

ANÁLISIS DE UNA TORMENTA EXTREMA REGISTRADA EN LA CIUDAD DE OBERÁ, MISIONES

Darío Tomás Rodríguez⁽¹⁾, Gerardo Adrian Riccardi⁽²⁾⁽³⁾ y Alejandro Ricardo Ruberto⁽⁴⁾

⁽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,) 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.

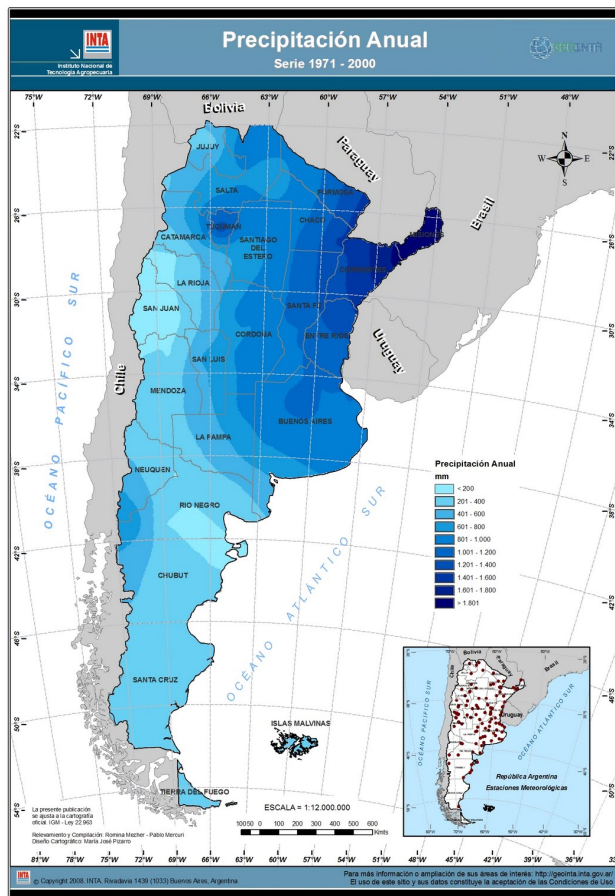


Figura 1.a, b y c: Precipitaciones medias anuales en la República Argentina 1971-2000 (Mezher et al., 2008). Frente de tormenta del 16-oct-12 sobre la ciudad de Posadas (Misionescuatro.com, 2012). Destrozos en una vivienda de la ciudad de Posadas por la tormenta del 19-dic-12 (MisionesOnline, 2012).

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:

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

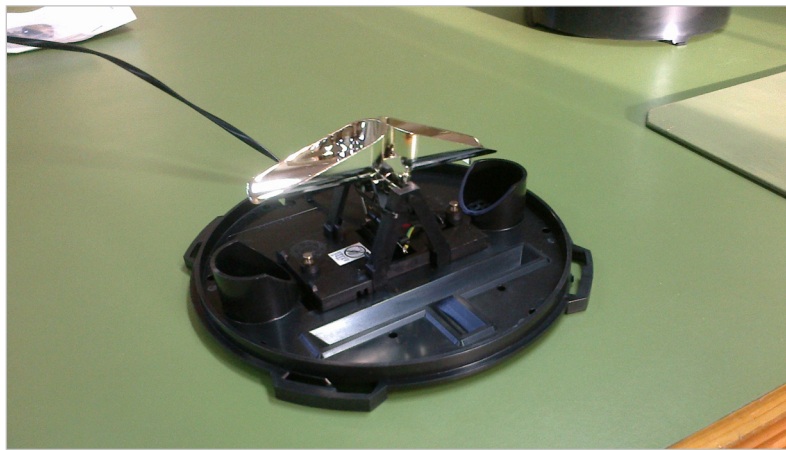
Figura 2.b: Estaciones meteorológicas dentro de la ciudad de Oberá.

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 (CELO) 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 fiscaliza 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.

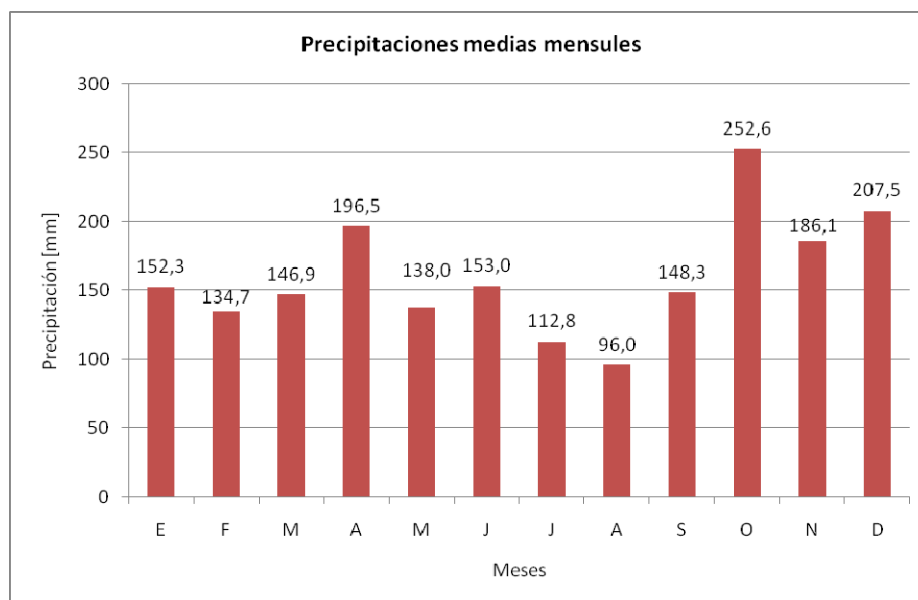


Figura 4 Distribución de precipitaciones medias mensuales 1998-2011(CELO, 2012).

Curvas intensidad-duración-recurrencia.

Las fajas pluviográficas relevadas por las estaciones 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 descriptas 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	INTA Cerro Azul		Posadas Aero		Iguazú Aero	
	Serie 1966-1984		Serie 1951-1985		Serie 1952-1953 y 1961-1985	
[años]	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	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.

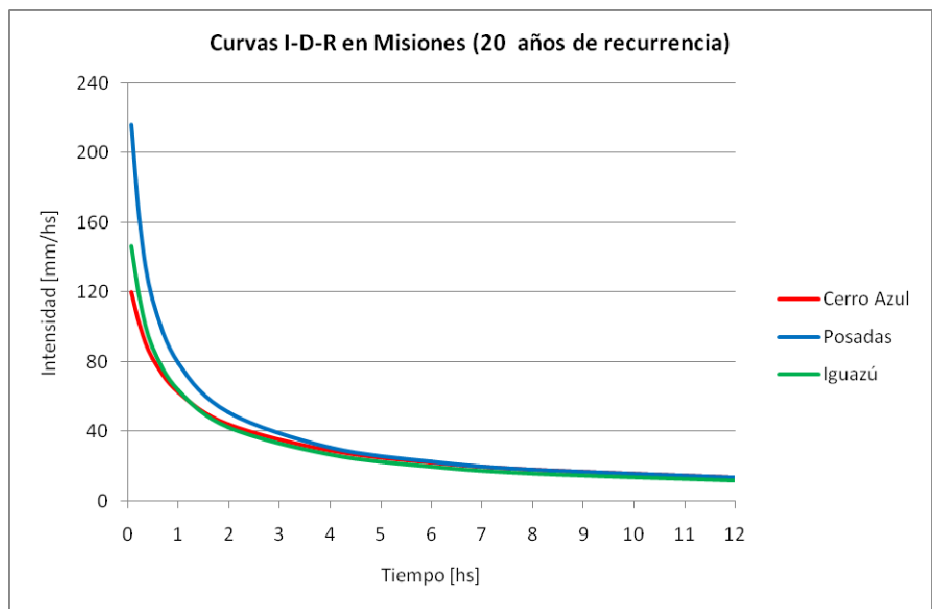


Figura 5: Curvas I-D-R disponibles en Misiones, de 5 min a 12 hs de duración para 20 años de recurrencia (Litwin y Franco, 1987).

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 provocaron 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 rápidas 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 hietograma registrado por la estación FIO el día 1-dic-12 y su curva masa, se observan en la figura siguiente.

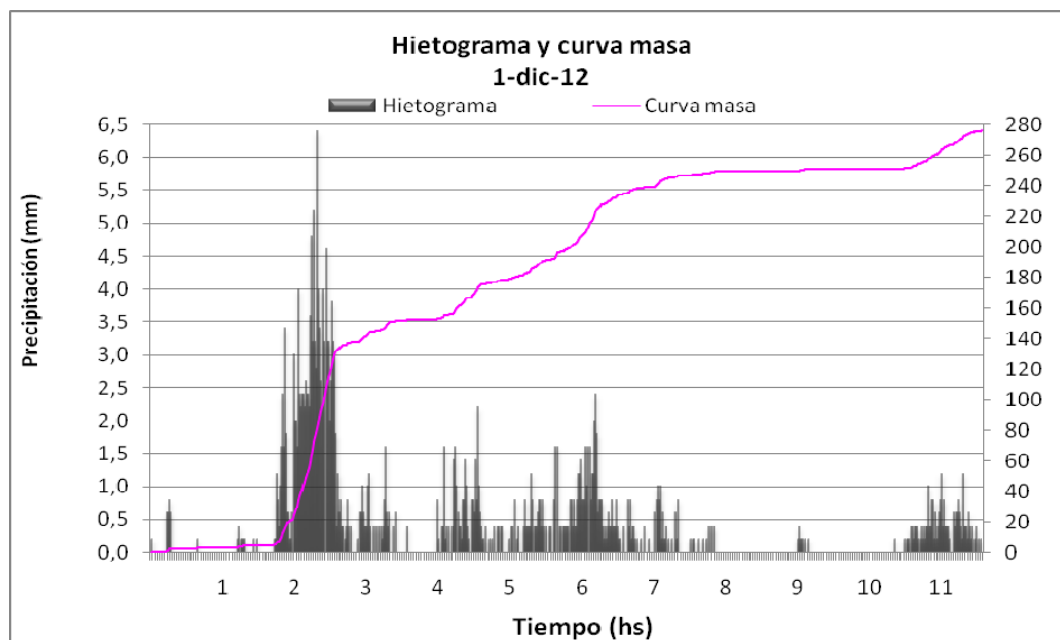


Figura 6. Hietograma y curva masa de la tormenta del 1 de diciembre de 2012 (FIO, 2013).

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 para 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:

- Existe una tendencia a mantenerse paralelas las curvas para distintas recurrencias.
- 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:

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

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 máximo 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 intensidad 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

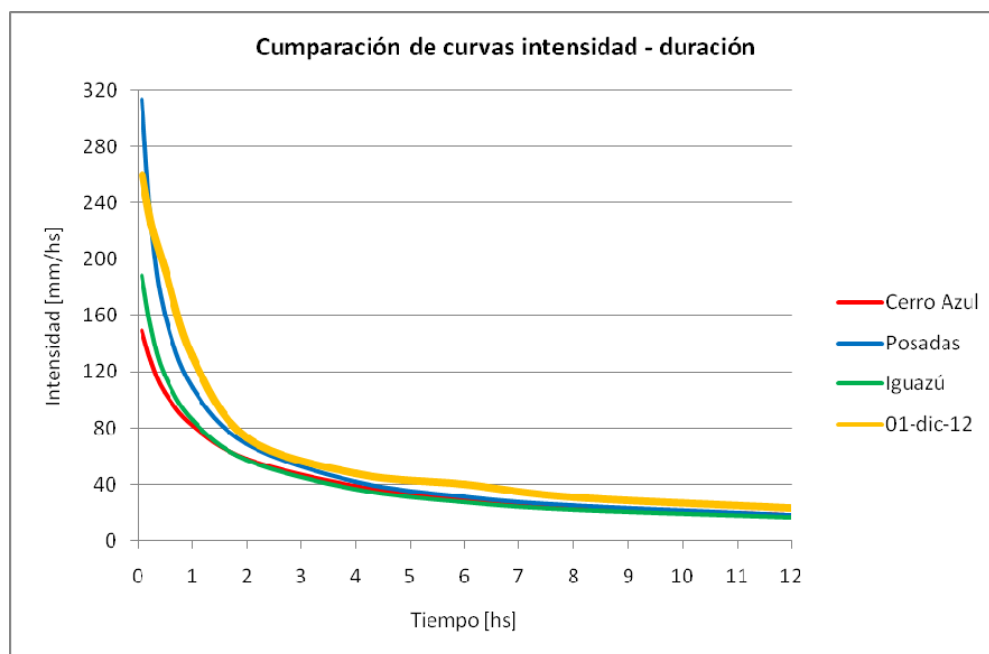


Figura 7. Curvas de intensidad-duración para 200 años de recurrencia y la correspondiente al evento del 1-dic-12.

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.

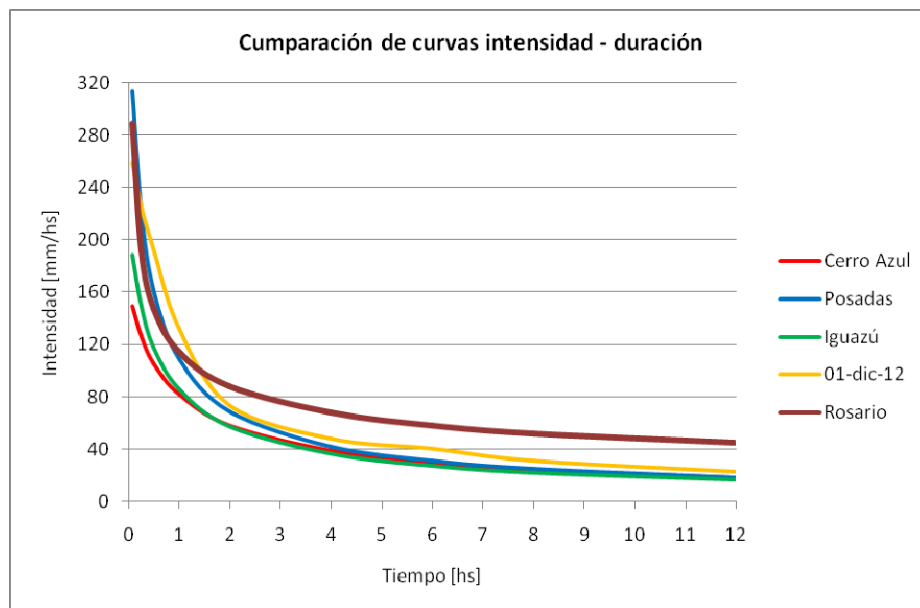


Figura 8. Curvas de intensidad-duración para 200 años de recurrencia, la correspondiente al evento del 1-dic-12 y la envolvente de Rosario.

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 descriptas 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.

DP-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>.