



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

Revisión sistemática: Análisis de la influencia de cobertura vegetal en el caudal de escorrentía en una cuenca mediante los modelos HEC – HMS y SWAT

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO AMBIENTAL

AUTORES:

Cabrera Alarcon, Edgar Americo (ORCID: 0000-0002-8007-4688)
Suarez Cereceda, Bery Gardenia (ORCID: 0000-0002-6200-6446)

ASESOR:

Mg. Ugarte Alvan, Carlos Alfredo (ORCID: 0000-0001-6017-1192)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Gestión de Riesgos y Adaptación al Cambio Climático

LIMA – PERÚ

2022

Dedicatoria

A Dios, por brindarnos salud y fuerzas por alcanzar los objetivos trazados, a nuestros padres, por su infinito apoyo, paciencia y amor; y a nuestros hijos quienes nos alientan a ser mejores.

Agradecimiento

A nuestro asesor Ing. Carlos Ugarte por su apoyo incondicional, paciencia y aliento; asimismo, a todas las personas que significan mucho para nosotros, quienes estuvieron ahí, brindando su apoyo moral a lo largo de nuestra formación académica y el desarrollo de esta investigación.

Índice de contenidos

Carátula	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras.....	vi
Índice de abreviaturas.....	vii
Resumen	viii
Abstract.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA.....	19
3.1 Tipo y diseño de investigación	19
3.2 Categorías y subcategorías y matriz de categorización apriorística ...	20
3.3 Escenario de estudio.....	20
3.4 Participantes	21
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	21
3.6 Procedimiento	21
3.7 Rigor científico	22
3.8 Método de análisis de datos.....	23
3.9 Aspectos éticos.....	23
IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES	24
V. CONCLUSIONES.....	34
VI. RECOMENDACIONES	36
REFERENCIAS	37

Índice de tablas

Tabla 1: Cuadro de Antecedentes	4
Tabla 2: Matriz de Categorización Apriorística	20
Tabla 3: Causas de la pérdida de cobertura vegetal	24
Tabla 4: Relación de la precipitación, escorrentía y cambios de la cobertura vegetal	28
Tabla 5: Modelos para la evaluación de la transformación de la precipitación en escorrentía en una cuenca	30

Índice de figuras

Figura 1 Ciclo hidrológico.....	14
---------------------------------	----

Índice de abreviaturas

NDVI	: Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada
EVI	: Índice de vegetación mejorado
GBHM	: Modelo hidrológico basado en geomorfología
CLM	: Modelo de tierras comunitarias
GSN	: Índice de vegetación de diferencia normalizada
CN	: Número de curva
LAI	: Índice foliar
FVC	: Fracción de cobertura vegetal
LULC	: Clasificación de uso de la tierra cobertura del suelo

Resumen

La variación de la cobertura vegetal tiene impacto en los procesos hidrológicos lo que se ve reflejado en las relaciones precipitación infiltración y escorrentía. La presente investigación se realizó con el objetivo de analizar los efectos que tiene la pérdida de cobertura vegetal en la variación del caudal de escorrentía de una cuenca. La investigación fue de enfoque cualitativo, con un nivel descriptivo y de diseño no experimental. Para la recolección de la información se utilizó las bases de datos Web of Science, Dialnet, Scielo, Scopus desde el año 2018 al 2021. Los resultados que se obtuvieron a partir de la revisión sistema fueron que existen factores antrópicos y naturales que afectan a la composición y estructura de la cobertura vegetal, por otro lado se analizó que existe relación directa entre la cobertura vegetal, infiltración y escorrentía y finalmente para la modelación de la precipitación en escorrentía existen dos tipos de modelos hidrológicos como son el SWAT y el HEC HMS y el uso está enfocado en simulación de lluvia escorrentía.

Palabras claves: cobertura vegetal, infiltración, escorrentía, SWAT, HEC HMS

Abstract

The variation of the vegetation cover has an impact on the hydrological processes, which is reflected in the relationships between precipitation, infiltration and runoff. The present investigation was carried out with the objective of analyzing the effects of the loss of vegetation cover on the variation of the runoff flow of a basin. The research had a quantitative approach, with a descriptive level and a non-experimental design. For the collection of information, the Web of Science, Dialnet, Scielo, Scopus databases were used from 2018 to 2021. The results obtained from the system review were that there are anthropic and natural factors that affect the composition and structure of vegetation cover, on the other hand it was analyzed that there is a direct relationship between vegetation cover, infiltration and runoff and finally for the modeling of rainfall runoff there are two types of hydrological models such as SWAT and HEC HMS and the use is focused on simulation of rain runoff.

Keywords: vegetation cover, infiltration, runoff, SWAT, HEC HMS

I. INTRODUCCIÓN

Las cuencas hidrográficas vienen a ser unidades geográficas e hidrológicas donde existe interrelaciones de los factores abióticos y bióticos. Estas cuencas ofrecen servicios ecosistémicos como provisión de bienes y servicios: productos agropecuarios, forestales, recreativos y el más importante la producción del recurso hídrico. Actualmente muchos de estos procesos vienen siendo afectados por la alteración en los ecosistemas que viene causando el hombre a consecuencia de ampliación de la frontera agrícola, quemadas, talas esto sin considerar la aptitud agroecológica de los suelos afectados así los procesos hidrológicos que sucede en una cuenca sobre todo en la escorrentía (Caro Camargo et al., 2019)

Se entiende por escorrentía a la porción de la precipitación pluvial que escurre en una zona o cuenca hidrológica sobre o debajo de la superficie terrestre y que llega a un curso de agua para ser drenada hasta la salida de una cuenca o bien alimentar un lago, si se trata de cuencas abiertas o cerradas, respectivamente. (Breña Puyol & Jacobo Villa, 2006). La variación de la escorrentía superficial depende del volumen o la intensidad de precipitación así también como de la extensión de la cuenca, la cobertura vegetal, el tipo de suelo, las pendientes del terreno y las condiciones del suelo etc. (Rojas Núñez L. G. & Silva, 2017; W. Zhang et al., 2020). El cambio climático y la actividad humana a futuro tendrán un impacto sustancial en el ciclo del agua, sobre todo en la precipitación que incide directamente en la escorrentía (Chen et al., 2020).

El impacto de la variación de la cobertura vegetal en los procesos hidrológicos se ve reflejado en las relaciones lluvia-escorrentía y la dinámica del escurrimiento (Alejandro & Montoya, 2019; Cabrera Balarezo, 2017). Además de la escorrentía, los cambios en la cubierta vegetal afectan procesos hidrológicos como la evapotranspiración, la infiltración y la humedad del suelo en la cuenca (W. Zhang et al., 2020).

Desde años atrás se viene aplicando diferentes modelos hidrológicos para estimar la escorrentía, estos modelos muestran niveles de eficacia siempre y cuando se tenga información de campo (Alejandro & Montoya, 2019; Santos et al., 2020).

Los modelos hidrológicos simulan la transformación de la precipitación sobre un área determinada en escorrentía; para esto es necesario contar con la delimitación área de estudio o cuenca, características hidrológicas y características morfológicas, luego se toman en cuenta características bio físicas como el suelo, cobertura vegetal y la topografía; estos conjuntos de datos se ensamblan y se calibran a través de la simulación en dos tipos de modelos hidrológicos como el HEC HMS y SWAT. (Johana et al., 2021)

Durante estos 50 últimos años se vienen realizando investigaciones, sobre todo en países asiáticos (china) donde diferentes autores reconocen la importancia que tiene la cobertura vegetal en las regulaciones de caudales de escorrentía (Gu et al., 2018; B. Wang et al., 2020; D. L. Wang et al., 2021; W. Zhang et al., 2020). Sin embargo, no está muy claro qué consecuencias tiene los cambios de cobertura vegetal y si tiene relación directa con la generación de caudales de escorrentía, así mismo se desconoce cuales son las principales causas de la eliminación de cobertura vegetal y si existe relación entre cobertura vegetal, infiltración y escorrentía.

Por otro lado, no existen suficientes investigaciones que indiquen que tipo de modelos hidrológicos usar, según las características de una cuenca y que diferencia existe entre estas.

Con este estudio se pretende realizar una investigación teórica con la finalidad de aportar conocimientos sobre la influencia de los cambios de cobertura vegetal en el caudal de escorrentía de una cuenca. Además, este análisis también pretende conocer las diferentes modelos para estimar los niveles de escorrentía y cuál es su nivel de eficiencia. De esta manera lograremos incentivar a que se realicen diferentes investigaciones los cuales puedan ser plasmados para el adecuado manejo y gestión de las cuencas hidrográficas que se encuentran en nuestro territorio.

En este marco, se planteó como problema general: ¿Qué efectos tiene la perdida de cobertura vegetal en la variación del caudal de escorrentía de una cuenca?

Por otro lado, se plantearon los siguientes problemas específicos: ¿Cuáles son las causas de la pérdida de la cobertura vegetal?

¿Cuál es la relación entre la cobertura vegetal, infiltración y escorrentía?
¿Cuáles son los modelos para determinar la transformación de la precipitación en escorrentía en una cuenca?

En base a la descripción de la problemática presentada, se planteó como objetivo general lo siguiente:

- Analizar los efectos que tiene la pérdida de cobertura vegetal en la variación del caudal de escorrentía de una cuenca

Mientras que los objetivos específicos fueron:

- Analizar las principales causas de la pérdida de la cobertura vegetal que influyen en el proceso hidrológico de una cuenca.
- Evaluar la relación de la cobertura vegetal, infiltración y escorrentía.
- Determinar los tipos de modelos utilizados para la evaluación de la transformación de la precipitación en escorrentía en una cuenca.

II. MARCO TEÓRICO

Para la elaboración de la revisión sistemática, se realizó la compilación de información en diferentes fuentes de datos como Scimedirect, Scientific Research Publishing, Scielo, Dialnet. Se fijo como periodo de búsqueda desde el año 2018 hasta 2021. A continuación, se detalla la información en la siguiente tabla:

Tabla 1: Cuadro de Antecedentes

Nº	Autor	Metodología / descripción	Variables	Resultados
1	Li et al., 2019	El CLM y GBHM es un modelo ecohidrológico que combina el modelo de tierras comunitarias (CLM) ampliamente utilizado con un modelo hidrológico distribuido con base física: el modelo hidrológico basado en geomorfología (GBHM)	Escorrentía, infiltración, cobertura vegetal	Los resultados del estudio indican que los servicios de regulación de inundaciones aumentaron en general en la mayoría de las cuencas hidrográficas. Además, la cobertura de vegetación ampliada jugó un papel positivo en la mejora de los servicios de regulación de inundaciones.
2	Gu et al., 2018	El método del exponente de Hurst se ha utilizado para predecir las tendencias de la vegetación y la sostenibilidad de las series de tiempo de la vegetación.	Cobertura vegetal, NDVI,	Los patrones espacio-temporales del NDVI se vieron afectados por las condiciones climáticas y topográficas en la temporada de lluvias. Los valores del NDVI mostraron una tendencia de crecimiento muy significativa en la temporada de lluvias durante el período de estudio. La función de "corredor - barrera" de los valles y montañas afectó los patrones espacio-temporales en la Región Cordillera Longitudinal-Gorge.
3	Ndehedehe et al., 2019	Análisis multivariados y correlación, tendencias y desviaciones acumulativas	NDVI, precipitación, cuenca, cobertura vegetal	El almacenamiento de agua terrestre (TWS) y la lluvia están fuertemente asociados con el Índice de Vegetación de Diferencia

			Normalizada (NDVI). El almacenamiento del agua terrestre esta en funcion al tipo de ecosistema y su vegetacion.
4	Wang et al., 2020	El exponente de Hurst (Hurst, 1951) El análisis se utiliza para evaluar la continuidad o la correlación a largo plazo de los cambios en los datos de series de tiempo durante períodos prolongados y se aplica ampliamente a la climatología y las secuencias hidrológicas	NDVI, precipitación, cuenca, ecorrentia, cobertura vegetal
5	Qu et al., 2020	El método de regresión lineal de mínimos cuadrados y la prueba estadística de Mann-Kendall para detectar la tendencia del índice de vegetacion mejorado (EVI) promediado espacialmente y las variables relacionadas con el clima, así como su significación estadística.	cobertura vegetal, precipitación, cuenca
6	Zhang et al., 2020	una combinación del método de análisis de tendencia mediana de TheilSen y la prueba de Mann-Kendall se está utilizando gradualmente para analizar secuencias de vegetación a largo plazo que reflejan la tendencia en cada píxel de la serie temporal	NDVI, cobertura vegetal, cuenca, precipitación, factores climáticos
			La temperatura fue el factor climático controlador, con la mayor contribución a las variaciones interanuales del EVI, mientras que la radiación solar tuvo fuertes contribuciones negativas. Sin embargo, la urbanización ha ocupado el espacio de crecimiento de la vegetación y fue un factor negativo inducido por el hombre que afectó el crecimiento de la vegetación.
			La relación entre la dinámica de la vegetación y el cambio climático presentó un patrón espacial complejo. La relación entre el índice de vegetación de diferencia normalizada (GSN) y la precipitación fue impulsada principalmente por las condiciones climáticas y las características de vegetación. La relación entre el GSN y la temperatura estuvo relacionada principalmente con las condiciones climáticas y la altitud en la escala de tiempo de 3 años, y las condiciones

				climáticas y los tipos de vegetación en la escala de tiempo de 6 años y para las tendencias a largo plazo
7	Bai, 2021	El exponente de Hurst es una medida clásica para evaluar la consistencia dinámica o la persistencia de datos de series de tiempo, y se usa ampliamente en investigación sobre climatología, hidrología, economía y vegetación.	NDVI, cobertura vegetal	
8	X. Zhang & Jin, 2021	El análisis de pendiente de Sen se combinó con la prueba de Mann-Kendall para identificar las tendencias crecientes o decrecientes en la cobertura vegetal durante el período de estudio, que ha sido ampliamente utilizado en hidrología y meteorología	NDVI, cobertura vegetal	. Las condiciones climáticas generales son beneficiosas para la recuperación de la vegetación, mientras que las actividades humanas impactan negativamente en el crecimiento de la vegetación.
9	Xu & di Vittorio, 2021	modelo climático global de resolución variable (VR-CESM) e	Cuenca hidrografica, escorrentia	la resolución refinada VRCEM se puede utilizar para el análisis hidrológico a escala de cuencas hidrográficas para comprender los recursos hídricos y el balance hídrico, además de los modelos hidrológicos tradicionales a escala de cuencas hidrográficas.
10	Makungu & Hughes, 2021	Pitman modelo	Cuenca, escorrentia, precipitacion	. Los resultados sugieren que la influencia de la llanura aluvial en el régimen de caudal mensual de Luangwa es mínima, mientras que la llanura aluvial de Barotse atenúa significativamente los caudales altos y regula los caudales bajos del río Zambezi superior.

11	Fang et al., 2020	Se utilizaron herramientas de estadística espacial en ArcGIS como complemento del modelo InVEST	Cobertura vegetal	los resultados mostraron que los tipos de vegetación en Xishuangbanna y su capacidad de suministro de SE diferían notablemente, con la capacidad general de suministro de SE de los bosques naturales superior a la de las plantaciones comerciales.
12	G. Zhang et al., 2021	El modelo hidrológico HEC-HMS fue usado para observar los cambios hidrológicos en una cuenca después de un terremoto	Cobertura vegetal, escorrentía, HEC - HMS	Se encontró que, poco después del terremoto, la fuerte expansión con un 11% de las áreas de deslizamientos de tierra elevó las magnitudes del potencial de escorrentía, la descarga máxima y el volumen de escorrentía en > 10%, y se avanzó el pico a tiempo para la inundación de gran magnitud., principalmente sujeto a la destrucción posterior al terremoto de la función original de interceptación del dosel e infiltración del suelo
13	Aladejana et al., 2018	La metodología empleada en este estudio implica el modelado para simular los componentes hidrológicos los mapas de cobertura terrestre para la cuenca del río Owena al noroeste de Benin, en tres periodos de tiempo (1986, 2002 y 2015), y la realización del análisis de regresión de mínimos cuadrados parciales para evaluar la contribución de los cambios en las clases de cobertura terrestre. a los componentes hidrológicos dentro de la cuenca.	-Cobertura vegetal. -Escorrentía -Precipitación	Los resultados revelan una severa pérdida de áreas boscosas ocurridas durante el período estudiado, siendo gradualmente sustituidas por tierras de plantación. En relación con la escorrentía superficial, se registró un aumento abrupto e inusual en 2015. La degradación de la tierra derivada de la deforestación reduce la capacidad de infiltración del suelo, lo que ralentiza la percolación y las tasas de flujo de agua subterránea, al tiempo que aumenta significativamente la cantidad de escorrentía superficial.

14	Siqueira et al., 2021	Evaluación de la influencia de procesos de reforestación en zonas ribereñas a través del modelo SWAT que requiere mapas e información topográficos, de uso de la tierra y de tipo de suelo, así como datos meteorológicos para ejecutar el modelo. Los datos de entrada utilizados para la configuración del modelo corresponden a 44 pluviómetros y los datos de temperatura se obtuvieron de 6 estaciones meteorológicas	-Clima -Caudal	Los resultados sugieren que la reforestación de zonas ribereñas y las prácticas de conservación del suelo y el agua no necesariamente aumentan la producción de agua, esto basado en información climática comprendida entre los años 1992-2012.
15	Osei et al., 2019	Para el análisis de la simulación de caudales de utiliza el SWAT que es un modelo semidistribuido y de base física a escala de cuenca fluvial que opera en una escala de tiempo diaria pero que también es capaz de simular resultados en escalas de tiempo mensuales y anuales. Para el uso de la tierra, se compone de un mosaico de más del 50% de vegetación natural de árboles, arbustos y cobertura herbácea con tierras de cultivo que cubren menos del 50%, mientras que las tierras son tierras de cultivo de secano.	-Precipitaciones -Escorrentía superficial -caudal base -Evapotranspiración -Número de curva	Los resultados iniciales revelaron que el bosque y la topografía jugaron un papel importante en la pérdida de agua en la cuenca, ya que la evapotranspiración y la escorrentía superficial fueron los procesos de modulación más dominantes. Los análisis de sensibilidad mensuales mostraron tres parámetros de los cuales el número de curva (CN) ocupó el primer lugar como el más sensible para controlar las cantidades de escorrentía en el río. Se observó que la incertidumbre era bastante baja ya que el modelo envolvía aproximadamente el 50% del flujo de la corriente observada, lo que sugiere un desempeño satisfactorio del modelo
16	Anand et al., 2018	El modelo SWAT es un modelo de tiempo continuo que opera en un paso de tiempo diario con opción de salida	-Tipos de suelo -vegetación	La comparación de la escorrentía superficial observada y simulada mensualmente para un

		<p>mensual o anual. El modelo opera dividiendo una cuenca en subcuencas y cada subcuenca se divide en Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU). La HRU es una combinación única de tipos de suelo y vegetación dentro de la subcuenca y sirve como la unidad computacional básica para la acumulación de flujo. La simulación del ciclo hidrológico por SWAT</p>		<p>período de calibración de 1990-2004 mostró muy buenos resultados. El análisis de simulación obtenido por el modelo SWAT indica que el modelo de agua superficial desarrollado para la cuenca del río Ganges es capaz de simular razonablemente bien el agua superficial real en la cuenca.</p>
17	D. L. Wang et al., 2021	<p>Las interacciones entre vegetación, clima e hidrología son muy complicadas, se han realizado numerosos esfuerzos para investigar los impactos del cambio climático en la escorrentía. Un aumento en la precipitación puede aumentar directamente la cantidad de escorrentía, mientras que otros factores climáticos, como la temperatura, la velocidad del viento y la humedad relativa, afectan los recursos hídricos al aumentar o disminuir la cantidad de evapotranspiración. Para el estudio de la variación de la cobertura vegetal se utilizó el NDVI para un periodo de 1966-1981.</p>	<ul style="list-style-type: none"> -NDVI -Precipitación -Caudal -Escorrentía 	<p>La evapotranspiración potencial está estrechamente relacionada con el cambio de vegetación y, por lo tanto, los parámetros de la vegetación también son factores muy importantes que influyen en los cambios en la escorrentía. Los resultados indican que el cambio de vegetación fue el factor dominante en la disminución de la escorrentía, el cambio de humedad relativa fue el segundo factor que afectó. En el modelo con un aumento de la cobertura de vegetación, la escorrentía anual disminuyó linealmente.</p>
18	Peraza-Castro et al., 2018	<p>Para el modelamiento de escenarios de cambio climático se utilizaron simulaciones con el modelo SWAT para evaluar los posibles efectos a largo</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Material particulado 	<p>Los resultados del modelo se compararon con el clima de referencia (1970-2000) y el uso actual de la tierra una comparación a escala</p>

		plazo en las cargas de descarga, de material particulado en suspensión (SPM) y la carga de carbono orgánico particulado (POC) resultantes de las proyecciones de cambio climático futuro.	-carga de carbono orgánico particulado	estacional y anual entre la línea de base y los escenarios combinados propuestos. A escala estacional, los cambios más abruptos en la descarga, la SPM y la carga de POC ocurrieron durante el verano y la primavera, seguidos por el otoño y el invierno.
19	Tao & Barros, 2019	Para investigar los impactos hidrológicos de los atributos del suelo y demostrar el valor y la utilidad de los conjuntos de datos corregidos que varían en el tiempo, se realizaron simulaciones hidrológicas a la resolución nominal IPHEX (1 km x 1 km y intervalo de tiempo por hora) utilizando el Mapa Digital de Altura de Copas (DCHM) en tres subcuencas de cabecera de la cuenca del río Pigeon en las montañas Apalaches del sur durante cuatro años hidrológicos continuos desde octubre de 2007 hasta septiembre de 2011, que abarcan una sequía extrema (2007-2008) y un año hidrológico muy húmedo (2009-2010).	-NDVI -Fracción de cobertura vegetal (FVC) -Índice foliar (LAI)	El análisis de simulaciones hidrológicas utilizando el Mapa Digital de Altura de Copas (DCHM) demuestra que los atributos de la vegetación de calidad (fracción de cobertura vegetal-FVC y el índice foliar-LAI) dan como resultado mejores simulaciones de flujo de arroyos en general a escalas de tiempo cortas y largas.
20	Perkins et al., 2019			
21	Gao et al., 2020	Se utilizó el modelo hidrológico HEC-HMS para examinar el impacto del cambio de uso de la tierra en las respuestas hidrológicas de la cuenca de drenaje.	-Uso de Suelo -Precipitación -Caudal	Como resultado de la aplicación del modelo hidrológico en la plataforma de HEC-HMS para examinar el impacto del cambio de uso de la tierra en el proceso de producción de

	<p>El modelo hidrológico se compone principalmente de un módulo de cuenca, un módulo meteorológico, un módulo de operación de control y un módulo de datos de series de tiempo. El caudal consta de cuatro partes: escorrentía directa, caudal base y caudales laterales.</p> <p>Para calcular el rendimiento de la escorrentía se utiliza el método de curva SCS, el método de Muskingan se usa para calcular el caudal en el tramo del río y el método de línea unitaria de Snyder se usa para calcular la escorrentía directa. Los principales parámetros a determinar en el modelo son el valor CN, la impermeabilidad, el rezago de la cuenca, la constante de almacenamiento. K y descarga la gravedad específica X. El valor de CN de cada subcuenca está determinado por el grupo hidrológico de suelos de los tipos de suelo en la cuenca. Los grupos hidrológicos de suelos se basan en estimaciones del potencial de escorrentía.</p>		<p>lluvias e inundaciones. Se identifico el siguiente hallazgo: El cambio de uso de la tierra proyectado dio como resultado la pérdida de la capacidad inherente de la cuenca, para absorber la precipitación y resultó en varios grados el aumento en picos de caudal e inundaciones.</p>
<p>22 Azmat et al., 2020</p>	<p>El estudio utiliza como uno de sus modelos el HEC-HMS, el cual basa sus proyecciones en el hidrograma unitario</p>	<p>-Uso de Suelo -Precipitación -Caudal</p>	<p>Se observa que la eficiencia de un modelo individual está principalmente relacionada con las características de las cuencas de estudio</p>

	<p>SCS (SCS-UH), el tiempo de demora y el promedio mensual para incorporar la escorrentía directa, la infiltración, el enrutamiento del río y el flujo base del río, respectivamente. La rutina meteorológica incorpora la evapotranspiración eligiendo un enfoque de una lista de métodos disponibles (método Penman-Monteith en este estudio) y un método de índice de temperatura para incorporar simulaciones de escorrentía de deshielo. Los valores iniciales adoptados para los parámetros antes mencionados se extrajeron mediante el uso de imágenes de GDEM, Landsat 8 y mapas de suelos de la FAO en el mundo (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación) para la clasificación de uso de la tierra cobertura del suelo (LULC).</p>	-Evapotranspiración	<p>seleccionadas (contribución de la nieve y el derretimiento de los glaciares y condiciones climáticas), particularmente durante la premonzón (período de la nieve y el derretimiento de los glaciares) y el monzón (período de lluvias extremas). El HEC HMS presenta una mejor eficiencia durante la temporada anual y previa a los monzones sobre la cuenca del río Astore posiblemente se pueda atribuir a la mayor contribución del caudal de las precipitaciones y menos de la cobertura de nieve y glaciares.</p>	
23	G. Zhang et al., 2021b			
24	Younis & Ammar, 2018	<p>Los conjuntos de datos necesarios para llevar a cabo la investigación incluyen imágenes satelitales Landsat TM de los años 2000 y 2010 para el análisis de la cobertura del suelo del uso del suelo en el área de estudio. Se utilizó el Modelo</p>	<p>-Uso de Suelo -Precipitación -Caudal -Evapotranspiración</p>	<p>Los estudios muestran que el aumento o la disminución de la descarga está directamente asociado con la cantidad de área construida e impermeabilizada de la cuenca. Según los resultados el impacto es muy pequeño y puede estar asociado al hecho de que toda la</p>

Digital de Elevación (DEM) de Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) para el análisis de cuencas. La estimación de precipitación basada en satélites de TRMM

La simulación de escorrentía superficial se realizó con los métodos del servicio de conservación de Suelos, el modelo hidrológico HEC-HMS calibrado y validado para el período de lluvias monzónicas de los años 2000 y 2010.

cuenca tiene menos del 1% de área construida.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la revisión de bibliografía se tiene los siguientes conceptos que fueron usados en la revisión bibliográfica:

Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico presenta diferentes variables, que presentan relación entre sí y a través de los procesos que forman parte de este. El ciclo hidrológico como esta referido a las etapas del agua en su transición de pasar de la tierra a la atmosfera, a través de procesos como la evaporación, condensación, precipitación y acumulación en la superficie terrestre. (Breña Puyol & Jacobo Villa, 2006; Ordoñez Gálvez J. J., 2011)

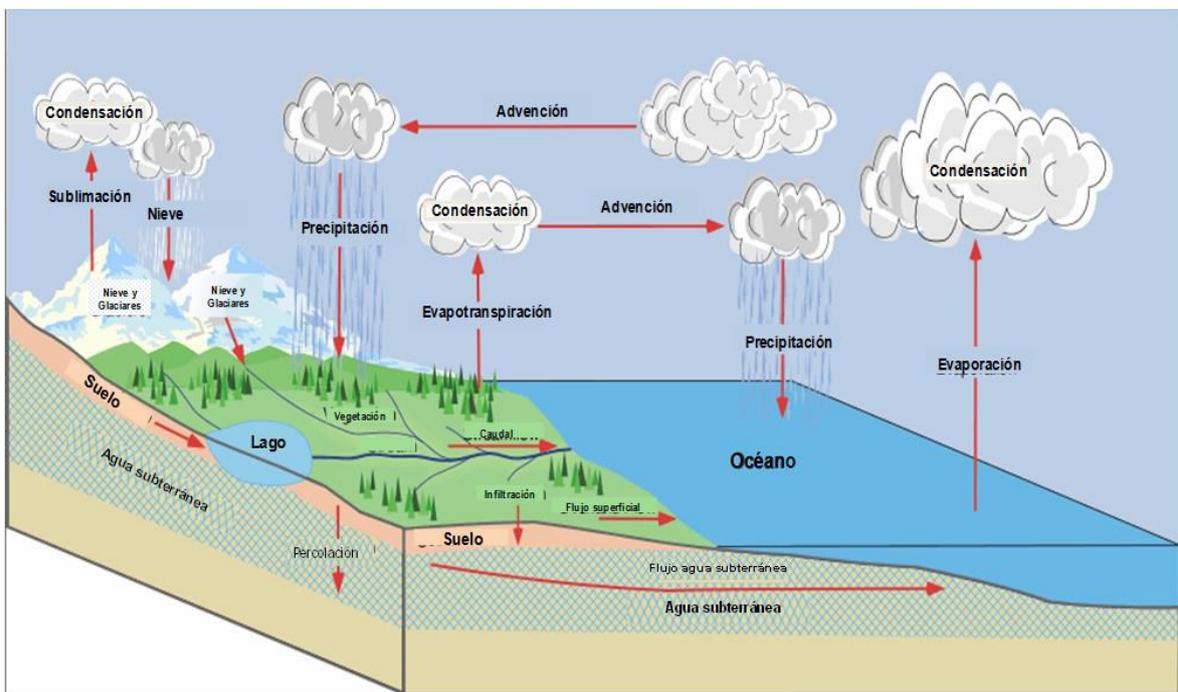


Figura 1 Ciclo hidrológico

Fuente: Cartilla Técnica Cartilla Técnica "Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral de Recurso Hídrico"

Precipitación

Se define como la caída, sobre la superficie terrestre, del agua suspendida en sus diferentes estados, sea en forma líquida (lluvia, garúa) o sólida (nieve o granizada). (Ordoñez Gálvez J. J., 2011)

La precipitación puede ser dividida en:

precipitación total o efectiva. Precipitación total: corresponde a la altura total de agua precipitada y medida por alguno de los métodos confiables disponibles.

Precipitación efectiva: corresponde a la fracción de lluvia que genera escorrentía directa. El otro volumen de lluvia se pierde, especialmente, por infiltración (en cuencas rurales) y, en menor proporción, por la interceptación, la evapotranspiración y el almacenamiento en depresiones de terreno. (Breña Puyol & Jacobo Villa, 2006; Ven Te Chow et al., 1994)

Infiltración

En los primeros segundos o minutos de lluvia, el agua que alcanza el suelo se infiltra y queda retenida en su porosidad, incrementando el volumen de las aguas subterráneas y el nivel freático. La capacidad de infiltración que presenta un suelo se define como la máxima cantidad de agua proveniente de la lluvia y que puede ser absorbida por el suelo en un periodo de tiempo y bajo condiciones específicas. Si la intensidad de precipitación es mayor que la capacidad de infiltración, el excedente se convertirá en escorrentía directa. Si, por el contrario, la capacidad de infiltración del suelo supera la intensidad de precipitación, no habrá escorrentía directa hasta que se sature el suelo. (Linsley Jr Ray K et al., 1977; Ordoñez Gálvez J. J., 2011)

Según Ordoñez Gálvez J. J., 2011, los factores que afectan este proceso son:

- Tipo y estado de la vegetación
- Pendiente del terreno
- Porcentaje de humedad del suelo
- Cantidad y duración de la precipitación
- Tipo y características del suelo

Escorrentía

La escorrentía es el flujo de agua, que no se infiltra, formando cursos de agua superficiales en forma continua o eventualmente durante el periodo de lluvias. La escorrentía superficial está en función de:

- Factor climático. – Este factor contempla la relación entre la precipitación, evaporación y evapotranspiración.
- Factor fisiográfico. – Toma en cuenta las características físicas del territorio; como la permeabilidad del suelo, el coeficiente de escorrentía y la morfología de la cuenca (área, pendiente y forma)

- Factor de vegetación. – Este factor esta referido al tipo de vegetación que intercepta la precipitación pudiendo ser herbácea, arbustiva o Arborea.

En una cuenca hidrográfica, un buen porcentaje de lo precipitado se convierte en escorrentía superficial, pero no su totalidad. Una fracción de la precipitación se pierde por fenómenos de: interceptación evaporación y evapotranspiración infiltración. (Linsley Jr Ray K et al., 1977; Ordoñez Gálvez J. J., 2011; Ven Te Chow et al., 1994)

Cuenca

La cuenca es una unidad hidrográfica delimitada por la divisoria de aguas y presenta con características físico-ambientales particulares. El agua que precipita, escurre hacia las zonas bajas formando flujos o descargas de agua que desembocan en algunos casos a cuencas de mayor tamaño y finalmente a océano. (Breña Puyol & Jacobo Villa, 2006; Ordoñez Gálvez J. J., 2011; Rojas Núñez L. G. & Silva, 2017)

Dinámica de Cobertura vegetal

La dinámica de la vegetación esta referida a la variación del tipo y/o características de la cobertura vegetal que se da en un periodo de tiempo y en un espacio determinado. La dinámica de la cobertura vegetal se puede dar en forma natural (variación de la precipitación y temperatura) o causa de actividades antrópicas.

La dinámica de la vegetación se enfoca en la variación de las características morfológicas de la cobertura vegetal que se da en un periodo de tiempo y en un espacio determinado, esta dinámica se puede dar de forma natural (variación de la precipitación y temperatura) o a causa de actividades antrópicas.

Las características del estado de la vegetación se ha convertido en un indicador importante que refleja los cambios en un ecosistema. La variación espacial y el tiempo de la vegetación y sus relaciones con los factores climáticos se analizan mediante el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), basada en análisis estadísticos (Johana et al., 2021; B. Wang et al., 2020)

NDVI

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) está determinado por el porcentaje de la biomasa fotosintéticamente que determina la vigorosidad de la vegetación.

Los índices de vegetación proceden de las combinaciones de las bandas espectrales obtenidas de imágenes satelitales de alta definición que realzan el color de la vegetación tomando como base su respuesta espectral. El resultado del cálculo del NDVI permite procesar una nueva imagen donde se destacan y realzan gráficamente determinados píxeles con características de la cobertura vegetal. (Díaz García Cervigón J.J, 2015)

HEC-HMS

El sistema de modelamiento HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System), fue desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los EE.UU, orientado para realizar simulaciones en procesos que se basan en la relación lluvia-escurrimiento en una cuenca, este software es ampliamente utilizado para estudios de disponibilidad hídrica, balance hídrico, simulación de descarga de agua, simulación de inundaciones entre otros. (Cabrera Balarezo, 2017)

Un modelo con HEC-HMS básicamente esta compuesto de una especificación de control, un modelo meteorológico y un modelo de cuenca. La especificación de control determina el periodo de tiempo utilizado; el modelo meteorológico simula la tendencia de la precipitación, en un periodo de tiempo determinado y el modelo de cuenca esta referida al diagrama hidrográfico a través de elementos como tramos, sub cuencas, reservorios y uniones que están conectados hidrológicamente uno del otro. (Cabrera Balarezo, 2017; Castro & Maidment, 2020)

Entre las características del modelo HEC-HMS, esta puede ser calibrada mediante diferentes productos de precipitación basados en parámetros estáticos y dinámicos con el fin de evaluar la capacidad de simulación del caudal (Gunathilake et al., 2020). El modelo también permite interacción e intercambio de información con plataformas de sistemas de información geográfica como el ArcGis a través del cual se puede procesar los modelos de elevación digital para

realizar la delimitación de cuencas y calcular los parámetros morfológicos de una cuenca, el HEC HMS también permite el utilizar como parte de sus variables el curve number (SCS) mediante el cual se estima la infiltración y escorrentía superficial (Ferreira et al., 2021).

SWAT

Según (Arnold et al., 1999; Neitsch et al., 2005, 2011) este modelo de simulación hidrológica creado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos conjuntamente con la Universidad de Texas. SWAT presenta la ventaja que puede ser aplicado en cuencas hidrográficas pequeñas a cuencas de cientos de kilómetros cuadrados.

Actualmente SWAT es uno de los modelos que se utilizan más para medir el impacto que tienen el cambio de uso de suelo en la hidrología de la cuenca. Se tiene una gran cantidad de trabajos internacionales, los cuales han sido respaldados por distintos investigadores de diferentes partes del mundo (Barrios Alex G & Urribarri Lisbeth A, 2010).

Según (Neitsch et al., 2005), el proceso de simulación puede ser dividida en dos etapas: la primera es la etapa es la parte del ciclo hidrológico que se realiza en la superficie terrestre, la cual controla el volumen de agua y los sedimento. La segunda etapa es el encausamiento del ciclo hidrológico, que consiste en cómo se desplaza el agua en la cuenca y los sedimentos través de la red de canales de la cuenca hacia una unidad hidrográfica mayor.

III.METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

El presente trabajo es básica, busca brindar conocimientos científicos sobre la dinámica de la cobertura vegetal y el cambio de uso del suelo en el comportamiento de la escorrentía en una cuenca, a través del modelo hidrológico HEC-HMS. Esto ayuda comprender la importancia del impacto de alteración de la dinámica de la cobertura vegetal sea este de forma natural u o causado por el hombre en los procesos hidrológicos de escorrentía; así mismo permitirá plantear acciones de recuperación, conservación de suelos y una adecuada gestión del territorio.

El diseño del trabajo es cualitativo, porque se basa en estudios de conocimiento científico, en los métodos y técnicas de interpretación de estudios y el entendimiento de fenómenos o hechos mediante la revisión bibliográfica; el procedimiento de búsqueda se ajusta a un sistema ordenado, que pretende recolectar información de forma empírica de distintas fuentes, materiales, estudios de casos, etc. Así mismo los participantes pueden comprender los problemas o fenómenos de su entorno y relacionarlos a los trabajos revisados. (Escudero et al., 2017).

Así mismo se considera narrativa de tópicos, esto porque la investigación es basada en sucesos o experiencias vividas de manera cronológica y descrita de forma narrativa (Hernández et al., 2014).

3.2 Categorías y subcategorías y matriz de categorización apriorística

Tabla 2: Matriz de Categorización Apriorística

Objetivos específicos	Problemas específicos	Categoría	Subcategoría
Analizar las principales causas de la pérdida de la cobertura vegetal que influyen en el proceso hidrológico de una cuenca	¿Cuáles son las causas de la pérdida de la cobertura vegetal?	Áreas deforestadas	Cambio de uso de la tierra de la cuenca en los procesos
Evaluar la relación de la cobertura vegetal, infiltración y escorrentía.	¿Cuál es la relación de la cobertura vegetal, infiltración y escorrentía?	Estimación de Caudal/escorrentía Tipo de cobertura vegetal	Hidrológicos cambios en la cobertura terrestre sobre la hidrología. Índices NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) Teledetección
Determinar los tipos de modelos utilizados para la evaluación de la transformación de la precipitación en escorrentía en una cuenca.	¿Qué, tipos de modelos existen para la evaluación de la transformación de la precipitación en escorrentía en una cuenca?	Métodos de evaluación de transformación lluvia escorrentía	-HEC HMS -SWAT

Fuente: Elaboración propia

Se presenta la matriz de categorización que se divide en cuatro filas, las donde se detalla los objetivos y problemas específicos y estos se enuncian con el apoyo de las categorías y subcategorías siendo ordenados, en una serie de criterios que se llevarán a cabo. La finalidad de esta matriz es la relación de los objetivos con los criterios de búsqueda lo que permite garantizar una correcta investigación.

3.3 Escenario de estudio

El escenario viene a ser la zona o ambiente donde se realiza la investigación en el cual se suscitan los hechos.

En este proyecto de investigación se tiene como escenario distintas cuencas hidrográficas de diferentes países, así como también existen estudios realizados a través de modelamientos hidrológicos e imágenes satelitales en los que se

emplean software que pueden ser usados desde un ordenador sin la necesidad de realizar estudios en campo, básicamente estos estudios son realizados a través de simulaciones.

3.4 Participantes

Para la presente investigación el material recopilado se realizó por medio de la revisión sistemática, las revistas indexadas y/o científicas, estas se encontraron en las diferentes Para la presente investigación el material recopilado se realizó por medio de la revisión sistemática, las revistas indexadas y/o científicas, estas se encontraron en las diferentes plataformas como: Scopus, Sciencedirect, Redalyc, Scielo, Dialnet y tesis desde los años del 2016 al 2021.

Por otro lado, también se usó bibliografía relacionada a la hidrología aplicada a la rama de la ingeniería.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Como técnicas de recolección se utilizará al análisis documental que viene a ser el conjunto de operaciones que tiene como finalidad representar y detallar los documentos de forma ordenada y sistemática. Contiene el proceso analítico – sintético, que este incluye revisión bibliográfica, la traducción, clasificación, elaboración de reseñas, entre otras. (Dulzaides & Molina, 2004).

Ya que, se indaga en cada metodología de diferentes autores relacionados al tema a estudiar; y se basará en identificar, seleccionar y posteriormente, evaluar los estudios correspondidos con el proyecto a tratar. En este caso, la información no será brindada directamente por los autores, sino se obtendrá a través de sus publicaciones en páginas científicas. Y es por medio de esta información recopilada, que será compartida.

3.6 Procedimiento

El primer paso fue la revisión de fuentes de información científica donde se buscaron artículos científicos con palabras claves como dinámica de la cobertura vegetal, escorrentía, infiltración, precipitación, cuenca hidrográfica, cobertura vegetal, NDVI, HEC HMS. En estas búsquedas se lograron encontrar artículos científicos, tesis de investigación, cabe señalar que la mayoría de estos artículos son en el idioma inglés, por lo que se tuvo que realizar las traducciones

correspondientes con la finalidad de tener un mejor entendimiento de los temas investigados.

3.7 Rigor científico

El rigor en la investigación cualitativa pertenece al proceso válido y confiable. Es de vital importancia para el investigador ahondar en los datos, examinar la información y sus relaciones posibles, ver los datos obtenidos desde varias perspectivas para una mejor comprensión y de esta manera pueda

Según (Rojas & Osorio, 2017), la dependencia en un trabajo de investigación en cuando varios investigadores recolectan datos idénticos al tema evaluados y realizan diversos análisis obteniendo resultados similares.

Para lograr la dependencia de una investigación el investigados a momento de realizar el análisis y la interpretación de los estudios no debe relacionarlo con sus ideas u opiniones por lo que es necesario tomar en cuenta todos los datos analizados antes de emitir sus conclusiones (Hernández et al., 2014).

Por lo antes mencionado en esta investigación se realizó una amplia búsqueda de información acerca la influencia de la cobertura vegetal en los procesos hidrológicos sobre todo en la escorrentía, lo que permitirán establecer la disponibilidad hídrica de una cuenca.

La credibilidad se describe como la cercanía que tienen los resultados de una investigación las cuales deben tener relación con el fenómeno observado, lo que permite que los investigadores puedan proponer hipótesis a priori sobre la verdad estudiada. (Noreña et al., 2012).

La transferencia en la investigación cualitativa se entiende como la posibilidad realizar los estudios en diferentes escenarios lo que permitirá realizar las similitudes o diferencias en diferentes contextos (Noreña et al., 2012).

De los antes mencionado en los diferentes trabajos de investigación revisados se encuentran en diferentes escenario y contextos con lo que podemos inferir que esta investigación cumple con el criterio de transferencia.

Para esta investigación, la confirmación indica que son varios autores realizando las investigaciones correspondientes en diferentes escenarios y contextos tienen resultados confiables y creíbles.

3.8 Método de análisis de datos

Para el análisis de información evaluada, se realizará en base a tres criterios por cada categoría, las cuales son:

- Dinámica de la cobertura vegetal
- Escorrentía
- HEC HMS
- SWAT

En la primera categoría se realizó la búsqueda de la dinámica de cobertura vegetal y su impacto en los procesos hidrológicos.

Para la segunda categoría se buscó como es el proceso hidrológico de la escorrentía si es influenciado o no por la dinámica de la cobertura vegetal.

Y como tercera categoría software de modelación hidrológica que nos permita conocer los aspectos hidrológicos de una cuenca y su relación con la cobertura vegetal.

3.9 Aspectos éticos

Para la presente investigación es preciso mencionar que la ética y la honestidad son parte importante de este trabajo ya que nos permitirá mostrar la autenticidad de la información revisada como lo está establecido en la política anti plagio del artículo 15 del Código de Ética de la Investigación de la Universidad César Vallejo, aceptado en la resolución de Consejo Universitario N° 0126-2017-UCV emitido el 23 de mayo de 2017.

En vista que la información fue recopilada de diferentes investigaciones elaborados por expertos en los temas relacionados al presente trabajo este fue analizada e interpretada citando y poniendo las referencias de acuerdo al ISO 690 -2 esto con la finalidad de respetar la autoría de los trabajos de investigación revisados.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el presente trabajo, se utilizaron 45 artículos relacionados con el tema de investigación, durante el desarrollo, se estuvieron filtrando y quedando con los más relevantes, bajo criterios de exclusión (antigüedad de los artículos), criterios de inclusión (artículos de interés al tema, que estén entre los años de 2018-2021). Finalmente, se obtuvo 37 artículos relacionados directamente con el tema en investigación, para luego, ser clasificados en las 3 categorías: causas de la pérdida de la cobertura vegetal, relación de la cobertura vegetal, infiltración y escorrentía; y modelos para la evaluación de la transformación de la precipitación a escorrentía, con sus criterios respectivos para cada una de las categorías antes mencionadas (ver tabla 3, 4 y 5).

En la tabla N° 3 presentamos las principales causas de la pérdida cobertura vegetal que afectan los procesos hidrológicos en una cuenca.

Tabla 3: Causas de la pérdida de cobertura vegetal

Nº	Autor	Causas	Natural	Antrópica
1	Li et al. (2019)	Las Inundaciones alteran la cobertura vegetal de un ecosistema y estos afectan los procesos hidrológicos	X	
2	Gu et al. 2018	Factores climáticos como la temperatura y precipitación que inciden en el desarrollo de la cobertura vegetal y actividades humanas como la agricultura.	X	x
4	Wang et al., 2020	Actividades humanas y factores climáticos afectan la estructura y composición de la vegetación de un ecosistema.	x	x
5	Qu et al., 2020	El Cambio climático y factores antrópicos que afectan a la biomasa de zonas con cobertura vegetal.	x	x
6	Zhang et al., 2020	El cambio climático, especialmente los factores meteorológicos de temperatura y precipitación, tiene un gran efecto sobre la vegetación y los cambios de uso de los suelos.	x	x
7	X. Zhang & Jin, 2021	El cambio climático a través de los cambios en los factores climáticos como temperatura y precipitación.	x	x
8	Fang et al., 2020	El cambio de uso de la tierra impulsado por los seres humanos,		x

		especialmente la rápida expansión de las plantaciones comerciales.	
9	G. Zhang et al., 2021	Los deslizamientos de tierra inducidos por fuertes terremotos a menudo destruyen grandes cantidades de vegetación del paisaje, lo que puede desencadenar cambios significativos en el potencial de escorrentía y el flujo de inundaciones	x
12	Aladejana et al., 2018	Deforestación debido a la expansión urbana	x
13	Osei et al., 2019	Prácticas agrícolas inadecuadas y la minería ilegal tienen un alto factor de impacto negativo en los sistemas fluviales y la disponibilidad hídrica .	x

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla 3 podemos inferir que las causas de la pérdida de cobertura vegetal son naturales y antropogénicas las cuales tienen un efecto en los procesos hidrológicos de una cuenca que a continuación analizaremos:

Li et al. (2019) indicó que estos últimos años existen mayor cantidad de eventos de inundaciones que se acrecientan por el cambio climático y que vienen aumentando la frecuencia y magnitud de la precipitación. Las inundaciones son peligros naturales que afectan a los ecosistemas sobre todo en la estructura de la cobertura vegetal lo que conlleva a modificar el flujo de agua de una cuenca. La cobertura vegetal aumenta la infiltración y la evapotranspiración del suelo y reducen la escorrentía, por lo que en esta investigación concluyo que la cobertura de vegetación ampliada jugó un papel positivo en la mejora de los servicios de regulación de inundaciones.

(Gu et al., 2018 Zhang et al., 2020) manifiestan que la vegetación es sensible a los cambios ambientales. El aumento de la temperatura puede conducir fácilmente a la sequía lo que afecta a la estructura y composición de la cobertura vegetal. Además, el crecimiento de la vegetación también está relacionado con la duración y frecuencia de las precipitaciones a menor cantidad de lluvias menor productividad de la vegetación. La variación de la cobertura vegetal a partir de los aspectos de los factores climáticos (precipitación y temperatura), la topografía y las actividades humanas tienen incidencia en la disponibilidad hídrica de una cuenca.

Las actividades humanas y los factores climáticos como la temperatura y la precipitación afectaron la productividad de los ecosistemas terrestres indirectamente al cambiar la disponibilidad de nutrientes afectando así el crecimiento de la vegetación así mismo, el aumento de la temperatura acelerará la evaporación del agua superficial, lo que afectará el crecimiento de la vegetación con lo que podría afectar indirectamente a los procesos hidrológicos de una cuenca. Wang et al. (2020)

Los ecosistemas de vegetación están influenciados por los efectos sinérgicos del cambio climático y los factores antropogénicos. Los factores climáticos, especialmente las precipitaciones, la temperatura y la radiación solar, que determinan las entradas generales de agua y energía, son los factores naturales dominantes que controlan el crecimiento de la vegetación. Qu et al., 2020 Zhang et al., 2020

Las diversas actividades destinadas a fomentar el desarrollo económico pueden afectar la cobertura vegetal, especialmente la plantación de cultivos reduciendo importantes áreas naturales con lo que se limita al ecosistema proveer servicios ecosistémicos como abastecimiento de recursos hídricos y regulación de inundaciones Zhang et al., 2020.

Además del cambio climático, la eliminación y/o restauración de la cobertura vegetal puede darse por actividades antropogénicas, como el uso de la tierra, el pastoreo excesivo, los programas ecológicos. Las actividades humanas han causado problemas ambientales, incluido el retroceso de los glaciares, la degradación de los pastizales, la erosión del suelo y la pérdida de biodiversidad que podrían llegar a tener relación directa con la provisión de servicios ecosistémicos de un ecosistema X. Zhang & Jin, 2021 Fang et al., 2020

Los cambios en la corteza terrestre como la alteración de paisajes, remoción de la cubierta vegetal y cambios en las propiedades físicas del suelo, pueden afectar notablemente los recursos hídricos regionales y la función del ecosistema en un período corto, incluso alterando el régimen hidrológico. los sismos que son peligros naturales pueden modificar la superficie terrestre de una cuenca influyendo profundamente en la situación hidrológica de la cuenca y el proceso del ciclo del agua G. Zhang et al. (2021)

Zonas extensas experimentado un cambio importante en la cobertura de la tierra como resultado de la deforestación debido a la expansión agrícola. Esta expansión agrícola se da sobre todo en zonas con índices de pobreza alta ya que la población busca realizar actividades que les permitan sobrellevar el día a día, el resultado de esto es que se pierdan extensas áreas de cobertura vegetal primaria muchos áreas que eran boscosa pasaron ser zonas agrícolas que no cuentan con plantas con dosel que sean capaces de interceptar las lluvias provocando la erosión del suelo afectando los procesos de infiltración y escorrentía que a su vez, ha afectado negativamente el equilibrio hidrológico de la cuenca Aladejana et al., (2018).

Los cambios de uso de la tierra y la disminución de la cobertura vegetal por actividades como la practicas agrícolas inadecuadas, minería ilegal, expansión urbana tiene un impacto negativo en los cuerpos de agua y los sistemas fluviales y por ende en la disponibilidad hídrica de una cuenca Osei et al. (2019)

Once de los treinta y siete artículos que fueron revisados indicaron que existen factores naturales y antrópicos que conllevan a la perdida de la cobertura vegetal.

De acuerdo a lo indicado en la Tabla 4 los investigadores encuentran relación entre la cobertura vegetal, la infiltración y escorrentía. Se ha demostrado que cuando existe eliminación, alteración o disminución de la cobertura vegetal la precipitación va directamente a los suelos, los cuales de acuerdo con sus características pueden llegar a saturar demasiado rápido por lo que se generaría poca infiltración y mayor escorrentía.

Además, las características morfológicas y fisiológicas de la cobertura vegetal también juegan un papel importante ya que zonas con bosques primarios que no fueron son capaces de retener mayor cantidad de agua en su dosel por sus extensas áreas foliares existiendo una relación entre mayor evapotranspiración menor escorrentía.

Tabla 4: Relación de la precipitación, escorrentía y cambios de la cobertura vegetal

Nº	Autor	Relación de variables	Análisis
1	Ndehedehe et al., 2019	Precipitación/ NDVI/ Humedad del suelo /productividad de la vegetación	La precipitación puede tener impactos en la productividad de un ecosistema por ejemplo el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) que es indicador de biomasa fotosintéticamente activa permite saber el estado de salud de la vegetación. La NDVI está relacionada directamente a la precipitación es decir cuando se tiene una baja precipitación se puede inferir que el estado de conservación de un bosque es bajo lo que podría estar relacionada directamente a los procesos hidrológicos de una cuenca.
1	Xu & di Vittorio, 2021	Cobertura vegetal / infiltración/ escorrentía	Los cambios en la estructura o dinámica de la cobertura vegetal tienen influencia en la generación de escorrentía y sedimentos de una cuenca. Según la investigación las áreas con cobertura vegetal tienen mayor capacidad de infiltración de la precipitación lo que disminuye la escorrentía
3	Aladejana et al., 2018	Cambios de cobertura vegetal/ calidad del suelo /escorrentía/ infiltración	La degradación de la tierra y la disminución paulatina de la biomasa, la composición de las especies y la calidad del suelo modifica los hidrológicos de una cuenca. A mayor cobertura vegetal, mayor evapotranspiración y menor infiltración y escorrentía.
4	Siquiera et al., 2021	Cobertura vegetal/Infiltración/ suelo	La degradación de la tierra derivada de la deforestación reduce la capacidad de infiltración del suelo, lo que ralentiza la percolación y las tasas de flujo de agua subterránea, al tiempo que aumenta significativamente la cantidad de escorrentía superficial. Además, el consiguiente aumento de tierras de plantación también da como resultado una reducción de la fertilidad del suelo y la degradación como resultado de que la capa superior expuesta del suelo es

Nº	Autor	Relación de variables	Análisis
			arrastrada por la lluvia después del arado. Además, se espera una consecuente reducción en la interceptación de lluvias en las tierras de plantación, ya que se produce la eliminación de las densas coberturas de árboles y hojas que caracterizan al bosque nativo, con hojas de cultivos que sirven como reemplazos.
5	D. L. Wang et al., 2021	Evapotranspiración, índice foliar, cobertura vegetal, escorrentía	Se han realizado importantes estudios sobre el impacto del cambio de vegetación en la escorrentía, y algunos investigadores han propuesto que la evapotranspiración aumenta a medida que aumenta la cobertura de vegetación y, por lo tanto, la escorrentía disminuye. Además, el índice de área foliar (LAI) también es un factor importante en los procesos de escorrentía informó que a medida que aumenta el LAI, la escorrentía disminuye.
6	Peraza-Castro et al., 2018	Cobertura forestal/ infiltración/escorrentía	La disminución de la cubierta forestal provoca un aumento de la energía erosiva de las gotas de lluvia y una disminución de la tasa de infiltración; cuando se excede la capacidad de infiltración, se produce una escorrentía superficial que arrastra las partículas del suelo.
7	Gao et al., 2020	Cobertura vegetal/ Infiltración/caudal	Según los resultados el cambio de uso de la tierra genera la pérdida de la capacidad inherente de la cuenca, para absorber la precipitación generándose el aumento en picos de caudal e inundaciones.
8	Anand et al., 2018	Pendiente/ Cobertura vegetal/Infiltración/caudal	Se puede concluir que no hay diferencias significativas de la vegetación arbórea que incida en la conductividad hidráulica siendo una variable asociada a la regulación hídrica. Sin embargo, sí existen diferencias significativas en la cobertura herbácea, en cuanto al porcentaje de cobertura y la densidad presentando una correlación positiva con la conductividad hidráulica en todos los casos.

Fuente: Elaboración Propia

La tabla N° 5 que se presenta a continuación muestra los modelos de transformación de lluvia a escorrentía más utilizados por distintos autores; así como las variables que intervienen en dichos modelamientos que a continuación se detallan:

Tabla 5: Modelos para la evaluación de la transformación de la precipitación en escorrentía en una cuenca

N°	Autor	Modelo utilizado	Variables que intervienen
1	G. Zhang et al., 2021	HEC-HMS	<ul style="list-style-type: none"> • Cobertura vegetal • Escorrentía • Precipitación • Caudal
2	Siqueira et al., 2021	SWAT	<ul style="list-style-type: none"> • Clima (precipitación, temperatura, evapotranspiración) • Caudal
3	Osei et al., 2019	HEC-HMS	<ul style="list-style-type: none"> • Precipitaciones • Escorrentía superficial • Caudal base • Evapotranspiración • Número de curva
4	Anand et al., 2018	SWAT	<ul style="list-style-type: none"> • Tipos de suelo • Vegetación • Precipitación • Caudal
5	Peraza-Castro et al., 2018	SWAT	<ul style="list-style-type: none"> • Material particulado • Precipitación • Cobertura vegetal
6	Gao et al., 2020	HEC-HMS	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de Suelo • Precipitación • Caudal • Tiempo de concentración
7	Azmat et al., 2020	HEC-HMS	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de Suelo • Precipitación • Caudal • Evapotranspiración • Tiempo de concentración • Infiltración • Área
8	Younis & Ammar, 2018	HEC-HMS	<ul style="list-style-type: none"> • Precipitación • Caudal

			<ul style="list-style-type: none"> • Evapotranspiración • Tiempo de concentración • Área
9	Castro & Maidment, 2020	HEC-HMS	<ul style="list-style-type: none"> • Área de la cuenca • Tiempo de concentración • Cobertura impermeable • Escorrentía • Pérdidas por infiltración • Pendiente
10	Ferreira et al., 2021	HEC-HMS/ SWAT	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de suelo • cobertura del suelo • Relieve • Clima • Caudal
11	Duque Sarango et al., 2019	HEC-HMS	<ul style="list-style-type: none"> • Número de Curva • Escorrentía superficial • Caudal pico • Infiltración • Precipitación • Cobertura vegetal

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a la búsqueda de los estudios de investigación para la transformación de la lluvia a escorrentía, se tiene 02 métodos más utilizados y ampliamente difundidos que son el HEC HMS y el SWAT. Para el caso del HEC HMS según la revisión este es utilizado por (Azmat et al., 2020; Castro & Maidment, 2020; Duque Sarango et al., 2019; Ferreira et al., 2021; Gao et al., 2020; Osei et al., 2019; Younis & Ammar, 2018; X. Zhang & Jin, 2021), para el caso del modelos SWAT es utilizado por (Anand et al., 2018; Ferreira et al., 2021; Peraza-Castro et al., 2018; Siqueira et al., 2021) ambos modelos se caracterizan por presentar una serie de variables físicas y ambientales como son la precipitación expresada en intensidad, infiltración, extensión de la cuenca, pendiente, porcentaje de área impermeable, tipo de vegetación predominante (Arborea, arbustiva o herbácea), tiempo de concentración, tipo de suelo y uso de suelo.

Según (X. Zhang & Jin, 2021), indica a través del modelamiento de lluvia a escorrentía, que los servicios de regulación de inundaciones aumentaron en general en la mayoría de las cuencas hidrográficas donde la cobertura de vegetación ampliada jugó un papel positivo.

Siqueira et al., 2021, indica que los resultados de su estudio sugieren que la reforestación de zonas ribereñas y las prácticas de conservación del suelo y el agua no necesariamente aumentan la producción de agua, esto basado en información climática comprendida entre los años 1992-2012.

Según (Osei et al., 2019), los resultados iniciales revelaron que el bosque y la topografía jugaron un papel importante en la pérdida de agua en la cuenca, ya que la evapotranspiración y la escorrentía superficial fueron los procesos de modulación más dominantes. Los análisis de sensibilidad mensuales mostraron tres parámetros de los cuales el número de curva (CN) ocupó el primer lugar como el más sensible para controlar las cantidades de escorrentía en el río.

(Anand et al., 2018), La comparación de la escorrentía superficial observada y simulada mensualmente para un período de calibración de 1990-2004 mostró muy buenos resultados. El análisis de simulación obtenido por el modelo SWAT indica que el modelo de agua superficial desarrollado para la cuenca del río Ganges es capaz de simular razonablemente bien el agua superficial real en la cuenca.

(Peraza-Castro et al., 2018), Los resultados del modelo se compararon con el clima de referencia (1970-2000) y el uso actual de la tierra una comparación a escala estacional y anual entre la línea de base y los escenarios combinados propuestos. A escala estacional, los cambios más abruptos en la descarga, la SPM y la carga de POC ocurrieron durante el verano y la primavera, seguidos por el otoño y el invierno.

Según (Gao et al., 2020), concluye que el cambio de uso de la tierra proyectado dio como resultado la pérdida de la capacidad inherente de la cuenca, para absorber la precipitación y resultó en varios grados el aumento en picos de caudal e inundaciones.

(Azmat et al., 2020), Se observa que la eficiencia de un modelo individual está principalmente relacionada con las características de las cuencas de estudio seleccionadas (contribución de la nieve y el derretimiento de los glaciares y condiciones climáticas), particularmente durante la pre-monzón (período de la nieve y el derretimiento de los glaciares) y el monzón (período de lluvias extremas). Así mismo identifica que el HEC HMS presenta una mejor eficiencia

durante la temporada anual y previa a los monzones sobre la cuenca del río Astore posiblemente se pueda atribuir a la mayor contribución del caudal de las precipitaciones y menos de la cobertura de nieve y glaciares.

Para (Younis & Ammar, 2018), los estudios muestran que el aumento o la disminución de la descarga está directamente asociado con la cantidad de área construida e impermeabilizada de la cuenca.

Según (Ferreira et al., 2021), el HEC HMS y el SWAT pueden simular satisfactoriamente el flujo de la escorrentía. Bajo las condiciones del estudio, SWAT fue superior a HEC-HMS y estadísticamente más adecuado para futuras predicciones en la cuenca. SWAT presentó el mayor potencial de uso por parte de los órganos de gestión y planificación urbana en la gestión de los riesgos de eventos hidrológicos extremos.

Para (Duque Sarango et al., 2019), „La metodología aplicada responde de forma adecuada al objetivo, el método del Número de Curva del SCS es aplicable para cuencas menores a 250 km² y con limitada información como este caso de análisis, dando origen a resultados aceptables de caudales punta. Del análisis de sensibilidad se determinaron como parámetros sensibles el número de curva y lag time. Los resultados establecen que del total de precipitación caída en la cuenca el 25% genera escorrentía directa y el 75% se atribuye a abstracciones condición dada por la presencia de masas forestales correspondiente al 60,17% de bosque nativo y vegetación arbustiva, así como por procesos de intercepción, almacenaje de superficie, evaporación, evapotranspiración y sistemas de captaciones de agua.

V. CONCLUSIONES

Según la revisión sistemática los efectos que tiene la pérdida de cobertura vegetal en la variación del caudal de escorrentía de una cuenca dependerán del tipo de tipo de vegetación y la magnitud del área deforestada y degradada; según los artículos revisados el impacto de la pérdida de la cobertura vegetal es inversamente proporcional al caudal de escorrentía, es decir a mayor pérdida de cobertura vegetal se incrementa los picos de caudal de escorrentía en la parte baja de la cuenca.

Casi todos los autores coinciden que el cambio climático a través de la alteración de los factores climáticos como son la temperatura y precipitación alteran la estructura y dinámica de las poblaciones vegetales. Por otro lado, las actividades humanas son también las que disminuyen las áreas con cobertura vegetal esto debido a la gran necesidad de tener mayores áreas para la agricultura y expansión urbana y por último también los peligros naturales como inundaciones y sismos cambian la corteza terrestre modificando los paisajes y la cobertura vegetal, todo lo antes mencionado tendría una relación directa en los procesos hidrológicos de una cuenca. Dado que en cambio climático es consecuencia de las actividades humanas lo consideramos con un factor antrópico, pero a su vez estos acrecientan los factores climáticos como la precipitación y temperatura que se darían de forma natural desencadenando deslizamientos e inundaciones que son peligros de origen natura que afectan la cobertura vegetal.

De la revisión se infiere que existe una relación que a mayor cobertura vegetal disminución de la capacidad de infiltración, esto por el incremento de la transpiración y evapotranspiración, por ejemplo, un área de bosque tiene mayor capacidad de retención de las gotas de lluvia, por el mayor tamaño de su índice foliar lo que aumenta los niveles de evapotranspiración a diferencia de la vegetación herbácea. Así mismo la relación que existe entre cobertura vegetal y la escorrentía se da: a menor cobertura vegetal, se reduce la capacidad de infiltración del suelo, al mismo tiempo genera mayor escorrentía superficial, por ejemplo, suelos sin cobertura vegetal se saturan de gua con mayor rapidez, por lo que incrementan los niveles de escorrentía.

Según la revisión sistemática se identificó 02 métodos utilizados para el modelamiento de la precipitación-escorrentía que son: el HEC HMS y el SWAT, el primero es utilizado principalmente para la simulación de eventos extremos como inundaciones y caudales pico, para lo cual utiliza variables como la precipitación, número de curva, extensión de la cuenca, tiempo de retardo, tiempo de concentración; mientras que el SWAT es un modelo enfocado más en la gestión de recursos hídricos en cuencas, que evalúa el impacto que tienen las prácticas de manejo de suelos, gestión del recurso hídrico, estado de la vegetación y tipos de cultivos y sus insumos sobre la producción de agua, arrastre de sedimentos.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda desarrollar mayores investigaciones en nuestro ámbito ya que no existen estudios del impacto de la cobertura, principalmente para zonas Latinoamérica. Así mismo realizar la evaluación de la eficiencia entre el modelo HEC HMS y SWAT.

REFERENCIAS

- Aladejana, O. O., Salami, A. T., & Adetoro, O.-I. O. (2018). Hydrological responses to land degradation in the Northwest Benin Owena River Basin, Nigeria. *Journal of Environmental Management*, 225, 300–312. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.07.095>
- Alejandro, D., & Montoya, P. (2019). *MODELACIÓN HIDROLOGICA A LA CUENCA EL HATO (CUNDINAMARCA) COMPARANDO LOS DIFERENTES RESULTADOS DE PERDIDAS POR INFILTRACIÓN UTILIZANDO LA HERRAMIENTA COMPUTACIONAL HEC-HMS PEDRO ALEJANDRO RAMÍREZ LÓPEZ KAREN DAHYANA VELASCO MATEUS Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniería civil DIRECTOR.*
- Anand, J., Gosain, A. K., Khosa, R., & Srinivasan, R. (2018). Regional scale hydrologic modeling for prediction of water balance, analysis of trends in streamflow and variations in streamflow: The case study of the Ganga River basin. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 16, 32–53. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2018.02.007>
- Arnold, J. G., Srinivasan, R., Muttiah, R. S., & Allen, P. M. (1999). CONTINENTAL SCALE SIMULATION OF THE HYDROLOGIC BALANCE1. In *JOURNAL OF THE AMERICAN WATER RESOURCES ASSOCIATION AMERICAN WATER RESOURCES ASSOCIATION* (Vol. 35, Issue 5).
- Azmat, M., Wahab, A., Huggel, C., Qamar, M. U., Hussain, E., Ahmad, S., & Waheed, A. (2020). Climatic and hydrological projections to changing climate under CORDEX-South Asia experiments over the Karakoram-Hindukush-Himalayan water towers. *Science of The Total Environment*, 703, 135010. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135010>
- Bai, Y. (2021). Analysis of vegetation dynamics in the Qinling-Daba Mountains region from MODIS time series data. *Ecological Indicators*, 129, 108029. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108029>
- Barrios Alex G, & Urribarri Lisbeth A. (2010). Aplicación del modelo SWAT en los andes venezolanos: Cuenca del río Chama. *Revista Geográfica Venezolana*, 51(1), 11–29. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=347730384002>
- Breña Puyol, A. F., & Jacobo Villa, M. A. (2006). *Principios y Fundamentos de la Hidrología Superficial*. https://www.uamenlinea.uam.mx/materiales/licenciatura/hidrologia/principios_fundamentos/libro-PFHS-05.pdf
- Cabrera Balarezo, J. J. (2017). *Evaluación del modelo HEC-HMS para la simulación hidrológica de una cuenca de páramo.*
- Caro Camargo, Carlos Andrés, Velandia Tarazona, & Jenny Esmeralda. (2019). The effect of changes in vegetation cover on the hydrological response of

- the sub-basin los Pozos. *DYNA (Colombia)*, 86(208), 182–191.
<https://doi.org/10.15446/dyna.v86n208.74115>
- Castro, C. v., & Maidment, D. R. (2020). GIS preprocessing for rapid initialization of HEC-HMS hydrological basin models using web-based data services. *Environmental Modelling & Software*, 130, 104732.
<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2020.104732>
- Chen, D., Li, J., Yang, X., Zhou, Z., Pan, Y., & Li, M. (2020). Quantifying water provision service supply, demand and spatial flow for land use optimization: A case study in the YanHe watershed. *Ecosystem Services*, 43, 101117.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2020.101117>
- Díaz García Cervigón J.J. (2015). *UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID FACULTAD DE GEOGRAFÍA E HISTORIA TRABAJO FIN DE MÁSTER Estudio de Índices de vegetación a partir de imágenes aéreas tomadas desde UAS/RPAS y aplicaciones de estos a la agricultura de precisión.*
- Dulzaides, M., & Molina, Ana. (2004). *Análisis documental y de información: dos componentes de un mismo proceso. Scielo [en línea]. Abril 2004, n° 2. parr. 11.* http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94352004000200011&lng=es&tlng=es
- Duque Sarango, P., Patiño Daysi M., & López Xavier E. (2019). Evaluación del Sistema de Modelamiento Hidrológico HEC-HMS para la Simulación Hidrológica de una Microcuenca Andina Tropical. *Información Tecnológica*, 30(6), 351–362. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000600351>
- Escudero, C. L., Liliana, S., & Cortez Suárez, A. (2017). *Técnicas y métodos cualitativos para la investigación científica.*
<http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/12501/1/Tecnicas-y-MetodosCualitativosParaInvestigacionCientifica.pdf>
- Fang, Z., Bai, Y., Jiang, B., Alatalo, J. M., Liu, G., & Wang, H. (2020). Quantifying variations in ecosystem services in altitude-associated vegetation types in a tropical region of China. *Science of The Total Environment*, 726, 138565. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138565>
- Ferreira, R. G., Dias, R. L. S., de Siqueira Castro, J., dos Santos, V. J., Calijuri, M. L., & da Silva, D. D. (2021). Performance of hydrological models in fluvial flow simulation. *Ecological Informatics*, 66, 101453.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2021.101453>
- Gao, Y., Chen, J., Luo, H., & Wang, H. (2020). Prediction of hydrological responses to land use change. *Science of The Total Environment*, 708, 134998. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134998>
- Gu, Z., Duan, X., Shi, Y., Li, Y., & Pan, X. (2018). Spatiotemporal variation in vegetation coverage and its response to climatic factors in the Red River

- Basin, China. *Ecological Indicators*, 93, 54–64.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.04.033>
- Gunathilake, M. B., Amaratunga, Y. v., Perera, A., Karunanayake, C., Gunathilake, A. S., & Rathnayake, U. (2020). Statistical evaluation and hydrologic simulation capacity of different satellite-based precipitation products (SbPPs) in the Upper Nan River Basin, Northern Thailand. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 32, 100743.
<https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100743>
- Hernández, R., Fernandez, C., & Baptista, Pilar. (2014). *Metodología de la investigación*. <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Johana, K., Franco, B., & de Cartagena, U. (2021). *ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA COBERTURA*.
- Li, P., Sheng, M., Yang, D., & Tang, L. (2019). Evaluating flood regulation ecosystem services under climate, vegetation and reservoir influences. *Ecological Indicators*, 107, 105642.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105642>
- Linsley Jr Ray K, Kohler Max A, & Paulhus Joseph L H. (1977). *Hidrología para ingenieros*.
- Makungu, E., & Hughes, D. A. (2021). Understanding and modelling the effects of wetland on the hydrology and water resources of large African river basins. *Journal of Hydrology*, 603, 127039.
<https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.127039>
- Ndehedehe, C. E., Ferreira, V. G., & Agutu, N. O. (2019). Hydrological controls on surface vegetation dynamics over West and Central Africa. *Ecological Indicators*, 103, 494–508. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.04.032>
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., & Williams, J. R. (2005). *Herramienta de Evaluación de Suelo y Agua Documentación Teórica Versión 2005*.
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., & Williams, J. R. (2011). *COLLEGE OF AGRICULTURE AND LIFE SCIENCES Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009*.
- Noreña, A. L., Alcaraz-Moreno, N., Rojas, J. G., & Rebolledo-Malpica, D. (2012). Aplicabilidad de los criterios de rigor y éticos en la investigación cualitativa. *Aquichan*, 12(3), 263–274.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1657-59972012000300006&script=sci_abstract&tlng=es
- Ordoñez Gálvez J. J. (2011). *Cartilla Técnica Cartilla Técnica “Contribuyendo al desarrollo de una Cultura del Agua y la Gestión Integral de Recurso Hídrico.”* https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/ciclo_hidrologico.pdf

- Osei, M. A., Amekudzi, L. K., Wemegah, D. D., Preko, K., Gyawu, E. S., & Obiri-Danso, K. (2019). The impact of climate and land-use changes on the hydrological processes of Owabi catchment from SWAT analysis. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 25, 100620. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100620>
- Peraza-Castro, M., Ruiz-Romera, E., Meaurio, M., Sauvage, S., & Sánchez-Pérez, J. M. (2018). Modelling the impact of climate and land cover change on hydrology and water quality in a forest watershed in the Basque Country (Northern Spain). *Ecological Engineering*, 122, 315–326. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.07.016>
- Perkins, W. A., Duan, Z., Sun, N., Wigmosta, M. S., Richmond, M. C., Chen, X., & Leung, L. R. (2019). Parallel Distributed Hydrology Soil Vegetation Model (DHSVM) using global arrays. *Environmental Modelling & Software*, 122, 104533. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.104533>
- Qu, S., Wang, L., Lin, A., Yu, D., Yuan, M., & Li, C. (2020). Distinguishing the impacts of climate change and anthropogenic factors on vegetation dynamics in the Yangtze River Basin, China. *Ecological Indicators*, 108, 105724. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105724>
- Rojas Núñez L. G., & Silva, O. (2017). *Evaluación del Impacto de Cambios de Cobertura Vegetal en la Producción de Agua de la Cuenca del Río Güey*.
- Rojas, X., & Osorio, Belkis. (2017). *Criterios de Calidad y Rigor en la Metodología Cualitativa*. <https://www.researchgate.net/publication/337428163>
- Santos, F. M. dos, de Oliveira, R. P., & Mauad, F. F. (2020). Evaluating a parsimonious watershed model versus SWAT to estimate streamflow, soil loss and river contamination in two case studies in Tietê river basin, São Paulo, Brazil. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 29, 100685. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2020.100685>
- Siqueira, P. P., Oliveira, P. T. S., Bressiani, D., Meira Neto, A. A., & Rodrigues, D. B. B. (2021). Effects of climate and land cover changes on water availability in a Brazilian Cerrado basin. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 37, 100931. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100931>
- Tao, J., & Barros, A. P. (2019). Multi-year surface radiative properties and vegetation parameters for hydrologic modeling in regions of complex terrain—Methodology and evaluation over the Integrated Precipitation and Hydrology Experiment 2014 domain. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 22, 100596. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100596>
- Ven Te Chow, D. Maidment, & L. Mays. (1994). *Hidrologi Aplicada Ven Te Chow-McGrawHill*.
- Wang, B., Xu, G., Li, P., Li, Z., Zhang, Y., Cheng, Y., Jia, L., & Zhang, J. (2020). Vegetation dynamics and their relationships with climatic factors in the

- Qinling Mountains of China. *Ecological Indicators*, 108, 105719. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105719>
- Wang, D. L., Feng, H. M., Zhang, B. Z., Wei, Z., & Tian, Y. L. (2021). Quantifying the impacts of climate change and vegetation change on decreased runoff in china's yellow river basin. *Ecohydrology & Hydrobiology*. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2021.10.002>
- Xu, Z., & di Vittorio, A. (2021). Hydrological analysis in watersheds with a variable-resolution global climate model (VR-CESM). *Journal of Hydrology*, 601, 126646. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126646>
- Younis, S. M. Z., & Ammar, A. (2018). Quantification of impact of changes in land use-land cover on hydrology in the upper Indus Basin, Pakistan. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 21(3), 255–263. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2017.11.001>
- Zhang, G., Cui, P., Jin, W., Zhang, Z., Wang, H., Bazai, N. A., Li, Y., Liu, D., & Pasuto, A. (2021a). Changes in hydrological behaviours triggered by earthquake disturbance in a mountainous watershed. *Science of The Total Environment*, 760, 143349. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143349>
- Zhang, G., Cui, P., Jin, W., Zhang, Z., Wang, H., Bazai, N. A., Li, Y., Liu, D., & Pasuto, A. (2021b). Changes in hydrological behaviours triggered by earthquake disturbance in a mountainous watershed. *Science of The Total Environment*, 760, 143349. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143349>
- Zhang, W., Wang, L., Xiang, F., Qin, W., & Jiang, W. (2020). Vegetation dynamics and the relations with climate change at multiple time scales in the Yangtze River and Yellow River Basin, China. *Ecological Indicators*, 110, 105892. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.105892>
- Zhang, X., & Jin, X. (2021). Vegetation dynamics and responses to climate change and anthropogenic activities in the Three-River Headwaters Region, China. *Ecological Indicators*, 131, 108223. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108223>