

Análisis comparativo de curvas IDR obtenidas a partir de estimaciones remotas de precipitación de la misión satelital TRMM y de mediciones pluviográficas in situ.

Daiana Carla Scasserra, Marcelo Uriburu Quirno

Instituto de Ingeniería Sanitaria, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires

E-mail: dscasserra@hotmail.com

RESUMEN

Las curvas Intensidad-Duración-Período de Retorno (IDR) son utilizadas con el fin de elaborar tormentas de diseño para el dimensionamiento de obras hidráulicas y de infraestructura y para otros usos en planificación territorial. Vinculan, en un sitio dado, la intensidad media de precipitación en un intervalo determinado con su período de retorno. Su construcción se realiza mediante un análisis de frecuencia de las mediciones pluviográficas, por lo que resumen la estadística local de lluvia.

La representatividad de la tormenta de diseño obtenida está directamente relacionada con la cercanía entre la estación pluviográfica y el área de estudio. La escasez de información pluviográfica con longitud de registro lo suficientemente prolongada como para hacer un análisis estadístico válido reduce la confiabilidad de los parámetros estimados de las curvas. En los últimos años, en Argentina y en otros países del mundo, la cantidad de estaciones pluviográficas no sólo es escasa sino que desciende progresivamente.

Con este trabajo se pretende aportar a una solución para la falta de información mediante la utilización de estimaciones remotas de intensidad obtenidas satelitalmente por la misión TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*), en un grillado de 25 km de lado. Se realizó un análisis comparativo entre las IDR obtenidas tanto de mediciones in situ como de estimaciones remotas, con el objetivo de evaluar la bondad de la información satelital y su potencialidad para cubrir sitios no instrumentados. El registro TRMM disponible (unos 15 años hasta su reciente salida de servicio) es suficientemente prolongado para evaluar intensidades asociadas a períodos de retorno de hasta 30 años, compatibles con los requerimientos de muchas obras hidráulicas. Existe desde 2014 una misión continuadora, GPM, de mayor resolución espacial, que proseguirá engrosando las bases de datos de precipitación para una estadística más confiable.

El análisis se ha realizado en la localidad de Augsburg, Bayern, Alemania.



PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las curvas Intensidad-Duración-Período de Retorno (IDR) muestran la relación entre las siguientes tres variables:

- Intensidad: es la tasa de precipitación media en una determinada duración, es decir, la profundidad acumulada en dicha duración dividida por la misma. Se suele expresar en mm/h.
- Duración: es un intervalo temporal de acumulación elegido arbitrariamente para el análisis
 estadístico de las intensidades, expresado habitualmente en horas o minutos. Al momento de su
 utilización, las curvas IDR son evaluadas en la duración de la tormenta de proyecto y posiblemente
 en fracciones enteras de la misma, dependiendo del método elegido.
- Período de Retorno: es el intervalo promedio entre superaciones de una dada intensidad media de precipitación, expresado en años.

Las curvas pueden presentarse en forma gráfica o ser expresadas mediante funciones analíticas paramétricas, de manera de poder obtener la intensidad media de diseño de una obra a partir de una duración y período de retorno apropiados para la obra y el lugar de implantación.

La confiabilidad de la tormenta de diseño obtenida a partir de las curvas IDR está directamente relacionada con la presencia o no de estaciones pluviográficas en el área de estudio. Existe hoy en día una problemática a la hora de estimar los parámetros de estas curvas, basado principalmente en la dificultad de encontrar información pluviográfica con la longitud de registro lo suficientemente prolongada tal que permita hacer un análisis confiable. En los últimos años, en Argentina y en otros países del mundo, la cantidad de estaciones pluviográficas no sólo es escasa sino que también va en descenso. Además, muchas de ellas tienen historias de registro de corta longitud, lo cual impide su utilización para hacer un análisis estadístico.

La insuficiencia de información pluviográfica que permita elaborar curvas IDR confiables representa un problema para el diseño de obras hidráulicas y de infraestructura, cuando la tormenta de diseño es el punto de partida para el cálculo del parámetro dimensionante (típico caso de redes pluviales y alcantarillas, entre otras).

Los resultados a presentar en este trabajo forman parte de una tesis de maestría, que pretende abordar una posible solución a la falta de información a partir de la utilización de estimaciones remotas de intensidad de precipitación obtenidas satelitalmente. Se utilizará, en este caso, la información obtenida en la misión TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission).

Parte de este trabajo se ha realizado en la Universidad de Ciencias Aplicadas de Augsburgo, Alemania, razón por la cual se ha centrado el análisis en los datos de TRMM de la región de Baviera. En una etapa posterior, se realizará un análisis similar en la República Argentina, para analizar cómo la información provista por la misión TRMM complementa las curvas IDR existentes y las mediciones pluviográficas in-situ en el país. Este análisis será de gran utilidad especialmente en zonas donde hay escasez importante de mediciones.



A partir de la información registrada por la misión TRMM, se realizará el análisis estadístico que permite la elaboración de las curvas IDR para el área de estudio. Luego, se compararán dichas curvas con las obtenidas con datos de estaciones pluviográficas obtenidas por el Servicio Meterológico Alemán (Deutscher Wetterdienst, DWD).

DATOS DE ENTRADA

Información TRMM

Para la estimación de intensidades medias de precipitación máximas, se reemplazarán los datos in situ por datos obtenidos satelitalmente por la misión TRMM.

La misión TRMM es una misión espacial realizada por la NASA en conjunto con la Agencia de Exploración Aeroespacial Japonesa (JAXA), que tiene como objetivo el monitoreo y estudio de precipitaciones tropicales en toda la corteza terrestre. El satélite fue lanzado el 27 de noviembre de 1997, y comenzó a tomar mediciones el 1 de enero de 1998. La misión finalizó el 9 de abril de 2015, con lo cual la serie de datos tiene más de 18 años de duración.

La medición tiene una cobertura entre los paralelos 50N y 50S, lo cual abarca la totalidad de los continentes de África y Oceanía, y el Centro-Sur del continente Europeo, casi la totalidad del continente Americano a excepción de Canadá y de la franja Sur de Argentina y Chile y el continente Asiático excepto el norte de la Federación Rusa.

La misión cuenta con distintos equipamientos de medición, lo que resulta en numerosos productos que resultan del procesamiento de la información tomada por ellos. Para la realización del presente trabajo de investigación se utilizará el producto 3B42, que utiliza los datos captados por el satélite, y realiza un ajuste de los mismos utilizando la información satelital de otras misiones, tales como GMS, GOES-E, GOES-W, etc., mejorando así la confiabilidad de la información. El producto consiste entonces en datos de intensidad media de precipitación (en mm/hora) y una estimación del error de dicha medición con una resolución temporal de 3 horas. La resolución espacial corresponde a una grilla de 0.25 grados de lado, es decir, unos 25 kilómetros. La versión a utilizar será la v7, última versión disponible, la cual cuenta con información desde el 1 de enero de 1998. Esta versión, a diferencia de las anteriores, incorpora a la información satelital una corrección a partir de mediciones realizadas en el terreno.

La información puede descargarse en formato binario o HDF (hierarchical data format), habiéndose utilizado este último en el desarrollo del trabajo.

La descarga de la información se ha realizado desde la página Web de la NASA a través de la plataforma STORM (Science Team On-Line Request Module), que permite la descarga del producto 3B42v7 de una manera sencilla. La plataforma permite, además, descargar la información de un sector del área de cobertura



de la misión. El resultado es un archivo .HDF por cada intervalo de medición para todo el área seleccionada, es decir un archivo cada 3 horas.

Se ha descargado la información para la región de Baviera, en la República Federal Alemana, en la zona limitada por los paralelos 47N y 50N y los meridianos 9E y 14E. El área seleccionada (Figura 1) excluye una pequeña parte al norte de la región de Baviera por encontrarse fuera del área de alcance de la misión TRMM.



Figura 1.- Área cubierta por la misión TRMM en la región de Bayern.

Como se puede observar, si bien no se ha considerado la parte norte de la región por encontrarse fuera del área de alcance de la misión TRMM, es posible analizar gran parte de la región de Baviera. Dado que, como se mencionó anteriormente, la resolución espacial de la misión es de 0.25 grados, se obtiene para este área una grilla de 12x20 (360 píxeles).

Cada archivo .HDF cuenta con matrices de tamaño igual a la grilla seleccionada con la siguiente información:

- Precipitation (en mm/h): Estimación de la intensidad media de precipitación en un intervalo de 3 horas a partir de los satélites de la misión;
- relativeError (en mm/hr): Error estimado en esa medición;
- satPrecipitationSource: Indica el origen de la medición;
- HQPrecipitation (en mm/hr): Intensidad media de precipitación ajustada a partir de microondas;
- IRPrecipitation (en mm/hr): Intensidad media de precipitación ajustada a partir de infrarrojo.

Información de estaciones pluviográficas

Se han utilizado, para este análisis, la información de dos estaciones pluviográficas controladas por el DWD ubicadas en la región de Baviera:



- Augsburg Flughafen: La misma se encuentra ubicada en el Aeropuerto Militar de Augsburgo. Se dispone de un registro de precipitación acumulada diaria de 70 años de longitud, y registro de precipitación horaria desde el año 1996 hasta la actualidad.
- München Stadt: La misma se encuentra ubicada en el centro de la ciudad de Munich. Se dispone de un registro de precipitación acumulada diaria de 62 años de longitud, y registro de precipitación horaria desde el año 1997 hasta la actualidad.

En la Figura 2 se muestra la ubicación de ambas estaciones, mientras que en la Tabla 1 se muestran las coordenadas geográficas de las mismas.

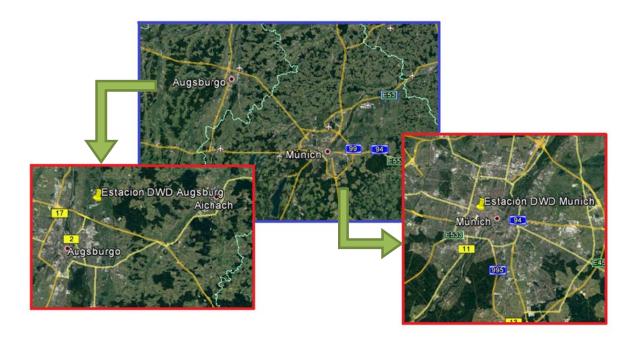


Figura 2.- Ubicación de estaciones de medición de DWD.

	Latitud	Longitud
Estación DWD Augsburg	48º25'40''N	10º55'49"E
Estación DWD Munich	48º8'10"N	11º33'3"E

Tabla 1: Coordenadas de Estaciones de medición de DWD

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Se ha desarrollado una rutina que, a partir de las coordenadas del lugar de análisis, permite obtener las intensidades medias para 3, 6, 9, 12 y 24 horas de duración, para períodos de retorno de 2, 5, 10 y 20 años.



Procesamiento de la información TRMM

Dado que la información obtenida de la misión TRMM consiste en un archivo de datos para la región seleccionada por cada intervalo de tiempo es necesario obtener, de cada uno de estos archivos, el dato que corresponde al punto geográficamente más cercano al lugar donde se requiere hacer el análisis.

En función de las coordenadas del lugar de análisis, es posible determinar la posición de la grilla correspondiente y obtener entonces un vector con los datos de intensidad media de precipitación cada 3 horas. A partir de ese vector, se generaron los vectores de intensidades medias de precipitación para 6, 9, 12 y 24 horas, que serán los datos de entrada para el análisis.

Determinación de intensidades medias de precipitación máximas

Para la determinación de las intensidades medias de precipitación máximas es preciso generar una serie de valores máximos obtenida a partir de la información de TRMM. Para la selección de valores máximos existen distintos criterios:

- Series de máximos anuales: Consideran el mayor valor de precipitación media para cada año de estudio.
- Serie de picos sobre un umbral: Considera todos los valores que se encuentren por encima de un umbral μ .
- Serie de excedencia anual: Considera los N mayores valores, siendo N la cantidad de años de estudio.

Si bien las series de máximos anuales son las más utilizadas, principalmente debido a que la hipótesis de independencia de eventos es más difícil de rechazar, Ven Te Chow (1994), recomienda la utilización de series de excedencia anual cuando la longitud de la serie es menor a 20 años. En este caso la duración de la serie es de algo más de 17 años, de 1998 a Abril del 2015, por lo que se utilizará este tipo de series.

Las series de excedencia anual suelen contener valores mayores que las de máximos anuales, ya que es alta la probabilidad de que el segundo mayor pico de algún año supere al mayor de otro año.

El análisis estadístico de extremos exige que la serie contemplada esté compuesta por fenómenos independientes por lo que fue necesario realizar una verificación previa, mediante la aplicación del test propuesto por Ferro y Segers (2003).

Análisis de la independencia de eventos

Para verificar la independencia de eventos, fue necesario realizar un análisis que permitiera agrupar los valores de precipitación en tormentas. Así, dos valores de precipitación que pertenecen a la misma tormenta, no podrán ser considerados en la serie, aun cuando se encuentren entre los mayores valores.



Para determinar esto, usualmente se determina un tiempo T_c que representa la distancia temporal entre fenómenos independientes. La estimación T_c se realiza mediante el cálculo del índice extremo θ que es un valor entre 0 y 1 que representa el tamaño promedio de la tormenta.

En el presente trabajo, se ha utilizado la metodología de cálculo para θ y T_c propuesta por Ferro y Segers (2003), el cual permite el cálculo de estos dos parámetros directamente a partir del vector de intensidad media de precipitación para la duración dada.

Para realizar el análisis, se requiere que la serie de datos sea estacionaria, es decir que se deberá analizar en cada caso si existen períodos del año en donde no se registren eventos extremos y no considerarlos en la serie.

A partir de la serie completa, se deberá extraer una serie de picos sobre un umbral para poder realizar el análisis. La determinación del umbral debe considerar que el método puede volverse inestable si la cantidad de valores de precipitación resulta muy escasa (Barton, 2013). El autor recomienda umbrales que resulten en al menos 150 valores.

Luego, el índice extremo θ puede estimarse mediante la ecuación 1:

$$\theta(u) = \begin{cases} \hat{\theta}(u) & \text{if } \max\{T_i: 1 \le i \le N - 1\} \le 2\\ \hat{\theta}^*(u) & \text{if } \max\{T_i: 1 \le i \le N - 1\} > 2 \end{cases}$$
 (1)

Donde N es la cantidad de datos de la serie de estudio, y T_i es el intervalo de tiempo entre dos precipitaciones consecutivas.

$$\hat{\theta}(u) = \frac{2(\sum_{i=1}^{N-1} T_i)^2}{(N-1)\sum_{i=1}^{N-1} T_i^2} \tag{2}$$

$$\hat{\theta}^*(u) = \frac{2(\sum_{i=1}^{N-1} (T_i - 1))^2}{(N-1)\sum_{i=1}^{N-1} (T_i - 1)(T_i - 2)}$$
(3)

Este índice extremo será un valor entre 0 y 1 y representa la proporción de los tiempos T_i que podrán ser considerados como fenómenos independientes. Se ha realizado este análisis para cada una de las duraciones

Análisis estadístico de extremos

Partiendo de la serie de eventos seleccionados en cada duración, se realizó un análisis estadístico de extremos como para estimar las intensidades medias para distintos períodos de retorno, para cada duración.



Al utilizar una serie de excedencia anual, es necesario aplicar un factor de corrección al período de retorno previa a la evaluación de cuantiles. Así, se aplicará un período de retorno corregido $Tr' = f \cdot Tr$, según los valores de f de la Tabla 2.

Tr (años)	f
2	0.88
5	0.96
10	0.99
>10	1

Tabla 2: Factor de corrección para el período de retorno

Para el análisis de frecuencia, se utilizó la distribución Valor Extremo Tipo I o de Gumbel, comúnmente utilizada para este tipo de análisis (Ven Te Chow, 1994). La distribución asintótica se muestra en la ecuación 4.

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{x-u}{\alpha}}} \tag{4}$$

válida para $-\infty \le \alpha \le \infty$ y depende de los parámetros u (moda de la distribución, punto de máxima densidad de población) y α (parámetro de escala).

Dado que el período de retorno Tr es, por definición, la inversa de la probabilidad de excedencia, F(x) = 1 - 1/Tr, despejándola variable aleatoria x puede obtenerse de manera analítica de la expresión de la EVI. Se define a x como la intensidad media de precipitación en una dada duración y para un período de retorno Tr y queda definida entonces por la Ecuación 5.

$$x(Tr) = u + \alpha \cdot \left\{ -\ln\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{Tr}\right)\right]\right\} \tag{5}$$

Los parámetros u y α , definidos anteriormente, se estimaron mediante el método de los Momentos Ponderados por Probabilidad. Este método considera que una buena estimación de los parámetros de una función de probabilidad es aquella para la cual los momentos ponderados por probabilidad de la función de densidad de probabilidad alrededor del origen son iguales a los momentos correspondientes a la información de la muestra. Este método es más conveniente que otros, como el de máxima verosimilitud, cuando la longitud de la serie es corta (Hosking, 1984).

Luego, se definen los estimadores muestrales insesgados de los momentos ponderados por probabilidad M₁₀₀ y M₁₁₀ en las ecuaciones 6 y 7, respectivamente.

$$M_{100} = \bar{X} \tag{6}$$

$$M_{110} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=2}^{N} \frac{i-1}{N-1} x(i) \tag{7}$$



A partir de estos momentos, es posible obtener, para cada duración elegida, los parámetros u y α de manera explícita mediante la resolución del sistema de ecuaciones lineales:

$$M_{100} = u + 0.5772 \cdot \alpha \tag{8}$$

$$2M_{110} = u + \alpha \cdot (0,5772 + \ln(2)) \tag{9}$$

Luego, al obtener las intensidades para las duraciones y periodos de retorno, es posible elaborar las curvas IDR.

RESULTADOS OBTENIDOS

En la práctica profesional, es frecuente adoptar como válidas mediciones in situ de precipitación que se encuentran a varios kilómetros de distancia del área de estudio, ya que no siempre existen mediciones in situ en la zona en donde se requiere información de intensidades medias de precipitación. Considerando que la misión TRMM tiene una vasta cobertura espacial, se ha analizado la calidad de esta información para su utilización en casos donde no existe información in situ.

El análisis se ha realizado para la localidad de Augsburgo. Suponiendo que no se cuenta con la información de la estación de la DWD en el Aeropuerto Militar de Augsburgo, sería posible considerar estimaciones de intensidad de dos posibles fuentes:

- Caso 1: TRMM en las coordenadas de estudios.
- Caso 2: Una estación meteorológica cercana. En este caso se ha adoptado la ubicada en el Centro de Múnich.

Se han comparado, entonces, estas dos fuentes frente a las mediciones in situ de la estación de DWD de Augsburgo, a fin de poder determinar si la utilización de la información de TRMM otorga una precisión mayor que la de mediciones in situ a una determinada distancia.

La Ciudad de Múnich tiene aproximadamente 1.400.000 habitantes, se encuentra a 520 m.s.n.m. en promedio y presenta temperaturas medias de 17°C en el mes de julio y -2.2°C en el mes de enero. La localidad de Augsburgo, de 280.000 habitantes, se encuentra 56 kilómetros de Múnich y a 500 m.s.n.m. y cuenta con temperaturas medias de entre 18°C en el mes de julio y -0.3°C en el mes de enero. Ambas ciudades presentan lluvias a lo largo de todo el año, si bien las de mayor intensidad se registran en los meses de verano.

Se obtuvieron desde el sitio web del Servicio Meteorológico Alemán (www.dwd.de) la serie de precipitaciones horarias en la Estación Meteorológica Augsburgo y Múnich desde el año 1997 hasta 2015. Con esta información, se determinó la serie de intensidades medias de precipitación cada 3 horas, de manera tal que la información se asemeje a la serie TRMM.



A partir de esa serie, se ha realizado el análisis estadístico de extremos, para comparar entonces las intensidades medias para 2, 5, 10 y 20 años de recurrencia y para 3, 6, 9, 12 y 24 horas de duración con aquellas obtenidas a partir de las estimaciones TRMM.

Dado que tanto la serie de TRMM como la serie de DWD tienen menos de 20 años de longitud, el análisis estadístico se ha realizado con la serie de excedencia anual, para ambos casos.

Se muestra en la tabla 3 las intensidades medias de precipitación obtenidas a partir de la serie de mediciones in situ en Augsburgo, mientras que en las tablas 4 y 5 se muestran las intensidades medias de precipitación obtenidas a partir de TRMM y la información in situ en Múnich, respectivamente:

Tabla 3.- Intensidades obtenidas a partir de mediciones in situ en Augsburgo, para distintos Tr.

DWD AUGSBURGO					
TR / dur 3 6 9 12					
2	8.5	4.7	3.6	2.8	1.8
5	10.7	5.9	4.5	3.5	2.2
10	12.1	6.7	5.1	3.9	2.4
20	13.5	7.5	5.6	4.4	2.6

Tabla 4.- Intensidades obtenidas a partir de mediciones de TRMM en Augsburgo, para distintos Tr.

TRMM AUGSBURG					
TR (años) / dur (hr)	3	6	9	12	24
2	10.3	5.9	4.0	3.4	1.9
5	13.5	7.6	5.0	4.3	2.3
10	15.5	8.6	5.7	4.7	2.6
20	17.1	9.4	6.2	5.1	2.7

Tabla 5.- Intensidades obtenidas a partir de mediciones in situ en Múnich, para distintos Tr.

DWD MÚNICH					
TR (años) / dur (hr)	3	6	9	12	24
2	12.0	6.9	4.8	3.8	2.2
5	17.1	9.3	6.5	5.0	2.8
10	20.5	10.8	7.7	5.8	3.2
20	23.8	12.3	8.8	6.6	3.6



En los gráficos 1 y 2 se puede grafican la comparación de las precipitaciones estimadas a partir de la información de DWD en Augsburgo frente a las otras dos, en función de la duración.

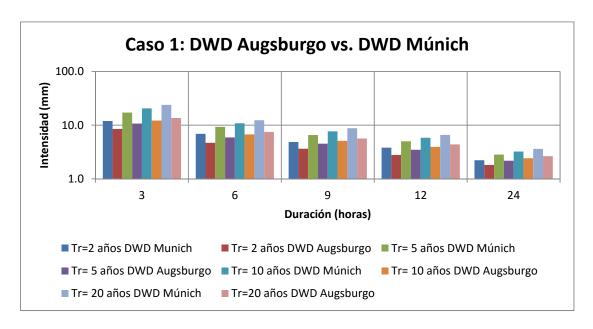


Gráfico 1.- Intensidades medias de precipitación en función de la duración. Comparación entre DWD Augsburgo y DWD Múnich.

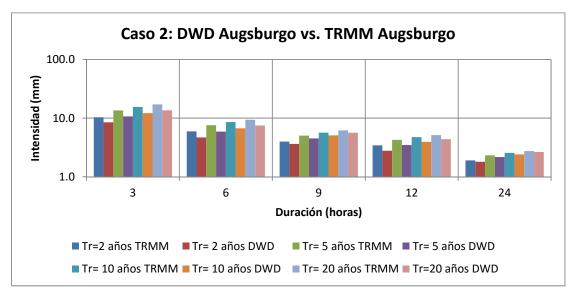


Gráfico 2.- Intensidades medias de precipitación en función de la duración. Comparación entre DWD Augsburgo y TRMM Augsburgo.

Como se puede observar en los gráficos 1 y 2, tanto las intensidades obtenidas a partir de TRMM como las obtenidas por las mediciones in situ en Múnich, son mayores a las obtenidas en las mediciones in situ en Augsburgo.

La diferencia es mayor en el caso de las estimaciones DWD en Múnich, y en ambos casos la diferencia disminuye a medida que aumenta la duración del evento.



Se han obtenido además, los coeficientes de correlación para ambos casos, siendo de 99.2% para el caso de Múnich y de 99.6% para las estimaciones TRMM

CONCLUSIONES

Se han analizado dos posibles estimaciones de intensidades medias de precipitación para la localidad de Augsburgo, que pudieran suplantar a la información in situ. Las mismas son las obtenidas a partir de las estimaciones de precipitación de la misión TRMM y de información in situ registrada en el centro de la Ciudad de Múnich.

Este análisis pretende determinar si, para lugares donde no existe información in situ disponible, la utilización de las estimaciones de precipitación de la misión TRMM resulta más adecuada que la utilización de una estación in situ que dista algunos kilómetros del lugar de estudio.

En los siguientes dos casos, se ha comparado la información in situ disponible con las dos estimaciones analizadas:

- Caso 1: Estación DWD en el Aeropuerto Militar de Augsburgo vs. Estimaciones TRMM en esas mismas coordenadas.
- Caso 2: Estación DWD en el Aeropuerto Militar de Augsburgo vs. Estación DWD de Múnich, distante aproximadamente 55 kilómetros.

Como se puede observar en los gráficos y tablas presentados, para ambos casos las mediciones in situ en la localidad de Augsburgo son menores que las alternativas planteadas. La diferencia es mayor en el caso de las estimaciones DWD en Múnich, y en ambos casos la diferencia disminuye a medida que aumenta la duración del evento.

El coeficiente de correlación entre las series es levemente superior en el Caso 1, siendo ambos superiores al 99%. Se registran diferencias entre las intensidades medias de precipitación estimadas hasta del 28% en el Caso 1 y 65% en el caso 2. Se puede asegurar entonces que en caso de no contar con las mediciones in situ en la localidad de Augsburgo, sería conveniente la utilización de la información suministrada por la misión TRMM.

Si bien al considerar los dos casos analizados las estimaciones de intensidades medias de precipitación a partir de TRMM resultan convenientes, la diferencia entre estas estimaciones y la precipitación efectivamente registrada presenta diferencias de hasta el 28%. En la **Tabla 6**, se pueden observar las diferencias entre ambas estimaciones.



Tabla 6.- Diferencia entre intensidades medias de precipitación. Caso 1.

CASO 1: DWD AUGSBURG VS. TRMM AUGSBURG					
TR (años) / dur (hr)	3	6	9	12	24
2	21.9%	27.0%	9.8%	23.5%	5.2%
5	26.6%	28.5%	11.7%	22.7%	6.9%
10	27.5%	27.7%	11.3%	20.7%	6.1%
20	26.5%	25.4%	9.4%	17.4%	4.0%

La magnitud del error en la estimación puede significar que, en otro caso de análisis donde la diferencia entre las mediciones in situ de dos estaciones meteorológicas relativamente cercanas sea menor, resulte más aproximado usar la información in situ que la información de TRMM. Para poder entender mejor el fenómeno y llegar a una conclusión global acerca de la bondad de las estimaciones de TRMM, será necesario evaluar otros casos de estudio, los cuales serán realizados en una etapa posterior de la tesis de maestría de la cual este análisis forma parte.

REFERENCIAS

Barton, 2013. Clustering of extreme precipitation events in Switzerland. University of Bern.

Ferro and Segers, 2003. Inference for clusters of extreme values. *Journal of the Royal Statistical Society:* Series B, 65, Part 2, pp 545-556.

Hosking, Wood, 1984, Estimation of the generalized extreme value distribution by the method of probability weighted moments, *Institute of Hidrology, Report N°89*.

Ven Te Chow, 1994. Hidrología Aplicada. Mc Graw Hill.