

PROYECTO MÁXIMOS HIDROLÓGICOS EN LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE.

MAXIMUM HYDROLOGICAL PROJECT IN LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN.

Eduardo O. Planos Gutiérrez¹; Alfonso Gutiérrez López²

Resumen

Este artículo es una relatoría de las actividades y resultados alcanzados por el proyecto Máximos Hidrológicos en Latinoamérica y el Caribe, que se desarrolla bajo la coordinación de los programas FRIEND³ e IFI⁴, con la participación de varios países de la región. El artículo demuestra la conveniencia del trabajo sinérgico entre las iniciativas regionales del PHI y los avances logrados en el estudio de la intensidad de las precipitaciones y los métodos de análisis que existen; el análisis probabilístico y la construcción de las curvas de Intensidad Duración Frecuencia. Este es un proyecto que se encuentra en ejecución, razón por la cual algunas de sus metas aún están en desarrollo.

Palabras claves: máximos hidrológicos, intensidad precipitaciones, probabilidades, curvas IDF, curvas envolventes, desastres, sinergia.

Abstract

This article is a rapporteur of the activities and results achieved by the Hydrological Maximum project in Latin America and the Caribbean, developed under the coordination of the FRIEND and IFI programs, with the participation of several countries in the region. The article demonstrates the suitability of the synergic work between regional IHP initiatives and progress in the study of the intensity of rainfall; probabilistic analysis and construction of the Intensity Duration Frequency. This project is running on, thus some goal already are in developed.

Keywords: Hidrological highs, Rainfall intensity, odds, IDF curves, envelope curves, disasters, synergy.

1. INTRODUCCIÓN

El Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO en Latinoamérica y el Caribe promueve la sinergia entre todas las actividades que desarrollan los proyectos y grupos de trabajo, centros y cátedras que funcionan en la Región. En este espíritu, el Proyecto FRIEND-AMIGO e IFI, trabajan conjuntamente, con la colaboración del Centro Internacional de Hidroinformática (CiH), en un proyecto regional que realiza el estudio de los máximos hidrológicos; con el objetivo de comparar metodologías de análisis de precipitaciones intensas, determinar curvas envolventes regionales de intensidad duración frecuencia, compartir datos e informaciones, fortalecer la capacitación de los profesionales de los países latinoamericanos y caribeños, y mejorar la formación de recursos humanos en las instituciones participantes en esta iniciativa. Este trabajo se inscribe dentro del Plan Estratégico para la Séptima Fase del PHI (PHI-VII, 2008-2013), para contribuir a la gestión adecuada de los peligros relacionados con el agua, como un factor esencial para el desarrollo humano y socioeconómico sostenible, y, en particular, para la atenuación de la pobreza. Por tanto, el estudio

de los fenómenos hidrológicos extremos en zonas sensibles, es sin duda uno de los temas prioritarios en el marco de la gestión de riesgos.

El objetivo general del proyecto es *“mostrar el comportamiento regional de los fenómenos hidrológicos extremos, a través de series de tiempo de valores máximos de precipitaciones y caudales; que sean representativos del comportamiento de estos fenómenos en la región LAC”*, para lo cual se propone:

- Identificar el origen de las precipitaciones máximas, describiendo sus principales características.
- Construir curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF), con base en los registros de precipitaciones máximas de estaciones climatológicas seleccionadas y validadas en cada país participante en el proyecto.
- Actualizar la curva universal de lluvias máximas, incluyendo los eventos máximos de precipitación de la región.

¹ Coordinador FRIEND LAC

² Coordinador FRIEND LAC

³ Regímenes de Flujo Determinados a partir de Series de Datos Internacionales Experimentales y de Redes

⁴ Iniciativa Internacional sobre Inundaciones

- Conformar una base de datos regional de precipitaciones máximas (P-MAX-LAC-Data), con el objeto de fomentar la recolección, el acervo y la utilización regional de información de precipitación máxima en la Región.
- Desarrollar y mejorar herramientas computacionales para el análisis y tratamiento de series de tiempo de precipitación.
- Contribuir a la formación de profesionistas y desarrollar capacidades institucionales.

Adicionalmente, este proyecto prepara un grupo de fichas de registro de fenómenos máximos, confeccionadas por los expertos de IFI, que tienen el propósito de documentar detalladamente estos eventos. Estas fichas son una de las vías para obtener la información necesaria para construir las curvas regionales de precipitaciones y caudales máximos.

En este empeño se han realizado tres talleres en: Lima, Perú del 17 al 20 de mayo del 2010; Ciudad Guatemala, Guatemala, del 8 al 10 de junio del 2011 y en Ciudad Panamá, Panamá, del 28 al 30 de abril del 2014. En estas reuniones se realizaron discusiones técnicas sobre las metodologías de trabajo y los resultados logrados, y se establecieron compromisos para la continuidad del proyecto.

2. LAS INICIATIVAS REGIONALES RESPONSABLES DEL PROYECTO

Proyecto Regímenes de Flujo Determinados a partir de Series de Datos Internacionales Experimentales y de Redes (FRIEND)

Tiene como objetivo principal promover la integración y el fortalecimiento de los mecanismos de cooperación e investigación científica existente en la Región, trabajando en la comprensión y el análisis de datos hidrológicos, para el correcto manejo de los recursos hídricos. Es un proyecto transversal en la agenda científica del Programa Hidrológico Internacional, surgido en el año 1985, que tiene como objetivos de trabajo los siguientes:

- Mejorar la comprensión de la variabilidad espacial y temporal de régimen hidrológico a escala regional
- Compartir datos provenientes de redes de observación seleccionadas y de cuencas experimentales
- Compartir y mejorar las herramientas para el análisis hidrológico
- Detectar tendencias debidas a la variabilidad y el cambio climáticos
- Detectar el impacto humano sobre el régimen hidrológico

Este proyecto se estableció en la Región en 1999, bajo la coordinación del Dr. Eduardo Planos Gutiérrez, de Cuba.

Iniciativa Internacional sobre Inundaciones (IFI)

En numerosas conferencias internacionales se ha reiterado la importancia de elaborar medidas para la gestión de los riesgos relacionados con los desastres provocados por el agua, en especial los ocasionados por fenómenos extremos. Por ejemplo, en la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible (CMDSD) celebrada en Johannesburgo, Sudáfrica, en 2002, se aprobaron planes de ejecución en que se destaca la necesidad de atenuar los efectos de las sequías y las inundaciones. En el Tercer Foro Mundial del Agua (WWF3), que tuvo lugar en 2003 en Kyoto, Shiga y Osaka (Japón), se celebraron debates sobre la manera en que deben establecerse las medidas para la gestión de riesgos a fin de prever los desastres relacionados con el agua. Se presentó también una declaración ministerial sobre la necesidad de una acción global para prevenir esas catástrofes.

En concordancia con lo anterior, el Plan Estratégico para la Sexta Fase del PHI (PHI-VI, 2002-2007), en el Subtema 2.1 define que "Los fenómenos extremados y la gestión de los recursos terrestres e hídricos" trata de la elaboración de un marco para reducir la vulnerabilidad ecológica y socioeconómica a los extremos hidrológicos (inundaciones, sequías, corrientes de fango, acumulación de hielo). Y, por otra parte, en el Plan Estratégico para la séptima fase del PHI (PHI-VII, 2008-2013), el Subtema 1.2 considera los "Extremos hidrológicos en zonas sensibles y estresadas tanto hidroclimáticas como de biomasa" abarcará las medidas para la gestión de los riesgos contra los acontecimientos hidrológicos extremos.

En la 15ª reunión del Consejo Intergubernamental del PHI (2002) se recomendó emprender una iniciativa internacional conjunta UNESCO-Organización Meteorológica Mundial (OMM) contra las inundaciones, con objeto de fortalecer la capacidad del sistema de las Naciones Unidas de contribuir a atenuar los daños causados por las inundaciones. La primera reunión preparatoria sobre la IFI fue se celebró en la ciudad de Tsukuba, Japón del 12 al 14 de julio de 2004; allí se produjo un documento conceptual que se sometió ulteriormente al Consejo Intergubernamental.

En la VII Reunión de Comités Nacionales y Puntos Focales del Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO-PHI para América Latina y el Caribe, celebrada en la ciudad de Guatemala los días 12 y 13 de agosto de 2007, se aprobó el inicio de este proyecto, que quedó bajo la coordinación del Centro de Investigaciones del Agua de la Universidad Autónoma de Querétaro (CIAQ), en la persona del Dr. M. Alfonso Gutiérrez López.

El objetivo general de esta iniciativa es construir las capacidades necesarias para entender y responder de una manera eficiente ante las inundaciones, estimar la vulnerabilidad y potenciar los beneficios de la gestión de riesgos, en el ámbito de Latinoamérica y El Caribe. Sus objetivos específicos de trabajo son:

- Promover la investigación científica en materia de inundaciones fluviales, costeras, rurales y urbanas.
- Promover el desarrollo de herramientas computacionales para la modelación de cuencas y ríos.
- Realizar actividades eficaces de capacitación en círculos institucionales y profesionales para poner en marcha las acciones oportunas de sensibilización dirigidas, entre otros destinatarios, a la opinión pública.
- Crear y afianzar redes de intercambio de información de carácter científico, técnico y normativo entre instituciones y particulares.
- Organizar actividades de transmisión de conocimientos e información, en particular simposios y talleres internacionales.
- Elaborar publicaciones y material técnico relacionado con los objetivos y actividades de esta Iniciativa.
- Promover la comprensión de la vulnerabilidad y la estimación del riesgo por inundación.

3. BREVE CARACTERIZACIÓN GEOGRÁFICA DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

La extensa Región de Latinoamérica y el Caribe se caracteriza por una variada naturaleza, que la hace poseedora de una invaluable riqueza ecosistémica, cultural, social, económica y política. La diversidad y riqueza de los ecosistemas costeros es relevante, y en estos existen extensas áreas de bosques de mangle que son claves para el desarrollo y reproducción de especies marinas y terrestres, anfibios, aves y arrecifes de coral; así como para la protección de los acuíferos costeros. La riqueza hídrica de la región es significativa. Por otra parte, el grado de insularidad es muy alto, y en las islas el régimen hídrico es más vulnerable por su dependencia, casi exclusiva, de la precipitación anual y por su relación dinámica de mucho de sus acuíferos con con el nivel del mar.

Esta es la segunda Región más húmeda del mundo, posee el 26% del agua dulce del globo terráqueo, y es la de mayor cantidad de agua per cápita, con aproximadamente el 6% de la población mundial (Fernández, 2000); aunque la distribución de esa riqueza hídrica es desigual, porque desde el punto de vista climático en la región se manifiestan todos los tipos de clima que existen en el planeta y, como consecuencia, ella sufre el azote de diversos procesos climáticos, guiados por factores de teleconexión como el ENSO y AENOS, procesos de sequías e intensos eventos meteorológicos como los huracanes; los cuales dejan su huella en el régimen hidrológico regional. Los humedales y lagos son una sus mayores riquezas hídricas y desempeñan un papel importante en el equilibrio hidrológico y en el funcionamiento de los ecosistemas de la región; por su parte el agua subterránea es un elemento

primordial en la región, tanto como sostén del equilibrio hidrológico y fuente de abasto de agua; muchos de los acuíferos son abiertos al mar.

Los extremos hidrológicos: sequías, grandes precipitaciones y las inundaciones, son responsables de numerosos desastres en los países que integran a este vasto territorio. Pero particularmente los grandes eventos pluviales también desempeñan un papel substancial en el balance hídrico, de manera tal, que en países como los caribeños, el aporte de agua de estos fenómenos meteorológicos representa aproximadamente el 20% del promedio anual de lluvia de un período de tiempo determinado (Planos, 2013). No obstante lo anterior, los desastres de origen hídrico son muy costosos y dejan una huella imborrable en los afectos de las personas perjudicadas. En este sentido, en el *Annual Disaster Review* del 2012 (Guha-Sapir et al, 2013) se informa que, en ese año, de los 79 desastres ocurridos en las Américas, el 32,9% fueron de tipo hidrológico y 44.3% meteorológico y las pérdidas ocasionadas fueron valoradas en 79.7 billones de dólares estadounidenses.

Los desastres de origen hídrico predominan en el entorno geográfico de esta Región, especialmente las inundaciones. Y estas situaciones hidrometeorológicas extremas suelen interactuar con otros riesgos relacionados con el agua, entre ellos, la contaminación y los vertidos químicos, el hundimiento de tierras, la salinización de tierras de cultivo, las inundaciones costeras y las enfermedades producidas por el agua (WWAP, 2012).

4. RESULTADOS DE LOS TALLERES

4.1 Taller de Inicio. Lima, Perú del 17 al 20 de mayo del 2010

En este taller participaron 31 expertos de seis países: Bolivia, Costa Rica, Cuba, Guatemala, México y Perú. En la sesión inaugural se dictaron tres conferencias magistrales relacionadas con los objetivos del proyecto:

- SENAMHI y los Eventos Extremos Hidrológicos en el Perú, a cargo del Sr. Julio Ordoñez Gálvez, Director General de Hidrología y recursos Hídricos del SENAMHI.
- Los Desastres, las Grandes e Intensas Precipitaciones y el Cambio Climático, a cargo del Sr. Eduardo Planos Gutiérrez. Coordinador Regional del Proyecto FRIEND AMIGO.
- Análisis de Tormentas Simultáneas en la Ciudad de Querétaro, a cargo de la Srta. Fabiola Arellano Lara, Universidad Autónoma de Querétaro y Experta del Proyecto IFI.

En este encuentro se impartió un seminario a cargo de la Srta. Fabiola Arellano Lara, de la Universidad Autónoma de Querétaro y experta del proyecto IFI. El curso consistió en la explicación teórica y la

ejercitación práctica de las técnicas de recolección y validación de datos e informaciones, para la elaboración de las fichas PMax-LAC-Data, las curvas IDF de máximos diarios seleccionados y las curvas envolventes de precipitaciones máximas de 24 horas.

Por otra parte se aprobó un cronograma de trabajo y se instó a los coordinadores de las iniciativas IFI y FRIEND a incrementar el número de países participantes.

4.2 Segundo Taller. Ciudad Guatemala, Guatemala del 8 al 10 de junio del 2011

Esta ocasión reunió a 27 expertos de siete países: Bolivia, Costa Rica, Cuba, España, Guatemala, México y Perú. El taller inició con tres conferencias magistrales:

- Peligro por Grandes Precipitaciones y Cambio Climático, a cargo del Sr. Eduardo Planos Gutiérrez, Coordinador Regional del Proyecto FRIEND/AMIGO para América Latina y el Caribe.
- Simulación Espacial de Eventos Extremos, a cargo del Sr. Alfonso Gutiérrez López, Coordinador Regional del Proyecto IFI.
- Curvas IDF y Fichas de Inundación en la Cuenca del Río Motagua, a cargo del Sr. Víctor M. Pérez, INSIVUMEH.

El objetivo de esta reunión fue la presentación de los resultados alcanzados en cumplimiento de los acuerdos del Primer Taller de Máximos Hidrológicos, efectuado en Lima. Como conclusión del debate realizado se definió que este es un estudio de tipo metodológico, que tiene como objetivo mostrar el comportamiento regional de los fenómenos hidrológicos extremos, a través de series de tiempo de valores máximos de precipitaciones; que sean representativos del comportamiento de estos fenómenos en la región LAC, utilizando para ello la función de distribución Gumbel y series de duración parcial para el estudio de los máximos valores de precipitación observados en 24 horas.

Por otra parte, el taller revisó el estado de los acuerdos tomados en Lima. Los principales acuerdos de esta reunión fueron:

- En los estudio de casos de los países (estaciones); los períodos de años seleccionados para construir las series de valores de precipitación, se mantendrán tal y como fueron trabajados en cada estación. Como parte del análisis regional que realizará IFI, los expertos de este programa del PHI, seleccionará un período común para todas las estaciones utilizadas en el desarrollo del trabajo.
- IFI realizará un análisis de los tipos de registros utilizados en cada estudio de caso (estación),

con el fin de determinar si los resultados obtenidos se basan en valores máximos absolutos de 24 horas o fueron sacados de la cartas pluviográficas (bandas); y sobre la base de este estudio hará las recomendaciones pertinentes.

- El estudio de los excedentes se basará en el criterio de Series de Duración Parcial, construidas con una longitud (número de términos), igual a la longitud del período de años seleccionado en cada estación y compuestas por los valores máximos del total de los registros diarios observados en todos los años, escogidos por su orden de magnitud descendente, sin importar que varios registros pertenezcan a un mismo año. Para el estudio de los excedentes cada país analizará como mínimo dos casos.
- La construcción de las curvas IDF se realizará en al menos 4 estaciones, seleccionadas de manera que quede debidamente reflejada la complejidad de este procedimiento según las características de los datos. Este trabajo se realizará con la Fórmula de Bernard, tanto para series compuestas por registros máximos de 24 h o procedentes de las cartas pluviográficas (bandas). Cada país elaborará un estudio comparativo especial en una estación, aplicando la Fórmula de Bernard al registro de 24h obtenido del pluviógrafo y así como a los registros obtenidos en la carta pluviográfica (bandas) correspondiente al valor de 24 h antes mencionado.
- El Programa IFI revisará las fichas FRIEND - IFI de máximos, con el objetivo de determinar los aportes realizados por los países a éstas, los vacíos por cubrir y hacer un análisis comparado de las fichas con el fin de lograr una información regional lo más completa y coherente posible. Este análisis se hará en consulta con los países participantes en el proyecto.
- IFI coordinará con el Centro Regional de Hidroinformática la puesta en uso de las herramientas computacionales de análisis de eventos extremos mostrados en la reunión.

4.3 Tercer Taller. Ciudad Panamá, Panamá, del 28 al 30 de abril del 2014

En esta oportunidad estuvieron presentes 23 expertos de trece países: Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Guatemala, México, Nicaragua, Panamá, Perú y República Dominicana. Esta vez las conferencias magistrales fueron:

- Análisis de precipitación del evento extremo La Purísima 2010, por Gerardo Leis del CoNaPhi Panamá.

- Influencia de la variabilidad climática y el cambio climático en el análisis probabilístico de máximos de precipitación por Eduardo Planos, FRIEND-LAC
- Nuevos enfoques en la puesta en marcha de un sistema de alerta a tiempo real por Alfonso Gutiérrez López, IFI-LAC.

Durante el taller los países presentaron sus resultados y contribuciones al proyecto y los principales acuerdos fueron:

- Solicitar a la Secretaría del Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe, que le pida a los CoNaPhis de los países participantes en el Proyecto FRIEND – IFI de Máximos Hidrológicos, la designación o ratificación de los representantes IFI en el proyecto.
- Solicitar a la Secretaría del Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe, que invite a los CoNaPhis de países que aún no están involucrados en el Proyecto FRIEND – IFI de Máximos Hidrológicos, que designen a un representante IFI.
- Proponer la preparación de un número especial de AQUALAC sobre las excedencias anuales y la forma de analizarlas, basado en los resultados de este proyecto.
- Presentar los resultados del proyecto en la *International Conference on Flood Management*, que tendrá lugar en la ciudad de Sao Paulo en el mes de Septiembre de este año.
- Presentar los resultados del proyecto en la sesión plenaria “*IFI Flagship Project*” en donde también participarán la UNESCO, la WMO, la UNU, la UNISDR y el centro ICHARM que es la sede internacional de la iniciativa IFI.
- Presentar los resultados del proyecto en la 7 Conferencia Internacional FRIEND, que tendrá lugar en Montpellier, Francia..
- Proponer el desarrollo de un seminario de capacitación sobre excedencias anuales y formas de analizarlas, y series no estacionarias e hidrología estocástica, en el marco de la próxima reunión de Presidentes de CoNaPhis.
- El Centro Internacional de Hidroinformática (CiH) y el IFI enviarán un resumen de los acuerdos adoptados entre ambas entidades relacionados con el desarrollo del Sistema Integrado de bases de datos del PHI LAC; lo que incluye el desarrollo de un servicio WEB para la preparación de las Fichas IFI de Máximos.
- Se tomó nota del interés del CEHICA para la realización de un curso de regionalización hidrológica en república Dominicana, a cargo de IFI.

5. FUNDAMENTO CIENTÍFICO DEL PROYECTO

5.1 Consideraciones sobre la intensidad de la precipitación y las curvas de intensidad-duración- frecuencia

Según la OMM (2006) “*en el ámbito de la hidrología, numerosos fenómenos extremos no pueden pronosticarse en base a una información determinística, con la suficiente destreza y tiempo de antelación, para poder tomar las decisiones pertinentes a su ocurrencia. En dichos casos, se requiere un enfoque probabilístico con el fin de incorporar los efectos de esos fenómenos en las decisiones. Si se puede suponer que las ocurrencias son temporalmente independientes, esto es, el tiempo y la magnitud de un evento no tiene relación con los eventos anteriores, entonces se puede usar el análisis de frecuencias para describir la probabilidad de cualquier evento o de una combinación de ellos, durante el intervalo de tiempo necesario para una decisión*”. Lo anterior es el fundamento conceptual del análisis de la intensidad y la frecuencia de los extremos hidrológicos.

Son innumerables los trabajos realizados y publicados sobre la intensidad de las precipitaciones, la construcción de las curvas IDF y sus aplicaciones. Todos los autores reconocidos, en esencia, comparten puntos de vistas similares sobre este tema; por esta razón, las consideraciones que a continuación siguen, solo tienen el propósito de reflejar algunos de los procedimientos más recomendados, como base para el desarrollo metodológico de este proyecto. Este acápite no es un estado del arte sobre esta importante temática.

5.2 Intensidad de las precipitaciones

La intensidad de la precipitación se refiere a la lámina de lluvia caída en un intervalo de tiempo determinado, expresada en mm.min⁻¹ o mm.h⁻¹. Los intervalos de tiempo más usuales en el quehacer ingeniero son: 5, 10, 20, 40, 60, 150, 720, 1440 y 2880 minutos. Matemáticamente, la intensidad de la precipitación se calcula con la siguiente expresión:

$$I = \frac{\Delta t}{\Delta P} \quad \text{Dónde:}$$

I = intensidad de precipitación (mm.min⁻¹ o mm.h⁻¹)
 ΔP = diferencial de precipitación (mm)
 Δt = diferencial de tiempo (mm.min⁻¹ o mm.h⁻¹).

El estudio de esta variable se asocia principalmente a la generación del escurrimiento máximo natural o regulado, el diseño de sistemas de drenaje pluvial, estudios de mecánica de suelo, entre otras aplicaciones; y también al propio análisis del peligro por intensas lluvias (Planos, 2013).

Según las normas internacionales de diseño de redes pluviométricas (OMM, 2006), el 10% de los

componentes de éstas deben de ser pluviógrafos convenientemente distribuidos, de manera que se puedan construir relaciones entre los pluviógrafos y los pluviómetros. Utilizando las lecturas pluviométricas de 24 horas y las curvas de masa obtenidas a partir de los pluviógrafos, es posible simular un pluviograma o determinar relaciones entre los registros para determinados intervalos de tiempo y la lluvia de 24 horas leída en los pluviómetros, y con esto obtener mayor información sobre la intensidad de la precipitación (Planos, 2013; OMM, 2006; Campos, 1998).

5.3 Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia

Como se expresó anteriormente, las curvas de *Intensidad-Duración-Frecuencia* (IDF, Figura 1) son una herramienta indispensable en toda investigación hidrológica aplicada. Su calidad depende de tres elementos fundamentales: contar con una red de pluviógrafos y pluviómetros que represente adecuadamente las peculiaridades del campo de variación espacial y temporal de la precipitación, tener una muestra representativa del fenómeno para conformar las series cronológicas y hacer una adecuada selección de las funciones de distribución para el modelado de las series (OMM, 2006).

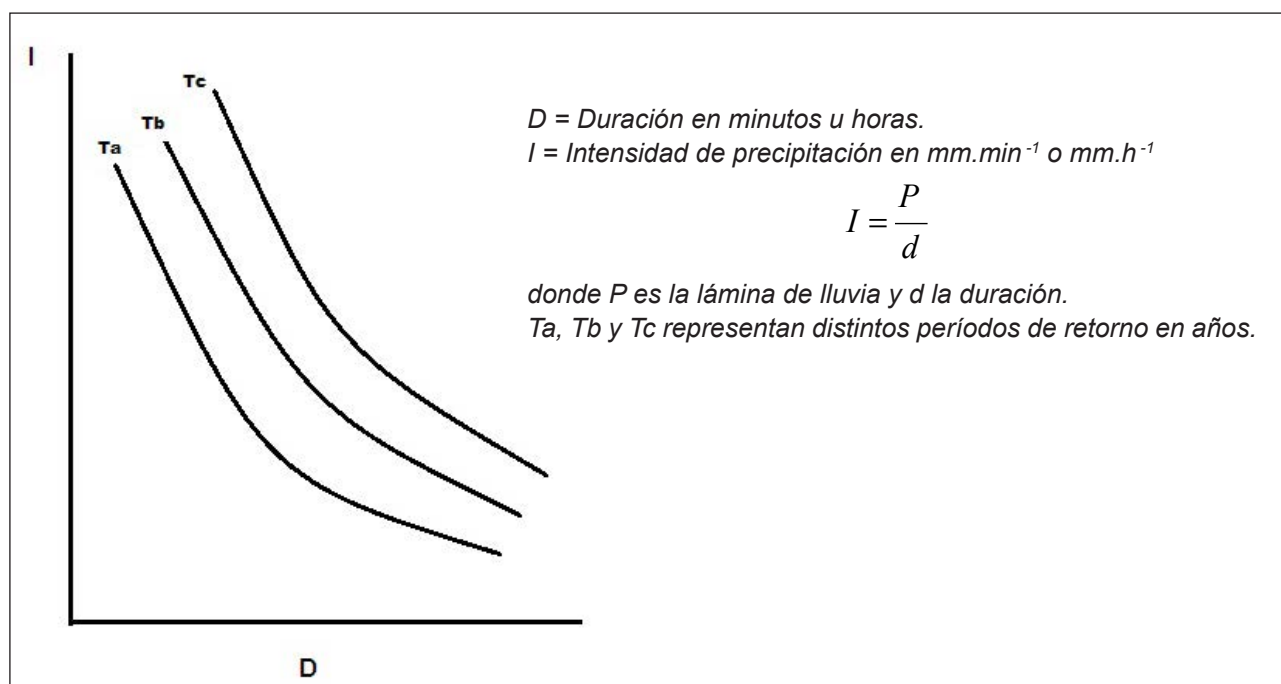


Figura 1. Esquema de curvas Intensidad Duración Frecuencia

Según Pizarro (2001) “La construcción de las curvas *Intensidad-Duración-Frecuencia* (IDF),, plantean distintas formas o métodos para su construcción. existen dos métodos; el primero, llamado de *intensidad - período de retorno*, relaciona estas dos variables para cada duración por separado, mediante alguna de las funciones de distribución de probabilidad usadas en hidrología. El otro método relaciona simultáneamente la intensidad, la duración y el período de retorno en una familia de curvas, cuya ecuaciones $I = \frac{k * T^m}{(d + c)^n}$; donde k, m, n y c

son constantes que se calculan mediante un análisis de correlación lineal múltiple, y en tanto que I y d corresponden a la intensidad de precipitación y la duración, respectivamente”.

Por su parte, Varas y Sánchez (1988), han propuesto otra metodología para el diseño de las curvas IDF. Dicho procedimiento plantea la siguiente expresión para estimar las intensidades máximas,

para distintos períodos de retorno y duraciones $P_{i,T} = k * P_{10,D} * C_{d,t} * C_{f,T}$ donde $P_{i,T}$, T = Lluvia con período de retorno de T años y duración t horas en (mm); K = Coeficiente para obtener la lluvia máxima absoluta en 24 horas en función del valor máximo diario ($k= 1,1$); $P_{10, D}$ = Lluvia Máxima diaria con 10 años de período de retorno; $C_{d, t}$ = Coeficiente de duración para t horas y $C_{f, T}$ = Coeficiente de frecuencia para T años de período de retorno. Entonces, la intensidad máxima de precipitación queda dada por $I_{i,T} = \frac{P_{i,T}}{d}$.

En cuanto a la manera de trabajar con las curvas IDF, Chow et al (Tercera edición, 1994), plantean dos formas. La primera utiliza un análisis de frecuencia de la lluvia, considerando para ello una función de distribución de probabilidad de valor extremo como la función *Gumbel*. El segundo método expresa las curvas IDF como ecuaciones, con el fin de evitar la lectura de la intensidad de lluvia de diseño en una

gráfica. Para esto Wenzel (1982), citado por Chow et al (Tercera edición, 1994), dedujo para algunas ciudades de los Estados Unidos, algunos coeficientes

para utilizarlos en una ecuación de la $I = \frac{c}{(Td^e + f)}$;

donde I es la intensidad de lluvia de diseño, y Td la duración, en tanto c , e y f son coeficientes que varían con el lugar y el período de retorno.

6. METODOLOGIA ADOPTADA PARA EL PROYECTO

La metodología seleccionada para este estudio es la propuesta por Campos Aranda (1998), para lo cual en el taller realizado en Perú (2010) se acordó proceder de la manera siguiente:

1. Seleccionar un período común de análisis con al menos 20 años de información (los últimos veinte años).
2. Elegir estaciones climatológicas representativas y extraer las series de lluvias máximas acumuladas.
3. Dividir las series en dos partes, una de excedentes y la otra con el resto de los datos (serie parcial). De cada serie se construirán las 2 curvas IDF.
4. Aplicar la metodología para la construcción de curvas hp-duración-t 24 hrs. transformada a curva IDF (Campos A, 1998).
5. Ajustar a las series la función de distribución de probabilidades (fdp) Gumbel y si el ajuste no es satisfactorio, se empleará la fdp de mejor ajuste.
6. Estimar los eventos para los periodos de retorno de 2,5,10,20,50,100,500,1000 años, los mismos con los que se crearán las curvas para la serie de excedentes y la de serie parcial.
7. Construir las curvas hp-duración-t 24 hrs. y transformarlas a IDF.
8. De cada región hidrológica se redactará una descripción general de sus características, la cual se enviará también, en formato de Word.
9. Si se cuenta con datos de pluviógrafos, construir las curvas IDF por regiones hidrológicas, con el procedimiento descrito en el taller; tomando en cuenta las consideraciones sobre la separación de series y las regiones hidrológicas.

7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LA MODELACIÓN DEL RIESGO HIDROLÓGICO EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

Entre los análisis realizados en el Tercer Taller del proyecto (Panamá, 2014) se valoró la utilización de un modelo estocástico para el estudio de la distribución de la precipitación y su regionalización tomando en cuenta su estacionalidad.

En síntesis el fundamento del modelo es el siguiente:

Considerando que el régimen de precipitación puede ser descrito mediante dos parámetros: la lámina de lluvia promedio por evento y el número medio de eventos durante un período dado de longitud T (parámetro aditivo); y que ambos parámetros son no estacionarios, es posible describir la evolución del régimen de precipitación a lo largo del año.

Se utiliza un Modelo de Poisson (White Noise Model), porque se supone que la distribución de los períodos de sequía y la precipitación en los períodos húmedos (o eventos de lluvia) se distribuyen exponencialmente:

$$f(R_T, \lambda_T, \beta) = e^{-\lambda_T - \frac{R_T}{\beta}} \frac{\lambda_T}{\beta} \frac{I_1 \left(2 \sqrt{\frac{\lambda_T R_T}{\beta}} \right)}{\sqrt{\frac{\lambda_T R_T}{\beta}}}$$

for all $R_T > 0$, donde:

donde I_1 la función modificada de Bessel de primer orden, β es la lámina media de lluvia de eventos y λT es la media del número de períodos húmedos (o eventos de lluvia) durante el período T . β es un parámetro de escala invariante en el tiempo.

Considerando el carácter estacional de la precipitación se analiza el comportamiento temporal y espacial de los parámetros λ_T y β ; utilizando el algoritmo de ventanas móviles propuesto por Le Barbé and Lebel (1997) y los resultados son mapeados como criterio de regionalización del riesgo.

Atendiendo a las recomendaciones del taller de Panamá, este procedimiento de modelado y regionalización del riesgo hidrológico fue presentado en la 7ma Conferencia Internacional FRIEND, que tuvo lugar en Montpellier, Francia, en noviembre del 2014 (Gutiérrez y Planos, 2014), y también fue presentado en la 6th International Conference on Flood Management (Sao Paulo, Brasil, 2014).

8. FICHAS DE REGISTRO DE FENÓMENOS MÁXIMOS

En estas fichas se resumen los datos e informaciones asociados a un evento máximo significativo por su valor científico e impacto socio económico (Figura 2). El proyecto IFI ha habilitado un vínculo para llenar las fichas directamente en un servidor WEB, <http://www.redciaq.uaq.mx/system/ficha/>.

El método de trabajo aprobado para la confección de esta ficha se expone a continuación

- Identificar los eventos extremos significativos del país, si fuera posible agruparlos por regiones pero no es condición excluyente. Tantos como sea posible.
- De estos eventos se buscará la mayor información posible con el fin de llenar la ficha

del Proyecto IFI que se encuentra en la página www.ifilac.org

- La mínima información requerida para los eventos extremos consiste en los datos de lámina total de lluvia, duración, fecha, daños en general, sinopsis del fenómeno extremo y, de ser posible, la intensidad de los fenómenos hidrológicos que ocasionó (precipitación y caudal), con coordenadas de estaciones utilizadas.

Hasta la fecha se han preparado las fichas de 193 eventos de precipitaciones máximas registradas en 23 países de la región LAC (http://ifilac.org/?page_id=88). Los países que han suministrado estas informaciones y datos son: Argentina, Belice, Bolivia, Brasil, Colombia, Costa Rica, Cuba, Chile, Ecuador, El Salvador, Guatemala, Haití, Honduras, Jamaica, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, Puerto Rico, República Dominicana, Uruguay y Venezuela.


140


**FICHA HISTÓRICA
REGISTRO DE INUNDACIÓN
VII-25 MÉXICO**

Datos básicos

| | |
|--------------------------------------|---------------------------|
| PAÍS: Argentina | FECHA: 7 de Abril de 1995 |
| ESTADO / PROVINCIA: Buenos Aires | REGIÓN GEOGRÁFICA: |
| CUIDAD / COMUNIDAD: Pergamino | |
| CAUSAS: Tormenta de lluvia y granizo | |
| VIENTOS MÁXIMOS: | ESCALA: |
| VELOCIDAD: | DIRECCIÓN: |

Precipitación

| | |
|---|------------------------------------|
| DURACIÓN: 7 de Abril de 1995 | ÁREA DE LA CUENCA: km ² |
| LLUVIA ANTECEDENTE: | |
| CUENCA: | |
| PRECIPITACIÓN MÁXIMA: 300 mm en 2 horas y media | ESTACIÓN: |
| INTENSIDADES: 110 mm por hora | LATITUD: |
| PERIODO DE RETORNO: | LONGITUD: |


140


**FICHA HISTÓRICA
REGISTRO DE INUNDACIÓN
VII-25 MÉXICO**

Daños

| | |
|----------------------------|---|
| SUPERFICIE AFECTADA: | 60% de la superficie de la ciudad de Pergamino |
| DURACIÓN DE LA INUNDACIÓN: | |
| PERSONAS AFECTADAS: | |
| PERDIDAS ECONÓMICAS: | USD |
| DAÑOS MATERIALES: | Agricultura, carreteras, infraestructura urbana. |
| AFECTACIONES: | Fallecimientos y personas desalojadas de sus viviendas. |

Medios:





La Opinión, Diario de Pergamino.

Mapas:




Ubicación del Partido de Pergamino



140



**FICHA HISTÓRICA
REGISTRO DE INUNDACIÓN
VII-25 MÉXICO**


Fotografías:





Ciudad de Pergamino, Buenos Aires








140


**FICHA HISTÓRICA
REGISTRO DE INUNDACIÓN
VII-25 MÉXICO**

Breve reseña: (máximo 1800 caracteres con espacios)

El 7 de abril de 1995 la región Norte de la provincia de Buenos Aires fue afectada por una tormenta de lluvia y granizo que provocó inundaciones, numerosos evacuados y daños en los distintos partidos de la zona. La ciudad de Pergamino fue la más perjudicada por el fenómeno ya que quedó aislada y paralizada por una inundación de características dramáticas. Las pérdidas se consideraron catastróficas por el elevado valor económico de los bienes e inmuebles particulares y públicos afectados, además de los daños a la infraestructura urbana. Esta inundación es recordada como una situación inesperada en relación con las experiencias previas ya que involucró a zonas y sectores sociales de la ciudad considerados fuera de riesgo

Figura 2. Fichas FRIEND IFI de Registros Máximos. Ejemplo de evento ocurrido en Buenos Aires, Argentina el 7 de abril del 1995

9. VISIBILIDAD DE LOS RESULTADOS

Este proyecto se encuentra en ejecución, y en el instante que se presenta esta relatoría los países preparan sus curvas IDF, siguiendo las recomendaciones del último taller realizado (Panamá, 2014). La acción conjunta FRIEND – IFI está demostrando las ventajas del trabajo sinérgico entre las iniciativas regionales del PHI; así como la aceptación de los países involucrados a esta forma de trabajo. El proyecto ha permitido desarrollar capacidades en los países participantes en la temática de la que es objeto de trabajo; así como

el intercambio de experiencias entre instituciones gubernamentales, científicas y universidades de la Región.

El proyecto ha fortalecido las iniciativas regionales FRIEND e IFI; así como su reconocimiento en la Región. Desde el punto de vista científico se está logrando una mejor comprensión del comportamiento regional de la intensidad de las precipitaciones; y la actualización de los registros de eventos extremos máximos. El enfoque regional de los resultados que está teniendo el proyecto logra también una visión integrada del fenómeno que estudia.

Teniendo en cuenta la solicitud de los países participantes, se prevé someter a la consideración de los Presidentes de CoNaPhis, en su reunión de octubre del 2015 en Chile, el desarrollo de un seminario de capacitación sobre excedencias anuales, series no estacionarias e hidrología estocástica; y, sobre la base de la experiencia de esta primera fase del proyecto; se propondrá una segunda fase dedicada a los caudales máximos.

10. PARTICIPANTES EN EL PROYECTO

Relación de expertos representantes de los países que han en las actividades realizadas.

| Nombre y Apellidos | País | Institución |
|------------------------------------|----------------------|-----------------------------|
| 1 Carlos Paoli | Argentina | Instituto Nacional del Agua |
| 2 Javier Mendoza Rodríguez | Bolivia | SENAMHI |
| 3 Fagner Bittencourt | Brasil | Centro CIH |
| 4 José Vargas Baecheler | Chile | Universidad de Concepcion |
| 5 Nelsy Verdugo Rodríguez | Colombia | IDEAM |
| 6 Sadí Laporte Molina | Costa Rica | ICE |
| 7 José Vargas Baecheler | Chile | Universidad de Concepción |
| 8 Berny Fallas Lopez | Costa Rica | ICE |
| 9 José Alberto Zúñiga | Costa Rica | ICE |
| 10 Eduardo Planos Gutiérrez | Cuba | Coordinador FRIEND LAC |
| 11 Argelio Fernández Richelme | Cuba | INRH |
| 12 Víctor M. Pérez | Guatemala | INSIVUMEH |
| 13 Manuel de Jesús Sales Rodríguez | Guatemala | INSIVUMEH |
| 14 Alfonso Gutierrez López | México | Coordinador IFI LAC |
| 15 Fabiola Arellano Lara | México | Universidad Queretaro |
| 16 Rafael Porras | México | Universidad Queretaro |
| 17 Isaías Montoya Blanco | Nicaragua | INETER |
| 18 Jorge Espinosa | Panamá | ACP |
| 19 Jorge Espinosa | Panamá | ACP |
| 20 Gerardo Lies Romero | Panamá | ACP |
| 21 Julio Ordoñez Galvez | Perú | SENAMHI |
| 22 Julia Acuña Lazarte | Perú | SENAMHI |
| 23 Jannette Castro | República Dominicana | INDRHI |
| 24 Roberto Galán | Panamá | ANAM |
| 25 Diana Lee de Centanaro | Panamá | ETESA |

BIBLIOGRAFÍA

- Campos Aranda, D.F. 1998. Procesos del Ciclo Hidrológico. Tercera Edición. Universidad Autónoma de San Luis de Potosí.
- Chow, V.; Maidment, D.; Mays, L. 1994. Manual de Hidrología Aplicada. Santafé de Bogotá, Colombia: Mc Graw-Hill. 584 p.
- Fernández-Jauregui, C. 2000. El agua como Fuente de conflictos: repaso de los focos de conflictos en el mundo. Oficina Regional de Ciencia de la UNESCO para América latina y el Caribe. 17 p.
- Guha-Sapir D, Hoyois Ph.,Below.R. 2013. Annual Disaster Statistical Review 2013:The Numbers and Trends. Brussels: CRED; 2013. 42 p.
- Gutiérrez, A y Planos, E. 2013. Statistical analysis for modeling the hydrological risks in Latin America and the Caribbean. *IAHS Red Book* No 363.
- IFI 2015. Iniciativa Internacional sobre Inundaciones para América Latina y el Caribe. <http://ifilac.org/>.
- Le Barbé L., and Lebel, T., (1997) "Rainfall climatology of the HAPEX-Sahel region during the years 1950-1990" *J. of Hydrology* **188-189**, 43-73 p.
- PHI (2015). Programa Hidrológico Internacional en América Latina y el Caribe. <http://www.unesco.org.uy/phi/es>
- Organización Meteorológica Mundial (OMM), 2006. Guía de prácticas hidrológicas. Adquisición y procesos de datos, análisis, predicción y otras aplicaciones. OMM No 168, Sexta edición, Ginebra, Suiza. 778 p.
- Programa Hidrológico Internacional. 2003. PHI-VI: Interacciones del agua: sistemas en peligro y desafíos sociales. Plan estratégico. UNESCO. Programa Hidrológico Internacional. 2009. PHI-VII: Dependencia de los recursos hídricos. Sistemas sometidos a estrés y respuestas sociales (2008-2013). Plan estratégico. UNESCO. [SC-2009/WS/36](#).
- World Water Program Assessment 2007. El agua, una responsabilidad compartida. 2do Informe de Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo. [UN-WATER/WWAP/2007/02](#). ISBN UNESCO: 92-3-104006-5 (edición en inglés) 569 p.
- Pizarro, R. 2001. Análisis comparativo de las curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) en 6 estaciones pluviográficas (VII Región del Maule, Chile). Universidad de Talca. Chile.
- Planos, E. 2013. Enfoque integrado de los estudios de peligro por grandes precipitaciones y precipitaciones intensas. Aqua-LAC - Vol. 5 - N° 1 - Mar. 2013. pp. 88 – 96.
- Varas, E. y Sanchez, S. 1988. Curvas generalizadas de Intensidad duración frecuencia. Hidrología y Drenaje vial. Chile. 332 p.