correspondientes a la regionalización de los máximos de 3 días y 25 años de período de retorno	Lineas	Precipitación máximas en mm.
MAXIMOS3DIASTR50B	Isolneas correspondientes a la regionalización de los máximos de 3 días y 50 años de período de retorno	Lineas	Precipitación máximas en mm.
MAXIMOS4DIASTR2B	Isolneas correspondientes a la regionalización de los máximos de 4 días y dos años de período de retorno	Lineas	Precipitación máximas en mm.
MAXIMOS4DIASTR5B	Isolneas correspondientes a la regionalización de los máximos de 4 días y 5 años de período de retorno	Lineas	Precipitación máximas en mm.
MAXIMOS4DIASTR10B	Isolneas correspondientes a la regionalización de los máximos de 4 días y 10 años de período de retorno	Lineas	Precipitación máximas en mm.
MAX4DIASTR20	Isolneas correspondientes a la regionalización de los máximos de 4 días y 20 años de período de retorno	Lineas	Precipitación máximas en mm.
MAXIMOS4DIASTR25B	Isolneas correspondientes a la regionalización de los máximos de 4 días y 25 años de período de retorno	Lineas	Precipitación máximas en mm.
MAXIMOS4DIASTR50B	Isolneas correspondientes a la regionalización de los máximos de 4 días y 50 años de período de retorno	Lineas	Precipitación máximas en mm.
MAXIMOSUNDIA	Describe para cada punto de la provincia de Entre Ríos los máximos 1 día.	Puntos	Coordenadas - Máximos un día para Tr. 2, 5,10, 20, 25 y 50 años en mm.
MAXIMOSDOSDIAS	Describe para cada punto de la provincia de Entre Ríos los máximos 2 días.	Puntos	Coordenadas - Máximos dos días para Tr. 2, 5,10, 20, 25 y 50 años en mm.
MAXIMOSTREDIAS	Describe para cada punto de la provincia de Entre Ríos los máximos 3 días mediante el comando Identify.	Puntos	Coordenadas - Máximos tres días para Tr. 2, 5,10, 20, 25 y 50 años en mm.
MAXIMOSCUATRODIAS	Describe para cada punto de la provincia de Entre Ríos los máximos 4 días .	Puntos	Coordenadas - Máximos cuatro días para Tr. 2, 5,10, 20, 25 y 50 años en mm.

Tabla 6.1.- Capas del Sistema de Información Geográfica “RegPrecMax”

6.1.2.- Instrucciones de uso

Para abrir el programa: Botón **Inicio de Windows – Programas – AEJEE**. Clic en **AEJEE** (ArcExplorer – Java Edition for Education). Una vez abierto éste, en el menú **Archivo**, presionar Abrir **RegPrecMax.axl**. Se despliega la pantalla que se muestra en la Figura 6.1.

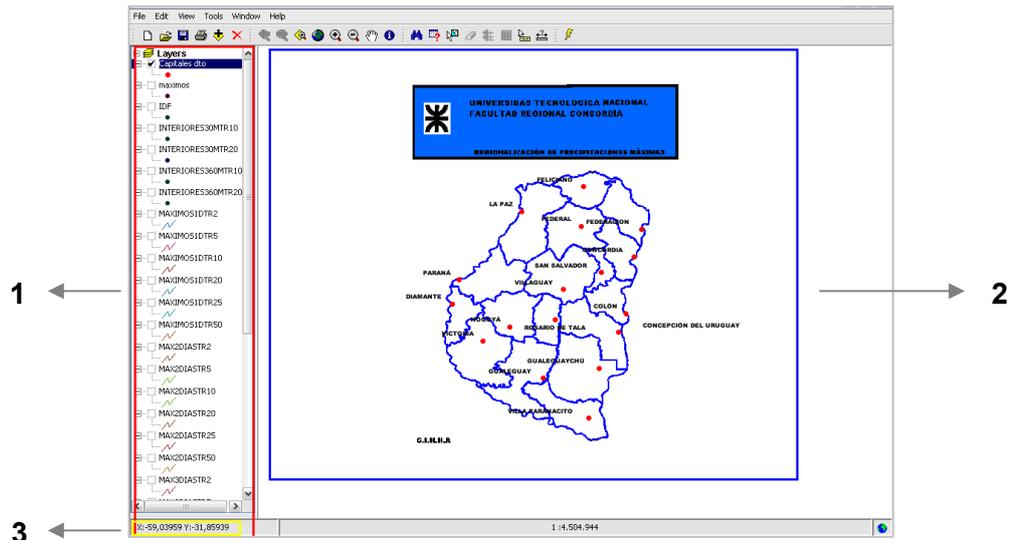


Figura 6.1.- Ventana principal del RegPrecMax

El recuadro N° 1 indica las distintas capas de información que posee el Sistema, el N° 2 la parte de la pantalla donde se representan estas capas, y el N° 3 las coordenadas del punto donde está posicionado el Mouse. Para visualizar una capa de información, ésta debe estar tildada y marcada, tal cual como se puede observar para la capa Capitales Dto.

En la Figura 6.2 se destacan dos comandos importantes: el indicado con el N° 1 se denomina **Identify** mientras que el N° 2 se llama **Hot Link**.

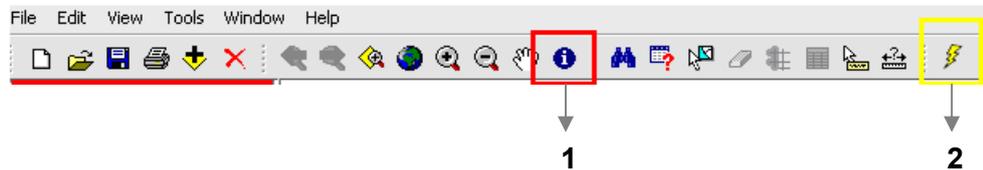


Figura 6.2.- Barra de herramientas del Programa Arc Explorer

Con el comando **Identify**, es posible obtener la información que contiene la tabla de contenidos de una capa en cada punto.

El comando **Hot Link** permite vincular un punto con un archivo o imagen.

Precipitación máxima diaria para distintos períodos de retorno

Para consultar la precipitación máxima diaria para distintos períodos de retorno, marcar previamente la capa **MAXIMOS**. Luego ubicar la localidad de la cual quiere obtener la información. Haciendo previamente clic en el icono correspondiente al comando **Hot Link**, doble clic en la localidad y se despliega un archivo en formato pdf que contiene la información requerida.

Ejemplo

En la figura 6.3 se presenta la pantalla que brinda la información sobre máximos diarios para la localidad de El Redomón.

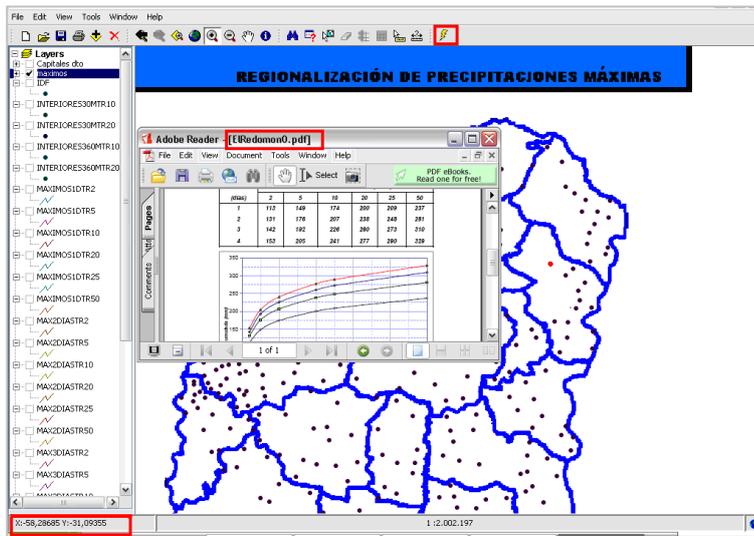


Figura 6.3.- Máximos diarios para la localidad de El Redomón

Relaciones I-D-T para las principales localidades de la Provincia de Entre Ríos

Para consultar las relaciones I-D-T para las principales localidades de la Provincia de Entre Ríos marcar previamente la capa **IDF**. Luego ubicar la localidad de la cual quiere obtener la información. Haciendo previamente clic en el icono correspondiente al comando **Hot Link**, doble clic en la localidad y se despliega un archivo en formato pdf que contiene la información requerida.

Ejemplo

En la Figura 6.4 se presenta la pantalla que brinda las relaciones I-D-T para la localidad de El Redomón.

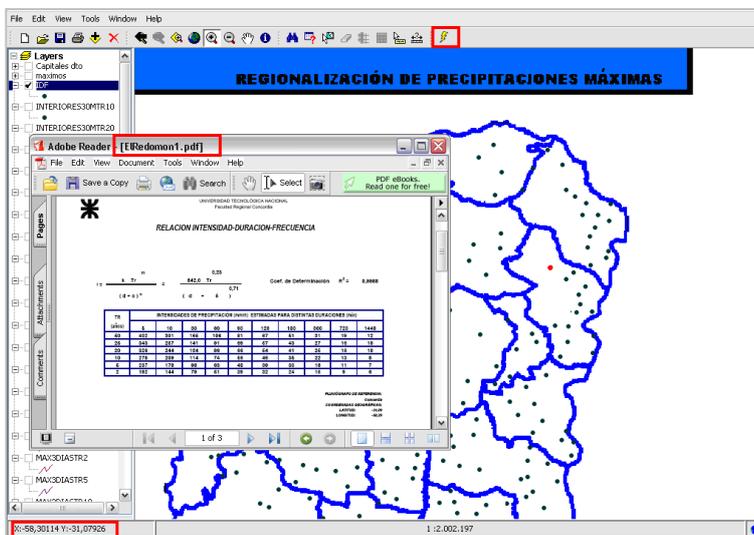


Figura 6.4.- Relaciones I-D-T para la localidad de El Redomón

Hietogramas de diseño para las capitales de departamento.

Para consultar los hietogramas de diseño para distintos período de retorno, marcar la capa, por ejemplo, **INTERIORES30MTR10**. Luego ubicar la localidad de la cual quiere obtener la información. Haciendo previamente clic en el icono correspondiente al comando **Hot Link**, doble clic en la localidad y se despliega un archivo en formato pdf que contiene la información requerida.

Ejemplo

En la Figura 6.5 se presenta la pantalla que brinda interiores de tormenta para duración de 30 minutos y período de retorno de 10 años para la localidad de La Paz.

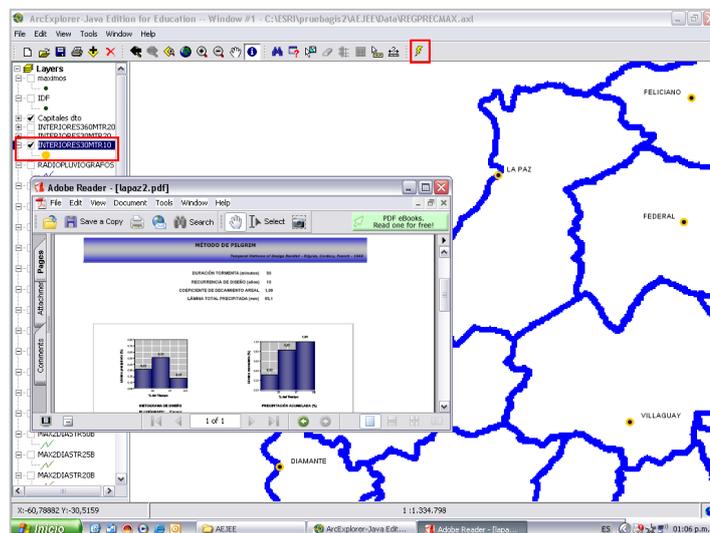


Figura 6.5.- Interiores de Tormenta de duración 30 minutos y 10 años de período de retorno.

Mapas de isolíneas para máximos de uno, dos, tres y cuatro días.

Para visualizar los mapas de isolíneas para máximos de uno, dos, tres y cuatro días para distintos período de retorno, marcar la capa, por ejemplo, **MAXIMOSUNDIATR5**, se desplegará el mapa de isolíneas correspondientes a los máximos de un día y período de retorno 5 años.

Ejemplo

En la figura 6.6 se presenta la pantalla que brinda el mapa de isolíneas correspondientes a los máximos de un día y período de retorno 5 años.

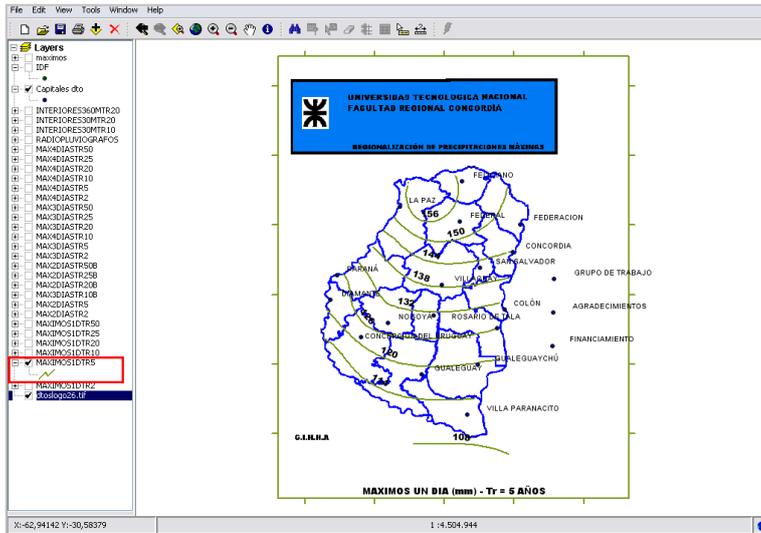


Figura 6.6. Mapa de isolíneas correspondientes a los máximos de un día y período de retorno 5 años.

6.2.- Sistema de Visualización de la Información en HTML

Cualquier usuario que cuente con un navegador web (Internet Explorer, Mozilla Firefox, Opera, etc.) instalado en su máquina podrá utilizar el sistema. Puede acceder al mismo directamente desde el CD, o copiar el directorio **Regionalización** completo a la ubicación deseada en el disco rígido de su máquina.

Instrucciones de uso

Para acceder al sistema, se debe hacer doble clic sobre el archivo **index.htm** dentro del directorio **Regionalización**. Se abre el navegador por defecto y se carga la página principal. Sobre la derecha puede verse un conjunto de botones, que permiten acceder a las distintas opciones disponibles, como se indica en la Figura 6.7.



Figura 6.7.- Botones de acceso

Máximos: Muestra las precipitaciones máximas para 1, 2, 3 y 4 días.

La página consta de un mapa de la provincia donde se destacan todas sus localidades. Al pasar el puntero del mouse sobre cada localidad se despliega la información de nombre y coordenadas de la misma.

Mediante un clic sobre una localidad se accede a la información tabular y gráfica sobre precipitaciones para la localidad seleccionada. En la parte inferior de esta nueva página se encuentra el vínculo para regresar a la página de Máximos. Ésta última, a su vez, cuenta en su parte inferior con un vínculo a la página principal.

Curvas i-d-T: Muestra las curvas Intensidad-Duración-Recurrencia.

La página consta de un mapa de la provincia donde se destacan todas sus localidades. Al pasar el puntero del mouse sobre cada localidad se despliega la información de nombre y coordenadas de la misma.

Mediante un clic sobre una localidad se accede a la información tabular y gráfica sobre intensidades de precipitación para distintas duraciones (en minutos) y períodos de retorno (en años) para la localidad seleccionada. En la parte inferior de esta nueva página se encuentra el vínculo para volver a la página de Curvas I-D-T. Ésta última, a su vez, cuenta en su parte inferior con un vínculo a la página principal.

Interiores de Tormenta: Muestra las distribuciones temporales típicas para distintas combinaciones de duración de tormenta y período de retorno, para las capitales de departamento de toda la provincia.

Se despliega un mapa de la provincia donde se destacan las capitales de departamento. Al pasar el puntero del mouse sobre cada una se despliega la información de nombre y coordenadas de la misma.

Por defecto, se despliega la página que muestra las distribuciones temporales de tormentas de **30 minutos de duración y 10 años de período de retorno**. Existen tres combinaciones adicionales de estas dos variables, a saber:

- **Duración de 360 minutos y tiempo de retorno de 10 años**
- **Duración de 30 minutos y tiempo de retorno de 20 años**
- **Duración de 360 minutos y tiempo de retorno de 20 años**

Se puede acceder a las mismas y pasar libremente de una a otra mediante los enlaces situados en la parte superior de cada página. Cada una, a su vez, cuenta en su parte inferior con un vínculo a la página principal.

Mediante un clic sobre una capital de departamento se accede a la información tabular y gráfica sobre distribución temporal de las tormentas para la duración y período de retorno seleccionado. En la parte inferior de esta nueva página se encuentra el vínculo para volver a la página de Interiores de Tormenta.

Radios de Influencia: Muestra los radios de influencia de los 3 pluviógrafos utilizados dentro de la provincia. En la parte inferior de esta nueva página se encuentra el vínculo para regresar a la página principal.

Mapas de Isolíneas: Muestra los mapas de isolíneas de la provincia de Entre Ríos para las precipitaciones máximas de 1, 2, 3 y 4 días, y distintos períodos de retorno. Por defecto, se despliega la página que muestra los mapas de isolíneas para máximos de 1 día. Existen además tres páginas que contienen los mapas de isolíneas para 2, 3 y 4 días. Se puede acceder a las mismas y pasar libremente de

una a otra mediante los enlaces situados en la parte superior de cada página. Cada una, a su vez, cuenta en su parte inferior con un vínculo a la página principal.

Cada página tiene enlaces a seis mapas distintos, uno por cada uno de los siguientes períodos de retorno: 2 años, 5 años, 10 años, 20 años, 25 años, y 50 años. Mediante un clic sobre cualquiera de estos mapas, se obtiene una imagen ampliada del mismo. En la parte inferior de esta nueva página se encuentra el vínculo para volver a la página de Mapas de Isolíneas.

Cálculo por Coordenadas: Accede a la planilla de cálculo (Capítulo 7) que permite ingresar las coordenadas de cualquier punto de la provincia y obtener la información de Máximos, Curvas I-D-T, e Interiores de Tormenta.

6.3. Referencias

- 6.1 **ArcExplorer™ - Java™ Edition for Education** . Copyright © 2007 ESRI, Inc.
- 6.2 **ArcView 8.** Arq. Mercedes Frassia. Curso ArcGis 8-9. Centro Gis. 2008.

Capítulo 7.- Utilización de la Aplicación de Cálculo de Tormentas de Diseño

7.1.- Descripción general

Para suministrar una herramienta de cálculo para el diseño se desarrolló una aplicación, que funciona en un entorno Excel con macros programadas en Visual Basic (Refs. 7.1 y 7.2), denominada “Lluvias E.R.”, la cual permite 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.

En la Figura 7.1, se presenta la estructura general de la aplicación que ha sido organizada en cuatro temas principales, a los cuales se puede acceder a través del Menú Inicio de la planilla de cálculo: MÁXIMOS DIARIOS, RELACIONES I-D-T, HIETOGRAMA DE DISEÑO Y DECAIMIENTO AREAL.



Figura 7.1.- Menú Inicio de la aplicación “Lluvias E.R.xls”

7.2.- Precipitación Máxima Diaria

Utilizando la opción MÁXIMOS DIARIOS de la Hoja Inicio se accede a la selección de coordenadas, como se muestra en la Figura 7.2 en la cual deben ingresarse las coordenadas geográficas del sitio de interés.

Mediante el comando Calcular se accede a la Hoja Pmáx, la cual se presenta en la Figura 7.3, y permite visualizar los valores de precipitación máxima para las recurrencias de diseño y duraciones iguales a 1, 2, 3 y 4 días. El comando IMPRIME de la hoja Pmáx conduce a una salida preparada para imprimir estos resultados.

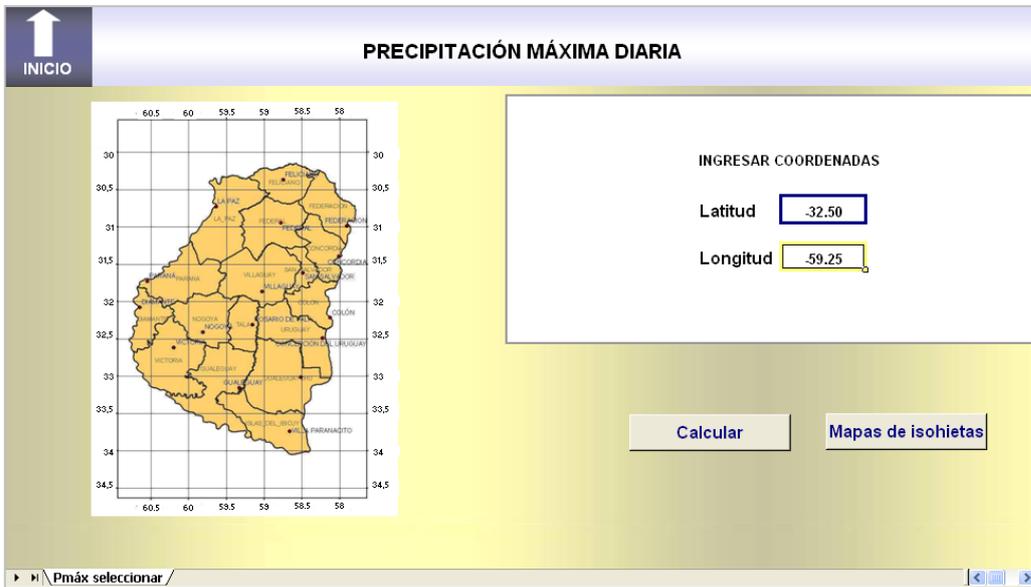


Figura 7.2.- Selección de coordenadas geográficas.

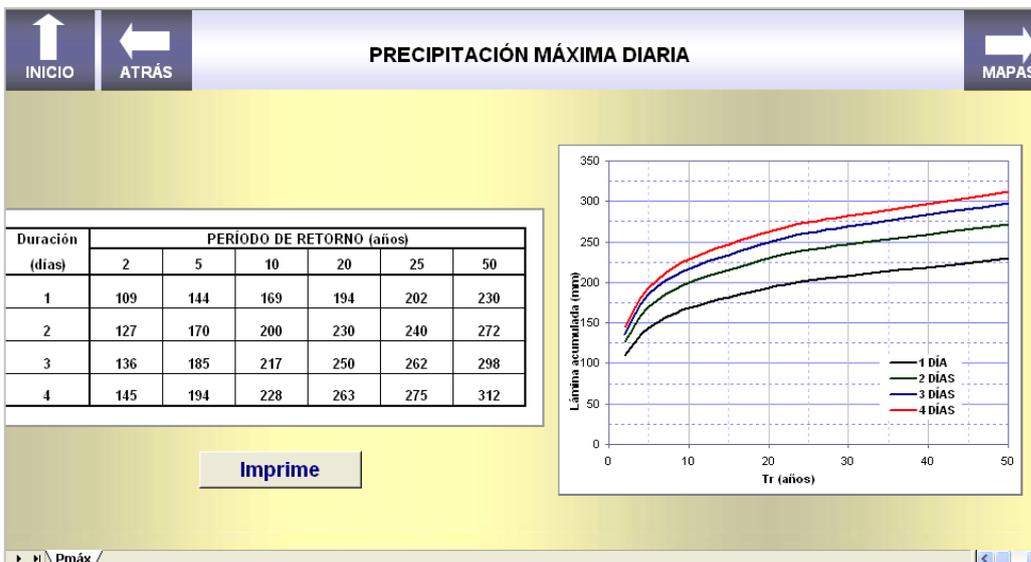


Figura 7.3.- Precipitación máxima diaria para el punto de coordenadas seleccionadas.

La aplicación permite visualizar los mapas de isohietas de precipitaciones máximas, a los cuales se accede a través del comando Mapas de Isohietas de la Hoja Pmáx seleccionar, o utilizando el comando Mapas de la Hoja Pmáx.

Como se muestra en la Figura 7.4 deben seleccionarse la duración en días y la recurrencia de diseño (en años) indicándose como ejemplo una duración de un día y una recurrencia de 25 años. El mapa de isohietas correspondiente se indica en la Figura 7.5.

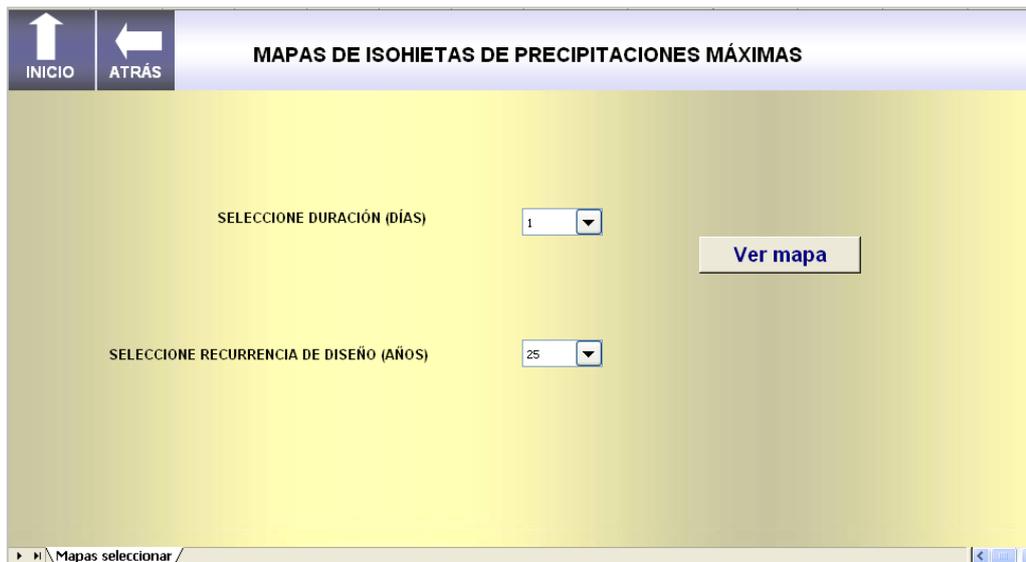


Figura 7.4.- Selección mapas de isohietas de precipitaciones máximas.

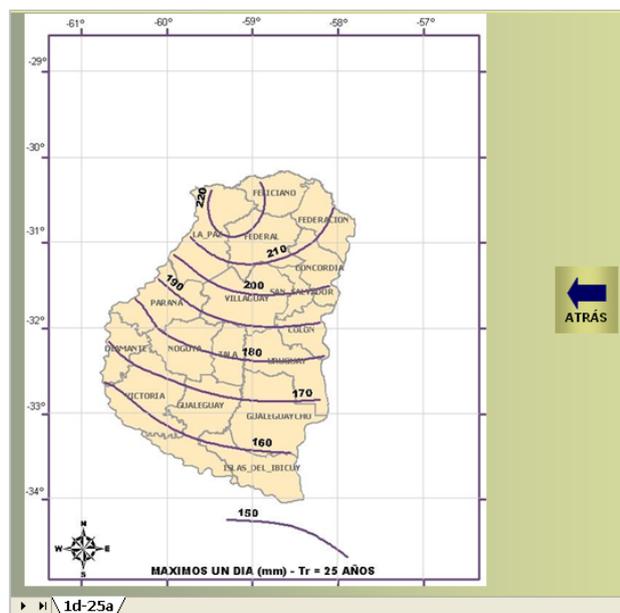


Figura 7.5.- Isohietas de precipitaciones máximas - Duración: 1 día - Período de retorno: 25años

7.3.- Relaciones I-D-T

Utilizando la opción RELACIONES I-D-T de la Hoja Inicio se accede a la hoja I-D-T seleccionar, en la cual se debe adoptar el pluviógrafo de referencia para efectuar la desagregación temporal de la tormenta y calcular o imprimir la ecuación intensidad-duración-recurrencia para el sitio de coordenadas especificadas.

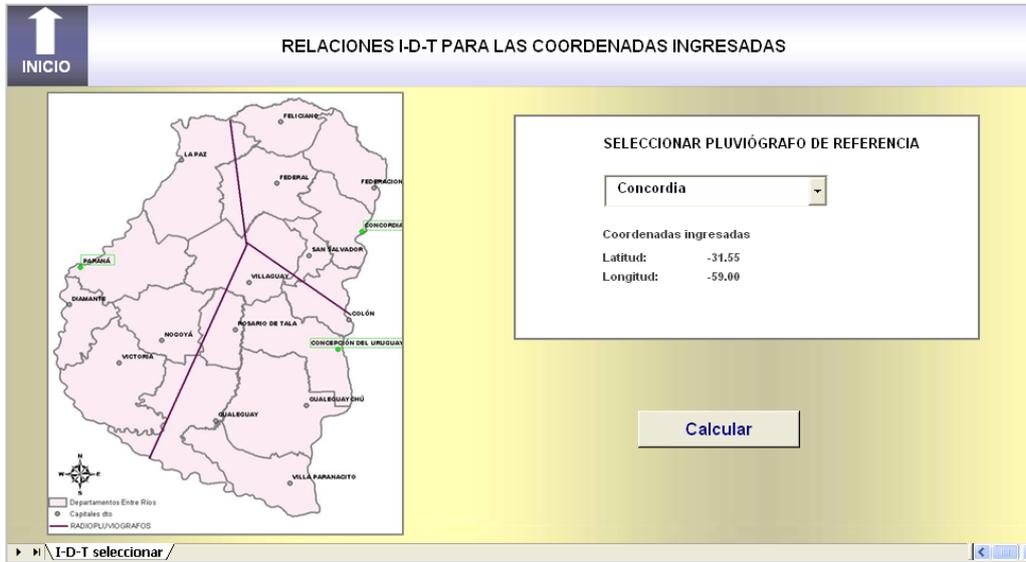


Figura 7.6.- Selección del pluviógrafo de referencia

A través del comando Calcular de la hoja I-D-T seleccionar se accede a la hoja idf, que resume las intensidades de precipitación i (mm/h) para las coordenadas ingresadas a partir de la metodología que se presenta en el Capítulo 5 y representa las relaciones a través de dos gráficos: el primero indica las curvas I-D-T para duraciones menores a 2 horas y el segundo para duraciones comprendidas entre 2 y 24 horas, según se indica en la Figura 7.7. a y b.

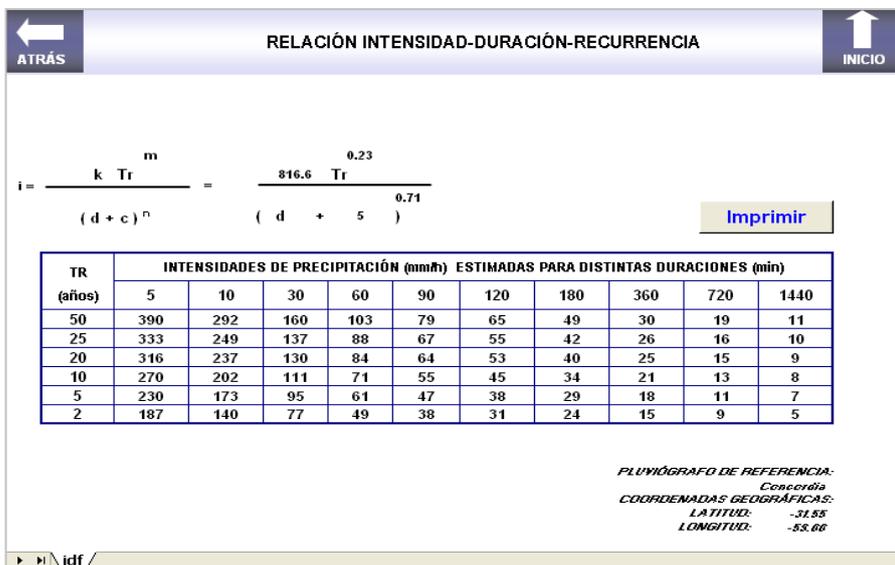


Figura 7.7.a.- Relaciones I-D-T para las coordenadas ingresadas

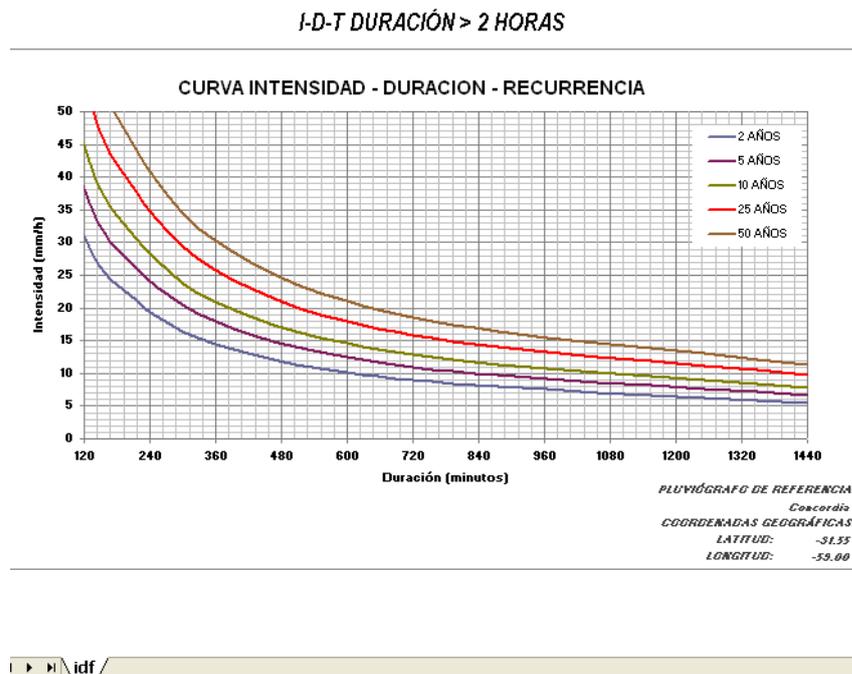
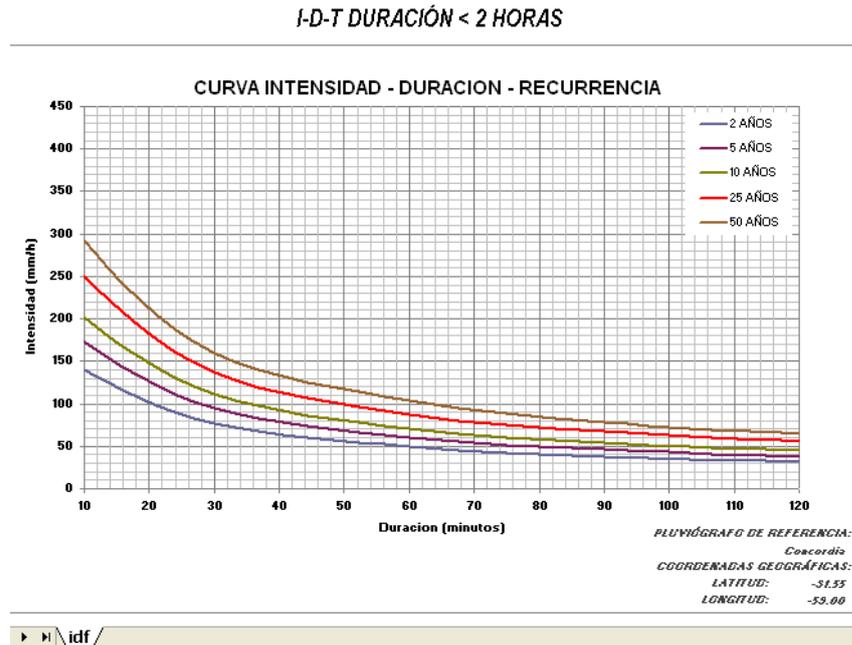


Figura 7.7.b.- Curvas I-D-T para las coordenadas ingresadas

7.4.- Hietograma de Diseño

La opción HIETOGRAMA DE DISEÑO de la Hoja Inicio conduce al cálculo del patrón de distribución temporal de la tormenta y la evolución de lámina acumulada para distintos intervalos de tiempo.

Como se indica en la Figura 7.8, deben ingresarse la DURACIÓN de la tormenta (en minutos), y la RECURRENCIA DE DISEÑO (en años), a partir de los cuales se generan los patrones de distribución temporal utilizando las dos metodologías que se describen en el Capítulo 4: Método de Pilgrim y Método de los Bloques Alternos.

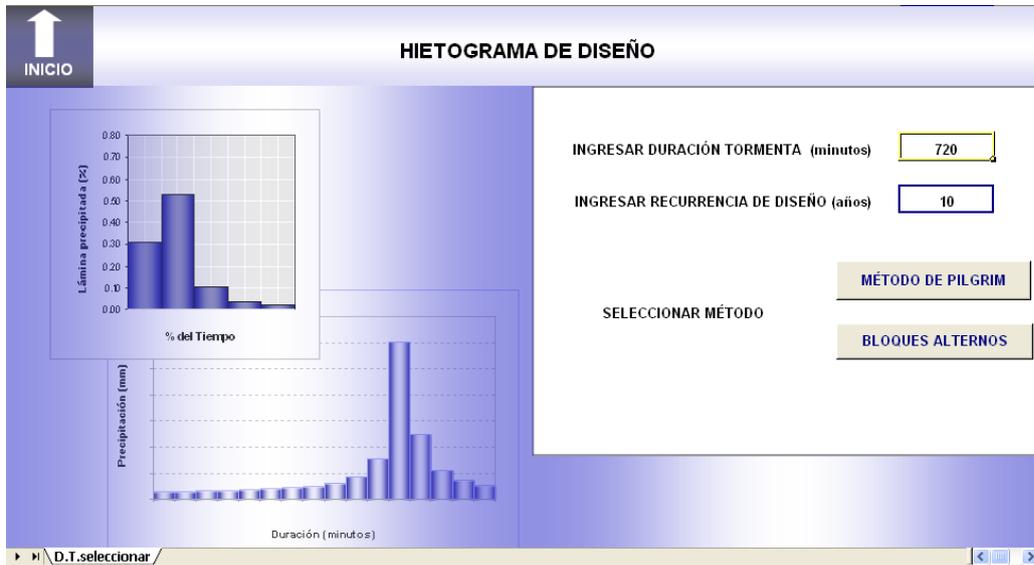
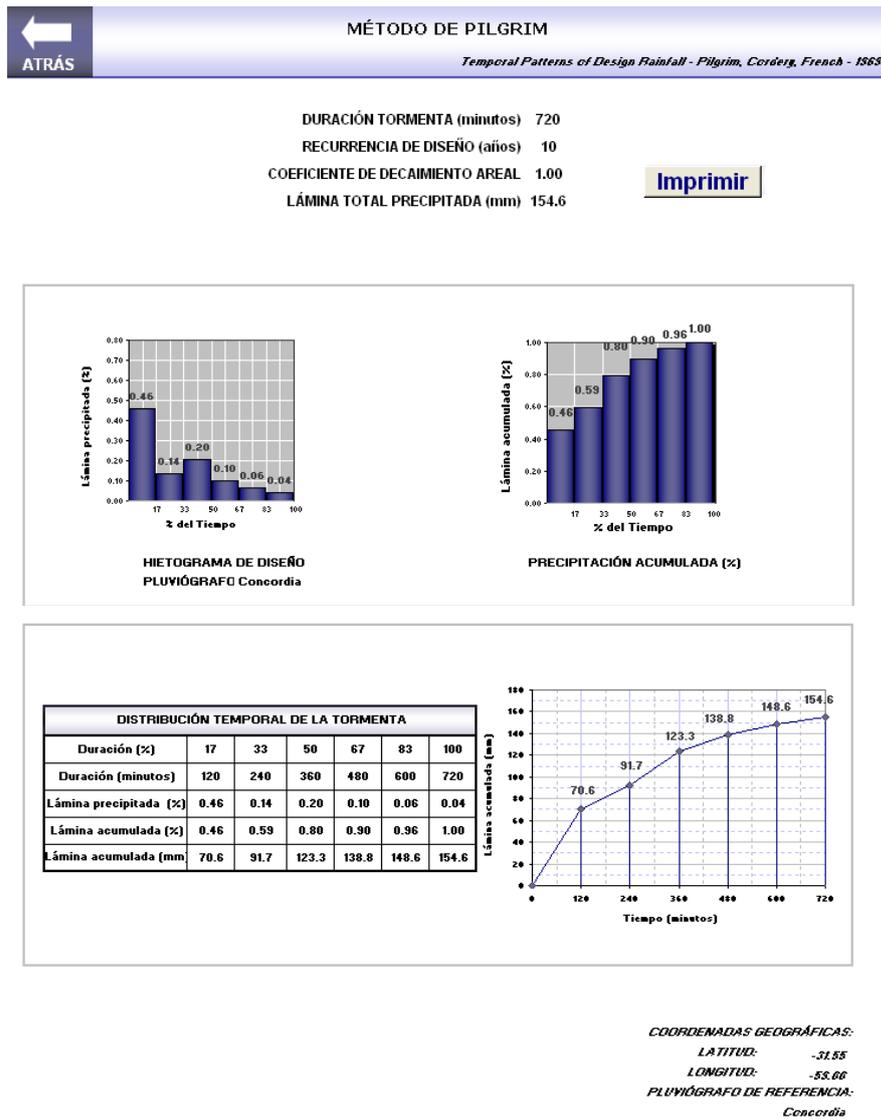


Figura 7.8.- Distribución temporal de la tormenta - Selección de la duración y recurrencia de diseño

Como se representa en la Figura 7.9, el hietograma generado con el Método de Pilgrim representa el patrón de distribución correspondiente al pluviógrafo de referencia seleccionado, en este caso el de Concordia, que indica los valores de precipitación (como porcentaje de la precipitación total) correspondientes a distintos porcentajes de la duración total de la tormenta.

En base a los mismos se calcula la evolución en el tiempo de la precipitación acumulada (en porcentaje), la cual se expresa también como lámina precipitada acumulada (mm), y que se obtiene a partir de la relación I-D-T determinada para las coordenadas ingresadas.

El comando BLOQUES ALTERNOS de la hoja D.T.seleccionar conduce a la hoja Bloques Alternos selec, en la cual deben adoptarse las características principales del hietograma, es decir la amplitud del intervalo de tiempo asignado a cada bloque, y la posición del pico de máxima intensidad, según se indica en la Figura 7.10.



7.5.- Decaimiento areal

El comando DECAIMIENTO AREAL conduce a la Hoja D.areal, que se indica en la Figura 7.11, en la cual debe ingresarse el área de la cuenca hidrográfica.

A partir de este dato de entrada, los hietogramas de diseño se calculan en base a la precipitación media sobre la cuenca de área A_c e incorporan al diseño el factor de reducción areal, de acuerdo a los criterios expuestos en 3.6.

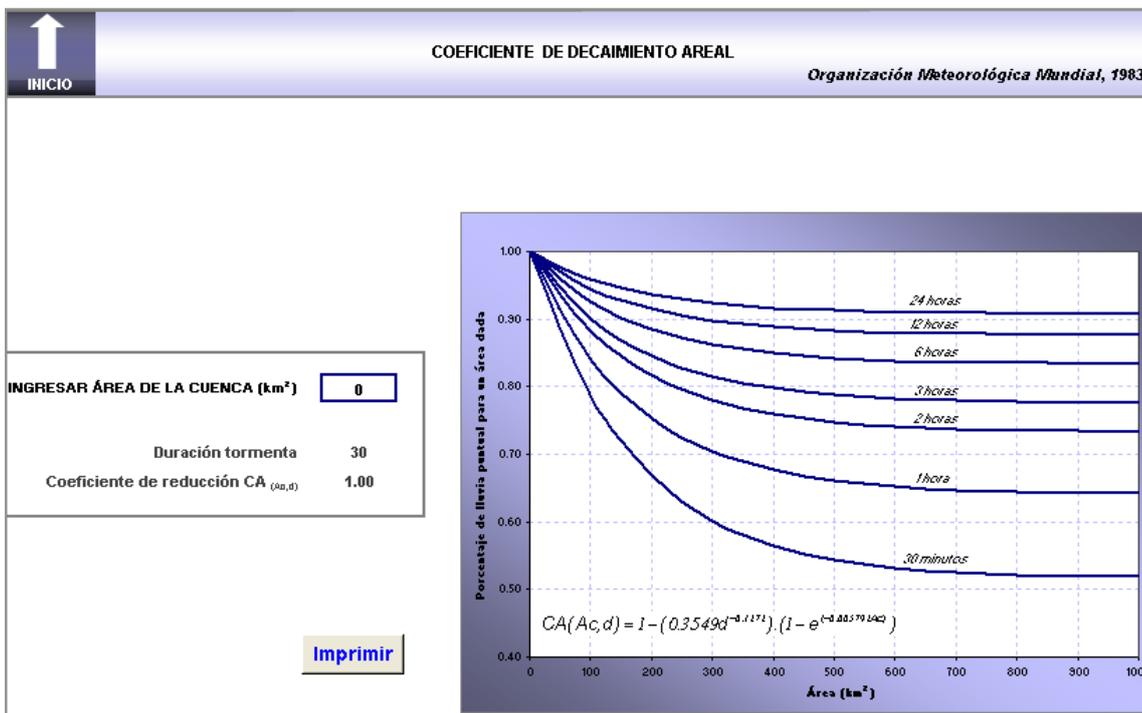


Figura 7.11.- Coeficiente de Decaimiento areal

7.6.- Referencias

- 7.1. **SALVARREDI, M.** - "Curso de programación en V.B.A.". Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concordia, 2008.
- 7.2. **WYATT, A., MILLER, K., SHINKEL, M.** - "Visual Basic3". Editorial Hispano Americana S.A., Argentina, 1996.



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

FACULTAD REGIONAL CONCORDIA

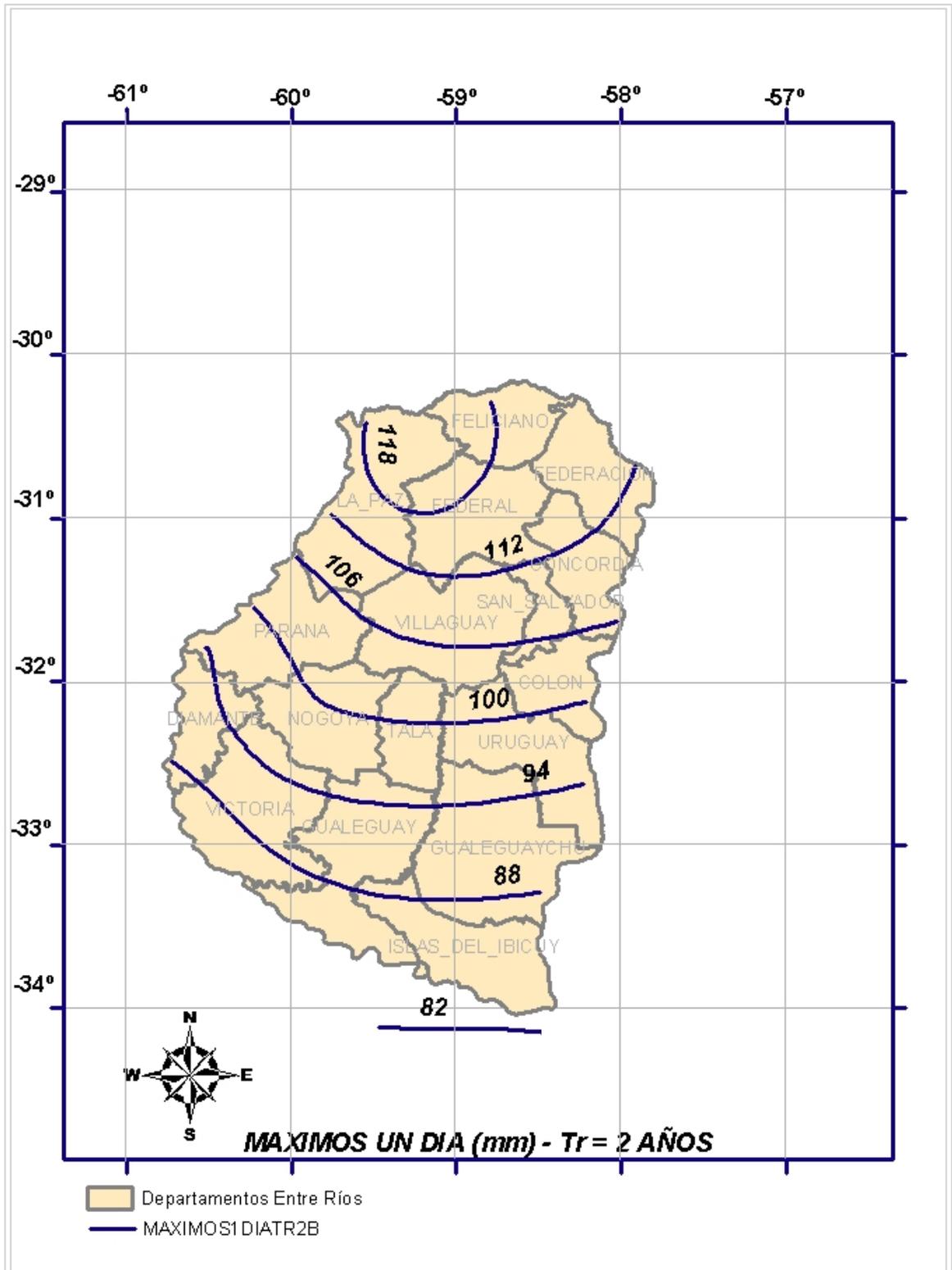
**TORMENTAS DE DISEÑO PARA
LA PROVINCIA DE ENTRE RÍOS**

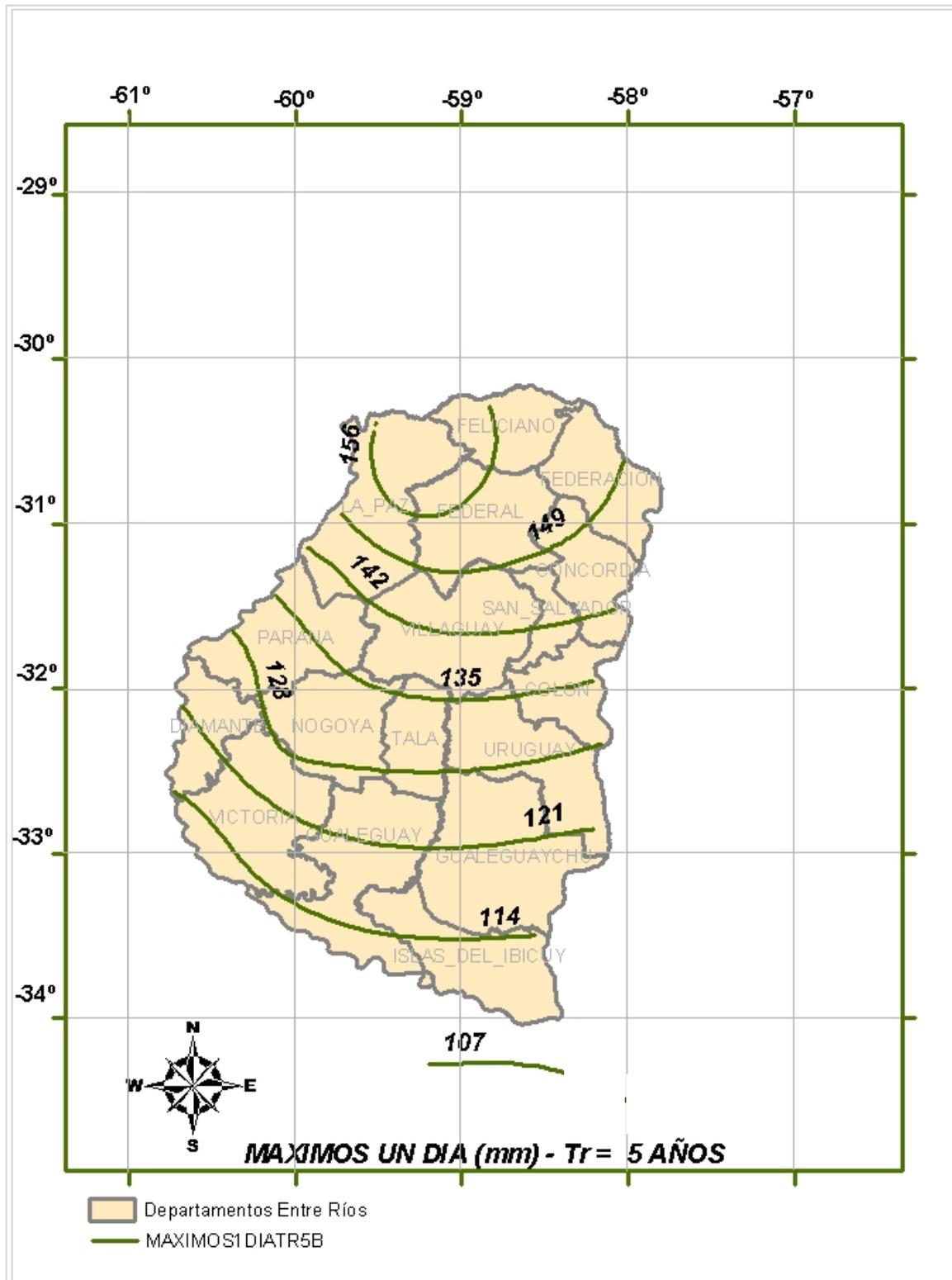
ANEXO 1

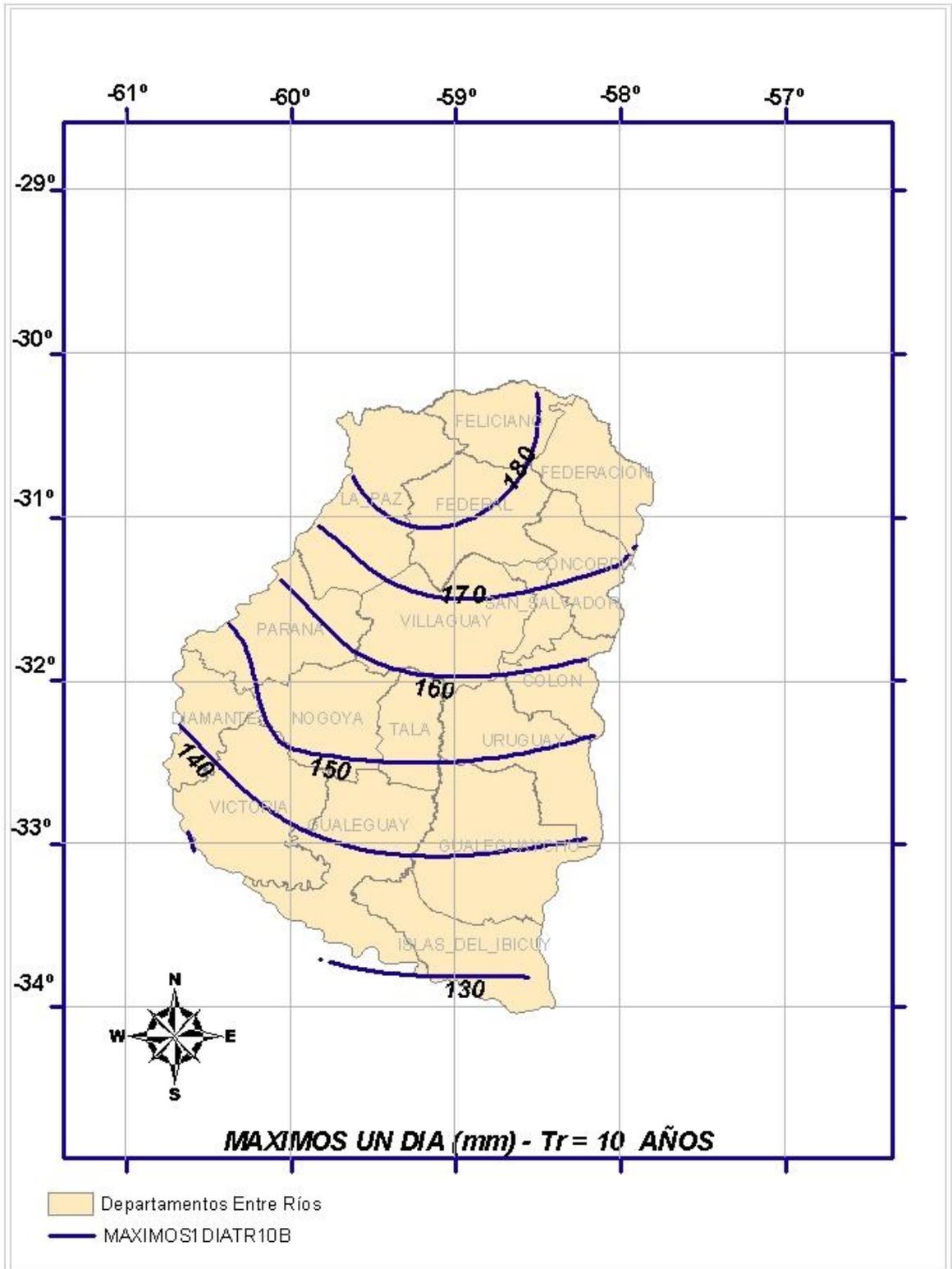
Mapas de Isohietas de precipitaciones máximas diarias

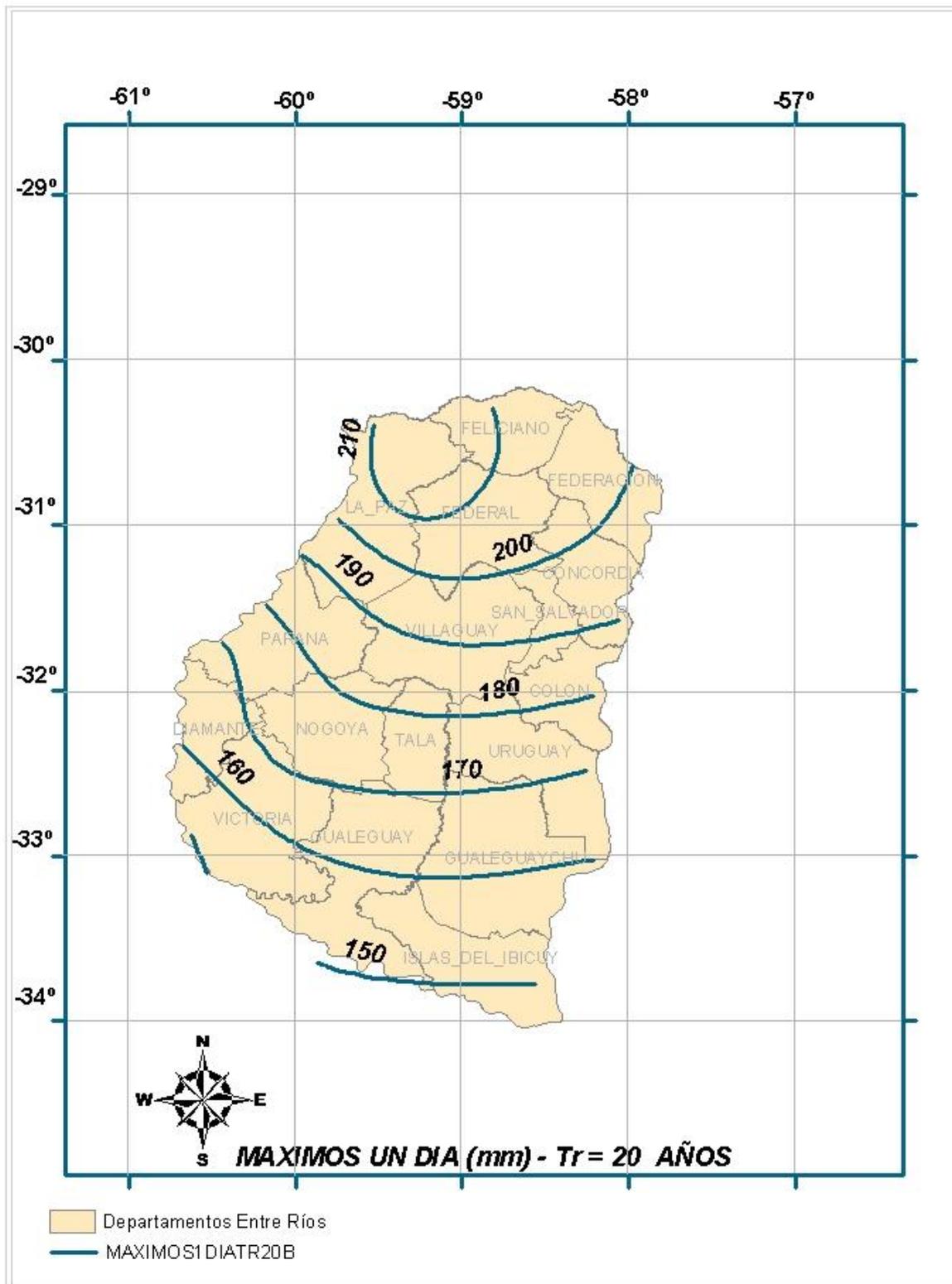
para tormentas de duración 1, 2, 3 y 4 días

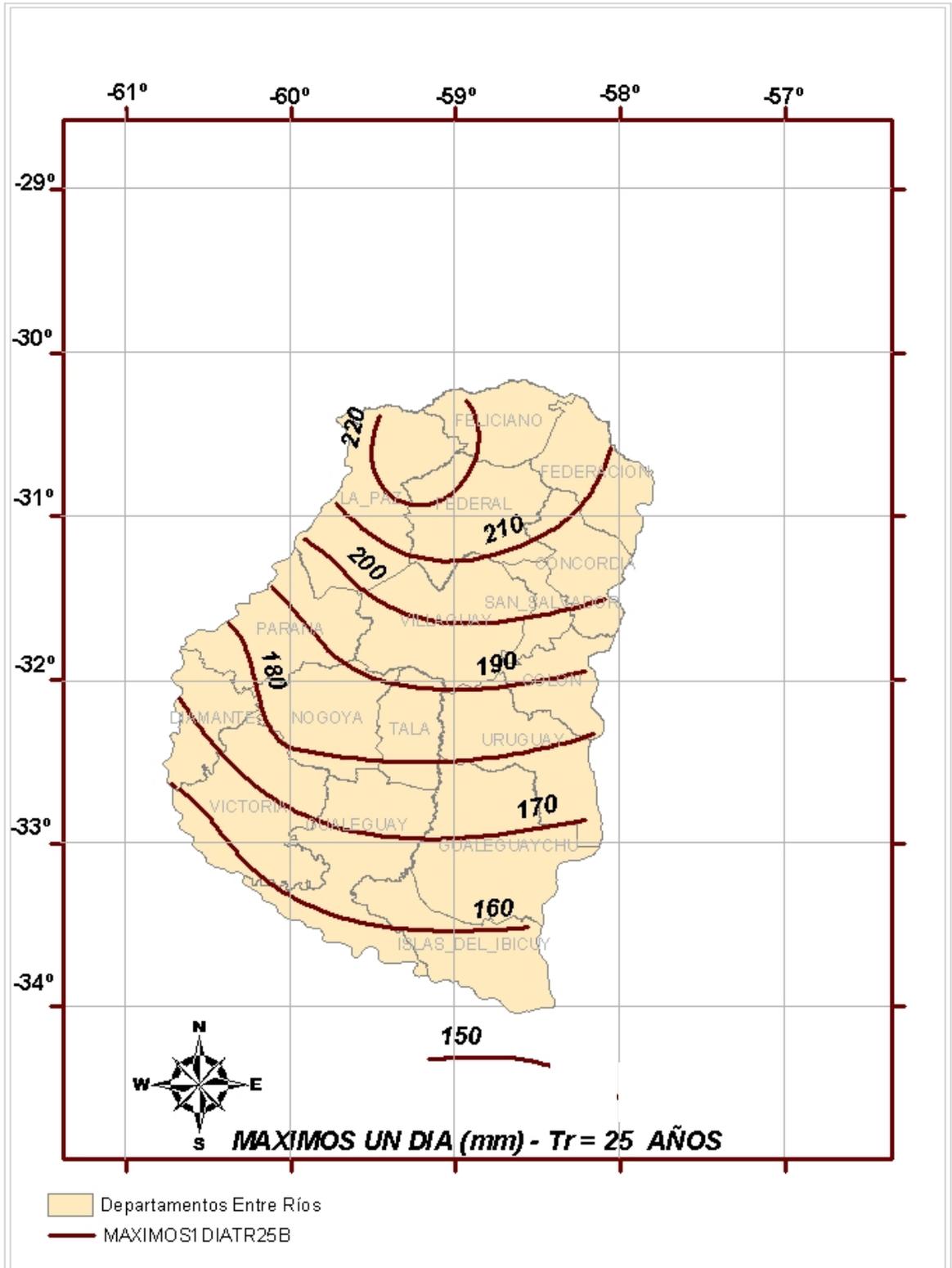
y Períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25 y 50 años

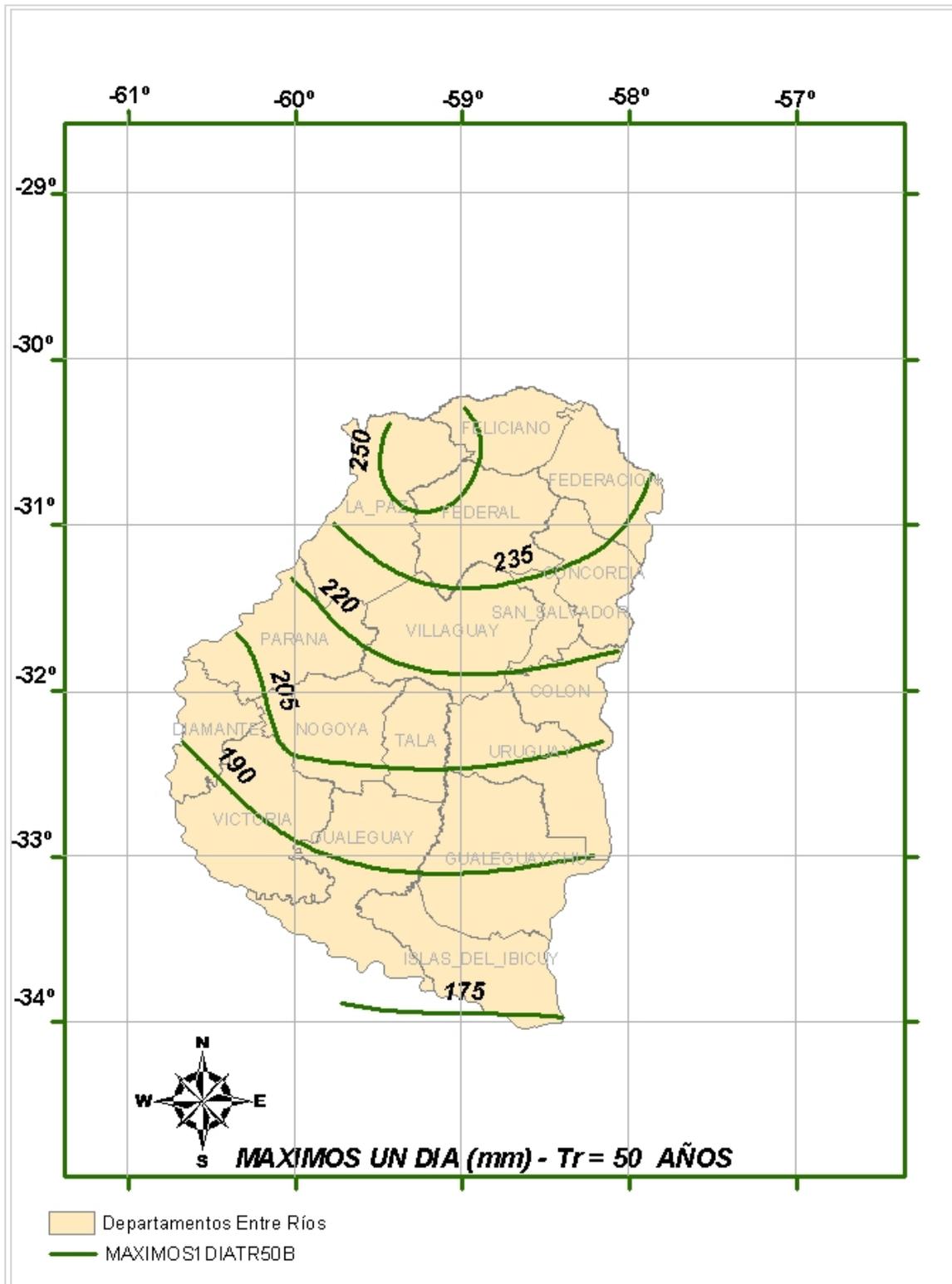


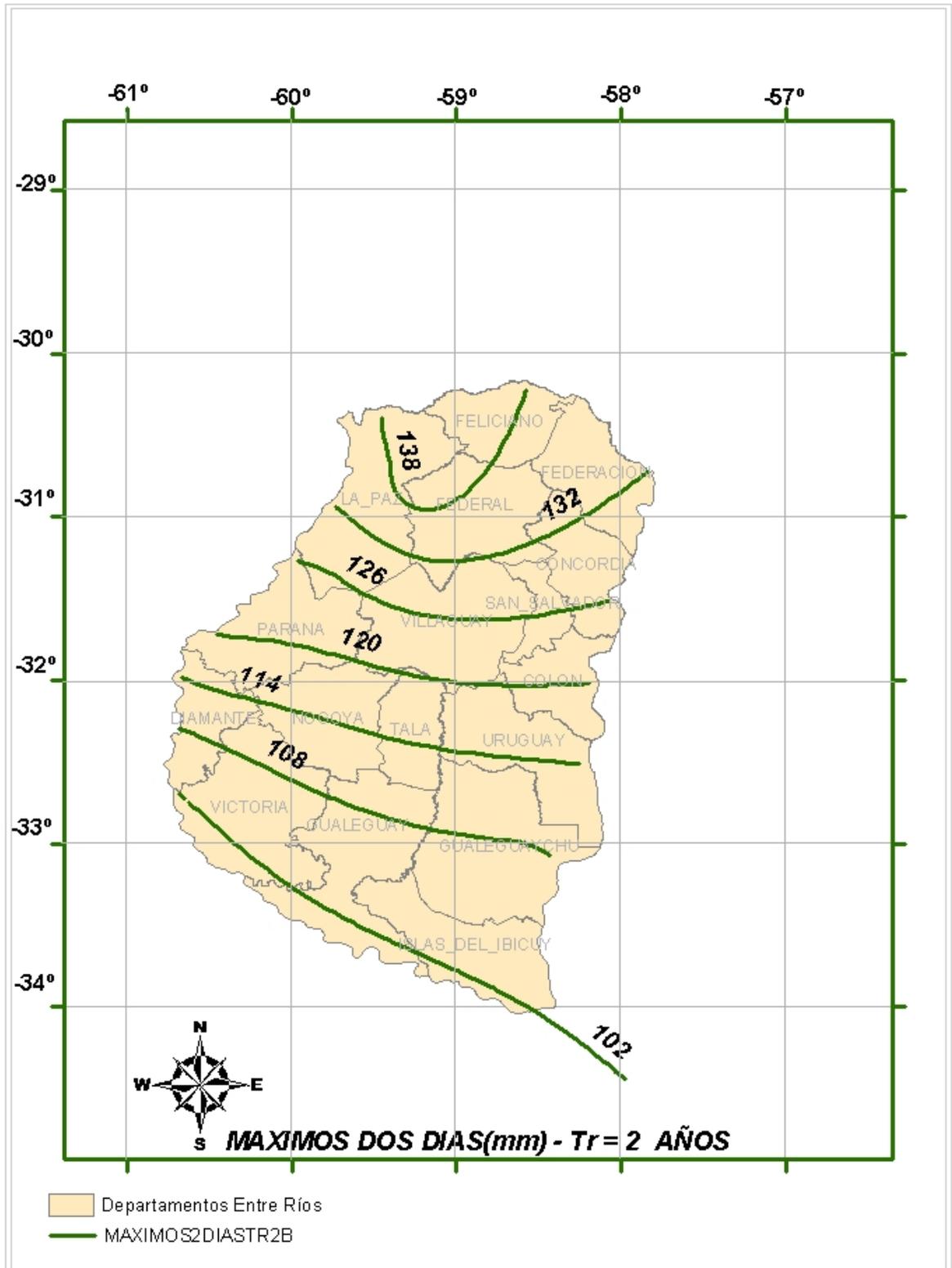


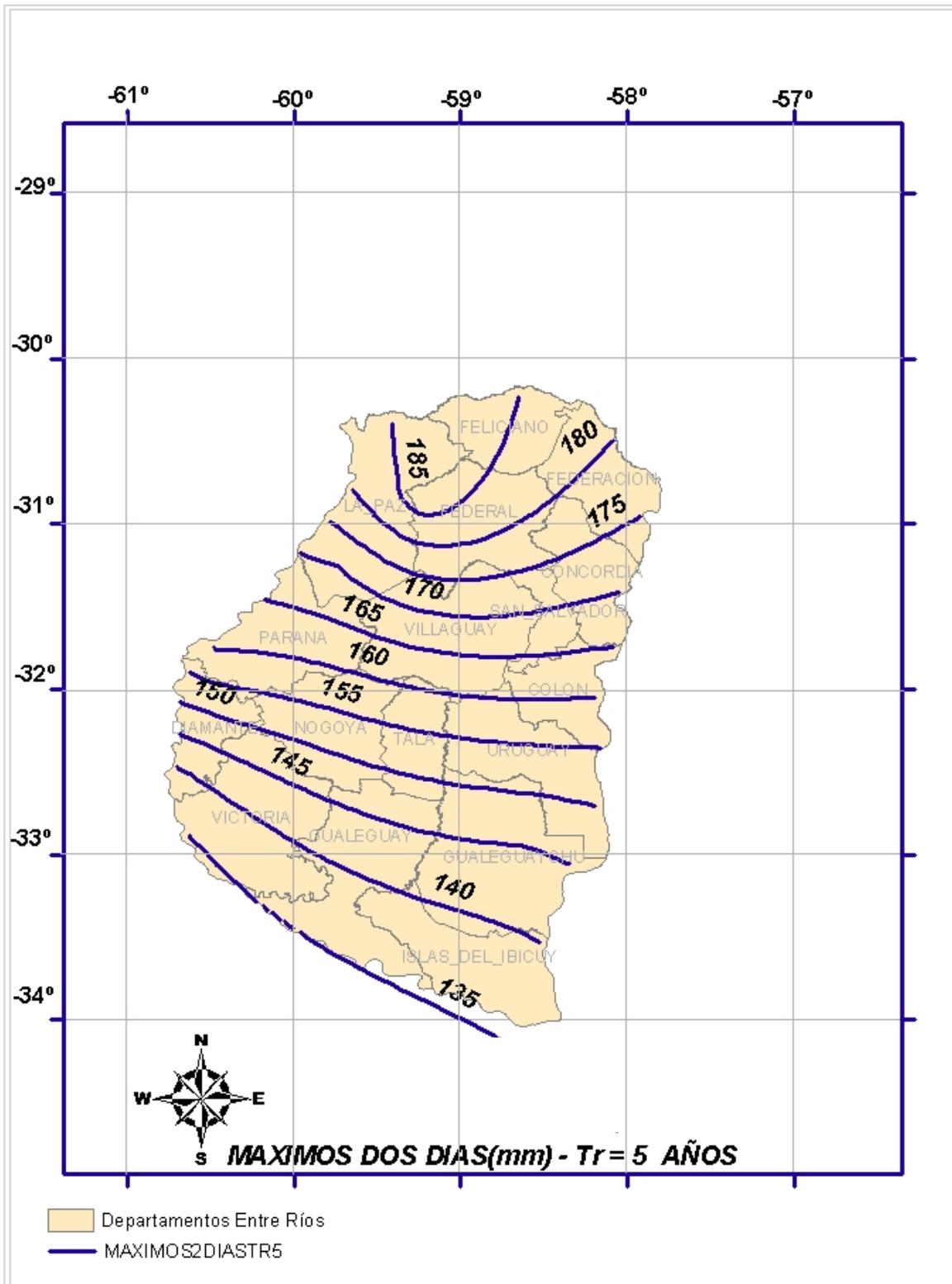


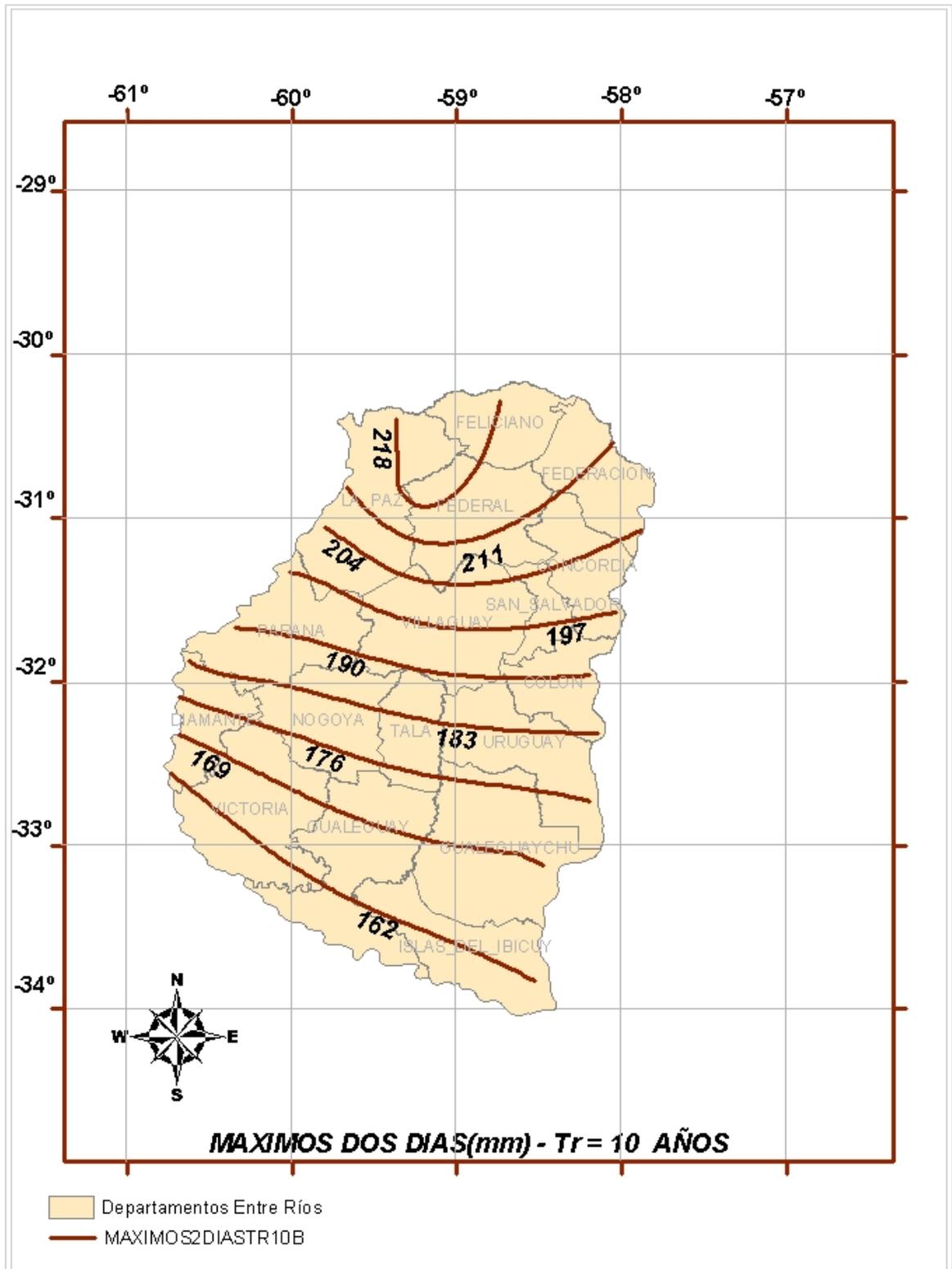


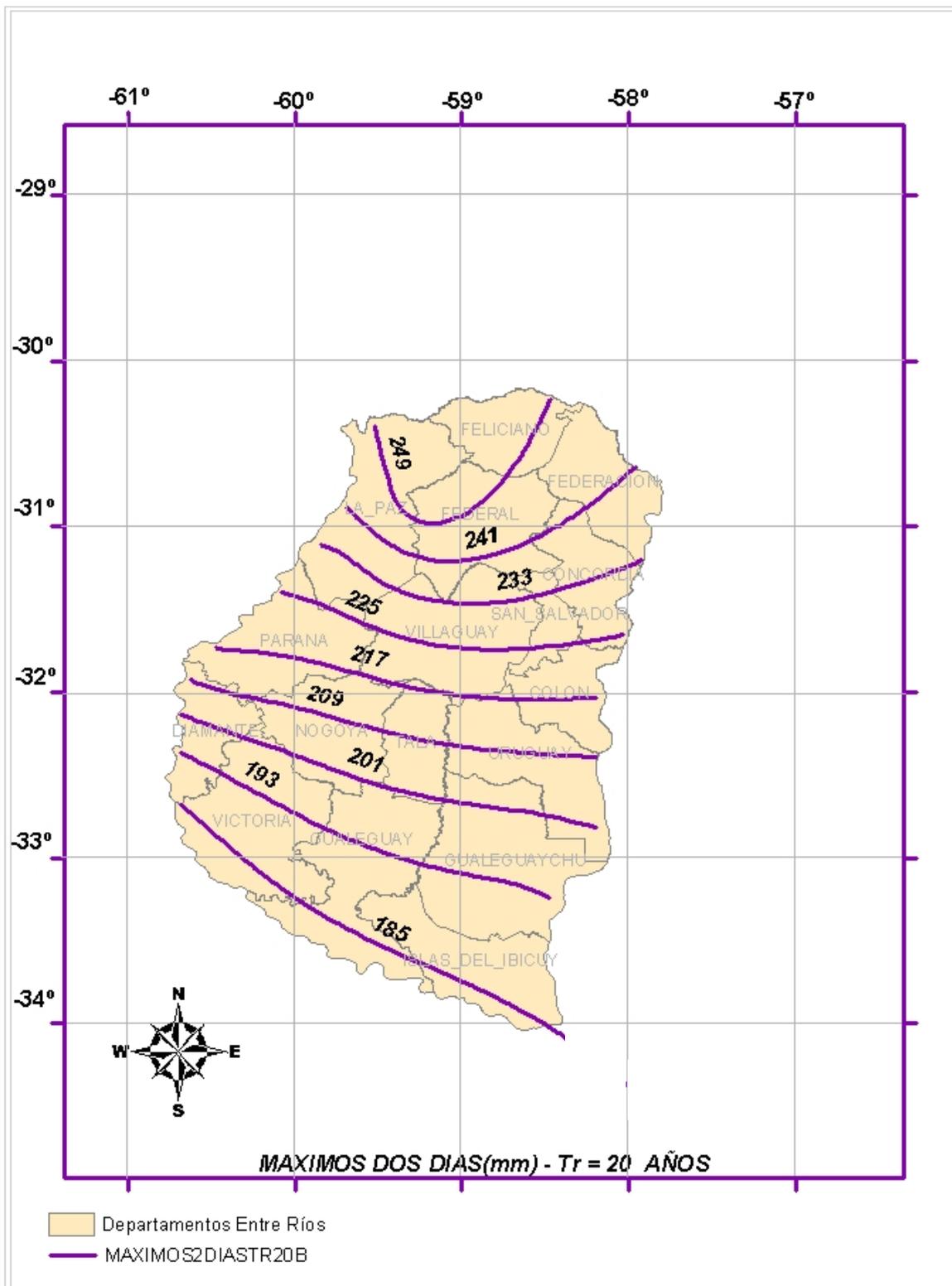


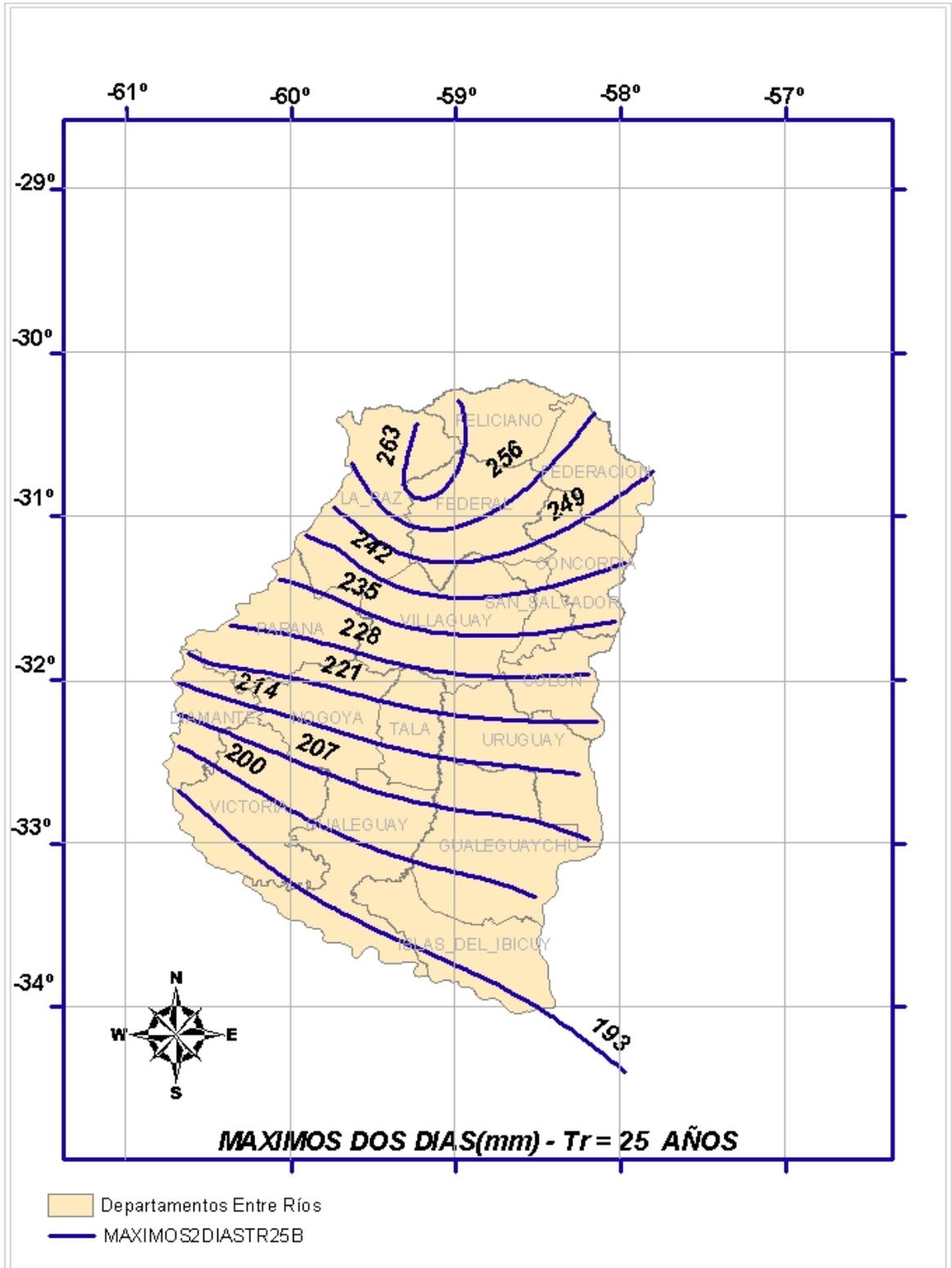


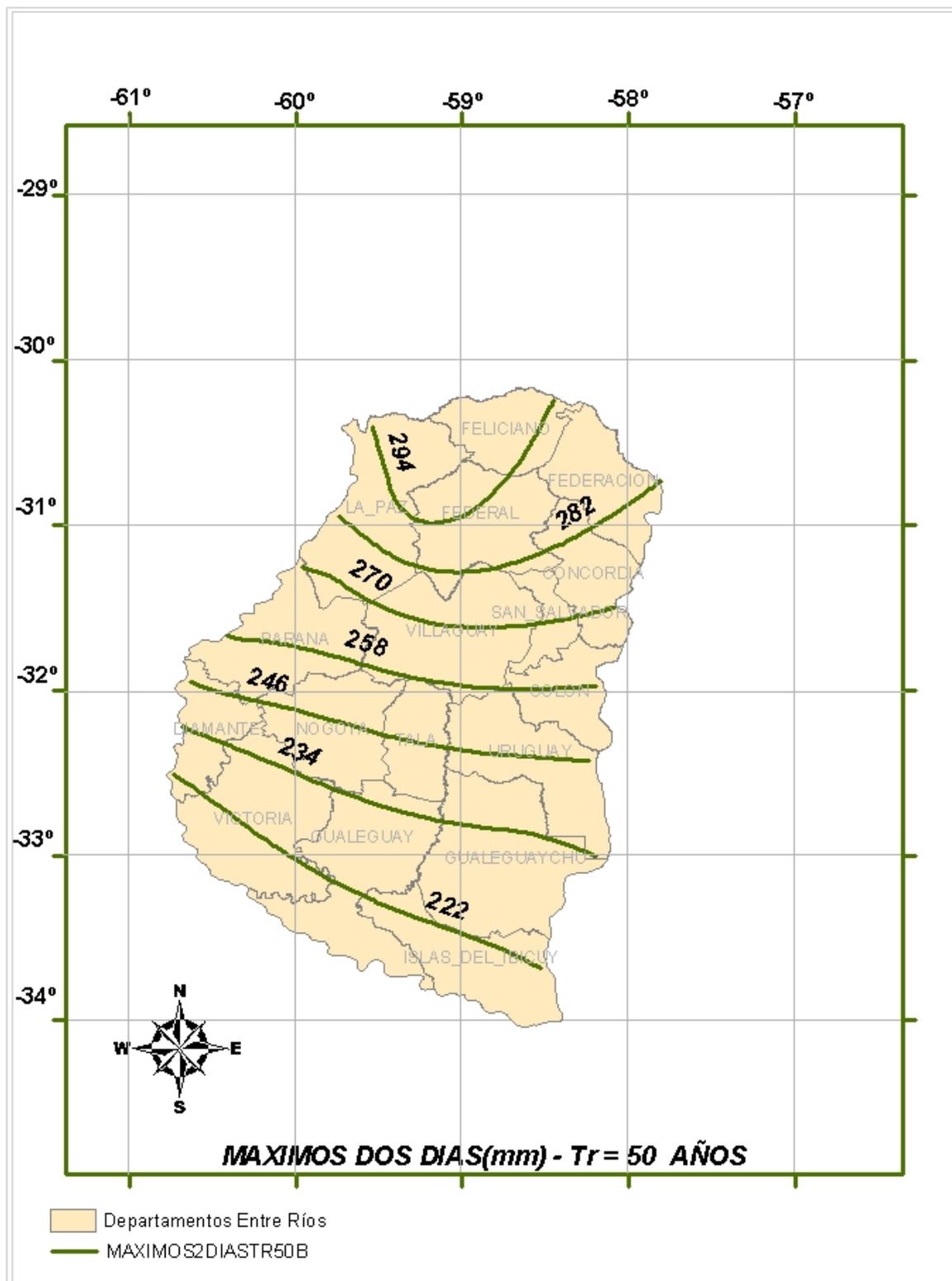


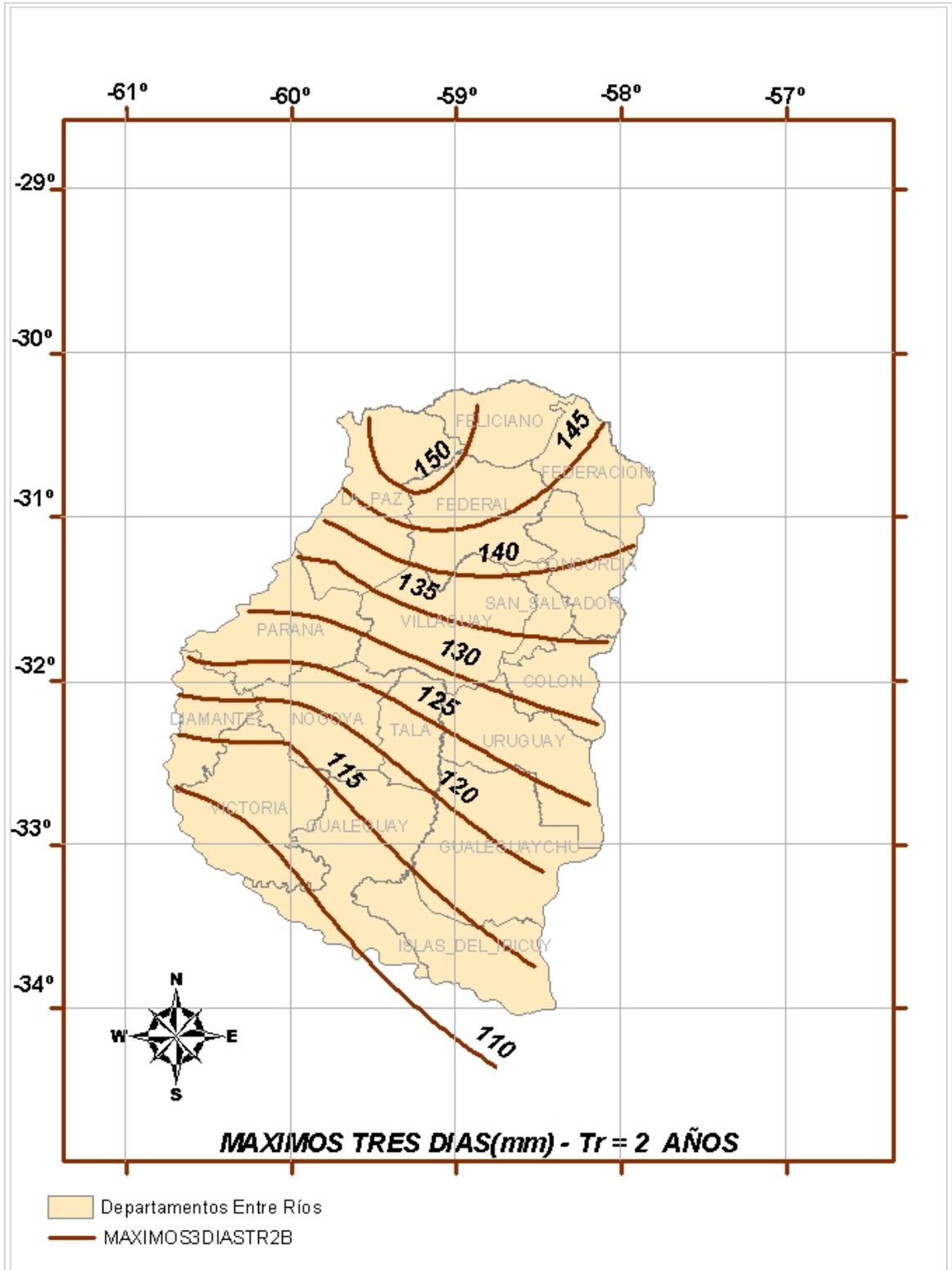


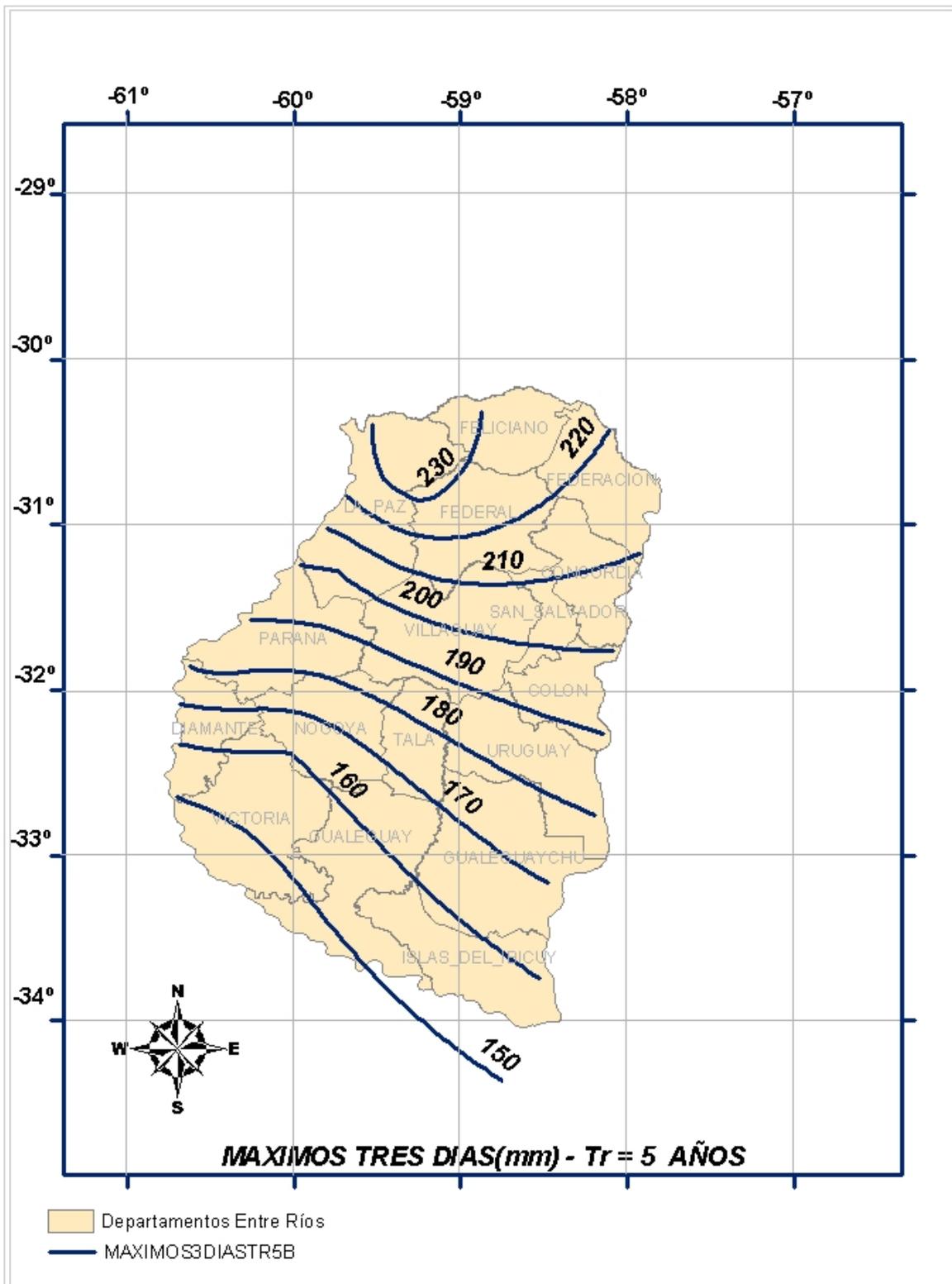


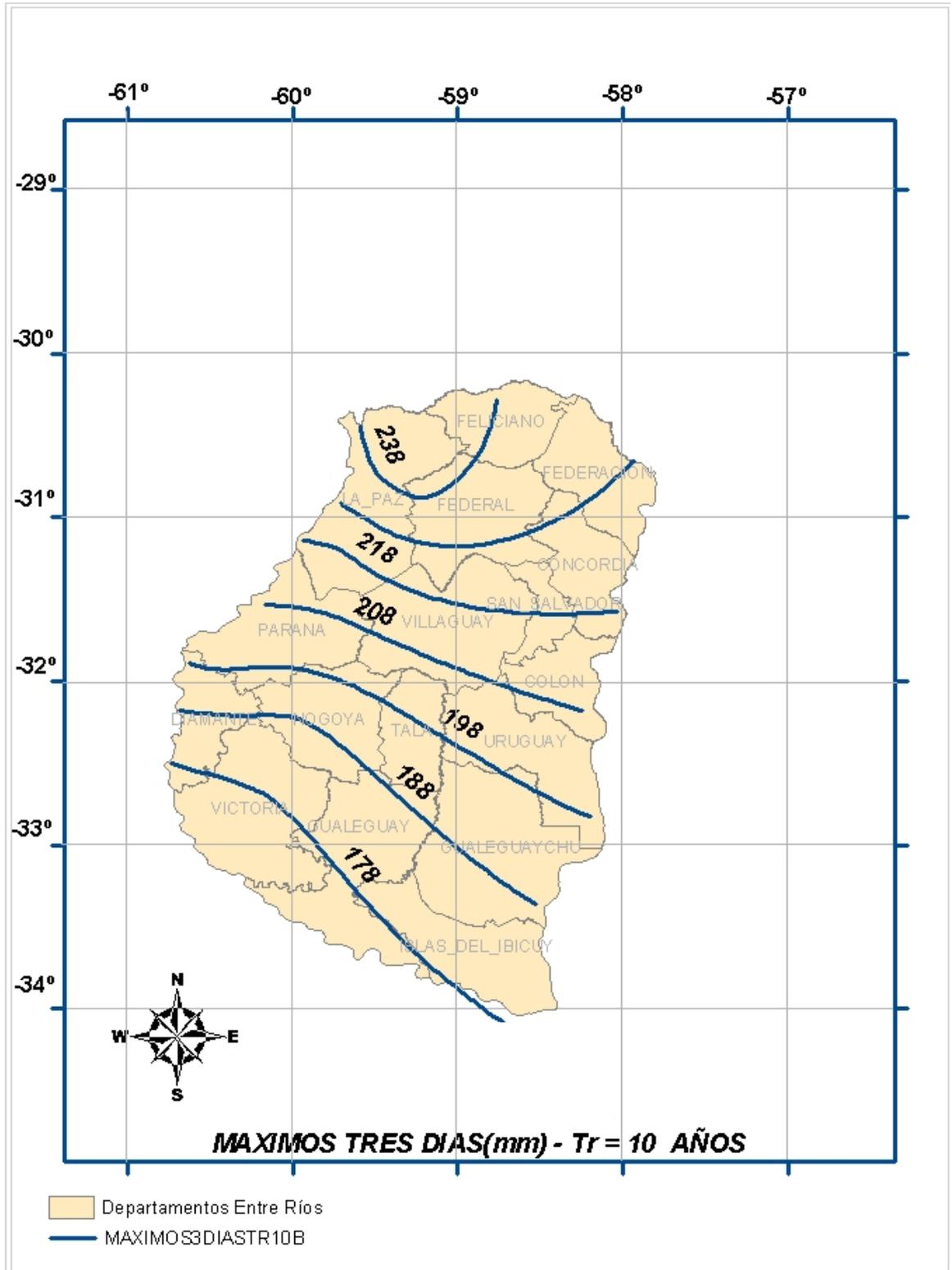


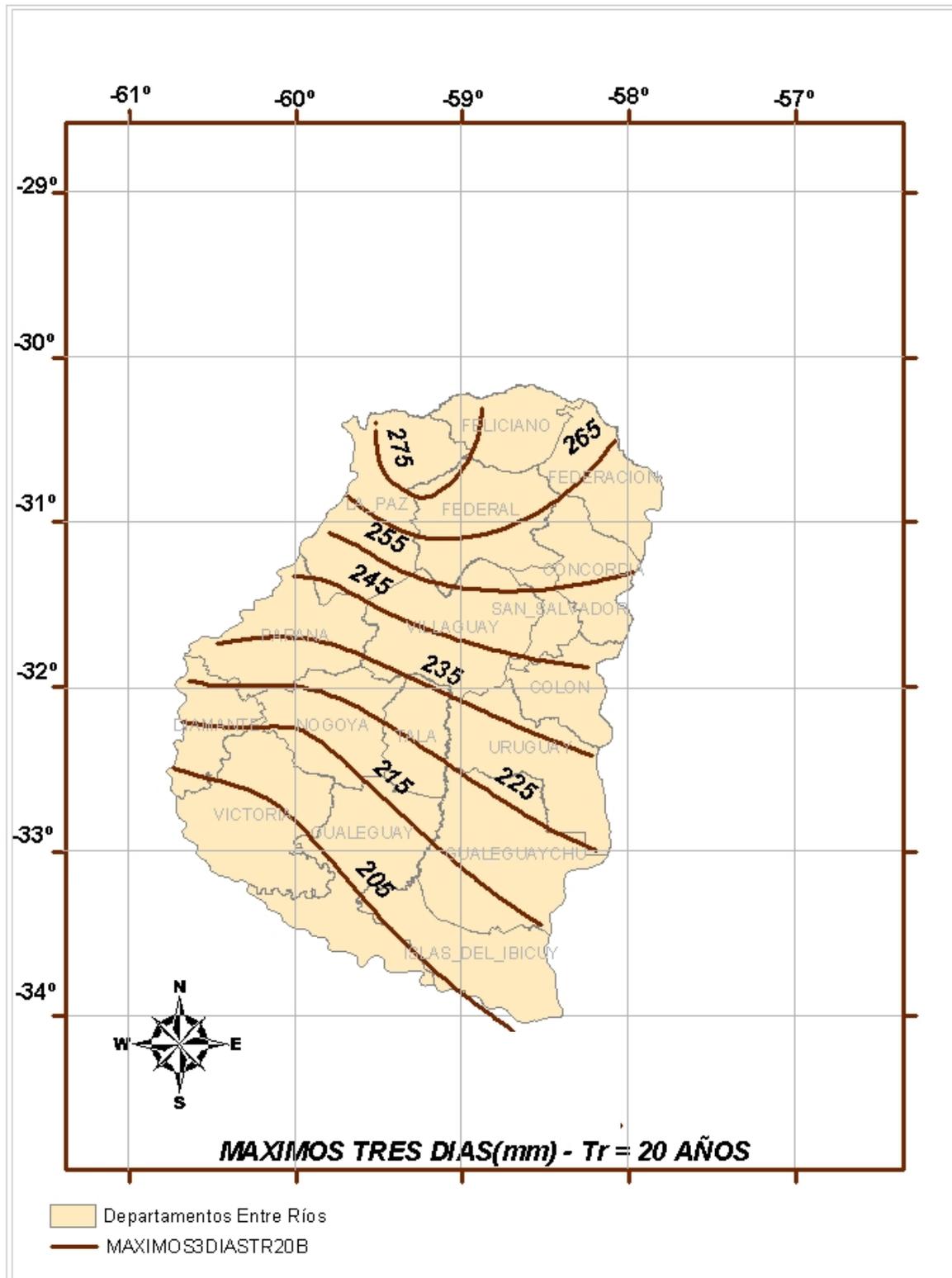


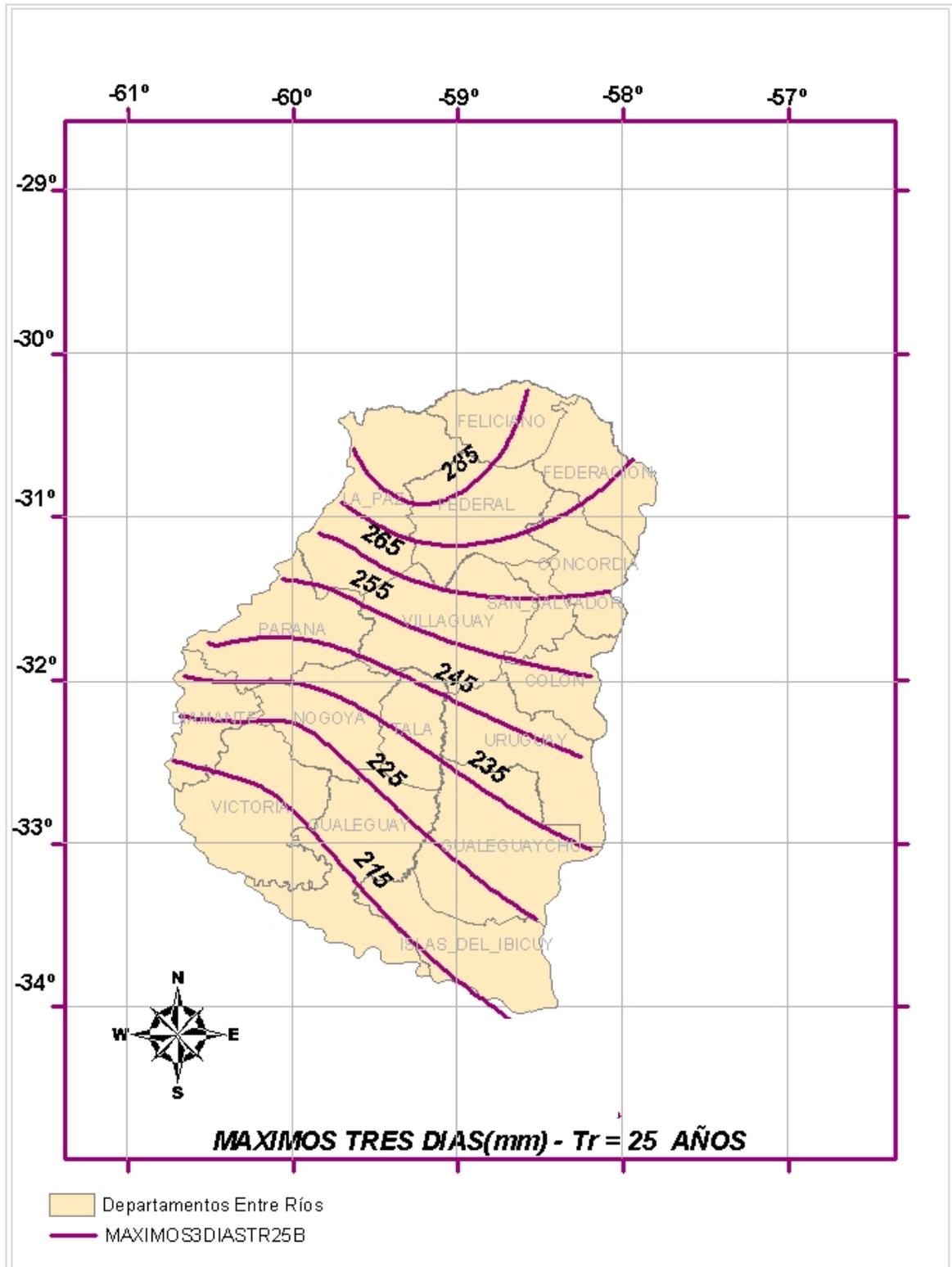


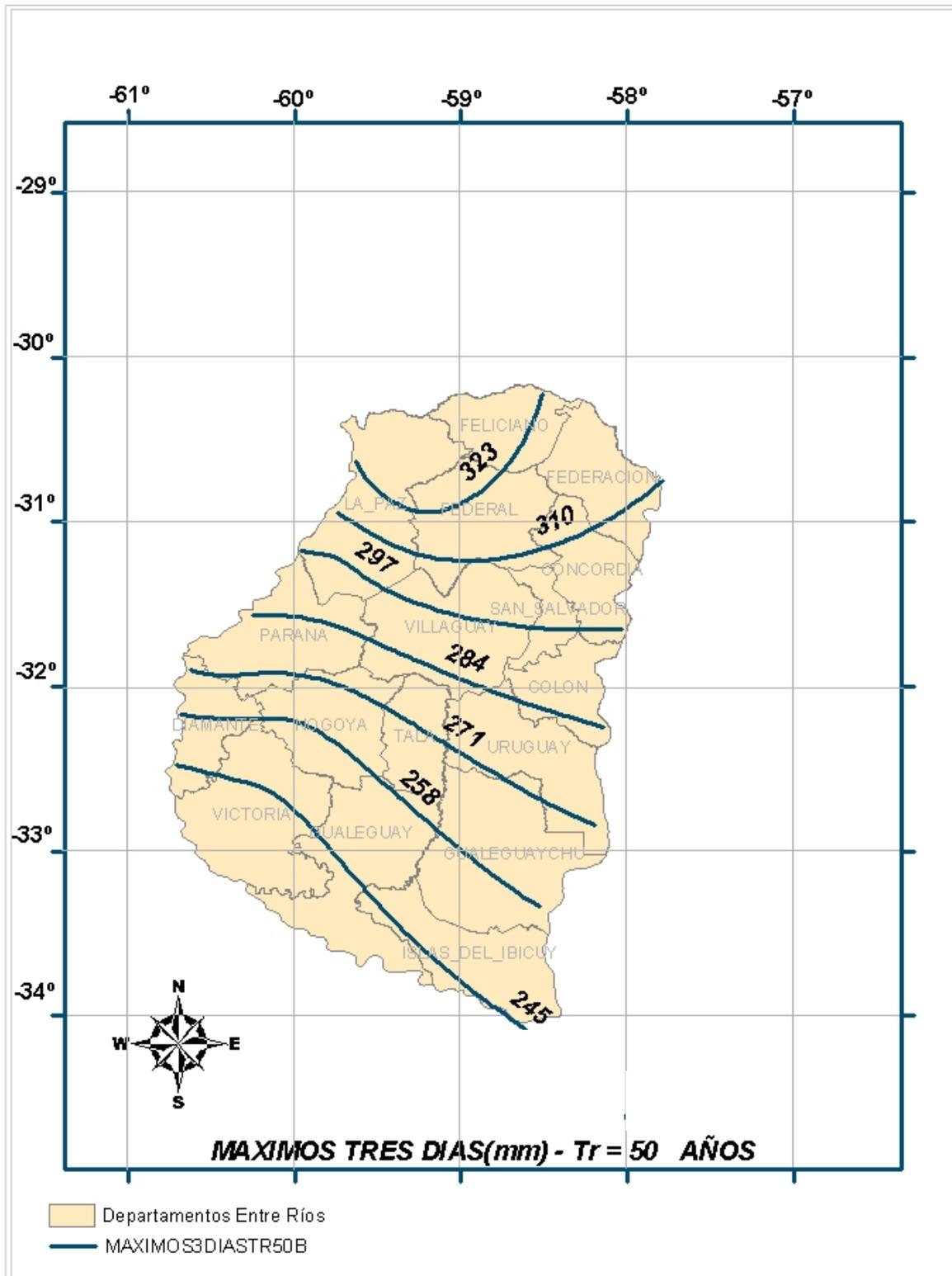


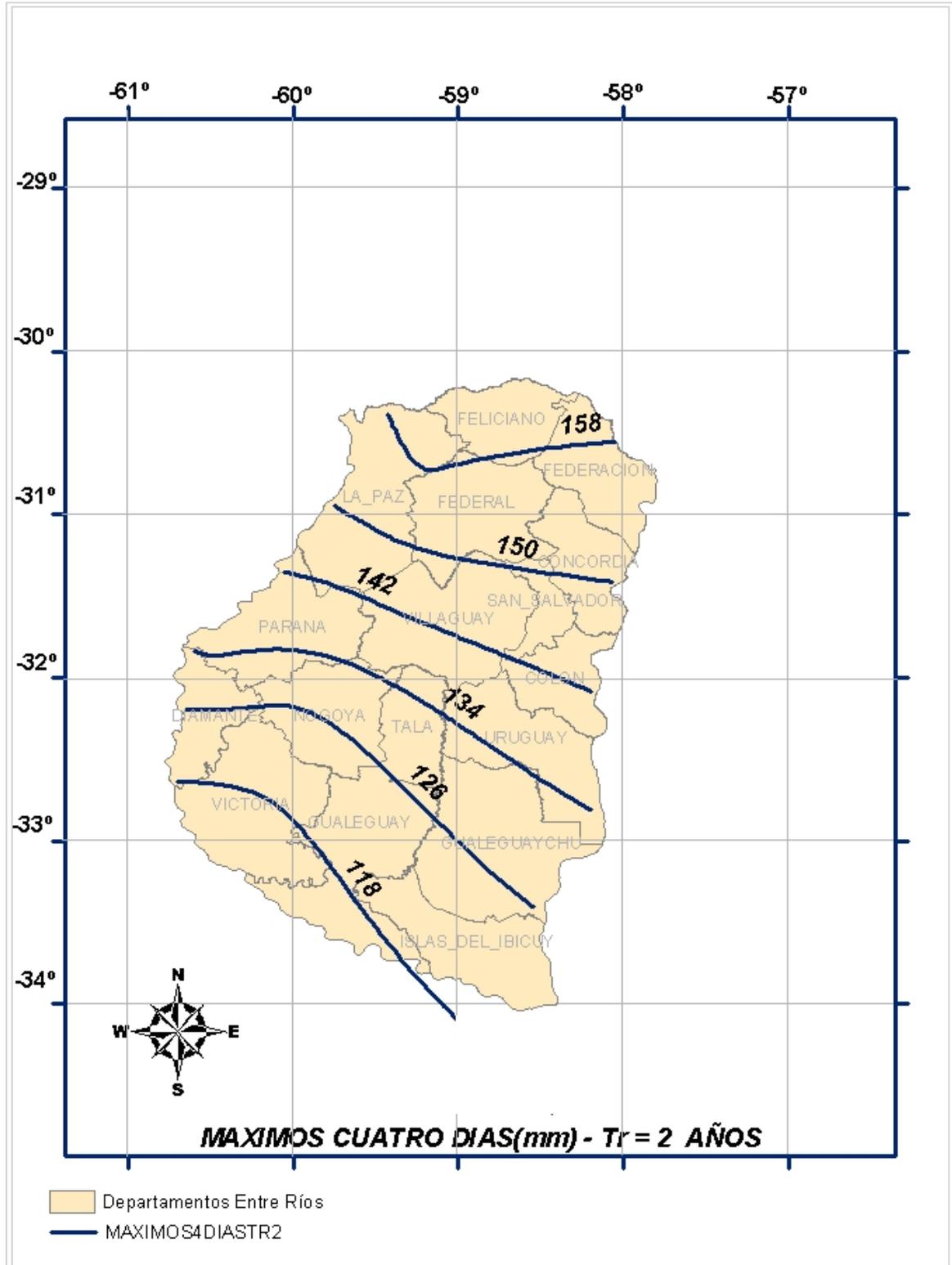


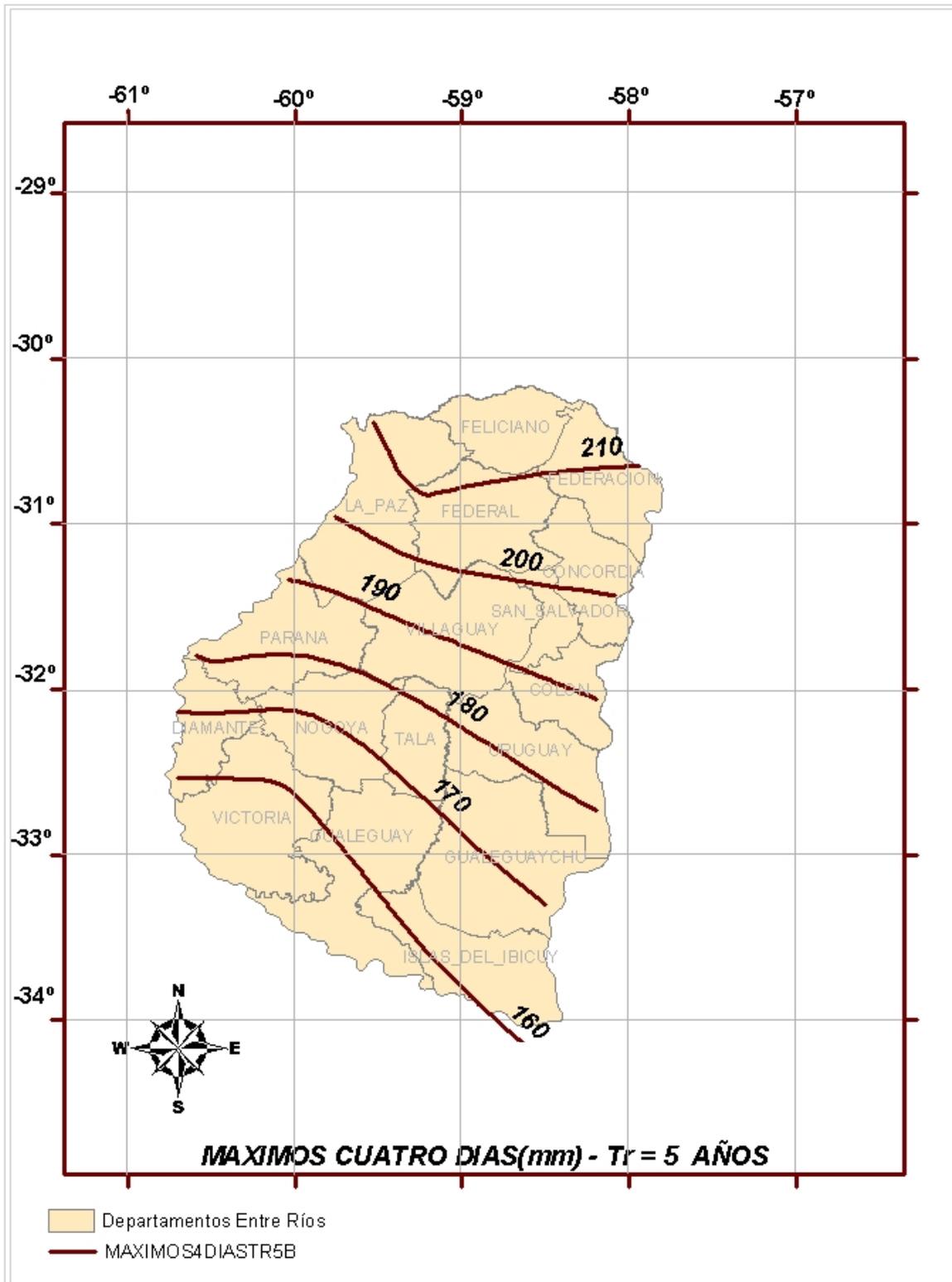


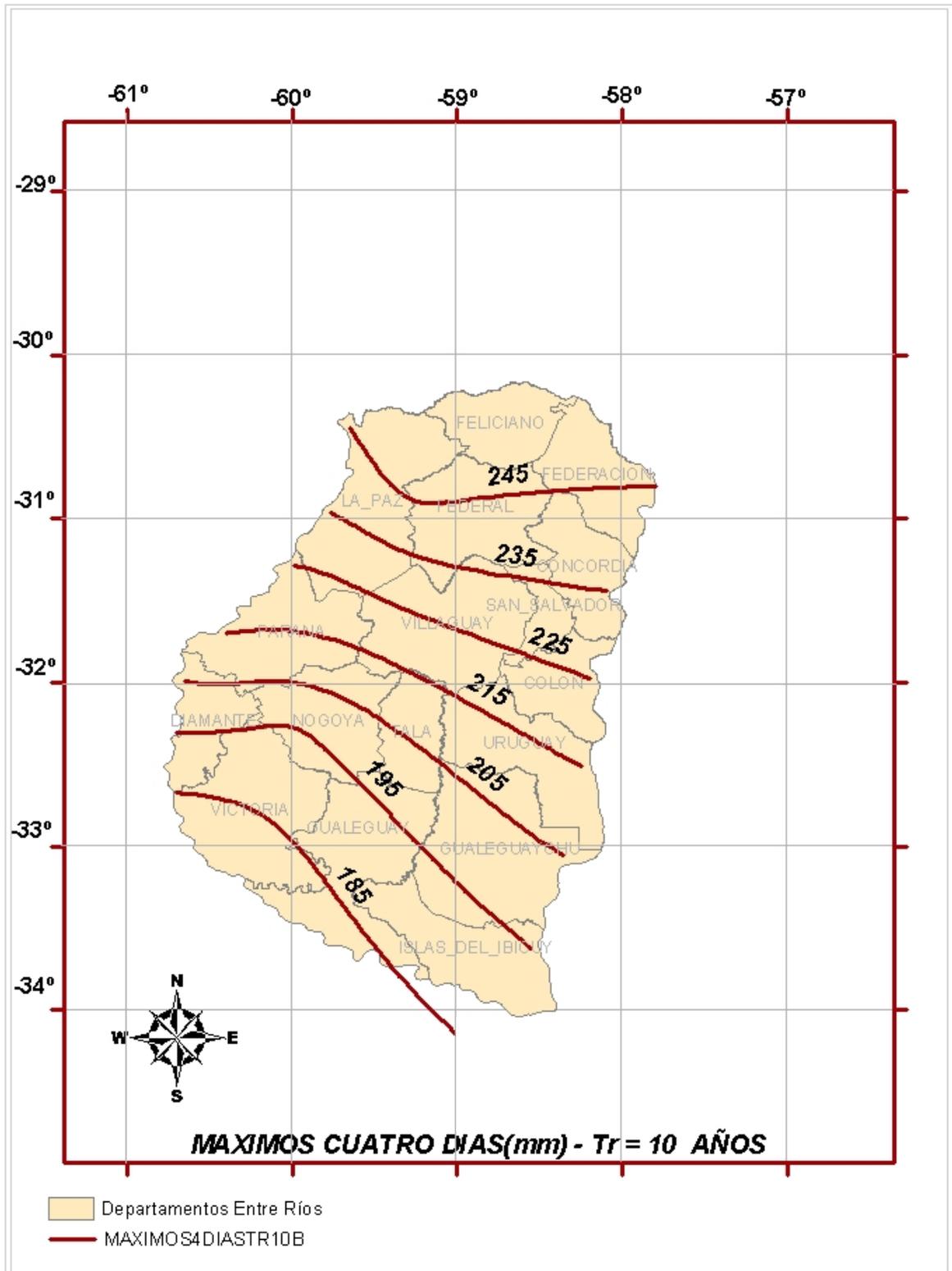


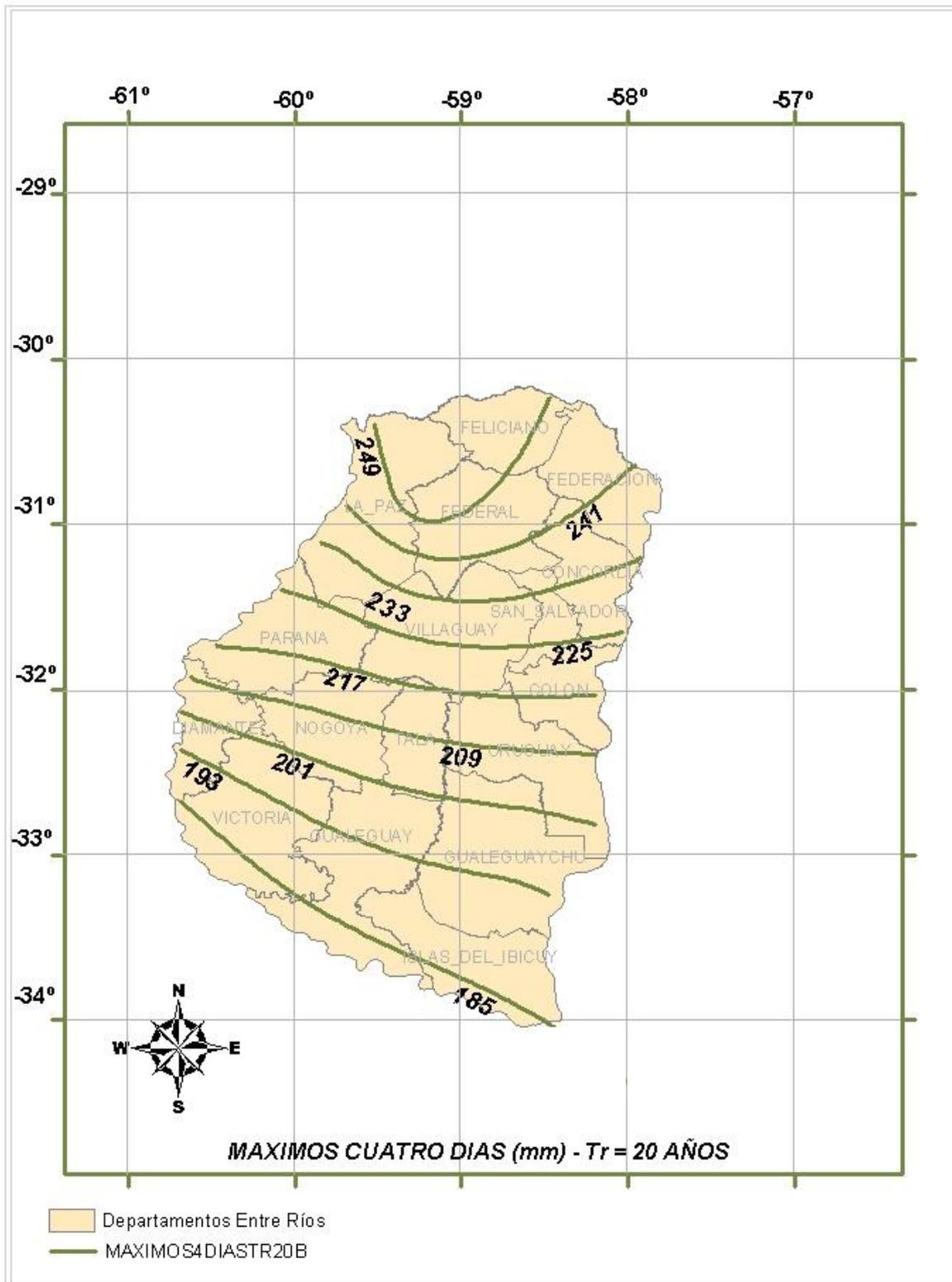


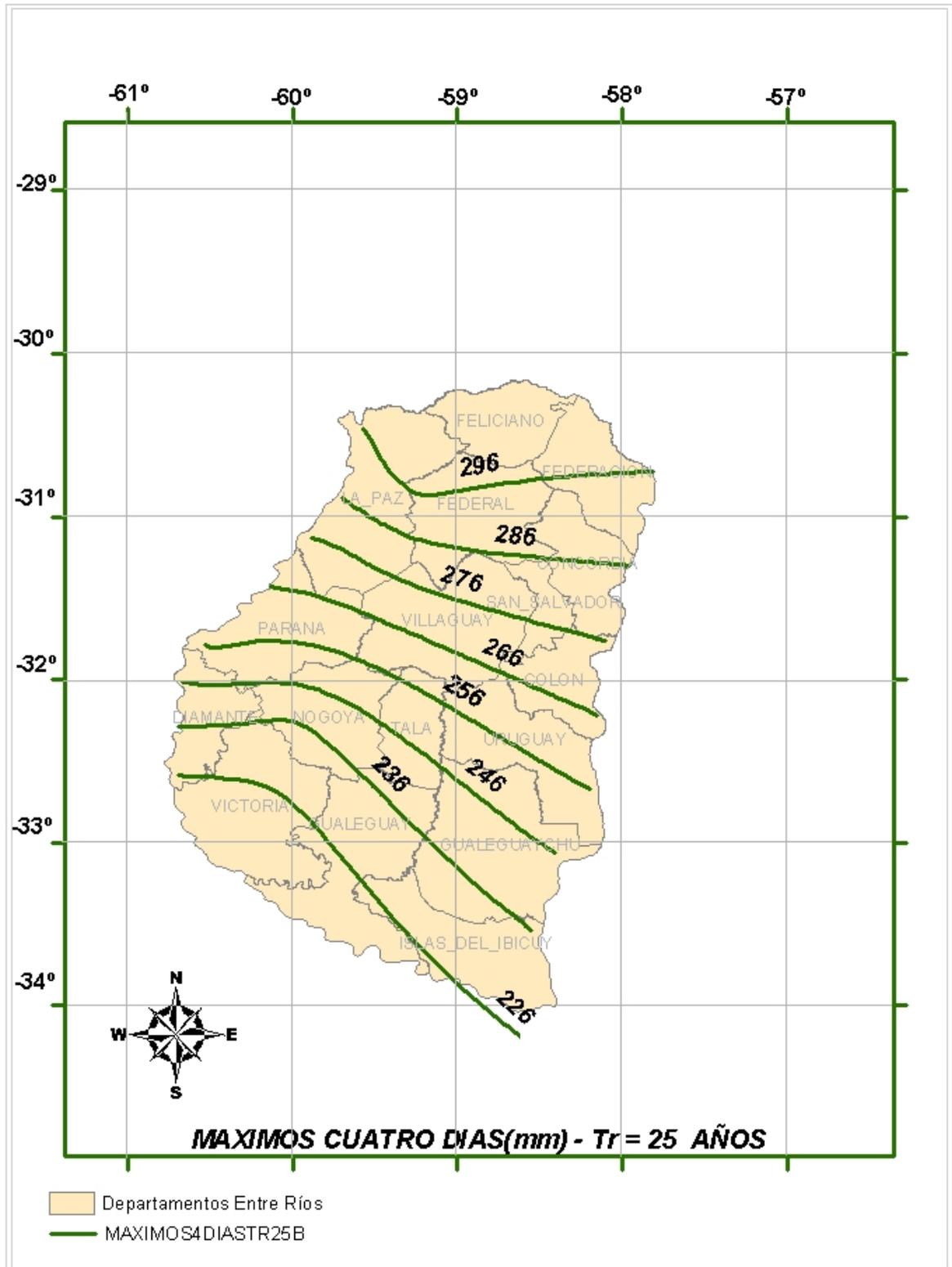


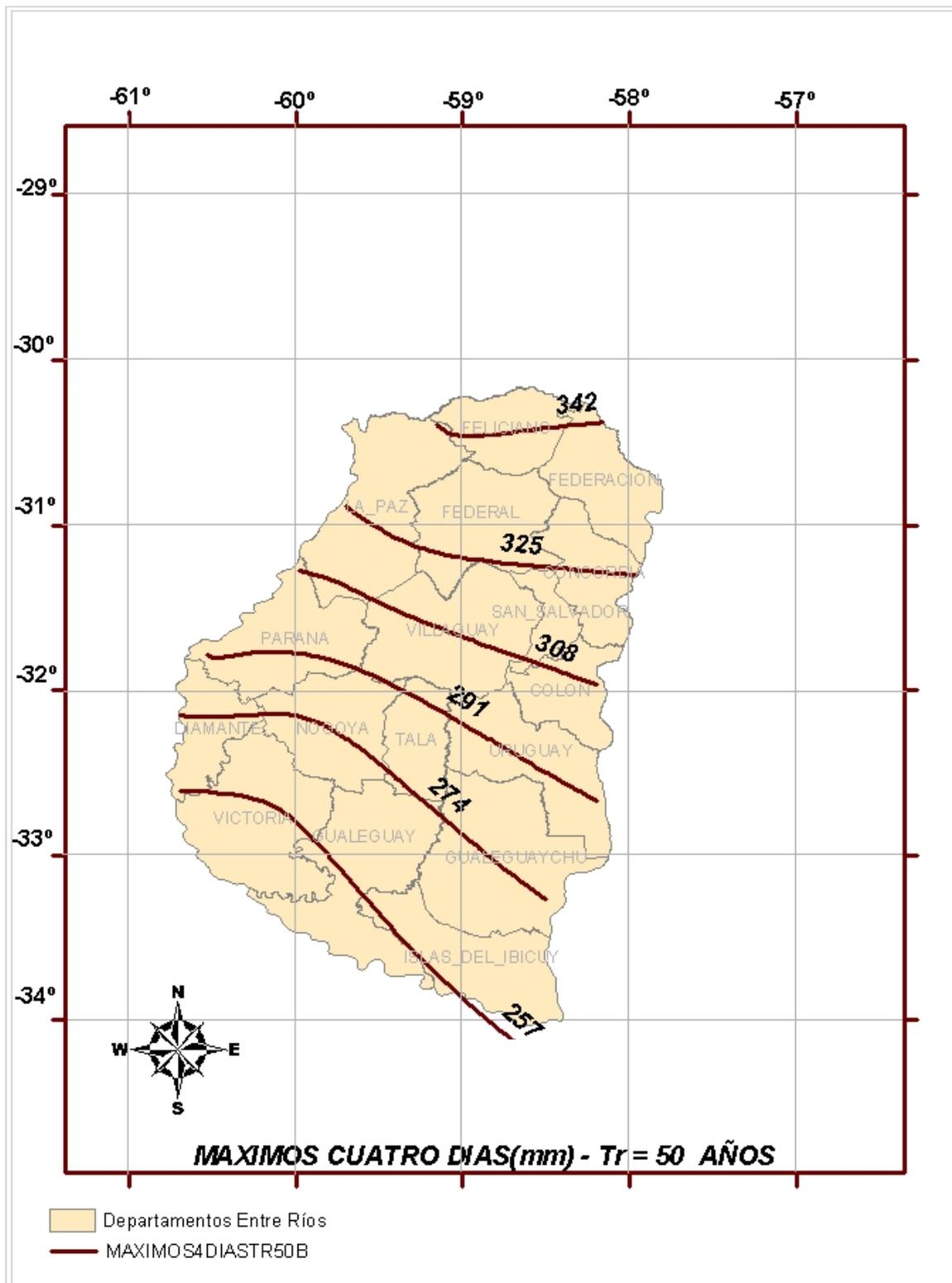














UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

FACULTAD REGIONAL CONCORDIA

**TORMENTAS DE DISEÑO PARA
LA PROVINCIA DE ENTRE RÍOS**

ANEXO 2

Intensidades máximas de precipitación observadas (mm/h)

Pluviógrafos: Concordia, Concepción del Uruguay y Paraná

**Fuentes: Servicio Meteorológico Nacional
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria**

CONCORDIA										
Año	Duración (minutos)									
	5	10	15	30	60	120	180	360	720	1440
1961	190.8	119.4	80.0	53.6	33.7	17.6	11.7	6.6	3.5	1.8
1962	188.4	94.2	62.8	31.4	19.7	10.9	9.6	5.7	2.9	1.4
1963	240.0	139.8	106.4	68.6	38.4	23.3	15.5	8.4	5.2	2.6
1964	120.0	98.4	65.5	36.4	26.2	17.5	14.1	8.1	4.1	2.3
1965	134.4	74.4	54.4	34.4	25.1	21.9	18.0	16.4	8.3	4.1
1966	120.0	75.6	62.0	39.6	36.8	23.0	15.4	10.7	6.3	3.2
1967	61.2	37.8	29.6	21.6	15.9	9.0	6.2	5.6	4.1	2.9
1968	110.4	76.5	51.6	37.2	28.2	21.8	16.6	8.3	4.2	2.1
1969	182.4	97.2	73.6	39.0	20.1	16.4	10.9	6.1	3.1	2.2
1970	128.4	71.4	48.8	31	22.4	12.8	10.1	5.9		1.7
1971	253.2	180.0	146.0	86.6	55.4	33.6	23.6	13.1	6.7	3.3
1972	152.4	78.0	54.8	46.2	32.7	17.8	13.5	11.7	5.9	2.9
1973										
1974										
1975										
1976	147.6	147.0	99.6	52	32	32	24.9	12.6	6.3	3.2
1977	116.4	117.0	116.8	116.8	61.2	30.7	20.7	11.4	5.8	3.0
1978	110.4	69.6	69.6	69.6	40.6	25.0	18.7	11.3	6.0	3.3
1979	144.0	103.2	68.8	54.0	41.6	27.2	19.3	13.4	8.2	4.2
1980	220.8	110.4	73.6	41.8	35.2	23.4	16.7	8.6	4.7	2.4
1981	193.2	193.2	128.8	84.4	42.2	22.3	15.4	8.1	4.2	3.1
1982										
1983	136.8	94.5	79.2	53.2	36.8	35.2	32.5	19.7	11.1	5.6
1984	266.4	133.2	89.2	45.8	35.0	30.4	24.9	13.4	7.1	5.9
1985	290.4	290.4	193.6	96.8	48.4	24.2	16.6	10.2	6.4	3.3
1986										
1987	172.8	111.0	82.0	49.0	36.9	24.9	19.4	11.9	8.1	4.4
1988										
1989	171.6	90.6	72.0	55.4	55.4	55.4	43.3	26.4	14.3	7.2
1990										
1991	156.0	84.0	60.0	37.6	29.7	19.3	18.2	13.3	8.7	4.3
1992	63.6	50.4	50.4	50.6	36.8	26.1	23.9	20.3	10.5	5.3
1993	120.0	60.0	52.0	46.0	37.1	24.5	19.1	14.2	8.1	4.9
1994										
1995	177.6	99.6	70.4	37.4	25.2	19.7	15.4	13.4	6.7	3.4
1996										
1997	196.8	118.8	80.4	50.2	50.1	28.8	20.4	11.3	5.6	2.8
1998	88.8	82.2	65.6	65.4	45.8	26.3	18.1	11.8	7.5	3.7
1999	298.8	298.2	298.4	150.0	75.6	38.2	25.5	13.5	6.8	3.4
2000	120.0	60.0	51.2	51.2	51.1	34.8	28.3	20.6	14.3	9.0
2001	139.2	93.0	80.0	79.8	79.8	79.8	59.6	34.5	22.7	14.8
2002	121.7	118.3	89.0	57.7	30.0	21.6	17.1	13.6	11.8	7.4
2003	172.6	128.9	114.3	73.3	48.8	30.2	26.6	17.4	13.2	7.0
2004	195.7	132.5	100.7	61.0	46.0	25.1	18.5	14.7	7.4	3.7

Anexo 2.1.- Intensidades máximas de precipitación observadas (mm/h) - Estación Concordia

CONCEPCIÓN DEL URUGUAY										
Año	Duración (minutos)									
	5	10	15	30	60	120	180	360	720	1440
1980	82.8	72.5	58.8	45.9	32.9	24.0	20.4	18.4	10.2	6.0
1981										
1982	117.5	83.3	69.6	58.2	42.3	28.6	21.7	12.8	8.2	4.8
1983	120.6	118.4	116.4	77.4	46.3	26.7	25.4	15.4	8.3	4.3
1984	234.2	174.5	127.4	90.2	49.2	28.9	19.9	10.5	6.0	4.1
1985	88.0	58.7	46.6	41.8	26.1	16.1	14.4	10.7	5.8	2.9
1986	124.7	115.0	82.0	49.3	41.2	30.2	23.7	14.1	7.6	4.2
1987										
1988										
1989										
1990										
1991	188.4	135.5	123.6	87.3	54.6	30.1	21.3	10.7	5.3	3.0
1992	179.0	146.5	136.0	116.2	89.3	46.4	31.0	15.5	7.8	4.9
1993	231.5	132.9	119.9	99.4	65.2	36.0	24.1	12.1	6.5	3.5
1994	148.0	130.7	116.2	102.4	73.4	43.4	31.6	16.2	8.8	5.5
1995	150.0	126.1	97.4	60.1	37.0	23.2	17.3	9.8	5.4	3.7
1996	183.5	138.2	143.0	94.0	58.8	32.9	23.6	12.5	6.2	3.4
1997	209.3	122.7	120.4	79.5	44.5	24.8	19.0	13.2	7.2	3.6
1998	171.2	116.6	78.7	58.3	40.8	20.5	13.7	8.3	6.4	3.2
1999	170.6	152.9	137.8	93.8	56.2	32.4	23.8	12.7	8.7	5.7
2000	150.0	129.0	116.3	74.2	40.3	27.4	24.0	15.0	8.6	5.7
2001	230.3	126.9	84.7	62.1	40.0	21.2	15.5	9.5	5.5	3.1
2002	127.3	102.2	85.6	64.0	34.9	21.9	18.2	15.6	9.9	5.3
2003										
2004	76.8	73.6	62.7	42.8	26.1	18.4	16.9	9.8	4.9	2.5
2005	86.3	62.1	49.1	44.0	28.9	19.2	17.3	11.0	5.7	4.5

Anexo 2.2.- Intensidades Máximas de precipitación observadas (mm/h) - Estación C. del Uruguay

PARANÁ										
Año	Duración (minutos)									
	5	10	15	30	60	120	180	360	720	1440
1963	70.8	49.2	49.2	49.0	33.9	21.4	15.3	8.8	4.4	2.2
1964	116.1	78.0	68.0	59.8	39.0	25.7	17.4	11.7	5.8	2.9
1965	120.0	101.4	80.0	55.8	35.4	20.2	24.6	12.5	6.3	3.1
1966	72.0	52.2	39.6	31.8	27.9	23.7	20.3	11.7	7.0	3.7
1967	150.0	81.0	56.4	43.6	43.6	22.4	14.9	9.6	5.6	2.8
1968	67.2	45.0	30.0	28.6	19.2	10.6	8.23	4.53	3.2	1.6
1969	138.0	81.0	64.0	55.0	45.0	26.8	18.0	9.3	4.8	2.5
1970	235.2	118.8	105.2	72.8	54.6	35.2	26.1	15.2	13.1	7.1
1971	126.0	73.8	58.4	58.4	58.4	45.0	36.9	19.5	12.0	6.0
1972	138.0	75.6	75.6	51.6	45.6	36.4	25.4	14.6	8.5	4.4
1973	122.4	100.2	100.0	100.0	60.7	36.7	26.0	13.0	8.4	4.3
1974	203.6	132.2	108.9	67.9	41.4	28.1	22.4	15.8	8.0	4.0
1975	118.2	111.4	91.2	65.0	47.5	26.0	18.0	9.0	5.2	2.8
1976	189.7	131.3	111.3	77.2	42.7	24.0	20.3	14.5	7.5	3.8
1977	119.6	98.5	76.6	56.1	36.5	18.8	12.5	6.6	3.7	2.0
1978	103.7	89.0	81.1	54.9	42.1	27.4	20.9	14.2	7.7	4.5
1979	170.2	122.2	116.5	97.6	59.4	32.7	25.6	17.0	9.3	4.6
1980	139.3	126.3	110.2	72.3	45.3	24.5	20.0	14.5	8.9	4.9
1981	56.4	55.8	56.0	56.0	43.4	23.3	16.1	8.6	4.3	2.2
1982	98.4	60.6	48.4	36.0	23.6	14.8	9.9	7.9	5.0	2.5
1983	114.0	58.2	50.8	50.6	43.0	30.4	21.5	12.2	8.0	4.4
1984	128.4	94.8	84.8	70.6	39.8	25.1	26.6	15.0	7.5	3.8
1985	94.8	47.4	36.0	35.8	26.1	16.1	13.3	7.3	3.7	1.9
1986	120.0	65.4	65.2	65.4	61.4	33.4	24.4	13.8	7.2	3.8
1987	128.4	96.0	69.2	41.6	32.2	16.8	13.1	9.9	4.9	2.5
1988	170.4	100.8	108.8	69.2	49.9	29.7	20.6	10.4	5.2	2.6
1989	73.2	51.0	51.2	43.4	31.9	16.2	11.3	8.9	4.6	2.3
1990	193.6	130.1	117.3	68.7	45.4	26.7	18.8	12.8	7.7	5.3
1991	79.2	77.4	77.2	77.2	56.4	33.1	24.2	13.5	8.38	4.19
1992	238.8	179.4	119.6	83.0	49.8	42.3	34.8	26.6	12.3	6.2
1993	27.6	27.6	27.2	25.0	13.2	6.8	4.8	2.4	1.2	0.6
1994	62.4	33.0	32.4	23.4	19.4	13.3	8.9	4.4	2.2	1.2
1995	140.2	127.1	116.4	79.8	54.2	30.6	21.8	12.6	8.4	5.0
1996	24.0	19.2	19.2	19.2	14.4	8.2	6.2	3.1	1.5	0.8
1997	144.0	94.2	70.4	44.0	31.3	26.8	18.7	10.0	8.3	4.3
1998	176.4	116.4	96.4	68.2	37.3	27.4	24.6	13.8	8.1	5.7
1999	110.8	82.2	64.5	60.2	50.6	35.9	30.0	17.5	8.8	6.8
2000	225.2	145.9	114.6	73.9	49.0	42.2	33.0	19.4	17.0	10.3
2001	168.0	125.8	105.0	68.5	48.9	26.7	19.5	10.9	7.6	4.0
2002	223.0	177.3	166.8	131.8	75.2	38.0	26.2	18.4	9.8	7.5
2003	139.2	113.1	106.0	78.7	67.3	45.5	32.0	17.3	9.7	5.4
2004	115.0	98.6	98.3	63.0	48.8	31.4	23.5	13.2	6.9	3.5
2005	181.0	109.3	87.6	66.5	40.0	23.2	20.5	14.1	9.3	5.5

Anexo 2.3.- Intensidades máximas de precipitación observadas (mm/h) - Estación Paraná

ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1.- Antecedentes

1.1.- Introducción	9
1.2.- Información básica.....	9
1.3.- Contenidos del Manual	10
1.4.- Responsabilidad de uso	10

Capítulo 2.- Regionalización de las Precipitaciones Máximas Diarias

2.1.- Introducción	11
2.2.- Períodos de retorno de diseño.....	11
2.3.- Síntesis de la metodología de regionalización	12
2.3.1.- Selección de estaciones pluviométricas representativas.....	12
2.3.2.- Análisis estadístico de la Información Pluviométrica	14
2.3.3.- Selección de la distribución de probabilidad	14
2.3.4.- Análisis regional de frecuencia	15
2.3.5.- Ejemplo de aplicación	21
2.4.- Referencias	22

Capítulo 3.- Relaciones intensidad-duración-recurrencia

3.1.- Introducción	23
3.2.- Estaciones pluviográficas seleccionadas	24
3.3.- Procesamiento de la información Pluviográfica	24
3.3.1.- Intensidades Máximas de Precipitación	24
3.3.2.- Análisis Estadístico	25
3.4.- Relaciones I-D-T de los pluviógrafos provinciales.....	25
3.5.- Tablas de uso práctico.....	29
3.6.- Precipitación media sobre una cuenca	30
3.6.- Referencias	31

Capítulo 4.- Análisis de interiores de tormenta

4.1.- Introducción.....	32
4.2.- Criterios de separación y selección de tormentas intensas.....	32
4.2.1.- Separación de tormentas.....	32
4.2.2.- Intensidad media y lámina precipitada mínimas.....	32
4.3.- Duraciones analizadas.....	33
4.4.- Método de Pilgrim, Cordery y French	
4.4.1.- Metodología	33
4.4.2.- Patrones de distribución temporal de las tormentas intensas.....	33
4.4.3.- Ejemplo de aplicación	38
4.5.- Método de los bloques alternos	
4.5.1.- Metodología	39
4.5.2.- Ejemplo de Aplicación	39
4.6.- Referencias	41

Capítulo 5.- Regionalización de las relaciones intensidad-duración-recurrencia

5.1.- Transposición de lluvias con objetivos de diseño	42
5.2.- Área de Influencia de los Pluviógrafos	42
5.3.- Metodología adoptada para la Provincia de Entre Ríos	42
5.4.- Desagregación temporal de las tormentas	43
5.4.1.- Relaciones RT de los pluviógrafos provinciales	45
5.4.2.- Relaciones (rd/24) de los pluviógrafos provinciales	45
5.5.- Ejemplo de aplicación	46
5.7.- Referencias	50

Capítulo 6.- Descripción y utilización de los sistemas de información asociados

6.1.- Sistema de Información Geográfica.....	51
6.1.1.- Descripción general	51
6.1.2.- Instrucciones de uso	52
6.2.- Sistema de visualización de la información en HTML	56
6.3.- Referencias	58

Capítulo 7.- Utilización de la aplicación de cálculo de tormentas de diseño

7.1.- Descripción general	59
7.2.- Precipitación Máxima Diaria	60
7.3.- Relaciones I-D-T	62
7.4.- Hietograma de Diseño	63
7.5.- Decaimiento areal	66
7.6.- Referencias	66

Anexos

Anexo 1.- Mapas de Isohietas de precipitaciones máximas	67
Anexo 2.- Intensidades máximas de precipitación	93

INDICE DE TABLAS

Capítulo 2.- Regionalización de las Precipitaciones Máximas Diarias

Tabla 2.1.- Criterios de diseño generalizados para estructuras hidráulicas	12
Tabla 2.2.- Cantidad de estaciones seleccionadas por longitud de registro	13
Tabla 2.3.- Estaciones pluviométricas seleccionadas - Longitud de registro: 1976-2005.....	13
Tabla 2.4.- Valor promedio obtenido para ECM de la variable, ECM de la frecuencia y AIC(p).....	15
Tabla 2.5.- Índices de creciente regionales para períodos de retorno de 2 a 50 años y duraciones de 1 a 4 días	16
Tabla 2.6.- Estimación de la precipitación máxima diaria (mm) - (Lat 32 °S, Long 60°W).....	21

Capítulo 3.- Relaciones intensidad-duración-recurrencia

Tabla 3.1.- Longitud de registro de la información pluviográfica	24
Tabla 3.2.- Relación intensidad-duración-recurrencia-Concordia	29
Tabla 3.3.- Relación intensidad-duración-recurrencia-Concepción del Uruguay	29
Tabla 3.4.- Relación intensidad-duración-recurrencia-Paraná	29

Capítulo 4.- Análisis de Interiores de tormenta

Tabla 4.1.- Concordia - Porcentajes de Precipitación total.....	34
Tabla 4.2.- Concepción del Uruguay - Porcentajes de Precipitación total	34
Tabla 4.3.- Paraná - Porcentajes de Precipitación total	34
Tabla 4.4.- Hietograma de diseño Concordia - Método de Pilgrim Duración: 120 minutos - Recurrencia: 10 años	38
Tabla 4.5.- Método de los bloques alternos -Incrementos de precipitación	40

Capítulo 5.- Regionalización de las relaciones intensidad-duración-recurrencia

Tabla 5.1.- (rd/24) estimadas en diversos países - (García, 2002)	44
Tabla 5.2.- Relaciones RT de los pluviógrafos provinciales	45
Tabla 5.3.- Relaciones (rd/24) de los pluviógrafos provinciales	45
Tabla 5.4.- Gilbert - P _{máx} diaria estimada (1976-2005).....	46
Tabla 5.5.- (rd/24) - Concepción del Uruguay (1980-2005).....	47
Tabla 5.6.- Desagregación temporal P _{máx} diarias Gilbert (1976-2005) - Láminas hd (mm).....	47
Tabla 5.7.- Desagregación temporal P _{máx} diarias Gilbert (1976-2005) Intensidades id estimadas (mm/hora)	47

Capítulo 6.- Descripción y utilización de los sistemas de información asociados

Tabla 6.1.- Capas del Sistema de Información Geográfica "RegPrecMax".....	52
---	----

INDICE DE FIGURAS

Capítulo 2.- Regionalización de las Precipitaciones Máximas Diarias

Figura 2.1.- Estaciones pluviométricas seleccionadas	14
Figura 2.2.- Isohietas de valores medios de precipitaciones máximas PM (mm) - Duración: 1 día	17
Figura 2.3.- Isohietas de valores medios de precipitaciones máximas PM (mm) - Duración: 2 días ...	18
Figura 2.4.- Isohietas de valores medios de precipitaciones máximas PM (mm) - Duración: 3 días ...	19
Figura 2.5.- Isohietas de valores medios de precipitaciones máximas PM (mm) - Duración: 4 días ...	20
Figura 2.6.- Relación lámina acumulada-período de retorno - (Lat 32 °S, Long 60°W)	21

Capítulo 3.- Relaciones intensidad-duración-recurrencia

Figura 3.1.- Relaciones intensidad-duración-recurrencia	23
Figura 3.2.- Relaciones precipitación-duración-recurrencia	23
Figura 3.3.- Relaciones intensidad-duración-recurrencia Concordia (1961-2004)	26
Figura 3.4.- Relaciones intensidad-duración-recurrencia-Concepción del Uruguay (1980-2005)	27
Figura 3.5.- Relaciones intensidad-duración-recurrencia-Paraná (1963-2005)	28
Figura 3.6.- Coeficientes de decaimiento areal	30

Capítulo 4.- Análisis de interiores de tormenta

Figura 4.1.- Concordia - Patrones de distribución temporal	35
Figura 4.2.- Concepción del Uruguay - Patrones de distribución temporal	36
Figura 4.3.- Paraná - Patrones de distribución temporal	37
Figura 4.4.- Hietograma de diseño Concordia - Método de Pilgrim Duración: 120 minutos - Recurrencia: 10 años	38
Figura 4.5.- Hietograma de diseño - Método de los bloques alternos Concordia - Duración: 120 minutos - Recurrencia: 10 años	40

Capítulo 5.- Regionalización de las relaciones intensidad-duración-recurrencia

Figura 5.1.- Zonas de homogeneidad meteorológica de Entre Ríos	42
Figura 5.2.- Ubicación de la estación pluviométrica Gilbert	46
Figura 5.3.- Intensidades id estimadas (mm/hora) - (Gilbert 1976-2005)	48
Figura 5.4.- Curvas I-D-T Gilbert	49

Capítulo 6.- Descripción y utilización de los sistemas de información asociados

Figura 6.1.- Ventana principal del RegPrecMax	53
Figura 6.2.- Barra de Herramientas del Programa ArcExplorer	53
Figura 6.3.- Máximos diarios para la localidad de El Redomón	54
Figura 6.4.- Relaciones I-D-T para la localidad de El Redomón	54
Figura 6.5.- Interiores de Tormenta de duración 30 minutos y 10 años de período de retorno	55
Figura 6.6.- Mapa de isolíneas correspondientes a los máximos de un día y período de retorno 5 años	56
Figura 6.7.- Botones de acceso	56

Capítulo 7.- Utilización de la aplicación de cálculo de tormentas de diseño

Figura 7.1.- Menú Inicio de la aplicación “Lluvias E.R.xls”	59
Figura 7.2.- Selección de coordenadas geográficas.....	60
Figura 7.3.- Precipitación máxima diaria para el punto de coordenadas seleccionadas	60
Figura 7.4.- Selección mapas de isohietas de precipitaciones máximas	61
Figura 7.5.- Isohietas de precipitaciones máximas Duración: 1 día - Período de retorno: 25años	61
Figura 7.6.- Selección del pluviógrafo de referencia	62
Figura 7.7.a.-Relaciones I-D-T para las coordenadas ingresadas	62
Figura 7.7.b.-Curvas I-D-T para las coordenadas ingresadas	63
Figura 7.8.- Distribución temporal de la tormenta Selección de la duración y recurrencia de diseño	64
Figura 7.9.- Hietograma de diseño - Método de Pilgrim	65
Figura 7.10.-Hietograma de diseño-Método de los Bloques Alternos	65
Figura 7.11.-Figura 7.11.- Coeficiente de Decaimiento Areal	66

*La edición se terminó de imprimir en la
IMPRESA OFICIAL de Entre Ríos
Córdoba 327, Paraná, Entre Ríos
en el mes de Mayo de 2009*