



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“DESARROLLO DE MODELOS HIDROLÓGICO-
HIDRÁULICO DE INUNDACIONES UTILIZANDO
SOFTWARE ESPECIALIZADOS Y SIG”: una
revisión de la literatura científica

Trabajo de investigación para optar al grado de:

Bachiller en Ingeniería Civil

Autor:

MARCELA NORA FERNANDEZ LLACUASH

Asesor:

Mg. Ing. Raúl Billy Zarate Peña

Lima - Perú

2020

DEDICATORIA

Al ángel que alegro mis días más fríos con su corta presencia, Mercy.

AGRADECIMIENTO

A nuestro amado Padre Celestial por bendecirme con personas maravillosas que
lograron el resultado de este trabajo.

A mi querido padre por su apoyo constante y las virtudes que me inculcaron desde
pequeña

A mi amada madre por su amor abnegado y su gran dedicación.

A mi docente de proyecto de tesis por guiarme con paciencia y sabiduría durante el
proceso de elaboración del presente trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	6
RESUMEN.....	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	10
CAPÍTULO III. RESULTADOS	23
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES	32
REFERENCIAS.....	33

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla N°1: Cantidad en bruto de los recursos de información.</i>	<i>11</i>
<i>Tabla N°2: Búsqueda por keyword de estudios de investigación en español</i>	<i>12</i>
<i>Tabla N°3: Búsqueda por keyword de estudios de investigación en inglés</i>	<i>12</i>
<i>Tabla N°4: Lista de estudios de investigación seleccionados</i>	<i>15</i>
<i>Tabla N°5: Estudio duplicados entre fuentes del total de estudios</i>	<i>23</i>
<i>Tabla N°6: Cuadro de estudios en bruto, descartados y finales según fuente</i>	<i>25</i>
<i>Tabla N°7: Estudios de investigación seleccionados por keyword, en español ...</i>	<i>27</i>
<i>Tabla N°8: Estudios de investigación seleccionados por keyword, en inglés</i>	<i>28</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura N°1: Búsqueda de estudios de investigación.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura N°2: Búsqueda por keyword de estudios de investigación total.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura N°3: Porcentajes obtenidos en la selección según fuente de información.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura N°4: Distribución de artículos de investigación por año.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura N°5: Distribución de artículos de investigación en bruto según país.....</i>	<i>22</i>
<i>Figura N°6: Diagrama de flujo del proceso de selección de estudios.....</i>	<i>24</i>
<i>Figura N°7: Distribución de estudios retirados según fuente.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura N°8: Distribución total de estudios totales, descartados y seleccionados.....</i>	<i>26</i>
<i>Figura N°9: Porcentaje según Keyword de los estudios seleccionados.....</i>	<i>27</i>
<i>Figura N°10: Distribución de Sistemas de Información Geográfica.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura N°11: Distribución de softwares para el modelamiento hidrológico.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura N°12: Distribución de softwares para el modelamiento hidráulico.....</i>	<i>30</i>

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es contar con información científica que permita responder la pregunta de investigación: ¿El utilizar modelos hidrológico-hidráulico provee información certera que nos permitirá prevenir de inundaciones?

La presente revisión sistemática recopila estudios de la fuente secundaria Ebsco y de las secundarias Scielo y Redalyc, cuyas palabras claves fueron: análisis, hidráulico, hidrológico, modelamiento, inundación, estudio (con conectores booleanos).

Por otro lado, como criterios de inclusión se establece: estudios entre 2015-2020, idioma inglés y español, información de calidad. Asimismo, los de exclusión fueron: investigaciones con temas ajenos al objetivo, objetivo del estudio y antigüedad. Todo ello, con el objeto de estudio de responder la pregunta de investigación planteada.

Finalmente, se seleccionan 25 estudios de investigación. Asimismo, se limita a generalizar los resultados; sin embargo, cada estudio alberga características únicas debido al modelo utilizado.

Se concluye que los modelos hidrológicos e hidráulicos logran identificar zonas de riesgo ante inundaciones debido a parámetros de sensibilidad y compatibilidad, lo cual permite ser estudio base para la toma de decisiones en la prevención ante inundaciones. Además, se recomienda utilizar modelos matemáticos de acuerdo a los datos de entrada disponibles de la zona de estudio.

PALABRAS CLAVES: Análisis, Hidráulico, Hidrológico, Modelamiento, inundación, estudio

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Las lluvias extremas junto a las altas temperaturas, debido a las drásticas variaciones climáticas asociadas a el fenómeno de El Niño, son un factor causal para la gran vulnerabilidad del país (SENAMHI, 2014)

Actualmente, en nuestro país, el cambio climático genera diferentes desastres naturales siendo las inundaciones uno de los más recurrentes y destructivos en los últimos años, la presencia del fenómeno El Niño Costero es una factor importante ya que ocasiona que los caudales del río se incrementen extraordinariamente y logren desbordarse lo que genera diversos daños estructurales y grandes pérdidas humanas, afectando principalmente la calidad de vía de los pobladores y generando un retraso económico para el país.

Varias poblaciones están perdieron contacto con su entorno pese a ser el lugar donde habitan y circulan normalmente, desconociendo el escurrimiento del agua naturalmente (CENAPRED, 2014). La falta de conocimiento o conocimiento errado causa que un determinado grupo social tenga una idea equivocada y no vea a las inundaciones como una amenaza, lo que conlleva a tener una gestión de riesgos ineficiente. Por esta razón, es importante realizar estudios de inundaciones con modelos hidrológicos e hidráulicos en las zonas más afectadas en el Perú.

Para diagnosticar posibles lugares de inundaciones, desde hace años, es conveniente utilizar modelos hidráulicos e hidrológicos junto con los Sistemas de Información Geográfica (Munir, A., 2001). La integración apropiada de modelos hidrológico-hidráulico

y SIG logran complementarse de manera conjunta para determinar el nivel de peligrosidad de las inundaciones basados en fuentes con información confiable y actual.

La presente revisión informática tiene por objetivo principal contar con información científica que permita responder la pregunta de investigación: ¿El utilizar modelos hidrológico-hidráulico provee información certera que nos permitirá prevenir de inundaciones? En el futuro, responder la pregunta de investigación permitirá identificar un mapa de inundación más eficiente, ya que implementará un modelamiento hidrológico-hidráulico más cercano al comportamiento real de las aguas para prevenir futuras inundaciones que afectan trágicamente a nuestro país.

El trabajo presentado recopila información de artículos y tesis de investigación, asimismo es importante mencionar que los estudios compilados fueron extraídos de tesis y artículos tanto nacionales como extranjeras.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

La presente investigación es del tipo revisión sistemática de la literatura científica. Una revisión sistemática tiene entre sus principales características adquirir y especificar el proceso de la elaboración donde la información primaria será seleccionada, criticada, etc. Por ello, se deberá recolectar todo estudio posible que referente al tema de investigación que responda la pregunta de investigación y sea comprensible para el lector (Moreno, Muñoz, Cuellar y Villanueva, 2018)

La pregunta de investigación formulada para el presente estudio es: ¿El utilizar modelos hidrológico-hidráulico provee información certera que nos permitirá prevenir de inundaciones?

Los recursos de información fueron recopilados estratégicamente de la fuente secundaria “Ebsco”, también de las fuentes terciarias “Scielo” y “Redalyc”; recopilando un total bruto de 126 estudios de investigación.

Durante la etapa de búsqueda de información se tomaron como palabras claves: análisis, hidrológico, hidráulico, modelamiento, inundación; buscados por conector booleanos como: (análisis AND hidrológico) OR (análisis AND hidráulico); (modelamiento AND hidrológico) OR (modelamiento AND hidráulico) y estudios AND inundaciones; los cuales nos lleva a obtener resultados relevantes de búsqueda para el tema el estudio.

Se inicio la búsqueda de información en Ebsco, a través de la Biblioteca Virtual UPN, donde se obtuvo 50 estudios; luego en Redalyc, donde se obtuvo 47 documentos; finalmente, en Scielo, con un total de 29 investigaciones potenciales a responder la pregunta de investigación indicada anteriormente. Por consiguiente, se obtuvo un total de 126

documentos de investigación. En la Tabla N°1, se detallan las fuentes utilizadas y la cantidad en bruto encontrados por fuentes y en total.

Tabla N°1: Cantidad en bruto de los recursos de información.

ID	Fuente	Investigaciones encontradas	%
EB	EBSCO	50	40%
RD	REDALYC	47	37%
SC	SCIELO	29	23%
TOTAL		126	100%

Fuente: Propia

En la Figura N°1, se muestra la cantidad acumulada de estudios de investigación encontrados relacionados al tema en las tres fuentes de información seleccionadas. Existe un total de 126 investigaciones preseleccionados. Los estudios presentados comprenden entre los años 2002 y 2020, previo a acotar el intervalo de años. Posteriormente, se filtrarán la cantidad en bruto acorde a los criterios indicados, es decir, de inclusión y exclusión.

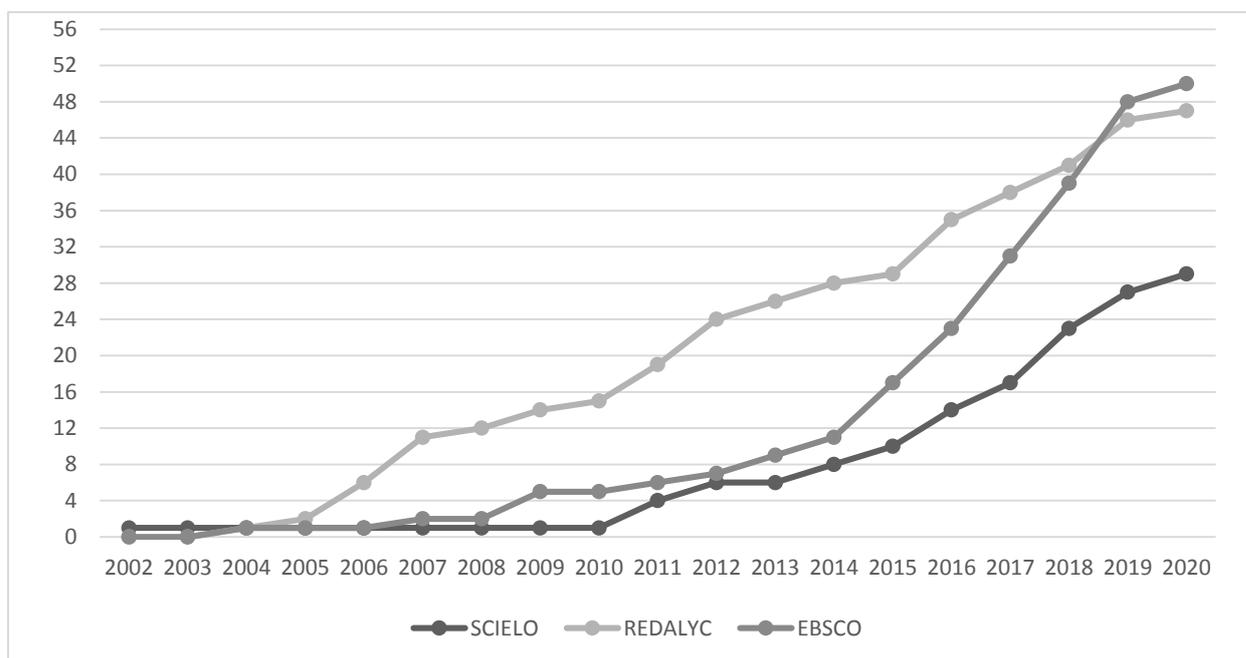


Figura N°1: Búsqueda de estudios de investigación. Nota: La cantidad de documentos encontrados en la búsqueda es en bruta, es decir, serán filtradas conforme los criterios de inclusión y exclusión. Fuente: Propia

A continuación, en la Figura N°2, Tabla N°2 y Tabla N°3, se mostrarán los valores totales y por idioma de investigaciones obtenidos en la etapa de búsqueda, de acuerdo a las palabras claves, incorporando conectores booleanos.

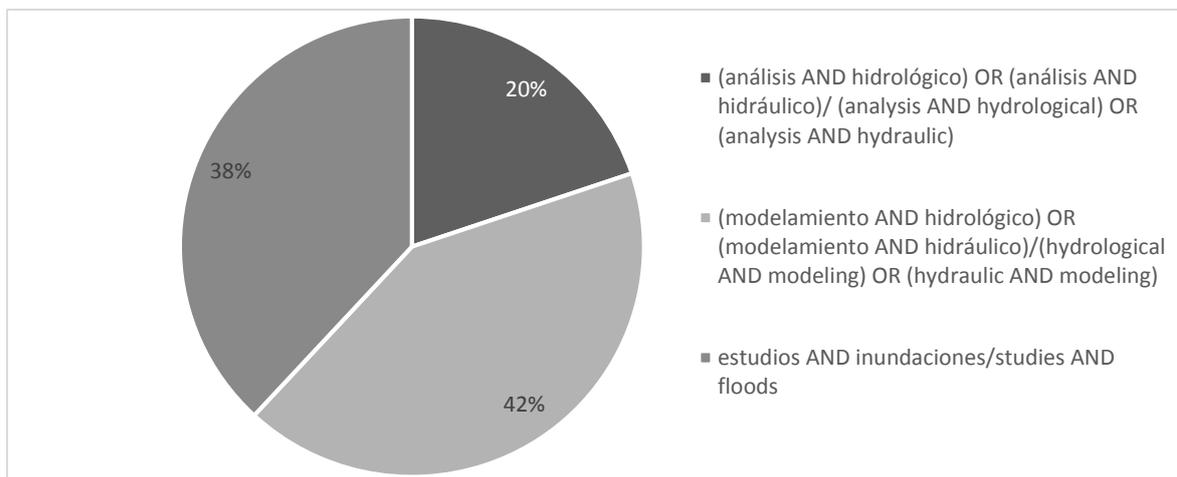


Figura N°2: Búsqueda por keyword de estudios de investigación total. Nota: La cantidad total corresponde a la búsqueda de keyword por conectores booleanos en inglés y en español. Fuente: Propia

Tabla N°2: Búsqueda por keyword de estudios de investigación en español.

KEYWORD	EBSCO	REDALYC	SCIELO	TOTAL
(análisis AND hidrológico) OR (análisis AND hidráulico)	8	2	3	13
(modelamiento AND hidrológico) OR (modelamiento AND hidráulico)	21	10	12	43
estudios AND inundaciones	17	22	9	48
TOTAL	46	34	24	104

Fuente: Propia

Tabla N°3: Búsqueda por keyword de estudios de investigación en inglés.

KEYWORD	EBSCO	REDALYC	SCIELO	TOTAL
(analysis AND hydrological) OR (analysis AND hydraulic)	4	5	3	12
(hydrological AND modeling) OR (hydraulic AND modeling)	0	8	2	10
studies AND floods	0	0	0	0
TOTAL	4	13	5	22

Fuente: Propia

La presente investigación tomó como criterio de inclusión investigaciones actuales relacionadas a estudios hidrológicos e hidráulicos (nacionales o internacionales), con 6 años de antigüedad máxima debido a las actualizaciones; por ejemplo, en el año 2015 el software hidráulico más conocido: “HEC-RAS”, lanzó la versión beta que poseía la capacidad de simular flujos bidimensionales, posteriormente fue publicada en el 2016. Además, por esta razón, al ser programas internacionales, se incluyó estudios de investigación publicados en el idioma inglés, además del español. Cabe recalcar que para ser incluidos deben ser estudios de investigación detallados y de buena calidad informativa. En consecuencia, al describir los estudios encontrados, se retiraron 5 estudios por duplicado y debido a que el rango de año de publicación establecido en líneas anteriores fue de 2015-2020, se retiraron 47 por antigüedad. Por lo cual, se redujo la lista a 74 documentos de investigación.

En la selección primaria, se excluyó información irrelevante considerando los siguientes criterios: se descartarán textos con contenido ajeno al objetivo del estudio; con año de publicación de estudios no exacto; también se excluyó temas relacionados a vulnerabilidad sísmica, análisis de riesgo, análisis de estructuras afectadas, desastres naturales no relacionados a inundación, costos, políticas de gobiernos. Asimismo, es importante recalcar que solo se incluyó estudios realizados en los últimos 6 años, en otras palabras, cuyo año de publicación esté comprendido entre en el rango 2015-2020, debido a las actualizaciones explicados anteriormente. Además, se incluyen investigaciones publicadas solamente en el idioma español e inglés.

Los estudios seleccionados fueron 14 de Ebsco, 8 de Redalyc y 3 de Scielo, cabe señalar que el mayor porcentaje de documentos se obtuvo de Redalyc, tal como se evidencia en la Figura N°3.

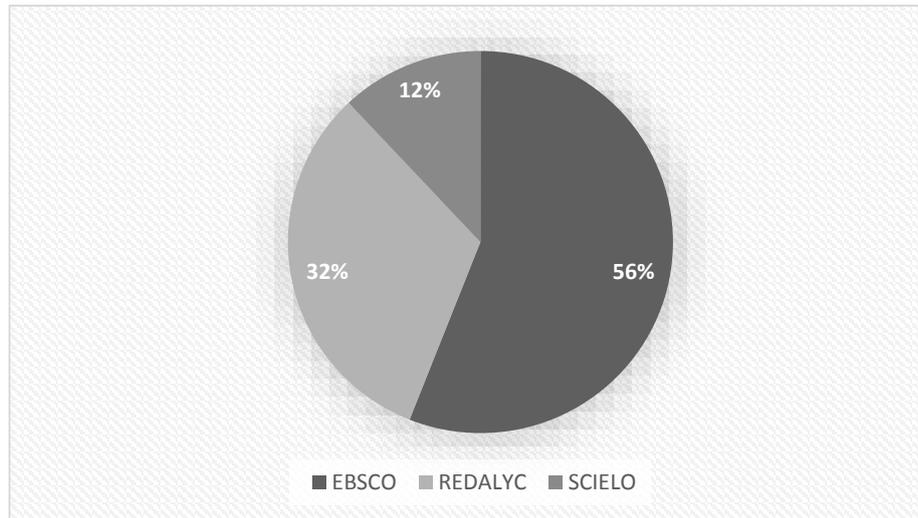


Figura N°3: Porcentajes obtenidos en la selección según fuente de información. Nota: Las investigaciones corresponden a 14 de Ebsco (12%), 8 de Redalyc (32%) y 3 de Scielo (12%). Fuente: Propia

Finalmente, en la Tabla N°4 se describen los 25 estudios de investigación seleccionados debido a los criterios de inclusión y exclusión descritos en esta etapa.

Tabla N°4: Lista de estudios de investigación seleccionados

Fuente de Búsqueda	Tipo de Estudio	DOI	Keyword	Autores	Título	Resumen	Revista o Institución	País	Año
Ebsco	Artículo	https://doi.org/10.5167/uzh-118228	(modelamiento AND hidrológico) OR (modelamiento AND hidráulico)	Astorayme, M., García, J., Suarez, W., Felipe, O., Huggel, C., Molina, W.	Modelización hidrológica con un enfoque semidistribuido en la cuenca del río Chillón, Perú.	Lugar: Cuenca del Río Chillón, Perú. Se realiza un análisis comparativo de cuatro softwares de modelos hidrológicos con enfoque de modelización semidistribuida Génie Rural: GR4J, SOCONT, HBV y SAC. Se basó en el programa de modelización RS MINERVE. Los resultados obtenidos, demuestran que los modelos HBV y SAC presentan resultados óptimos en periodos de avenida y estiaje además mayor precisión de resultados, a diferencia de los modelos GR4J y SOCONT que no manifiestan variaciones notorias, se concluye que el modelo GR4J es adecuado para el modelamiento de la cuenca.	Revista Peruana Geo-Atmosférica	Perú	2015
Ebsco	Artículo	https://doi.org/10.22335/rfct.v9i1.302	(análisis AND hidrológico) OR (análisis AND hidráulico)	Ramos, M. & Pacheco, J.	Análisis hidrológico e hidráulico de la cuenca del Río Frío, municipios de Ciénaga y zona bananera, departamento del Magdalena.	Lugar: Cuenca del río Frío, Magdalena. Se realiza un análisis cualitativo y cuantitativo, con la finalidad de que posteriormente sean datos de entrada para los modelos de simulación hidráulico e hidrológico. Se llega a la conclusión de que el software HEC-HMS requiere información de más estaciones hidrometeorológicas para aumentar su precisión. Por otro lado, los resultados demuestran que los modelos de simulación realizados con HEC-HMS no son mayor al 4%, es decir, son muy acertados.	Revista Logos, Ciencia & Tecnología	Colombia	2017
Ebsco	Tesis	https://hdl.handle.net/11042/4016	(modelamiento AND hidrológico) OR	Buguña, N.	Aplicación de modelos hidrológicos para la estimación de caudales	Lugar: subcuenca del río Bigote (Piura, Perú). La presente tesis tiene como objetivo determinar el modelo hidrológico que más se ajuste para estimar caudales en la subcuenca. Se realizarán modelamientos hidrológicos	Universidad de Piura	Perú	2019

			(modelamiento AND hidráulico)		mensuales en la subcuenca del río Bigote	con Lutz, Scholtz, abc, GR2m y Temez. Se concluye que el modelo GR2m se adapta mejor para la generación de caudales mensuales.			
Ebsco	Artículo	https://doi.org/10.14350/riq.41858	estudios AND inundaciones	Wurl, J., Martínez, C. y Imaz, M.	Caracterización del peligro por inundaciones en el oasis La Purísima, Baja California Sur, México	Lugar: Oasis La Purísima, Baja California Sur, México. Se realizó un modelo hidrológico e hidráulico para diferentes escenarios de lluvias extremas y así realizar un mapa de peligro con el fin de identificar posibles inundaciones	Investigaciones Geográficas	México	2015
Ebsco	Tesis	http://biblioteca.uniandes.edu.co/acepto2015201.php?id=7064.pdf	(modelamiento AND hidrológico) OR (modelamiento AND hidráulico)	Méndez, D.	Comparación del comportamiento de modelos hidráulicos e hidrológicos en el Río Magdalena tramo Purificación - Honda	Lugar: Río Magdalena tramo Purificación - Honda. El objetivo planteado en el estudio fue la comparación y evaluación de modelos hidráulicos e hidrológicos de HEC-RAS y MDCL, tomando como factores: eficiencia, tiempo de respuesta, predictibilidad y complejidad (número de parámetros de entrada). En la comparación, HEC-RAS tiene parámetros más orientados a conceptos hidrológicos, a diferencia del MDLC que se ve comprometido a tránsito. Por otro lado, el programa HEC-RAS solo requiere 16 parámetros, debido a que estos engloban a todos los factores del MDLC.	Universidad de los Andes	Colombia	2015
Ebsco	Tesis	http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9474	(modelamiento AND hidrológico) OR (modelamiento AND hidráulico)	Palmer, G.	Determinación de las áreas inundables en los sectores San Pedro y Niño Pobre, según caudales máximos estimados del río Utcubamba, aplicando modelo HEC-RAS y software ArcGIS	Lugar: sectores San Pedro y Niño Pobre del distrito El Milagro, de la provincia Utcubamba, Amazonas. La tesis tuvo como objetivo el modelamiento mediante el software HEC-RAS. Finalmente, se identificó las áreas de inundación. Por otro lado, se determina que el software HEC-RAS y la extensión Hec-geoRAS y ArcGis, debido a su falta de no autosuficiencia, deben ser manejados por expertos del tema.	Universidad Nacional de Trujillo	Perú	2017
Ebsco	Tesis	http://hdl.handle.net/20.500.12404/13180	(modelamiento AND hidrológico) OR (modelamiento AND hidráulico)	Chagua, J.	Estudio de inundación de la zona correspondiente al distrito de Calango, provincia de Cañete, departamento de Lima,	Lugar: Cuenca Mala, Lima. El estudio realiza un análisis hidrológico e hidráulico con el modelo de simulación HEC-RAS y HEC-HMS, con la finalidad de identificar un mapa de riesgo de posibles áreas inundables en la zona de estudio. Para iniciar el modelo, se comienza con la delimitación mediante el Sistema de Información	Pontificia Universidad Católica del Perú	Perú	2018

			AND hidráulico)		Mediante el uso de los modelos matemáticos HEC-HMS Y HEC- RAS	Geográfica (ArcGIS). Finalmente, se concluye que el mapa riesgos ante inundación, en zonas aledañas a los ríos, es necesario una respuesta inmediata para evitar desastres futuros.			
Ebsco	Artículo	http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.14560.94728	(modelamiento AND hidrológico) OR (modelamiento AND hidráulico)	Rodríguez, D., Torrealba, W. y Rincón, J.	Evaluación de herramientas de entorno "SIG" y sus aplicaciones en la modelación hidráulica de ríos	Lugar: quebrada Borure, Barquisimeto Estado Lara, Venezuela. El estudio evalúa los Sistemas de Información Geográfica: GISWater y HECgeoRAS para los modelos con HEC-RAS y para QGIS y ArcGIS, respectivamente. Teniendo la ventaja que GISWater tiene licencia libre y tiene características similares al SIG QGIS, además HECGeoRAS tiene licencia comercial. Se concluye que existe alta correlación entre ambos SIG ya que validan el trabajo en conjunto,	Revista Gaceta Técnica	Venezuela	2019
Ebsco	Tesis	http://biblioteca.uniandes.edu.co/acepto201699.php?id=11663.pdf	(modelamiento AND hidrológico) OR (modelamiento AND hidráulico)	Daza, M.	Modelación del Río Magdalena tramo Puerto Berrío - Puerto Wilches por medio del modelo hidráulico e hidrológico MDLC	Lugar: Río Magdalena tramo Puerto Berrío - Puerto Wilches. El estudio realiza un modelamiento hidráulico e hidrológico MDLC. La primera fase se realizó en MATLAB, la segunda fue calibrar el modelo y el último fue su validación. Al finalizar las etapas, se concluye que el modelo tuvo un buen ajuste y su simulación fue correcta. Además, el parámetro más importante fue el coeficiente de rugosidad.	Universidad de los Andes	Colombia	2016
Ebsco	Artículo	https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-04-03	(modelamiento AND hidrológico) OR (modelamiento AND hidráulico)	Salaxar, B., Hallack, M., Mungaray, A., Lomeli, M., López, A. , y Salcedo, A.	Modelación hidrológica e hidráulica de un río intraurbano en una cuenca transfronteriza con el apoyo del análisis regional de frecuencias	Lugar: región semiárida de la subcuenca del Río Nuevo. Como objetivo, se propuso realizar un modelo integrado, es decir, desarrollar un modelo hidrológico para diferentes periodos de retorno y realizar un análisis de frecuencia regional (de acuerdo a Momentos L), con el fin de generar la entrada para el modelamiento hidrológico e hidráulico empleando los programas HEC- HMS y HEC-RAS. Los resultados proporcionarán información que permitirá una adecuada planificación para reducir los riesgos de inundación.	Tecnología y ciencias del agua	Venezuela	2019
Ebsco	Artículo	https://doi.org/10.24054/19009178	(modelamiento AND hidrológico) OR	Camargo, W.	Modelación hidrológico-hidráulica de eventos de inundación en el río	Lugar: Sector Tocanzipa-Chia, Bogotá, Colombia El objetivo del estudio es realizar una modelación hidráulica e hidrológica mediante el uso del programa HEC-RAS a partir del modelado dinámico lineal de niveles del agua.	REVISTA AMBIENT AL AGUA,	Colombia	2016

		v2.n2.2016.3267	(modelamiento AND hidráulico)		Bogotá (Sector Tocanzipa-Chia) usando HEC-RAS	Los resultados de los modelos mostraron que los errores de la magnitud física de las manchas de inundación superan los errores cuando no se usa la variable caudal, del modelo HEC-RAS.	AIRE Y SUELO		
Ebsco	Tesis	http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/12278	(modelamiento AND hidrológico) OR (modelamiento AND hidráulico)	Sacachipana, J.	Modelamiento hidráulico bidimensional de la bocatoma Jila San Jerónimo con HEC – RA	Lugar: bocatoma Jila San Jeronim. El objetivo de la tesis es realizar el modelamiento hidráulico bidimensional con el software HEC-RAS para el diseño de una bocatoma para un periodo de retorno de 100 años, con el fin de evitar el colapso durante fuertes precipitaciones pluviales. El caudal de diseño fue 354.6 m ³ /s.	Universidad Nacional del Altiplano	Perú	2019
Ebsco	Artículo	https://doi.org/10.15446/dyna.v86n210.70738	(modelamiento AND hidrológico) OR (modelamiento AND hidráulico)	Sánchez, M., Fernández, D., Martínez, M, Rubio, E y Ríos, J.	Modelo hidrológico de la cuenca del río Sordo, Oaxaca, México, con SWAT	Lugar: cuenca del río Sordo, Oaxaca, Méxic. El objetivo de este trabajo fue calibrar y validar el modelo hidrológico Soil and Water Assessment Tools "SWAT" para identificar los parámetros relevantes para la evaluación hidrológica para un plan de riesgo. Se concluye con éxito ya que se calibró y se recomienda su uso estratégicamente para la conservación de suelos.	Tecnología y ciencias del agua	México	2017
Ebsco	Tesis	http://hdl.handle.net/20.500.12404/9716	(modelamiento AND hidrológico) OR (modelamiento AND hidráulico)	Jovanovic Aguirre, Jvan	Uso del HEC-RAS para flujo no permanente en el cálculo de inundaciones del Río Huallaga ubicado entre las ciudades de Yurimaguas y Lagunas-Loreto	Lugar: río Huallaga, Poblados Santa María y Oromina, Selva Alta-Loreto. El objetivo principal es evaluar el comportamiento del flujo, para ello se identificarán las áreas inundables. El modelamiento se realizará con HEC-RAS. Se plantea tres obras hidráulicas como alternativas y finalmente, se determinará el más óptimo y eficiente. de acuerdo al impacto social y ambiental.	Pontificia Universidad Católica del Perú	Perú	2017
Redalyc	Artículo	https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26994.66248	(análisis AND hidrológico) OR (análisis AND hidráulico)	Guanipa, K., Lugo, A. y Rincón, J.	Análisis de sensibilidad de parámetros hidrológicos e hidráulicos del modelo SWMM y su aplicación en sistemas de drenaje urbano	Lugar: Urbanización Copacoa, municipio Palavecino del Estado Lara, Venezuela. Se realiza un análisis de sensibilidad de diferentes parámetros para identificar los parámetros más influyentes en la simulación de sistemas de drenajes urbanos. Se concluye que las simulaciones de cuencas urbanas donde existe áreas impermeables, el método menos sensible para la generación del hietograma es el de bloques alternos, siendo el de mayor	Revista Gaceta Técnica	Venezuela	2020

						variabilidad es el hietograma triangular. Además, se identificaron que el porcentaje de área impermeable, pendiente de la cuenca y coeficiente de Manning son los parámetros más sensibles en una cuenca con área impermeable.			
Redalyc	Artículo	http://doi.org/10.15446/dyna.v86n2.10.72506	(modelamiento AND hidrológico) OR (modelamiento AND hidráulico)	Caro, C., Pacheco, O. y Sánchez, H.	Calibration of Manning's roughness in non-instrumented rural basins using a distributed hydrological model	Lugar: Curcas rurales, Colombia. El objetivo del estudio es calibrar el coeficiente de rugosidad de Manning en cuencas rurales no instrumentales utilizando un modelo distribuido. Mediante el software HEC-HMS se realiza el hidrograma de respuesta hidrológica y con el software Iber el hidrograma a calibrar. Al final, se identificaron los coeficientes de rugosidad de acuerdo a la cuenca, donde se identificó las limitaciones de los parámetros.	DYNA	Colombia	2019
Redalyc	Artículo	doi: 10.15446/dyna.v86n21.0.70738	(modelamiento AND hidrológico) OR (modelamiento AND hidráulico)	Cabrera, J., Timbe, L. y Crespo, P.	Evaluación del modelo HEC-HMS para la simulación hidrológica de una cuenca de Páramo	Lugar: Cuenca Páramo, Colombia. En el trabajo se evalúa el desempeño modelo de procesos de lluvia-escurrentía en el software HEC-HMS. Se utilizó el método Contenido de Humedad del Suelo para calcular el flujo de agua en el suelo, el método de Thiessen para la distribución de la lluvia, también se utilizó la ecuación de Penman-Monteih para la evotranspiración.	DYNA	Colombia	2019
Redalyc	Artículo	http://dx.doi.org/10.17533/udea.redin.n88a05	(modelamiento AND hidrológico) OR (modelamiento AND hidráulico)	Caro, C., Bayona, J.	Hydro-dynamic modeling for identification of flooding zones in the city of Tunja	Lugar: Ciudad Tunja, Colombia. Se realiza un modelamiento hidrológico e hidráulico de los ríos Jordán y Vega, con el fin de determinar las zonas con potencial de inundación. Se utilizó el software HEC-HMS, ArcGIS y Hex-GeoHMS para el modelo hidrológico. Luego, se realizará los cálculos hidráulicos con el software Iber para el periodo correspondiente.	Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia	Colombia	2018
Redalyc	Artículo	http://dx.doi.org/10.17533/udea.redin.n88a05.doi:10.15446/dyna.v84n20.2.61254	(modelamiento AND hidrológico) OR (modelamiento AND hidráulico)	Sampaio, L., Rodrigues, V., Bressiani, D. y Ferreira, R.	Hydrologic and hydraulic simulations for use in macrodrainage designs for gully management and recovery	Lugar: quebrada en Nazareno (MG, Brasil). Se desarrolla un proyecto de bajo costo para el macrodrenaje para una quebrada, a fin de permitir un plan de gestión para la recuperación de la quebrada. Se realizará modelos hidrológicos e hidráulicos con el software libre "Channel", de acuerdo a las condiciones ambientales para elaborar un proyecto de sistema de drenaje.	DYNA	Colombia	2017

Redalyc	Artículo	http://dx.doi.org/10.15446/rfna.v69n2.59137	(modelamiento AND hidrológico) OR (modelamiento AND hidráulico)	Girleza, E. y Tobón, C.	Hydrological modelling with TOPMODEL of Chingaza páramo, Colombia	Lugar: páramo Chingaza, Colombia. Se estudia el páramo de Chingaza basándose en el estudio realizado anteriormente en la cuenca La Chucua. Se calibrarán y validarán ambos modelos. Finalmente, se corrobora que existe una influencia entre ambos modelos debido a la topografía y suelos (especialmente con alto contenido orgánico). Estos resultados muestran que TOPMODEL es un software robusto, ya que permite representar de manera precisa.	Revista Facultad Nacional de Agronomía	Colombia	2016
Redalyc	Artículo	https://doi.org/10.30972/crn.27274122	estudios AND inundaciones	Esparza, J.	identificación y análisis de áreas inundables a partir de una metodología de integración de escalas espaciales. caso de estudio: La Plata, Buenos Aires, Argentina	Lugar: LA PLATA, BUENOS AIRES, ARGENTINA. Se desarrolla el diagnostico urbano-ambiental de acuerdo a información teórica y metodologías para diferentes escalas espaciales de acuerdo a cada análisis de áreas inundables en riesgo, tal como, la delimitación. En conclusión, se mostrarán los resultados obtenidos según la metodología propuesta.	CUADERN O URBANO. Espacio, cultura, sociedad	Argentina	2019
Redalyc	Artículo	http://dx.doi.org/10.17533/udea.redin.20190514	(análisis AND hidrológico) OR (análisis AND hidráulico)	Palacio, C., Vieira, S., Saldarriaga, J. y Ruiz, L.	Model simulation of heavy metals in river systems: case study the Negro river basin	Lugar: río Negro (lado este de Antioquia, Colombia). Se describe un modelo de simulación de metales pesados en sistemas fluviales con el enfoque del modelo 1D con la extensión ADZ-QUASAR con el finde presentar el comportamiento de los metales pesados. Finalmente, se muestran la metodología de predicción del comportamiento simulado a fin de ser una gran herramienta de gestión,	Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia	Colombia	2019
Scielo	Artículo	http://dx.doi.org/10.24850/j-tyca-2017-03-01	estudios AND inundaciones	Hernández, R., Barrios, H. y Ramirez, A.	Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac	Lugar: cuenca Atemajac, México. En el estudio se presenta una metodología de análisis de riesgo por inundación. El modelamiento numérico fue realizado con HEC-RAS, el cual busca identificar los parámetros que intervienen en la vulnerabilidad. Los resultados obtenidos, muestran las áreas de zona de mayor riesgo y alta vulnerabilidad de todos lo largo del cauce del rio.	Tecnología y ciencias del agua	México	2017
Scielo		http://dx.doi.org/10.515	(análisis AND hidrológico)	Salomón, E., Ibáñez,	Evaluation of a hypothetical	Lugar: Coeneo-Huaniqueo, Michoacán, México. El objetivo del estudio es demostrar que los sistemas de	Ingeniería Agrícola y	México	2018

		4/r.inagbi.2 018.03.003	OR (análisis AND hidráulico)	L. y Palerm, J.	suppression scenario of the spate irrigation system in Coeneo- Huaniqueo, Michoacán, Mexico	entarquinamiento traen como consecuencia efectos no intencionados como el control de inundaciones para un periodo de retorno de 100 años. Se realizó un análisis hidrológico para la situación actual y una situación hipotética, es decir, con cajas de agua operando y en desuso, respectivamente. Se utilizó el software HEC- HMS para el modelo hidrológico de acuerdo a la metodología de Soil Conservation Service (CSC).	Biosistemas ,		
Scielo	Artículo	https://doi.org/10.1590/ 2318- 0331.24192 0180114	(modelamiento AND hidrológico) OR (modelamiento AND hidráulico)	Valenca, M. y Almir, J.	Regionalization of hydrological model parameters for the semi-arid region of the northeast Brazil	Lugar: región semiárida brasileña que involucra a los estados de Ceará, Río Grande del Norte, Paraíba y Pernambuco. Se realizó un modelo hidrológico autocalibrado MODHAC. Se realizo un análisis para identificar que parámetros afectan la calidad del flujo, estaciones pluviómetros. Los problemas más relevantes fueron los embalses de ellos y la desactivación de varias estaciones.	Revista Brasileira de Recursos Hídricos	Brasil	2019

Fuente: Propia

En la Figura N°4 y Figura N°5, se muestran la distribución total de estudios preseleccionados según año y país.

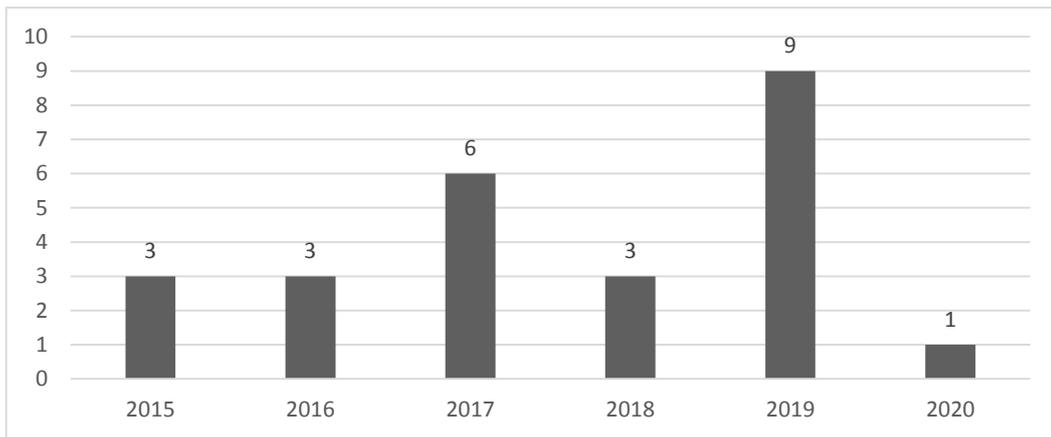


Figura N°4: Distribución de estudios de investigación por año. Fuente: Propia

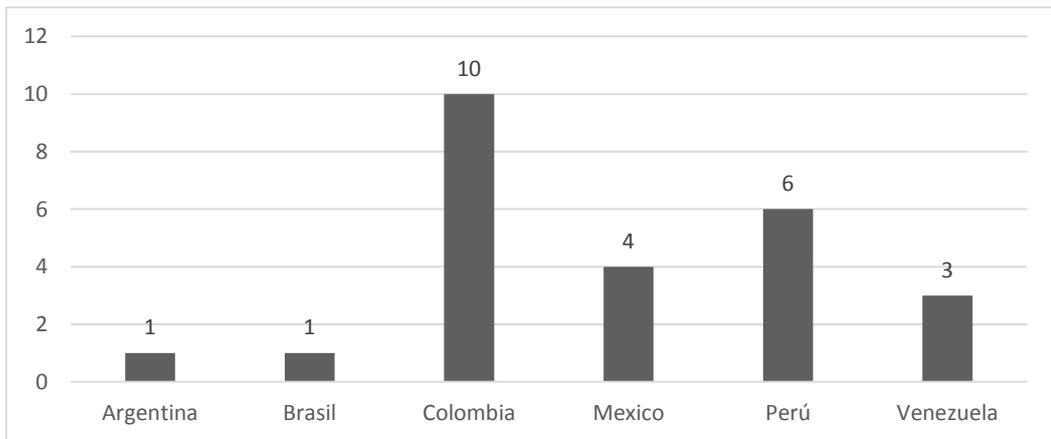


Figura N°5: Distribución de estudios de investigación en bruto según país. Fuente: Propia

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Inicialmente, tal como se señala anteriormente, se recopiló un total en bruto de 126 estudios de investigación relacionados al tema de estudio. Se identificó 5 documentos duplicados entre fuentes, los cuales se detallarán en la Tabla N°5, donde los estudios que se conservaron fueron de Ebsco en cada caso, ya que es la única fuente secundaria.

Tabla N°5: Estudio duplicados entre fuentes del total de estudios.

TITULO DEL ESTUDIO	SCIELO	REDALYC	EBSCO
Evaluación de herramientas de entorno "SIG" y sus aplicaciones en la modelación hidráulica de ríos		X	X
Análisis de inundaciones costeras por precipitaciones intensas, cambio climático y fenómeno de El Niño. Caso de estudio: Machala.		X	X
Evaluación de los productos Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) y Global Precipitation Measurement (GPM) en el modelamiento hidrológico de la cuenca del río Huancané, Perú.	X		X
Hydrological analysis of historical floods in the upper valley of Cauca river	X	X	X

Fuente: Propia

De 121 estudios de investigación preseleccionados se procedió a retirar 96 documentos debido a que su presencia no guarda relación con el enfoque del presente estudio, en otros términos, estos no cumplen con los criterios de inclusión y sus características son parte de los criterios de exclusión. Finalmente, quedaron un total de 25 investigaciones., tal como se describe en el diagrama del proceso de selección en la Figura N°6.

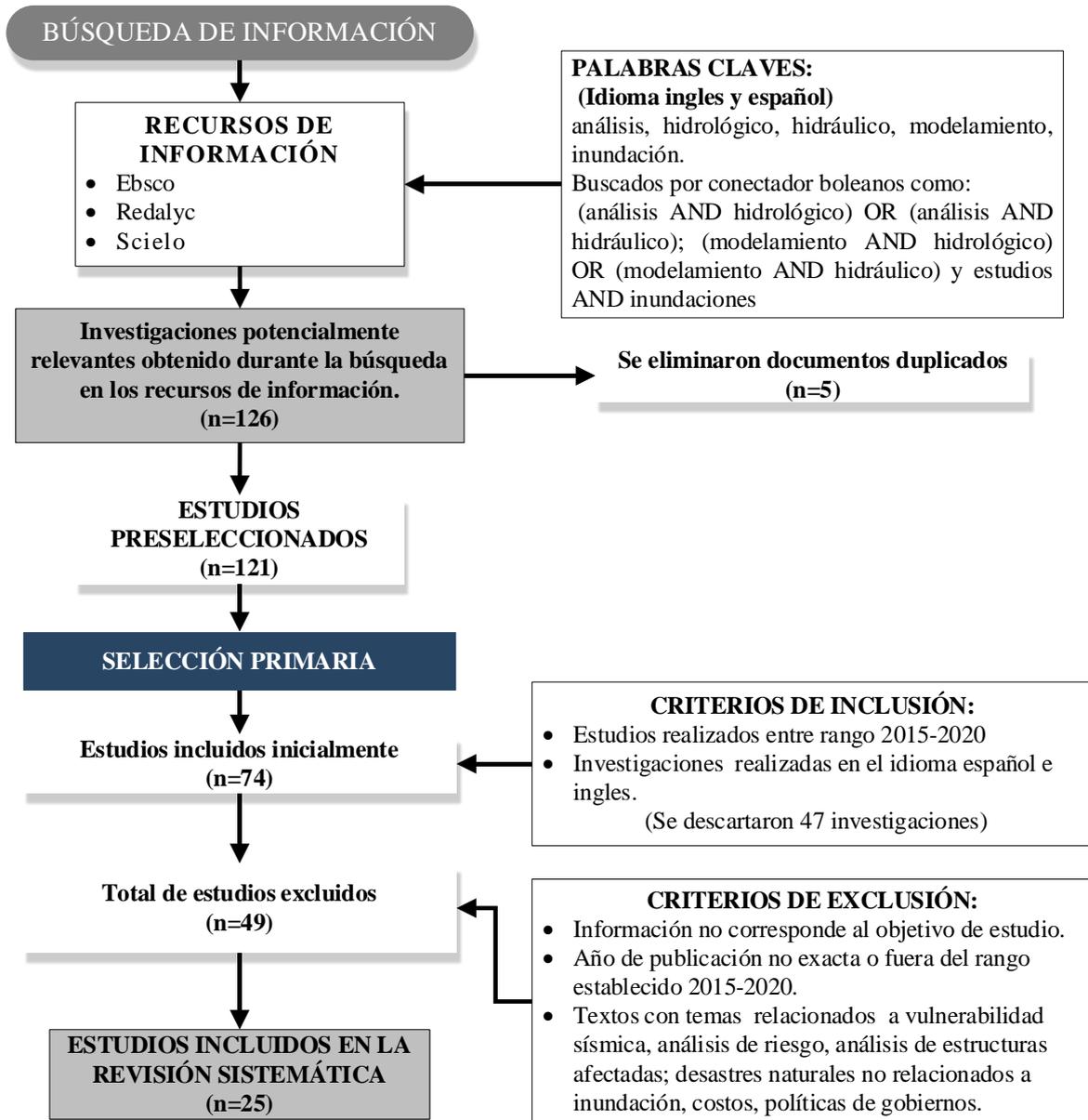


Figura N°6: Diagrama de flujo del proceso de selección de estudios. Fuente: Propia

Se retiraron estudios de la siguiente forma: Inicialmente, del total bruto de 126 documentos, se retiraron 5 estudios por duplicados (3 de Redalyc y 2 de Scielo). Luego, se retiraron 48 investigaciones (11 Ebsco, 28 de Redalyc y 8 de Scielo) por antigüedad, es decir, por ser estudios realizados hace más de 6 años. Asimismo, se realizó el análisis de cada estudio donde se retiraron 23 documentos (9 Ebsco, 4 de Redalyc y 10 de Scielo) debido a que su tema principal y también se descartó 26 artículos (16 Ebsco, 4 de Redalyc y 6 de Scielo) porque su objetivo de estudio no se relacionaba al objetivo principal del estudio. Finalmente, los estudios de investigación seleccionados fueron: 14 de Ebsco, 8 de Redalyc y 3 de Scielo. En la Tabla N°6. Se detallan como fueron descartados los estudios desde el inicio y los 25 estudios seleccionados según fuente.

Tabla N°6: Cuadro de estudios en bruto, descartados y finales según fuente.

ID	FUENTE	C.BRUTO	DUPL.	ANTIG.	TEMA	OBJET.	C.SELEC.
EB	EBSCO	50	0	-11	-9	-16	14
RD	REDALYC	47	-3	-28	-4	-4	8
SC	SCIELO	29	-2	-8	-10	-6	3
TOTAL		126	-5	-48	-23	-26	25

Fuente: Propia

La distribución de estudios retirados totales y por fuente fuentes de información se aprecian en la Figura N°7.

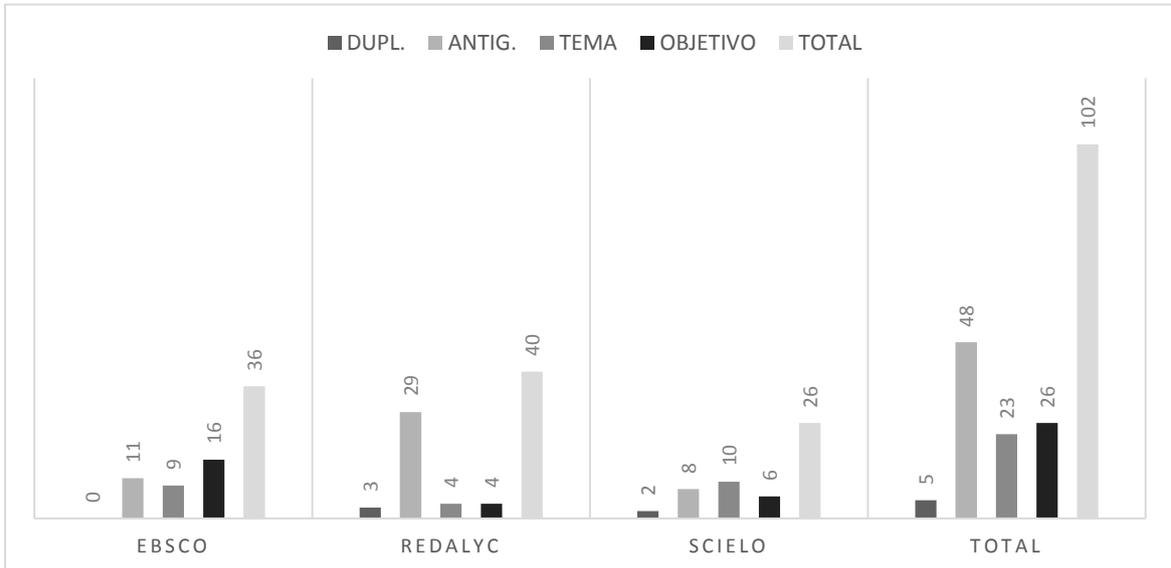


Figura N°7: Distribución de estudios retirados según fuente. Fuente: Propia

En la Figura N°8, se visualiza como se distribuyen los estudios totales retirados y seleccionados según fuente. Se descartaron 36 investigaciones de Ebsco, 39 de Redalyc y 26 de Scielo.

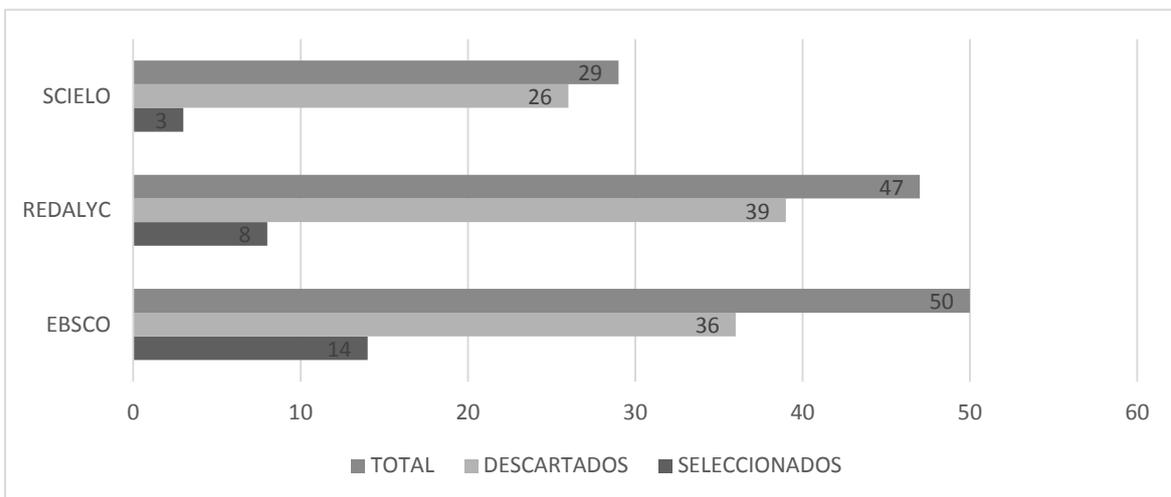


Figura N°8: Distribución total de estudios totales, descartados y seleccionados. Fuente: Propia

Los estudios seleccionados fueron 25 (14 de Ebsco, 8 de Redalyc y 3 de Scielo), en el capítulo anterior se visualiza sus principales características. A continuación, se mostrará la distribución total y por idioma, según Keyword con conectores booleanos en Figura N°9, Tabla N°7 y Tabla N°8

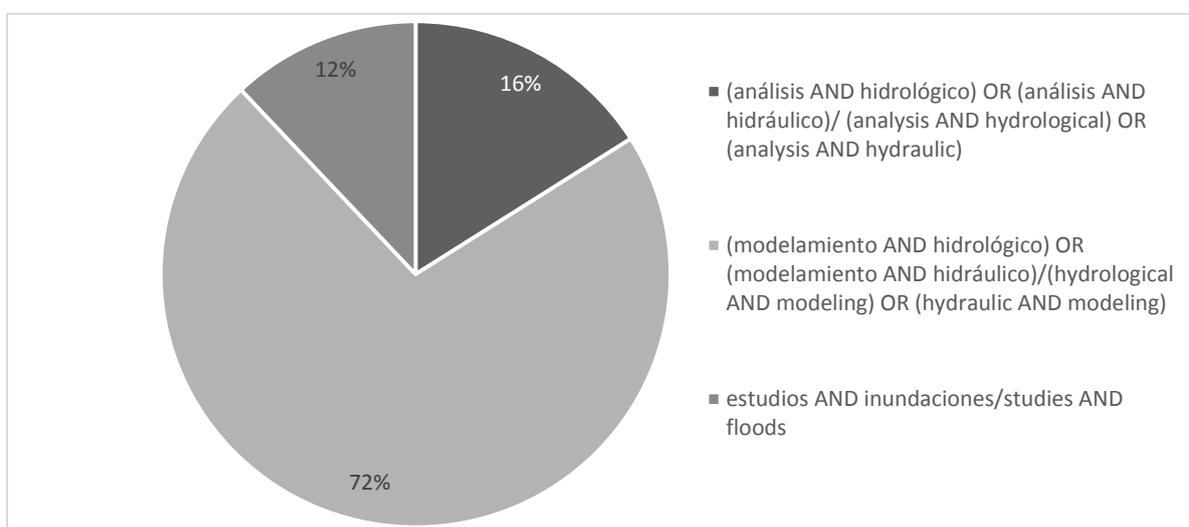


Figura N°9: Porcentaje según Keyword de los estudios seleccionados. Fuente: Propia

Tabla N°7: Estudios de investigación seleccionados por keyword, en español.

KEYWORD	EBSCO	REDALYC	SCIELO	TOTAL
(análisis AND hidrológico) OR (análisis AND hidráulico)	1	1	0	2
(modelamiento AND hidrológico) OR (modelamiento AND hidráulico)	12	1	0	13
estudios AND inundaciones	1	1	1	3
TOTAL	14	3	1	18

Fuente: Propia

Tabla N°8: Estudios de investigación seleccionados por keyword, en inglés.

KEYWORD	EBSCO	REDALYC	SCIELO	TOTAL
(analysis AND hydrological) OR (analysis AND hydraulic)	0	1	1	2
(hydrological AND modeling) OR (hydraulic AND modeling)	0	4	1	5
studies AND floods	0	0	0	0
TOTAL	0	5	2	7

Fuente: Propia

Los tipos de estudios seleccionados fueron tesis y artículos de investigación: siete y dieciocho, respectivamente.

Entre las características principales comunes, se puede mencionar que todas fueron de tipo de investigación descriptivo. Además, es importante mencionar que solo 6 estudios realizaron trabajo en campo, es decir, se realizaron estudios topográficos, climáticos, etc. Los estudios restantes se basaron en información de estudios realizados anteriores. Por otro lado, los datos meteorológicos e hidrometeorológicos fueron recolectados de las instituciones oficiales de cada país, tales como precipitación diaria, máxima en 24 horas, caudales históricos, etc.

Al realizar el análisis de las investigaciones se manifiesta en la distribución de software utilizado una variedad de modelos matemáticos, por cada estudio hidráulico o hidrológico. Además, se evidente la utilización de Sistemas de Información Geográfica.

A continuación, en la Figura N°10, Figura N°11 y Figura N°12, se mostrará la distribución de SIG y software utilizado para cada modelamiento hidráulicos e hidrológico, cabe recalcar que en la mayoría de estudios se utiliza más de un software para cada proceso.

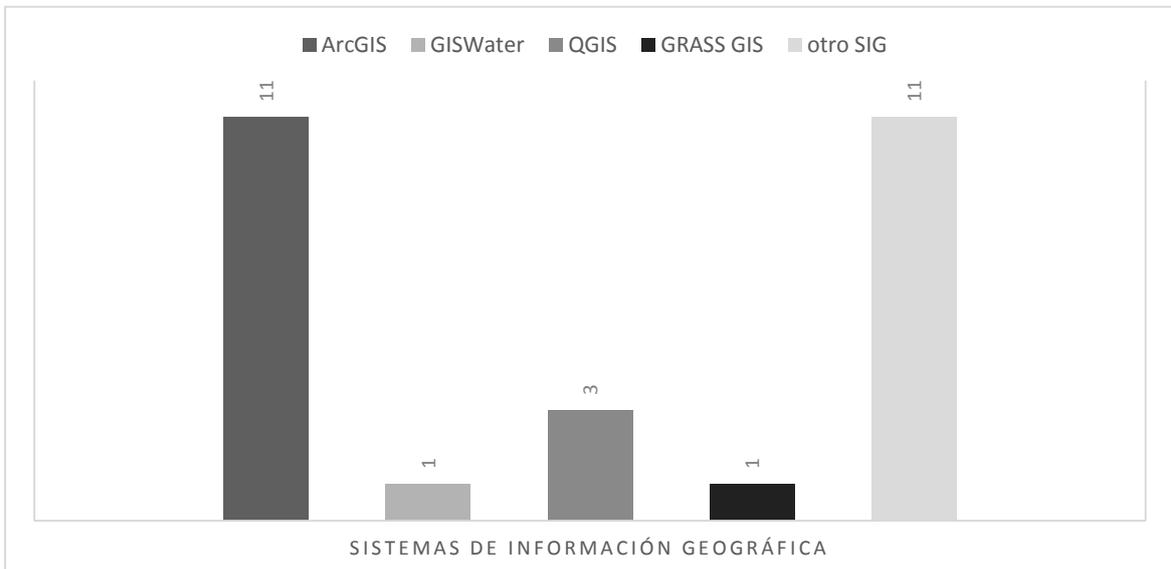


Figura N°10: Distribución de Sistemas de Información Geográfica. Nota: La suma total se diferencia a la cantidad de estudios debido a que en existe estudios en el que se utilizó más de un SIG. Fuente: Propia

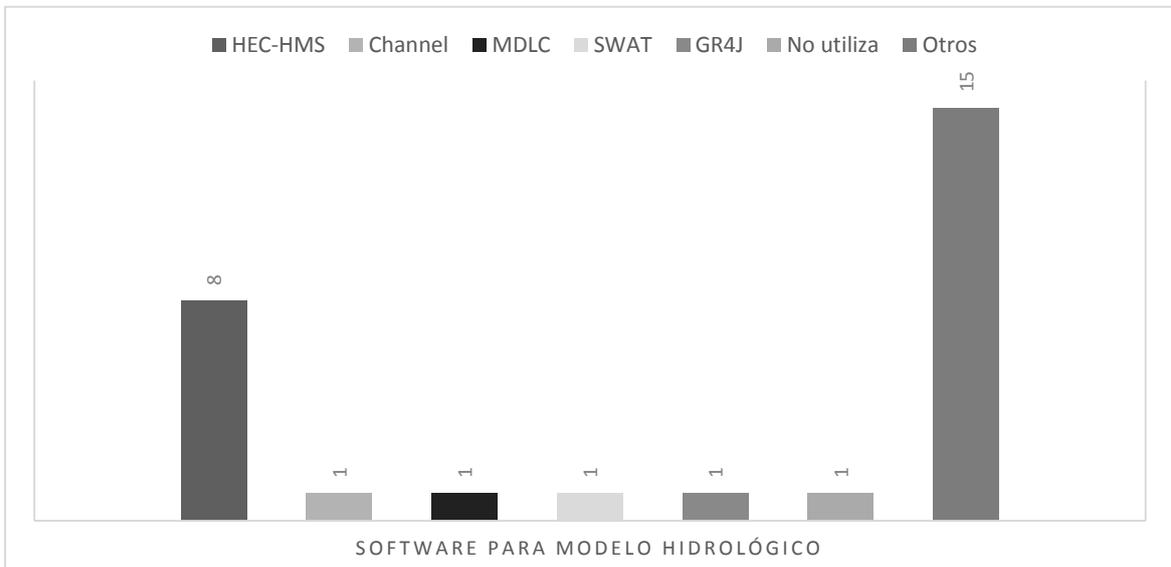


Figura N°11: Distribución de softwares para el modelamiento hidrológico. Nota: En varios estudios se realizó el modelo hidrológico con más de un software, existiendo un total de 16 modelos matemáticos. Fuente: Propia

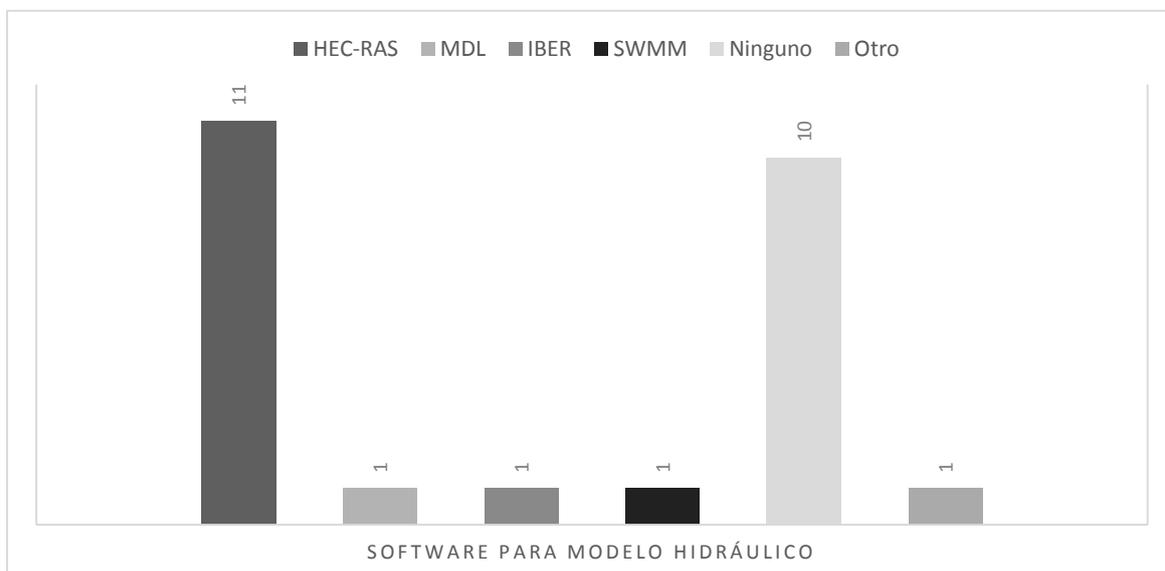


Figura N°12: Distribución de softwares para el modelamiento hidráulico. Nota: En varios estudios solo se realizó el modelamiento hidrológico. Fuente: Propia

De las tablas mostradas, notamos que el Sistemas de Información Geográfica que predominó fue el ArcGIS, con un 41% con respecto al total. Por otro lado, los softwares más utilizados para los modelos hidrológicos y modelos hidráulicos fueron: HEC-HMS 30% y HEC-RAS 72%, respectivamente.

Sin embargo, Palmer (2017) en la tesis titulada “Determinación de las áreas inundables en los sectores San Pedro y Niño Pobre, según caudales máximos estimados del río Utcubamba, aplicando modelo HEC-RAS y software ArcGIS”- Universidad Nacional de Trujillo, se llega a la conclusión que tanto el programa HEC-RAS y la extensión Hec-geoRAS, ArcGis requieren del manejo y criterio de un experto para cada situación de la etapa del modelo de simulación, debido a que no son softwares autosuficientes.

Por otro lado, Méndez (2015) en la tesis titulada “Comparación del comportamiento de modelos hidráulicos e hidrológicos en el Río Magdalena tramo Purificación – Honda”-

Universidad de los Andes, realizado en el Río Magdalena, Colombia, realiza una comparación entre el modelo MDLC y HEC-RAS, principalmente se diferencian debido a que HEC-RAS está más orientado a conceptos hidrológicos, a diferencia de MDLC que corresponde más al tiempo de tránsito. Por otro lado, se determina que el programa HEC-RAS engloba que los parámetros requeridos por la MDLC, ya que lo reduce a 16 factores.

Asimismo, Ramos. y Pacheco (2017) en el artículo publicado “Análisis hidrológico e hidráulico de la cuenca del Río Frío, municipios de Ciénaga y zona bananera, departamento del Magdalena.”- Revista Logos, Ciencia & Tecnología, Colombia, realiza un análisis cualitativa y cuantitativamente, donde llega a la conclusión de que el programa HEC-RAS requiere de más datos de estaciones hidrometeorológicas para obtener resultados más precisos. Por otro lado, el modelo hidrológico HEC-HMS obtiene resultados menores al 4%.

Asimismo, es importante indicar que, en los 25 estudios de investigación, seleccionados en la presente revisión sistemática, se logró el objetivo de realizar los respectivos modelamientos ya sean hidrológicos o hidráulicos. Es decir, se logró identificar las zonas de mayor riesgo ante inundaciones en el área de estudio.

CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES

La revisión sistemática realizada englobó a un total de 126 estudios de investigación, donde se seleccionaron sistemáticamente 25 documentos, descritos en resultados.

Al analizar los estudios seleccionados, se concluye que la utilización conjunta de los diferentes softwares de especializados y Sistemas de Información Geográfica para los modelos de simulación permiten obtener información relevante para determinar el nivel de peligrosidad, debido a que, en cada estudio de investigación, se identifican las zonas de mayor riesgo ante inundaciones. Es decir, se determinan las áreas más vulnerables de la zona de estudio y, de acuerdo a los parámetros obtenidos en el modelamiento, se deben determinar acciones específicas con el fin de prevenir las inundaciones. Por otro lado, se identificó que los modelos matemáticos más utilizados fueron HEC-HMS y HEC-RA, además, son programas compatibles que requieren menos datos de entrada, llegando a ser más fáciles de manejar que los otros programas mencionados en el anterior capítulo.

Las limitaciones corresponden a que se generalizó los resultados, pero es importante aclarar que los estudios se desarrollaron con diversos softwares, por ende, cada estudio presenta resultados únicos. Por esta razón, se recomienda determinar los softwares a utilizar, de acuerdo a los datos de entrada disponibles y los conocimientos del personal que realizará el modelamiento hidrológico o hidráulico. Debido a que, al tener parámetros sensibles es relevante que sea utilizado por personas calificadas y con conocimiento del tema, ya que al colocar datos alejados o errados de la realidad ocasionaría un cálculo muy ajeno a la realidad del lugar, generando un mapa de inundación inútil.

REFERENCIAS

CENAPRED (2014). *Inundaciones* (1 ed). Recuperado de:

http://www1.cenapred.unam.mx/DIR_SERVICIOS_TECNICOS/SANI/Entidades%20Federativas/Recursos/Inundaciones/190502_RI_Folleto%20de%20inundaci%C3%B3n_mod.pdf

Méndez, D. (2015). *Comparación del comportamiento de modelos hidráulicos e hidrológicos en el Río Magdalena tramo Purificación – Honda* (tesis de bachiller). Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.

Moreno, B., Muñoz, M., Cuellar, J., Villanueva, J. (2018). *Revista Clínica Periodoncia Implantología y Rehabilitación. Oral*. 11(3).184-186. Recuperado de:

https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0719-01072018000300184

Munir, A. (2001). Uso de sistemas de información geográfica libres para la protección del medio ambiente. Caso de estudio: manipulación de mapas ráster con datos climáticos. *Boletín de la A.G.E.* (31) 23-46. Recuperado de:

<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/1122528.pdf>

Palmer, G. (2017). *Determinación de las áreas inundables en los sectores San Pedro y Niño Pobre, según caudales máximos estimados del río Utcubamba, aplicando modelo HEC-RAS y software ArcGIS* (Tesis de bachiller). Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.

Ramos, M. & Pacheco, J. (2017). Análisis hidrológico e hidráulico de la cuenca del Río Frío, municipios de Ciénaga y Zona Bananera, departamento del Magdalena. *Revista Logos, Ciencia & Tecnología*, 9(1), 156-178. <https://doi.org/10.22335/rlct.v9i1.302>

SENAMHI (2014). *El fenómeno EL NIÑO en el Perú*. Recuperado de:

http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/07/Dossier-El-Ni%C3%B1o-Final_web.pdf