



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
CONSEJO SUPERIOR DE POSGRADO

Estimación de los efectos del cambio del uso del suelo en la erosión hídrica e hidrogramas de crecida en la microcuenca del río Puca, subcuenca del río Daule.

Estimation of the effects of land use change on water erosion and flood hydrographs in the Puca river micro-basin, Daule river sub-basin.

Trabajo de investigación previo a la obtención del Título de Magíster en Gestión Integrada de Recursos Hídricos y Riego. Mención: Planificación de Recursos Hídricos.

AUTOR: Eduardo Cristóbal Rodríguez LLivipuma

TUTOR: Carlos Aníbal Gutiérrez Caiza, MSc.

Quito, 2023

DERECHOS DE AUTOR

Yo, EDUARDO CRISTOBAL RODRIGUEZ LLIVIPUMA, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “Estimación de los efectos del cambio del uso del suelo en la erosión hídrica e hidrogramas de crecida en la microcuenca del río Puca, subcuenca del río Daule”, modalidad presencial, de conformidad con el Art. 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, concedo a favor de la Universidad Central del Ecuador una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Conservo a mi favor todos los derechos de autor sobre la obra, establecidos en la normativa citada.

Así mismo, autorizo a la Universidad Central del Ecuador para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de titulación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

El autor declara que la obra objeto de la presente autorización es original en su forma de expresión y no infringe el derecho de autor de terceros, asumiendo la responsabilidad por cualquier reclamación que pudiera presentarse por esta causa y liberando a la Universidad de toda responsabilidad.

Eduardo Cristóbal Rodríguez Llivipuma

CC: 1713197539

edutobal@yahoo.com

ÍNDICE

DERECHOS DE AUTOR.....	i
LISTA DE FIGURAS	iv
LISTA DE TABLAS	vi
LISTA DE ECUACIONES	vii
LISTA DE ANEXOS	viii
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Problema	3
1.3 Justificación	3
1.4 Estado del Arte.....	4
1.4.1 Erosión hídrica en la región Costa.....	4
1.4.2 Uso de suelo e inundaciones en la región Costa.....	5
1.4.3 Otros estudios relacionados fuera de la región Costa.....	7
1.5 Objetivos.....	7
1.5.1 Objetivo General.....	7
1.5.2 Objetivos Específicos	7
1.6 Hipótesis	8
2 MARCO TEÓRICO	9
2.1 Erosión hídrica.....	9
2.2 Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (Revised Universal Soil Loss Equation, RUSLE).....	10
2.2.1 Factor de erosividad (R)	11
2.2.2 Factor de erodabilidad del suelo (K)	12
2.2.3 Factor de longitud y gradiente de la pendiente (LS)	12
2.2.4 Factor de cobertura y manejo del suelo (C).....	12
2.2.5 Factor de prácticas de conservación del suelo (P).....	12
2.3 Índice de entrega de sedimentos	12
2.4 Hietograma.....	13
2.5 Método de número de curva de escorrentía (CN).....	13

2.6	Modelo HEC-HMS	13
3	METODOLOGÍA.....	15
3.1	Ubicación de la zona de estudio	15
3.2	Materiales e insumos	16
3.3	Método.....	17
3.4	Erosión hídrica.....	18
3.4.1	Factor de erosividad - R.....	19
3.4.2	Factor de erodabilidad - K.....	21
3.4.3	Factor de longitud y gradiente de la pendiente - LS.....	22
3.4.4	Factor de cobertura y manejo del suelo - C.....	23
3.4.5	Factor de prácticas de conservación del suelo - P	24
3.4.6	Aporte de sedimentos al cauce del río Puca	24
3.5	Hidrogramas de crecida	25
3.5.1	Hietogramas.....	25
3.5.2	Número de curva de escorrentía (CN).....	26
3.5.3	Hidrogramas de crecida	26
3.6	Escenarios	27
3.6.1	Cambio de uso de suelo	27
3.6.2	Escenario de desbordamiento del río Puca en el punto de salida	27
4	RESULTADOS	29
4.1	Erosión hídrica.....	29
4.1.1	Factor de erosividad - R.....	29
4.1.2	Factor de erodabilidad - K.....	30
4.1.3	Factor de longitud y gradiente de la pendiente - LS.....	31
4.1.4	Factor de cobertura y manejo del suelo - C.....	32
4.1.5	Factor de prácticas de conservación del suelo - P	34
4.1.6	Erosión Hídrica - A	34
4.2	Hidrograma de crecidas	38
4.2.1	Hietogramas.....	38
4.2.2	Número de curva de escorrentía	39
4.2.3	Hidrograma de crecidas para TR de 25, 50 y 100 años.....	39
4.3	Escenarios	41

4.3.1	Escenario 1	42
4.3.2	Escenario 2	44
4.3.3	Escenario 3	45
4.3.4	Escenario de desbordamiento del río Puca en el punto de salida	47
5	DISCUSIÓN.....	49
5.1	Erosión hídrica.....	49
5.2	Hidrograma de crecidas	52
6	CONCLUSIÓN	54
7	RECOMENDACIONES	55
8	BIBLIOGRAFÍA	56
9	ANEXOS.....	63

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación de la microcuenca del río Puca.	15
Figura 2. Mapa de distribución espacial de orden de suelos en la microcuenca del río Puca.	16
Figura 3. Diagrama metodológico del estudio.....	18
Figura 4. Perfiles en el punto de salida de la microcuenca del río Puca.	28
Figura 5. Mapa de distribución del factor R en la microcuenca del río Puca.....	30
Figura 6. Mapa de distribución espacial del factor K en la microcuenca del río Puca.....	31
Figura 7. Mapa de distribución espacial del factor LS en la microcuenca del río Puca.....	31
Figura 8. Mapa de uso de suelo del 2016.	32
Figura 9. Mapa de distribución espacial del factor C en la microcuenca del río Puca.....	34
Figura 10. Erosión hídrica en la microcuenca del río Puca.	36
Figura 11. a) parches de bosque en la cuenca alta, b) algunas áreas de la microcuenca presentan actualmente pérdidas de suelo, c) el uso agrícola y pecuario son las principales actividades en la microcuenca que impulsan la erosión hídrica, y d) fincas agropecuarias con problemas de erosión.	37
Figura 12. Hietograma para un TR de 25 años.....	38
Figura 13. Hietograma para un TR de 50 años.....	38
Figura 14. Hietograma para un TR de 50 años.....	39
Figura 15. Hidrogramas de crecida para TR de 25, 50 y 100 años para cobertura de suelo del 2016.	40
Figura 16. a) río Puca en el sector Las Lajas b) vista lateral del punto de salida de la microcuenca del río Puca, c) vista frontal del punto de salida de microcuenca del río Puca, d) señalamiento del máximo nivel alcanzado de la última inundación en el punto de salida, e) nivel de la última inundación, y f) disminución del caudal del río Puca en septiembre de 2022 para medir su perfil.....	41
Figura 17. a) pastos en la cuenca alta, b) cultivo de maíz y pastos en la cuenca alta, c) proceso de deforestación por el cambio de uso de suelo en la cuenca alta y d) arroz cultivado por finqueros en depresiones del terreno.	42
Figura 18. Mapa de uso de suelo del escenario 1.	43
Figura 19. Hidrogramas de crecida para TR de 25, 50 y 100 años para cobertura de suelo del escenario 1.	43
Figura 20. a) arroz cultivado en piscinas por finqueros (cuenca baja), arroz cultivado en piscinas en mayor extensión (cuenca baja), c) preparación del terreno para cultivo de maíz (cuenca baja), y d) cultivo de cacao CCN51 (cuenca baja).....	44
Figura 21. Mapa de uso de suelo del escenario 2.	45
Figura 22. Hidrogramas de crecida para TR de 25, 50 y 100 años para cobertura de suelo del escenario 2.	45

Figura 23. a) cultivo de teca instalada en el noroeste de la microcuenca, b) cultivo de teca instalado en la parte alta de la montaña, c) elaboración de carbón con troncos de árboles que no son de interés para empresas madereras, d) cultivo de teca en la cuenca baja, e) maíz cultivado en la llanura de inundación del río Puca.	46
Figura 24. Mapa de uso de suelo del escenario 3.	47
Figura 25. Hidrogramas de crecida para TR de 25, 50 y 100 años para cobertura de suelo del escenario 3.	47
Figura 26. Sección transversal 1 del río Puca en el punto de salida de la microcuenca.	48

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Principales consecuencias de la erosión hídrica.....	10
Tabla 2. Materiales, insumos y equipos utilizados en el estudio.....	17
Tabla 3. Estaciones meteorológicas.	19
Tabla 4. Intensidad máxima de la zona 4 del INAMHI.....	20
Tabla 5. Imágenes satelitales utilizadas del 2015 y 2016.....	23
Tabla 6. Escenarios de cambios de uso de suelo.	27
Tabla 7. Factor R de las estaciones meteorológicas.	29
Tabla 8. Valores de factor R para diferentes intensidades de lluvia para un TR de dos años	30
Tabla 9. Uso y cobertura del suelo al 2016 de la microcuenca del río Puca.	32
Tabla 10 Niveles de erosión hídrica para la microcuenca de acuerdo con la clasificación de la FAO.	34
Tabla 11. CN por grupo hidrológico y CN promedio.....	39
Tabla 12. Escenarios de uso de suelo con su respectiva superficie y porcentaje.	41
Tabla 13. Elevación de la superficie de agua para cada escenario y TR en el punto de salida de la microcuenca.	48
Tabla 14. Parámetros obtenidos de la erosión hídrica.	50
Tabla 15 Máximos caudales para cada escenario y TR.....	52

LISTA DE ECUACIONES

Ecuación 1. Erosión hídrica.....	11
Ecuación 2. Índice Modificado de Fournier	19
Ecuación 3. Factor de erosividad.....	19
Ecuación 4. Inversa distancia al cuadrado.....	20
Ecuación 5. Energía cinética	20
Ecuación 6. Factor de erodabilidad	21
Ecuación 7. Coeficientes del factor de erodabilidad	21
Ecuación 8. Relación de erosión en surcos a erosión en entresurcos	22
Ecuación 9. Función continua	22
Ecuación 10. Factor L.....	22
Ecuación 11. Factor S.....	23
Ecuación 12. NDVI	23
Ecuación 13. Factor C reescalado.....	24
Ecuación 14. Coeficiente de bifurcación de la red hidrográfica.....	24
Ecuación 15. Índice de entrega de sedimentos	25
Ecuación 16. Aporte de sedimentos erosionados al cauce	25
Ecuación 17. Ecuación de intensidad del INAMHI de la zona 4	25
Ecuación 18. Fórmula de Kirpich.....	25

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Precipitaciones mensuales (mm) de la estación meteorológica M0166 Olmedo Manabí.....	63
Anexo 2. Precipitaciones mensuales (mm) de la estación meteorológica M0447 24 de Mayo (Jaboncillo).....	64
Anexo 3. Precipitaciones mensuales (mm) de la estación meteorológica M0171 Camposano #2.....	65
Anexo 4. Precipitaciones mensuales (mm) de la estación meteorológica M0589 Guale....	66
Anexo 5. Precipitaciones mensuales (mm) de la estación meteorológica M0470 Mocache.....	67
Anexo 6. Precipitaciones mensuales (mm) de la estación meteorológica M0465 Ventanas INAMHI.....	69
Anexo 7. Precipitaciones mensuales (mm) de la estación meteorológica M0475 Colimes Balzar INAMHI.....	70
Anexo 8. Precipitaciones mensuales (mm) de la estación meteorológica M466 Vinces INAMHI.....	71
Anexo 9. Valores del factor R para diferentes intensidades para TR de 2 años.....	73
Anexo 10. Perfiles de suelo utilizados para la determinación del factor K.....	73
Anexo 11. Factor K de cada uno de los perfiles de suelo.....	76
Anexo 12. Precipitaciones para TR de 25 años.....	78
Anexo 13. Precipitaciones para TR de 50 años.....	78
Anexo 14. Precipitaciones para TR de 100 años.....	79
Anexo 15. Grupo hidrológico B con sus respectivas coberturas, superficies y CN.....	80
Anexo 16. Grupo hidrológico C con sus respectivas coberturas, superficies y CN.....	80
Anexo 17. Grupo hidrológico D con sus respectivas coberturas, superficies y CN.....	81
Anexo 18. Hidrogramas de crecida para TR de 25, 50 y 100 años.....	81
Anexo 19. Grupo hidrológico B con sus respectivas coberturas, superficies y CN para escenario 1.....	84
Anexo 20. Grupo hidrológico C con sus respectivas coberturas, superficies y CN para escenario 1.....	85
Anexo 21. Grupo hidrológico D con sus respectivas coberturas, superficies y CN para escenario 1.....	85
Anexo 22. Hidrogramas de crecida para TR de 25, 50 y 100 años para escenario 1.....	86
Anexo 23. Grupo hidrológico B con sus respectivas coberturas, superficies y CN para escenario 2.....	88
Anexo 24. Grupo hidrológico C con sus respectivas coberturas, superficies y CN para escenario 2.....	89
Anexo 25. Grupo hidrológico D con sus respectivas coberturas, superficies y CN para escenario 2.....	89
Anexo 26. Hidrogramas de crecida para TR de 25, 50 y 100 años para escenario 2.....	90

Anexo 27. Grupo hidrológico B con sus respectivas coberturas, superficies y CN para escenario 3.....	92
Anexo 28. Grupo hidrológico C con sus respectivas coberturas, superficies y CN para escenario 3.....	93
Anexo 29. Grupo hidrológico D con sus respectivas coberturas, superficies y CN para escenario 3.....	93
Anexo 30. Hidrogramas de crecida para TR de 25, 50 y 100 años para escenario 3.	93
Anexo 31. Elevaciones alcanzadas por los máximos caudales para TR para 25, 50 y 100 años de cada escenario en el punto de salida de la microcuenca.	97

TÍTULO: Estimación de los efectos del cambio del uso del suelo en la erosión hídrica e hidrogramas de crecida en la microcuenca del río Puca, subcuenca del río Daule.

RESUMEN

El cambio de uso de suelo en las cuencas tiene implicaciones en la pérdida de suelo y en el incremento de la escorrentía superficial. El objetivo del presente estudio fue evaluar los efectos en la erosión hídrica y el hidrograma de crecidas por del cambio del uso del suelo en la microcuenca del río Puca. Se aplico el modelo RUSLE con el uso de SIG para la estimación de la erosión hídrica y el modelo hidrológico HEC-HMS para la generación de hidrogramas de crecida para periodos de retorno de 25, 50 y 100 años. Para conocer el comportamiento de la escorrentía por el cambio del uso del suelo se establecieron tres escenarios con diferentes periodos de retorno (TR). De acuerdo con el uso de suelo del año 2016, el 17, 33, 34 y 16% de la superficie total (224.06 km²) de la microcuenca, presenta un nivel de erosión normal, ligero, moderado y severo, respectivamente. La pérdida promedio de suelo es de 7.4 t ha⁻¹año⁻¹ y la cantidad de sedimentos que llega al cauce del río Puca es de 0.8 t ha⁻¹año⁻¹. Los hidrogramas de crecida para periodos de retorno de 25, 50 y 100 años genera caudales máximos de 364.9, 422.2, y 531.5 m³/s, respectivamente. Los tres escenarios para TR de 25, 50 y 100 años generaron nueve hidrogramas de crecida, los máximos caudales fueron incrementándose según el progresivo cambio de uso del suelo. En el escenario 2 para un TR de 50 años se genera el desbordamiento del río Puca en el punto de salida de la microcuenca. El cambio de uso de suelo genera la pérdida del suelo (erosión hídrica), sedimentación del río Puca y cambios en la respuesta hidrológica (hidrogramas de crecida) de la microcuenca.

PALABRAS CLAVE: uso de suelo/ erosión hídrica/ hidrogramas de crecida/ periodo de retorno

TITLE: Estimation of the effects of land use change on water erosion and flood hydrographs in the Puca river micro-basin, Daule river sub-basin.

ABSTRACT

Land use change in watersheds has implications for soil loss and increased surface runoff. The objective of this study was to evaluate the effects of land use change on water erosion and flood hydrograph in the Puca River micro-watershed. The RUSLE model was applied with the use of GIS for the estimation of water erosion and the HEC-HMS hydrologic model for the generation of flood hydrographs for return periods of 25, 50 and 100 years. Three scenarios with different return periods (RT) were established to determine the behavior of runoff due to land use change. According to the 2016 land use, 17, 33, 34 and 16% of the total area (224.06 km²) of the micro-watershed has a normal, slight, moderate, and severe level of erosion, respectively. The average soil loss is 7.4 t ha⁻¹yr⁻¹ and the amount of sediment reaching the Puca riverbed is 0.8 t ha⁻¹yr⁻¹. The flood hydrographs for return periods of 25, 50 and 100 years generate maximum flows of 364.9, 422.2, and 531.5 m³/s, respectively. The three scenarios for 25-, 50-, and 100-year return flows generated nine flood hydrographs, with the maximum flows increasing with progressive land use change. Scenario 2 for a 50-year TR generates the overflow of the Puca River at the outflow point of the microbasin. The change in land use generates soil loss (water erosion), sedimentation of the Puca River and changes in the hydrological response (flood hydrographs) of the microbasin.

KEYWORDS: land use/ water erosion/ flood hydrographs / return period

1 INTRODUCCIÓN

La erosión es un proceso natural y positivo al llevarse sedimentos y nutrientes a los ríos, manteniendo el equilibrio sedimentario en los cauces y playas, y la conservación de espacios fértiles, como son las llanuras aluviales y los deltas.

Las crecidas son parte de las dinámicas de los sistemas fluviales y son necesarias para el buen estado ecológico del río, porque oxigenan los fondos y limpia el cauce, por el control demográfico de especies vegetales y animales, generación de nuevos hábitats para invertebrados acuáticos y peces, fertilización de los suelos para la agricultura, dilución de contaminantes del agua superficial y subterránea; recarga de los acuíferos y estos a su vez del río en tiempo de estiaje, y sedimentos y nutrientes al mar para aumentar la fertilidad pesquera y aportar arena a las playas.

Sin embargo, las acciones antropogénicas a través del cambio de uso de suelo en las cuencas, sumado el cambio climático, conducen a la alteración de los servicios ecosistémicos y que sus efectos se presenten en los suelos, agua, clima y biodiversidad (Windhorst et al., 2013).

La erosión normal pasa a inducida, pasando de tasas de erosión geológicas a tasas de erosión acelerada, no permitiendo la regeneración del suelo (Almorox et al., 2010). El cambio de cobertura del suelo modifica la relación lluvia-escorrentía que se expresa en la alteración de la respuesta hidrológica de las cuencas.

En la actualidad, la erosión hídrica y las crecidas, consideradas como procesos naturales, son categorizadas como una amenaza para la sociedad rural y urbana por los daños que ocasionan a corto, mediano y largo plazo, no solo en el aspecto social y ambiental, sino económico.

El cambio de uso de suelo tiene una gran influencia en la tasa de erosión de suelo frente a otros factores de orden climático. Se proyectó que a finales de la década del 2090 se incrementará la erosión promedio a nivel global en aproximadamente el 5%, debido al cambio de uso de suelo y un 9% por el clima (Yang et al., 2003).

No obstante, para Borrelli et al., (2020) esta proyección está sobreestimada, considera que los desarrollos económicos que impactan el uso del suelo aumentarán o disminuirán la erosión hídrica. En los escenarios globales construidos indica que decrecerá en un 10% o incrementará del 2% al 10% la erosión hídrica para el 2070. En las proyecciones climáticas globales se presentan una tendencia hacia un ciclo hidrológico más vigoroso, lo que podría incrementar la erosión hídrica global (30 al 66%) (Borrelli et al., 2020).

En cualquiera de las proyecciones, el aumento de la pérdida de la capacidad de los suelos para realizar sus funciones está generando el incremento de la contaminación de cursos de agua, ecosistemas fluviales, embalses y puertos por el arrastre de nutrientes y contaminantes (fertilizantes y pesticidas), la disminución de la calidad de agua, la reducción de la capacidad de los embalses por sedimentación y eutrofización, y la sedimentación de los cauces de los ríos.

Con respecto a las crecidas de los ríos, el cambio del uso de suelo tiene una incidencia directa en las inundaciones que se genera en las cuencas bajas. La reducción de zonas naturales, debido a la deforestación, reforestación y la intensificación de la agricultura, el drenaje y relleno de humedales para disponer de más tierra para cultivos o su desconexión con la red hídrica, la construcción de caminos que bloquean la red de drenaje natural de las cuencas, la expansión del área urbana e industrial, etc. influyen en los procesos de interceptación, infiltración, evaporación y percolación de agua en el suelo, generando un aumento en los volúmenes de escorrentía para incrementar la avenida de los ríos para generar inundaciones, causando daños materiales y la destrucción de obras de infraestructura como puentes y vías (FAO & GTIS, 2015)

El ordenamiento del uso del suelo, el manejo de las cuencas y el manejo y conservación del suelo mitigarían los efectos negativos de la erosión hídrica y las crecidas de los ríos, pero la falta de construcción de instrumentos (planes de manejo de cuencas y manejo y conservación del suelo), aplicabilidad (planes de desarrollo y ordenamiento territorial de los gobiernos locales), interrelación entre ellos y la falta de decisión política hace que el cambio de uso de suelo siga en vigencia y sin control.

1.1 Antecedentes

En el 2017 se realizó un diagnóstico de la subcuenca del río Daule que determinó que los suelos más propensos a erosionarse son los dedicados al cultivo de ciclo corto y los indiferenciados, sumando 96000 ha y representando el 7% del total de la superficie de la subcuenca. En general, se concluyó que el nivel de erosión en la subcuenca no alcanzaba niveles que representen un riesgo de degradación inmediata del suelo (EMAPAG-EP, 2017).

No obstante, en la época invernal se presentan episodios de alta turbiedad en el río Daule generando problemas con el agua cruda en el sitio de captación del sistema de agua potable de la ciudad de Guayaquil, situación que impulsa a suspender el servicio y el encarecimiento del costo de potabilización.

Este contexto justificó para que INTERAGUA en el 2020 realizará un estudio para estimar la erosión hídrica de la subcuenca del río Daule e identificar las microcuencas que se encuentran en graves procesos de erosión y son las principales aportantes de sedimentos al río Daule. Los resultados mostraron que 10 microcuencas del río Puca de las 13 identificadas en la subcuenca, son las mayores aportantes en sedimentos por el alto grado de deterioro de los suelos debido a la erosión hídrica (Gutiérrez & Silva, 2020).

En el 2021 en el marco Proyecto COSTEA se inició la ejecución de varios estudios en la subcuenca del río Daule, con el objetivo de generar un conocimiento cruzado sobre las complejas dinámicas de las llanuras inundables para comprender los desarrollos hidroagrícolas de manera integrada según múltiples objetivos (desarrollo agrícola, piscicultura, protección contra inundaciones, recarga de acuíferos, conservación de la biodiversidad, etc.).

En el eje temático 2: caracterización hidrogeológica e hidráulica de las llanuras inundables estuvo previsto la ejecución de un estudio sobre el efecto del cambio de uso de suelo en las inundaciones, siendo la presente investigación parte de esta temática.

1.2 Problema

A través del tiempo la subcuenca del río Daule ha tenido cambios en su paisaje, debido a diversas intervenciones realizadas por la población que habita en ella. La microcuenca del río Puca al ser parte de esta unidad hidrológica no está exenta de estos cambios con respecto al uso y cobertura del suelo.

En el 2003 se estimó que 5891.50 ha tenían una alta susceptibilidad a la erosión y existía 3867.53 ha de bosque, sin embargo, el incremento de la actividad agropecuaria impulsó la reducción del área boscosa a 2587.33 ha para el 2016, es decir, en 13 años se deforestaron 1280.20 ha para implementar pastizales (MAG & SIGAGRO, 2003; MAGAP, 2002).

La microcuenca al ubicarse entre los cantones de Olmedo, Colimes y Balzar, los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) de los dos primeros gobiernos locales indican que la erosión hídrica es una amenaza latente en sus territorios, pero no menciona proyectos para mitigarla (GAD Municipal de Balzar, 2014; GAD Municipal de Colimes, 2014; GAD Municipal de Olmedo, 2019).

Este contexto muestra que la capacidad de regulación de la microcuenca disminuyó y se incrementó el riesgo de erosión hídrica. Además, de un posible alto aporte en sedimentos al cauce del río Puca, que después se transfiere al río Daule. Sin embargo, no se tiene cuantificado las toneladas anuales de suelo erosionado, ni cuanto se transfiere a la red hídrica.

Con respecto a las crecidas, se determinó que 5393.22 ha son susceptibles de inundación, es decir, casi la cuarta parte del área total (22405,75 ha) de la microcuenca es vulnerable a esta amenaza (MAGAP, 2015).

De acuerdo con los niveles de susceptibilidad 2679.09 ha tienen un nivel alto y justamente en esta área se encuentran ubicados 19 de los 37 poblados rurales (IGM, 2013). La falta de gestión de la microcuenca y el cambio del uso del suelo indica que los centros poblados serían afectados por inundaciones repentinas, debido al incremento de las avenidas del río Puca. Sin embargo, no existe información hidrológica en el punto de salida de la microcuenca que permita determinar las máximas avenidas del río Puca por cambios de uso de suelo en la cuenca alta, media y baja.

1.3 Justificación

Los resultados del estudio de erosión hídrica en la subcuenca del río Daule estimaron que la tasa media de erosión es de 138.71 t ha⁻¹año⁻¹ y se transfiere 8.089 t ha⁻¹año⁻¹ de sedimentos al río Daule (Gutiérrez & Silva, 2020). Estos resultados aportaron con datos para temas de

calidad de agua del río Daule y se adicionaron a la información generada por varios estudios en esta misma temática.

No obstante, no existe información a nivel de microcuencas de la subcuenca del río Daule que relacione los efectos del cambio de uso de suelo con las crecidas, en donde se estime la transferencia de sedimentos a los cauces de los ríos por erosión hídrica, y tenga un efecto en el hidrograma de crecidas de los ríos para generar inundación.

Esta investigación pretende generar este tipo de información para que se analice y discuta entre los actores de instituciones públicas y privadas sobre el tipo de medidas estructurales y no estructurales que deben implementarse a través de un plan de manejo de la microcuenca, para disminuir la vulnerabilidad de las poblaciones susceptibles a las inundaciones. Así mismo, en el plano agrícola y pecuario analizar qué tipos de medidas de manejo y conservación del suelo deberían implementarse de acuerdo con las lógicas productivas de los agricultores para disminuir la degradación de este recurso.

1.4 Estado del Arte

1.4.1 Erosión hídrica en la región Costa

En la década de los 80 se estimó en el país que la pérdida potencial del suelo estaba presente en el 47.9% de la superficie del país y que la erosión activa o en proceso de inicio estaba en 3150000 ha (12,1%). En el caso de la Costa se debió a una rápida colonización agrícola en las tierras bajas, entre mediados de 1960 y mediados de 1980 se implementaron cultivos tropicales, el área incrementada fue de 155000 ha. En este mismo periodo, los pastos se cuadruplicaron en las provincias de Esmeraldas, El Oro, Los Ríos, Guayas y Manabí, pasando de 516000 a 2005000 ha. En esos 25 años la deforestación fue rápida con respecto a la Amazonía (Southgate & Whitaker, 1992).

En esta región se determinó las zonas con erosión activa, sea por movimientos en masa (depresión Jipijapa-Portoviejo, cuenca del río Chone-Eloy Alfaro y flancos encañonados del río Esmeraldas) o por escurrimiento (Pedro Carbo, Península de Santa Elena). Y con procesos erosivos potenciales ubicados en la mitad occidental de la Costa, en donde la actividad agrícola se desarrolló en una combinación entre arboricultura y pastizales, siendo los últimos susceptibles a los movimientos de masa que se producen por roturas de desgarramiento, golpes de cuchara y lupas de soliflucción, dinámica fomentada por la combinación de los suelos arcillosos saturados de agua por la estación lluviosa (invierno) con el pisoteo de ganado. Las zonas afectadas se localizaron en las zonas centrales, meridionales y orientales de las provincias de Esmeraldas y Manabí. (De Noni & Trujillo, 1986; Southgate & Whitaker, 1992).

En los últimos 11 años se realizaron algunos estudios de erosión hídrica en diferentes cuencas de algunas provincias, se realizó una modelación hidrológica en la microcuenca del río Toachi, ubicada en la subcuenca del Río Vinces, perteneciente a la cuenca del río Guayas,

compuesta por una cobertura vegetal de bosques naturales y cultivados, arboricultura tropical, banano, caucho, palma africana y cultivos de ciclo corto (maíz, soya y arroz). En el análisis de la relación caudal-precipitación se determinó que el caudal base fluctúa de enero a junio entre 10 - 15m³/s, y de julio a diciembre entre 3 - 8m³/s. De acuerdo con el modelo USLE se estimó que el 33.7, 52.4 y el 13.8% de la superficie total (501.97 km²) presenta un nivel de erosión nulo, moderado y alto, respectivamente (Tapia, 2012).

Otro estudio fue ejecutado en la subcuenca del río Portoviejo, se basó en la aplicación del modelo USLE. Se determinó que el 74.76 y 22.51% de la superficie total (145.36 ha) tienen un nivel de erosión muy bajo (0 – 5 t/ha/año) y bajo (5-10 t/ha/año), respectivamente, mostrando que desde el 2001 hasta el 2010 la erosión hídrica ha sido muy reducida (Jaramillo, 2015).

En la subcuenca del río Daule se realizó el estudio de erosión hídrica aplicando dos metodologías, RUSLE y Fournier. La primera presentó una erosión de 158 ton/ha/año (modelo global) y 130.04 t/ha/año (modelo distribuido), y la segunda 147.39 t/ha/año. Se estimó que la pérdida anual de suelo va de 0,50 a 200 ton/ha/año, con un valor medio de 138.71 t/ha/año. Sin embargo, el riesgo de erosión más latente se ubicó en la zona suroccidental y sur de la subcuenca en donde existe una fuerte intervención del hombre y la tasa de erosión en la subcuenca es mayor a 200 t/ha/año. Es ahí donde están las 11 microcuencas (río Calvo, río Guineal, estero Boquerón, río Tres Ríos, estero Andrecillo, estero Santa Lucía, río Paján, río Chicompe, estero Pescado, río Los Limos y río Agua Fría) consideradas de mayor erosión hídrica y aporte de sedimentos (Gutiérrez & Silva, 2020).

Así mismo, se ejecutaron dos tesis de pregrado a base de modelamiento con la ecuación universal de pérdida de suelo revisada (RUSLE) y en una metodología modelo para caracterización y evaluación (Concha, 2009; Escobar, 2021).

Cada uno de los estudios anteriormente mencionados fueron realizados en diferentes años y cuencas, así que son insuficientes para proyectar los procesos de erosión hídrica a nivel de la región Costa. No obstante, permiten observar a nivel local la magnitud de la erosión hídrica de acuerdo con el uso y cobertura del suelo.

1.4.2 Uso de suelo e inundaciones en la región Costa

Con respecto a la conexión del cambio de uso de suelo y las inundaciones, muchos estudios se centraron en evaluar esta relación como la multiplicación del número de inundaciones, debido a la conversión de la cobertura vegetal natural en tierras de cultivo, el aumento del volumen de las inundaciones junto con la extensión del espacio construido, el incremento de la escorrentía a través de la pérdida de áreas boscosas, o disminución en la frecuencia de la descarga máxima al aumentar la forestación (Costache et al., 2020; Rogger et al., 2017).

Los estudios que examinan el impacto de los cambios en el uso de la tierra en el flujo del agua y las inundaciones a menudo obtienen resultados contradictorios para el mismo tipo de cambio. Aunque los resultados de los estudios individuales son legítimos, es difícil obtener

declaraciones generales sobre los impactos, debido a que cada estudio realizado tiene una perspectiva específica (Rogger et al., 2017).

Algunas publicaciones sobre los efectos de las prácticas forestales en las inundaciones o los impactos relativos del clima y los cambios en el uso de la tierra en el caudal han generado debates científicos y críticas sobre los resultados, mostrando la necesidad de nuevos enfoques y de mayor información cuantitativa sobre los efectos del cambio de uso del suelo en la generación de inundaciones a escala de cuenca (Rogger et al., 2017).

En la región Costa se realizaron algunos estudios relacionados a nivel de tesis de maestría bajo distintos objetivos y metodologías en diversas cuencas de las provincias costeras. En la zona de El Saltadero, ubicada en la provincia de los Ríos, el estudio tuvo como objetivo el diseñar una infraestructura hidráulica y sistemas de alerta temprana (SAT) para reducir el riesgo de inundación. Los hidrogramas de avenidas para diferentes periodos de retorno de la cuenca del río Changuil mostraron que existe una respuesta rápida de esta ante eventos de precipitación y para el periodo de retorno de 100 años se genera la mayor inundación en donde la máxima profundidad es de 4.11 metros. Se definió que las estructuras a implementarse para disminuir el riesgo de inundación sería la construcción de una presa vertedora a gravedad aguas arriba, diques de encauzamiento y un viaducto de aproximadamente 400 m para evitar la interrupción del transporte entre El Saltadero y las poblaciones aledañas (Ibarra, 2022).

Otro estudio fue realizado en la ciudad de Durán sobre el potencial de implementación de infraestructura verde (jardín de lluvia, celda de bio-retención y pavimento permeable) en 45828 m² de espacio físico disponible en la Ciudadela El Recreo 5ta. Etapa. De acuerdo con la modelación, las infraestructuras verdes generan una reducción en los volúmenes de inundación de hasta un 32% y en los picos de inundación hasta un 30%, mostrando que la implementación de este tipo de infraestructura es viable para disminuir el impacto de las inundaciones en esta ciudad (Real, 2021).

En la cuenca del río Manglaralto, provincia de Santa Elena, se realizó un estudio para obtener mapas de inundación para tres escenarios de uso de suelo (1=situación natural, 2=actual y 3=futuro) y eventos de lluvias de 24 horas, en cada escenario se determinó los caudales máximos para periodos de retorno de 5 y 50 años. Se determinó que los mapas para el escenario 1, sin presencia de actividades humanas, no existe riesgo de inundación en un tramo del río, pero en el escenario 2 se presentan inundaciones aisladas en diversas zonas de la cuenca media, indicando un bajo riesgo de inundación. En cambio, en el escenario 3 para la cuenca baja existe un potencial riesgo de inundación. Las poblaciones afectadas por el desbordamiento del río para el segundo escenario serían Dos mangas, mientras que para el tercero sería la hacienda La Ponderosa, San Luis, La Palma y Dos Mangas, debido al aumento del caudal del río ocasionado por las precipitaciones y por la alimentación de sus afluentes (Catuto et al., 2020).

1.4.3 Otros estudios relacionados fuera de la región Costa

Otros estudios realizados fuera de la región Costa se enfocaron en el efecto del uso de suelo urbano y proyección de recuperación de bosque y cobertura vegetal.

La ciudad de Loja al estar ubicada en la parte media de la cuenca del río Zamora, se enfocó en analizar la influencia del crecimiento urbano en la hidrología de la cuenca y en los eventos extremos del caudal, como resultado se mostró que existe una relación directa entre la magnitud de los caudales de crecida producidos en un evento extremo de precipitación y el incremento de la superficie urbana, debido a que los procesos de urbanización crea áreas impermeables y los sistemas de drenaje pluvial simplifican el sistema de drenaje natural, generando la reducción de los tiempos de recesión y que los tiempos de concentración sean más cortos, mostrando la alteración de la respuesta de la cuenca ante eventos de precipitación (Oñate-Valdivieso & Oñate-Paladines, 2019).

En la cuenca del río Zamora Huayco se realizó una investigación para describir a través del uso y cobertura del suelo varios procesos físicos (recarga de agua, inundaciones repentinas y disponibilidad de agua) de acuerdo con las condiciones del 2019 y con una proyección al 2029. El interés de este estudio fue porque esta cuenca es de vital importancia para la ciudad de Loja, debido a que provee cerca del 50% del agua para consumo humano, así que se implementaron regulaciones a las actividades humanas para su conservación, incluso el gobierno local compró terrenos para proteger el suministro de agua. Los resultados indican que para el 2029 se prevé un incremento del 6.6% de la superficie de bosque y cobertura vegetal, generando un aumento de la recarga hídrica en un 7.2%. Los caudales de inundación sufren una reducción de hasta el 16.5% y existe una mejora en la regulación del flujo con respecto al escenario del 2019 (Mera-Parra et al., 2021).

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Evaluar los efectos en la erosión hídrica y el hidrograma de crecidas por el cambio del uso del suelo en la microcuenca del río Puca.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Determinar la erosión hídrica de acuerdo con el uso de suelo del año 2016 en la microcuenca.
- Determinar el hidrograma de crecidas de acuerdo con el uso de suelo del año 2016 en la microcuenca.
- Establecer los hidrogramas de crecida del río Puca para tres escenarios de cambio de uso de suelo.

1.6 Hipótesis

H_1 : El cambio de uso de suelo influencia en la erosión hídrica y en los hidrogramas de crecida de la microcuenca del río Puca.

H_0 : El cambio de uso de suelo no influencia en la erosión hídrica y en los hidrogramas de crecida de la microcuenca del río Puca.

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Erosión hídrica

La erosión hídrica es el proceso por el cual se produce el desprendimiento, transporte y deposición (también llamado sedimentación) de las partículas de suelo por acción de agentes principales, como son la energía cinética de la gota de lluvia, la escorrentía en movimiento y la gravedad (Cisneros et al., 2012).

El proceso de erosión es un fenómeno complejo que conlleva el desprendimiento, transporte y sedimentación. Este inicia cuando la energía de las lluvias al disiparse sobre la superficie del suelo genera la ruptura de los terrones y agregados, provocando una salpicadura que desprende partículas que luego son arrastradas pendientes abajo, sin embargo, la mayor parte de esta energía aporta al desprendimiento más que al transporte, debido a que esta se gasta en desprender las partículas, producir un sellado en la superficie y poner en suspensión las partículas desprendidas.

En las partes altas de las pendientes, la cantidad de suelo desprendido por las precipitaciones es directamente proporcional a la energía cinética y la pendiente, e inversamente proporcional a la lámina de agua sobre la superficie (efecto protector del agua acumulada).

Con la escorrentía se genera el desprendimiento de suelo nuevo y el transporte del suelo removido, su magnitud es proporcional a la velocidad que adquiere el flujo sobre la superficie y al caudal escurrido. En la escorrentía se distingue dos tipos de flujo, el primero es el laminar (erosión laminar), en donde cada capa de flujo se mueve uniformemente a una velocidad lenta, con una menor energía cinética para desprender partículas y el segundo, el flujo turbulento o en surcos, con una mayor energía, tanto para desprender partículas como para transportarlas eficientemente, siendo responsable de la mayor parte de transporte de sedimentos.

Este desprendimiento por escorrentía inicia cuando las fuerzas de tracción del agua, que depende de su velocidad y viscosidad, superan la resistencia la corte del suelo, que estriba en el grado y estabilidad de la estructura y tamaño de las partículas. Se necesita una velocidad mínima para desprender partículas de tamaño susceptible al desprendimiento. Cuando la velocidad de la escorrentía disminuye para llegar a un umbral mínimo, las partículas al no poder mantenerse dentro del flujo, inicia el proceso de sedimentación.

No obstante, el comportamiento de los tipos de suelos también incide en estos procesos de forma variable, debido a la capacidad de desprendimiento y transporte. En suelos arcillosos la erosión está limitada por la capacidad de desprendimiento del suelo, debido a la alta cohesión y adhesión de las partículas. En cambio, en los suelos arenosos está restringida por la capacidad de transporte, debido a la alta permeabilidad. Mientras que en los suelos limosos y franco arenosos finos, la erosión no está condicionada.

La erosión hídrica obedece a un conjunto de causas que suceden en una cuenca hidrográfica, entre las principales están: i) la precipitación y su energía cinética, ii) el relieve (pendiente, longitud), iii) tipo de vegetación y condición, y iv) propiedades físicas y químicas del suelo, y v) sistemas de producción. Así mismo, se generan diversas consecuencias como se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1. Principales consecuencias de la erosión hídrica.

Erosión – escurrimiento	Sedimentación
Dstrucción de tierras productivas (cárcavas)	Pérdida de capacidad productiva de los suelos (por deposición de sedimentos)
Pérdida de capacidad productivas del suelo (erosión laminar y en surcos)	Tapado y desborde de canales por obturación con sedimentos
Pérdida de agua para los cultivos (productividad de corto plazo)	Colmatación de embalses (reducción de vida útil y funcionalidad)
Dstrucción de infraestructura vial y urbana (puentes, alcantarillas, caminos rurales y rutas)	Sedimentación de depresiones naturales (pérdida de funcionalidad)
Deterioro de ecosistemas de ribera (bordes de ríos y arroyos)	Contaminación de aguas por sedimentos (mayores costos de potabilización)
Contaminación de aguas superficiales por pesticidas	Pérdida de calidad visual y paisajística
Inundación de depresiones, poblaciones, caminos y tierras productivas	Aumento de costos de dragado de puertos
Mayor inestabilidad y riesgos productivo	Aislamiento de poblaciones

Fuente: Cisneros et al. (2012).

2.2 Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (Revised Universal Soil Loss Equation, RUSLE).

RUSLE es un modelo empírico que tiene la estructura básica de USLE (Ecuación 1), mantiene interacciones e interrelaciones limitadas entre los factores multiplicativos básicos apuntando al proceso físico de erosión del suelo, pero con el adicional de que tiene componentes auxiliares basados en procesos, como el cálculo de erosionabilidad del suelo en el tiempo, rugosidad de la superficie del suelo en función de procesos físicos y biológicos, manejo y descomposición de residuos y crecimiento de la planta.

Además, tiene nuevas relaciones para los componentes topográficos (factores L y S) incluyendo proporciones de erosión de surcos y entre surcos, valores actualizados para la

erosividad, consideración de la estacionalidad del factor K y factores adicionales P para pastizales y drenaje subterráneo (Alewell et al., 2019).

RUSLE puede utilizar en el área no agronómica y en una amplia gama de pendientes (Ketema & Dwarakish, 2021). Sin embargo, no considera la escorrentía explícitamente y no es capaz de simular el transporte o rendimientos de sedimentos de la cuenca.

El modelo tiene la siguiente ecuación:

$$A = R * K * LS * C * P$$

Ecuación 1. Erosión hídrica

Donde: A es el promedio anual de erosión del suelo expresado en $t\ ha^{-1}\ año^{-1}$; R es el factor de erosividad expresado en $MJ\ mm\ h^{-1}\ ha^{-1}\ año^{-1}$; K es el factor de erodabilidad del suelo expresado en $t\ h\ ha\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$; LS es el factor de longitud y gradiente de la pendiente (adimensional); C es el factor de cobertura y manejo del suelo (adimensional); y P es el factor de prácticas de conservación del suelo (adimensional).

Al integrar RUSLE con SIG y las técnicas de sensores remotos (RS) mejora la eficiencia computacional y la precisión de la simulación, extendiendo así la escala de simulación a las distribuciones espaciales de los resultados, procesamiento de extensas bases de datos y creación de escenarios.

En los últimos años se utilizan de forma conjunta para estimar y predecir las pérdidas de suelo, analizar la diferenciación espaciotemporal de la erosión del suelo e investigar los impactos de diferentes factores en el riesgo de erosión del suelo (Phinzi & Ngetar, 2019).

Esta integración proporciona un método efectivo y fácil de operar con resultados confiables para estudiar la erosión del suelo (Behera et al., 2020). Uno de los inconvenientes es que los paquetes SIG son estáticos, dificultando el desarrollo de modelos dinámicos que integren la dimensión temporal (Alatorre & Beguería, 2009).

2.2.1 Factor de erosividad (R)

Es la capacidad potencial de la precipitación para provocar erosión. Es una función de dos características de las lluvias intensas: la energía cinética y la intensidad máxima durante 30 minutos. Se calcula a partir de la sumatoria anual de la energía de la lluvia en cada evento (E_c) (correlacionado al tamaño de las gotas), multiplicado por su máxima intensidad en 30 minutos (I_{30}) (Cisneros et al., 2012; Gaitán et al., 2017). El I_{30} de la tormenta se calcula a través de los registros de los pluviógrafos, en donde se localiza la mayor cantidad de lluvia caída en 30 minutos.

Para obtener este factor R se necesita disponer de un registro de intensidades y tiempos de lluvias de varios años, como se carece de esta información se utiliza el Índice Modificado

de Fournier el cuál considera la precipitación mensual de todos los meses y no solo del mes más húmedo (Jordán & Bellinfante, 2000).

2.2.2 Factor de erodabilidad del suelo (K)

Es la susceptibilidad/resistencia inherente del suelo a la erosión y la influencia del suelo en la cantidad y tasa de escorrentía (Radziuk & Świtoniak, 2021). Cuantifica el carácter cohesivo de un tipo de suelo y su resistencia a desprenderse y ser transportado debido al impacto de las gotas de lluvia y al flujo superficial de agua. La estimación del factor K depende de las propiedades del suelo como la distribución del tamaño de las partículas, la estructura y permeabilidad del suelo y el contenido de materia orgánica (Gaitán et al., 2017).

2.2.3 Factor de longitud y gradiente de la pendiente (LS)

Establece la influencia del relieve en la erosión hídrica. La longitud se define como la distancia desde el punto de origen del flujo sobre la superficie hasta el punto donde la pendiente disminuye lo bastante como para que ocurra la deposición o hasta el punto en el que el escurrimiento entra en un canal definido. El gradiente de pendiente se expresa en porcentaje (diferencia de cota en 100 m de distancia horizontal) (Cisneros et al., 2012; Gaitán et al., 2017).

2.2.4 Factor de cobertura y manejo del suelo (C)

Representa la relación de pérdida del suelo a partir de la condición específica del cultivo o cobertura. La cobertura vegetal funciona como protección al interceptar las gotas de lluvia, amortiguando la energía de impacto y disminuyendo el efecto erosivo.

No obstante, la protección contra la erosión es variable, debido a que los patrones estacionales de las precipitaciones se relacionan con los patrones estacionales de la cubierta (Cisneros et al., 2012; Torres et al., 2020).

2.2.5 Factor de prácticas de conservación del suelo (P)

Es la proporción de pérdida de suelo generado por prácticas mecánicas de suelo o de alguna técnica de manejo del relieve en comparación con las pérdidas de suelo en cultivos a lo largo de la pendiente. Las prácticas de control para reducir el escurrimiento y en consecuencia la erosión del suelo son: los cultivos en contorno o curvas de nivel, cultivos en fajas a nivel y terrazas (Cisneros et al., 2012; Gaitán et al., 2017; López et al., 2003).

2.3 Índice de entrega de sedimentos

Se considera a la producción de sedimentos como la cantidad de sedimentos entregados por una cuenca en una unidad de tiempo. Sin embargo, no todo el material generado por el proceso de erosión hídrica llega a la red de drenaje (Andreazzini et al., 2014). Para estimarlo se utiliza el índice de entrega de sedimentos (Sediment Delivery Ratio) – SDR, definido como la capacidad del suelo erosionado que puede ser entregado a la salida de la cuenca (Wu et al., 2018).

Existen muchas ecuaciones generadas para la obtener el SDR. En España se realizó estudios para determinar la aportación de sedimentos a los embalses, en donde se estableció una relación inversa: a mayor tamaño de la cuenca menor es la cantidad de sedimentos depositados en el embalse, debido a que crece la oportunidad de que las partículas erosionadas se sedimenten en zonas de sedimentación dentro de esta sin abandonarla (Sánchez, Martínez-Graña, & Yenes, 2018; Sanz et al., 1998).

Este proceso depende del curso fluvial principal (mayor orden): a mayor pendiente mayor será la fuerza de arrastre. Y también de las bifurcaciones de la red de drenaje: a mayor número de bifurcaciones mayor capacidad de transporte (Sánchez, Martínez-Graña, & Yenes, 2018).

2.4 Hietograma

Los registros pluviográficos generan una curva de lluvias acumuladas o curva de masas de precipitación desde que inicio las lluvias, esta se dibuja en un gráfico de barras que representan las variaciones de altura de la precipitación o de su intensidad en intervalos de tiempo previamente seleccionados (Chow et al., 1988; Monsalve Sáenz, 1999).

2.5 Método de número de curva de escorrentía (CN)

El Soil Conservation Service (SCS) de EE. UU. desarrolló el método número de curva de escorrentía (CN) para calcular las abstracciones de una tormenta que conlleva intercepción, detención superficial e infiltración para obtener la precipitación efectiva o la lámina que produce escorrentía superficial directa (Vélez, 2000), generalmente se aplica en estudios de máximas avenidas en cuencas sin aforos (Gutiérrez, 2014).

Para este método la profundidad de escorrentía (profundidad efectiva de la precipitación) es una función de un parámetro de abstracción referido al número de curva de escorrentía y la profundidad total de precipitación (Monsalve Sáenz, 1999).

El número de curva es adimensional y varía de un rango de 1 a 100 de acuerdo con el tipo de suelo hidrológico (bajo, moderadamente bajo, moderadamente alto y alto potencial de escorrentía), uso y tratamiento del suelo (prácticas mecánicas y de manejo), condiciones de la superficie del terreno y condiciones de humedad antecedente del suelo. Estos factores tienen una relación directa sobre la escorrentía producida por una cuenca. Esta metodología fue desarrollada para cuencas medianas, sin embargo, no se recomienda para cuencas que excedan los 250 km² sin subdivisiones (Monsalve Sáenz, 1999).

2.6 Modelo HEC-HMS

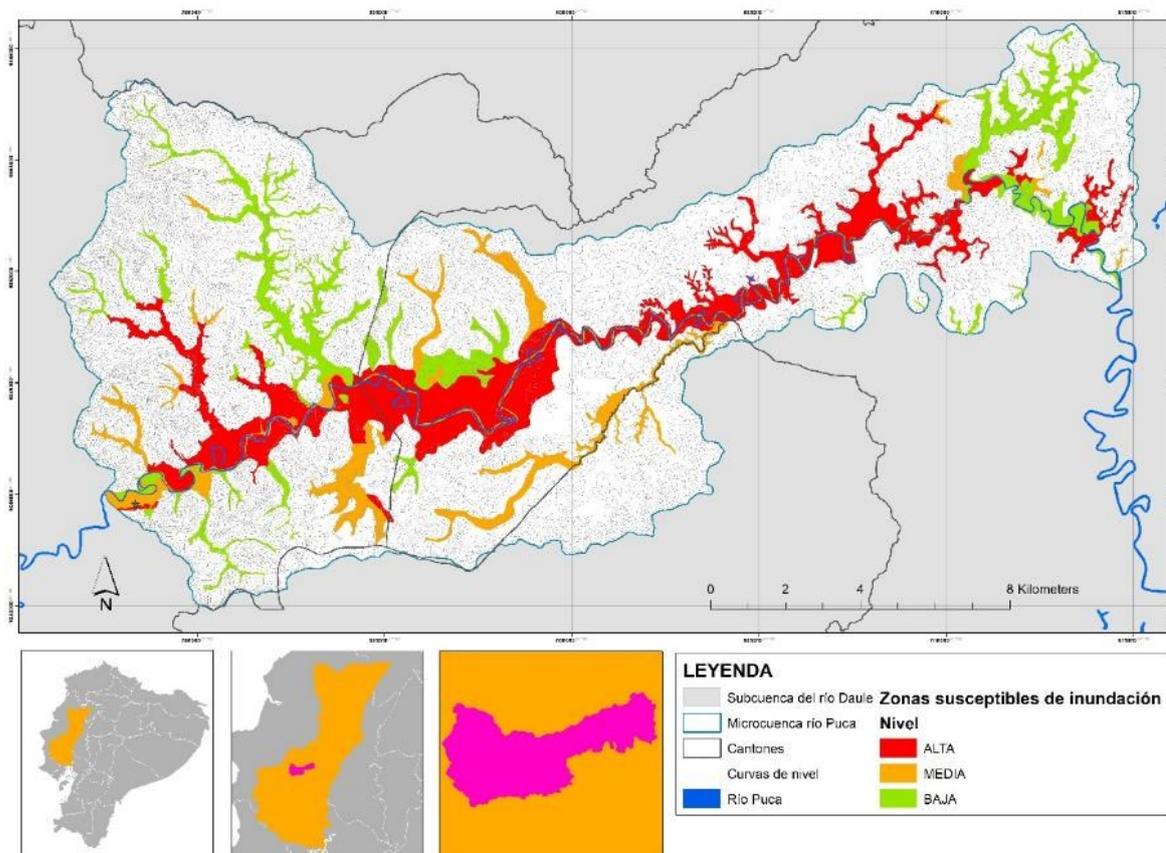
Es un software que utiliza métodos de precipitación-escorrentía para estimar los hidrogramas de escorrentía directa generados por las precipitaciones en una cuenca durante un periodo determinado. Incluye muchos procedimientos tradicionales de análisis hidrológico, como infiltración de eventos, hidrogramas unitarios y enrutamiento hidrológico. Permite realizar simulaciones de los procesos hidrológicos a nivel de eventos, es decir, simula el

comportamiento de un sistema hídrico durante un evento de precipitación. Y también simulaciones continuas que pueden comprender un periodo de tiempo con varios eventos. A través del tiempo el programa ha sido mejorado, como la interface gráfica que facilita al usuario las labores de pre y post-proceso y de conectarse a un sistema de información geográfica (ArcMap).

3 METODOLOGÍA

3.1 Ubicación de la zona de estudio

La microcuenca del río Puca se ubica en el centro occidente de la subcuenca del río Daule entre los cantones de Olmedo (provincia de Manabí), Balzar y Colimes (provincia del Guayas), tiene una superficie de 224.06 Km² con una altura máxima y mínima de 408 y 37 m.s.n.m., respectivamente. El río Puca atraviesa la microcuenca para conectarse con el río Daule más al sureste (Figura 1).



Fuente: IGM (2013), MAGAP (2016) y SENAGUA (2014).

Figura 1. Mapa de ubicación de la microcuenca del río Puca.

La pendiente media de la unidad hidrológica es del 7.3%, siendo un terreno accidentado medio, por esta característica topográfica, el 24% (5393 ha) de la superficie total es susceptible a inundaciones con diferentes niveles de susceptibilidad (alta, media y baja). De los 37 poblados rurales distribuidos en la cuenca alta, media y baja, 19 se encuentran en el nivel de alta susceptibilidad a las inundaciones.

En el extremo sur occidental de la microcuenca, en donde se encuentra la cordillera costera, se localiza la estación M0166 Olmedo Manabí de acuerdo con sus registros existe dos estaciones, la primera denominada “invierno” en donde las precipitaciones se presentan

desde diciembre hasta mayo, y el “verano” desde el mes de junio a noviembre en donde es casi nula la presencia de lluvias. La precipitación media anual es de 1714.9 mm (promedio 1991-2015) y la temperatura promedio anual es de 26 °C. Según se va trasladando hacia el este de la microcuenca la cantidad de precipitaciones disminuye, la estación M0475 Colimes Balzar INAMHI registró un promedio anual de 1376.6 mm (promedio 1991-2015).

La topografía del terreno, el clima y el macro relieve han promovido el desarrollo de suelos con diferentes capacidades de uso para la actividad agrícola y pecuaria. Una parte de los suelos en la microcuenca se han desarrollado sobre rocas antiguas, como los Mollisoles (suelos pardos) localizados en la parte húmeda de la cordillera costera Chongón Colonche en pendientes fuertes, mientras que los Vertisoles se ubican en relieves menos pronunciados (Figura 2) (Espinosa et al., 2022). El primero y el segundo ocupan el 13 y 1% de la superficie total de la unidad de estudio, respectivamente (MAG, 2020).

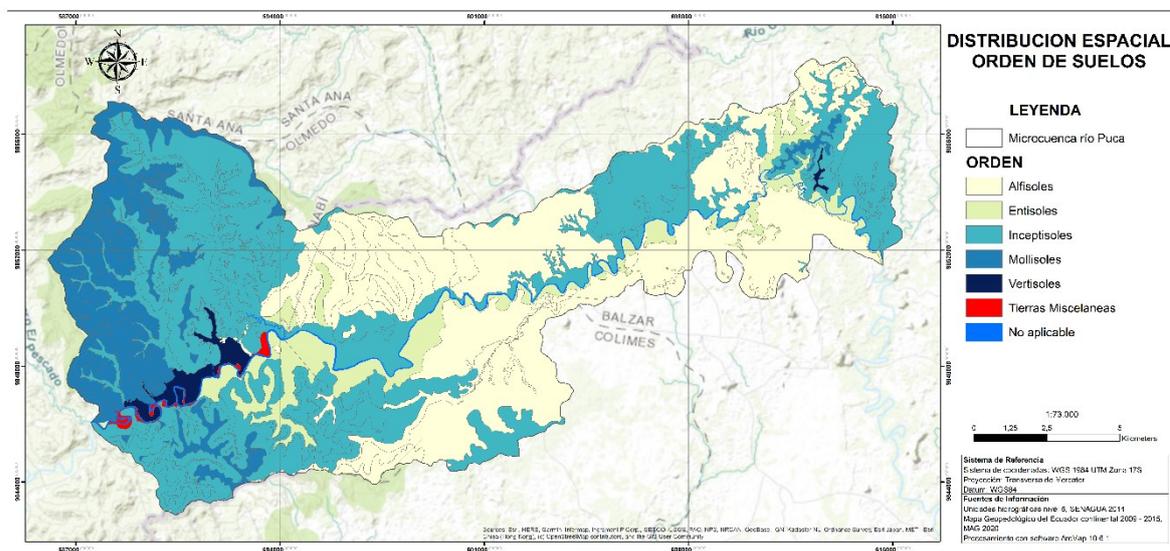


Figura 2. Mapa de distribución espacial de orden de suelos en la microcuenca del río Puca.

Los Inceptisoles y Alfisoles están presentes el 42 y 35% de la superficie total de la microcuenca, respectivamente (MAG, 2020), provienen de sedimentos aluviales antiguos, debido a que las cenizas recientes no les alcanzaron por estar lejos de los centros de emisión. Estos están dentro o entran en contacto con la llanura baja inundable. Los Entisoles se ubican en los bancos y diques aluviales de la llanura, son de origen deposicional (Espinosa et al., 2022), ocupan el 8% del área total (MAG, 2020).

3.2 Materiales e insumos

Los materiales, insumos y equipos utilizados en el estudio de erosión hídrica e hidrogramas de crecida se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Materiales, insumos y equipos utilizados en el estudio.

Temática y escala	Fuente
– Mapa de unidades hidrográficas nivel 5, escala 1:50000	– SENAGUA 2014
– Mapa de uso del suelo, escala 1:25000	– Instituto Espacial Ecuatoriano y SIGTIERRAS 2016
– Mapa de zonas susceptibles a inundaciones, escala 1:25000	– Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE) y Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca 2015
– Mapa de suelos (pendiente, taxonomía y textura) versión 2, escala 1:250.000, año 2003	– Ministerios de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca 2016
Tipo de información	Fuente
– Imágenes Landsat 8 del 2013 al 2016	– https://earthexplorer.usgs.gov/
– Perfiles de suelos del Ecuador	– Instituto Espacial Ecuatoriano y SIGTIERRAS 2016
– Modelo digital de terreno (DEM) ALOS PALSAR, 15 de diciembre del 2007, resolución 12.5 x 12.5	– https://search.asf.alaska.edu/
– Anuarios Meteorológicos	– INAMHI 1994 al 2013
Programas	
	– ArcMap 10.6.1
	– HEC-HMS 4.9
	– HEC-RAS 6.3
Materiales de campo	Equipo
– Cuaderno de campo	– Computador portátil
– Cámara fotográfica	– Disco externo 1TB
– Vehículo	– GPS

Fuente: Elaboración propia del autor.

3.3 Método

La investigación fue de carácter descriptivo y explicativo (no experimental), conformado por tres etapas, la primera con respecto a la erosión hídrica, se recopiló toda la información geográfica (formato ráster y vector) para proceder a la determinación a través del software Arc Map 10.6.1 de cada uno de los factores que conforman el modelo RUSLE y se estableció el aporte de sedimentos de la microcuenca al cauce principal (Figura 3).

La segunda etapa correspondió a los hidrogramas de crecida, se obtuvieron en función del uso y tipo de suelo, condiciones iniciales de la cuenca, clasificación hidrológica de los suelos

y condición hidrológica que sirvió para estimar el número hidrológico (CN) promedio. Para los hietogramas se partió de la ecuación de intensidad-duración-frecuencia de la zona (cuenca del río Puca), aplicando el método de bloques alternos. Así mismo, se obtuvo información de la morfometría de la microcuenca. En el programa HEC-HMS 4.9 se ingresó toda la información recopilada para obtener 3 hidrogramas de crecida para los periodos de retorno de 25, 50 y 100 años.

Finalmente se generaron tres escenarios con diferentes porcentajes de uso y cobertura de suelo para obtener números de curva promedio (CN), cuyos valores fueron ingresados en el programa hidrológico HEC-HMS 4.9 junto con los hietogramas y parámetros morfométricos para obtener los hidrogramas de crecidas para periodos de retorno de 25, 50 y 100 años.

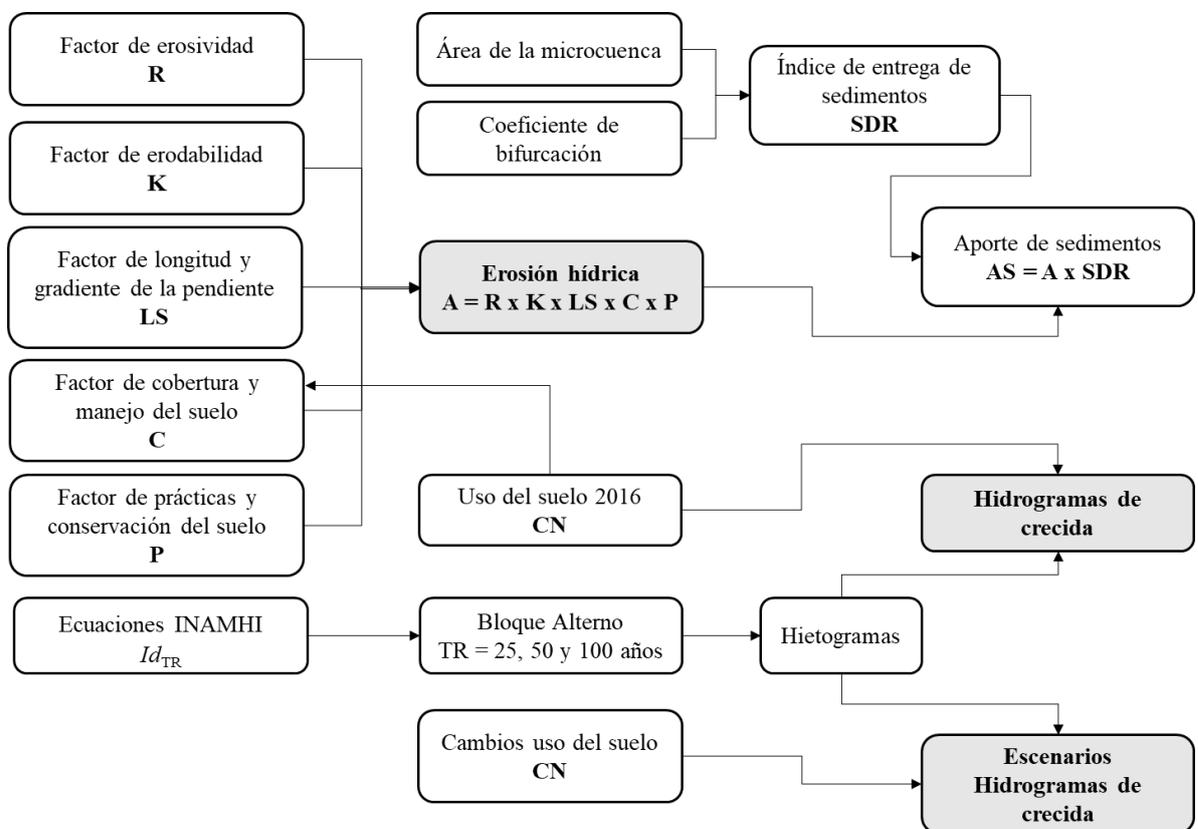


Figura 3. Diagrama metodológico del estudio.

3.4 Erosión hídrica

Se utilizó el modelo paramétrico RUSLE cuyos factores se calcularon de forma separada como se presenta a continuación.

3.4.1 Factor de erosividad - R

Para la determinar el factor R de erosividad se necesita contar con un registro de intensidades de precipitación para 30 minutos (I30) para varios años, debido a que se carece de estos datos se aplica como alternativa el índice modificado de Fournier (Ecuación 2).

$$IMF = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P}$$

Ecuación 2. Índice Modificado de Fournier

Donde, IMF es el índice modificado de Fournier en mm; P_i es la precipitación del mes más lluvioso i en mm; y P es la precipitación total anual en mm.

$$R = \sum IMF$$

Ecuación 3. Factor de erosividad

Donde, R es el factor de erosividad en MJ mm h⁻¹ ha⁻¹ año⁻¹; y IMF es el índice modificado de Fournier en mm (Ecuación 3).

Se recopiló la serie de precipitaciones correspondiente a 14 años (1994 – 2013) de 8 estaciones meteorológicas de propiedad del INAMHI, a cuyos valores se aplicaron pruebas estadísticas (“T” de Student y “F” de Fisher) para ver su grado de influencia en la microcuenca (Tabla 3).

Tabla 3. Estaciones meteorológicas.

Nº	Coordenadas UTM		Código	Estaciones Meteorológicas
	X	Y		
1	564464	9858269	M0447	24 de Mayo (Jaboncillo)
2	588344	9845737	M166	Olmedo Manabí
3	566371	9823572	M171	Camposano #2
4	584756	9819943	M0589	Guale
5	610100	9829083	M0475	Colimes de Balzar INAMHI
6	667303	9869499	M0470	Mocache
7	670470	9839951	M0465	Ventanas INAMHI
8	637054	9827640	M0466	Vinces INAMHI
9	588307	9856649	EF1	Ficticia 1
10	613284	9857954	EF2	Ficticia 2
11	598808	9850696	EF3	Ficticia 3

Fuente: INAMHI (2015).

Sin embargo, como no existían datos completos de las estaciones meteorológicas ubicadas al norte de la microcuenca, se crearon 3 estaciones meteorológicas ficticias (EF1, EF2 y EF3) (Tabla 3) al interno de la unidad hidrológica a través del método de la inversa de la distancia al cuadrado (Ecuación 4).

$$p_{(x,y)} = \frac{\sum_i^N \frac{p_i}{d_i^b(x,y)}}{\sum_i^N \frac{1}{d_i^b(x,y)}}$$

Ecuación 4. Inversa distancia al cuadrado

Donde, $p_{(x,y)}$ es la precipitación de cada celda; d es la distancia entre el dato y el punto de estimación; N es el número de pluviómetros más cercanos utilizados para obtener la precipitación en una celda; p_i es la precipitación de los pluviómetros; y b es el exponente positivo que pondera las distancias, cuando es igual a 2 el método es conocido como inverso de distancia al cuadrado (Gutiérrez, 2014).

En cada estación meteorológica se realizó un filtro para establecer el mes con mayor precipitación, esto permitió ubicar el año para calcular el índice modificado de Fournier (IMF) y el factor de erosividad, con todos los valores obtenidos de cada estación se utilizó el método de isoyetas en ArcMap para interpolar y generar el raster del factor R.

Tabla 4. Intensidad máxima de la zona 4 del INAMHI.

Zona	Código	Nombre de Estación	Duración	Ecuación
4	M0005	Portoviejo – UTM	5 Min < 79.03 Min 79.03 Min < 1440 Min	$I_{TR} = 88.905 * Id_{TR} * t^{-0.465}$ $I_{TR} = 461.74 * Id_{TR} * t^{-0.842}$

Fuente: INAMHI (2019).

Para corroborar el valor del factor R se realizó una comparación con el dato calculado a partir de la segunda ecuación de intensidad del INAMHI de la zona 4 (Ecuación 17) de la estación M0005 Portoviejo-UTM, ubicada a una altitud de 520 m.s.n.m, longitud 01° 2' 26" S y latitud 80° 27' 54" W, para 30, 20, 10 y 5 minutos y un periodo de retorno (TR) de dos años (INAMHI, 2019) (Tabla 4).

La ecuación que permitió obtener la energía cinética de la lluvia y que luego será multiplicado por el I30 es la siguiente:

$$EC_i = 1.213 + 0.89 \log I_i \quad I_i \leq 76 \text{ mm h}^{-1}$$

Ecuación 5. Energía cinética

Donde, EC_i es la energía cinética de cada segmento en $J \text{ m}^{-2} \text{ mm}^{-1}$; y la I_i es la intensidad en mm h^{-1} .

Se utilizó la Ecuación 5 para obtener de la energía cinética total para después determinar el valor del factor R para diferentes intensidades.

3.4.2 Factor de erodabilidad - K

Se evaluó la pertinencia sobre el uso de información del mapa de suelos digitalizado del mundo (DSMW) de la FAO-UNESCO a escala 1:5000000, el de textura de suelos del Ecuador de SIG-Tierras escala 1:25000 y de perfiles de suelo del Ecuador para la determinación del factor K, escogiendo el último para los cálculos, debido a los análisis de laboratorio (determinaciones físicas y químicas) realizados tanto fuera como dentro de la microcuenca. Se aplicó la fórmula de Williams (Arnold et al., 2012) para obtener el factor de K_{USLE} y valor final de K (Ecuación 6).

$$K_{USLE} = f_{csand} \times f_{cl-si} \times f_{orgc} \times f_{hisand}$$

$$K_{RUSLE} = K_{USLE} \times 0,1317$$

Ecuación 6. Factor de erodabilidad

Donde, f_{csand} : es un coeficiente que baja el indicador K en suelos con alto contenido de arena gruesa y lo sube para suelos con poca arena; f_{cl-si} : da factores bajos de erosionabilidad para suelos con altas proporciones de arcilla a limo; f_{hisand} : reduce los valores de K para suelos con un contenido de arena extremadamente alto; f_{orgc} : reduce los valores de K en suelos con alto contenido de carbono orgánico.

Sin embargo, se calculó de forma previa los coeficientes del factor K (Ecuación 7) para cada punto de perfil del suelo ubicados fuera y dentro de la microcuenca, utilizando las siguientes fórmulas:

$$f_{csand} = \left(0.2 + 0.3 \cdot \exp \left[-0.256 \cdot m_s \cdot \left(1 - \frac{m_{silt}}{100} \right) \right] \right)$$

$$f_{cl-si} = \left(\frac{m_{silt}}{m_c + m_{silt}} \right)^{0.3}$$

$$f_{orgc} = \left(1 - \frac{0.0256 \cdot orgC}{orgC + \exp [3,72 - 2,95 \cdot orgC]} \right)$$

$$f_{hisand} = \left(1 - \frac{0.7 \cdot \left(1 - \frac{m_s}{100} \right)}{\left(1 - \frac{m_s}{100} \right) + \exp \left[-5.51 + 22.9 \cdot \left(1 - \frac{m_s}{100} \right) \right]} \right)$$

Ecuación 7. Coeficientes del factor de erodabilidad

Donde, m_s es el % de contenido de arena (0,05-2,00 mm de diámetro de partículas); m_{silt} es el % de contenido de limo (0,002-0,05 mm de diámetro de partículas); m_c es el % de contenido de arcilla (<0,002 mm de diámetro de partículas); $orgC$ es el % de contenido de carbono orgánico.

Todas estas ecuaciones se ingresaron en Excel para calcular los valores del factor K de cada punto de perfil del suelo, para después ingresarlos en el ArcMap 10.6.1 para obtener el raster del mapa de erodabilidad.

3.4.3 Factor de longitud y gradiente de la pendiente - LS

El factor LS es el producto de la multiplicación de los factores de longitud (L) y pendiente (S) del terreno. Para la determinación del primero (L) se obtuvo el Modelo Digital de Terreno (DEM) ALOS PALSAR, al cual se hizo un tratamiento de relleno de las imperfecciones para evitar espacios vacíos en el ráster, con la imagen resultante se elaboró un ráster de pendientes utilizando las expresiones algebraicas de Foster et al. (1977) (Ecuación 8) y McCool et al (1989) (Ecuación 9) citadas por Renard (1997) (Renard et al., 1997; Rodríguez & Suárez, 2008).

$$\beta = \frac{\sin\theta/0.0896}{3(\sin\theta)^{0.8} + 0.56}$$

Ecuación 8. Relación de erosión en surcos a erosión en entresurcos

Donde, θ es el ángulo de la pendiente; y β es la relación de erosión en surcos a erosión en entresurcos.

$$m = \frac{\beta}{1 + \beta}$$

Ecuación 9. Función continua

Donde, m se define como una función continua que se incrementa con el ángulo de la pendiente.

Con el área aportadora de drenaje se procedió a generar la dirección de flujo y flujo de acumulación, obteniéndose imágenes para aplicar la ecuación de Desmet & Govers (1996) (Ecuación 10) citado por Panagos (2015) (Panagos et al., 2015) y obtener el ráster del factor L.

$$L_{(i,j)} = \frac{[A_{(i,j)} + D^2]^{(m+1)} - A_{(i,j)}^{m+1}}{x^m D^{m+2} (22.13)^m}$$

Ecuación 10. Factor L

Donde, $A_{(i,j)}$ es el área aportadora unitaria a la entrada de un pixel (celda); D es el tamaño del pixel; y x es el factor de corrección de forma.

Para el factor S se aplicó la ecuación de McCool et al, (1993) (Ecuación 11) citada por Renard (1997) (Renard et al., 1997) de acuerdo con la gradiente de la pendiente, obteniendo el ráster del factor S.

$$\begin{aligned} \text{Cuando } \tan \theta_{(i,j)} < 0,09 & \quad S_{(i,j)} = 10,8 \sin \theta_{(i,j)} + 0,03 \\ \text{Cuando } \tan \theta_{(i,j)} \geq 0,09 & \quad S_{(i,j)} = 16,8 \sin \theta_{(i,j)} - 0,5 \end{aligned}$$

Ecuación 11. Factor S

Donde, $S_{(i,j)}$ es la pendiente del factor de coordenadas (i, j) ; y $\theta_{(i,j)}$ es la pendiente (grados) con las coordenadas (i, j)

Obtenidos los ráster de los factores L y S se procedió a obtener el ráster del factor LS.

3.4.4 Factor de cobertura y manejo del suelo - C

Para su obtención se descargó 14 imágenes satelitales del 2013 al 2016 para diferentes épocas (lluviosa y seca) de las bandas 4 (Red), 5 (Near-infrared (NIR)) y 6 (Short-wave infrared (SWIR 1)) del satélite Landsat 8.

Cada una de las bandas fueron georreferenciadas y recortadas con los límites de la microcuenca. Después se realizó la composición de las imágenes de banda y el cálculo de su NDVI (Ecuación 12) para cada una de ellas, después se obtuvo un NDVI promedio.

Tabla 5. Imágenes satelitales utilizadas del 2015 y 2016.

Nº	Fecha	Código	Época
1	06/9/2015	LC08_L1TP_011061_20150906_20200908_02_T1	Seca
2	24/10/2015	LC08_L1TP_011061_20151024_20200908_02_T1	Seca
3	17/4/2016	LC08_L1TP_011061_20160417_20200907_02_T1	Lluviosa
4	20/6/2016	LC08_L1TP_011061_20160620_20200906_02_T1	Lluviosa
5	27/11/2016	LC08_L1TP_011061_20161127_20200905_02_T1	Seca

Sin embargo, por la alta nubosidad en la mayoría de las imágenes, se utilizó cinco de ellas (3 de la época seca y 2 de la lluviosa) para que no exista distorsión de los datos a obtenerse (Tabla 5).

El NDVI varía de -1 a +1, los valores más altos se atribuyen a zonas con mayor cobertura vegetal.

$$NDVI = \left(\frac{NIR - RED}{NIR + RED} \right)$$

Ecuación 12. NDVI

Donde, NDVI es el índice de vegetación de diferencia normalizada interanual global; NIR es la reflectancia espectral de la superficie en la banda del infrarrojo cercano; y RED es la reflectancia espectral de la superficie en la banda roja.

$$C_r = \left(\frac{-NDVI + 1}{2} \right)$$

Ecuación 13. Factor C reescalado

Donde, C_r es el factor C reescalado.

Se aplicó la ecuación propuesta por Durigon et al. (2014) (Ecuación 13) para cuencas tropicales, para obtener datos precisos de la cobertura vegetal (Durigon et al., 2014), obteniéndose el ráster del factor C.

3.4.5 Factor de prácticas de conservación del suelo - P

El factor P es el resultado de prácticas realizadas en la cuenca (cultivos en contorno o curvas de nivel, cultivos en franjas a nivel o terrazas) para reducir la erosión el suelo. El factor toma valores de 0.1 a 1, cuando el valor se acerca a 0.1 indica buenas prácticas de conservación y a 1, las prácticas son nulas.

Se realizó tres salidas de campo a distintos puntos de la microcuenca (cuenca baja, media y alta) para observar si se implementa prácticas de conservación como: cultivos en contorno, cultivo en franjas de contorno y surcos irrigados y terrazas, para ser georreferenciados y proceder al cálculo del factor P de acuerdo con la metodología de Wischmeier & Smith (Wischmeier & Smith, 1978). No se encontró ninguna práctica de conservación del suelo, por lo que se asumió el valor de 1, como en otros estudios de erosión realizados en Ecuador (Calderón, 2020; Ochoa-Cueva et al., 2015).

3.4.6 Aporte de sedimentos al cauce del río Puca

Para determinar el aporte de sedimentos al cauce del río Puca se utilizó el DEM de la microcuenca que permitió obtener la red de drenaje y número de orden, esta fue revisada y editada con las cartas topográficas del Instituto Geográfico Militar y con imágenes de Google Earth Pro. De acuerdo con Horton (1945) se determinó la relación entre el número de cauces N de orden i y el número de cauces N de orden inmediatamente superior $i + 1$ para obtener el coeficiente de bifurcación (Ecuación 14) (Horton, 1945).

$$BR_{i+1} = \frac{N_i}{N_{i+1}}$$

Ecuación 14. Coeficiente de bifurcación de la red hidrográfica

Donde, BR es el coeficiente entre el número de cauces N de orden i y el número de cauces N de orden inmediatamente superior $i + 1$.

Para el índice de entrega de sedimentos (SDR) se utilizó la ecuación de Avendaño et all. (1994) (Ecuación 15) tanto por su complementariedad al modelo RUSLE (Sánchez, Martínez-Graña, Santos-Francés, et al., 2018; Sánchez, Martínez-Graña, & Yenes, 2018) como por la disponibilidad de información para su cálculo. Con la digitalización del curso

principal y con el mapa de pendientes de la microcuenca se obtuvo la pendiente de cauce en porcentaje.

$$SDR = 36A^{-0.2} - \frac{2}{\log P} + \log BR$$

Ecuación 15. Índice de entrega de sedimentos

Donde, SDR es el porcentaje total de material movilizado en la cuenca; A es la superficie de la cuenca; P es la pendiente del curso principal expresada en tanto por uno; y BR es el coeficiente de bifurcación de la red hidrográfica.

$$AS = A \times SDR$$

Ecuación 16. Aporte de sedimentos erosionados al cauce

Donde, AS es el aporte de sedimentos erosionados al cauce en $t\ ha^{-1}\ año^{-1}$; A es el promedio anual de erosión hídrica del suelo; y el SDR es el porcentaje total de material movilizado en la cuenca.

Con el valor del SDR se calculó el aporte de sedimentos al cauce del río Puca (Ecuación 16) en $t\ ha^{-1}\ año^{-1}$.

3.5 Hidrogramas de crecida

3.5.1 Hietogramas

Por la falta de información pluviométrica para la determinación de intensidades de precipitación se utilizó la ecuación de intensidad-duración-frecuencia de la zona 4 (Tabla 4), publicado por el INAMHI (INAMHI, 2019), permitió obtener los hietogramas para periodos de retorno de 25, 50 y 100 años a partir de la Ecuación 17.

$$I_{TR} = 461,74 * Id_{TR} * t^{-0.842}$$

Ecuación 17. Ecuación de intensidad del INAMHI de la zona 4

Donde; I_{TR} : intensidad de precipitación para cualquier periodo de retorno en mm/h; Id_{TR} es la intensidad diaria para un periodo de retorno dado en mm/h; TR es el periodo de retorno; y t el tiempo de duración de la lluvia en minutos.

La selección de la ecuación estuvo determinada por el valor del tiempo de concentración de acuerdo con la fórmula de Kirpich (Ecuación 18).

$$Tc = 0.0195 \left(\frac{Lr^3}{H} \right)^{0.385}$$

Ecuación 18. Fórmula de Kirpich

Donde, T_c es el tiempo de concentración en minutos; L_r es la longitud del cauce principal en metros; y H es la diferencia de elevación en metros.

Los valores I_{dTR} se obtuvieron del mapa de isolíneas de intensidades de precipitación del INAMHI y fueron reemplazados en la ecuación 16 para obtener la intensidad de la lluvia en mm/hora para los diferentes periodos de retorno, después se obtuvo los valores de profundidad acumulada (mm) e incremental (mm) y se aplicó la metodología de bloques alternos en que los incrementos fueron reordenados en una secuencia temporal de modo que el máximo valor se ubicó en el centro de la duración requerida y los demás quedaron en orden descendente alternativamente hacia la derecha e izquierda del bloque central para formar el hietograma (Chow et al., 1988).

3.5.2 Número de curva de escorrentía (CN)

Para el valor de CN se utilizó el mapa de suelos (pendiente, taxonomía y textura) escala 1:250.000 y el mapa de uso de suelo escala 1:25000, estos fueron recortados con el área de la microcuenca y fusionados para tener un solo mapa. Los datos de la tabla de atributos fueron copiados en Excel a través de tabla dinámica, para clasificarlos de acuerdo a lo siguiente:

- Condición inicial: condición 2 (suelo normal)
- Clasificación hidrológica de los suelos: Tipo A, B y C.
- Condición hidrológica: regular, entre 50 – 75%.
- Uso y cobertura de la tierra

Con esta categorización se determinó el número de curva (CN) para la condición II de humedad.

Con ArcMap se hizo una intersección entre la cobertura de suelo con los grupos hidrológicos para determinar las superficies de cada uno e ir integrando los valores del número de curva (NC) de acuerdo con las tablas de Monsalve (1999) para cada cobertura, se estableció el CN promedio y la abstracción inicial (I_a).

3.5.3 Hidrogramas de crecida

El programa HEC-HMS utiliza métodos de precipitación-escorrentía para estimar los hidrogramas de escorrentía directa generados por las precipitaciones en una cuenca durante un periodo determinado. Se utilizó este software para obtener los hidrogramas de crecidas del río Puca. La información ingresada en el software fue área, abstracción inicial, CN promedio, tiempo de retraso, intervalos de tiempo (30 min), tiempo de inicio y final, y los hietogramas para los TR de 25, 50 y 100 años. Se obtuvo como resultado un gráfico de los hidrogramas para los TR de 25, 50 y 100 años en donde se indica los máximos caudales de avenidas.

3.6 Escenarios

3.6.1 Cambio de uso de suelo

Para determinar los efectos del cambio de uso de suelo en los hidrogramas de crecidas del río Puca se generaron tres escenarios E1, E2, y E3 (Tabla 6), los cuales fueron determinados por la tasa promedio anual de incremento de población rural y urbana de los cantones de Olmedo, Balzar y Colimes que es del 0,96%, según información del PDOT de los cantones mencionados (GAD Municipal de Balzar, 2014; GAD Municipal de Colimes, 2014; GAD Municipal de Olmedo, 2019).

Para cada escenario se considera solo el incremento de la población a nivel general, sin diferenciar si es población flotante o migrante o el tipo de actividad a realizar. Por las tendencias de uso y cobertura del suelo observadas con las visitas de campo se disminuyó o incrementó la superficie de algunas coberturas de usos de suelo. Así mismo, se tomó en cuenta los TR para 25, 50 y 100 años.

La cobertura del uso de suelo de tierras improductivas se refiere a bancos de arena con superficies muy pequeñas, por ello su porcentaje es cero en cada uno de los escenarios.

Tabla 6. Escenarios de cambios de uso de suelo.

Uso de suelo	Escenario base (2016)	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
	Superficie (%)			
Agrícola	16.0	15.7	18.7	20.4
Agropecuario mixto	17.7	18.5	19.0	20.8
Agua	0.8	0.8	0.8	0.8
Antrópico	0.2	0.2	0.2	0.2
Conservación y Producción	13.7	14.3	15.6	15.6
Conservación y Protección	21.2	17.1	8.3	0.1
Pecuario	26.8	28.1	31.3	34.0
Protección y Producción	3.9	5.3	6.2	8.2
Tierras Improductivas	0.0	0.0	0.0	0.0
Total	100.0	100.0	100.0	100.0

Fuente: Elaboración propia del autor.

Para cada escenario se determinó el CN promedio y la abstracción inicial (*Ia*) y se compararon con el escenario base (2016) para observar diferencias o similitudes en los hidrogramas.

3.6.2 Escenario de desbordamiento del río Puca en el punto de salida

Para determinar qué escenario y que TR genera inundación en el punto de salida de la microcuenca se utilizó el software HEC-RAS 6.3., para lo cual se obtuvieron cinco perfiles

en el río Puca ubicados a distancias de 0, 96.33, 198.32, 345.99 y 399.02 m, estos fueron georreferenciados y visualizados en Arc Map.



Figura 4. Perfiles en el punto de salida de la microcuenca del río Puca.

En el programa hidráulico se ingresó la información de altura, ancho, distancia, pendiente, coeficiente de rugosidad "n" de Manning para el lecho y orillas del río para cada uno de los perfiles y los caudales de los TR de 25, 50 y 100 años de cada escenario con el propósito de establecer para cada uno de los caudales máximos los niveles o alturas de desbordamiento o inundación que se producen en el punto de salida de la microcuenca del río Puca.

4 RESULTADOS

4.1 Erosión hídrica

4.1.1 Factor de erosividad - R

La intensidad y duración de las lluvias son los más importantes dentro de este parámetro. En base a la metodología planteada y utilizando la ecuación 2 y 3 se obtuvo los valores del Índice Modificado de Fournier (IMF) (Anexo 1 al 8) y el factor R de cada estación meteorológica ubicada dentro y fuera de la microcuenca (Tabla 7).

Tabla 7. Factor R de las estaciones meteorológicas.

N°	UTM 17S		Estaciones Meteorológicas	Factor R MJ mm h ⁻¹ ha ⁻¹ año ⁻¹
	X	Y		
1	564464	9858269	24 de Mayo (Jaboncillo)	362.0
2	588345	9845737	Olmedo Manabí	595.0
3	566371	9823572	Camposano #2	419.9
4	584756	9819943	Guale	511.7
5	610100	9829083	Colimes de Balzar INAMHI	477.8
6	667303	9869499	Mocache	543.4
7	670470	9839951	Ventanas INAMHI	1060.0
8	637054	9827640	Vinces INAMHI	592.2
9	588307	9856649	EF1	547.3
10	613284	9857954	EF2	491.8
11	598808	9850696	EF3	540.6

Fuente: Elaboración propia del autor.

Se obtiene un rango que va de 490.3 a 596.0 a MJ mm h⁻¹ ha⁻¹ año⁻¹ con un promedio de 544.0 MJ mm h⁻¹ ha⁻¹ año⁻¹. La distribución espacial de este factor se incrementa según va acercándose a la cordillera Chongón Colonche en el occidente de la microcuenca (Figura 5).

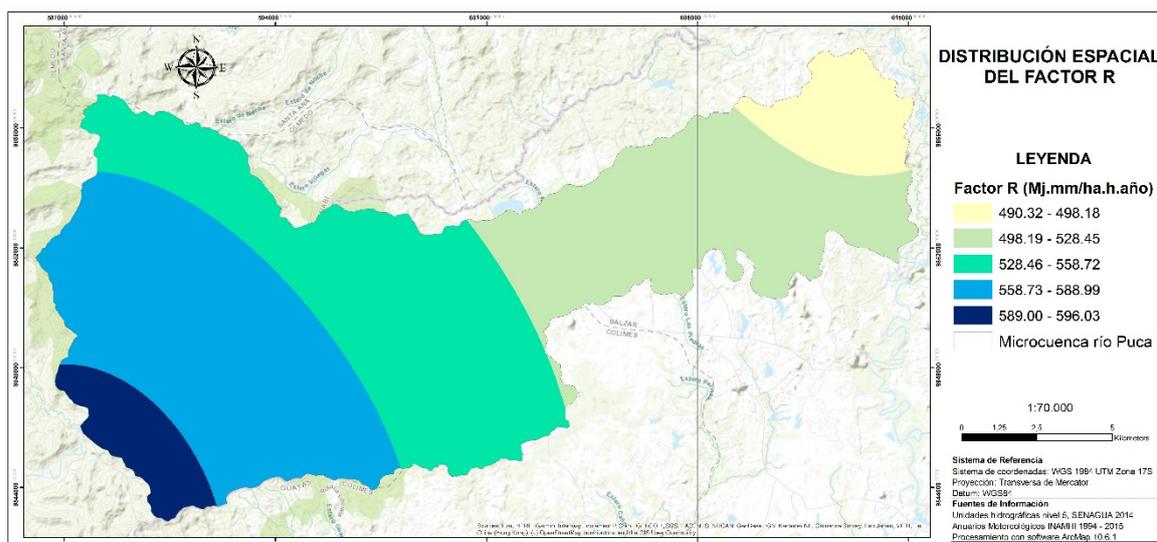


Figura 5. Mapa de distribución del factor R en la microcuenca del río Puca.

Con el fin de comprobar el valor de R obtenido a través del índice Fournier se aplicó la ecuación de intensidad del INAMHI, obteniéndose el factor R para intensidades de 30, 20, 10 y 5 minutos para un TR de 2 años (Anexo 9).

Tabla 8. Valores de factor R para diferentes intensidades de lluvia para un TR de dos años

	I_{30}	I_{20}	I_{10}	I_5
	MJ mm h ⁻¹ ha ⁻¹ año ⁻¹			
Factor R	842.2	776.4	677.2	593.5

Al comparar el factor R promedio obtenido con el IMF (544.0 MJ mm h⁻¹ ha⁻¹ año⁻¹) con el I_{30} (842.2, MJ mm h⁻¹ ha⁻¹ año⁻¹) existe una diferencia de 298,2 MJ mm h⁻¹ ha⁻¹ año⁻¹, el valor que más se acerca es con el I_5 (593.5 MJ mm h⁻¹ ha⁻¹ año⁻¹) aunque con una diferencia de 49.5 MJ mm h⁻¹ ha⁻¹ año⁻¹ (Tabla 8), indicando que el mapa de zonificación de intensidades de precipitación realizado por el INAMHI es muy extenso y debe ser más localizado, debido a que la intensidades de las precipitaciones van a ser distintas, tanto del lado occidental como oriental de la cordillera Chongón Colonche.

4.1.2 Factor de erodabilidad - K

Con respecto a la erodabilidad esta depende del contenido de materia orgánica y de la textura del suelo. Por ello, se utilizaron los estudios de perfiles de suelo realizados dentro (16 perfiles) y adyacentes (13 perfiles) a la microcuenca (Anexo 10), así que en cada uno de ellos los horizontes presentaron diferentes porcentajes de arena, limo, arcilla y materia orgánica a diferentes profundidades, obteniéndose el promedio de cada uno de ellos. Para cada perfil se determinó su factor K de acuerdo con las ecuaciones presentadas en la metodología para después ser interpolado en ArcMap (Anexo 11).

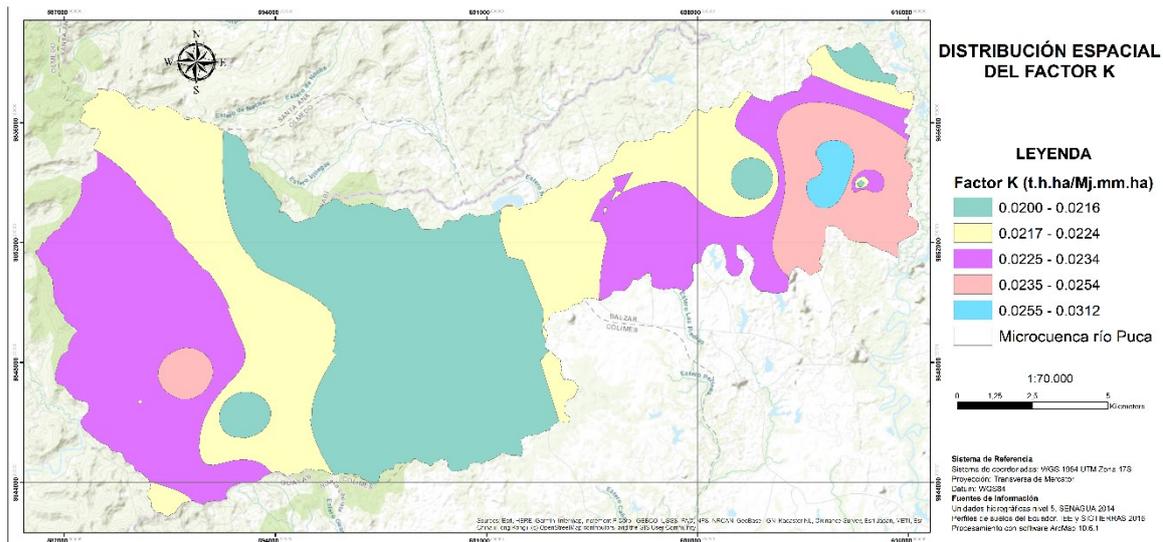


Figura 6. Mapa de distribución espacial del factor K en la microcuenca del río Puca.

El rango de K va de 0.02000 a 0.0312 t h ha MJ⁻¹ mm⁻¹, con un promedio de 0.0222 t h ha MJ⁻¹ mm⁻¹ ha⁻¹ (Figura 6).

4.1.3 Factor de longitud y gradiente de la pendiente - LS

La variación espacial del factor combinado LS depende del relieve de la microcuenca. El valor topográfico adimensional va de 0.03 a 14.70 con un promedio de 1.92 (Figura 7). Los valores de este factor aumentan a medida que aumenta la acumulación de flujo y la pendiente.

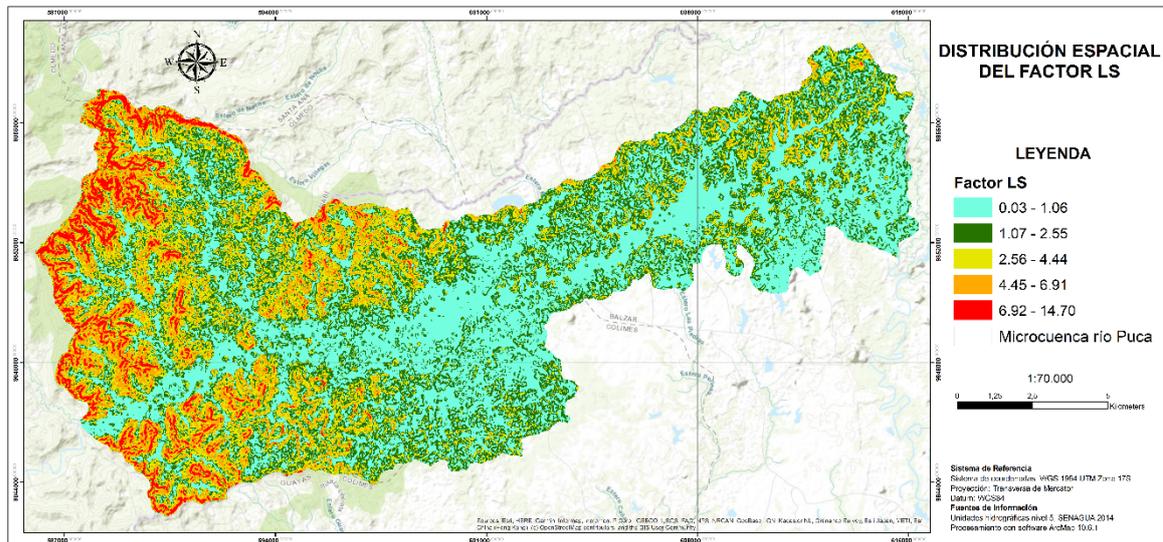


Figura 7. Mapa de distribución espacial del factor LS en la microcuenca del río Puca.

Los valores bajos se distribuyen en la cuenca baja de la microcuenca, mientras que los altos son para la zona de montaña (cuenca alta) que por su topografía tiene influencia en la pérdida de suelo.

4.1.4 Factor de cobertura y manejo del suelo - C

El área de investigación se ha clasificado en 9 usos y 24 coberturas de suelo (Figura 8). El 26.8% de la superficie (5994.6 ha) de la microcuenca está cubierto por pasto, localizándose en la cuenca baja, media y alta, pero muy concentrado en la zona occidental, mostrando que la ganadería es la principal actividad.

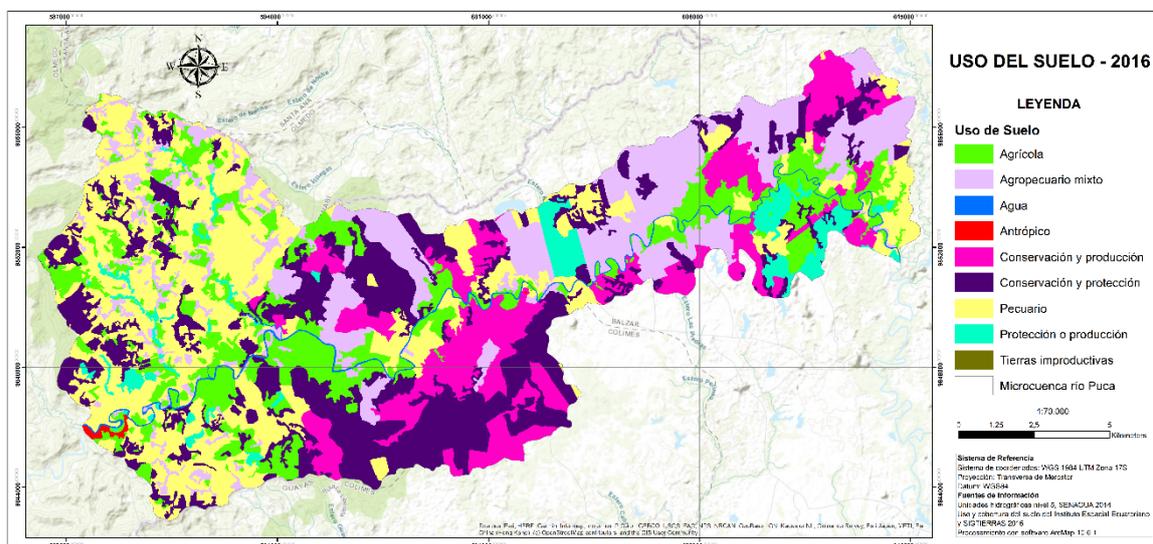


Figura 8. Mapa de uso de suelo del 2016.

Los bosques, matorrales y vegetación herbácea cubren el 21.2% del área (4739.9 ha), la mayor superficie se concentra en el tercio medio de la microcuenca (matorrales y bosques seco) y los bosques húmedos se localizan en la parte alta en algunos casos como parches, debido a la deforestación por el incremento de la actividad agropecuaria (Tabla 9).

Tabla 9. Uso y cobertura del suelo al 2016 de la microcuenca del río Puca.

Uso	Cobertura	Superficie (ha)	%
Agrícola	Arroz	1641.9	7.3
	Banano	4.4	0.0
	Barbecho	249.9	1.1
	Cacao	312.1	1.4
	Café	154.2	0.7
	Caña de azúcar artesanal	4.9	0.0
	Maíz	1150.4	5.1
	Mango	39.9	0.2
	Plátano	10.6	0.0
Agropecuario mixto	Sandia	11.8	0.1
	Maíz-frejol	41.2	0.2
Agropecuario mixto	Misceláneo indiferenciado	786.1	3.5
	Pasto cultivado con presencia de arboles	3130.8	14.0
Agua	Albarrada/reservorio	0.8	0.0

Uso	Cobertura	Superficie (ha)	%	
	Rio doble	168.5	0.8	
Antrópico	Centro poblado	0.6	0.0	
	Urbano	35.7	0.2	
Conservación y producción	Vegetación herbácea seca muy alterada	3061.4	13.7	
	Bosque húmedo medianamente alterado	5.9	0.0	
	Bosque húmedo poco alterado	67.7	0.3	
	Bosque seco medianamente alterado	792.4	3.5	
	Bosque seco poco alterado	1721.3	7.7	
	Matorral húmedo muy alterado	0.0	0.0	
	Conservación y protección	Matorral seco medianamente alterado	1523.3	6.8
		Matorral seco muy alterado	63.3	0.3
		Matorral seco poco alterado	498.3	2.2
		Vegetación herbácea de humedal medianamente alterada	1.1	0.0
	Vegetación herbácea de humedal poco alterada	66.6	0.3	
Pecuario	Pasto cultivado	5994.6	26.8	
	Balsa	1.1	0.0	
Protección o producción	Cana guadua o bambú	129.8	0.6	
	Pachaco	3.4	0.0	
	Teca	730.3	3.3	
Tierras improductivas	Banco de arena	1.5	0.0	
Total		22405.7	100.0	

Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano y SIGTIERRAS (2016).

El uso agropecuario mixto cobija el 17.7% de la superficie, de este total, la cobertura pasto cultivado con presencia de árboles es mucho mayor (3130.8 ha) con respecto al de maíz-frejol y misceláneo indiferenciado, esta se concentra en el lado oriental de la microcuenca.

El 16.0% de la microcuenca esta utilizado por el uso agrícola, de este total, el cultivo de maíz (5.1%) y el arroz (7.1%) son los que presentan mayor porcentaje, el primero distribuido en todas partes, mientras que el segundo está en la cuenca media y baja cultivado como arroz de montaña y en piscinas arroceras. El resto de los usos y coberturas se distribuyen el 18.3% de la superficie restante.

Pérdida de suelo (t/ha/año)	Nivel de erosión	Área (ha)	%
15,1 – 50.0	Severo	3480	16
50.0 – 200.0	Muy severo	4	0
	Total	22406	100

Fuente: FAO (1980).

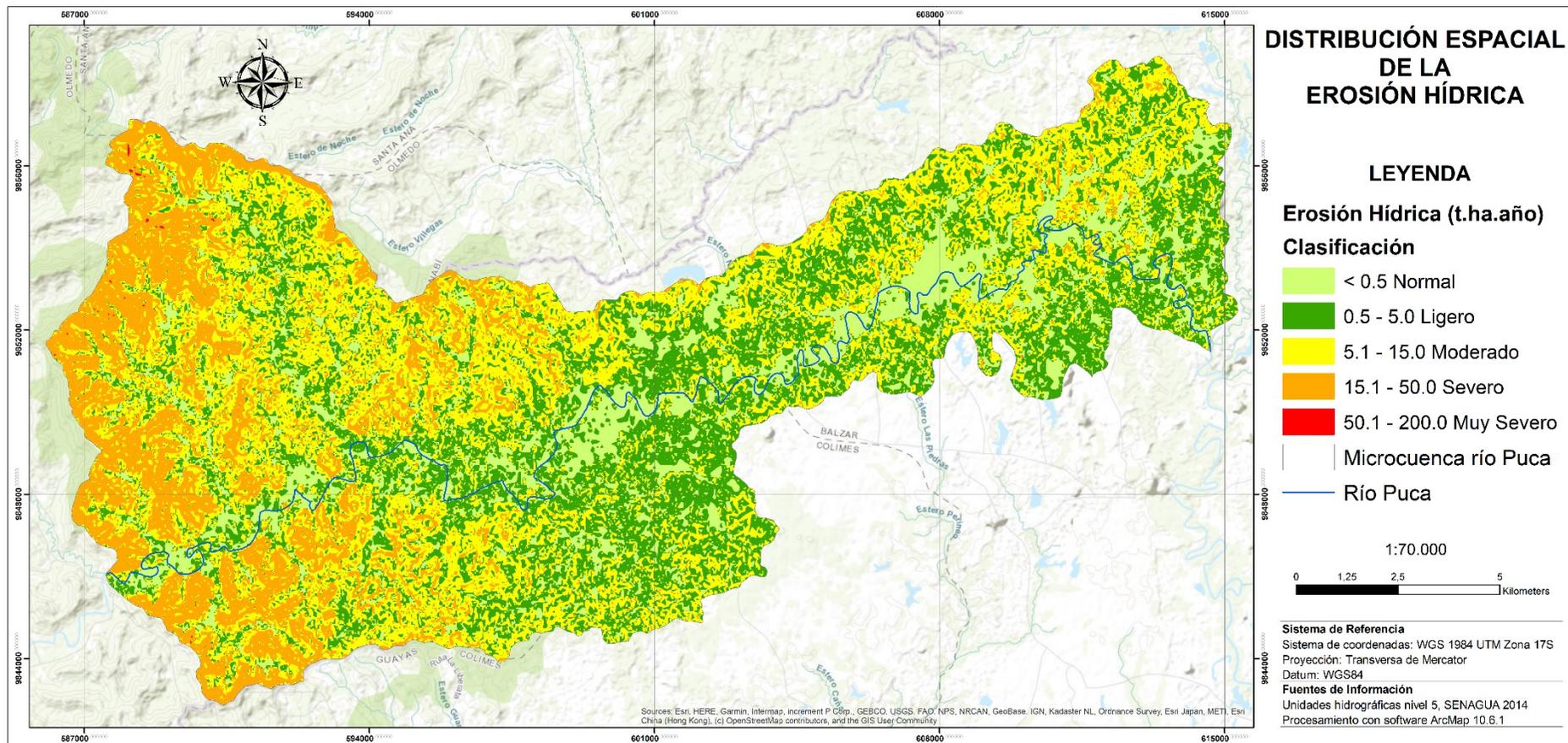


Figura 10. Erosión hídrica en la microcuenca del río Puca.

La distribución espacial muestra que el 50% de la superficie (11402 ha) tiene un nivel de erosión entre normal y ligero (Figura 10). La erosión moderada se presenta en el 34% del área (7520 ha), distribuyéndose en toda la microcuenca, mientras que el nivel severo se ubica principalmente en zonas con pendientes en donde está implementado pastos para la ganadería, alcanzando 3480 ha que representan el 16% de la superficie total. (Tabla 10). La erosión muy severa es muy ínfima (4 ha) no teniendo ningún peso dentro del área de la zona de estudio (Figura 11).



Figura 11. a) parches de bosque en la cuenca alta, b) algunas áreas de la microcuenca presentan actualmente pérdidas de suelo, c) el uso agrícola y pecuario son las principales actividades en la microcuenca que impulsan la erosión hídrica, y d) fincas agropecuarias con problemas de erosión.

4.2 Hidrograma de crecidas

4.2.1 Hietogramas

Con la aplicación de la ecuación de intensidad de precipitación de la estación M0005 Portoviejo-UTM del INAMHI y el método de bloques alternos se obtuvo los hietogramas para periodos retorno (TR) de 25, 50 y 100 años (Anexo 12, 13 y 14).

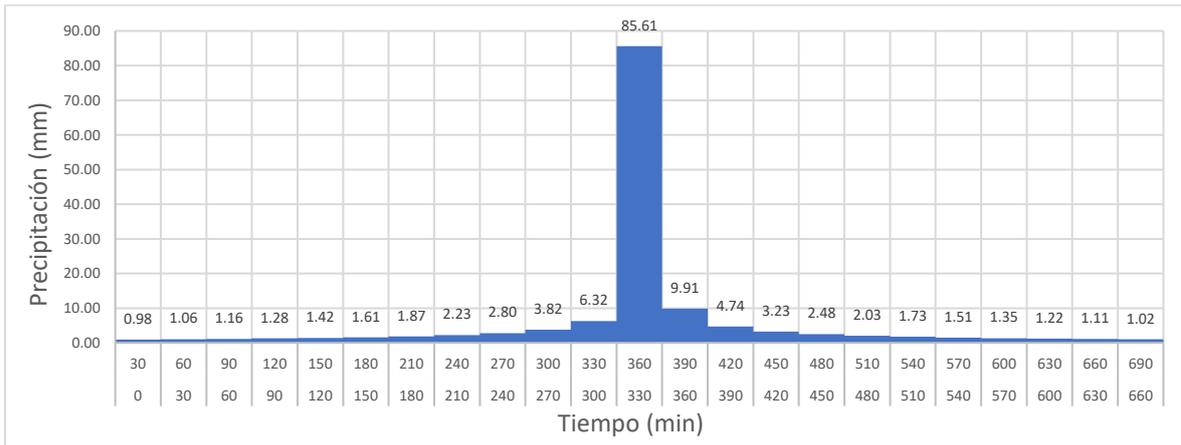


Figura 12. Hietograma para un TR de 25 años.

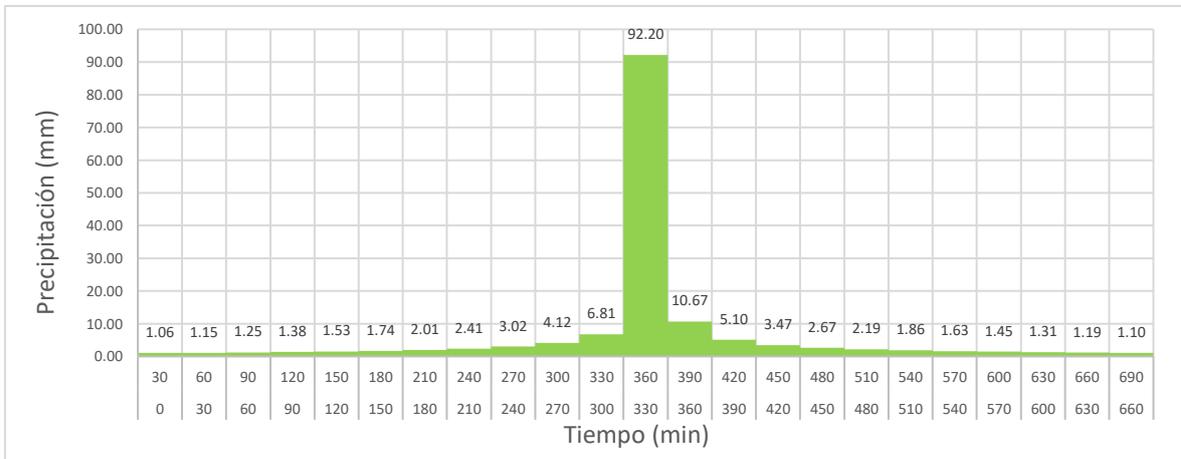


Figura 13. Hietograma para un TR de 50 años.

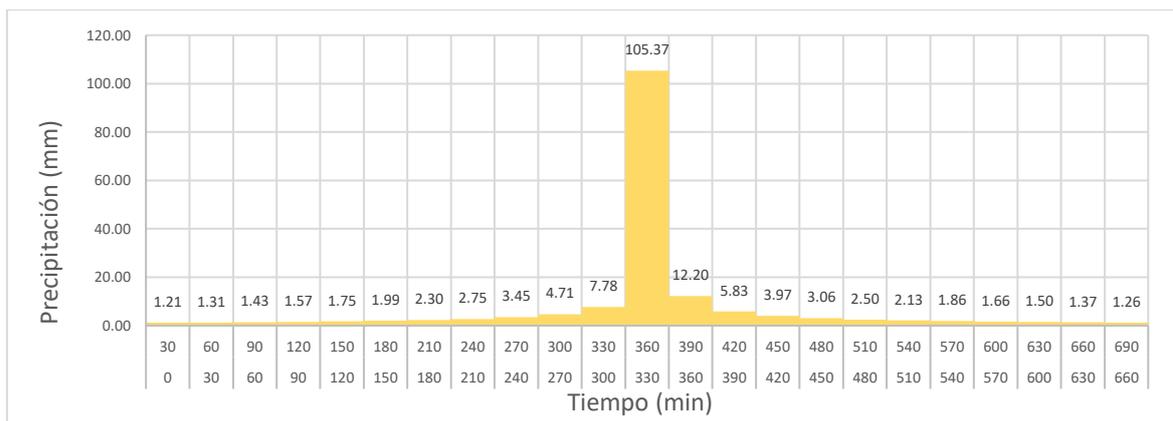


Figura 14. Hietograma para un TR de 50 años.

En las Figuras 12, 13 y 14 se observa que el máximo valor de precipitación para los TR de 25, 50 y 100 años es de 85.6, 92.2 y 105.5 mm, respectivamente.

4.2.2 Número de curva de escorrentía

Los tres grupos hidrológicos que se presentan en la microcuenca son: el grupo B (franco y franco arcilloso), grupo C (arcillo arenoso) y grupo D (arcilloso) que representan el 74, 12 y 14% de la superficie total, respectivamente (Anexo 15, 16 y 17).

Tabla 11. CN por grupo hidrológico y CN promedio.

Grupo hidrológico	Superficie (ha)	%	CN	CN promedio	<i>Ia</i>
A	16554	74%	67		
B	2784	12%	78	71.0	25.9
C	3067	14%	86		

Fuente: Elaboración propia del autor

Para el grupo A, B y C el CN fue de 67, 78 y 86, respectivamente, dando un NC promedio de 71.0 y un *Ia* de 25.9 (Tabla 11).

4.2.3 Hidrograma de crecidas para TR de 25, 50 y 100 años

Con el programa HEC-HMS se determinaron los hidrogramas de crecida a la salida de la microcuenca del río Puca (Anexo 18).

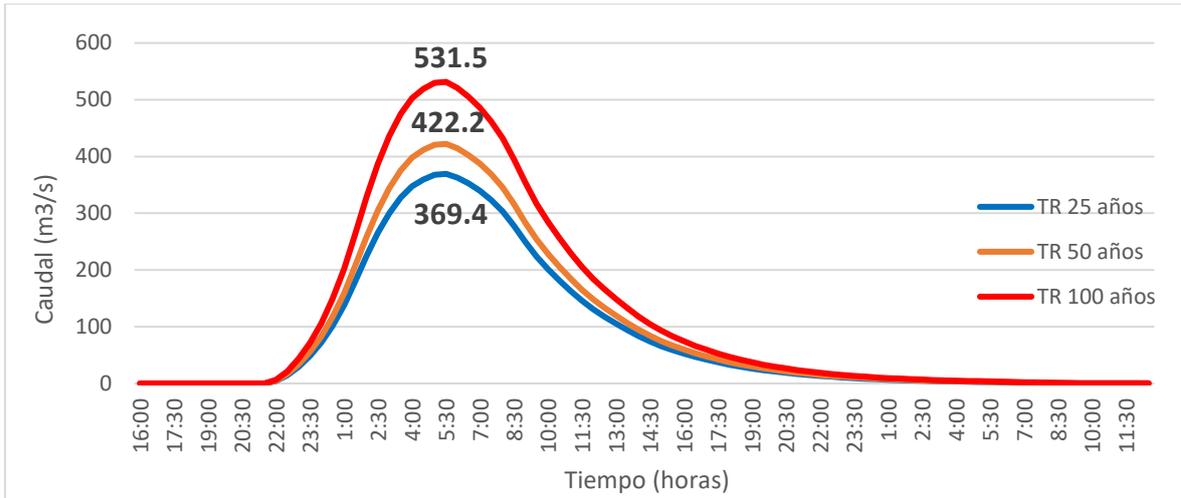


Figura 15. Hidrogramas de crecida para TR de 25, 50 y 100 años para cobertura de suelo del 2016.

Para los TR de 25, 50 y 100 años el caudal máximo estimado es de 364.9, 422.2, y 531.5 m³/s, respectivamente (Figura 15).





Figura 16. a) río Puca en el sector Las Lajas b) vista lateral del punto de salida de la microcuenca del río Puca, c) vista frontal del punto de salida de microcuenca del río Puca, d) señalamiento del máximo nivel alcanzado de la última inundación en el punto de salida, e) nivel de la última inundación, y f) disminución del caudal del río Puca en septiembre de 2022 para medir su perfil.

4.3 Escenarios

Para determinar los efectos de las avenidas del río Puca por los cambios de uso y cobertura del suelo se generaron tres escenarios para periodos de retorno (TR) de 25, 50 y 100 años, como se presenta en la Tabla 12.

Tabla 12. Escenarios de uso de suelo con su respectiva superficie y porcentaje.

Uso de suelo	Escenario base (2016)		Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3	
	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%
Agrícola	3580	16	3526	16	4180	19	4571	20
Agropecuario mixto	3958	18	4142	19	4257	19	4651	21
Agua	169	1	169	1	169	1	169	1
Antrópico	36	0	37	0	43	0	47	0
Conservación y Producción	3061	14	3213	14	3493	16	3494	16
Conservación y Protección	4740	21	3842	17	1854	8	18	0
Pecuario	5995	27	6287	28	7013	31	7615	34
Protección y Producción	865	4	1188	5	1395	6	1839	8

Uso de suelo	Escenario base (2016)		Escenario 1		Escenario 2		Escenario 3	
	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%	Superficie (ha)	%
Tierras Improductivas	2	0	2	0	2	0	2	0
Total	22406	100	22406	100	22406	100	22406	100

Fuente: Elaboración propia del autor.

4.3.1 Escenario 1

Se plantea la no expansión del uso agrícola, debido a la disminución de precios del arroz y maíz por importaciones realizadas, incremento del periodo de meses sin precipitación y falta de políticas de subsidio al sector maicero y arrocero a través de kits agrícolas (semillas certificadas, fertilizantes químicos y pesticidas). También se realiza una disminución de la superficie de conservación y protección en donde se encuentran los bosques húmedos y secos por la tendencia histórica del incremento de los otros usos como: agropecuario mixto, conservación y producción, pecuario, y protección y producción (Figura 17 y 18).



Figura 17. a) pastos en la cuenca alta, b) cultivo de maíz y pastos en la cuenca alta, c) proceso de deforestación por el cambio de uso de suelo en la cuenca alta y d) arroz cultivado por finqueros en depresiones del terreno.

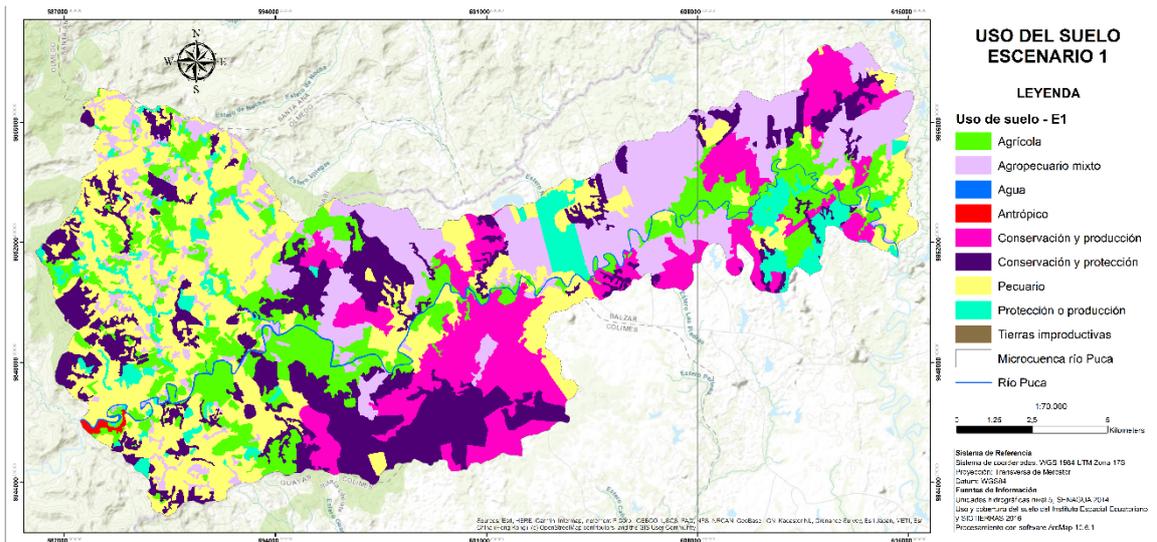


Figura 18. Mapa de uso de suelo del escenario 1.

El CN promedio se incrementa en un 0.1 (Anexo 19, 20 y 21) respecto al escenario base (71.0), generando un incremento en los picos de escorrentía, para los TR de 25, 50 y 100 años se obtiene 370.5, 423.3, 532.7 m³/s, respectivamente (Anexo 22) (Figura 19).

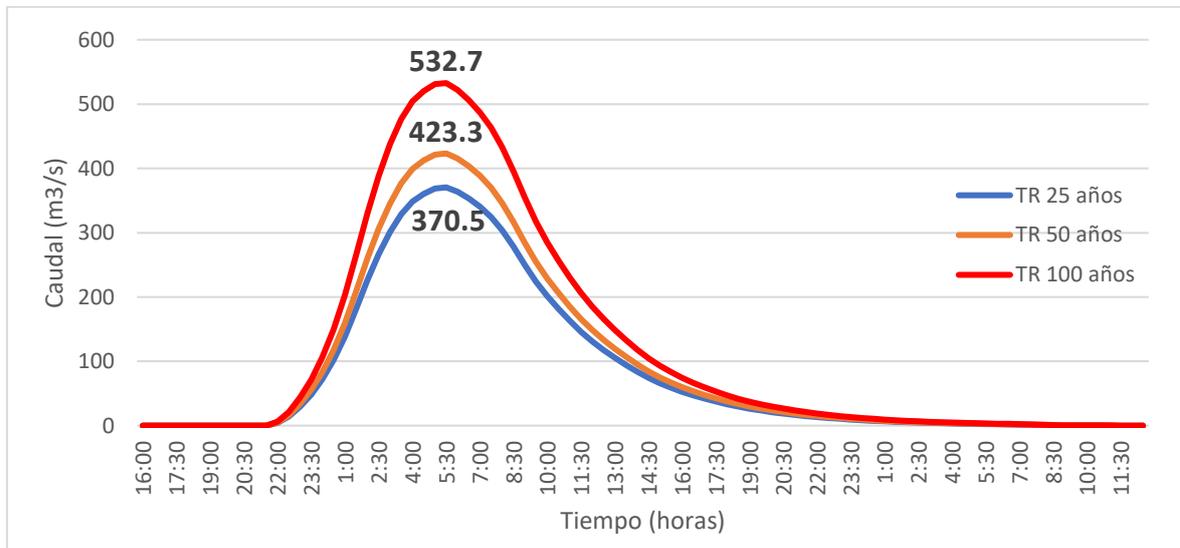


Figura 19. Hidrogramas de crecida para TR de 25, 50 y 100 años para cobertura de suelo del escenario 1.

4.3.2 Escenario 2

Se incrementa el área del uso agrícola por políticas de subsidio (kits agrícolas) al sector maicero para incrementar la oferta frente a la demanda de la industria de balanceados; también el uso de protección y producción por los proyectos públicos de apoyo a plantaciones maderables comerciales que influyen en la expansión de plantaciones de teca en la cuenca media y alta; se redujo a más de la mitad el área de las zonas de conservación y protección por la ampliación de la superficie de los otros usos (Figura 20 y 21).

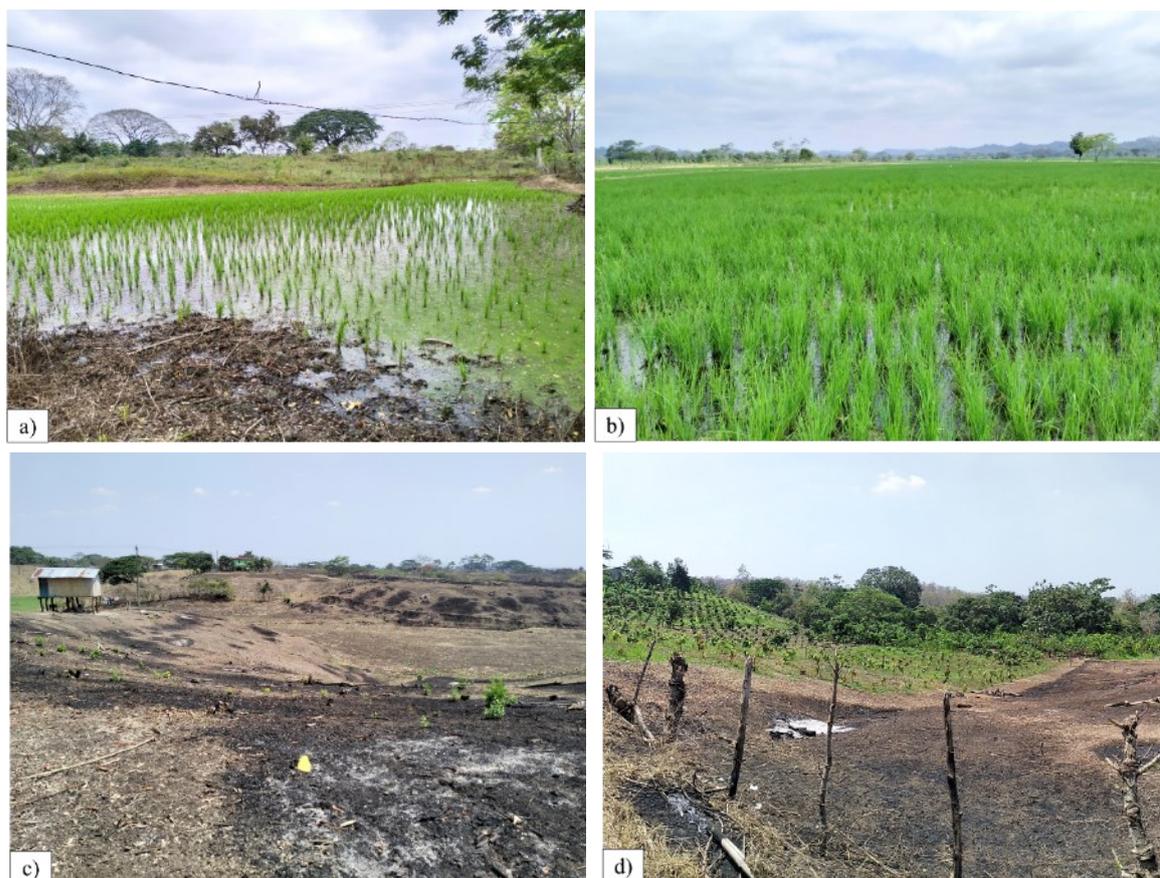


Figura 20. a) arroz cultivado en piscinas por finqueros (cuenca baja), arroz cultivado en piscinas en mayor extensión (cuenca baja), c) preparación del terreno para cultivo de maíz (cuenca baja), y d) cultivo de cacao CCN51 (cuenca baja).

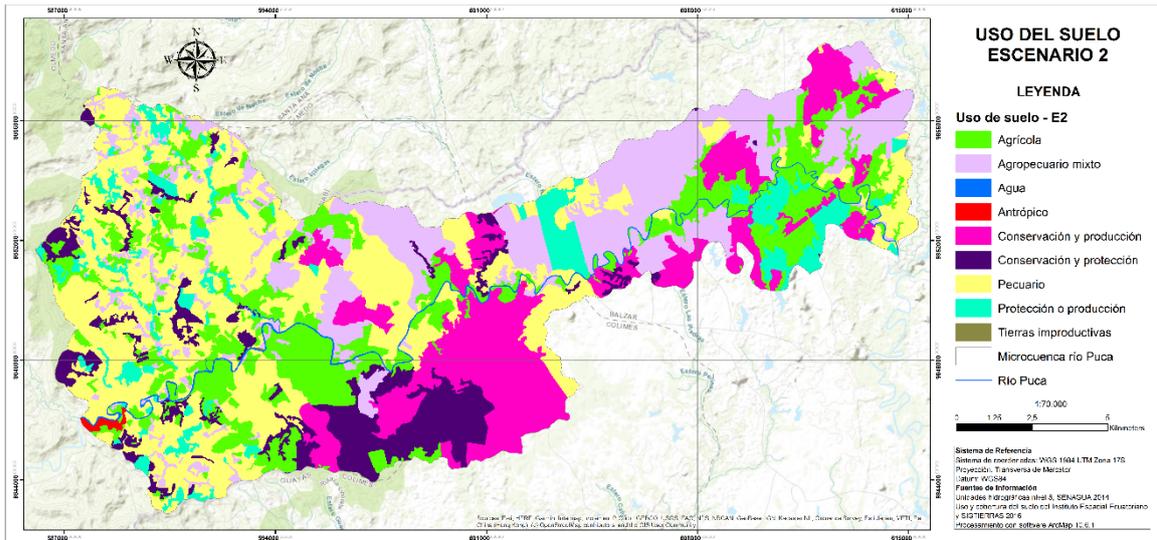


Figura 21. Mapa de uso de suelo del escenario 2.

Estos cambios incrementaron el valor de CN promedio (71.6) en 0.6 (Anexo 23, 24 y 25) con respecto al escenario base (71.0), para los TR de 25, 50 y 100 años se obtuvo 378.7, 432.1 y 542.4 m³/s, respectivamente (Anexo 26), siendo los caudales máximos de crecida mayores al del escenario 1 (Figura 22).

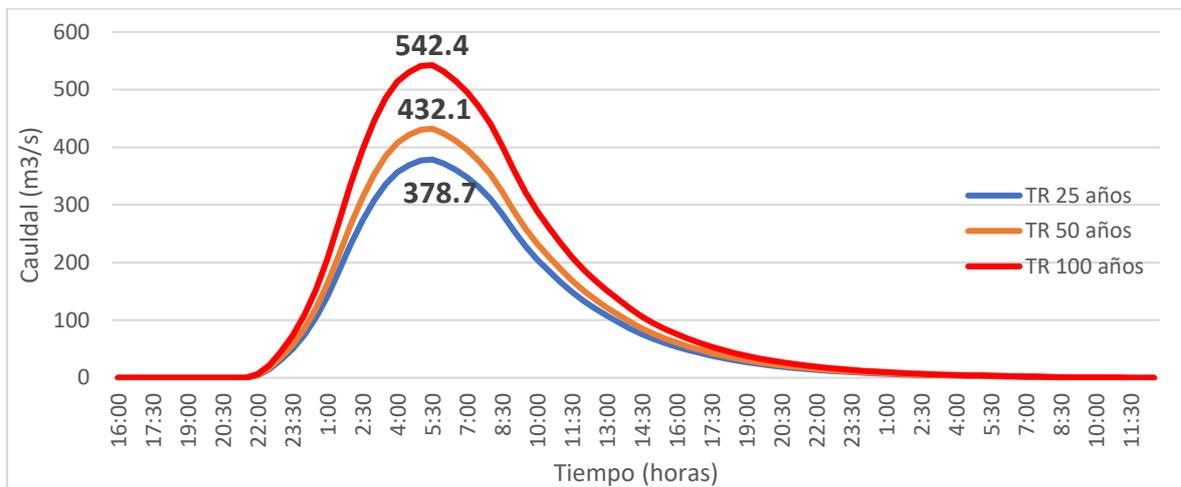


Figura 22. Hidrogramas de crecida para TR de 25, 50 y 100 años para cobertura de suelo del escenario 2.

4.3.3 Escenario 3

Para el escenario 3 se disminuyó drásticamente el área del uso conservación y producción especialmente en la cuenca media, mientras que los otros usos incrementaron sus superficies con el objetivo de ver el tipo de respuesta en la escorrentía (Figura 23 y 24).



Figura 23. a) cultivo de teca instalada en el noroeste de la microcuenca, b) cultivo de teca instalado en la parte alta de la montaña, c) elaboración de carbón con troncos de árboles que no son de interés para empresas madereras, d) cultivo de teca en la cuenca baja, e) maíz cultivado en la llanura de inundación del río Puca.

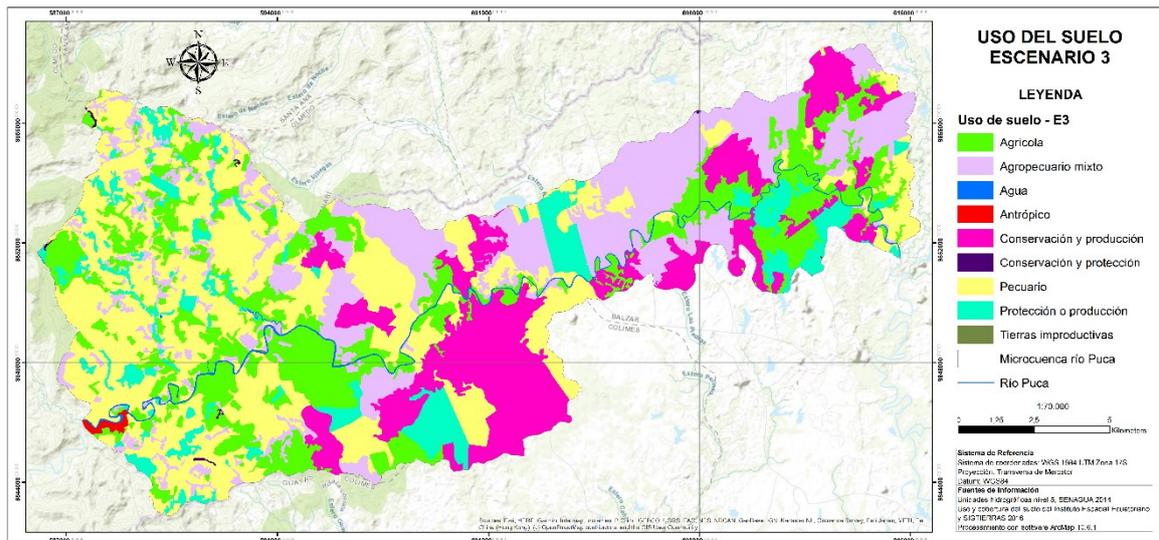


Figura 24. Mapa de uso de suelo del escenario 3.

El CN promedio (71.7) es superior en 0.7 (Anexo 27, 28 y 29) con respecto al escenario base (71.0), para los TR de 25, 50 y 100 años se obtuvo 378.7, 432.1 y 542.4 m³/s, respectivamente (Anexo 30), siendo los caudales máximos de crecida un poco más altos que el escenario 2 (Figura 25).

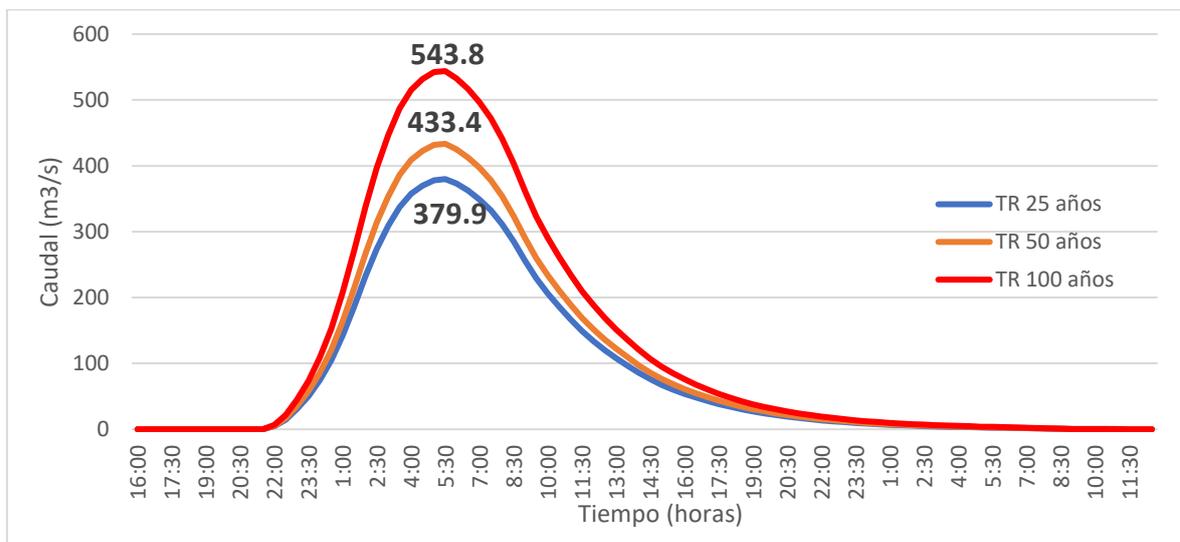


Figura 25. Hidrogramas de crecida para TR de 25, 50 y 100 años para cobertura de suelo del escenario 3.

4.3.4 Escenario de desbordamiento del río Puca en el punto de salida

Los caudales máximos de los hidrogramas de crecida para TR de 25, 50 y 100 años de cada uno de los escenarios fueron corridos en el HEC-RAS 6.3 utilizando las 5 secciones transversales del río Puca (Anexo 31).

Tabla 13. Elevación de la superficie de agua para cada escenario y TR en el punto de salida de la microcuenca.

TR	Estación de flujo (River Sta)	Caudal Total (Q Total) (m ³ /s)	Elevación de la superficie del agua (W.S.Elev) (m)	Velocidad del Canal (Vel Chnnl) (m/s)	Área de flujo (Flow Area) (m ²)
25	1	369.4	5.39	2.49	148.63
25	1	370.5	5.40	2.49	148.95
25	1	378.7	5.46	2.50	151.36
25	1	379.9	5.47	2.50	151.71
50	1	422.2	5.75	2.58	163.79
50	1	423.3	5.75	2.58	163.98
50	1	432.1	5.80	2.60	166.20
50	1	433.4	5.81	2.61	166.53
100	1	531.5	6.31	2.83	189.98
100	1	532.7	6.31	2.83	190.15
100	1	542.4	6.36	2.85	192.41
100	1	543.8	6.36	2.85	192.73

Fuente: Elaboración propia del autor.

Los resultados obtenidos (Tabla 13) muestran que el escenario en donde se genera inundación o desbordamiento es en el segundo para un TR de 50 años, en donde el hidrograma presenta un máximo caudal de 432.1 m³/s y alcanza una elevación de 5.80 m, superando el nivel del borde del margen izquierdo del río Puca (5.72 m), para generar su desbordamiento como se observa en la Figura 26.

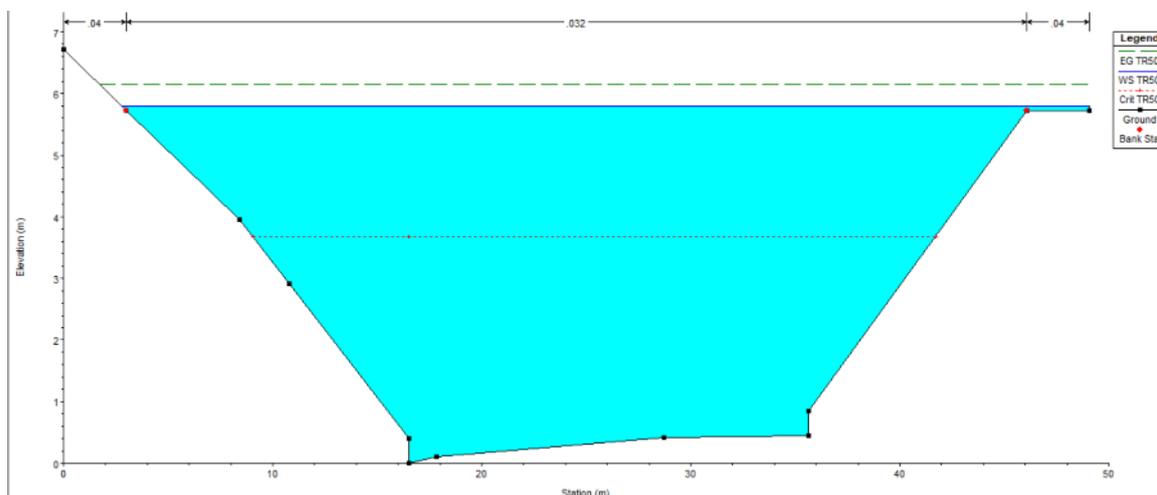


Figura 26. Sección transversal 1 del río Puca en el punto de salida de la microcuenca.

A partir de este máximo caudal (432.1 m³/s) la inundación es inminente, coincidiendo con la experiencia vivida por las familias campesinas que viven y circulan en este sector.

5 DISCUSIÓN

5.1 Erosión hídrica

El cambio de uso y cobertura de suelo en las cuencas tiene como una de sus consecuencias la pérdida de suelo, debido a la erosión hídrica, afectando la producción agrícola y pecuaria y la degradación de este recurso.

La microcuenca al encontrarse en las provincias de Guayas y Manabí con 13602.5 (61%) y 8803.3 ha (39%), respectivamente, existe un historial de cambio de uso y cobertura de suelo, debido a actividades antrópicas que se basan en la implementación de cultivos de ciclo corto y pastos a través de la eliminación de cobertura forestal.

El Ministerio del Ambiente estimo que la tasa de deforestación bruta anual promedio para Manabí y Guayas entre el 2014 y 2016 fue de 9886 y 8.379 ha año⁻¹, respectivamente, para el 2016 y 2018 fue de 12533 y 6287 ha año⁻¹(MAE, 2019c, 2019d), indicando que la tendencia de incremento de la frontera agrícola sigue vigente, a través del cambio de cobertura forestal, la cual inicio desde mediados del siglo XX en centro y norte de la región Costa (Sierra et al., 2021).

De acuerdo con el estudio realizado por Pacheco et al. (2019) sobre el riesgo de erosión en la provincia de Manabí, para el cantón Olmedo en donde se encuentra una parte de la zona de estudio se estimó un nivel medio, debido a que las pendientes van de bajas a moderadas y las precipitaciones son regulares (Pacheco et al., 2019).

No obstante, en la valoración realizada por el GAD Municipal de Olmedo (2019) sobre la erosión hídrica en su territorio se determinó que existe un nivel alto, medio y bajo del 28.7 (6689.1 ha), 53.1 (12351.6 ha) y 5.8% (1358.7 ha) de la superficie total, respectivamente, indicando que en más de la cuarta parte del territorio cantonal se encuentra latente esta amenaza, mientras que la mitad aún se encuentra sin mayor problema, lastimosamente no existe un mapa que indique la distribución espacial de este peligro para cruzarlo con el área de estudio.

En la evaluación realizada por el GAD Municipal de Colimes (2014) indica que la erosión hídrica está presente en el 90.4 % de la superficie cantonal, dentro de este porcentaje el nivel bajo y medio ocupan el 55.3 y 13.3%, respectivamente. De acuerdo con la distribución espacial de la amenaza, en la zona de estudio se encuentra nivel muy bajo, bajo y medio, siendo el de mayor proporción el segundo (GAD Municipal de Colimes, 2014).

En cambio, el GAD Municipal de Balzar (2014) no realiza ningún análisis de la amenaza de erosión hídrica (GAD Municipal de Balzar, 2014). Sin embargo, en la zona de investigación existe pequeñas colinas en donde se cultiva de maíz, cuya preparación del suelo se hace a través de quema, así que el riesgo, aunque leve está presente.

El estudio de ATUK (2021) identificó áreas prioritarias de conservación y restauración para el control de erosión en la subcuenca del río Daule, en la microcuenca se determinó zonas con nivel de baja, moderada, alta y muy alta que representan el 8, 38, 36 y 19% de la superficie total, respectivamente (ATUK, 2021).

Los porcentajes y la distribución espacial determinada por ATUK (2021) son similares con respecto a los resultados obtenidos en el estudio (normal (17%), ligero (33%), moderado (34%) y severo (16%)), a pesar de que aplican otra metodología utilizando la herramienta HIRO (Herramienta de Identificación Rápida de Oportunidades para la Infraestructura Natural).

Con respecto a la valoración de la erosión hídrica, Gutiérrez & Silva (2020) determinó que 11 microcuencas ubicadas al lado occidental de la subcuenca del río Daule (provincia de Manabí) tienen un nivel de erosión catastrófico ($> 200 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$), una de esas microcuencas forma parte de la zona de estudio, es el Estero Boquerón, ubicado en el noroeste de la microcuenca con el 99% de su área en la zona de estudio, se estableció que la erosión hídrica media anual es de $739.9 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$ (Gutiérrez & Silva, 2020), mientras que para toda la microcuenca del río Puca es de $7.4 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, con un mínimo y máximo de 0.08 y $62.21 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, respectivamente (Tabla 14).

Tabla 14. Parámetros obtenidos de la erosión hídrica.

Parámetros	Mínimo	Promedio	Máximo	Desviación típica
R ($\text{MJ mm h}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$)	490.32	544.00	596.03	30.39
K ($\text{t h ha MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ ha}$)	0.0200	0.0222	0.0312	0.0010
LS	0.03	1.93	14.70	2.05
C	0.22	0.32	0.49	0.03
P	1	1	1	
A ($\text{t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$)	0.08	7.45	62.21	7.95

Fuente: Elaboración propia del autor.

Al revisar la erosividad (R) del Estero Boqueron el valor obtenido ($675 \text{ MJ mm h}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) es mayor con respecto al rango (558.73 a $588.99 \text{ MJ mm h}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) en donde se ubica esta microcuenca en la zona de estudio ($596.03 \text{ MJ mm h}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$) (Tabla 14).

Esta diferencia se debe por la interpolación realizada de este factor para toda la subcuenca, en donde la estación meteorológica M1225 La Sierrilla, al localizarse más al noroccidente de la microcuenca del río Puca, influyó para incrementar los valores de erosividad, debido a que presenta mayor rango de precipitación que la estación M0166 Olmedo Manabí. No obstante, para este estudio no se obtuvo acceso a los datos históricos de precipitación de esta estación.

Con respecto a la erodabilidad (K) del Estero Boquerón su valor promedio es de $0.018 \text{ t h ha MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, este no se encuentra en el rango de $0.0225 - 0.0234 \text{ t h ha MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ obtenido en la investigación, esta diferencia se debe por la fuente de información, en este

estudio se tomaron los datos de las calicatas realizadas tanto dentro como fuera de la microcuenca del río Puca, mientras que para la subcuenca se utilizó información del mapa digital de suelos del mundo de la FAO/UNESCO cuya escala es de 1:5000000 (FAO-UNESCO, 1977), generando una subestimación del factor K.

El máximo rango del factor LS del Estero Boquerón es de 107.89 a 346.83, mientras que en el estudio se determinó que el rango máximo para esta microcuenca es de 6.92 a 14.70, habiendo una gran diferencia entre ambos.

En el estudio realizado por Calderón (2020) en la subcuenca Alamor, ubicada en la provincia de Loja, cuya superficie es de 1098 km² con un rango altitudinal que va de 2906 y 107 m.s.n.m., en donde se aplicó la misma metodología para la determinar el factor LS, para la zona montañosa con topografía empinada, se determinó que está en el rango de 17.86 a 84.20, mientras que para las partes bajas y planas se encuentra en el rango de 0.03 a 2.01(Calderón, 2020).

El estudio ejecutado por Salazar (2016) en la cuenca del Estero Potrerillos, ubicada al noroeste de la provincia del Guayas, con un área de 146.844 km² y un rango altitudinal que va de 220 a 20 m.s.n.m., también se aplicó la misma metodología para la determinar el factor LS, el rango más alto de 14.07 a 19.56 está al oeste de unidad hidrológica, en la zona montañosa del cantón Pedro Carbo, en cambio, las zonas planas se ubican en el rango más bajo que va de 0.04 a 1.49 y este cubre el 83.1% del área total (Salazar, 2016).

Los valores del factor LS de los estudios anteriormente mencionados coinciden con los rangos obtenidos en este estudio (mín. 0.03 y máx. 14.70). Sin embargo, es al contrario con los obtenidos para el Estero Boquerón, indicando que existe una sobrevaloración y genera sobreestimación de la pérdida de suelo en esta unidad hidrológica.

Para la cobertura y manejo del suelo (C) en el Estero Boquerón se estableció un valor de 0.13, el cual no está en los rangos calculados en este estudio (mín. 0.22 y máx. 0.49). Para su determinación se asignaron valores a las coberturas basadas en los valores de las tablas de Wischmeier y Smith, y Delgado y Vásquez (Delgado & Vásquez, 1997; Wischmeier & Smith, 1978).

Sin embargo, para Almagro et al. (2019) este método tradicional no permite capturar la variación espacial y temporal de la cobertura vegetal durante un año o varios años como se realiza con el NDVI (Almagro et al., 2019), debido a que los patrones de precipitación influyen sobre la distribución de la cubierta del suelo, así que se tiene que utilizar valores medios mensuales (Torres et al., 2020), trimestrales y anuales del factor C, antes que un valor predeterminado obtenido bajo otro tipo de condiciones climáticas.

Otra razón de la discrepancia es por la metodología de aplicada para este parámetro, los valores de NDVI de las imágenes fueron transformados para producir nuevas imágenes con el factor C reescalado (C_r) (Durigon et al., 2014).

En el estudio realizado por Carvalho et al. (2014) en la cuenca de Palmares-Ribeirão, ubicada al sur del estado de Rio de Janeiro, Brazil, cuyo rango de temperatura oscila entre 12 a 30 °C, con una precipitación anual de 1100 a 1700 mm y un rango altitudinal de 780 m. El rango del factor C_r obtenido fue de 0 a 0.6, sin embargo, más del 90% de la superficie total presenta valores menores o iguales a 0.3 que confirma el predominio del uso del suelo agrícola, con cobertura vegetal permanente, edificaciones y suelo desnudo que ocupa pequeños parches (Carvalho et al., 2014). Estos valores son similares con la zona de estudio, cuyo rango va de 0.2 a 0.5, con un valor promedio de 0.3, mostrando también la hegemonía del uso de suelo por la parte agrícola y pecuaria.

5.2 Hidrograma de crecidas

La microcuenca para el año 2000 tenía 4418.9 ha de bosque nativo, para el 2016 esa superficie se redujo a 2030.6 ha (MAE, 2019a, 2019b), en 16 años se eliminó más de la mitad de bosque (54%), resultado de la gradual expansión de los pastos y cultivos, realizado a través de la deforestación (tumba y quema). Este cambio de uso y cobertura del suelo forjó un cambio en la respuesta hidrológica de la microcuenca, debido a la alteración de las relaciones cuantitativas entre los elementos del ciclo del agua, como la intercepción, la infiltración o la evaporación (Costache et al., 2020).

El estudio realizado por Del Rocío et al. (2022) en la cuenca media del río Paraguay, muestra esta situación en los dos escenarios realizados, la eliminación de cobertura boscosa produjo hidrogramas en donde aumento del caudal máximo de manera considerable (hasta 4900 m³/s) y disminuía el caudal mínimo, al contrario, al incrementar el área boscosa los picos se suavizaron, disminuyendo los eventos extremos y aumentaba el caudal mínimo en la época de estiaje (Del Rocío et al., 2022).

Tabla 15 Máximos caudales para cada escenario y TR.

Escenarios	Número de Curva	Máximos caudales (m ³ /s)		
		TR 25	TR 50	TR 100
Base (2016)	71.00	369.4	422.2	531.5
1	71.07	370.5	423.3	532.7
2	71.62	378.7	432.1	542.4
3	71.70	379.9	433.4	543.8

Fuente: Elaboración propia del autor.

Los tres escenarios para diferentes TR generan diferentes tipos de respuesta de la microcuenca, mostrando que la disminución de área boscosa frente al incremento de los otros usos genera hidrogramas que tienden a aumentar los máximos caudales, siendo el más alto el escenario 3 para un TR de 100 años (Tabla 15).

En el estudio realizado por Miranda-Aragón et al. (2009) en la cuenca del río Grande se comparó el cambio de uso de suelo entre 1973 y 2006, la cobertura arbórea cambió por vegetación secundaria y pastizal, para el TR de 100 años el caudal máximo fue de 51.55 m³/s

para 1973, mientras que para el 2006 fue de 57.87 m³/s, concluyendo que no existe diferencia significativa en los valores de caudales máximos (Miranda-Aragón et al., 2009).

No obstante, en zonas con alto riesgo de inundación un incremento en los caudales del río implica aumento de la superficie inundable y mayor grado de afectación. En nuestro caso, a partir del escenario 2 para TR50 con un caudal máximo de 432.1 m³/s se genera inundación en el punto de salida de la microcuenca, sin embargo, existe la posibilidad de que en otras zonas también se inunden con el mismo caudal.

Los escenarios construidos se basaron en que el factor determinante para la generación de hietogramas es el cambio de uso de suelo. Sin embargo, en el estudio de Gallegos et al. (2013) en la cuenca Salinas al comparar cambios de uso de suelo bajo cuatro escenarios bajo la tormenta del huracán Stan, dos mostraban decrecimientos en los caudales máximos, mientras que en las otras no hubo diferencias significativas en los hidrogramas, concluyeron que los desastres ocurridos en el 2005 se debieron más a lo severo del evento meteorológico que al cambio de uso de suelo, pero los impactos hubieran sido amortiguados de mejor manera si la cuenca hubiera estado mejor conservada (Gallegos et al., 2013), misma conclusión la tiene Juárez-Méndez et al. (2009) para la cuenca del río Huehuetán en donde se estudió el cambio de uso de suelo entre 1990 y 2005 bajo el mismo evento de lluvia del huracán Stan (Juárez-Méndez et al., 2009).

En el caso de que se presentare el fenómeno El Niño en la microcuenca posiblemente se tenga las mismas conclusiones, pero con el agravante de que se genere una alta carga de sedimentos a la obtenida, debido a la tendencia de uso de suelo actual, como sucedió en el valle de la cuenca del río Portoviejo en donde la altura de sedimentos alcanzó hasta los dos metros en algunos sectores, dando una de las condiciones para incrementar la superficie de arroz (Rodríguez et al., 2020)

6 CONCLUSIÓN

El uso de suelo de la microcuenca del río Puca para el 2016 generó una pérdida promedio de suelo de $7.4 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$, con un mínimo de 0.08 y un máximo de $62,21 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$. El 17, 33, 34 y 16% de la superficie total, presentan un nivel de erosión normal, ligero, moderado y severo, respectivamente. La erosión severa se ubica en su mayoría en las montañas de la cordillera costera en donde el uso agrícola y pecuario dominan el paisaje de la microcuenca. La cantidad de sedimentos que se transfiere al cauce del río Puca es de $0,8 \text{ t ha}^{-1}\text{año}^{-1}$.

La condición de uso y cobertura de suelo al 2016 generó hidrogramas de crecida para TR de 25, 50 y 100 años con caudales máximos de 364.9, 422.2, y $531.5 \text{ m}^3/\text{s}$, respectivamente, estos se presentan después de 9.3 horas de iniciada la precipitación, para después ir disminuyendo paulatinamente.

Los tres escenarios para TR de 25, 50 y 100 años generaron 9 hidrogramas de crecida en los que los máximos caudales van incrementándose, mostrando que los cambios de respuesta hidrológica de la microcuenca se deben a la gradual eliminación de la cobertura de bosque húmedo y seco en la cuenca media y alta frente al incremento de otras coberturas y usos. En el escenario 2 para un TR de 50 años se genera el desbordamiento del río Puca, debido a que el hidrograma de crecidas presenta una avenida máxima de $432.1 \text{ m}^3/\text{s}$ en el punto de salida de la microcuenca.

Las actividades antrópicas a través del cambio de uso y cobertura de suelo en la microcuenca generan la pérdida del suelo (erosión hídrica), sedimentación del río Puca, cambios en la respuesta hidrológica de la microcuenca (hidrogramas de crecida) y en la afectación de las poblaciones rurales ubicadas en zonas susceptibles de inundación.

7 RECOMENDACIONES

Implementar acuerdos de protección y conservación de los bosques húmedos y secos de la microcuenca con los dueños cuyas fincas se encuentran bosques con poca alteración. Y con los productores que tienen bosques mediana y altamente alterados en sus propiedades para implementar proyectos de restauración.

Ejecutar proyectos de reforestación con especies nativas con presupuesto de los gobiernos locales en zonas priorizadas de la cuenca alta, para disminuir la escorrentía y el riesgo de erosión.

Realizar con los productores de la cuenca alta, media y baja, representantes de gobiernos locales, instituciones públicas y ONG's el ordenamiento del uso del suelo en la microcuenca, en donde se contemple límites de la frontera agropecuaria, zonas de conservación y recarga hídrica, áreas de restauración, superficies de cultivos y pastos que se transformarán en sistemas agroforestales y silvopastoriles, expansión del área urbana, delimitación de la llanura de inundación y recuperación del bosque ribereño.

Fortalecer las capacidades de los productores y técnicos de instituciones públicas y privadas sobre manejo y conservación de suelos, sistemas agroforestales y silvopastoriles de forma teórica-práctica en un plazo de 12 meses.

Implementar acciones piloto sobre manejo y conservación de suelos, sistemas agroforestales y silvopastoriles en varias zonas de la microcuenca para presentar los beneficios alcanzados a nivel económico, social, ambiental e hidrológico.

Invertir en la implementación y manejo de estaciones meteorológicas e hidrológicas para fines investigativos y de monitoreo, para indicar que las acciones realizadas o no realizadas a corto y mediano plazo mejoran o empeoran la respuesta hidrológica de la microcuenca.

8 BIBLIOGRAFÍA

- Alatorre, L., & Beguería, S. (2009). Los modelos de erosión: Una revisión. *Revista C&G*, 23(1-2), 29-48.
- Alewell, C., Borrelli, P., Meusburger, K., & Panagos, P. (2019). Using the USLE: Chances, challenges and limitations of soil erosion modelling. *International Soil and Water Conservation Research*, 7(3), 203-225. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.05.004>
- Almagro, A., Thomé, T. C., Colman, C. B., Pereira, R. B., Marcato Junior, J., Rodrigues, D. B. B., & Oliveira, P. T. S. (2019). Improving cover and management factor (C-factor) estimation using remote sensing approaches for tropical regions. *International Soil and Water Conservation Research*, 7(4), 325-334. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.08.005>
- Almorox, A., López, F., & Rafaelli, S. (2010). *La Degradación de los suelos por erosión hídrica: Métodos de estimación*. Editum Gaia, 4. <https://publicaciones.um.es/publicaciones/public/obras/ficha.seam?numero=993&edicion=1>
- Andreazzini, M. J., Degiovanni, S., Spalletti, P., & Irigoyen, M. (2014). Producción de sedimentos en una cuenca de Sierras Pampeanas, Córdoba, Argentina: Estimación para distintos escenarios. *Aqua-LAC*, 6, 38-49.
- Arnold, J., Kiniry, J., Srinivasan, R., Williams, J., Haney, E., & Neitsch, E. (2012). *Soil & Water assesment tool*. Texas Water Resources Institute. <https://swat.tamu.edu/media/69296/swat-io-documentation-2012.pdf>
- ATUK. (2021). *Memoria técnica de los mapas del portafolio de áreas prioritarias para la conservación y restauración en la cuenca del río Daule* (Memoria técnica N.º 4; p. 18). ATUK.
- Behera, M., Sena, D. R., Mandal, U., Kashyap, P. S., & Dash, S. S. (2020). Integrated GIS-based RUSLE approach for quantification of potential soil erosion under future climate change scenarios. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(11), 733. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08688-2>
- Borrelli, P., Robinson, D. A., Panagos, P., Lugato, E., Yang, J. E., Alewell, C., Wuepper, D., Montanarella, L., & Ballabio, C. (2020). Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015-2070). *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(36), 21994-22001. <https://doi.org/10.1073/pnas.2001403117>
- Calderón, J. (2020). *Assessment of water erosion risk in the subwatershed Alamor, river Catamayo-Chira, Ecuador* [University of Salzburg]. https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Calderon-Bustamante/publication/349236135_Assessment_of_water_erosion_risk_in_the_subwatershed_Alamor_river_Catamayo-Chira_Ecuador/links/6025f539299bf1cc26bce02b/Assessment-of-water-erosion-risk-in-the-subwatershed-Alamor-river-Catamayo-Chira-Ecuador.pdf

- Carvalho, D. F. de, Durigon, V. L., Antunes, M. A. H., Almeida, W. S. de, & Oliveira, P. T. S. de. (2014). Predicting soil erosion using Rusle and NDVI time series from TM Landsat 5. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 49(3), 215-224. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2014000300008>
- Catuto, M. M., Montalvan, F. J., & Rubira, G. (2020). Hydrological Modeling of the Manglaralto River for the Generation of Flood Maps (Santa Elena-Ecuador). *Proceedings of the 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: Engineering, Integration, And Alliances for A Sustainable Development* "Hemispheric Cooperation for Competitiveness and Prosperity on A Knowledge-Based Economy". The 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: Engineering, Integration, And Alliances for A Sustainable Development" "Hemispheric Cooperation for Competitiveness and Prosperity on A Knowledge-Based Economy". <https://doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.213>
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied hydrology*. McGraw-Hill.
- Cisneros, J., Cholaky, C., Cantero Gutiérrez, A., Gonzáles, J., Reynero, M., Diez, A., & Bergesio, L. (2012). *Erosión hídrica: Principios y técnicas de manejo* (1a ed.). UniRío.
- Concha, G. (2009). *Caracterización y evaluación de la cuenca alta del río Santa Rosa* [Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/118>
- Costache, R., Bao Pham, Q., Corodescu-Roșca, E., Cîmpianu, C., Hong, H., Thi Thuy Linh, N., Ming Fai, C., Najah Ahmed, A., Vojtek, M., Muhammed Pandhiani, S., Minea, G., Ciobotaru, N., Cristian Popa, M., Diaconu, D. C., & Thai Pham, B. (2020). Using GIS, Remote Sensing, and Machine Learning to Highlight the Correlation between the Land-Use/Land-Cover Changes and Flash-Flood Potential. *Remote Sensing*, 12(9), 1422. <https://doi.org/10.3390/rs12091422>
- De Noni, G., & Trujillo, G. (1986). La erosión actual y potencial en Ecuador: Localización, manifestaciones y causas. En *La erosión en el Ecuador* (pp. 5-14). CEDIG. <https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:23659>
- Del Rocio, A., Báez, J., & Echeverría, C. (2022). Análisis de los eventos de inundación del río Paraguay en Asunción, considerando los efectos causados por el cambio de uso/cobertura del suelo. Años de estudio: 2014, 2015-2016 y 2019. *Investigaciones y Estudios - UNA*, 2(13). <https://doi.org/10.47133/IEUNA22202b>
- Delgado, F., & Vásquez, I. (1997). *Modelo Índice de Productividad con aplicación a la conservación de suelos* (p. 14). Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial (CIDIAT).
- Durigon, V. L., Carvalho, D. F., Antunes, M. A. H., Oliveira, P. T. S., & Fernandes, M. M. (2014). NDVI time series for monitoring RUSLE cover management factor in a tropical watershed. *International Journal of Remote Sensing*, 35(2), 441-453. <https://doi.org/10.1080/01431161.2013.871081>

- EMAPAG-EP. (2017). *Plan de manejo de la cuenca del río Daule: Diagnóstico situacional* (p. 249).
- Escobar, J. (2021). *Análisis comparativo entre rusle y el análisis multicriterio, para obtener la erosión hídrica en la microcuenca del río Amarillo, El Oro Ecuador* [Pregrado, Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/56776>
- Espinosa, J., Moreno, V., & Bernal, G. (2022). *Suelos del Ecuador: Clasificación, uso y manejo* (Primera). Instituto Geográfico Militar.
- FAO, & GTIS. (2015). *Estado mundial del Recurso Suelo: Resumen técnico*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- FAO-UNESCO. (1977). *Digital Soil Map of the World* [Map]. <https://data.apps.fao.org/map/catalog/srv/eng/catalog.search#/metadata/446ed430-8383-11db-b9b2-000d939bc5d8>
- GAD Municipal de Balzar. (2014). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Balzar*. http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/0960000300001_DIAGNOSTICO%20PDOT%20BALZAR_15-01-2015_17-14-31.pdf
- GAD Municipal de Colimes. (2014). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Colimes 2014-2019*. <https://multimedia.planificacion.gob.ec/PDOT/descargas.html>
- GAD Municipal de Olmedo. (2019). *Plan de desarrollo y ordenamiento territorial cantón Olmedo 2019-2023*. <https://olmedo.gob.ec/index.php/transparencia/category/1507-plan-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial-2019-2023>
- Gaitán, J., Navarro, M. F., Vuegen, L. T., Pizarro, M. J., Carfagno, P., & Rigo, S. (2017). *Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina* (1ra ed.). INTA.
- Gallegos, D., López, P., Gonzáles, R., Domínguez, F., Velasco, J., & Vásquez, I. (2013). Modelación hidrológica para cuatro escenarios de cobertura vegetal y uso de suelo, en la cuenca del río Salinas, Chiapas, México. *La Candonia*, 7(2), 97-102.
- Gutiérrez, C. (2014). *Hidrología básica y aplicada*. Editorial Universitaria Abya Ayala. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6758/1/Hidrologia%20basica%20y%20aplicada.pdf>
- Gutiérrez, C., & Silva, J. (2020). *Estudio de erosión hídrica para la priorización de una microcuenca de la subcuenca del río Daule, responsable de la turbiedad del agua cruda captada para Guayaquil* (p. 70) [Technical report]. International Water Service - INTERAGUA.
- Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*, 56(3), 275. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56\[275:EDOSAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2)
- Ibarra, A. (2022). *Propuestas de diseño de infraestructura Hidráulica y Sistemas de alerta temprana para reducir los riesgos por inundaciones en la zona el Saltadero*,

- provincia de los Ríos* [Maestría en Ingeniería Civil con mención en Hidráulica, Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/62974>
- IGM. (2013). *Base continua escala 1:50000, formato shape* [Map]. Instituto Geográfico Militar. <http://www.geoportaligm.gob.ec/portal/index.php/cartografia-de-libre-acceso-escala-50k/>
- INAMHI. (2019). *Determinación de ecuaciones para el cálculo de intensidades máximas de precipitación* (p. 283) [Actualización del estudio de lluvias intensas]. Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.
- Jaramillo, J. (2015). *Estudio del riesgo por erosión hídrica del suelo utilizando el modelo U.S.L.E. mediante herramientas S.I.G. aplicando en la subcuenca río Portoviejo, provincia de Manabí* [Maestría, Universidad Central del Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/4235>
- Jordán, A., & Bellinfante, N. (2000). Cartografía de la erosividad de la lluvia estimada a partir de datos pluviométricos mensuales en el Campo de Gibraltar (Cádiz). *Edafología*, 7(3), 83-92.
- Juárez-Méndez, J., Ibáñez-Castillo, L., Pérez-Nieto, S., & Arellano-Monterrosas, J. (2009). Uso de suelo y efecto sobre los escurrimientos en la cuenca del río Huehuetan. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 1(2), 69-76.
- Ketema, A., & Dwarakish, G. S. (2021). Water erosion assessment methods: A review. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 27(4), 434-441. <https://doi.org/10.1080/09715010.2019.1567398>
- López, H. E. F., Menes, M. M., Mota, J. L. O., & Saens, E. M. (2003). Integración de la EUPS a un SIG para estimar la erosión hídrica del suelo en una cuenca hidrográfica de Tepatitlán, Jalisco, México. *Terra Latinoamericana*, 21(2), 233-244.
- MAE. (2019a). *Cobertura de la tierra 2000* [Map]. <http://ide.ambiente.gob.ec/geonetwork/srv/spa/catalog.search;jsessionid=01F50E6685737FCE78FF0E4DA5062F61#/metadata/64f61941-168c-4f4f-837b-5a3172c26d8e069>
- MAE. (2019b). *Cobertura de la tierra 2016* [Map]. <http://ide.ambiente.gob.ec/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/64f61941-168c-4f4f-837b-5a3172c26d8e072>
- MAE. (2019c). *Mapa de deforestación periodo 2014—2016* (Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Agroecológica) [Map]. <http://ide.ambiente.gob.ec/mapainteractivo/>
- MAE. (2019d). *Mapa de deforestación periodo 2016—2018* (Ministerio de Ambiente, Agua y Transición Agroecológica) [Map]. <http://ide.ambiente.gob.ec/mapainteractivo/>
- MAG. (2020). *Mapa Geopedológico del Ecuador continental 2009—2015* (Ministerio de Agricultura y Ganadería) [Map]. <http://geoportal.agricultura.gob.ec/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/0a26e971-5722-4a10-8a5e-d04298b0f017>
- MAG, & SIGAGRO. (2003). *Susceptibilidad a Erosión* [Map]. <https://sni.gob.ec/coberturas>
- MAGAP. (2002). *Cobertura y uso de la tierra* [Map]. <https://sni.gob.ec/coberturas>

- MAGAP. (2015). *Zonas susceptibles a inundaciones* [Map]. <https://informacion.gestionderiesgos.gob.ec:8443/centrodedescarga/contenidos/>
- Mera-Parra, C., Oñate-Valdivieso, F., Massa-Sánchez, P., & Ochoa-Cueva, P. (2021). Establishment of the Baseline for the IWRM in the Ecuadorian Andean Basins: Land Use Change, Water Recharge, Meteorological Forecast and Hydrological Modeling. *Land*, 10(5), 513. <https://doi.org/10.3390/land10050513>
- Monsalve Sáenz, G. (1999). *Hidrología en la ingeniería* (Segunda). Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Ochoa-Cueva, P., Fries, A., Montesinos, P., Rodríguez-Díaz, J. A., & Boll, J. (2015). Spatial Estimation of Soil Erosion Risk by Land-cover Change in the Andes OF Southern Ecuador. *Land Degradation & Development*, 26(6), 565-573. <https://doi.org/10.1002/ldr.2219>
- Oñate-Valdivieso, F., & Oñate-Paladines, A. (2019). El crecimiento urbano y su influencia en los caudales de crecida: Un caso de estudio en una cuenca urbana en los andes ecuatorianos. *Revista Geoespacial*, 16(2), 1. <https://doi.org/10.24133/geoespacial.v16i2.1347>
- Pacheco, H. A., Méndez, W., & Moro, A. (2019). Soil erosion risk zoning in the Ecuadorian coastal region using geo-technological tools. *Earth Sciences Research Journal*, 23(4), 293-302. <https://doi.org/10.15446/esrj.v23n4.71706>
- Panagos, P., Borrelli, P., & Meusburger, K. (2015). A New European Slope Length and Steepness Factor (LS-Factor) for Modeling Soil Erosion by Water. *Geosciences*, 5(2), 117-126. <https://doi.org/10.3390/geosciences5020117>
- Phinzi, K., & Ngetar, N. S. (2019). The assessment of water-borne erosion at catchment level using GIS-based RUSLE and remote sensing: A review. *International Soil and Water Conservation Research*, 7(1), 27-46. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.12.002>
- Radziuk, H., & Świtoniak, M. (2021). Soil erodibility factor (K) in soils under varying stages of truncation. *Soil Science Annual*. <https://doi.org/10.37501/soilsa/134621>
- Real, J. (2021). *Evaluación de infraestructura verde urbana mediante el uso de la herramienta SWMM. caso de estudio: Durán* [Maestría en Cambio Climático, Escuela Superior Politécnica del Litoral]. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/51473>
- Renard, K., Foster, G., Weesies, G., McCool, D., & Yoder, D. (Eds.). (1997). *Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)*. https://www.ars.usda.gov/arsuserfiles/64080530/rusle/ah_703.pdf
- Rodríguez, E., De la Cadena, L., & Ureta, A. (2020). *Las inundaciones en la cuenca del río Portoviejo ¿Un asunto resuelto?* Agronomes et Vétérinaires Sans Frontières.
- Rodríguez, J. G., & Suárez, M. G. (2008). Determinación del factor topográfico LS en los modelos RUSLE y RUSLE3D mediante el SIG sextante. *Cuadernos del CURIHAM*, 14, 67-74.

- Rogger, M., Agnoletti, M., Alaoui, A., Bathurst, J. C., Bodner, G., Borga, M., Chaplot, V., Gallart, F., Glatzel, G., Hall, J., Holden, J., Holko, L., Horn, R., Kiss, A., Kohnová, S., Leitinger, G., Lennartz, B., Parajka, J., Perdigão, R., ... Blöschl, G. (2017). Land use change impacts on floods at the catchment scale: Challenges and opportunities for future research. *Water Resources Research*, 53(7), 5209-5219. <https://doi.org/10.1002/2017WR020723>
- Salazar, N. (2016). *Restauración hidrológico-forestal en una cuenca hidrográfica. Caso de estudio: Cuenca del Estero Potrerillos (provincia de Guayas)* [Maestría en Recursos Hídricos, Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/15033/3/CD-6844.pdf>
- Sánchez, Y., Martínez-Graña, A. M., & Yenes, M. (2018). Cálculo del volumen de sedimentos erosionados en la cuenca vertiente del Jerte. *Geogaceta*, 64, 171-174.
- Sánchez, Y., Martínez-Graña, A., Santos-Francés, F., & Yenes, M. (2018). Influence of the sediment delivery ratio index on the analysis of silting and break risk in the Plasencia reservoir (Central System, Spain). *Natural Hazards*, 91(3), 1407-1421. <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3182-6>
- Sanz, M., Avendaño, C., Cobo, R., & Gómez, J. (1998). Determinación de la erosión en la Cuenca del Segura a partir de los sedimentos acumulados en los embalses. *Geogaceta*, N° 23, 135-138.
- Sierra, R., Calva, O., & Guevara, A. (2021). *La Deforestación en el Ecuador, 1990-2018. Factores promotores y tendencias recientes. Ministerio de Ambiente y Agua del Ecuador, Ministerio de Agricultura del Ecuador, en el marco de la implementación del Programa Integral Amazónico de Conservación de Bosques y Producción Sostenible* (p. 216). https://www.proamazonia.org/wp-content/uploads/2021/06/Deforestacio%CC%81n_Ecuador_com2.pdf
- Southgate, D., & Whitaker, M. (1992). Promoting Resource Degradation in Latin America: Tropical Deforestation, Soil Erosion, and Coastal Ecosystem Disturbance in Ecuador. *Economic Development and Cultural Change*, 40(4), 787-807. <https://doi.org/10.1086/451977>
- Tapia, J. (2012). *Modelización hidrológica de un área experimental en la cuenca del Río Guayas en la producción de caudales y sedimentos* [Magister en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas, Universidad Nacional de La Plata]. <https://doi.org/10.35537/10915/23364>
- Torres, E., Cortes, J., Uresti, J., Torres, L., & Rivera, P. (2020). Predicción de la erosión hídrica en la cuenca del Cañón del Sumidero, Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 11(8), 1903-1915. <https://doi.org/10.29312/remexca.v11i8.2747>
- Vélez, M. (2000). *Hidrología para ingenieros*. Facultad de Minas Universidad Nacional de Colombia. https://www.researchgate.net/profile/Velez-Maria/publication/338778972_HIDROLOGIA_PARA_INGENIEROS/links/5e2a13964585150ee77dede5/HIDROLOGIA-PARA-INGENIEROS.pdf

- Windhorst, D., Silva, B., Peters, T., Meyer, H., Thies, B., Bendix, J., Frede, H.-G., & Breuer, L. (2013). Impacts of Local Land-Use Change on Climate and Hydrology. En *Ecosystem Services, Biodiversity and Environmental Change in a Tropical Mountain Ecosystem of South Ecuador* (Vol. 221, pp. 275-286). Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-38137-9_20
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall-erosion losses—A guide to conservation farming*. U.S. Dept. Of Agric.
- Wu, L., Liu, X., & Ma, X. (2018). Research progress on the watershed sediment delivery ratio. *International Journal of Environmental Studies*, 75(4), 565-579. <https://doi.org/10.1080/00207233.2017.1392771>
- Yang, D., Kanae, S., Oki, T., Koike, T., & Musiake, K. (2003). Global potential soil erosion with reference to land use and climate changes. *Hydrological Processes*, 17(14), 2913-2928. <https://doi.org/10.1002/hyp.1441>

9 ANEXOS

Anexo 1. Precipitaciones mensuales (mm) de la estación meteorológica M0166 Olmedo Manabí.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
1991	132.8	374.0	378.0	235.9	77.3	7.8	0.0	0.0	0.0	0.0	9.2	197.9	1412.9
1992	411.0	426.6	548.9	658.8	347.6	43.6	21.0	0.0	0.0	69.8	0.0	30.0	2557.3
1993	271.2	534.7	365.8	377.5	102.7	29.3	7.1	0.0	21.4	114.4	0.0	74.5	1898.6
1994	439.7	127.2	346.1	201.7	243.4	13.5	0.0	0.0	2.0	14.8	38.8	246.6	1673.8
1995	339.3	286.7	168.4	369.8	36.8	1.8	2.6	4.0	0.0	0.0	1.2	2.6	1213.2
1996	117.4	268.0	264.8	63.6	2.6	1.0	1.2	1.2	0.0	0.0	1.0	22.0	742.8
1997	271.4	250.0	341.0	546.7	189.2	132.2	53.2	201.0	157.0	86.4	254.6	597.5	3080.2
1998	475.0	466.0	763.4	713.4	383.0	210.6	34.6	19.6	0.0	0.0	11.6	58.0	3135.2
1999	134.2	780.0	316.6	308.0	133.2	3.0	2.8	0.0	48.8	29.5	5.8	95.0	1856.9
2000	93.6	287.1	289.8	235.4	191.2	14.2	0.0	0.0	0.0	0.0	12.4	8.6	1132.3
2001	574.2	496.1	446.4	452.4	109.8	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	4.0	5.9	2090.6
2002	222.2	450.0	556.7	477.2	179.7	1.0	0.0	0.0	0.0	4.0	9.4	205.6	2105.8
2003	290.5	443.0	204.1	182.0	102.2	0.0	9.0	0.0	0.0	16.0	0.0	27.4	1274.2
2004	143.1	331.4	374.4	142.7	134.6	11.8	2.2	0.0	25.3	45.4	0.0	4.0	1214.9
2005	21.2	340.4	383.4	426.4	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	0.0	37.0	1212.4
2006	233.5	440.9	423.9	50.0	72.2	3.0	50.4	4.0	3.2	56.0	39.8	68.4	1445.3
2007	178.6	140.6	326.0	389.6	43.1	23.0	4.2	1.0	5.0	2.0	1.2	15.4	1129.7
2008	103.9	152.9	139.1	69.6	150.8	50.0	13.7	31.8	59.0	173.7	128.1	93.0	1165.6
2009	504.3	321.8	394.4	91.2	78.1	4.8	3.8	0.0	24.4	4.6	0.0	120.8	1548.2
2010	306.1	488.1	467.6	431.4	185.3	11.2	14.0	2.7	4.7	0.0	9.2	316.0	2236.3
2011	235.4	267.0	72.0	362.6	27.4	27.2	70.3	0.0	0.0	0.2	1.4	85.2	1148.7
2012	537.3	864.3	632.0	390.1	215.7	12.9	0.5	0.0	3.0	0.8	18.3	83.9	2758.8
2013	263.0	325.2	645.6	409.4	60.4	4.1	1.0	1.4	0.3	0.0	0.0	7.4	1717.8

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
2014	398.4	348.9	251.7	193.1	105.1	34.7	0.0	0.0	8.8	23.3	0.0	42.3	1406.3
2015	160.5	327.7	348.4	231.0	136.8	42.6	48.5	0.0	3.0	46.6	28.1	340.4	1713.6
Promedio	274.3	381.5	377.9	320.4	132.4	27.3	13.6	10.7	14.7	27.5	23.0	111.4	
Máx.	574.2	864.3	763.4	713.4	383.0	210.6	70.3	201.0	157.0	173.7	254.6	597.5	

Anexo 2. Precipitaciones mensuales (mm) de la estación meteorológica M0447 24 de Mayo (Jaboncillo).

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
1991	70.4	267.0	110.5	87.1	11.3	12.3	0.0	1.1	1.8	0.0	5.7	34.6	601.8
1992	232.1	248.1	242.5	344.2	121.7	19.7	1.9	0.0	0.0	1.1	0.0	72.4	1283.7
1993	108.0	542.6	350.9	159.1	12.4	95.9	0.6	2.6	0.4	2.6	0.3	6.1	1281.5
1994	174.5	157.1	366.0	103.2	210.7	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	54.3	1071.8
1995	187.7	256.1	61.7	117.8	38.1	0.6	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	2.7	667.1
1996	93.5	202.4	178.2	43.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	517.6
1997	135.5	222.7	218.5	306.8	135.9	94.9	105.8	59.7	44.0	70.2	230.6	297.6	1922.2
1998	204.3	310.5	437.6	410.6	290.9	119.8	40.8	13.6	0.0	0.0	19.0	7.7	1854.8
1999	40.8	373.7	337.7	413.4	104.3	0.0	0.6	1.2	5.6	9.8	23.8	16.3	1327.2
2000	143.3	239.8	307.6	209.1	52.4	25.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.4	985.0
2001	387.1	122.6	341.6	173.3	45.6	0.5	1.2	1.0	0.0	0.0	0.0	7.9	1080.8
2002	67.2	284.5	436.6	259.6	88.2	18.3	3.8	0.0	0.0	4.1	12.3	39.6	1214.2
2003	196.4	322.8	128.7	125.3	61.5	19.3	0.2	0.0	0.0	2.4	4.9	22.5	884.0
2004	87.2	182.5	263.5	72.7	111.7	5.8	7.9	0.2	4.3	4.0	0.8	0.0	740.6
2005	97.4	152.4	190.4	302.6	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	61.0	804.3
2006	168.8	372.9	187.4	173.2	26.0	1.5	3.8	2.4	2.6	15.5	2.4	15.1	971.6
2007	111.1	168.7	254.0	112.0	49.8	40.0	7.5	0.1	0.0	0.0	0.3	14.2	757.7
2008	262.9	284.9	269.4	150.4	49.2	0.0	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1021.8
2009	196.7	264.1	102.4	93.4	56.5	0.0	1.4	2.9	0.0	0.0	0.0	5.6	723.0

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
2010	263.0	245.1	377.7	184.8	175.3	9.5	12.5	1.1	0.0	0.0	0.0	257.2	1526.2
2011	164.9	220.0	69.2	266.7	51.5	22.1	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0	39.3	840.1
2012	313.2	414.8	334.0	200.6	98.9	6.6	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	70.5	1439.7
2013	254.7	183.0	288.9	214.8	14.9	2.3	0.0	0.0	4.3	1.1	0.0	8.3	972.3
2014	83.6	135.0	163.3	97.7	93.1	107.8	0.1	1.4	1.6	0.0	0.0	14.3	697.9
2015	146.3	180.3	216.5	181.2	205.6	128.2	89.0	2.3	3.6	27.1	14.6	113.2	1307.9
Promedio	167.6	254.1	249.4	192.1	84.2	29.5	11.5	3.7	2.8	5.5	12.6	46.7	
Máx	387.1	542.6	437.6	413.4	290.9	128.2	105.8	59.7	44	70.2	230.6	297.6	

Anexo 3. Precipitaciones mensuales (mm) de la estación meteorológica M0171 Camposano #2.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
1991	79.3	234.7	186.9	65.6	52.6	26.4	0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	34.9	683.6
1992	185.4	356.6	665.7	497.5	272.4	15.7	9.3	0.0	0.0	0.0	1.7	16.0	2020.3
1993	156.7	455.6	667.3	321.5	142.7	50.8	17.0	0.0	13.7	51.8	0.0	50.5	1927.6
1994	200.4	250.5	411.1	245.0	287.5	6.1	1.3	0.0	0.0	7.8	0.8	157.3	1567.8
1995	366.6	281.8	256.7	202.8	6.5	6.9	9.3	0.0	0.0	0.0	41.4	0.0	1172.0
1996	156.9	274.7	212.0	22.0	0.0	0.6	0.0	0.6	0.0	0.0	0.5	5.2	672.5
1997	203.2	295.5	351.7	389.8	198.7	77.6	116.2	68.8	107.0	34.1	394.4	400.7	2637.7
1998	520.0	580.6	521.4	612.4	357.2	292.3	132.8	6.6	0.0	0.0	0.0	0.0	3023.3
1999	25.7	437.4	340.9	422.7	157.0	1.2	11.6	3.0	98.2	6.2	0.0	20.7	1524.6
2000	106.9	226.9	325.4	378.6	226.5	10.4	0.0	0.0	0.0	0.0	3.4	2.5	1280.6
2001	414.8	172.7	380.8	480.3	93.6	0.0	0.0	0.0	6.0	0.0	1.2	2.3	1551.7
2002	127.5	444.8	515.2	446.3	50.8	12.2	0.0	0.0	1.2	2.1	23.6	35.9	1659.6
2003	171.4	289.8	109.0	141.0	231.7	0.0	0.0	1.6	0.0	1.6	0.0	2.3	948.4
2004	105.4	263.2	259.5	155.0	126.6	13.0	0.0	0.0	9.6	5.5	0.0	0.0	937.8

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
2005	5.3	268.7	295.6	293.8	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	19.3	885.9
2006	243.2	333.0	277.4	108.0	152.5	0.0	7.5	0.0	12.4	0.0	5.8	52.2	1192.0
2007	202.5	125.0	354.9	217.6	32.1	10.2	3.3	0.0	0.0	0.0	2.3	57.9	1005.8
2008	314.3	442.4	517.9	133.0	91.4	0.0	19.7	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1520.8
2009	256.7	310.2	389.1	193.6	121.9	0.0	12.5	0.0	2.0	0.0	0.0	32.7	1318.7
2010	253.9	301.4	210.0	254.1	164.3	4.5	0.0	0.0	0.0	0.0	6.2	225.2	1419.6
2011	138.4	196.8	89.0	418.1	40.4	38.0	6.1	0.0	0.0	1.6	0.0	39.3	967.7
2012	283.9	533.6	343.0	238.5	223.3	57.9	7.6	0.0	3.7	0.0	8.3	17.8	1717.6
2013	217.4	341.8	434.8	133.3	120.5	0.0	0.0	0.0	4.2	3.5	0.0	64.0	1319.5
2014	190.0	234.1	350.3	221.8	99.7	52.3	0.0	11.7	7.6	16.9	0.0	41.0	1225.4
2015	159.9	257.4	356.3	266.5	562.5	91.3	50.8	0.0	0.0	15.9	7.7	115.6	1883.9
Promedio	203.4	316.4	352.9	274.4	152.6	30.7	16.2	3.8	10.6	5.9	20.0	55.7	
Máx.	520.0	580.6	667.3	612.4	562.5	292.3	132.8	68.8	107.0	51.8	394.4	400.7	

Anexo 4. Precipitaciones mensuales (mm) de la estación meteorológica M0589 Guale.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
1991	98.2	374.0	88.2	48.0	122.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	78.9	810.2
1992	180.9	392.6	491.5	460.7	274.5	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.1	1819.7
1993	147.6	334.4	549.1	247.1	77.5	10.6	10.0	0.0	13.9	5.9	0.0	57.7	1453.9
1994	173.6	250.0	323.7	174.5	135.3	5.9	0.7	0.0	2.1	11.8	0.4	192.6	1270.7
1995	272.5	262.9	187.9	134.4	23.1	6.0	5.4	0.0	2.1	0.0	19.5	7.2	921.0
1996	149.6	394.1	174.8	19.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.3	754.5
1997	219.9	315.9	424.4	324.9	140.5	56.4	46.5	76.6	137.2	94.5	185.4	658.2	2680.4
1998	335.5	524.6	504.5	742.1	315.1	16.7	96.7	0.0	0.0	0.0	0.0	9.4	2544.6
1999	51.9	373.5	128.4	312.1	0.0	0.0	0.0	0.0	37.2	0.0	0.0	20.1	923.2
2000	118.0	240.3	248.3	301.3	111.0	6.3	0.0	0.0	2.1	0.0	1.6	0.0	1028.9

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
2001	301.2	218.0	297.1	397.8	57.9	5.2	0.0	0.0	7.3	0.0	0.6	0.0	1285.0
2002	130.2	330.0	415.3	365.5	40.8	6.5	0.0	0.0	0.0	2.5	10.3	44.3	1345.4
2003	97.9	246.0	104.7	106.2	91.2	0.0	18.5	0.0	0.0	0.0	0.0	137.3	801.8
2004	130.0	256.5	216.5	113.8	80.3	7.4	0.0	0.0	41.6	4.1	0.0	10.9	861.1
2005	0.4	123.9	146.8	158.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.6	459.9
2006	219.0	406.0	205.0	35.0	90.0	0.0	0.0	0.0	12.8	0.0	2.8	59.9	1030.4
2007	174.9	198.4	274.3	148.5	33.3	6.3	1.9	0.0	2.1	0.0	1.1	40.0	880.7
2008	241.4	329.0	417.7	68.2	57.0	0.0	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1123.3
2009	207.1	274.6	304.4	125.6	69.2	3.0	0.3	0.0	6.3	1.0	0.0	13.5	1005.0
2010	108.0	206.3	120.5	74.0	9.0	0.0	14.0	0.0	7.0	0.3	2.2	29.3	570.6
2011	42.4	58.0	78.4	26.3	7.5	12.3	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	9.0	261.8
2012	217.9	111.1	254.8	135.3	53.5	10.7	5.6	5.6	7.7	5.6	10.8	8.0	826.6
2013	361.6	323.5	510.5	126.1	55.8	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	5.6	13.0	1424.0
2014	498.5	380.4	207.5	254.1	91.8	30.4	5.6	6.2	12.7	5.6	5.6	50.8	1549.3
2015	184.9	312.2	550.4	256.8	187.1	61.8	62.2	8.3	8.1	12.3	15.9	170.9	1830.9
Promedio	186.5	289.5	289.0	206.2	85.0	10.3	11.1	4.7	12.5	6.2	10.7	66.9	
Máx.	498.5	524.6	550.4	742.1	315.1	61.8	96.7	76.6	137.2	94.5	185.4	658.2	

Anexo 5. Precipitaciones mensuales (mm) de la estación meteorológica M0470 Mocache.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
1991	96.8	411.3	299.0	132.5	40.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	28.9	157.6	1167.0
1992	404.5	374.0	371.8	490.3	416.9	40.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	78.2	2175.9
1993	260.6	475.6	391.5	356.8	115.4	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	126.0	1728.5
1994	306.9	283.5	227.0	214.8	42.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	196.0	1270.2
1995	262.3	169.6	83.7	255.2	16.0	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	2.2	8.9	807.8
1996	216.3	315.3	276.8	198.3	31.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	42.8	1081.5

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
1997	227.3	286.5	228.4	293.5	257.9	137.1	143.4	121.7	272.1	201.1	568.1	674.4	3411.5
1998	460.8	553.5	789.3	563.1	344.2	154.2	62.9	0.0	0.0	0.0	24.5	1.9	2954.6
1999	110.2	451.5	472.2	452.4	185.1	0.7	10.1	0.5	86.7	8.1	13.3	158.6	1949.4
2000	185.1	246.4	391.7	405.9	132.4	12.1	0.2	0.7	6.9	13.0	23.6	51.1	1469.1
2001	442.0	241.8	380.1	411.5	94.0	0.0	2.3	0.0	0.2	0.0	5.6	90.8	1668.3
2002	238.2	375.8	707.3	568.7	116.6	17.3	4.4	1.0	0.2	9.8	11.7	264.0	2315.0
2003	376.8	388.0	192.8	242.8	170.2	19.1	49.0	6.3	0.0	41.6	43.7	129.9	1660.2
2004	162.0	315.2	405.3	302.7	196.1	4.2	9.3	4.0	5.6	13.0	8.6	15.4	1441.4
2005	189.9	214.0	253.4	425.9	0.0	0.2	5.5	0.0	4.9	4.5	2.2	98.9	1199.4
2006	258.4	651.7	418.5	78.6	62.2	32.3	42.7	6.1	0.4	0.9	7.7	31.2	1590.7
2007	301.3	197.1	289.2	354.9	96.3	38.2	12.3	0.2	0.0	0.3	13.9	57.8	1361.5
2008	569.0	454.7	432.1	386.2	129.6	3.1	10.2	51.1	8.9	8.4	12.1	16.9	2082.3
2009	359.9	302.3	318.9	160.1	103.2	26.8	0.1	1.3	0.0	6.0	0.0	85.4	1364.0
2010	355.2	733.5	576.2	497.2	102.7	10.0	25.1	0.6	9.1	2.1	36.3	252.3	2600.3
2011	220.2	380.8	168.1	546.2	21.8	46.8	43.2	0.0	3.4	0.6	0.2	138.5	1569.8
2012	585.6	711.2	570.1	432.4	164.1	12.8	3.5	0.0	0.0	2.1	12.7	74.3	2568.8
2013	290.5	388.0	414.1	458.8	73.7	7.6	10.7	1.1	6.1	4.3	2.5	167.5	1824.9
2014	314.6	497.5	148.8	312.3	283.9	61.0	0.0	4.0	7.5	32.5	0.3	35.0	1697.4
2015	351.7	441.4	460.9	288.6	255.8	163.4	41.8	3.5	4.9	9.0	8.6	256.3	2286.0
Promedio	301.8	394.4	370.7	353.2	138.1	31.6	19.5	8.1	16.7	14.3	33.1	128.4	
Máx.	585.6	733.5	789.3	568.7	416.9	163.4	143.4	121.7	272.1	201.1	568.1	674.4	

Anexo 6. Precipitaciones mensuales (mm) de la estación meteorológica M0465 Ventanas INAMHI.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
1991	149.8	731.4	306.0	75.2	0.0	0.0	8.5	0.0	0.0	0.0	0.0	31.2	1302.1
1992	425.4	219.2	1080.0	1441.4	1127.8	0.2	1.1	0.0	0.0	0.0	10.0	180.0	4485.1
1993	762.4	519.0	767.4	490.0	55.5	11.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	166.5	2772.2
1994	1098.0	950.0	755.0	800.0	321.0	0.0	0.0	0.0	1.3	0.0	0.0	209.3	4134.6
1995	744.7	232.7	273.0	302.3	9.3	0.0	23.0	0.0	0.0	0.0	0.0	40.3	1625.3
1996	362.5	1043.5	750.6	45.5	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	116.2	2319.4
1997	601.6	266.7	1120.0	1075.2	472.0	450.0	160.0	620.0	623.0	686.0	1151.0	1220.0	8445.5
1998	1457.0	1434.0	1093.0	757.0	482.5	485.8	260.5	25.7	4.0	6.9	55.3	62.4	6124.1
1999	157.5	398.6	548.4	441.7	249.5	0.0	7.3	0.0	3.5	10.2	18.4	243.4	2078.5
2000	165.0	278.0	462.3	543.3	99.9	0.0	0.0	0.0	2.6	0.0	0.0	47.1	1598.2
2001	957.9	295.9	541.5	399.8	45.6	0.0	1.5	0.0	0.0	0.0	0.0	122.6	2364.8
2002	181.1	448.0	612.1	538.6	139.2	0.0	0.0	0.0	5.0	0.0	0.0	246.0	2170.0
2003	516.9	358.0	407.6	222.8	32.6	37.8	9.6	0.0	0.0	0.0	54.2	50.8	1690.3
2004	89.7	321.7	357.5	335.4	201.7	0.0	0.0	0.0	33.0	1.7	0.0	37.9	1378.6
2005	192.2	164.8	134.7	358.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	47.8	898.1
2006	266.8	809.1	399.6	37.4	75.9	33.4	0.0	0.0	0.0	0.0	21.5	135.1	1778.8
2007	434.6	209.2	514.0	259.9	98.2	37.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	154.5	1708.2
2008	464.5	828.6	467.7	492.4	191.2	0.0	0.0	3.5	17.5	40.5	11.0	24.0	2540.9
2009	507.9	202.7	217.4	123.0	35.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	359.0	1445.9
2010	481.3	410.1	516.1	441.3	156.1	0.0	53.1	0.0	11.0	0.0	16.5	326.1	2411.6
2011	583.6	352.4	137.5	355.4	30.7	23.0	69.0	5.0	8.1	0.0	0.0	106.0	1670.7
2012	526.0	485.1	768.2	486.0	283.2	14.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	46.7	2610.0
2013	344.8	444.9	543.3	499.9	107.1	0.0	0.0	0.0	2.0	4.0	0.0	27.4	1973.4
2014	525.8	522.1	261.8	175.1	263.0	1.5	0.0	13.2	0.0	0.0	0.0	103.0	1865.5
2015	367.3	487.4	585.6	433.5	484.2	157.6	35.5	0.0	0.0	0.0	0.0	344.2	2895.3

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
Promedio	494.6	496.5	544.8	445.2	198.5	50.1	25.2	26.7	28.4	30.0	53.5	177.9	
Máx.	1457.0	1434.0	1120.0	1441.4	1127.8	485.8	260.5	620.0	623.0	686.0	1151.0	1220.0	

Anexo 7. Precipitaciones mensuales (mm) de la estación meteorológica M0475 Colimes Balzar INAMHI.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
1991	92.2	280.2	56.8	75.6	59.5	25.2	14.5	13.3	18.1	13.3	13.3	81.2	743.2
1992	176.5	275.8	504.7	405.7	286.9	13.3	13.3	13.3	14.7	19.5	13.3	25.5	1762.6
1993	196.7	375.5	535.4	289.9	46.1	16.3	13.3	19.2	14.7	13.3	14.1	96.0	1630.7
1994	298.3	162.8	267.5	76.3	33.1	22.0	0.0	0.0	0.0	32.4	0.0	274.5	1166.9
1995	522.4	339.1	49.5	84.6	10.4	0.0	5.1	0.0	0.0	0.0	16.5	17.3	1044.9
1996	302.9	466.4	213.8	9.1	0.0	2.0	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	65.3	1065.1
1997	286.5	324.1	362.5	524.7	289.7	234.9	146.5	0.0	96.0	173.4	526.1	572.6	3537.0
1998	374.3	177.2	427.5	538.4	578.1	329.4	28.3	0.0	0.0	0.0	5.7	77.0	2535.9
1999	136.4	326.2	302.2	452.7	81.6	0.0	0.0	0.0	48.4	0.0	0.0	95.3	1442.8
2000	106.3	244.2	109.4	147.6	42.5	6.7	0.0	4.7	2.7	0.0	0.0	38.6	702.8
2001	401.5	314.1	354.3	252.0	33.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1355.5
2002	7.4	622.1	550.4	315.8	143.0	0.0	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	61.3	1703.5
2003	239.1	426.1	257.9	158.1	24.5	3.5	0.0	6.6	0.0	0.0	102.3	96.2	1314.3
2004	135.8	305.8	332.8	139.2	113.9	3.4	0.0	0.0	3.2	0.0	0.0	35.1	1069.2
2005	29.3	58.7	238.6	295.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	64.7	686.6
2006	365.5	539.9	316.5	56.5	22.4	0.0	0.0	2.0	0.8	0.0	0.0	15.0	1318.6
2007	295.6	44.9	310.6	318.1	34.7	3.5	0.0	0.0	0.0	0.0	2.3	3.0	1012.7
2008	511.0	475.7	223.1	206.7	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	0.0	15.0	1442.5
2009	330.8	319.1	191.0	0.0	12.8	13.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	77.7	945.2
2010	353.3	434.0	363.0	165.5	58.0	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	1.5	245.1	1627.4
2011	144.3	215.0	79.6	398.7	6.2	4.1	26.0	19.4	0.0	0.0	0.0	74.0	967.3

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
2012	319.7	370.2	429.5	384.0	251.3	21.0	0.0	63.5	0.0	0.0	0.0	33.0	1872.2
2013	240.9	332.0	403.4	259.5	45.5	1.0	0.0	0.0	0.0	4.0	0.0	41.1	1327.4
2014	201.3	345.7	146.9	120.4	55.8	7.5	0.0	0.0	0.0	4.5	0.0	12.0	838.3
2015	231.8	211.8	314.9	203.4	132.2	48.7	11.0	0.0	0.0	0.0	2.7	146.2	1302.7
Promedio	252.0	319.5	293.7	235.1	96.2	30.3	11.0	5.7	7.9	10.8	27.9	90.5	
Máx.	522.4	622.1	550.4	538.4	578.1	329.4	146.5	63.5	96.0	173.4	526.1	572.6	

Anexo 8. Precipitaciones mensuales (mm) de la estación meteorológica M466 Vinces INAMHI.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
1991	104.6	532.3	212.5	60.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	135.9	1045.8
1992	223.4	487.3	435.8	890.6	639.1	91.4	0.0	0.0	0.0	2.6	0.0	93.9	2864.1
1993	323.0	243.2	345.6	271.3	16.8	9.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1209.3
1994	323.6	157.2	284.0	300.5	46.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	174.1	1285.7
1995	353.2	225.4	107.5	191.4	12.2	0.0	5.3	0.0	0.0	0.0	9.3	0.0	904.3
1996	325.8	301.0	111.9	74.3	0.0	0.0	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	55.5	871.0
1997	229.5	248.6	297.8	314.8	162.5	92.3	114.8	61.1	414.5	81.9	316.1	718.2	3052.2
1998	656.1	689.3	523.6	806.2	710.4	129.3	41.6	4.1	2.5	0.0	3.0	39.6	3605.7
1999	93.8	259.2	376.6	479.7	228.3	3.1	3.2	0.0	2.4	3.3	6.0	217.0	1672.6
2000	110.6	283.3	412.2	186.4	41.5	9.8	0.0	0.0	1.7	0.0	0.0	29.9	1075.4
2001	514.2	320.8	404.5	312.5	40.9	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0	5.8	1601.8
2002	157.8	647.0	848.6	435.2	109.8	2.8	1.6	0.0	0.0	4.7	1.8	90.8	2300.1
2003	206.4	282.8	236.2	113.9	27.3	11.8	4.7	18.6	0.0	1.6	139.7	72.0	1115.0
2004	150.5	326.2	285.4	242.7	132.6	13.5	2.2	1.4	26.9	2.4	5.9	23.6	1213.2
2005	53.5	116.3	385.6	414.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	197.3	1167.4
2006	425.0	524.7	258.5	54.1	20.6	10.6	0.0	1.5	0.0	0.0	5.0	37.7	1337.7

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
2007	200.1	123.0	379.2	246.0	32.3	4.8	3.4	0.0	0.0	0.0	7.6	54.8	1051.2
2008	563.6	444.9	371.1	326.8	93.2	1.7	0.0	11.3	0.4	10.4	1.8	26.9	1852.1
2009	391.8	238.7	180.7	45.1	51.8	12.0	0.0	0.0	0.0	4.7	0.0	111.1	1035.9
2010	190.8	436.8	329.7	309.3	40.9	9.1	8.6	0.5	1.2	0.0	1.8	343.2	1671.9
2011	305.7	302.2	98.1	356.7	1.6	35.8	28.6	0.0	0.3	1.5	0.4	87.5	1218.4
2012	393.2	431.4	748.9	247.3	169.3	47.1	2.0	0.0	2.0	1.2	5.4	11.9	2059.7
2013	278.9	449.8	420.8	250.4	69.3	1.0	0.0	0.0	0.0	9.1	0.0	30.4	1509.7
2014	337.3	384.8	177.2	129.8	153.9	4.4	0.0	0.0	23.1	5.1	0.0	18.4	1234.0
2015	319.8	436.6	291.4	310.0	259.5	112.4	5.6	0.0	0.0	6.1	2.2	103.1	1846.7
Promedio	289.3	355.7	340.9	294.8	122.4	24.1	9.1	3.9	19.0	5.4	20.2	107.1	
Máx.	656.1	689.3	848.6	890.6	710.4	129.3	114.8	61.1	414.5	81.9	316.1	718.2	

Anexo 9. Valores del factor R para diferentes intensidades para TR de 2 años.

Tiempo (minutos)	Intensidad (mm h ⁻¹)	Precipitación (mm)	Energía Cinética (J m ⁻² mm ⁻¹)	EP (J m ⁻²)
5	446.6	37.2	3.57	132.9
10	249.1	41.5	3.35	138.9
15	177.1	44.3	3.21	142.3
20	139.0	46.3	3.12	144.6
25	115.2	48.0	3.05	146.3
30	98.8	49.4	2.99	147.6

<i>I</i> ₃₀	Total (J m ⁻²)	852.5
	E (MJ ha ⁻¹)	8.5
	Factor R (MJ mm h ⁻¹ ha ⁻¹ año ⁻¹)	842.2

<i>I</i> ₂₀	Total (J m ⁻²)	558.7
	E (MJ ha ⁻¹)	5.59
	Factor R (MJ mm h ⁻¹ ha ⁻¹ año ⁻¹)	776.4

<i>I</i> ₁₀	Total (J m ⁻²)	271.8
	E (MJ ha ⁻¹)	2.7
	Factor R (MJ mm h ⁻¹ ha ⁻¹ año ⁻¹)	677.2

<i>I</i> ₅	Total (J m ⁻²)	132.9
	E (MJ ha ⁻¹)	1.3
	Factor R (MJ mm h ⁻¹ ha ⁻¹ año ⁻¹)	593.5

Anexo 10. Perfiles de suelo utilizados para la determinación del factor K.

Nº	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Carbono Orgánico (%)
1	CG1-P111	A	0-28	44	38	18	1.04
		BC	28-57	52	32	16	0.52
		2Ab	57-92	40	38	22	0.87
2	CG1-P112	Ap	0-18	26	42	32	1.62
		A	18-35	20	36	44	0.70
		Ac _{ss}	35-68	16	38	46	0.75
3	CG1-P113	2C1	68-92	16	56	28	0.23
		Ap	0-20	28	42	30	1.10
		A	20-40	26	42	32	0.93
4	CG1-P114	BC	40-60	30	40	30	0.70
		Ap	0-15	36	44	20	0.70
		C1	15-30	50	38	12	0.52

Nº	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Carbono Orgánico (%)
		C2	30-73	22	64	14	0.35
		2C3	73-100	82	12	6	0.17
5	CG1-P115	A	0-12	42	44	14	2.20
		Bw	19329	42	38	20	0.75
		C1	52-89	62	26	12	0.46
		C2	89-120	42	40	18	0.52
		2Ab	120-140	24	44	32	0.52
6	CG1-P117	Ap	0-20	24	38	38	0.93
		AE	20-53	30	42	28	0.75
7	CG2-P047	Ap	0-10	38	32	30	1.97
		AC	10-35	44	24	32	0.46
8	CG3-P051	Ap	0-15	18	26	56	2.96
		AB	15-28	6	86	8	1.10
9	CG3-P052	Ap	0-14	18	30	52	1.16
		Bw	14-40	30	38	32	0.41
10	CG3-P057	A	0-5	56	34	10	0.99
11	CG4-P050	Ap	0-14	22	34	44	2.03
		Bw	14-54	28	30	42	0.58
		BC	54-80+	22	26	52	0.35
12	CG4-P053	Ap	0-12	22	36	42	2.44
		Bt	12-36	22	32	46	1.68
		BC	36-72	34	34	32	2.44
13	CG4-P054	Ap	0-11	12	50	38	1.57
		AB	11-25	18	38	44	0.29
		Bw1	25-48	12	36	52	1.51
14	CG5-P013	A1	0-5	39	34	27	0.93
		A2	5-20	45	36	19	0.17
		Bw	20-40	55	34	11	0.06
		BC	40-70	47	34	19	0.06
		C1	70-100	55	26	29	0.06
15	CG6-P023	A1	0-10	46	34	20	3.60
		A2	10-30	42	26	32	0.93
		Bt	30-55	30	22	48	0.64
		C1	55-80	38	22	40	0.41
		C2	80-110+	38	22	40	0.17
16	CG6-P024	Ap	0-23	72	20	8	0.29
		C1	23-30	46	32	22	0.29
		2C2	30-37	44	30	22	0.52
		3C3	37-56	34	36	30	1.68
		3C4	56-64	32	32	36	0.87
17	CG1-P033	A	0-40	32	32	36	1.22
		AC	40-65	46	20	34	0.35

Nº	Código	Horizonte	Profundidad (cm)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Carbono Orgánico (%)
18	CG1-P041	A	0-10	38	26	36	1.57
		Bw	10-30	32	36	32	1.22
		C1	30-50	54	26	20	0.23
19	CG1-P105	Ap	0-30	54	28	18	1.57
		AC	30-55	48	26	26	0.41
		C1	55-125	50	24	26	0.41
20	CG1-P109	A	0-13	54	28	18	2.67
		Bt	13-43	44	28	28	1.22
		BC	43-76	52	26	22	0.41
21	CG2-P052	A	0-13	42	32	26	1.68
		Bt	13-30	22	34	44	0.29
22	CG3-P130	Ap	0-10	24	44	32	1.22
		Bw	10-25	22	38	40	0.75
		BC	25-50	21	51	28	0.23
23	CG3-P137	Ap	0-30	53	31	16	3.60
		B	30-47	39	33	28	0.58
		Bt	47-88	29	27	44	0.35
24	CG5-P015	A	0-15	25	38	37	0.98
		Bt1	15-40	19	20	61	0.46
		Bt2	40-80	21	16	63	0.46
25	CG5-P016	A1	0-35	19	44	37	2.61
		A2	35-60	31	32	37	0.34
		Bss	60-100	29	28	43	0.17
		Cg	100-180+	25	66	9	0.11
26	CG5-P017	A1	0-20	42	32	26	1.28
		Bt	20-50	32	26	42	0.35
		BC	50-70	38	24	38	0.35
		C1	70-100	32	30	38	0.29
		C2	100-140+	40	32	28	0.35
27	CG5-P018	A	0-35	62	24	14	0.70
		C	35-65	74	10	16	0.06
		Acb	65-90	58	20	22	0.46
		C	90-115+	58	22	20	0.17
28	CG5-P022	Ap	0-15	14	46	40	1.56
		C	15-25	54	28	18	0.23
		2Ab	25-35	48	32	20	0.75
		2C	35-45	72	14	14	0.17
		3Ab	45-65	24	32	44	0.75
		3Bwb	65-100	42	30	28	0.17
29	CG5-P023	Ap	0-25	26	38	36	2.14
		Bt	25-55	24	32	44	0.58
		BC	55-85	22	22	56	0.40

Anexo 11. Factor K de cada uno de los perfiles de suelo.

Nº	Código	m_s (%)	m_{silt} (%)	m_c (%)	$orgC$ (%)	f_{csand}	f_{cl-si}	f_{orgc}	f_{hisand}	K_{USLE} (t h MJ ⁻¹ mm ⁻¹)	Factor	K_{RUSLE} (t h MJ ⁻¹ mm ⁻¹)
1	CG1-P111	45.33	36.00	18.67	0.81	0.20	0.88	1.00	1.00	0.18	0.13	0.0231
2	CG1-P112	19.50	43.00	37.50	0.83	0.22	0.83	1.00	1.00	0.18	0.13	0.0236
3	CG1-P113	28.00	41.33	30.67	0.91	0.20	0.85	0.99	1.00	0.17	0.13	0.0227
4	CG1-P114	47.50	39.50	13.00	0.44	0.20	0.92	1.00	1.00	0.18	0.13	0.0242
5	CG1-P115	42.40	38.40	19.20	0.89	0.20	0.89	0.99	1.00	0.18	0.13	0.0232
6	CG1-P117	27.00	40.00	33.00	0.84	0.20	0.83	1.00	1.00	0.17	0.13	0.0224
7	CG2-P047	41.00	28.00	31.00	1.22	0.20	0.80	0.99	1.00	0.16	0.13	0.0208
8	CG3-P051	12.00	56.00	32.00	2.03	0.28	0.87	0.98	1.00	0.24	0.13	0.0312
9	CG3-P052	24.00	34.00	42.00	0.79	0.21	0.79	1.00	1.00	0.16	0.13	0.0211
10	CG3-P057	56.00	34.00	10.00	0.99	0.20	0.93	0.99	1.00	0.18	0.13	0.0241
11	CG4-P050	24.00	30.00	46.00	0.99	0.20	0.76	0.99	1.00	0.15	0.13	0.0202
12	CG4-P053	26.00	34.00	40.00	2.19	0.20	0.79	0.98	1.00	0.16	0.13	0.0207
13	CG4-P054	14.00	41.33	44.67	1.12	0.24	0.80	0.99	1.00	0.19	0.13	0.0247
14	CG5-P013	48.20	32.80	21.00	0.26	0.20	0.86	1.00	1.00	0.17	0.13	0.0227
15	CG6-P023	38.80	25.20	36.00	1.15	0.20	0.77	0.99	1.00	0.15	0.13	0.0200
16	CG6-P024	45.60	30.00	23.60	0.73	0.20	0.84	1.00	1.00	0.17	0.13	0.0221
17	CG1-P033	39.00	26.00	35.00	0.79	0.20	0.77	1.00	1.00	0.15	0.13	0.0203
18	CG1-P041	41.33	29.33	29.33	0.90	0.20	0.81	0.99	1.00	0.16	0.13	0.0213
19	CG1-P105	50.67	26.00	23.33	0.80	0.20	0.83	1.00	1.00	0.16	0.13	0.0216
20	CG1-P109	50.00	27.33	22.67	1.43	0.20	0.83	0.98	1.00	0.16	0.13	0.0216
21	CG2-P052	32.00	33.00	35.00	0.99	0.20	0.81	0.99	1.00	0.16	0.13	0.0212
22	CG3-P130	22.33	44.33	33.33	0.73	0.21	0.85	1.00	1.00	0.18	0.13	0.0236
23	CG3-P137	40.33	30.33	29.33	1.51	0.20	0.82	0.98	1.00	0.16	0.13	0.0211
24	CG5-P015	21.67	24.67	53.67	0.63	0.20	0.71	1.00	1.00	0.14	0.13	0.0188

Nº	Código	m_s (%)	m_{silt} (%)	m_c (%)	$orgC$ (%)	f_{sand}	f_{cl-si}	f_{orgc}	f_{hisand}	K_{USLE} (t h MJ ⁻¹ mm ⁻¹)	Factor	K_{RUSLE} (t h MJ ⁻¹ mm ⁻¹)
25	CG5-P016	26.00	42.50	31.50	0.81	0.21	0.85	1.00	1.00	0.17	0.13	0.0229
26	CG5-P017	36.80	28.80	34.40	0.52	0.20	0.79	1.00	1.00	0.16	0.13	0.0208
27	CG5-P018	63.00	19.00	18.00	0.35	0.20	0.82	1.00	0.99	0.16	0.13	0.0213
28	CG5-P022	42.33	30.33	27.33	0.61	0.20	0.82	1.00	1.00	0.16	0.13	0.0217
29	CG5-P023	24.00	30.67	45.33	1.04	0.20	0.76	0.99	1.00	0.15	0.13	0.0203

Anexo 12. Precipitaciones para TR de 25 años.

Duración (t) (min)	Intensidad (I_{TR}) (mm/hora)	Profundidad Acumulada (mm)	Profundidad Incremental (mm)	Tiempo (min)		Precipitación (mm)
30	171.23	85.61	85.61	0	30	0.98
60	95.52	95.52	9.91	30	60	1.06
90	67.90	101.84	6.32	60	90	1.16
120	53.29	106.58	4.74	90	120	1.28
150	44.16	110.40	3.82	120	150	1.42
180	37.88	113.63	3.23	150	180	1.61
210	33.27	116.43	2.80	180	210	1.87
240	29.73	118.91	2.48	210	240	2.23
270	26.92	121.15	2.23	240	270	2.80
300	24.64	123.18	2.03	270	300	3.82
330	22.74	125.05	1.87	300	330	6.32
360	21.13	126.78	1.73	330	360	85.61
390	19.75	128.39	1.61	360	390	9.91
420	18.56	129.91	1.51	390	420	4.74
450	17.51	131.33	1.42	420	450	3.23
480	16.58	132.68	1.35	450	480	2.48
510	15.76	133.95	1.28	480	510	2.03
540	15.02	135.17	1.22	510	540	1.73
570	14.35	136.33	1.16	540	570	1.51
600	13.74	137.44	1.11	570	600	1.35
630	13.19	138.50	1.06	600	630	1.22
660	12.68	139.52	1.02	630	660	1.11
690	12.22	140.51	0.98	660	690	1.02

Anexo 13. Precipitaciones para TR de 50 años.

Duración (t) (min)	Intensidad (I_{TR}) (mm/hora)	Profundidad Acumulada (mm)	Profundidad Incremental (mm)	Tiempo (min)		Precipitación (mm)
30	184.40	92.20	92.20	0	30	1.06
60	102.87	102.87	10.67	30	60	1.15
90	73.12	109.68	6.81	60	90	1.25
120	57.39	114.78	5.10	90	120	1.38
150	47.56	118.90	4.12	120	150	1.53
180	40.79	122.37	3.47	150	180	1.74
210	35.83	125.39	3.02	180	210	2.01
240	32.02	128.06	2.67	210	240	2.41
270	28.99	130.47	2.41	240	270	3.02
300	26.53	132.66	2.19	270	300	4.12
330	24.49	134.67	2.01	300	330	6.81

Duración (t) (min)	Intensidad (I_{TR}) (mm/hora)	Profundidad Acumulada (mm)	Profundidad Incremental (mm)	Tiempo (min)		Precipitación (mm)
360	22.76	136.53	1.86	330	360	92.20
390	21.27	138.27	1.74	360	390	10.67
420	19.99	139.90	1.63	390	420	5.10
450	18.86	141.43	1.53	420	450	3.47
480	17.86	142.88	1.45	450	480	2.67
510	16.97	144.26	1.38	480	510	2.19
540	16.17	145.57	1.31	510	540	1.86
570	15.45	146.82	1.25	540	570	1.63
600	14.80	148.01	1.19	570	600	1.45
630	14.21	149.16	1.15	600	630	1.31
660	13.66	150.26	1.10	630	660	1.19
690	13.16	151.32	1.06	660	690	1.10

Anexo 14. Precipitaciones para TR de 100 años.

Duración (t) (min)	Intensidad (I_{TR}) (mm/hora)	Profundidad Acumulada (mm)	Profundidad Incremental (mm)	Tiempo (min)		Precipitación (mm)
30	210.74	105.37	105.4	0	30	1.21
60	117.57	117.57	12.20	30	60	1.31
90	83.56	125.34	7.78	60	90	1.43
120	65.59	131.17	5.83	90	120	1.57
150	54.35	135.88	4.71	120	150	1.75
180	46.62	139.85	3.97	150	180	1.99
210	40.94	143.30	3.45	180	210	2.30
240	36.59	146.36	3.06	210	240	2.75
270	33.13	149.10	2.75	240	270	3.45
300	30.32	151.61	2.50	270	300	4.71
330	27.98	153.91	2.30	300	330	7.78
360	26.01	156.04	2.13	330	360	105.37
390	24.31	158.02	1.99	360	390	12.20
420	22.84	159.89	1.86	390	420	5.83
450	21.55	161.64	1.75	420	450	3.97
480	20.41	163.29	1.66	450	480	3.06
510	19.40	164.87	1.57	480	510	2.50
540	18.48	166.36	1.50	510	540	2.13
570	17.66	167.79	1.43	540	570	1.86
600	16.92	169.15	1.37	570	600	1.66
630	16.23	170.46	1.31	600	630	1.50
660	15.61	171.72	1.26	630	660	1.37
690	15.04	172.93	1.21	660	690	1.26

Anexo 15. Grupo hidrológico B con sus respectivas coberturas, superficies y CN.

Cobertura	Área (ha)	CN
Albarrada/reservorio	0.8	0
Arroz	1511.2	75
Balsa	1.1	55
Banano	4.2	55
Banco de arena	1.5	0
Barbecho	240.8	56
Bosque húmedo medianamente alterado	4.5	66
Bosque húmedo poco alterado	63.4	60
Bosque seco medianamente alterado	665.9	66
Bosque seco poco alterado	1685.8	60
Cacao	231.1	55
Café	154.1	55
Cana de azúcar artesanal	4.8	78
Cana guadua o bambú	129.8	78
Centro poblado	0.5	65
Maíz	899.0	78
Maíz-frejol	41.2	75
Mango	39.9	55
Matorral seco medianamente alterado	1075.8	73
Matorral seco muy alterado	25.7	73
Matorral seco poco alterado	281.2	65
Misceláneo indiferenciado	704.0	78
Pachaco	3.4	55
Pasto cultivado	5064.4	61
Pasto cultivado con presencia de arboles	1645.2	65
Plátano	9.4	55
Rio doble	157.5	0
Sandia	11.8	75
Teca	186.1	66
Urbano	35.6	70
Vegetación herbácea de humedal poco alterada	66.6	58
Vegetación herbácea seca muy alterada	1607.7	86

Anexo 16. Grupo hidrológico C con sus respectivas coberturas, superficies y CN.

Cobertura	Área (ha)	CN
Arroz	53.3	83
Banano	0.2	70
Bosque seco medianamente alterado	126.3	77
Cacao	6.7	70

Cobertura	Área (ha)	CN
Centro poblado	0.0	77
Maíz	17.3	85
Matorral seco medianamente alterado	294.0	82
Matorral seco muy alterado	37.5	82
Matorral seco poco alterado	35.3	76
Misceláneo indiferenciado	38.2	85
Pasto cultivado	339.6	74
Pasto cultivado con presencia de arboles	708.4	72
Rio doble	2.5	0
Teca	128.6	77
Vegetación herbácea seca muy alterada	995.8	82

Anexo 17. Grupo hidrológico D con sus respectivas coberturas, superficies y CN.

Cobertura	Área (ha)	CN
Arroz	77.6	87
Barbecho	9.1	94
Bosque húmedo medianamente alterado	1.3	83
Bosque húmedo poco alterado	4.4	79
Bosque seco poco alterado	35.1	79
Cacao	74.4	77
Maíz	234.3	91
Matorral húmedo muy alterado	0.0	86
Matorral seco medianamente alterado	153.5	86
Matorral seco poco alterado	181.8	82
Misceláneo indiferenciado	44.0	89
Pasto cultivado	590.2	84
Pasto cultivado con presencia de arboles	777.7	84
Plátano	1.2	79
Rio doble	8.5	0
Teca	415.5	83
Vegetación herbácea de humedal medianamente alterada	1.1	78
Vegetación herbácea seca muy alterada	457.5	94

Anexo 18. Hidrogramas de crecida para TR de 25, 50 y 100 años.

Tiempo (horas)	Flujo Total (m³/s)		
	TR 25 años	TR 50 años	TR 100 años
16:00	0	0	0
16:30	0	0	0
17:00	0	0	0

Tiempo (horas)	Flujo Total (m ³ /s)		
	TR 25 años	TR 50 años	TR 100 años
17:30	0	0	0
18:00	0	0	0
18:30	0	0	0
19:00	0	0	0
19:30	0	0	0
20:00	0	0	0
20:30	0	0	0
21:00	0	0	0
21:30	0	0	0
22:00	4.3	5	6.5
22:30	14.2	16.4	21.1
23:00	29.7	34.3	44
23:30	48.7	56.1	71.8
0:00	72.2	83.2	106.2
0:30	101.7	117.1	149.3
1:00	138	158.8	202.3
1:30	181	208.3	265
2:00	225.4	259.1	329.2
2:30	265.7	305.2	387.2
3:00	299.9	344.2	436
3:30	327.6	375.6	475.2
4:00	347.5	398.1	503
4:30	359.5	411.5	519.2
5:00	367.6	420.4	529.9
5:30	369.4	422.2	531.5
6:00	362.8	414.3	520.8
6:30	352.6	402.3	505.2
7:00	339.8	387.4	486
7:30	323.5	368.6	461.9
8:00	303	345	431.9
8:30	277.5	315.7	394.6
9:00	249.5	283.6	354
9:30	223.4	253.8	316.4
10:00	201	228.3	284.4
10:30	181.3	205.8	256.3
11:00	162.7	184.7	229.9
11:30	145.8	165.4	205.8
12:00	130.7	148.3	184.5
12:30	117.4	133.1	165.7
13:00	105.3	119.5	148.7
13:30	94.1	106.7	132.9
14:00	83.5	94.8	118

Tiempo (horas)	Flujo Total (m ³ /s)		
	TR 25 años	TR 50 años	TR 100 años
14:30	74	84	104.5
15:00	65.8	74.7	92.9
15:30	58.8	66.7	83
16:00	52.6	59.7	74.3
16:30	47	53.3	66.4
17:00	41.9	47.6	59.2
17:30	37.3	42.4	52.7
18:00	33.2	37.7	46.9
18:30	29.6	33.6	41.8
19:00	26.3	29.9	37.2
19:30	23.5	26.6	33.2
20:00	21	23.8	29.6
20:30	18.7	21.3	26.5
21:00	16.7	19	23.6
21:30	14.9	17	21.1
22:00	13.3	15.1	18.8
22:30	11.9	13.5	16.8
23:00	10.6	12.1	15
23:30	9.5	10.8	13.4
0:00	8.4	9.6	11.9
0:30	7.5	8.5	10.6
1:00	6.7	7.6	9.5
1:30	6	6.8	8.5
2:00	5.4	6.1	7.6
2:30	4.8	5.5	6.8
3:00	4.3	4.9	6.1
3:30	3.9	4.4	5.5
4:00	3.5	4	4.9
4:30	3.1	3.6	4.4
5:00	2.8	3.2	4
5:30	2.5	2.8	3.5
6:00	2.2	2.5	3.1
6:30	1.9	2.1	2.7
7:00	1.6	1.8	2.2
7:30	1.3	1.5	1.8
8:00	1	1.2	1.4
8:30	0.8	0.8	1
9:00	0.5	0.5	0.6
9:30	0.3	0.4	0.4
10:00	0.2	0.3	0.3
10:30	0.2	0.2	0.2
11:00	0.1	0.2	0.2

Tiempo (horas)	Flujo Total (m ³ /s)		
	TR 25 años	TR 50 años	TR 100 años
11:30	0.1	0.1	0.1
12:00	0.1	0.1	0.1
12:30	0	0.1	0.1

Anexo 19. Grupo hidrológico B con sus respectivas coberturas, superficies y CN para escenario 1.

Cobertura	Área (ha)	CN
Albarrada/reservorio	0.8	0
Arroz	1521.4	75
Balsa	1.1	55
Banano	4.2	55
Banco de arena	1.5	0
Barbecho	42.6	56
Bosque húmedo medianamente alterado	2.4	66
Bosque húmedo poco alterado	63.4	60
Bosque seco medianamente alterado	490.4	66
Bosque seco poco alterado	1540.5	60
Cacao	231.1	55
Café	157.6	55
Caña de azúcar artesanal	4.8	78
Cana guadua o bambú	129.8	78
Centro poblado	0.5	65
Maíz	1030.8	78
Maíz-frejol	41.2	75
Mango	39.9	55
Matorral seco medianamente alterado	983.2	73
Matorral seco muy alterado	8.3	73
Matorral seco poco alterado	244.7	65
Misceláneo indiferenciado	696.0	78
Pachaco	3.4	55
Pasto cultivado	5190.7	61
Pasto cultivado con presencia de arboles	1808.2	65
Platano	9.4	55
Rio doble	157.5	0
Sandia	11.8	75
Teca	439.3	66
Urbano	36.5	70
Vegetación herbácea de humedal poco alterada	66.6	58
Vegetación herbácea seca muy alterada	1594.7	86

Anexo 20. Grupo hidrológico C con sus respectivas coberturas, superficies y CN para escenario 1.

Cobertura	Área (ha)	CN
Arroz	60.4	83
Banano	0.2	70
Bosque seco medianamente alterado	0.0	77
Cacao	6.7	70
Centro poblado	0.0	77
Maíz	17.3	85
Matorral seco medianamente alterado	75.4	82
Matorral seco muy alterado	32.3	82
Matorral seco poco alterado	35.3	76
Misceláneo indiferenciado	38.2	85
Pasto cultivado	505.7	74
Pasto cultivado con presencia de arboles	741.2	72
Rio doble	2.5	0
Teca	134.6	77
Vegetación herbácea seca muy alterada	1134.2	82

Anexo 21. Grupo hidrológico D con sus respectivas coberturas, superficies y CN para escenario 1.

Cobertura	Área (ha)	NC
Arroz	77.6	87
Bosque húmedo medianamente alterado	1.3	83
Bosque húmedo poco alterado	4.4	79
Bosque seco poco alterado	35.1	79
Cacao	74.4	77
Maíz	234.3	91
Matorral humedo muy alterado	0.0	86
Matorral seco medianamente alterado	93.9	86
Matorral seco poco alterado	164.1	82
Misceláneo indiferenciado	39.7	89
Pasto cultivado	590.2	84
Pasto cultivado con presencia de arboles	777.7	84
Plátano	1.2	79
Rio doble	8.5	0
Teca	480.1	83
Vegetación herbácea de humedal medianamente alterada	1.1	78
Vegetación herbácea seca muy alterada	483.7	94

Anexo 22. Hidrogramas de crecida para TR de 25, 50 y 100 años para escenario 1

Tiempo (horas)	Flujo Total (m ³ /s)		
	TR 25 años	TR 50 años	TR 100 años
16:00	0	0	0
16:30	0	0	0
17:00	0	0	0
17:30	0	0	0
18:00	0	0	0
18:30	0	0	0
19:00	0	0	0
19:30	0	0	0
20:00	0	0	0
20:30	0	0	0
21:00	0	0	0
21:30	0	0	0
22:00	4.4	5.1	6.5
22:30	14.2	16.4	21.2
23:00	29.8	34.4	44.1
23:30	48.8	56.3	72.0
0:00	72.4	83.5	106.5
0:30	102	117.5	149.7
1:00	138.4	159.3	202.8
1:30	181.6	208.9	265.7
2:00	226.1	259.9	330.1
2:30	266.5	306.0	388.2
3:00	300.8	345.1	437.1
3:30	328.6	376.7	476.4
4:00	348.5	399.2	504.2
4:30	360.5	412.6	520.4
5:00	368.6	421.6	531.1
5:30	370.5	423.3	532.7
6:00	363.8	415.4	522.0
6:30	353.5	403.3	506.3
7:00	340.7	388.4	487.1
7:30	324.3	369.6	462.9
8:00	303.8	345.9	432.8
8:30	278.2	316.5	395.5
9:00	250.2	284.3	354.7
9:30	224	254.4	317.0
10:00	201.6	228.8	285.0
10:30	181.8	206.3	256.8
11:00	163.2	185.1	230.4
11:30	146.1	165.8	206.3

Tiempo (horas)	Flujo Total (m ³ /s)		
	TR 25 años	TR 50 años	TR 100 años
12:00	131	148.6	184.9
12:30	117.7	133.5	166.1
13:00	105.6	119.8	149.0
13:30	94.3	107.0	133.1
14:00	83.7	95.0	118.2
14:30	74.2	84.2	104.7
15:00	66	74.8	93.1
15:30	58.9	66.8	83.2
16:00	52.7	59.8	74.4
16:30	47.1	53.5	66.5
17:00	42	47.7	59.4
17:30	37.4	42.5	52.9
18:00	33.3	37.8	47.0
18:30	29.6	33.6	41.8
19:00	26.4	29.9	37.3
19:30	23.5	26.7	33.2
20:00	21	23.8	29.7
20:30	18.8	21.3	26.5
21:00	16.8	19.0	23.7
21:30	15	17.0	21.2
22:00	13.4	15.2	18.9
22:30	11.9	13.5	16.9
23:00	10.7	12.1	15.0
23:30	9.5	10.8	13.4
0:00	8.5	9.6	11.9
0:30	7.5	8.5	10.6
1:00	6.7	7.6	9.5
1:30	6	6.8	8.5
2:00	5.4	6.1	7.6
2:30	4.8	5.5	6.8
3:00	4.3	4.9	6.1
3:30	3.9	4.4	5.5
4:00	3.5	4.0	5.0
4:30	3.1	3.6	4.4
5:00	2.8	3.2	4.0
5:30	2.5	2.8	3.5
6:00	2.2	2.5	3.1
6:30	1.9	2.1	2.7
7:00	1.6	1.8	2.3
7:30	1.3	1.5	1.8
8:00	1	1.2	1.4
8:30	0.8	0.8	1.0

Tiempo (horas)	Flujo Total (m ³ /s)		
	TR 25 años	TR 50 años	TR 100 años
9:00	0.5	0.5	0.6
9:30	0.3	0.4	0.4
10:00	0.2	0.3	0.3
10:30	0.2	0.2	0.2
11:00	0.1	0.2	0.2
11:30	0.1	0.1	0.1
12:00	0.1	0.1	0.1
12:30	0	0.1	0.1

Anexo 23. Grupo hidrológico B con sus respectivas coberturas, superficies y CN para escenario 2.

Cobertura	Área (ha)	CN
Albarrada/reservorio	0.8	0
Arroz	1521.4	75
Balsa	1.1	55
Banano	4.2	55
Banco de arena	1.5	0
Barbecho	42.6	56
Bosque húmedo medianamente alterado	0.0	66
Bosque húmedo poco alterado	25.4	60
Bosque seco medianamente alterado	196.2	66
Bosque seco poco alterado	551.6	60
Cacao	231.1	55
Café	157.6	55
Cana de azúcar artesanal	4.8	78
Cana guadua o bambú	128.6	78
Centro poblado	0.5	65
Maíz	1440.4	78
Maíz-frejol	41.2	75
Mango	39.9	55
Matorral seco medianamente alterado	865.7	73
Matorral seco muy alterado	8.3	73
Matorral seco poco alterado	40.3	65
Misceláneo indiferenciado	696.0	78
Pachaco	3.4	55
Pasto cultivado	6015.5	61
Pasto cultivado con presencia de arboles	1821.0	65
Plátano	9.4	55
Rio doble	157.5	0
Sandía	11.8	75
Teca	607.0	66

Cobertura	Área (ha)	CN
Urbano	42.0	70
Vegetación herbácea de humedal poco alterada	63.5	58
Vegetación herbácea seca muy alterada	1824.2	86

Anexo 24. Grupo hidrológico C con sus respectivas coberturas, superficies y CN para escenario 2.

Cobertura	Área (ha)	CN
Arroz	60.4	83
Banano	0.2	70
Bosque seco medianamente alterado	0.0	77
Cacao	6.7	70
Centro poblado	0.0	77
Maíz	23.4	85
Matorral seco medianamente alterado	1.7	82
Matorral seco muy alterado	32.3	82
Matorral seco poco alterado	15.8	76
Misceláneo indiferenciado	38.2	85
Pasto cultivado	485.9	74
Pasto cultivado con presencia de arboles	777.1	72
Rio doble	2.5	0
Teca	154.3	77
Vegetación herbácea seca muy alterada	1185.4	82

Anexo 25. Grupo hidrológico D con sus respectivas coberturas, superficies y CN para escenario 2.

Cobertura	Área (ha)	CN
Arroz	96.9	87
Bosque seco poco alterado	27.4	79
Cacao	74.4	77
Maíz	453.6	91
Matorral húmedo muy alterado	0.0	86
Matorral seco medianamente alterado	2.3	86
Matorral seco poco alterado	23.8	82
Misceláneo indiferenciado	39.7	89
Pasto cultivado	511.5	84
Pasto cultivado con presencia de arboles	844.0	84
Plátano	1.2	79
Rio doble	8.5	0
Teca	500.4	83
Vegetación herbácea seca muy alterada	483.7	94

Anexo 26. Hidrogramas de crecida para TR de 25, 50 y 100 años para escenario 2

Tiempo (horas)	Flujo Total (m ³ /s)		
	TR 25 años	TR 50 años	TR 100 años
16:00	0	0	0
16:30	0	0	0
17:00	0	0	0
17:30	0	0	0
18:00	0	0	0
18:30	0	0	0
19:00	0	0	0
19:30	0	0	0
20:00	0	0	0
20:30	0	0	0
21:00	0	0	0
21:30	0	0	0
22:00	4.5	5.2	6.7
22:30	14.6	16.9	21.6
23:00	30.6	35.3	45.1
23:30	50.1	57.7	73.5
0:00	74.3	85.4	108.7
0:30	104.6	120.2	152.8
1:00	141.9	163	207
1:30	186.1	213.7	271.1
2:00	231.6	265.8	336.7
2:30	272.9	312.9	395.8
3:00	307.9	352.8	445.6
3:30	336.2	384.9	485.5
4:00	356.6	407.8	513.7
4:30	368.7	421.4	530.1
5:00	376.9	430.4	540.9
5:30	378.7	432.1	542.4
6:00	371.7	423.8	531.3
6:30	361.2	411.5	515.2
7:00	348	396.1	495.6
7:30	331.2	376.8	470.9
8:00	310.1	352.6	440.2
8:30	284	322.6	402.1
9:00	255.2	289.6	360.6
9:30	228.5	259.1	322.2
10:00	205.5	233	289.6
10:30	185.3	210	260.9
11:00	166.3	188.5	234.1
11:30	149	168.8	209.5

Tiempo (horas)	Flujo Total (m ³ /s)		
	TR 25 años	TR 50 años	TR 100 años
12:00	133.6	151.3	187.8
12:30	119.9	135.9	168.7
13:00	107.6	121.9	151.4
13:30	96.1	108.9	135.3
14:00	85.4	96.7	120.1
14:30	75.7	85.7	106.4
15:00	67.3	76.2	94.6
15:30	60.1	68	84.5
16:00	53.8	60.9	75.6
16:30	48.1	54.4	67.6
17:00	42.9	48.6	60.3
17:30	38.2	43.2	53.7
18:00	34	38.5	47.8
18:30	30.2	34.2	42.5
19:00	26.9	30.5	37.8
19:30	24	27.2	33.8
20:00	21.4	24.3	30.1
20:30	19.2	21.7	26.9
21:00	17.1	19.4	24.1
21:30	15.3	17.3	21.5
22:00	13.6	15.4	19.2
22:30	12.2	13.8	17.1
23:00	10.9	12.3	15.3
23:30	9.7	11	13.6
0:00	8.6	9.8	12.1
0:30	7.7	8.7	10.8
1:00	6.8	7.8	9.6
1:30	6.1	6.9	8.6
2:00	5.5	6.2	7.7
2:30	4.9	5.6	6.9
3:00	4.4	5	6.2
3:30	4	4.5	5.6
4:00	3.6	4.1	5
4:30	3.2	3.6	4.5
5:00	2.9	3.2	4
5:30	2.5	2.9	3.6
6:00	2.2	2.5	3.1
6:30	1.9	2.2	2.7
7:00	1.6	1.8	2.3
7:30	1.3	1.5	1.9
8:00	1.1	1.2	1.5
8:30	0.8	0.9	1.0

Tiempo (horas)	Flujo Total (m ³ /s)		
	TR 25 años	TR 50 años	TR 100 años
9:00	0.5	0.5	0.6
9:30	0.3	0.4	0.4
10:00	0.2	0.3	0.3
10:30	0.2	0.2	0.2
11:00	0.1	0.2	0.2
11:30	0.1	0.1	0.1
12:00	0.1	0.1	0.1
12:30	0	0.1	0.1

Anexo 27. Grupo hidrológico B con sus respectivas coberturas, superficies y CN para escenario 3.

Cobertura	Área (ha)	CN
Albarrada/reservorio	0.8	0
Arroz	1600.6	75
Balsa	1.1	55
Banano	4.2	55
Banco de arena	1.5	0
Barbecho	24.6	56
Bosque húmedo medianamente alterado	0.0	66
Bosque húmedo poco alterado	7.3	60
Cacao	230.0	55
Café	90.7	55
Cana de azucar artesanal	4.8	78
Cana guadua o bambu	133.4	78
Centro poblado	0.5	65
Maíz	1798.9	78
Maíz-frejol	41.2	75
Mango	39.9	55
Matorral seco medianamente alterado	1.5	73
Misceláneo indiferenciado	789.9	78
Pachaco	3.4	55
Pasto cultivado	6609.5	61
Pasto cultivado con presencia de arboles	2070.9	65
Plátano	9.4	55
Rio doble	157.5	0
Sandía	11.8	75
Teca	1046.0	66
Urbano	46.6	70
Vegetación herbácea de humedal poco alterada	4.1	58
Vegetación herbácea seca muy alterada	1824.2	86

Anexo 28. Grupo hidrológico C con sus respectivas coberturas, superficies y CN para escenario 3.

Cobertura	Área (ha)	CN
Arroz	70.9	83
Banano	0.2	70
Bosque seco medianamente alterado	0.0	77
Cacao	6.7	70
Centro poblado	0.0	77
Maíz	23.4	85
Misceláneo indiferenciado	38.2	85
Pasto cultivado	490.0	74
Pasto cultivado con presencia de arboles	812.3	72
Rio doble	2.5	0
Teca	154.3	77
Vegetación herbácea seca muy alterada	1185.4	82

Anexo 29. Grupo hidrológico D con sus respectivas coberturas, superficies y CN para escenario 3.

Cobertura	Área (ha)	CN
Arroz	113.5	87
Bosque seco poco alterado	4.3	79
Cacao	74.4	77
Maíz	465.9	91
Matorral húmedo muy alterado	0.0	86
Matorral seco medianamente alterado	0.4	86
Misceláneo indiferenciado	42.9	89
Pasto cultivado	515.7	84
Pasto cultivado con presencia de arboles	855.9	84
Plátano	1.2	79
Rio doble	8.5	0
Teca	500.4	83
Vegetación herbácea seca muy alterada	484.3	94

Anexo 30. Hidrogramas de crecida para TR de 25, 50 y 100 años para escenario 3.

Tiempo (horas)	Flujo Total (m³/s)		
	TR 25 años	TR 50 años	TR 100 años
16:00	0	0	0.0
16:30	0	0	0.0
17:00	0	0	0.0
17:30	0	0	0.0

Tiempo (horas)	Flujo Total (m ³ /s)		
	TR 25 años	TR 50 años	TR 100 años
18:00	0	0	0.0
18:30	0	0	0.0
19:00	0	0	0.0
19:30	0	0	0.0
20:00	0	0	0.0
20:30	0	0	0.0
21:00	0	0	0.0
21:30	0	0	0.0
22:00	4.5	5.2	6.7
22:30	14.6	16.9	21.7
23:00	30.7	35.4	45.2
23:30	50.3	57.9	73.7
0:00	74.5	85.7	109.1
0:30	104.9	120.6	153.2
1:00	142.4	163.5	207.6
1:30	186.7	214.4	271.8
2:00	232.4	266.6	337.6
2:30	273.8	313.9	396.9
3:00	309	353.9	446.9
3:30	337.4	386.1	486.9
4:00	357.8	409	515.1
4:30	369.9	422.6	531.5
5:00	378.1	431.7	542.3
5:30	379.9	433.4	543.8
6:00	372.9	425	532.7
6:30	362.3	412.6	516.5
7:00	349	397.3	496.8
7:30	332.2	377.9	472.1
8:00	311.1	353.6	441.2
8:30	284.8	323.4	403.1
9:00	256	290.4	361.4
9:30	229.1	259.8	322.9
10:00	206.1	233.6	290.2
10:30	185.9	210.6	261.5
11:00	166.8	189	234.6
11:30	149.4	169.2	210.0
12:00	133.9	151.7	188.3
12:30	120.3	136.2	169.1
13:00	107.9	122.3	151.8
13:30	96.4	109.2	135.6
14:00	85.6	97	120.4
14:30	75.9	85.9	106.7

Tiempo (horas)	Flujo Total (m ³ /s)		
	TR 25 años	TR 50 años	TR 100 años
15:00	67.4	76.4	94.8
15:30	60.2	68.2	84.7
16:00	53.9	61.1	75.8
16:30	48.2	54.6	67.8
17:00	43	48.7	60.4
17:30	38.3	43.4	53.8
18:00	34.1	38.6	47.9
18:30	30.3	34.3	42.6
19:00	27	30.6	37.9
19:30	24.1	27.3	33.8
20:00	21.5	24.3	30.2
20:30	19.2	21.8	27.0
21:00	17.2	19.4	24.1
21:30	15.3	17.4	21.5
22:00	13.7	15.5	19.2
22:30	12.2	13.8	17.2
23:00	10.9	12.3	15.3
23:30	9.7	11	13.7
0:00	8.6	9.8	12.2
0:30	7.7	8.7	10.8
1:00	6.9	7.8	9.6
1:30	6.1	7	8.6
2:00	5.5	6.2	7.7
2:30	4.9	5.6	7.0
3:00	4.4	5	6.2
3:30	4	4.5	5.6
4:00	3.6	4.1	5.0
4:30	3.2	3.6	4.5
5:00	2.9	3.3	4.0
5:30	2.5	2.9	3.6
6:00	2.2	2.5	3.1
6:30	1.9	2.2	2.7
7:00	1.6	1.9	2.3
7:30	1.3	1.5	1.9
8:00	1.1	1.2	1.5
8:30	0.8	0.9	1.1
9:00	0.5	0.5	0.6
9:30	0.3	0.4	0.4
10:00	0.2	0.3	0.3
10:30	0.2	0.2	0.2
11:00	0.1	0.2	0.2
11:30	0.1	0.1	0.1

Tiempo (horas)	Flujo Total (m³/s)		
	TR 25 años	TR 50 años	TR 100 años
12:00	0.1	0.1	0.1
12:30	0	0.1	0.1

Anexo 31. Elevaciones alcanzadas por los máximos caudales para TR para 25, 50 y 100 años de cada escenario en el punto de salida de la microcuenca.

TR	River Sta	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S.Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope	Vel Chnnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude #Chl
25	5	369.4	0.50	6.49		6.67	0.000514	1.91	194.11	42.91	0.28
25	4	369.4	0.43	6.18		6.41	0.000810	2.13	173.48	43.87	0.34
25	3	369.4	0.25	5.74		6.07	0.001197	2.54	145.32	36.66	0.41
25	2	369.4	0.12	5.55		5.82	0.001083	2.33	158.67	43.24	0.39
25	1	369.4	0.00	5.39	3.37	5.71	0.001254	2.49	148.63	41.37	0.42
25	5	370.5	0.50	6.49		6.68	0.000514	1.91	194.45	42.93	0.28
25	4	370.5	0.43	6.19		6.42	0.000810	2.13	173.83	43.90	0.34
25	3	370.5	0.25	5.74		6.07	0.001198	2.54	145.60	36.69	0.41
25	2	370.5	0.12	5.56		5.83	0.001082	2.33	159.01	43.27	0.39
25	1	370.5	0.00	5.4	3.38	5.72	0.001254	2.49	148.95	41.41	0.42
25	5	378.7	0.50	6.55		6.74	0.000515	1.93	197.02	43.11	0.28
25	4	378.7	0.43	6.25		6.48	0.000810	2.15	176.45	44.06	0.34
25	3	378.7	0.25	5.8		6.14	0.001201	2.56	147.71	36.88	0.41
25	2	378.7	0.12	5.61		5.89	0.001080	2.34	161.53	43.48	0.39
25	1	378.7	0.00	5.46	3.42	5.78	0.001254	2.50	151.36	41.71	0.42
25	5	379.9	0.50	6.56		6.75	0.000515	1.93	197.39	43.14	0.28
25	4	379.9	0.43	6.26		6.49	0.000810	2.15	176.83	44.09	0.34
25	3	379.9	0.25	5.81		6.15	0.001202	2.57	148.01	36.90	0.41
25	2	379.9	0.12	5.62		5.9	0.001080	2.35	161.90	43.51	0.39
25	1	379.9	0.00	5.47	3.42	5.79	0.001254	2.50	151.71	41.75	0.42
50	5	422.2	0.50	6.84		7.05	0.000526	2.03	209.69	43.98	0.29
50	4	422.2	0.43	6.54		6.79	0.000799	2.23	189.47	45.60	0.34
50	3	422.2	0.25	6.09		6.45	0.001193	2.67	158.37	38.23	0.41

TR	River Sta	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S.Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope	Vel Chnnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude #Chl
50	2	422.2	0.12	5.91		6.2	0.001076	2.42	174.38	44.52	0.39
50	1	422.2	0.00	5.75	3.63	6.09	0.001253	2.58	163.79	46.16	0.42
50	5	423.3	0.50	6.85		7.06	0.000527	2.03	209.95	44.00	0.29
50	4	423.3	0.43	6.55		6.8	0.000799	2.23	189.72	45.64	0.34
50	3	423.3	0.25	6.09		6.45	0.001195	2.67	158.55	38.26	0.41
50	2	423.3	0.12	5.91		6.21	0.001078	2.42	174.57	44.54	0.39
50	1	423.3	0.00	5.75	3.63	6.09	0.001255	2.58	163.98	46.17	0.42
50	5	432.1	0.50	6.9		7.12	0.000530	2.05	212.27	44.16	0.29
50	4	432.1	0.43	6.6		6.86	0.000800	2.25	192.08	45.92	0.35
50	3	432.1	0.25	6.14		6.51	0.001199	2.70	160.39	38.49	0.41
50	2	432.1	0.12	5.96		6.26	0.001080	2.44	176.86	47.69	0.39
50	1	432.1	0.00	5.8	3.67	6.15	0.001254	2.60	166.20	46.32	0.42
50	5	433.4	0.50	6.91		7.13	0.000531	2.06	212.61	44.18	0.29
50	4	433.4	0.43	6.6		6.86	0.000801	2.26	192.42	45.96	0.35
50	3	433.4	0.25	6.14		6.52	0.001200	2.70	160.65	38.53	0.41
50	2	433.4	0.12	5.97		6.27	0.001080	2.45	177.19	47.71	0.39
50	1	433.4	0.00	5.81	3.68	6.16	0.001254	2.61	166.53	46.34	0.42
100	5	531.5	0.50	7.46		7.72	0.000568	2.27	237.26	45.31	0.30
100	4	531.5	0.43	7.14		7.45	0.000815	2.46	217.76	48.00	0.36
100	3	531.5	0.25	6.64		7.09	0.001256	2.97	180.31	41.00	0.43
100	2	531.5	0.12	6.47		6.83	0.001086	2.66	201.64	49.23	0.40
100	1	531.5	0.00	6.31	4.11	6.71	0.001253	2.83	189.98	47.83	0.43
100	5	532.7	0.50	7.47		7.73	0.000569	2.28	237.51	45.32	0.30
100	4	532.7	0.43	7.15		7.45	0.000816	2.46	218.01	48.00	0.36
100	3	532.7	0.25	6.64		7.09	0.001259	2.97	180.48	41.02	0.43
100	2	532.7	0.12	6.47		6.84	0.001088	2.66	201.84	49.24	0.40

TR	River Sta	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S.Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope	Vel Chnnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude #Chl
100	1	532.7	0.00	6.31	4.11	6.72	0.001255	2.83	190.15	47.84	0.43
100	5	542.4	0.50	7.52		7.78	0.000572	2.30	239.84	45.37	0.30
100	4	542.4	0.43	7.2		7.51	0.000817	2.48	220.43	48.05	0.36
100	3	542.4	0.25	6.69		7.15	0.001263	3.00	182.39	41.25	0.43
100	2	542.4	0.12	6.52		6.89	0.001088	2.68	204.19	49.38	0.40
100	1	542.4	0.00	6.36	4.15	6.77	0.001255	2.85	192.41	47.98	0.43
100	5	543.8	0.50	7.52		7.79	0.000573	2.30	240.18	45.37	0.30
100	4	543.8	0.43	7.2		7.52	0.000817	2.48	220.77	48.06	0.36
100	3	543.8	0.25	6.7		7.16	0.001264	3.00	182.66	41.29	0.43
100	2	543.8	0.12	6.53		6.9	0.001088	2.68	204.53	49.40	0.40
100	1	543.8	0.00	6.36	4.16	6.78	0.001255	2.85	192.73	48.00	0.43