

VI. ARTÍCULO 2: ANÁLISIS DE LA PRODUCCIÓN DE SEDIMENTOS EN DIFERENTES ESCENARIOS Y BAJO MODELOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN UNA CUENCA DE LA UNIDAD HIDROGRÁFICA DE AQUIN/SAINT LOUIS, HAITÍ

Carla Morales, Javier Saborío, Christian Brenes

Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica

6.1. RESUMEN

El cambio climático es evidente en estos tiempos, hoy en día los estudios se centran principalmente en los efectos que tendrán estos cambios sobre el ecosistema y la vida siendo la precipitación y la temperatura los principales factores de estudio. En esta investigación y con ayuda del modelo SWAT que es una herramienta útil para este tipo de análisis, estos dos parámetros fueron estimados hasta el año 2030 para ver su influencia en la generación de sedimentos en la zona de estudio tomando en cuenta tres escenarios basados en los cambios de cobertura vegetal y prácticas de conservación.

Los resultados muestran que existen una correlación significativa entre la precipitación y la generación de sedimentos, pero otros factores como la cobertura vegetal y el manejo del suelo tiene mucha relevancia al momento de analizar el proceso de sedimentación. Se debe realizar un cambio de cobertura vegetal basada mayormente en la aplicación de sistemas agroforestales y silvopastoriles junto con prácticas de conservación de suelos de aplicación lógica como el cultivo según curvas de nivel y cultivos en fajas; además de la conservación de bosques tomando en cuenta los efectos que el cambio climático generará a futuro.

Debido a la falta de información no fue posible realizar la calibración; sin embargo se concluye que los cambios planteados en el plan de cogestión de la Unidad Hidrográfica Saint/Louis du Sud son necesarios para el control de la erosión y la disminución de sedimentos teniendo esta investigación como referencia.

Palabras claves: Sedimentación, SWAT, cobertura vegetal, conservación de suelos

ABSTRACT

Climate change is evident in these times; nowadays studies mainly focus on the effects these changes will have on the ecosystem and life, with precipitation and temperature the main factors of study. In this research and with the help of SWAT model, which is a useful tool for this type of analysis, these two parameters were estimated until 2030, to see its influence on the generation of sediments in the study area taking into account three scenarios based in soil coverage and conservation practices changes.

The results show that there is a significant correlation between precipitation and sediment generation, but other factors such as vegetation coverage and soil management,

are more relevant when analyzing the sedimentation process. A change of vegetation coverage must be done, based mostly on the implementation of agroforestry and silvopastoral systems, together with soil conservation practices of logical application, such as contour lines farming and strip cropping; besides forests preservation of forests, considering the effects that climate change will generate future.

Due to lack of information, calibration was not possible; however it is concluded that the changes proposed in the co-management plan of the Saint / Louis du Sud Hydrographic Unit, are needed to control erosion and sediment reduction, taking this research as reference.

Keywords: Sedimentation, SWAT, vegetation cover, soil conservation

6.2. INTRODUCCIÓN

El equilibrio dinámico de la erosión, de los sedimentos, transporte y deposición en una cuenca hidrográfica puede ser modificado por factores naturales, como el clima, los cambios de vegetación y factores antropogénicos, como embalses, las prácticas agrícolas y el uso del suelo (Walling, 2011), pero también este flujo es sensible al programa de control de sedimentos y al cambio climático (Shrestha, et. al. 2013).

El cambio climático en combinación con las actividades humanas intensivas acarrea una serie de graves problemas relacionados con los grandes sistemas fluviales, tales como aumento de la precipitación, provocando mayor erosión, sedimentos, grandes riesgos climáticos a escala como sequías e inundaciones y disminución de caudal de los ríos en la estación seca (Kundzewicz, et. al. 2009).

Kazimierski (2011) indica que existe una marcada correlación entre las precipitaciones medias anuales de cada cuenca y la tasa de generación de sedimentos anuales, pero Xu (2009) ratifica que la precipitación anual (Pm) podría explicar sólo el 16-37% de la variación de la concentración de los sedimentos en suspensión. Por lo tanto la variación en la precipitación no es la principal causa para la variación en la concentración de sedimentos. Las causas son la actividad humana como la minería a gran escala, la construcción urbana, carreteras, la construcción de embalses, la reforestación y la conservación de suelo y agua en diversos periodos y para diversos afluentes.

La cuenca de Brodequin que pertenece a la Unidad Hidrográfica Aquin/Saint Louis se encuentra en el departamento Sud de Haití y tiene una extensión de 36 Km², dentro la cual se encuentran la población de Aquin, ubicada en la cuenca baja haciendo que la vulnerabilidad social sea alta (62%) según el MDE-PNUD (2012).

Esta población genera una fuerte presión sobre la cuenca, dentro la cual se observó una grave deforestación y sobre pastoreo en la parte alta y media, que ocasiona una erosión donde la capa arable casi ha desaparecido llegando en algunas zonas a la roca madre; mientras en la cuenca baja en época de lluvias se inunda. Por estos problemas en el plan de

cogestión de la Unidad Hidrográfica de Saint/Louis du Sud, se catalogó esta cuenca como prioritaria para realizar un manejo y conservación de suelos dada su importancia a nivel ecológico y productivo y sugiere realizar cambios en la cobertura vegetal, con énfasis en la reforestación, sistemas agroforestales, conservación de áreas endémicas y cultivos perennes.

Como el modelo hidrológico de SWAT se basa en la ecuación del balance hídrico y es capaz de simular la hidrología, ciclo de pesticidas, nutrientes y transporte de sedimentos, es una herramienta ideal para realizar la investigación porque ayuda a los gestores de recursos hídricos en la predicción de los impactos de los sedimentos presentes en el agua, los químicos del campo, los impactos de las prácticas de manejo del suelo, agua y rendimientos nutricionales agrícolas Gómez (2002). El modelo es muy adecuado para cuencas hidrográficas complejas con diferentes suelos, uso de la tierra y diferentes condiciones de manejo durante largos períodos de tiempo (Nietsch, et. al. 2001; Arnold, et. al. 1998; ASCE, 1999).

Los resultados muestran que un cambio de cobertura vegetal es significativamente importante si se pretende reducir la producción de sedimentos, y las coberturas de mayor influencia para este control son la reforestación y los sistemas agroforestales. Aunque las prácticas de conservación por si sola influyen positivamente, la aplicación de ambos es recomendable para una mayor reducción en la producción de sedimentos.

La gestión de cuencas en sistemas fluviales y cuerpos de agua son crecientemente importantes en todas partes del mundo y estos procesos de erosión y sedimentación poseen relevancia desde un punto de vista socioeconómico y ambiental (UNESCO, 2010). Es ahí donde radica la importancia de esta investigación, puesto que esos procesos son aspectos clave dentro del objetivo general del plan de cogestión. Además, se estima que en las próximas décadas más del 50% de la capacidad de almacenamiento de los reservorios de agua del mundo pueden verse reducidos como producto de los procesos de sedimentación. Entonces no hay que escatimar esfuerzos por alcanzar una gestión eficiente de los sedimentos, en el contexto de un desarrollo sustentable de los recursos hídricos (UNESCO, 2010).

Estos esfuerzos tienen que centrarse en realizar mayores investigaciones para obtener mejores resultados que ayuden en la toma de decisiones acertadas y puedan aumentar la productividad agrícola y económica de la zona.

6.3. MATERIALES Y MÉTODOS

6.3.1. Área de estudio

La unidad hidrográfica de Aquin/Saint-Louis du Sud con una superficie de 711 km², es un conjunto de varias cuencas y cuencas costeras con similares características biofísicas. Se extiende en la costa sur de Haití en el extremo este del departamento del Sur; esta principalmente compuesto por los municipios de Aquin y Saint-Louis du Sud con una población de 190.589 habitantes (estimación del 2009) (MDE – PNUD, 2012).

Dentro la unidad hidrográfica se encuentran ocho cuencas principal que lleva al mar Caribe de 386.6 Km² de superficie, lo que representa el 54% del área; y nueve cuencas costeras con numerosos barrancos que también dan al Mar Caribe con una extensión total de 321.5 km², que representa el 46% de la superficie total de la unidad hidrográfica.

Las cuencas hidrográficas de la región oriental tiene una mayor superficie pero de muy baja pendiente (0-3%), a diferencia de las cuencas hidrográficas en la parte occidental que tiene pendientes más elevadas incluso mayores a 75%.

Con respecto a las precipitaciones existen dos épocas, la lluviosa y seca. La temporada de lluvias es entre abril y octubre, pero mayo y octubre son los meses más lluviosos y la estación seca comienza en noviembre y termina en marzo.

En relación a los suelos se han identificado cuatro tipos dominantes en la unidad hidrográfica Aquin/Saint-Louis du Sud, los brunisoles, vertisoles, fersisoles y suelos poco evolucionados.

La Unidad Hidrográfica de Aquin/Saint-Louis du Sud tiene ciertas características potencialmente atractivas para el desarrollo del turismo, eco-turismo, el desarrollo de actividades productivas rentables (sistema agroforestal basado en café, coco, árbol del pan, los monocultivos de cajú, arroz y la caña de azúcar, también la cría de cabras vacas y la pesca).

6.3.2. Obtención de datos climáticos hasta el 2030

Para la investigación se recurrió a los datos diarios de precipitación y temperatura desde 1979 hasta el 2010 generados por Climate Forecast System Reanalysis (CFSR) obtenidos a través del Global Wather Data for SWAT (<http://globalweather.tamu.edu/>).

Para crear escenarios a futuro hasta el año 2030 se utilizó los escenarios del climate wizard de la página <http://climatewizardcustom.org>, dentro del cual se introdujo el mapa del área de estudio para obtener las anomalías correspondientes y calcular la variabilidad climática.

Estas anomalías fueron de temperatura como dato absoluto y precipitación en porcentaje que se procesaron mediante la multiplicación de la precipitación diaria con el porcentaje de variación y la adición del incremento a la temperatura máxima y mínima diaria para modelar el clima los siguientes 20 años bajo un escenario A2 (el crecimiento económico y poblacional se mantiene igual) (CEPAL, 2010). No se utilizó el B2, asumiendo que no se presentará ninguna solución local con respecto a la mitigación del cambio climático.

SWAT necesita como insumo la tabla Userwgn la cual presenta una serie de parámetros estadísticos de la data de clima a utilizar en la corrida del modelo que pueden ser generados

mediante vía ejecutable WGN Excel Macro. Los datos de clima (precipitación y temperatura) se introdujeron a la macro WGN.

El mapa de suelos se elaboró en base al mapa mundial de suelos de la FAO y toda la información necesaria (textura, pH, estructura, materia orgánica, color, densidad aparente) requerida por el modelo se extrajo del manual de procedimientos de la FAO (1993). Los parámetros hidrológicos como la densidad aparente, conductividad hidráulica y el agua disponible se calcularon a partir del porcentaje de arena, arcilla y materia orgánica con el SPAW hydrology disponible en página web:

<http://hydrolab.arsusda.gov/SPAW/SPAWDownload.html>.

Se trabajó con un mapa de cobertura vegetal digitalizado con 6 clases de vegetación (cultivos anuales, bosque seco ligeramente denso, sistemas agroforestales, sabana densa, sabana desnuda y rak) las cuales se reclasificaron según las clases de cultivo de la base de datos de SWAT (Agricultural land generic, Forest deciduous, Forest mixed, Range brush y Range Southwestern US).

Se elaboró un modelo digital de elevaciones (MDE) a partir de curvas de nivel digitalizadas (equidistancia de 20 m). De la misma manera se dispuso de la hidrografía digital de la cuenca. Usando la delineación automática de SWAT2012 se dividió la cuenca Brodequin en 25 subcuencas con la opción de 'quemado de ríos' activada.

El modelo SWAT al introducir datos de uso de suelos, suelos y pendiente, define los HRU que son las unidades hidrológicas de respuestas, que es la combinación única de un tipo específico de suelo y uso de tierra (Di Luzio, et al. 2002).

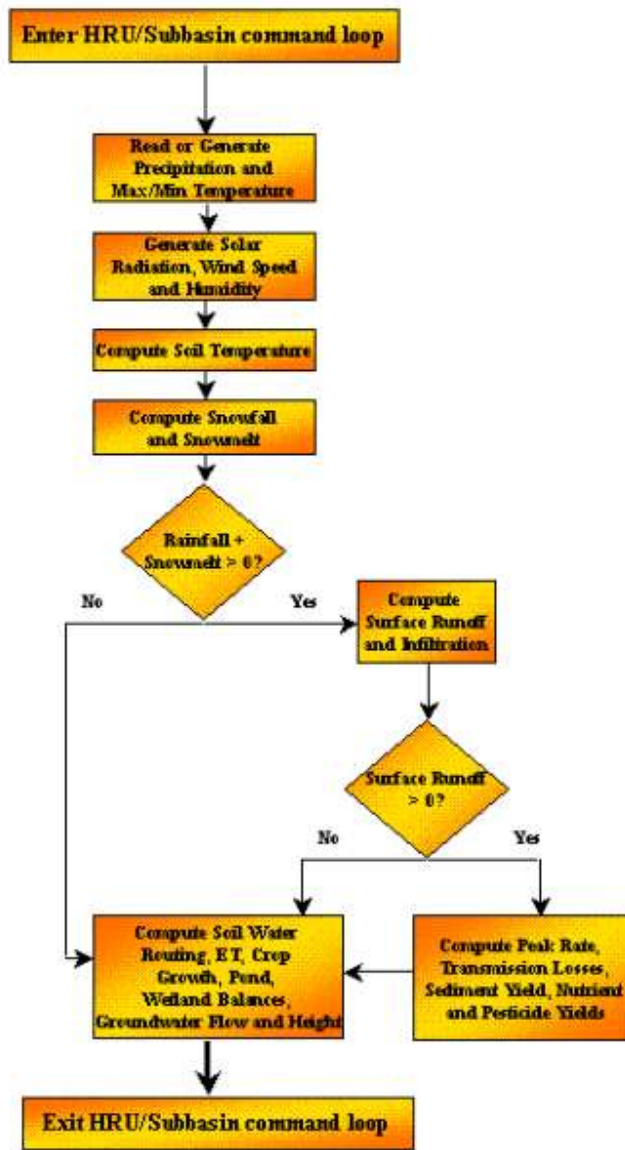


Figura 14. Diagrama de flujo de HRU/subcuencas en SWAT
Fuente. Neitsch, et. al, 2005

Esta figura muestra la secuencia general de los procesos usados por SWAT para modelar las fases del ciclo hidrológico (Neitsch, et. al. 2005).

Para correr el modelo es necesario tener un periodo de calentamiento de 3 años para estabilizar todos los parámetros, principalmente aquellos relacionados con el balance hídrico, nutrientes, etc. Estos años se modelan pero no se incluyen en la salida de los datos, entonces la modelación en este caso comenzará desde el año 1982 (Winchell, et al. 2012).

6.3.3. Modelación de escenarios hasta el 2030

Se modeló tres escenarios basados en cambios de coberturas vegetal y prácticas de conservación según el siguiente cuadro:

Cuadro 17: Datos introducidos a SWAT

Escenario base(*)	Escenario 1(*)	Escenario 2	Escenario 3
AGRL (Agricultural land generic)	FRST (forest mixed)	Curvas de nivel	FRST + Curvas de nivel
FRSD (forest deciduous)	FRSD (forest deciduous)	Ninguno	FRSD
SWRN (Range Southwestern)	SWRN (Range Southwestern)	Ninguno	SWRN
FNGB (Range brush)	RNGE (Range grasses)	Cultivos en fajas	RGNE + Cultivos en fajas
SWRN (Range Southwestern)	PAST (pasture)	Cultivos en fajas	PAST + Cultivos en fajas
FRST (forest mixed)	FRST (forest mixed)	Curvas de nivel	FRST + Curvas de nivel

Fuente: Elaboración propia

*: Arnold, J., et al. (2012)

Se introdujo los datos de acuerdo al formato del modelo, se corrió el programa y obtuvieron resultados por subcuencas expresados en Tn/Ha generada hasta el año 2030 bajo un escenario A2.

Estos datos se analizaron con el grupo focal (tecnicos del ministerio) y se reemplazó el área dedicada a pastos cultivados (PAST) por forestación mixta (FRST), como indica el siguiente cuadro:

Cuadro 18: Datos introducidos con nueva cobertura vegetal

Escenario base(*)	Escenario 1(*)	Escenario 2	Escenario 3
AGRL (Agricultural land generic)	FRST (forest mixed)	Curvas de nivel	FRST + Curvas de nivel
FRSD (forest deciduous)	FRSD (forest deciduous)	Ninguno	FRSD
SWRN (Range Southwestern)	SWRN (Range Southwestern)	Ninguno	SWRN
FNGB (Range brush)	RNGE (Range grasses)	Cultivos en fajas	RGNE + Cultivos en fajas
SWRN (Range Southwestern)	FRST (forest mixed)	Curvas de nivel	FRST + Curvas de nivel
FRST (forest mixed)	FRST (forest mixed)	Curvas de nivel	FRST+ Curvas de nivel

Fuente: Elaboración propia

*: Arnold, J., et al. (2012)

Los resultados de los promedios anuales de sedimentación hasta el año 2030 se obtuvieron con ayuda de la herramienta SWAT PLOT.

6.4. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Para conocer cuál escenario genera menor cantidad de sedimentos a futuro tomando en cuenta el cambio climático en un escenario A2, se analizaron las siguientes figuras.

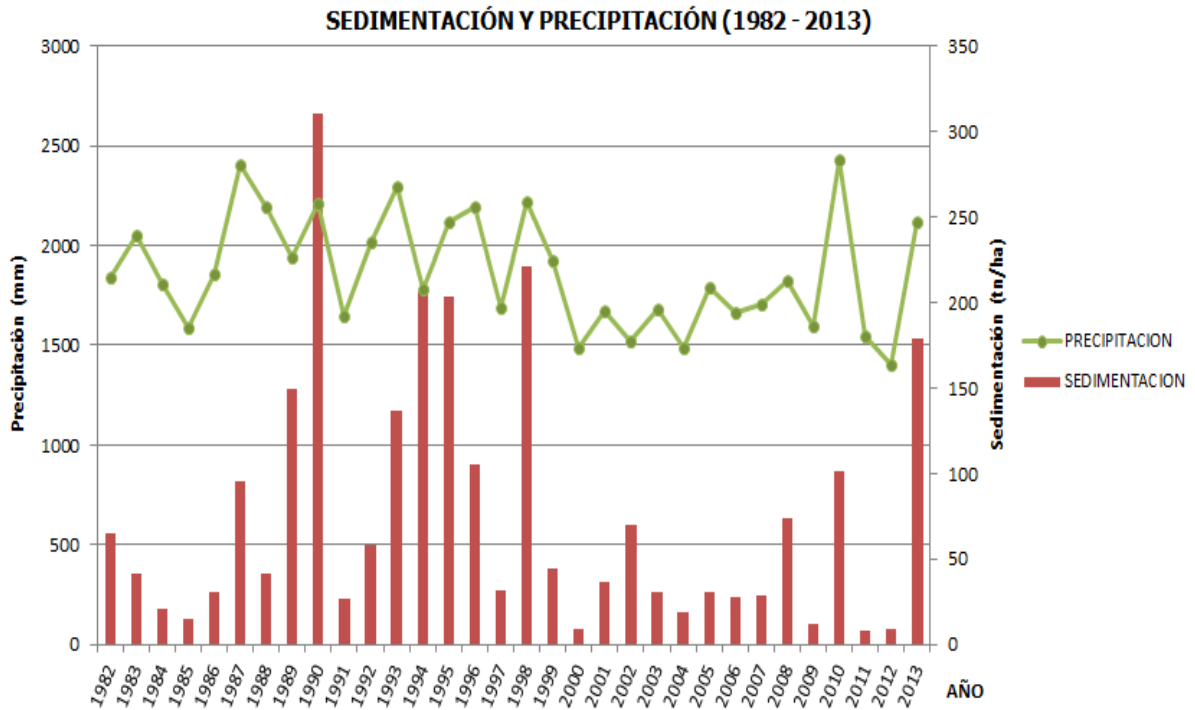


Figura 15: Sedimentación y precipitación (1982 - 2013)

Fuente. Elaboración propia

En la figura anterior se observó la relación existente entre la producción de sedimentos y la precipitación, y se realizó un análisis de correlación para medir estadísticamente esta relación donde se obtuvo un coeficiente de correlación de 0.62.

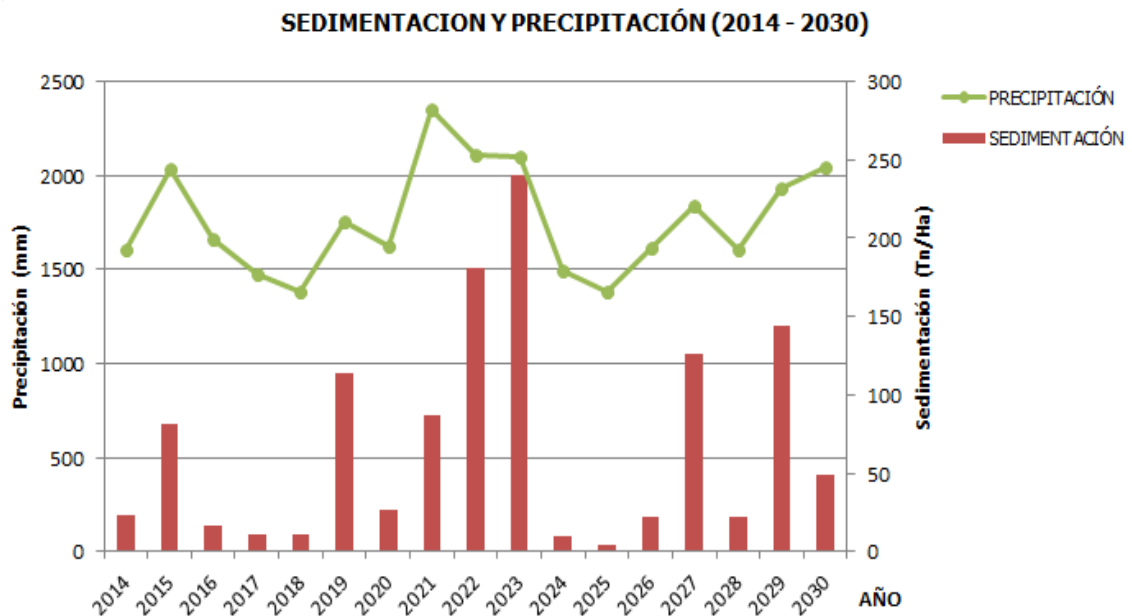


Figura 16. Sedimentación y precipitación (2014 – 2030)

Fuente. Elaboración propia

La relación entre precipitación y sedimentación de 2014 a 2030 aumentó de acuerdo al anterior gráfico y esto se corrobora con el coeficiente de correlación de 0.73.

Debido a que las estimaciones de la precipitación son variables y no se pueden controlar, la sedimentación va a seguir una dinámica relacionada con las lluvias, sin embargo la cantidad de sedimentos que se presenta en función de la precipitación pueden disminuir o aumentar dependiendo del uso de suelo y las prácticas de conservación como se puede apreciar en la siguiente figura.

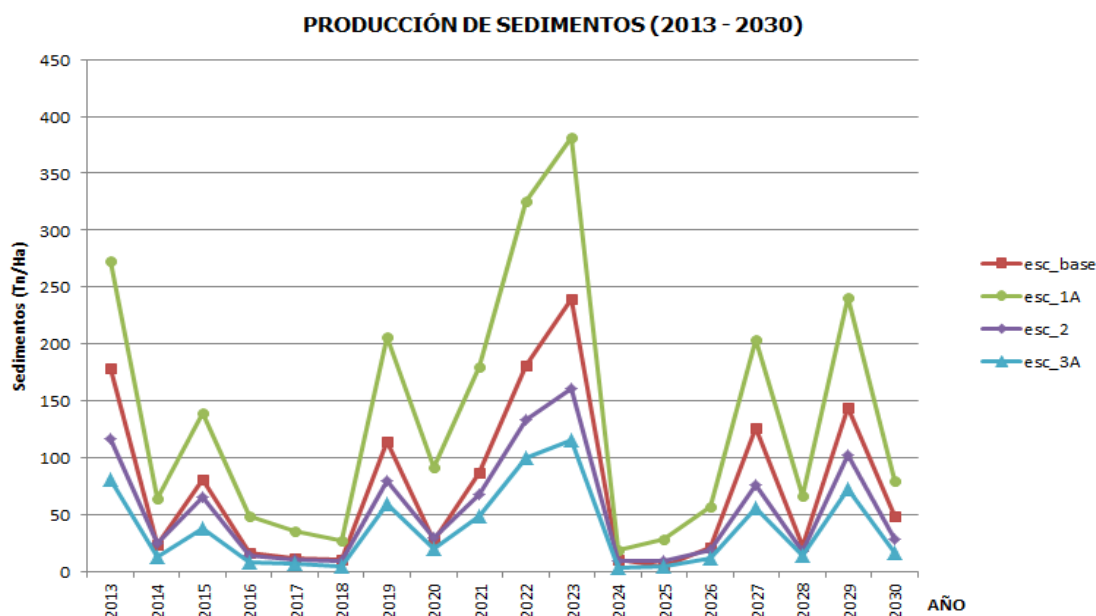


Figura 17. Producción de sedimentos A (2013 -2030)

Fuente: Elaboración propia

Los resultados que se obtuvieron muestran que la aplicación de prácticas de conservación (Esc_2) con la misma cobertura reduce la sedimentación; a diferencia del cambio de cobertura con pastos (Esc1_A) que influyo de manera negativa, puesto que incrementó la sedimentación. Por otro lado el cambio de cobertura vegetal y la aplicación de prácticas (Esc3_A) tienen un resultado significativo comparado con los otros escenarios.

Según los datos arrojados por el modelo, en el escenario base la cobertura que mayor sedimentación genera es la SWRN (Range Southwestern), clasificación que pertenece a la cobertura Rak y sabana desnuda. Para modelar el Esc_1A, la cobertura vegetal Rak se mantuvo por ser una zona endémica la cual se desea conservar, en cambio la sabana desnuda se cambió a un uso de suelo de pastura cultivada (PAST), pero el modelo indicó que este cambio de cobertura produjo mayor sedimentación; entonces se optó por realizar un segundo cambio a un sistema agroforestal (FRST, forest mixed) dando resultados más favorables como se observa a continuación.

PRODUCCIÓN DE SEDIMENTACION (2013 - 2030)

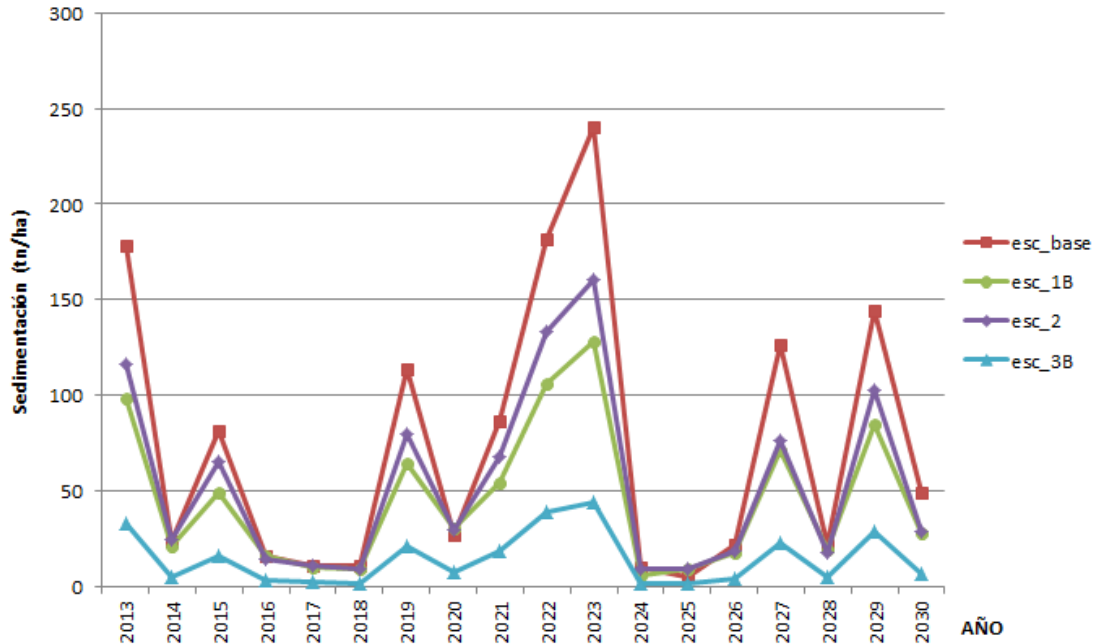


Figura 18. Producción de sedimentos B (2013 -2030)

Fuente: Elaboración propia

Se observó que este cambio de cobertura (esc_1B) disminuye significativamente la sedimentación, siendo más favorable que solo la aplicación de prácticas de conservación (esc_2) que también disminuyó la sedimentación pero no tan eficientemente como el primer escenario. El cambio drástico se produjo con la aplicación de prácticas de conservación y el nuevo uso de suelo (Esc3_B) donde se puede apreciar una diferencia significativa.

En ambos gráficos la producción de sedimentos entre los años 2020 y 2024 es elevada debido al incremento de la precipitación, constando de esta manera la relación existente entre estos factores. Se comprobó que los cambios efectuados en los modelos en relación a la cobertura vegetal y las prácticas deben ser llevadas a cabo para la conservación de los suelos en el área de estudio tal como se observa en la siguiente figura, donde se muestran las áreas recuperadas y la reducción en la producción de sedimentos.

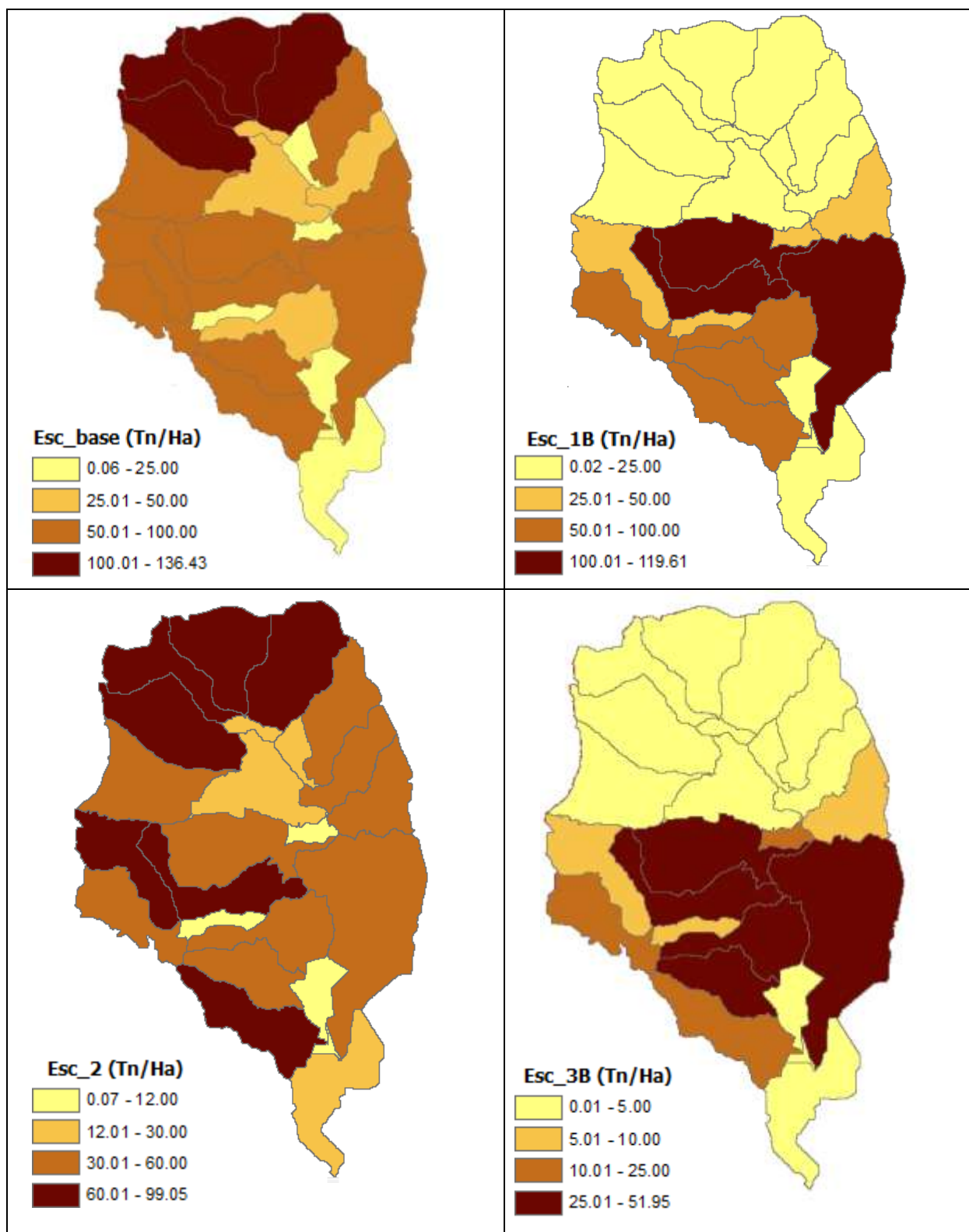


Figura 19. Mapas de producción de sedimentos B (2013 – 2030)

Fuente: Elaboración propia

En la figura anterior se observa que el cambio de cobertura genera un impacto positivo en la cuenca alta reduciendo la producción de sedimentos (comparación entre Esc_base y Esc_1B). Entre el Esc_1B y el Esc_2 la diferencia importante está en los datos de las áreas oscuras donde la producción de sedimentos es menor con la sola aplicación de prácticas de conservación; pero al compararlo con el Esc_3B se evidencia que el cambio de cobertura más la aplicación de prácticas disminuye la generación de sedimentos de manera significativa incluso en las zonas críticas.

Los resultados muestran que los cambios de cobertura tienen una importante influencia en la erosión y sedimentación dentro la cuenca; el tipo de cobertura puede tener una incidencia muy significativa sobre la producción de sedimentación, tal como observó Pham (2007) en su investigación donde el cambio de una zona boscosa a cultivos de arroz, matorrales, arbustos y prados provocó severos impactos en la producción de sedimentos y lo corrobora Miller, et. al. (2002) indicando que las pasturas con avanzada degradación son factores que aceleran la erosión hídrica, afectan la calidad del agua y aumenta la producción de sedimentos. La escorrentía está directamente relacionada a la producción de erosión y sedimentos; por eso es importante mantener el equilibrio dentro la cuenca hidrográfica, porque su alteración modifica el ciclo hidrológico (Guo, et. al. 2008; Juckem, et. al. 2008; Li, et. al. 2009).

Con respecto a los árboles, Young (1997) menciona que éstos actúan como barreras que reducen la escorrentía, los impactos de las lluvias, mejora la infiltración y la retención de agua en el suelo. Tomando en cuenta este concepto se caracterizó en la base de SWAT todas las coberturas en una condición hidrológica pobre por la baja cobertura existente en la cuenca alta y media y una condición hidrológica regular en la cuenca baja. Li, et. al. (2009) mencionan que la disminución de la erosión va estar en función de la alta densidad de la cubierta forestal, pastizal o las prácticas de conservación. Sin embargo otros resultados obtenidos por Wilson, et. al. (2011) indican que los mayores cambios en la concentración de la totalidad de sólidos suspendidos se observa en escenarios climáticos en comparación con el uso de la tierra.

Por otro lado la aplicación de prácticas de conservación son indispensable para disminuir la sedimentación en cualquier actividad o intervención que se realice dentro la cuenca, tal como indica la evaluación de Tetra Tech, (1998) sobre las buenas prácticas aplicadas a la cuenca del Chorro Creek en Estados Unidos donde se redujo la producción de sedimentos, alcanzando en las subcuencas locales donde están instaladas las mejores prácticas de conservación para el lugar hasta 50% de reducción; además hubo un proyecto de exclusión del ganado de la lechería, de exclusión de ganado en aguas abajo y un proyecto de manejo del pastoreo.

La importancia de la aplicación de las mejores prácticas de conservación según Arabi, et. al.(2007) radica en que son métodos ampliamente aceptados y que minimizan el impacto de la actividad agrícola en las aguas superficiales y las aguas subterráneas; cuyo mantenimiento en condiciones adecuadas de calidad del agua es importante para proteger la salud humana,

animal y la sanidad vegetal, preocupación constante en el mantenimiento de los recursos hídricos (Pejman, et. al. 2009). Pero Giri, et. al. (2012) indican que se debe enfatizar la selección del método focalizándolo en el área para satisfacer las necesidades y objetivos de una implementación de las mejores prácticas debido a que los diferentes métodos producen resultados variables.

La mejor manera para la mitigación y adaptación al cambio climático es con el manejo, la conservación de los recursos naturales y la planificación del uso del suelo (Guo, et. al. 2008; Juckem, et. al. 2008; Cepal, 2010; Lal, et. al. 2011); por tal motivo la planificación debe analizarse con buenos criterios para evitar impactos interrelacionados con los cambio de uso (Heuvelmans, et. al. 2005). En consecuencia, los análisis de usos de suelo y cambios de cobertura son esenciales para la comprensión de cómo se manifestarán en el futuro (Clarke, et. al. 1997; Rounsevell, et. al. 2006). Además Wilson, et. al. (2011) revela que el uso futuro de la tierra y los cambios climáticos tienen el potencial de cambiar drásticamente los niveles de concentración total de sedimentos.

6.5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Los sistemas de producción y la ganadería libre dentro la cuenca Brodequin, provocan una severa deforestación por la habilitación de tierras, además de la fabricación y comercio de carbono el cual es un medio de vida importante para el mantenimiento de las familias, dando como resultado una elevada erosión y por ende un flujo de sedimentos alto.

El cambio de cobertura a sistemas agroforestales y reforestación resultó más favorable para la reducción en la producción de sedimentos, pero este cambio fue más significativo con la aplicación de prácticas de conservación de suelos.

La aplicación de prácticas de conservación debe ser focalizada de acuerdo al área donde se desea implementar para que cumpla con su objetivo.

Como la precipitación incide de manera significativa en la producción de sedimentos, es importante realizar los cambios necesarios de cobertura y aplicación de prácticas de manera casi inmediata para mitigar los efectos del cambio climático.

Recomendaciones

Realizar estudios para que la implementación de las prácticas de conservación sean las adecuadas para el área.

Para cualquier cambio de cobertura es necesario eliminar la práctica de la ganadería libre.

Toda actividad a realizarse debe tener la participación activa de los agricultores quienes son los directos interesados, además que deben conocer las diferentes técnicas a implementarse para su constante conservación.

La calibración y validación del modelo es un factor clave para reducir la incertidumbre y el aumento en la capacidad de predicción. Debido a la escasez de información el modelo SWAT no podrá ser calibrado, sin embargo se recomienda generar la información necesaria para este propósito.

6.6. LITERATURA CITADA

Arabi, M., Frankenberger, J.R., Engel, B.A., Arnold, J.G., 2007. Representation of agricultural conservation practices with SWAT. *Hydrologic Processes* 22, 3042-3055.

Arnold, J.G., Williams, J.R., Srinivasan, R., and King, K.W. (1999). SWAT: Soil and Water Assessment Tool. U.S. Dept. of Agriculture, Agricultural Research Service, Temple, Texas.

Arnold J.G., Kiniry J.R., Srinivasan R., Williams J.R., Haney E.B., Neitsch S.L.. 2012. Input/Output Documentation Version. Texas Water Resources Institute

CEPAL, (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2010. La economía del cambio climático en centroamérica: Síntesis 2010. p. 143

Clarke K.C., Hoppen S., Gaydos L. 1997. A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay Area. *Environ Plan Plan. Design*;24:247-61.

Di Luzio, M., Srinivasan R., Arnold J.G., Neitsch S.L. 2002. Soil and Water Assessment Tool. ArcView GIS Interface Manual: Version 2000. GSWRL Report 02-03, BRC Report 02-07, Published by Texas Water Resources Institute TR-193, College Station, TX. 346 p.

FAO/UNEP/ISSS/ISRIC. 1993. Global and national soils and terrain database (SOTER). Procedures manual. World Soil Resources Report 74. FAO, Rome. 122 pp.

Giri S., Nejadhashemi A. P., Woznicki S. A. 2012. Evaluation of targeting methods for implementation of best management practices in the Saginaw River Watershed. *Journal of Environmental Management* 103. 24-40 pp.

Gómez, F. (2002). Evaluación de la erosión potencial y producción de sedimentos en tres cuencas de Costa Rica. UCR. 191 p.

Guo, H; Hu, Q; Jiang, T. 2008. Annual and seasonal streamflow responses to climate and land-cover changes in the Poyang Lake basin, China. *Journal of Hydrology (Amsterdam)* 355(1/4):106-122.

Heuvelmans, G; Garcia-Qujano, JF; Muys, B; Feyen, J; Coppin, P. 2005. Modelling the water balance with SWAT as part of the land use impact evaluation in a life cycle study of CO2 emission reduction scenarios. *Hydrological Processes* 19(3):729-748.

Juckem, PF; Hunt, RJ; Anderson, MP; Robertson, DM. 2008. Effects of climate and land management change on streamflow in the driftless area of Wisconsin. *Journal of Hydrology (Amsterdam)* 355(1/4):123-130.

Kazimierski, L. D., Irigoyen, M. Brea, J. D., Spalletti, P., Menéndez A. N. 2011. Impacto del cambio climático en la producción de sedimentos en las cuencas de los Ríos Bermejo y Pilcomayo. Argentina. Consultado en 21 Nov. 2013. Disponible en: http://www.ina.gov.ar/pdf/ifrrhh/04_011_Kazimierski.pdf

Kundzewicz, Z.W., Nohara, D., Tong, J., Oki, T., Buda, S., Takeuchi, K., 2009. Discharge of large Asian rivers – observations and projections. *China Quaternary International* 208, 4–10 pp.

Lal, R; Delgado, J; Groffman, P; Millar, N; Dell, C; Rotz, A. 2011. Management to mitigate and adapt to climate change. *Journal of Soil and Water Conservation* 66(4):276-285.

Li, Z; Liu, W; Zhang, X; Zheng, F. 2009. Impacts of land use change and climate variability on hydrology in an agricultural catchment on the Loess Plateau of China. *Journal of Hydrology (Amsterdam)* 377(1/2):35-42.

Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., and Williams, J.R. 2005. Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation. Version 2005. Grassland, soil and water research service, Temple, Texas.

Pejman, A.H., Nabi Bidhendi, G.R., Karbassi, A.R., Mehrdadi, N., Esmaeili Bidhendi, M., 2009. Evaluation of spatial and seasonal variations in surface water quality using multivariate statistical techniques. *International Journal of Environmental Science and Technology* 6, 467-476

Pham, H., 2007. Evaluating Potential of Soil Loss Erosion in the Ba Be Lake Basin in Vietnam, Project, Hanoi-Vietnam.

Rounsevell M.D., Reginster I., Araujo M.B., Carter T.R., Dendoncker N., Ewert F., et al. 2006. A coherent set of future land use change scenarios for Europe. *Agronomy Ecosystem Environment*; 114:57–68

Shrestha B., Maskey S., Babel M.S., Griensven A., Green A., Akkharath I., Uhlenbrook S. 2013. Impact of climate change on sediment yield in the Mekong River basin: a case study of the Nam Ou basin, Lao PDR. *Hydrology Earth Syst. Sci.*, 17, 1-20 pp.

UNESCO. 2010. Procesos de erosión - sedimentación en cauces y cuencas. Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe. Documento Técnico N° 22. Chile

Xu J.X. 2009. Larger Asian rivers: Climate change, river flow and sediment flux. China. Quaternary International 208:1-3 pp.

Walling, D.E., 2011. Human Impact on the Sediment Loads of Asian Rivers, Sediment Problems and Sediment Management in Asian River Basins. IAHS Publ. 349, Wallingford, pp. 37-51.

Wilson, C.O., Weng Q. 2011. Simulating the impacts of future land use and climate changes on surface water quality in the Des Plaines River watershed, Chicago Metropolitan Statistical Area, Illinois. Science of the Total Environment 409. 4387-4405 pp.

Winchell, M. Srinivasan, R. Di Luzio, M. Arnold, J. 2012. ArcSWAT Interfase for SWAT 2012. User's guide. USDA Agricultural Research Service. Temple, Texas. 459 p.

White, KL; Chaubey, I. 2005. Sensitivity analysis, calibration, and validations for a multisite and multivariable SWAT model. JAWRA Journal of the American Water Resources Association 41(5):1077-1089 pp.

Young, A. 1997. Agroforestry for soil management. Cab International. v. Ed. 2