

Propuesta metodológica para evaluación del riesgo de erosión hídrica, utilizando sistemas de información geográfica y teledetección, Cantón Cayambe

Methodological proposal for evaluation of the risk of water erosion, using geographic information system, Cantón Cayambe

Susana Arciniegas Ortega¹, Karol Morillo², Alexis Jacome³, Diana Ibaza⁴, Dimitri Nieto⁵

Resumen

En este trabajo se presenta una metodología para evaluar el riesgo de erosión hídrica en el Cantón Cayambe aplicando Sistemas de Información Geográfica (SIG). La metodología propone la modelización en función de variables topografía y suelo. De la topografía se ha tomado en cuenta la pendiente, y de algunas de las características del suelo se ha tomado en cuenta la textura, que afectan en el proceso de erosión que provoca el agua, como producto de la energía cinética de una partícula de agua sobre partículas de suelo. El resultado es combinado con la variable de precipitación, dando como resultado una zonificación del riesgo de erosión hídrica. El modelo resultante toma en cuenta a la precipitación, porque es uno de los factores climáticos desencadenante del proceso de erosión hídrica. Esta propuesta metodológica trata de solucionar el problema que se presenta cuando no se tiene todas las variables que permiten realizar el cálculo por métodos que vienen dados por organismos como la FAO. Esto permite realizar un diagnóstico preliminar de la erosión hídrica en las diferentes actividades y usos del suelo en el Cantón, apoyando en análisis posteriores en la determinación del grado de fertilidad y producción, en procesos de Planificación y Ordenamiento Territorial.

Palabras Clave: erosión hídrica, pendiente, textura suelo, pluviosidad, Sistemas de Información Geográfica

Abstract

The following work establishes the methodology for assessing the risk of water erosion in “Canton Cayambe” with the use of Geographic Information Systems (GIS). This method suggests the modeling based on variables such as topography and soil. From topography variable, slope is taken into account; as well as texture for soil characteristic which affect the process of erosion caused by the water, as a result of the kinetic energy interaction of a water particle on soil particles. The result is combined with the variable precipitation, resulting in the delimitation of zones with risk from water erosion. The modeling takes into account precipitation because is one of the climatic factors that triggers the process of water erosion. The methodological proposal seeks to solve the problems that occur when there is not enough information about the variables that are required by the calculation methods given by organizations such as FAO. This allows a preliminary diagnosis of water erosion in different activities and land uses in the studied zone, allowing further analysis in determining the degree of fertility and production in process in Land Use Planning.

Keywords: water erosion, slope, soil texture, precipitation, Geographic Information System

- 1 Carrera Ingeniería Ambiental, Universidad Central del Ecuador, Ecuador. Email: srarciniegas@uce.edu.ec
- 2 Carrera Ingeniería Ambiental, Universidad Central del Ecuador, Ecuador. Email: klmorillo@uce.edu.ec
- 3 Carrera Ingeniería Ambiental, Universidad Central del Ecuador, Ecuador. Email: axjacome@uce.edu.ec
- 4 Carrera Ingeniería Ambiental, Universidad Central del Ecuador, Ecuador. Email: dyibaza@uce.edu.ec
- 5 Carrera Ingeniería en Minas, Universidad Central del Ecuador, Ecuador. Email: ednieto@uce.edu.ec

Recibido. 06 de setiembre del 2017

Aceptado. 30 setiembre del 2017

Introducción

Cantón Cayambe se caracteriza por ser un Cantón con actividad agropecuaria, en donde la ciudad de Cayambe es conocida por contribuir en la producción florícola, gracias a su posición geográfica que ha hecho posible crecer en el sector productivo de las flores, lo que le hace ser considerada como una zona importante a nivel de país, ya que varias de sus exportaciones apoyan a la economía del país.

El constante crecimiento del calentamiento global ha hecho que varios impactos se presenten en territorio, afectando muchas veces al sector floricultor, debido a las variaciones de lluvia o épocas de sequía. Por otro lado, el sector productivo no es el único afectado, sectores como las vías de comunicación debido a la pérdida de las propiedades del suelo están expuestas a riesgos de deslizamientos, que son partes importantes en el desarrollo de un país.

No se cuenta con información respecto a erosión de suelos o erosión hídrica presente en la superficie del cantón, así como no se cuenta con la información completa de los factores climatológicos, debido a que muchas de las estaciones meteorológicas o climatológicas se encuentran ubicados muy distantes del sector de estudio, o las mismas presentan falta de datos en varios promedios de tiempo. Sin embargo, varias investigaciones han buscado cuantificar la tasa de erosión bajo diferentes usos del suelo [1], al igual que evaluar la efectividad de diferentes coberturas vegetales en el control de la erosión en terrenos agrícolas, por medio de la definición de parcelas de erosión o lotes de escurrimiento [1], pero pocos estudios se han enfocado en la predicción de la erosión con fines de planificación y ordenamiento del territorio, necesarios en sectores productivos, soberanía alimentaria y desarrollo sostenible.

Las afecciones que podrían haberse presentado en las diferentes parroquias del sector debido a factores climáticos o a factores antrópicos como la contaminación por el uso de fertilizantes, o la mala gestión de los residuos los cuales generan vectores transmitidos a los suelos, así como la excesiva explotación de los mismos, para fines de producción florícola y ganadería,

han traído como consecuencia el deterioro de estos suelos, provocando la pérdida de nutrientes y de factores de retención de agua por diferentes organismos.

Cayambe posee una reserva protegida, que no presenta estudios referentes a posibles erosiones hídricas en el sector, por lo que se desconoce muchos factores de estudio respecto a ecosistemas predominantes y tipo de vegetación que podría verse afectada si el lugar posee un riesgo alto de erosión hídrica, ya que varios de los nutrientes necesarios para su desarrollo se verán inhabilitados y llevados a áreas aledañas de la reserva.

“La parte del suelo que se pierde por la erosión hídrica es generalmente la más fértil, la que contiene la mayor concentración de nutrientes para las plantas, el humus, los abonos y correctivos que el agricultor haya aplicado”[2]. El suelo queda menos productivo, e incluso, puede volverse no apto para una agricultura sostenible FAO, generando pérdidas económicas en el sector, ya que es la mayor fuente de empleo.

Materiales y métodos

El territorio seleccionado es el Cantón Cayambe que pertenece a la provincia de Pichincha. Su principal atractivo es el volcán de su mismo nombre, pues Cayambe posee el único nevado en el planeta ubicado justamente en la Mitad de Mundo, es decir que atraviesa por la línea Equinoccial, el mismo que está ubicado a 5.790 msnm, y junto con su inconmensurable acervo cultural, histórico y natural lo convierten en un lugar formidable para la práctica del turismo científico, comunitario y de aventura. Con una población de 85.795 habitantes (INEC, 2010). La altitud media es de 2830 msnm. Temperatura promedio 12°C (Figura 1).

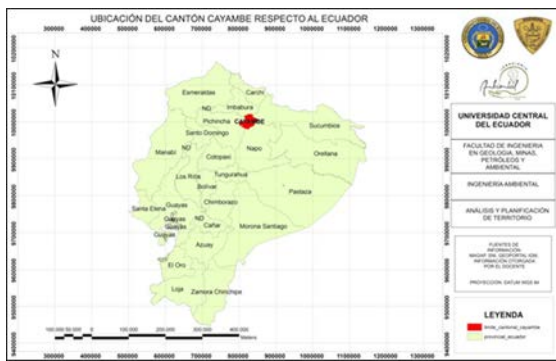


Figura 1. Ubicación del Cantón Cayambe respecto al Ecuador

De acuerdo al Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Cayambe [3], presenta un relieve con alturas que oscilan entre los 5245m y 1740m. Su máximo exponente orográfico es el Nevado Cayambe, ubicado en la parte sur oriental. Su hidrografía presenta patrones de drenaje rectangular, paralelo, subparalelo y radial, con el curso alineado y cambios bruscos de dirección, por estar su territorio entre la microcuenca del Río Pisque y la subcuenca del Río Quijos. Clima frío en parroquias de Cangahua y Olmedo y clima templado en el valle de Cayambe. Temperatura diaria promedio 14.8°C y precipitación promedio anual 74.8mm. Su geomorfología se caracteriza por una heterogeneidad de formas, con pendientes de 3 a 30% donde se destacan los volcanes Cayambe, Sarahurco, los cuales tienen pendientes mayores del 15%. La zona oeste, el relieve en general es plano, con una pendiente promedio de 3%. En tipos de suelos se encuentran los suelos son derivados de materiales piroclásticos, alfévnicos, francos arenosos, con gran capacidad de retención de agua, muy negros en régimen térmico y con presencia de horizonte amarillo de gran espesor en régimen hipertérmico; también suelos poco profundos, erosionados, sobre capa dura (cangahua) a menos de un metro de profundidad, con horizonte argílico de poco espesor, textura franco arcillo arenoso; así como, suelos negros, profundos, franco arenosos, derivados de materiales piroclásticos, con menos de 30% arcilla.

Para la elaboración de la zonificación de Riesgo de Erosión Hídrica se requirió la recopilación de la información espacial del Cantón Cayambe, empleando varias fuentes de consulta entre algunas entidades

ambientales y geográficas como el IGM, MAGAP, INAMHI, MAGAP, Sistema Nacional de Información. Se inició el proceso de zonificación empleando el programa SIG (Sistemas de Información Geográfica) Quantum Gis para la información geográfica específicamente del Cantón Cayambe, verificando que se encuentre en el sistema de referencia WGS84-UTM. Con la ayuda del programa SIG se procedió a realizar el cálculo del modelo numérico topográfico (modelo digital del terreno MDT), desde el punto de vista hidrológico del cantón. Con las herramientas de “Hydrology” que utiliza el modelo de flujo de agua a través de la superficie se depuró el MDT, a esta variable que representa la topografía, se le aplicó la herramienta que permita realizar el cálculo de la pendiente en grados, clasificándola por los criterios planteados por Sanchez Caballero [4], como se puede observar en la figura 2.

Riesgo de erosión hídrica.	Pendiente de la tierra (%)
Ligero	0 - 3
Moderado	3 - 8
Severo	8 - 15
Muy severo	> 15

Fuente: Sánchez Caballero (2009).

Figura 2. Criterios de clasificación del riesgo de erosión hídrica versus porcentaje de la pendiente del terreno.

A la variable de suelo por textura que se tiene del cantón se aplicó una clasificación según los criterios planteados por Sanchez Caballero [4], como se puede observar en la figura 3.

Riesgo de erosión hídrica.	Textura del suelo.
Ligero.	Arcillosa fina o arcillosa muy fina.
Moderado.	Francosa fina.
Severo.	Francosa gruesa.
Muy severo.	Arenosa.

Fuente: Sánchez Caballero (2009).

Figura 3. Criterios de clasificación del riesgo de erosión hídrica versus textura del suelo

Continuando con el modelamiento espacial, por medio de la herramienta de “Algebra de Mapas” se realiza la sumatoria entre la

matriz de riesgo hídrico por pendiente con la matriz de riesgo hídrico por textura de suelo, obteniendo la variable de zonificación de riesgo hídrico del cantón. El modelo aplicado con SIG se puede observar en la figura 4.

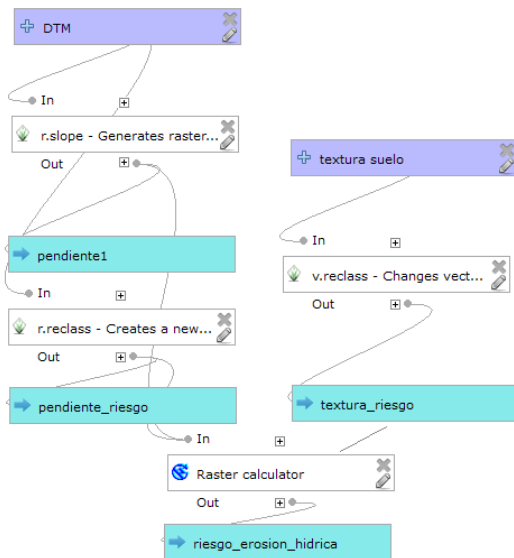


Figura 4. Modelo de erosión hídrica

Dentro de ésta metodología se propone realizar el análisis de la precipitación, para lo cual se creó una tabla con los datos geográficos de las estaciones meteorológicas, para generar los puntos de muestreo que permiten interpolar los valores de precipitación de los períodos 1986_1995, 1996_2005, 2006_2015. El método de interpolación aplicado fue el Inverso de Distancia Ponderado IDW (Figura 5).



Figura 5. Ejemplo modelo de interpolación para puntos de precipitación 1985-1995

El análisis espacial SIG aplicado permite en hidrología calcular un modelo digital del terreno con énfasis hidrológico en donde se toma en cuenta la escorrentía y cuerpos de agua [5].

La interpolación espacial es el proceso de utilizar puntos con valores conocidos para estimar valores desconocidos en otros puntos. En este caso para precipitación, obteniendo una superficie estadística [5].

En el método de interpolación IDW, los puntos de muestreo durante el cálculo se van ponderando en base a la distancia de influencia entre un punto a otro, tomando en cuenta el coeficiente de ponderación [5].

Se utilizaron 7 estaciones que abarquen al cantón como fueron Imbabura, Malchingui, Victoria, Olmedo, Quinche, Cangahua, Cayambe; sin embargo, para solventar la falta de información en el lado este del cantón, se utilizaron estaciones como Tola, Calderón, Yaruqui, Reventador, Puerto Libre.

Resultados

En base la combinación de las variables pendiente y textura de suelo clasificadas por erosión hídrica según Sánchez Caballero, se obtiene el mapa de erosión hídrica (figura 6) del cantón Cayambe, esto permite analizar el riesgo e impacto ambiental partiendo de los diversos niveles en relación al riesgo de erosión hídrica determinado geográficamente (espacialmente).

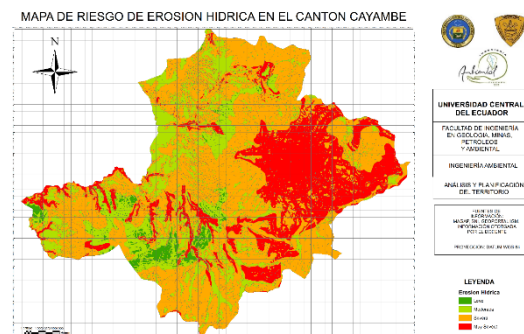


Figura 6. Erosión hídrica en el Cantón Cayambe

En los datos sistematizados del INAMHI se puede observar claramente un incremento en la pluviosidad desde el año 1985 hasta el año 2015. Siendo la mayor cantidad de lluvia en el año 2000, con 106.01mm y menor precipitación en el 2001 con 30,03mm (figura 7)

Existe un periodo estable entre 1985-1992, también periodos de menor precipitación entre los periodos 1995-1998, 2002-2005, y 2013-2015 y picos de alta pluviosidad en 1994, 2008, y 2011.

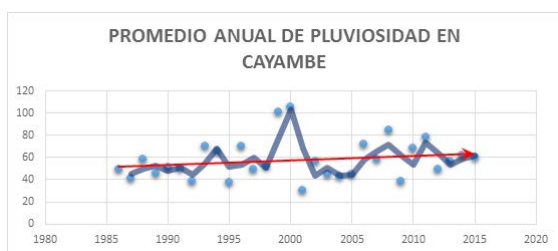


Figura 7. Promedio anual de pluviosidad en Cantón Cayambe

Con respecto a la pluviosidad media mensual, en el cantón se puede observar un comportamiento bianual. Los periodos con mayor cantidad de lluvia son en octubre-noviembre y marzo-abril. Las épocas secas serian se componen de Julio-Agosto y también disminuye en un menor rango en Enero (Figura 8).

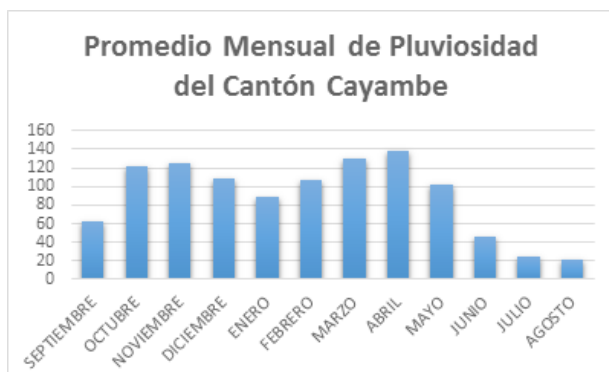


Figura 8. Pluviosidad media mensual en el Cantón Cayambe

De la interpolación con respecto a los datos de pluviosidad se obtuvo tres escenarios de comportamiento de la pluviosidad en los periodos de 1986-1995 (figura 9), 1996-2005 (figura 10), y 2006-2015 (figura 11).

Pluviosidad en el Cantón Cayambe (1986-1995)

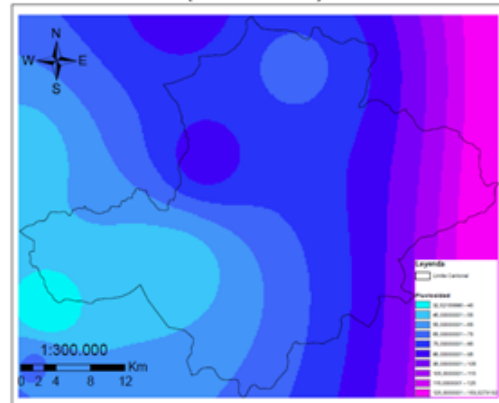


Figura 9. Pluviosidad período 1986 – 1995 en el Cantón Cayambe

Pluviosidad en el Cantón Cayambe (1996-2005)

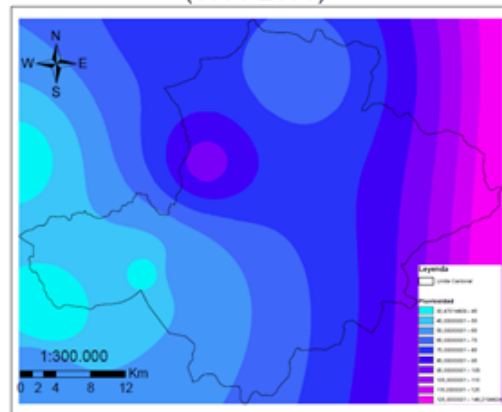


Figura 10. Pluviosidad período 1996 - 2005 en el Cantón Cayambe

Pluviosidad en el Cantón Cayambe (2006-2015)

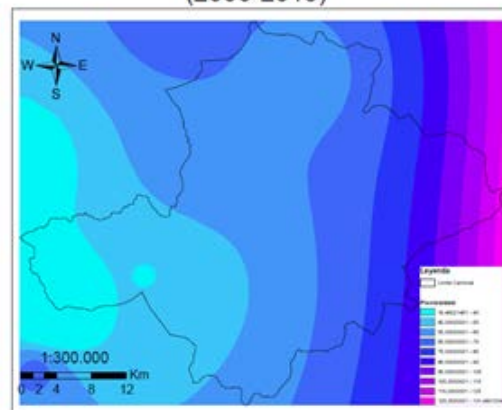


Figura 11. Pluviosidad período 2006 - 2015 en el Cantón Cayambe

Con este resultado se realizó un fusión espacial por localización geográfica entre las variables de riesgo hídrico con cada una de las variables de pluviosidad resultado de la interpolación por períodos de 10 años, para relacionarlas y determinar su comportamiento e impacto ambiental en territorio (figuras 12, 13, 14).

Pluviosidad vs. Erosion Hidrica (1986-1995)

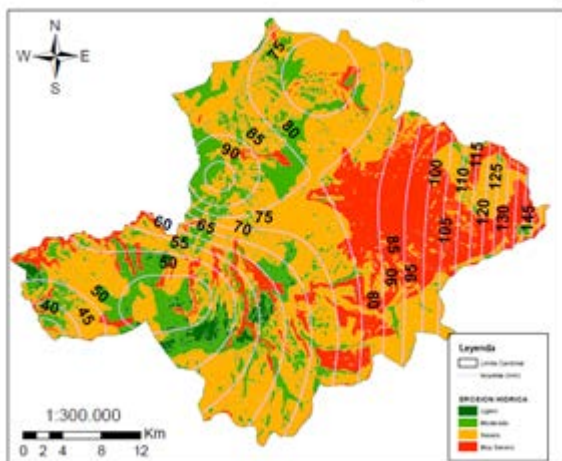


Figura 12. Pluviosidad vs. Erosión Hídrica período 1986 - 1995 en el Cantón Cayambe

Pluviosidad vs. Erosion Hidrica (1996-2005)

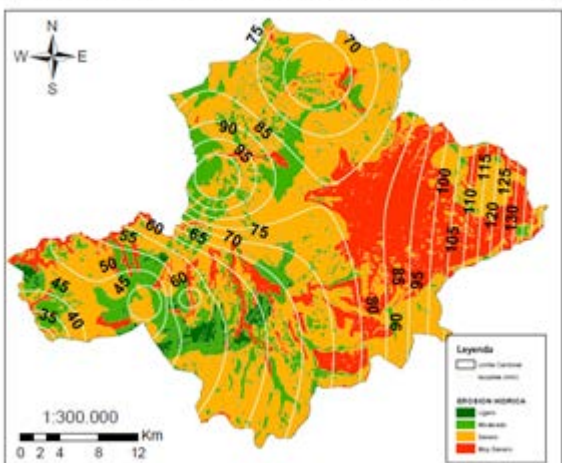


Figura 13. Pluviosidad vs. Erosión Hídrica período 1996 - 2005 en el Cantón Cayambe

Pluviosidad vs. Erosion Hidrica (2006-2015)

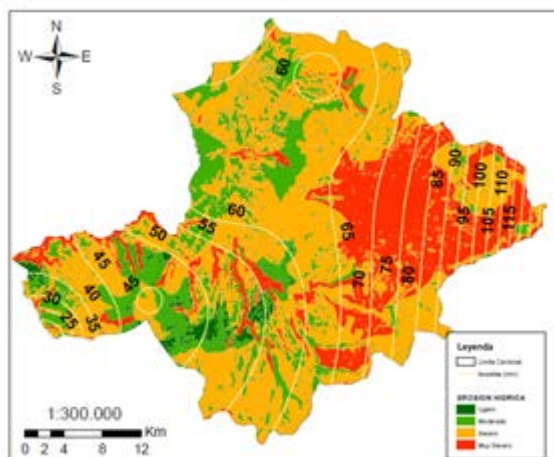


Figura 14. Pluviosidad vs. Erosión Hídrica período 2006 - 2015 en el Cantón Cayambe

Discusión

El cálculo obtenido con respecto a la pluviosidad realizado en periodos de 10 años fue para poder analizar los cambios a mediano y largo plazo. De modo general, se puede observar que la cantidad de lluvia disminuye con un trayecto hacia el nor-oriente. La zona más afectada por este fenómeno es la punta sur-este del cantón, donde se puede visualizar en el periodo 1986-1995 un solo punto concentrado de rango ≤ 45 mm, en el periodo de 1996-2005 se presentan 3 puntos concentrados de este rango y ya en el 2006, se observa la unión de estos puntos en un área mucho mayor.

Por otro lado, existe en 1986-1995 un punto de 65-75mm al norte que incrementa su tamaño a medida que pasa el tiempo. En la última imagen, este punto simplemente confluye en una sola onda envolviendo la parte céntrica del cantón.

Una anomalía digna de revisar, es el punto de mayor precipitación al nor-este del territorio que empieza en 1996-1995 con un rango de 85-95mm, en 1996-2005 incrementa

a 95-105mm y desaparece por completo 2006-2015, esto último es debido a la falta de datos de esta época en la estación.

La erosión hídrica es provocada por las escorrentías de las aguas lluvias; se presenta en forma laminar, de surcos o cárcavas, observándose una predominancia del primero, aunque es difícil su evaluación e identificación, debido al relieve suavizado de la región y porque los horizontes superficiales de los suelos de cenizas volcánicas son muy espesos, lo que demora la aparición del horizonte B en superficie, a pesar del uso agrícola intensivo. La erosión laminar afecta casi la totalidad de la zona media, en donde se dan procesos de pastoreo y agricultura, a pesar de tener pendientes inclinadas en suelos derivados de ceniza volcánica, susceptibles a erosión. En la zona alta, hay puntos críticos que evidencian cárcavas, lo cual representa una alerta general.

En Cayambe, se pueden considerar tres tipos de movimientos en masa. El principal proceso de remoción en masa que puede presentarse es la solifluxión, en épocas de lluvias, evidente en las partes media y alta, en donde la humedad es mayor, las pendientes son fuertes y los suelos tienen una baja cobertura de vegetación por lo que presentan una alta permeabilidad que permite la entrada de agua dentro del perfil, que está constituida por suelos de cenizas volcánicas, siendo los más susceptibles aquellos que, actualmente, son usados en pastoreo extensivo, favorecidos además por procesos de compactación y el deslizamiento de la capa superficial del suelo. Los canales de agua al no estar revestidos, acentúan la infiltración. La Sofusión o hundimiento que consiste en el hundimiento del terreno o erosión interna del suelo. De este proceso se presentan pocos casos, en laderas con uso actual de pastos, que indican un uso agrícola anterior. Por último, el desprendimiento que se presenta en superficies cercanas a taludes de cauces encañonados, principalmente de la Quebrada Puluvi y del Río Granobles, donde se ha eliminado la vegetación que bordea el cauce. Aquí podemos observar las isoyetas con valores de pluviosidad y su comportamiento con el tiempo, se intentará realizar una estimación del impacto que tiene la pluviosidad con respecto al riesgo de erosión hídrica.

En primer lugar, las partes que tienen un riesgo de erosión ligeras se distribuyen espacialmente en la zona este del cantón, en esta zona, la pendiente es baja, es casi una planicie de tierras fértiles franco-arenosas y arenosas que por lo que puede tener menor riesgo de erosión. En esta zona, es posible que la lluvia siga una tendencia de disminución, lo cual mantenga, posiblemente el riesgo de erosión por pluviosidad; sin embargo, si la sequía aumenta, es posible que se construyan canaletas para desviar el agua a zonas productivas de la zona así, contribuyendo a la erosión.

Se puede ya observar en la misma zona y hacia el centro ya existe riesgo severo, lo cual es posible ya que el suelo tiene más porcentaje de arenas, y mayor pendiente. En estas zonas existe actividad agropecuaria lo cual puede resultar en la deforestación marcada de la zona. También puede la lluvia intensificar la erosión comenzada por estas prácticas ya que en la zona céntrica y hacia el oriente, la pluviosidad aumenta desde el punto de vista de territorio pero ha tomado una tendencia de disminución hacia el oriente, pero es mínima; por lo cual no se ve afectada aun por el cambio climático, pero podría en unos años. Los sistemas agropecuarios ya sean por los canales de riego o el ganado que causa compactación pueden ocasionar pérdida de suelo. Según el análisis de promedio anual de pluviosidad, existe una tendencia a mayor pluviosidad, se debe recordar que aunque la tendencia es el movimiento hacia el oriente, la pluviosidad promedio en el cantón aumenta. Lo cual significa que el riesgo de erosión hídrica es mayor. Se deben tomar medidas de mitigación para sobrellevar el riesgo de erosión y solventar la pérdida del suelo.

El riesgo severo y muy severo de erosión se concentra en quebradas y orillas de ríos que si bien, tienen una pendiente abrupta, al incrementar la pluviosidad total del cantón, va a dar lugar a un crecimiento en caudal que a su vez, incrementará erosión en estas partes. Puede erosionarse a un ritmo apresurado si se remueve la capa vegetal, lo cual significa que en estas zona debe haber proyectos que mitiguen este riesgo.

Por otra parte, el mayor riesgo de erosión existe hacia las laderas del volcán, donde se puede encontrar según la teoría solifluxión,

lo cual se da por la escorrentía de las lluvias en pendientes altas. El volcán proporciona la pendiente y el tipo de suelo mientras la proximidad al oriente proporciona la pluviosidad por lo cual hace normal pensar que el riesgo de erosión sea de esta magnitud. Si bien es de un mayor riesgo, también se encuentra dentro de un parque protegido, lo cual da la ventaja de mantener la vegetación, por lo cual, se debe cuidar el parque protector.

El cantón de Cayambe se encuentra dentro de tres cuenca hidrográficas: Río Mira, Río Napo y mayoritariamente en la cuenca del Río Esmeraldas, en donde se viene presentando diferentes riesgos a nivel de erosión hídrica.

En la cuenca del Río Mira, del sector de cantón Cayambe se presenta un riesgo de erosión hídrica mayoritariamente moderada, que hace presumir que en esta cuenca se tendrá niveles inferiores de infiltración, alterando el nivel hidrológico y generando ecosistemas sin las suficientes cantidades de agua para la calidad del suelo, por otro lado la cuenca del río Napo se encuentra con un riesgo de erosión hídrica muy severo, y debido a ser una zona de altas precipitaciones, significa que el riesgo de que las aguas de pluviosidad no infiltren y se escurran llevando los sedimentos hacia cuencas aledañas, podría generar mayores efluentes para el riesgo de deslaves dentro del cantón Cayambe. La cuenca del Río Esmeraldas, en donde se encuentra gran parte del cantón, presenta diferentes zonas con niveles de riesgo de erosión hídrica, el lado este, límite con la cuenca del Río Napo, presenta un riesgo de erosión muy severo, demostrando la posibilidad de arrastre de sedimentos de la zona amazónica hacia el cantón, los límites norte y sur de la cuenca presentan un riesgo de erosión hídrica moderado, siendo un parámetro de control para su mantención bajo niveles bajos y en donde no existe riesgo elevado de deslaves; finalmente el centro de la cuenca presenta espacios con niveles muy serios de riesgo de erosión hídrica, debido a que en este espacio se encuentran poblaciones como: Tablón Pungu, Cachicunga, Cangahua, por lo que se deberá tomar en cuenta el analizar más a fondo esto para proponer planes de adaptación y mitigación de deslaves para mantener los niveles de erosión como medidas de prevención de riesgos.

Conclusiones

El área sur-este del cantón es la parte con menor riesgo de erosión hídrica, y se observa una tendencia a menor pluviosidad según pasa el tiempo, esto puede desembocar a futuro en un menor riesgo de erosión ó causar que la población implemente canales de riego para solventar la sequía, aumentando el riesgo de erosión.

En el sector céntrico, donde existen actividades agropecuarias, existe un riesgo moderado a severo que puede convertirse en una amenaza ya que los procesos de implementación de acequias y animales pecuarios no controlados contribuyen de por sí a la erosión, y teniendo en cuenta que la tendencia general es de mayor pluviosidad en el cantón, puede intensificar estos procesos.

El volcán y sus laderas sufren un riesgo muy severo de erosión, por su pendiente y tipo de suelo; es muy fácil que se den procesos de remoción en masa; sin embargo, la cubierta de vegetación que es protegida ya que está dentro de la reserva, solventa este drástico perfil.

El punto de pluviosidad aumentada en la estación Malchingui debe prestar atención especial ya que en esta zona podría fácilmente aumentar de manera crítica la erosión; por ahora, se encuentra en un riesgo moderado-severo y en los siguientes años, este riesgo podría aumentar.

Con los resultados presentados se comprueba el modelo de erosión hídrica en función de variables de pendiente y textura de suelo, y que el programa de Sistemas de Información Geográfica (SIG), en este caso Quantum Gis permite realizar el modelado de los factores geográficos en el territorio estudiado. Esta herramienta permitió el relacionamiento de información tanto estadística como espacial que sirve de referencia para cualquier estudio o investigación ambiental, en el campo de propuestas que apoyen a los planes de ordenamiento territorial de los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GADs), que realizan políticas de desarrollo sostenible para mejorar la calidad de vida de las comunidades.

La calidad del resultado en la interpolación IDW está en función de la distribución de los datos (puntos de muestreo), en este caso de la distribución espacial de las estaciones pluviométricas. Por ello, todo cálculo tiene que tener un proceso de validación, de tal forma que garantice la consistencia de los resultados.

Es importante indicar que la presente investigación es una aproximación que permite tener una visión generalizada de la erosión hídrica en el Cantón, cuando no se posee los suficientes parámetros para realizar el cálculo como los propuestos por la FAO. Esta propuesta ayuda en sitios donde existe falta de información.

Bibliografía

- [1] Montes León M., Domínguez M., Ventura E. (2012). Metodología para la Estimación del Riesgo de Erosión Hídrica en Cuencas Hidrográficas utilizando SIG. Universidad Autónoma de Querétaro.
- [2] Mergarejo M., Cardozo C. (2012). Zonificación de Suelos con Riesgo de Erosión Hídrica mediante Teledetección en el Distrito de Salto del Guaira.
- [3] Ilustre Municipio del Cantón Cayambe. (2011). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Cayambe e Informe Final.
- [4] SÁNCHEZ CABALLERO, Catalina. 2009. Estudio general de suelo y zonificación de tierras. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC. Bogotá, Colombia. 556 p.
- [5] Quantum GIS. (2014). Análisis Espacial (Interpolación) [En línea]. Disponible en: https://docs.qgis.org/2.8/es/docs/gentle_gis_introduction/spatial_analysis_interpolation.html. Revisado: 27/05/2016.
- [6] Zambrano J. (2015). Estimación de la producción y transporte de sedimentos en cuencas urbanas pequeñas a escala de evento mediante un modelo de base física basado en SIG.
- [7] Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. (2011, Diciembre 11). Erosión Hídrica [En línea]. Disponible en: <http://inta.gob.ar/>. Revisado: 27/05/2016.

Correspondencia

Autor: Susana Arciniegas Ortega
Email: srarciniegas@uce.edu.ec