

EFECTO DEL CAMBIO DEL USO DEL SUELO EN LA PRODUCCIÓN Y RETENCIÓN DE SEDIMENTOS: CASO DE UNA CUENCA HIDROGRÁFICA DE MONTAÑA

EFFECT OF LAND USE CHANGE ON SEDIMENT PRODUCTION AND RETENTION: THE CASE OF A MOUNTAIN WATERSHED

Bryan Idrovo¹, Ivonne González², Omar Guerrero³

¹ Titulación en Gestión Ambiental. Universidad Técnica Particular de Loja. C/. Marcelino Champagnat S/N 1101608. Loja Ecuador. Email: brian.cloxo@hotmail.com

² Grupo de Investigación - Planning of Land and Social Systems (PLANOSs). Departamento de Ciencias Biológicas. Universidad Técnica Particular de Loja. C/. Marcelino Champagnat S/N 1101608. Loja Ecuador. Email: imgonzalez3@utpl.edu.ec

³ Docente de la Facultad de Ingeniería – Escuela de Ingeniería Geológica. Universidad de Los Andes – Mérida. Grupo de Ciencias de la Tierra – TERRA. Correo-e: oag2021gmail.com

*Autor de correspondencia: Loja, Ecuador, brian.cloxo@hotmail.com

Recibido: 24 de marzo 2021

/

Aceptado: 26 junio 2021

RESUMEN

Se identificó y simuló los cambios de usos de suelo en dos escenarios diferentes (tendencial y negativo), para estimar su relación con la producción y retención de sedimentos en la cuenca hidrográfica Zamora Huayco del cantón Loja. Se realizaron modelos espaciales utilizando SIG. Asimismo se efectuaron mediciones en campo que arrojaron rangos de producción de sedimentos de 0.51 – 3.76 g para bosque y 7.75 – 72.75 g para pastizal. De manera complementaria se elaboró un mapa de susceptibilidad a movimientos en masa y erosión. Estos escenarios evidencian la importancia de restringir el cambio del uso del suelo en cuencas hidrográficas de montaña, debido a alteraciones en procesos ecológicos y geológicos, además son fundamentales en la producción de sedimentos y el suministro de agua potable.

Palabras claves: Cuenca hidrográfica; sedimentos; cambio de usos; suelos; cantón Loja

ABSTRACT

The changes in land use were identified and simulated in 4 different scenarios, to estimate their relationship with the production and retention of sediments in the Zamora Huayco watershed of the Loja canton. They were compared using GIS and field samplings. Ranges of 0.51 - 3.66 g for forest and 7.75 - 72.75 g for grassland are calculated. In a complementary way, a map of susceptibility to mass movements and erosion and its integration of biophysical variables was elaborated. These scenarios show the importance of restricting the change of land use in mountain hydrographic basins, due to alterations in ecological and geological processes, and they are also fundamental in the production of sediments and the supply of drinking water.

Keywords: River basin; sediment; change of uses; soils; canton Loja

INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas son reguladores importantes de la cantidad del agua y sedimentos. Para realizar estas funciones, los ecosistemas requieren acciones de protección y gestión, sin las cuales se generarían serias consecuencias ambientales, sociales y económicas. Sin embargo, varios estudios indican que cerca de las dos terceras partes de los servicios que brinda la naturaleza a la humanidad, están degradándose en el ámbito mundial. Esto significa que los beneficios obtenidos, a partir de la transformación del planeta, se han logrado mediante una reducción de los bienes de capital natural (Guerrero, Keizer y Córdoba, 2006; Cabrera, Jaramillo y Fries 2018).

La vegetación de los bosques contribuye a retener el suelo, al reducir el impacto de las precipitaciones mediante la disminución de la escorrentía superficial, lo a que a su vez mitiga el arrastre de sedimentos hacia los cursos de agua (Figueroa, Reyes y Rojas, 2009). Por otro lado, Hall, Kim y Fernández (2015) señalan que la cantidad de sedimentos varía en función de la geología, la morfología, la inclinación de la pendiente, la intensidad de lluvia, la cobertura de la vegetación y la gestión del uso del suelo. Es así que, estos autores exponen un estudio realizado en Puerto Rico para estimar la respuesta hidrológica y producción de sedimentos a nivel de cuencas hidrográficas. Con esta finalidad, seleccionaron un par de cuencas ubicadas sobre rocas volcánicas y otro par de cuencas situadas sobre rocas plutónicas. Además, en cada tipo de roca madre escogieron una cuenca boscosa y otra predominantemente agrícola. El estudio demostró diferencias en la respuesta hidrológica y un mayor rendimiento de sedimentos en los paisajes agrícolas.

En Ecuador, el Fondo Regional del Agua y Ambiente (FORAGUA), se implementó para mejorar la supervisión de los servicios hídricos y la conservación de las cuencas hidrográficas. Hall et al (2015) indican que los fondos de agua de Ecuador tienen poca información disponible sobre la relación que existe entre el uso del suelo y la producción de servicios ecosistémicos. Uno de los pocos estudios realizados a nivel nacional, analiza el efecto del cambio uso del suelo en los servicios que proveen los ecosistemas del Corredor ecológico Llanganates Sangay (Gaglio et al., 2017). Esta investigación muestra que los bosques de alta montaña en los últimos 14 años no han sufrido mayores cambios y corrobora la importancia de estos ecosistemas en la prevención de la erosión. En la región sur del país Ochoa et al. (2015), analizaron el riesgo de erosión asociados a cambios de uso del suelo en la microcuenca Zamora Huayco, encontrando que el uso del suelo es un factor clave, sobre todo en las zonas que presentan condiciones climáticas y morfológicas extremas.

En este artículo, se plantea la generación de escenarios de cambio de uso del suelo en la cuenca hidrográfica Zamora Huayco, cuenca de suma importancia, pues brinda el 60% del abastecimiento de agua para la población de Loja (Hernández y González, 2016), de forma complementaria, se ha realizado un modelo de susceptibilidad a movimientos en masa y erosión y mediciones in situ de la producción de sedimentos, para poder estimar la variación del servicio ecosistémico de control de sedimentos en función de los cambios de uso del suelo. A través de esta propuesta se pretende generar información útil para la planificación hídrica de la ciudad de Loja.

ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca hidrográfica Zamora Huayco ubicada en el cantón Loja, Ecuador, tiene un área de 4009.77 ha. Se encuentra entre las coordenadas: 9559962N - 9548415N, 708180E - 698895E. Un 33.41% de su superficie se localiza dentro del Parque Nacional Podocarpus y un 66.59% dentro de los límites de la zona de amortiguamiento del mismo (MAE, 2019). Las

parcelas para la medición in situ de sedimentos se establecieron en la reserva “El Madrigal del Podocarpus”, ubicada a 7 km de la ciudad de Loja, con una extensión de 306 ha (Figura 1).

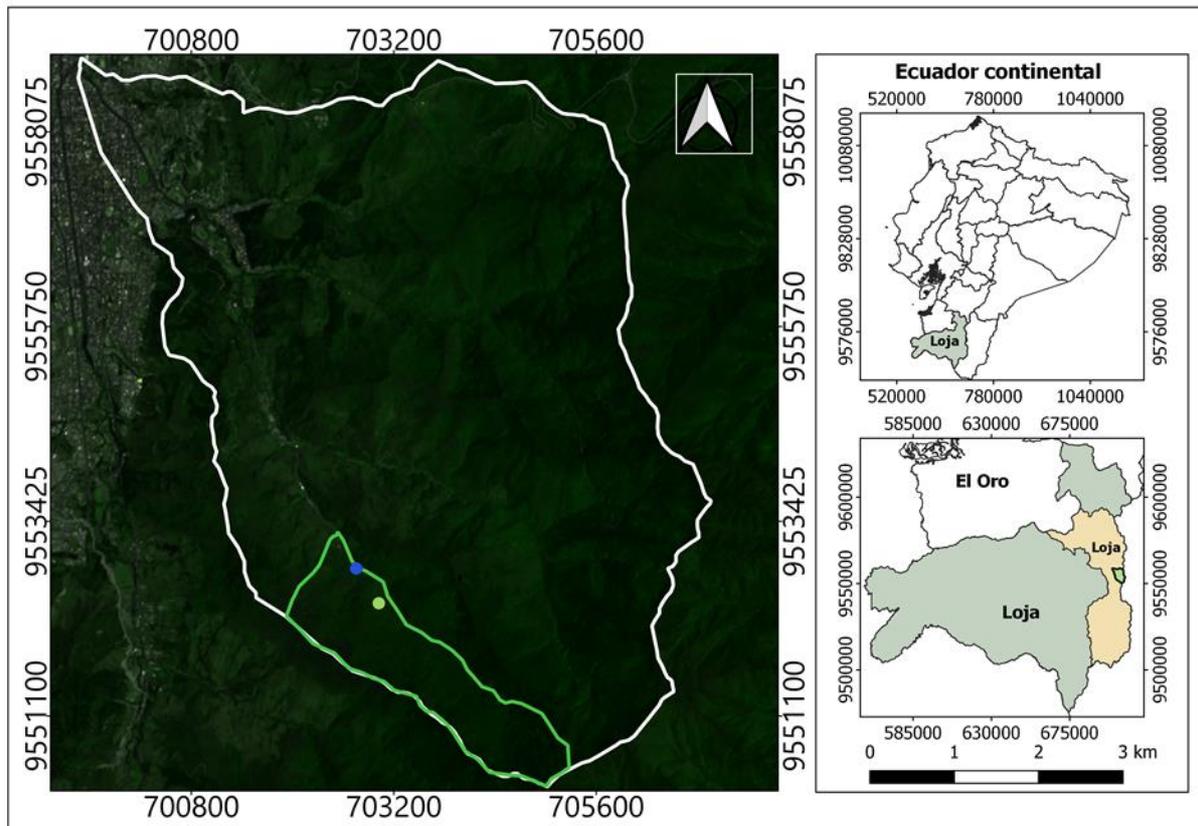


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio y área de muestreo

Fuente: Elaboración propia a partir de INEC (2012), Copernicus sentinel (2019)

CARACTERÍSTICAS BIOFÍSICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

La cuenca hidrográfica Zamora Huayco está integrada por cuatro microcuencas (Figura 2a): Mendieta, El Carmen, San Simón y Las Minas. Las tres primeras contienen las captaciones de agua potable de Pizarros, El Carmen y San Simón, respectivamente, mientras que la quebrada Las Minas no cuenta con una captación de agua.

La cuenca hidrográfica posee un rango de temperatura anual de 12.7 °C – 16.1 °C (Figura 2b) y la precipitación media anual está entre 878.50 mm a 1838.23 mm (Figura 2c) (Álvarez, 2017). La pendiente media de la cuenca es de 29° (Figura 2d), con un rango de elevaciones de 2048 a 3416 msnm (Figura 2e). Presenta una red hidrográfica densa y variada (Figura 2f), con un orden de jerarquización de nivel (N=6).

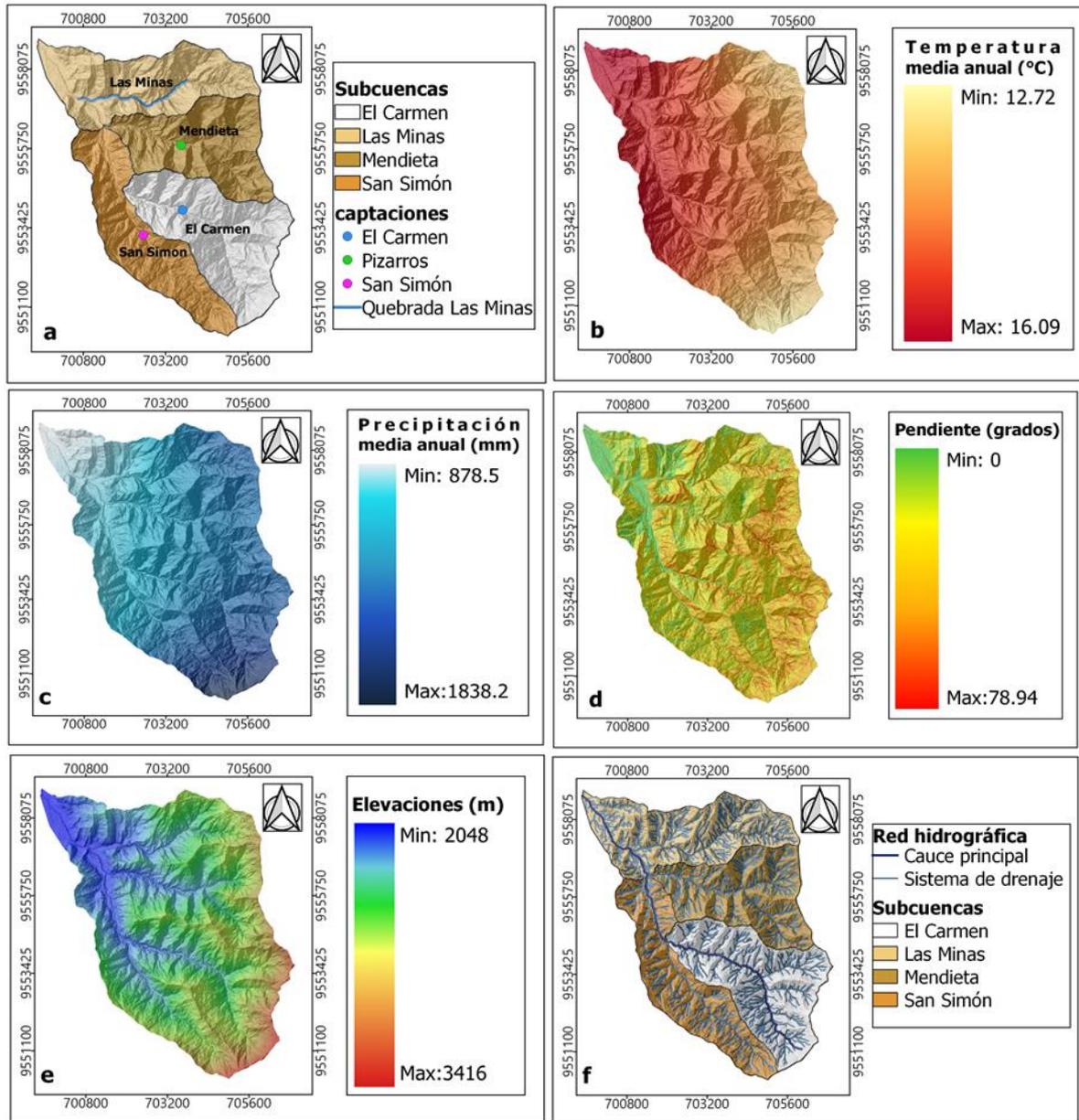


Figura 2. a. Microcuencas hidrográficas y captaciones hídricas; b. Isotermas; c. Isoyetas; d. Pendientes; e. Elevaciones; f. Red hidrográfica.

La cuenca hidrográfica Zamora Huayco está conformada por las siguientes unidades geológicas (Figura 3); Chigüinda (PZlc), compuesta de pizarras, filitas, esquistos grafitosas y cuarcitas que conforman la roca de basamento de edad Paleozoica, de manera discordante y suprayacente se reconocen afloramientos de las formaciones sedimentarias miocenas, denominadas San Cayetano (MSc) compuestas por areniscas, limolitas, lutitas y diatomitas y la Formación Quillollaco (MPLQ) conformada por conglomerados y areniscas. Finalmente, estas unidades están recubiertas por espesas secuencias cuaternarias aluviales (QA), con material geológico poco consolidado generalmente bloques, cantos y guijarros de rocas volcánicas y metamórficas.

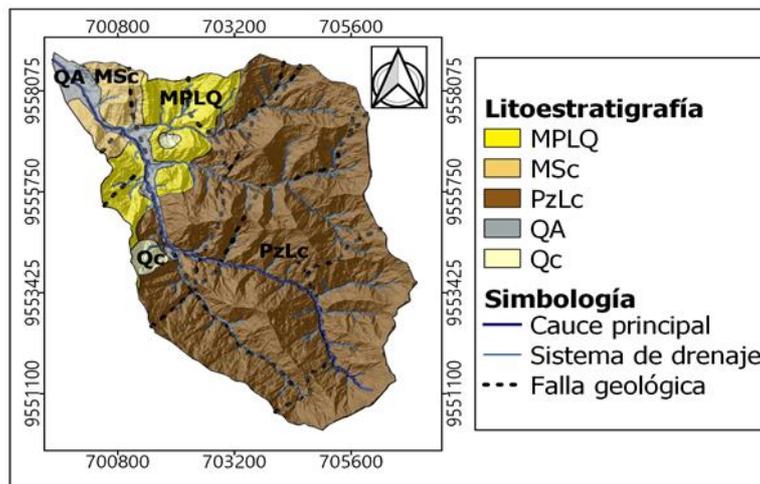


Figura 3. Geología de la cuenca Zamora Huayco
Fuente: Elaboración propia a partir de INAI GEMM (2017).

La presencia de rocas de composición esencialmente arenosa y arcillosa afectadas por fallamiento geológico local, incrementan la susceptibilidad a movimientos en masa y erosión de suelos y material rocoso en zonas con pendientes fuertes.

La morfometría de la cuenca hidrográfica que determina parámetros claves en la evaluación hidrogeológica de superficie, considera los parámetros de Sthraler (1983). Los valores morfométricos de la cuenca (Tabla 1), definen una microcuenca hídrica de montaña torrentosa con pendientes promedios de 29° y relación de forma ligeramente alargada, oblonga a ligeramente ensanchada que determina menor probabilidad de generar picos de crecidas (Guerrero et al. 2014), con tiempos de concentración de caudales por tormentas de aproximadamente 72.55 minutos.

Tabla 1. Parámetros morfométricos de la cuenca hidrográfica Zamora Huayco

Parámetros	Valor
Perímetro (km)	28.33
Área (km ²)	40.11
Longitud máxima (km)	10.42
Longitud cauce principal (km)	12.66
Ancho de la cuenca (km)	3.84
Desnivel altitudinal (m)	1698.59
Cota máxima (msnm)	3417.32
Cota mínima (msnm)	2045.91
Altitud media (msnm)	2470.63
Altitud más frecuente (msnm)	2251.62
Altitud mayor del cauce (msnm)	3125.59
Altitud menor del cauce (msnm)	2046.69
Pendiente promedio de la cuenca (°)	29°
Factor forma	0.37 (Ligeramente alargada)
Coefficiente de compacidad	1.25 (Oval redonda- oval oblonga)
Coefficiente de circularidad	0.63 (Ligeramente Ensanchada)
Tiempo de concentración (min)	72.55 (1 h 21 min)

MATERIALES Y MÉTODOS

Para identificar la evolución del uso del suelo se generó una línea base del año 2010, a partir de la digitalización de ortofotos (SigTierras, 2010). Se actualizó el mapa de uso del suelo al año 2019, mediante el método de fotointerpretación interdependiente propuesto por la FAO, utilizando imágenes Sentinel 2. Se generó un escenario negativo de cobertura vegetal del año 2019, considerando una deforestación de -0.77% anual, dato que corresponde a la tasa de deforestación bruta anual en el Ecuador continental, reduciendo la cobertura vegetal de bosque nativo en la cuenca en aproximadamente un 6.93%. (Mogrovejo, 2017).

Con la herramienta QGIS MOLUSCE se obtuvo las transiciones de uso del suelo desde el año 2010 hasta el año 2019 tendencial y 2019 negativo. Estas transiciones sirvieron como base para proyectar el uso del suelo al año 2028 tendencial y 2028 negativo. En MOLUSCE el año proyectado corresponde al año final más la diferencia entre el año final y el año inicial. Se configuró la herramienta con ANN (Artificial Neural Network) aproximado, vecino de proximidad de 3 x 3 (9 píxeles) m 0.001 learning rate, 10 hidden layers, 0.050 momentum value, valores referenciales de Bugday y Bugday (2019) y un número de interacciones de 1500.

El mapa de susceptibilidad a movimientos en masa y erosión se realizó integrando parámetros biofísicos, como la precipitación media anual (mm), cobertura vegetal, geología y pendiente (Tabla 2), criterios utilizados en la propuesta de diversos autores (Español, 2017; SNGRE, 2017; Esquivel, 2018). En la asignación de pesos la variable de cobertura vegetal tiene el mayor peso (40%), debido a que su escasez influye considerablemente de forma negativa en la estabilidad de terreno. En la cuenca se registra una elevada precipitación media anual, por lo cual se ha considerado asignar un peso de 30%, ya que es un factor detonante en la meteorización, arrastre de sedimentos y generación de movimientos en masa. La pendiente es una variable de alto impacto para la estabilidad del terreno, por lo cual tiene una ponderación de 20%, sin embargo, su influencia depende de la interacción con la litología y la cobertura vegetal. Finalmente, la geología es la variable con menor peso (10%), debido a que la geología de la cuenca es mayormente de composición silícica y homogénea, representando una variable de poco impacto de movimientos en masa (Guerrero, 2019).

Adicionalmente se elaboró una figura de integración a los movimientos en masa y erosión añadiendo valores de temperatura y elevaciones a los correspondientes niveles de subcuencas, representando valores de transporte de sedimentos y erosión de suelo respectivos a cada nivel analizado (Guerrero, 2019; Palacios, 2020).

Tabla 2. Asignación de pesos a las variables del mapa de susceptibilidad.

Capa base	Nivel de influencia (%)
Cobertura vegetal	40%
Precipitación	30%
Pendiente	20%
Geología	10%
Total	100%

Para la caracterización de producción-retención de sedimentos *in situ*, se aplicó la metodología basada en la propuesta de Soliveres y García-Palacios (2019), adaptada a las condiciones hidrográficas del terreno. Se realizaron parcelas permanentes (una por cada uso del suelo). En bosque y pastizal se establecieron parcelas de 5 m de largo y 2.5 m de ancho. Se delimitó las parcelas con láminas geosintéticas de 40 cm de altura. Se introdujeron 20 cm dentro del suelo previamente surcado, dejando los 20 cm restantes expuestos. Las parcelas tienen una pendiente de 18 -19% y una precipitación anual de 1215 mm en pastizal y 1280 mm en bosque. Para la captura de sedimentos se elaboró un método de recolección mecánico manual y se realizaron observaciones durante 57 días, con una frecuencia de recolección de sedimentos de 7 – 15 días. El periodo de muestreo inició el 24 de noviembre del 2019 hasta el 05 de enero del 2020, correspondiente al periodo lluvioso de la región Sierra del Ecuador con valores mayores de precipitación (Chamba y Chunchu, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

ESCENARIOS DE COBERTURA Y USO DEL SUELO

En el año 2010 (figura 4a) el bosque nativo tenía la mayor extensión de territorio con 2169.87 ha, mientras que el uso con menor extensión corresponde a cultivo, con tan solo 5.73 ha. (Figura 4a). En el año 2019 (figura 4b) el bosque nativo presenta una extensión de 2238.25 ha y el cultivo con 5.5 ha (tabla 3). La cobertura vegetal dominante del año 2019 escenario negativo (figura 4c) es de igual manera el bosque nativo con una extensión de 2083.22 ha.

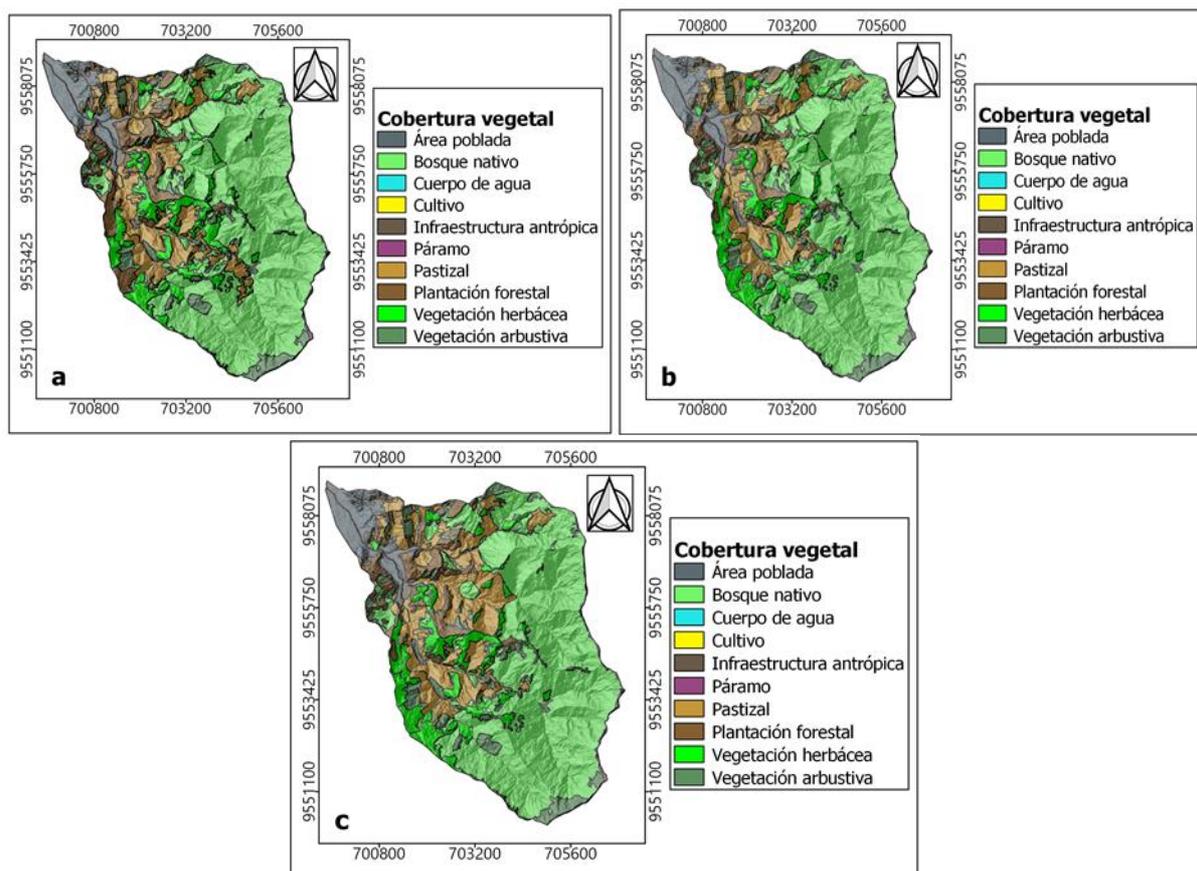


Figura 4. Cobertura vegetal cuenca Zamora Huayco; a. año 2010, b. año 2019, c. año 2019 negativo. Fuente: Elaboración propia a partir de SIGTIERRAS (2010- 2019).

Tabla 3. Cambio del uso del suelo periodo 2010 – 2019

Cobertura vegetal	2010 (ha)	2019 (ha)	2019 negativo (ha)	Variación 2010- 2019 (ha)	Variación 2010-2019 negativo (ha)
Pastizal	621.67	565.53	720.66	-56.14	98.99
Bosque nativo	2169.87	2238.25	2083.22	68.38	-86.65
Cultivo	5.73	5.50	5.50	-0.23	-0.23
Infraestructura antrópica	19.87	19.87	19.87	0.00	0.00
Cuerpo de agua	7.47	7.47	7.47	0.00	0.00
Área poblada	223.69	231.1	231.1	11.41	11.41
Páramo	23.7	23.7	23.7	0.000	0.00
Vegetación arbustiva	236.81	240.81	240.81	4	4
Plantación forestal	312.94	260.61	260.61	-52.33	-52.33
Vegetación herbácea	388.41	417.11	417.11	28.7	28.7

Fuente: Elaboración propia a partir de SIGTIERRAS (2010- 2019)

La proyección tendencial del año 2028 muestra la disminución de áreas de pastizal, plantaciones forestales y aumento de extensiones de bosque. Por el contrario, en el escenario 2028 negativo, se observa una diferencia de -296.97 ha de bosque nativo con respecto a la proyección tendencial y un incremento de pastizal de 297.5 ha. Las coberturas restantes se mantienen en valores significativamente similares en ambos escenarios (tabla 4)

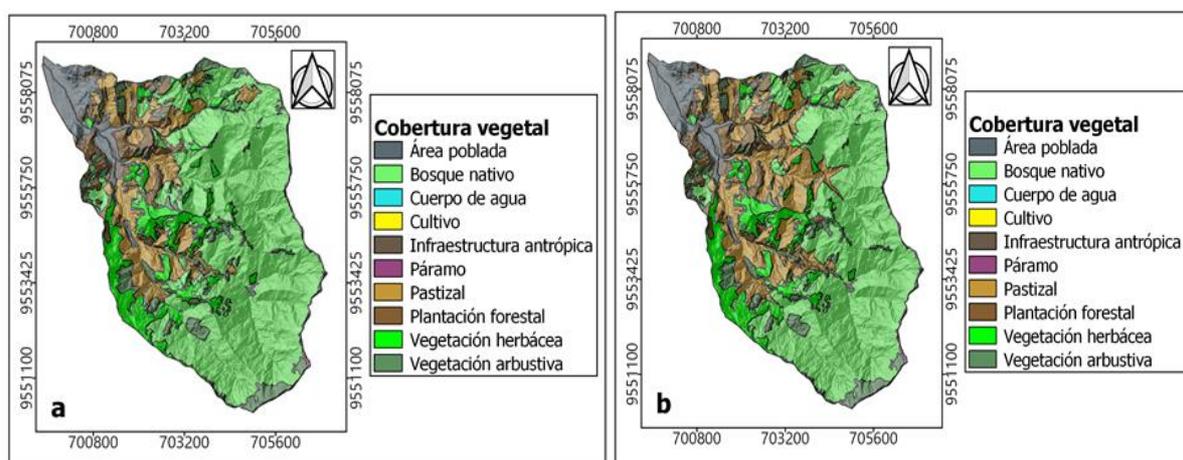


Figura 5. Cobertura vegetal cuenca Zamora Huayco: a. año 2028 tendencial natural; b. Escenario de cobertura vegetal 2028 tendencial negativo simulado

Tabla 4. Cambio de uso del suelo 2028 tendencial natural-2028 negativo tendencial simulado

Cobertura vegetal	2028 (ha)	2028 negativo (ha)	Variación 2028-2028 negativo (ha)
Pastizal	526.24	823.74	297.5
Bosque nativo	2277.91	1980.94	-296.97
Cultivo	5.5	5.5	0.00
Infraestructura antrópica	19.8	19.8	0.00
Cuerpo de agua	7.43	7.43	0.00
Área poblada	231.55	231.44	-0.11
Páramo	23.8	23.8	0.00
Vegetación arbustiva	240.79	240.61	-0.18
Plantación forestal	234.4	234.4	0.00
Vegetación herbácea	443.2	442.72	-0.48

El efecto de la cubierta vegetal contribuye en la reducción de la erosión hídrica. La presencia de vegetación además de interceptar parte de la precipitación, también disminuye la velocidad del escurrimiento superficial (Molina, 2008). Según Ochoa et al. (2015), en el sur del Ecuador la deforestación ha llegado a niveles preocupantes, entre el año 1989 y 2008, la tasa anual de deforestación es de 2.86% y se estima que la vegetación nativa remanente cubre aproximadamente cerca del 49% de la región. Sin embargo, la situación de la cuenca Zamora Huayco, nos muestra una realidad distinta, esto se debe al estado parcial de conservación en la que se encuentra, pues se ubica en un 33.41% de dentro del Parque Nacional Podocarpus (MAE, 2019), reduciendo los principales sistemas agropecuarios y aumentando la superficie del tipo de cobertura vegetal bosque nativo, resaltando la importancia de declarar estos territorios, parcial o totalmente en estado de conservación.

SUSCEPTIBILIDAD A MOVIMIENTOS EN MASA Y EROSIÓN

La cuenca hidrográfica Zamora Huayco presenta los siguientes niveles de susceptibilidad: severa (1.86%), alta (53.97%), moderada (44.05%) y leve (0.10%). La mayor parte de la cuenca es muy susceptible a procesos de movimientos en masa y erosión, debido a la existencia de pendientes abruptas y altos niveles de precipitación, a pesar que posee gran cantidad de buena cobertura vegetal y una litología favorable a la infiltración (Figuras 7 y 8). Por tanto, la hace objeto aun de mayor interés de conservación debido a su nivel de riesgo natural a movimientos en masa. Las microcuencas El Carmen y San Simón, son las más propensas a generar movimientos en masa, seguidas de Las Minas y Mendieta.

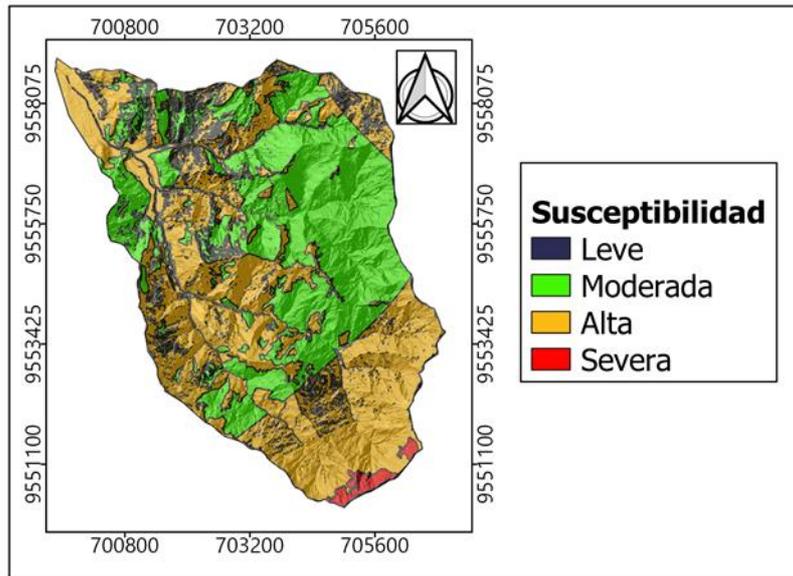


Figura 6. Susceptibilidad a movimientos en masa de las microcuencas hidrográficas que conforman la cuenca Zamora Huayco.

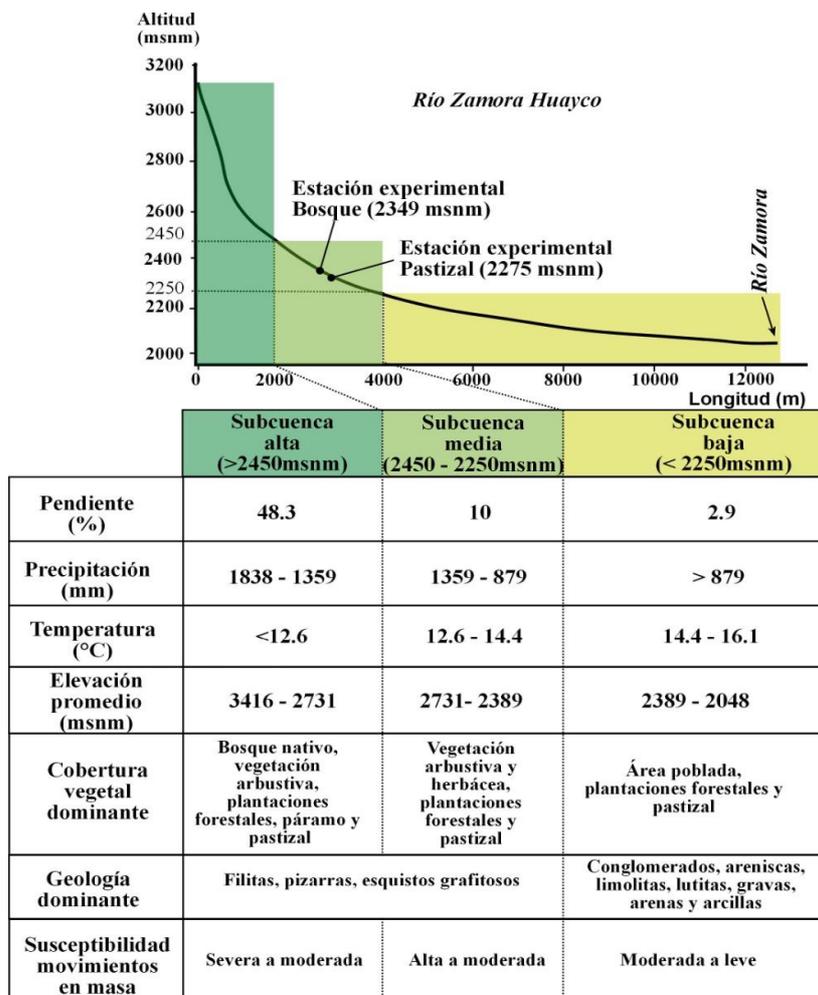


Figura 7. Integración de los parámetros biofísicas y las condiciones de susceptibilidad a movimientos en masa de los niveles de subcuencas la cuenca Zamora Huayco.

EXPORTACIÓN IN SITU DE SEDIMENTOS

Los resultados obtenidos en la producción de sedimentos in situ, extraídos en las diferentes parcelas muestran una gran diferencia en la generación de sedimentos entre el uso del suelo pastizal y la cobertura de bosque nativo (Figura 8).

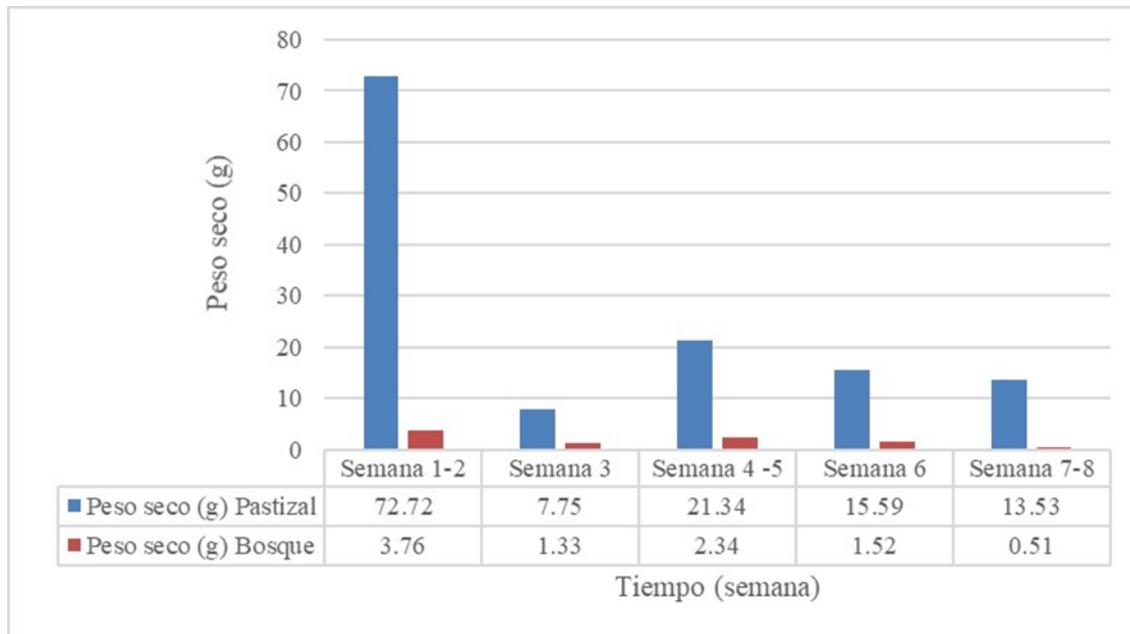


Figura 8. Relación de peso seco in situ de sedimentos Reserva “El Madrigal del Podocarpus”

Los sedimentos en seco generados en el periodo de muestreo dieron un total de 9.38 g para bosque y 130.93 g en pastizal. Con estos valores se estima que, al cabo de un año, se generarían 60.06 g y 838.60 g respectivamente en un área de 12.5 m². Estos resultados determinan que el pastizal es la cobertura vegetal más vulnerable a ocasionar erosión y producción de sedimentos. Por tanto, el estado de conservación del escenario tendencial 2028 reduciría de manera significativa el efecto de erosión y producción de sedimentos por su mayor cobertura de bosque nativo. Por el contrario, el escenario 2028 negativo aumentaría este efecto al perder la protección de 157.19 ha de bosque nativo.

Por otra parte, debe considerarse la limitación del periodo de muestreo y la influencia de la época lluviosa donde fue realizado, al igual que la influencia de las demás variables a las que está sometida la cuenca tal como se indica en el modelo de susceptibilidad a movimientos en masa y erosión.

CONCLUSIONES

La cuenca hidrográfica de Zamora Huayco para el periodo 2010 a 2019, sufrió cambios del uso del suelo de forma positiva, disminuyendo la cantidad de sedimentos producidos a lo largo del tiempo, gracias a su estado de conservación, demostrando la importancia de la cobertura vegetal y su relación con los riesgos de erosión y movimientos en masa.

El deterioro estimado de la vegetación protectora (bosque), genera un ascenso visible de producción de sedimentos a lo largo del tiempo determinado por el escenario negativo 2019 y la proyección año 2028 negativo.

El análisis de producción-retención de los sedimentos *in situ*, determina que la producción de sedimentos en bosque nativo, varía entre los 0.51– 3.76 g y en pastizal entre los 7.75–72.72 g para el periodo muestreado. Esto refleja la efectividad del tipo de cobertura vegetal en el proceso de restauración y protección ambiental de cuencas hidrográficas.

REFERENCIAS

- Álvarez, J. (2017). Disponibilidad y demanda del recurso hídrico superficial. Estudio de caso: Subcuenca Zamora Huayco, Ecuador. La Plata. Disponible en: <https://cutt.ly/WzGpQ6B>.
- Buğday, E. y Buğday, S. (2019). Modeling and simulating land use/cover change using artificial neural network from remotely sensing data, *CERNE*, 25(2), 246-254.
- Cabrera, M., Jaramillo, V. y Fries, A. (2018). Caracterización de variables meteorológicas a ser usadas como fuentes de energía en la región sur del Ecuador. *GEOESPACIAL*, 15(2), 13-23.
- Chamba, E. y Chunchu, J. (2011). Estudio de la variabilidad espacial y temporal de la precipitación temperatura, ligada al cambio climático en la provincia de Loja. Loja, Ecuador. Disponible en: <https://cutt.ly/7zGvUaq>.
- Copernicus Sentinel data 2019, processed by ESA.
- Español, A. (2017). Estudio de susceptibilidad por movimientos en masa en la subcuenca del arroyo Quijorna mediante evaluación multicriterio. España. Disponible en: <https://n9.cl/q3rp4>.
- Esquivel, R. (2018). Análisis de susceptibilidad a deslizamientos. Caso de estudio: Sector centro norte de la ciudad de Toluca, estado de México. México. Disponible en: <https://n9.cl/30qdt>.
- Figuerola, E., Reyes, P., y Rojas, J. (2009). Pagos por servicios ambientales en áreas protegidas en América Latina. Santiago, Chile. FAO. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/48017739.pdf>.
- Guerrero, E., Keizer, O., Córdoba, R. (2006). La aplicación del enfoque ecosistémico en la gestión de los recursos hídricos. Quito, Ecuador: UICN. Disponible en: <https://cutt.ly/zzGnOEd>.
- Guerrero, O. et l. (2014). Caracterización geomorfológica y tasa de erosión en los humedales altoandinos de la cuenca Mucuy-La Coromoto. *Geominas*, 41(62),141-149.
- Guerrero, O. (2019). Los riesgos geológicos de cuencas Hidrográficas y la planificación Urbana. Loja, Ecuador. UTPL.
- Hall, J., Kirn, V., Fernández, E. (2015). La gestión de las cuencas hidrográficas para asegurar los servicios ecosistémicos en las laderas del neotrópico. Panamá. Disponible en: <https://cutt.ly/0zGE8IN>.
- Hernández, F. y González, C. (2013). Autodesarrollo y conservación de los recursos naturales de la microcuenca Zamora Huayco. Loja, Ecuador. Disponible en: <https://cutt.ly/ozGgkX5>.
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos – INEC (2012). Censo de población y vivienda. Ecuador. REDATAM.
- Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero Metalúrgico – INIGEMM (2017). Memoria técnica de la hoja de geología Zamora 1:100000. Proyecto investigación geológica y disponibilidad de ocurrencias de recursos minerales en el territorio ecuatoriano. Quito,53.
- Ministerio del Ambiente y Agua – MAE (2019). Sistema único de información ambiental. Ecuador. Disponible en: <http://suia.ambiente.gob.ec/>.
- Mogrovejo, J. y Renato, P. (2017). Bosques y cambio climático en Ecuador: el regente forestal como actor clave en la mitigación del cambio climático. Quito. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10644/5862>.
- Molina, F. (2008). Retención de sedimentos por la vegetación de la zona de protección de cauce en la cuenca del predio Los Pinos. Valdivia. Disponible en: <https://cutt.ly/gzGv8SB>.
- Ochoa, P. et al. (2013). Spatial estimation of soil erosion risk by land-cover change in the Andes of southern Ecuador, *Land Degradation & Development*, 26, 565-573. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/ldr.2219>.

- Ochoa, P. et al. (2015). El papel de la cobertura vegetal en la generación de sedimentos y calidad de agua de los Andes Ecuatorianos. Córdoba. Disponible en: <https://cutt.ly/WzGkVP6>.
- Palacios, I. (2020). Susceptibilidad a deslizamientos en la vía Aloag- Santo Domingo, mediante lógica difusa, *Geoespacial*, 17(2), 01-12.
- Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias – SNGRE (2017). Propuesta metodológica para el análisis de amenaza ante movimientos en masa en Ecuador continental. Ecuador.
- Soliveres, S. y García-Palacios, P. (2019). Sucesión secundaria, interacciones biológicas y funcionamiento de las comunidades asociadas a taludes de carretera: las interacciones planta-suelo importan más que las planta-planta. *Ecosistemas*, 28(2), 50-60. Doi.: 10.7818/ECOS.1718.
- SigTierras (2019). Geoportal de información geográfica. Ecuador. Disponible en: <http://geoportal.agricultura.gob.ec/index.php/visor-geo>.
- Strahler, A. (1983). *Geografía física*. Barcelona, Omega S.A, 387.