

# ESTIMACIÓN DE UMBRALES DE PRECIPITACIONES EXTREMAS PARA LA EMISIÓN DE AVISOS METEOROLÓGICOS

Nota Técnica 001  
SENAMHI- DGM - 2014

---

---

Luis Alfaro Lozano

# Estimación de Umbrales de Precipitaciones Extremas Para la Emisión de Avisos Meteorológicos

## RESUMEN

Los avisos meteorológicos tienen el propósito de informar a las autoridades y público en general del modo más detallado y claro posible, sobre la peligrosidad de un fenómeno meteorológico adverso previsto o en desarrollo. Para este efecto se deben establecer umbrales con criterios climatológicos que faciliten un criterio común de clasificación de la peligrosidad de un evento meteorológico (recurrente o no) según los valores de las variables meteorológicas que superen los umbrales de "poco o muy poco frecuente".

Comunicar la predecir un fenómeno meteorológico adverso a través de los Avisos Meteorológicos como es el caso de eventos extremos de precipitación, es una de las responsabilidades más importantes que le corresponde al SENAMHI. Según el Servicio Meteorológico Español (AEMET) un fenómeno meteorológico adverso tiene como característica su "rareza" entendida en términos estadísticos como "menos probable". Cuanto menor sea esta probabilidad o mayor su período de retorno, es muy probable que menos estén preparadas las poblaciones afectadas para enfrentarse a sus efectos<sup>1</sup>. Bajo estas consideraciones surge inmediatamente la pregunta de cómo estimar esa rareza o menor probabilidad.

En esta Nota Técnica se propone la utilización de un método práctico y reconocido internacionalmente para, sin conocer la distribución de probabilidad de una serie de datos diarios de precipitación, deducir sus estadísticos con el fin de establecer un criterio común para determinar la "rareza" de los montos de precipitación acumulados en 24 horas y de este modo determinar umbrales de precipitaciones extremas.

## 1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el IPCC<sup>2</sup> (Climate Change 2007: Working Group I: The Physical Science Basis) Un fenómeno meteorológico extremo es un evento "raro" en un lugar y momento determinado. Las definiciones de raro varían, pero en general hay consenso de que un fenómeno meteorológico extremo normalmente puede ser más "raro" que el percentil 10 o 90 de la función de densidad de probabilidad observada, constituyendo así un índice climático de lluvias extremas.

<sup>1</sup> <http://www.proteccioncivil.org/documents/11803/12845/Predicci%C3%B3n+y+Vigilancia+de+Fen%C3%B3menos+Meteorol%C3%B3gicos.pdf>

<sup>2</sup> [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/annex1sglossary-e-o.html](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/annex1sglossary-e-o.html)

Otra fuente importante sobre esta temática es la utilización de las herramientas elaboradas por el equipo de expertos sobre detección del cambio climático y los índices (ETCCDI por sus siglas en inglés): este equipo tiene el mandato de abordar la necesidad de la medición objetiva y la caracterización de la variabilidad del clima y el cambio climático, proporcionando asesoramiento internacional en materia de índices relevantes para la detección del cambio climático.

El ETCCDI tiene una página web<sup>3</sup> que proporciona entre otros servicios: a) Definiciones y orientación sobre los cálculos de los índices de cambio climático, junto con paquetes de software estándar; b) Guías prácticas sobre la homogeneización de datos climáticos; c) Acceso a los recursos en línea de índices climáticos.

Según el ETCCDI los extremos tales como la lluvia máxima diaria anual de precipitación, que tradicionalmente se han modelado con conocidas funciones de distribuciones de valores extremos utilizadas ampliamente en ingeniería, requieren para el caso de la detección del cambio climático de indicadores que puedan ser utilizados en un contexto más amplio. Cabe agregar que los índices que han sido utilizados por el SENAMHI para la segunda comunicación nacional, han sido recomendados por este grupo de trabajo.

En general el ETCCDI reconoce que existen diferentes grupos de investigación que pueden definir diferentes índices para sus propósitos particulares. Albert Klein Tank, investigador del Instituto Meteorológico de Holanda (KNMI) compiló una lista de los índices utilizados por diferentes investigadores, para analizar temperaturas y precipitaciones extremas diarias<sup>4</sup>.

Aquí resalta una coincidencia entre las recomendaciones del IPPC y los criterios del STARDEX (Statistical and Regional Dynamical Downscaling of Extremes for European Regions), ellos indican que las precipitaciones que superan el percentil 90, calculado de los días con precipitación acumulada diaria mayor a un (1) mm ( $RR > 1$  mm). Es decir, se consideran días lluviosos<sup>5</sup> a aquellos en que se supera el percentil 90.

Para el ETCCDI en sus definiciones para un conjunto básico de 27 índices descriptivos de extremos se indican como días muy lluviosos (muy fuertes) a aquellos en que la precipitación supera el percentil 95 de los días con lluvia, mientras que serán extremadamente lluviosos<sup>6</sup> (extremadamente fuertes) los que superan el percentil 99.

Con respecto a los días moderadamente lluviosos el European Climate Assessment<sup>7</sup> utiliza el percentil 75, para establecer que a partir de este umbral, es decir a partir de lluvias diarias superiores a este percentil, son días moderadamente lluviosos hasta el umbral superior.

---

<sup>3</sup><http://etccdi.pacificclimate.org/index.shtml>

<sup>4</sup><http://etccdi.pacificclimate.org/docs/ETCCDMIIndicesComparison1.pdf>

<sup>5</sup>Heavy rainfall threshold o umbral de lluvias fuertes

<sup>6</sup>Climate Data and Monitoring WCDMP-No. 72. Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. World Meteorological Organization, 2009

<sup>7</sup><http://eca.knmi.nl/indicesextremes/indicesdictionary.php#1>

## 2. UMBRALES DE PRECIPITACIÓN

Bajo estas consideraciones se propone, utilizando estos índices climáticos, un criterio común para establecer una caracterización de lluvias extremas. Cabe agregar que en este análisis, a efecto de tomar en cuenta el comportamiento de la precipitación en la costa peruana hemos tomado el criterio de considerar “lluvia diaria”<sup>8</sup> a las precipitaciones acumuladas en 24 horas mayores a 0.1 mm, ( $RR > 0.1$  mm) para todos los cálculos realizados.

Es pertinente indicar que en este documento no se pretende establecer normales para datos diarios de lluvia, como sabemos, es conceptualmente errado tratar una variable discreta como si fuera continua. Cabe agregar que la utilización de estos índices también se justifican por que hay disponible más información de acumulados de precipitación en 24 horas que intensidades de precipitación, lo que facilita la tarea de establecer umbrales.

Tabla 1. Caracterización de extremos de precipitación

Umbral de precipitación <sup>9</sup>	Caracterización de lluvias extremas
$RR/día > 99p$	Extremadamente lluvioso
$95p < RR/día \leq 99p$	Muy lluvioso
$90p < RR/día \leq 95p$	LLuvioso
$75p < RR/día \leq 90p$	Moderadamente lluvioso

Cabe precisar que esta clasificación no pretende brindar umbrales de intensidad de lluvias y sus impactos específicos respecto de alguna actividad económica u otros que deben ser objeto de estudios específicos.

Es más una clasificación de "abundancia" que de intensidad orientada a ayudarnos a tener un criterio común a la hora de clasificar el total acumulado en 24 horas, más que evaluar la intensidad de la precipitación, aunque indirectamente lo hace.

Estos valores pueden ser referidos a impactos cuando tengamos más elementos de lo que significan según los temas a tratar. En este punto es importante tener en cuenta que si bien es necesario utilizar umbrales altos para clasificar eventos “raros” también debemos ser conscientes como dicen Linus Magnusson et al (ECMWF 2014), esto se hace “a costa de una pequeña muestra”. Por otro lado con umbrales más bajos se pueden obtener estadísticas más fiables, pero “no podríamos distinguir y verificar estadísticamente nuestra capacidad para pronosticar eventos extremos”.

<sup>8</sup>RR/día es la cantidad acumulada de precipitación en 24 horas.

<sup>9</sup>99p, 95p, 90p, 75p, son los percentiles expresados en %

En cuanto al uso del percentil 75 podemos afirmar que valores de precipitación debajo de este umbral deben ser considerados como usuales. Cabe agregar que no cabe la pregunta sobre lluvias ligeras en esta clasificación de lluvias acumuladas en 24 horas, simplemente debajo de moderado está lo usual para la localidad en que se encuentra la estación.

### 3. FUNCIÓN EMPÍRICA DE PROBABILIDAD Y ESTIMACIÓN DE PERCENTILES

Como es conocido, los métodos no paramétricos son métodos de inferencia estadística válidos cuando no se hacen hipótesis paramétricas sobre la distribución de los datos, mientras que en los métodos paramétricos el análisis de frecuencias tiene como objeto determinar los parámetros de las distribuciones de probabilidad y determinar con ellos la probabilidad de un evento para un período de retorno dado.

En este caso a efectos prácticos en vez de deducir la función de densidad de probabilidad proponemos estimar los umbrales para eventos extremos de precipitación mediante la función empírica de probabilidad. Una ventaja de este método es que permite hacer inferencia sobre la distribución de probabilidad o sobre alguna característica suya, sea cual fuere la distribución teórica, como por ejemplo la “rareza” de un evento meteorológico.

En este procedimiento debe tomarse en cuenta la recomendación de la OMM (WMO, 2009)<sup>10</sup> que menciona que los montos de lluvia de magnitud extrema de rara ocurrencia, como fue el caso de El Niño de 1982/1983, (con periodos de retorno de 500 años o más), si bien se encuentran en los registros dentro de un período mucho más corto, deben ser considerados eventos atípicos que pueden afectar en forma importante la determinación de la función empírica de probabilidad, por lo que es conveniente excluirlos a efectos de que se refleje su atipicidad en la función empírica indicada.

Si bien, es un procedimiento estándar el cálculo de los percentiles (incluyendo el control de calidad requerido, longitud de la serie y período de referencia para caracterización climática) deben considerarse lo siguiente para este cálculo:

1. Excluir del cálculo el valor más alto de la serie<sup>11</sup>.
2. Cuando en la serie histórica se observan “outliers<sup>12</sup>” es necesario verificar su impacto en los parámetros estadísticos de la serie debido a su presencia.
3. Excluir del cálculo todos los días con trazas.

<sup>10</sup> Actualización del Manual para la Estimación de la Máxima Precipitación Probable (WMO, 1986) <http://www.wmo.int/pages/prog/hwrrp/publications/PMP/WMO%201045%20en.pdf>,

<sup>11</sup> Esta medida tiene como objetivo evitar la influencia de valores atípicos, que pueden afectar la media y la varianza de la serie. Obviamente mientras más larga sea la serie menor será su efecto. Ver WMO N° 332.

<sup>12</sup> Una traducción de “outlier” es “atípico”. Los “outliers” son datos que se alejan significativamente de la tendencia de la información y afectan de una manera considerable la magnitud de los parámetros estadísticos de la serie.

4. Considerar como día con precipitación cuando  $RR > 0.1$  mm
5. Si se trabaja con Excel usar la función PERCENTIL.INC
6. En lo posible utilizar el período de referencia establecido por el SENAMHI para la caracterización climática (1981 - 2010), sino es así, referir explícitamente el período analizado<sup>13</sup>.
7. La longitud de la serie es muy importante ya que ello afecta la determinación de los umbrales, por ello se recomienda tomar como referencia aquellas estaciones donde los datos empiecen en 1981.
8. La longitud de la serie ideal es la establecida para la caracterización climática, sino fuere posible hacer esto, se recomienda que explícitamente se advierta al lector, ser cuidadosos con el uso de estos resultados y no considerarlos como umbrales climáticos, sino umbrales deducidos de la muestra utilizada (se sugiere muestras no menores a 10 años).
9. Los resultados obtenidos deben ser cuidadosamente utilizados si se pretende hacer extrapolaciones espaciales, dada la alta variabilidad espacial de la lluvia.
10. Para la utilización de los datos se debe evaluar la calidad de los datos de las estaciones<sup>14</sup>.

Parafraseando lo indicado en el documento “Escenarios Climáticos en el Perú para el Año 2030 (SENAMHI, 2009), este último punto busca que en el futuro contemos con datos temporalmente homogéneos para realizar los cálculos y facilitar los análisis pertinentes sobre los índices de extremos climáticos que permitan posteriormente obtener las series temporales de las variables climáticas y determinar cambios.

## 4. CASOS PRÁCTICOS

- 4.1 Una primera prueba de aplicación de esta propuesta fue realizada con los datos diarios de la precipitación mayor que 0.1 mm de la estación sinóptica Yurimaguas, proporcionados por OGEI. En este caso se ordenó de menor a mayor 6,058 días con lluvia ( $RR > 0.1$  mm) y se calcularon los percentiles de la serie de 6,057 días con lluvia, excluyendo el mayor valor registrado (230 mm). Hubieron 500 datos faltantes en la serie.

---

<sup>13</sup> En nuestro caso hemos utilizado las referencias climatológicas de las estaciones sinópticas que se usan diariamente en la DMS proporcionadas por la OGEI.

<sup>14</sup> Comunicación de Waldo Lavado: En el análisis de calidad se debe realizar “...al menos un análisis visual en la que no se vean ni tendencias tan atípicas ni saltos en sus medias. DGM ha trabajado en eso bastante y la idea es trabajar con las series homogéneas”

Longitud 76° 7' 1"

Latitud 5° 52' 1"

Altitud 120 msnm

16,301 datos

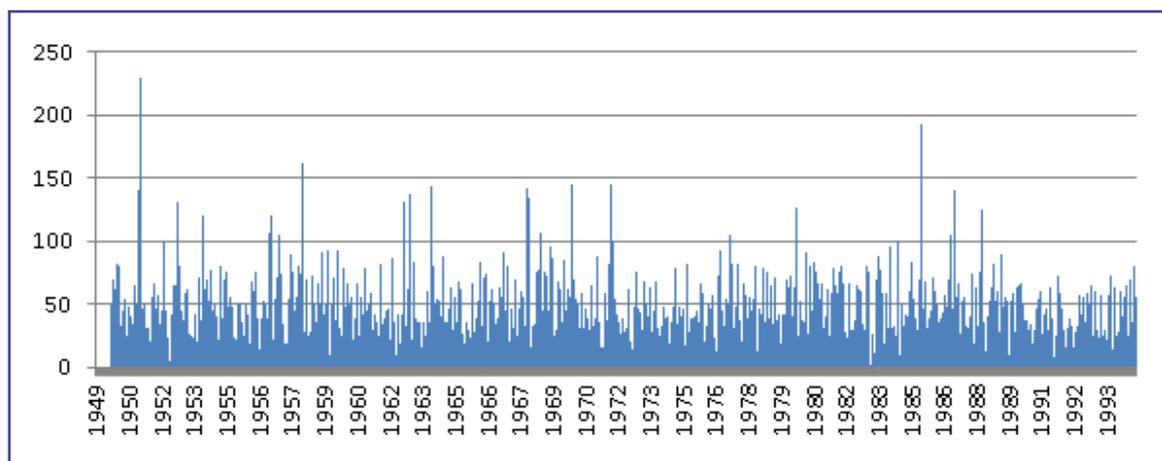


Figura 1. Estación Yurimaguas - CORPAC(1949 - 1995).  
Datos diarios de precipitación

Tabla 2. Mediana de los valores máximos de precipitación en 24 horas registrados para Verano. Estación Yurimaguas (1949 - 1995)

	Enero	Febrero	Marzo
Mediana de los valores máximos registrados	55.7 mm	61mm	60 mm

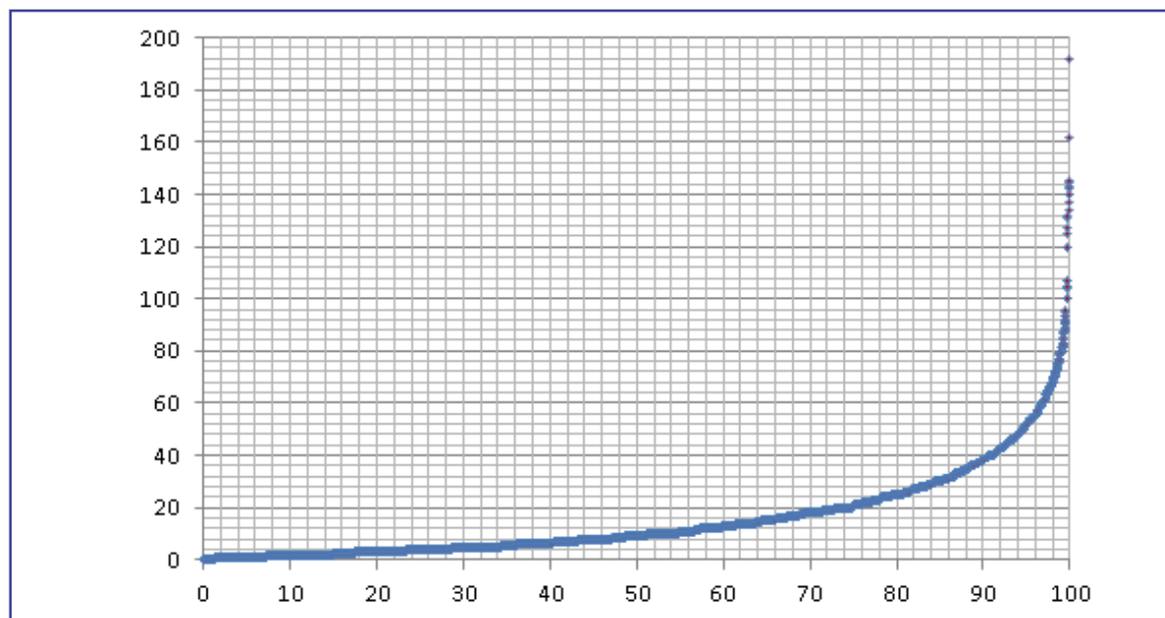


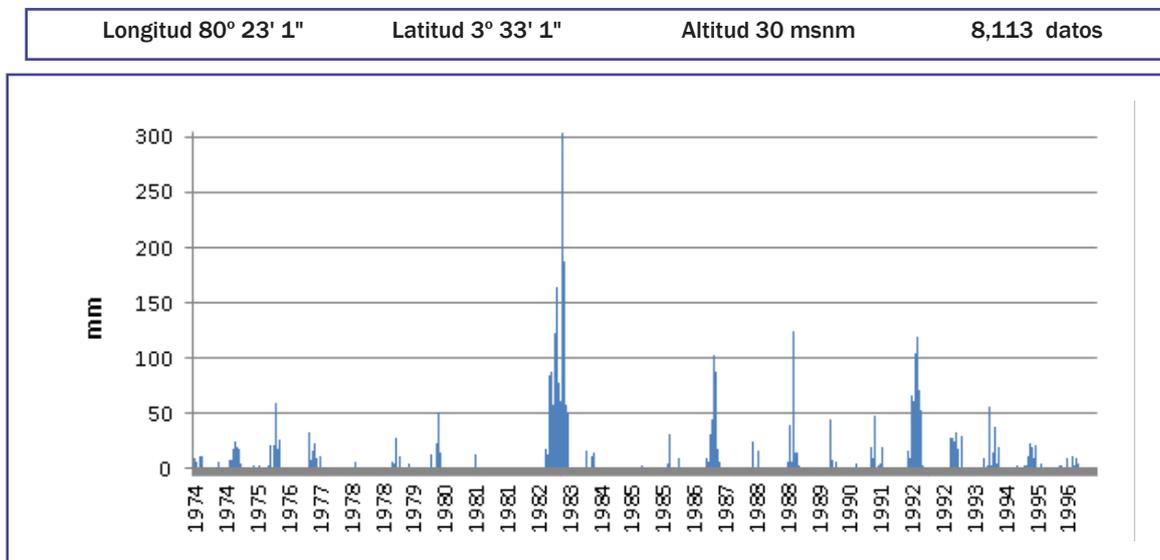
Figura 2. Estación Yurimaguas - CORPAC(1949 - 1995).  
Precipitación en (mm) vs Percentiles (%)

**Tabla 3: Umbrales de precipitación para la Estación Yurimaguas - CORPAC**

Umbrales de precipitación	Caracterización de lluvias extremas	Umbrales calculados para la estación Yurimaguas
RR/día > 99p	Extremadamente lluvioso	RR > 80 mm
95p < RR/día ≤ 99p	Muy lluvioso	51 mm < RR ≤ 80
90p < RR/día ≤ 95p	Lluvioso	38 mm < RR ≤ 51
75p < RR/día ≤ 90p	Moderadamente lluvioso	21 mm < RR ≤ 38

Los resultados coinciden con otros criterios aplicados para estudiar las precipitaciones extremas de esta estación. En particular utilizando los valores máximos diarios de cada año del registro en Yurimaguas para los meses de verano (EFM) como puede verse en la Tabla 2 que se podrían considerar días muy lluviosos a aquellos días con acumulados de más de 56 mm.

**4.2** Un segundo caso para aplicar este procedimiento a la estación de CORPAC del Aeropuerto de Tumbes. Igualmente se trabajó con los datos diarios de la precipitación mayor que 0.1, proporcionados por la OGEI. En este caso se ordenó de menor a mayor 658 días con lluvia (RR > 0.1mm) y se calcularon los percentiles de la serie de 657 días con lluvia, excluyendo el mayor valor registrado (304 mm). Hubieron 138 datos faltantes en la serie.



**Figura 3. Estación Tumbes -CORPAC(1974 - 1996).  
Datos diarios de precipitación**

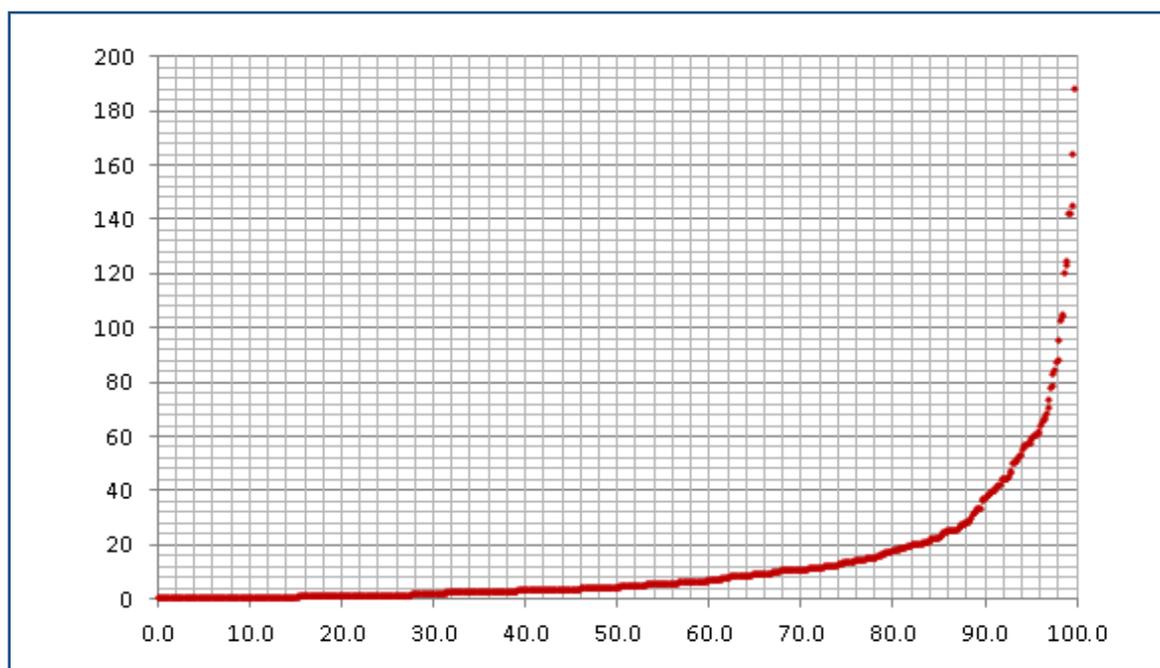


Figura 4. Estación Tumbes - CORPAC (1974 - 1996).  
Precipitación en (mm) vs Percentiles (%)

También se consideró la exclusión de la serie las precipitaciones de 1983 que corresponden al fenómeno El Niño extraordinario 82/83. La nueva serie consta de 550 datos.

Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 4: Umbrales de precipitación para la estación Tumbes - CORPAC**

Umbrales de precipitación	Caracterización de lluvias extremas	Umbrales calculados para la estación de Tumbes incluyendo 1983	Umbrales calculados para la estación Tumbes iexcluyendo 1983
RR/día > 99p	Extremadamente lluvioso	RR > 121 mm	RR > 83 mm
95p < RR/día ≤ 99p	Muy lluvioso	57 mm < RR ≤ 121	32 mm < RR ≤ 83
90p < RR/día ≤ 95p	Lluvioso	36 mm < RR ≤ 57	20 mm < RR ≤ 32
75p < RR/día ≤ 90p	Moderadamente lluvioso	13 mm < RR ≤ 36	9 mm < RR ≤ 20

Para ambos casos el tratamiento de los datos mediante percentiles responde bien al comportamiento esperado de la precipitación. El caso de Tumbes es muy interesante dado el fuerte contraste entre épocas lluviosas y épocas secas, pero parece “razonable” excluir de la serie El Niño extraordinario de 1983, sobre todo considerando el fuerte impacto en el cálculo de los percentiles más altos que 95%.

## 4. CASOS PRÁCTICOS

Los resultados obtenidos con este procedimiento son razonables para la caracterización climatológica de extremos de precipitación. La ventaja práctica de esta propuesta es que puede ser aplicada fácilmente, es conocida y aplicada internacionalmente y permite, sin conocer la distribución de probabilidad de la serie, deducir sus estadísticos sin necesitar conocer la función de probabilidad.

Se debe evaluar el impacto de la variabilidad estacional en la función empírica de probabilidad para cada caso, a efectos de evaluar la pertinencia de establecer umbrales estacionales de precipitación.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Esta Nota Técnica contó con los valiosos comentarios y aportes de: Amelia Díaz, Clara Oria, Gabriela Rosas, Grinia Ávalos, Juan Bazo, Vannia Aliaga y Waldo Lavado.

## 6. REFERENCIAS

Albert M.G. Klein Tank, Francis W. Zwiers y Xuebin Zhang. Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation. World Meteorological Organization, 2009.

Alexander, L. V., et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation, *J. Geophys. Res.*, 111, D05109, doi:10.1029/2005JD006290. (2006)

Linus Magnusson, Thomas Haiden and David Richardson. Verification of extreme weather events: Discrete Predictands. Forecast Department ECMWF September 2014.

SENAMHI. Escenarios Climáticos en el Perú para el Año 2030. Lima - Perú, 2009.

WMO. Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation, Second Edition, Operational Hydrology Reports No. 1, WMO - No. 332. Organización Meteorológica Mundial, Ginebra 1986.

**Central telefónica:** (511) 614-1414  
**Atención al usuario:** (511) 470-2867  
**Climatología:** (511) 614-1414 anexo 461  
**Pronóstico:** (511) 614-1407

**Consultas y sugerencias:**  
[luis.alfaro@senamhi.gob.pe](mailto:luis.alfaro@senamhi.gob.pe) / [dgm@senamhi.gob.pe](mailto:dgm@senamhi.gob.pe)



**Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI**