

REGIONALIZACIÓN DE EXTREMOS DE PRECIPITACIÓN DIARIA EN LLANURA Y PEDEMORTE DE LA PROVINCIA DE TUCUMÁN

Roberto Ricardo Lazarte Sfer¹, Hugo Roger Paz¹, Flavia Bazzano^{1, 3}, Florencia Nanni¹, Héctor David Aguirre¹, Martín N. Iturre¹, Martín Goñi¹ Jorge Forciniti²

¹Laboratorio de Construcciones Hidráulicas – Universidad Nacional de Tucumán. Av. Independencia 1800. Tucumán. Argentina,

²Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes Av. William Cross 3150 Tucumán. Argentina

³Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina.

rlazartesfer@herrera.unt.edu.ar, hpaz@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN

Se exponen en el presente trabajo las tareas realizadas con objeto de obtener la distribución espacial de valores puntuales de máximos diarios de precipitación en la provincia de Tucumán. Este es el primer paso de un proyecto de investigación cuyo objetivo final es la Regionalización de las Relaciones Intensidad-Duración-Recurrencia en la Provincia de Tucumán

Como primer paso se determinó la zona de estudio. Debido a la heterogeneidad existente en la geografía provincial, la gran influencia que tiene la orografía en la génesis de las precipitaciones intensas de la región, junto a la disponibilidad de series de precipitaciones diarias de longitud aceptable se ha restringido en esta etapa el área en estudio a la correspondiente a la llanura provincial, tomando como límite oeste la cota 700 msnm. El área donde finalmente se expondrá la variación superficial de los extremos de precipitación diaria tiene una superficie de aproximadamente 12976,4 km².

Las series de mediciones pluviométricas de totales diarios de Tucumán fueron aportados fundamentalmente por dos instituciones provinciales, la Dirección de Recursos Hídricos de la Provincia y la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes, a través de las cuales se recibió indirectamente datos de otras instituciones como el Servicio Meteorológico Nacional, el INTA y compañías privadas. Se le sumó a éstos datos de las provincias de Salta y Santiago del Estero aportados por la Universidad Nacional de Santiago del Estero. De un total de casi 400 estaciones pluviométricas inventariadas que alguna vez midieron en Tucumán se consideró para un primer análisis de cobertura espacial y temporal sólo 298 estaciones descartando las restantes por tener escasa longitud en sus registros. Se sumaron a estas 3 estaciones en Salta y 13 en Santiago del Estero cercanas todas a Tucumán.

Posteriormente se analizó la coincidencia de períodos de medición, lo cual sumado a los correspondientes estudios estadísticos de validación, redujo finalmente a 64 las estaciones consideradas para el análisis.

Para la regionalización se utilizó el Método del Índice de Crecientes. Con ello se determinaron los valores extremos diarios regionalizados para cada posición de medición con los cuales se estudió en primera instancia la distribución superficial de esta variable en la parte de la provincia bajo estudio.

El cálculo de la grilla regular que permitió obtener las isolíneas que exponen la distribución de los valores extremos de precipitación diaria asociados a distintos tiempos de retorno se realizó utilizando el algoritmo de Kriging. Ello permitió obtener isoyetas para la representación cartográfica de la distribución de extremos diarios.

PALABRAS CLAVES:

Máximos diarios, regionalización.

INTRODUCCION

La escasez de datos pluviométricos registrados con discretizaciones temporales inferiores al día, que permiten la obtención de relaciones Intensidad – Duración – Recurrencia, lleva a la necesidad de utilizar en amplias regiones una única o las pocas relaciones I-D-R disponibles, utilizando para ello técnicas de transposición. Para ello es necesario en primera instancia conocer las distribuciones espaciales de los máximos puntuales diarios dentro de estas regiones.

Exceptuando las zonas de montaña, los datos pluviométricos de precipitación diaria se encuentran en buena cantidad y cubriendo una parte importante de la provincia de Tucumán y provincias vecinas, en virtud de lo cual es posible trabajar sobre los mismos aplicando métodos de regionalización de esta variable.

Atendiendo a lo expuesto se define como objeto del proyecto expuesto en este informe la obtención de la distribución espacial de los valores puntuales de precipitaciones diarias extremas en una parte importante de la provincia de Tucumán, que abarca la zona pedemontana central por debajo de la cota 700 msnm y la zona de llanura ubicada al este hasta los límites con las provincias de Salta al norte, Santiago del Estero al este y Catamarca al sur.

CARACTERISTICAS FISIOGRAFICAS Y CLIMATICAS DE LA PROVINCIA

Fisiografía de Tucumán.

De acuerdo al relieve se puede dividir a la provincia de Tucumán en tres unidades. Una zona serrana oeste ocupando el 37% de la superficie de la provincia con alturas que alcanzan los 5500 msnm. Una zona serrana noreste ocupando el 6% con alturas que alcanzan los 2050 msnm. El área de llanura que ocupa el 57% de la provincia de Tucumán se localiza en la zona central y este de la provincia. Se puede diferenciar dentro de ésta el área de Tapia-Trancas ubicada en la parte central norte separada por una zona de alturas medias.

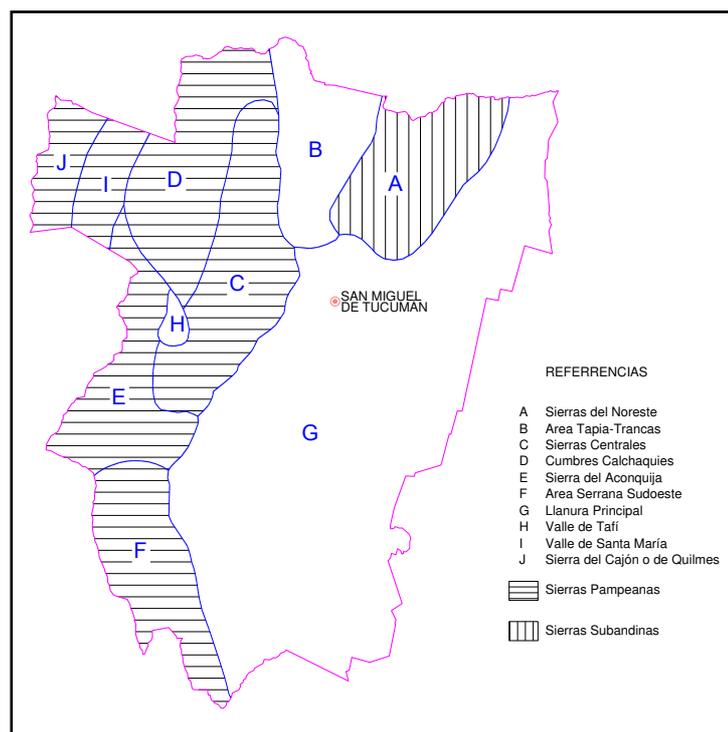


Figura 1. Fisiografía de Tucumán.

El área considerada para el presente estudio es la de llanura más una porción del pedemonte oeste por debajo de la cota 700msnm, sin incluir el área Tapia-Trancas separada por una barrera orográfica y con un régimen de lluvia diferenciado.

El clima y régimen de lluvias de Tucumán.

El clima en la parte de la provincia considerada para el estudio es cálido subtropical con estación seca en invierno. Posee un régimen de lluvias de tipo monzónico, estacional y torrencial. Hay un período lluvioso y otro seco. Cada uno abarca un semestre. Inviernos y primaveras secas contrastan con veranos y otoños húmedos. Durante los meses de octubre a abril se concentra más del 90% de la precipitación anual, la cual usualmente supera los 1000 mm. Las lluvias intensas se registran en su totalidad entre los meses de octubre y abril, concentrándose en su mayoría entre los meses de diciembre y marzo.

Características de las lluvias intensas en la zona bajo estudio.

La estacionalidad de las lluvias intensas obedece a la ubicación en el noroeste argentino durante los meses más cálidos de un centro de baja presión atmosférica que atrae masas de aire cálido y húmedo del sur de Brasil donde se ubica un centro de altas presiones (Anticiclón del Atlántico Sur). Con la presencia de esta masa de aire cálido y húmedo las lluvias intensas se producen según los siguientes procesos: por convección local, por el ingreso de frentes de aire frío con frecuente influencia de efectos orográficos, por combinación de ambos procesos (lluvias convectivas y de frente).

LA RED PLUVIOMETRICA.

Los datos de totales diarios de Tucumán fueron aportados en su totalidad por dos instituciones provinciales, la Dirección de Recursos Hídricos de la Provincia y la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres, a través de las cuales se recibió indirectamente datos de otras instituciones como el Servicio Meteorológico Nacional, el INTA y compañías privadas. Se le sumó a éstos, datos de las provincias de Salta y Santiago del Estero aportados por la Universidad Nacional de Santiago del Estero.

De un total de casi 400 estaciones pluviométricas inventariadas que alguna vez midieron en Tucumán se consideró para un primer análisis de cobertura espacial y temporal solo 298 estaciones descartando las restantes por tener escasa longitud en sus registros. Se sumaron a éstas 3 estaciones en Salta y 13 en Santiago del Estero cercanas todas a Tucumán, totalizando así 314 estaciones. [Ver Figura 2].

La relación Intensidad-Duración-Recurrencia desarrollada con registros pluviográficos y pluviométricos de la estación meteorológica El Colmenar (EEAOC) es la única utilizada en el ámbito de la provincia. Ello es así pues fue obtenida con la serie más larga de registros disponibles al momento de su última actualización (1942-1993). Actualmente se está actualizando en base a datos que llegan hasta el presente.

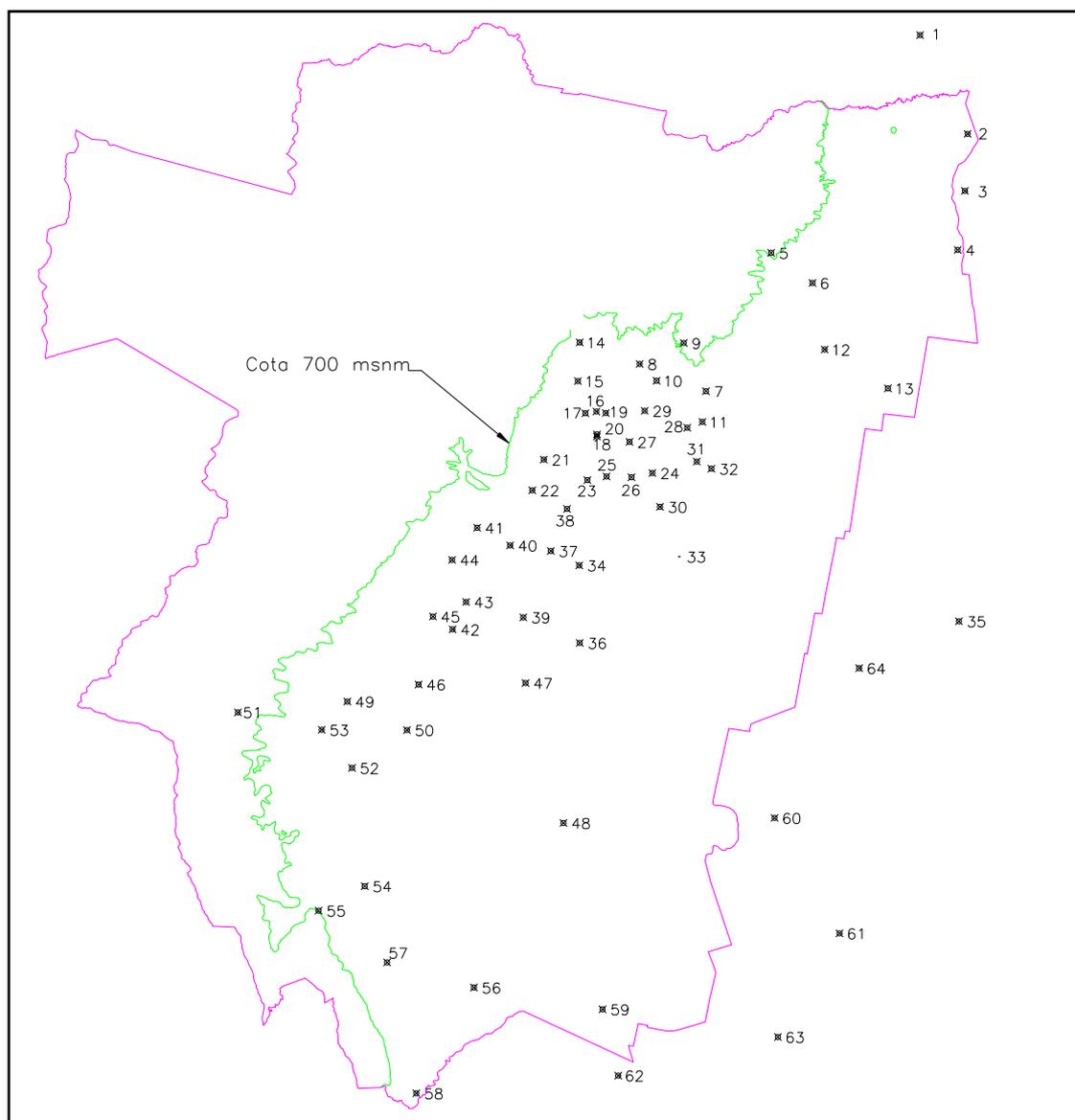


Figura 2. Red Pluviométrica de Tucumán y provincias vecinas.

PROCEDIMIENTO DE ESTUDIO.

Debido a las limitaciones de extensión del presente documento se expone a continuación la metodología del estudio realizado en forma sintética, presentando los elementos de mayor trascendencia en cada etapa, que permitieron el avance hasta su estado actual.

Definición del área cubierta por el estudio

El área donde se cuenta con información de precipitación diaria, que fue objeto de la regionalización de esta variable coincide con una única área meteorológicamente homogénea. *Para Wiesner (1970) las zonas de homogeneidad meteorológica se definen como áreas donde todos los puntos experimentan eventos mediante iguales mecanismos de tormenta y movimientos totales de aire, pero no necesariamente con el mismo cambio de humedad o con igual frecuencia.* (Caamaño Nelli, Dasso, Lluvias de Diseño, 2003). En el trabajo “La Variabilidad Espacio

Temporal de las Precipitaciones en el Noroeste Argentino, (Minetti, Vargas y Albarracín, 2005), los autores indican que la zona bajo estudio pertenece a un mismo campo de homogeneidad, lo cual puede observarse en los gráficos expuestos a continuación extraídos de dicha publicación, donde en todos los casos la zona bajo estudio pertenece al indicado por los autores como “Modelo”.

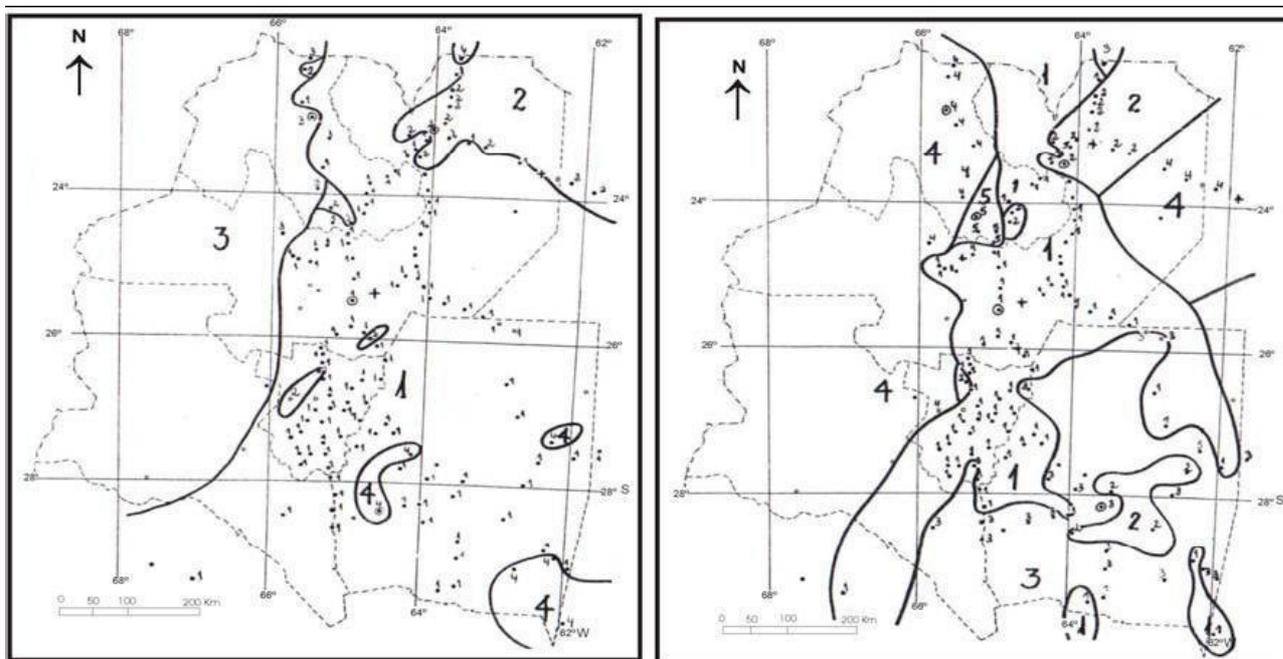


Fig 3 a (Izq), B (Der): Campos de homogeneidad obtenidos por el método de Lund, en la precipitación mensual de enero, período 1941. 1989, con niveles de correlaciones iguales o superiores de 0,3 y 0,4 izquierda y derecha respectivamente. (Minetti, Vargas Albarracín, 2005)

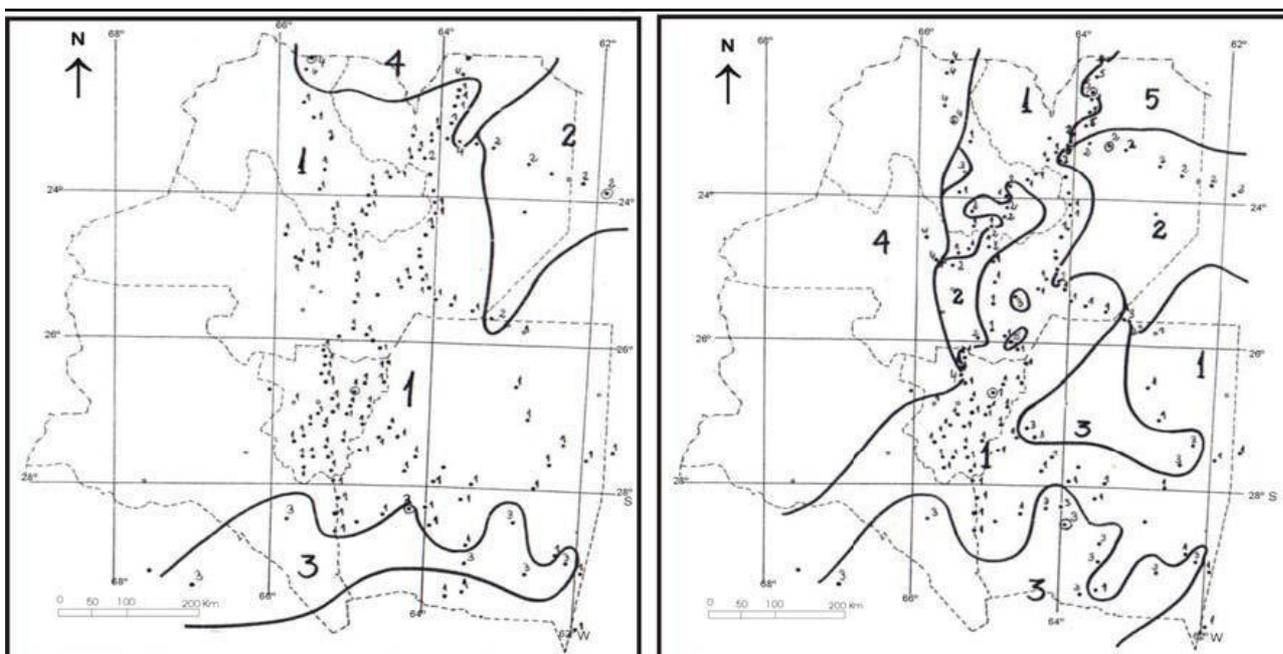


Fig. 4 a, b: Ídem figura 3 para febrero

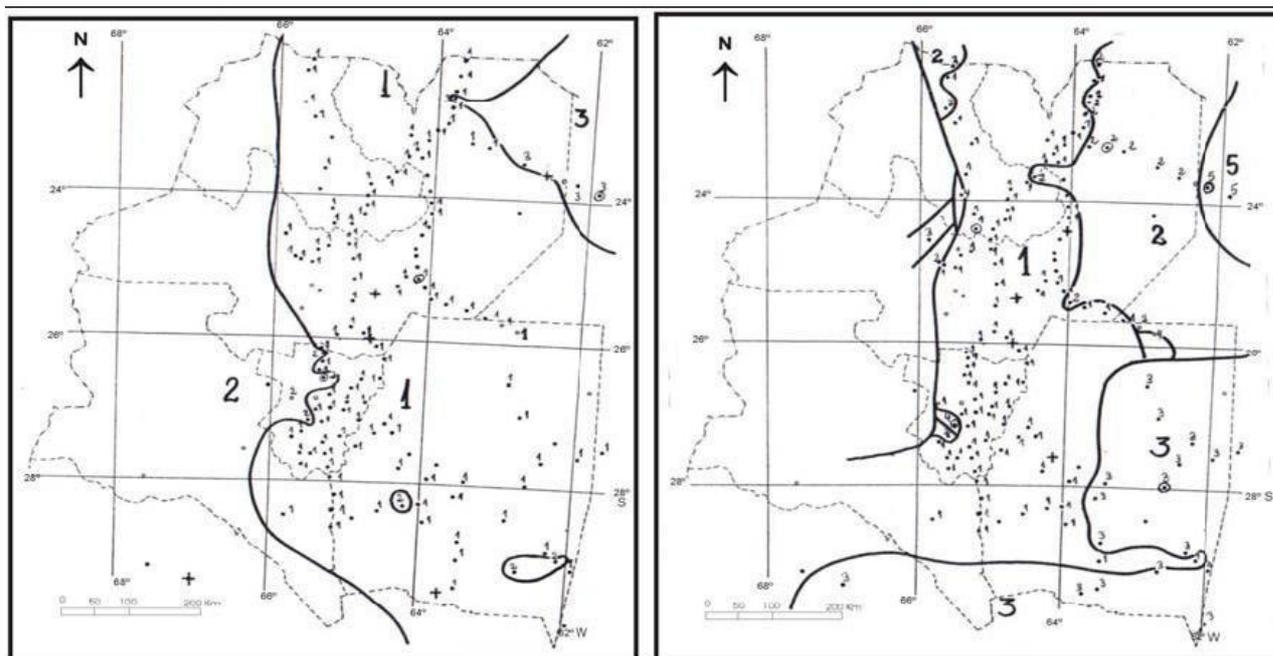


Fig. 5 a, b: ídem figura 5 a, b para marzo

En la publicación “*El Régimen Pluviométrico del Noroeste Argentino*”, (Minetti, Acuña y Nieva, 2005), los autores indican en cuanto a la distribución espacial de las precipitaciones del conjunto de provincias del NOA argentino: *se puede inferir la existencia de cuatro regiones bien diferenciadas: I) La del régimen de escasas precipitaciones en el acrocoro Puneño con valores anuales inferiores a 200mm, II) La de precipitaciones pobres en el llano del Este del NOA con valores anuales menores que 600mm, III) Las de excesivas precipitaciones en laderas serranas lluviosas expuestas al Este con valores superiores a 1200mm y IV) La región de transición entre I y III (entre el acrocoro Puneño y las laderas lluviosas por el Oeste) y las de transición entre II y III (entre la región de pobres precipitaciones del Este Santiagueño-Salteño con las laderas lluviosas serranas) que configuran el paisaje del pie de cerro. La última citada corresponde a la denominada por los autores como Región IVb involucra en su totalidad a la zona en la cual se realizará la regionalización, lo cual puede ser observado en el gráfico expuesto a continuación extraído de la publicación citada. Esta región se caracteriza por un marcado gradiente este-oeste de precipitación anual.*

En cuanto a distribución de precipitación espacial de precipitaciones en el NOA, la zona de estudio se encuentra comprendida dentro de una única región caracterizada por una transición que va desde una región de pobres precipitaciones en el Este Santiagueño - hasta las laderas lluviosas serranas que configuran el paisaje del pie de cerro.

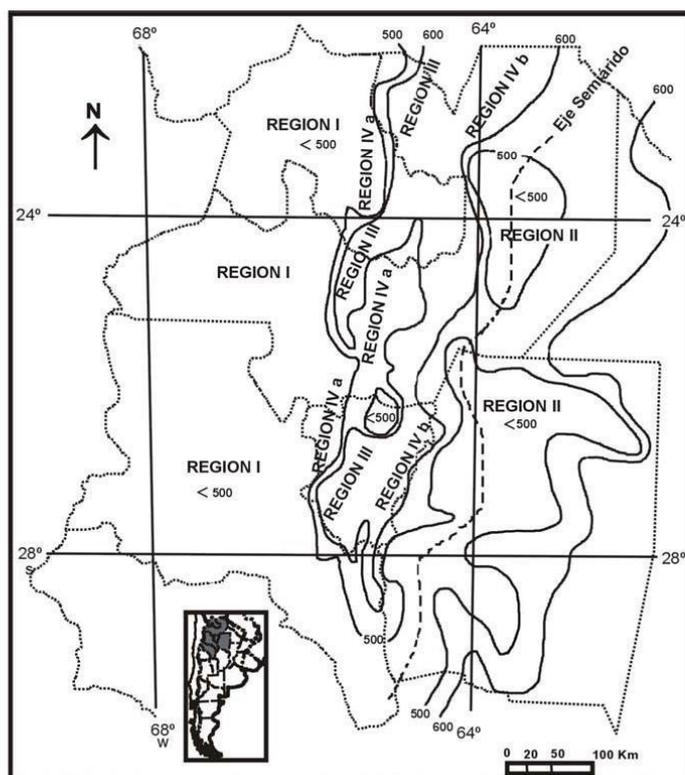


Figura 6: Regiones pluviométricas analizadas. Región I a la izquierda, Región II a la derecha, Región III al Centro y Regiones IVa, IVb al Centro en ambos flancos (izquierdo-derecho) de la Región III. Las curvas representan a las isoyetas de 500 y 600 mm anuales en promedio. Se representa al eje Semiárido con línea de trazo.

Fig. 6: Regiones pluviométricas del NOA.

Atendiendo a lo expuesto en los párrafos anteriores para el presente trabajo se limitó la zona de regionalización hacia el oeste con la curva de nivel de cota 700 msnm, considerando para ello fundamentalmente los efectos orográficos que pudiesen alterar la génesis de las lluvias. Resulta importante tener en cuenta que los registros de totales diarios en el pedemonte tucumano oriental por encima de esta cota son de escasos a inexistentes. A los efectos de la elaboración de los mapas de isolíneas de máximos diarios se adoptarán para esta publicación como límites la curva de nivel citada hacia el oeste y los límites provinciales hacia el norte, este y sur. El área donde finalmente se expondrá la variación superficial de los extremos de precipitación diaria tendrá una superficie igual a aproximadamente 12976.4Km².

Obtención de las series anuales.

Con los datos de totales diarios de las 314 estaciones seleccionadas inicialmente se extrajo para cada una de ellas el máximo de cada año hidrológico, (septiembre a agosto), conformando de esta manera las series anuales que para el primer análisis se extendieron en forma irregular desde el año 1968-69 al año 2006-2007.

Validación de los datos de las series anuales

Para cada muestra de datos de precipitación diaria dadas en las 314 series anuales es necesario realizar una valoración de su calidad. Para ello se realizaron test de datos atípicos, de homogeneidad y de independencia las 314 series anuales.

Para la detección de datos atípicos se utilizó la Prueba de datos Dudosos de Chow (Chow, 1994). Para estudiar la homogeneidad de las series se recurrió a la Prueba de Homogeneidad de Helmert, a la Prueba estadística de t de Student y Prueba estadística de Cramer. También se realizó la prueba de independencia de Anderson.

Selección de las series anuales para la regionalización.

Con las series aceptadas se realizó un estudio de cobertura en la superficie de la provincia bajo estudio variando la ventana de tiempo utilizada, en base a lo cual se adoptó el período 1971-72 a 1985-86 longitud, común a todas las posiciones de medición seleccionadas. Esto es necesario ya que para la regionalización se aplicará el método de índices crecientes que requiere simultaneidad temporal de las series de máximos diarios. Se logró con esta selección una buena cobertura espacial.

Para la ventana de tiempo seleccionada se contó con un total de 64 puestos pluviométricos de los cuales 56 pertenecen a la provincia de Tucumán, 6 a Santiago del Estero y 1 a Salta. Se consideró en un comienzo que se debía trabajar con series de al menos 20 años pero para ello se tenía importantes sectores sin cobertura, en particular en la zona central y sur del área pedemontana en la cual se tienen los mayores registros. Se priorizó de esta manera tener una buena cobertura en la superficie bajo estudio antes que una buena longitud de la serie. Se considera que una longitud de 15 años como la trabajada es suficiente a los efectos del objeto del estudio. Se expone en Tabla 1 la localización de los 64 puestos pluviométricos.

Interesa localizar geográficamente a cada una de las estaciones según coordenadas aportadas por las distintas instituciones. En la mayoría de los casos no se contaba con esta información sobre todo en aquellas que no funcionan en la actualidad, por lo que se investigó su antiguo emplazamiento según la fuente de origen de los datos. Muchas de ellas se ubicaban en estaciones de ferrocarril, fincas de ingenios azucareros, estaciones del INTA. Estas fueron, en algunos casos, abandonados hace muchos años, por lo que se investigó la localización teniendo en cuenta las particularidades de cada caso.

Tabla 1. Ubicación geográfica de estaciones pluviométricas.

Id	Departam.	Nombre estación	X	Y	Id	Departam.	Nombre estación	X	Y
1	Salta	Antilla-Vecinas	7111231.7	3640532.5	33	Leales	El Chical	7009571.5	3593840.6
2	Burruyacú	7 de Abril	7091980.3	3649731.4	34	Leales	Dique San Carlos	7007865.1	3574570.3
3	Santiago	Rapelli - Vecinas	7080872.4	3649214.2	35	Santiago	Pozo Hondo	6996976.5	3648052.1
4	Burruyacú	Pampa Pozo	7069359.2	3647817.7	36	Leales	Chañar Pozo (INTA)	6992750.3	3574672.9
5	Burruyacú	Dique Tajamar	7068790.0	3611717.5	37	Leales	Bella Vista	7010666.7	3569074.2
6	Burruyacú	Villa Benjamin Araoz	7062926.4	3619713.4	38	Leales	M.G. Fernandez	7018867.6	3572208.8
7	Burruyacú	Macomita	7041813.5	3599106.9	39	Leales	Río Colorado	6997736.2	3563743.2

IV Taller de Regionalización de Precipitaciones Máximas

Id	Departam.	Nombre estación	X	Y	Id	Departam.	Nombre estación	X	Y
8	Burruyacú	Timbo viejo	7047128.6	3586276.6	40	Famaillá	Padilla - Famailla	7011754.3	3561197.4
9	Burruyacú	El Naranjo	7051223.2	3594805.8	41	Famaillá	Sauce Huascho2	7015200.5	3554815.6
10	Burruyacú	Lote 3-4	7043848.0	3589545.3	42	Monteros	Monteros	6995391.9	3550081.0
11	Burruyacú	Lote 9-10	7035821.7	3598402.3	43	Monteros	Acheral	7000742.8	3552686.5
12	Burruyacú	Tala Pozo 3	7049943.8	3622080.5	44	Monteros	Caspinchango (Ing. S. Pablo)	7008941.6	3549965.1
13	Burruyacú	Gob. Piedrabuena	7042370.2	3634307.7	45	Monteros	Los Sosas	6997909.2	3546260.1
14	Tafí Viejo	El Cadillal	7051332.0	3574663.4	46	Monteros	Río Seco	6984649.4	3543486.2
15	Tafí Viejo	Tafí Viejo	7043787.7	3574313.9	47	Simoca	Simoca	6984928.8	3564172.7
16	Tafí Viejo	Los Pocitos	7037844.0	3577893.6	48	Simoca	Monteagudo	6957645.7	3571523.8
17	Capital	Muñecas	7037518.4	3575763.3	49	Simoca	Solco	6981338.4	3529698.9
18	Capital	Mate de Luna	7032989.6	3577982.4	50	Chicligasta	Concepción	6975764.8	3541228.8
19	Capital	El Colmenar	7037567.9	3579719.5	51	Chicligasta	Cochuna	6979191.2	3508521.0
20	Capital	S. M. de Tucumán (TUC CC)	7033392.4	3578008.6	52	Río Chico	Los Sarmiento	6968374.1	3530600.6
21	Lules	San Pablo	7028496.2	3567709.4	53	Río Chico	Monte Bello 3	6975808.9	3524737.0
22	Lules	Lules 4	7022505.9	3565469.9	54	Río Chico	Villa Alberdi	6945327.8	3533062.8
23	Lules	San Pedro	7024487.4	3576154.2	55	J.B. Alberdi	Dique Marapa	6940560.8	3524139.5
24	Cruz Alta	Colombres	7025872.4	3588726.0	56	La Cocha	Monte Redondo	6925566.2	3554199.1
25	Cruz Alta	San Andres	7025193.0	3579862.1	57	La Cocha	San Ignacio	6931877.3	3531885.3
26	Cruz Alta	Pacara	7025038.3	3584690.7	58	La Cocha	Rumi Punco	6904955.2	3543039.0
27	Cruz Alta	Ing. Concepción	7031937.8	3584299.5	59	Graneros	Taco Ralo	6921334.8	3579082.7
28	Cruz Alta	lote 5-8	7034689.3	3595462.7	60	Santiago	Termas del Río hondo	6958632.2	3612377.6
29	Cruz Alta	Las Piedritas	7038002.4	3587239.9	61	Santiago	Doña Luisa	6936127.0	3624941.1
30	Cruz Alta	San Miguel	7019274.7	3590207.7	62	Santiago	San Pedro	6908380.8	3582124.9
31	Cruz Alta	San Luís	7028106.2	3597316.8	63	Santiago	Villa Guasayan	6915927.0	3613020.0
32	Cruz Alta	Los Ralos 2	7026710.3	3600131.7	64	Santiago	El Charco	6987836.8	3628754.2

Análisis de frecuencia.

Con las series anuales se procedió al ajuste de funciones de densidad de probabilidad seleccionando la función Gumbel para la representación de la población correspondiente a todas las posiciones de medición. Se expone en Figura 3 el ajuste para la serie de la estación Monteros.

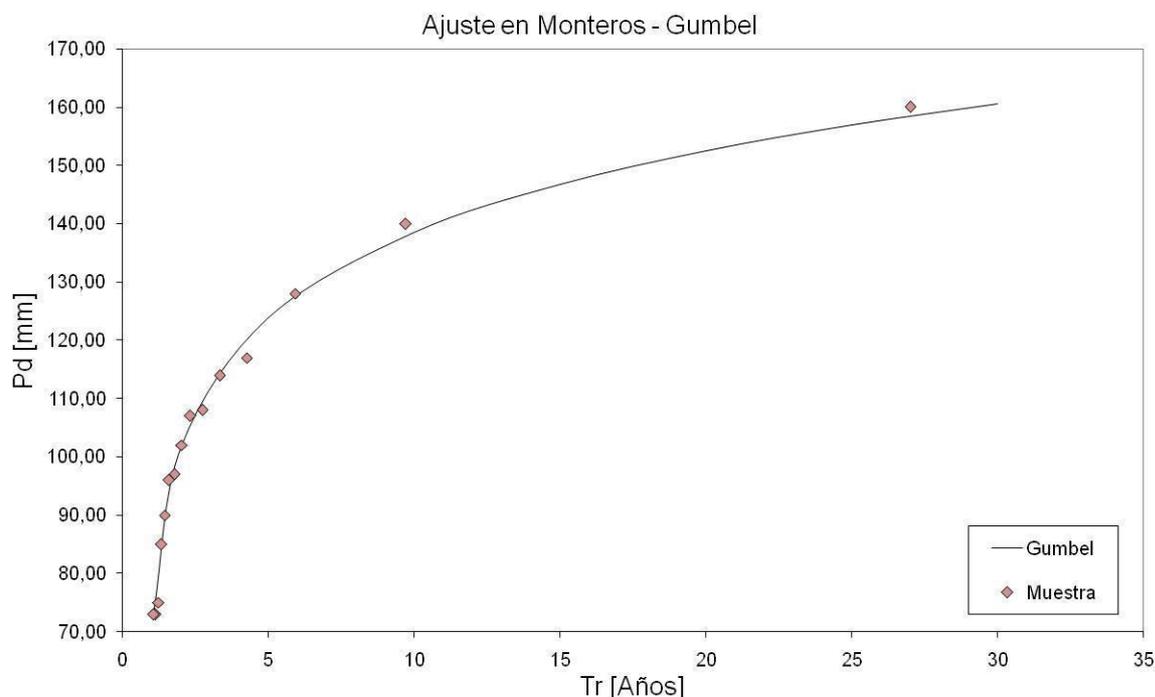


Figura 3. Ajuste de FDP.

Se expone a continuación las relaciones P_d vs. Tr correspondientes a cada posición de medición para valores de tiempo de retorno de 2.33 y 10 años.

Tabla 2. Relación P_d vs. Tr para cada posición. P [mm].

Nº Id	Estación	Tr [Años]		Nº Id	Estación	Tr [Años]	
		2.33	10			2.33	10
1	Antilla-Vecinas	92.9	128	33	El Chical	90.8	126.1
2	7 de Abril	99.3	149.3	34	Dique San Carlos	103.4	146.1
3	Rapelli - Vecinas	116.2	191	35	Pozo Hondo	73.9	100.7
4	Pampa Pozo	96.3	172.5	36	Chañar Pozo (INTA)	93.7	133.7
5	Dique Tajamar	100.8	153.9	37	Bella Vista	99.5	155.9
6	Villa Benjamin Araoz	108.4	167.5	38	M.G. Fernandez	92.4	123
7	Macomita	123.8	167.9	39	Río Colorado	99.8	142.7
8	Timbo viejo	97.9	137.8	40	Padilla -Famailla	104.1	139.1
9	El Naranja	97.1	138.1	41	Sauce Huascho2	148.4	185.6
10	Lote 3-4	102.3	145.5	42	Monteros	104.3	136.9
11	Lote 9-10	104.3	146.7	43	Acheral	109.1	145.4
12	Tala Pozo 3	100.9	162.3	44	Caspinchango	137	167.4

Nº Id	Estación	Tr [Años]		Nº Id	Estación	Tr [Años]	
		2.33	10			2.33	10
13	Gob. Piedrabuena	96.6	140.6	45	Los Sosas	151.2	200.2
14	El Cadillal	79.4	113.8	46	Río Seco	159.2	216.6
15	Tafí Viejo	89.7	124	47	Simoca	85.7	137.2
16	Los Pocitos	82.8	119.6	48	Monteagudo	86.6	136.1
17	Muñecas	72.6	100.9	49	Solco	113.7	157.1
18	Mate de Luna	92.8	121.5	50	Concepción	106.4	142
19	El Colmenar	96.2	142.3	51	Cochuna	118.5	159.7
20	TUC CC	97.7	134.3	52	Los Sarmiento	91.1	124
21	San Pablo	117.6	150.6	53	Monte Bello 3	110.7	154
22	Lules 4	110.8	148.8	54	Villa Alberdi	101.3	166.4
23	San Pedro	96.2	136.2	55	Dique Marapa	106.6	169.4
24	Colombres	108.3	197.5	56	Monte Redondo	95.6	132.8
25	San Andres	99	134.6	57	San Ignacio	76.0	90.8
26	Pacara	90.1	120.3	58	Rumi Punco	109.6	141.9
27	Ing. Concepción	113.6	170.7	59	Taco Ralo	92.6	139
28	lote 5-8	100.6	137.5	60	T. del Río hondo	83	117.8
29	Las Piedritas	102.5	141.2	61	Doña Luisa	75.1	106.9
30	San Miguel	88.7	129.2	62	San Pedro	79.6	144.6
31	San Luís	107.3	171.3	63	Villa Guasayan	81.2	106.6
32	Los Ralos 2	99.8	160.8	64	El Charco	81.5	104.4

Test de homogeneidad regional

Antes de proceder a la regionalización de los extremos de precipitación diaria es necesario verificar que las series seleccionadas pertenecen estadísticamente a una misma región homogénea. Para ello se recurrió al test de Langbein. Este test indica límites de confianza para el tiempo de retorno en función de la longitud de serie para una confiabilidad de 95%. El tiempo de retorno en este caso corresponde para cada estación al dado por la función de Gumbel para un valor de precipitación que resulta de normalizar el valor de precipitación que inicialmente se asoció según Gumbel a un tiempo de retorno de 10 años.

Del total de 64 estaciones solo se descartó una en base a este test, la identificada como San Ignacio en La Cocha.

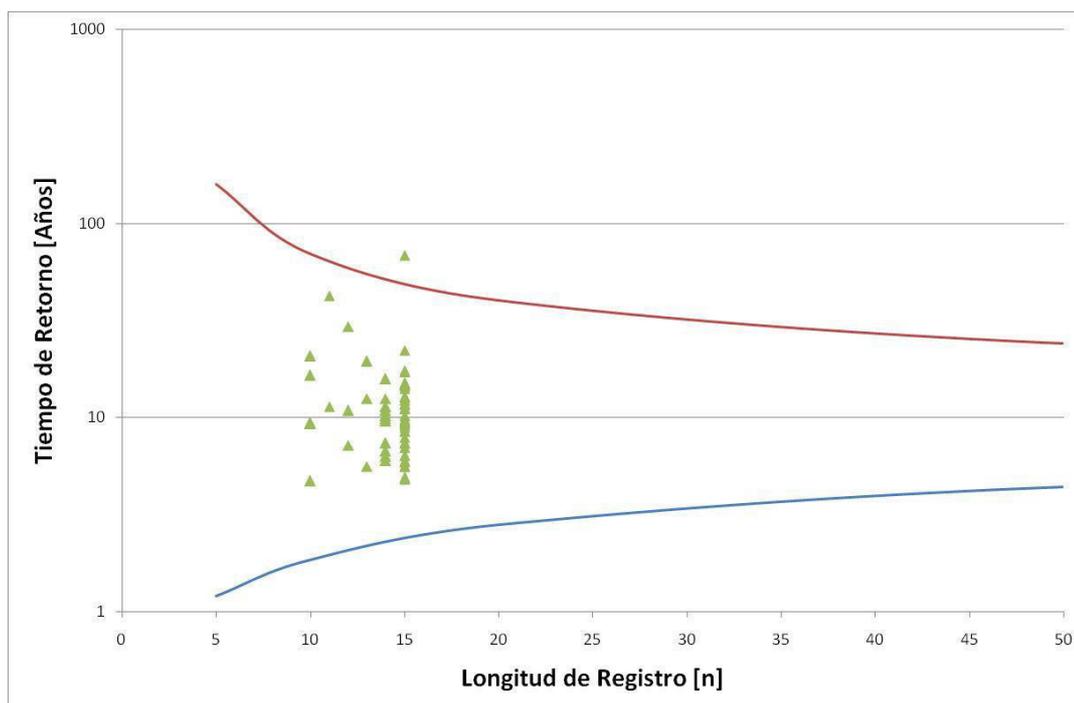


Figura 4. Test de Homogeneidad Regional Langbein.

REGIONALIZACIÓN DE LOS EXTREMOS DE PRECIPITACIÓN DIARIA

Para la regionalización se utilizó el Método del Índice de Crecientes. Este método requiere que las estaciones tengan un período común de registro. A cada serie se le ajustó la distribución Gumbel con lo cual se obtuvo la lámina diaria asociada a un tiempo de retorno de 2,33 años. Este se asocia a una probabilidad del 50% para Gumbel. Cada valor de la serie se dividió en la mediana obtenida el máximo correspondiente a 2.33 años con lo cual se obtiene una serie modulada. Cada registro modulado debe ser ordenado de mayor a menor asignándole un número de orden a cada valor en la serie. Para cada número de orden se determinó la mediana de los cocientes. Se tuvo con ello un vector del cociente el cual se ajustó con Gumbel a los efectos de conocer los valores asociados a tiempos de retorno seleccionados que varían entre 2 y 100 años. Este vector ajustado con la FDP Gumbel nos dio los cocientes regionales que permitieron alcanzar en cada sitio los valores de lámina diaria para un tiempo de retorno dado multiplicándolos por la precipitación asociada a 2,33 años determinada inicialmente para cada puesto pluviométrico.

Se expone en Tabla 3 los valores extremos diarios regionalizados para cada posición de medición con los cuales se estudió en primera instancia la distribución superficial de esta variable en la parte de la provincia bajo estudio.

Tabla 3. Valores Regionalizados para 63 Estaciones de P_d vs. Tr para cada posición. P [mm].

	Tr [Años]							Tr [Años]					
	2	5	10	20	50	100		2	5	10	20	50	100
Id \ P/P2.33	0.939	1.198	1.370	1.534	1.747	1.907	Id \ P/P2.33	0.939	1.198	1.370	1.534	1.747	1.907
1	87.3	111.3	127.3	142.5	162.3	177.1	33	85.3	108.8	124.4	139.3	158.6	173.1
2	93.3	119.0	136.0	152.4	173.5	189.3	34	97.1	123.9	141.6	158.6	180.7	197.1

IV Taller de Regionalización de Precipitaciones Máximas

3	109.2	139.3	159.2	178.3	203.0	221.5	35	69.4	88.6	101.2	113.4	129.1	140.9
4	90.5	115.4	131.9	147.7	168.2	183.6	36	88.0	112.3	128.4	143.8	163.7	178.6
5	94.7	120.8	138.1	154.7	176.1	192.2	37	93.5	119.2	136.3	152.7	173.8	189.7
6	101.8	129.9	148.5	166.3	189.4	206.7	38	86.8	110.7	126.6	141.8	161.4	176.2
7	116.3	148.4	169.6	189.9	216.3	236.0	39	93.8	119.6	136.7	153.1	174.4	190.3
8	92.0	117.3	134.1	150.2	171.0	186.7	40	97.8	124.8	142.6	159.7	181.9	198.5
9	91.2	116.4	133.0	149.0	169.6	185.1	41	139.4	177.8	203.3	227.7	259.3	282.9
10	96.1	122.6	140.1	157.0	178.7	195.0	42	98.0	125.0	142.9	160.0	182.2	198.9
11	98.0	125.0	142.9	160.0	182.2	198.9	43	102.5	130.7	149.4	167.4	190.6	208.0
12	94.8	120.9	138.2	154.8	176.3	192.4	44	128.7	164.2	187.7	210.2	239.4	261.2
13	90.8	115.8	132.3	148.2	168.8	184.2	45	142.0	181.2	207.1	232.0	264.2	288.3
14	74.6	95.2	108.8	121.8	138.7	151.4	46	149.6	190.8	218.1	244.3	278.1	303.5
15	84.3	107.5	122.9	137.6	156.7	171.0	47	80.5	102.7	117.4	131.5	149.7	163.4
16	77.8	99.2	113.4	127.0	144.7	157.9	48	81.4	103.8	118.6	132.9	151.3	165.1
17	68.2	87.0	99.4	111.4	126.8	138.4	49	106.8	136.3	155.7	174.4	198.6	216.8
18	87.2	111.2	127.1	142.4	162.1	176.9	50	100.0	127.5	145.7	163.2	185.9	202.9
19	90.4	115.3	131.8	147.6	168.1	183.4	51	111.3	142.0	162.3	181.8	207.0	225.9
20	91.8	117.1	133.8	149.9	170.7	186.3	52	85.6	109.2	124.8	139.8	159.2	173.7
21	110.5	140.9	161.1	180.4	205.5	224.2	53	104.0	132.7	151.6	169.8	193.4	211.1
22	104.1	132.8	151.8	170.0	193.6	211.3	54	95.2	121.4	138.8	155.4	177.0	193.1
23	90.4	115.3	131.8	147.6	168.1	183.4	55	100.1	127.7	146.0	163.6	186.2	203.2
24	101.7	129.8	148.4	166.2	189.2	206.5	56	89.8	114.6	131.0	146.7	167.0	182.3
25	93.0	118.6	135.6	151.9	173.0	188.8	58	103.0	131.3	150.1	168.2	191.5	209.0
26	84.6	108.0	123.4	138.2	157.4	171.8	59	87.0	111.0	126.8	142.1	161.8	176.6
27	106.7	136.1	155.6	174.3	198.5	216.6	60	78.0	99.5	113.7	127.3	145.0	158.2
28	94.5	120.6	137.8	154.3	175.8	191.8	61	70.6	90.0	102.9	115.2	131.2	143.2
29	96.3	122.8	140.4	157.3	179.1	195.4	62	74.8	95.4	109.0	122.1	139.1	151.8
30	83.3	106.3	121.5	136.1	155.0	169.1	63	76.3	97.3	111.2	124.6	141.9	154.8
31	100.8	128.6	147.0	164.6	187.5	204.6	64	76.6	97.7	111.6	125.0	142.4	155.4
32	93.8	119.6	136.7	153.1	174.4	190.3							

Mapas de isohietas de lluvias máximas diarias

El cálculo de la grilla regular que permitió obtener las isolíneas que exponen la distribución de los valores extremos de precipitación diaria asociados a distintos tiempos de retorno se realizó utilizando el algoritmo de Kriging. En una primera instancia con los valores expuestos en Tabla 3

se determinó una grilla cuadrada utilizando el algoritmo de Kriging con un modelo de variograma lineal y sin suavizar los efectos pepita y sin deriva. Se muestra en la Figura 5 las isoyetas obtenidas de esta manera para un tiempo de retorno de 10 años.

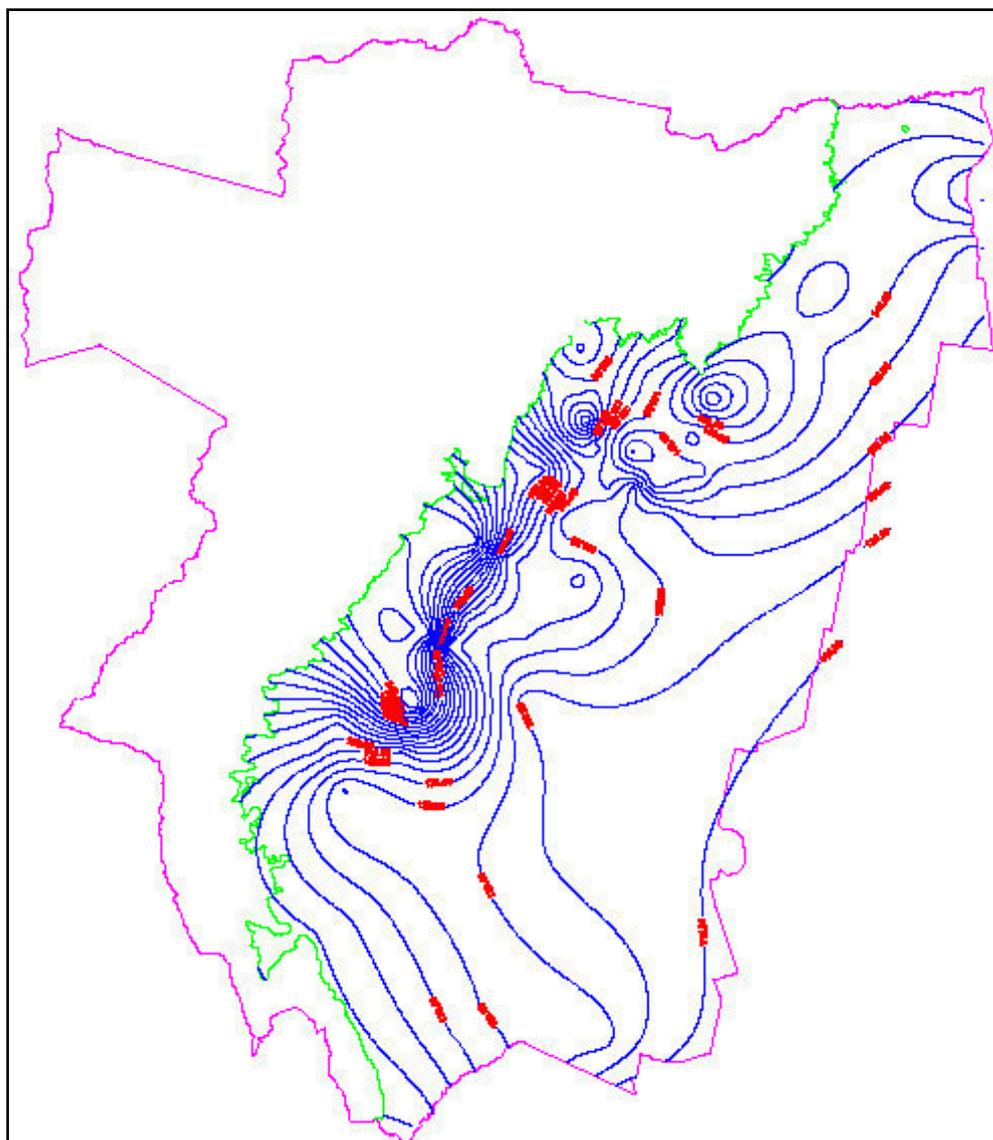


Figura 5. Isoyetas de Extremos Diarios para $Tr=10$ años con 64 puestos sin suavizar.

Se puede observar en la Figura 5 que tiene gran cantidad de picos y valles que resultan anómalos con respecto a la tendencia general ya que no responden a un efecto orográfico pues en la zona en la que se presentan no se tiene cambios atípicos importantes en la altura del terreno. Los valores de la muestra para el Kriging que le dan origen no se pueden discutir estadísticamente si se los analiza en forma aislada ya que fueron validados. Si se los compara con los valores cercanos que los rodean se observa que se apartan ostensiblemente de éstos. En razón de ello se hizo un raleo de los valores dados en las posiciones que determinaban las anomalías más destacadas en un procesos gradual a prueba y error lo cual llevó a trabajar finalmente con 44 puestos. Se expone en Tabla 4 los valores extremos diarios regionalizados correspondientes a estas 44 series anuales y se expone en la Figura 6 el efecto de esta tarea en el mapa de isoyetas.

Tabla 4. Valores Regionalizados para 44 Estaciones de P_d vs. Tr para cada posición. P [mm].

	Tr [Años]							Tr [Años]					
	2	5	10	20	50	100		2	5	10	20	50	100
Id \ P/P2.33	0.930	1.183	1.350	1.511	1.719	1.874	Id \ P/P2.33	0.930	1.183	1.350	1.511	1.719	1.874
1	86.4	109.9	125.4	140.3	159.7	174.1	41	138.0	175.5	200.4	224.2	255.0	278.2
2	92.3	117.4	134.1	150.0	170.7	186.1	42	97.0	123.3	140.8	157.6	179.3	195.5
3	89.5	113.9	130.0	145.5	165.5	180.5	43	101.4	129.0	147.3	164.8	187.5	204.5
6	100.8	128.2	146.3	163.8	186.3	203.2	44	127.4	162.0	185.0	207.0	235.5	256.8
7	115.1	146.4	167.1	187.0	212.8	232.1	45	140.6	178.8	204.1	228.4	259.9	283.4
8	91.0	115.8	132.2	147.9	168.3	183.5	48	80.5	102.4	116.9	130.8	148.8	162.3
12	93.8	119.3	136.2	152.4	173.4	189.1	49	105.7	134.5	153.5	171.8	195.4	213.1
13	89.8	114.2	130.4	145.9	166.0	181.1	50	110.2	140.1	160.0	179.0	203.7	222.1
19	89.4	113.8	129.9	145.3	165.3	180.3	51	98.9	125.8	143.6	160.7	182.9	199.4
21	109.3	139.1	158.8	177.7	202.1	220.4	52	97.1	123.5	140.9	157.7	179.4	195.7
22	103.0	131.0	149.6	167.4	190.4	207.7	53	99.1	126.1	143.9	161.0	183.2	199.8
23	89.4	113.8	129.9	145.3	165.3	180.3	54	102.9	130.9	149.5	167.2	190.3	207.5
26	83.8	106.6	121.6	136.1	154.8	168.9	55	94.2	119.8	136.8	153.0	174.1	189.9
28	93.5	119.0	135.8	152.0	172.9	188.6	56	88.9	113.1	129.1	144.4	164.3	179.2
32	92.8	118.0	134.7	150.8	171.5	187.1	58	101.9	129.6	148.0	165.6	188.4	205.4
33	84.4	107.4	122.6	137.2	156.1	170.2	59	86.1	109.5	125.0	139.9	159.1	173.6
35	68.7	87.4	99.8	111.6	127.0	138.5	60	77.2	98.2	112.1	125.4	142.6	155.6
36	87.1	110.8	126.5	141.6	161.0	175.6	61	69.8	88.8	101.4	113.5	129.1	140.8
37	92.5	117.7	134.3	150.3	171.0	186.5	62	74.0	94.1	107.5	120.3	136.8	149.2
38	85.9	109.3	124.7	139.6	158.8	173.2	63	75.5	96.0	109.6	122.7	139.6	152.2
39	92.8	118.0	134.7	150.8	171.5	187.1	64	75.8	96.4	110.0	123.1	140.1	152.8
40	96.8	123.1	140.5	157.3	178.9	195.1							

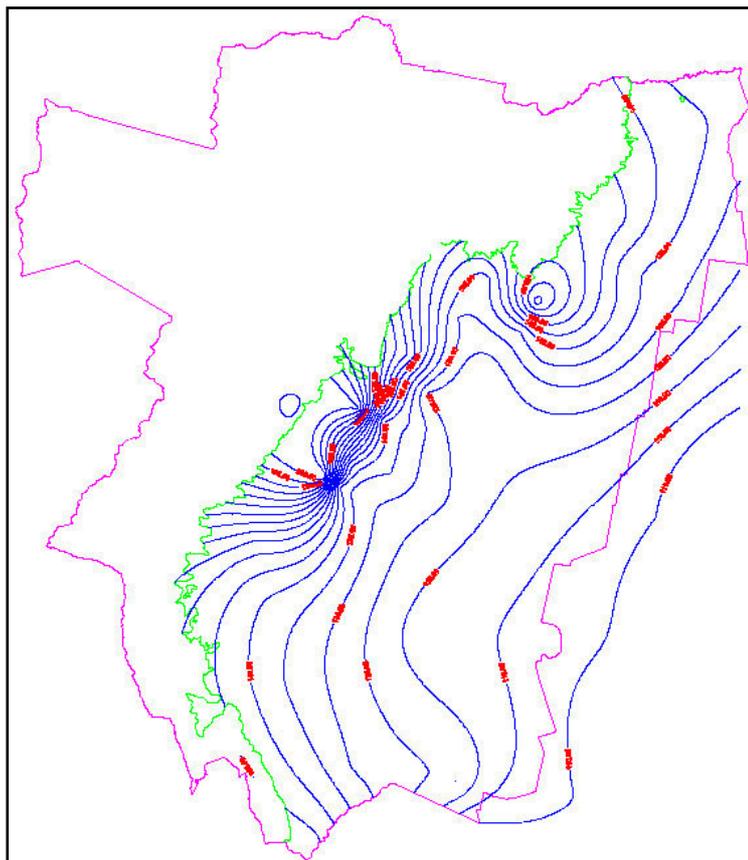


Figura 6. Isoyetas de Extremos Diarios para $Tr=10$ años con 43 puestos

Realizada esta tarea el mapa de isoyetas resultante presenta trayectorias en las isolíneas que se apartan por tramos de la tendencia general sin un justificativo físico evidente. Ello llevó a la necesidad de buscar un trazado que siga en forma más regular la tendencia, para lo cual se utilizó las opciones en el algoritmo de cálculo de la grilla de suavizado de pepitas, (nugget), y a la deriva externa. Se expone en la Figura 7 el mapa de isoyetas que se adoptó como producto final de la tarea descrita. Si bien el grillado así obtenido tiene menos exactitud matemática con respecto a los valores muestrales se gana con esta opción una mejor descripción de la tendencia general. Para una misma posición entre los mapas de Figuras 7 y 6 se tiene diferencias que no exceden el 7%. El mapa de Figura 7 tiene en los sectores del oeste donde se presentan los valores más altos máximos diarios inferiores a los de la Figura 6. En los sectores del este con los valores más bajos las diferencias son exiguas.

En cuanto a la traza de las isoyetas en general acompañan el ascenso del terreno coincidiendo con la tendencia marcada por las curvas de nivel. En cuanto a la tendencia de las isoyetas de media anual en la parte central y norte de la zona analizada hay también coincidencia. No sucede así en el sector sudoeste del área bajo estudio donde las isoyetas de medias anuales dan valores que casi duplican los de la parte centro-oeste. Las isoyetas de Figura 7 no muestran en dicho sector este incremento. Las isoyetas de medias anuales muestran los máximos en la cuenca alta de los ríos Medinas, Gastona y Seco cuando las isoyetas de extremos diarios expuestas en Figura 7 muestran los mayores valores bastante más al norte en las cuencas altas de los ríos Famaillá, Colorado y Lules. Los valores que se tiene en esta zona sudoeste están fundamentalmente determinados por los registros del puesto pluviométrico "Cochuna" el cual tiene información de

buena calidad. Se debe destacar que las posiciones de medición con períodos coincidentes en la zona sur de la provincia son escasas.

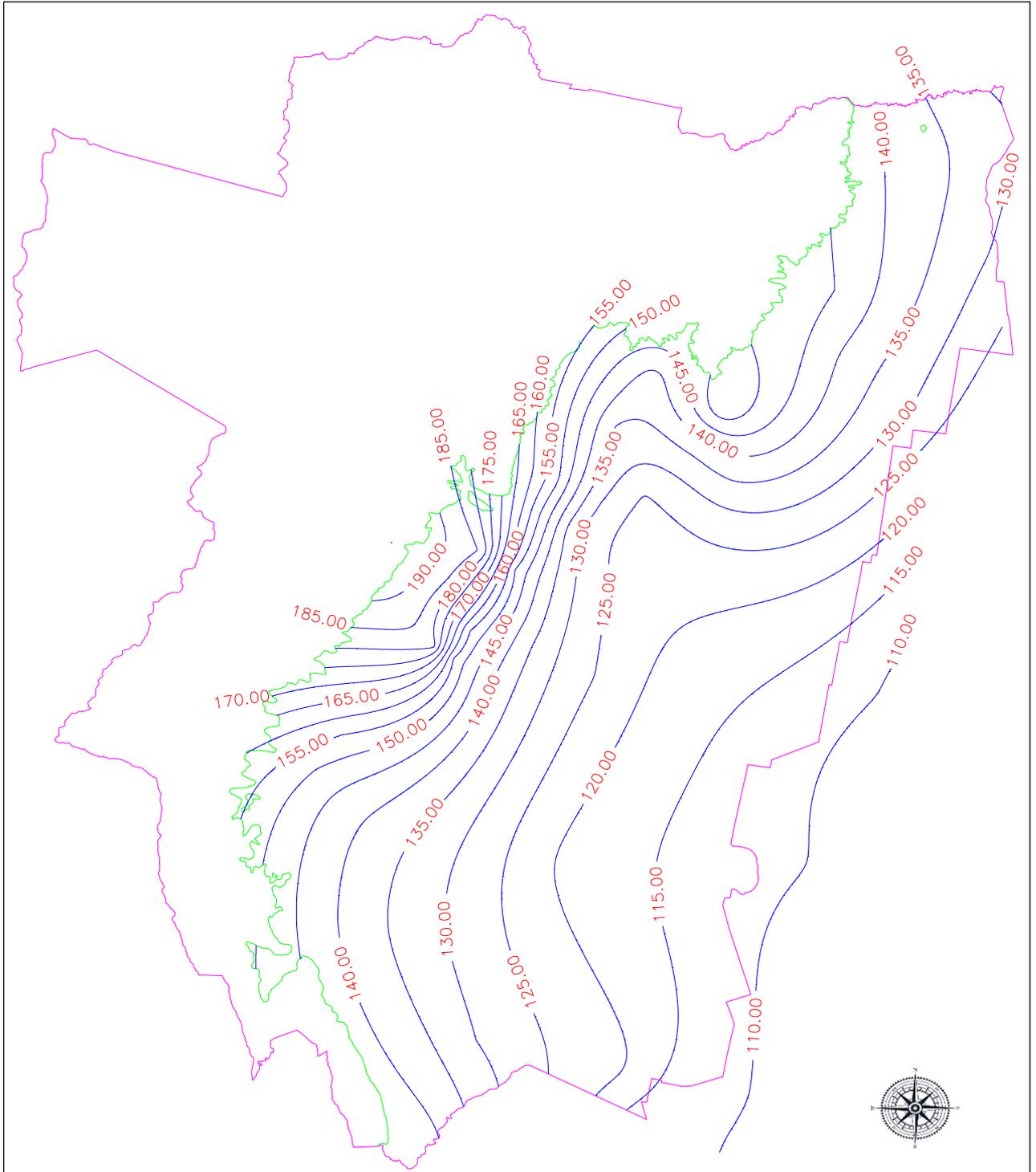


Figura 7. Mapa de isoyetas de extremos diarios para $T_r=10$ años.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Es válido estudiar la regionalización de extremos diarios de precipitación en una sola región al este de la cota 700msnm y hasta los límites provinciales norte, este y sur con lo cual se cubre una superficie cercana al 50% de la superficie total de la provincia. Esto permitirá validar a futuro la transposición dentro de esta región de la relación I-D-R desarrollada con datos de la EEAOOC de El Colmenar en el Gran S.M. de Tucumán.
- Existe un marcado gradiente de aumento de los extremos diarios con dirección preponderante sudeste-noroeste el cual se acentúa a medida que se acerca al pedemonte. Ello muestra que existe una importante influencia orográfica lo cual induce a pensar que el aumento de los valores extremos continúan hacia el oeste de la cota 700msnm. Queda la incertidumbre sobre hasta qué altura se mantiene esta tendencia y con qué gradiente.
- Si bien la superficie cubierta por la regionalización corresponde a una parte importante de la que recibe las más altas precipitaciones diarias de la provincia no se pudo cubrir con este trabajo la distribución de los extremos diarios en la vertiente oriental de la zona de montaña tucumana, donde tienen origen una parte importante de los excedentes pluviales que producen crecidas en la red hidrográfica. Esto tiene origen en la falta de registros en altura lo cual llevara a la necesidad de recurrir a procedimientos de análisis distintos al utilizado para este trabajo que permitan inferir los extremos diarios de esta zona.
- El área Tapia-Trancas cuenta con información pluviométrica que podrá ser estudiada con una metodología igual o similar a la planteada para este estudio. Con ello se podrá analizar cuál es la relación I-D-R que corresponde utilizar para transposición en el área.
- Los valles intermontanos del oeste provincial carecen de registros pluviométricos. Solo en el valle de Tafí se cuenta con algo de información que deberá ser estudiada para plantear una metodología adecuada.
- El análisis de los datos recopilados y la gran cantidad de estaciones que se ha tenido que descartar para el estudio muestra la falta de calidad en los datos existentes. La riqueza de datos con que inicialmente en apariencias se contaba no ha sido tal.
- Los períodos comunes de registros de los conjuntos de puestos pluviométricos con buena cobertura superficial no presentan longitudes de serie importantes Ello llevó a trabajar con una ventana temporal de 15 años, lo cual se consideró aceptable a los efectos de la regionalización que permitió conocer la tendencia general de variación de los extremos diarios. En tal sentido será necesario verificar si respetando esta tendencia los valores asignados para cada posición no deben ser ajustados estudiando series de otras ventanas de tiempo con las tendencias que pudieran tener.
- Como corolario del presente trabajo se encuentra en desarrollo una herramienta informática que permitirá obtener los extremos de precipitación diaria asociados a una coordenada geográfica y un tiempo de retorno.

BIBLIOGRAFIA.

Caamaño Nelli, G. y Dasso C. M. (2003) *“Lluvias de Diseño. Conceptos, Técnicas y Experiencias”*. Editorial Científica Universitaria. Córdoba. Argentina.

Chow, V. T.; D. R. Maidment y L. W. Mays (1994) Hidrología aplicada. McGraw-Hill Interamericana S.A. Santafé de Bogotá, Colombia.

Zamanillo, E.; Larenze, G; Tito, M. J.; Pérez, M; Garat M. E. (2008) *“Tormentas de Diseño para la Provincia de Entre Ríos”*. Universidad Tecnológica Nacional. Facultad Regional Concordia

Olmos, Luis 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 Tecnología. Universidad Nacional de Santiago del Estero.

Catalini, C.; Maidah, A; García, C. M.; Caamaño Nelli, G. (2010) *“Mapas digitales de isohietas de lluvias máximas diarias para la provincia de Córdoba”*. I Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras. Azul, Buenos Aires, Argentina.

Maidah, A; Dasso C. M.; Caamaño Nelli, G.; García, C. M.; (2010) *“Regionalización de Parámetros de un Modelo para Predicción de Lluvias Máximas”*. I Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras. Azul, Buenos Aires, Argentina.

Ganancias Martínez, F. M. (2010) *“Evaluación de Metodologías de Regionalización Hidrológica: Aplicación a los Caudales Máximos de Cuencas Representativas de la Región Sur-Oest de la Provincia de Córdoba”*. Tesis de Maestría. Maestría en Ciencias de La Ingeniería. Mención en Recursos Hídricos. Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales.

Minetti, J. L. (2009) *“El Clima del Noroeste Argentino”*. Laboratorio Climatológico Sudamericano. Fundación Caldenius. Editorial Magna.

Aceñolaza, F. G.; Toselli, A. J.; Bossi, G. E. (1984) *“Geología de Tucumán”*. Colegio de Gradiados de Ciencias Geológicas Tucumán. Argentina.

Lazarte Sfer, R. R (1998). *“Distribución Temporal de Diseño para Tormentas de San Miguel de Tucumán”* – XVII Congreso Nacional de Agua, Santa Fe. Argentina.

Paz, H. R. (1994) *“Determinación de la Relación Intensidad-Duración-Recurrencia para San Miguel de Tucumán”*. Municipalidad de S. M. de Tucumán. Tucumán. Argentina. 1994.

Adler, F.J., Paz, H.R., Lazarte, R.R. (2005) *“Atlas de Lluvias Intensas en el Área del Gran S.M. de Tucumán - Argentina”*. Memorias del XX Congreso Nacional del Agua. Mendoza. Argentina 2005

Fernandez, P. C.; S. Fattorelli; S. Rodriguez y L. Fornero (1999) *“Regional Analysis of Convective Storm ”*. Journal of Hydraulics Division. Amer. Society of Civil Engineering. pp. 217-325. October. Vol 4 NO.4. ISSN 1084-0699.

García, C. M.; C. G. Catalini y G. Caamaño Nelli (2000) “Distribución Espacial de la lluvia de diseño en una cuenca de montaña”. Memorias del XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Córdoba 2000, pp 309-318. Córdoba , R.A.

Lazarte Sfer, R. R. (2001). “*Distribución Superficial de Lluvias Intensas en Áreas Reducidas*”. Memorias de III Jornadas de Saneamiento Pluvial Urbano. Rosario Argentina. Sept. 2001.

Lazarte Sfer, R. R.; Paz H. R. (2005). “*Actualización de la Relación I-D-R De Precipitaciones para La Ciudad de S. M. De Tucumán – Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres*”. Memorias del XX Congreso Nacional del Agua. Mendoza. Argentina 2005

Lazarte Sfer, R. R.; Paz H. R. (2005). “*Variabilidad de Extremos de Precipitación Puntual por Efectos Orográficos en El Gran S. M. De Tucumán*”. Memorias del XXIV Congreso Nacional del Agua. San Juan. Argentina 2013.

AVANCES EN LA ESTIMACIÓN DE LA RELACIÓN IDT EN TUCUMÁN

Flavia Bazzano^{1, 2} y Gabriel Caamaño Nelli²

¹Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología. Laboratorio de Construcciones Hidráulicas. Universidad Nacional de Tucumán. Av. Independencia 1800, Tucumán, Argentina.

²Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina
Mail de contacto:flaviabazzano@gmail.com

RESUMEN

El caudal de proyecto, para dimensionar obras hidráulicas y aquellas emplazadas en zonas ribereñas, sólo se puede valorar estadísticamente, por el carácter hipotético de su ocurrencia futura. Dado que no se dispone en la mayor parte del mundo de una serie extensa de registros históricos de la variable, se recurre a la definición de una lluvia de diseño, para derivar de ella, el correspondiente caudal mediante un modelo de transformación.

La predicción de esa lluvia de diseño es estadística también y, por igual razón, requiere una serie histórica de mediciones de precipitación de alta frecuencia para su determinación. El vínculo existente entre la intensidad media máxima esperable, la duración y la recurrencia queda definido mediante una función i-d-t, la cual caracteriza a dicha lluvia de diseño, junto con otros componentes.

Actualmente se cuenta en San Miguel de Tucumán con una función i-d-T actualizada en el año 2005. La misma fue deducida con valores extraídos de una curva anterior, cuyos datos de origen (1946 a 1972) se encuentran extraviados, sumados a 21 años de pluviografía (1972-1993) provenientes de la Estación experimental Agroindustrial Obispo Colombes.

Se define en el presente trabajo una nueva relación i-d-t para las lluvias máximas de la ciudad de San Miguel de Tucumán, que representa un paso inicial en la búsqueda de definir esta función en el resto del territorio provincial, mediante transposición. La misma está basada en la serie pluviográfica 1972-1993, ampliada con datos generados en la misma estación por dos pluviómetros automáticos de alta frecuencia: el primero opera desde el año 1998 y el segundo a partir del año 2006 con una discretización temporal de 30 y 15 minutos respectivamente.

Para definir la relación se utiliza el modelo DIT (Caamaño Nelli, García, 1999), conveniente por su sustento conceptual, expresión analítica continua y porque permite transponer la función i-d-t de forma sencilla, a estaciones pluviométricas que se constata pertenecen a la misma zona hidrometeorológica. La aplicación del modelo requiere, en su versión original, la representación de las series de máximos anuales mediante la función de distribución de probabilidad Lognormal, cuestión que se verifica previamente. El modelo cuenta en principio con 4 parámetros, aunque estudios recientes (Caamaño Nelli et al, 2012) sugieren la posibilidad de eliminar uno sin afectar la representatividad, en aras de la parsimonia, lo cual también se analiza en este trabajo.

INTRODUCCIÓN

Las obras hidráulicas y aquellas emplazadas en zonas ribereñas, así como los planes de uso de estas áreas, deben ser dimensionadas de modo que soporten, sin fallar, el mayor caudal previsible para determinados períodos de años venideros. Tal caudal de proyecto, por su hipotética ocurrencia futura, sólo se puede valorar estadísticamente, lo cual supone disponer de una serie extensa de registros históricos de la variable.

Esta presunción, empero, no es real en la mayor parte del mundo, obligando a recorrer un camino indirecto: evaluar la mayor lluvia en dicho período y derivar de ella el correspondiente caudal mediante un modelo de transformación. La predicción de esa lluvia de diseño es estadística también y, por igual razón, requiere una serie histórica de mediciones precipitación de alta frecuencia para su determinación. El vínculo existente entre la intensidad media máxima esperable, la duración y la recurrencia queda definido mediante una función i-d-t, la cual caracteriza a dicha lluvia de diseño, junto con otros componentes.

Actualmente se cuenta en la zona con una función i-d-T actualizada por (Paz, Lazarte, 2005). La misma fue deducida con valores extraídos de una curva anterior, cuyos datos de origen (1946 a 1972) se encuentran extraviados, sumados a 21 años de pluviografía (1972-1993) provenientes de la Estación experimental Agroindustrial Obispo Colombes (EEAOC).

El objetivo del presente trabajo es encontrar una nueva relación i-d-t para las lluvias máximas de la ciudad de San Miguel de Tucumán, como paso inicial en la búsqueda de definir esta función en el resto del territorio provincial, mediante transposición. La misma estará basada en la serie pluviográfica 1972-1993, ampliada con los datos provistos por estaciones automáticas de alta frecuencia que operan desde el año 1998, lo que extendería la serie en 15 años, si se verifica homogeneidad entre ambos períodos.

Para definir la relación se utiliza el modelo DIT (Caamaño Nelli, García, 1999) conveniente por su sustento conceptual, expresión analítica continua y porque permite transponer la función i-d-t de forma sencilla, a estaciones pluviométricas que se constata pertenecen a la misma zona hidrometeorológica. El modelo cuenta en principio con 4 parámetros, aunque estudios recientes (Caamaño Nelli et al, 2012) sugieren la posibilidad de eliminar uno sin afectar la representatividad, en aras de la parsimonia.

La facilidad de adaptarse condiciones locales mediante transposición, adquiere gran importancia en el presente sistema experimental debido a la escasez de registros pluviográficos en la provincia que posibiliten determinar la curva i-d-t en otros puntos de la región.

SISTEMA EXPERIMENTAL

La ciudad de San Miguel de Tucumán se ubica en un área de transición de tres grandes unidades geológicas del norte argentino: las sierras pampeanas (Sierras de San Javier) al oeste, las sierras subandinas (Sierras de Medina y de La Ramada) al norte y la gran llanura chaco-pampeana al este (Llanura Tucumana) (Pereyra, Tchilinguirian, 2008). Emplazada sobre un plano inclinado con pendiente principal noroeste-sudeste, sufre desde el cauce del río Salí, al este, hasta el pie de la Sierra de San Javier, al oeste, una variación de aproximadamente 300 m de cota. La región ocupa una posición mediterránea, donde los factores geográficos más influyentes son la distancia al océano atlántico (continentalidad) y el aislamiento con respecto al océano pacífico, impuesto por la barrera orográfica de la cordillera de los andes. Los sistemas orográficos de la provincia, localizados en el sector occidental, permiten la formación de la importante cuenca hidrográfica del Salí – Dulce, recibiendo importantes afluentes desde el Oeste y atravesando luego la llanura tucumana, de bajas pendientes y cubierta por una densa red de ríos y arroyos, que genera áreas de inundación permanentes o temporarias.

El clima de San Miguel de Tucumán es subtropical con estación seca en invierno y un concentrado régimen de lluvias durante el período estival. De acuerdo a Minetti (2005), existen diversos factores que poseen influencia en las características climáticas del Gran San Miguel de Tucumán, entre los factores determinantes, se menciona la depresión continental (BC) la cual tiene una gran importancia en los procesos de transporte convergencia de humedad hacia el continente y la generación de precipitaciones en el NOA, mientras que otros factores de gran importancia regional son el calentamiento continental, la barrera orográfica impuesta por el relieve serrano occidental y el régimen estacional de presión atmosférica y precipitaciones. La precipitación anual en la zona de estudio, frecuentemente supera los 1000 mm anuales, y en cuanto a la temperatura, se registran los mayores valores durante el mes de enero oscilando la temperatura media entre 31°C y 23°C y los menores valores en el mes de julio donde la temperatura media se encuentra entre los 19°C a 8°C.

INFORMACIÓN DISPONIBLE

Para la estimación de los componentes de una lluvia de diseño, se debe contar con una serie histórica de precipitación dada por el registro continuo de un pluviógrafo o pluviómetro de alta frecuencia de medición (PAF).

En la provincia de Tucumán se cuenta con mediciones realizadas por la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). La EEAOC es un ente autárquico que forma parte del ministerio de desarrollo productivo de la provincia. Se encuentra ubicada en el barrio El Colmenar al norte de la ciudad de San Miguel de Tucumán, donde su altura sobre el nivel del mar es de 482,0 m y cuyas coordenadas geográficas son 26°47'14" de latitud Sur y 65°11'44" de longitud Oeste.

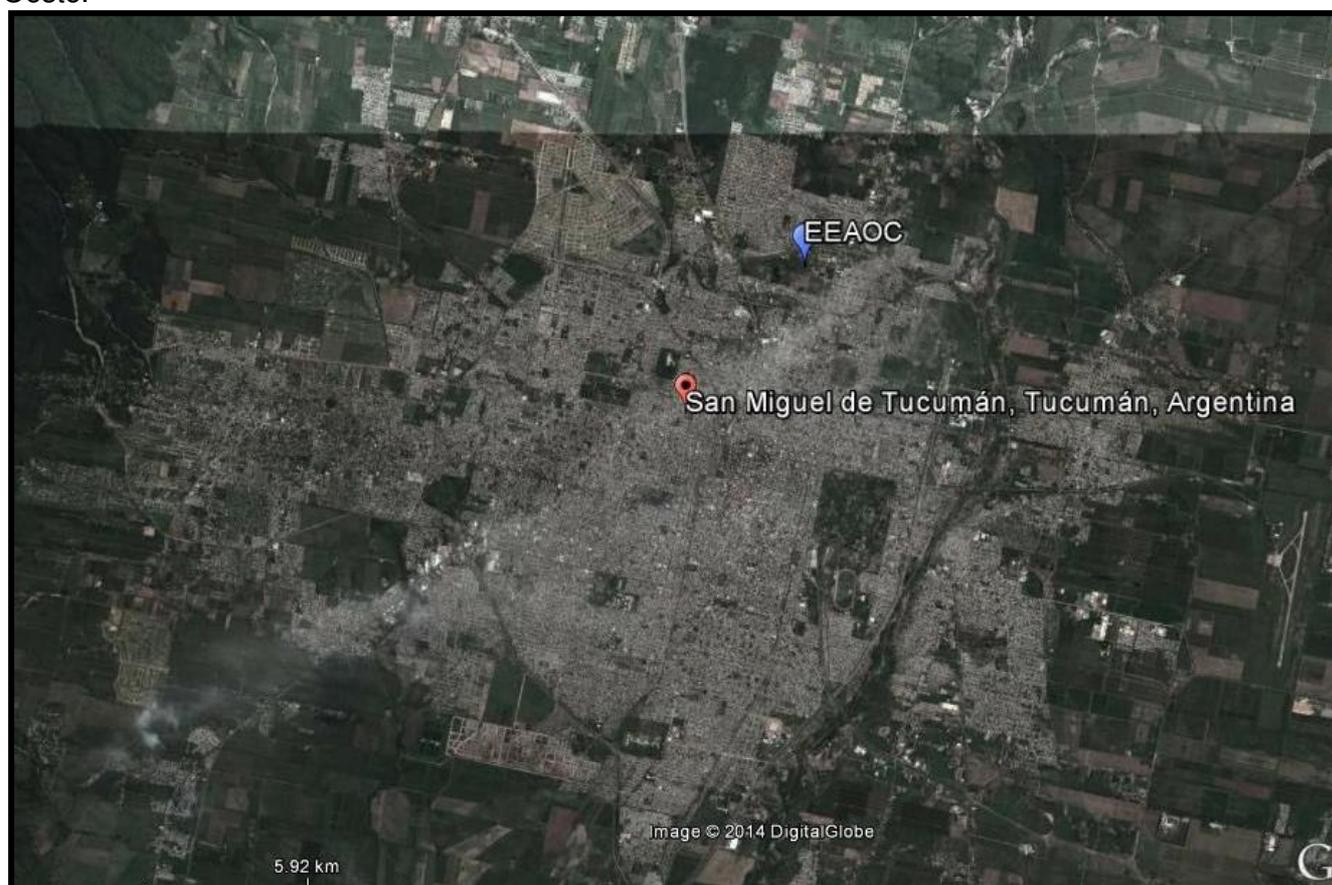


Fig.1. Estación Experimental Obispo Colombres en San Miguel de Tucumán.

Con el objetivo de aportar información útil para los sectores productivos, organismos oficiales, de investigación y empresas se realizan en el predio mediciones de diversas variables climáticas (altura de precipitación, radiación solar, temperatura, velocidad del viento, humedad del suelo, humedad del ambiente, evaporación, entre otras) mediante aparatos colocados en la estación agrometeorológica.

Para la medición total diaria de precipitaciones se cuenta con un pluviómetro totalizador diario con el que se mide la altura de precipitación diariamente a las 9 de la mañana. En lo sucesivo se denomina a este dispositivo como "pluviómetro".

Además se cuenta con dos pluviómetros de alta frecuencia (PAF) marca Davis que miden la precipitación mediante un sistema de cangilones enviando señales a una estación donde se registran pulsos al producirse los vuelcos.

El primero de ellos es modelo Grow Weather (PAF G) y graba las señales mencionadas con un intervalo de 30 minutos. El pluviómetro ha comenzado a funcionar en el marzo de 1998 y continúa en funcionamiento en la actualidad.

En el año 2006 se añade el segundo aparato, modelo Vantage (PAF V), que registra con una discretización de 15 minutos.

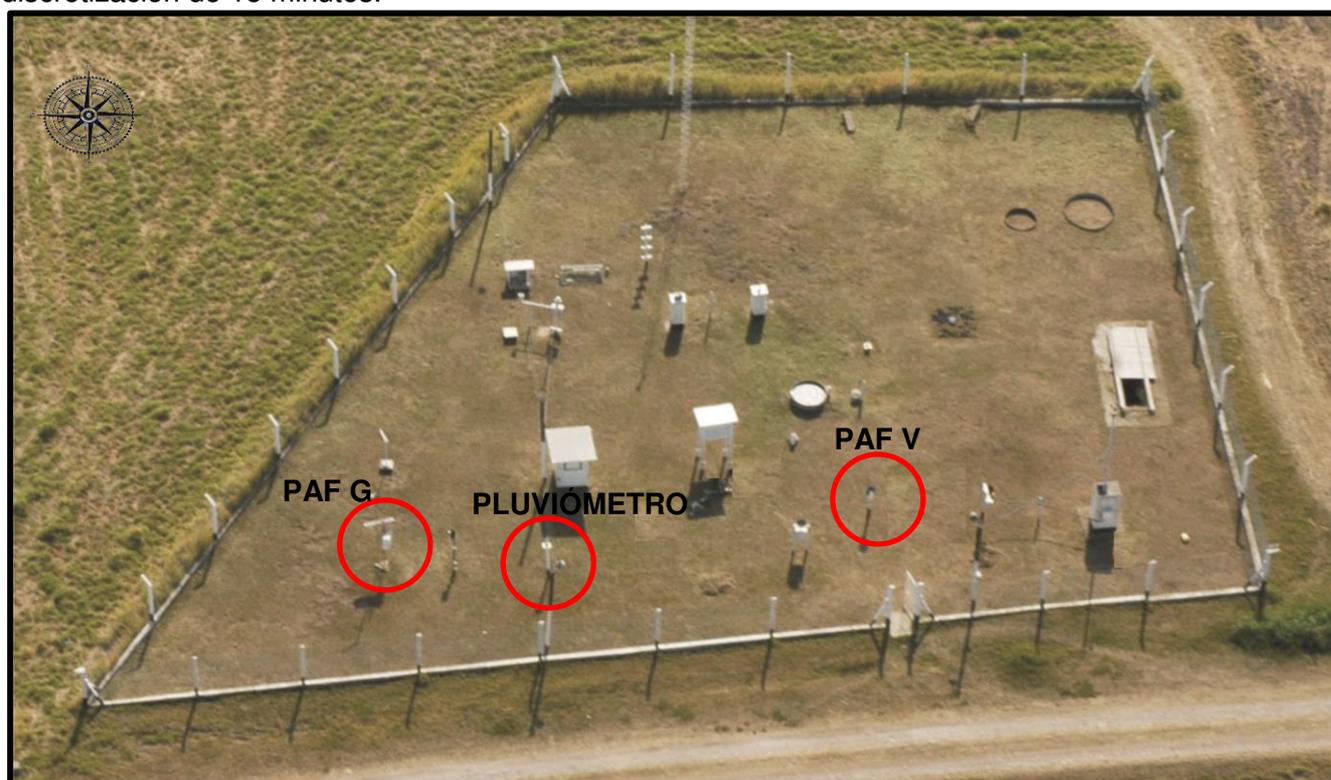


Fig 2. Estación agrometeorológica central: ubicación del instrumental de la EEAOC. Fuente EEAOC.

Para definir la función intensidad-duración-recurrencia en base a registros del pasado, con el objetivo de predecir la magnitud de lluvias futuras, se requiere utilizar series temporales de precipitación que cuenten con una longitud suficiente para poder caracterizar estadísticamente las lluvias máximas ocurridas. Interesa aprovechar toda la información disponible para llegar a un mejor resultado, por lo que se adiciona a las series mencionadas datos previos generados con un pluviógrafo a sifón cuyo un registro comienza en el año 1972 y se interrumpe en el año 1993. El pluviógrafo generaba bandas diarias y semanales de medición de precipitación, que fueron procesadas para ser utilizados en trabajos previos, tales como la actualización de la curva IDT de

San Miguel de Tucumán (Paz, Lazarte, 2005). Según se explica en dicho trabajo, se obtuvo la lámina precipitada intervalos de tiempo de 5 minutos a partir de la digitalización de las fajas pluviográficas mediante un programa computacional.

El análisis fue realizado basado en años hidrológicos, que en la provincia de Tucumán comienzan el primero de septiembre y finaliza el 31 de agosto del siguiente año. En lo sucesivo se menciona a cada año hidrológico por el segundo año que lo conforma, a saber, si un año comienza el 1 de septiembre de 1974 y finaliza el 31 de agosto de 1975, se lo denominará 1975.

Se resumen en la tabla a continuación las series de datos generadas por los aparatos de medición descriptos con su respectiva discretización y período de registro.

Tabla 1. Aparatos de medición de altura de lámina

FUENTE	PERÍODO DE REGISTRO	LONG. DE SERIE	DISCRET.
Pluviógrafo	1973 - 1993	21 años	5 min.
PAF G	1998 - 2013	15 años	30 min.
PAF V	2006 - 2013	7 años	15 min.
Pluviómetro	1972 - 2013	Más de 80 años	1 día

Elección de las serie de precipitación

Los eventos considerados para análisis son los intervalos de máxima intensidad anual (IMA), cuyas duraciones se definen en función de antecedentes de trabajos similares y según la aplicación futura que tendrá la herramienta desarrollada. Las duraciones planteadas para el estudio fueron inicialmente diez: 5, 10, 15, 30, 60, 120, 180, 360, 720 y 1440.

Para determinar los IMA según cada duración, se recorre las series de datos continuos y de alta frecuencia, mediante lapsos móviles de duraciones fijadas. Se calcula para cada año hidrológico las máximas intensidades medias registradas para cada duración analizada, dividiendo las alturas de láminas en milímetros por su correspondiente duración en horas.

Se determina, en primera instancia, que la serie registrada con el pluviógrafo es demasiado corta por sí sola (21 años de registro), para llevar a cabo el objetivo buscado. Afortunadamente, se cuenta con los datos provenientes de los PAF, que cuentan con una discretización mínima de 15 minutos y en consecuencia no aportan información sobre las intensidades para duraciones de 5 y 10 minutos, por lo que se excluyen ambas series (registradas con el pluviógrafo) del análisis. La duración 15 minutos puede ser incorporada, al anexarle a la serie obtenida mediante registro continuo, los 7 años de mediciones del PAF V. El resto de las duraciones presentan información generada por el PAF G con 15 años de registros y los 7 años mencionados para el PAF V.

De esta forma, se cuenta con mediciones simultáneas realizadas con los dos PAF cuyos registros debieran ser equivalentes por encontrarse en condiciones experimentales similares. Sin embargo, se presentan diferencias en los datos según su fuente, lo que deriva en la necesidad de escoger la serie que será utilizada. Se requiere verificar cuál de estas mediciones es mejor, siendo más próxima a la información que se considera más confiable por la simplicidad de su mecanismo de medición: las realizadas con el pluviómetro.

La comparación podría realizarse en términos de precipitación máxima diaria anual, ya que son los valores máximos de precipitación los que interesa estudiar. Sin embargo, este procedimiento introduce un error, producido por el truncamiento de aquellas precipitaciones ocurridas durante en el momento en que se registra manualmente con el pluviómetro (nueve de la mañana). Es por ello que se decide basar la comparación en las precipitaciones totales ocurridas en un año hidrológico, lo cual elimina el problema mencionado y permite evaluar la relación existente entre las series de datos

de los PAF y el pluviómetro, considerando que las diferencias existentes se deben a un error sistemático del aparato, que se mantendría constante a lo largo de todo el registro.

La correlación de las series de precipitación total anual (PTA) se realiza mediante regresión lineal, forzando a cero la ordenada al origen de forma de facilitar la comparación. Esto se hace al constatar que ambos aparatos funcionan correctamente y registran precipitación nula los días que no llueve.

Se descartan aquellos años que existen faltantes de datos de alguno de los aparatos, ya que la práctica habitual es rellenar con datos procedentes del pluviómetro contiguo perteneciente a la misma estación meteorológica, lo cual alteraría el resultado de la correlación. Es así como el año 2007 fue descartado a los fines de esta comparación, por haber cuatro meses faltantes en el pluviómetro PAFG.

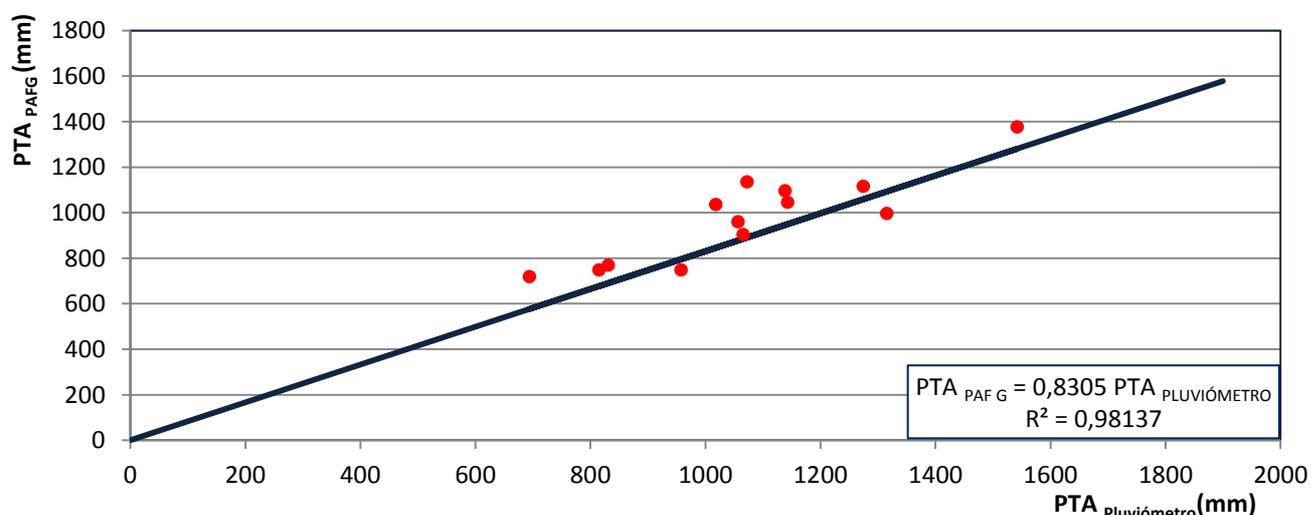


Fig. 3. Correlación de series de precipitación total anual registradas con el pluviómetro y el PAF G (Período 1999- 2006/2008-2012)

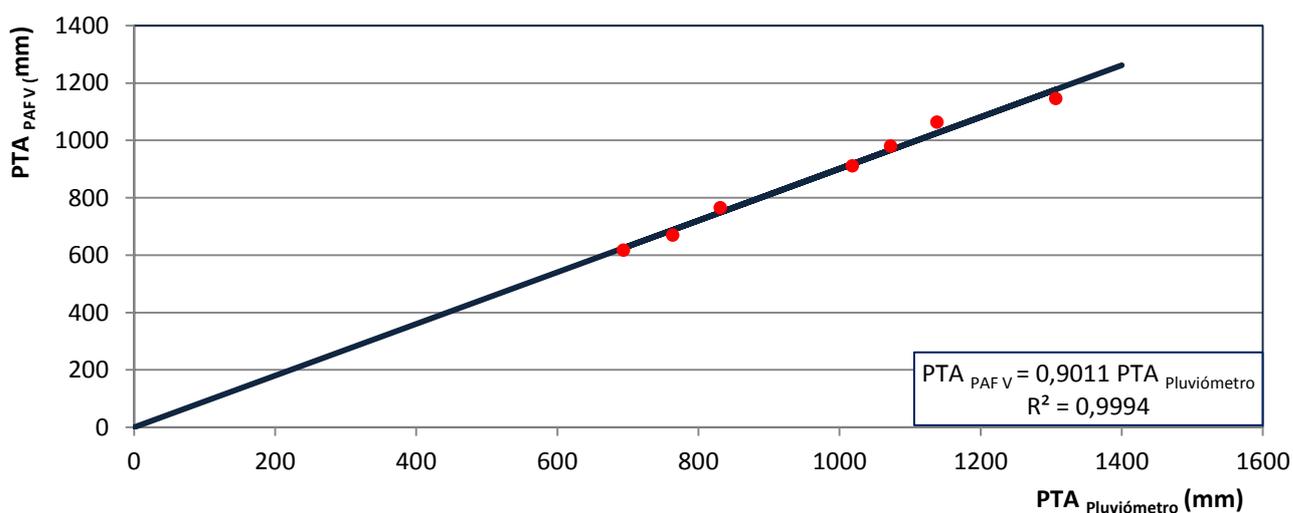


Fig. 4. Correlación de series de precipitación total anual registradas con el pluviómetro y el PAF V (Período 2007 - 2013)

La primera observación de los gráficos, evidencia que las mediciones de ambos PAF no son equivalentes a las registradas por el pluviómetro. Sin embargo, se observa una fuerte correlación en ambos casos, manifestada por un coeficiente de regresión R^2 con valores superiores a 0,98. Se observa que el registro del PAFV tiene mayor correspondencia con el pluviómetro que el PAF

G, ya que la pendiente de la recta de regresión es más cercana a 1 (valor que obtendría en caso de ser mediciones iguales) y su coeficiente R^2 tiene a su vez un valor mayor, indicando mejor correlación.

Ante estos resultados, se propone la utilización de una serie que combina los datos registrados con el pluviógrafo en el período 1973 - 1993, con los medidos con el PAF G en el período 1999 - 2006 y los registros del PAFV en el período que existe simultaneidad de mediciones entre los dos aparatos automáticos (período 2007 - 2013), de esta forma se posibilita la incorporación de la duración 15 minutos al análisis, al prolongar en 7 años los registros pluviográficos que eran demasiado cortos por sí solos.

METODOLOGÍA

Con el objetivo de garantizar la calidad de la información disponible y de disminuir la incertidumbre asociada a los datos, se procedió a realizar sobre las series disponibles las siguientes verificaciones:

- Prueba de datos atípicos: Se identifica dentro de cada serie analizada, aquellos datos que se alejan significativamente de la información restante. La importancia de la prueba radica en que la retención o eliminación de los datos dudosos, puede afectar significativamente la magnitud de los parámetros estadísticos calculados, especialmente si las muestras son pequeñas. Se aplica en este trabajo la metodología propuesta por (Chow, 1994).
- Prueba de independencia (Wald-Wolfowitz): permite verificar la existencia de una autocorrelación significativa de primer orden entre las observaciones. Contrasta si dos muestras con datos independientes proceden de poblaciones de la misma distribución.
- Prueba de estacionalidad (Kendall): permite verificar si existe una tendencia importante en la serie.
- Prueba de homogeneidad a escala anual (Wilcoxon): permite comprobar si el promedio de un primer subconjunto de la muestra difiere significativamente del promedio de un segundo subconjunto de la muestra. El primer subgrupo se compone de las observaciones que comienzan con el primer año y terminan con un año de corte. El segundo subgrupo está integrado a partir del año siguiente al año de corte hasta las observaciones finales. Para ejecutar esta prueba, se debe especificar el año de corte en cada serie.

Se resumen en la siguiente tabla los resultados obtenidos en la evaluación de la serie según los test mencionados. En la tabla se indica el nivel de significancia con el cual se acepta como válida la hipótesis a verificar en cuanto a la independencia, homogeneidad y estacionalidad de la serie. En el caso de la evaluación de datos atípicos se indica la presencia de al menos un dato dudoso.

Tabla 2. Resultados test estadísticos de verificación de series de intensidad máxima anual

	INDEPENDENCIA	ESTACIONALIDAD	HOMOGENEIDAD	DATOS ATÍPICOS
15	1%	5%	5%	SI
30	1%	5%	5%	NO
60	5%	5%	5%	NO
120	5%	5%	5%	NO
180	5%	5%	5%	NO
360	5%	5%	5%	NO
720	5%	5%	5%	SI
1440	5%	5%	5%	SI

Las series producto de la combinación de datos de los tres aparatos de medición presentan resultados satisfactorios en todos los casos (con umbral de aceptación del nivel de significancia de 1%). Sin embargo se verifica la presencia de datos dudosos en varias duraciones, los que fueron descartados de la serie.

En la siguiente tabla se resumen las longitudes finales de cada una de las series analizadas luego del descarte producto de la detección de datos atípicos.

Tabla 3. Longitud de series según duración

Período	Duración									
	5	10	15	30	60	120	180	360	720	1440
73-93/99-06/07-13			27	36	36	36	36	36	35	35

Evaluación de modelos probabilísticos teóricos

Dado que los eventos hidrológicos, tales como tormentas severas, ocurren en forma aleatoria, se definen en términos de su probabilidad de ocurrencia.

Las series de datos de precipitación se obtienen a partir de registros limitados, y se requiere de un modelo que sintetice la información observada y preserve las características subyacentes al fenómeno, de modo que permita hacer predicciones sobre su comportamiento futuro.

Una vez verificado que las series cumplen con las hipótesis de independencia, homogeneidad y estacionalidad, se busca adoptar una función de distribución de probabilidad (FDP) con ajuste razonable a las observaciones, que permita extrapolar los resultados a un período muy superior al registro disponible.

La metodología utilizada consiste, en primera instancia, en asignar a los valores de las series una frecuencia empírica. Se utiliza para ello la fórmula de Weibull, aplicada sobre la serie de datos ordenada en forma decreciente.

Luego se procede a ajustar las series a tres FDP teóricas usadas en hidrología frecuentemente para describir valores extremos: Lognormal, Gumbel y Gamma. La FDP debe ser elegida de modo que aporte cantidades próximas a los valores de la población, y dado que se desconoce su verdadera distribución, se asume que siempre se cometerá un error en la estimación del valor futuro de la variable por este medio. Se busca cuantificar la bondad del ajuste para minimizar ese error, teniendo en cuenta tanto la diferencia en los valores estimados como la variación en la forma que adquiere la FDP. Se realizaron dos pruebas cuyos índices (desvío máximo para Kolmogorov-Smirnov y suma de diferencias al cuadrado de los últimos 5 puntos) decaen a medida que mejora el ajuste. En consecuencia se designa como función objetivo el producto de ambos, calculado para cada una de las series analizadas siguiendo el procedimiento realizado en trabajos antecedentes en otras regiones (Caamaño Nelli, Dasso, 2003). Por último se realiza la sumatoria de los valores de la función objetivo obtenidos para todos los casos, obteniéndose un valor total que evalúa la distribución óptima en términos generales, ya que solo se escogerá una para caracterizar todas las series. Los resultados de la función objetivo se exhiben en la siguiente tabla.

Tabla 4. Función objetivo del ajuste a las FDP

DURACIÓN	LOGNORMAL	GUMBEL	GAMMA
15	6,60	10,21	12,14
30	1,37	1,59	1,68
60	2,33	2,11	0,66

120	0,45	0,50	0,72
180	0,39	0,62	0,47
360	0,16	0,26	0,23
720	0,25	0,18	0,21
1440	0,10	0,07	0,12
Σ FO	13,14	13,76	14,16

Se observa que, según la función objetivo definida, la FDP Lognormal tiene el mejor ajuste en las series analizadas, ya que adquiere el menor valor en cinco de las ocho series y en la sumatoria total. En solo dos de los casos manifiesta el peor desempeño de las FDP propuestas y un resultado intermedio en la restantes. Se considera, a partir de este resultado, que la Lognormal representa adecuadamente las series de intensidades máximas anuales en la zona de estudio y se justifica su aplicación para realizar estimaciones de la variable con recurrencias superiores al registro disponible.

Calibración del Modelo DIT

El modelo DIT (Caamaño Nelli, García, 1999), plantea el logaritmo natural de la intensidad de lluvia como una función lineal del factor de frecuencia ϕ y de un factor de persistencia δ , vinculados mediante dos parámetros locales A y C y uno de carácter regional B

$$\ln i = A \cdot \phi - B \cdot \delta + C$$

En base a la hipótesis de distribución probabilística lognormal de los máximos de lluvia anual, el factor de frecuencia ϕ tiene una relación biunívoca con el período de retorno, T

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

El factor δ en tanto, depende de la duración de la lluvia mediante un cuarto parámetro q de carácter zonal

$$\delta = (\ln d)^q$$

El modelo DIT planteado de esta forma en su versión original, se simplificaría según estudios recientes (Caamaño Nelli et al., 2012), al demostrarse que q podría tomar un valor fijo e igual a 5/3 sin perder representatividad significativa en sus resultados. Esta alternativa se evalúa según las condiciones experimentales del presente estudio.

Para la calibración del modelo, se adopta la FDP Lognormal para las series de intensidades máximas anuales, y se estima las intensidades máximas estadísticamente esperables para diez períodos de retorno: 2, 5 10, 15, 30, 50, 75, 100, 150 y 200. Se calcula los logaritmos de la variable y se ajusta mediante regresión no lineal.

RESULTADOS

La Tabla 5 presenta los parámetros del DIT obtenidos para su versión original y simplificada con tres parámetros. La Figura 4 muestra la función intensidad - duración recurrencia obtenida con las combinación de series de mediciones pluviográficas y pluviométricas de alta frecuencia originadas en la EEAOC mediante la versión de tres parámetros del modelo DIT. La gráfica

abarca un rango de duraciones comprendido entre 15 a 1440 minutos y presenta las intensidades medias máximas para seis períodos de retorno. Se presenta dividida mediante un corte en la duración 180 de forma de visualizar mejor las intensidades correspondientes con las duraciones más prolongadas.

En la Tabla 6 se compara las intensidades máximas de lluvia predichas con el DIT de tres parámetros (DIT 3P) con aquellas obtenidas mediante la i-d-t actualizada en el año 2005 para la misma estación. La función mencionada fue calibrada con duraciones que van desde 5 a 180 minutos y para recurrencias entre 2 a 45 años. Dicha curva se obtuvo mediante una ecuación de tipo hiperbólica, con una serie de datos que consistía en la combinación entre mediciones pluviográficas (período 1973 - 1993) y ternas de datos i-d-t extraídos de una curva anterior (serie 1946 - 1972) basada en información extraviada en la actualidad. La intensidad utilizada de referencia para la comparación corresponde a una recurrencia de 45 años que es la mayor disponible en el trabajo mencionado. Por otro lado se cuenta con una calibración del modelo DIT realizada en base a valores extraídos de la curva mencionada anteriormente. Se compara mediante igual intensidades de referencia, las producidas con el modelo DIT utilizando los coeficientes obtenidos en ese trabajo, de forma de validar el empleo de esta técnica en este emplazamiento.

Tabla 5. Ajuste del Modelo DIT

Serie	Período	A	B	C	q	r ²
4P	73-93/99-06/07-13	0,311	0,064	5,022	2,073	0,999
3P	73-93/99-06/07-13	0,311	0,156	5,428	5/3	0,996

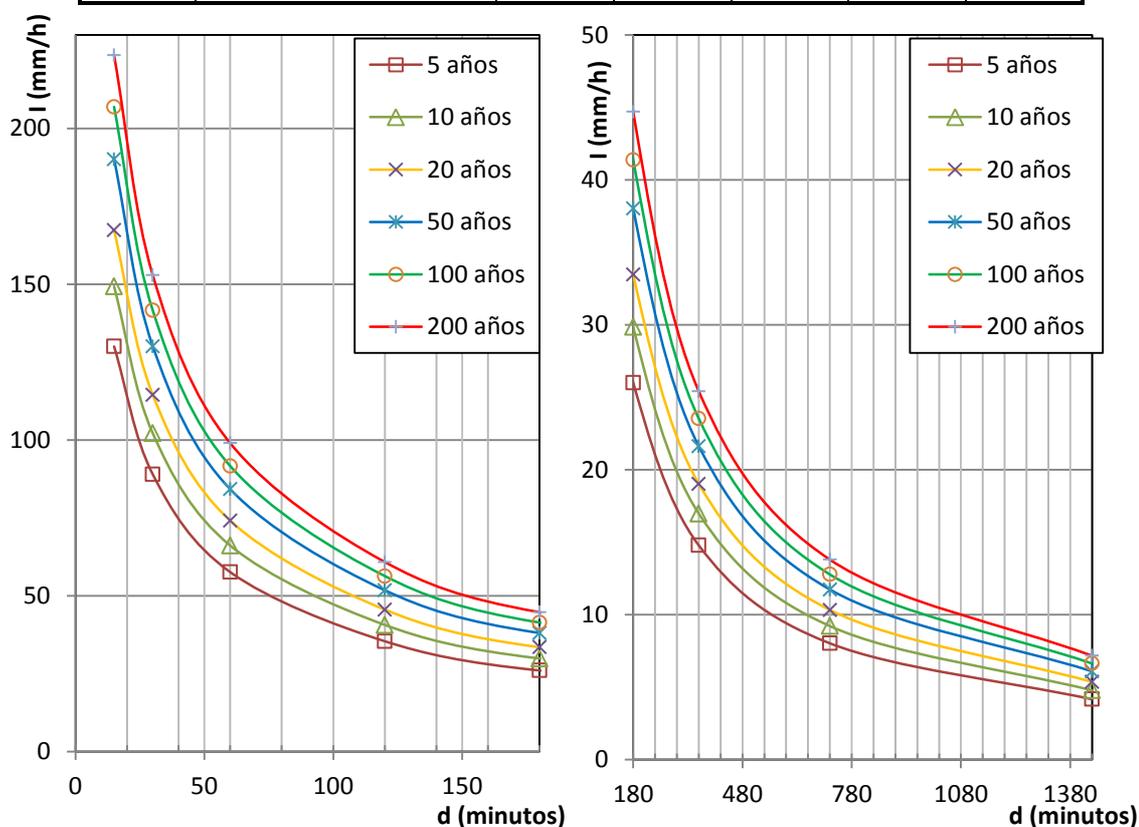


Figura 5. Función IDT para San Miguel de Tucumán.

Tabla 6. Intensidades en mm/h para una recurrencia de 45 años según distintos antecedentes de la zona.

Duración	DIT 3P	IDT 2005	DIT Aprox.	DIFERENCIAS	
				IDT 2005	DIT Aprox.
15	187,51	172,70	148,24	-7,90 %	-20,94 %
30	128,31	116,60	111,27	-9,12 %	-13,28 %
60	83,06	73,90	80,09	-11,03 %	-3,57 %
120	51,04	50,30	55,42	-1,45 %	8,59 %
180	37,51	38,10	43,91	1,57 %	17,06 %

ANÁLISIS

Se observa en los resultados que los valores alcanzados para los parámetros del modelo se encuentran comprendidos dentro del rango de valores observados en procedimientos análogos realizados en otras regiones del país. Se destaca la estabilidad evidenciada en los parámetros A y C al pasar de una versión a otra del modelo. Al fijar q a un valor de 5/3, crece B que alcanza un valor de 0,156, más del doble del valor obtenido en el DIT de cuatro parámetros. El ajuste obtenido al calibrar el modelo DIT en sus dos versiones es excelente, manifestado a través del coeficiente de determinación r^2 que adquiere valores superiores a 0,99 en las dos situaciones planteadas. Se considera por lo tanto que el DIT 3P representa en forma verosímil la relación existente entre la intensidad, la duración y la recurrencia de las lluvias máximas anuales lo cual ratifica su utilización en aras de la parsimonia y se lo adopta para continuar operando.

Se contrasta los resultados obtenidos con los antecedentes de ensayos realizados en la región. Por un lado se compara con la curva i-d-t existente en la región, actualizada en el año 2005. La serie de intensidades máximas obtenidas mediante esta curva manifiesta las diferencias esperadas, que alcanzan un valor máximo de -11,03 % para una duración de 60 minutos. Esta se explica por la utilización de una serie de datos diferente y el empleo de otro modelo para obtener la función i-d-t. Se destaca que la comparación solo puede hacerse en aquellas duraciones en común entre ambos métodos, ya que la IDT 2005 tiene un rango de duraciones distinto que el abarcado en el presente trabajo.

Finalmente se compara con las intensidades generadas por una calibración aproximada del modelo DIT realizada con la finalidad de regionalizar estos parámetros en una amplia zona del país. Se observa que las diferencias observadas con el DIT calibrado en base a datos originales medidos son muy importantes y alcanza un valor máximo de -20,94 % para una duración de 15 minutos. Este resultado evidencia la conveniencia de calibrar el modelo en base a datos medidos debido al error en que se incurre al hacerlo mediante datos extraídos de una i-d-t preexistente.

ALGUNAS CUESTIONES PENDIENTES

El presente trabajo continúa en ejecución actualmente y se plantean algunas cuestiones pendientes para su conclusión.

En primer lugar, se plantea el análisis de influencia de realizar la calibración del modelo mediante series pluviométricas medidas con frecuencia de 15 y 30 minutos. Para ello se estudiará el cociente entre láminas de distinta duración en estaciones donde la discretización temporal del registro sea menor y se verificará la conveniencia de realizar correcciones a las intensidades correspondientes a duraciones menores a 15 minutos.

Por otro lado, interesa incluir en el análisis los intervalos de confianza en las estimaciones del modelo DIT para determinar el rango de valores correspondiente a las estimaciones generadas.

Por último se busca transponer la i-d-t generada a aquellas zonas que demuestren homogeneidad meteorológica, mediante la regionalización de los parámetros del modelo.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Seccional de Agrometeorología de la Estación Experimental Obispo Colombres por la información aportada, en especial al Ing. Lamelas y al Ing. Jorge Forciniti por llevar a cabo la recopilación del material.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Caamaño Nelli, G. y C. M. García (1999) "*Relación Intensidad-Duración-Recurrencia de Lluvias Máximas: Enfoque a través del Factor de Frecuencia, Caso Lognormal*". Ingeniería Hidráulica en México. Vol. XIV, N° 3, septiembre-diciembre, pp. 37-44. D. F., México.

Caamaño Nelli, G.; C.M. Dasso (2003) "*Lluvias de Diseño: Conceptos, Técnicas y Experiencias*". CONICET. Universitas-Editorial Científica Universitaria. Córdoba, Argentina.

Caamaño Nelli, G.; A. F. Rico y C. M. Dasso (2012) "*Un modelo estadístico-deductivo de tres parámetros para la relación intensidad-duración-recurrencia*". XXV Congreso Latinoamericano de Hidráulica. San José, Costa Rica.

Catalini, C. G.; G. Caamaño Nelli y C. M. Dasso, compiladores (2011) "*Desarrollo y Aplicaciones sobre Lluvias de Diseño en Argentina*". 284 páginas. ISBN13: 978-3-8454-9722-8. Edit. Acad. Española (Lap Lambert Publishing GMBH & Co. KG). Saarbrücken, Deutschland.

Chow, V.T.; D.R. Maidment y L.W. Mays (1994) *Tormentas de Diseño*. Cap.14 en Hidrología Aplicada. ISBN 958-600-171-7, pp. 455-505. McGraw-Hill Interamer. S.A. Bogotá, Colombia.

Minetti, J. L., Vargas W. M. (2005) "*Circulación Regional en el Noroeste Argentino y Condiciones del Tiempo Asociadas*". Cap. 4 en El Clima en el NOA. 410 páginas. ISBN: 987-9390-66-0. Edit. Magna. San Miguel de Tucumán. Tucumán. Argentina

Paz, H. R.; R. Lazarte Sfer (2005) "*Actualización de la Relación I-D-R de Precipitaciones para la Ciudad de S.M. de Tucumán - Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres*". XX Congreso Nacional del Agua. Mendoza. Argentina.

Pereyra, F. ; Tchilinguirian P. (2008). "*Carta de Líneas de Base Ambiental 2766-II "San Miguel de Tucumán "*". Programa Nacional de Cartas Geológicas y Temáticas de la República Argentina. Provincias de Tucumán, Salta, Catamarca y Santiago del Estero .

APROXIMACION A UNA RELACION I-D-T PARA EL VALLE DE TAFI – TUCUMAN

Roberto Ricardo Lazarte Sfer¹, Héctor David Aguirre¹ y Martín N. Iturre

¹Laboratorio de Construcciones Hidráulicas – Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.

rlazartesfer@herrera.unt.edu.ar

RESUMEN

Atendiendo a la necesidad de obtener la precipitación puntual para el diseño de obras para el saneamiento pluvial en el Valle de Tafí se planteó el objetivo de desarrollar con escasa información pluviométrica una relación Intensidad-Duración-Tiempo de Retorno para el Valle de Tafí. La misma se obtuvo en base una metodología de desagregación de extremos de totales diarios a duraciones de 5 a 180 minutos.

Las posiciones de medición de totales diarios en el valle con las que se contó fueron. Los períodos de registro de cada estación son distintos y en conjunto cubren un total de 12 años. A los efectos de obtener una serie anual más robusta que se coloque del lado de la seguridad se consideró a la información de lluvia del conjunto de estaciones agregadas en una sola estación ficticia correspondiente al ámbito geográfico del valle.

Con la serie anual se realizó un análisis de frecuencia y se ajustaron funciones de densidad de probabilidad. El mejor ajuste resultó de la Función Log. Pearson Tipo III, la cual dio los valores extremos de totales diarios asociados a los tiempos de retorno propuestos. Con estos valores extremos diarios se obtuvieron los de 24.

Para la obtención de la relación I-D-R se desagregaron los valores desde 24 horas a duraciones que varían de 5 a 180 minutos, utilizando como patrón de desagregación la relación I-D-R de la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca desarrollada por el INA-CRA. Se utilizó esta I-D-R pues se considera que se encuentra en una zona de homogeneidad de génesis de lluvias intensas con el Valle de Tafí incluido. Ello se expresa así en el Trabajo “*La Variabilidad Espacio Temporal de las Precipitaciones en el Noroeste Argentino*”, (Juan L. Minetti y otros)

Los pares de valores de Intensidad versus Duración para cada tiempo de retorno permitió el ajuste de las expresiones matemáticas utilizadas en el cálculo.

LAS POSICIONES DE MEDICION EN EL VALLE DE TAFI

Las posiciones de medición de totales diarios en el valle con las que se contó fueron 9 según el siguiente detalle: El Pinar, Psicultura-El Mollar, Los Cuartos, Esc. EMETA, Est. Muñoz Nº1, La Ovejería, Parque Menhir Centro-El Mollar, Rodeo Grande, Santa Cruz. Los períodos de registro de cada estación son distintos y en conjunto cubren desde 2000-2001 al 2011-2012 lo cual da una longitud total de 12 años que resulta algo corta a los efectos de la representatividad de la población en el análisis de frecuencia..

Tabla 1. Máximos anuales de totales diarios en cada posición en el Valle de Tafi.

Año	Pd [mm]											
	00-01	01-02	02-03	03-04	04-05	05-06	06-07	07-08	08-09	09-10	10-11	11-12
El Pinar		40	40	40	33	56	29	41		38	42	51
Psicultura El Mollar	50	30		26	24	70	33					
Los Cuartos	35	35	27									
Esc. EMETA					34	10						
Est. Muñoz Nº1					11	75						
La Ovejería	40	42			40	47	10					
Parque Menhir Centro-El Mollar							38		50			
Rodeo Grande				28	35	40	20					
Santa Cruz					30	28						
Los Alisos										38		
Ruta 307. Km57								72				52
La Quebradita							32					
Agrupadas	50	42	40	40	40	75	38	41	50	38	42	52

En tal sentido y a los efectos de obtener una serie anual más robusta que coloque del lado de la seguridad los resultados se consideró a la información de lluvia del conjunto de estaciones agregadas en una sola estación ficticia correspondiente al ámbito geográfico del valle. A modo de control se determinó una serie anual con los valores registrados solo en la estación El Pinar, con la mayor cantidad de datos, verificando que los valores de la serie anual de la estación ficticia son año a año iguales o mayores.

ANALISIS DE FRECUENCIA

Con la serie anual se realizó un análisis de frecuencia y se ajustaron funciones de densidad de probabilidad. El mejor ajuste resultó de la Función Log. Pearson Tipo III, la cual dio los valores extremos de totales diarios asociados a los tiempos de retorno 2, 5 y 10 años.

Ajuste - Log Pearson Tipo III

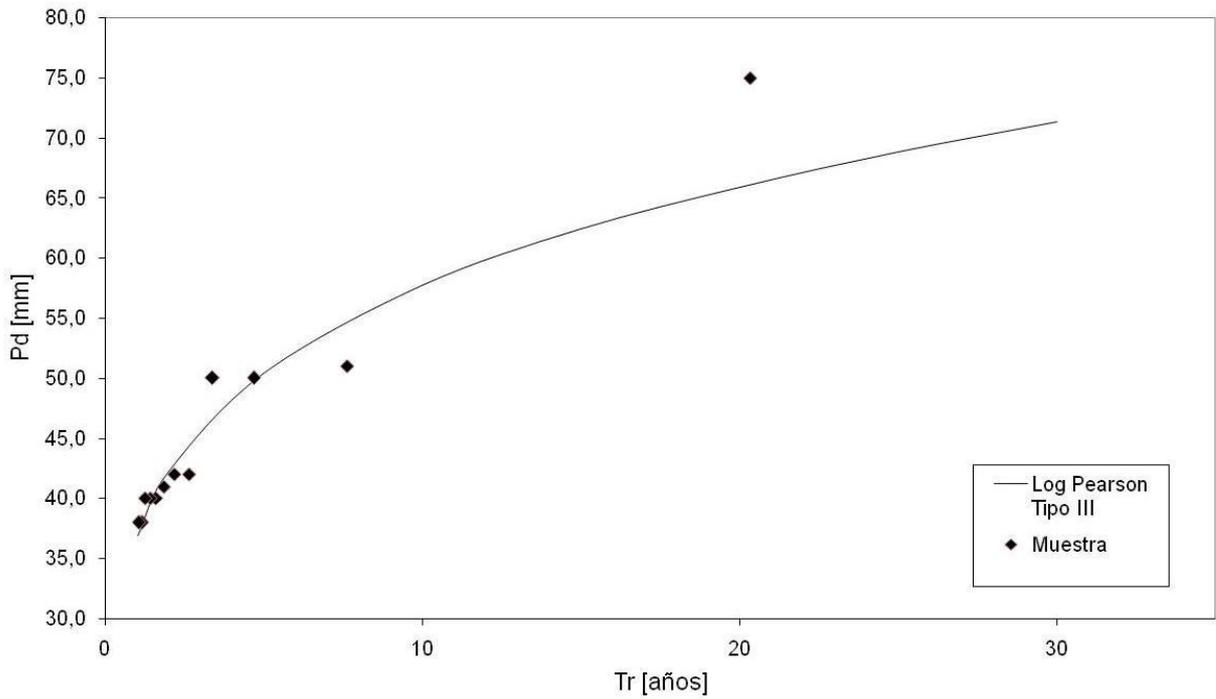


Figura 1. Ajuste Log Pearson Tipo III

Ajuste - Gumbel

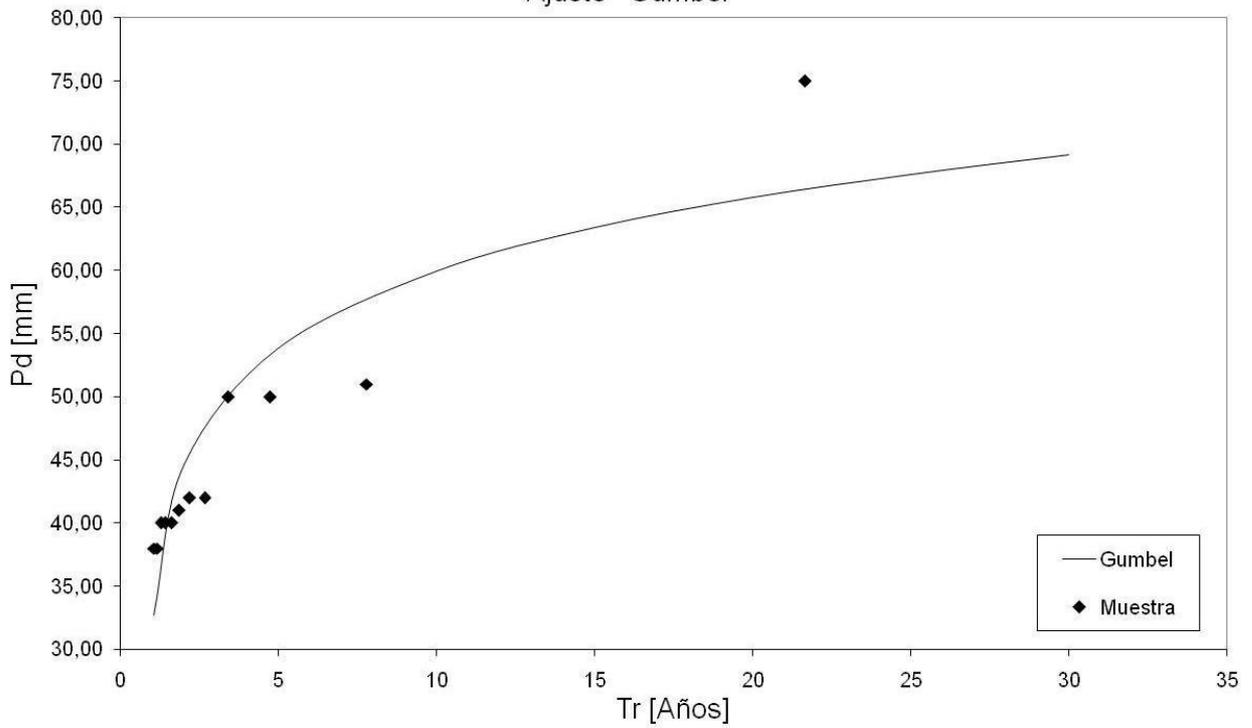


Figura 2. Ajuste Gumbel

OBTENCION DE LA RELACION I-D-T

Con los extremos diarios se obtuvieron los de 24 horas afectándolos por el Factor Universal de Herschfield ($f=1.13$).

Tabla 2. Máximos anuales de totales en 24hs.

Tr [años]	2	5	10
P_d [mm]	44.7	55.7	64.3
P_{24} [mm]	50.5	62.9	72.7

Para la obtención de la relación I-D-R se desagregaron los valores desde 24 horas a duraciones que varían de 5 a 180 minutos, utilizando como patrón de desagregación la relación I-D-R de la ciudad de San Fernando del Valle de Catamarca desarrollada por el INA-CRA.

Tabla 3. Desagregación con Relación I-D-T Catamarca.

D [min]	Tr=2años			Tr=5años			Tr=10años		
	I_{Cat} [mm/h]	I_d/I_{24}	$I_{T.V.}$ [mm/h]	I_{Cat} [mm/h]	I_d/I_{24}	$I_{T.V.}$ [mm/h]	I_{Cat} [mm/h]	I_d/I_{24}	$I_{T.V.}$ [mm/h]
5	82.1	51.31	108.0	115.9	50.39	132.2	138.3	51.22	155.1
10	66.7	41.69	87.7	94.2	40.96	107.4	112.3	41.59	125.9
15	56.3	35.19	74.1	79.5	34.57	90.6	94.9	35.15	106.4
20	48.9	30.56	64.3	69	30.00	78.7	82.2	30.44	92.2
30	38.8	24.25	51.0	54.7	23.78	62.4	65.2	24.15	73.1
40	32.2	20.13	42.4	45.5	19.78	51.9	54.2	20.07	60.8
45	29.7	18.56	39.1	42	18.26	47.9	50.1	18.56	56.2
50	27.6	17.25	36.3	39	16.96	44.5	46.5	17.22	52.1
60	24.2	15.13	31.8	34.2	14.87	39.0	40.8	15.11	45.7
90	17.8	11.13	23.4	25.1	10.91	28.6	30	11.11	33.6
120	14.2	8.88	18.7	20	8.70	22.8	23.8	8.81	26.7
180	10.1	6.31	13.3	14.3	6.22	16.3	17	6.30	19.1
240	7.9	4.94	10.4	11.2	4.87	12.8	13.3	4.93	14.9
360	5.6	3.50	7.4	7.9	3.43	9.0	9.4	3.48	10.5
720	3	1.88	3.9	4.3	1.87	4.9	5.1	1.89	5.7
1440	1.6	1.00	2.1	2.3	1.00	2.6	2.7	1.00	3.0

Con los valores de Tabla 3 se ajustaron expresiones matemáticas para la obtención de la Intensidad en función de la duración para cada tiempo de retorno.

$$I=a/(1+b*D+c*D^2)$$

	Tr [años]		
	2	5	10
a	138.027803	168.960992	198.304666
b	0.05698413	0.05700027	0.05710313
c	-1.5432E-05	-1.5765E-05	-1.5486E-05

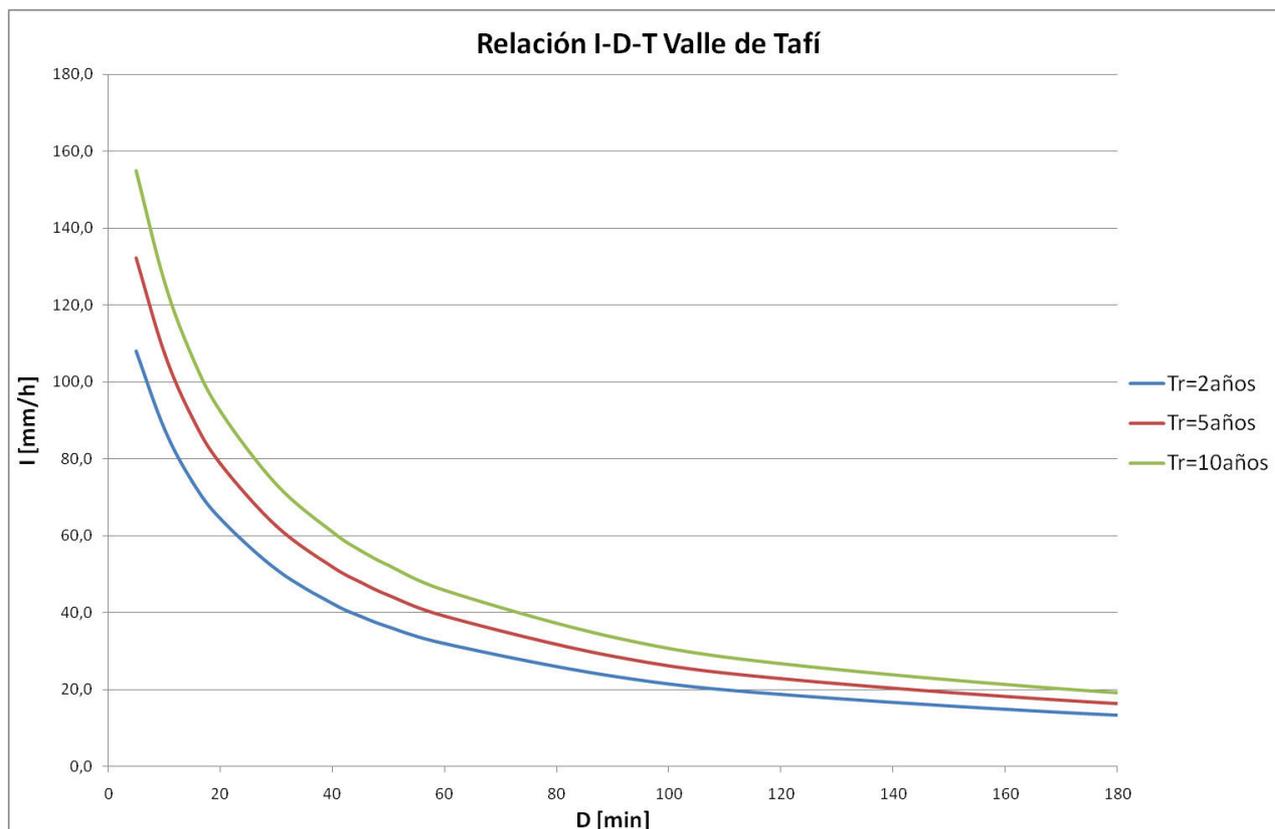


Figura 3. Relación I-D-T para el Valle de Tafí

BIBLIOGRAFIA

- Caamaño Nelli, G. y Dasso C. M.** (2003) *“Lluvias de Diseño. Conceptos, Técnicas y Experiencias”*. Editorial Científica Universitaria. Córdoba. Argentina.
- Chow, V. T.; D. R. Maidment y L. W. Mays** (1994) *Hidrología aplicada*. McGraw-Hill Interamericana S.A. Santafé de Bogotá, Colombia.
- Minetti, J. L.** (2009) *“El Clima del Noroeste Argentino”*. Laboratorio Climatológico Sudamericano. Fundación Caldenius. Editorial Magna.
- Aceñolaza, F. G.; Toselli, A. J.; Bossi, G. E.** (1984) *“Geología de Tucumán”*. Colegio de Gradiados de Ciencias Geológicas Tucumán. Argentina.
- Lazarte Sfer, R. R** (1998). *“Distribución Temporal de Diseño para Tormentas de San Miguel de Tucumán”* – XVII Congreso Nacional de Agua, Santa Fe. Argentina.
- Paz, H. R.** (1994) *“Determinación de la Relación Intensidad-Duración-Recurrencia para San Miguel de Tucumán”*. Municipalidad de S. M. de Tucumán. Tucumán. Argentina. 1994.

García, C. M.; C. G. Catalini y G. Caamaño Nelli (2000) "Distribución Espacial de la lluvia de diseño en una cuenca de montaña". Memorias del XIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Córdoba 2000, pp 309-318. Córdoba, R.A.

Lazarte Sfer, R. R.; Paz H. R. (2005). *"Actualización de la Relación I-D-R De Precipitaciones para La Ciudad de S. M. De Tucumán – Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes"*. Memorias del XX Congreso Nacional del Agua. Mendoza. Argentina 2005

ANÁLISIS DE UNA TORMENTA EXTREMA REGISTRADA EN LA CIUDAD DE OBERÁ

Darío Tomás Rodríguez¹, Gerardo Adrián Riccardi^{2, 3} y Alejandro Ricardo Ruberto⁴

¹ Becario Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Misiones (UNaM), Juan Manuel de Rosas 325, (3360) Oberá, Misiones, Argentina.

² Centro Universitario Rosario de Investigaciones Hidroambientales (CURIHAM), Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario (UNR), Riobamba 245 bis, (2000) Rosario, Argentina.

³ Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Rosario.

⁴ Grupo de Investigación del Departamento de Hidráulica, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), Las Heras 727, (3500) Resistencia, Chaco.
e-mail: rodriguezdt@fio.unam.edu.ar

RESUMEN

En cuencas urbanas definidas en zonas de paisaje con pendientes topográficas medias o elevadas, donde la respuesta hidrológica en términos de caudales ante un episodio lluvioso es relativamente rápida, resulta de importancia la mejor descripción posible de la precipitación a la hora de determinar la transformación lluvia-caudal en el marco de acciones tendientes a la mitigación y prevención de inundaciones. En este marco, se aborda la caracterización de una precipitación extrema registrada en la ciudad de Oberá, en el centro de la provincia de Misiones, el pasado 1 de diciembre de 2012, donde las intensidades registradas en el rango de duraciones comprendidas de 5 a 90 minutos superaron, en casos ampliamente, las relaciones I-D-R disponibles hasta esa fecha, en la estación cercana de Cerro Azul, considerando la inferencia estadística de hasta 200 años de recurrencia. Adicionalmente se compara la lluvia observada con otras relaciones I-D-R disponibles en la provincia (Posadas y Puerto Iguazú). De la comparación con las distintas curvas I-D-R, surge un aspecto anómalo, o al menos para profundizar en lo referente a la representatividad de las curvas disponibles, en el cual las relaciones disponibles de la estación Posadas, sitio con menor módulo pluviométrico anual, menor altimetría y mayor distancia que las de Cerro Azul, presenta valores de intensidad máxima, más cercanos a los del evento extremo registrado en Oberá.

PALABRAS CLAVE: tormentas extremas, curvas I-D-R, relación entre duraciones, Misiones.

INTRODUCCIÓN

Las ciudades de la provincia de Misiones poseen algunos de los más altos módulos pluviométricos del país (Figura 1.a). Con láminas que superan los 1600 mm en el departamento capital, al sureste de la provincia, y valores que superan los 2000 mm en el departamento General Manuel Belgrano, al Oeste (Mezher et al., 2008).

Según la clasificación propuesta por Köppen en 1918, (www.mineria.gov.ar, 07-06-12) la provincia de Misiones está comprendida dentro de un clima tipo "C" seguido por las letras "a" y "f", formándose el tipo climático "Caf" que significa clima húmedo Subtropical (veranos muy calurosos) con temperaturas en el mes más frío entre 0° C y 18 ° C y en el mes más cálido con temperaturas promedio mayores a los 22°. No hay estación seca.

De acuerdo a la clasificación climática propuesta por Thornthwaite en 1948 (Litwin y Franco, 1987) el clima de la región es húmedo, mesotermal (temperaturas medias), con escaso o nulo déficit de agua y elevada concentración en verano, que da origen a una vegetación boscosa.

Blair en 1962 (Secretaría de Minería de la Nación, 2012) clasificó las zonas climáticas en función a los promedios pluviométricos mensuales y anual. Para este autor la zona en estudio se clasifica como húmeda con módulos pluviométricos comprendidos entre 1.000 y 2.000 mm.

Papadakis en 1962 (Olinuck, 1998) define cinco tipos de regímenes pluviométricos. En dicha clasificación la zona de estudio corresponde a un régimen Isohigro, donde las estaciones hídricas están poco definidas. En cualquier estación, o mes, pueden presentarse sequías o abundantes lluvias. Las precipitaciones del semestre frío tienden a igualar a las del semestre cálido.

Esta región se ve azotada por tormentas intensas, con grandes volúmenes precipitados en pequeños períodos de tiempo, generalmente, provocados por el pasaje de líneas de inestabilidad provenientes del Sudoeste, usualmente asociadas a frentes fríos de la misma dirección (Figura 1.b). La duración de estas tormentas depende directamente del tiempo de permanencia de estos sistemas de frente frío y su velocidad de desplazamiento. Las tormentas de mayor duración, más de tres días, se presentan en la región como frentes semiestacionarios, asociados a sistemas de baja presión en las zonas más altas de la atmósfera, provenientes del Oeste. Los volúmenes de precipitación, en estos casos, están íntimamente relacionados con la distribución de humedad y temperatura en la tropósfera inferior (Litwin y Franco, 1987).

Históricamente, las copiosas lluvias, no han causado efectos negativos por inundación, debido a dos principales factores. Por un lado la excelente capacidad de abstracción al escurrimiento superficial, tanto de los números estratos de la selva Paranaense como del suelo limo-arcilloso de la provincia. Y dada las características de la topografía serrana, capaz de concentrar y evacuar rápidamente los excedentes hídricos superficiales (Rodríguez et al., 2013).

Sin embargo, en los últimos años se han presentado eventos pluviográficos que han provocado severos daños materiales (Figura 1.c), números de evacuados jamás antes presentados y hasta víctimas fatales (MisionesOnline, 2012). En una región donde las mayores consecuencias de las inundaciones no está dada por la permanencia del agua, sino por la capacidad de arrastre, provocadas por niveles de desborde en calles y arroyos en combinación con altas velocidades. Dicha combinación surge a raíz de los cambios en la

ocupación y usos del suelo y la antropización de los sistemas de desagües pluviales, productos de la dinámica de la urbanización.

En una provincia donde existen escasos estudios sobre el comportamiento de las tormentas, con fines a la modelación hidrológica superficial de eventos extremos, se evidencia la necesidad de aumentar el énfasis en el registro detallado de las precipitaciones y su posterior análisis y evaluación.

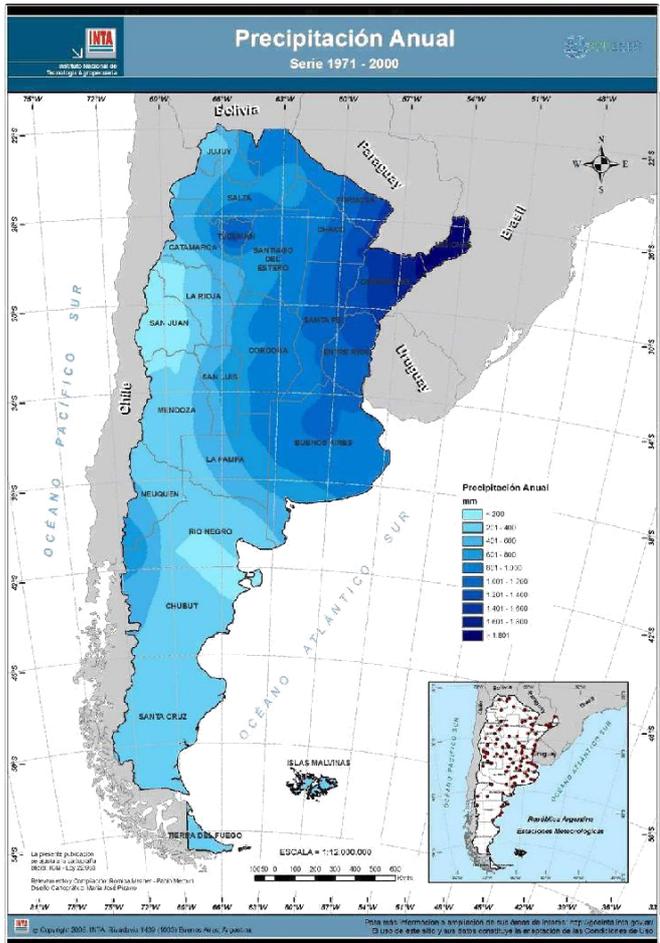


Figura 1. a, b y c: Precipitaciones medias anuales en la República Argentina 1971-2000 (Mezher et al., 2008). Frente de tormenta del 16-oct-12 sobre la ciudad de Posadas (Misionescuatro.com, 2012). Destrozos en una vivienda de la ciudad de Posadas por la tormenta del 19-dic-12 (MisionesOnline, 2012).

Particularmente, la ciudad de Oberá posee diversos organismos que registran las precipitaciones que se presentan, con distintos grados de calidad, en cuanto a la longevidad y continuidad de los mismos, como así también en la capacidad de discretizar las precipitaciones en intervalos subsidiarios.

Situada sobre la Sierra Central de Misiones, en la confluencia de la Ruta Nacional 14 y Provincial 103, la ciudad se ve atravesada por la línea de parte agua de los ríos Paraná y Uruguay, por lo que los arroyos que atraviesan la ciudad poseen cuencas de aporte pequeñas, aproximadamente 1000 ha, las cuales nacen dentro del mismo casco céntrico. Las dimensiones de las cuencas en conjunto con las altas pendientes de los arroyos, del orden del 2 %, hacen que las tormentas críticas de diseño presenten duraciones menores a las 24 hs, mostrando la necesidad de realizar modelaciones hidrológicas con hietogramas de tormentas con reducidos intervalos de tiempo.

En el presente trabajo se efectúa un análisis detallado del evento pluviográfico registrado en la ciudad de Oberá, en la zona centro de la provincia, el día 1 de diciembre de 2012, en cual precipitaron un total de 276,6 mm en un período menor a 12 horas, evento que provocó un total de 300 evacuados, valores records para la zona.

Se exhiben las curvas I-D-R disponibles en la provincia conjuntamente con una breve descripción de las fuentes de datos utilizadas para su elaboración; y una comparación de la tormenta del 1-dic-12 con las curvas I-D-R disponibles, con la finalidad de poner a discusión la representatividad, para eventos extremos en la región, de dichas curvas.

Finalmente se presenta una comparación con una envolvente de eventos extremos determinada para la pampa húmeda, con el fin de comparar los eventos extremos de dos regiones diferentes del país.

MATERIALES Y MÉTODOS

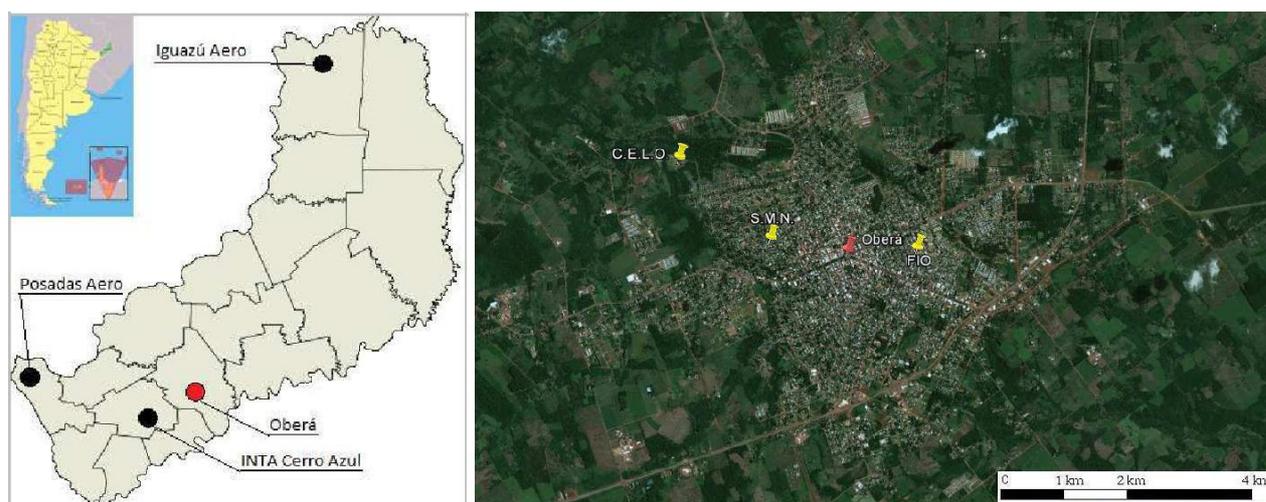
Estaciones meteorológicas analizadas

La provincia de Misiones y particularmente la zona en estudio, dispone de un considerable número de estaciones meteorológicas, aunque pocas cumplen con los requisitos de tener registros confiables y longevos a la vez (Litwin y Franco, 1987), característica que se acentúa en las regiones en vías de desarrollo. Además, ya en investigaciones anteriores se ha podido comprobar las dificultades de obtener información precisa de variables de relevancia dado el recelo que muestran aquellas instituciones que pueden contar con determinada información.

De todas maneras, con el análisis de la bibliografía existente y la interacción con diferentes organismos, que de una u otra manera han colaborado con la disponibilidad de los datos necesarios para dicha investigación, se alcanzó a recabar datos meteorológicos de las siguientes estaciones:

5. Estación meteorológica de la Facultad de Ingeniería (FIO), UNaM.
6. Estación meteorológica de la Cooperativa Eléctrica Limitada de Oberá (CELO).
7. Estación meteorológica Oberá del Servicio Meteorológico Nacional (SMN-Oberá).
8. Estación experimental agropecuaria del INTA, Centro Regional Misiones (INTA Cerro Azul).
9. Estación meteorológica el aeropuerto de la ciudad de Posadas (Posadas Aero).
10. Estación meteorológica el aeropuerto de la ciudad de Puerto Iguazú (Iguazú Aero).

Para el análisis de las diferentes variables climatológicas de la zona de estudio es factible utilizar los datos de una u otra estación, dependiendo de las variables necesarias a ser evaluadas. Para cada variable se dio prioridad de la información a las estaciones más cercas, en tanto y en cuanto sean datos de calidad, posteriormente a aquellas que cuentan con una mejor calidad de la información. La utilización de datos de estaciones fuera de los límites de la ciudad se debe a ausencia de registros de determinadas variables en las estaciones cercas.

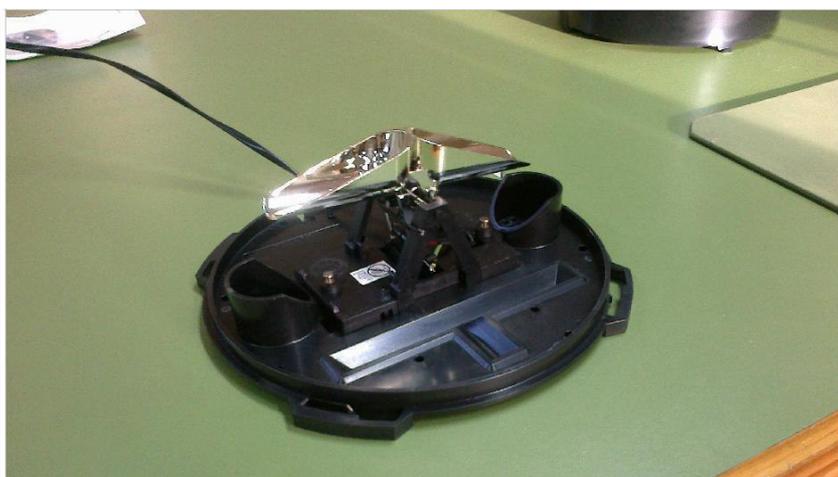


Figuras 2.a: Estaciones meteorológicas utilizadas fuera de la ciudad de Oberá.

Figura 2.b: Estaciones meteorológicas dentro de la ciudad de Oberá.

Estación meteorológica FIO

Actualmente se está trabajando en la instalación de una estación meteorológica en el predio de la Facultad de Ingeniería de Universidad Nacional de Misiones. Los fondos para la adquisición del equipamiento y la infraestructura complementaria necesaria fueron obtenidos gracias a un proyecto de extensión impulsado por los docentes del Departamento de Ingeniería Civil. Se trata de una estación digital con sensoriamiento remoto y almacenamiento automático de la información, lo que permite una discretización de las variables en el tiempo, tanto de las tormentas como de las demás variables meteorológicas registradas. El pluviógrafo digital (figuras 3.a y b) que posee la estación permite discretizar las tormentas minuto a minuto con una precisión de 0.2 mm. Si bien la estación es de características muy modernas y será operada por personal instruido, se estima estará en funcionamiento continuo recién a fines de 2014, por lo que no se cuentan con registros de series históricas. Esta estación se ubica a 950 m al Este del centro cívico de la ciudad de Oberá y a 365 msnm.



Figuras 3.a: Pluviómetro digital a cangilones (FI-UNaM).

Figura 3.b: Estación meteorológica experimental (FI-UNaM).

Estación meteorológica CELO .

La Cooperativa de Electricidad Limitada de Oberá (C ELO) cuenta con una modesta estación meteorológica ubicada en la planta de tratamiento de líquidos cloacales que la misma administra. Dicha planta se encuentra hoy día, debido al avance de la urbanización, dentro del

casco urbano de la ciudad de Oberá, por lo que representaría de manera óptima las condiciones climatológicas de la zona de estudio. Son los integrantes del INTA Cerro Azul quienes fiscalizan y colabora con los operarios de la cooperativa en su formación y evaluación. Sin embargo, dada el continuo cambio de operarios día a día del instrumental, el personal del INTA resalta la necesidad de tener presente los posibles errores en los registros, sobretodo de temperaturas y humedades. Esta estación cuenta con un serie de registros de desde el año 1998 a la actualidad, sin contar con pluviógrafo.

Esta estación se ubica a 2750 m al Noroeste del centro cívico, 3650 m de estación fio de FIO, también en dirección Noroeste y a 244 msnm.

Estación meteorológica del SMN Oberá

Dentro del casco urbano, semi-céntrico de la ciudad de Oberá se encuentra una estación meteorológica del Servicio Meteorológico Nacional operada por un agente civil de la Fuerza Aérea Argentina. En esta estación, si bien se han registrados variables meteorológicas desde la década del 70`, las fajas pluviográficas, que representa los datos más significativos para el abordaje de los excedentes hídricos superficiales, han sido enviados periódicamente al SMN sin haber sido copiados y archivados, mientras que, de los datos de temperatura y humedad si se han dejado registros, aunque de manera precaria, sin desarrollarse análisis alguno de las series registradas. Actualmente y debido al escaso mantenimiento de los equipos, el pluviógrafo se encuentra fuera de funcionamiento.

Esta estación se encuentra a 1150 m al Oeste del centro cívico, 2100 m de la estación FIO, en dirección Oeste y a 343 msnm. Durante el período 1961-1985 el módulo pluviométrico anual fue de 1950 mm. Se presenta este dato dado que pertenece a un período similar al de los datos utilizados para la confección de las curvas I-D-R que se detallaran más adelante.

Estación experimental agropecuaria INTA Cerro Azul

Esta estación cuenta con la más completa medición de variables hidrometeorológicas de la provincia. Con una serie de registros desde el año 1967 a la actualidad, sin embargo, se ha podido acceder a la información procesada desde 1967 a 1996, dado que los registros posteriores se encuentran en etapa de actualización. Dicha estación se encuentra emplazada a las afueras de la Localidad de Cerro Azul en el Departamento de Leandro N. Alem, en el centro de la Provincia de Misiones. Además de contener la mayor cantidad y calidad de datos, esta estación, al igual que la ciudad de Oberá, se sitúa a la vera de la Ruta Nacional 14, sobre la Sierra Central de Misiones. Esta estación cuenta con pluviógrafo, cuyas fajas son enviadas al SMN.

La estación se encuentra a unos 36 km lineales del centro de la ciudad de Oberá en dirección Suroeste y a 270 msnm. Durante el período 1961-1985 el módulo pluviométrico anual fue de 1930 mm.

Estación meteorológica Posadas Aero

El aeropuerto de la ciudad de Posadas posee una estación meteorológica fiscalizada por el SMN. Dicha estación releva una gran cantidad de variables climática, contando con datos pluviométricos desde 1908 y pluviográficos desde 1951. Los datos de la estación Posadas Aero fueron utilizadas para innumerables trabajos, pero han tenido una participación particular en los proyectos de obras complementarias de la represa de Yacyreta.

Esta estación se encuentra a 84 km de la ciudad de Oberá, en dirección Oeste y 133 msnm. Para el período 1953-1985 el módulo pluviométrico anual fue de 1691 mm.

Estación meteorológica Iguazú Aero:

Similar a la estación Posadas Aero, el aeropuerto internacional de la ciudad de Puerto Iguazú, posee una completa serie de registros fiscalizada por el SMN.

Esta estación se ubica al Norte de la ciudad de Oberá, a unos 205 km lineales y a 180 msnm. Durante el período 1951-1972 el módulo pluviométrico anual fue de 1708 mm.

En la tabla 1 se exhibe un resumen con los datos de las estaciones meteorológicas descriptas. En ella no figura la estación FIO, dado que no cuenta con registros históricos.

Tabla 1: Estaciones meteorológicas analizadas.

Estación	Ubicación geográfica		Altitud	Serie	Módulo	Distancia a FIO
	Latitud	Longitud	[msnm]	[año-año]	[mm/año]	[km]
CELO Oberá	27°28`S	55°09`O	244	1998-2011	1925	3.6
SMN Oberá	27°29`S	55°08`O	343	1961-1985	1950	2.1
INTA Cerro Azul	27°39`S	55°26`O	270	1961-1985	1930	36
Posadas Aero	27°22`S	55°58`O	133	1953-1985	1691	84
Iguazú Aero	25°41`S	54°27`O	180	1951-1972	1708	205

Precipitaciones medias

Con el fin de describir el régimen pluvial de la ciudad de Oberá, se presenta en la figura 4 las precipitaciones medias mensuales. Para dicha evaluación se utilizaron los datos de la estación C.E.L.O. debido a que contiene datos confiables de precipitaciones dentro de la ciudad, con una serie importante y actualizada, con 14 años de datos en el período 1998-2011. Para esta estación la precipitación media anual es de 1925 mm con un mínimo registrado durante el año 2005 de 1476.7 mm y el máximo en 2002 con 2638.6 mm en el año. En la figura 4 vemos que el mes de agosto se presenta como el más seco dentro este período, con 96 mm de promedio, mientras que el mes más lluvioso se corresponde a octubre con 252.6 mm, en tanto que el trimestre de mayores precipitaciones corresponde a los meses de octubre, noviembre y diciembre. Como dato significativo podemos mencionar que el mes más lluvioso del período analizado en esta estación fue el de octubre de 2002 con 493 mm, mientras que día más lluvioso se presentó el 21 de agosto de 2002 con 123.1 mm.

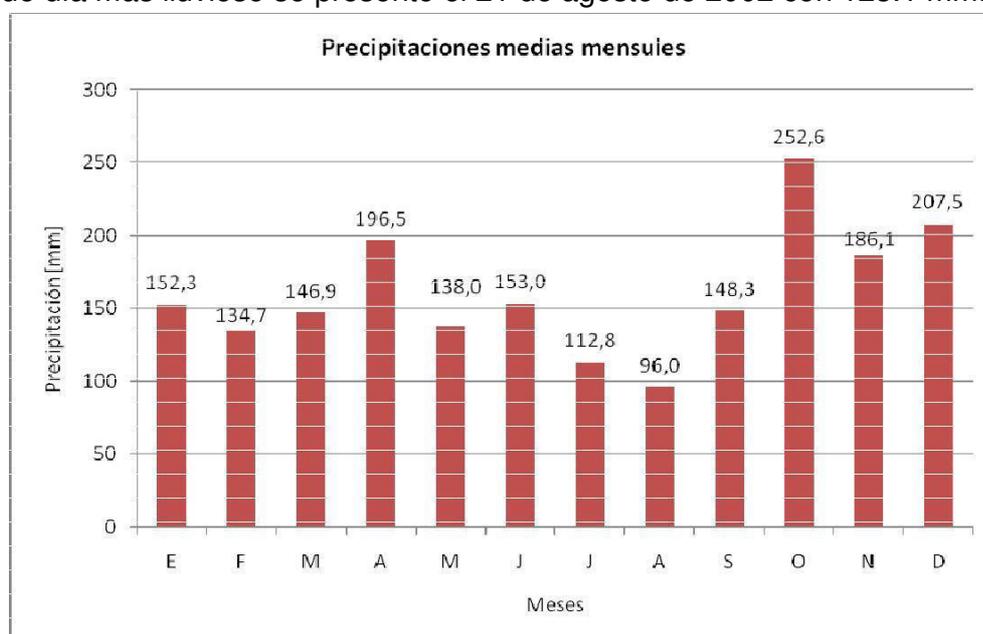


Figura 4 Distribución de precipitaciones medias mensuales 1998-2011(CELO, 2012) .

Curvas intensidad-duración-recurrencia.

Las fajas pluviográficas relevadas por las estación es Posadas Aero, Iguazú Aero y el INTA Cerro Azul son enviadas al SMN y están disponibles para determinados estudios de relevancia. En 1987 se presentó un informe de la comisión mixta Argentino – Paraguaya del

río Paraná, la cual fue creada para la evaluación de factibilidad de represas hidroeléctricas sobre el dicho río, el cual contenía datos de diversas estaciones, tanto de la provincia de Misiones, como de la Reduplica del Paraguay.

Dicho informe presenta curvas de intensidad–duración-recurrencia para las estaciones Posadas Aero, Iguazú Aero e INTA Cerro Azul, a través de una función ajustada por mínimos cuadrados de tipo hiperbólica:

$$i = \frac{a}{D^{0.82} + c} \quad (1)$$

Donde:

i es la intensidad en mm/hs.

D es la duración de la tormenta en minutos.

a y c son constantes tabuladas en función de los años de recurrencia (tabla 2).

En la tabla 3 se exponen los valores de intensidades de precipitación máximas determinados por las I-D-R, para las estaciones de Cerro Azul, Posadas Aero e Iguazú Aero, para distintas recurrencias. Se seleccionaron estas recurrencias dado que: 200 años es la máxima descrita por las curvas, 20 años es un período similar al de los datos utilizados para la determinación de las mismas y 2 años representa a los eventos más frecuentes de ocurrir.

Tabla 2: Constantes de las curvas I-D-R para Cerro Azul, Posadas e Iguazú (Litwin y Franco, 1987).

Recurrencia [años]	INTA Cerro Azul		Posadas Aero		Iguazú Aero	
	Serie 1966-1984		Serie 1951-1985		Serie 1952-1953 y 1961-1985	
	a	c	a	c	a	c
2	1948.01	18.06	1951.19	13.82	1585.57	12.44
5	2530.53	21.12	2462.74	12.07	2117.9	14.04
10	2916.41	22.6	2800.06	11.26	2470.3	14.8
20	3285.62	23.68	3125.74	10.73	2809.15	15.4
50	3765.52	24.87	3546.46	10.17	3249.19	16.13
100	4123.72	25.57	3862.16	9.84	3578.25	16.57
200	4481.44	26.19	4176.13	9.58	3907.65	16.95

Tabla 3: Intensidades máximas para distintas duraciones según las I-D-R de la provincia para 2, 20 y 200 años de recurrencia [mm/hs].

Duración [min]	Recurrencia 2 años			Recurrencia 20 años			Recurrencia 200 años		
	Cerro Azul	Posadas	Iguazú	Cerro Azul	Posadas	Iguazú	Cerro Azul	Posadas	Iguazú
5	89.3	111.1	98.0	119.8	216.0	146.7	149.7	313.5	188.8
15	71.4	84.7	73.2	99.9	156.7	114.1	126.6	222.2	149.4
30	56.8	64.9	55.2	82.3	115.8	88.7	105.6	161.6	117.6
60	41.6	45.9	38.5	62.7	79.2	63.7	81.6	109.1	85.6
120	28.3	30.2	25.1	44.2	50.9	42.5	58.3	69.3	57.8
240	18.1	18.9	15.6	29.0	31.2	26.8	38.7	42.2	36.7
360	13.6	14.1	11.6	22.1	23.1	20.0	29.7	31.1	27.6
480	11.1	11.4	9.3	18.1	18.5	16.2	24.3	24.9	22.3
720	8.2	8.3	6.8	13.5	13.5	11.9	18.2	18.2	16.5

En la figura 5 se presentan las curvas de las estaciones INTA Cerro Azul, Posadas Aero e Iguazú Aero para 20 años de recurrencia.

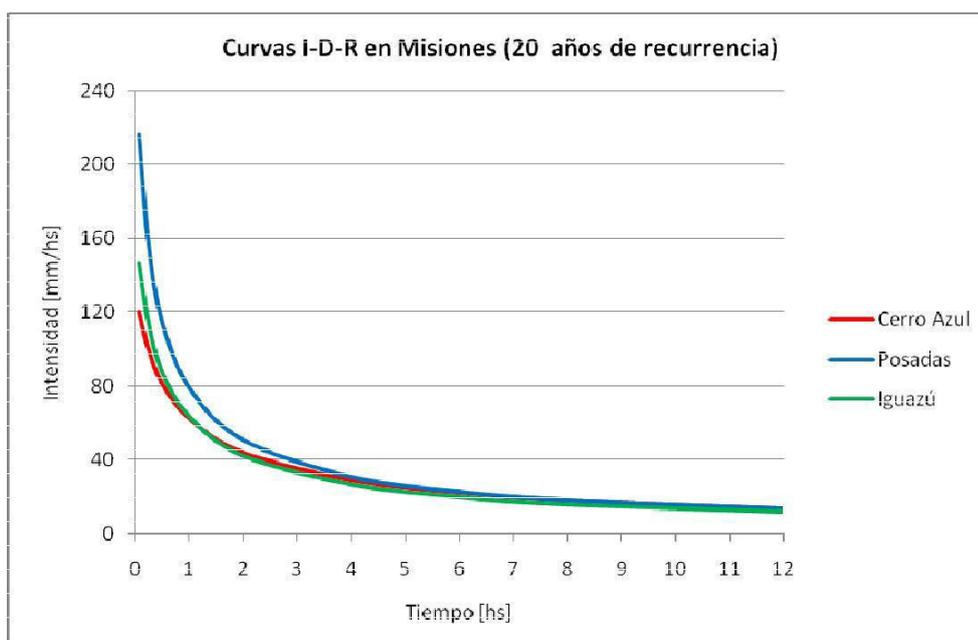


Figura 5: Curvas I-D-R disponibles en Misiones, de 5 min a 12 hs de duración para 20 años de recurrencia (Litwin y Franco, 1987).

En la tabla 3 y la figura 5 puede observarse como, para tormentas con duraciones menores a las 4 hs, los valores de la curva de la estación Posadas Aero arroja valores significativamente mayores a las demás. Y para duraciones menores a 60 min la estación INTA Cerro Azul posee los valores más bajos. Hacia el final de la curva, luego de las 6 hs de duración, las tres curvas tienden a acercarse. Situaciones que se dan en 2, 20 y 200 años de recurrencia.

Tormenta del 1 de diciembre de 2012

El día 1 de diciembre de 2012, se produjo en la ciudad de Oberá una tormenta sin registros precedentes, con graves consecuencias como un número record de evacuados para la ciudad de Oberá y zonas aledañas. El desborde de los arroyos Tuichá y Mbotaby provocó anegamiento, inconvenientes en el tránsito y la destrucción parcial de viviendas y comercios. Las altas velocidades desarrolladas arrancaron letrinas y partes de las viviendas ubicadas en los valles de inundación de los cursos de agua. Las personas evacuadas fueron 299, con un número total de afectados estimado en 500 personas (Primera edición web, 2012).

La precipitación total fue de 276.6 mm en 11 horas y 36 minutos, con 384 mm/h en el minuto de mayor intensidad. Hasta ese momento no se contaban con registros de tormentas similares en la ciudad. La particularidad de este evento, fueron los 72 mm precipitados en un período de 20 minutos, por lo que las características de las cuencas de la región, con hidrogramas de rápida respuesta (Rodríguez et al., 2013b), causaron un gran impacto en el sistema de desagües pluviales, tanto naturales como artificiales.

La discretización, en intervalos de 1 minuto, del hidrograma registrado por la estación FIO el día 1-dic-12 y su curva masa, se observan en la figura siguiente.

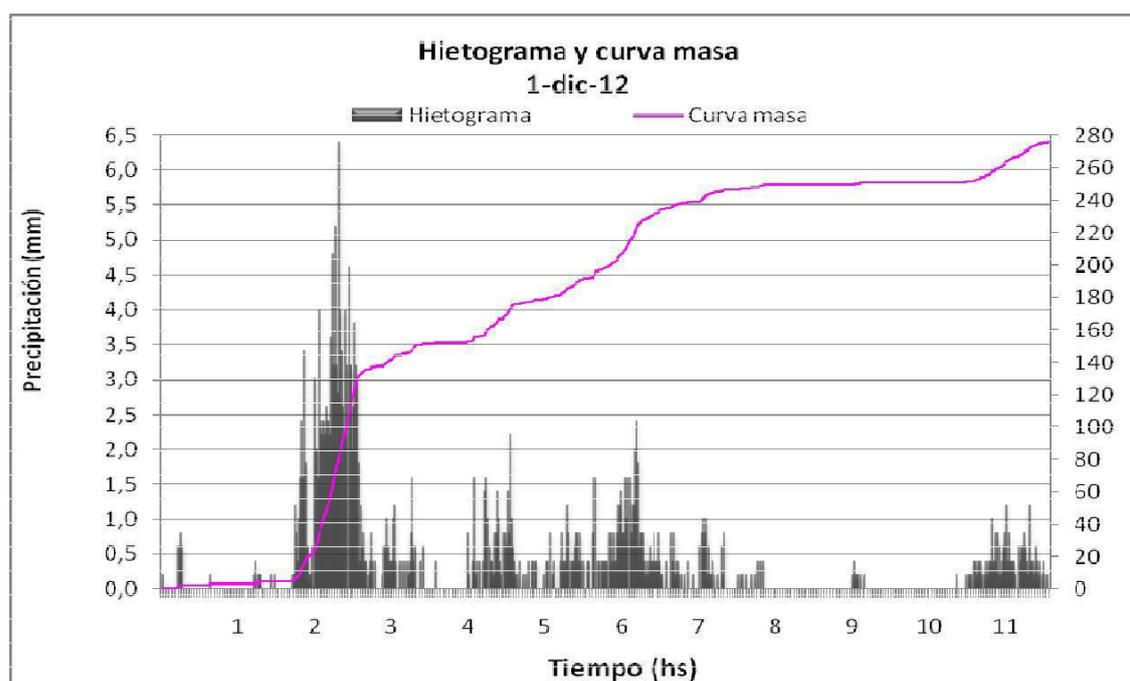


Figura 6. Hietograma y curva masa de la tormenta del 1 de diciembre de 2012 (FIO, 2013).

En la figura 6 se observa como la tormenta comienza con intensidad reducida, para luego pasar a un importante pico de precipitaciones, con un máximo de 6.4 mm en un minuto, que representa 384 mm/h. Posterior a este primer pico de la tormenta le siguen, 6 horas de lluvia casi ininterrumpida, con un pico de hasta 144mm/h. Hacia el final de la tormenta un último pico con máximos de 72 mm/h.

Metodología

Con la información hasta aquí detallada, se confeccionaron distintas tablas y gráficos que permitan describir las características principales de la tormenta del 1-dic-12, al igual que aquellas tormentas de diseño posibles de confeccionar a través de las curvas I-D-R disponibles en la provincia.

Se detallaron los valores de intensidad máximas par a cada duración del evento analizado y una comparación porcentual con los determinanos con cada I-D-R analizada, con el fin de evaluar la representatividad de las mismas ante el evento extremo descrito.

Seguidamente, se especificaron las relaciones entre láminas totales precipitadas para distintas duraciones de precipitación. Dado que en zonas donde no están disponibles las I-D-R puede utilizarse metodologías basadas en datos pluviométricos, como el método de las relaciones de láminas entre distintas duraciones (Bertoni 1995 citado por Riccardi, 2004). Dicho método se basa en dos características observables en las curvas I-D-R:

3. Existe una tendencia a mantenerse paralelas las curvas para distintas recurrencias.
4. Existe una gran similitud de las relaciones entre láminas correspondientes a distintas duraciones.

Para finalizar, se presenta una comparación del evento del 1-dic-12 y las I-D-R de la provincia de Misiones con una envolvente de precipitaciones máximas determinada a partir de datos disponibles en la región de la pampa húmeda, más precisamente en la zona de la ciudad de Rosario y alrededores, donde los autores ajustaron la intensidad (i) de los eventos extremos a la siguiente ecuación, función de la duración $D()$ de los mismos:

$$i[\text{mm} / \text{h}] = 527.19D[\text{min}]^{-0.3743} \quad (2)$$

Dicha envolvente resultó del ajuste de una curva de regresión (DH-FCEIyA, 2008) y representa las características de tormentas convectivas registradas en diversos sitios cercanos a la ciudad de Rosario. Fue determinada considerando las intensidades máximas observadas para las distintas duraciones parciales de cada tormenta.

RESULTADOS

En la tabla siguiente se presentan los valores máximos precipitados para cada período de tiempo durante la tormenta del 1-dic-12. En ella se evidencia la severidad de la tormenta donde, por ejemplo durante la hora de mayores precipitaciones la intensidad media supero los 130 mm/hs, con 96.4 mm precipitados en un período de 30 min, lo que representa una intensidad media cercana a los 200 mm/hs.

Tabla 4: Precipitaciones máximas por intervalos de tiempo de la tormenta de 1-dic-12 (FIO, 2013).

Duración	[min]	1	5	15	30	60	120	240	360	480	720
	[hs]	0.017	0.083	0.25	0.5	1	2	4	6	8	12
Precipitación	[mm]	6.4	21.6	56.4	96.4	131.4	147.0	191.8	242.6	249.0	276.6
Intensidad	[mm/hs]	384.0	259.2	225.6	192.8	131.4	73.5	48.0	40.4	31.1	23.0

Los valores de la tabla 4 nos permite compararlos con las intensidades determinadas a partir de las I-D-R disponibles en la provincia, para cada duración de tormenta y distintas recurrencias. En la tabla 5 se presentan los valores para 200 años de recurrencia para las estaciones INTA Cerro Azul, Posadas Aero e Iguazú Aero y la diferencia porcentual respecto a los valores de la tormenta 1-dic-12. La comparación de las curvas se visualiza en la figura 7. En la tabla 5 y figura 7 se aprecia como solamente para una duración menor a 5 min los valores de la tormenta del 1-dic-12 son sobrepasados por los de la estación Posadas Aero, para una recurrencia de 200 años, valor máximo descriptos por las I-D-R. Para todas las otras duraciones la curva del 1-dic-12 se ubica por encima de las demás.

La máxima diferencia se da para una duración de 30 min, en la estación INTA Cerro Azul, donde la intensidad del evento es 45.2 % mayor al valor determinado para 200 años de recurrencia, mientras que la menor diferencia se da para los 15 min de duración en la estación Posadas Aero con 1.5 %. La estación Posadas Aero presenta la menor diferencia porcentual promedio con 10.6 %.

Tabla 5: Diferencia porcentual de las intensidades por duración para 200 años de recurrencia, de la tormenta del 1-dic-12 respecto a las I-D-F.

Duración	01-dic-12	INTA Cerro Azul		Posadas Aero		Iguazú Aero	
		intensidad	diferencia	intensidad	diferencia	intensidad	diferencia
[min]	[mm/hs]	[mm/hs]	[%]	[mm/hs]	[%]	[mm/hs]	[%]
5	259.2	149.7	42.2	313.5	-20.9	188.8	27.1
15	225.6	126.6	43.9	222.2	1.5	149.4	33.8
30	192.8	105.6	45.2	161.6	16.2	117.6	39.0
60	131.4	81.6	37.9	109.1	17.0	85.6	34.9
120	73.5	58.3	20.7	69.3	5.7	57.8	21.4
240	48.0	38.7	19.3	42.2	12.2	36.7	23.5
360	40.4	29.7	26.5	31.1	23.1	27.6	31.8
480	31.1	24.3	21.8	24.9	19.9	22.3	28.2
720	23.0	18.2	21.0	18.2	21.0	16.5	28.4
Promedio			30.9		10.6		29.8

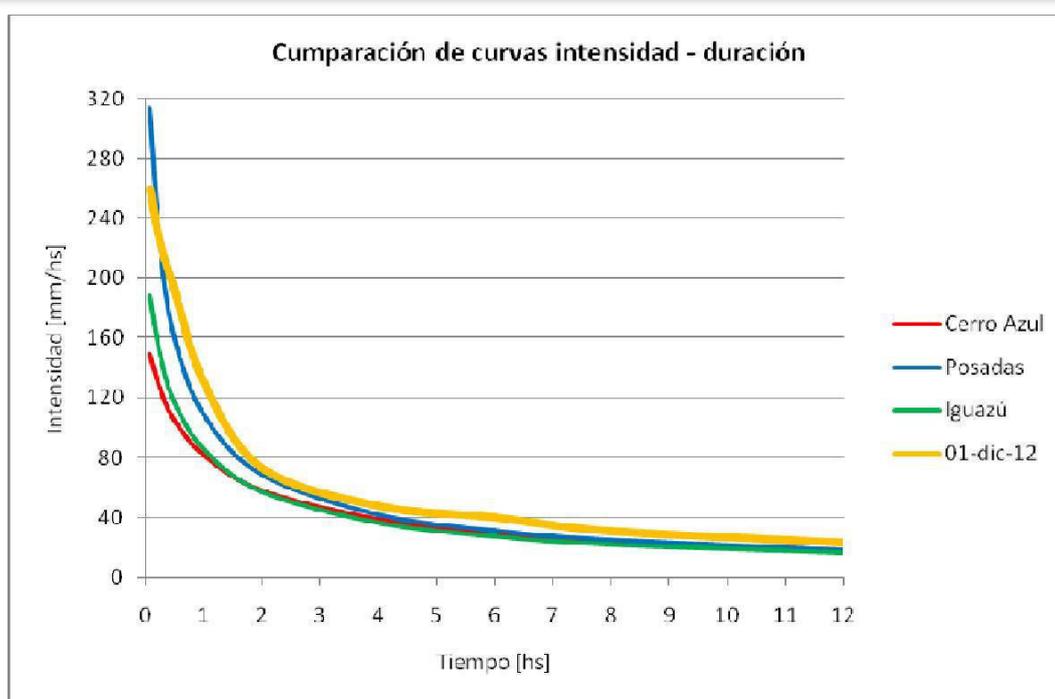


Figura 7. Curvas de intensidad-duración para 200 años de recurrencia y la correspondiente al evento del 1-dic-12.

En la tabla 6 se presentan las relaciones entre láminas precipitadas para distintas duraciones de la tormenta y de las estaciones analizadas. Todas las relaciones de duraciones son iguales a 0.5.

Tabla 6: Relaciones de lámina precipitada para distintas duraciones.

Relación	01-dic-12	INTA Cerro Azul	Posadas Aero	Iguazú Aero	Promedio de las I-D-R
15min/30min	0.59	0.60	0.69	0.63	0.64
30min/60min	0.73	0.65	0.74	0.69	0.69
1h/2h	0.89	0.70	0.79	0.74	0.74
2h/4h	0.77	0.75	0.82	0.79	0.79
4h/8h	0.77	0.80	0.85	0.82	0.82
6h/12h	0.88	0.82	0.86	0.84	0.84

La tabla anterior muestra las relaciones de intensidades máximas para 200 años de recurrencia de las estaciones INTA Cerro Azul, Posadas Aero e Iguazú Aero. En ella puede observarse como la relación entre las láminas precipitadas va aumentando a medida que aumentan las duraciones para las tres estaciones analizadas, no así para las relaciones de la tormenta del 1-dic-12, donde se observa una tendencia a aumentar con algunos altibajos.

En cuanto al promedio de cada relación en la distintas estaciones, los mismos son similares a los de la tormenta del 1-dic-12, salvo para la relación 1h/2h donde existe una diferencia del 20 %.

Si bien las relaciones de las estaciones INTA Cerro Azul y Posadas Aero son más cercanas a la del evento del 1-dic-12, no se aprecia un patrón característico que permita inferir que las curvas de una estación se ajustan mejor a las del evento.

A efectos comparativos, sin intentar establecer relaciones entre curvas, se contrastaron las IDR disponibles en nuestra región de Oberá, la relación Intensidad duración del evento de 1-dic-2012 y un envolvente de intensidades máximas de una región lejana como Rosario, comprendida en la pampa húmeda con un módulo pluviométrico anual fuertemente inferior al de Oberá. En la figura 8 se presentan las curvas I-D para 200 años de recurrencia de las tres estaciones en Misiones, las del evento del 1-dic-12 y la envolvente de eventos extremos de Rosario.

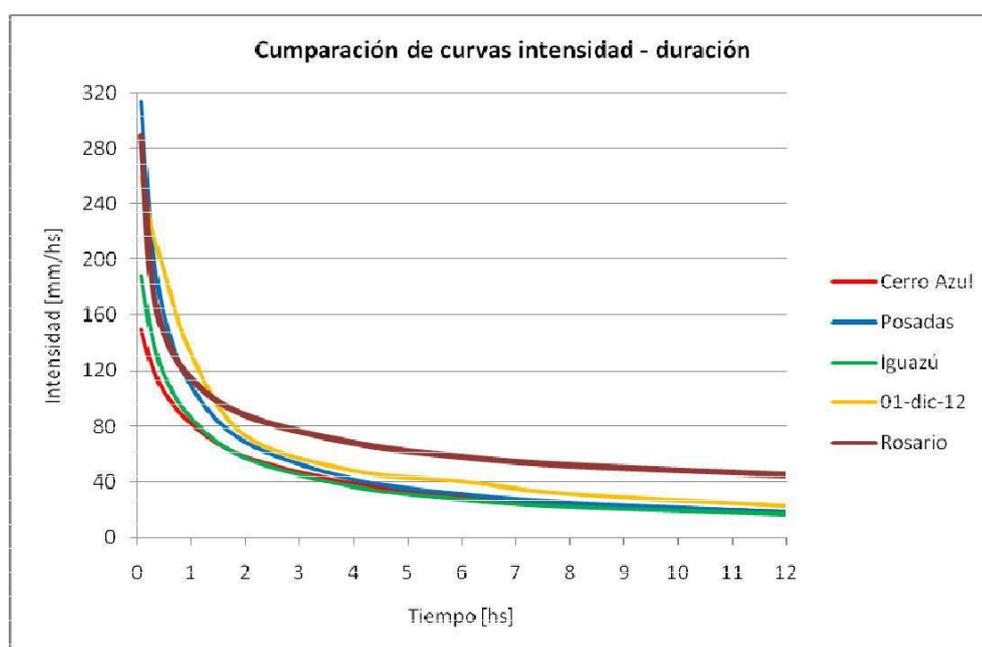


Figura 8. Curvas de intensidad-duración para 200 años de recurrencia, la correspondiente al evento del 1-dic-12 y la envolvente de Rosario.

La curva de Rosario corresponde a una envolvente de un numeroso grupo de tormentas observadas, por lo que la comparación debe tomarse con los recaudos del caso. Se evidencia en la comparación con la lluvia de Oberá del 1-dic-12, que para duraciones inferiores a los 90 minutos, las intensidades de esta última nunca han sido registradas en la zona de la pampa húmeda cercana a la ciudad de Rosario, en tanto que para duraciones superiores a los 90 minutos la evidencia empírica se invierte. Es indudable que el decaimiento en la intensidad en función de la duración de la lluvia observada en Oberá es superior a la de la envolvente, no obstante afirmaciones más rigurosas acerca de la comparación solo podrán ser llevadas a cabo cuando se pueda contrastar envolvente con envolvente”

CONCLUSIONES

Si bien en la ciudad de Oberá y las zonas aledañas existen diversas fuentes de registro de información pluvial, ninguna de ellas posee un continuo y actualizado registro pluviográfico, poniendo en evidencia el déficit de información. En contraposición con este déficit de disponibilidad, desde la demanda puede afirmarse que dadas las características de respuesta de los sistemas hidrológicos de las zonas serranas de la provincia de Misiones, se vuelve indispensable contar con tormentas desagregadas en valores subsidiarios.

En el diseño hidrológico regional para la confección de tormentas de diseño de la zona en estudio, con valores subsidiarios de precipitación mediante la utilización de curvas I-D-R, solo están disponibles las curvas confeccionadas por Litwin y Franco, las cuales se exhiben como desactualizadas, dado que fueron confeccionadas con datos de serie de entre 18 y 34 años, cuyos últimos registro datan de 30 años atrás.

A pesar de poseer menor modulo pluviométrico y menor altitud que las demás estaciones, la estación Posadas Aero presenta mayores intensidades para duraciones menores a 4 hs. Además para 200 años de recurrencia, máximo descriptos por las curvas, los valores de intensidad de Posadas Aero son más cercanos a los del evento del 1-dic-12. Como era de

esperar puede afirmarse que las curvas I-D-R de Misiones presentan una similitud morfológica entre sí y con la del 1-dic-12.

Dada las longitudes de las series utilizadas para la confección de las I-D-R, no se puede aseverar que el evento analizado posea una recurrencia mayor a la de 200 años, pero si se puede asegurar que tormentas mucho más intensas a las descritas por las I-D-R disponibles son factibles de presentarse en la zona.

No se debe perder de vista que la tormenta del 1-dic-12 se trató de un evento pluviográfico nunca antes registrado en la zona, por lo que la posible utilización de la misma para diagnóstico y diseño de redes de desagüe pluvial o mapeo de inundaciones deber ser utilizada con cierta prudencia. Sin embargo, dicho registro demuestra la real posibilidad de ocurrencia de un evento de tanta magnitud en la ciudad de Oberá y la región.

BIBLIOGRAFÍA

CELO (Cooperativa Eléctrica Limitada de Oberá) (2012). Comunicación Interna.

DH-FCEIyA (Departamento de Hidráulica, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario) (2008), "Rehidrología y modelo de simulación a tiempo real en sistema de alerta hidrológico en las cuencas de los arroyos Ludueña y Saladillo", Informe de avance I, Convenio FCEIA-MASPyMA, Rosario.

FIO (Facultad de Ingeniería de Oberá, Universidad Nacional de Misiones) (2013). Datos de la estación meteorológica.
INTA Cerro Azul (2013). Comunicación Interna.

Litwin C. y Franco P. (1987). "Estudio Hidrológico e Hidráulico de Tributarios del Río Paraná en el Tramo Comprendido entre el Río Iguazú y la Sección Encarnación – Posadas". Informe para la Comisión mixta argentino – paraguaya (COMIP). CABA, 245 p.

Mezher R., Mercuri P. y Pizarro M. (2008) "Mapa de precipitación anual en la República Argentina, Serie 1971-2000". INTA CABA, Argentina.

MisionesOnline (2012) "Hermanos mueren ahogados al ser succionados por una corriente". Acceso on line 25 de febrero de 2014. www.misionesonline.com.

Olinuk J. (1998). "El clima en la localidad de Cerro Azul, período 1967 – 1996". Estación experimental agropecuaria INTA Cerro Azul. Informe técnico N° 68, ISSN 0326-0135. Posadas, Misiones. 73 p.

Primera edición web (2012) "Oberá: bajo el caudal de los arroyos y los evacuados pudieron volver a sus hogares". Acceso on-line 25 de septiembre de 2013. http://www.primera_edicionweb.com.ar/nota/digital/65595.

Riccardi G. (2004). "Hidrología en medios antropizados" Libro electrónico. CURIHAM, FCEIA-UNR. <http://c-virtual.fceia.unr.edu.ar>.

Rodriguez T., Reinert H., Ruberto A., Gomez M. y Berger E. (2013). "Urbanización e impacto hidrológico en una cuenca de alta pendiente del centro de Misiones". CD actas CONAGUA 2013. San Juan. 12 p.

Secretaría de Minería de la Nación (2012). “Provincia de Misiones – clima y meteorología”. Acceso on-line 6 de junio de 2012. <http://www.mineria.gov.ar/estudios/irn/misiones/m-1.asp>.

Zimmermann E. (2008) “Análisis de sistemas hidrológicos” Libro electrónico. CURIHAM, FCEIA-UNR. 3ra ed. <http://c-virtual.fceia.unr.edu.ar>.

VARIABILIDAD DE LAS SEQUÍAS HIDROMETEOROLÓGICAS EN LA REGIÓN CENTRAL DE LA ARGENTINA

Leticia Vicario^{1, 2,5}, Carlos M. García^{2,3}, Ingrid Teich^{3,4}, Clarita Dasso^{3,5}

¹Centro de Estudios y Tecnología del Agua. Universidad Nacional de Córdoba. Av. Filloy s/n. Ciudad Universitaria. Cba., Rep. Argentina. Tel/fax: +54-0351-4334446.
E-mail: lvicariotm@gmail.com

²Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba 3 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

⁴Estadística y Biometría, Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Córdoba. 5CIRSA-INA. Centro de la Región Semiárida. Instituto Nacional del Agua

RESUMEN

Los procesos de sequía de distintas intensidades afectan de manera recurrente a varias regiones de la República Argentina. Dado el carácter agrícola-ganadero de la región central pampeana de ese país, el análisis y evaluación de las sequías en esa región adquiere gran relevancia en el plano económico y en el de la planificación estratégica, entre otros. Esta situación es aún más relevante si se menciona que en dicho territorio se localizan algunas de las ciudades más importantes del país. En este trabajo se analiza la variabilidad espacial de las sequías hidrometeorológicas en la región de estudio mediante el índice estandarizado de precipitaciones (SPI) para sub-áreas y a nivel regional. Para identificar sub-áreas de influencia de los fenómenos de déficit hidrometeorológico se aplicaron criterios y análisis estadísticos multivariado sobre la variable lluvia media anual (la cual se adopta a priori como representativa de los procesos que se estudian en este trabajo debido a su mayor disponibilidad espacial y temporal) de 15 localizaciones en la región de estudio. Se utilizaron series de datos pluviométricos mensuales de estaciones ubicadas en las provincias de Córdoba, Santa Fe y Entre Ríos, para el período 1980-2009. Se lograron identificar tres grupos de estaciones con comportamiento similar en lo que se refiere a los procesos pluviométricos y en particular, a aquellos relacionados con las sequías intensas, lo que permite identificar escalas espaciales o subáreas de influencia de los fenómenos de déficit hidrometeorológico.

Palabras claves:

Región central Argentina -- Sequías hidrometeorológicas – Lluvia media anual - Análisis estadístico multivariado -

INTRODUCCIÓN

La escasez de precipitaciones (valores observados menores a los esperados o medios) en un área y en un período de tiempo determinado constituye un proceso hidrológico extremo denominado “sequía”. Todos los lugares del planeta están sujetos a la eventual ocurrencia de estos procesos, incluso las áreas típicamente lluviosas (Dracup et al., 1980). Estos fenómenos pueden ser detectados utilizando información de diversas variables: a) la precipitación (sequía meteorológica), b) la humedad del suelo (sequía agrícola), o c) la escorrentía superficial (sequía hidrológica). Cuando se inicia un período de sequía, generalmente el sector agrícola es el primero en ser afectado debido a su alta dependencia de la cantidad de humedad en el suelo. No obstante, un período de sequía agrícola en una región, es consecuencia de la ocurrencia previa de un período de sequía hidro-meteorológica y a su vez, es posiblemente, precedente a la ocurrencia de un período de sequía hidrológica, según la extensión en el tiempo, de una o más de sus características.

Las sequías se tratan de eventos inevitables, todavía poco predecibles (Kim et al., 2002) debido al comportamiento caótico de los procesos hidrometeorológicos, por lo que para su caracterización se utilizan herramientas estadísticas. En particular, para caracterizar y describir estadísticamente a las sequías, se tienen en cuenta sus principales variables tales como la probabilidad de ocurrencia, su duración e intensidad.

En ese ámbito, es necesario estudiar y analizar, para una mejor comprensión de los parámetros de la sequía, los umbrales específicos de estos procesos según la región hidro-climática (Mishra y Singh, 2010). El análisis de los períodos secos (con sequías) es requerido para realizar la planificación y manejo de los recursos hídricos en aquellas zonas donde gran parte de la actividad económica depende del aprovechamiento de esos recursos hídricos (Ortiz Gómez et al., 2010). Dado el carácter agrícola-ganadero de la región central pampeana de la República Argentina y su relevancia en la economía territorial, es indispensable analizar las sequías en esa región que provocan importantes pérdidas económicas en la agricultura y ganadería (Ravelo, 2009). En particular, los efectos de las sequías se ven reflejados en la provincia de Córdoba, donde las condiciones hídricas de los suelos del sur provincial y, consecuentemente, de los cultivos han comenzado a deteriorarse rápidamente por la sequía (Ravelo et al., 2008).

El estudio de las sequías en áreas de llanura (como a las que se incluyen en la zona de estudio) son limitados, debido en parte, a las pocas estaciones pluviométricas disponibles y su escasa densidad espacial (Ovalles et al. 2007) . Vicario (2008) recomienda que para favorecer el desarrollo de estudios certeros sobre el tema de la sequía y debido a la escasez de registros hidro-meteorológicos e hidrológicos en la zona de estudio, es necesario implementar una red hidro-meteorológica que permita conformar una base de datos completa. Mientras la situación de escasez de información esté presente, se destaca la importancia de efectuar un análisis regional, como el que se desarrolla en este trabajo, de la información de estaciones de superficie disponible, para identificar zonas hidro-meteorológicamente homogéneas y optimizar la información existente para minimizar las incertidumbres en los resultados.

El objetivo general del presente trabajo es estudiar la variabilidad espacial de las precipitaciones y de las sequías en la región central de la República Argentina. En la región de estudio, la principal componente de precipitación es la lluvia por lo tanto ambos términos se utilizarán en forma indiferente. Para cumplimentar con el objetivo general se desarrollaron los siguientes objetivos específicos: (1) identificar zonas hidro-meteorológicamente homogéneas mediante un análisis regional, (2) caracterizar las sequías hidro-meteorológicas de las zonas identificadas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Información utilizada

Se utilizaron datos de lluvias mensuales registradas en el período 1980-2009 pertenecientes a estaciones hidro-meteorológicas de superficie de la región pampeana central de la Argentina. Los datos fueron registrados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) de la República Argentina, y están disponibles en el Sistema Integrado de Información Agropecuaria (SIIA, sitio web: <http://www.sii.gov.ar/>). Se incluyeron aquellas estaciones con datos para el período de estudio y con un porcentaje máximo de datos faltantes del 5%. Los datos faltantes para cada mes se completaron con los valores promedios históricos de ese mes para la estación analizada, de manera de minimizar los efectos de esta discontinuidad sobre la media de la serie, y sobre el posterior cálculo del índice de sequía. Así, se seleccionaron 15 estaciones pluviométricas (cuyas localizaciones se detallan en la Tabla 1), de las cuales 7 se encuentran ubicadas en la provincia de Córdoba, Argentina (en las localidades de Córdoba, Laboulaye, Marcos Juárez, Pilar, Río Cuarto, Villa Dolores y Villa María de Río Seco), 5 en la provincia de Santa Fe (en las localidades de Ceres, El Trébol, Rosario, Sauce Viejo y Venado Tuerto) y 3 en la provincia de Entre Ríos (en las localidades de Gualeguaychú, Paraná y Concordia). Dado que el período de estudio incluye 30 años, se trabajó en cada estación con una serie de 360 valores de lluvia correspondientes a los 12 meses de los 30 años incluidos en el período de estudio.

Análisis regional: identificación de zonas hidro-meteorológicamente homogéneas

Para definir subgrupos de estaciones pluviométricas que caractericen zonas homogéneas respecto a sus características hidro-meteorológicas que permitan realizar un análisis regional de las sequías, se implementaron dos metodologías que fueron utilizadas en forma complementaria: a) basada en la similitud de las características físicas de las localizaciones donde están instaladas las estaciones (Pierrehumbert, 1977); y b) basada en la similitud del comportamiento de las series de datos de lluvia anual precipitada (mediante análisis estadísticos multivariados). Para la primera alternativa metodológica se identificaron grupos según el criterio definido por Pierrehumbert (1977), el cual establece que los datos de una estación pluviométrica se pueden suponer representativos de otros sitios si se cumplen las siguientes condiciones:

- a) El terreno es similar en un radio de 5 km de la localización de cada estación;
- b) Los sitios están ubicados en la misma vertiente hidrológica;
- c) La diferencia de nivel topográfico entre sitios es menor que 200 m;
- d) Los sitios se encuentran a una distancia no mayor a 150 Km.
- e) La diferencia de lluvia media anual entre sitios es menor a 100 mm, si ésta es menor a 1000 mm;
- f) La diferencia de lluvia media anual es menor que un 10 % en zonas más húmedas;

Para implementar la segunda alternativa metodológica, se construyeron series de lluvia media anual para cada estación y se realizó un análisis de componentes principales (ACP). Esta técnica permite explorar las relaciones existentes entre las observaciones multidimensionales mediante ordenaciones de las mismas sobre planos que son óptimos para ordenar las observaciones y analizar interdependencias. En esencia, en el ACP se extraen sucesivos componentes desde una matriz de similitudes (o distancias) entre las observaciones (15 estaciones pluviométricas) calculada a partir de múltiples variables (30 valores de lluvias anuales en el período de estudio). Esos componentes son usados como ejes para la representación gráfica de los objetos. En la ordenación, cada unidad de estudio es ubicada sobre uno o más ejes tal que su posición

Tabla 1: Estaciones pluviométricas seleccionadas en la región central de la República Argentina

Estación	Provincia	Latitud [°S]	Longitud [°O]	Altitud [m.s.n.m]
Córdoba (CBA)	Córdoba, Argentina	31.19	64.10	474
Laboulaye (LAB)		34.08	63.20	137
Marcos Juárez (MJ)		32.42	62.10	114
Pilar (PI)		31.40	63.50	338
Río Cuarto (RC)		33.07	64.10	421
Villa Dolores (VDOL)		31.57	65.10	569
Villa María de Río Seco (VMRS)		29.54	63.40	341
Ceres (CE)	Santa Fe, Argentina	29.53	61.60	88
El Trébol (TR)		32.30	61.40	96
Rosario (ROS)		32.55	60.50	25
Sauce Viejo (SV)		31.42	60.50	18
Venado Tuerto (VT)		33.40	61.60	112
Guaqueguaychú (GUAL)	Entre Ríos, Argentina	33.00	58.40	21
Paraná (PAR)		31.47	60.30	78
Concordia (CON)		31.18	58.00	38

relativa refleja las similitudes y/o distancias entre ellos (Gabriel, 1971). Específicamente, para identificar grupos se realizó un análisis de Conglomerados. Esta técnica permite asociar las observaciones de un conjunto, en un número determinado de grupos, basada en el concepto de distancia o similitud entre las observaciones. En este trabajo se utilizó la distancia Euclídea (d) debido a que es un método sencillo y recomendable para los casos en los que las variables estén medidas en las mismas unidades y sean homogéneas. Se utilizó el método de Encadenamiento promedio (Sokal y Michener, 1958), ya que es uno de los métodos más simples y que ha presentado resultados eficaces en numerosos casos en los que se ha aplicado. Este método consiste en, dados dos conglomerados, promediar todas las distancias entre pares de objetos en los que cada uno de estos objetos, pertenezca al otro conglomerado del de su par. Es posible representar los resultados con las distintas etapas de agrupamiento a través de un gráfico, denominado dendrograma. Ambos análisis se realizaron con el programa Infostat (Di Rienzo et al, 2011).

Análisis de sequías hidro-meteorológicas

Una vez identificadas las sub-áreas pluviométricamente homogéneas, para evaluar el comportamiento de las sequías observando la variabilidad interanual del proceso se calculó el índice de precipitación estandarizado (SPI), (McKee et al., 1993) de cada serie temporal y luego se promedió a nivel de sub-área. Se utilizó este índice ya que el SPI es el índice actual que sintetiza más apropiadamente las características de la sequía como fenómeno natural, partiendo del principio de que la precipitación pluvial (lluvia), como parte del ciclo hidrológico, define si existe abundancia o déficit de agua respecto a las condiciones medias de la escala o período que se considere (Velasco y Aparicio, 2004). Este índice considera las probabilidades de ocurrencia de precipitación pluvial para un período dado. Su cálculo consiste en ajustar una serie histórica de precipitación mensual con la función de distribución probabilística Gamma, ya que es la función de distribución que mejor ajusta a la variable precipitación (Thom, 1966; Young, 1992). Se considera sequía (situación de déficit) cuando el valor del índice es igual o menor a -1. McKee et al (1993), define los valores del SPI y las características de los periodos asociados a esos valores, los cuales se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2: Valores adimensionales del índice estandarizado de Precipitación y las características de los periodos asociados (SPI)

Índice	Categoría
>2	Extremadamente húmedo
1.99 a 1.50	Muy húmedo
1.49 a 1.00	Moderadamente húmedo
0.99 a -0.99	Normal
-1.00 a -1.49	Sequía moderada
-1.50 a -1.99	Sequía severa
<-2.00	Sequía extrema

Asimismo, con la finalidad de observar la variabilidad del índice de sequía SPI y representar adecuadamente su tendencia, se calcularon los promedios móviles con intervalos constantes de 12 períodos mensuales.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis regional: identificación de zonas hidro-meteorológicamente homogéneas

Según el criterio de Pierrehumbert (1977), la estación de Villa Dolores no es agrupable a ninguna de las estaciones seleccionadas para este trabajo, debido a que no cumple con la condición de la diferencia en nivel topográfico, ni con la condición de diferencia en la pluviometría anual. Esto es coherente ya que dicha estación está emplazada en la zona serrana. De igual manera, se estima que la estación de Concordia no es representativa de ningún subgrupo ya que presenta una diferencia notable en la variable de precipitación, respecto de las estaciones consideradas. La evaluación del resto de las características físicas sugeridas por Pierrehumbert (1977) se realizó de

manera complementaria al análisis estadísticos multivariados de la variable de lluvia media anual, de tal manera de validar la coherencia en los agrupamientos de estaciones realizados.

La Figura 1 muestra el ordenamiento de las estaciones pluviométricas de la región central de Argentina en el plano definido por las dos primeras componentes principales obtenidas del ACP realizado sobre los datos de lluvia anual entre 1980 y 2009. Los distintos colores corresponden a estaciones ubicadas en distintas provincias. Los dos primeros ejes obtenidos mediante el análisis de componentes principales explican un 75,1% de la variabilidad observada entre estaciones respecto a las medias pluviométricas anuales. En la Figura 1, se observa que las estaciones de Villa Dolores y Concordia están alejadas del resto de los casos del conjunto, respecto a sus características pluviométricas, lo cual concuerda con los resultados obtenidos mediante el criterio de Pierrehumbert (1977). Por esta razón, ambas estaciones fueron descartadas en los análisis posteriores. Las estaciones de la provincia de Córdoba presentan lluvias medias anuales inferiores respecto de las estaciones de la provincia de Entre Ríos y en algunos casos se acercan al comportamiento de las estaciones de Santa Fe.

Dado el número de estaciones y según las características físicas y pluviométricas de las mismas, se definió que la cantidad óptima de zonas o sub-áreas homogéneas es tres. El análisis de conglomerados identificó los siguientes tres grupos: el grupo 1 está conformado por las estaciones de Sauce Viejo, Rosario, Paraná y Gualeguaychú; el grupo 2 por las estaciones de Villa María de Río Seco, Pilar y Córdoba y por último, el grupo 3, conformado por las estaciones de Río Cuarto, Laboulaye, Venado Tuerto, Marco Juárez, el Trébol y Ceres. En la Figura 2 se muestra el dendrograma obtenido mediante el análisis de Conglomerados y en la Figura 3 se identifican en un mapa las estaciones que conforman cada una de las agrupaciones o sub-áreas.

Análisis de sequías hidro-meteorológicas

Una vez agrupadas las estaciones representativas en cada sub-área se analizaron las sequías hidro-meteorológicas de manera conjunta para cada uno de los tres grupos definidos. Se observa que las estaciones que conforman cada uno de los grupos detallados presentan similar comportamiento entre sí, en cuanto a la ocurrencia de períodos secos.

En el caso del grupo 1 (Sauce Viejo, Rosario, Paraná y Gualeguaychú), todas presentaron períodos de sequías severas y/o extremas en los años 1989 y 2008-2009. Además se registraron dos eventos extremos de consideración para el caso de la estación de Rosario en el año 1983 y en la estación de Paraná en 1997.

Dentro del grupo 2 (Villa María de Río Seco, Pilar y Córdoba) se observaron períodos de sequías severas y/o extremas entre los años 1988 - 1990 y 2008 - 2009 para todos los casos, también en los años 1994 a 1996 y 2003-2004 a excepción de la estación de Córdoba que presentó sequías moderadas a severas.

Con respecto a las estaciones que conforman el grupo 3 (Río Cuarto, Laboulaye, Venado Tuerto, Marcos Juárez, El Trébol y Ceres), se observaron, como en el resto de la región de estudio, períodos con sequías severas y/o extremas alrededor de los años 1989 y 2008-2009 en todas las estaciones; desde el año 1996 hasta el 2006 se registraron distintos eventos de sequías intensas en algunas de las estaciones que conforman el grupo.

En la Figura 4 se muestran los valores promedios del índice SPI de cada grupo de estaciones. Cabe destacar que en los tres grupos de estaciones pluviométricas dentro del área de estudio se observaron sequías severas o extremas alrededor de los años 1989, 1995/1997 y 2008. Lo que indicaría un importante déficit hidro-meteorológico (sequía) a nivel regional en la segunda mitad de cada década.

Además, a través del análisis del Índice SPI promedio de cada grupo de estaciones incluido en la Figura 4, es posible observar que a nivel regional y a partir del año 1998 aproximadamente, los ciclos húmedos son más importantes en cuanto a su intensidad. Para identificar más claramente esta situación se graficaron en la Figura 6 las líneas de tendencia obtenidas a partir de la media móvil de 12 meses de las series de datos de valores promedios del índice SPI de cada grupo de estaciones.

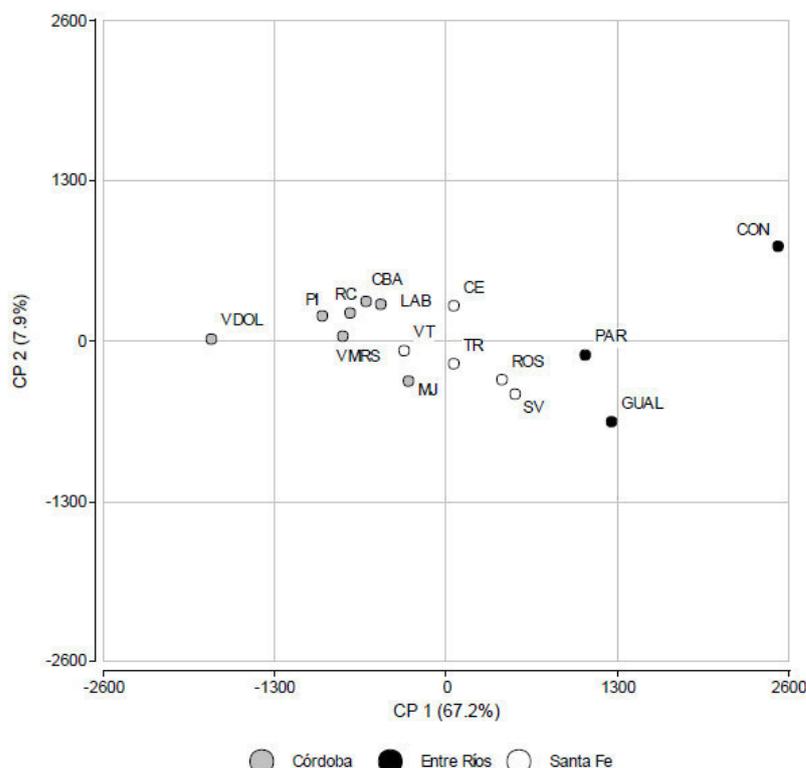


Figura 1: Ordenamiento de las estaciones pluviométricas de la región central de Argentina en el plano definido por las dos primeras componentes principales obtenidas del ACP realizado sobre los datos de lluvia anual entre 1980 y 2009. Los distintos colores corresponden a estaciones ubicadas en distintas provincias.

Se observa que hasta el año 1997 aproximadamente, el Grupo 1 y 3 se comportan de manera similar. No obstante a partir del año '98 hasta el final de la serie, las tendencias de los 3 grupos son compatibles entre sí en cuanto a la ocurrencia de ciclos húmedos, normales o secos, pero se destaca que el Grupo 1 presenta ciclos húmedos más intensos que el resto de los grupos.

A partir de este análisis de tendencias, se realiza el análisis estadístico descriptivo de los valores SPI promedios de cada Grupo, en primera instancia de la serie completa y luego de la serie dividida en dos muestras: 1980-1997 y 1998-2009- Los resultados se presentan respectivamente en la Tabla 3 y Tabla 4.

Es posible observar que, efectivamente, en el primer período analizado 1980- 1997 el Grupo 2 posee sus valores característicos por encima del resto de los valores del Grupo 1 y Grupo 3. Sin embargo, a partir del año 1998 el Grupo 1 posee un valor de la media mayor y positivo respecto del primer período y del resto de los grupos, lo que indicaría ciclos húmedos más intensos o bien mayor cantidad de meses con registros de lluvia en las estaciones que lo conforman.

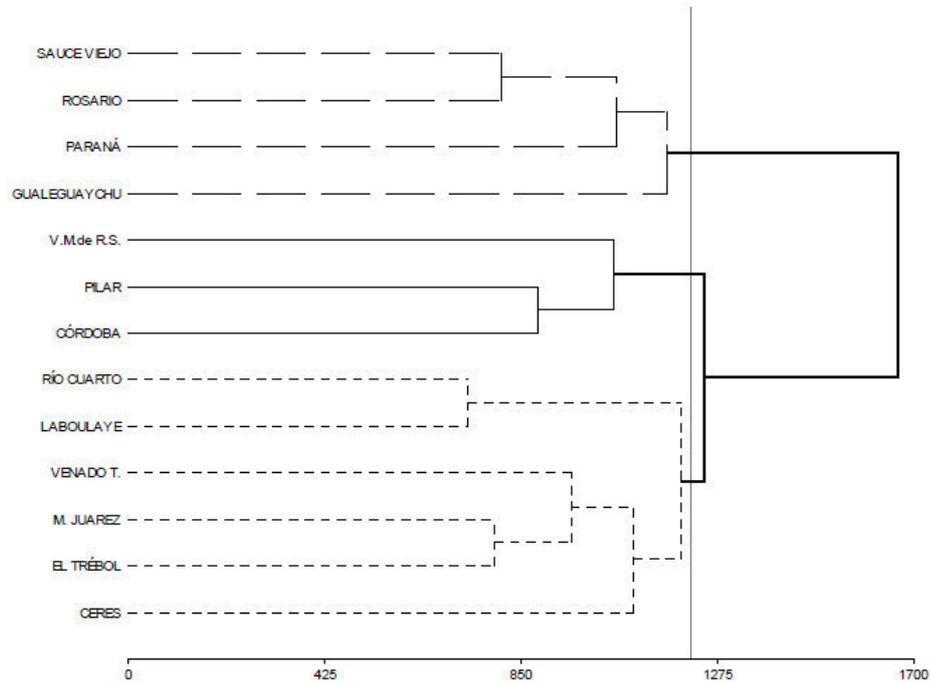


Figura 2: Dendrograma obtenido mediante el análisis de conglomerados realizado sobre los datos de lluvia anual entre los años 1980 y 2009 de las 13 estaciones analizadas. Se detalla la distancia a la cual se separan los tres grupos obtenidos.

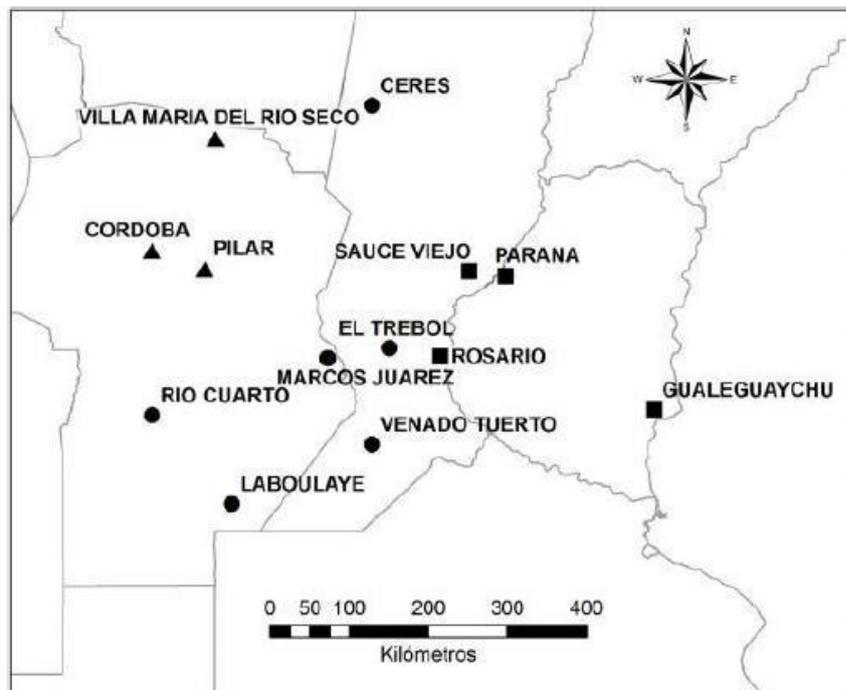


Figura 3: Ubicación de las estaciones que conforman cada una de las agrupaciones, distinguidas según: Grupo 1: cuadrado, Grupo 2: triángulo y Grupo 3: círculo

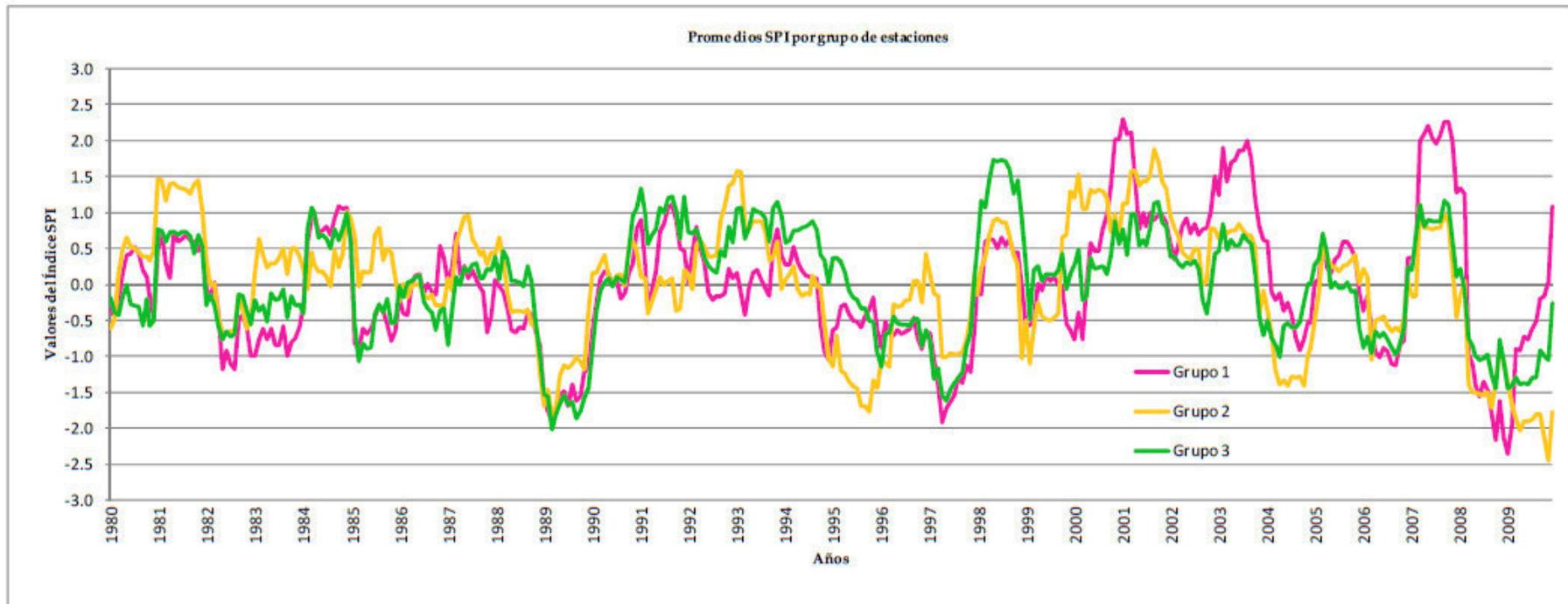


Figura 4: Gráfico de los valores promedios del índice SPI (para 12 meses) de cada uno de los grupos de estaciones o sub-áreas. Grupo 1: Magenta, Grupo 2: Amarillo y Grupo 3: Verde

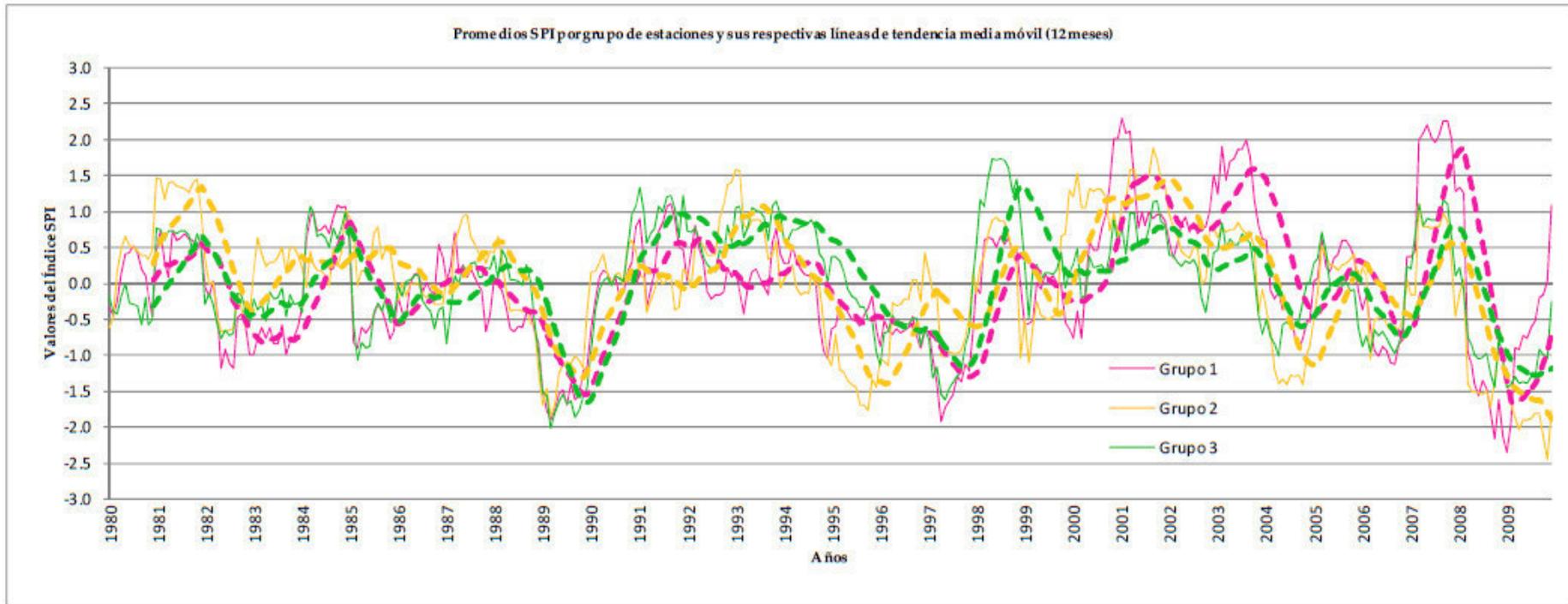


Figura 6: Gráfico de los valores promedios del índice SPI de cada uno de los grupos de estaciones y sus respectivas líneas de tendencia obtenidas a partir de la media móvil de 12 meses (líneas de puntos).
Grupo 1: Magenta, Grupo 2: Amarillo y Grupo 3: Verde

Tabla 3: Estadística descriptiva de las series de valores promedios del SPI, de cada grupo de estaciones (1980-2009)

Variable	n	Media	D.E.	Var(n)
Grupo1	360	-0.02	0.90	0.80
Grupo2	360	0.01	0.87	0.75
Grupo3	360	-0.0004	0.77	0.59

CONCLUSIONES

En este trabajo se analiza la variabilidad espacial de las sequías hidro-meteorológicas en la región Central de Argentina (extensa región donde predominan los llanos). Se lograron identificar grupos de estaciones o localizaciones con comportamiento similar en lo que se refiere a los procesos pluviométricos y en particular, a aquellos relacionados con las sequías intensas, lo que permite identificar escalas espaciales o subáreas de influencia de los fenómenos de déficit hidro-meteorológico.

Para agrupar las estaciones se implementó un criterio de clasificación en el cual se complementa un análisis que tiene en cuenta las características físicas del lugar donde se localizan las estaciones pluviométricas y análisis estadísticos multivariados sobre la variable lluvia media anual en cada localización. En primera instancia se descartaron como representativas de la región de estudio las estaciones de Villa Dolores (provincia de Córdoba) y Concordia (Entre Ríos) ya que no tienen correspondencia con el resto de las estaciones de la región. Se conformaron finalmente tres sub-áreas homogéneas estadísticamente considerando su comportamiento pluviométrico.

Tomando como referencia el índice SPI (12 meses) se corrobora que las estaciones pertenecientes a cada uno de los grupos conformados poseen un comportamiento similar respecto de los períodos de sequías. Existieron sequías severas o extremas alrededor de los años 1989, 1995/1997 y 2008, lo que indicaría un posible déficit hidro-meteorológico a nivel regional en la segunda mitad de cada década. Hacia el Este del área de estudio se observan períodos húmedos más intensos, a partir de fines de la década del '90.

REFERENCIAS

DI RIENZO J.A., CASANOVES F., BALZARINI M.G., GONZALEZ L., TABLADA M., ROBLEDO C.W. InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

DRACUP, J.A, LEE, K.S. Y PAULSON, E.G. JR. On the definitions of drought. WRR. Vol.16, núm. 2, 1980, pp. 297-302.

GABRIEL, K.R. Biplot display of multivariate matrices with application to principal components analysis. Biometrika, 58: 453-467. Año 1971.

KIM, T., VALDÉS, J.B. Y APARICIO, J. Frequency and spatial characteristics of droughts in the Conchos river basin, Mexico. *Water international*. Vol. 27, num 3, septiembre, 2002, pp.420-430.

MCKEE, T.B., N. J. DOESKEN AND J. KLIEST. The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference of Applied Climatology*, 17-22 January, 1993, Anaheim, CA. American Meteorological Society. Boston, MA. 179-184.

MISHRA, A. K. Y SINGH, V. P. A review of drought concepts. *Journal of Hydrology* 391 (2010) 202–216

ORTIZ GÓMEZ, R., BARRAGÁN BARRIOS, M. C. Y ALVARADO MEDELLIN, P. Evaluación de la sequía meteorológica a escala regional en la cuenca Lerma Chapala. XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Punta del Este, Uruguay. Noviembre del 2010

OVALLES, F., CORTEZ, A., RODRÍGUEZ, M., REY, J. Y CABRERA-BISBAL, E. Variación geográfica del impacto del cambio climático en el sector agrícola en Venezuela. I Congreso Venezolano de Agrometeorología y V Reunión Latinoamericana de Agrometeorología. Maracay, Venezuela, 2007.

PIERREHUMBERT, C. L. Rainfall Intensity-Frequency-Duration Estimation. Capítulo 2 en: *Australian Rainfall and Runoff*. The Institution of Engineers. Canberra, Australia, 1977.

RAVELO, A.C., PLANCHUELO, A., ZANVETTOR, R., BARBEITO, A., MARRACO, G. Monitoreo, evaluación e impacto de la sequía en la provincia de Córdoba. *Boletín agroclimático de la provincia de Córdoba*, 2008.

RAVELO, A. C. Monitoreo y evaluación de las sequías en Argentina. Seminario Internacional sobre Sequías y Gestión del Riesgo Climático. CAZALAC. Chile, 2009.

SOKAL, R.R.; MICHENER, C.D. (1958). *A Statistical Methods for Evaluating Systematic Relationships*. University of Kansas Science Bulletin, 38: 1409-1438.

THOM, H. Some Methods of Climatological Analysis. WMO Technical Note Number 81, Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 1966. 53 pp.

VELASCO I. Y APARICIO, J. Evaluación de índices de sequía en las cuencas de afluentes del río Bravo/Grande. *Ingeniería Hidráulica en México*, vol. XIX, num 3, pp. 37-53, julio-septiembre de 2004.

VICARIO, L. Evaluación de las sequías hidro-meteorológicas en la cuenca del dique San Roque, Córdoba. Tesis de Maestría. FCEFyN. Universidad Nacional de Córdoba, 2008.

YOUNG, K.C. A Three-Way Model for Interpolating for Monthly Precipitation Values. *Monthly Weather Review* (1992), 120, pp. 2561-2569



IV Taller sobre Regionalización de
Precipitaciones Máximas
Tucumán, Argentina 15 y 16 mayo 2014



INICIATIVA INTERNACIONAL SOBRE INUNDACIONES IFI

Antecedentes

El Plan Estratégico para la **Sexta Fase** del PHI (PHI-VI, 2002-2007), el Subtema 2.1 *“Los fenómenos extremos y la gestión de los recursos terrestres e hídricos”* trata de la elaboración de un marco para reducir la vulnerabilidad ecológica y socioeconómica a los **extremos hidrológicos** (inundaciones, sequías, corrientes de fango, acumulación de hielo).

El Plan Estratégico de la **Séptima Fase** del PHI (PHI-VII 2008-2013), el Subtema 1.2 propuesto *“Extremos hidrológicos en zonas sensibles y estresadas tanto hidroclimáticas como de biomasa”* abarcará las medidas para la gestión de los riesgos contra los acontecimientos **hidrológicos extremos**.



INICIATIVA INTERNACIONAL SOBRE INUNDACIONES IFI

International Flood Initiative (IFI) is a joint initiative in collaboration with such international organizations as [UNESCO \(IHP\)](#), [WMO](#), [UN/ISDR](#), [UNU](#), [IAHS](#) and [IAHR](#). IFI made its [official launch](#) in January 2005 at the World Conference on Disaster Reduction (WCDR) in Kobe, Japan. ([UNESCO](#)) and ([WMO](#)), building on past cooperative successes, have launched the (IFI) to address existing management gaps through a holistic approach and to provide a platform for further collaborative efforts. The initiative will work in close cooperation with the United Nations University ([UNU](#)), the International Strategy for Disaster Reduction ([ISDR](#)), [IAHS](#) and [IAHR](#). The IFI secretariat is located in the International Centre for Water Hazard and Risk Management ([ICCHARM](#)) in Tsukuba, Japan. UN agencies working on other aspects of flood management will also be invited to contribute to the initiative.



INICIATIVA INTERNACIONAL SOBRE INUNDACIONES IFI

Antecedentes

Marzo de 2005. Ginebra, Suiza. Primera reunión para la *International Flood Initiative/Programme, IFI*.

Coordinación Mundial en el Centro Internacional sobre los riesgos relacionados con el agua y su gestión (ICHARM), Japón.

Agosto de 2007. Guatemala. El Comité Mexicano del PHI, **CoNaMexPHI** solicitó la Coordinación Regional de esta Iniciativa.



INICIATIVA INTERNACIONAL SOBRE INUNDACIONES IFI

Objetivo, IFI LAC

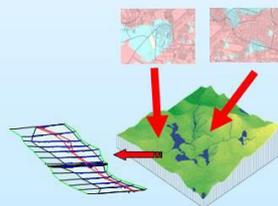
El objetivo general de esta Iniciativa es construir las capacidades necesarias para entender y responder de una manera eficiente ante las inundaciones, estimar la vulnerabilidad y potenciar los beneficios de la gestión de riesgos, en el ámbito de Latinoamérica y El Caribe.

Esquema de trabajo entre los países:

7 Objetivos específicos

4 Ámbitos generales

5 Áreas estratégicas



INICIATIVA INTERNACIONAL SOBRE INUNDACIONES IFI

Objetivos específicos

1. Promover la investigación científica en materia de inundaciones fluviales, costeras, rurales y urbanas.
2. Promover el comprensión de la vulnerabilidad y la estimación del riesgo por inundación;
3. Promover el desarrollo de herramientas computacionales para la modelación de cuencas y ríos;
4. Realizar actividades eficaces de capacitación en círculos institucionales y profesionales para poner en marcha las acciones oportunas de sensibilización dirigidas, entre otros destinatarios, a la opinión pública;



INICIATIVA INTERNACIONAL SOBRE INUNDACIONES IFI

Objetivos específicos *continuación...*

5. Crear y afianzar redes de intercambio de información de carácter científico, técnico y normativo entre instituciones y particulares;
6. Organizar actividades de transmisión de conocimientos e información, en particular simposios y talleres internacionales;
7. Elaborar publicaciones y material técnico relacionado con los objetivos y actividades de esta Iniciativa.



REUNIONES DE TRABAJO Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS: México 2009, Perú 2010, Guatemala 2011, La Habana, 2012



PHI UNESCO - IFI - FRIEND - Coordinaciones Regionales para Latinoamérica y el Caribe, LAC



Programa FRIEND - AMIGO para América Latina y el Caribe

El proyecto **FRIEND (Regímenes de Corriente en Cuencas Experimentales y Red de Datos Internacionales)**, es un proyecto transversal en la agenda científica del Programa Hidrológico Internacional surgido en el año **1985**, que tiene como objetivos de trabajo los siguientes:

- Mejorar la comprensión de la variabilidad espacial y temporal de régimen hidrológico a escala regional
- Compartir datos provenientes de redes de observación seleccionadas y de cuencas experimentales
- Compartir y mejorar las herramientas para el análisis hidrológico
- Detectar tendencias debidas a la variabilidad y el cambio climáticos
- Detectar el impacto humano sobre el régimen hidrológico



PHI UNESCO - IFI - FRIEND - Coordinaciones Regionales
para Latinoamérica y el Caribe, LAC



PROYECTO DE REGIONALIZACIÓN DE PRECIPITACIONES Y CAUDALES MÁXIMOS EN LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE

PRIMERA ETAPA

CURVAS Y ENVOLVENTE REGIONAL DE
PRECIPITACIONES MÁXIMAS

PROTOCOLO REGIONAL

Asunción, Paraguay 3 de julio 2009

Objetivo general

Mostrar el comportamiento regional de los fenómenos hidrológicos extremos, a través de series de tiempo de valores máximos de precipitaciones y caudales; que sean representativos del comportamiento de estos fenómenos en la región LAC.



PHI UNESCO - IFI - FRIEND - Coordinaciones Regionales
para Latinoamérica y el Caribe, LAC



PROYECTO DE REGIONALIZACIÓN DE PRECIPITACIONES Y CAUDALES MÁXIMOS EN LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE

Objetivos específicos de esta primera etapa

- Elaborar un documento técnico describiendo las metodologías de análisis y regionalización de precipitaciones extremas de la región.
- Identificar el origen de las precipitaciones máximas ocurridas en la región, describiendo sus principales características hidroclimatológicas.
- Construir curvas de intensidad-duración-frecuencia (probabilidad), con base en los registros de precipitaciones máximas de estaciones climatológicas seleccionadas y validadas en cada país de la región.
- Ubicar los eventos máximos de precipitación de la región, en la curva universal de lluvias máximas.



PHI UNESCO - IFI - FRIEND - Coordinaciones Regionales
para Latinoamérica y el Caribe, LAC



PROYECTO DE REGIONALIZACIÓN DE PRECIPITACIONES Y CAUDALES MÁXIMOS EN LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE

Objetivos específicos de esta primera etapa (continuación)

- Conformar una base de datos regional de precipitaciones máximas (PMAX-LAC-Data), con el objeto de fomentar la recolección, el acervo y la utilización regional de información de precipitación máxima en la región.
- Desarrollar y mejorar herramientas computacionales para el análisis y tratamiento de series de tiempo de precipitación.
- Capacitar profesionistas dentro de la región, para reproducir la metodología propuesta en sus países.
- Promover subproyectos regionales que, en los contextos nacionales, reflejen estos objetivos.



PHI UNESCO - IFI - FRIEND - Coordinaciones Regionales
para Latinoamérica y el Caribe, LAC



PROYECTO DE REGIONALIZACIÓN DE PRECIPITACIONES Y CAUDALES MÁXIMOS EN LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE

Metodología propuesta

Los productos básicos en este proyecto se refieren a las siguientes actividades: (1) recolección de datos de precipitación máxima en 24 horas; (2) recolección o cálculo de intensidades de lluvia para diferentes duraciones de tormenta; (3) crítica de datos (pruebas de ruptura y segmentación de series de tiempo); (4) análisis de representatividad regional de las estaciones utilizadas.

Los productos hidrológicos en este proyecto se refieren a los siguientes puntos: (1) validar la metodología para la construcción de curvas intensidad-duración-frecuencia regionales (i-d-f); (2) construir las curvas i-d-f, para cada serie de datos de precipitación; (3) ubicar los eventos máximos de precipitación de la región, en la curva universal de lluvias máximas.



PHI UNESCO - IFI - FRIEND - Coordinaciones Regionales
para Latinoamérica y el Caribe, LAC



PROYECTO DE REGIONALIZACIÓN DE PRECIPITACIONES Y CAUDALES MÁXIMOS EN LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE

TALLER DE MAXIMOS HIDROLOGICOS FRIEND – IFI, Ciudad Guatemala, Guatemala. 8 al 10 de junio, 2011

Los representantes de Bolivia, Costa Rica, Cuba, Guatemala, México y Perú presentaron los resultados alcanzados en cumplimiento de los acuerdos del Primer Taller de Máximos Hidrológicos, efectuado en Lima.

Como conclusión del debate realizado se definió que este es un estudio de tipo metodológico, que tiene como objetivo mostrar el comportamiento regional de los fenómenos hidrológicos extremos, a través de series de tiempo de valores máximos de precipitaciones; que sean representativos del comportamiento de estos fenómenos en la región LAC, utilizando para ello la función de distribución Gumbel y series de duración parcial para el estudio de los máximos valores de precipitación observados en 24 horas.

GRUPO DE TRABAJO



Alfonso Gutiérrez López
Coordinador Regional
Centro de Investigaciones del Agua, CIAQ
Universidad Autónoma de Querétaro
ifilacphi@uaq.mx

Julio Ordoñez Gálvez
Servicio Nacional de Meteorología e
Hidrología, SENAMHI
Lima, Perú

Sadi Laporte M.
Berny Fallas López
Instituto Costarricense de Electricidad ICE
San José, Costa Rica

Javier Mendoza Rodríguez
Instituto de Hidráulica e Hidrología, UMSA
La Paz, Bolivia

Victor Manuel Pérez
Instituto Nacional de Sismología,
Vulcanología, Meteorología e Hidrología,
INSIVUMEH
Ciudad de Guatemala, Guatemala

Carlos Paoli
Instituto Nacional del Agua
Santa Fe, Argentina

Juan Carlos Bertoni
Universidad Nacional de Córdoba
Instituto Nacional del Agua, INA,
Argentina

José Vargas Baecheler
Departamento de Ingeniería Civil,
Universidad de Concepción, Chile

Argelio Fernández
Instituto Nacional de Recursos
Hidráulicos, INRH
La Habana, Cuba

Christian Euscategui
Instituto de Hidrología, Meteorología y
Estudios Ambientales, IDEAM
Santafé de Bogotá, Colombia

Isaías Montoya Blanco
Instituto Nicaragüense de Estudios
Territoriales, INETER
Managua, Nicaragua



PHI UNESCO - IFI - FRIEND - Coordinaciones Regionales para Latinoamérica y el Caribe, LAC



PROYECTO DE REGIONALIZACIÓN DE PRECIPITACIONES Y CAUDALES MÁXIMOS EN LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE

Taller de Máximos Hidrológicos, Panamá 28 al 30 abril 2014



Concluyó en la ciudad de Panamá la reunión de expertos en materia de máximos hidrológicos. entre los resultados destacados está la publicación de un número especial de la revista Aqua LAC con los resultados de los trabajos de este grupo. Asimismo, se tiene ya agendada la participación de este grupo en la ICFM 6, the International Conference on Flood Management que tendrá lugar en la ciudad de Sao Paulo en el mes de Septiembre de este año. en este evento se presentará un trabajo en donde se detalle la utilización de los Análisis de Frecuencia en Hidrología en esta región LAC. El trabajo será presentado en la sesión plenaria denominada "IFI Flagship Project" en donde también participarán la UNESCO, la WMO, la UNU, la UNISDR y el centro ICHARM que es la sede internacional de la iniciativa IFI.



PHI UNESCO - IFI - FRIEND - Coordinaciones Regionales para Latinoamérica y el Caribe, LAC



PROYECTO DE REGIONALIZACIÓN DE PRECIPITACIONES Y CAUDALES MÁXIMOS EN LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE

Taller de Máximos Hidrológicos, Panamá 28 al 30 abril 2014

Otros Acuerdos alcanzados

- Solicitar a la Secretaría del PHI-LAC, que le pida a los CoNaPhis de los países, la designación o ratificación de los representantes IFI en el proyecto (junio 2014).
- En las Fichas IFI de Máximos se incorporará las fuentes de la información que contienen. (junio 2014)
- La coordinación del Proyecto IFI enviará un inventario de la información entregada en el marco del proyecto y los países participantes en el Proyecto FRIEND – IFI de Máximos Hidrológicos revisarán las Fichas entregadas y presentarán nuevas fichas (septiembre 2014).
- Proponer la preparación de un número especial de AQUALAC sobre las excedencias anuales y la forma de analizarlas, basado en los resultados de este proyecto (julio 2014).



PHI UNESCO - IFI - FRIEND - Coordinaciones Regionales para Latinoamérica y el Caribe, LAC



PROYECTO DE REGIONALIZACIÓN DE PRECIPITACIONES Y CAUDALES MÁXIMOS EN LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE

Taller de Máximos Hidrológicos, Panamá 28 al 30 abril 2014

Países y participantes

1	Julia Acuña Lazarte	Perú
2	Javier Mendoza Rodríguez	Bolivia
3	Manuel de Jesús Sales Rodríguez	Guatemala
4	José Alberto Zúñiga	Costa Rica
5	Isaías Montoya Blanco	Nicaragua
6	Juan Chalas	R. Dominicana
7	Christian Euscategui	Colombia
8	José Vargas Baecheler	Chile
9	Carlos Paoli	Argentina
10	Gerardo Leis	Panamá
11	Fagner Bittencourt	Centro CIH
12	Rafael E. Porras	IFI México
13	Eduardo Planos	FRIEND LAC Cuba
14	Alfonso Gutierrez	IFI LAC México



140

FICHA HISTÓRICA
REGISTRO DE INUNDACIÓN
VII-25 MÉXICO



Datos básicos

PAÍS: **Argentina**

FECHA: **7 de Abril de 1995**

ESTADO / PROVINCIA: **Buenos Aires**

REGIÓN
GEOGRÁFICA:

CIUDAD /
COMUNIDAD: **Pergamino**

CAUSAS: **Tormenta de lluvia y granizo**

VIENTOS MÁXIMOS:

ESCALA:

VELOCIDAD:

DIRECCIÓN:

Precipitación

DURACIÓN: **7 de Abril de 1995**

ÁREA DE LA CUENCA: **km²**

LLUVIA ANTECEDENTE:

CUENCA:

300 mm en 2 horas y
media

ESTACIÓN:

INTENSIDADES: **110 mm por hora**

LATITUD:

PERIODO DE RETORNO:

LONGITUD:



140

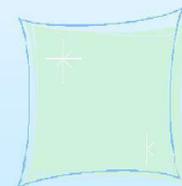
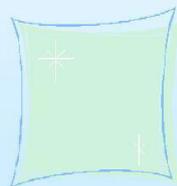
FICHA HISTÓRICA
REGISTRO DE INUNDACIÓN
VII-25 MÉXICO



Fotografías



Ciudad de Pergamino, Buenos Aires





140

FICHA HISTÓRICA
REGISTRO DE INUNDACIÓN
VII-25 MÉXICO



Daños

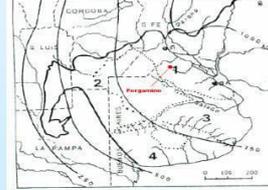
SUPERFICIE AFECTADA: 60% de la superficie de la ciudad de Pergamino
 DURACIÓN DE LA INUNDACIÓN:
 PERSONAS AFECTADAS:
 PÉRDIDAS ECONÓMICAS: USD
 DAÑOS MATERIALES: Agricultura, carreteras, infraestructura urbana.
 AFECTACIONES: Fallecimientos y personas desalojadas de sus viviendas

Medios



La Opinión, Diario de Pergamino.

Mapas



Ubicación del Partido de Pergamino



140

FICHA HISTÓRICA
REGISTRO DE INUNDACIÓN
VII-25 MÉXICO



Breve reseña: (máximo 1800 caracteres con espacios)

El 7 de abril de 1995 la región Norte de la provincia de Buenos Aires fue afectada por una tormenta de lluvia y granizo que provocó inundaciones, numerosos evacuados y daños en los distintos partidos de la zona. La ciudad de Pergamino fue la más perjudicada por el fenómeno ya que quedó aislada y paralizada por una inundación de características dramáticas. Las pérdidas se consideraron catastróficas por el elevado valor económico de los bienes e inmuebles particulares y públicos afectados, además de los daños a la infraestructura urbana. Esta inundación es recordada como una situación inesperada en relación con las experiencias previas ya que involucró a zonas y sectores sociales de la ciudad considerados fuera de riesgo