

Generación de una base de eventos hidrometeorológicos en la cuenca del río Yanuncay

Dra. Maray Garrido Monagas

e-mail: maray@cih.cujae.edu.cu

Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), Facultad de Ing. Civil, Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” (Cujae). Marianao. La Habana. Cuba.

Dr. Carlos Javier Fernández de Córdova Webster e-mail: jfernand@etapa.net.ec

Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca. Universidad del Azuay. Cuenca. Ecuador.

Dr. Alcides J. León Méndez

e-mail: aleonm@cih.cujae.edu.cu

Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH), Facultad de Ing. Civil, Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” (Cujae). Marianao. La Habana. Cuba.

RESUMEN

En el trabajo se ofrece una visión general del procedimiento para obtener la base necesaria de eventos para el apoyo a la toma de decisiones ante la ocurrencia de inundaciones, con la Plataforma Modular Integrada (PMI). También se definen y caracterizan dichos eventos a partir de un estudio realizado en la cuenca del río Yanuncay en Ecuador.

Palabras clave: base de datos, eventos hidrometeorológicos, inundaciones, toma de decisiones.

Generation of a base of hydrometeorological events in the Yanuncay river basin

ABSTRACT

The work offers an overview of the procedure to obtain the necessary base of events to support decision-making when floods occur, with the Plataforma Modular Integrada (PMI). These events are also defined and characterized from a study carried out in the Yanuncay river basin in Ecuador.

Keywords: data base, hydrometeorological events, floods, decision making.

INTRODUCCIÓN

Las inundaciones son fenómenos destructivos, su estudio, control y prevención, es una prioridad en los países que como Cuba son afectados por ellas con frecuencia. Se producen fundamentalmente como consecuencia de intensas lluvias, provocadas generalmente por las tormentas tropicales y ciclones que azotan al país en el período comprendido del 1ro de junio al 30 de noviembre. La evacuación de personas y recursos materiales hacia lugares seguros, es una de las tareas priorizadas del gobierno. La toma de decisiones ante inundaciones es un proceso complejo, que debe realizarse con calidad, pues involucra la preservación de vidas y bienes materiales.

En el Centro de Investigaciones Hidráulicas (CIH) perteneciente a la Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” (CUJAE) se lleva a cabo por parte de especialistas, el diseño de un sistema automatizado capaz de gestionar de manera eficiente los recursos hídricos de una región y apoyar en la toma de decisiones ante la ocurrencia de inundaciones. Esto último le permitirá a las instancias responsables de la evacuación tomar medidas más certeras.

La Plataforma Modular Integrada (PMI) es un sistema para la asistencia a la toma de decisiones que tiene como objetivos fundamentales: preservar el recurso agua, combatir la sequía y la prevención y el control de inundaciones de una cuenca hidrográfica. En (Garrido 2012) se hace una primera propuesta de la aplicación de la PMI en la prevención de inundaciones, la cual se consolida en (Garrido 2016), al incluirse nuevas funcionalidades, que amplían su alcance, y la convierten en una herramienta para la gestión integral de los recursos hidráulicos en una cuenca.

La capacidad de la PMI de integrar la modelación hidrológica e hidráulica, los sistemas de información geográfica, una base de datos de eventos y un programa especializado, tanto para la creación de esa base de datos como para la búsqueda inteligente de los eventos semejantes al evento que se aproxima, es la razón por la cual se empleó la PMI en el Sistema de Alerta Temprana (SAT) de la cuenca del río Yanuncay, Ecuador, permitiendo la culminación de su fase constructiva y su aplicación en una cuenca hidrográfica.

La PMI para su funcionamiento necesita de una base de datos inicial, que puede ser modificada o actualizada con los eventos de inundaciones que vayan sucediendo o con nuevas simulaciones que se realicen en la zona.

El objetivo fundamental de este trabajo es definir los eventos y describir el procedimiento para la generación de la base de datos antes mencionada.

PLATAFORMA MODULAR INTEGRADA (PMI): SURGIMIENTO Y EVOLUCIÓN

Múltiples son las publicaciones que evidencian el trabajo que viene desarrollando el CIH en el desarrollo de la PMI a lo largo del tiempo (León et al. 2006), (León y Gómez, 2008), (León et al. 2008), (León et al. 2009), (Garrido 2012), (Garrido 2016). En la figura 1 se puede observar la evolución que ha tenido la PMI y las herramientas que se han ido incorporando en dependencia de su aplicación.

En (Gómez 2008) se conceptualiza la PMI y se presenta por primera vez, aplicándose a la gestión de la operación de sistemas fuentes de recursos hidráulicos. En (Garrido 2016) se aplica

en la prevención de inundaciones y se incorpora un módulo inteligente para la obtención de eventos similares, el cual fue actualizado y completado con la aplicación en la cuenca del río Yanuncay (Fernández de Córdoba 2020), cuyos resultados se expondrán en el presente artículo. Al incluirse nuevas funcionalidades, se amplía el alcance de la PMI, y la convierten en una herramienta para la gestión integral de los recursos hidráulicos en una cuenca.

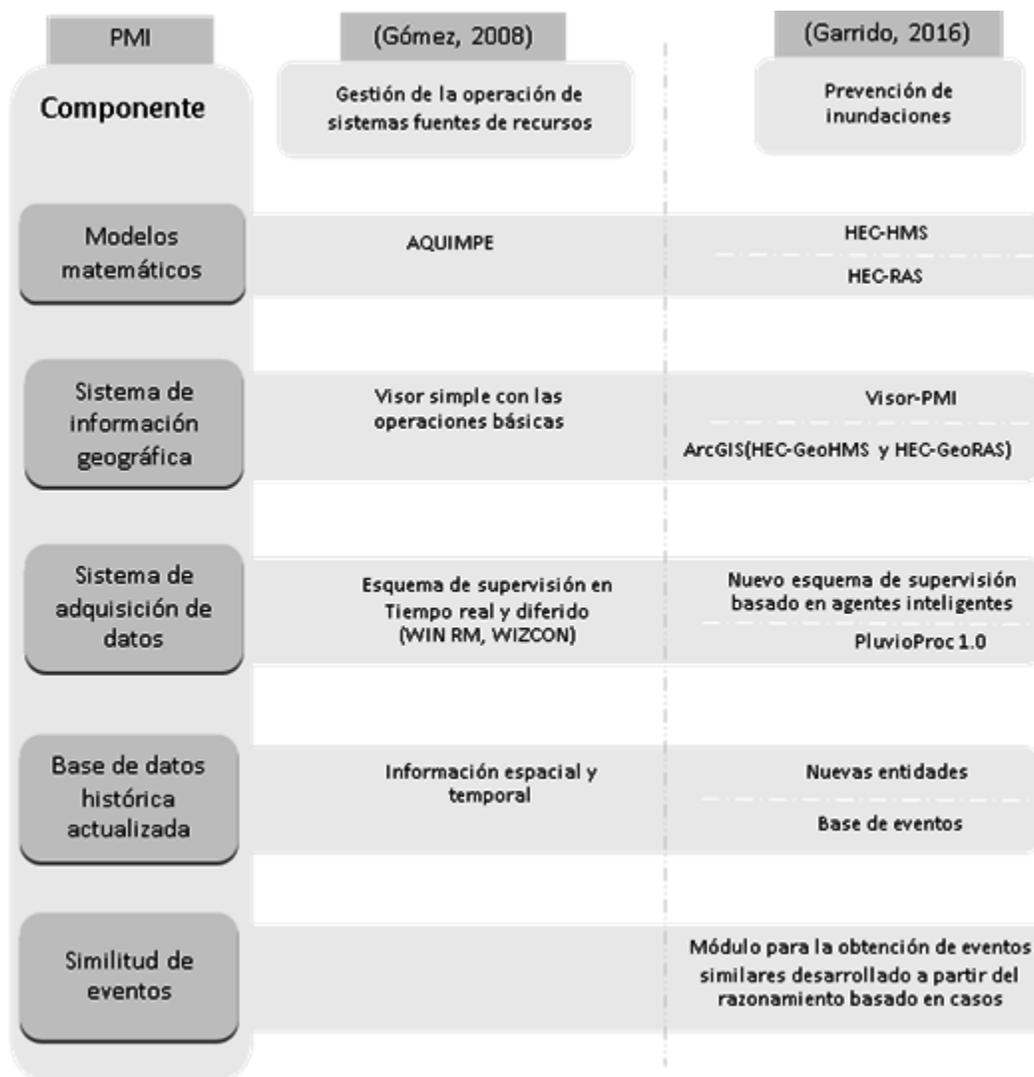


Figura 1. Evolución de la PMI. Fuente: (Garrido 2016)

De manera general, el funcionamiento de la PMI se basa en la integración de cuatro módulos fundamentales: Modelos matemáticos, Sistema de Información Geográfico (SIG), Supervisión y adquisición de datos y la Base de datos histórica actualizada (Garrido 2016).

La base de datos histórica actualizada es su componente central, pues constituye la base de información necesaria para el funcionamiento de los módulos que la componen, siendo el elemento que más facilita la integración e interoperabilidad entre sus componentes.

Otras características importantes de la plataforma son: es *modular* ya que integra al sistema, sensores, accesorios y programas de cualquier procedencia; es *flexible* porque su aplicación se personaliza a cada caso en particular; y es *escalable* pues las inversiones que se requieran para su implementación pueden hacerse de manera gradual. Estas características hacen de la PMI una alternativa que puede actualizarse constantemente.

OBTENCIÓN DE EVENTOS APLICANDO LA PMI EN LA CUENCA DEL RÍO YANUNCAY, ECUADOR

El río Yanuncay es uno de los más importantes que atraviesa la ciudad de Cuenca y se utiliza para el suministro de agua potable, el riego, la pesca y la recreación; previéndose para un futuro cercano su empleo para la generación de energía hidroeléctrica. El cauce principal del río tiene una longitud aproximada de 58 km y en su trayecto por la ciudad atraviesa varias comunidades y poblados como son: Soldados, Chictarrumi, Bayán, Sayán, Barabón y San José. En la figura 2 se muestra el modelo hidrológico conceptual de la cuenca obtenido en (Fernández de Córdova 2020).

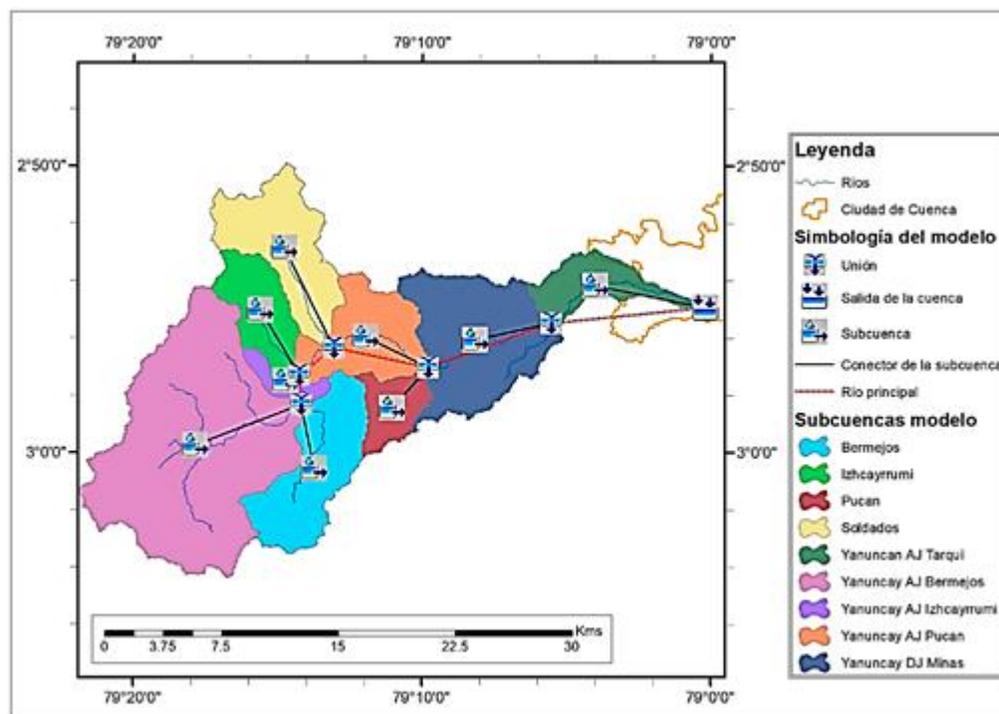


Figura 2. Modelo hidrológico conceptual de la cuenca del río Yanuncay.

Fuente: (Fernández de Córdova 2020)

La Empresa Pública Municipal de Telecomunicaciones, Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de Cuenca – ETAPA EP mantiene y opera una red de estaciones de monitoreo hidrometeorológico en gran parte de la cuenca del río Paute a la que pertenece el río Yanuncay. En la cuenca de río Yanuncay existen cuatro estaciones meteorológicas, un pluviómetro, una estación mixta que registra lluvia, niveles y caudales, y una estación hidrológica que mide niveles y caudales (figura 3).

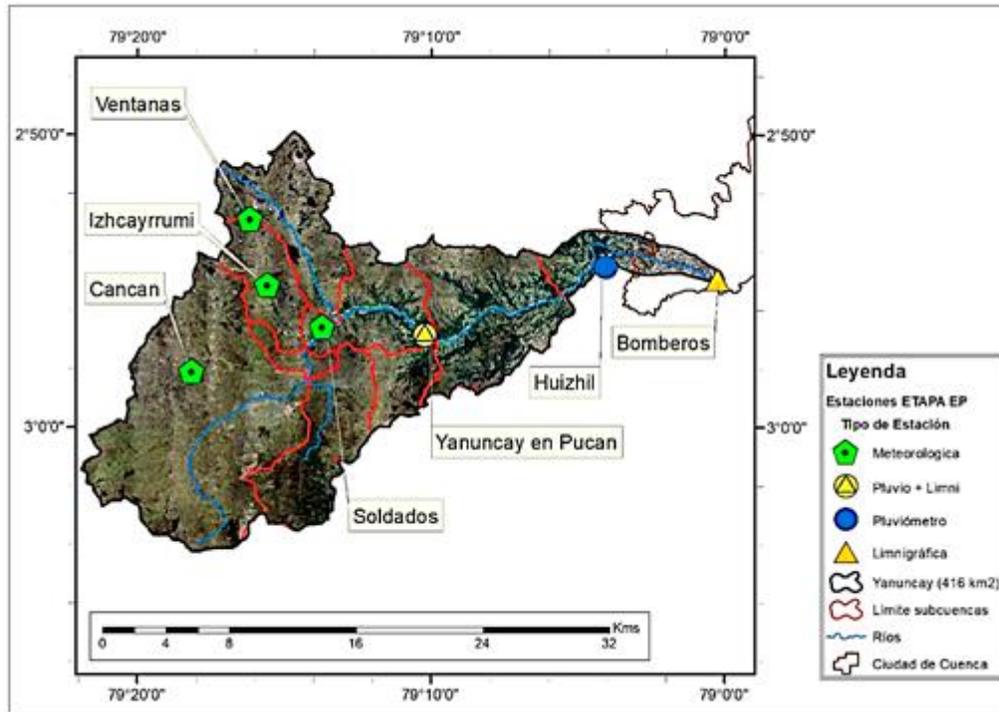


Figura 3. Ubicación de estaciones hidrometeorológicas en la cuenca del río Yanuncay.

Fuente: (Fernández de Córdoba 2020)

A continuación se describen cada una de las variables que caracterizan una tormenta y que se tuvieron en cuenta para la generación de eventos de la base de datos inicial de la PMI del SAT ante inundaciones del río Yanuncay (Fernández de Córdoba 2020):

- a) *Lluvia acumulada*: Es uno de los parámetros que está en directa relación con las inundaciones, además es una de las variables que la mayoría de modelos pronostican. Para la cuenca del río Yanuncay se analizó la información histórica de las lluvias más intensas ocurridas en la zona, se determinó que lluvias superiores a 20 mm provocan caudales que podrían desencadenar una inundación, por lo que se decidió generar eventos con 20 y 30 mm de lluvia acumulada. Estas precipitaciones se distribuyeron siguiendo la forma de los hietogramas de diseño obtenidos para la zona.
- b) *Duración de la precipitación*: Se encontró que la mayoría de las precipitaciones fuertes ocurridas en la cuenca del río Yanuncay tienen una duración que varía entre dos y cinco horas, por lo que se asumieron estos valores para la generación de eventos.
- c) *Intensidad máxima*: Las intensidades máximas se calcularon dividiendo la lluvia máxima para el intervalo de tiempo en el cual se distribuyó la precipitación (15 minutos).
- d) *Condiciones de precipitación antecedente*: En el trabajo realizado por (Naranjo 2018) se presenta un análisis de la precipitación antecedente asociado a las lluvias más intensas ocurridas en la cuenca del río Yanuncay, esta varía entre 15 y 20 mm para un día de precipitación antecedente, y entre 20 y 60 mm para 5 días de precipitación antecedente. Con este análisis, se generaron eventos de inundación con 10 y 20 mm para un día de precipitación antecedente, y con 20, 40 y 60 mm para 3 y 5 días de precipitación antecedente.
- e) *Dirección de la tormenta*: La dirección de la tormenta es un factor importante a tener en cuenta en la base de datos de la PMI, porque servirá para realizar el movimiento de esta

dentro de la cuenca. La lluvia en la región está influenciada por la humedad proveniente de la Costa (Pacífico) y la Amazonía (Atlántico). Para tener en cuenta esta variación se generaron eventos con las direcciones Oeste-Este para la lluvia con influencia de la Costa y Este-Oeste para la precipitación que viene de la Amazonía. Se adicionaron otras dos direcciones de tormenta, la Noroeste-Sureste que considera que la lluvia se produce solo en la parte alta de la cuenca, y la dirección Noreste-Suroeste para la precipitación que se produce solo en la parte baja de la cuenca.

- f) *Velocidad de movimiento de la tormenta*: Este es otro de los factores que impacta directamente sobre la respuesta hidrológica que pueda tener una cuenca y por lo tanto debe ser considerado dentro de la base de datos de la PMI. Teniendo como base los registros de las estaciones meteorológicas existentes en la cuenca, que miden la velocidad del viento, los valores máximos registrados de esta variable están en el orden de 5 a 6 m/s. Para la generación de eventos de la base de datos de la PMI se utilizaron dos velocidades de la tormenta 2 m/s (7,2 km/h) y 5 m/s (18 km/h).
- g) *Diámetro de la tormenta*: se calculó multiplicando la velocidad de traslación por la duración de la tormenta.

GENERACIÓN DE LA BASE DE EVENTOS

En la figura 4, se detalla el proceso seguido para la generación de los eventos que conformarán la base de datos inicial de la PMI.

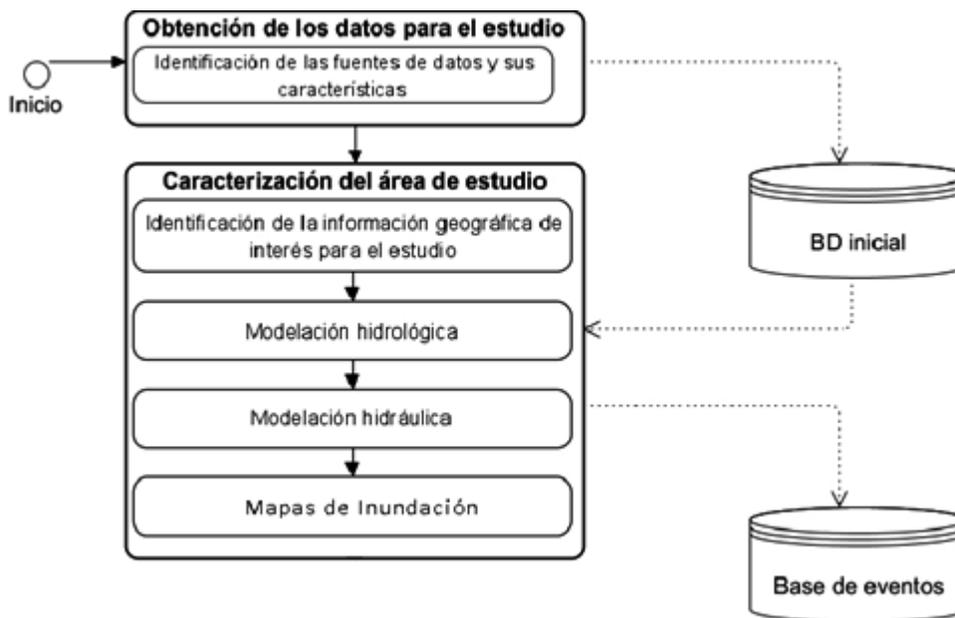


Figura 4. Diagrama general del proceso de obtención de la Base de eventos.

Fuente: (Garrido 2016)

Por su importancia se profundizará en las tres actividades fundamentales de este proceso, que contribuyen a la caracterización de los eventos y por ende, a la obtención de la base de eventos.

Modelación hidrológica: Una vez calibrado y validado el modelo hidrológico, se ingresa la precipitación de cada una de las estaciones en el HEC-HMS y se corre el modelo. De esta forma

se obtuvieron los hidrogramas de caudal de la estación de Pucán y Bomberos, y de las subcuencas del río Pucán, Yanuncay DJ Minas y Yanuncay AJ Tarqui, información necesaria para la simulación hidráulica (Fernández de Córdoba 2020).

Modelación hidráulica: Luego de calibrar y validar el modelo hidráulico, se comienza ingresando el hidrograma de caudal en la estación de Pucán, que es la condición de frontera aguas arriba del modelo. Los hidrogramas de las subcuencas Yanuncay-DJ Minas y Yanuncay-AJ Tarqui, se dividieron en cinco partes, cada uno, para ingresar al modelo hidráulico como una entrada lateral, como condición de frontera aguas abajo se mantuvo 0,016 que corresponde a la pendiente de fricción que produce la altura de flujo uniforme (altura normal). Se corrió el modelo en régimen variado impermanente con lo cual se determinó el tiempo desde que cae la precipitación en la cuenca hasta que se produce la máxima inundación (tiempo hasta la máxima inundación desde el centro del hietograma de precipitación) y el tiempo de regreso del agua al cauce principal desde que ocurrió la máxima inundación, de las tres zonas más susceptibles a fenómenos de inundación (Barabón, antes del puente de la Av. de las Américas y después del puente Felipe II). Posteriormente se exportó el archivo de las máximas inundaciones para que pueda ser trabajado en ArcGIS y generar los mapas de inundaciones (Fernández de Córdoba 2020).

Mapas de inundaciones: Para crear los mapas de inundaciones se empleó el ArcGIS y la extensión HEC-GeoRAS utilizando las herramientas de “Inundation Mapping” del menú “RAS Mapping”. Solo se generaron los mapas de la máxima inundación total en el modelo, la máxima inundación en Barabón, la máxima inundación antes de la Av. de las Américas, la máxima inundación después del puente Felipe II y los mapas de regreso al cauce principal de los cuatro momentos de inundación máxima mencionados (Fernández de Córdoba 2020).

Una vez generado un grupo considerable de eventos (inicialmente no menos de 100) que abarquen las posibles tormentas que pueden ocurrir en la cuenca, se puede crear la base eventos de la PMI. En el caso de estudio se generaron 170 eventos que se presentan en la tabla 1, caracterizados por los atributos siguientes:

- a) Velocidad de movimiento de la tormenta.
- b) Dirección de la tormenta.
- c) Intensidad máxima.
- d) Lluvia acumulada.
- e) Duración de la precipitación.
- f) Condiciones de Precipitación Antecedente.
- g) Diámetro aproximado de la tormenta.
- h) Caudal máximo de la estación de Pucán.
- i) Caudal máximo de la estación de Bomberos.
- j) Tiempo hasta la máxima inundación desde el centro del hietograma de precipitación de los tres sectores susceptibles a inundaciones.
- k) Tiempo de regreso del agua al cauce principal desde la máxima inundación de los tres sectores susceptibles a inundaciones.
- l) Mapas de inundación de los tres sectores susceptibles a inundaciones.

Tabla 1. Eventos generados para la base de datos de la PMI

Lluvia acumulada (mm)	Número de días de la precipitación antecedente	Precipitación antecedente (mm)	Velocidad de la tormenta (m/s)	Dirección de la tormenta	Intensidad máxima (mm/h)	N° de eventos
20	1	10 y 20	2 y 5	O-E, E-O, NO-SE, NE-SO	27, 28, 34 y 35	28
20	3	20, 40 y 60	2 y 5	O-E, E-O, NO-SE, NE-SO	27, 28, 34 y 35	60
20	5	20, 40 y 60	2 y 5	O-E, E-O, NO-SE, NE-SO	27, 28, 34 y 35	60
30	1	10 y 20	2 y 5	O-E, E-O, NO-SE, NE-SO	41, 42, 50 y 52	22

EL MÓDULO SAD_PMI

Sad-PMI es un módulo de la PMI desarrollado con el lenguaje de programación C#, multiplataforma y portable. Brinda un conjunto de funcionalidades que se enumeran a continuación, pero en el presente artículo solo se profundizará en las dos primeras:

1. La caracterización de la cuenca.
2. El ingreso, modificación y visualización de los eventos.
3. La clasificación de los eventos a partir de un proceso de agrupamiento.
4. La obtención de eventos similares.
5. La gestión de los usuarios del sistema.

En la figura 5 se observa la pantalla principal de la aplicación, donde se puede apreciar un mapa de la cuenca y otros mapas generales de la región. Estos mapas son personalizados y varían en dependencia de la cuenca donde se implante la plataforma. En la parte superior se puede apreciar el menú principal a partir del cual se puede acceder a todas las funcionalidades que brinda el programa.

La opción “Cuenca” permite caracterizar la cuenca donde esté implantada la PMI, ingresando el nombre, el área y el país en que se encuentra.

También se pueden definir las secciones principales donde se mide caudal y las que por su importancia se consideran críticas ante el fenómeno de inundación, esta información es fundamental para la creación de los eventos y la información asociada a cada uno de ellos.

En la figura 6 se muestra la pantalla correspondiente a esta funcionalidad, donde se pueden apreciar las secciones críticas y de medición definidas en la cuenca de estudio.



Figura 5. Pantalla principal del Sad-PMI aplicado en la cuenca del río Yanuncay.
Fuente: Elaboración propia

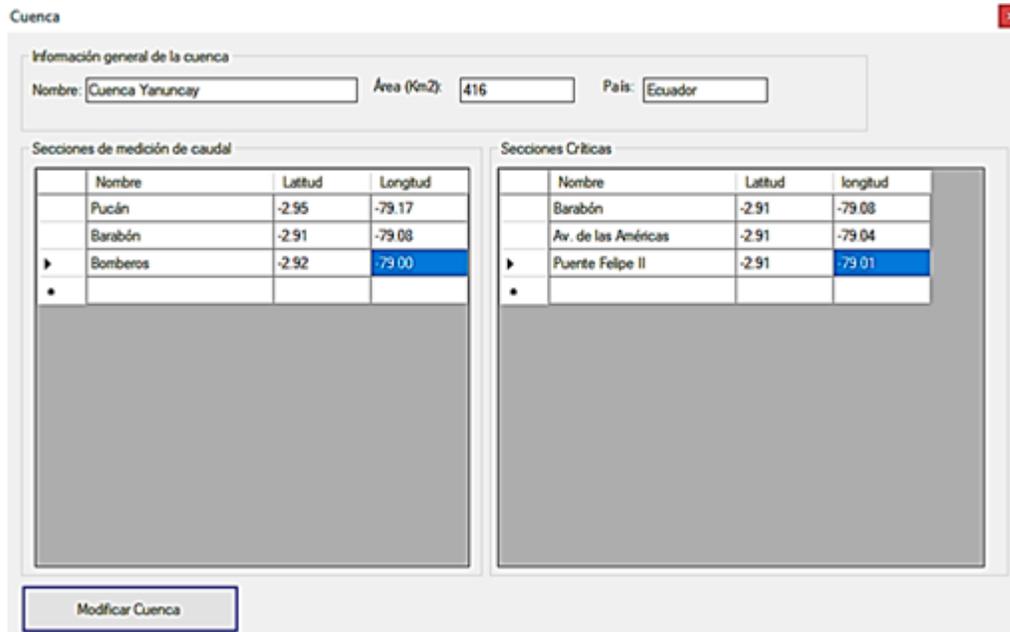


Figura 6. Pantalla de caracterización de la cuenca. Fuente: Elaboración propia

Una vez insertados los datos correspondientes a la cuenca, si ocurrió algún error o se desea modificar o agregar alguna nueva sección es posible, pues cuenta con la opción de “Modificar Cuenca”. El ingreso de los eventos a la base de datos se realiza seleccionando la opción “Insertar

Eventos” del menú “Eventos” del Sad-PMI. Una vez seleccionada esta opción el sistema muestra una ventana donde se pueden insertar los eventos de forma manual o automática, tal como se muestra en la figura 7.

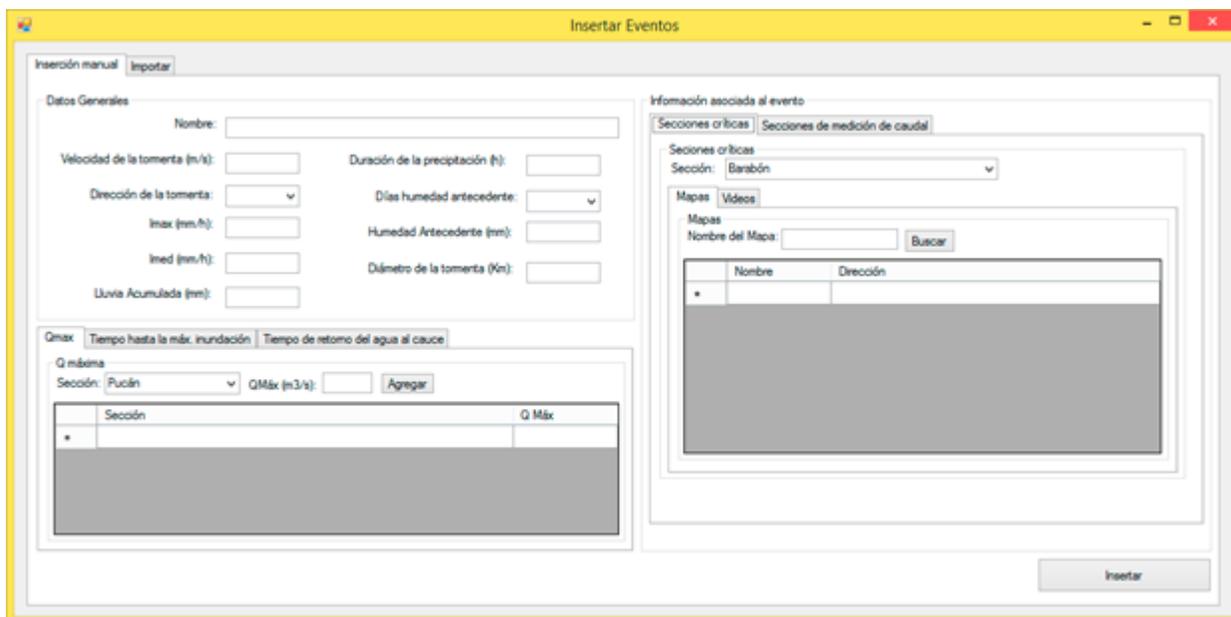


Figura 7. Ventana Insertar Eventos. Fuente: Elaboración propia

Para la inserción manual se deben introducir los datos generales del evento, que se corresponden con los atributos definidos con anterioridad, los valores de las mediciones en las secciones establecidas en la cuenca y otras informaciones que se consideren de interés, en este caso mapas de inundación en formato shapefile y videos generados con HEC-RAS de estas inundaciones.

Para importar los eventos de manera automática, es necesario seleccionar un fichero en formato texto (*.txt) el cual contiene la información general del evento. También deben introducirse los caudales máximos y los tiempos de la inundación que corresponden a las secciones que fueron definidas previamente en la caracterización de la cuenca. Además existe la opción de incorporar la información referente a los mapas para cada una de estas secciones.

La inserción automática es la vía más rápida para ingresar los eventos a la base de datos, para facilitar el trabajo, se desarrolló la herramienta GenEvent, que permite la creación de los ficheros de texto con la información de los eventos.

GenEvent cuenta con una interfaz muy simple y fácil de utilizar, tal como muestra la figura 8, solo debe ingresarse el nombre del evento y la información que lo caracteriza. Uno de los objetivos principales de la creación de esta herramienta es que la acción de generar estos ficheros no tiene que realizarla un especialista, esta tarea puede ser delegada en cualquier otro trabajador, que cuente con los conocimientos básicos de computación.

Teniendo en cuenta lo expresado anteriormente, puede instalarse de manera independiente y su base de datos con la información de las secciones críticas y de medición, se obtiene directamente del Sad-PMI a través de la opción de su menú principal “Exportar Secciones”.

Figura 8. Herramienta GenEvent para crear el fichero de texto con la información del evento. Fuente: Elaboración propia

Una vez insertados los eventos si ocurrió algún error o el especialista desea agregar o modificar alguno de sus datos, puede hacerlo a través de la opción “Modificar Eventos” del menú principal. Al realizar esta acción, el sistema muestra una ventana donde se listan todos los eventos que existen en la base de datos tal como muestra la figura 9.

Al seleccionar uno de ellos y presionar el botón “Modificar evento”, el sistema muestra una nueva ventana con toda la información del evento seleccionado, tal como se muestra en la figura 10.

Como se puede observar, existe la posibilidad de modificar las características del evento, la información relacionada con las secciones críticas y de medición, eliminar o insertar nuevos mapas y videos, así como eliminar el evento completo si se desea.

Sad-PMI también brinda la posibilidad a los especialistas y decisores de ver la información detallada de cada uno de los eventos insertados en la base de datos. Para ello se debe seleccionar la opción “Ver Eventos” del menú principal.

Nombre	Velocidad	Dirección	Imax	Imed	Lluvia Acumulada	Duración Precip.	Días humedad antecedente	Humedad antecedente	Dámetro Tormenta
01 v5_O-E_20m...	5	O-E	28	4	20	5	1	10	90
02 v5_O-E_20m...	5	O-E	28	4	20	5	1	20	90
03 v2_O-E_20m...	2	O-E	28	4	20	5	1	10	36
04 v2_O-E_20m...	2	O-E	28	4	20	5	1	20	36
05 v5_O-E_20m...	5	O-E	35	4	20	5	1	10	90
06 v5_O-E_20m...	5	O-E	35	4	20	5	1	20	90
07 v2_O-E_20m...	2	O-E	35	4	20	5	1	10	36
08 v2_O-E_20m...	2	O-E	35	4	20	5	1	20	36
09 v5_E-O_20m...	5	E-O	28	4	20	5	1	20	90
10 v2_E-O_20m...	2	E-O	28	4	20	5	1	20	36
11 v5_E-O_20m...	5	E-O	35	4	20	5	1	20	90
12 v2_E-O_20m...	2	E-O	35	4	20	5	1	20	36
13 v5_NO-SE...	5	NO-SE	35	4	20	5	1	20	90
14 v5_NO-SE...	5	NO-SE	35	4	20	5	1	20	90
15 v5_O-E_20m...	5	O-E	34	10	20	2	1	10	36
17 v2_O-E_20m...	2	O-E	34	10	20	2	1	10	14
18 v2_O-E_20m...	2	O-E	34	10	20	2	1	20	14
19 v5_O-E_20m...	5	O-E	27	10	20	2	1	10	36

Figura 9. Listado de los eventos. Fuente: Elaboración propia

Características del evento

Nombre: 01 v5_O-E_20mm_28mmh_5H_10mm

Velocidad de la tormenta (m/s): 5

Dirección de la tormenta: O-E

Imax (mm/h): 28

Imed (mm/h): 4

Lluvia Acumulada (mm): 20

Duración de la precipitación (h): 5

Días humedad antecedente: 1

Humedad Antecedente (mm): 10

Díámetro de la tormenta (Km): 90

Modificar características del evento

Eliminar evento

Secciones críticas

Información General | Mapas | Videos | Agregar Sección | Agregar Recurso

Nombre	URL
InundacionMaximaBarabon	Data/01.v5_O-E_20mm_28mmh_5H_10mm...
RegresoCauceBarabon	Data/01.v5_O-E_20mm_28mmh_5H_10mm...
InundacionMaximaAmericas	Data/01.v5_O-E_20mm_28mmh_5H_10mm...
RegresoCauceAmericas	Data/01.v5_O-E_20mm_28mmh_5H_10mm...
InundacionMaximaFelpell	Data/01.v5_O-E_20mm_28mmh_5H_10mm...
RegresoCauceFelpell	Data/01.v5_O-E_20mm_28mmh_5H_10mm...

Secciones de medición

Información General | Mapas | Videos | Agregar sección | Agregar Recurso

Sección	Q Máx(m ³ /s)
*	

Figura 10. Detalles del evento seleccionado. Fuente: Elaboración propia

Una vez seleccionada esta opción, el sistema muestra una ventana con el listado de todos los eventos existentes en la base de datos similar a la figura 9. Al seleccionar uno de ellos y presionar el botón “Mostrar evento”, el sistema muestra una pantalla con los detalles del evento seleccionado, tal como muestra la figura 11.

Como puede observarse, esta ventana además de la información general del evento y los valores de medición correspondientes a las secciones, cuenta con un visor de mapas donde se

pueden cargar todos los mapas asociados al evento. Este visor cuenta con un grupo de funciones básicas: Zoom In, Zoom Out, Paneo, Ocultar y Mostrar capas.

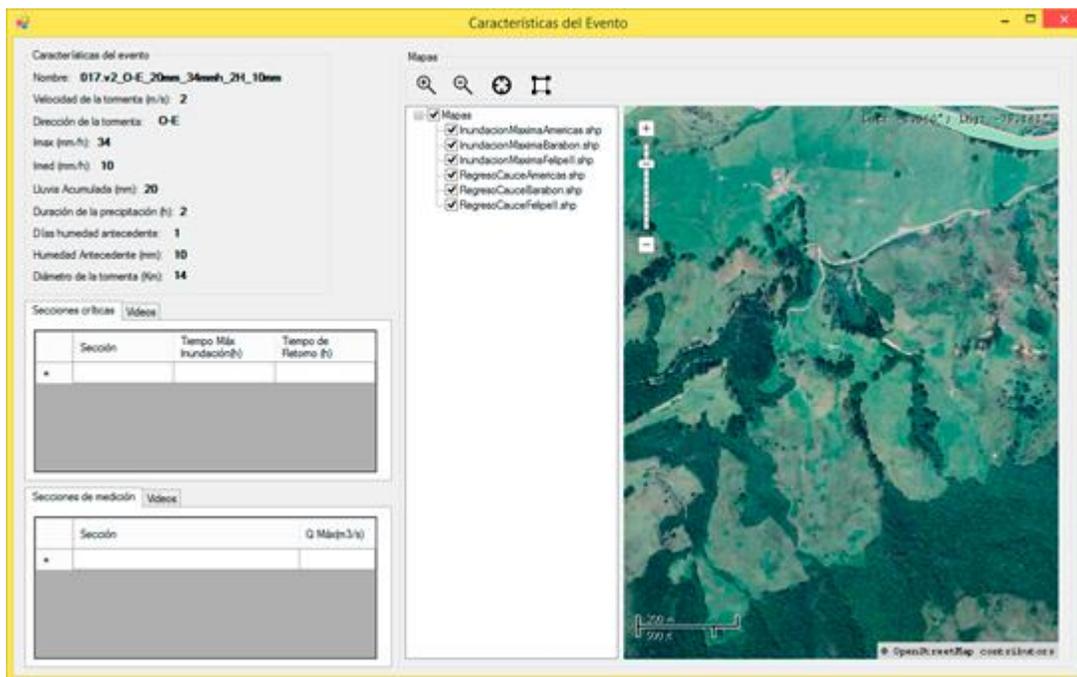


Figura 11. Detalles del evento. Fuente: Elaboración propia

Una vez ingresados todos los eventos a la base de datos inicial, la PMI está lista para empezar a pronosticar las inundaciones en la cuenca.

CONCLUSIONES

- Se definió una estructura detallada de los eventos hidrometeorológicos para el funcionamiento de la PMI, donde se agrupan sus características generales y el impacto que tuvieron sobre la región. Con este procedimiento se generaron 170 eventos que recogen diferentes valores de láminas de lluvia (dos), días con lluvia antecedente (tres), lámina total de precipitación antecedente (cuatro), intensidad de la precipitación (ocho), velocidad de traslación de la tormenta (dos) y dirección de la tormenta (cuatro).
- El módulo Sad-PMI brinda un conjunto de funcionalidades que permiten crear la base de eventos inicial necesaria para el buen funcionamiento de la PMI en una cuenca.
- La PMI tiene que ser actualizada constantemente con nuevos eventos que se registren o con información histórica que se pueda recopilar sobre inundaciones ocurridas en la cuenca. Del mismo modo si cambian las características de la cuenca o del río, los modelos hidrológicos e hidráulicos deben ser recalibrados y actualizada la base de eventos.
- Se demostró que la PMI puede ser aplicada en una cuenca real y que sus resultados constituyen un aporte valioso al SAT implantado en la región.

REFERENCIAS

- Fernández de Córdova C.** (2020). “Propuesta de un sistema de alerta temprana ante inundaciones por lluvias intensas. Caso de estudio: Río Yanuncay en Cuenca - Ecuador”. Tesis de doctorado. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Tecnológica de La Habana “José A. Echeverría” (Cujae). La Habana.
- Garrido M.** (2012). “Integración de herramientas informáticas para la alerta temprana ante el peligro de inundaciones”. Tesis de maestría. Facultad de Informática. Universidad Tecnológica de La Habana “José A. Echeverría” (Cujae). La Habana. Cuba.
- Garrido M.** (2016). “Análisis de la información hidrológica para el apoyo a las decisiones ante inundaciones de origen fluvial”. Tesis de doctorado. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Tecnológica de La Habana “José A. Echeverría” (Cujae). La Habana. Cuba.
- Gómez M.** (2008). "Plataforma modular integrada para la gestión de campos de pozos". Tesis Doctoral. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría” (Cujae). La Habana. Cuba.
- León A., Sacasas C., Hernández A. y Gómez M.** (2006). “SGRH: una solución integral para el manejo de los recursos hídricos y la prevención de desastres provocados por el agua”. Presentado en el 2do Simposio Científico-Técnico EXPOAGUA 2006 “Manejo de los Recursos Hídricos”, La Habana, Cuba.
- León A. y Gómez M.** (2008). “Una estrategia de gestión para combatir la sequía operacional y prevenir inundaciones”. Presentado en la 7ma Conferencia Iberoamericana de Sistemas, Cibernética e Informática: CISCi 2008, Orlando, Florida. USA.
- León A., Gómez M., Martínez J. B., Jorge Ma. C., Sacasas C., Ramírez J., Martínez Y.** (2008). “Plataforma Modular Integrada para el pronóstico de inundaciones”. Presentado en la 14 Convención Científica de Ingeniería y Arquitectura, La Habana. Cuba.
- León A., Marrero N., Gómez M., Martínez Y., Martínez J. B., Rodríguez Y., Garrido M., Escartín E.** (2009). “Una estrategia de gestión para la alerta temprana ante peligro de inundaciones debido a intensas lluvias”. Presentado en la IX Congreso Internacional de Ingeniería Hidráulica, Villa Clara. Cuba.
- Naranjo D.** (2018). “Elaboración de hidrogramas de crecidas de las cuencas de los ríos Tomebamba, Tarqui y Yanuncay desde el año 1997 – 2017”. Universidad del Azuay, Cuenca, Ecuador.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Contribución de los autores

Maray Garrido Monagas <https://orcid.org/0000-0003-0349-7676>

Participó en el diseño de la investigación y en el estudio y selección de los aspectos a tratar.

Participó en la redacción y revisión del informe.

Carlos Javier Fernández de Córdova Webster <http://orcid.org/0000-0003-3288-6822>

Realizó contribuciones en la interpretación y procesamiento de los datos. Participó en el diseño de la investigación.

Alcides J. León Méndez <https://orcid.org/0000-0002-5072-6438>

Participó en el diseño de la investigación y en el estudio y selección de los aspectos a tratar.

Participó en la redacción y revisión del informe.