

Erosión hídrica por lluvias máximas en diferentes tiempos de retorno en la subcuenca Cumbaza - Región San Martín

Hydric erosion due to maximum rains at different times of return in the Cumbaza Sub-basin - San Martin Region

Recibido: mayo 22 de 2018 | Revisado: agosto 10 de 2018 | Aceptado: setiembre 28 de 2018

KATHERINE CAMACHO-ZOROGASTÚA¹
WALTER GÓMEZ LARA

ABSTRACT

The Cumbaza Sub-basin has the largest amount of forested areas (primary forests) deforested, which has generated the increase of water erosion in soils. The present investigation had as objective know the water erosion in function of the maximum rains for different times of return by means of the Model of the Universal Equation of Loss of Soils and the modeling of the Geographic Information Systems (GIS), in order to propose measures of soil conservation. An empirical investigation of non-experimental design was carried out, for which the maximum rains were evaluated in 24 hours through hydrological regionalization using the Gumbel Type I method, to know the rainfall distribution in Cumbaza, then the thirteen were evaluated cartographically (13) areas of erosive vulnerability using GIS modeling, making a weighting, of which 23.2% of the total area presents a high erosive vulnerability, while 58.1% have an average vulnerability, and 12.1 and 6, 6% have low and very low vulnerability, respectively. Likewise, the water erosion rate was estimated using the USLE model, resulting in values of 31, 40 and 50 t / ha / year for a return time of 5, 25 and 100 years respectively; and finally, a proposal was formulated for the conservation of soils using Agroforestry Systems through reforestation with native species depending on the type of soil, climate, altitude, costs, etc., for which native trees and shrubs were used, such as Aguaje, Bamboo Caoba, Ojé and Sacha Inchi.

Key words: erosivity, erodibility, soil conservation practices, reforestation, agroforestry, vulnerability, hydric erosion

RESUMEN

La subcuenca Cumbaza cuenta con la mayor cantidad de áreas boscosas (bosques primarios) deforestadas, lo que ha generado el incremento de la erosión hídrica en los suelos. La presente investigación tuvo como objetivo conocer la erosión hídrica en función de las lluvias máximas para diferentes tiempos de retorno mediante el Modelo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos y el modelamiento de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), a fin de proponer medidas de conservación de suelos. Se realizó una investigación empírica de diseño no experimental, para lo cual se evaluaron las lluvias máximas en 24 horas mediante la regionalización hidrológica utilizando el método Gumbel Tipo I para conocer la distribución de las lluvias en Cumbaza. Luego se evaluaron cartográficamente las trece (13) áreas de vulnerabilidad erosiva usando el modelamiento SIG realizando una ponderación, del cual el 23,2% del total de área presenta una vulnerabilidad erosiva alta, mientras que el 58,1% tiene una vulnerabilidad media, y un 12,1 y 6,6% poseen vulnerabilidad baja y muy baja, respectivamente. Asimismo, se estimó la tasa de erosión hídrica mediante el modelo USLE, resultando valores de 31, 40 y 50 t/ha/año para un tiempo de retorno de 5, 25 y 100 años respectivamente; y finalmente se formuló una propuesta para la conservación de suelos utilizando Sistemas Agroforestales a través de la reforestación con especies nativas en función al tipo de suelo, clima, altitud, costos, etc., para lo cual se utilizaron árboles y arbustos nativos como aguaje, bambú caoba, ojé y sachá inchi.

Palabras clave: erosividad, erodabilidad, prácticas de conservación de suelos, reforestación, agroforestería, vulnerabilidad, erosión hídrica

¹ Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA)
katheryne.camachoz@gmail.com

DOI: <http://dx.doi.org/10.24039/cv201862275>

El Perú posee 11 ecorregiones que comprenden el mar frío, mar tropical, desierto costero, bosque seco ecuatorial, bosque tropical del Pacífico, serranía esteparia, la puna, el páramo, bosques de lluvias de altura (selva alta), bosque tropical amazónico (selva baja) y la sabana de palmeras que abarcan 84 zonas de vida (Brack Egg, A., & Mendiola Vargas, C., 2004, pág. 290). Además, presenta gran cantidad de áreas boscosas; sin embargo, actualmente las regiones de Loreto, Madre de Dios y San Martín han perdido grandes áreas de bosques primarios ocasionado por el desarrollo de actividades antrópicas tales como el narcotráfico, minería, quema de áreas boscosas, migración, etc. poniendo en peligro a la biodiversidad y refugios de la fauna silvestre y sus servicios ambientales ((PNUMA), 2003, pág. 5). Como se mencionó, San Martín es considerada como una de las regiones con mayor grado de deforestación lo que trae como consecuencia el incremento de la vulnerabilidad a procesos erosivos hídricos. Esta vulnerabilidad da lugar al aumento de pérdida anual de suelos de 359 945 hectáreas (Ministerio del Ambiente, 2016) y los distritos más afectados son Rioja, Moyobamba, Lamas y Tarapoto.

En esta investigación se evalúa la erosión hídrica en función de las lluvias máximas para tiempos de retorno de 5, 25 y 100 años aplicando dos técnicas: (i) Ecuación Universal de Suelos (USLE), y (ii) modelamiento del Sistema de Información Geográfica (SIG), a fin de proponer medidas de conservación de suelos en la subcuenca del río Cumbaza (en adelante, Cumbaza) –sobre todo en zonas que originalmente fueron bosques primarios–, mediante Sistemas Agroforestales. Los resultados presentados determinan los factores que involucran el proceso erosivo hídrico (erosividad, erodabilidad, cobertura vegetal, pendiente, cobertura vegetal y prácticas de conservación de suelos).

Método

Se utilizaron herramientas cartográficas y software que permitieron analizar el proceso erosivo en Cumbaza.

Muestra

La población de la investigación estuvo conformada por las subcuencas que integran el sistema de la cuenca del río Mayo que se encuentra en la región San Martín. Se tomó como muestra aleatoria y determinante a Cumbaza que está entre las provincias de San Martín y Lamas y fue elegida por presentar los factores más erosivos, facilidades logísticas del municipio, accesibilidad y se cuenta con información básica e interés de las autoridades distritales y de la población de la subcuenca.

Materiales

Información cartográfica. Se recopiló información cartográfica base y temática a diferentes escalas de las autoridades competentes del estado, tales como: mapa geológico, suelos, geomorfológico, climático, zonas de vida, áreas naturales protegidas y concesiones mineras, eléctricas y petroleras, a fin de realizar el análisis y comparación con los requerimientos para la determinación de la erosión hídrica de los suelos.

Equipos para el análisis de información: Impresora Epson Stylus TX135, software de SIG (ArcGis 10.1, Envi 4.7 y Global Mapper 11) y computadora Toshiba CORE i5 (tipo de trabajo de investigación).

Instrumentos

Las técnicas de obtención de la información recopilada en gabinete y campo corresponden a estaciones climatológicas, imágenes satelitales SPOT-5 y puntos de muestreo de suelos que permitieron evaluar la erosión hídrica para diferentes tiempos de retorno.

Instrumentos de georreferenciación: GPS marca Garmin - modelo GPSmap 62, para la toma de puntos de ubicación en las visitas de campo a Cumbaza.

Puntos de muestreo de suelos, para evaluar la profundidad, tipo de suelos y pará-

metros pH, materia orgánica (% m.o) y nitrógeno (% N).

Información satelital “SPOT-5”, imagen con 2,5 metros de resolución a partir de dos imágenes de cinco metros adquiridas simultáneamente con un semipíxel de desfase, de los años 2005 y 2007, 2010 y 2012 para generar las zonas de cobertura vegetal y superficie deforestada a lo largo de la última década en la subcuenca.

Procedimiento

Modelamiento SIG

a. Aplicación de Unidades Integradas de Territorio (UIT)

Las UIT o espacios geográficos expresan características homogéneas entre sí, particularidades o rasgos de profundidad o textura del suelo, litología o tipo de formación geológica, paisajes; es decir, propiedades típicas de cada una de ellas (Quispe, 2010, pág. 12). Para identificar las zonas que poseen vulnerabilidad erosiva se dividió a la subcuenca en UIT, con la finalidad de integrar parámetros casi homogéneos con pocas alteraciones físicas y geomorfológicas en el tiempo, utilizando los shapes de lluvias máximas diarias (isoyetas), tipos de suelo, pendiente y cobertura vegetal, que formaron un conjunto de polígonos homogéneos. El proceso de integración temática se inició con la elaboración del mapa base y finalizó con la corrección de dichas capas hasta la generación de las UIT.

Primer paso. Se elaboró la Sobrepueta Base (SB). La información temática original fue llevada a la escala de trabajo y luego editada, utilizando el ARCMAP, tomando como referencia el mapa base. Este proceso se repitió para cada uno de los parámetros a integrar, en las que se obtuvo capas denominadas: “SB Isoyetas”, “SB Suelos”, “SB Pendiente” y “SB Cobertura Vegetal”. El análisis de SB se realizó para evitar confusiones al momento de hacer las correcciones en la etapa de elaboración de la Sobrepueta Corregida (SC).

Segundo paso. Se elaboró la SC para ajustar los límites de las unidades espaciales utilizando como referencia el mapa topográfico. Se definió la simplificación de polígonos con apoyo de descripciones de las leyendas de cada parámetro y de fotografías áreas recientes e imágenes de satélite y con algunos elementos de criterio. Luego, se codificó la SC de acuerdo a las leyendas.

Tercer paso: Se generaron las UIT, donde se realizó la superposición de los mapas de SC que implicó la fusión manual de polígonos homogéneos y seleccionaron las SC más confiables seguidas por los demás parámetros (no se consideraron polígonos innecesarios que causen confusión al momento de la codificación).

Cuarto paso: Se codificó cada UIT en función a los factores de lluvias máximas para 24 horas, tipo de suelo, cobertura vegetal y pendiente de cada área. Los valores fueron evaluados dentro de un rango de 0 hasta 10.

Pérdida anual de suelos

a. **Método Gumbel tipo I.** Utilizado para la determinación de las lluvias máximas para diferentes tiempos de retorno en un periodo mínimo de 10 años:

$$\text{Lluvia máx.}_{Tr} = \beta - \frac{1}{\alpha} \text{Ln} \left[\text{Ln} \left(\frac{Tr}{Tr-1} \right) \right]$$

Donde:

α y β : Constantes que están en función al periodo de años de las lluvias máximas en 24 horas.

Tr: Tiempo de retorno en años

Ln: Logaritmo neperiano

b. **Método USLE:** Este modelo matemático es usado para determinar la tasa de erosión anual en cualquier tipo de suelo, ya sea en región sierra, selva o costa (Flores López, Martínez Menes, & Oropeza Mota, 2003, pág. 234):

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

Donde:

R: Factor de Erosividad (lluvias máx. en 24 horas e intensidades para 30 min.).

K: Factor de Erodabilidad (textura del suelo + % m.o.).

LS: Factor Topográfico (pendientes y longitud entre rangos de pendiente).

C: Factor Cobertura Vegetal.

P: Factor Prácticas de conservación de suelos.

Propuesta de conservación de suelos

La técnica de sistemas agroforestales se propuso para la conservación de los suelos afectados por la erosión hídrica en Cumbaza, que consistió en reforestar -por lo menos- con cinco especies nativas de la zona. Se tomó en cuenta tipo de suelo, pendiente, humedad y la altitud, entre otros (Mendieta & Rocha Molina, 2007, págs. 22-23).

Características de Cumbaza

La subcuenca abarca un total de 11 distritos: Lamas, Tabalosos, Alonso de Alvarado, Pinto Recodo, Shanao, San Roque de Cumbaza, Cuñumbuque, Zapatero, Rumizapa, Pongo de Caynarachi, Barranquita y 183 Centros Poblados o caseríos que se encuentran en las provincias de Lamas y San Martín, región San Martín. Geográficamente está ubicada en las coordenadas 9310000N y 9269325N y 331738E y 362886E (zona 18 Sur). Además, posee una superficie aproximada de 57130 ha (571,3 Km²). Hidrográficamente está constituida por el río Cumbaza como eje principal y sus afluentes principales por la margen izquierda el río Shilcayo y las quebradas Ahuashiyacu y Pucayacu y por la margen derecha la quebrada Shupishiña y es afluente del río Mayo, el cual es afluente a su vez del río Huallaga.

Climatología

Según el Método de Thornthwaite, se han determinado tres tipos de climas (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, 2013):

- **B (r) A' H4:** Presenta un clima lluvioso, cálido y muy húmedo con presencia de lluvias abundantes en todas las estaciones del año. Su temperatura media alcanza los 27°C, lluvia media anual de 1470 mm, humedad relativa de 82,8 % y evaporación promedio de 61,9 mm.
- **B (i) A' H4:** Posee un clima lluvioso, semi-cálido y húmedo con inviernos secos, con temperatura media de 22,9°C; **lluvia media anual** de 1213 mm, humedad relativa de 72,8 % y evaporación promedio de 70,3 mm.
- **C (o, i, p) A' H3:** Tiene clima semiseco, cálido y húmedo con otoño, invierno y primavera secos; con temperatura máxima y mínima de 35,6 °C y 13,3 °C respectivamente; lluvia media anual de 937 mm, humedad relativa de 74,7 % y evaporación promedio de 71,8 mm.

Hidrología

El comportamiento de Cumbaza es evaluado por la estación hidrométrica Cumbaza con registros del periodo 1979 – 2002. La estación pluviométrica de Lamas es considerada como representativa, ya que cuenta con un periodo de registro de 1980 – 2007 (Martín, 2012).

Suelos

Según el (Instituto Geofísico del Perú, 2010), la región San Martín se caracteriza por presentar una gran variedad de suelos. En las dos visitas de campo (2005 y 2012) se encontró un total de 20 tipos de suelos, que ocupan posiciones fisiográficas tales como terrazas bajas, medias y altas, cuyo material base están representados por sedimentos aluviales y rocas sedimentarias con drenaje bueno.

Geomorfología

Según la cartografía digital del (Ministerio del Ambiente (MINAM), 2008), Cumbaza posee un relieve de topografía abrupta y ondulada con cotas que oscilan entre los 200 y 1600, alcanzando la faja Sub-andina y el llano amazónico entre 150 a 200 msnm. En las dos visitas de campo se identificaron cuatro subunidades morfológicas predominantes:

Subunidad I: Vertiente Montañosa Empinada a escarpada (VsA2-e), Subunidad II: Vertiente montañosa Moderadamente Empinada (VsA2-d), Subunidad III: Lomada en roca terciaria y cuaternaria (Ltq-c) y Subunidad IV: Terraza media esporádicamente inundable o no inundable (Tm-a).

Áreas Naturales Protegidas (ANP)

Según el (SERNANP, 2007, págs. 20-31), dentro de Cumbaza se encuentran el área de: (i) Conservación regional “Cordillera Escalera”; y, (ii) Conservación Privada Tambo Ilusión. La “Cordillera Escalera” abarca una superficie de 1506 km² y está ubicada en los distritos de Pinto Recodo, San Roque de Cumbaza, Pongo del Caynarachi y Barranquita de la provincia de Lamas y los distritos de San Antonio de Cumbaza, Tarapoto, La Banda de Shilcayo, Shapaja y Chazuta de la provincia y región de San Martín. Asimismo, el área de Conservación Privada Tambo Ilusión fue creada mediante Resolución Ministerial N° 075-2010-MINAM el 6 de mayo de 2010, la cual posee un área de 0,14 km².

Resultados

Identificación de zonas de erosión hídrica

Las UIT que se utilizaron para Cumbaza son: isoyetas, cobertura vegetal, tipo de suelo y pendiente. El análisis consistió en la superposición de estas capas temáticas, en la que se obtuvieron más de 100 polígonos heterogéneos los que fueron homogenizados a 13. Luego se realizó el análisis de cada capa para

finalmente determinar su grado de vulnerabilidad erosiva (Figura 1).

- (i) Elaboración de SB: La información temática original fue llevada a la escala de 1:200 000 y luego la información básica, editada utilizando el software ARCGIS 10.1 (ARCMAP) tomando como referencia el mapa base. Este proceso se repitió para cada uno de los parámetros a integrar obteniendo las siguientes capas:
 - SB Isoyetas (Factor de erosividad “R”).
 - SB Suelos (Factor de erodabilidad “K”).
 - SB Pendiente (Factor de Pendiente “LS”).
 - SB Cobertura Vegetal (Factor de cobertura vegetal “C”).
- (ii) Elaboración de S. Se simplificaron los polígonos con apoyo de imágenes satelitales SPOT 2005, imágenes de google earth y elementos de criterio. Luego se codificó de acuerdo a las leyendas.
- (iii) Generación de UIT. Se efectuó una fusión manual de polígonos homogéneos, que se inició seleccionando las SC más confiables seguidas por los demás parámetros.
- (iv) Codificación. Para fines prácticos, cada una de las 13 áreas de vulnerabilidad erosiva fueron codificadas en función a los factores de lluvias máximas para 24 horas, tipo de suelo, cobertura vegetal y pendiente; asignándoles valores que varían de 0 hasta 10. En la Tabla 1 se muestran los criterios de ponderación asignados, según corresponda. En la Figura 2 se muestra las áreas de vulnerabilidad erosiva.

Tabla 1
Criterios de ponderación

Vulnerabilidad erosiva	Rango “0 a 10”	Descripción			
		Factor R (mm)	Factor K	Factor C	Factor LS %
Muy bajo	0 - 2	75 < Pp < 80	K < 0,08	0,01 < C < 0,04	LS < 3
Bajo	3 a 4	80 < Pp < 85	0,08 < K < 0,14	0,04 < C < 0,1	3 < LS < 10
Medio	5 a 6	85 < Pp < 90	0,14 < K < 0,19	0,1 < C < 0,2	10 < LS < 20
Alto	7 a 8	90 < Pp < 100	0,19 < K < 0,25	0,2 < C < 0,3	20 < LS < 25
Muy Alto	9 a 10	100 < Pp < 105	0,25 < K < 0,3	C < 0,3	25 < LS < 50

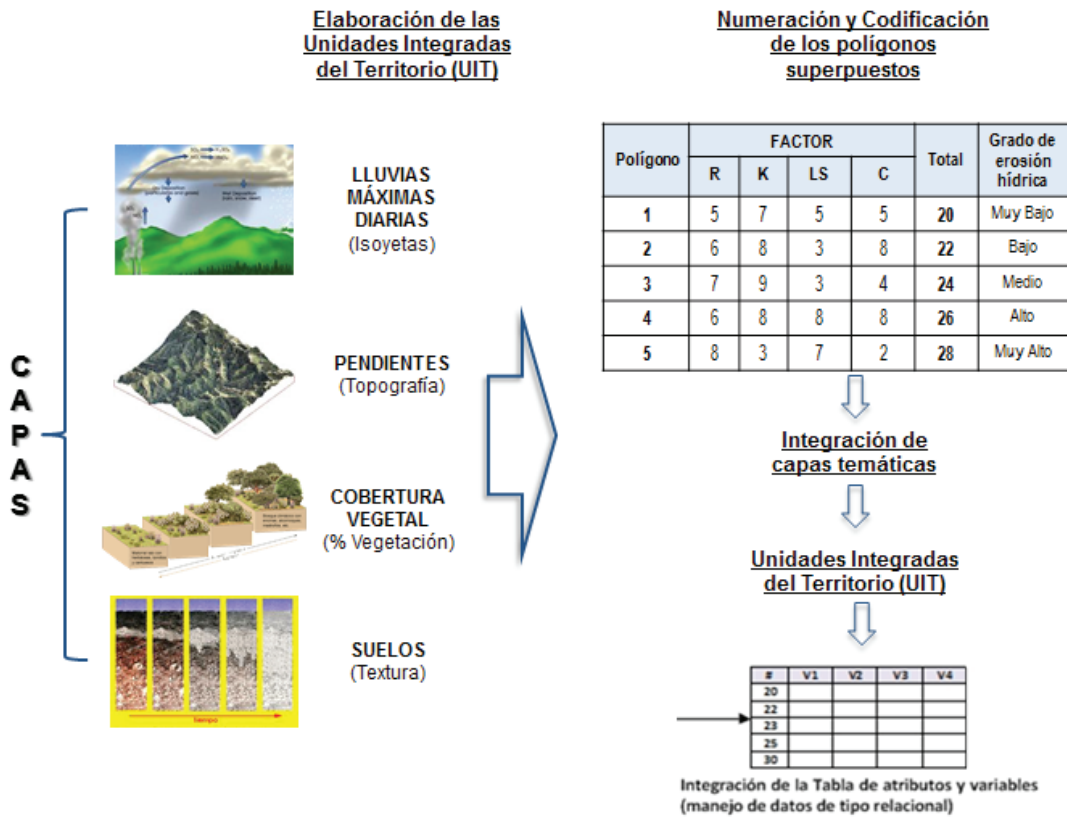


Figura 1. Procedimiento metodológico

Para determinar el grado de vulnerabilidad erosiva del “Área 1” (ubicado al norte de Cumbaza) se realizó lo siguiente (Tabla 2):

- Se cargaron en el software Arcgis las cuatro capas temáticas analizadas (lluvias, pendiente, cobertura vegetal y tipos de suelo) y las curvas de nivel.

- Se observó que esta área abarca los distritos de San Roque de Cumbaza y parte de Lamas. Queda entre las cotas de 1200 y 1600 m.s.n.m.
- En función de los datos mencionados, se le asignaron los valores de ponderación que se muestran en el siguiente detalle:

Tabla 2
Ponderación del grado de vulnerabilidad erosiva

Capas	Características	Ponderación
Isoyetas	Lluvias de 98 - 105 mm.	9
Pendiente	0 - 3 %.	1
Tipo de cobertura vegetal	50% de bosque primario y 50% de vegetación secundaria (cultivos agropecuarios) y presencia de áreas degradadas y deforestadas.	5
Tipo de suelo	Yanavara y Aviación, es decir un factor de erodabilidad de 0,284.	9
Total		24

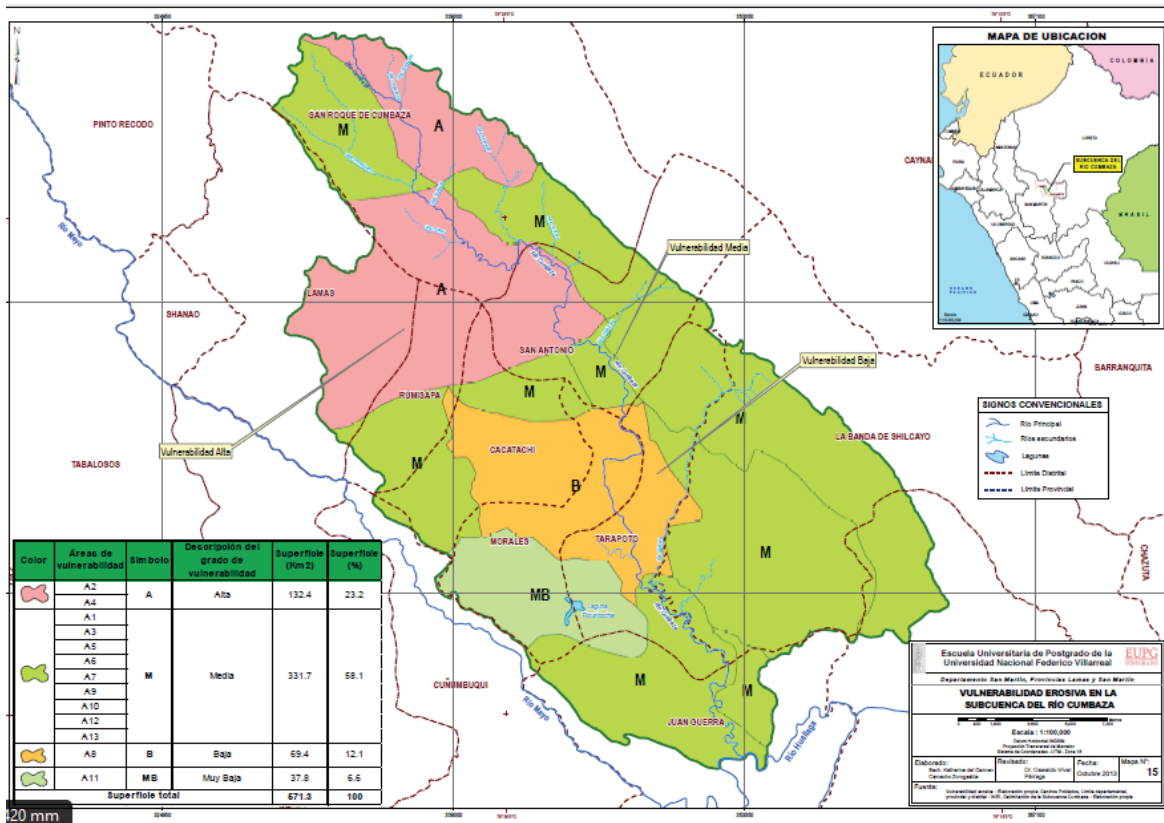


Figura 2. Vulnerabilidad erosiva de la subcuenca Cumbaza

Tasa de erosión hídrica

(i) Determinación de lluvias máximas

Se determinaron las lluvias máximas para los tiempos de retorno de 5, 25 y 100 años utilizando el método Gumbel Tipo I de las

estaciones: El Porvenir, Lamas, Soritor y Tabalosos que poseen registros históricos de lluvias máximas en 24 horas de 27 años (1980 - 2007), que fue utilizada para las siguientes correlaciones de lluvia y altura en los tiempos de retorno mencionados (Tabla 3)

Tabla 3
Lluvias máximas para diferentes tiempos de retorno

Nº	Estaciones Elegidas	Pp. máx. en diferentes Tiempos de Retorno			Altitud (m)
		5	25	100	
1	El Porvenir	75,81	97,49	114,58	230
2	Lamas	88,66	121,73	147,81	920
3	Soritor	98,71	138,11	169,2	870
4	Tabalosos	88,32	117,68	140,85	560

Fuente: SENAMHI - Región San Martín

De estas cuatro estaciones, se determinó que la estación “Lamas” es representativa en Cumbaza, ya que posee valores similares a los

encontrados en función a la altura media de la subcuenca de acuerdo a la Tabla 4:

Tabla 4

Promedio de las lluvias máximas de las estaciones representativas

Tiempos de retorno	Lluvias generadas de las estaciones elegidas	Lluvias máximas de la Estación de Lamas
5	95,86	88,66
25	136,88	121,73
100	162,13	147,81

Asimismo, se determinaron las lluvias máximas diarias para diferentes tiempos de retorno calculadas para Cumbaza (Tabla 5 y Figura 3). Para una altitud media de 200 metros y Tr: 5 años se tiene:

$Pp_{Tr: 5 \text{ años}} = 33,37 * (200)^{0,152}$, con $R^2 = 0,805 \Rightarrow Pp_{Tr: 5 \text{ años}} = 75 \text{ mm}$. Como ejemplo se muestra el cálculo para un tiempo de retorno de cinco años, de la misma manera se determinaron para los demás (25 y 100 años).

Pp media Cumbaza_{Tr:5años}

$$\frac{75 * (1,21) + 77 * (78,45) + 81 * (158,68) + 86 * (68,29) + 90 * (120,12) + 94 * (61,88) + 97 * (49,04) + 99 * (19,44) + 101 * (10,4) + 103 * (0,47) + 104 * (3,3)}{571,28} = 90\text{mm}$$

Tabla 5

Lluvias máximas para tiempos de retorno 5, 25 y 100 años

Rango de altitudes	Altitud media (m)	Área (km ²)	Lluvias máximas para diferentes tiempos de retorno (mm)		
			TR: 5 años	TR: 25 años	TR: 100 años
200 a menos	200	1,22	75	95	110
200 - 300	250	78,6	77	100	120
300 - 400	350	158,68	80	110	130
400 - 600	500	68,31	85	115	140
600 - 800	700	120,12	90	125	150
800 - 1000	900	61,9	93	130	155
1000 - 1200	1100	49,06	95	135	165
1200 - 1400	1300	19,44	97	140	170
1400 - 1600	1500	10,4	100	143	175
1600 - 1800	1700	0,47	103	145	180
1800 a más	1800	3,1	105	150	185
Área total		571,3			
Lluvia máxima media			90	115	140

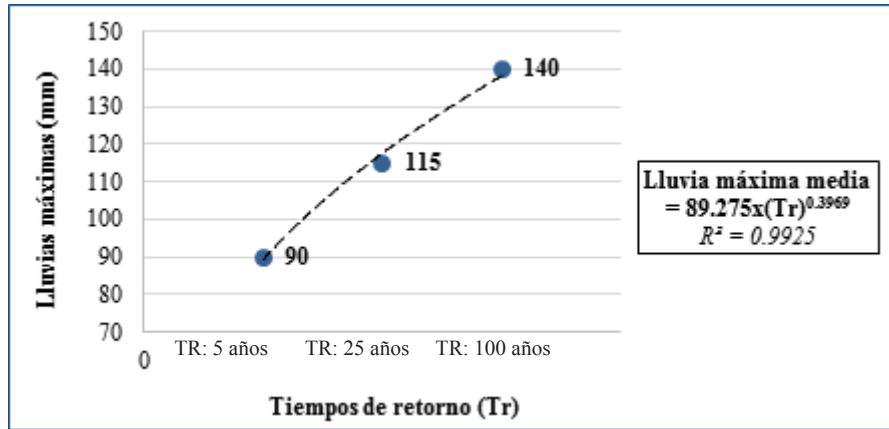


Figura 3. Lluvias máximas medias para tiempos de retorno 5, 25 y 100 años

(ii) Intensidades máximas en Cumbaza (I_{30})

Para determinar el factor R, además de las lluvias máximas diarias, es necesario analizar las intensidades para un tiempo de duración

de 30 minutos. Por ello, se identificó que Jepelacio y Moyobamba tienen una misma tendencia y su valor promedio es representativo en Cumbaza (Tabla 6).

Tabla 6

Valor de K en función a las lluvias máximas en 24 horas

TR	Lluvias máximas en 24 horas para diferentes tiempos de retorno				K'
	Jepelacio	Moyobamba	Lamas	Promedio de Jepelacio y Moyobamba	
5	64,94	75,87	88,67	70,41	1,26
25	93,09	103,27	121,73	98,18	1,24
100	115,29	124,88	147,81	120,09	1,23

En la Tabla 6 se observa que Lamas es ligeramente superior al valor medio y por tanto el comportamiento de las intensidades debe tener la misma tendencia (Figura 4).

$$K' = \frac{\text{Precipitación Lamas}}{\text{Precipitación Promedio}}$$

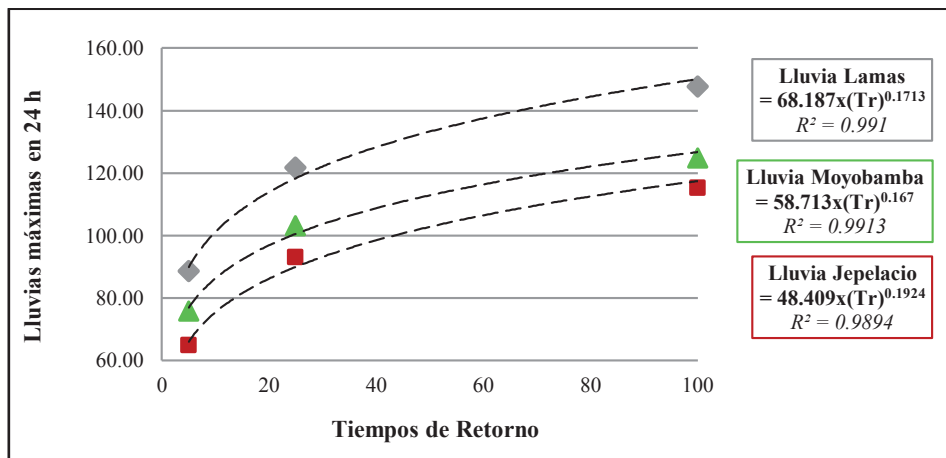


Figura 4. Intensidades para 30 min. vs tiempo de retorno

Se observa que las tendencias de las lluvias máximas diarias son similares en las tres estaciones (Lamas, Moyobamba y Jepelacio), razón por la cual, se determinó la intensidad de Cumbaza en función de un factor de conversión o coeficiente en base a las lluvias máximas, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$I_{\text{Subcuenca}} = K'' * I_{\text{promedio}}$$

Donde:

K': Coeficiente obtenido en base a las lluvias máximas.

Tabla 7

Intensidades para tiempo de duración de 30 minutos generadas para Cumbaza

Tiempo de retorno	Intensidades (I ₃₀)		Ī(Jep.y Moyob.)	K'	Intensidades Generadas (K'')
	Jepelacio	Moyobamba			
5	65,4	44,0	54,70	1,26	68,9
25	84,0	65,0	74,50	1,24	92,4
100	106,0	82,3	94,17	1,23	115,8

(iii) Determinación de la altura media

Luego, se calcularon las alturas medias en cada una de las 13 áreas de vulnerabilidad (Tabla 8). A continuación, como ejemplo se

I_p: Intensidad promedio para los diferentes tiempos de retorno entre Jepelacio y Moyobamba.

La intensidad generada para 30 minutos es ligeramente superior al valor obtenido para Jepelacio y Moyobamba. Por ello, se eligió esta intensidad como valor representativo en Cumbaza. Es decir, estas estaciones serán consideradas para el análisis de regionalización por: (i) el comportamiento pluviométrico similar; (ii) altitudes similares; y, (iii) encontrarse en una misma región pluviométrica (Tabla 7).

muestra el cálculo para el "Área A1". De la misma manera se determinaron para los demás (del A2 al A13):

Tabla 8

Hmedia () del área A_i

A _i			
Rango de H	H̄	Área (Km ²)	A * H̄
750 - 800	775	0,35	271,2
800 - 1000	900	6,39	5751
1000 - 1200	1100	10,52	11572
1200 - 1400	1300	5,27	6851
1400 - 1500	1450	6,9	10005
Total		29,4	34450,25

$$H_{\text{media}}(A1) = \frac{\sum A * \bar{H}}{A_{\text{Total}}} = \frac{34450,25}{29,43} = 1170,6$$

(iv) Intensidad por área de vulnerabilidad (I₃₀)
Se determinó la intensidad para cada área

de vulnerabilidad erosiva para los tiempos de retorno de 5, 25 y 100 años (Tablas 9 y 10).

Tabla 9

Intensidades de Jepelacio y Moyobamba para tiempo de duración 30 min

Tiempos de Retorno	Estaciones	Altitud (msnm)	Intensidades (mm/30 min.)
5 años	Jepelacio	1000	65,39
	Moyobamba	1247	44,00
25 años	Jepelacio	1000	84,00
	Moyobamba	1247	65,00
100 años	Jepelacio	1000	106,04
	Moyobamba	1247	82,30

Tabla 10

Ecuaciones de las intensidades para diferentes tiempos de retorno

Tiempo de retorno (años)	Ecuación de la Intensidad	a	b
5	$I = a*(H) + b$	0,0866	151,99
25		0,0769	160,92
100		0,0960	201,95

(v) Determinación del factor de erosividad “R” (MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹)

Los valores del Factor R se calcularon para cada área de vulnerabilidad utilizando las ecuaciones de Morgan y Foster para los tiempos de retorno de 5, 25 y 100 años (Tabla 11):

(Fórmula de Morgan) y (Fórmula de Foster)

$$R = I_{30} \left(\frac{9,28P - 8383}{1000} \right) \text{ (Fórmula de Morgan) y}$$

$$R = \frac{0,276P * I_{30}}{100} \text{ (Fórmula de Foster)}$$

Donde:

I_{30} : Intensidad en 30 minutos.

P: Lluvia media anual de las estaciones más representativas de la cuenca en estudio.

Por ej. para el Tr: 5 años, los valores de “R” varían desde 111,33 (Área 2) hasta 249,6 (Área 13), considerándose el primer valor como grado de erosividad leve (lluvias frecuentes bien distribuidas), mientras que el segundo valor posee grado de erosividad medio (lluvias de intensidad media, frecuentes y de regular distribución):

Tabla 11

Factor R promedio para Tr: 5 años

Áreas	\bar{H}	$I_{30} = F(\bar{H})$	R Morgan	R Foster	\bar{R}
A1	1170,6	50,62	145,32	169,4	157,37
A2	1341,6	35,81	102,80	119,9	113,33
A3	965,5	68,38	196,30	228,9	212,58
A4	905,6	73,57	211,19	246,2	228,71
A5	1009,1	64,60	185,46	216,2	200,84
A6	905,6	73,56	211,19	246,2	228,70
A7	905,6	73,56	211,19	246,2	228,70
A8	936,0	70,93	203,64	237,4	220,53
A9	1170,0	50,67	145,46	169,6	157,52
A10	988,0	66,43	190,71	222,3	206,53
A11	1170,0	50,67	145,46	169,6	157,52
A12	1170,0	50,67	145,46	169,6	157,52
A13	828,0	80,29	230,49	268,7	249,60

(vi) Determinación del factor K (Ton.MJ⁻¹. mm⁻¹)

Se determinó utilizando la siguiente fórmula (propuesta por Wishmeier y Smith):

$$77.4 K = 2,1 \times 10^{-4} \times (\% L + \% A) \times (100 - \% a) 1,14 \times (12 - \% m.o)$$

Donde:

% L: % de limo

% A: % de arena

% a: % de arcilla

m.o: % de materia orgánica

Los valores de %L, %A, %a y m.o% fueron determinados del análisis mecánico de suelos para lo cual se hicieron ocho calicatas en Cumbaza (Tablas 12 y 13).

Tabla 12

Resultado de Análisis Físico – Químico - Mecánico en los suelos de Cumbaza

Calicata	Horizonte	Profundidad (cm)	pH	m.o (%)	Total N (%)	Análisis Mecánico			Clases Texturales	Factor K
						% Arena	% Limo	% Arcilla		
Cumbaza - Punto 1	Ap	0 - 25	6,9	1,79	0,08	68	20	12	Franco Arenoso	0,25
	C1	25 - 70	7,7	0,31	0,014	80	14	6	Arena Franca	
	C2	70 - 105	7,9	0,62	0,033	58	28	14	Franco Arenoso	
	C3	105 - 150	8	0,41	0,014	54	32	14	Franco Arenoso	
Distrito Cacatachi (Serie Troncal) – Punto 2	A1	0 - 30	7,8	5,58	0,227	22	32	46	Arcilla	0,06
	AC	30 - 70	7,8	0,93	0,04	28	25	47	Arcilla	
	C1	70 - 130	7,8	0,69	0,032	26	34	40	Franco Arcilloso	
	C2	130 - 200	8	0,34	0,011	50	18	32	Franco Arcilloso Arenoso	
Distrito Tarapoto (Serie Calera I - Rellano) – Punto 3	A1	0 - 15	7,3	9,17	0,389	30	32	38	Franco Arcilloso	0,03
	AC	15 - 100	7,8	1,86	0,07	26	28	46	Arcilla	
	C1	100 - 140	7,8	0,79	0,04	32	26	42	Arcilla	
	C2	140 - 170	7,8	0,34	0,019	44	26	30	Franco Arcilloso	
Distrito Tarapoto (Serie Centros Poblados) – Punto 4	A1	0 - 20	6,0	1,52	0,053	78	18	4	Arena Franca	0,29
	A2	20 - 65	5,3	0,28	0,014	76	20	4	Arena Franca	
	IIB	65 - 140	4,6	0,41	0,026	60	20	20	Franco Arcilloso Arenoso	
Distrito Tarapoto (Serie Cerro Vista Alegre) – Punto 5	A1	0 - 15	5,6	3,24	0,111	58	16	26	Franco Arcilloso Arenoso	0,15
	A3	15 - 35	4,6	2,14	0,084	54	14	32	Franco Arcilloso Arenoso	
	B1	35 - 65	4,5	0,83	0,042	48	14	38	Arcilloso Arenoso	
	B2	65 - 130	4,7	0,55	0,026	52	10	38	Arcilloso Arenoso	
	B3	130 - 180	4,8	0,28	0,017	56	10	34	Franco Arcilloso Arenoso	
Distrito San Roque de Cumbaza (Serie Yanavara) – Punto 6	A1	0 - 50	5,0	1,17	0,04	84	8	8	Arena Franca	0,28
	C1	50 - 110	4,9	0,86	0,03	80	10	10	Arena Franca	
	C2	110	5,0	0,45	0,022	70	12	18	Franco Arenoso	

Distrito Lamas (Serie Lamas) – Punto 7	A1	0 - 10	7,3	6,62	0,579	50	32	18	Franco	0,11
	AC	oct-30	7,6	2,1	0,246	24	40	36	Franco Arcilloso	
	C	30 - 50	7,8	0,3	0,117	22	46	32	Franco Arcilloso	
Distritos Rumisapa y Lamas (Serie Chirkyacu - Sacha Inchi) – Punto 8	A11	0 - 7	6,5	2,2	0,141	61	19	20	Franco Arenoso	0,19
	A12	7-20	5,5	1,85	0,102	51	23	26	Franco	
	AB	20 - 42	4,5	1,3	0,084	58	6	41	Arcillo Arenoso	
	B2	42 - 90	4,5	0,74	0,067	48	3	49	Arcillo Arenoso	

Por ejemplo, para el tipo de suelo es Serie Moparo II (Distrito de Juan Guerra) se tiene:

$$K = \frac{(2,1 * 10^{-4}) * (20 + 68) * (100 - 12) * 1,14}{77,4} = 0,25$$

Tabla 13

Factor de erodabilidad “K”

Distrito	Tipo de Suelo	Horizonte	Profundidad (cm)	pH	m.o (%)	Análisis Mecánico			K promedio
						% Arena	% Limo	% Arcilla	
Juan Guerra	Serie Moparo II	Ap	0 - 25	6,9	1,79	68	20	12	0,19
Tarapoto	Serie Cerro Vista Alegre	A1	0 - 15	5,6	3,24	58	16	26	0,15
Cacatachi	Serie Troncal	A1	0 - 30	7,8	5,58	22	32	46	0,06
Rumisapa y Lamas	Serie Chirkyacu - Sacha Inchi	A11	0 - 7	6,5	2,2	61	19	20	0,19
Tarapoto	Serie Centros Poblados	A1	0 - 20	6	1,52	78	18	4	0,29
San Roque de Cumbaza	Serie Yanavara	A1	0 - 50	5	1,17	84	8	8	0,28
Lamas	Serie Lamas	A1	0 - 10	7,3	6,62	50	32	18	0,11
Tarapoto	Serie Calera I - Rellano	A1	0 - 15	7,3	9,17	30	32	38	0,03

(vii) Determinación de los factores LS y C (Adimensional)

Se utilizaron valores propuestos por Wischmeier y Smith, en cada área de vulnerabilidad erosiva (Tablas 14 y 15):

Tabla 14

Factor topográfico para superficies no extensas

Grupos de Pendientes (%)	Factor LS
0 a 3	0,3
3 a 12	1,5
18 a 24	5,6
24 a más	8,7

Fuente: Wischmeier y Smith (1978)

Tabla 15
Factor C

Cultivo y Práctica	Media anual del Factor C
Maíz, sorgo, alto rendimiento, laboreo convencional	0,2 – 0,55
Arroz	0,1 – 0,2
Frutales con cobertura vegetal	0,01 – 0,8
Arbolado muy clareado (25 - 60%)	0,041
Cultivos anuales y herbáceos	0,25

Fuente: Wischmeier y Smith (1978)

Finalmente, se determinó la tasa de erosión hídrica en las 13 áreas de vulnerabilidad de Cumbaza reemplazando los valores de R, K, LS, C y P (de acuerdo a los valores propuestos por Wischmeier y Smith. Se consideró el valor de 1, debido a que en Cumbaza no se realizan prácticas de conservación de suelos. A continuación, se muestra el cálculo de la tasa de erosión para el tiempo de retorno de cinco años (Tabla 16). Asimismo, en la Figura 5 se muestra los grados de las tasas de erosión hídrica en Cumbaza.

Pérdida de suelo por unidad de superficie =

$$\frac{(62,12 \cdot 14,3 + 62,12 \cdot 100,8 + 86,5 \cdot 72,6 + 62,1 \cdot 7,8 + 28 \cdot 8,7 + 11,3 \cdot 31,6 + 10,3 \cdot 29,5 + 19,8 \cdot 69,4 + 14,5 \cdot 52,1 + 2,1 \cdot 31,5 + 2,6 \cdot 31 + 2,4 \cdot 84,2 + 8,7 \cdot 37,9)}{571,28} \Rightarrow 30,8 \frac{T}{Ha} / \text{año}$$

Tabla 16

Tasas de erosión hídrica para tiempos de retorno de 5, 25 y 100 años en Cumbaza

Áreas	Símb.	Grado de erosión Hídrica (Tr:5años)	Área (km²)	Área %	Factor R (Pp máx. Diarias)			Factor K		Factor LS		Factor C		Pérdida de suelos (t/ha/año)		
					Tr:5 años	Tr:25 años	Tr:100 años	Tipo de Suelo	Valor	Pendiente media	Valor	Cobertura Vegetal	Valor	Tr:5 años	Tr:25 años	Tr:100 años
A7			14,3	2,5	228,7	283,8	357,6	Granja Pasto y Sacha Inchi	0,194	10-25%	5,6	Cultivos agropecuarios y Vegetación secundaria	0,25	62,1	77,1	97,1
A4	A	Alta	100,8	17,6	228,7	283,8	357,6	Lamas y Chirkayu - Sacha Inchi	0,194	10-25%	5,6	Cultivos agropecuarios y Vegetación secundaria	0,25	62,1	77,1	97,1
A10			72,6	12,7	206,5	264,1	333,0	Pashaco, Cocos y Calera II	0,299	10-25%	5,6	Cultivos agropecuarios y Vegetación secundaria	0,25	86,5	110,5	139,4
A6			7,8	1,4	228,7	283,8	357,6	Chirkayu - Sacha Inchi	0,194	10-25%	5,6	Cultivos agropecuarios y Vegetación secundaria	0,25	62,1	77,1	97,1
A13	MA	Moderadamente Alta	8,7	1,5	249,6	302,3	380,7	Moparo y Caña Brava	0,299	3-10%	1,5	Cultivo de Arroz y Vegetación Secundaria	0,25	28,0	33,9	42,7
A2	M	Media	31,6	5,5	111,3	179,6	227,4	Yanavara	0,284	> 50%	8,7	Arbolado muy clareado (25-60%)	0,041	11,3	18,2	23,0
A1			29,5	5,2	157	220,4	278,5	Yanavara	0,284	10-25%	5,6	Arbolado muy clareado (25-60%)	0,041	10,3	14,4	18,2
A8			69,4	12,1	220,5	276,5	348,5	Troncal y Moparo	0,299	0-3%	1,5	Cultivo de Arroz y área Urbana	0,2	19,8	24,8	31,3
A12			52,1	9,1	157,5	220,6	278,7	Moparo II, Vista Alegre y Troncal	0,245	0-3%	1,5	Cultivo de Arroz y Vegetación Secundaria	0,25	14,5	20,3	25,6
A9			31,5	5,5	157,5	220,6	278,7	Troncal y Piñon	0,058	0-3%	1,5	Cultivos de Arroz, maíz y otros.	0,15	2,1	2,9	3,6
A3	B	Baja	31	5,4	212,6	269,5	339,7	Calera I-Aviación	0,034	> 50%	8,7	Arbolado muy clareado (25-60%)	0,041	2,6	3,3	4,1
A5			84,2	14,7	200,8	259,0	326,7	Calera I-Rellano	0,034	> 50%	8,7	Arbolado muy clareado (25-60%)	0,041	2,4	3,1	4,0
A11			37,9	6,6	157,5	220,6	278,7	Moparo II y Vista Alegre	0,148	3-10%	1,5	Cultivo de Arroz y Vegetación Secundaria	0,25	8,7	12,2	15,5
Área Total			571,3	100									31	40	50	

En tal sentido, el grado de erosión según los valores determinados y según la FAO - PE-

NUMA varía entre moderadamente alta y alta (Tabla 17):

Tabla 17
Pérdida de suelo

Tiempos de Retorno	Análisis de erosión	
	Tasa de erosión anual (t/ha/año)	Pérdida de suelo en cm/año
5 años	30,8	0,19
25 años	39,4	0,25
100 años	49,6	0,31



Pérdida de suelo (t/ha/año)	Grado de erosión Hídrica
< 10	Baja
10 a 25	Media
25 - 50	Moderadamente alta
50 - 100	Alta
> 100	Muy alta

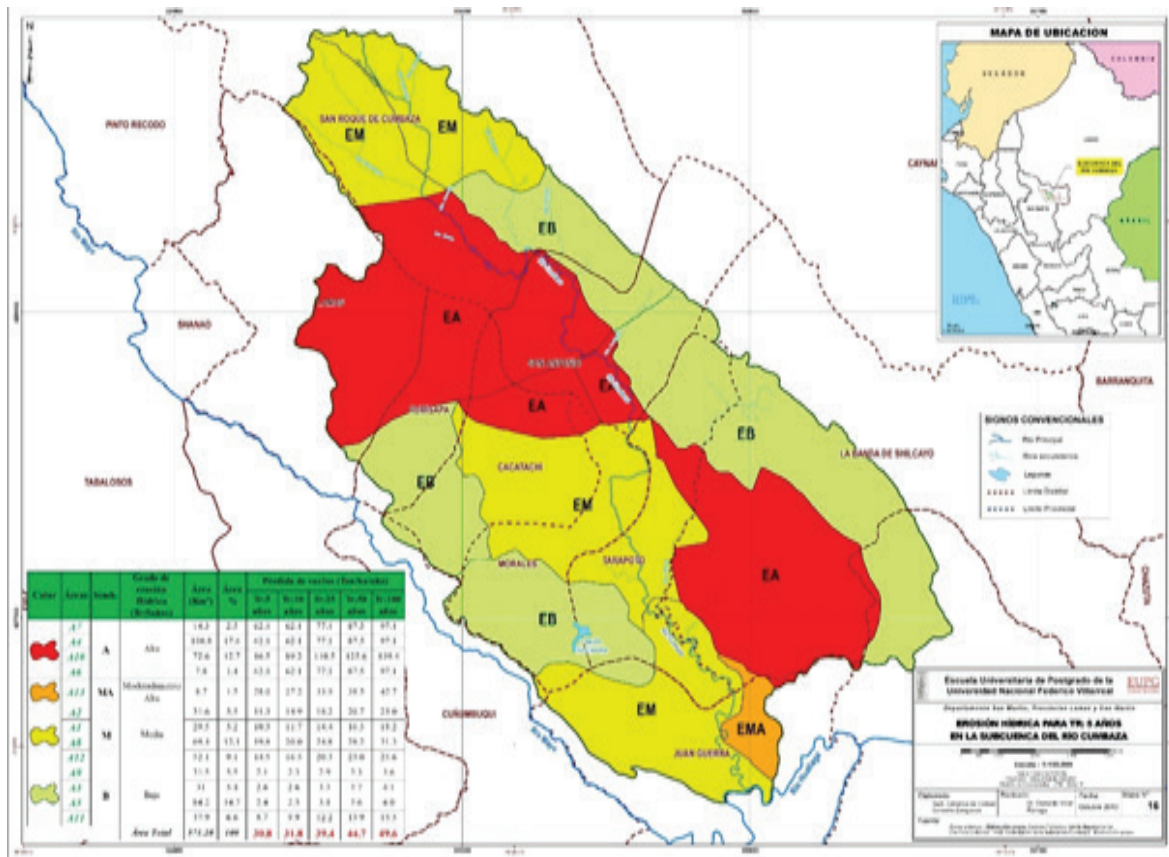


Figura 5. Erosión hídrica en la subcuenca Cumbaza

Propuesta de conservación de suelos (Sistema de Agroforestería)

Se propuso la técnica de sistemas agroforestales en las áreas que poseen mayor grado de erosión. Se eligieron las especies de bambú (*Guadua sp.*), aguaje (*Mauritia flexuosa*), cao-

ba (*Swietenia macrophylla*), oje (*Ficus Antihelmintica*) y sacha inchi (*Plukenetia volubilis*). Estas variedades fueron elegidas debido a que poseen condiciones similares a las que se desarrollan en Cumbaza, de acuerdo a lo que se muestra en la Tabla 18 y Figura 6.

Tabla 18
Especies utilizadas para la reforestación

Variables	Especies utilizadas para la Reforestación				
	Bambú (<i>Guadua sp</i>)	Aguaje (<i>Mauritia flexuosa</i>)	Caoba (<i>Swietenia macrophylla</i>)	Ojé (<i>Ficus Anti-helmíntica</i>)	Sacha Inchi (<i>Plukenetia volubilis</i>)
Temperatura (°C)	20 a 26	17 a 25	12 a 37	12 a 22	10 a 36
Altitud (msnm)	1000 a 1600	50 a 1000	0 a 1400	500 y 1000	100 a 2000
Lluvia anual (mm)	1000 a 2000	936 a 3000	800 a 2000	800 - 1500	850 a 1000
Humedad Relativa (%)	75 a 85	80 a 90	60 a 90	76	78
Clima	Ligeramente Húmedo y Semi - Cálido/Semi - Seco Cálido/Seco y Cálido.	Semi - Seco Cálido/Seco y Cálido	Ligeramente Húmedo y Semi - Cálido/Seco y Cálido	Ligeramente Húmedo y Semi - Cálido/Seco y Cálido	Ligeramente Húmedo y Semi - Cálido/Seco y Cálido.
Capacidad de Uso Mayor	Forestal, Calidad Agrícola baja-Protección/Protección-Pastoreo temporal - Cultivos Permanentes	Forestales, Calidad Agrícola Baja - Protección/Cultivos en Limpio - Pastoreo	Forestal, Calidad Agrícola baja-Protección/Cultivos en Limpio - Pastoreo.	Forestal, Calidad Agrícola baja-Protección. Limitación por suelo y erosión.	Forestales, Calidad Agrícola Baja - Protección/Cultivos en Limpio - Pastoreo.
Suelo	Húmedos, bien drenados y profundos / Areno-limosos, arcillosos	Histosoles ácidos (áreas pantanosas), areno hidromórficos y buen drenaje	Fértiles, profundos, bien drenados y aluviales / arcillosos.	Húmedos de textura media tipo arcilla	Ácidos y con alta concentración de aluminio / arcillosos y franco arenoso
Bosque	Secundario	Primarios y de inundación temporal o permanentemente.	Secundario (tropicales y subtropicales).	Primario y secundario	Primario y Secundario
Plagas	Escarabajo (<i>Podischnus sp</i>), Piojo (<i>Asterolecanium sp</i>) y Hongo <i>Sarocladium oryzae</i>	Resistente a plagas pero en su minoría son atacadas: <i>Castania sp</i> y <i>Rynchophorus palmarum</i>	Gusano araña (<i>Phobetrion hipparchia Cramer</i>)	Algunos insectos y hongos	Hongo (<i>Fusarium spp</i>), hormigas (<i>Acromyrmex</i>) y Nemátodo (<i>Meloidogyne spp</i>)
Tratamiento de plagas	Fungicidas	Desinfección con Benomyl	Insecticidas	Fungicida e insecticida	Desinfección de semilla con: Rhizolex - T (2 kg/ha), carbofuran (10 g/planta).
Densidad de Plantación	5000 tallos/ha.	500 palmeras/ha.	100 árboles/ha.	1110 árboles/ha.	1111 plantas/ha.

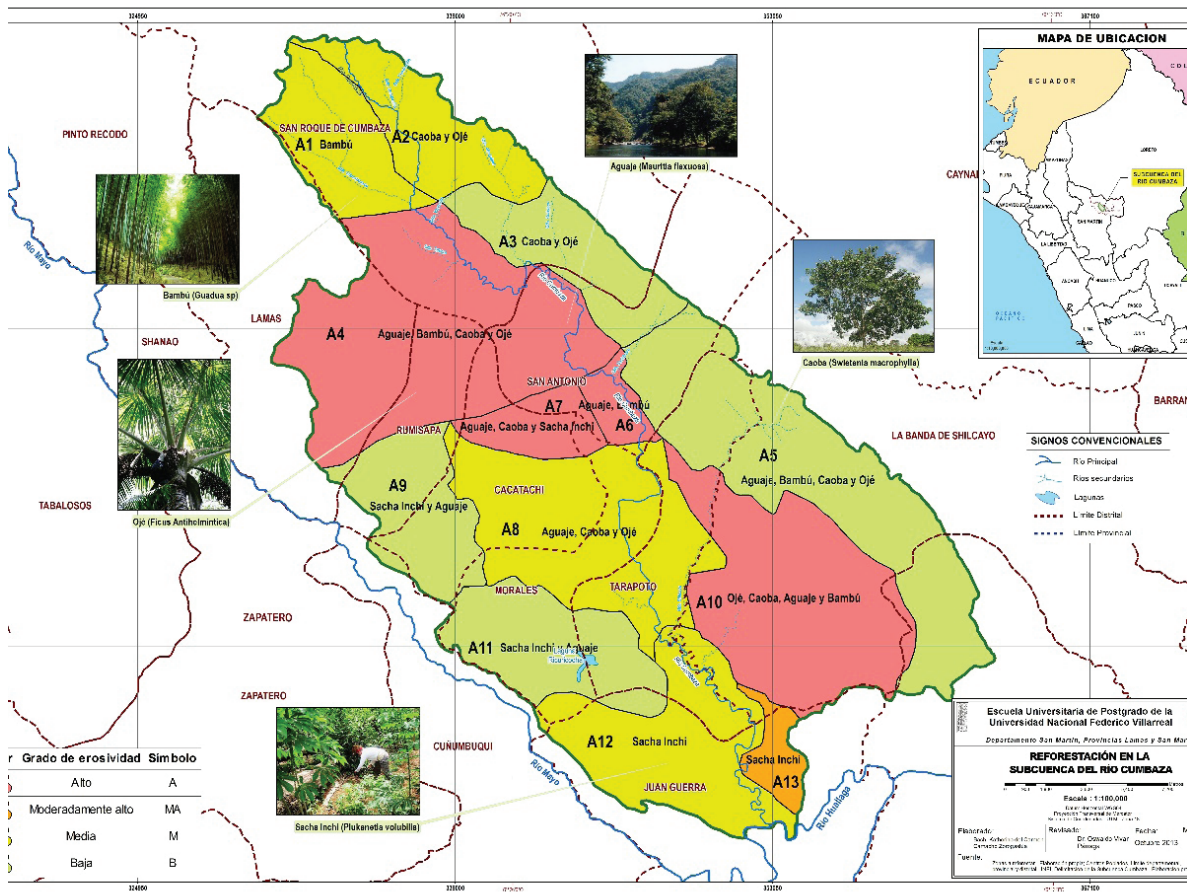


Figura 6. Reforestación en la subcuenca Cumbaza

Discusión

Se optó por utilizar el método USLE para determinar la pérdida de suelo en t/ha/año en Cumbaza ya que es la ecuación universal que puede ser utilizada para todo tipo de suelo (costa, sierra y selva); además, es usado en diversos países, tales como Brasil, Venezuela, Colombia, Perú, Estados Unidos, México, entre otros (Castro Mendoza, 2013, pág. 6).

Para el cálculo del factor R, se utilizaron las fórmulas de Morgan y Foster ya que estas son específicamente aplicadas en zonas que poseen lluvias altas (para lluvias total anual de 1494 mm), que permitieron mayor precisión a la realidad, toda vez que considera las intensidades para diferentes tiempos de retorno en un tiempo de duración de 30 minutos y la lluvia media anual de las estaciones más representativas de Cumbaza.

Para el factor K se utilizó la fórmula de la primera aproximación de Wisheimer, la cual está en función del % de limo, arena, arcilla y materia orgánica a una profundidad aproximada de 50 cm. Cabe precisar que, no se utilizó la segunda aproximación de Wisheimer porque requiere de valores de % de limo, arena, arcilla y materia orgánica, código de estructura del suelo, y la clase de permeabilidad (no se contaba con valores de estos dos últimos).

El factor LS se calculó utilizando los valores propuestos por Wisheimer y Smith de forma conjunta con la información recopilada en campo y gabinete (cartográfica), ya que se evaluaron áreas no extensas en función de sus pendientes (%) que conforman a Cumbaza en conjunto y su análisis fue más específico, resultando valores que varían entre 0,3 hasta 8,7.

Para el factor C, se evaluaron áreas más pequeñas (Escala 1:200 000), que poseen coberturas vegetales homogéneas; estos fueron tomados de los valores propuestos por Wisshmeier y Smith, los que varían entre 0,041 a 0,25. Asimismo, para el factor P se le asignó el valor de 1 debido a que en Cumbaza, no existen prácticas de conservación de suelos que cumplan con los requerimientos mínimos para considerarlas como tales (Castro Mendoza, 2013, pág. 12).

Finalmente, se determinó la pérdida de suelos en Cumbaza para los tiempos de retorno de cinco, 25 y 100 años, resultando valores de 31, 40 y 50 t/ha/año respectivamente, los que representan grados de erosión moderadamente alto y alto, Clasificación de FAO – PENUMA UNESCO (Gómez Lora, 2012), Venezuela y Colombia (Quiñonez & Pozzo, 2008). Se optó por elegir dichas clasificaciones de erosión debido a que son las más representativas en la utilización del Modelo USLE y manejadas en las investigaciones publicadas en revistas indexadas internacionales como Redalyc, Scopus, Scielo, etc.

Conclusiones

- Se identificaron 13 áreas de vulnerabilidad física, de las cuales el 23,2 % del total presenta una vulnerabilidad erosiva alta, principalmente, por la escasa cobertura vegetal y altas lluvias. Por otro lado, el 58,1 % muestra una vulnerabilidad media, debido especialmente a las pendientes e inexistencia de cobertura vegetal densa por la incidencia de la actividad antrópica. Finalmente, la vulnerabilidad baja y muy baja muestran un total de 12,1 y 6,6 % respectivamente, debido a la presencia de cobertura vegetal y una textura de franco arenosa y alta cantidad de materia orgánica.
- Se determinaron los valores de pérdida de suelos, en los cuales se determinaron 13 áreas que poseen grados de erosión que varían de moderadamente alta a alta erosión

hídrica y cuyos valores son de 31, 40 y 50 t/ha/año para los para los tiempos de retorno de 5, 25 y 100 años.

- Se formuló una propuesta de reforestación utilizando la técnica de Sistemas Agroforestales, en la que se consideraron las variables de: temperatura (°C), altitud (msnm), lluvia anual (mm), humedad relativa (%), clima, capacidad de uso mayor de suelo, suelo, bosque y adicionalmente las plagas y los tratamientos respectivos para la conservación de las especies a reforestar, determinándose las zonas ideales para el crecimiento y desarrollo óptimo de las mismas. En la Subcuenca Alta se utilizaron las especies de aguaje, bambú, caoba y ojé; en la subcuenca media, las especies de aguaje, bambú, caoba, ojé y sacha inchi; y, en la subcuenca Baja, las especies utilizadas son sacha inchi y aguaje.

Referencias

- Brack, A., & Mendiola Vargas, C. (2004). *Ecología del Perú* (Segunda ed.). Lima: Bruño.
- Castro, I. (2013). Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica en microcuenca de presa Madín, México. *Revista de Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, XXXIV.
- Flores, H., Martínez, M., & Oropeza, L. (2003). Integración de la EUPS a un SIG para estimar la erosión hídrica del suelo en una Cuenca Hidrográfica de Tepatitlán, Jalisco, México. *Red de Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España y Portugal*, 21(2).
- Gómez, J. (2012). Separatas sobre la erosión del suelo: Apuntes de Clase. Lima.
- Instituto Geofísico del Perú (IGP). (2010). *Mapa de Suelos del Perú*. Perú: Ministerio del Ambiente.

- Martín, S. R. (2012). *Caudales y Lluvias*. San Martín.
- Mendieta, M., & Rocha Molina, L. (2007). *Sistemas Agroforestales*. Nicaragua: Universidad Nacional Agraria.
- Ministerio del Ambiente (MINAM). (2008). *Mapa Geomorfológico del Perú*. Perú.
- Ministerio del Ambiente. (2016). *La conservación de bosques en el Perú 2011 - 2016*. Lima: Depósito legal de la Biblioteca Nacional del Perú.
- PNUMA, P. d. (2003). *Accesos a recursos genéticos y distribución justa y equitativa de los beneficios derivados de su utilización*. Panamá: Oficina Regional para América Latina y El Caribe.
- Quiñonez, E., & Pozzo, F. (2008). *Distribución espacial del riesgo de degradación de los suelos por erosión hídrica en el Estado Lara*. Venezuela.
- Quispe, J. (2010). *Guía de Modelamiento Participativo para Zonificación Ecológica y Económica – Región*. Lima: Programa de Desarrollo Rural Sostenible.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. (2013). *Mapa Climático del Perú, según el Sistema de Clasificación del Método Thornthwaite*. Perú: Ministerio del Ambiente.
- SERNANP, S. N. (2007). *Plan Maestro del área de Conservación Regional Cordillera Escalera 2007-2011*. San Martín.