



Ciencia Latina
Internacional

Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), mayo-junio 2024,
Volumen 8, Número 3.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i3

**IMPLEMENTACIÓN DE ESTRATEGIAS DE MANEJO
SOSTENIBLE EN LA MICROCUENCA VISQUIJE,
SANTA ANA: USO DE ATENUADORES DE ESCORRENTÍA
Y TECNOLOGÍAS SIG**

**IMPLEMENTATION OF SUSTAINABLE MANAGEMENT STRATEGIES
IN THE VISQUIJE WATERSHED, SANTA ANA: USE OF RUNOFF
ATTENUATORS AND GIS TECHNOLOGIES**

Edisson Hernán Morales Gutama
Pontificie Universidad Católica del Ecuador

Carla Del Consuelo Paredes Parra
Pontificie Universidad Católica del Ecuador

Jimmy Leandro Reyes Zamrabno
Pontificie Universidad Católica del Ecuador

DOI: https://doi.org/10.37811/cl_rem.v8i3.12112

Implementación de Estrategias de Manejo Sostenible en la Microcuenca Visquiye, Santa Ana: Uso de Atenuadores de Escorrentía y Tecnologías SIG

Edisson Hernán Morales Gutama¹

emorales3713@pucesm.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0009-5090-5944>

Facultad de Ingeniería Hidráulica
Pontificie Universidad Católica del Ecuador
Sede Manabí
Ecuador

Carla Del Consuelo Paredes Parra

cparedes3628@pucesm.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0000-7279-5699>

Facultad de Ingeniería Hidráulica
Pontificie Universidad Católica del Ecuador
Sede Manabí
Ecuador

Jimmy Leandro Reyes Zamrabno

jlreyesz@pucesm.edu.ec

<https://orcid.org/0009-0002-0962-519X>

Facultad de Ingeniería Hidráulica.
Pontificie Universidad Católica del Ecuador
Sede Manabí
Ecuador

RESUMEN

Esta investigación mixta utilizó un método deductivo de síntesis y análisis para implementar un manejo sostenible de la microcuenca del río Visquiye mediante atenuadores de escorrentía. Se emplearon Sistemas de Información Geográfica (SIG) y una simulación hidrológica semi distribuida en HEC-HMS para determinar los caudales máximos con periodos de retorno de 25, 50, 100 y 500 años, considerando una duración de tormenta de 120 minutos. Mediante la superposición de mapas de pluviosidad, pendiente, movimiento de masa, cobertura vegetal, áreas protegidas, litología y permeabilidad, se identificaron las ubicaciones óptimas para instalar los atenuadores de escorrentía como medidas de mitigación de inundaciones. Los resultados revelan que la subcuenca del río Visquiye comprende tres microcuencas que abarcan un área total de 104,56 km², una unión y un río principal de 3,39 km de longitud. Para atenuar la escorrentía, se eligieron medidas como la reforestación con especies nativas, la forestación, el control de cárcavas y la conservación de suelos, ubicándolas en áreas con baja permeabilidad y potencial hídrico variable. Estas acciones permitieron reducir los caudales pico para cada periodo de retorno: de 40,9 m³/s a 31,6 m³/s en 25 años, de 72,3 m³/s a 60,6 m³/s en 50 años, de 119,7 m³/s a 104,1 m³/s en 100 años y de 303,2 m³/s a 279,6 m³/s en 500 años.

Palabras clave: atenuador, escorrentía, simulación, inundación

¹ Autor principal.

Correspondencia: emorales3713@pucesm.edu.ec

Implementation of Sustainable Management Strategies in the Visquije Watershed, Santa Ana: Use of Runoff Attenuators and GIS Technologies

ABSTRACT

This mixed-methods research employed a deductive method of synthesis and analysis to implement sustainable management of the Visquije River watershed through the use of runoff attenuators. Geographic Information Systems (GIS) and a semi-distributed hydrological simulation in HEC-HMS were used to determine maximum flows with return periods of 25, 50, 100, and 500 years, considering a storm duration of 120 minutes. By overlaying maps of rainfall, slope, mass movement, vegetation cover, protected areas, lithology, and permeability, optimal locations were identified for installing runoff attenuators as flood mitigation measures. The results reveal that the Visquije River sub-watershed comprises three micro-watersheds covering a total area of 104.56 km², with one junction and a main river of 3.39 km in length. To attenuate runoff, measures such as reforestation with native species, afforestation, gully control, and soil conservation were selected and located in areas with low permeability and variable water potential. These actions reduced peak flows for each return period: from 40.9 m³/s to 31.6 m³/s in 25 years, from 72.3 m³/s to 60.6 m³/s in 50 years, from 119.7 m³/s to 104.1 m³/s in 100 years, and from 303.2 m³/s to 279.6 m³/s in 500 years.

Keywords: attenuator, runoff, simulation, flood

*Artículo recibido 15 mayo 2024
Aceptado para publicación: 18 junio 2024*



INTRODUCCIÓN

La conservación de los recursos naturales, especialmente en términos de manejo sostenible del agua, se ha convertido en una prioridad esencial frente a los desafíos contemporáneos. En las últimas décadas, numerosas investigaciones han subrayado la escasez de agua para consumo humano y riego agrícola en las tierras altas de las cuencas hidrográficas de América Latina, atribuyendo esta situación principalmente a la deforestación y la contaminación (Gómez, 2004).

Las cuencas hidrográficas, delineadas por los límites de escurrimiento en terrenos con variaciones topográficas, representan unidades territoriales cruciales para la gestión de los recursos naturales y hídricos (Barrios, 2003; Adamos et al., 2014). Además de su papel fundamental en el suministro de agua potable, estas áreas desempeñan una función vital en la regulación del clima y la protección costera, influyendo directamente en el bienestar humano (Rodríguez y Ramón, 2021).

El aumento de las inundaciones, exacerbado por el cambio climático, resalta la urgencia de implementar medidas efectivas para mitigar los impactos de las precipitaciones extremas y las crecidas (Wilkinson, Quinn, y Welton, 2010). La dependencia exclusiva de defensas estructurales tradicionales se ha vuelto insostenible ante la creciente exposición a riesgos derivados de cambios en el uso del suelo, que incrementan tanto la magnitud como la frecuencia de las inundaciones máximas (Dixon et al., 2016).

En este contexto, soluciones innovadoras como los atenuadores de esorrentía emergen como opciones viables para reducir la probabilidad de inundaciones y prolongar el tiempo de concentración en las cuencas. Estos dispositivos, relativamente económicos (Giler et al., 2020), se distribuyen estratégicamente en áreas cercanas a las esorrentías superficiales para mitigar su impacto, demostrando eficacia comparable a los sistemas de contención convencionales, siempre y cuando se manejen de manera que los hidrogramas de los tributarios no se sincronicen (Antolini y Tate, 2021).

La provincia de Manabí, particularmente vulnerable a inundaciones en las zonas bajas debido a la concentración de lluvias intensas y la influencia periódica del fenómeno climatológico "El Niño", ha experimentado eventos devastadores en el pasado (Rossel et al., 1996). La gestión de inundaciones en esta región enfrenta desafíos significativos, especialmente en las riberas y ríos, donde los desbordamientos son frecuentes durante los períodos de precipitaciones intensas (GADPM, 2011).

La subcuenca del Río Visquiye, parte integral de la cuenca hidrográfica del Río Portoviejo en la zona



costera norte-central de Ecuador, destaca por su extenso sistema hidrológico que desemboca en el Océano Pacífico (Rodríguez y Ramón, 2021). No obstante, las comunidades cercanas a las riberas del río en esta subcuenca enfrentan riesgos constantes de inundación debido a las crecidas y desbordamientos del Río Portoviejo, causando daños significativos a infraestructuras, cultivos agrícolas y el bienestar general de la población local (Pincay et al., 2019).

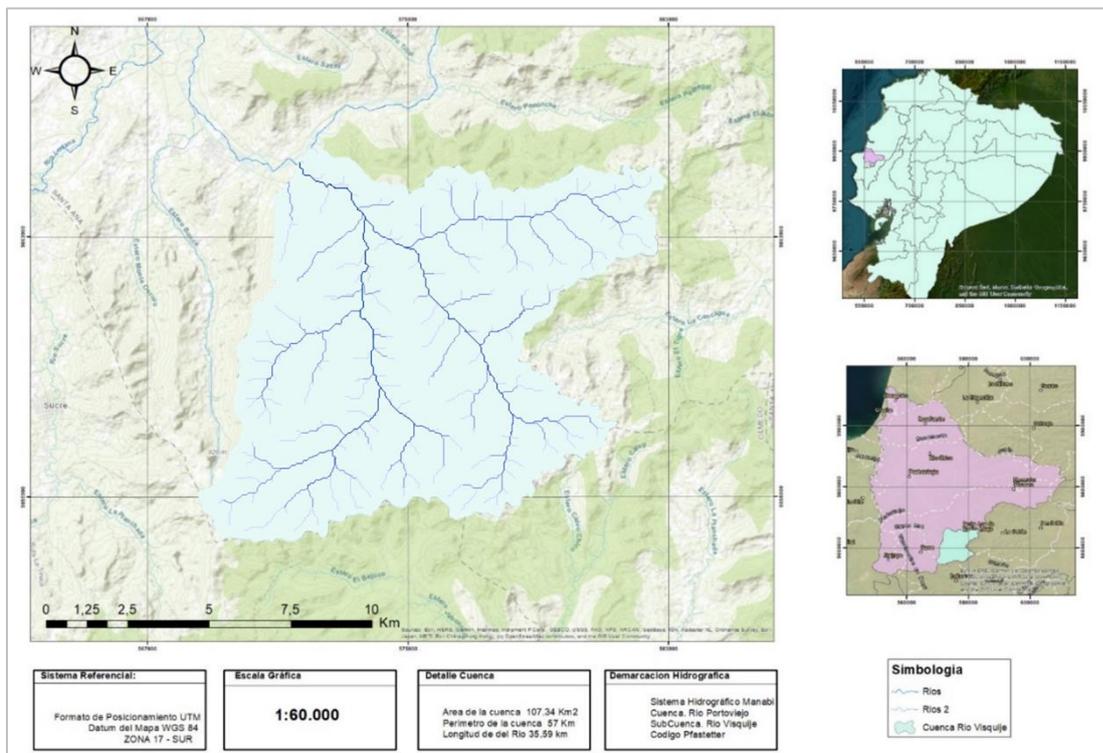
Por lo tanto, esta investigación adquiere una relevancia crucial para los habitantes de la subcuenca del Río Visquije, al proponer medidas basadas en la naturaleza que no solo mitiguen las inundaciones, sino que también promuevan un entorno seguro y sostenible, asegurando el bienestar humano, económico y social de la región

METODOLOGÍA

Características de la Zona

La zona de estudio fue la subcuenca del Río Visquije MA02-04, perteneciente la cuenca hidrográfica del Río Portoviejo MA02, conformada por los cantones Santa Ana, 24 de mayo y Olmedo cuenca rio Visquije

Figura 1



Ubicación Geográfica de la Subcuenca Hidrográfica

Datum: WGS 1984 UTM zona 17 S.

Coordenada Este (X): 575800.

Coordenada Sur (Y): 9855900.

Condiciones Climatológicas

La climatología, según Viers (1998), es la disciplina científica dedicada al estudio del clima y sus cambios durante períodos prolongados, utilizando parámetros meteorológicos con un enfoque en la predicción climática a largo plazo. En este estudio, se recopilaron datos sobre la precipitación máxima en 24 horas de la estación M0005 en Portoviejo, perteneciente al INAMHI.

Tabla 1 Precipitaciones máximas en 24 horas desde el año 1994 hasta el 2013.

Año	Precipitación (mm) Máxima 24	
	horas	
1994	66,5	
1995	60,1	
1996	40,8	
1997	131,1	
1998	86,7	
1999	69,4	
2000	41,3	
2001	147,9	
2002	50,8	
2003	38,4	
2004	57,9	
2005	79,7	
2006	56,7	
2007	0	
2008	53,3	
2009	0	
2010	0	
2011	0	
2012	0	
2013	107,6	

Fuente: INAMHI, 2022.

Características Físicas de la Subcuenca Utilizadas en la Construcción del Modelo

En Ecuador, los proveedores de Modelos de Elevación Digital (DEM) incluyen el Instituto Geográfico



Militar (IGM) y el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) a través de sus geoportales. También se puede acceder a DEMs en la página oficial de la NASA, donde están disponibles con una resolución mínima de píxeles de 5x5.

Tabla 2 Características de archivos DEM utilizados.

Insumo	Institución	Resolución/Escala	Año
DEM Shuttle Radar Topography (SRTM)	SIGTIERRRAS	5x5 m	2016
Mapa de Textura de Suelos del Ecuador	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGAP)	1:50 000	2020
Mapa de Cobertura y uso de la tierra en el Ecuador continental	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGAP)	1:50 000	2020
Cartografía Base	Instituto Geográfico Militar (IGM)	1:50 0000	2020

Caracterización de la Cuenca

En la cuenca del Río Portoviejo se identificaron nueve subcuencas hidrográficas, enfocándonos específicamente en la del Río Visquiye. Mediante el uso del software HEC-HMS, se delimitaron y determinaron los parámetros morfométricos de estas subcuencas, considerando un umbral de 20 km² como contribución hasta el punto de aforo (Zambrano, 2008).

- Área de la Subcuenca El área de la subcuenca se refiere al terreno de drenaje hacia el río, expresado en kilómetros cuadrados (Zambrano, 2008).
- Perímetro de la Subcuenca El perímetro se define como el límite que circunda la cuenca hidrográfica, medido en kilómetros (Zambrano, 2008).
- Longitud del Cauce Principal Es la distancia desde la desembocadura del río hasta el punto más alejado de la cuenca, medida en kilómetros (Aparicio, 1999).
- Desnivel Altitudinal La diferencia de altitud entre los puntos más altos y bajos de la cuenca se conoce como desnivel altitudinal, usualmente expresado en metros (Villegas, 2013).
- Pendiente Media La pendiente media indica la inclinación promedio del terreno en porcentaje, calculada a partir de datos topográficos obtenidos mediante archivos vectoriales y raster en formatos shape y TIFF respectivamente (López, 2015).



Factor de Escorrentía en la Cuenca

En el lugar de estudio se consideraron factores de cobertura, los usos, el desnivel y los tipos de suelo para la determinación de agua llovida que se transformará en escorrentía superficial directa, y la cantidad de agua que fluirá por el cauce. Para ello se consideró el Coeficiente de escorrentía (C) y el Número de escurrimiento (CN) (Luziga , 2012).

Número de Escurrimiento.

Según Luziga (2012), se empleó el Método de Servicio de Conservación de Suelos (SCS) para Abstracciones en la determinación del número de curva de escorrentía (CN), mismo que consideró los siguientes factores en su obtención:

- Clasificación Hidrológica de suelos.
- Uso y tratamiento del suelo.
- Condiciones hidrológicas.
- Condición de humedad antecedente del suelo.

Esta metodología emplea las pérdidas netas menos la evaporación real, expresadas en la siguiente fórmula:

$$S = \frac{25400 - 254 * CN}{CN}$$

Donde:

S = Potencial de máxima retención.

CN = Numero de curvas adimensional.

Tabla 3 Grupos hidrológicos del suelo (SCS).

Grupo hidrológico del suelo	Infiltración cuando están muy húmedos	Características	Textura
A	Rápida	Alta capacidad de infiltración > 76 mm/h	Arenosa; Arenosa-limosa; Franca
B	Moderada	Capacidad de infiltración 76-38 mm/h	Franco-arcillosa-arenosa Franco-limosa
C	Lenta	Capacidad de infiltración 36-13 mm/h	Franco-arcillosa; Franco-arcillosa-limosa; Arcillo-arenosa
D	Muy Lenta	Capacidad de infiltración < 13 mm/h	Arcillosa

Fuente: Villegas (2017).



En los cuadros siguientes se muestra las tablas publicadas por los organismos Natural Resources Conservation Service (NRCS), y SCS.

Tabla 4 Números de la Curva para zonas urbanas

Descripción del Uso		Grupo Hidrológico del Suelo				
Uso del Suelo	Promedio área impermeable	Condición Hidrológica	A	B	C	D
Áreas urbanas completamente desarrolladas		Pobre	68	79	86	89
		Media	49	69	79	84
		Buena	39	61	74	80
Áreas Impermeables						
Aparcamientos, azoteas, carreteras			98	98	98	98
Calles y Carreteras						
Pavimentadas; cunetas y red de saneamiento			98	98	98	98
Pavimentadas; cunetas abiertas			83	89	92	93
Grava			76	85	89	91
Sucias			72	82	87	89
Zonas ajardinadas xerofitas						
Zonas naturales (solo permeables)			63	77	85	88
Zonas ajardinadas (incluidas zonas impermeables)			96	96	96	96
Zonas Urbanas						
Centros comerciales y de negocios	85%		89	92	94	95
Industrial	72%		81	88	91	93
Zonas residenciales						
0.05ha o menos (2 casas)	65%		77	85	90	92
0.10 ha	38%		61	75	83	87
0.13 ha	30%		57	72	81	86
0.20 ha	25%		54	70	80	85
0.40 ha	30%		51	68	79	84
0.81 ha	12%		46	65	77	82
Áreas Urbanas en desarrollo						
Explicaciones (zonas permeables, sin vegetación)			77	86	91	94

Fuente: United States Department of Agriculture (USDA, 1986).



Identificación de Lugares Óptimos para Ubicar Atenuadores de Escorrentía

Los atenuadores de escorrentía son dispositivos que reducen el flujo de escorrentía superficial, mitigando así inundaciones ante lluvias intensas (Antolini y Tate, 2021). En la subcuenca del Río Visquije, se identificaron áreas propicias para su instalación mediante un análisis de datos que consideró la permeabilidad del suelo y su potencial hídrico (Román, Momiy, Aste, y Morales, 2020).

Zonas de Inundación y Aporte Hídrico

Se mapearon las áreas propensas a inundaciones utilizando datos de precipitación y topografía detallada, destacando las zonas con mayores índices de precipitación y pendiente (Román, Momiy, Aste, y Morales, 2020).

Zonas de Movimientos de Masa

Estas zonas indican los sectores donde puede ocurrir deslizamientos de tierra o movimientos abruptos de masa, categorizados según niveles de riesgo en escalas media, alta y muy alta (Fernández, Sánchez, y Castellanos, 2017).

Zona de Peligros de Movimiento de Masa e Inundaciones

Mediante la integración de mapas de movimientos de masa e inundaciones, se determinaron áreas críticas que podrían verse afectadas por estos fenómenos, permitiendo una evaluación conjunta de su impacto (Román, Momiy, Aste, y Morales, 2020).

Identificación de las Causas

Se identificaron las condiciones ambientales y físicas que contribuyen al funcionamiento de la subcuenca, enfocándose en áreas degradadas y vulnerables a movimientos de masa e inundaciones debido a la falta de cobertura vegetal (Román, Momiy, Aste, y Morales, 2020).

Áreas Degradadas

Estas áreas, propensas a la erosión y degradación, fueron identificadas y mapeadas utilizando tecnología SIG para entender su impacto en los riesgos ambientales y su potencial de restauración (Dalmaso, 2010).

Áreas Degradadas en Zonas de Peligro de Inundación y Movimientos de Masa

La intersección de mapas de áreas degradadas con zonas de riesgo permitió identificar lugares críticos y orientar estrategias de mitigación adecuadas (Román, Momiy, Aste, y Morales, 2020).



Identificación de las Soluciones

Se desarrollaron mapas de zonificación forestal para categorizar las áreas según su potencial para la recuperación, producción, tratamiento especial, protección y conservación ecológica, contribuyendo así a la planificación de medidas de mitigación y restauración (Román, Momiy , Aste, y Morales, 2020).

Respuesta Lluvia-Escorrentía.

La relación entre la lluvia y la escorrentía fue evaluada en este estudio mediante la estimación del caudal generado a partir de la precipitación en la subcuenca. Se diferenció entre la precipitación total y la precipitación efectiva, que es la lluvia neta capaz de generar flujo de agua superficial. Para determinar los caudales esperados en el área de estudio, se consideró una tormenta de diseño que representa el comportamiento hidrológico, siendo crucial para la obtención de hidrogramas de diseño. Para explorar esta relación, se utilizó el modelo matemático HEC-HMS con el método del hidrograma unitario del SCS, incorporando datos de precipitación y parámetros físicos específicos de la subcuenca.

Uso de Suelo Modificado

Durante la propuesta de medidas para mitigar la escorrentía, se procedió a alterar los usos del suelo en las áreas intervenidas. Este proceso incluyó la selección de áreas basada en la intersección de atributos entre las zonas de generación hídrica y las áreas de recuperación, utilizando el software HEC-HMS (Román et al., 2020).

Modelación de Escenarios

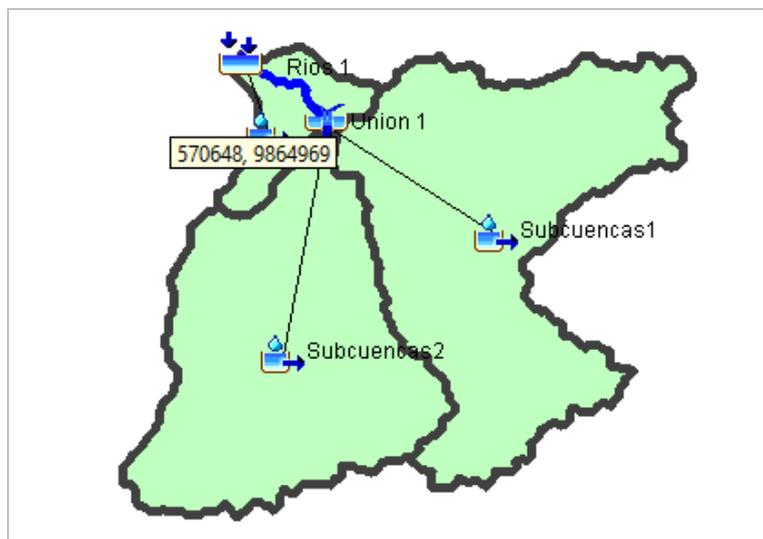
Se realizaron análisis de dos escenarios para la modelación hidrológica de la subcuenca del Río Visquije utilizando el modelo HEC-HMS. El primer escenario representó las condiciones actuales, considerando los valores de CN para cada microcuenca. En el segundo escenario, se ajustaron los valores de CN en función de las medidas implementadas para mitigar la escorrentía (Román et al., 2020).



RESULTADOS

Se delimitó la subcuenca del Río Visquije, obteniendo 3 microcuencas, 1 unión y 1 río.

Figura 3 Subcuenca hidrográfica del Río Visquije delimitada mediante HEC-HMS



Se determinaron los parámetros morfométricos de la cuenca (ver tabla 5) y para el río donde se considerará el tránsito de avenidas (ver tabla 6).

Tabla 5 Parámetros morfométricos de las microcuencas.

Microcuenca N°	Área (km ²)	Perímetro (km)	Longitud del Cauce Principal (km)	Pendiente del Cauce Principal (m/m)	Pendiente media (m/m)
1	51,95	55,68	12,96	0,0251	0,2757
2	45,05	40,36	14,07	0,0271	0,2636
3	7,56	19,00	7,09	0,0503	0,2706

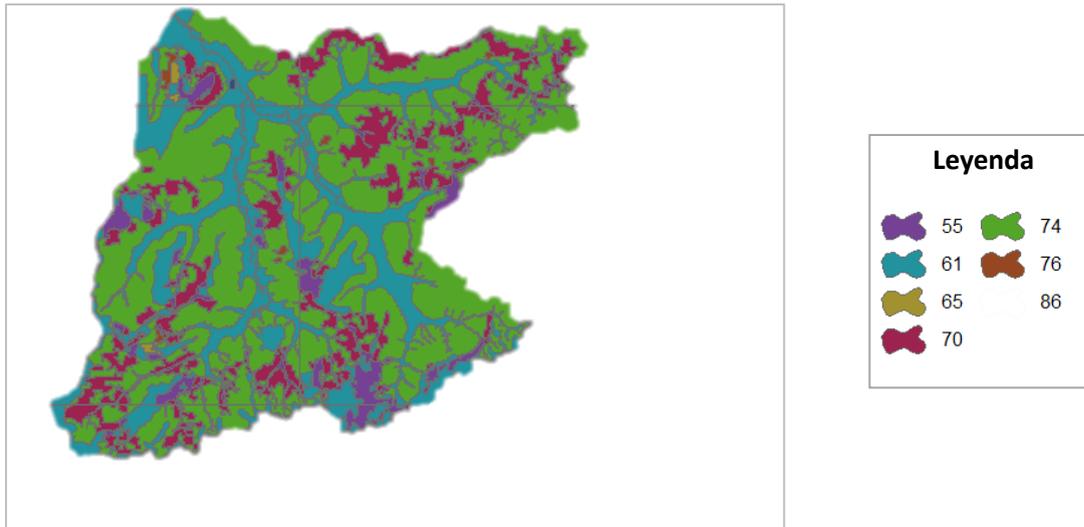
Tabla 6 Parámetros del Río de Tránsito.

Río	Longitud (km)	Pendiente (m/m)
1	3,397	0,00205

Para determinar las ubicaciones más adecuadas para instalar dispositivos de mitigación de escorrentía, se emplearon los mapas de pendiente y el mapa de grupos hidrológicos, utilizando además el mapa de textura del suelo proporcionado por el MAGAP. Esta elección se basó en la correlación existente entre la textura del suelo y los grupos hidrológicos.

Se realizó una intersección de los mapas de uso del suelo, grupos hidrológicos y pendiente para generar el mapa del Número de Curva (CN) (ver la figura 4).

Figura 4 Mapa de Número de Curva (CN).



Para calcular la transformación de la lluvia en escorrentía, se aplicó el método del Servicio de Conservación de Suelos (SCS), asignando un número de curva específico para cada microcuenca (consulte la Tabla 7).

Tabla 7 Número de curva para cada microcuenca.

Microcuenca	Número de Curva (CN)
1	69,21
2	68,59
3	67,94

El tiempo de concentración para la subcuenca del Río Visquije se determinó utilizando la fórmula de Kirpich, resultando en 119 minutos, que fue tomado como la duración hipotética de la tormenta. Sin embargo, para la modelación hidrológica se utilizó una duración estándar de 120 minutos.

Se utilizó la información de la estación meteorológica Portoviejo para ajustar la distribución de Gumbel a valores extremos, generando hietogramas para periodos de retorno de 25, 50, 100 y 500 años.

Con los datos de entrada, incluyendo el número de curvas, tiempo de retardo, precipitación y tiempo de tránsito para cada microcuenca, se llevó a cabo la modelación hidrológica en HEC-HMS para todos los periodos de retorno seleccionados.

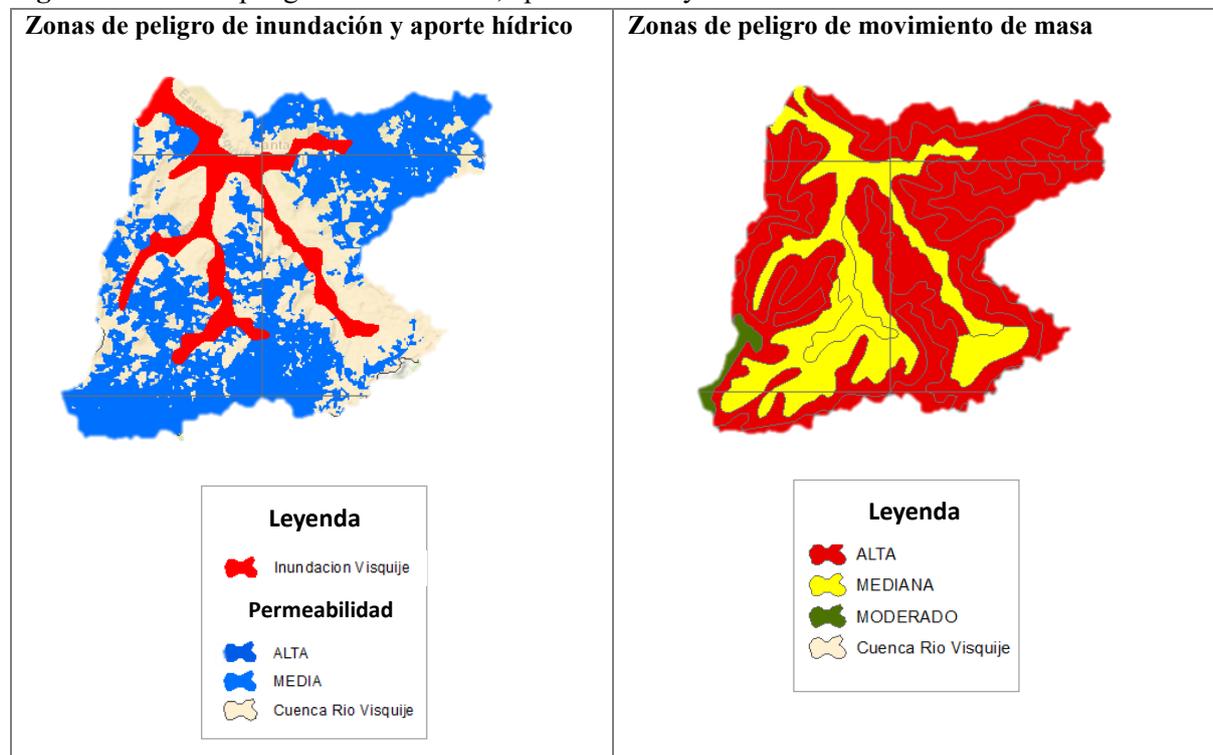
Los caudales máximos obtenidos fueron los siguientes:

Tabla 8 Caudales máximos para la subcuenca Visquiye para cada periodo de retorno.

Periodo de Retorno (años)	Caudal (m ³ /s)
25	40,9
50	72,3
100	119,7
500	303,2

Se identificaron áreas susceptibles a inundaciones basadas en la pluviosidad y pendiente del terreno, considerando también la información sobre movimientos de masa y el riesgo potencial de deslizamientos en zonas de talud elevado, como se observa en la figura 5.

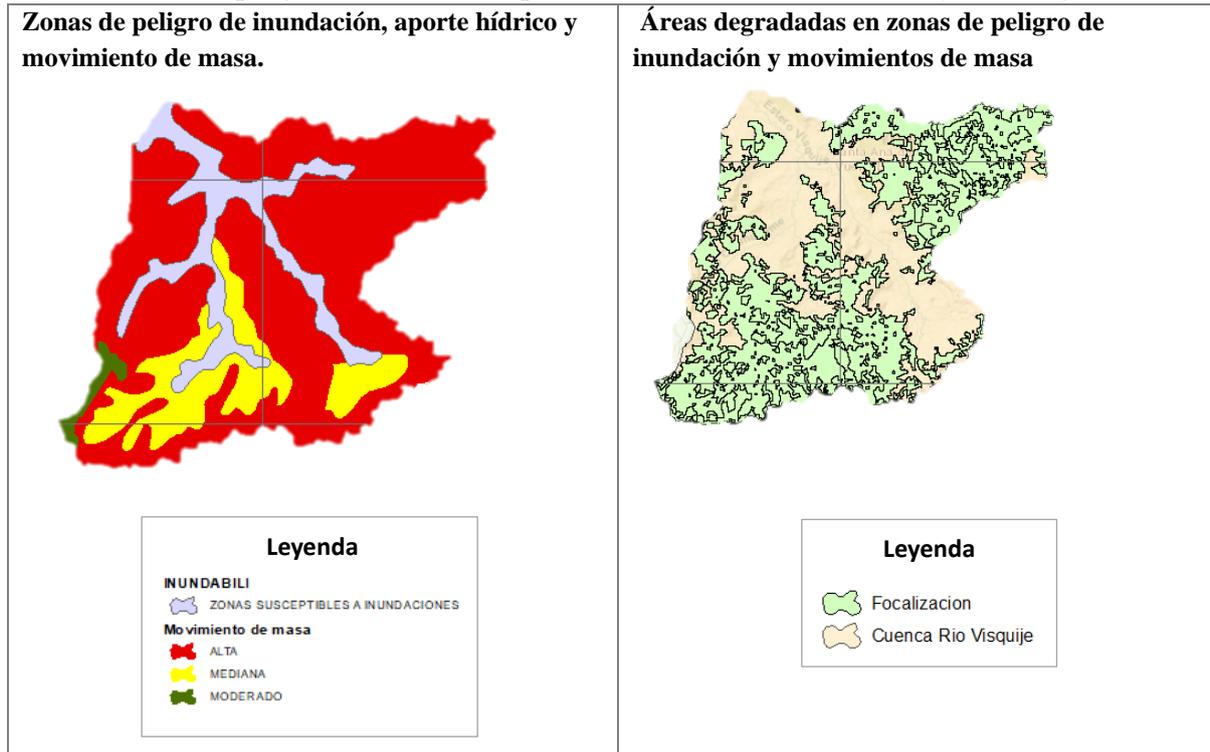
Figura 5 Zonas de peligro de inundación, aporte hídrico y movimiento de masa.



Al interceptar los mapas de peligro de inundación y movimiento de masa, se creó un mapa detallado de infraestructuras expuestas a estos riesgos. Al integrar esta información con las áreas degradadas, se generó un nuevo mapa que identifica las zonas degradadas que coinciden con las áreas de peligro (ver Figura 6).

Este mapa será utilizado en un análisis técnico de alternativas, evaluando las soluciones propuestas en los proyectos de inversión.

Figura 6 Zonas de peligro de inundación, aporte hídrico, movimiento de masa y áreas degradadas.

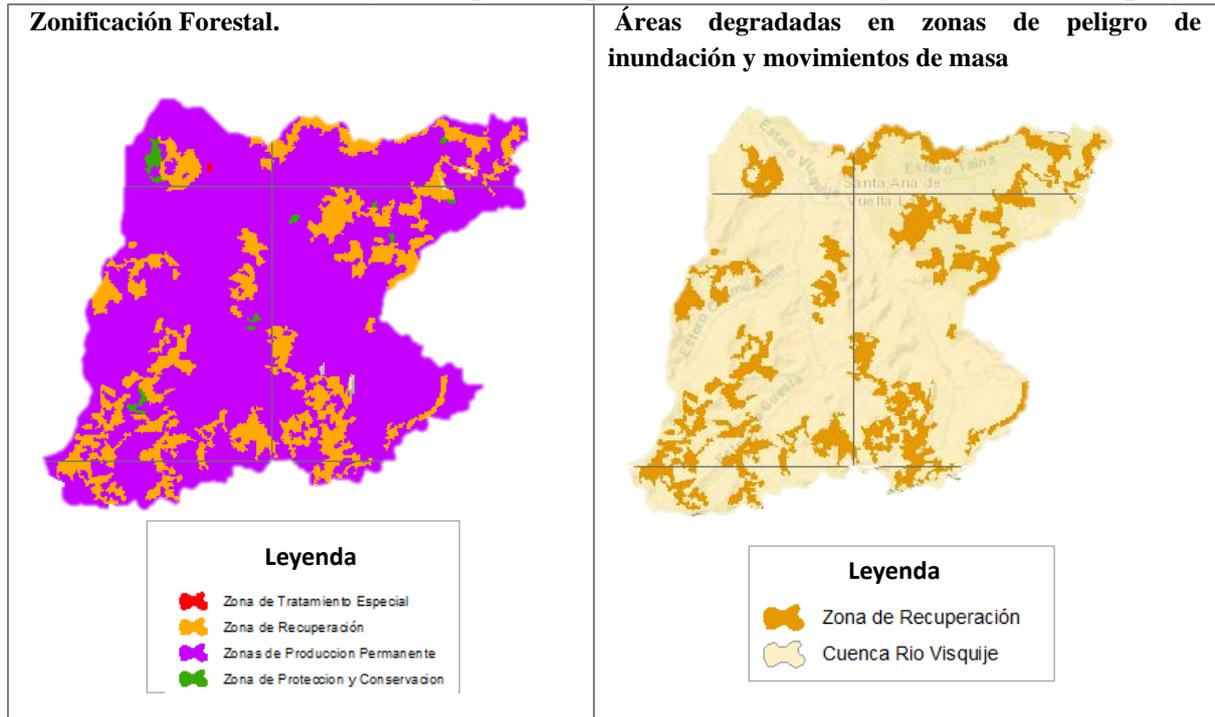


Para identificar soluciones adecuadas a las características naturales del área analizada, se llevó a cabo una zonificación forestal. Esta zonificación permitió determinar medidas específicas para el ecosistema en términos de presencia y tratamiento de bosques. Se integraron los mapas de cobertura, pendientes y áreas protegidas para crear el mapa de zonificación forestal.

En los planes de intervención integral, nos centramos en las zonas de recuperación, ya que estas áreas permiten reducir el riesgo y recuperar los servicios ecosistémicos mediante la implementación de infraestructuras naturales.

Para asegurar la efectividad de estas medidas, verificamos que las zonas de recuperación coincidan con áreas degradadas en zonas de peligro mediante una intersección de mapas (ver Figura 7).

Figura 7 Zonificación forestal y de recuperación que coincide con áreas degradadas en zonas de peligro.



Se instalarán atenuadores de escorrentía en las zonas con baja permeabilidad, ya que allí la infiltración es mínima y la escorrentía tiende a aumentar. Estas intervenciones se llevarán a cabo en lugares con diferentes potenciales hídricos: altos, medios y bajos (ver Figura 8).

Figura 8 Permeabilidad en zonas de recuperación y aportes hídricos.

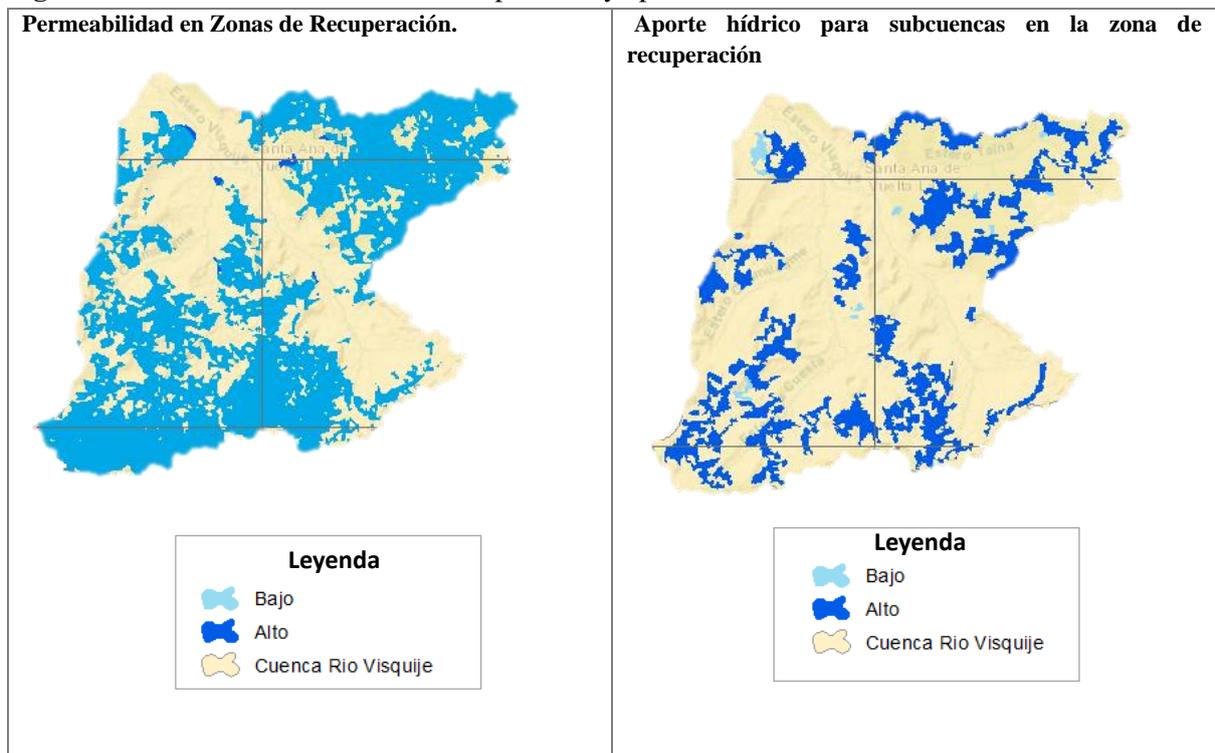


Figura 10 Mapa CN normal vs recalculado para la subcuena del Río Visquije

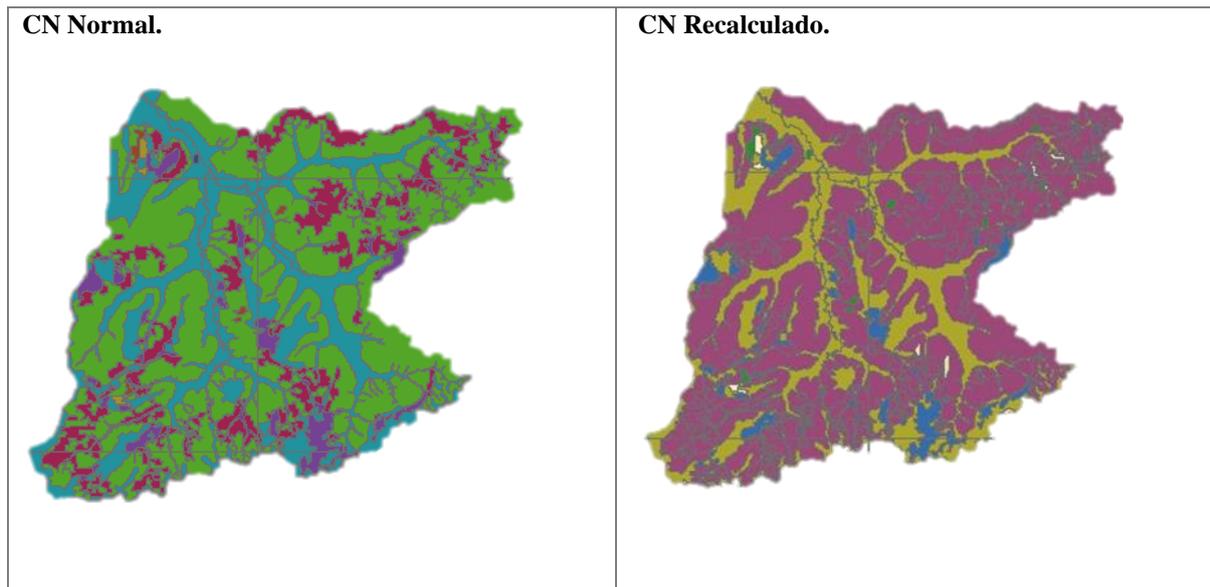


Tabla 11 Comparación entre Número de Curva actuales (CN) vs los recalculados.

Microcuena	Número de Curva actual (CN)	Número de Curva recalculado (CN)
1	69,21	66,21
2	68,59	67,59
3	67,94	67,10

Con el nuevo número de curva (CN) recalculado, se genera un segundo escenario de modelación hidrológica en HEC-HMS, considerando una duración de 120 minutos y periodos de retorno de 25, 50, 100 y 500 años. Los caudales obtenidos en este escenario son los siguientes: (ver tabla 12).

Tabla 12 Caudales máximos para la subcuena del Río Visquije actual vs recalculados.

Periodo de Retorno (años)	Caudal actual (m ³ /s)	Caudal recalculado (m ³ /s)
25	40,9	31,6
50	72,3	60,6
100	119,7	104,1
500	303,2	279,6

DISCUSIÓN

En la simulación hidrológica realizada en la subcuenca del río Visquije, se identificaron tres microcuencas con las siguientes características: la primera tiene un área de 51,95 km², un perímetro de 55,60 km, una pendiente media de 0,2757 m/m y un número de curva de 69,21; la segunda tiene un área de 45,05 km², un perímetro de 40,36 km, una pendiente media de 0,2636 m/m y un número de curva de 68,59; y la tercera tiene un área de 7,56 km², un perímetro de 19,0 km, una pendiente media de 0,2706 m/m y un número de curva de 67,94. Utilizando una duración de tormenta de 120 minutos, se estimaron los siguientes caudales máximos para diferentes periodos de retorno: 40,9 m³/s para 25 años, 72,3 m³/s para 50 años, 119,7 m³/s para 100 años y 303,2 m³/s para 500 años.

Este enfoque metodológico, según Duque *et al.* (2019), es particularmente relevante en cuencas hidrográficas de la región ecuatoriana con limitada información hidrometeorológica, destacando la importancia ecológica y económica de la subcuenca Visquije como principal afluente del embalse Poza Honda, crucial para la agricultura y ganadería provincial, como lo afirma Senagua (2013).

Se implementaron medidas específicas para mitigar la escorrentía, como la reforestación con especies nativas, forestación, control de cárcavas y conservación de suelos, seleccionadas estratégicamente en áreas de baja permeabilidad y diversos potenciales hídricos, conforme a Giler *et al.* (2020), quienes subrayan la efectividad y el bajo costo de los atenuadores de escorrentía en la prevención de inundaciones.

Con las medidas de mitigación implementadas, se ajustaron los valores del Número de Curva (CN) a 66,21 para la primera microcuenca, 67,59 para la segunda y 67,10 para la tercera. Manteniendo una duración de tormenta de 120 minutos, se recalculó la respuesta hidrológica obteniendo caudales máximos reducidos: 31,6 m³/s para 25 años, 60,6 m³/s para 50 años, 104,1 m³/s para 100 años y 279,6 m³/s para 500 años. El método del Número de Curva del SCS, según Duque *et al.* (2019), demuestra ser eficaz para cuencas menores a 250 km² con limitada información, produciendo estimaciones precisas de caudales máximos. Estos resultados coinciden con los hallazgos de Vega (2022), quien destaca que la modificación de la cobertura vegetal en áreas degradadas contribuye significativamente a la reducción de la escorrentía mediante la interceptación de agua de lluvia y la mejora de la infiltración, resultando en una distribución más equitativa del agua en el tiempo de descarga de la cuenca.



CONCLUSIONES

Se realizó una modelación hidrológica inicial utilizando el modelo matemático HEC-HMS, obteniendo caudales máximos para cada periodo de retorno: 40.9 m³/s para 25 años, 72.3 m³/s para 50 años, 119.7 m³/s para 100 años y 303.2 m³/s para 500 años.

Mediante la intersección de mapas de permeabilidad en zonas de recuperación con los aportes hídricos, se identificaron áreas con baja permeabilidad y alta escorrentía, donde se implementaron diversas medidas de atenuación de escorrentía, como reforestación con especies nativas, forestación, control de cárcavas y prácticas de conservación de suelo. Posteriormente, se realizó una segunda modelación hidrológica en el modelo HEC-HMS, incorporando las medidas de atenuación de escorrentía, obteniendo caudales máximos de 31.6 m³/s para 25 años, 60.6 m³/s para 50 años, 104.1 m³/s para 100 años y 279.6 m³/s para 500 años.

La implementación de atenuadores de escorrentía en la subcuenca resultó en una reducción significativa de los caudales pico en los hidrogramas para cada periodo de retorno: 22.8% para 25 años, 16.2% para 50 años, 13.1% para 100 años y 7.78% para 500 años. Estas reducciones destacan la eficacia de las medidas de atenuación implementadas, contribuyendo a la mitigación de riesgos asociados con eventos hidrometeorológicos extremos y mejorando la gestión hídrica en la subcuenca del río Visquije.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Adamo, S., Calvo, A., Miraglia, M., Natenzon, C., Roldán, I., Sabassi, F., y Villa, A. (2014). Cuenca Hidrográfica. Una Exploración Sobre El Concepto. *PIRNA-Programa de Investigaciones en Recursos Naturales y Ambiente, Facultad de Filosofía y Letras-UBA*, 1-9. Obtenido de <https://www.researchgate.net/publication/242423133>
- Aparicio, F. (1999). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*. Limusa. México.
- Barrios, A. (2003). *Introducción a la planificación y formulación de proyectos de manejo de cuencas hidrográficas*. Mérida-Venezuela: Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT).
- Dalmasso, A (2010). Revegetación de áreas degradadas con especies nativas. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*. Sociedad Argentina de Botánica, 45 (1–2), 149–171. Obtenido de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-23722010000100011



- Dixon, J., Sear, A., Odoni, A., Sykes, T., y Lane, N. (17 de marzo de 2016). The effects of river restoration on catchment scale flood risk and flood hydrology. *Earth Surface Processes And Landforms*, 41, 997-1008. Obtenido de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/esp.3919>
- Duque, P., Patiño, D, y López (2019). Evaluación del Sistema de Modelamiento Hidrológico HEC-HMS para la Simulación Hidrológica de una Microcuenca Andina Tropical. *CIT Información Tecnológica* , 30 (6), 351–362. <https://doi.org/10.4067/s0718-07642019000600351>
- Da Silva Santos , F., & López Vargas , R. (2020). Efecto del Estrés en la Función Inmune en Pacientes con Enfermedades Autoinmunes: una Revisión de Estudios Latinoamericanos. *Revista Científica De Salud Y Desarrollo Humano*, 1(1), 46–59. <https://doi.org/10.61368/r.s.d.h.v1i1.9>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Provincial de Manabí [GADPM]. (2011). Gobierno de Manabí y SENAGUA firman convenio de cooperación mutua. Obtenido de <http://www.ambiente.gob.ec/mae-y-senagua-firman-convenio-interinstitucional/>
- Giler, A., Donoso, S., Arteaga, R., y Zaldumbide, D. (2020). Manejo sostenible de inundaciones, cuencas y riberas en la provincia de Manabí. *La Técnica. Revista de las Agrociencias*, 23, 55-72. Obtenido de http://dx.doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i23.1442
- Gómez, C. (2004). Manual de Manejo de Cuencas. En W. Vision, Introducción (pág. 9). El Salvador: Visión Mundial El Salvador. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10779/Tiempo%20de%20concentraci%C3%B3n.pdf>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI]. (1999). *Estudio de Lluvia Intensidad* . Obtenido de Intensidad de lluvia: <https://dokumen.tips/documents/estudio-lluvias-intensas-inamhi.html?page=1>
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología [INAMHI]. (2022). *Biblioteca- Inamhi. Publicaciones meteorológicas*.
- Icaza Cárdenas, C. K., Riquero Pincay, C. J., & Márquez Villegas, V. T. (2023). Comunicación estratégica para el sector turístico sustentable. *Emergentes - Revista Científica*, 3(2), 70–87. <https://doi.org/10.60112/erc.v3i2.34>
- López, J. (2015). Alternativas de manejo sustentable de la subcuenca del Río Pitura, Provincia de Imbabura, Ecuador. *Universidad Nacional de la Plata*.

Luziga, A. (2012). *Determinación experimental del número de Curvas para el cálculo de abstracciones hidrológicas a escala continua*. Obtenido de Factores considerados para determinar el número de curva:

<https://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/3527/3/Luzuriaga%20Rengel%20Andreina%20Elizabeth.pdf>

Martínez Hernández , R. (2023). Blended Learning en el aprendizaje de idiomas: Una revisión de la literatura académica. *Estudios Y Perspectivas Revista Científica Y Académica* , 3(2), 113–138.

<https://doi.org/10.61384/r.c.a.v3i2.36>

Martínez, O., Aranda , R., Barreto , E., Fanego , J., Fernández , A., López , J., Medina , J., Meza , M., Muñoz , D., & Urbieto , J. (2024). Los tipos de discriminación laboral en las ciudades de Capiatá y San Lorenzo. *Arandu UTIC*, 11(1), 77–95. Recuperado a partir de

<https://www.uticvirtual.edu.py/revista.ojs/index.php/revistas/article/view/179>

Pincay, D., Zambrano, D., y Cartaya, S. (01 de 09 de 2019). *Análisis Morfométrico de la Cuenca del Río Portoviejo, Manabí, Ecuador*. Obtenido de Universidad Lica Eloy Alfaro:

https://www.researchgate.net/profile/Scarlet-Cartaya-2/publication/335057392_analisis_morfometrico_de_la_cuenca_del_rio_portoviejo_manabi_ecuador/links/5d4c63a6a6fdcc370a872554/analisis-morfometrico-de-la-cuenca-del-rio-portoviejo-manabi-ecuador.pdf

Rodríguez, C., y Ramón, J. (2021). Estudio hidromorfológico de la cuenca La Mona, El Cady y el riesgo de inundaciones imprevistas. *Dilemas contemp. educ. política valores*, 8(2), 1-28. Obtenido de

<https://doi.org/10.46377/dilemas.v8i.2598>

Román, F., Estévez, G., Aste, N., y Moles, A. (Abril de 2020). *HIRO, Herramienta de Identificación Rápida de Oportunidades para la Infraestructura Natural en la Gestión del Riesgo de Desastres*. Lima, Perú: Forest Trends Association.

Rossel, F., Cadier, E., y Gomez, G. (1996). Las inundaciones en la zona costera ecuatoriana: causas; obras de proteccion existentes y previstas. *Bulletin de l'Insitut Français d'Études Andines*, XXV, 3, (January 1996), 339–420.

Rubio Rodríguez, A. D., & Leon Reyes, B. B. (2024). *Actividades Deportivas para Mejorar el*



- Aprendizaje en la Materia de Física . Revista Científica De Salud Y Desarrollo Humano, 5(2), 398–409. <https://doi.org/10.61368/r.s.d.h.v5i2.139>
- Ruiz Díaz Benítez, J. R. (2023). Diseño de una Arquitectura de Referencia en la Logística de Abastecimiento Inteligente de Almacenes mediante el uso de Tecnologías de la Industria 4.0. Caso Almacenes retail de la Ciudad de Pilar. Revista Veritas De Difusão Científica, 4(2), 55–70. <https://doi.org/10.61616/rvdc.v4i2.46>
- Secretaría Nacional del Agua [SENAGUA]. (2013). Técnicos de SENAGUA trabajan en la subcuenca hidrográfica de Visquije . iAgua. <https://www.iagua.es/noticias/ecuador/13/07/26/tecnicos-de-senagua-trabajan-en-la-subcuenca-hidrografica-de-visquije-33801>
- United States Department of Agriculture [USDA] (1986). Urban Hydrology for Smallwatersheds. Obtenido de <https://tamug-ir.tdl.org/handle/1969.3/24438>
- Vega Macias, I. P. (2022). Estudio de los beneficios hidrológicos en función de las prácticas de reforestación y forestación de áreas degradadas en zona de recarga de la subcuenca del Río Teaone en Esmeraldas, Ecuador. *Tesis de maestría*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/11894>
- Villegas, P. (2017). Método del Número de Curva del SCS. Agua y SIG. <https://aguaysig.com/metodo-del-numero-de-curva-del-scs/>
- v, H., & Quispe Coca, R. A. (2024). Tecno Bio Gas. Horizonte Académico, 4(4), 17–23. Recuperado a partir de <https://horizonteacademico.org/index.php/horizonte/article/view/14>
- Wilkinson, M. E., Quinn, P. F., y Welton, P. (2010). Runoff management during the september 2008 floods in the Belfort catchment, Northumberland. Flood Risk Management, 285-295. Obtenido de <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1753-318X.2010.01078.x>
- Zambrano, Y. (2008). Plan de manejo y gestión de la subcuenca del Río San Francisco Matagalpa Nicaragua. Universidad Nacional Agraria Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente Farena. Obtenido de Universidad Nacional Agraria Facultad de Recursos Naturales y del Ambiente Farena.

