



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“USO DE SOFTWARES PARA EL ANÁLISIS DE CAUDALES  
PLUVIALES APLICADOS A PROCESOS HIDROLÓGICOS:  
UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA CIENTÍFICA DE LOS  
ÚLTIMOS 10 AÑOS”

Trabajo de investigación para optar al grado de:

**Bachiller en Ingeniería Civil**

**Autor:**

Daniel Santos Pomasongo Tordocillo

**Asesor:**

Mg. Ing. Alejandro Vildoso Flores

Lima - Perú

2021

## ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA PRESENTACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El asesor MBA Ing. Alejandro Vildoso Flores, docente de la Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera profesional de Ingeniería Civil, ha realizado el seguimiento del proceso de formulación y desarrollo del proyecto de investigación del(os) estudiante(s):

- Pomasongo Tordocillo, Daniel Santos

Por cuanto, **CONSIDERA** que el proyecto de investigación titulado: “USO DE SOFTWARES PARA EL ANÁLISIS DE CAUDALES PLUVIALES APLICADOS A PROCESOS HIDROLÓGICOS: UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA CIENTÍFICA DE LOS ÚLTIMOS 10 AÑOS” para aspirar al título profesional por la Universidad Privada del Norte, reúne las condiciones adecuadas, por lo cual, **AUTORIZA** al(los) interesado(s) para su presentación.



---

MBA Ing. Alejandro Vildoso Flores

Asesor

## ACTA DE EVALUACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

El Sr(a) MBA Ing. Alejandro Vildoso Flores, ha procedido a realizar la evaluación del trabajo de investigación del (los) estudiante(s): DANIEL SANTOS POMASONGO TORDOCILLO, para aspirar al grado de bachiller con el trabajo de investigación titulado: “USO DE SOFTWARES PARA EL ANÁLISIS DE CAUDALES PLUVIALES APLICADOS A PROCESOS HIDROLÓGICOS: UNA REVISIÓN DE LA LITERATURA CIENTÍFICA DE LOS ÚLTIMOS 10 AÑOS”.

Luego de la revisión del trabajo en forma y contenido expresa:

Aprobado

Calificado:  Excelente (18-20)

Sobresaliente (15-17)

Bueno (13-14)

Desaprobado



---

MBA Ing. Alejandro Vildoso Flores

Evaluador

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo es dedicado a mis padres,  
familiares y amigos quienes confiaron en mí,  
brindándome su total apoyo para lograr mis  
objetivos y metas trazadas.

## **AGRADECIMIENTO**

Mi agradecimiento total con la Universidad Privada del Norte, por el curso de Proyecto de Tesis que a través de sus Conferencias y consultas personalizadas con el Docente he logrado culminar el presente proyecto de Tesis.

A los Docentes de la carrera de Ingeniería Civil de la Universidad Privada del Norte por el apoyo en la absolución de dudas y consultas sobre el proyecto.

## TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA .....	4
AGRADECIMIENTO .....	5
TABLA DE CONTENIDO.....	6
ÍNDICE DE TABLAS .....	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
RESUMEN .....	9
ABSTRACT.....	10
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....</b>	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO III.RESULTADOS.....</b>	<b>25</b>
<b>CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES.....</b>	<b>41</b>
REFERENCIAS.....	44

## ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Unidades de análisis de la revisión sistemática</i> .....	17
<i>Tabla 2 Resultados sobre pluralidad en ámbitos científicos</i> .....	27
<i>Tabla 3 Resultados de años de publicación de artículos científicos</i> .....	29
<i>Tabla 4 Resultados sobre tipo de investigación</i> .....	30
<i>Tabla 5 Resultados sobre país de origen de artículos científicos</i> .....	31
<i>Tabla 6 Resultados sobre instrumentos de investigación</i> .....	32
<i>Tabla 7 Categorías resultantes de la revisión sistemática</i> .....	34

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Logotipos de sitios web de fuentes digitales de artículos científicos .....</i>	<i>15</i>
<i>Figura 2. Resultados de método PRISMA .....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 3. Base de datos de artículos seleccionados.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 4. Años de publicación de artículos científicos .....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 5. Tipo de investigación de artículos científicos.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 6. Origen de artículos científicos.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 7. Instrumentos de investigación de artículos científicos.....</i>	<i>33</i>



## RESUMEN

La siguiente revisión sistemática está enfocada en la búsqueda de información sobre las tenencias más recientes en cuanto a los softwares creados para el análisis de caudales pluviales para procesos hidrológicos, para aunar sobre sus avances, aplicabilidad, diversidad, dentro del ámbito de la comunidad científica de la ingeniería civil.

Para ello es necesario plantearse la siguiente interrogante: ¿Que se conoce sobre la aplicabilidad de software para el análisis de caudales pluviales para procesos hidrológicos?

Para ello, se buscó artículos en las bases de datos digitales sobre el tema, y fueron filtrados a través del método PRISMA. A través de criterios de inclusión y exclusión descritos en la metodología del presente metaanálisis. La selección final fue de 28 artículos indexados en fuentes como Scindirect, Doaj, MDPI, Redalyc, Academia, entre otros. Y de 2 tesis doctorales cuyas fuentes son publicaciones de repositorios de Universidades a escala internacional.

La estadística resultante indica una gran variedad de artículos provenientes de 20 países distintos, a nivel cultural, cuya aplicación se realizó en diferentes escenarios con condiciones climáticas distintas. Los papers seleccionados, en un 80 % no son menores a los 5 años de vigencia, demostrando la modernidad y vigencia del tema. Las fuentes consultadas también son muy variadas, demostrando el gran alcance del tema, solo para artículos publicaos en inglés y español. Por último, el instrumento más utilizado es el modelo HEC-HMS con un 83.33 % de participación y aporte a los estudios seleccionados, en parte por su precisión y adaptabilidad como herramienta para el modelado y/o simulación de eventos hídricos como escorrentía e inundaciones de quebradas, ríos, etc.

**Palabras claves:** Software HEC-HMS, escorrentía, caudales pluviales, inundaciones

## ABSTRACT

The following systematic review is focused on the search for information on the most recent tenures regarding the software created for the analysis of rainfall flows for hydrological processes, to gather on their progress, applicability, diversity, within the scope of the scientific community of civil engineering. For this, it is necessary to ask the following question: What is known about the applicability of software for the analysis of rainfall flows for hydrological processes? For this, articles were searched in digital databases on the subject, and they were filtered through the PRISMA method. Through inclusion and exclusion criteria described in the methodology of this meta-analysis. The final selection was 28 articles indexed in sources such as Sciendirect, Doaj, MDPI, Redalyc, Academia, among others. And of 2 doctoral theses whose sources are publications of repositories of Universities on an international scale.

The resulting statistics indicate a great variety of articles from 20 different countries, at a cultural level, whose application was carried out in different scenarios with different climatic conditions. The selected papers, 80% are not less than 5 years of validity, demonstrating the modernity and validity of the subject. The sources consulted are also very varied, demonstrating the great scope of the subject, only for published articles in English and Spanish. Finally, the most widely used instrument is the HEC-HMS model with 83.33% participation and contribution to the selected studies, in part due to its precision and adaptability as a tool for modeling and / or simulating water events such as runoff and flooding. streams, rivers, etc.

**Key words:** HEC-HMS software, runoff, stormwater, floods

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La presente investigación explora el uso de softwares para el análisis de caudales pluviales aplicados a procesos hídricos naturales. El objetivo principal es describir los diferentes enfoques, así como la aplicabilidad, modernidad, diversidad y adaptabilidad de los instrumentos digitales utilizados para la evaluación de diferentes escenarios climáticos, escorrentía, simulación de inundaciones, en un periodo de 10 años.

En la actualidad, el análisis de caudales pluviales que emplea modelos informáticos ha avanzado rápidamente y los modelos informáticos se han convertido en herramientas esenciales para comprender las influencias humanas en los flujos de los ríos y diseñar enfoques de gestión del agua ecológicamente sostenibles. (Halwatura y Najim , 2013)

Ejemplo de ello, es el software usado por Demetrio, Labate, Martino y Zimbone (2016), un modelo del Centro de Ingeniería Hidrológica - Sistema de Modelado Hidrológico (HEC-HMS) que se ha aplicado ampliamente para estimar variables hidrológicas a escala de eventos. La elección del método de infiltración más adecuado simplifica la aplicabilidad del modelo en diferentes condiciones ambientales. Un caso de estudio adecuado para evaluar la capacidad de predicción de la escorrentía de HEC-HMS mediante los métodos de infiltración disponibles son los torrentes semiáridos típicos del sur de Italia, ya que son cursos de agua pequeños e intermitentes, a menudo sujetos a inundaciones repentinas de gran magnitud y eventos erosivos.

Los procesos hidrológicos son el principal enfoque de análisis funcional de estos instrumentos de análisis digitales. En tal sentido, la ingeniería civil, ha buscado el análisis de comportamiento de procesos hídricos como ríos, riachuelos, quebradas, cuencas, etc. Para predecir eventos como lo son las inundaciones y/o escorrentía.

Al respecto, Agathe, Mwangi, y Messo (2019) indican que cada año, muchos países africanos sufren peligros naturales como inundaciones y, debido a su escasa capacidad de adaptación, apenas tienen los medios para afrontar las consecuencias y, por tanto, sufren enormes pérdidas económicas. Las lluvias extremas juegan un papel clave en la ocurrencia de estos peligros. Por lo tanto, los estudios de proyección climática deberían centrarse más en los extremos para proporcionar una gama más amplia de escenarios futuros de extremos que puedan ayudar a la toma de decisiones políticas en las sociedades africanas. Algunos investigadores han intentado analizar los extremos climáticos a través de índices que reflejan los extremos en las variables climáticas como la lluvia. Sin embargo, es difícil evaluar los impactos sobre el caudal basado únicamente en estos índices, ya que la mayoría de los modelos hidrológicos requieren datos diarios como insumos.

Expuesto lo anterior, es relevante evaluar como la aplicación de software facilita el estudio de caudales pluviales de los procesos hídricos naturales, en especial, aquellos que representan una potencial amenaza para desarrollo urbanísticos cercanos, con el propósito de tomar medidas para el diseño de retenciones e infraestructuras, que permitan brindar seguridad a los ciudadanos potencialmente afectados.

En tal sentido, el investigador se plantea la siguiente interrogante: ¿Existe información sobre el uso de softwares para el análisis de caudales pluviales aplicados a procesos hídricos ?, para ello la presente investigación tiene como objetivo principal:

- Analizar con estadística resultante los diferentes enfoques, aplicabilidad, modernidad, diversidad y adaptabilidad de los instrumentos digitales utilizados para la evaluación de diferentes escenarios climáticos, escorrentía, simulación de inundaciones, en un periodo de 10 años.

El estudio se justifica en primer lugar, la selección de la herramienta digital adecuada para el estudio del comportamiento de un proceso hídrico que presenta una potencia amenaza de inundación, así como el desarrollo de una futura investigación que permita mitigar tal condición de peligrosidad para los habitantes aledaños.

Por otra parte, el estudio de procesos hídricos en el Perú es escasos, por lo que se requiere verificar su aplicabilidad y adaptabilidad a procesos hídricos presentes en el territorio peruano. De esta forma, se busca explorar si los softwares son factibles para el análisis a escala regional, o si las condiciones del terreno, la limitan.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

La metodología de la presente revisión sistemática es con base en la información publicada referente a los avances tecnológicos para el estudio de caudales pluviales para procesos hidrológicos, en un margen de 10 años de vigencia de publicados, en diferentes fuentes digitales a nivel mundial, y con criterios de exclusión definidos como son: papers no aplicados a la ingeniería civil, papers mayores a 10 años ( menores al año 2011), papers con enfoque cualitativo y papers no indexados en revistas científicas o en repositorio de universidades, enmarcado en el método de búsqueda PRISMA propuesto por Moher ( 2009)

Las bases de datos y bibliotecas consultadas fueron:

- Repositorio Universidad de Evora
- revistatya (tecnología y ciencia del agua)
- Western Libraries
- Doaj
- JNRD (Journal of nature Recourses and development)
- Dialnet
- Wiley online Library
- Scielo
- MDPI
- UGM (Repositorio Universidad Gadjah Mada)
- Redalyc
- Academia
- Sciendirect



Figura 1. Logotipos de sitios web de fuentes digitales de artículos científicos

Fuente: imagen referencial

En lo que refiere a la estrategia de búsqueda, el enfoque principal fue hacia la selección de artículos científicos indexados en la comunidad científica, así como repositorios internacionales de tesis doctorales. Una vez seleccionado los sitios de búsqueda, por cada sitio se utilizó palabras claves de búsqueda como lo fueron:

- A. “Avances tecnológicos” y “technological advances”
- B. “Análisis de caudales pluviales” y “storm flow análisis”
- C. “Software HEC-HMS”
- D. “Procesos hidrológicos” y “hydrological processes”
- E. “Escorrentía”. Y “runoff”
- F. “Inundaciones” y “floods”

De igual forma, se utilizaron los descriptores “y”, “and”, “o” y “or”, para verificar las coincidencias en las bases de datos para publicaciones en idioma español e inglés. Dentro de los filtros de búsqueda, se utilizó un rango de vigencia de 10 años (desde el 2011 al 2021) de publicado el artículo o las tesis doctorales. En cuanto al idioma, se filtraron artículos con accesibilidad en versiones para idioma inglés y español. Desde el punto de vista geográfico, se incluyó cualquier ciudad, sin límite alguno, con el propósito de ver la aplicabilidad en diferentes ámbitos geográficos a nivel mundial.

Los criterios de inclusión aplicados, una vez recopilado los posibles títulos hallados, fueron:

- A. **Introducción:** Se describe la razón fundamental y los objetivos del estudio.
- B. **Método:** cumple con los criterios de elegibilidad (variables de estudio y características de la fuente)
- C. **Resultados:** evidencia y muestra datos numéricos y conclusiones sobre ello, sintetiza los resultados según las variables de selección.
- D. **Discusión:** se contrasta los resultados obtenidos con trabajos previos.
- E. **Conclusiones:** se evidencia análisis de los resultados y se expone frente a los objetivos de investigación

Los criterios de exclusión aplicados a los artículos seleccionados después de aplicados los criterios de exclusión fueron: se descartan artículos duplicados. Se rechazaron artículos no relacionados con las variables de estudio de interés para la presente revisión sistemática. De igual forma, se descartaron artículos que no presentaron conclusiones relacionadas con las variables de interés, ya que el propósito es ver la efectividad de los softwares utilizados para el análisis de caudales pluviales. En el mismo orden de ideas, no se aceptaron artículos de fuentes no reconocidas (la mayoría posee DOI con ranking en la comunidad de la ingeniería civil).



**Tabla 1**

*Unidades de análisis de la revisión sistemática*

Papers	Authors	Year	Title	Source title	Type of study	Methodologic al approach	Variables	Instrumentos	Country
1	Jadidoleslam, N., Goska, R., Mantilla, R y Witold, F.	2020	Hydrovise: un software de código abierto no propietario para la visualización y evaluación de datos y modelos hidrológicos	Sciendirect	Aplicada	Cuantitativo	Software de código abierto, análisis de caudales	Hydrovise	USA
2	Nagdeve, M., Kumar, P., Zhang, Y. y Singh, R.	2021	Fosa de contorno continuo (CCT): Comprensión de los procesos hidrológicos después de la estandarización de dimensiones y el desarrollo de un software fácil de usar.	Sciendirect	Aplicada	Cuantitativo	Zanja de contorno continuo, Microcuenca tratada, Control de microcuencas	CCT_designer	India
3	Baek, S. et Al.	2019	Desarrollo de una herramienta de simulación hidrológica para diseñar biorretención en una cuenca hidrográfica.	Sciendirect	Exploratorio	Cuantitativo	Desarrollo de bajo impacto, Biorretención, Modelado a escala de cuencas hidrográficas	Software de modelado propio	Filipinas
4	Hussain, Z. et. Al	2021	Cambio climático y régimen hidrológico de la cuenca alta del Indo bajo escenarios climáticos extremos	Sciendirect	Aplicada	Cuantitativo	Cuenca del Indo, Cambio climático, Régimen hidrológico, Extremos hidrológicos	MIROC5, y MPI-ESM-LR	Pakistan

5	Buddika, D. y Coulibaly, P.	2020	Identificación de modelos hidrológicos para la predicción operativa de inundaciones en St. John's, Terranova, Canadá	Sciendirect	Aplicada	Cuantitativo	Previsión de inundaciones, Modelos hidrológicos, Pronóstico determinista	SAC-SMA, GR4J y HEC-HMS	Canada
6	Halwatura, D. y Najim, M.	2013	Aplicación del modelo HEC-HMS para simulación de escorrentía en una cuenca tropical	Sciendirect	Aplicada	Cuantitativo	Calibración, Validación, Número de curva SCS, Hidrograma unitario de Snyder, Hidrograma unitario de Clark	HEC-HMS	Kelaniya
7	Gumindoga, W. et. al.	2017	Simulación de escorrentía no calibrada en la cuenca de captación de Upper Manyame, Zimbabwe: Aplicación del modelo HEC-HMS	Sciendirect	Aplicada	Cuantitativo	Proxy – captación Sensores remotos, Enrutamiento de alcance, Hidrograma unitario de Snyder	HEC-HMS	Zimbabwe
8	Tamiru, H., Teshome, T. y Rientjes, T.	2016	Pronóstico de inundaciones en la cuenca del Níger-Benue utilizando datos de pronóstico de precipitación cuantitativos y satelitales	Sciendirect	Aplicada	Cuantitativo	Río Benue, Previsión de inundaciones, Producto de lluvia satélite, Previsiones de precipitaciones, Habilidad de pronóstico de inundaciones	HEC-HMS	Países bajos
9	Cabrera, J., Castro, L. y Crespo, P.	2019	Evaluación del modelo HEC-HMS para la	Dialnet	Aplicada	Cuantitativo	calibración, validación; humedales de	HEC-HMS	Colombia

			simulación hidrológica de una cuenca de páramo				páramo andino, escorrentía		
<b>10</b>	Lopez, J. et al.	2012	Caracterización del modelo HEC-HMS en la cuenca de río Arga en Pamplona y su aplicación a cinco avenidas significativas.	Scielo	Aplicada	Cuantitativo	Simulación de avenidas, modelos lluvia-escorrentía	HEC-HMS	España
<b>11</b>	Sari, P.	2018	Desempeño de la cuenca retardadora en la mitigación del riesgo de desastres por inundaciones en el río Welang, provincia de Java Oriental, Indonesia	UGM (Repositorio Universidad Gadjah Mada)	Aplicada	Cuantitativo	Río Welang, lavabo retardante, aliviadero lateral	HEC-HMS	Indonesia
<b>12</b>	Duong, P. et al	2017	Evaluación del impacto del cambio climático en los regímenes de caudal de los ríos en el delta del río Rojo, Vietnam: un estudio de caso de la cuenca del río Nhue-Day	JNRD (Journal of nature Recourses and development)	Aplicada	Cuantitativo	Modelado, Inundaciones, Sequía, Hidrología, Tendencias, Corrientes	HEC-HMS	Vietnam
<b>13</b>	Tu, H. et al	2020	Alerta temprana de inundaciones repentinas junto con simulación hidrológica y la tasa de aumento de la etapa de inundación en una pequeña cuenca montañosa en la provincia de Sichuan, China	MDPI	Aplicada	Cuantitativo	Inundaciones repentinas, Indicadores de alerta temprana, pequeña cuenca, área montañosa	HEC-HMS	China

<b>14</b>	Amrei, D. y Schmalz, B.	2020	Análisis de peligro de inundaciones en cuencas pequeñas: comparación de enfoques hidrológicos e hidrodinámicos mediante el uso de lluvia directa	Wiley online Library	Aplicada	Cuantitativo	modelado de lluvia directa (DRM), crecida repentina, modelado de inundación por inundación (FIM), modelado hidráulico, modelado hidrológico, inundaciones pluviales, pequeñas cuencas	HEC-HMS, HEC-RAS	Alemania
<b>15</b>	Baduna, M., Akay, H. y Melih, A.	2017	Estimación de los parámetros hidrológicos de la cuenca de Kocanaz mediante un modelo hidrológico	Doaj	Aplicada	Cuantitativo	Rio Kocanaz, calibración, validación, modelo hidrológico	HEC-HMS, HEC-RAS	India
<b>16</b>	Agathe, W., Mwangi, J. y Messo, J.	2019	Proyección de los extremos de las precipitaciones de la estación húmeda utilizando el conjunto de modelos climáticos regionales y el modelo avanzado de cambio delta: impacto en los picos del caudal en la cuenca de captación de Mkurumudzi, Kenia	MDPI	Aplicada	Cuantitativo	lluvia extrema húmeda, flujos máximos, modelos climáticos regionales, cambio delta avanzado	ADC, HEC-HMS	Africa
<b>17</b>	Alarcon, A. Et al.	2020	Estimación de áreas vulnerables a inundaciones en zonas urbanas: Morelia, Michoacán, México	revistatyca (tecnología y ciencia del agua)	Aplicada	Cuantitativo	Modelo, hietograma, estación meteorológica automática, hidrograma,	HEC-HMS	Mexico

							Gumbel, periodo de retorno		
18	Wulan, L.	2017	El uso de la variabilidad de las precipitaciones en la planificación de contramedidas contra inundaciones	UGM (Repositorio Universidad Gadjah Mada)	Aplicada	Cuantitativo	Río Rejoso, variabilidad de precipitaciones, escorrentía, normalización, terraplén	HEC-HMS , HEC-RAS	Indonesia
19	Ramos, A. y Pacheco, J.	2017	Análisis hidrológico e hidráulico de la cuenca del Río Frío, municipios de Ciénaga y zona bananera, departamento del Magdalena.	Redalyc	Aplicada	Cuantitativo	Modelos, cuenca, hidrología, hidráulica.	HEC-HMS , HEC-RAS	Colombia
20	Fernandez, S., Perez, D. y Brandizi, L.	2019	Avances en la modelación del escurrimiento superficial de una cuenca del sudoeste bonaerense. Caso de estudio: Sector Superior Cuenca Alta del Río Sauce Grande (Argentina)	Redalyc	Aplicada	Cuantitativo	Río Sauce Grande, escorrentía superficial, Simulación de crecidas	HEC-HMS	Argentina
21	Marin, A. y Barros, J.	2016	Modelación de tránsito de crecientes en el río Aburrá-Medellín para una propuesta de su restauración	Scielo	Aplicada	Cuantitativo	Modelación hidráulica; modelación hidrológica; restauración de cauces	HEC-HMS , HEC-RAS	Colombia

22	Rodriguez, S.	2017	Simulación dinámica de inundaciones asumiendo un estado crítico de máxima escorrentía, bajo cinco periodos de retorno, en la Quebrada La Virgen del Municipio de San José de Miranda- Santander	Redalyc	Aplicada	Cuantitativo	Inundación, simulación dinámica, hidrogramas, hietogramas, periodos de retorno	GIS;HEC-HMS; I-RIC	Colombia
23	Rivas, C.	2016	Zonificación de la amenaza por inundaciones en la planicie aluvial del río Borburata, estado Carabobo, Venezuela	Redalyc	Aplicada	Cuantitativo	Zonificación de la amenaza, inundación, planicie aluvial, Borburata, estado Carabobo	HEC-HMS	Venezuela
24	Paudel, R. y Basnte, K.	2019	Aplicación del modelo HEC-HMS para la simulación de escorrentía: un estudio de caso de la cuenca del río Marshyangdi en Nepal	Academia	Aplicada	Cuantitativo	Modelado de lluvia-escorrentía, Hidrogeología, Investigación hidroquímica, conservación del suelo, erosión del viento, modelado de escorrentía superficial, evaluación de recursos hídricos	HEC-HMS y modelado SWAT	India
25	Demetrio, A., Labate, A., Martino, D. y Zimbone, M.	2016	Comparación de diferentes métodos de infiltración del modelo HEC-HMS: el estudio de caso del Mésima torrent (sur de Italia)	Academia	Aplicada	Cuantitativo	Hidrología, modelado y simulación, ambiente semiáridos	HEC-HMS, Verde-Ampt	Italia

26	Thu, K.	2020	Desarrollo de un mapa de inundaciones para la cuenca superior del río Chindwin mediante el uso de HEC-HMS y HEC-RAS	Academia	Aplicada	Cuantitativo	Modelado de lluvia-escorrentía, Modelado de inundaciones	HEC-HMS	China
27	Gonzalo, R.	2017	Importancia de la Disponibilidad de Agua Producida en la Alta Cuenca del Río Escoipe - Chicoana. Departamento de Chicoana, Provincia de Salta, República Argentina (noviembre-2017)	Academia	Aplicada	Cuantitativo	Lluvia, sistemas de información geográfica, Puna, abastecimiento de agua, modelos matemáticos, cálculo de caudal, ambiente rural	HEC-HMS; Geographic Information Systems (GIS)	Argentina
28	Salomon, E.	2018	La protección contra inundaciones, beneficio no intencionado de la práctica del entarquinamiento evaluación de un escenario hipotético de supresión del sistema de entarquinamiento con un gasto de diseño de 100 años	Academia	Aplicada	Cuantitativo	Hidrología, sistemas de agua antiguos, tecnología del agua antigua	HEC-HMS; HEC-RAS	Mexico
29	Medeiros, F.	2017	Estudio de las propiedades físicas del suelo en la parametrización de modelos hidrológicos orientados a la prevención de desastres naturales en la cuenca hidrográfica del río Paraíba en el estado de Alagoas, Brasil (tesis doctoral)	Repositorio Universidad de Evora	Aplicada	Cuantitativo	la hidrología , inundaciones	HEC-RAS,MGBIPH	Brasil

---

<b>30</b>	Wang, S.	2020	Incertidumbres en la evaluación de inundaciones individuales y compuestas por descargas de ríos y niveles de agua costera bajo el cambio climático	Western Libraries	Aplicada	Cuantitativo	Inundación compuesta, modelo hidrodinámico, cambio climático, Análisis de incertidumbre	HEC-HMS, HEC-RAS, Curvas IDF	Canada
-----------	----------	------	--	-------------------	----------	--------------	---	------------------------------	--------

---



## CAPÍTULO III.RESULTADOS

Después de aplicar el método PRISMA propuesto por Moher (2009) para la selección de los artículos científicos, se muestra a continuación los siguientes resultados: se tomaron 92 registros identificados de la búsqueda de bases de datos, donde no hubo artículos de otras fuentes (impresas). Se seleccionaron 81 registros después de eliminar duplicados. Posterior a ello se seleccionaron 30 registros después de excluir 35 artículos bajo los criterios definidos. Finalmente, en la elegibilidad se seleccionaron 30 artículos con base en los criterios de inclusión de síntesis cuantitativa y ninguno de síntesis cualitativa (Véase figura 2).

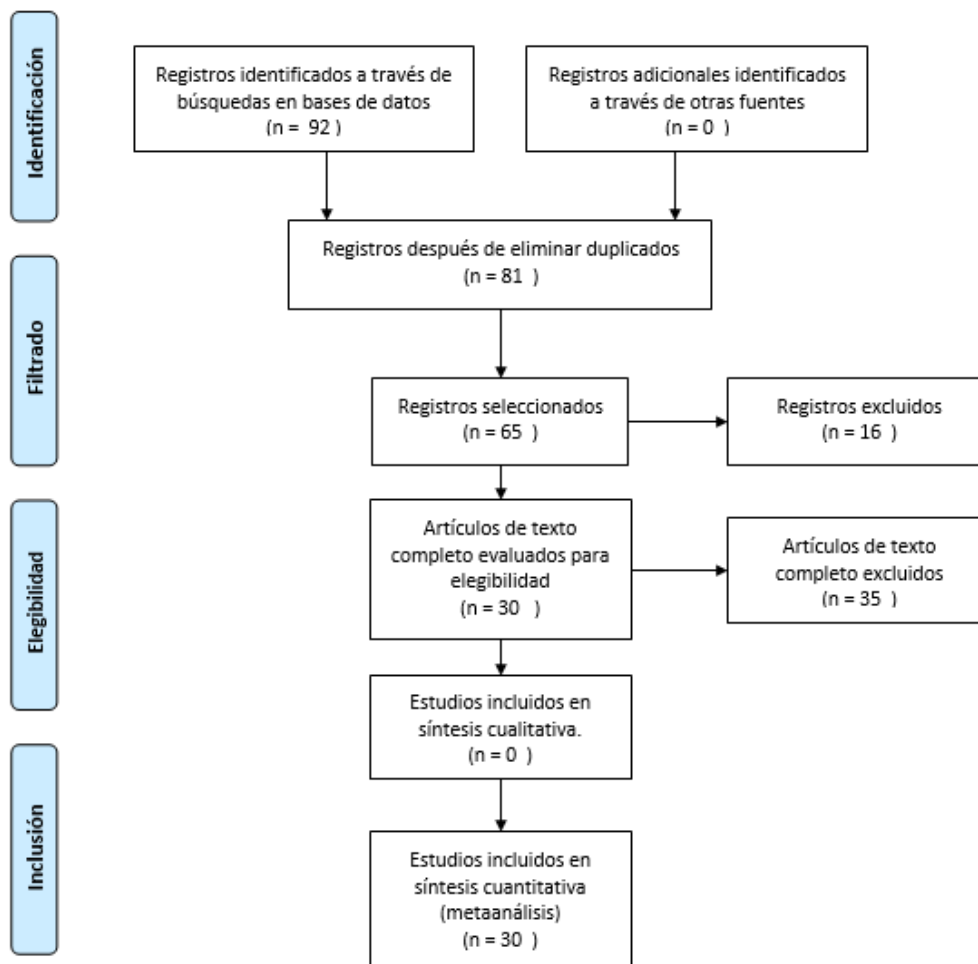


Figura 2. Resultados de método PRISMA

Fuente: Moher (2009)

Una vez seleccionados los artículos, se creó una base de datos para sintetizar la información, con la finalidad de crear la estadística resultante, haciendo referencia a los años de publicación, origen de artículos, fuentes digitales seleccionadas, tipo de investigación, instrumentos aplicados y variables de cada estudio. Todo en función de los parámetros seleccionados en el presente metaanálisis.

### **Sobre la pluralidad del tema en diferentes ámbitos científicos:**

La base de datos de los papers seleccionados, indican que el 3 % pertenece a la Universidad de Evora (1), 3 % a la revista de ciencia y tecnología del agua (1), 3 % al sitio web Western Libraries (1), 3 % a la revista Doaj (1), 3 % en la revista Journal of Nature Recourses and development (1), 3 % de la revista Dialnet (1), 3 % de la revista Wiley online Library (1). Un 7 % son de la revista Scielo (2), en igual porcentaje en la revista MDPI (2) y en el repositorio de la Universidad Gadjah Mada (2). En el mismo orden de ideas, un 13 % fue hallado en la revista Redalyc (4), un 17 % en la revista digital Academia (5). El mayor porcentaje fue hallado en la revista Sciendirect con un 26.67 % (8).

**Tabla 2**  
*Resultados sobre pluralidad en ámbitos científicos*

Ámbitos científicos	Cantidad	Porcentaje
Repositorio Universidad de Evora	1	3.33%
revistatyca (tecnología y ciencia del agua)	1	3.33%
Western Libraries	1	3.33%
Doaj	1	3.33%
JNRD (Journal of nature Recourses and development)	1	3.33%
Dialnet	1	3.33%
Wiley online Library	1	3.33%
Scielo	2	6.67%
MDPI	2	6.67%
UGM (Repositorio Universidad Gadjah Mada)	2	6.67%
Redalyc	4	13.33%
Academia	5	16.67%
Sciendirect	8	26.67%
<b>Total general</b>	<b>30</b>	<b>100.00%</b>

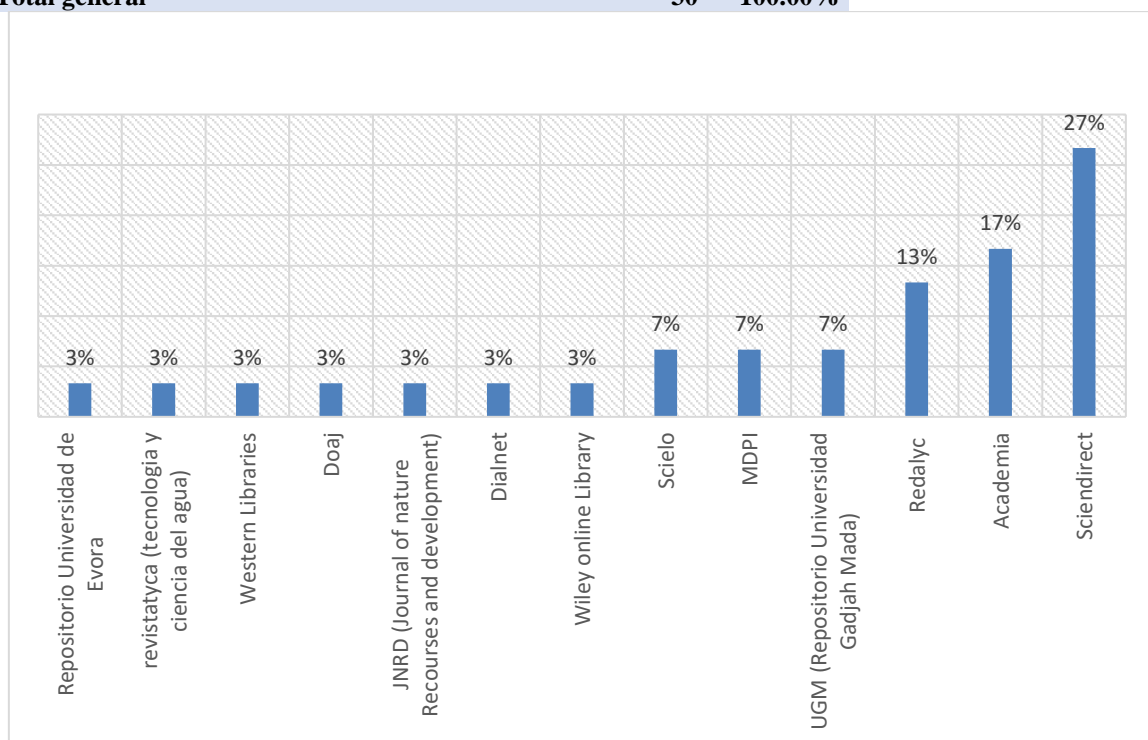


Figura 3. Base de datos de artículos seleccionados

Como se muestra en la figura anterior, el tema tiene suficiente sustentación científica en trabajos previos, en diferentes lugares de la web, lo que indica una base sólida para el desarrollo de un estudio futuro referente al uso de software para el análisis de caudales pluviales enfocados en procesos hídricos.

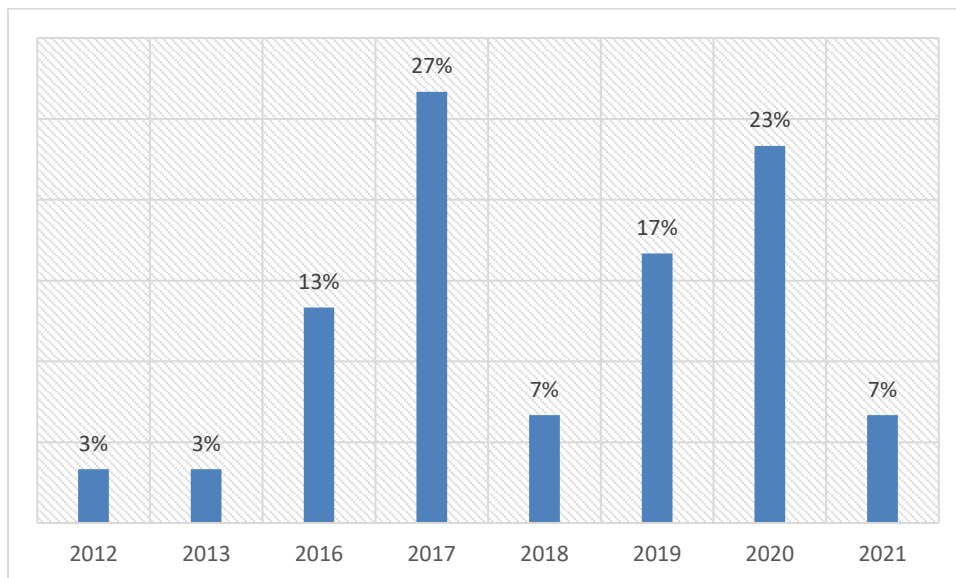
La revisión efectuada tiene hallazgos interesantes con respecto a la variedad de artículos presentes en bases de datos digitales como Scindirect, Doaj, Redalyc, Scielo, NDPI, entre otros. La cual demuestra la potencialidad del tema, tanto en el uso de software para el análisis de caudales pluviales, así como su aplicabilidad en procesos hidrológicos, con diferentes características naturales, como, por ejemplo, riachuelos y cuencas en ambientes semiáridos, la cual se adapta a las características de quebradas presentes en el territorio peruano. Esto con el propósito de tomar dichos estudios como el desarrollo de investigaciones en nuestro país.

### **Sobre la modernidad y vigencia del tema:**

Con respecto a la vigencia de los papers seleccionados, se pudo constatar que para los últimos 10 años el tema relacionado con las variables de estudio, tiene aplicación reciente, evidenciado a que la mayoría de los artículos no son mayores a 5 años de vigencia. Lógicamente por el carácter vanguardista en cuanto a la aplicación de software para el análisis de caudales pluviales, donde se tiene en el mercado actualizaciones constantes. En tal sentido, la estadística muestra que un 3 % de los artículos fueron publicados en el año 2012 (1), al igual que 3 % de los artículos para el año 2013 (1). En el presente año 2021 se halló un 6.67 % de publicaciones en la comunidad científica (2). Para el año 2018 se hallaron el 6.67 % de los artículos (2). Se tiene un 13.3 % de artículos publicados el año 2016 (4). En el mismo contexto, para el año un 16.67 % de los artículos corresponden al año 2019 (5). Para el año 2020 se publicaron un 23.3 % de los artículos sobre el tema de interés del presente metaanálisis (7). Un significativo 26.67 % de la base de datos, son papers publicados en el año 2017 (8). A continuación, en la figura 3 se evidencia la estadística resultante con respecto a lo moderno del tema.

**Tabla 3**  
*Resultados de años de publicación de artículos científicos*

Año de publicación	Cantidad	Porcentaje
2012	1	3.33%
2013	1	3.33%
2021	2	6.67%
2018	2	6.67%
2016	4	13.33%
2019	5	16.67%
2020	7	23.33%
2017	8	26.67%
<b>Total general</b>	<b>30</b>	<b>100.00%</b>



*Figura 4. Años de publicación de artículos científicos*

La base de datos muestra que el 80 % de los papers científicos seleccionados corresponden a una vigencia no mayor a 5 años, lo que manifiesta el carácter innovador dentro de la comunidad de ingenieros civiles e hidrológicos. Adicionalmente se pudo constatar que los softwares poseen actualizaciones de licencias, lo que indica el carácter innovador de los instrumentos, para el análisis de caudales pluviales. Así como el procesamiento de datos a escala, simulaciones de eventos de escorrentía, inundaciones, análisis de escenarios y/o comportamiento de ríos, quebradas, riachuelos, etc.

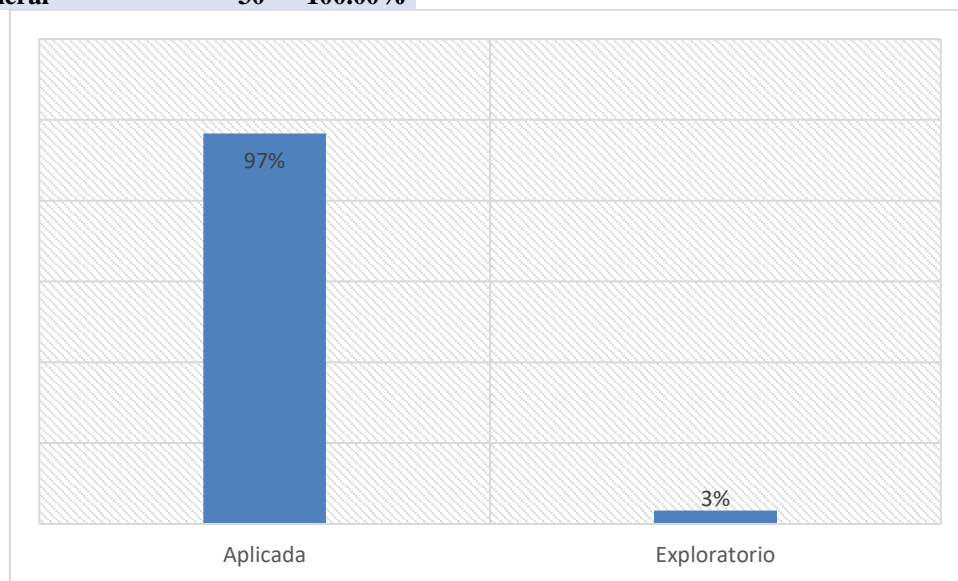
### Sobre el tipo y de investigación:

El tipo de investigación hallado, según la estadística resultante en la figura 5, muestra que un 97 % de los papers son de tipo aplicado (29), mientras que solo un 3 % es de tipo exploratorio (1). En este último se buscó un modelo matemático con base en el Software HEC-HMS, un tema innovador donde propone una nueva forma de análisis de caudales pluviales (ver tabla 4).

**Tabla 4**

*Resultados sobre tipo de investigación*

Tipo de investigación	Cantidad	Porcentaje
Exploratorio	1	3.33%
Aplicada	29	96.67%
<b>Total general</b>	<b>30</b>	<b>100.00%</b>



*Figura 5. Tipo de investigación de artículos científicos*

### Sobre el origen de los artículos:

La base de datos revela el gran alcance del tema, como se puede mostrar en la siguiente figura 7, en una proporción de 3 % se hallaron papers de África (1), Alemania (1), Italia (1), Brasil (1), Kelaniya (1), Filipinas (1), Países Bajos (1), Vietnam (1), Pakistán (1), Zimbabue (1), USA (1), España (1) y Venezuela (1). Seguidamente, tenemos en una

proporción equivalente de 7 %, papers desarrollados en los países de Indonesia (2), China (2), México (2), Canadá (2), y Argentina (2). Posteriormente, se tiene que el 10 % son provenientes de la India (3) y para cerrar, el mayor porcentaje con un 13 % corresponden a estudios aplicados en Colombia (4).

**Tabla 5**  
*Resultados sobre país de origen de artículos científicos*

<b>País de origen</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Porcentaje</b>
África	1	3.33%
Alemania	1	3.33%
Italia	1	3.33%
Brasil	1	3.33%
Kelaniya	1	3.33%
Filipinas	1	3.33%
Países bajos	1	3.33%
Vietnam	1	3.33%
Pakistán	1	3.33%
Zimbabwe	1	3.33%
USA	1	3.33%
España	1	3.33%
Venezuela	1	3.33%
Indonesia	2	6.67%
China	2	6.67%
México	2	6.67%
Canadá	2	6.67%
Argentina	2	6.67%
India	3	10.00%
Colombia	4	13.33%
<b>Total general</b>	<b>30</b>	<b>100.00%</b>

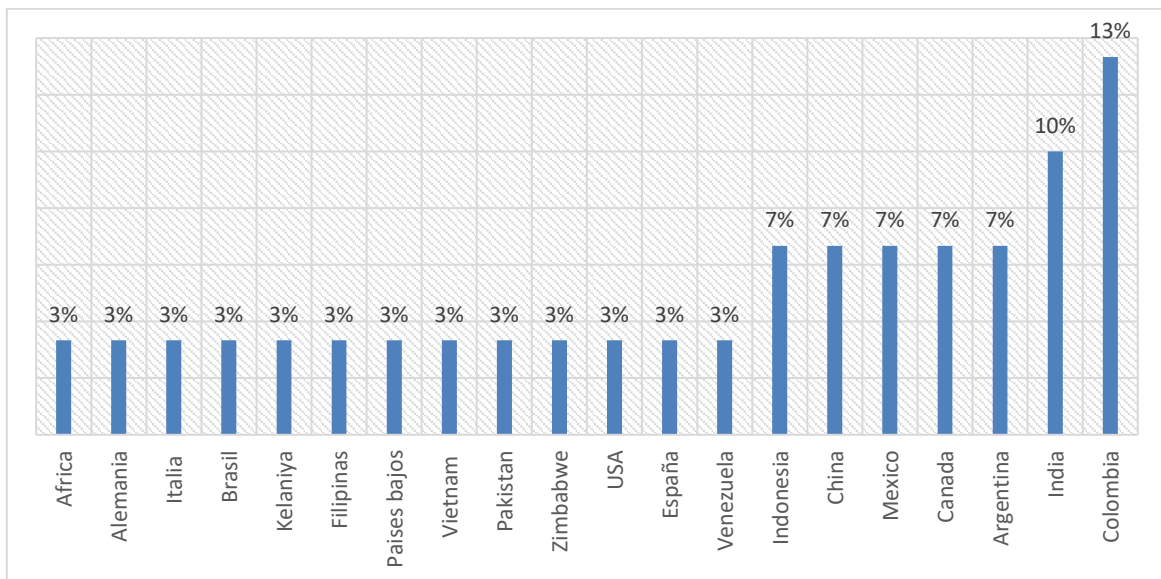


Figura 6. Origen de artículos científicos

Según el análisis anterior, se puede mostrar la aplicabilidad del tema en 20 países diferentes, con condiciones geográficas y culturales distintas, lo que da un soporte sólido para el desarrollo de futuras investigaciones. Su carácter innovador dentro de la ingeniería civil, permite el desarrollo de avances que faciliten el desarrollo sustentable del país, en el marco de la factibilidad económica que la precede. De igual forma, se pudo evidenciar la gran diversificación hallada, al obtener de distintos continentes, desde Norteamérica, Europa, Asia y el medio Oriente.

#### Referente al instrumento utilizado:

El metaanálisis considera relevante esta estadística, para futuras aplicabilidades a investigaciones a desarrollar en el futuro. Es decir, a través del presente resultado, busca seleccionar el software ideal para el desarrollo de una futura investigación científica. Por consiguiente, se tiene que los estudios utilizaron los siguientes softwares mostrados en la tabla 7, en algunos casos combinando con otro software.

**Tabla 6**  
*Resultados sobre instrumentos de investigación*



Instrumentos de investigación	Cantidad	Porcentaje
HEC-HMS, HEC-RAS, Curvas IDF	1	3.33%
HEC-HMS, Verde-Ampt	1	3.33%
CCT_designer	1	3.33%
HEC-HMS; Geographic Information Systems (GIS)	1	3.33%
GIS;HEC-HMS; I-RIC	1	3.33%
Software de modelado propio	1	3.33%
HEC-HMS y modelado SWAT	1	3.33%
HEC-HMS; HEC-RAS	1	3.33%
ADC, HEC-HMS	1	3.33%
HEC-RAS,MGBIPH	1	3.33%
SAC-SMA, GR4J y HEC-HMS	1	3.33%
MIROC5, y MPI-ESM-LR	1	3.33%
HYDROVISE	1	3.33%
HEC-HMS, HEC-RAS	2	6.67%
HEC-HMS , HEC-RAS	3	10.00%
HEC-HMS	12	40.00%
<b>Total general</b>	<b>30</b>	<b>100.00%</b>

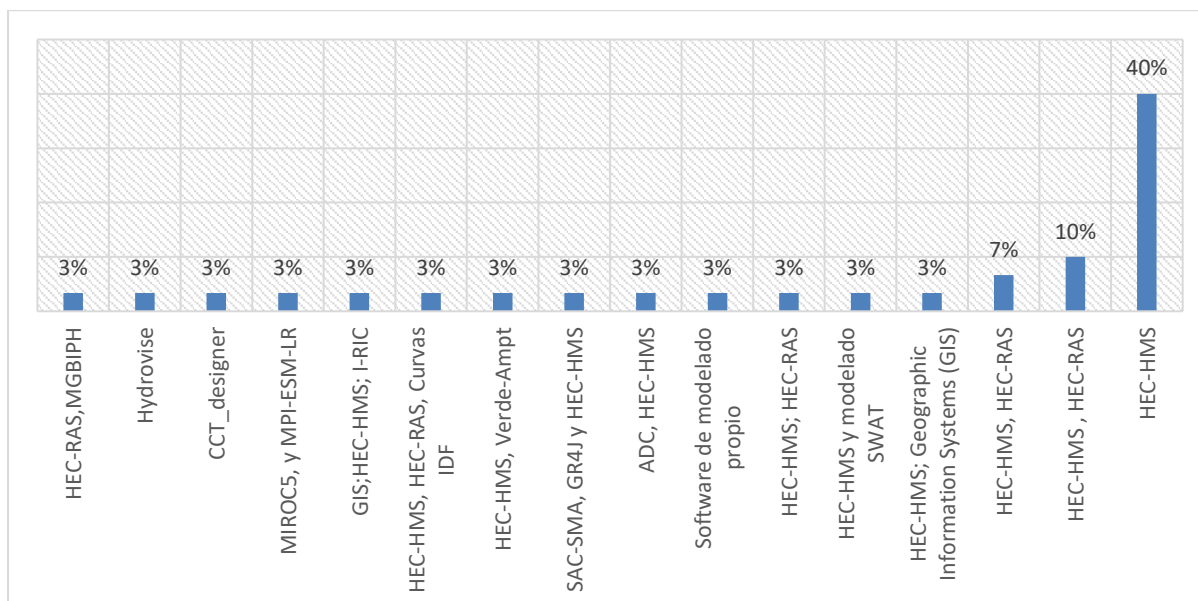


Figura 7. Instrumentos de investigación de artículos científicos

En análisis con el resultado anterior y según la gráfico 8, se puede observar que el software más utilizado es el HEC-HMS con un 40 %. Sin embargo, si se toma en cuenta las

veces que es usado con otros softwares en análisis combinados, se tiene que es utilizado en 25 papers, de los 30 seleccionados, equivalente a un significativo 83.33 %.

## Resultado del análisis global de los estudios por categorías

**Tabla 7**

*Categorías resultantes de la revisión sistemática*

Categorías	Información seleccionada en los artículos de investigación.
1 <i>Modelo HEC-HMS</i>	<p>Para el análisis de riesgo por escorrentía en lagos, ríos o quebradas, el análisis a través del software HEC-HMS ha demostrado su efectividad en las simulaciones, de los posibles escenarios críticos. Un ejemplo práctico, es el estudio de Buddika, D. y Coulibaly, P. (2020) donde planteó modelos hidrológicos para identificar modelos adecuados para el pronóstico operativo de inundaciones en la cuenca del río Waterford. Estos modelos incluyeron tres modelos conceptuales agrupados (Contabilidad de la humedad del suelo de Sacramento, un modelo semi distribuido y un modelo basado físico completamente distribuido. Los mejores modelos se eligieron mediante la comparación de criterios de rendimiento. Para verificar el potencial de los mejores modelos hidrológicos para uso operativo, se realizaron pronósticos hidrológicos deterministas.</p> <p>La simulación hidrológica que emplea modelos informáticos ha avanzado rápidamente y los modelos informáticos se han convertido en herramientas esenciales para comprender las influencias humanas en los flujos de los ríos y diseñar enfoques de gestión del agua ecológicamente sostenibles (Halwatura y Najim, 2013)</p> <p>Gumindoga, W. et. al. (2017) aplicó el modelo del Sistema de Modelado Hidrológico del Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC-HMS) para simular la escorrentía en las diez subcuencas del Alto Manyame calibradas y no calibradas en Zimbabwe. Se utilizaron técnicas de teledetección y sistemas de información geográfica para determinar los parámetros geométricos e hidrológicos necesarios para estimar los parámetros del modelo. El método del hidrograma unitario de Snyder se utilizó para simulaciones de subcuencas no calibradas basadas en la transferencia de parámetros de subcuencas calibradas. Como resultado, las subcuencas de Marimba y Mukuvisi se consideraron subcuencas calibradas en función de la completitud de los datos para el período de simulación (2004-2010).</p>

Duong, P. et al (2017) indicó que el calentamiento global ha provocado cambios dramáticos en la variabilidad climática regional, particularmente en lo que respecta a las fluctuaciones de temperatura y lluvia. Por lo tanto, se predice que los regímenes de flujo de los ríos se alterarán en consecuencia. El propósito de este artículo es presentar los resultados de la modelización de dichos cambios mediante la simulación de descargas utilizando el modelo HEC-HMS. Los hallazgos mostraron que el impacto del cambio climático en los regímenes de flujo de los ríos tiende a una disminución en la estación seca y una mayor duración del flujo de las inundaciones.

Baduna, Akay y Melih (2017) estimaron los parámetros hidrológicos de la cuenca de Kocanaz ubicada en la región occidental del Mar Negro, utilizando un modelo hidrológico semi-distribuido, Centro de Ingeniería Hidrológica - Sistema de Modelado Hidrológico (HEC-HMS). En este estudio, el modelo hidrológico se estableció para dos eventos de inundación ocurridos en 2002 y 2013, en los cuales uno se utilizó para la calibración y el otro para la validación de los parámetros hidrológicos calibrados. La cuenca se introdujo en el modelo como una cuenca única.

Alarcon, A. Et al. (2020) realizaron un estudio para urbanismos de la ciudad de Morelia Michoacan, la cual estan vulnerables a inundaciones, causadas por el río Grande de Morelia que la cruza; esto, mediante la aplicación de un modelo hidrológico HEC-HMS.

Cabrera, Castro y Crespo (2019) simularon el proceso hidrológico de lluvia-escorrentía a través del software HEC-HMS en una cuenca de páramo de aproximadamente 21.8 km<sup>2</sup> al sur del Ecuador. La calibración y validación comprende el periodo de julio del año 2013 a junio del 2016, con datos diarios tomados directamente.

López (2012) hizo varios modelos con HEC-HMS de la cuenca del río Arga en Pamplona, de las que cual se disponen de los mínimos datos de caudal y precipitación necesarios para determinar el nivel de riesgo para los urbanismos aledaños.

Demetrio, Labate, Martino y Zimbone (2016) presentaron un caso de estudio adecuado para evaluar la capacidad de predicción de la escorrentía de HEC-HMS mediante los métodos de infiltración disponibles son los torrentes semiáridos típicos del sur de Italia, ya que son cursos de agua pequeños e intermitentes, a menudo sujetos a inundaciones repentinas de gran magnitud y eventos erosivos.

Tu (2020) enfatizó que las inundaciones repentinas en las zonas montañosas se han vuelto más graves y frecuentes como

---

resultado del cambio climático y son una amenaza para la seguridad pública y el desarrollo social. Este estudio explora la aplicación de modelos hidrológicos distribuidos en la gestión del riesgo de inundaciones repentinas en una pequeña cuenca en la provincia de Sichuan, China, y tiene como objetivo aumentar el tiempo de espera de alerta temprana en áreas montañosas. Se utilizó el modelo del Sistema de Modelado Hidrológico del Centro de Ingeniería Hidrológica (HEC-HMS) para simular el proceso de crecida repentina y analizar la variación en los hidrogramas de crecida.

---

## 2 *Simulación hidrológica*

Uno de los impactos del cambio climático es el cambio impredecible de las estaciones y los patrones de lluvia que causaron las inundaciones. La simulación tiene como objetivo investigar el efecto de la variabilidad de las precipitaciones en la escorrentía y el perfil del nivel del agua de inundación a lo largo del canal del río para proporcionar recomendaciones técnicas y no técnicas para manejar los problemas de inundaciones. Se suelen aplicar varias variaciones del patrón de lluvia extrema (al modelo simulado) en el cálculo de lluvia-escorrentía para determinar las descargas de inundación representativas que se utilizarán como entrada a la simulación hidráulica para evaluar las características del nivel de agua de inundación (Wulan,2017)

Para Thu (2020) las inundaciones son uno de los desastres naturales que ocurren en ciudades como Myanmar cada año. La inundación de los ríos ha causado muchas pérdidas humanas y económicas. El mapeo de inundaciones a través de simulación, es un componente esencial de la gestión del riesgo de inundaciones porque los mapas de inundaciones no solo brindan información geoespacial precisa sobre el alcance de las inundaciones, sino que también pueden ayudar a los tomadores de decisiones a extraer otra información útil para evaluar el riesgo relacionado con las inundaciones, como la pérdida de personas, daños y degradación ambiental.

Jadidoleslam, Goska, Mantilla y Witold (2020) desarrollaron un software de código abierto basado en navegador web no propietario que permite a los usuarios visualizar y evaluar datos hidrológicos de espacio-tiempo en un entorno interactivo. Hydrovise es un software basado en navegador del lado del cliente que interpreta un archivo de configuración para construir elementos de control en la interfaz gráfica de usuario para visualizaciones de datos de espacio-tiempo y evaluaciones de simulación de modelos. Esta capacidad convierte a Hydrovise en una solución flexible y portátil en la que los usuarios pueden compartir sus datos hidrológicos en un entorno web interactivo.

Nagdeve, Kumar, Zhang y Singh (2021) diseñó una trinchera de contorno continuo (CCT), que se usa generalmente en cuencas

---

hidrográficas semiáridas para conservar el agua y reducir la erosión del suelo. Todavía hay una falta de comprensión de cómo el CCT influye en los procesos hidrológicos a escala de cuencas hidrográficas. Por lo tanto, CCT se utilizó con dimensiones arbitrarias. Sin embargo, la estandarización de las dimensiones de CCT puede mejorar su desempeño desde la perspectiva del usuario. Por lo tanto, este estudio investigó el mecanismo de la CCT estandarizada para influir en el comportamiento hidrológico en dos microcuencas semiáridas emparejadas (tratadas con el sistema CCT versus no tratadas) mediante el uso de un sistema de modelado hidrológico distribuido con base física MIKE SHE. El modelo de base física funcionó satisfactoriamente en la simulación de escorrentía superficial, niveles de agua subterránea y humedad del suelo durante los períodos de calibración y validación.

Hussain, Z. et. Al (2021) indicaron que el cambio climático es reconocido como uno de los mayores desafíos del siglo XXI. Este estudio investigó los regímenes climáticos e hidrológicos de la cuenca alta del Indo para el período histórico y los escenarios extremos del clima futuro durante el siglo XXI. Se desarrollaron conjuntos de datos mejorados de precipitación y temperatura y se obligó a adoptar un modelo hidrológico de capacidad de infiltración variable (VIC) de equilibrio energético totalmente distribuido y basado en la física para simular el equilibrio hídrico a escala regional y de subcuenca. XXI. Del mismo modo, una disminución de 11

Tamiru, Teshome, y Rientjes (2016) mostraron la disponibilidad de datos de precipitaciones fiables, oportunos y precisos está limitando el establecimiento de sistemas de predicción de inundaciones y alerta temprana en muchas partes de África. Evaluamos el potencial de los datos de pronóstico meteorológico y satelital como entrada para un modelo de pronóstico de inundaciones parsimonioso para proporcionar información de alerta temprana de inundaciones en la parte central de Nigeria. Calibramos el modelo de lluvia-escorrentía HEC-HMS utilizando datos de lluvia de la misión de medición de lluvia tropical en tiempo real.(TRMM) Producto de análisis de precipitación multisatélite (TMPA).

Ramos y Pacheco (2017) indicaron que gracias a las aproximaciones efectivas de los modelos de HEC-HMS y HEC-RAS, determinaron el comportamiento hidrológico e hidráulico de la cuenca del río Frío, en el departamento del Magdalena, motivado a las inundaciones ocurridas en los últimos años.

Fernández, Pérez y Brandazi (2019) presentó la calibración del modelo de simulación hidrológica determinístico aplicado a un

área de drenaje correspondiente al sector superior del río Sauce Grande, ubicado en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina).

Rodríguez (2017) analizó el dinamismo de las inundaciones asumiendo un entorno crítico de escorrentía que incluye simulaciones hidráulicas en dos dimensiones para la quebrada La Virgen en el municipio de San José de Miranda.

Rivas (2016) presentó los resultados de su simulación hidrológica de las cuencas que atraviesan la ciudad de Borburata. Se muestra que el área presenta alta amenaza por inundaciones de escorrentía, principalmente en los sectores de la llanura donde se encuentra emplazada la población mencionada.

Paudel y Basnte (2019) indicaron que muchos ríos en Nepal no están calibrados o mal calibrados debido a los terrenos extremadamente complejos, el clima monzónico y la falta de apoyo técnico y financiero. En este contexto, el papel del modelo hidrológico es de gran utilidad. En aplicaciones prácticas, los modelos hidrológicos son relativamente simples de implementar y razonablemente precisos. El presente estudio se refiere a simular el caudal de la cuenca del río Marshyangdi y validarlo con la estación de medición dentro del área de la cuenca estudiada. Además, en este estudio se ha realizado la estimación y análisis de las descargas para cada subcuenca de la cuenca del río Marshyangdi. El modelo hidrológico HEC-HMS 4.3 (desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica de EE. UU. Se utilizó para calibrar (de 2003 a 2007) y validar (de 2008 a 2012) la cuenca del río Marshyangdi.

Gonzalo (2017) empleó el software HEC–HMS, un sistema de información geográfica cuyos soportes espaciales fueron imágenes satelitales y un Modelo Digital de Elevación (DEM) obtenidas de Google Earth Pro y de la USGS (EEUU) para estimar la disponibilidad de en el punto de cierre de la cuenca del Río Escoipe.

---

3 *Diseño de ingeniería*

La creación de estructuras y desarrollos urbanísticos en áreas geográficas donde existen precipitaciones continuas, se hacen analizando los posibles riesgos de lluvia, inundaciones o escorrentías, para proteger, tanto la estructura, como los habitantes que en ella habitan, laboran y/o recrean (Sari, 2018)

El enfoque clásico de diseño 'desacoplado' para inundaciones fluviales hace uso de hidrogramas como condiciones de frontera de entrada. La hidrología de la cuenca se determina mediante modelos

---

empíricos semi distribuidos de lluvia-escorrentía, los procesos de inundación mediante el uso de modelos hidrodinámicos. Sin embargo, para el diseño de urbanismos, la lluvia distribuida se establece directamente como entrada ('modelado de lluvia directa' - DRM) para los elementos del modelo 2D. Este 'enfoque integrado' tiene como objetivo incluir procesos hidrológicos e hidráulicos en un solo modelo. (Amrei y Schmalz,2020)

Por su parte, Salomón (2018) muestra una evaluación en el funcionamiento hidrológico del sistema, enfocando la atención en la superficie utilizada para la sedimentación, ya que aguas abajo existen localidades que podrían verse afectadas por la susceptibilidad a los fenómenos de inundación.

Inclusive las herramientas son utilizadas para la creación de Sistemas de Monitoreo de Inundaciones (SMC), el cual se implementa para monitorear caudales extremos y sus consecuentes impactos en áreas consideradas en riesgo de inundación / inundación, en las márgenes de la Cuenca Hidrográfica del Río Paraíba, Estados de Alagoas y Pernambuco - Brasil. Esta región tiene un historial de inundaciones e inundaciones, como el evento ocurrido en junio de 2010, responsable de la destrucción de innumerables viviendas y varias muertes en los últimos años (Medeiros,2017)

Baek, S. et Al. (2019) indicó que los urbanismos han tenido un impacto negativo en los entornos ecológico e hidrológico a escala mundial, regional y local. Este problema se abordó mediante el desarrollo de prácticas de desarrollo de bajo impacto (LID) para ofrecer una mejor función hidrológica y mejorar los resultados ambientales, económicos, sociales y culturales. El estudio desarrolló un software de modelado para simular y optimizar biorretenciones entre LID en una cuenca determinada. El modelo calculó una infiltración detallada del sueloproceso en biorretención con condiciones hidrológicas (por ejemplo, suelo insaturado y saturado) e instalaciones hidráulicas (por ejemplo, tubo ascendente y drenaje) y también generó un plan optimizado utilizando la Curva de duración del flujo (FDC). El resultado de la optimización de la simulación demostró que la ubicación y el tamaño de la biorretención, así como la textura del suelo, son elementos importantes para una biorretención eficiente. Esperamos que este software desarrollado ayude a establecer estrategias LID efectivas para mejorar la sostenibilidad y la gestión del agua urbana.

Para Agathe, Mwangi, y Messo (2019) cada año, muchos países africanos sufren peligros naturales como inundaciones y, debido a su escasa capacidad de adaptación, apenas tienen los medios para afrontar las consecuencias y, por tanto, sufren enormes

---

pérdidas económicas. Las lluvias extremas juegan un papel clave en la ocurrencia de estos peligros. Por lo tanto, los estudios de proyección climática deberían centrarse más en los extremos para proporcionar una gama más amplia de escenarios futuros de extremos que puedan ayudar a la toma de decisiones políticas en las sociedades africanas.

Marin y Barros (2016) formularon alternativas de restauración para algunos tramos del río Medellín que presentan un alto grado de afectación antrópica. Para el análisis hidrológico e hidráulico se utilizaron los programas HEC-HMS, HEC-RAS e Iber como soporte técnico para establecer las medidas de restauración. Se espera que los resultados de este proyecto sirvan como apoyo para otros de mayor alcance como el POMCA, el proyecto Bio 2030 y los Parques del Río Medellín.

Wang (2020) indicó que el cambio climático puede afectar los riesgos de inundaciones en muchas regiones del mundo, especialmente en las zonas costeras bajas. La ocurrencia simultánea de múltiples generadores de inundaciones, como los altos caudales de los ríos y los niveles de agua costera, puede agravar dichos impactos y causar daños catastróficos. En este estudio, los efectos individuales y compuestos de las inundaciones ribereñas y costeras se investigan en Stephenville Crossing, una ciudad ubicada en la región costera-estuarina de Terranova y Labrador (NL), Canadá. Se evalúan los impactos del cambio climático en las características de las inundaciones y las incertidumbres correspondientes asociadas con las entradas y la estructura del modelo y los escenarios de emisión.

---



## CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES

El presente metaanálisis se coloca dentro de un contexto referente a el uso de softwares para el análisis de caudales pluviales y su aplicación en proceso hidrológicos naturales durante los últimos 10 años (periodo 2011- 2021) dentro de la ingeniería civil. Sus diferentes aplicaciones incluyen análisis de ríos, caudales, quebradas, etc. Que presentan riesgo de desbordamiento o inundaciones, con posibles pérdidas materiales en algunos casos.

Para dar respuesta a la interrogante ¿Existe información sobre softwares para el análisis de caudales pluviales aplicados a procesos hidrológicos? Se desarrolló una búsqueda a través del método PRISMA en diferentes bases de datos digitales dentro de la comunidad científica de la ingeniería civil, para constatar que hay mucha información y conocimiento con respecto al tema, de manera diversificada (por su variedad tanto en las fuentes como en las ciudades de origen) y moderna (con artículos vigentes no mayores a 5 años de publicados).

La información seleccionada nos permitió crear una base de datos con 13 fuentes digitales de revistas científicas indexadas, con un 93.3 % de los artículos no mayores a 5 años de vigencia, en 20 países de distintos continentes e idiomas. Los estudios seleccionados son en un 96.67 % del tipo aplicados, con el uso del software HEC-HMS en un 76.67 % de los investigaciones escogidas.

La revisión sistemática permite concluir que si existe información sobre software para analizar caudales ´pluviales, donde el Software HEC-HMS es el más utilizado, la cual ha demostrado más aplicabilidad precisión en sus resultados, según los distintos modelos propuestos por diversos investigadores, para el análisis de caudales pluviales para procesos

hidrológicos naturales, por lo que son base sólida para el desarrollo para futuras investigaciones a nivel de ingeniería civil. Dentro de las limitaciones está el alcance de las capacidades a nivel de hardware de los investigadores, en el uso del instrumento.

Los modelos hidrológicos han permitido grandes avances en los estudios de las cuencas hidrográficas, la utilización de modelos como HEC-HMS han recibido una gran acogida por la comunidad mundial de ingenieros. Gracias a sus grandes aproximaciones, el modelo de HEC-HMS fueron seleccionados para realizar las modelaciones de los estudios seleccionados, para determinar el comportamiento hidrológico en caso de inundaciones.

El instrumento más utilizado según la estadística resultante, fue el software HEC-HMS, con una presencia en un 80 % de los 30 artículos seleccionados a través del método PRISMA (Moher, 2009). El presente metaanálisis también fue desarrollado con el propósito de seleccionar la herramienta más usada, más moderna y precisa en cuanto a los resultados arrojados. Una muestra es el uso de la herramienta por parte de los investigadores Duong, P. et al (2017) donde presentaron los resultados de la modelización de dichos cambios mediante la simulación de descargas utilizando el modelo HEC-HMS. La precipitación se proyectó utilizando modelos climáticos múltiples de resolución súper alta, con escenarios de emisión recientemente actualizados como entrada para el modelo HEC-HMS para el análisis de flujo en la cuenca del río Rojo en la zona norte de Vietnam. Los hallazgos mostraron que el impacto del cambio climático en los regímenes de flujo de los ríos tiende a una disminución en la estación seca y una mayor duración del flujo de las inundaciones. Se simula una leve reducción de la escorrentía para noviembre, mientras que se modela un aumento considerable de la escorrentía para julio y agosto que asciende a 30% y 25%, respectivamente. Los

escenarios de descarga sirven como base para que los administradores del agua desarrollen métodos de adaptación adecuados y respuestas a escala de cuenca hidrográfica.

Finalmente, el metaanálisis mostrado indica al software HEC-HMS como el instrumento digital más utilizado, inclusive usado en conjunto con otras herramientas, como por ejemplo, sistemas de geo posición, en los últimos 10 años. La herramienta sigue siendo utilizada, así lo demuestra la base de datos de la presente revisión sistemática, con la mayoría de los artículos con menos de 5 años de antigüedad. De igual forma, el software es utilizado en el mundo, en vista a la diversidad de países donde son originarios los artículos científicos. Evidenciado el poder de adaptación y gran alcance de la herramienta, en diferentes lenguajes y en cualquier ambiente geográfico.

## REFERENCIAS

- Agathe, W., Mwangi, J. y Messo, J.(2019)-. Proyección de los extremos de las precipitaciones de la estación húmeda utilizando el conjunto de modelos climáticos regionales y el modelo avanzado de cambio delta: impacto en los picos del caudal en la cuenca de captación de Mkurumudzi. *MDPI*. <https://www.mdpi.com/2306-5338/6/3/76>
- Alarcon, A. Et al. (2020). Estimación de áreas vulnerables a inundaciones en zonas urbanas: Morelia, Michoacán, México. *Revistatyca (tecnología y ciencia del agua)*. <http://www.revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/article/view/1769>
- American Psychological Association (01 de enero de 2020). Style and Grammar Guidelines. Recuperado el 17 de enero de 2020 de <https://apastyle.apa.org/style-grammar-guidelines/index>
- American Psychological Association (2020). Publication manual of the American Psychological Association (7th ed.). <https://doi.org/10.1037/0000165-000>
- Amrei, D. y Schmalz, B. (2020). Análisis de peligro de inundaciones en cuencas pequeñas: comparación de enfoques hidrológicos e hidrodinámicos mediante el uso de lluvia directa. *Wiley online Library*. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/jfr3.12639>
- Baduna, M., Akay, H. y Melih, A. (2017). Estimación de los parámetros hidrológicos de la cuenca de Kocanaz mediante un modelo hidrológico. *Doaj*. <https://doaj.org/article/2cbd6c18f14b4d09b495b355fe30013d>

Baek, S. et Al. (2019). Desarrollo de una herramienta de simulación hidrológica para diseñar biorretención en una cuenca hidrográfica. *Sciendirect*.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364815216307393>

Buddika, D. y Coulibaly, P. (2020). Identificación de modelos hidrológicos para la predicción operativa de inundaciones en St. John's, Terranova, Canadá. *Sciendirect*.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221458181930067>

Cabrera, J., Castro, L. y Crespo, P.(2019). Evaluación del modelo HEC-HMS para la simulación hidrológica de una cuenca de Páramo. *Dialnet*.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7281330>

Demetrio, A., Labate, A., Martino, D. y Zimbone, M. (2016). Comparación de diferentes métodos de infiltración del modelo HEC-HMS: el estudio de caso del mésima torrent (sur de Italia). *Academia*.

[https://www.academia.edu/36320606/COMPARING\\_DIFFERENT\\_INFILTRATION\\_METHODS\\_OF\\_THE\\_HEC\\_HMS\\_MODEL\\_THE\\_CASE\\_STUDY\\_OF\\_THE\\_M%C3%89SIMA\\_TORRENT\\_SOUTHERN\\_ITALY](https://www.academia.edu/36320606/COMPARING_DIFFERENT_INFILTRATION_METHODS_OF_THE_HEC_HMS_MODEL_THE_CASE_STUDY_OF_THE_M%C3%89SIMA_TORRENT_SOUTHERN_ITALY)

Duong, P. et al (2017). Evaluación del impacto del cambio climático en los regímenes de caudal de los ríos en el delta del río Rojo, Vietnam: un estudio de caso de la cuenca del río Nhue-Day. *JNRD (Journal of nature Recourses and development)*.

<https://www.jnrd.info/2017/02/10-5027jnrd-v6i0-09/>

Fernandez, S., Perez, D. y Brandizi, L.(2019). Avances en la modelación del escurrimiento superficial de una cuenca del sudoeste bonaerense. Caso de estudio: Sector Superior

Cuenca Alta del Río Sauce Grande (Argentina). *Redalyc*.

<https://www.redalyc.org/jatsRepo/3832/383261555001/index.html>

Gonzalo, R. (2017). Importancia de la Disponibilidad de Agua Producida en la Alta Cuenca del Río Escoipe - Chicoana. Departamento de Chicoana, Provincia de Salta, República Argentina (noviembre-2017). *Academia*.

[https://www.academia.edu/37296253/Importancia\\_de\\_la\\_Disponibilidad\\_de\\_Agua\\_Producida\\_en\\_la\\_Alta\\_Cuenca\\_del\\_R%C3%ADo\\_Escoipe\\_Chicoana\\_Departamento\\_de\\_Chicoana\\_Provincia\\_de\\_Salta\\_Rep%C3%ABblica\\_Argentina\\_noviembre\\_2017\\_](https://www.academia.edu/37296253/Importancia_de_la_Disponibilidad_de_Agua_Producida_en_la_Alta_Cuenca_del_R%C3%ADo_Escoipe_Chicoana_Departamento_de_Chicoana_Provincia_de_Salta_Rep%C3%ABblica_Argentina_noviembre_2017_)

Gumindoga, W. et. al. (2017). Simulación de escorrentía no calibrada en la cuenca de captación de Upper Manyame, Zimbabwe: Aplicación del modelo HEC-HMS.

*Sciendirect*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474706516300626#!>

Halwatura, D. y Najim, M. (2013). Aplicación del modelo HEC-HMS para simulación de escorrentía en una cuenca tropical. *Sciendirect*.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364815213000698>

Hussain, Z. et. Al. (2021). Cambio climático y régimen hidrológico de la cuenca alta del Indo bajo escenarios climáticos extremos. *Sciendirect*.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720379985>

Jadidoleslam, N., Goska, R., Mantilla, R y Witold, F.(2020). Hydrovise: un software de código abierto no propietario para la visualización y evaluación de datos y modelos hidrológicos. *Sciendirect*.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364815220309105>

- Lopez, J. et al. (2012). Caracterización del modelo HEC-HMS en la cuenca de río Arga en Pamplona y su aplicación a cinco avenidas significativas. *Scielo*.  
<https://scielo.conicyt.cl/pdf/oyp/n12/art02.pdf>
- Marin, A. y Barros, J. (2016). Modelación de tránsito de crecientes en el Río Aburrá-Medellín para una propuesta de su Restauración. *Scielo*.  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1794-12372016000200012&lng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1794-12372016000200012&lng=es)
- Medeiros, F. (2017). Estudio de las propiedades físicas del suelo en la parametrización de modelos hidrológicos orientados a la prevención de desastres naturales en la cuenca hidrográfica del río Paraíba en el estado de Alagoas, Brasil (tesis doctoral).  
*Repositorio Universidad de Evora*. <http://dspace.uevora.pt/rdpc/handle/10174/21785>
- Moher, D. (2009). Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *Annals of Internal Medicine*, 151(4), 264.  
<https://doi.org/10.7326/0003-4819-151-4-200908180-00135>
- Nagdeve, M., Kumar, P., Zhang, Y. y Singh, R. (2021). Fosa de contorno continuo (CCT): Comprensión de los procesos hidrológicos después de la estandarización de dimensiones y el desarrollo de un software fácil de usar. *Sciencedirect*.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167198720305742>
- Paudel, R. y Basnte, K. (2019). Aplicación del modelo HEC-HMS para la simulación de escorrentía: un estudio de caso de la cuenca del río Marshyangdi en Nepal. *Academia*.  
[https://www.academia.edu/43150249/Application\\_of\\_HEC\\_HMS\\_Model\\_for\\_Runoff\\_Simulation\\_A\\_Case\\_Study\\_of\\_Marshyangdi\\_River\\_Basin\\_in\\_Nepal](https://www.academia.edu/43150249/Application_of_HEC_HMS_Model_for_Runoff_Simulation_A_Case_Study_of_Marshyangdi_River_Basin_in_Nepal)

- Ramos, A. y Pacheco, J. (2017). Análisis hidrológico e hidráulico de la cuenca del Río Frío, municipios de Ciénaga y zona bananera, departamento del Magdalena. *Redalyc*.  
<https://www.redalyc.org/jatsRepo/5177/517752178014/index.html>
- Rivas, C. (2016). Zonificación de la amenaza por inundaciones en la planicie aluvial del río Borburata, estado Carabobo, Venezuela. *Redalyc*. Venezuela.  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=376146819011>
- Rodriguez, S. (2017). Simulación dinámica de inundaciones asumiendo un estado crítico de máxima escorrentía, bajo cinco periodos de retorno, en la Quebrada La Virgen del Municipio de San José de Miranda- Santander. *Redalyc*.  
<https://www.redalyc.org/jatsRepo/5537/553756967026/index.html>
- Salomon, E. (2018). La protección contra inundaciones, beneficio no intencionado de la práctica del entarquinamiento evaluación de un escenario hipotético de supresión del sistema de entarquinamiento con un gasto de diseño de 100 años. *Academia*.  
[https://www.academia.edu/36484702/La\\_protecci%C3%B3n\\_contra\\_inundaciones\\_beneficio\\_no\\_intencionado\\_de\\_la\\_pr%C3%A1ctica\\_del\\_entarquinamiento\\_evaluaci%C3%B3n\\_de\\_un\\_escenario\\_hipot%C3%A9tico\\_de\\_supresi%C3%B3n\\_del\\_sistema\\_de\\_entarquinamiento\\_con\\_un\\_gasto\\_de\\_dise%C3%B1o\\_de\\_100\\_a%C3%B1os](https://www.academia.edu/36484702/La_protecci%C3%B3n_contra_inundaciones_beneficio_no_intencionado_de_la_pr%C3%A1ctica_del_entarquinamiento_evaluaci%C3%B3n_de_un_escenario_hipot%C3%A9tico_de_supresi%C3%B3n_del_sistema_de_entarquinamiento_con_un_gasto_de_dise%C3%B1o_de_100_a%C3%B1os)
- Sari, P. (2018). Desempeño de la cuenca retardadora en la mitigación del riesgo de desastres por inundaciones en el río Welang, provincia de Java Oriental, Indonesia UGM (*Repositorio Universidad Gadjah Mada*).  
<https://jurnal.ugm.ac.id/jcef/article/view/31938>



Tamiru, H., Teshome, T. y Rientjes, T.(2016). Pronóstico de inundaciones en la cuenca del Níger-Benue utilizando datos de pronóstico de precipitación cuantitativos y satelitales. *Sciendirect*.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0303243416301064>

Thu, K. (2020). Desarrollo de un mapa de inundaciones para la cuenca superior del río Chindwin mediante el uso de HEC-HMS y HEC-RAS. *Academia*.

[https://www.academia.edu/41671361/Development\\_of\\_Flood\\_Inundation\\_Map\\_for\\_Upper\\_Chindwin\\_River\\_Basin\\_By\\_Using\\_HEC\\_HMS\\_and\\_HEC\\_RAS](https://www.academia.edu/41671361/Development_of_Flood_Inundation_Map_for_Upper_Chindwin_River_Basin_By_Using_HEC_HMS_and_HEC_RAS)

Tu, H. et al. (2020). Alerta temprana de inundaciones repentinas junto con simulación hidrológica y la tasa de aumento de la etapa de inundación en una pequeña cuenca montañosa en la provincia de Sichuan, China. MDPI. <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/1/255>

Wang, S. (2020). Incertidumbres en la evaluación de inundaciones individuales y compuestas por descargas de ríos y niveles de agua costera bajo el cambio climático. Tesis doctoral *Western Libraries*. <https://ir.lib.uwo.ca/etd/7551/>

Wulan, L. (2017). El uso de la variabilidad de las precipitaciones en la planificación de contramedidas contra inundaciones. *UGM (Repositorio Universidad Gadjah Mada)*. <https://jurnal.ugm.ac.id/jcef/article/view/27579>