

DINÁMICA DEL USO DE LA TIERRA Y LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LA SUBCUENCA DEL RÍO PANAJACHEL, CUENCA DEL LAGO DE ATITLÁN, SOLOLÁ.

Land use dynamics and climatic variability in the Panajachel river subbasin, Atitlán lake basin, Sololá

Wener Armando Ochoa Orozco

M.Sc. en Gestión Ambiental
wenerochoa@gmail.com

Marvin Roberto Salguero Barahona

Dr. en Gestión Integrada y Gobernabilidad
de Recursos Hídricos
marvinsal@gmail.com

Recibido: 15 de noviembre de 2021. | Revisado: 25 de marzo de 2022. | Aprobado: 15 de julio de 2022.

RESUMEN

El presente estudio partió de la interrogante ¿Cuál es la dinámica del uso de la tierra con la variabilidad climática y cómo se manifiesta con la erosión hídrica? Para ello se realizó revisión bibliográfica, aplicación de la Ecuación Universal de Perdida de Suelos Revisada, Sistemas de Información Geográfica, metodología Conversion of Land use and its Effects CLUE, ortofotos, sobreposición de mapas y software R-Climdex. Los resultados obtenidos evidenciaron que existe aumento significativo en la transformación de bosque a usos como agricultura y urbanización. La tendencia de la precipitación es normal de manera general, observándose una disminución en la precipitación promedio anual de 1,235 mm anual en los últimos 7 años. La erosión hídrica del año 2018, es muy alta con pérdidas mayores a 200 Ton/ha/año en la subcuenca. Dinámica que se mantiene para los escenarios del 2030 y 2040. Por lo tanto; la dinámica del uso de la tierra es variable y está relacionada con la variabilidad climática a través de la precipitación al evidenciar que hay incremento de erosión hídrica.

PALABRAS CLAVE

Uso de la tierra, precipitación, erosión hídrica, urbanización, bosque.

ABSTRACT

The present study started from the question: What is the dynamics of land use with climate variability and how does it manifest itself with water erosion? For this, a bibliographic review was carried out, application of the Revised Universal Soil Loss Equation, Geographic Information Systems, Conversion of Land use and its Effects CLUE methodology, orthophotos, map overlay and R-Climdex software. The results obtained showed that there is a significant increase in the transformation of the forest to uses such as agriculture and urbanization. The trend of precipitation is generally normal, observing a decrease in average annual precipitation of 1,235 mm per year in the last 7 years. The water erosion in 2018 is very high with losses greater than 200 Ton / ha / year in the sub-basin. This dynamic is maintained for the 2030 and 2040 scenarios. Therefore; the dynamics of land use is variable and is related to climate variability through precipitation by showing that there is an increase in water erosion.

KEYWORDS

Land use, precipitation, water erosion, urbanization, forest.

INTRODUCCIÓN

El suelo es un ecosistema que surge a través de procesos de meteorización, no es un sistema estático (FAO, 2016). El área de estudio es la subcuenca del río Panajachel, cuenca del lago de Atitlán, Sololá. A nivel mundial se estima que la erosión hídrica transporta entre 23 a 42 millones de toneladas de Nitrógeno y de 15 a 26 millones de toneladas de Fósforo cada año (FAO, 2016). La erosión hídrica es ocasionada cuando el agua que escurre sobre la superficie no se infiltra (Pulido, 2014).

Netzer et al. (2011), plantea que para Latinoamérica, la degradación, el cambio del uso de la tierra y la deforestación, son algunos de los orígenes importantes de la concentración de gases de efecto invernadero, generados por cambio de uso de la tierra.

Conocer estos resultados contribuirán a la adaptación al cambio climático.

DESARROLLO DEL ESTUDIO

Se tuvo como unidad de estudio la subcuenca del río Panajachel, cuenca del lago de Atitlán, Sololá, Guatemala y como unidad de análisis la erosión hídrica. En cuanto al diseño es no experimental, debido a que se observó el fenómeno tal como se da en la realidad para luego analizar y explicarlo. Es un estudio cuantitativo; porque usa la recopilación de datos para probar una hipótesis con base en mediciones numéricas y análisis estadístico. Es longitudinal de tendencia, dado que se busca entender y explicar los cambios a través del tiempo del uso de la tierra y la precipitación manifestada en la erosión hídrica y es transversal en cuanto al análisis a realizar de la interacción de la precipitación y el uso de la tierra manifestada en la erosión hídrica en el periodo de tiempo de 1980 a 2018.

Tiene un alcance descriptivo, pero a la vez explicativo, correlacional e interpretativo, porque describe la dinámica del uso de la tierra y la variabilidad climática por medio de la precipitación y explica e interpreta

la interacción de estas, manifestada en la erosión hídrica. Se utilizaron herramientas digitales, la base cartográfica del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación de Guatemala y del Instituto Geográfico Nacional, Mapa de Cuencas Hidrográficas de la República de Guatemala (MAGA-IGN), Hojas Cartográficas (IGN), Modelos de Elevación Digital y ortofotografías. El análisis de toda esta información se hizo con software SIG ARCGIS 10.X. Se utilizó la imagen satelital Landsat 8, Sentynel, para la clasificación de los usos de la tierra de cada período en estudio se utilizó la clasificación basada en los usos mas predominantes.

Para la precipitación se utilizó el software Rclimdex y el método Delta. La determinación de la erosión hídrica fue mediante la aplicación del método RUSLE integrado a Sistemas de Información Geográfica. La ecuación es la siguiente:

$$A=R \times K \times L \times C \times P$$

Donde,

A = pérdida de suelo (t/ha).

R = índice de erosividad asociado a la lluvia.

K = factor de erodabilidad del suelo.

L = longitud de la pendiente.

S = porcentaje de pendiente.

C = cobertura y manejo.

P = prácticas de control de la erosión.

La elaboración de una simulación de ocupación y usos de la tierra de la subcuenca del río Panajachel, para los años 2030 y 2040, bajo un escenario tendencial, se realizó mediante la utilización de Sistemas de Información Geográfica, utilizando el software de ARGIS y Conversion of Land use and its Effects (CLUE).

RESULTADOS OBTENIDOS

Existe un incremento de la transformación de las áreas de bosque a otros usos como agrícola o urbanización.

Tabla 1.
Uso de la tierra de la subcuenca del río Panajachel.

Uso	Área (km ²)						
	1980	1990	2000	2010	2018	2030	2040
Bosques	49.14	43.62	39.13	36.62	34.23	31.26	28.31
Agricultura	17.58	21.33	23.03	25.54	27.19	30.09	32.72
Poblados	0.75	1.98	2.72	3.51	3.92	4.64	5.11
Matorrales	1.98	2.33	3.56	3.76	3.95	3.38	3.01
Pastizales	0.95	1.14	1.96	0.97	1.11	1.03	1.25
Total	70.40	70.40	70.40	70.40	70.40	70.40	70.40

Fuente: elaboración propia.

En cuanto a la tendencia de la precipitación se identificó que del año 1994 al 2001 se observa una tendencia normal, sin embargo, se observó una disminución en la precipitación promedio anual de 1,235 mm anual en los últimos 7 años.

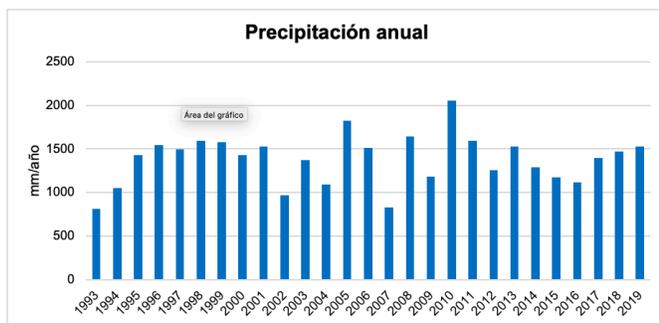
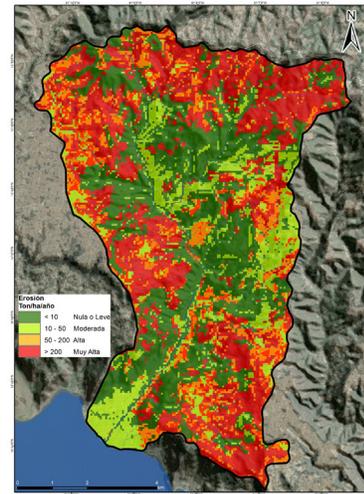


Figura 1. Variabilidad de la precipitación.

De acuerdo al análisis de la erosión hídrica en la subcuenca del río Panajachel en el año 2018, se determinó que existe muy alta erosión con pérdidas mayores a 200 Ton/ha/año y una cobertura del 39.82 % del área total de la subcuenca, el 17.79 % de erosión alta entre rangos de 50-200 Ton/ha/año, moderada 21.44 %. Entre 10 a 50 Ton/ha/año y 22.26 % con una erosión nula o leve menor a 10 Ton/ha/año. Del año 2001 al año 2018 se observa un incremento del uso de

la tierra para agricultura anual de 18.63 a 22.96 km² y una disminución del área para bosques de 27.50 a 21.79 km².

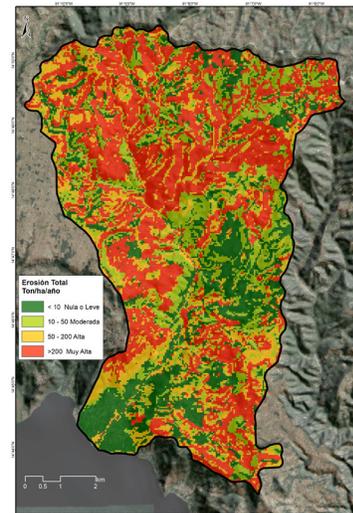


Escenarios de erosión hídrica del año 2030, subcuenca del río San Francisco o Panajachel, cuenca del lago de Atitlán

Nivel	Pérdida de suelo (Ton/ha/año)	Tipo de erosión	Área (km ²)	Área (%)
1	< 10	Nula o leve	14.32	20.06
2	10-50	Moderada	14.82	21.05
3	50-200	Alta	11.60	16.39
4	> 200	Muy Alta	30.06	42.70
Total			70.40	100

Figura 2. Erosión hídrica de la subcuenca del río Panajachel del año 2018.

En cuanto a los escenarios al 2030 y 2040 los resultados fueron los siguientes:



Erosión hídrica en la subcuenca del río Panajachel o San Francisco, Cuenca del lago de Atitlán. Año 2018

Nivel	Pérdida de suelo (Ton/ha/año)	Tipo Erosión	Área (km ²)	Área (%)
1	< 10	Nula o leve	14.77	20.95
2	10-50	Moderada	15.11	21.44
3	50-200	Alta	12.51	17.79
4	> 200	Muy Alta	28.07	39.82
Total			70.45	100.00

Figura 3. Escenario de erosión hídrica, año 2030.

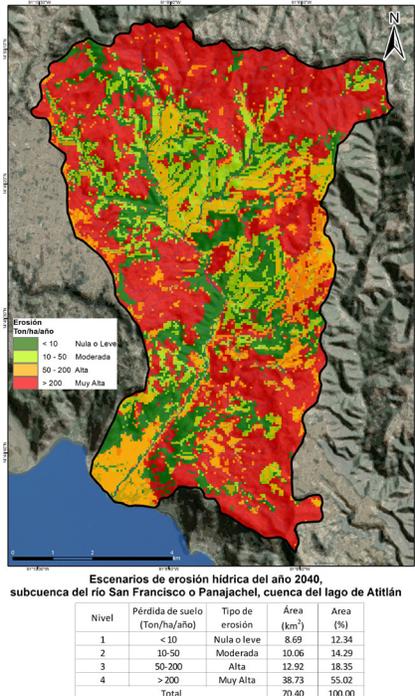


Figura 4. Escenarios de erosión hídrica, año 2040.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los cambios de cobertura y uso de la tierra en escalas locales están ligados a una combinación específica de factores económicos, tecnológicos, institucionales, culturales y demográficos, que dependen de cada lugar y de cada contexto histórico, así como a la ubicación geográfica, topografía, geología, suelo, clima y factores antropogénico como la historia del uso del suelo y las tendencias socioeconómicas y demográficas (Gallardo et al., 2015).

Para Mendoza (2011), el cambio de uso de la tierra constituye, entre otras posibilidades la modificación de la cubierta vegetal y la deforestación constituye la pérdida de una cubierta vegetal arbolada, sustituida principalmente por una cubierta como la agricultura, a lo que se le llama también modificación en la composición del suelo en términos de Alvarado, (2011).

Se evidencia que uno de los factores de mayor incidencia en los procesos de cambio de cobertura

y uso de la tierra es la deforestación y con esto se observa que el cambio del uso de la tierra debido a presión demográfica entre otros factores, provoca procesos de suelo así como pérdida y deterioro de bosques.

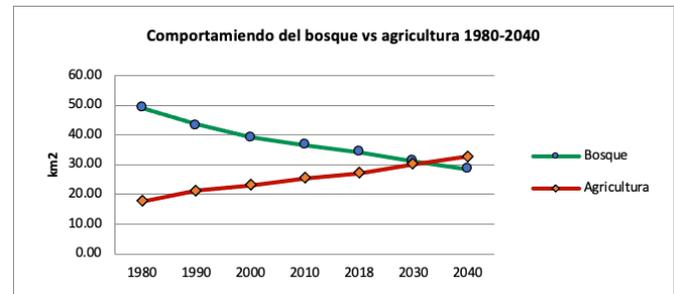


Figura 5. Bosque versus agricultura 1980-2040.

Para Prado-Hernández et al. (2017), en las cuencas de cabecera en régimen natural, se observa que ante los cambios de uso de la tierra existen cambios en los patrones de precipitación, en el ciclo hidrológico, donde no solo afecta a las aportaciones superficiales sino también al contenido de humedad del suelo y recarga al acuífero.

Los valores de erosión hídrica respecto al uso de la tierra en el año 2018, reflejan una estrecha dependencia entre el uso de la tierra y los regímenes de precipitación, topografía y manejos de los suelos. Esta dinámica se refleja en los escenarios obtenidos para los años 2030 y 2040.

La erosión y el cambio del uso de la tierra tienen una estrecha relación, a medida que la degradación del suelo aumenta por la pérdida de cobertura principalmente la boscosa y de matorrales (Netzer, 2011 y FAO, 2016).

La erosión hídrica en la subcuenca del río Panajachel, en el escenario para el año 2030, 42.70 % de la cuenca posee erosiones mayores a 200 ton/ha/año. Según FAO, (2016) y Netzer, (2011); la tasa máxima permisible, cuando se habla de erosión del suelo es de 10 toneladas/hectárea/año, ya que se calcula que esta es la velocidad a la que el suelo se genera, por lo que todo territorio

cuyas pérdidas de suelo no superen las 10 T/Ha/año no presentarán pérdidas netas debido a la erosión.

El uso de la tierra afecta el clima y las precipitaciones. El uso de la tierra tiene una influencia directa sobre la evapotranspiración, los vientos y la forma de las nubes. En términos concretos se puede deducir que en algunos lugares llueve menos porque hay menos bosque, debido a que los bosques evitan que se sequen las fuentes de agua en el verano. El uso de la tierra determina, en parte, cual es el porcentaje de lluvia que cae y se infiltra en el suelo y que porcentaje se pierde, fluyendo como escorrentía. Los bosques naturales suelen poseer buena infiltración, su amplia estructura de raíces abren muchos poros en el suelo y la vegetación lo protege de la compactación, sin olvidar la cantidad de material como obstáculo para la disminución de la velocidad de la escorrentía (ramas, troncos caídos, pastos) estos favorecen y aumentan la infiltración y reducen la erosión a causa del agua.

En el marco de estos escenarios con los resultados obtenidos, cabe mencionar que, al incrementar el uso de la tierra para urbanización es muy probable que los caudales tiendan a aumentar debido a la impermeabilización. A pesar de que para la subcuenca se proyecta una disminución de la precipitación anual en el área, pero con eventos de mayor intensidad y corta duración, en específico se espera un aumento de intensidad de lluvia diaria, lo cual en términos concretos para los escenarios de erosión hídrica significa mayores valores de erosión y con una tendencia incremental, coincidiendo con la conclusión del estudio de impactos del uso de la tierra y cambios de cobertura vegetal en la modificación de precipitaciones extremas en Postdam, Alemania, quienes afirman que los cambios de uso de la tierra modifican la magnitud y la distribución espacial de la precipitación extrema (Woldemichael et al., 2014).

El cambio de uso de la tierra hacia usos incorrectos tienen un efecto negativo directo en la erosión hídrica, ya que se incrementa dicha erosión, al relacionarse con la precipitación.

CONCLUSIONES

La dinámica del uso de la tierra en la subcuenca ha sido bastante variable, sin embargo, del año 2001 al año 2018 se observa un incremento para agricultura anual de 18.63 a 22.96 km² y una disminución del área para bosques de 27.50 a 21.79 km². El comportamiento de bosque y agricultura anual, evidencia que existe un crecimiento en el año 2006 de uso de la tierra para la agricultura, evidenciando la disminución de la cobertura forestal. El comportamiento de la precipitación evidencia que del año 1994 al 2001 se observa una tendencia normal, sin embargo, de los años 2002 al 2010 las tendencias de la precipitación comienzan a variar y se normalizan del 2011 al 2017, luego, se observa una disminución en la precipitación anual de 1,235 mm anual en los últimos 9 años y un aumento de intensidad de lluvia diaria y de corta duración.

Para el año 2018 se determinó que existe muy alta erosión con pérdidas mayores a 200 Ton/ha/año y una cobertura del 39.82 % del área total de la subcuenca, el 17.79 % de erosión alta entre rangos de 50-200 Ton/ha/año, moderada 21.44 % entre 10 a 50 Ton/ha/año y 22.26 % con una erosión nula o leve menor a 10 Ton/ha/año, esto como consecuencia del cambio de uso de la tierra de cobertura forestal a uso agrícola lo cual aumenta la vulnerabilidad ante las precipitaciones normales de la estación lluviosa.

En cuanto a los escenarios, se proyecta el incremento de erosión hídrica para el año 2030 y 2040, debido al incremento de cambio de uso de la tierra para fines agrícolas o áreas artificiales, aumentando las interfaces forestales – agrícola y agrícola/forestal – urbano. En términos concretos los escenarios de erosión hídrica son mayores y con una tendencia incremental.

RECOMENDACIONES

Trabajar de manera inmediata una propuesta de gestión del uso de la tierra en la subcuenca, orientando a programas de conservación del suelo en las regiones de mayor riesgo a erosión y en las áreas con cobertura

agrícola principalmente para adaptarse al cambio climático.

Estudiar a profundidad un solo uso de la tierra, pudiendo ser solo bosque y/o solo uso agrícola relacionado con mas variables climáticas como la precipitación, la temperatura y la humedad del suelo para comprender un poco mas la relación del sistema climático con el uso de la tierra.

Investigar sobre la relación del cambio del uso de la tierra y su influencia en la hidrología e hidrogeología de la subcuenca.

Continuar investigando el papel del uso de la tierra y sus cambios y su relación con las tele conexiones climáticas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarado, K. (2011). Pérdida de suelo por erosión hídrica en diferentes sistemas de producción con papa. *Solanum tuberosum* L. *Revista Ciencias Agrícolas* vol. XXVIII No. 1. p. 64-72.
- FAO. (2016). *Estado mundial del recurso suelo*. FAO. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>
- Gallardo, M. y Martínez-Vega, J. (2015). *La utilización de escenarios futuros de usos del suelo como herramienta en la planificación territorial*. Poster. Tercer Foro Nacional de Percepción Remota y SIG. Concepción, Chile. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/322437435_La_utilizacion_de_escenarios_futuros_de_usos_del_suelo_como_herramienta_en_la_planificacion_territorial
- Mendoza, M. (2011). Alternativas para el control de la erosión mediante el uso de coberturas convencionales, no convencionales y revegetalización. *Revista Ingeniería e Investigación*. Volúmen 31 (3). Pp 89-90, Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v31n3/v31n3a09.pdf>
- Netzer, N. & Gouverneur, J., (2011). *Saving Tomorrow – Today?* Recuperado de <http://library.fes.de/pdf-files/iez/08586.pdf>.

Prado, J., Rivera, P., León, B., Carrillo, M. & Martínez, A. (2017). Calibración de los modelos de pérdidas de suelo usle y musle en una cuenca forestal de México: caso El Malacate. *Agrociencia*, 51(3), 265-284. Recuperado en 21 de mayo de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952017000300265&lng=es&tlng=es.

Woldemichael, A., Hossain, F., y Pielke, R. (2014). *Impactos del uso de la tierra de Postdam / Cambios en la cobertura de la tierra en la modificación de la precipitación extrema en hidroclima contrastante y características del terreno*. *J. Hydrometeor.*, 15, 777–800, <https://doi.org/10.1175/JHM-D-13-085.1>

INFORMACIÓN DE LOS AUTORES

Doctor en Cambio Climático y Sostenibilidad, Wener Armando Ochoa Orozco. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2020. Maestro en Ciencias en Gestión Ambiental, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2010.

Ingeniero Agrónomo, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2007. Afilación laboral: Profesor de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, USAC.

Doctor en Gestión Integrada y Gobernabilidad de Recursos Hídricos, Marvin Roberto Salguero Barahona. Facultad de Geociencias, Universidad de Utrecht, 2009.

Maestro en Manejo Sostenible de Suelo y Agua con Especialidad en Planificación y Manejo de Recursos Hídricos en Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad San Carlos de Guatemala, 2002.

Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2007.

Afilación laboral: Profesor de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, USAC.