

Cómite Académico: Aguas

**ANÁLISIS DINÁMICO DE TORMENTAS EXTREMAS EN EL GRAN SAN MIGUEL DE
TUCUMÁN**

Flavia Marcela Bazzano

flviabazzano@hotmail.com

Hidrología, Tormentas extremas, Dinámica
Hidrologia, Precipitações extremas, Dinâmica

1. INTRODUCCIÓN

Para realizar el diseño de construcciones destinadas a conducir, contener o salvar cursos de agua (canales, acueductos, defensas, presas, puentes, alcantarillas), se utilizan crecidas de proyecto; las que deberían realizarse sobre series de datos históricos de caudal. Esta información es poco frecuente en la mayor parte del mundo por lo que el análisis se hace sobre las precipitaciones pluviales causantes del fenómeno. A partir de este análisis se obtienen lluvias de diseño que reflejan las exigencias a las que se verán sometidas las obras.

En este sentido, se evalúa la importancia del análisis de las precipitaciones, lo que involucra la recopilación de la mayor cantidad de información pluviométrica disponible para la región en estudio y su posterior sistematización, que incluye la generación de una base de datos con la cual realizar estudios que permitan conocer lo mejor posible las tormentas de la zona y definir de esta forma dimensiones de las tormentas, área, dirección mas frecuente del desplazamiento y muchos otros parámetros.

En este proyecto se realiza una clasificación de las tormentas extremas en el Gran San Miguel de Tucumán en base a sus características dinámicas. Esto se realiza partiendo de un análisis de frecuencias de los eventos registrados en 8 estaciones de medición pluviométrica, a lo largo de nueve años hidrológicos.

1.1. Descripción del área de estudio

El área en estudio de este proyecto es el área urbana del Gran San Miguel de Tucumán, está constituida por un espacio territorial conformado por una ciudad principal, San Miguel de Tucumán y un conjunto municipios y comunas colindantes que mantienen con ella intensas relaciones de interdependencia. Actualmente la población de este aglomerado alcanza los 700.000 hab. Abarca administrativamente las siguientes municipalidades: San Miguel de Tucumán, Yerba buena, Tafí viejo, Banda del Río Salí, Lules, Alderetes y Las Talitas y 14 Comunas rurales El Cadillal, Luisiana y La florida, Delfín Gallo, La Esperanza, Los Nogales, Cevil Redondo, Manantial, San Pablo y Villa Nougues, San Felipe y Santa bárbara, San Andrés, Lastenia y Colombres, y la vertiente oriental del cerro San Javier.

La inundabilidad de la región ha sido motivo de estudio de diversos proyectos donde se define que el riesgo de inundación puede ser pluvial o fluvial. Están originadas, entre otros motivos, por la intensidad y frecuencia de las precipitaciones en el período estival, que en esta época supera el 50 % de las precipitaciones anuales. Se genera con ello el desborde de los ríos y el anegamiento de aquellas zonas con poca capacidad de infiltración.

1.1.1. Morfología del terreno en el Gran S. M. de Tucumán.

El Gran San Miguel de Tucumán se emplaza sobre un plano inclinado limitado al oeste por la Sierra de San Javier. Este plano inclinado tiene una variación de aproximadamente 300 m desde el cauce del río Salí al este (cota 410 msnm) hasta el pie de la Sierra de San Javier al este (cota 700 msnm). En esta última se produce una elevación del terreno desde su base (cota 700 msnm) hasta la cumbre (cota 1200 a 1700 msnm).

La pendiente principal del mencionado plano inclinado tiene dirección noroeste-sudeste encontrándose en el mismo la presencia de vaguadas con dirección norte sur. Estas en general son muy suaves y atraviesan la ciudad capital de norte a sur en toda su extensión.

1.1.2. El clima y régimen de lluvias del Gran S. M. de Tucumán.

El clima de San Miguel de Tucumán es cálido subtropical con estación seca en invierno. Posee un régimen de lluvias de tipo monzónica, 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.

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.

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 y el régimen estacional de presión atmosférica y precipitaciones.

La depresión continental atrae masas de aire cálido y húmedo del sur de Brasil donde se ubica un centro de altas presiones (Anticiclón del Atlántico Sur).

En la región estudiada las lluvias intensas se producen según los siguientes procesos:

- a) por convección local
- b) por el ingreso de frentes de aire frío con frecuente influencia de efectos orográficos.
- c) por combinación de ambos procesos (lluvias convectivas y de frente).

2. OBJETIVOS

- Realizar una recopilación de datos pluviométricos provenientes de estaciones distribuidas en el área del Gran San Miguel de Tucumán.
- Sistematizar los datos pluviométricos y elaborar una base de datos que permita el posterior análisis de los mismos.
- Obtener una clasificación de las lluvias en la región en base a sus características dinámicas
- Obtener patrones de desplazamientos en las lluvias, que podrían ser usados en modelos de transformación precipitación escorrentía que tengan en cuenta aspectos de la dinámica de lluvias.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Red de Estaciones Pluviométricas

Bajo un proyecto de investigaciones del Consejo de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Tucumán (CIUNT) y con apoyo del Laboratorio de Construcciones Hidráulicas de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología se puso en funcionamiento desde fines de Octubre del año 2000 una red de pluviómetros de registro continuo en el Área Metropolitana de San Miguel de Tucumán. La misma opera con siete estaciones adquiridas por el CIUNT, complementadas con una estación de la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes (EEAOC - Organismo Provincial). La red cubre un área de aproximadamente 224 Km², con una distancia entre las mismas que oscila entre 1,5 Km y 8,6 Km. Ello involucra los municipios de S.M. de Tucumán, Alderetes, Las Talitas, Los Nogales, Tafí Viejo y Yerba Buena. Cada lluvia intensa que precipita sobre el área cubierta por la red es registrada en

forma simultánea por las ocho estaciones, con lo que se obtiene la evolución temporal de las mismas en la ubicación de cada una de las estaciones. Los registros provenientes de las estaciones del LCH son de tipo electrónico y se obtienen según una discretización temporal de 5 minutos, cuidando que las estaciones tengan sus relojes sincronizados. Esto último se controla semanalmente, con lo cual se logra que no se supere en ningún caso diferencias superiores al minuto entre los relojes de cada estación. Los pluviómetros de estas estaciones son de tipo a cangilón, con vuelcos equivalentes a 0,2 mm de precipitación, de manera que el menor incremento que se registra es igual a este valor.

Los datos provenientes de la estación pertenecientes a la EEAOOC se almacenan también en forma electrónica pero con una discretización temporal de 15 minutos. El pluviómetro es de tipo a cangilón, con vuelcos equivalentes a 0,2 mm de precipitación, de manera que el menor incremento que se registra es igual a este valor.

3.2. Software utilizado en la generación de la base de datos

Se utilizó el programa Microsoft SQL Server 2000, que sirvió de plataforma de bases de datos.

La base de datos se generó a partir de un software de análisis geoestadístico que permite el análisis y correlación de datos de precipitaciones de distintas estaciones llamado Sistema de registro pluviométrico (El software utilizado fue creado en el marco de un Proyecto CIUNT por el Ingeniero Martín Goñi).

Para la generación de la base de datos, se define en primer lugar cada una de las estaciones indicando para cada una de ellas su número, denominación, formato, zona, latitud, longitud coordenadas geodésicas, etc.

Luego se agrega los archivos que contienen los datos de precipitación provenientes de cada una de las estaciones ordenados según su año. Durante todo el proceso, se tiene acceso a los archivos incorporados, lo que permite controlarlos y modificarlos.

3.2.1. Procesado de la base de datos

Se procesaron todas las estaciones en conjunto ocurridas en los años hidrológicos comprendidos entre septiembre de 2000 hasta agosto de 2009. Se contempló un intervalo máximo de 180 minutos y una duración mínima de 10 minutos.

Se obtuvo un listado de 1498 eventos. Esta extensa lista de precipitaciones incluye eventos que son despreciables para el análisis por lo que es importante la realización de un filtrado que dejará como resultado las lluvias importantes a considerar para su estudio.

Para realizar el filtrado se define en primer lugar las duraciones de lluvias que interesan para el análisis. El concepto de duración es el de un intervalo de tiempo dentro de la duración total real de una lluvia en el cual se produce un valor de intensidad extremo. Las duraciones seleccionadas para el análisis son: 10 min., 30 min., 60 min., 90 min., 120 min., 150 min., y 180 min. El valor máximo de duración a estudiar se adoptó atendiendo a la caracterización de la duración total de lluvias en San Miguel de Tucumán que se obtuvo a partir de un análisis de frecuencia de la duración de eventos de gran intensidad seleccionados de la Estación Aeropuerto S.M. de Tucumán, (período 1960-1981). Lazarte Sfer (2001)

El programa compara los datos de intensidad de precipitación para cada una de las duraciones fijadas por los multiplicadores descriptos anteriormente correspondientes a cada una de las tormentas analizadas con una curva definida por la IDR de la región en estudio.

Esta curva viene dada por la expresión $y = r \left(\frac{x}{a + b \cdot c - c \cdot x^2} \right)$,

donde:

y=intensidad

x=duración

r depende de la recurrencia adoptada

a, b y c son parámetros obtenidos mediante regresión.

Se utilizan como parámetros de la función los correspondientes a la regresión de la IDR actualizada para San Miguel de Tucumán (Paz 1994).

Para este proyecto no se utilizó una recurrencia fija, sino que se buscó que el número de eventos seleccionados para cada año no fuera mayor a 15. Esto llevó a tomar diferentes valores de recurrencia que oscilaban entre 1 y 2 años.

Si la intensidad de precipitación sobrepasa el valor dado por la IDR, para cualquiera de las duraciones, entonces la considera para el análisis, en caso contrario la descarta.

Una vez obtenido el resultado del filtrado, se eliminaron algunos eventos por considerarlos despreciables o por que se trataban de un error de medición.

Finalmente se trabajó sobre 63 eventos distribuidos de la siguiente manera:

Año 2000 – 2001	14 eventos	Año 2005 – 2006	6 eventos
Año 2001 – 2002	3 eventos	Año 2006 – 2007	4 eventos
Año 2002 – 2003	6 eventos	Año 2007 – 2008	15 eventos
Año 2003 – 2004	3 eventos	Año 2008 – 2009	5 eventos
Año 2004 – 2005	7 eventos		

3.3. Metodología de l análisis dinámico de lluvias

Para la realización de un análisis hidrológico es necesario admitir que la casualidad o el azar forman parte de su naturaleza por lo que se pueden interpretar y explicar solo en sentido probabilístico.

Para el análisis dinámico se recurre a la observación de los desplazamientos de los picos de intensidad a través de las diferentes estaciones pluviométricas, que se manifiestan a lo largo de sus registros. Se esquematiza los desplazamientos de los picos de los eventos seleccionados a través de las estaciones ya ubicadas según sus coordenadas en un plano.

Para cada uno de estos eventos se grafica en un plano, marcando la ubicación de la estación que haya registrado la intensidad máxima cada 5 minutos, que es la discretización temporal con la que se contaba para cada una de las estaciones. A medida que se suceden las diferentes posiciones de estos máximos es posible distinguir las diferentes trayectorias que estos recorren.

Se observa mediante este análisis múltiples situaciones, que se pueden agrupar en cuatro categorías descriptivas:

- Sin desplazamiento: la precipitación máxima se registra siempre en la misma estación, es decir que esta no sufre desplazamiento alguno.

- Desplazamiento aleatorio: Los diferentes picos de intensidad se suceden unos a otros sin que sea posible definir trayectoria alguna.
- Trayectoria definida: Se puede distinguir claramente un sentido de avance de la precipitación.
- Sin categoría: existen precipitaciones que no pueden ser enmarcadas dentro de ninguna de estas categorías por tener alguna característica especial que dificultan su análisis con los datos con que se cuenta.

4. RESULTADOS

A partir de los esquemas correspondientes a cada uno de los eventos se puede observar que de el total de la muestra (63 precipitaciones), 34 eventos tienen un desplazamiento aleatorio, 19 tienen una trayectoria definida y 7 constituyen precipitaciones puntuales.

En cuanto a la intensidad de lluvia que presentaron estas tormentas se observa en aquellas que presentan una trayectoria definida, la máxima precipitación registrada es de 21,8 mm en 5 minutos. El promedio obtenido considerando el total de los eventos de esta categoría es de 12,6 mm para la misma duración. Los valores análogos para las precipitaciones que presentan un desplazamiento aleatorio, registran una máxima precipitación registrada es de 15,8mm para una duración de 5 minutos y el promedio obtenido es de 10,7mm. Por ultimo, las precipitaciones sin desplazamiento presentan una máxima intensidad de 32,6 mm y un promedio de 17,2mm siendo este el mayor de los valores obtenidos.

Otro aspecto a tener en cuenta es la dirección y sentido que posee la trayectoria de aquellas lluvias que poseen una trayectoria definida. En este sentido se analiza cuales son las trayectorias que describen los eventos y cual es la orientación predominante.

Se distinguen entre las trayectorias predominantes, aquellas que tienen un desplazamiento traslacional en el sentido de las aguas del reloj, este grupo representa un 31,58% del total de eventos con trayectoria definida. Otra trayectoria que manifiestan es aquella donde las tormentas presentan un desplazamiento donde la componente principal es de sur a norte y representan el 47,37% de los casos analizados. Se puede estimar que las lluvias que presentan esta trayectoria son lluvias frontales con influencia de factores orogénicos, y se

producirían por el ingreso al comienzo de la estación cálida de una masa de aire cálido y húmedo originada en el Anticiclón del océano Atlántico, atraída por la presencia de la depresión continental presente en la región en esa misma temporada. Los vientos ingresan en la región desde el este y sur este, debido a la gran exposición que existe en esta dirección, y al chocar con los relieves serranos, se ven obligados a ascender sufriendo un enfriamiento que provoca la condensación y posterior precipitación. Por último, se observan algunos casos donde se puede ver un desplazamiento contrario al de las agujas del reloj que representan un 21,05%.

Se calcula la velocidad promedio con la que se desplazan estas tormentas tomando la distancia total recorrida desde el instante en que comienza la lluvia hasta el instante donde finaliza, incluyendo aquellos períodos temporales donde no se observaron desplazamientos en la tormenta. El rango de velocidades obtenidos es muy amplio, variando estos valores entre un máximo de 2599,1 m/5min y un mínimo de 188,2 m/5min.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1. Se realizó una recopilación de datos pluviométricos provenientes de 8 estaciones de medición distribuidas en el área del Gran San Miguel de Tucumán.
2. Se sistematizaron los datos pluviométricos y se elaboró una base de datos que abarca 9 años hidrológicos. Con esta información se puede realizar otros estudios además del expuesto en el presente proyecto.
3. El software utilizado fue muy útil, aunque solo sirvió para el tratamiento parcial de los datos, o sea para la generación de la base de datos y su posterior filtrado.
4. La metodología utilizada permitió obtener una clasificación de las lluvias en la región en base a sus características dinámicas y no fue utilizada nunca en esta área de estudio por lo que también se la considera como un aporte al conocimiento.
5. En cuanto a la aplicabilidad del resultado se considera que la información obtenida acerca de la dinámica de las lluvias en la región aportaría elementos más sofisticados para definir lluvias de diseño que podrían ser usados en modelos de transformación precipitación caudal que tengan en cuenta la dinámica de lluvias.

6. El análisis de los resultados se realizó teniendo siempre presente que los mismos se obtuvieron en base al estudio de solo 63 eventos registrados en nueve años hidrológicos. Ello obliga a indicar que con dichos resultados se marca solo una tendencia.
7. Se observa que la mayor parte de los eventos no presentan una trayectoria definida. El grupo que presenta una trayectoria definida representa solo un 29,41% del total analizado. La mayor parte de los eventos tienen un desplazamiento aleatorio representando estos el 50% de las tormentas.
8. Se recomienda para realizar una mejor caracterización de las tormentas extremas contar con datos relativos a la temperatura, presión atmosférica y fotos satelitales de los días pluviométricos, así como en los días previos y posteriores al mismo, que harían posible encuadrar a cada evento dentro de una clasificación dada por su génesis que no es posible realizar solo con los datos de pluviometría.

BIBLIOGRAFÍA

Camaño Nelli, Gabriel; Dasso Clarita María (2003) *Lluvias de Diseño. Conceptos, técnicas y experiencias*. Universitas. Editorial Científica de Universitaria. Córdoba, Argentina

Chow, Ven Te; D. R. Maidment y L. W. Mays (1994) *Hidrología Aplicada*. McGraw-Hill Interamericana S.A. Santafé de Bogotá, Colombia.

Lazarte Sfer, Roberto R. (2001). "*Distribución Temporal para Lluvias De Diseño En el Gran San Miguel de Tucumán*" Congreso Nacional del Agua 2002. Mendoza, Argentina.

Mijares, Francisco Javier Aparicio (1994) *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Limusa-Wiley, México.

Minetti, Juan Leónidas (2005). *El clima del Noroeste Argentino (LCS)*. Magna. Tucumán, Argentina.

PAZ, Hugo Roger; LAZARTE SFER, Roberto Ricardo (1994). "*Actualización de la relación I-D-R de precipitaciones para la ciudad de S. M. de Tucumán – Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres*". Congreso Nacional del Agua 2002. Mendoza, Argentina.