

Precipit.Ar: IDF Curves in the Argentine Republic elaborated with remote precipitation estimates from the TRMM and GPS missions.

Ing. Daiana C. Scasserra, Mágister en Ingeniería Sanitaria¹, Ing. Patricio Pompilio, Ingeniero Civil², Ing. Marina Rolla, Ingeniera Civil³, Gardo Najle, Estudiante de Ingeniería Civil⁴

^{1,2,3,4}Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Argentina dscasserra@fi.uba.ar, ppompilio@fi.uba.ar, mrolla@fi.uba.ar, gnajle@fi.uba.ar

Abstract - One of the problems that hydraulic engineers face when carrying out projects in Argentina is the lack of IDF Curves or pluviographic records necessary for their elaboration. These curves provide average precipitation intensities, depending on the duration of the event and defined return period. This work, the result of research carried out in the Hydraulic Department of FIUBA, consisted of obtaining IDF Curves based on remote precipitation estimates from satellite missions TRMM and GPM driven by NASA, JAXA and other space agencies. With this information as a basis, the obtained data was processed, producing a temporal series of representative average precipitation intensity estimates. Then, a sample of maximum events for different durations was selected, and a probability distribution function was fitted to it, allowing the construction of IDF Curves. The product obtained, named Precipit.Ar, consists of a set of IDF Curves spatially distributed throughout most of the national territory, limited to the parallel 50S coinciding with the spatial coverage limit of the TRMM mission. This product allows quickly knowing the estimated IDF Curves according to geographical coordinates, duration, and recurrence.

Keywords – TRMM Mission, GPM Mission, IDF Curves.

Precipit.Ar: Curvas IDR en la República Argentina elaboradas a partir de estimaciones de precipitación de la misión TRMM y GPM

Ing. Daiana C. Scasserra, Mágister en Ingeniería Sanitaria¹, Ing. Patricio Pompilio, Ingeniero Civil², Ing.

Marina Rolla, Ingeniera Civil³, Gardo Najle, Estudiante de Ingeniería Civil⁴

^{1,2,3,4}Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires, Argentina dscasserra@fi.uba.ar, ppompilio@fi.uba.ar, mrolla@fi.uba.ar, gnajle@fi.uba.ar

Resumen- Una de las problemáticas con las que se enfrentan ingenieros al realizar proyectos hidráulicos en la Argentina es la falta de Curvas IDR o de registros pluviográficos necesarios para la elaboración de éstas. Estas curvas proporcionan intensidades medias de precipitación, en función de la duración del evento y periodo de retorno definidos.

El presente trabajo, resultado de trabajos de investigación realizados en el Departamento de Hidráulica de la FIUBA, consistió en la obtención de Curvas IDR basada en estimaciones remotas de precipitación de las misiones satelitales TRMM y GPM impulsadas por la NASA, JAXA y otras agencias espaciales.

Con esta información como base, se realizó el procesamiento de los datos obtenidos, produciendo una serie temporal de estimaciones de intensidad media de precipitación representativa. Luego, se seleccionó una muestra de eventos máximos para distintas duraciones, y se le ajustó una función de distribución de probabilidad que permitió la construcción de curvas IDR.

El producto obtenido, bautizado Precipit.Ar, consiste en un conjunto de curvas IDR distribuidas espacialmente por gran parte del territorio nacional, limitado al paralelo 50S coincidente con el límite de cobertura espacial de la Misión TRMM. Este producto permite conocer rápidamente las IDR estimadas según coordenadas geográficas, duración y recurrencia.

Palabras Clave – Misión TRMM, Misión GPM, Superficies IDR.

I. INTRODUCCIÓN

Las curvas Intensidad-Duración-Período de Retorno (IDR) son una de las herramientas más utilizadas para la elaboración de tormentas de diseño, insumo necesario para el dimensionamiento de distintos tipos de obras hidráulicas y de infraestructura, y principal dato de entrada para la modelación hidrológico-hidráulica utilizada para la determinación de zonas de riesgo de inundación y otros usos en la planificación del territorio. Estas curvas muestran la relación entre las siguientes tres variables:

- Intensidad: tasa de precipitación media en una determinada duración, es decir, la profundidad por unidad de tiempo. Se mide en mm/h;
- Duración: intervalo de tiempo considerado para la evaluación de la intensidad media. En la utilización de las curvas, la duración de diseño suele coincidir con la de la tormenta, o fracciones de ésta para la elaboración de yetogramas;

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

-
- Período de Retorno: intervalo promedio entre eventos de precipitación que igualan o superan una intensidad de diseño, en años.

La construcción de las curvas IDR se realiza habitualmente a partir de mediciones pluviográficas, a través de un análisis de frecuencia para distintas duraciones. Es requisito que estas mediciones pluviográficas cuenten con una longitud de registro prolongada, de manera tal que el análisis estadístico resulte robusto y, por lo tanto, confiable.

Existe hoy en día una problemática a la hora de estimar los parámetros de las curvas IDR, basado principalmente en la dificultad de encontrar información pluviográfica con la longitud de registro lo suficientemente prolongada. En los últimos años, en Argentina y en otros países del mundo, la cantidad de estaciones pluviográficas no sólo resulta escasa, sino que también va en descenso. Además, muchas de éstas tienen historias de registro de corta longitud, lo cual impide su utilización para hacer un análisis estadístico.

Este hecho representa directamente un problema para el proyectista, ya que en muchos casos la tormenta de diseño obtenida a partir de estas curvas es el principal dato de entrada para realizar el diseño hidráulico. En efecto, un número significativo de obras ha sido proyectado con información extrapolada espacialmente desde estaciones lejanas. Ello puede implicar que o bien su riesgo de falla real es desconocido y mayor que el esperado, o bien que la obra resulta sobredimensionada e innecesariamente onerosa para el riesgo nominal asumido. En ambos casos, el impacto de la escasez es claramente negativo.

El objetivo del presente trabajo consiste brindar una solución a la problemática planteada mediante la utilización, como fuente alternativa de información a los registros pluviográficos, de estimaciones remotas de precipitación de las misiones satelitales TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) y GPM (*Global Precipitation Measurement*) impulsadas por la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) en conjunto con la JAXA (Agencia de Exploración del Espacio Aéreo Japonés) y otras agencias espaciales.

Estas misiones comenzaron la toma de datos en el año 1998 y cuentan, entre otras cosas, con estimaciones remotas de intensidad de precipitación. El inicio de la misión implica que la longitud de registro es hoy cercana a los 25 años, lo cual

resulta razonable para estimar intensidades de precipitación de recurrencias intermedias. Esta información se genera en forma grillada en gran parte del globo terrestre.

A partir de estos datos, y mediante el análisis estadístico correspondiente, es posible generar curvas IDR para una determinado lugar, utilizando esta información en reemplazo de los registros tomamos in-situ. Las curvas IDR obtenidas a partir de esta información resultan igual de válidas que las realizadas a partir de la metodología habitualmente utilizada en el campo profesional para la realización de proyectos ante la ausencia de curvas IDR antecedentes o de registros pluviográficos que permitan su elaboración [1].

Se han elaborado estas curvas para toda la extensión de la República Argentina cubierta por las misiones, y se ha generado una aplicación, bautizada Precipit.Ar, que permite el acceso fácil y ordenado a esta información, permitiendo conocer las curvas IDR estimadas según coordenadas geográficas, duración y recurrencia.

II. INFORMACIÓN DE BASE

Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) fue una misión llevada a cabo en conjunto entre la *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) y la Agencia de Exploración del Espacio Aéreo Japonés (JAXA). Consistió en un satélite de investigación que funcionó entre los años 1997 y 2015, diseñado para mejorar la distribución y variabilidad de la información de la precipitación como parte del ciclo del agua en el sistema climático actual.

Hay varios motivos por los cuales se lanzó esta misión, dentro de los cuales se cuenta con el avance en el conocimiento de la energía global y el ciclo hidrológico, proporcionando distribución de precipitaciones y de calor latente en la atmósfera, ayudar a comprender los mecanismos de los cambios en las precipitaciones tropicales y su influencia en el ciclo hidrológico, en la estructura del océano, y para comprobar la efectividad en la modelización de estos procesos climáticos y su capacidad para simular y predecir el clima con precisión en la escala temporal estacional. [2]

La Misión TRMM fue una misión espacial que utilizó instrumentos de microondas activos (de precipitación) y pasivos (modulación de hidrometeoros de radiación saliente de la tierra en frecuencias microondas e infrarrojas) para medir y cuantificar la lluvia, especialmente en las zonas tropicales. Las observaciones mediante sistemas microondas capturan las precipitaciones en nubes más frías con mejor rendimiento que en nubes cálidas.

La precisión del TRMM depende en gran medida del muestreo temporal discreto y de un algoritmo de recuperación de las precipitaciones a distancia que funciona desde el espacio. [3].

El satélite de la Misión TRMM comenzó a tomar mediciones el 1 de enero de 1998 y terminó oficialmente el 15 de abril de 2015. A partir de estos datos, la NASA genera una serie de productos, entre los cuales se encuentra el 3B42 v7, que brinda estimaciones de intensidad media de precipitación con

una resolución temporal de 3 horas y una longitud de registro de 17 años. La resolución especial de la Misión es de aproximadamente 25 kilómetros de lado [4].

Algunas de las dificultades que presenta la Misión son la longitud de registro total de 18 años, lo cual implica una limitación para la realización de estudios estadísticos para tiempos de retornos muy grandes; las estimaciones son espaciales con resoluciones de 0.25° , lo que no permite un estudio puntual y limita la precisión de las mediciones debido a la gran variabilidad de la precipitación; además en zona de topografía compleja las estimaciones de precipitaciones presentan mayores desviaciones. Como actualización a este producto se desarrolla la Misión GPM que mejora algunos de estos aspectos.

El 27 de febrero de 2014 se lanzó la red de satélites *Global Precipitation Measurement* (GPM), como continuación del trabajo realizado por la Misión TRMM. Esta misión, actualmente en operación, mide la precipitación de la Tierra con un sistema avanzado de radar y proporciona observaciones globales de lluvia y nieve. Esta misión aporta mayor conocimiento sobre los ciclos del agua y la energía de la Tierra, y contribuye mejorando el pronóstico de eventos extremos, brindando información más precisa.

El GPM Core continúa con el relevamiento de información que llevó a cabo la misión TRMM desde una órbita no sincrónica con el Sol y extendió la cobertura a latitudes más altas para proporcionar una vista casi global. Una de las mejoras sobre el satélite TRMM fue su menor resolución temporal, de 60 minutos en vez de 3 horas, mayor precisión, hasta 0.5 mm de error y mejor resolución espacial, de 0.1° grados. A su vez, proporcionará incluso mayor cobertura, entre aproximadamente 65° de latitud norte (el Círculo Polar Ártico) y 65° de latitud sur (el Círculo Polar Antártico) [5].

La NASA ha decidido continuar con el producto 3B42 más allá de la finalización de la Misión TRMM a partir de las estimaciones obtenidas a partir de la Misión GOM hasta el 31 de diciembre del año 2019. Esto implica que este producto cuenta con una longitud de registro de 22 años.

III. METODOLOGÍA DE TRABAJO

A. Descarga de la información

En primer lugar, se ha procedido a la descarga de la información de la Aplicación Web Giovanni (*Geospatial Interactive Online Visualization and analysis Infrastructure*) [6], desarrollada por GES DISC. GES DISC es el Centro de Servicios de Datos e Información (OESDIS) del Centro Goddard de Ciencias de la Tierra (GES) de la NASA.

La aplicación web *Giovanni* permite visualizar y acceder a datos obtenidos por los satélites de las Misiones TRMM y GPM. Su página web es de acceso público y gratuito. Permite la descarga de los datos necesarios mediante un bloque de texto de *links HTTPS* (*Hypertext Transfer Protocol Secure*). Estos *links*, una vez leídos por el navegador web, posibilitan la descarga de los archivos *.HDF* (*Hierarchical Data Format*) de

los cuales se obtendrán, finalmente, las estimaciones de intensidad medias de precipitación necesarias.

La información se obtiene como una matriz de intensidades medias de precipitación para un determinado momento. Esto implica una matriz cada 3 horas para el período comprendido entre los años 1998 y 2019.

Las dimensiones de la matriz están dadas por el área de análisis a considerar, teniendo en cuenta que las celdas tienen aproximadamente 25 kilómetros de lado. Para cubrir la totalidad del territorio de la República Argentina, se han considerado todas las celdas comprendidas entre los paralelos 21° Sur y 50° Sur y los meridianos 53° Oeste y 72° Oeste, área que se presenta en la Fig. 1. Esto implica una matriz de 116 x 76, o un total de 8,816 celdas.



Fig. 1: Porción de la República Argentina cubierta por el Producto 3B42.

Con el objeto de ordenar la información incorporando la variable tiempo al análisis, se hace uso de matrices multidimensionales, las cuales además de poseer filas y columnas correspondientes a las estimaciones de intensidad media de precipitación ubicadas espacialmente, posibilita apilarlas en dirección z, representando un eje tiempo, lo cual permite acumular mediciones hechas cada 3 horas por las Misiones de forma tal de poder segmentarlas en mediciones anuales.

Un año no bisiesto posee 2,920 registros de estimaciones de intensidad media de precipitación, dividido en 8 mediciones diarias, representado mediante matrices de dimensión 116 x 76. El primero de los 2,920 registros corresponde a la medición hecha el 1 de enero a las 00:00:00 horas y el 2.920mo corresponde a la medición hecha el 31 de diciembre a las 21:00:00 horas, del mismo año de estudio.

A través de esta herramienta se transforman, para cada año, las 2,920 matrices individuales en una única matriz multidimensional de dimensiones 116 x 76 x 2,920 que contiene los datos de un año calendario completo. Representar

las mediciones en intervalos anuales es de gran ayuda para conformar posteriormente la serie de duración parcial.

B. Análisis de extremos

La teoría de extremos es una de las ramas de la estadística que permite, para una determinada variable aleatoria, determinar probabilidades de ocurrencia de eventos más extremos que los observados en la muestra.

Esta teoría es muy utilizada en el ámbito de la hidrología para la determinación de caudales o precipitaciones para períodos de retorno altos a partir de series de datos. El período de retorno es el tiempo que, en promedio, existe entre dos eventos que igualen o superen una determinada magnitud.

Para realizar este análisis es necesario obtener una serie de duración parcial, que consiste en una serie con datos seleccionados que representan los mayores valores de la muestra completa, sin importar el orden cronológico de las mismas [7]. Luego, es posible ajustar a estos valores una distribución de probabilidad.

La función de densidad de probabilidad $f(x)$ indica la distribución de la probabilidad en una variable continua. Para esta función se cumple lo indicado en la ecuación (1), donde la probabilidad de que la variable aleatoria se encuentre entre a y b está representada también por el área bajo la curva indicada en la Fig. 2. [8].

$$P(a < X < b) = \int_a^b f(x)dx \quad (1)$$

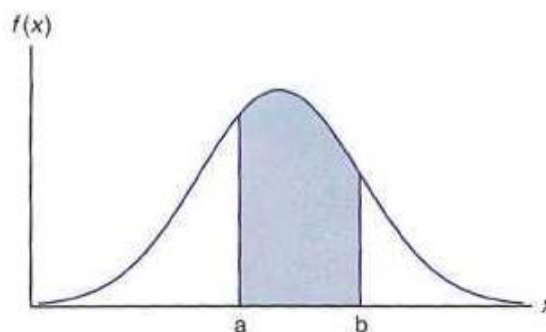


Fig. 2: Función de densidad de probabilidad (Walpole, Myers, & Myers, 2007)

La función de distribución de probabilidades acumulada $F(x)$, por otro lado, indica la probabilidad de que la variable aleatoria sea menor o igual que x . Esto está representado, para cada valor de x , en el área comprendida a la izquierda en la función de densidad de probabilidad, tomando valores entre 0 y 1. Estos dos conceptos se pueden observar en Fig. 3. De esto surge, además, que $1-F(x)$ representa la probabilidad de que X sea igualado o superado. Consecuentemente, la probabilidad acumulada está vinculada con el período de retorno mediante la ecuación (2).

$$F(x) = \frac{1}{1-T} \quad (2)$$

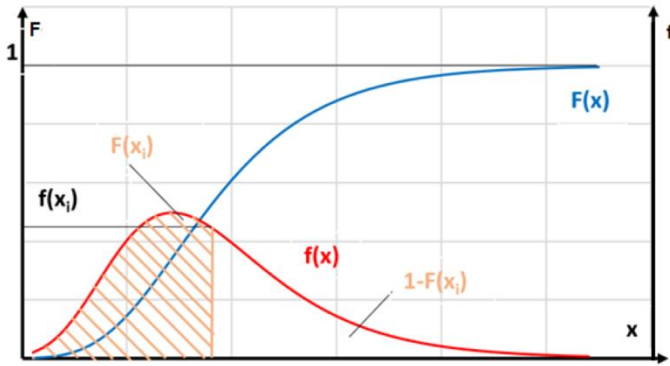


Fig. 3: Distribución de probabilidad y probabilidad acumulada

Un factor importante a analizar a la hora de elaborar este tipo de análisis es la certeza de que los eventos que forman parte de la muestra pertenezcan a eventos independientes, ya que para realizar el ajuste de una distribución de probabilidad es necesario que la serie constituya una muestra, es decir, que sus valores sean independientes y provengan de una misma distribución poblacional.

B.1 Generación de series de duración parcial

A partir de cada matriz de datos cada 3 horas de cada año, se construyeron los vectores de intensidades medias de precipitación para duraciones mayores que resultan relevantes para la construcción de la curva IDR, es decir 6, 9, 12 y 24 horas. Esto se realizó generando cuatro nuevas matrices para cada año que cuentan con valores de intensidad media de precipitación, donde para cada celda se han promediado las intensidades medias de la celda correspondiente a ese horario y las “n” celdas anteriores, siendo n determinado por la ecuación (3),

$$n = \frac{\text{duración (hs)}}{3 \text{ hs}} - 1 \quad (3)$$

Teniendo en cuenta que las curvas IDR tendrán como objetivo el análisis de intensidades medias máximas de precipitación, a partir de la serie de duración completa generada para cada una de las duraciones, se busca la construcción de una serie de duración parcial. Los datos que conforman una serie de duración parcial dependen del criterio adoptado; en este caso se busca que su magnitud sea mayor que un valor base predefinido. Existen distintas metodologías aplicables, aunque en este caso se ha optado por la selección de una serie de máximos anuales. Esta serie, para una serie de duración completa de “N” años, está compuesta por N valores máximos, cada uno correspondientes al máximo valor de cada año. Se esquematiza esta condición en la Fig. 4.

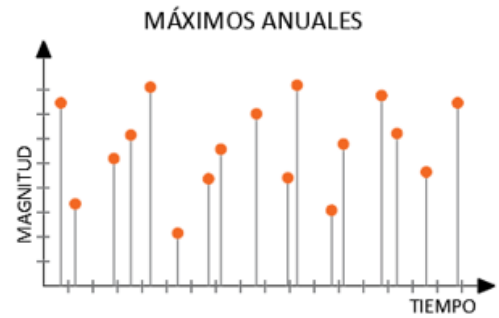


Fig. 4: Serie de Máximos anuales

Con este criterio se trabaja sobre cada una de las matrices multidimensionales, obteniendo así una matriz de dimensiones 116 x 76 por cada año de estudio, cuyos valores son los máximos correspondientes a dicho año.

Finalizado el procesamiento se obtiene una matriz de dimensiones 116 x 76 para cada uno de los 22 años de estudio y las 5 duraciones detalladas previamente.

Dado que, para un correcto análisis de frecuencia, resulta imprescindible que los datos de la serie de máximos anuales sea independiente, se ha verificado, conociendo las fechas asociadas a cada uno de los máximos, que los máximos anuales de dos años consecutivos no se encuentren cercanos entre sí, es decir uno hacia el final de un determinado año y el siguiente durante los primeros días del año consecutivo. Cuando esto ocurrió, se ha descartado el menor de estos dos valores, seleccionando para el año correspondiente el valor máximo anual siguiente.

B.2 Análisis de frecuencia

Una vez definida la serie de duración parcial de eventos máximos, es posible ajustar una distribución de probabilidad a esta serie que permita asociar magnitud de la variable con probabilidad de ocurrencia.

Debido a que los datos que se utilizan se localizan en la cola extrema de la distribución de probabilidad de todas las observaciones de la muestra, la distribución de probabilidad de los máximos suele ser distinta a aquella correspondiente a la serie completa [9].

Para cada una de las series de máximos anuales de intensidades medias de precipitación para duraciones de 3, 6, 9, 12 y 24 horas, se ha ajustado una función de distribución de tipo Valor Extremo Tipo I (EVI), definida por la ecuación (4).

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{x-\mu}{\alpha}}} \quad (4)$$

Se observa que la función depende solamente de dos parámetros, α y μ . Pender de dos parámetros da la cualidad de bi-paramétrica a la distribución EVI, donde:

- μ representa la moda de la muestra
- α representa un parámetro de escala

Asimismo, EVI posee un coeficiente de asimetría fijo de valor 1,139 y, fundamentalmente, permite el cálculo de una expresión analítica para la evaluación del cuantil mediante el cual se relaciona el evento extremo con su probabilidad de ocurrencia.

La estimación de parámetros de distribución α y u se obtienen en función al registro de datos de la serie parcial analizada. Para su cálculo existen diversos métodos [9].

Para el desarrollo de este trabajo se utiliza el Método de Momentos Ordinarios debido a la facilidad de su aplicación para muestras de gran tamaño, al igual que experiencia previa con su aplicación.

Las ecuaciones (5) y (6) muestran el procedimiento para estimar los parámetros α y u a través del Método de Momentos Ordinarios:

$$\alpha = \frac{\sqrt{6} \cdot s}{\pi} \quad (5)$$

$$\mu = \bar{x} - 0,5772 \cdot \alpha \quad (6)$$

Donde:

- s representa el desvío estándar de la muestra
- \bar{x} representa la media aritmética de la muestra

Finalmente, con los parámetros calculados se puede relacionar el evento extremo con su probabilidad de ocurrencia y culminar el análisis de frecuencia, obteniendo los cuantiles de estimación de intensidad media de precipitación buscados, a través de la ecuación (7)

$$I(Te) = \mu + \alpha \left(-\ln \left(-\ln \left(1 - \frac{1}{Te} \right) \right) \right) \quad (7)$$

Se ha realizado el test de bondad de ajuste mediante el método de las curvas envolventes.

Con esta metodología de han estimado intensidades medias de precipitación asociadas a distintos periodos de retorno y a distintas duraciones. Los periodos de retorno han sido limitados a un máximo de 50 años, teniendo en cuenta la longitud del registro, mientras que las duraciones consideradas varían entre 3 horas (resolución temporal del producto) y 24 horas.

C. Ajuste paramétrico de Superficies IDR

A partir de las intensidades medias de precipitación estimadas para una determinada celda, asociadas a distintas duraciones de evento y a diferentes periodos de retorno, es posible ajustar paramétricamente una superficie IDR. Estas superficies suelen expresarse a través de ecuaciones de ajuste paramétrico, según la ecuación (8)

$$I_{(d,T)} = \frac{c \cdot T^n}{d^{e+f}} \quad (8)$$

Donde:

- I representa la intensidad media de precipitación, expresada en milímetros por hora.
- T representa el período de retorno, expresado en años.
- d representa la duración del evento, expresado en minutos.
- c, n, e, f representan parámetros de ajuste de la función, adimensionales.

Para cada conjunto de intensidades medias de precipitación, para distintas duraciones y periodos de retorno, obtenidas en una celda, se ha ajustado una curva IDR.

Fundamentalmente “ T ” y “ d ” son las variables que serán posteriormente utilizadas como *input* para obtener la intensidad media de precipitación. Los parámetros c, n, e y f serán constantes ligadas a cada “celda” de la matriz y serán definidos en función de la ubicación geográfica de la IDR que se desea obtener.

La metodología aplicada para obtener estos parámetros consta en hallar los valores de c, n, e y f que minimicen la suma del error cuadrático entre las intensidades calculadas y las ajustadas como se muestra en la ecuación (9)

$$\min \sum_{i=0}^n (I_{aj} - I_{calc})^2 \quad (9)$$

Donde:

- I_{aj} corresponde a las Intensidades medias de precipitación calculadas a partir de la Ecuación (8).
- I_{calc} corresponden a las Intensidades medias de precipitación obtenidas del análisis estadístico.

La TABLA I permite, en resumen, un mayor entendimiento del proceso llevado a cabo.

TABLA I
Metodología aplicada para cálculo de coeficientes de ajuste

		Periodos de Retorno [años]					
		5	10	20	25	50	
		Intensidad Calculada [mm/hr]					
Duración [hs]	3	2.60	3.26	3.92	3.92	4.80	
	6	1.34	1.67	2.00	2.11	2.44	
	9	0.94	1.15	1.37	1.44	1.66	
	12	0.68	0.85	1.02	1.07	1.24	
	24	0.34	0.43	0.51	0.53	0.62	
			Intensidad Generada [mm/hr]				
	3	2.57	3.13	3.82	4.07	4.97	
	6	1.32	1.62	1.97	2.10	2.56	
	9	0.89	1.09	1.33	1.41	1.73	
	12	0.67	0.82	1.00	1.07	1.30	
	24	0.34	0.41	0.50	0.54	0.65	
			Error Cuadrático [mm/hr]				
3	0.001	0.017	0.011	0.021	0.028		
6	0.000	0.003	0.000	0.000	0.016		
9	0.002	0.004	0.002	0.001	0.005		
12	0.000	0.001	0.000	0.000	0.004		
24	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001		
		Σ Error Cuadrático	c	n	e	f	
		0.864	318.691	1.004	0.287	13.142	

Este ajuste paramétrico es realizado para cada una de las celdas de la Misión.

IV. RESULTADOS OBTENIDOS

Siguiendo el procedimiento realizado se han obtenido las intensidades medias de precipitación para cada una de las celdas correspondientes al área de análisis y para distintos períodos de retorno. Teniendo en cuenta que la serie tiene 22 años de longitud, se han extrapolado intensidades para un máximo de 50 años de período de retorno.

Se han plasmado las intensidades medias de precipitación, para una determinada duración de evento y período de retorno, en mapas, algunos de los cuales se presentan en las Fig. 5 a Fig. 7.

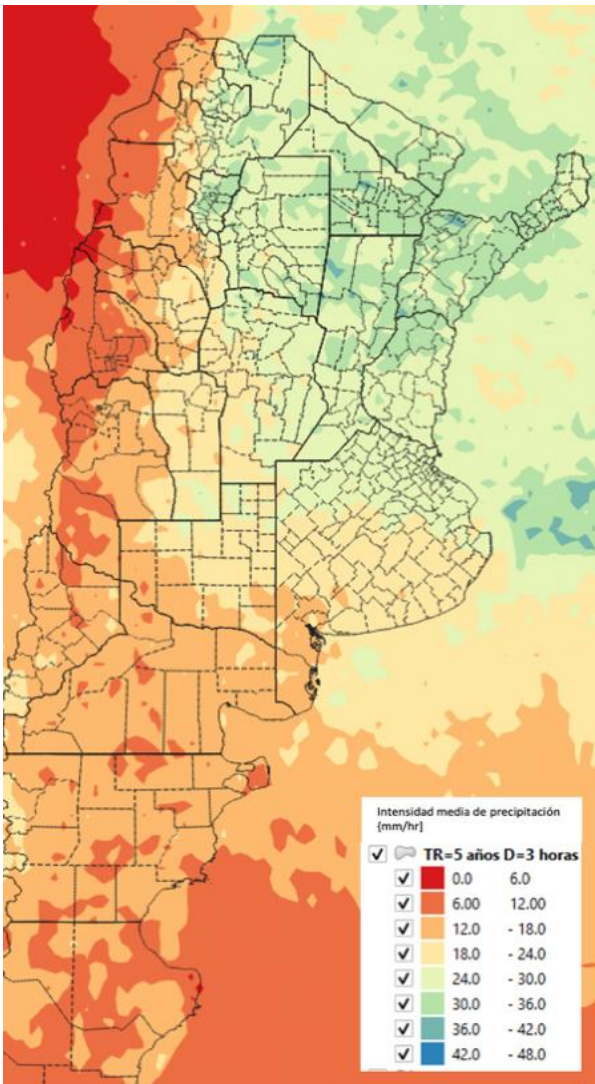


Fig. 5: Mapa de Intensidades medias de precipitación para Tr= 5 años y duración 3 horas.

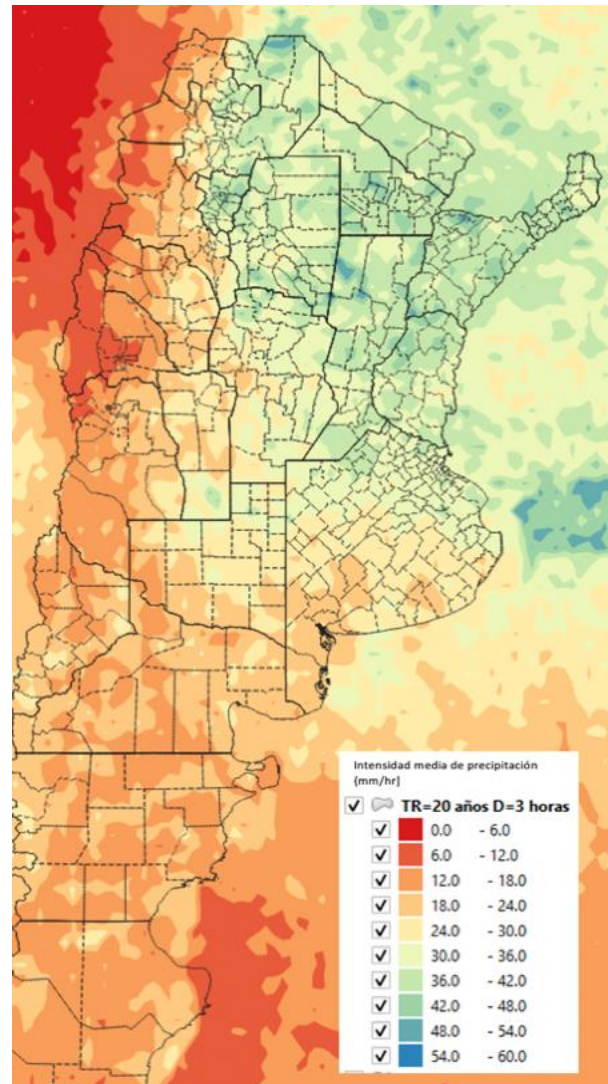


Fig. 6: Mapa de Intensidades medias de precipitación para Tr=20 años y duración 3 horas.

En cada uno de los mapas, los colores verde a celeste representan intensidades medias de precipitación elevadas, mientras que los colores naranja y rojo representan intensidades medias de precipitación menores.

Si se comparan las Fig. 5 y Fig. 6, asociadas a igual duración pero distinto período de retorno, se puede observar cómo las intensidades aumentan conforme aumenta el período de retorno.

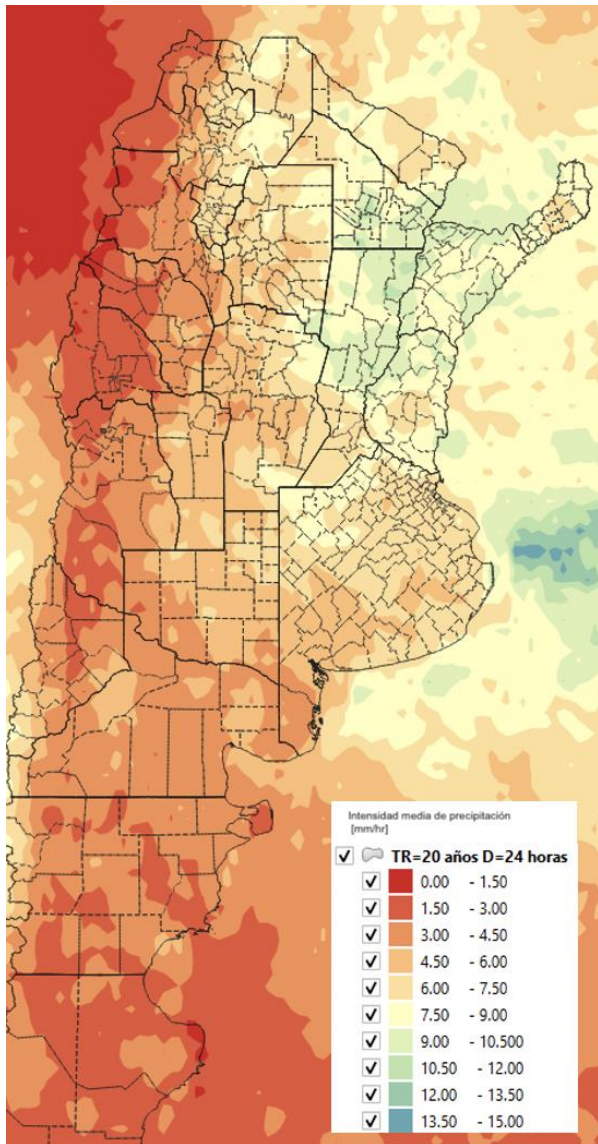


Fig. 7: Mapa de Intensidades medias de precipitación para Tr=20 años y duración 24 horas.

Se puede observar en la Fig. 7 que, para 20 años de período de retorno, las intensidades medias de precipitación resultan de menor magnitud que las asociadas a una duración de tres horas.

Por otro lado, para una determinada celda de la Misión, es posible obtener las curvas IDR. A modo de ejemplo, se presenta en la Fig. 8 la Curva IDR calculada para la Ciudad de Mendoza.

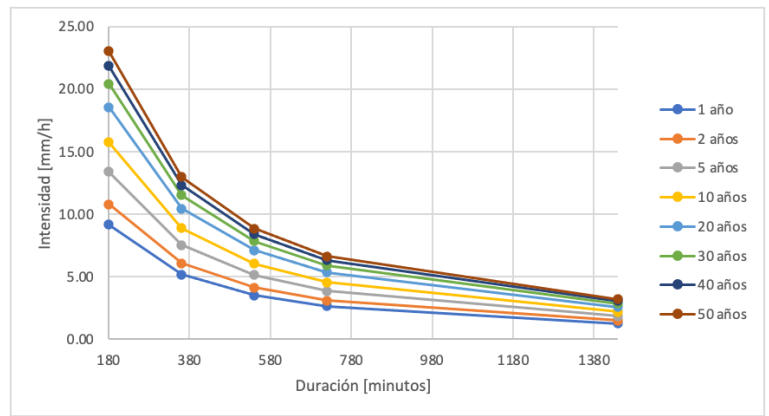


Fig. 8: Curvas IDR para la ciudad de Mendoza.

A. Aplicación Precipit.Ar

La aplicación Precipit.Ar tiene como fin el fácil acceso a las Curvas IDR generadas en el presente trabajo, usando como *input* las coordenadas geográficas del área que se pretende estudiar.

La aplicación tiene dos variantes: por un lado, permite obtener la intensidad media de precipitación en un determinado lugar, a partir de una duración y período de retorno dados por el usuario. Además permite obtener la curva IDR completa para un determinado lugar, así como también los parámetros de la superficie IDR ajustada.

La solución propuesta es una planilla de Microsoft Excel interactiva, que cuenta con un Manual de Usuario, Casilleros para cargar las variables de entrada, y sección con los resultados obtenidos. El usuario puede cargar las coordenadas geográficas del área que desea estudiar. La aplicación brinda los datos correspondientes a la celda de análisis que coincide geográficamente con las coordenadas brindadas.

En la Fig. 9 se presenta una captura parcial de la pantalla donde se presentan los datos de entrada y el resultado de la intensidad media de precipitación. Las celdas marcadas en color verde son las que deben ser completadas por el usuario.

Latitud	-33.10 °	Longitud:	-68.99 °
Duración	200 minutos	TR:	40 años
Intensidad estimada:	15.46 mm/h		

Fig. 9: Precipit.Ar. Datos de entrada y resultado de intensidad media de precipitación.

Además de la Intensidad media de precipitación estimada, Precipit.Ar genera las curvas IDR correspondientes a las coordenadas cargadas, y que brinda los valores de los coeficientes c, n, e, f correspondientes al ajuste paramétrico de la Superficie IDR. La sección de resultados se presenta, a modo de ejemplo, en la Fig. 10.

$$I = \frac{c \cdot TR^n}{d^e + f}$$

Parámetros de la superficie			
c	e	f	n
11560.9204	1.22041008	873.203023	0.19166335

Estimaciones de intensidad de precipitación máxima [mm]		Periodo de retorno [Años]							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Duración [minutos]	180	8.04	9.18	9.92	10.48	10.94	11.33	11.67	11.97
	360	5.28	6.03	6.51	6.88	7.18	7.44	7.66	7.86
	540	3.81	4.35	4.70	4.97	5.19	5.37	5.53	5.68
	720	2.93	3.35	3.62	3.82	3.99	4.13	4.26	4.37
	1440	1.44	1.65	1.78	1.88	1.96	2.03	2.09	2.15

Duración [minutos]		9	10	11	12	13	14	15	16
		180	8.04	9.18	9.92	10.48	10.94	11.33	11.67
360	5.28	6.03	6.51	6.88	7.18	7.44	7.66	7.86	
540	3.81	4.35	4.70	4.97	5.19	5.37	5.53	5.68	
720	2.93	3.35	3.62	3.82	3.99	4.13	4.26	4.37	
1440	1.44	1.65	1.78	1.88	1.96	2.03	2.09	2.15	

Duración [minutos]		18	20	25	30	35	40	45	50
		180	8.04	9.18	9.92	10.48	10.94	11.33	11.67
360	5.28	6.03	6.51	6.88	7.18	7.44	7.66	7.86	
540	3.81	4.35	4.70	4.97	5.19	5.37	5.53	5.68	
720	2.93	3.35	3.62	3.82	3.99	4.13	4.26	4.37	
1440	1.44	1.65	1.78	1.88	1.96	2.03	2.09	2.15	

Fig. 10: Precipit.Ar. Resultados obtenidos

Las limitaciones que presenta el producto están vinculadas con los límites geográficos de las misiones al igual que las reglas del buen arte para períodos de retorno sumamente elevados comparados con la extensión de los registros.

La aplicación cuenta con un control de fácil identificación para el usuario en lo que respecta a las limitaciones en el uso del mismo.

Si se exceden los límites geográficos, el casillero cuenta con un formato condicional que lo tornará rojo y aparecerá una leyenda de advertencia. El producto no devolverá ninguna estimación en este caso, ya que no cuenta con la información necesaria.

Si se trabaja fuera de las recomendaciones para períodos de retorno o duración, los casilleros cuentan con un formato condicional que los tornará amarillos y aparecerán las leyendas de advertencia correspondientes. El producto devolverá una estimación, ya que cuenta con los elementos matemáticos para hacerlo, pero esta estimación no es recomendada.

La Fig. 11 muestra el accionar del producto al trabajar en sus límites.

Latitud	-20.00 °	Longitud:	-68.99 °
Las coordenadas ingresadas no están dentro de la cobertura			
Duración	100 minutos	TR:	60 años
No se recomienda utilizar para duraciones menores a 3 horas			
Periodo de retorno mayor a 50 años			
Intensidad estimada:		mm/h	

Fig. 11: Límites geográficos y de período de retorno en Precipit.Ar

V. CONCLUSIONES Y LIMITACIONES

El trabajo realizado pretende dar una solución alternativa a la falta de curvas IDR en la República Argentina y la falta de registros pluviográficos lo suficientemente robustos para la generación de las mismas.

La información tomada de base para la realización de las curvas IDR corresponde a estimaciones remotas de precipitación realizada por dos misiones satelitales, TRMM y GPM, que generan entre otras cosas una serie de estimaciones de intensidad media de precipitación con una resolución temporal de 3 horas. La serie utilizada tiene una longitud de registro de 22 años y una cobertura que cubre gran parte del

territorio nacional. Las estimaciones de obtienen en forma matricial, con celdas que tienen aproximadamente 25 kilómetros de lado.

Se ha analizado en estudios previos que el error generado por la utilización de estos datos para la generación de curvas IDR resulta de igual orden de magnitud que el generado mediante otras metodologías aplicadas habitualmente ante la falta de registros pluviográficos registrados in situ [1]. Esto implica que, ante la falta de información in situ, la utilización de estimaciones remotas de precipitación resulta en una estimación de intensidades medias suficientemente ajustadas, dentro de ciertas limitaciones que refieren principalmente a la resolución temporal, espacial y la longitud de registro que ofrecen estas misiones.

Se han generado, utilizando estas estimaciones como fuente de información, superficies IDR asociadas a cada una de las celdas de la Misión, para todo el territorio de la República Argentina. Se ha generado además una aplicación, bautizada Precipit.AR, en formato Excel, que permite que el usuario pueda obtener las curvas de forma rápida. En la Fig. 12 se presenta el manual de usuario de Precipit.Ar y en la Fig. 13 la pantalla principal de la Aplicación.

Precipit.Ar solicitará al usuario las coordenadas geográficas, la duración del evento y el período de retorno. La aplicación brinda entonces una intensidad estimada, así como también las curvas IDR tabuladas y los parámetros de ajuste de las superficies IDR parametrizadas.

Precipit.AR brinda intensidades medias de precipitación para períodos de retorno de hasta 50 años, que resultan compatibles con la duración de la muestra de datos de 22 años. Para mayores períodos de retorno, las intensidades medias obtenidas podrían implicar errores de estimación.

La duración mínima sugerida es de 3 horas, coincidente con la resolución temporal de la muestra de datos. Es posible obtener intensidades medias de precipitación para duraciones menores a partir de otros estimadores, como pueden ser las relaciones r.

La cobertura espacial de Precipit.AR cubre gran parte del territorio nacional, exceptuando únicamente el sector comprendido por debajo del paralelo 50S, lo que implica la franja sur de la provincia de Santa Cruz y la provincia de Tierra del Fuego.

Precipit.AR pretende, entonces, brindar curvas IDR para la República Argentina que resultan de utilidad para muchas aplicaciones, como complemento y alternativa a las curvas IDR disponibles generadas a partir de registros pluviográficos.

Referencias

- [1] Scasserra, D., Uriburu Quirno, M. "Elaboración de Curvas Intensidad-Duración-Período de Retorno (IDR) a partir de Estimaciones Remotas de Precipitación de la Misión TRMM". XXIX Congreso Latinoamericano de Hidráulica. ISBN 979-888722468-8. p. A599-A609
- [2] JAXA (s.f.). TRMM Data Users Handbook. Obtenido de https://www.eorc.jaxa.jp/TRMM/document/text/handbook_e.pdf
- [3] M. Tarek, "Assessment of TRMM data for precipitation measurement in Bangladesh", Meteorological applications 24: 349-359 (2017)

[4] NASA. (s.f.). TRMM File Specification 3B42. Obtenido de <https://storm.pps.eosdis.nasa.gov/storm/data/docs/filespec.TRMM.V7.3B42.pdf>

[5] NASA. (s.f.). The Global Precipitation Measurement Mission (GPM). Obtenido de: <https://gpm.nasa.gov/missions/GPM>

[6] NASA (s.f.) *Geospatial Interactive Online Visualization and analysis Infrastructure (Giovanni)*. Obtenido de: <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>

[7] Bras, R. L. (1990). *Hydrology. An Introduction to Hydrologic Science. Reading: Addison Wesley*

[8] Walpole, R., Myers, R. & Myers, S. (2007). *Probability and Statistics for Engineers and Scientists.*- Londres: Pearson Education International.

[9] Chow, V. T. (8 de abril de 1994). *Hidrología Aplicada.* Bogotá: Mc Graw Hill Interamericana S.A.

Precipit.Ar

Elaborado por: Mgtr Daiana C. Scasserra , Ing. Patricio Pompilio, Ing. Marina Rolla, Gardo Najle.



Estimación de Intensidad de Precipitación Máxima

Manual de usuario:

La presente planilla permite conocer una estimación de intensidad de precipitación máxima según período de retorno, duración y coordenadas geográficas a través de la utilización Superficies IDR.

Se cuenta con cobertura para el territorio de la República de Argentina comprendido entre los paralelos 21º Sur y 50º Sur y los meridianos 53º Oeste y 72º Oeste. A cada porción de territorio corresponde una Superficie IDF que fue ajustada entre curvas IDR para distintos períodos de retorno. Estas curvas surgen de un análisis de extremos sobre una serie temporal de longitud 22 años con mediciones cada 3h de las misiones de la NASA TRMM y GPM

Pasos para obtener una estimación:

- ▶ Cargar latitud y longitud correspondiente al sitio del cual se requiere la estimación en grados centígrados con decimales separados por una coma. En ambos casos los grados estarán precedidos por un signo - para indicar longitud OESTE y latitud SUR.
Los límites de cobertura son latitudes: -50º y -21º y longitudes: -53º y -72º.
- ▶ Cargar Período de Retorno en años.
Teniendo en cuenta que las estimaciones se basan en un registro de 22 años de longitud, no se recomienda utilizar para períodos de retorno mayores a 50 años.
- ▶ Cargar Duración en minutos.
Teniendo en cuenta que las estimaciones se basan en mediciones cada 3 horas, no se recomienda utilizar para duraciones menores a 180 minutos.
- ▶ Una vez cargados los datos se mostrará la intensidad buscada, la superficie IDF, cortes de la misma y estimaciones complementarias.

Ejemplo

Para mostrar la estimación la intensidad máxima de precipitación De la ciudad de **Comodoro Rivadavia (45,86 º Sur y 67,49 º Oeste)**, para una **duración de 5 horas (300 minutos)** y un **período de retorno de 9 años**, los datos deberían completarse de la siguiente forma:

1) Indique las coordenadas geográficas en grados	Latitud	-45,86 º	Longitud:	-67,49 º
2) Complete la duración y el período de retorno	Duración	300 minutos	TR:	9 años
Intensidad estimada:		12,49 mm/h		

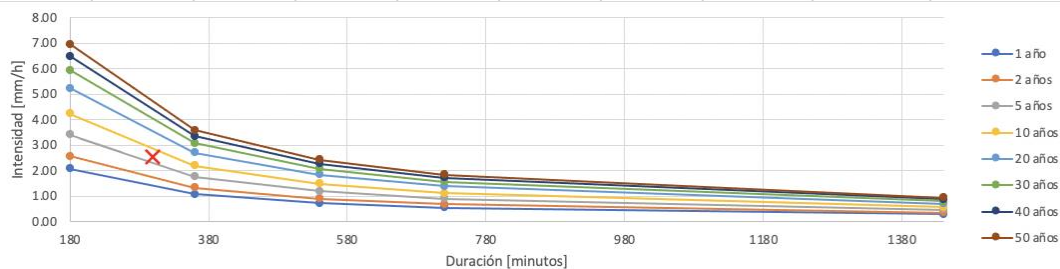
Fig. 14: Manual de usuario de Precipit.Ar

1) Indique las coordenadas geográficas en grados **Latitud** **Longitud:**

2) Complete la duración y el período de retorno **Duración** **TR:**

Intensidad estimada:

Estimaciones de intensidad de precipitación máxima [mm]	Período de retorno [Años]								
	1	2	5	10	20	30	40	50	
Duración [minutos]	180	2.07	2.57	3.41	4.23	5.24	5.94	6.49	6.96
	360	1.07	1.33	1.76	2.18	2.70	3.07	3.35	3.59
	540	0.72	0.90	1.19	1.48	1.83	2.07	2.27	2.43
	720	0.55	0.68	0.90	1.12	1.38	1.57	1.72	1.84
	1440	0.28	0.35	0.46	0.57	0.71	0.80	0.88	0.94



$$I = \frac{c \cdot TR^n}{d^e + f}$$

Parámetros de la superficie			
c	e	f	n
343.87924	0.9778765	5.6175347	0.3097862

Estimaciones de intensidad de precipitación máxima [mm]	Período de retorno [Años]								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Duración [minutos]	180	2.07	2.57	2.91	3.18	3.41	3.61	3.78	3.94
	360	1.07	1.33	1.50	1.64	1.76	1.86	1.95	2.04
	540	0.72	0.90	1.02	1.11	1.19	1.26	1.32	1.38
	720	0.55	0.68	0.77	0.84	0.90	0.95	1.00	1.04
	1440	0.28	0.35	0.39	0.43	0.46	0.49	0.51	0.53

Duración [minutos]	9	10	11	12	13	14	15	16
	180	2.07	2.57	2.91	3.18	3.41	3.61	3.78
360	1.07	1.33	1.50	1.64	1.76	1.86	1.95	2.04
540	0.72	0.90	1.02	1.11	1.19	1.26	1.32	1.38
720	0.55	0.68	0.77	0.84	0.90	0.95	1.00	1.04
1440	0.28	0.35	0.39	0.43	0.46	0.49	0.51	0.53

Duración [minutos]	18	20	25	30	35	40	45	50
	180	2.07	2.57	2.91	3.18	3.41	3.61	3.78
360	1.07	1.33	1.50	1.64	1.76	1.86	1.95	2.04
540	0.72	0.90	1.02	1.11	1.19	1.26	1.32	1.38
720	0.55	0.68	0.77	0.84	0.90	0.95	1.00	1.04
1440	0.28	0.35	0.39	0.43	0.46	0.49	0.51	0.53

Fig. 15: Pantalla principal de Precipit.Ar