



Manejo sostenible de cuencas con atenuadores de escorrentía aplicando sig y simulación semidistribuida

Sustainable management of watersheds with runoff attenuators applying GIS and semi-distributed simulation

Gestão sustentável de bacias hidrográficas com atenuadores de escoamento aplicando SIG e simulação semi-distribuída

Jorge Armando Castillo Lescano ^I
jorgecastillo45@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7393-7353>

Correspondencia: jorgecastillo45@hotmail.com

Ciencias Técnica y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 23 de mayo de 2023 * **Aceptado:** 12 de junio de 2023 * **Publicado:** 04 de julio de 2023

I. Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Manabí; Portoviejo, Ecuador.

Resumen

En este estudio se evaluó el uso de atenuadores de escorrentía, como un medio para mitigar las magnitudes de flujo máximo en eventos que causan inundaciones en la cuenca del río de Oro de la ciudad de Portoviejo provincia de Manabí, dando como resultados los sitios idóneos donde colocar las atenuadores de escorrentía por sus siglas en inglés (RAFs) e hidrogramas que demuestren la atenuación de la escorrentía. Para el estudio morfológico de las 13 microcuencas se utilizó el programa QGIS, se implementó el modelo del Servicio de conservación del suelo SCS para calcular el número de curva y realizar una modelación hidrológica con el programa HEC-HMS. Se implementó la metodología HIRO para encontrar las medidas de infraestructura verde y los lugares idóneos donde colocar los atenuadores de escorrentía, las medidas resultantes fueron la reforestación y forestación en los lugares establecidos por el estudio, se reasignó un nuevo uso de suelos y se realizó una segunda modelación hidrológica dando como resultado una reducción del 17%, 9%, 7% y 5% del caudal pico en el punto de aforo para periodos de retorno de 2, 25, 50 y 100 años respectivamente.

Palabras Clave: Soluciones basadas en la naturaleza; atenuadores de escorrentía; gestión natural de inundaciones; modelo hidrológico.

Abstract

In this study, the use of runoff attenuators was evaluated as a means to mitigate the magnitudes of maximum flow in events that cause flooding in the Oro river basin of the city of Portoviejo, Manabí province, resulting in the ideal sites where place runoff attenuators (RAFs) and hydrographs that demonstrate runoff attenuation. For the morphological study of the 13 micro-watersheds, the QGIS program was used, the SCS soil conservation service model was implemented to calculate the curve number and perform hydrological modeling with the HEC-HMS program. The HIRO methodology was implemented to find the green infrastructure measures and the ideal places to place the runoff attenuators, the resulting measures were reforestation and afforestation in the places established by the study, a new land use was reassigned and a second hydrological modeling resulting in a reduction of 17%, 9%, 7% and 5% of the peak flow at the gauging point for return periods of 2, 25, 50 and 100 years respectively.

Keywords: Nature-based solutions; runoff attenuators; natural flood management; hydrological model.

Resumo

Neste estudo, avaliou-se o uso de atenuadores de escoamento como meio de mitigar as magnitudes de vazão máxima em eventos que causam inundações na bacia do rio Oro da cidade de Portoviejo, província de Manabí, resultando nos locais ideais para colocar atenuadores de escoamento (RAFs) e hidrogramas que demonstram a atenuação do escoamento. Para o estudo morfológico das 13 microbacias, utilizou-se o programa QGIS, implementou-se o modelo de serviço de conservação do solo SCS para calcular o número da curva e realizar a modelagem hidrológica com o programa HEC-HMS. A metodologia HIRO foi implementada para encontrar as medidas de infraestrutura verde e os locais ideais para colocar os atenuadores de escoamento, as medidas resultantes foram reflorestamento e arborização nos locais estabelecidos pelo estudo, um novo uso da terra foi reatribuído e uma segunda modelagem hidrológica resultando em uma redução de 17%, 9%, 7% e 5% da vazão de pico no ponto de medição para períodos de retorno de 2, 25, 50 e 100 anos respectivamente.

Palavras-chave: Soluções baseadas na natureza; atenuadores de escoamento; gestão de cheias naturais; modelo hidrológico.

Introducción

Desde el inicio de las civilizaciones las inundaciones han puesto en peligro a los habitantes que yacen a orillas de ríos y llanuras, tienen un impacto creciente en las poblaciones provocan aislamiento, pérdidas de vidas y pérdidas económicas (Douben, 2006), en su mayoría son provocadas por conflictos entre el hombre con el medio ambiente (Dadson et al., 2017). Cambios en la temperatura y la precipitación, puede conducir a inundaciones y sequías severas y frecuentes producto del cambio climático afectando cada vez más a la población (Lehner et al., 2006) (Di Baldassarre et al., 2017), el número de incidentes está aumentando en zonas urbanas, provocando que los grupos con menos recursos sean más vulnerables (Mogammad, 2008), los daños por inundaciones pueden ser más grandes de lo que parecen (Wagenaar et al., 2016).

El cambio climático está modificando el comportamiento de la escorrentía a nivel mundial (Milly et al., 2005), se predice un aumento del 4% de la escorrentía consecuencia del aumento de la

temperatura (Labat et al., 2004), la frecuencia y magnitud de los fenómenos meteorológicos extremos se amplían (O’Gorman, 2015) (Mazdiyasní & AghaKouchak, 2015) por lo tanto es necesario desarrollar estrategias, metodologías y herramientas más efectivas para reducir los peligros naturales asociados con las inundaciones (Michielsen et al., 2016).

Manabí fue la tercera provincia más afectada durante la temporada de lluvias 2021, encabezando la lista estuvo la provincia de Los Ríos con 4650 afectados, seguido de Esmeraldas con 2716 y Manabí con 2287 afectados (El Universo, 2021). El cambio climático hace que Manabí sufra sequías e inundaciones, fenómenos que reducen el desarrollo de la población (Mendoza et al., 2019) existe mal manejo de ríos y riberas para evitar inundaciones, (Giler-Ormaza et al., 2020). El río de Oro genera inundaciones, en verano permanece seco y en invierno incrementa su caudal ocasionando inconvenientes a la población, evidencias sufridas en el año 1982 por el fenómeno de El Niño (El Diario.ec, 2018).

La naturaleza toma importancia para abordar los desafíos ambientales, sociales, económicos y en la sociedad en general (Maes & Jacobs, 2017), existen soluciones para la gestión de riesgos de inundaciones: la estructural y no estructural, la estructural se divide en soluciones basadas en la naturaleza y soluciones grises (Kundzewicz, 2002). Soluciones grises incluyen presas, embalses, ampliaciones y profundización de canales, sistemas de drenaje, soluciones basadas en la naturaleza (SBN) incluyen bioingeniería, manejo natural de inundaciones, atenuadores de escorrentía (Nicholson et al., 2012).

La Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) define las SBN como “acciones para proteger, gestionar de manera sostenible y restaurar (crear) ecosistemas naturales o modificados que aborden los desafíos sociales (incluidos los urbanos) de manera efectiva y adaptativa, brindando simultáneamente bienestar humano y beneficios de la biodiversidad” (Cohen-Shacham et al., 2016). Las SBN son formas sostenibles de lidiar con los riesgos del agua porque requieren menos mantenimiento, son más rentables y respaldan niveles de alta biodiversidad (Opperman et al., 2009) (Albert et al., 2019).

El presente estudio investiga el potencial para gestionar la escorrentía mediante el uso de atenuadores, estos interceptan y almacenan temporalmente el agua de inundación (Wilkinson et al., 2010) (Wilkinson et al., 2014), beneficios adicionales incluyen la mejora de la calidad del agua a través de la deposición de sedimentos y mejora ecológica (Shuttleworth et al., 2019). El objetivo general es evaluar el uso de atenuadores en la subcuenca río de Oro para disminuir la intensidad de

la escorrentía. Los objetivos específicos son encontrar los sitios idóneos para colocar atenuadores y demostrar la disminución de la escorrentía mediante el modelamiento hidrológico.

Métodos o metodologías

ÁREA DE ESTUDIO

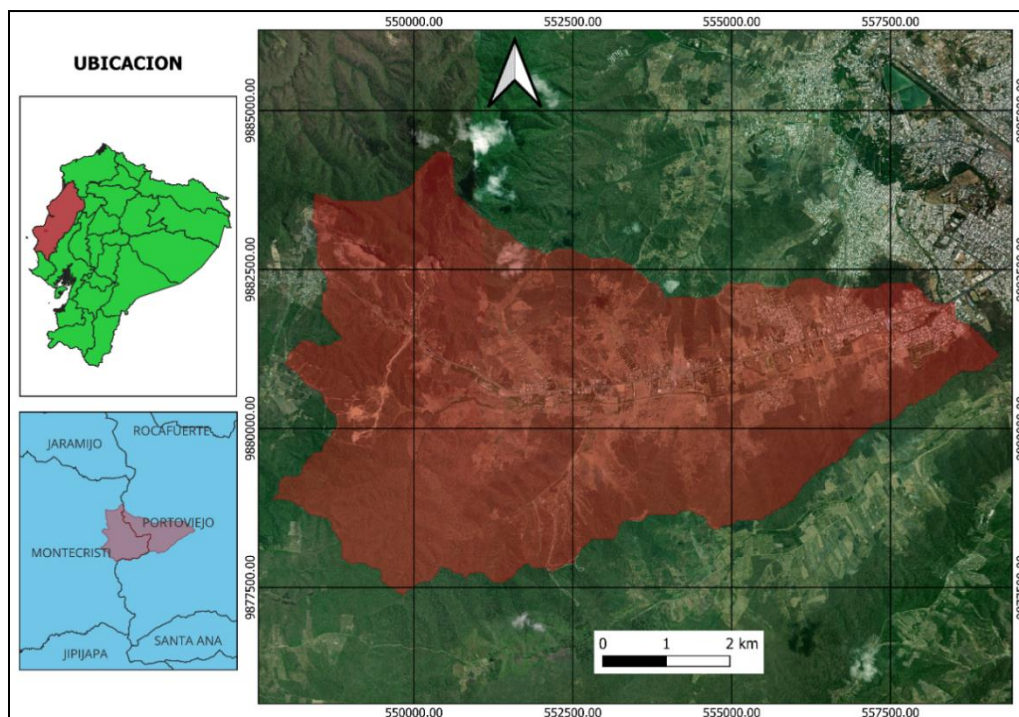


Figura 1. Localización del área de estudio.

Fuente: Elaboración propia

La presente investigación se encuentra en la subcuenca del río de Oro localizada en la ciudad de Portoviejo provincia de Manabí, esta nace en las canteras del cerro Guayabal, su recorrido abarca la parte posterior del parque industrial, y suma unos 17 km hasta la ciudadela Bellavista, continúa a la ciudadela Las Orquídeas, El Llano, avenida del Ejército hasta unirse con el río Portoviejo. Las coordenadas del punto de cierre de la cuenca es Este = 558362.773, Norte = 9881939.422.

Estudio morfológico

Para el estudio morfológico de la Subcuenca del río de Oro se va a realizar un geoproceto para determinar los polígonos que pertenecen a cada microcuenca que cumpla con las siguientes condiciones: Tener la pendiente en una de las dos clasificaciones $\geq 3\%$ o $< 3\%$, tener el mismo

uso de suelo, tener el grupo hidrológico en una de las 4 posibilidades A, B, C o D. (Ferrer et al., 1995).

El primer dato para obtener es un modelo digital del terreno por sus siglas en inglés (DEM). Con el DEM y el mapa base se pudo obtener la red de drenaje; con estos datos se define la delimitación de la cuenca principal del Rio de Oro y de las microcuencas aportantes.

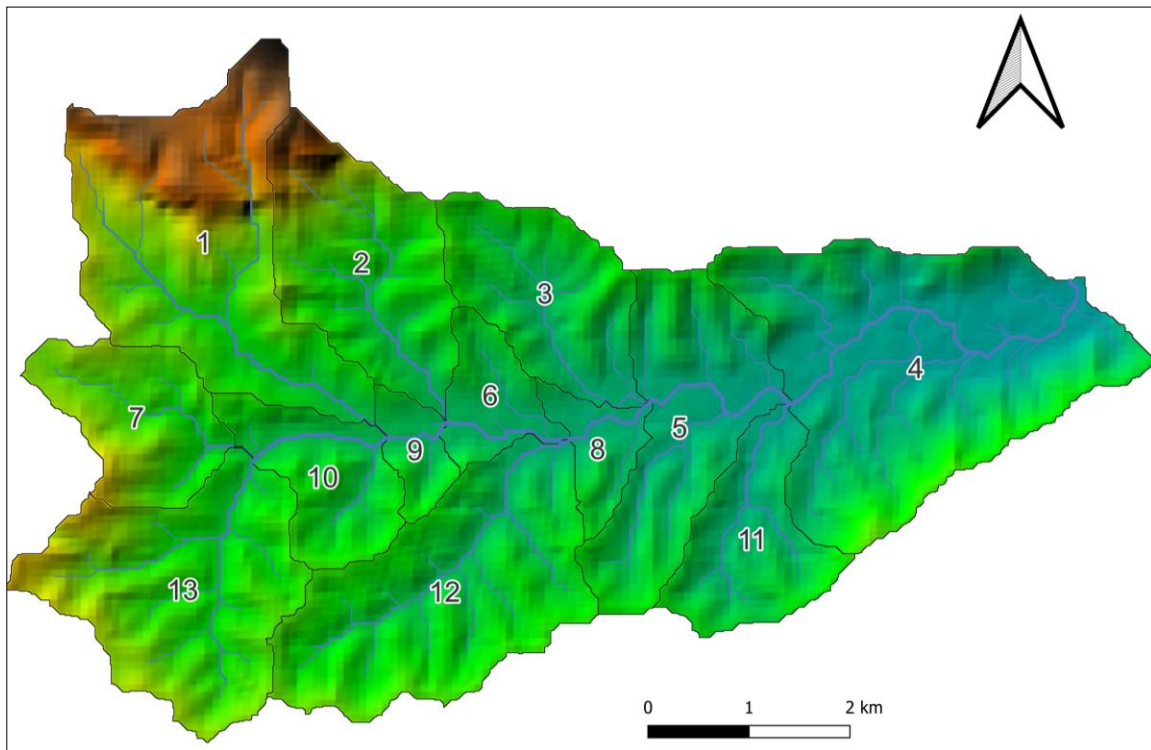


Figura 2. Microcuencas de la Subcuenca Rio de Oro.

Fuente: Elaboración propia

Se realiza con el programa QGIS un mapa de pendientes con dos clasificaciones $\geq 3\%$ o $< 3\%$, para el primer caso se va a asignar el número 1 y para el segundo caso el número 2.

Luego de tener definido el lugar de estudio se busca información sobre el tipo de suelo, se puede encontrar esta información en las páginas de información geográfica gubernamentales, en el catálogo de metadatos de SIGtierras; se tiene una base de datos con información de las propiedades y características de los tipos de suelos que existen en el país, también se puede obtener información

de los usos de suelos. Luego de esto se relaciona el tipo de suelo con la clasificación de grupos hidrológicos como se muestra en la Tabla 1.

GRUPO	CLASE TEXTURIAL	TASA DE INFILTRACIÓN (mm/hora)	PROF. EFECTIVA DEL SUELO		DRENAJE DE LOS SUELOS	MOVIMIENTO DEL AGUA EN EL SUELO
			(cm)	DENOMINACIÓN		
A	Arenoso	12	160	Muy profundos	Muy excesivamente drenados	Muy rápido
	Areno franco	11	145		Excesivamente drenados	
	Franco arenoso	10	130		Algo Excesivamente	Rápido
B	Franco	9	115	Profundos	Moderadamente bien drenados	Moderado
	Franco limoso	8	100	Moderadamente profundos		
	Limoso	7	85		Bien drenados	Óptimo
C	Franco arcillo arenoso	6	70		Superficiales	Moderadamente bien drenados
	Franco arcilloso	5	55	Imperfectamente drenados		Lento
	Franco arcillo limoso	4	40	Muy superficiales		Escasamente drenados
D	Arcillo arenoso	3	25	Extremadamente superficiales		
	Arcillo limoso	2	10			
	Arcilloso	1	0			

Tabla 1. Grupos hidrológicos de acuerdo con el tipo de suelo.

Fuente: (SCS, 1982)

Con el software QGIS se elabora un shape file que contiene información del uso de suelo, el Servicio de conservación del suelo (SCS) posee una tabla de la clasificación de los suelos, para analizar el tipo de suelo de una manera integral se definieron los grupos establecidos según la metodología SCS.

Con la información del uso y tipo de suelo se obtiene la clasificación hidrológica del suelo y se procede a obtener el número de curvas (CN) correspondiente a cada microcuenca previamente delimitada.

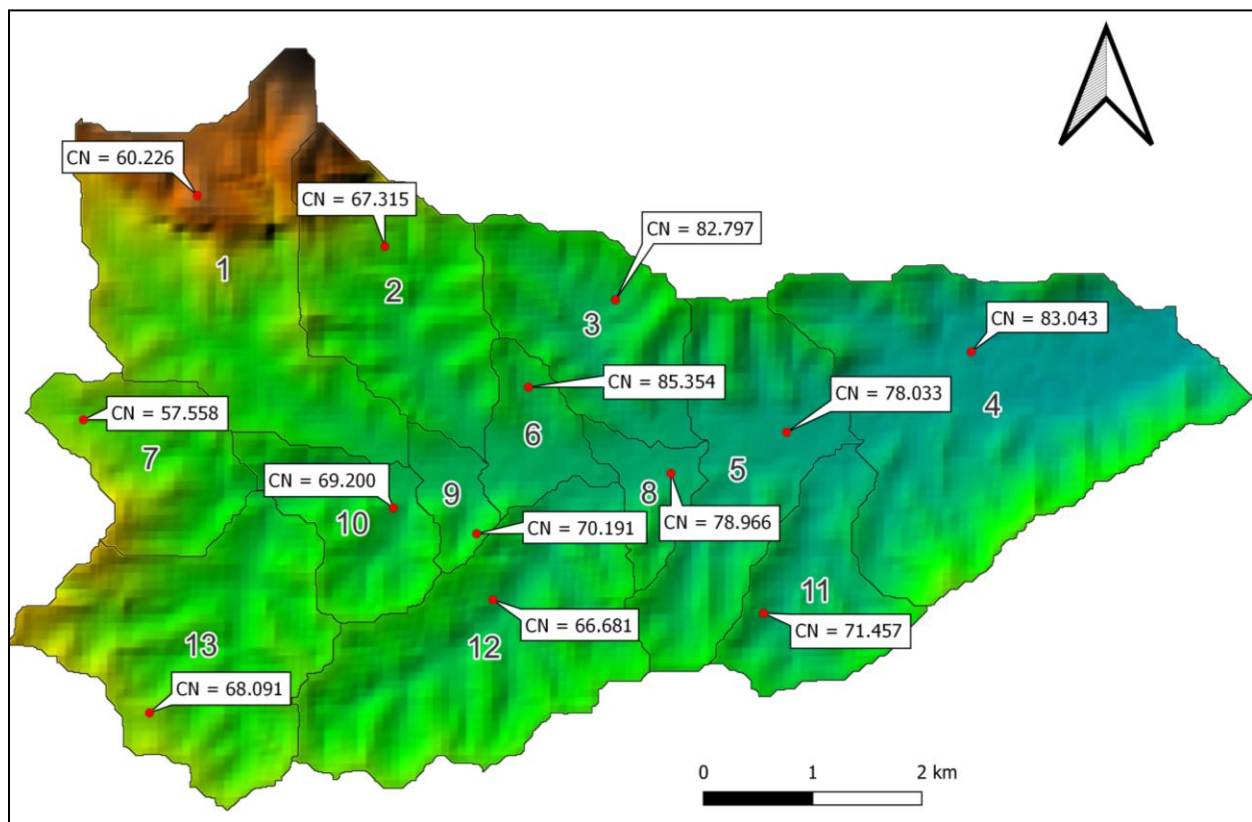


Figura 3. Número de curva de cada microcuenca.

Fuente: Elaboración propia

Estudio hidrológico

Mediante la información que se encuentra publicada en los anuarios meteorológicos del (INAMHI) Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología que está disponible en formato digital e impreso, se obtiene el hietograma mediante el método del bloque alterno. Dada la ubicación de nuestra subcuenca de estudio se utilizó la estación hidrológica Portoviejo con código M0005 haciendo uso de las ecuaciones de intensidad correspondiente para un periodo de lluvia de 120 minutos y un periodo de retorno de 2, 25, 50 y 100 años. Para la modelación hidrológica se emplea el programa HEC-HMS, un programa de acceso libre que se especializa en la modelación hidrológica de cuencas para obtener caudales máximos. Se necesita datos morfométricos de cada microcuenca, calculados en el apartado anterior con el programa QGIS, estos datos fueron ingresados para la modelación. En la Figura 4 se muestra la modelación gráfica de la Subcuenca rio de Oro en el programa HEC-HMS.

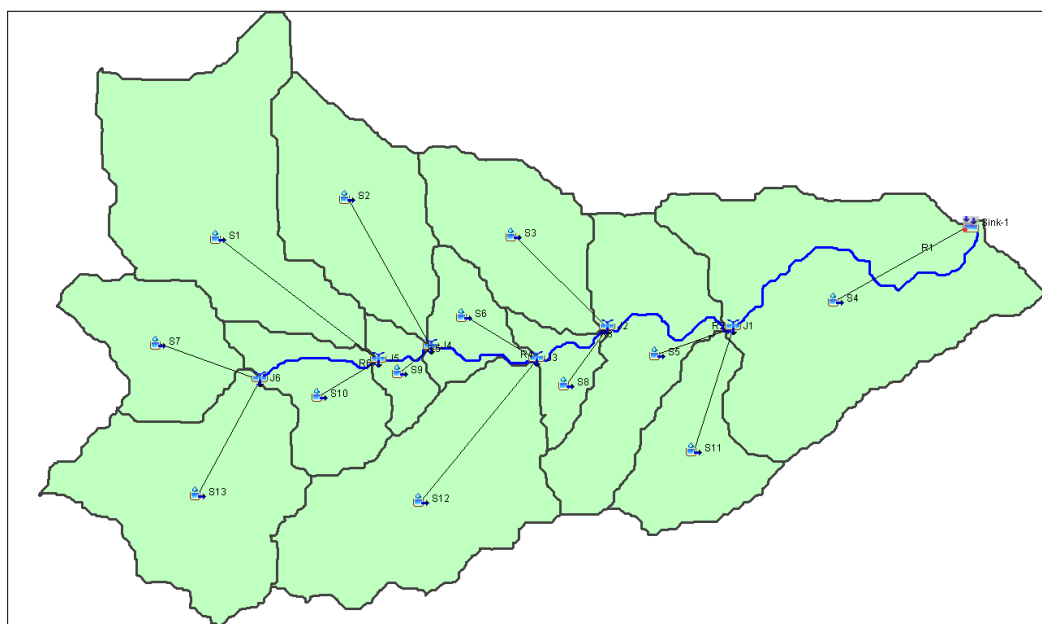


Figura 4. Modelación de la subcuenca río de Oro en HEC-HMS.

Fuente: Elaboración propia

Elemento Hidrológico	Periodo de retorno (años)	Descarga máxima (M3/S)
Sink-1	2	12.3
Sink-1	25	56.9

Sink-1	50	85.8
Sink-1	100	126.4

Tabla 2. Resultado de la modelación de la Subcuenca río de Oro en HEC-HMS.

Fuente: Elaboración propia

Identificación de oportunidades para la infraestructura natural

Para la identificación de lugares idóneos para la implementación de soluciones basadas en la naturaleza, infraestructura natural como mecanismos atenuadores de escorrentías; utilizamos la Guía Metodológica HIRO (CONDESAN, 2017). Se necesita la siguiente información de la zona de estudio según la metodología HIRO:

Nro.	Descripción	Fuente
1	Áreas Inundables	(INHAMI, 2019)
2	Movimiento de masa	Secretaría de gestión de riesgos (SNI, 2009)
3	Área prioritaria de restauración	(MAATE, 2015)
4	Modelo digital de elevación (DEM)	(MAATE, 2015)
5	Mapa uso de suelos	MAGAP (SNI, 2009)
6	Mapa de pendientes	Procesamiento de datos del modelo digital
7	Mapa de áreas naturales protegidas	(MAATE, 2015)
8	Mapa Hidrogeológico (Permeabilidad)	MAGAP (SNI, 2009)
9	Mapa de precipitaciones (Isoyetas)	(INHAMI, 2019)

Tabla 3. Información SIG necesaria para aplicar la metodología HIRO.

Fuente: Elaboración propia

Según la metodología HIRO se identifican 3 fases: fase de identificación del problema, fase de identificación de las causas y fase de las soluciones. La fase 1 tiene como finalidad la caracterización de la cuenca y la integración de información de peligro, la fase 2 tiene como fin la integración de áreas prioritarias de restauración en zonas de peligro de inundación y movimiento de masa y la fase 3 tiene como finalidad la integración de información de zonificación forestal, aporte hídrico e hidrogeología. La información final nos permite la identificación de medidas de

infraestructura natural, para lo cual se utiliza el diagrama de decisiones de la metodología (CONDESAN, 2017).

Nro.	Nombre de la medida de IN
1	Reforestación con especies nativas
2	Forestación
3	Control de cárcavas
4	Terrazas, andenería y/o prácticas de conservación de suelo
5	Zanjas de infiltración
6	Qochas o cochas para la cosecha de agua

Tabla 4. Número de la medida de infraestructura natural según metodología HIRO.

Fuente: (CONDESAN, 2017).

En la fase 1, para obtener la información de peligro de la zona de estudio, unimos el Mapa de Movimiento de Masas con el de Inundaciones a esto lo llamaremos Zonas en peligro que contiene movimiento de masa alto y medio y áreas susceptibles a inundaciones (CONDESAN, 2017).

La fase 2, consiste en intersecar el Mapa de Zonas en Peligro con el Mapa de Áreas Prioritarias para Restauración, al intervenir en estas áreas prioritarias de restauración (alta, media y baja) contribuyen a la regeneración y mejor funcionamiento de los ecosistemas; en este sentido, reducen la probabilidad de ocurrencia y el grado de daño que estos peligros pueden causar, así como también reducen la exposición, a la intersección de estos dos mapas le llamaremos Primera focalización (CONDESAN, 2017).

La fase 3, consiste en identificar las Zonas de Recuperación, resultado de la unión de los Mapas de Pendiente, Mapa de Uso de Suelos, Mapa de Áreas Protegidas, con la selección de criterios que para nuestra zona de estudio fueron los siguientes: se identificará como Zonas de Recuperación aquellas donde la pendiente sea Fuerte e Irregular (25-70%), para evitar lugares con pendientes muy fuertes por la dificultad para la implementación de infraestructura natural ni pendientes bajas porque no producen suficiente escorrentía; usos de suelo correspondientes a Conservación y Protección dado que en nuestra zona de estudio corresponden a zonas alteradas y que presentan oportunidad para restauración; y que estén fuera de áreas protegidas porque va a ser imposible intervenir en áreas protegidas y reguladas por el estado; al mapa resultante de la unión le intersecamos el Mapa de la Primera focalización, el resultado es la identificación de Zonas de Recuperación (CONDESAN, 2017).

Asimismo, se debe identificar zonas de permeabilidades bajas para colocar atenuadores de escorrentía aumentando los beneficios de la infraestructura verde en zonas propensas a inundaciones, para esto se intercepta el Mapa Hidrogeológico con el Mapa de Zonas de Recuperación, como resultado obtenemos el Mapa de Zonas de Recuperación Hidrogeológicas (CONDESAN, 2017).

Además, se debe identificar el aporte hídricos en zonas de recuperación, lugares donde se identifique cuál es el aporte hídrico por precipitaciones que integre el valor de la pendiente y las zonas de recuperación, para identificar el aporte hídrico realizamos una reclasificación teniendo en cuenta que aportes hídricos altos son causados por precipitaciones altas con pendientes altas, aportes hídricos medio son causado por precipitaciones medias con pendientes medias y aportes hídricos bajos son causados por precipitaciones bajas con pendientes bajas, para esto intersecamos el Mapa de Pendientes con el Mapa de Precipitaciones, así tenemos el Mapa de Aporte Hídrico (CONDESAN, 2017). Para obtener el Mapa de Aporte Hídrico en Zonas de Recuperación intersecamos el Mapa de Aporte Hídrico con el Mapa de Zonas de Recuperación.

Finalmente, para obtener el Mapa de Identificación de Infraestructura Natural (IN), unimos el Mapa de Zonas de Recuperación Hidrogeológicas con el Mapa de Aporte Hídrico en Zona de Recuperación y realizamos una reclasificación por atributos, tomando en cuenta que para nuestro caso de estudio necesitamos atenuar escorrentía, por lo tanto, nuestra permeabilidad será baja y aporte hídrico medio (CONDESAN, 2017).

Resultados y discusión

Resultado

Luego de aplicar la metodología HIRO para nuestro caso de estudio, se logró identificar las áreas donde se puede implementar infraestructura natural, atenuadores de escorrentía. De acuerdo con los criterios de permeabilidad, aporte hídrico y tomando como base la Tabla 4 tenemos como resultado las alternativas 1, 2 y 4. Escogemos la REFORESTACIÓN, FORESTACION como atenuadores de escorrentía, éstas consisten en incorporar especies arbóreas en zonas específicas logrando que se asigne un nuevo uso de suelo, con esto logramos modificar las áreas seleccionadas a: Masa forestal (bosques, monte bajo, ...) espesa. Recalculamos los números de curvas de cada microcuenca tomando en cuenta los nuevos usos de suelos adoptados, con la misma metodología.

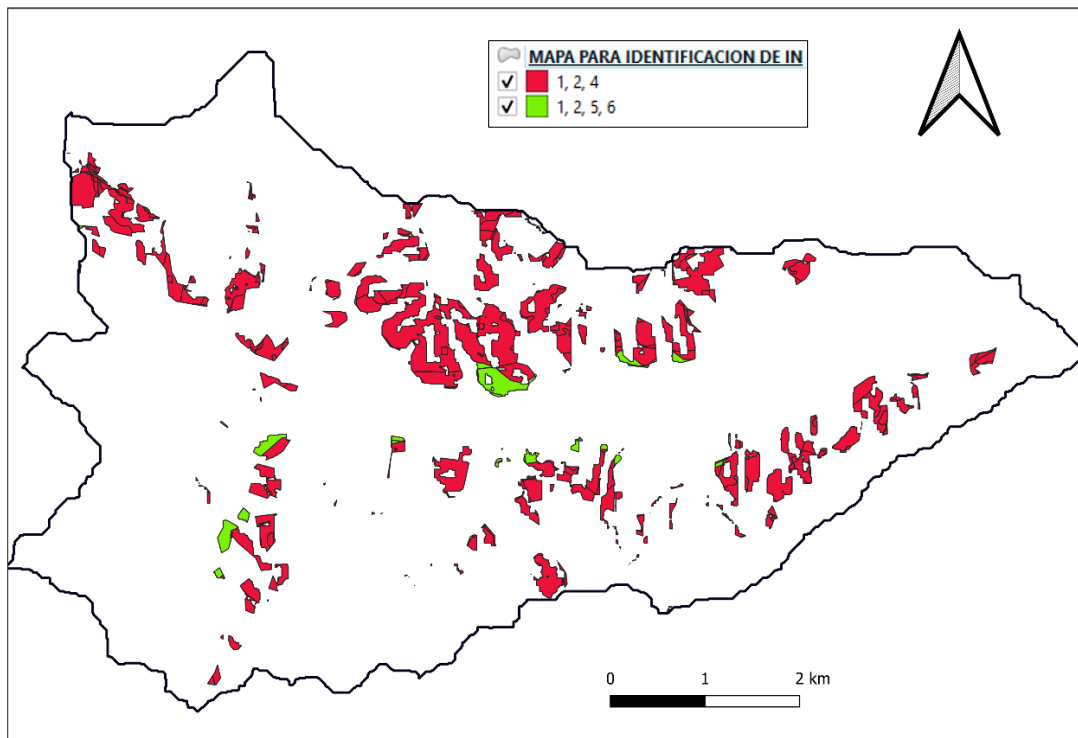


Figura 5. Mapa de Identificación de IN.

Fuente: Elaboración propia

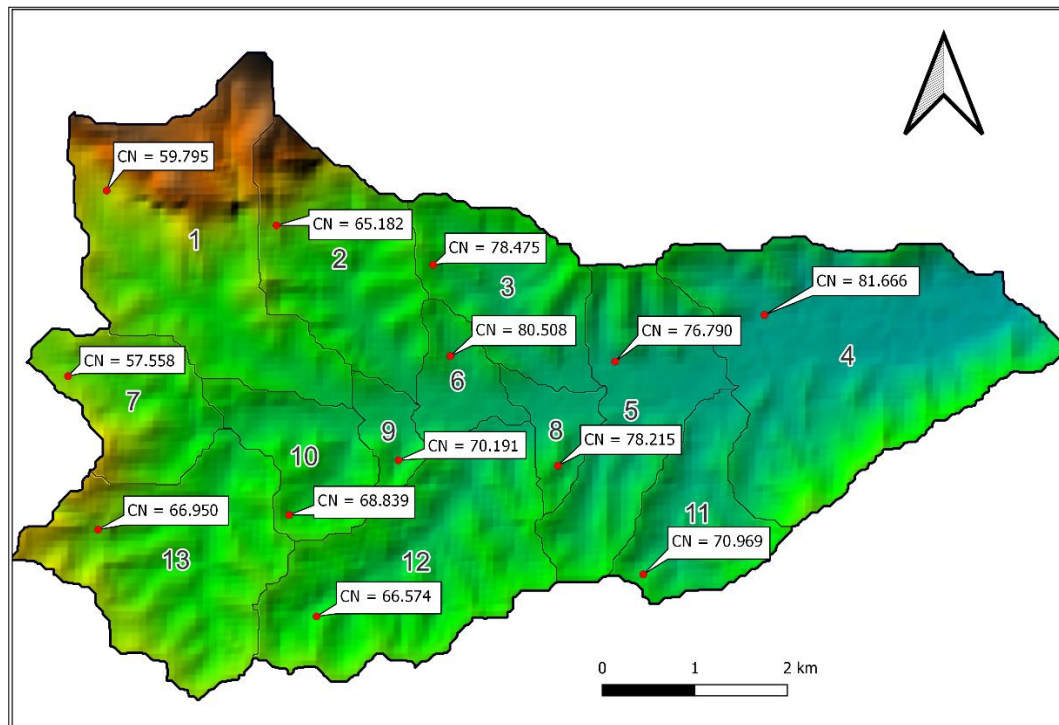


Figura 6. Número de curva modificada de cada microcuenca.

Fuente: Elaboración propia

Microcuenca	CN INICIAL	CN MODIFICADO
1	60.226	59.795
2	67.315	65.182
3	82.797	78.475
4	83.043	81.666
5	78.033	76.790
6	85.354	80.508
7	57.558	57.558
8	78.966	78.215
9	70.191	70.191
10	69.200	68.839
11	71.457	70.969
12	66.681	66.574
13	68.091	66.950

Tabla 5. Valores de CN inicial y CN modificado.

Fuente: Elaboración propia

Con los nuevos valores de CN se realiza una nueva modelación hidrológica con la misma ubicación de la estación hidrológica Portoviejo con código M0005 haciendo uso de las ecuaciones de intensidad correspondiente para un periodo de lluvia de 120 minutos y un periodo de retorno de 2, 25, 50 y 100 años, los resultados se muestran en la Tabla 6 y la Figura 7.

Se realizó el modelo hidrológico obteniendo nuevos caudales pico en el punto de aforo de 10.2 m³/s, 51.7 m³/s, 80.2 m³/s y 120.0 m³/s para un periodo de retorno de 2, 25, 50 y 100 años respectivamente.

	Periodo de retorno (años)	Descarga máxima CN inicial (M3/S)	Descarga máxima CN modificado (M3/S)	Porcentaje de disminución (%)
Sink-1	2	12.3	10.2	17

Sink-1	25	56.9	51.7	9
Sink-1	50	85.8	80.2	7
Sink-1	100	126.4	120.0	5

Tabla 6. Resultado de la modelación de la Subcuenca rio de Oro con CN modificado.

Fuente: Elaboración propia

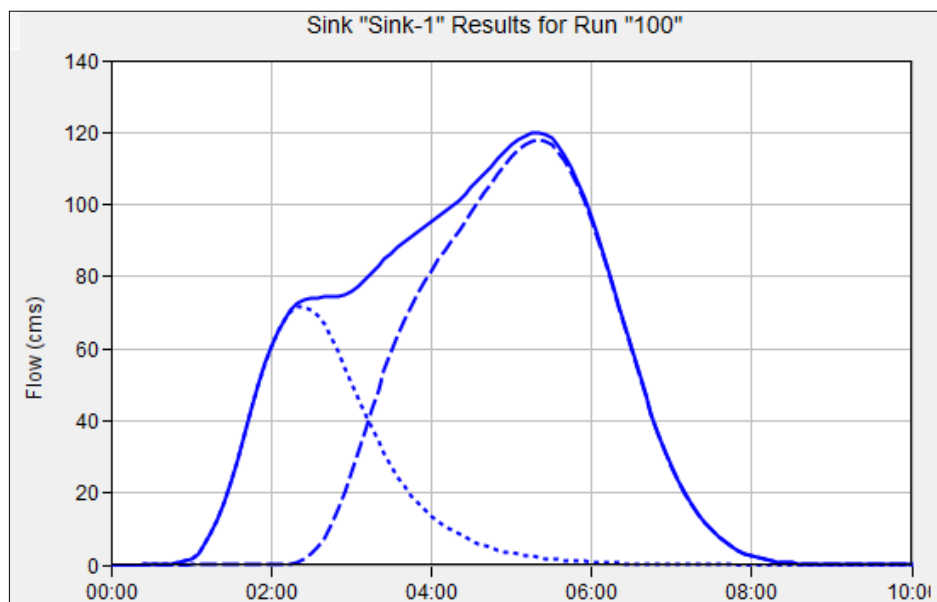


Figura 7. Hidrograma del cierre de la Subcuenca rio de Oro con CN modificado para periodo de retorno de 100 años.

Fuente: Elaboración propia.

Para nuestra zona de estudio tenemos que la microcuenca 7 es la de menor porcentaje de área de implementación de infraestructura natural (IN) con respecto al área total de su microcuenca con un 0.02% mientras que la microcuenca numero 6 es la que mayor porcentaje tiene con respecto al tamaño total de la microcuenca con un 30.74%.

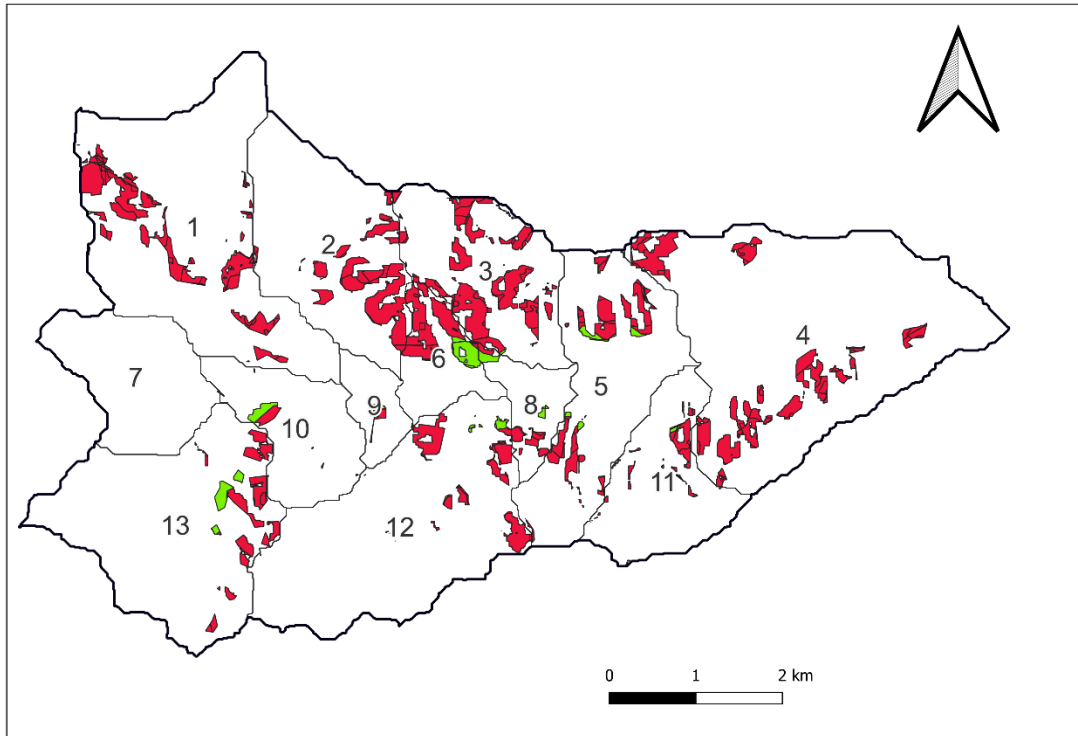


Figura 8. Mapa de IN en las microcuencas que componen la zona de estudio

Fuente: Elaboración propia

Microcuenca	Área Total (m2)	Área IN (m2)	Porcentaje de IN (%)
1	5956699.05	603680.00	10.13%
2	3565319.04	469914.00	13.18%
3	2748305.99	632403.00	23.01%
4	7671722.73	659991.00	8.60%
5	3537469.42	371565.00	10.50%
6	1101005.18	338448.00	30.74%
7	2236555.35	432.67	0.02%
8	826602.19	95773.50	11.59%
9	660784.51	22638.10	3.43%
10	1885186.68	62281.00	3.30%
11	2203095.93	99663.30	4.52%
12	5288173.47	300735.00	5.69%

13	4765721.92	305434.00	6.41%
TOTAL	42446641.44	3962958.57	9.34%

Tabla 7. Porcentaje de IN en cada microcuenca de la zona de estudio

Fuente: Elaboración propia

La microcuenca 4 es la de mayor área de implementación de IN con 659991.00 m², le sigue la microcuenca 3 con 632403.00 m². Para el área de estudio de la Subcuenca río de Oro tenemos un área total para implementar infraestructura natural de 3962958.57 m² correspondiente al 9.34% de su área total.

Discusión

El uso de atenuadores de escorrentía como parte de la infraestructura verde es ventajosa para disminuir las consecuencias de los fenómenos meteorológicos naturales en las cuencas hidrográficas, por la fácil implementación y el bajo costo a comparación con una infraestructura gris tradicional, estas medidas reducen el efecto de las fuertes lluvias invernales.

Varias investigaciones concluyeron que la cubierta forestal reduce el caudal máximo a un determinado umbral de precipitación, a medida que aumenta la intensidad de la tormenta, disminuye la capacidad del bosque para amortiguar las inundaciones (Bathurst, Amezaga, et al., 2010) (Bathurst, Bovolo, et al., 2010) (Bathurst et al., 2011). Además (Roa-García & Weiler, 2010), mostró que los bosques nativos y las plantaciones de árboles exóticos atenuaron el flujo máximo inclusive durante las tormentas más fuertes (Bonnesoeur et al., 2019). Según (Bonnesoeur et al., 2019) la cubierta forestal puede reducir el caudal máximo de las tormentas con periodos de retorno de 10 años o menos y la capacidad máxima de amortiguación del flujo de las plantaciones de árboles exóticos puede ser ligeramente menor que la de los bosques nativos, ya que los bosques nativos tienen una escorrentía superficial ligeramente menor y una capacidad de almacenamiento de agua en el suelo ligeramente mayor.

Por lo tanto, para este caso de estudio en las zonas de recuperación de baja permeabilidad y aporte hídrico medio en la cuenca del río de Oro utilizando la reforestación y forestación como método atenuador de escorrentía y el cambio de uso de suelo a Masa forestal espesa, disminuyó el caudal pico para los periodos de retorno de 2, 25, 50 y 100 años en 17%, 9%, 7% y 5% respectivamente. Se puede apreciar con estos resultados que, mientras más prolongado es el período de retorno

mayor es el caudal pico de descarga, menor es la capacidad de atenuar la escorrentía, concordando con lo establecido por (Bonnesoeur et al., 2019) quien manifiesta que los sistemas forestales tienen una capacidad de atenuar como máximo caudales con 10 años de periodo de retorno. Sin embargo, se demuestra que esta tecnología innovadora sirve para atenuar caudales pico y distribuir de mejor manera el volumen de agua producido por las precipitaciones teniendo mayor eficacia en periodos de retorno cortos, alcanzando en este caso de estudio para un periodo de 2 años una reducción del caudal pico del 17%.

Referencias

- Albert, C., Schröter, B., Haase, D., Brillinger, M., Henze, J., Herrmann, S., Gottwald, S., Guerrero, P., Nicolas, C., & Matzdorf, B. (2019). Addressing societal challenges through nature-based solutions: How can landscape planning and governance research contribute? *Landscape and Urban Planning*, 182, 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.10.003>
- Bathurst, J. C., Amezcaga, J., Cisneros, F., Gaviño Novillo, M., Iroumé, A., Lenzi, M. A., Mintegui Aguirre, J., Miranda, M., & Urciuolo, A. (2010). Forests and floods in Latin America: Science, management, policy and the EPIC FORCE project. *Water International*, 35(2), 114–131. <https://doi.org/10.1080/02508061003660714>
- Bathurst, J. C., Bovolo, C. I., & Cisneros, F. (2010). Modelling the effect of forest cover on shallow landslides at the river basin scale. *Ecological Engineering*, 36(3), 317–327. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2009.05.001>
- Bathurst, J. C., Iroumé, A., Cisneros, F., Fallas, J., Iturraspe, R., Novillo, M. G., Urciuolo, A., Bièvre, B. de, Borges, V. G., Coello, C., Cisneros, P., Gayoso, J., Miranda, M., & Ramírez, M. (2011). Forest impact on floods due to extreme rainfall and snowmelt in four Latin American environments 1: Field data analysis. *Journal of Hydrology*, 400(3–4), 281–291. <https://doi.org/10.1016/J.JHYDROL.2010.11.044>
- Bonnesoeur, V., Locatelli, B., Guariguata, M. R., Ochoa-Tocachi, B. F., Vanacker, V., Mao, Z., Stokes, A., & Mathez-Stiefel, S. L. (2019). Impacts of forests and forestation on hydrological services in the Andes: A systematic review. *Forest Ecology and Management*, 433, 569–584. <https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2018.11.033>

- Cohen-Shacham, E., Janzen, C., Maginnis, S., & Walters, G. (2016). Nature-based solutions to address global societal challenges. IUCN Commission on Ecosystem Management, 97. <https://doi.org/10.2305/iucn.ch.2016.13.en>
- CONDESAN. (2017). Guía HIRO – Herramienta de Identificación Rápida de Oportunidades para la Infraestructura Natural en la Gestión del Riesgo de Desastres. <https://condesan.org/recursos/guia-hiro-herramienta-identificacion-rapida-oportunidades-la-infraestructura-natural-la-gestion-del-riesgo-desastres/>
- Dadson, S., Hall, J. W., Garrick, D., Sadoff, C., Grey, D., & Whittington, D. (2017). Water security, risk, and economic growth: Insights from a dynamical systems model. *Water Resources Research*, 53(8), 6425–6438. <https://doi.org/10.1002/2017WR020640>
- Di Baldassarre, G., Martinez, F., Kalantari, Z., & Viglione, A. (2017). Drought and flood in the Anthropocene: Feedback mechanisms in reservoir operation. *Earth System Dynamics*, 8(1), 225–233. <https://doi.org/10.5194/esd-8-225-2017>
- Douben, K. J. (2006). Characteristics of river floods and flooding: A global overview, 1985-2003. *Irrigation and Drainage*, 55(SUPPL. 1), S9–S21. <https://doi.org/10.1002/ird.239>
- El Diario.ec. (2018, February 15). Río de oro empezó a generar problemas | El Diario Ecuador. <https://www.eldiario.ec/noticias-manabi-ecuador/463797-rio-de-oro-empezo-a-generar-problemas/>
- El Universo. (2021, March 10). Manabí, la provincia con más evacuados por las lluvias, según el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos. El Universo. <https://www.eluniverso.com/noticias/ecuador/manabi-la-provincia-con-mas-evacuados-por-las-lluvias-segun-el-servicio-nacional-de-gestion-de-riesgos-nota/>
- Giler-Ormaza, A. M., Donoso lucas, S. P., Arteaga Zambrano, R. P., & Zaldumbide Perlalvo, D. A. (2020). Manejo sostenible de inundaciones, cuencas y riberas en la provincia de Manabí. *La Técnica: Revista de Las Agrociencias*, 0(23), 55. https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i23.1442
- INHAMI. (2019). Geoinformación Hidrometeorológica – Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. <https://www.inamhi.gob.ec/geoinformacion-hidrometeorologica/>
- Kundzewicz, Z. W. (2002). Non-structural Flood Protection and Sustainability. *Water International*, 27(1), 3–13. <https://doi.org/10.1080/02508060208686972>

- Labat, D., Godd ris, Y., Probst, J. L., & Guyot, J. L. (2004). Evidence for global runoff increase related to climate warming. *Advances in Water Resources*, 27(6), 631–642. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2004.02.020>
- Lehner, B., D ll, P., Alcamo, J., Henrichs, T., & Kaspar, F. (2006). Estimating the impact of global change on flood and drought risks in Europe: A continental, integrated analysis. *Climatic Change*, 75(3), 273–299. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-6338-4>
- MAATE. (2015). Geoinformaci n Ambiental – Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica. <http://ide.ambiente.gob.ec/mapainteractivo/>
- Maes, J., & Jacobs, S. (2017). Nature-Based Solutions for Europe’s Sustainable Development. *Conservation Letters*, 10(1), 121–124. <https://doi.org/10.1111/conl.12216>
- Mazdiyasn , O., & AghaKouchak, A. (2015). Substantial increase in concurrent droughts and heatwaves in the United States. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(37), 11484–11489. <https://doi.org/10.1073/pnas.1422945112>
- Mendoza, J. A., Garcia, K. E., Salazar, R. E., & Vivanco, I. M. (2019). The economy of Manabí (Ecuador) between droughts and floods. *Espacios*, 40(16), 10. <http://es.revistaespacios.com/a19v40n16/a19v40n16p10.pdf>
- Michielsen, A., Kalantari, Z., Lyon, S. W., & Liljegren, E. (2016). Predicting and communicating flood risk of transport infrastructure based on watershed characteristics. *Journal of Environmental Management*, 182, 505–518. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.07.051>
- Milly, P. C. D., Dunne, K. A., & Vecchia, A. V. (2005). Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate. *Nature*, 438(7066), 347–350. <https://doi.org/10.1038/nature04312>
- Mogammad, A. B. (2008). Analysis of urban flood risk in low-cost settlements of George, Western Cape, South Africa: Investigating physical and social dimensions [University of Cape Town]. <https://open.uct.ac.za/handle/11427/4823>
- Nicholson, A. R., Wilkinson, M. E., O’Donnell, G. M., & Quinn, P. F. (2012). Runoff attenuation features: A sustainable flood mitigation strategy in the Belford catchment, UK. *Area*, 44(4), 463–469. <https://doi.org/10.1111/j.1475-4762.2012.01099.x>

- O’Gorman, P. A. (2015). Precipitation Extremes Under Climate Change. *Current Climate Change Reports*, 1(2), 49–59. <https://doi.org/10.1007/s40641-015-0009-3>
- Opperman, J. J., Galloway, G. E., Fargione, J., Mount, J. F., Richter, B. D., & Secchi, S. (2009). Sustainable floodplains through large-scale reconnection to rivers. In *Science* (Vol. 326, Issue 5959, pp. 1487–1488). American Association for the Advancement of Science. <https://doi.org/10.1126/science.1178256>
- Roa-García, M. C., & Weiler, M. (2010). Integrated response and transit time distributions of watersheds by combining hydrograph separation and long-term transit time modeling. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14(8), 1537–1549. <https://doi.org/10.5194/hess-14-1537-2010>
- Shuttleworth, E. L., Evans, M. G., Pilkington, M., Spencer, T., Walker, J., Milledge, D., & Allott, T. E. H. (2019). Restoration of blanket peat moorland delays stormflow from hillslopes and reduces peak discharge. *Journal of Hydrology X*, 2, 100006. <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2018.100006>
- SNI. (2009). Archivos de Información Geográfica - Sistema Nacional de Información. <https://sni.gob.ec/coberturas>
- Wagenaar, D. J., De Bruijn, K. M., Bouwer, L. M., & De Moel, H. (2016). Uncertainty in flood damage estimates and its potential effect on investment decisions. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16(1), 1–14. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-1-2016>
- Wilkinson, M. E., Quinn, P. F., Barber, N. J., & Jonczyk, J. (2014). A framework for managing runoff and pollution in the rural landscape using a Catchment Systems Engineering approach. *Science of the Total Environment*, 468–469, 1245–1254. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.055>
- Wilkinson, M. E., Quinn, P. F., & Welton, P. (2010). Runoff management during the September 2008 floods in the Belford catchment, Northumberland. *Journal of Flood Risk Management*, 3(4), 285–295. <https://doi.org/10.1111/j.1753-318X.2010.01078.x>