MARN
Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Erosión y transporte de sedimentos suspendidos del río Banderas:

Cálculo del índice de aportación de sedimentos

Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Contenido

Introducción……2
1. Consideraciones Generales.……3
1.1. Ubicación……3
2. Objetivo ……4
3. Cálculo del volumen de sedimento……4
3.1. Calculo de la erosión de la cuenca mediante el método RUSLE.……4
3.1.1. Materiales y métodos……4
3.1.2. Método empírico RUSLE……4
3.1.2.1. Erosividad de la lluvia: Factor R……7
3.1.2.2. Erodabilidad del suelo: Factor K……9
3.1.2.3. Practica conservacionista: Factor P……11
3.1.2.4. Cobertura y manejo de la vegetación: Factor C……12
3.1.2.5. Factor topográfico: Factor LS……14
3.1.3. Carga de sedimentos totales a través de la fórmula MUSLE……19
3.2. Cálculo del volumen de sedimentos en suspensión a través de análisis de datos de campo……22
3.3. Cálculo del Índice e Aportación para la cuenca del rio Banderas……24
4. Bibliografía……26

Introducción

La erosión de los suelos es un fenómeno natural generado por diversos factores, y potenciado por la intervención humana.

Entre los factores físicos que generan erosión podemos citar los vientos y las lluvias, siendo esta última la que tiene efectos más significativos, que cuentan con la posibilidad de ser cuantificables.

Las gotas de lluvia disgregan el suelo en partículas muy finas, las que son fácilmente transportadas en suspensión por las corrientes que se originan en el área afectada por ellas. Al incrementarse el flujo aumenta el desgaste de los suelos que han sido impactados por las lluvias.

La determinación del volumen de sedimento que proviene de la erosión de los suelos es objeto de investigaciones sobre el origen y la mecánica de la producción de sedimentos, así como la cuantificación de las aportaciones de áreas determinadas. Como este fenómeno es complejo, las investigaciones no han logrado establecer una metodología que permita determinar con certeza los volúmenes aportados, lo que hace que los métodos utilizados sean aproximados.

En este caso se ha trabajado con dos métodos para el cálculo de los volúmenes aportados por la cuenca del río Banderas: El método de la MUSLE, el cual está basado en parcelas de longitud base con las que generan una serie de fórmulas que establecen los volúmenes erosionados.

El segundo método está basado en la cantidad de sólidos suspendidos que se han medido en aforos de campo y con los que se establece una relación caudal líquido-caudal sólido y a partir de ellos un volumen de sedimentos que son una parte de la producción de la cuenca.

Finalmente y a partir de los datos analizados pertenecientes al periodo 1970-1985 se obtiene un índice de aporte de la cuenca que puede ser utilizado para la determinación de los volúmenes erosionados en la cuenca del Rio Banderas.

1. Consideraciones Generales

1.1. Ubicación

La cuenca del río Banderas se localiza en la zona costera occidental, en el departamento de Sonsonate. Pertenece a la Región Hidrográfica "D" que comprende las cuencas de los ríos Sensunapán, Banderas, San Pedro y Chilama-Las Marías.

La cuenca del río Banderas cubre un área[1] de 441.53 Km^2 y colinda en el extremo norte con la cadena volcánica Apaneca – Lamatepec, en el oriental con la cordillera del Bálsamo, en el occidental con la divisoria de la cuenca de los ríos Chilama-Las Marías y en el extremo sur con el Océano Pacífico.

El rio Banderas nace en las cercanías de la finca Altamira aproximadamente sobre la cota 1300 msnm, sus principales afluentes son los ríos Chiquihuat, Agua Caliente, Quequesquillo y Tazulá. Tiene una fuerte pendiente y su recorrido es en su gran mayoría por lecho permanente y cauce profundo.

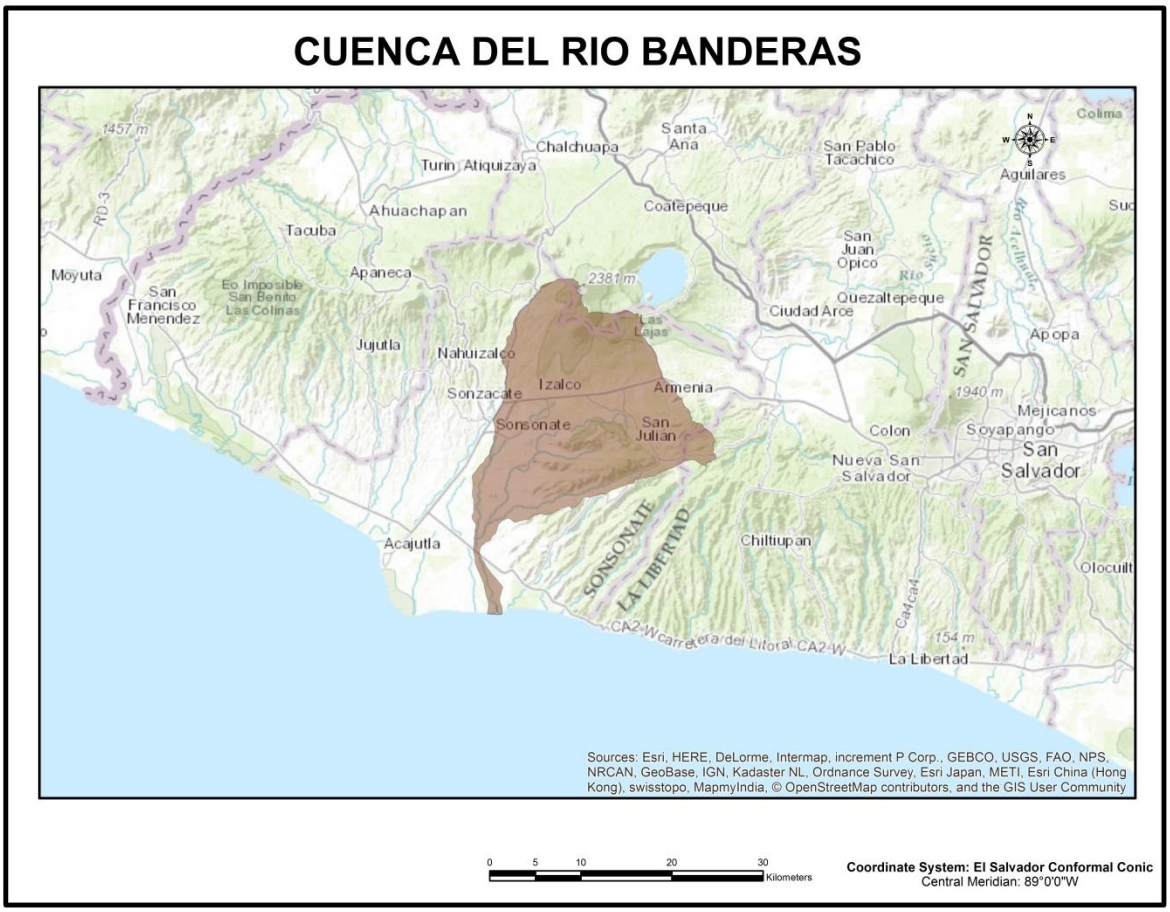

Figura No.1: Mapa que muestra la ubicación de la cuenca del rio Banderas y sus colindancias respectivas. Nótese que la cuenca nace en la cordillera del Bálsamo y termina en la planicie costera occidental.

[1] Escenarios de riego: Amenaza por inundación Región hidrográfica: Sonsonate – Banderas, MARN,2012

2. Objetivo

- Calcular a partir de los datos de volúmenes de sedimento obtenidos en campo, un índice que permita valorar los volúmenes de materiales arrastrados por la escorrentía de la cuenca.

3. Cálculo del volumen de sedimentos

El cálculo del volumen de sedimentos se ha realizado en primera instancia mediante el método empírico RUSLE y la fórmula de MUSLE. La segunda fase se ha calculado a través de los caudales de aforo y el cálculo de sedimentos suspendidos obtenidos en campo.

3.1. Cálculo de la erosión de cuenca mediante el método RUSLE

3.1.1. Materiales y métodos

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE), fue desarrollada por Wischmeier (1978), como una metodología para la estimación de la erosión laminar en parcelas pequeñas. Luego de varias modificaciones la ecuación se presenta como una metodología de gran utilidad para establecer los volúmenes de perdida de suelos.

Se ha considerado que la USLE (Wischmeier, 1978), hasta el momento, representa la metodología más idónea para el cálculo de las pérdidas de suelo en tierras agrícolas; por ello, y considerando que la mayor parte de El Salvador cumple con esta característica, se ha utilizado esta metodología para el correspondiente cálculo de sedimentos.

3.1.2. Método empírico RUSLE

En 1985, se acordó llevar a cabo la revisión de la U.S.L.E., para incorporar nuevas investigaciones y tecnologías, posteriores a la publicación del libro de la USLE en 1978. El trabajo de revisión fue iniciado seriamente después de 1987, y resultó un nuevo libro técnico (Handbook, 703) y una tecnología denominada RUSLE, la Revisión de la USLE.

El modelo empírico RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) fue concebido para predecir la pérdida de suelo anual a largo plazo producida por la escorrentía superficial, sobre laderas cultivadas y praderas bajo sistemas de gestión específicos, así como para estimar la eficiencia de la gestión del suelo, de las cubiertas y de las medidas de conservación del suelo, tanto en zonas agrícolas como afectadas por otras actividades que modifican la disposición original del suelo. En la RUSLE, los procesos y mecanismos de la erosión hídrica cuantificados a través de la tasa de pérdida de suelo por erosión hídrica, A, se agrupan en cinco factores: el poder erosivo de la lluvia (R), la erodabilidad de los suelos (K), la cobertura vegetal (C), la práctica conservacionista (P) y el factor combinado de la pendiente y la longitud de la misma (LS); estos factores conforman la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, RUSLE, la que se expresa como:

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

Dónde:

A: Pérdida del suelo en Ton/ha/año

R: Factor de erosividad de la lluvia en [(Mj.mm)/(ha.h.año)]

K: Factor de erosionabilidad del suelo en [(Mg.ha.h)/(ha.Mj.mm)]

L: Factor longitud del terreno (adimensional)

S: Factor pendiente del terreno (adimensional)

C: Factor cobertura y manejo de la vegetación (adimensional) y

P: Factor prácticas de conservación (adimensional)

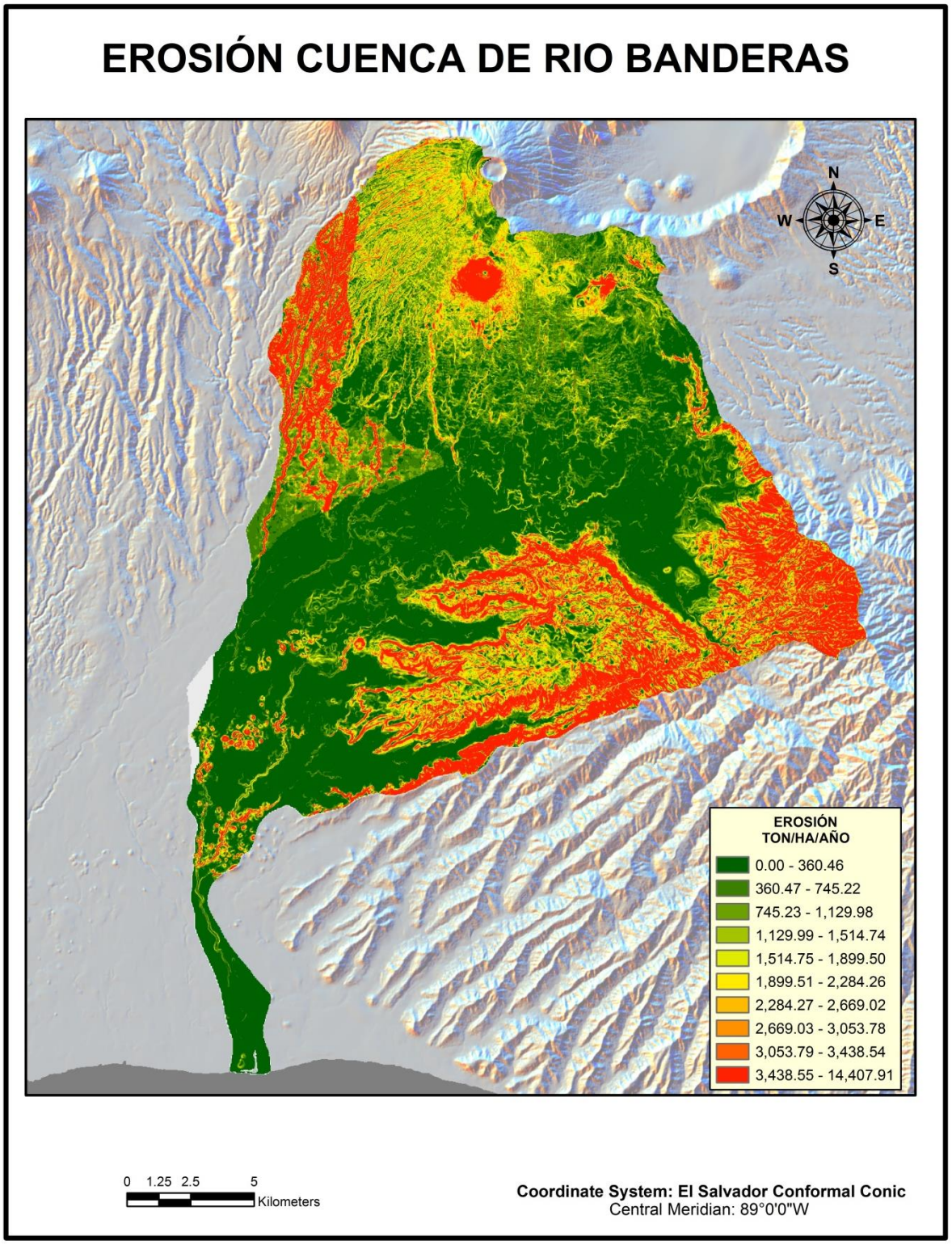

Figura No.2: Mapa que muestra la distribución y el volumen de la erosión de la cuenca del rio Banderas. Nótese que las zonas con valores elevados de erosión corresponden las zonas de mayor pendiente y la planicie experimenta bajas cargas erosivas. La carga media para toda la cuenca es de 2,122.56 ton/ha/año

3.1.2.1. Erosividad de la lluvia: FACTOR R

El factor R depende de la intensidad de lluvia y de la lluvia total, se estima para cada una de las tormentas significativas ocurridas durante un registro de un periodo, por lo general de más de 10 años. Normalmente es determinado para cada mes del año y se presenta como valores acumulados y mediante un mapa de isoerodentas[2] a nivel anual.

Para la estimación de R, es necesario contar con registros de lluvias en la forma de hietogramas. A partir de esos registros se calcula el valor de la energía de la lluvia E, para cada intervalo de tiempo de lluvia constante. Luego se calcula el índice de erosión EI, para el evento.

Para el caso de la RUSLE, el factor R no se calcula a nivel de evento, sino por períodos de tiempos mayores, generalmente anual, por lo que el factor R, se calcula como la sumatoria de los valores de EI para el período en consideración.
En este caso particular, para calcular el factor de erosividad R se utilizó la siguiente ecuación:

$$R= 3786.6 + 1.5679P – 1.9809E$$

Dónde:

R: capacidad de erosión de la lluvia [(MJ.mm)/ (Ha.h.año)]
P: precipitación anual promedio (mm/año)
E: Elevación en metros.

Esta ecuación fue obtenida a través de correlaciones del factor R, en función de la elevación y precipitaciones calibradas para Costa Rica y aplicadas en otros estudios en El Salvador[3] y en el modelamiento Hidrológico de la descarga de las cuencas hidrológicas en el Arrecife Mesoamericano. La Universidad A&M de Texas validó estadísticamente el factor R resultante para la región del Arrecife Mesoamericano y encontraron que esta ecuación es un método estadístico válido para estimar la erosividad de RUSLE para la región, por lo que dicha validación es aplicable a las regiones intermedias.
Para el cálculo del factor R se tomó el registro de la precipitación media anual para un periodo de 30 años y para la elevación el dato principal fue el DEM de la cuenca.

[2] Mapa de líneas que unen puntos con valores de lluvias de igual erosividad
[3] Escalante, A.2010, UCA. Evaluación de riesgo de erosión, Cuenca Barra de Santiago. Universidad Centroamericana José Simeón Cañas

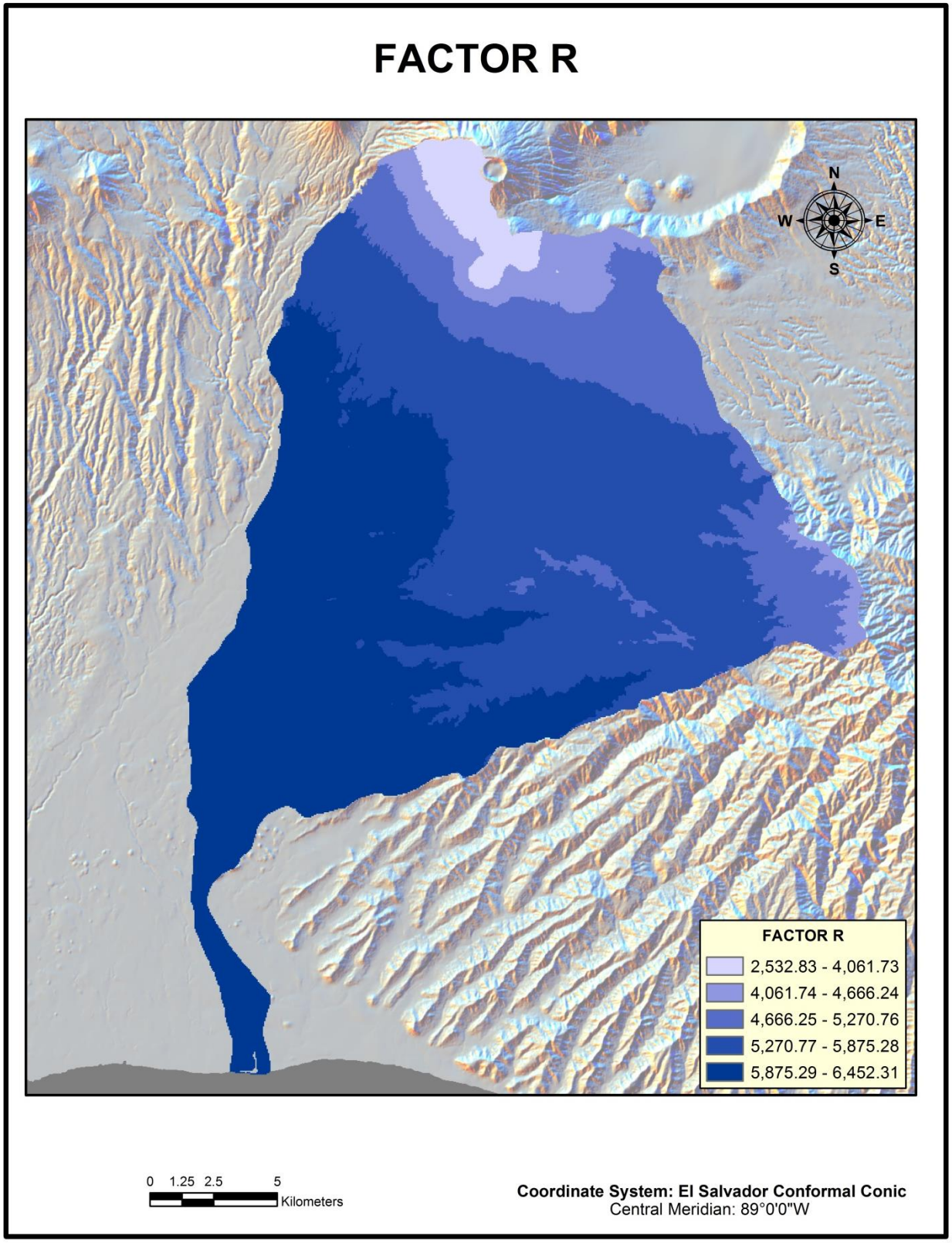

Figura No.3: Mapa que muestra la distribución del factor de la erosividad de la lluvia en la cuenca del rio Banderas, este mapa es calculado a partir de la precipitación media anual y la elevación de la cuenca.

3.1.2.2. Erodabilidad del suelo: EL FACTOR K.

El factor erodabilidad del suelo (Factor K) expresa la susceptibilidad del suelo a sufrir pérdidas por erosión en función de sus características edáficas como textura, estructura, pedregosidad superficial entre otros. La metodología USLE propone métodos tanto numéricos como gráficos para la estimación del Factor de Erodabilidad del suelo, sin embargo, estos métodos requieren de información muy detallada de las características del suelo, que no están disponibles para nuestro país actualmente. Para el caso del valor de K se tomó como base para determinar valores más específicos, los datos que se determinaron para estudios realizados por la UCA a partir del mapa pedológico fuente del Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales MARN. Las nuevas tablas generadas consideran otros aspectos como la pendiente del terreno y la geología del lugar.

Tablas para determinación del FACTOR K y FACTOR P de suelos

Series de Suelo	*K*	*P*	*Tipo suelo*	*Pendiente Asociada*
Apo	0.60	1.00	Andosol	25-60%
Apk	0.52	1.00	Andosol, Litosol	30-70%
Apq	0.57	1.00	Andosol, Latosol Arcillo Rojizo	>40%
Apj	0.13	0.60	Regosol	<10%
Apr	0.33	0.80	Regosol pardo forestal	10-25%
Aps	0.34	1.00	Regosol	30-70%
Mjg	0.34	1.00	Litosol y Latosol arcillo rojizo	40-70%
Mjf	0.25	0.90	Litosol, Regosol	<60%
Mjb	0.34	1.00	Litosol, Latosol Arcillo Rojizo	>60%
Mjj	0.34	1.00	Litosol, Latosol Arcillo Rojizo	40-75%
Sya	0.33	0.60	Andosol, Latosol	<10 y >30%
Sag	0.26	0.90	Latosol Pardo forestal	20-50%
Sah	0.29	1.00	Latosol Arcillo rojizo	30-100%
Cub	0.21	0.70	Regosol Aluvial	3-15%
Chpa	0.26	1.00	Latosol pardo forestal, Litosol	30-100%
Ama Hua Tob Cma Tia Cmb	0.16	0.60	Aluviales	<3%
Mab	0.08	0.60	Areno-francosos-Arenas finas	NM
Jaa	0.08	0.60	Areno-francosos-Arenas finas	NM
Mjc Mjf	0.38	1.00	Litosoles	30 - 100%
Aca	0.13	0.50	Latosoles arcillo rojizos y grumosoles	<10%
Aga	0.12	0.50	Grumosoles con tendencia a los Latosoles Arcillo Rojizos	1 - 5%
Ara	0.13	0.50	Latosoles Arcillo Rojizos.	0 - 5%
Aza	0.26	0.70	Latosol Arcillo Rojizo.	6 -25%
Cua	0.13	0.50	Regosoles aluviales y latosoles arcillo rojizos	<8%
Ete	0.26	0.70	Latosoles Arcillo Rojizos, Latosol Pardo Forestal y Regosoles.	<30%
Jbb	0.10	0.60	Regosoles.	<2%
Maa	0.20	1.00	Litosol o mejor dicho a las tierras sin suelo agrícola.	30 - 100%
Vab	0.21	0.80	Regosoles Aluviales y Latosoles Arcillo Rojizos.	15 - 20%

Tabla No. 1: Valores de referencia para la determinación de los factores K y P de suelos en la fórmula del RUSLE y para la determinación del índice USLE que se utiliza en la fórmula de MUSLE

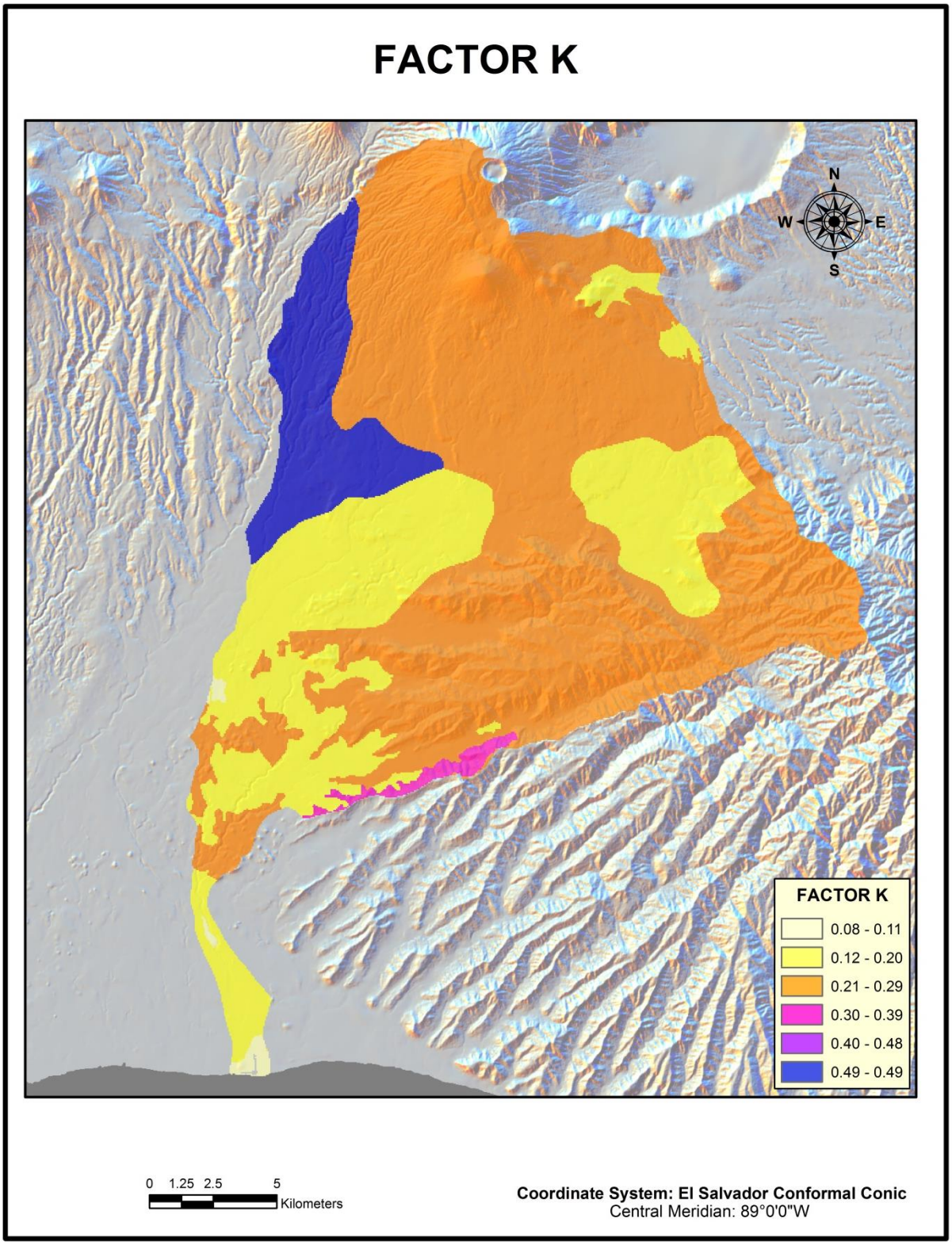

Figura No.4: Mapa que muestra la distribución del factor K de la cuenca del rio Banderas. Los valores corresponden a la predominancia de los tipos de suelos y sus características asociadas.

3.1.2.3. Práctica conservacionista: FACTOR P

El factor de práctica conservacionista, P, refleja el efecto de las prácticas de conservación de suelos que tienden a modificar la topografía, tales como: terrazas, cultivos en franjas y curvas de nivel. Sin embargo debido a que no se cuenta con información detallada de las prácticas de cultivo de la zona se ha tomado como variable principal la pendiente del terreno considerándola como la condición más desfavorable para la asignación del factor. Los valores del Factor P se muestran en la misma tabla que contiene los valores del Factor K.

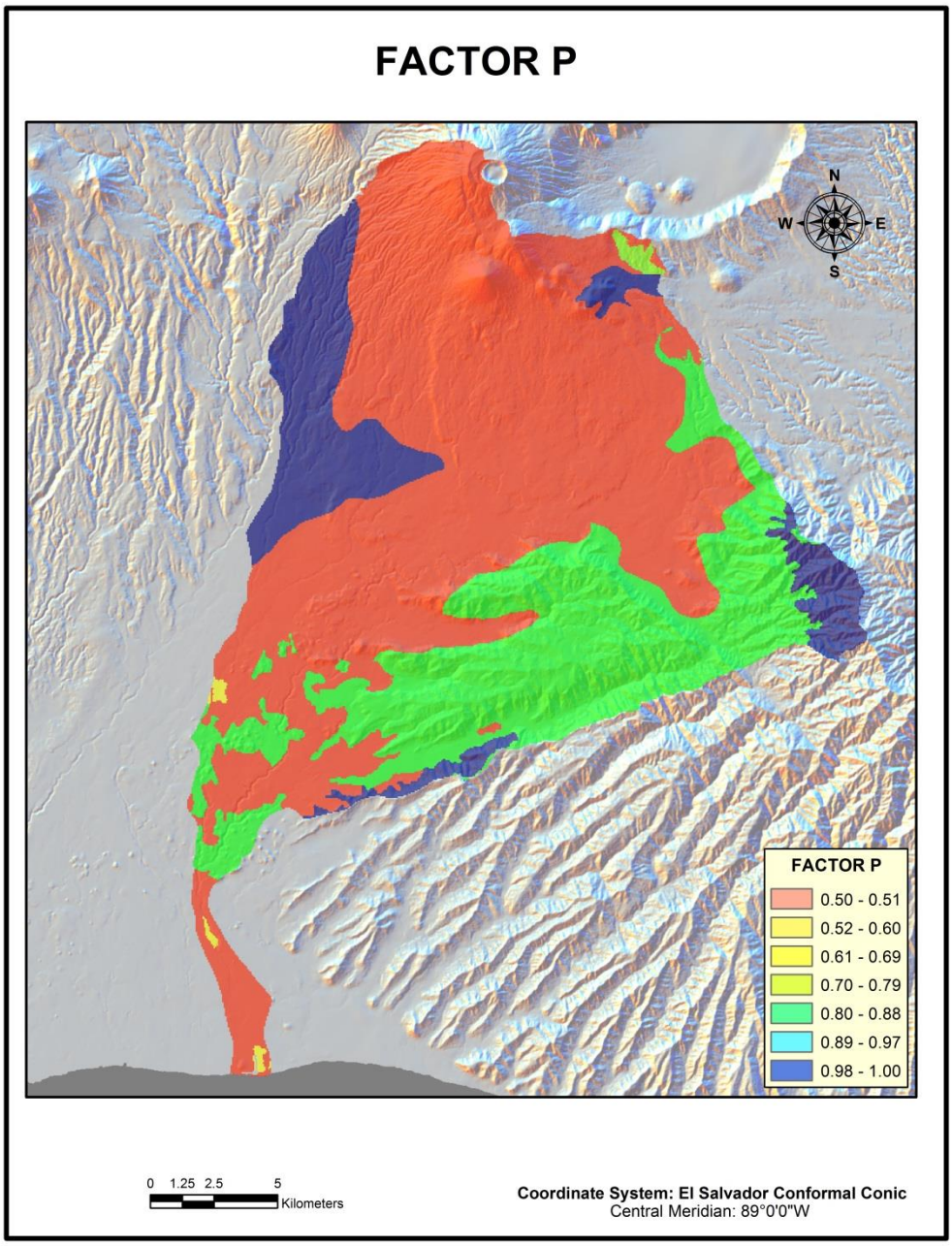

Figura No.5: Mapa que muestra la distribución del factor P de la cuenca del rio Banderas. Los valores corresponden a la predominancia de los tipos de suelos asociados a prácticas conservacionistas.

3.1.2.4. Cobertura y manejo de la vegetación: FACTOR C

El factor de cultivo C es un índice del grado de cobertura y protección que presenta la vegetación. Ese factor es constante para cultivos permanentes y variable para cultivos anuales. La estimación del factor C es de suma importancia ya que es el más variable y sujeto a cambios.

El factor C es una forma de representar la relación entre la pérdida de suelo de una superficie sin vegetación, C=1, y la erosión con la cobertura en consideración.
La estimación del Factor de Uso y Manejo de Suelos C fue realizada mediante la determinación del Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI). Los valores de NDVI permiten estimar de manera más precisa los valores del factor C para estudios de gran escala espacial al presentar una alta correlación con la biomasa presente por encima del suelo (Lin C.Y., 1997, Lin.C.Y., et al, 2002).

Para la determinación del Factor de Uso y Manejo de Suelos se utilizó la relación entre Factor C y NDVI, Esta metodología permitió estimar los valores de Factor C para unidades de terreno de 30x30m (resolución imagen Landsat 8) generando un mapa raster de la distribución de Factor de Uso y Manejo de Suelo.

$$C = \exp\left[-2\left(\frac{NDVI}{1-NDVI}\right)\right]$$

GITAS, I.Z. ET AL, 2009

Como condición media temporal para el análisis de Factor de Uso y Manejo de Suelos, se consideraron las condiciones existentes en la zona en el 23 y 30 de noviembre de 2014, para lo cual se utilizó imágenes Landsat 8 correspondientes a esa fecha. Se consideró el mes de noviembre como condición final del período de lluvias con el fin de tomar en cuenta el crecimiento vegetal que ocurre durante toda la época de lluvias.
La distribución de NDVI muestra los valores más altos, asociados a vegetación más saludable y mejor cobertura vegetal en la zona alta de la cuenca, aunque no de manera distribuida en toda el área; mientras que los valores más bajos se distribuyen en las zonas bajas de la cuenca, terrenos con uso mayoritariamente agrícola.

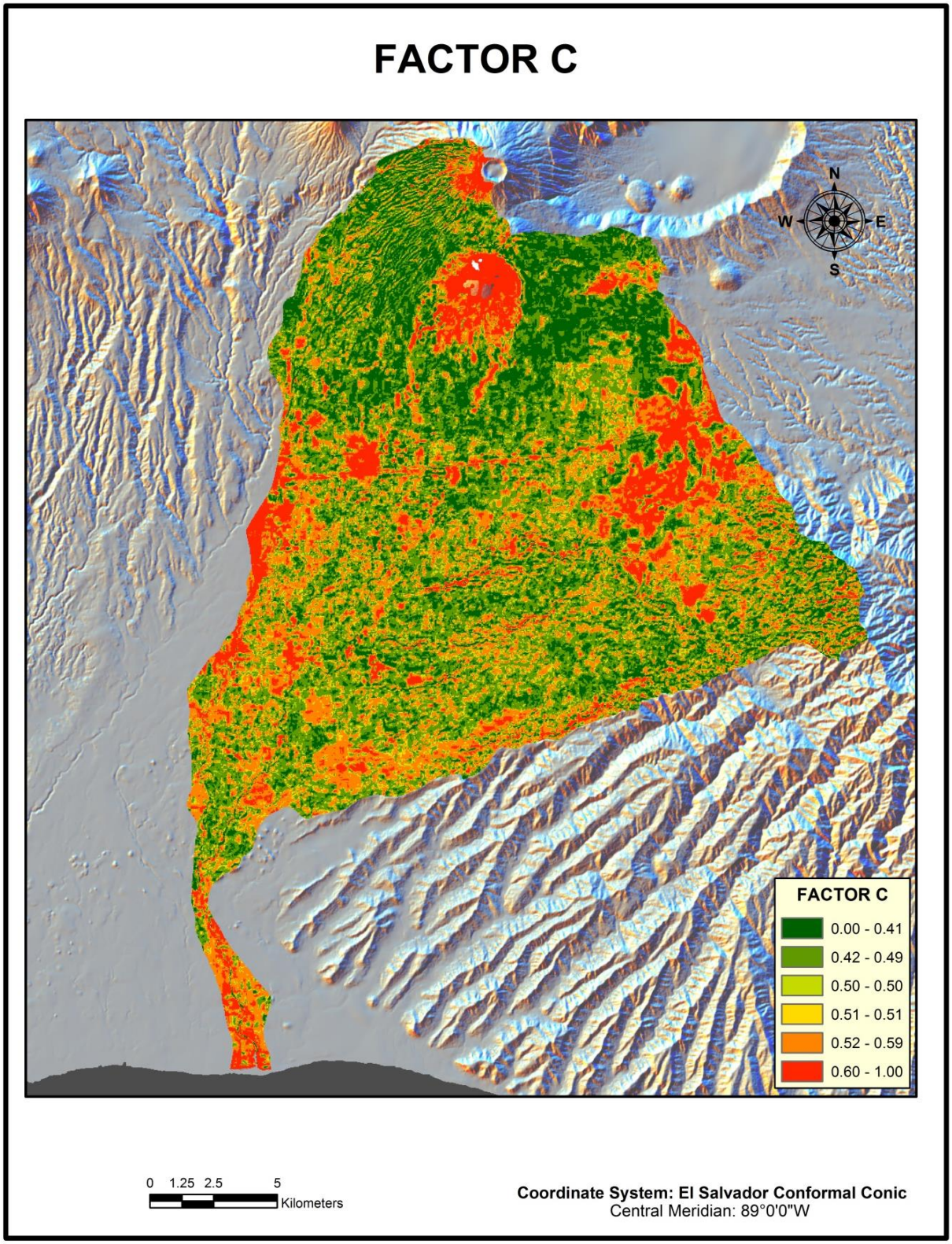

Figura No.6: Mapa que muestra la distribución del factor C de la cuenca del rio Banderas. El factor es calculado a partir de imágenes satelitales del proyecto LANSAT 8 de la NASA.

3.1.2.5. Factor topográfico: FACTOR LS

El factor topográfico, que recoge la influencia del relieve, es considerado como factor activo en el proceso de erosión hídrica, responsable de la circulación del agua sobre el suelo, determinante de su velocidad y por tanto, de su capacidad disgregadora y de transporte.

El factor topográfico LS se obtiene como producto del factor longitud de ladera (L) por el factor pendiente (S). Tanto la longitud de ladera como la pendiente desempeñan un papel muy importante en el proceso de erosión laminar y en regueros. La pendiente, es la que determina la variación de la energía potencial por unidad de longitud, que se traduce en un incremento de la velocidad del flujo de escorrentía, y en consecuencia en un incremento en la capacidad erosiva y de transporte. La longitud de la ladera, a medida que el flujo discurre por ella, favorece el aumento de su calado, con él, el cortante ejercido sobre el suelo y por tanto, la capacidad erosiva y de transporte del flujo. A igualdad del resto de los factores, un incremento en la pendiente y/o en la longitud de la ladera conlleva un incremento de la pérdida de suelo. Las laderas con longitud elevada y/o pendiente acusada favorecen la formación de regueros, y un incremento importante de la erosión.
Dicho factor los estiman los modelos USLE y RUSLE, obteniendo los factores L y S, pero con distinta formulación.
El factor de longitud de la ladera se define como la distancia horizontal desde el origen del flujo de escorrentía hasta el punto donde la inclinación de la ladera disminuye lo suficiente para que se inicie la sedimentación de las partículas erosionadas aguas arriba, o hasta que la escorrentía se concentra definiendo un curso de agua.
El factor topográfico LS combina los dos factores anteriores y se define como la tasa de pérdida de suelo para una longitud e inclinación de una pendiente dada frente a la tasa de erosión correspondiente a una parcela estándar de 22.13 m de longitud y 9 % de pendiente uniforme, siendo el resto de las condiciones climáticas, edáficas y de usos del suelo constantes. El significado físico del factor LS es la medida de la capacidad de transporte de sedimento por parte de la escorrentía superficial. Las ecuaciones del modelo RUSLE para el cálculo del factor LS a partir de la longitud (λ, m) y del ángulo de la pendiente (α, radianes), son las siguientes:

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22.13}\right)^m (10.8 \sin\alpha + 0.03) \qquad \text{Si } \tan\alpha < 0.09$$

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22.13}\right)^m (16.8 \sin\alpha - 0.5) \qquad \text{Si } \tan\alpha \geq 0.09$$

Dónde:

L es el factor de longitud de la pendiente, λ es la longitud de trama horizontal, y m es un exponente variable calculada a partir de la relación de la erosión en surcos.

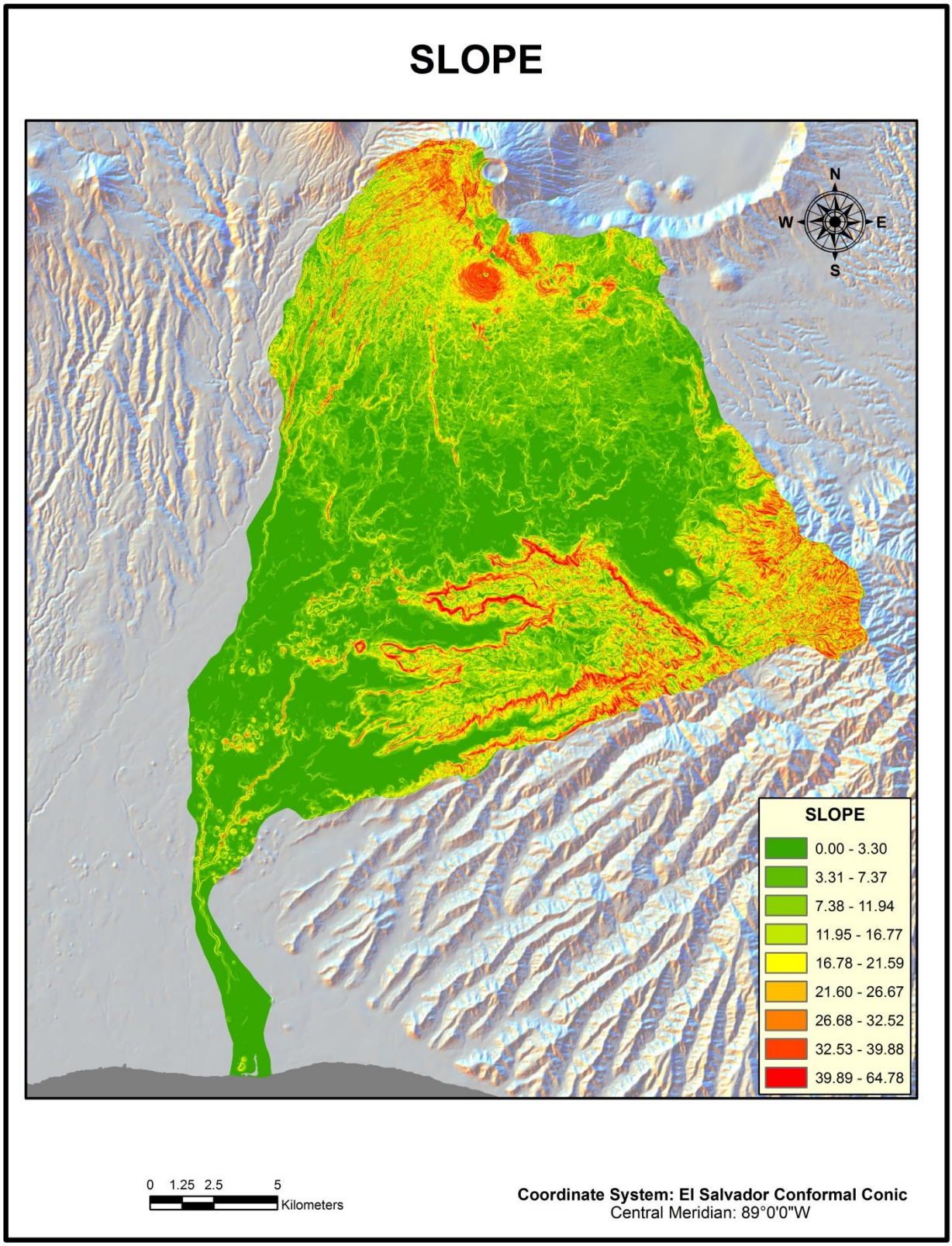

Figura No.7: Mapa que muestra la distribución las pendientes de la cuenca del rio Banderas. Vease que los valores mas altos corresponden a las zonas altas de la cuenca.

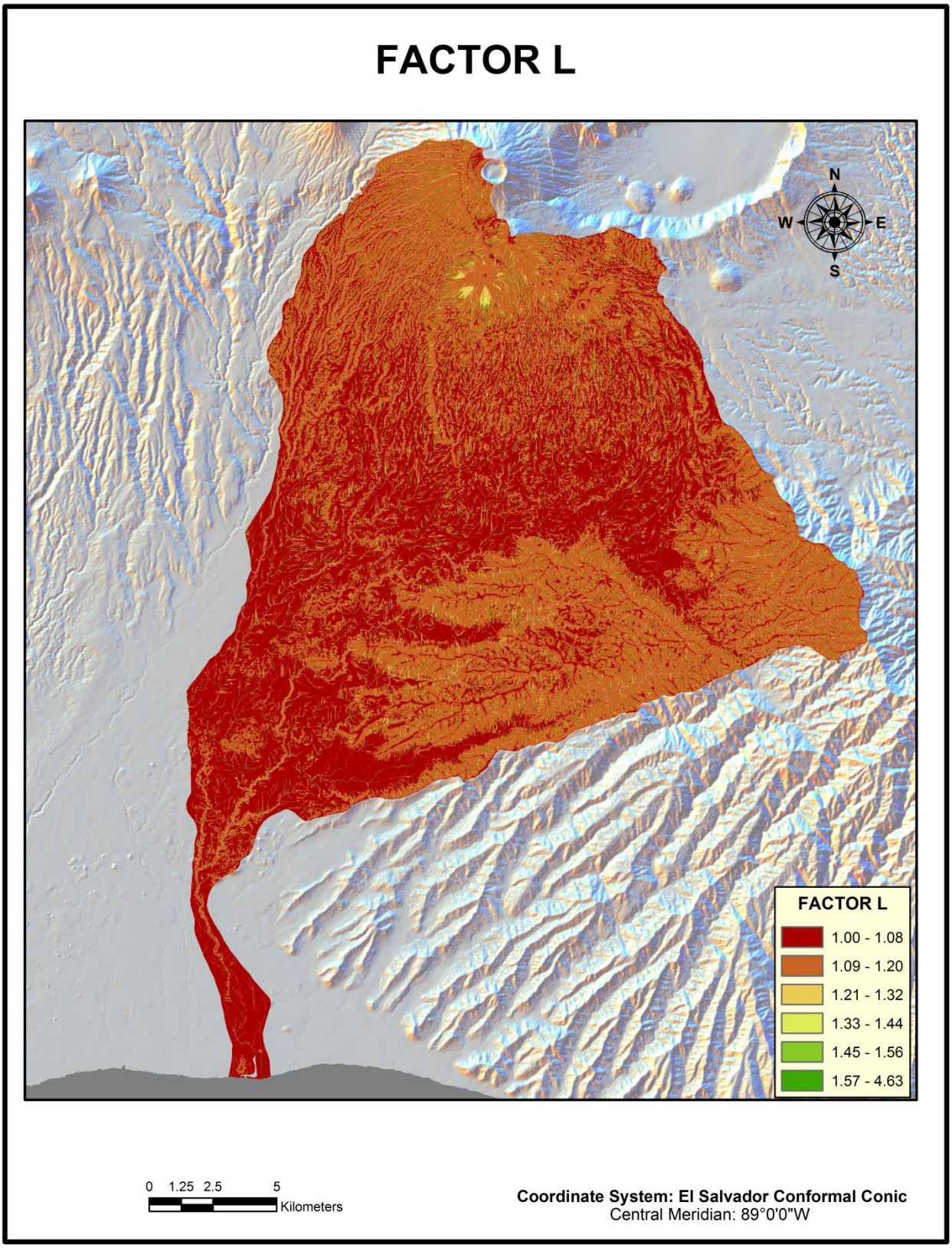

Figura No.8: Mapa que muestra la distribución del factor de longitud de la cuenca del rio Banderas. Nótese que las zonas con valores bajos corresponden las zonas de menor pendiente, los valores medios corresponden a las zonas altas.

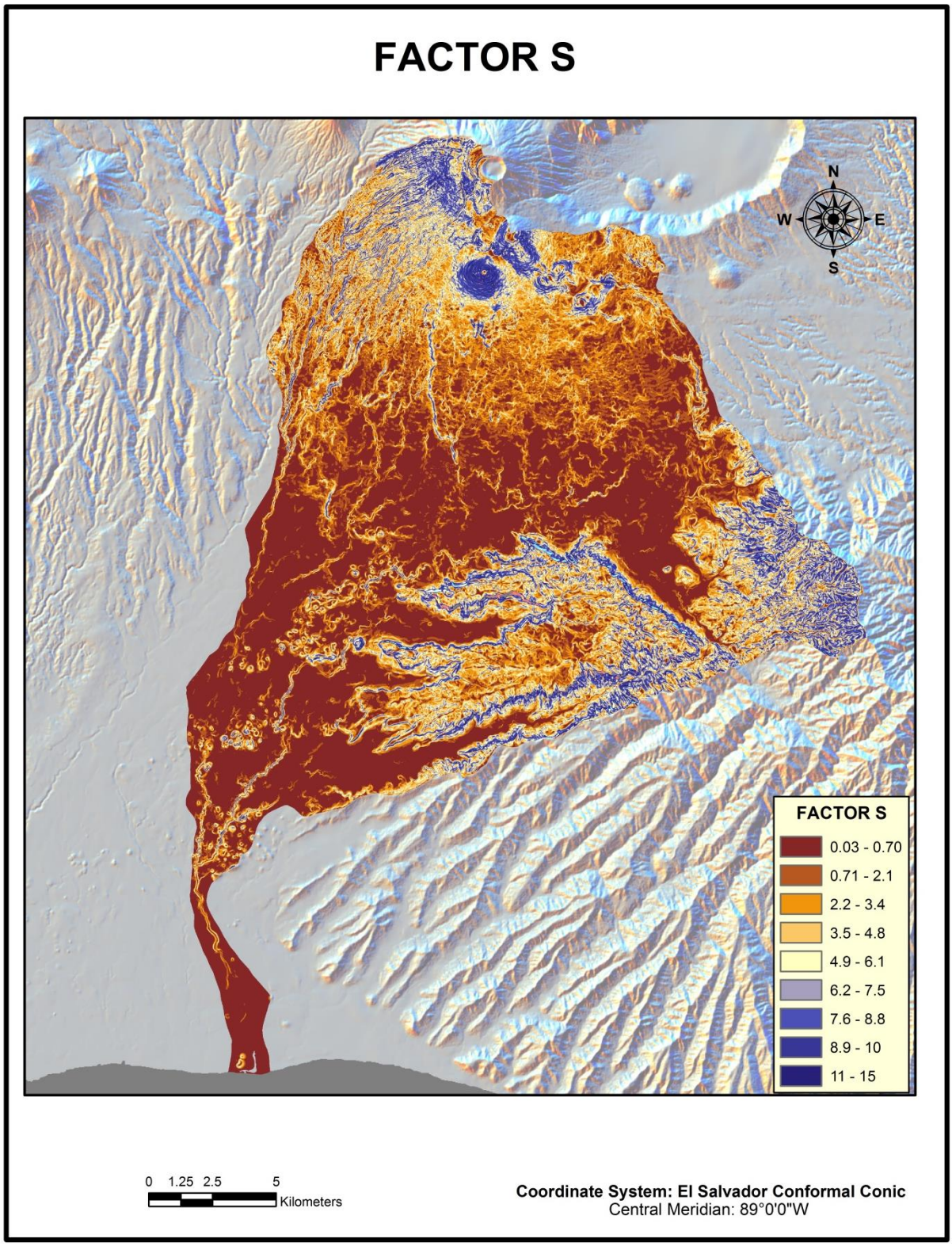

Figura No.9: Mapa que muestra la distribución del factor de pendiente del terreno de la cuenca del rio Banderas. Como es de esperarse los valores bajos corresponden a la planicie y los valores altos a la zona montañosa.

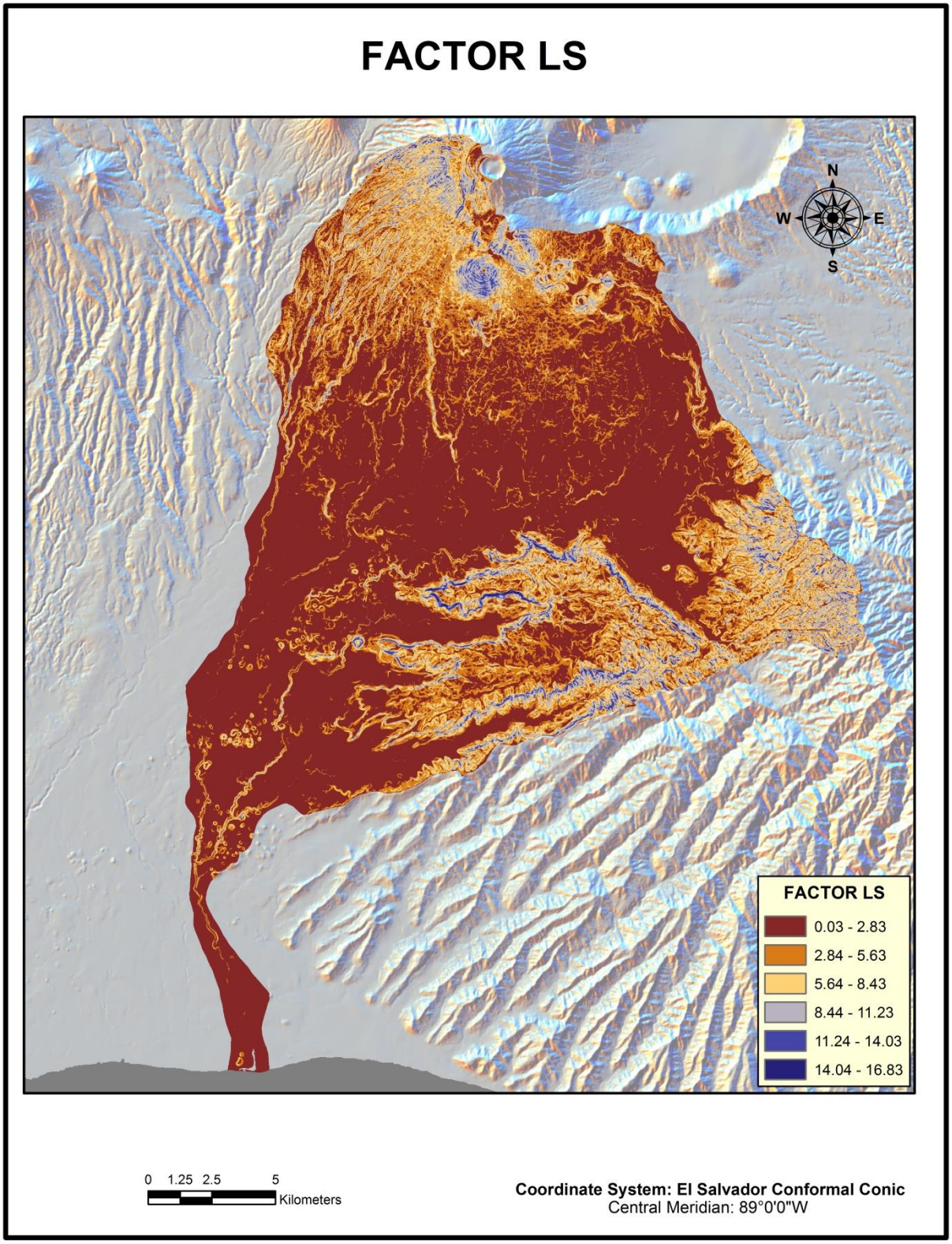

Figura No.10: Mapa que muestra la distribución del factor topográfico LS, el que se obtiene de la combinación del factor de longitud por el factor de pendiente del terreno de la cuenca del rio Banderas.

3.1.3. Cálculo de la Carga de sedimentos totales a través de fórmula de MUSLE

Para el cálculo del volumen de sedimentos se han tomado los siguientes parámetros:
Índice de Erosión: Valor que está dado por la fórmula de RUSLE sin considerar la energía de la lluvia. Viene dado en las mismas unidades del Factor K, debido a que los demás factores son adimensionales.

$$I = K \times LS \times C \times P$$

Fórmula de la MUSLE en la cual se consideran los caudales pico y medios de la cuenca como factores de análisis.

$$Y = 11.8 \times (Qp \times V)\ 0.56 \times K \times LS \times C \times P$$

Dónde:

Y: Sedimentos aportados en (Ton)

Qp: Caudal pico en (m3/seg)]

V: Volumen de la lámina precipitada (mm)

K: Factor de erosionabilidad del suelo en [(Mg.ha.h)/(ha.Mj.mm)]

L: Factor longitud del terreno (adimensional)

S: Factor pendiente del terreno (adimensional)

C: Factor cobertura y manejo de la vegetación (adimensional) y

P: Factor prácticas de conservación (adimensional)

Aplicando esta fórmula con datos generados en el Análisis de Erosión de la Cuenca del Rio Banderas mediante el método RUSLE y del cálculo del índice de sedimentos calculados con la fórmula USLE se obtuvieron los siguientes resultados para valores medios:

Media de LS (Adimensional)	1.051
Media C (adimensional)	0.482
Media de K (Mg.ha.h)/(ha.Mj.mm)	0.247
Media de P (Adimensional)	0.646
Índice de Erosión USLE (Mg.ha.h)/(ha.Mj.mm)	0.081
Área de la Cuenca (km2)	441.53

Tabla No. 2: Valores de entrada para el cálculo de volumen de sedimentos en la cuenca del rio Banderas, en la estación Santa Beatriz.

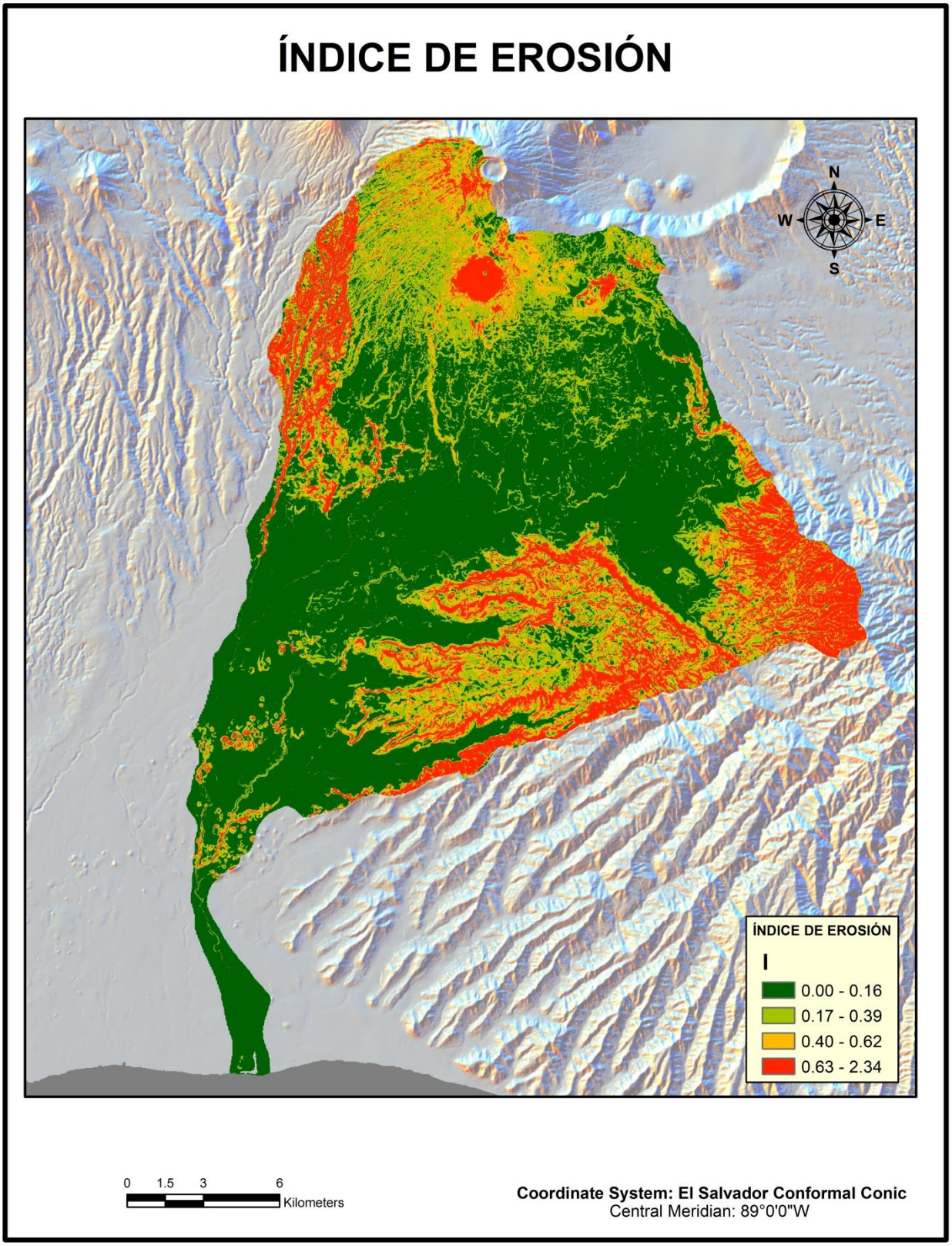

Figura No.11: Mapa que muestra la distribución del índice de la erosión de la cuenca del rio Banderas. Nótese que las zonas con valores elevados corresponden las zonas de mayor pendiente y la planicie experimenta bajas cargas erosivas.

A partir del índice de erosión USLE y los datos de caudales medios se calcula el volumen total de sedimentos que son arrastrados en toda la cuenca.

Meses	Caudal medio mensual (Q) (m^3/s)	Escurrimiento (V) (mm)	Escurrimiento (V) ($m^{3)}$ (mm*área de la cuenca)	$(Q \times V)^{0.56}$	Sedimentos (ton)	Sedimentos (m^3)
Enero	1.22	7.42	3277,692.00	4,986.85	4,756.50	1,794.90
Febrero	0.87	4.75	2098,106.18	3,203.25	3,055.29	1,152.94
Marzo	0.88	5.36	2368,152.00	3,465.20	3,305.14	1,247.22
Abril	1.44	8.45	3730,226.09	5,870.94	5,599.75	2,113.12
Mayo	4.38	26.58	11737,214.61	20,811.46	19,850.15	7,490.62
Junio	11.70	68.67	30318,511.30	61,358.85	58,524.60	22,084.75
Julio	12.08	73.27	32350,202.18	64,781.65	61,789.29	23,316.71
Agosto	14.24	86.37	38136,922.43	77,892.72	74,294.75	28,035.75
Septiembre	22.86	134.21	59258,754.78	129,971.23	123,967.68	46,780.25
Octubre	17.04	103.35	45630,196.36	95,225.31	90,826.71	34,274.23
Noviembre	5.64	33.13	14627,127.27	27,123.30	25,870.44	9,762.43
Diciembre	1.94	11.74	5182,704.00	8,330.92	7,946.10	2,998.53
TOTALES					**479,786.40**	**181,051.47**

Tabla No.3: Valores mensuales de volumen de sedimentos en la cuenca del Rio Banderas, a partir de los caudales mensuales utilizando la fórmula de la MUSLE.

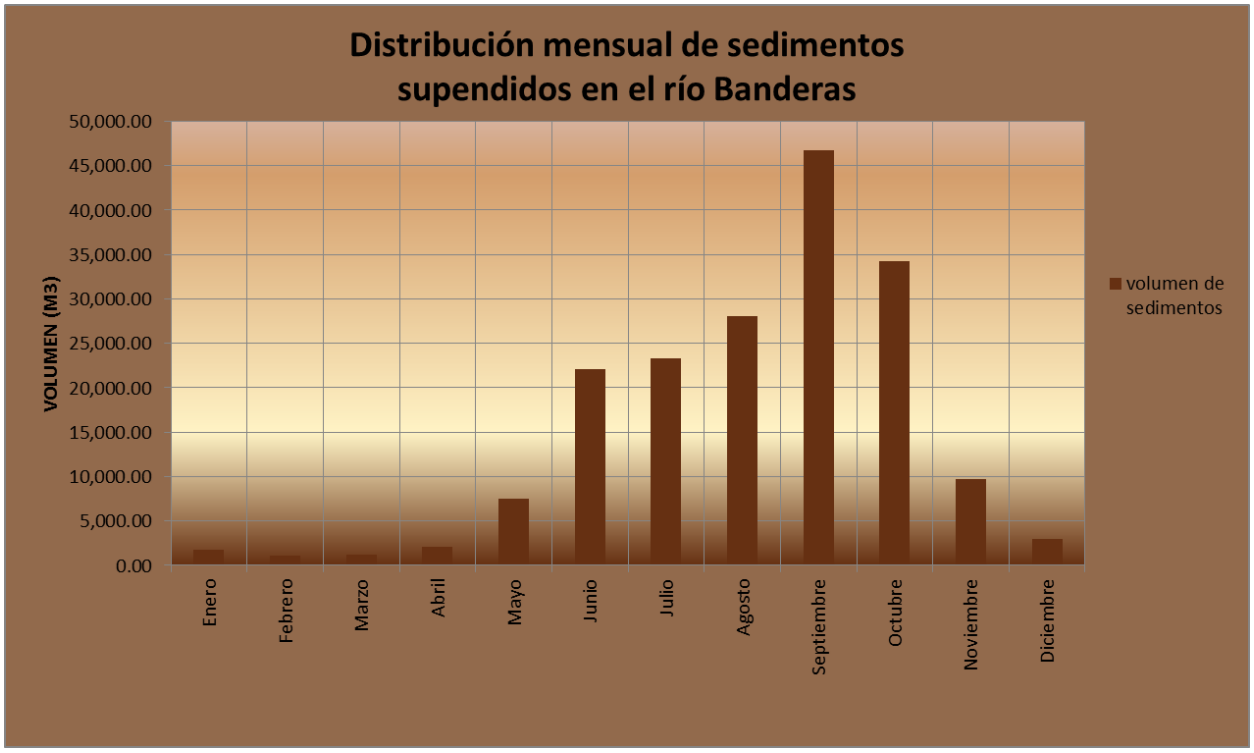

Gráfico No.1: Valores mensuales de volumen de sedimentos en la cuenca del Rio Banderas. En esta grafica puede observarse que los mayores volúmenes de sedimentos se tienen en los meses de mayo a noviembre, teniendo sus máximos en agosto septiembre y octubre.

3.2. Cálculo del volumen de sedimentos en suspensión a través del análisis de datos de campo

Con base a los registros de campo de los años 1970 a 1985 se elaboró la curva de calibración que establece la relación potencial entre el caudal sólido y líquido.

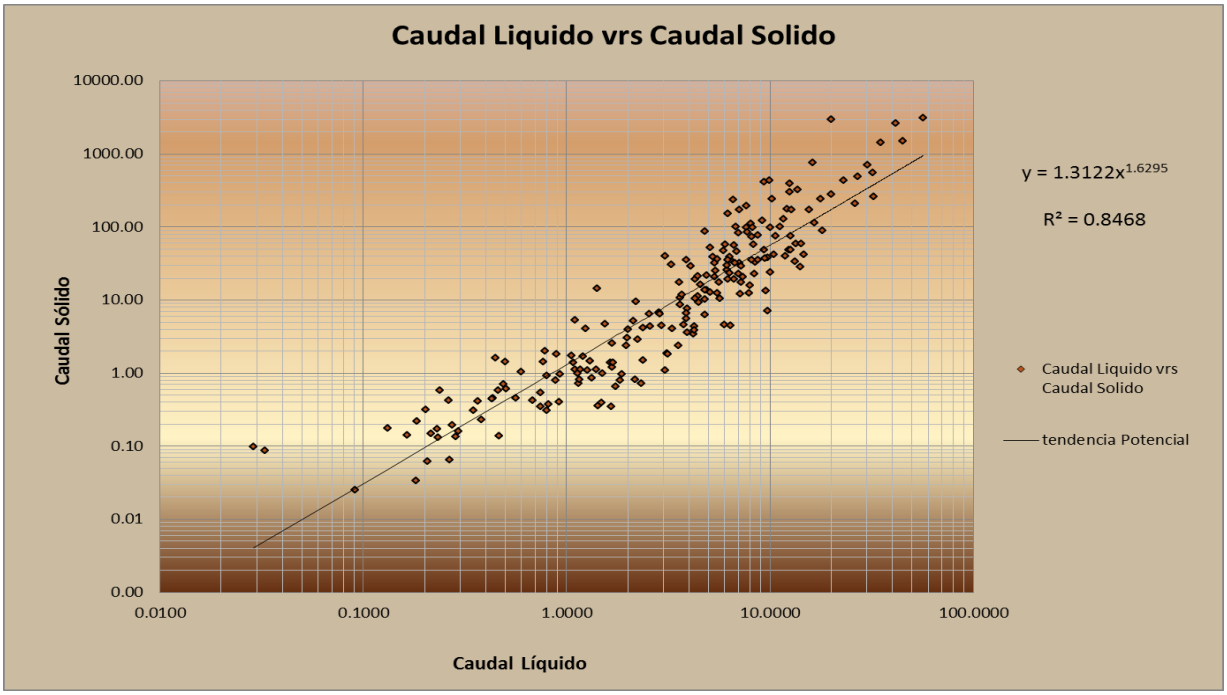

Gráfico No 2.: Curva de calibración que establece la relación de caudal sólido- caudal líquido en la cuenca del Rio Banderas. Los datos son puntuales y obtenidos a partir de aforos y toma de muestra de sedimentos en suspensión instantáneos, en la estación Santa Beatriz.

MES	Caudal promedio mensual base a aforos puntuales (m3/seg)	Concentración media mensual, base a toma de muestras (gr/m3)	Concentración media promedio mensual/1000 base a toma de muestras (kg/seg)	Sedimentos (kg/seg)	Sedimentos (Ton/mes	Porcentaje mensual
Enero	0.87	7.67	0.01	0.007	17.27	0.17%
Febrero	0.37	10.81	0.01	0.004	10.32	0.10%
Marzo	0.48	12.37	0.01	0.006	15.42	0.15%
Abril	0.69	16.77	0.02	0.012	30.11	0.30%
Mayo	2.93	40.43	0.04	0.118	307.05	3.08%
Junio	6.32	71.09	0.07	0.449	1,164.20	11.68%
Julio	6.95	69.42	0.07	0.483	1,251.07	12.55%
Agosto	9.32	73.03	0.07	0.681	1,764.02	17.69%
Septiembre	14.31	113.17	0.11	1.620	4,198.09	42.11%
Octubre	9.55	45.06	0.05	0.430	1,115.84	11.19%
Noviembre	2.64	10.36	0.01	0.027	70.85	0.71%
Diciembre	1.43	6.96	0.01	0.010	25.73	0.26%
TOTAL					9,969.96	100.00%

Tabla No.4: Valores mensuales de volumen de sedimentos que viajan suspendidos en la cuenca del rio Banderas

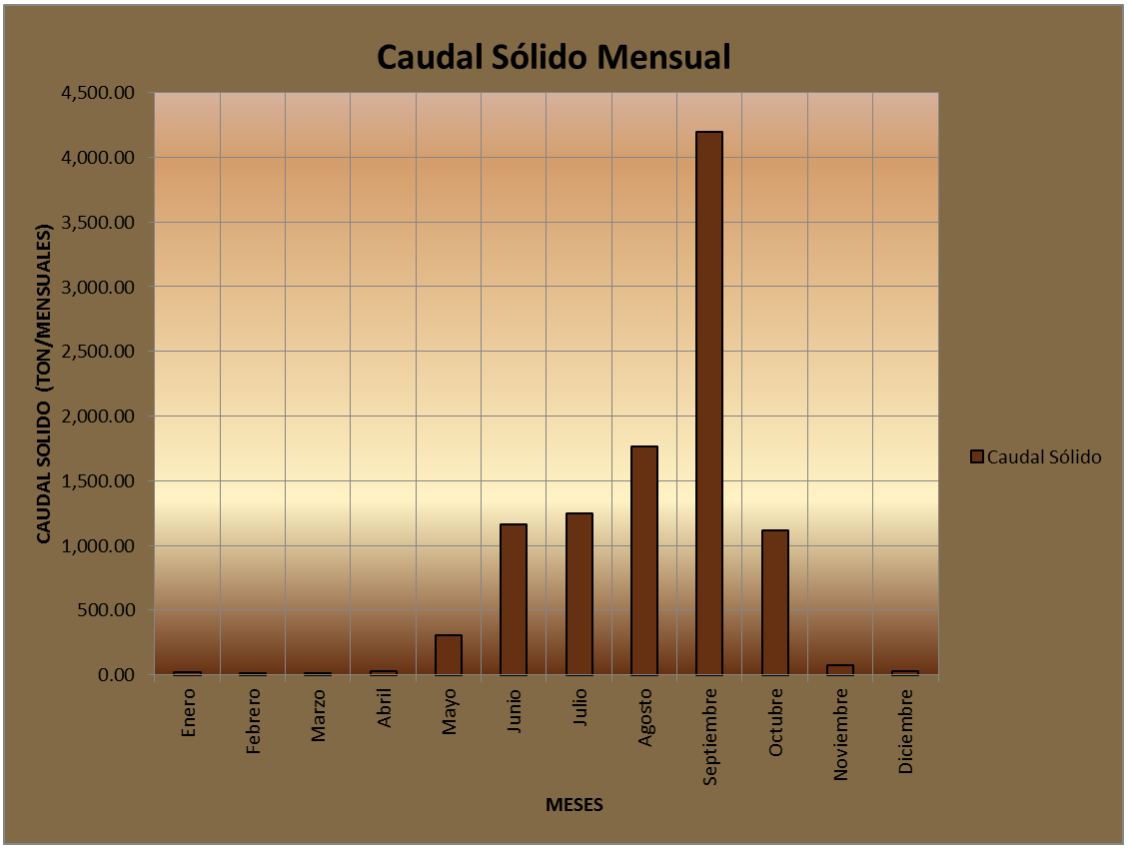

Gráfico No.3: Valores mensuales de volumen de sedimentos en la cuenca del Rio Banderas. El mayor volumen es 4,198.09 toneladas, en el mes de septiembre, estos datos son a partir de aforos puntuales en la estación Santa Beatriz.

De los gráficos podemos inferir que los meses de mayor carga de sedimentos son los de mayo a Octubre y que el mayor porcentaje se da en el mes de septiembre (4,198.09 toneladas) .

La carga total según los datos de la formula empírica MUSLE serian de unos 479,786.40 toneladas para el total de toda la cuenca. De estas se tiene que 9,969.96 toneladas corresponden a sedimentos en suspensión (Calculadas en base a con datos de campo).

Estos valores aunque no representan datos exactos debido a las suposiciones (se trabaja un caudal medio, sin embargo son mediciones instantáneas en un punto del rio, cantidades de sedimentos discretos extrapolados como volúmenes continuos) y variabilidad en las condiciones de toma datos (variables no controladas como lluvia en la parte alta de la cuenca), son representativos de los volúmenes de material erosionado en la cuenca.

3.3. Cálculo del Índice de Aporte para la cuenca del río Banderas.

La cuantificación del sedimento mediante la observación directa, induce a recurrir a consideraciones que conduzcan a resultados, con un grado de aproximación que depende de la información de la que se dispone.

Haciendo uso de la información disponible tanto de sedimentos y sus caudales asociados, como de caudales provenientes de aforos, se obtuvieron los siguientes valores de escorrentía e índice de aportación anual:

AÑO	PROMEDIO CAUDAL SOLIDO (TON/DIA)	PROMEDIO ESCORRENTIA ANUAL (M3/DIA)	INDICE DE APORTACION
1970	2,884.83	8966,592.00	0.00032
1971	1,433.62	8136,974.66	0.00018
1972	891.36	8537,884.70	0.00010
1973	882.92	7639,932.10	0.00012
1974	476.89	3736,819.87	0.00013
1975	78.33	1938,716.64	0.00004
1976	148.97	3923,012.74	0.00004
1977	3,455.28	10744,332.13	0.00032
1978	3,599.22	11279,145.02	0.00032
1979	1,367.71	8814,766.29	0.00016
1980	1,500.66	15098,015.52	0.00010
1981	554.92	9413,452.80	0.00006
1982	398.05	1985,739.84	0.00020
1983	271.50	4754,751.84	0.00006
1984	4,104.18	10275,163.20	0.00040
1985	208.12	3323,773.44	0.00006
Índice medio para el periodo			**0.00013**

Tabla No.5: Valores medios anuales del índice de aporte en la cuenca del rio Banderas

Se aplicó una media geométrica para el cálculo del índice de aportación, cuyo valor fue medio para la serie de datos de 1970 a 1985 fue de 0.00013 ton/m^3, índice que podría ser extrapolado para el cálculo del sedimento que aporta la cuenca a la desembocadura del rio Banderas, en la actualidad.

Este índice puede ser utilizado como coeficiente para el cálculo de sedimentos en un año medio, es decir sin un evento meteorológico extremo como una sequía o una depresión tropical.

Figura No.12: Imagen que muestra la ubicación de la estación Santa Beatriz del rio Banderas que se encuentra en las coordenadas 13º 36' N y 89º 44' O a 800 metros de la carretera del litoral. La estación esta fuera de servicio actualmente.

Se realizó un calculó para determinar el volumen de sedimentos que llegan a la desembocadura utilizando la escorrentía media anual que fue obtenida mediante aforos en el período 1960-1985 de la estación Santa Beatriz.

Este valor representa un aproximado del volumen de sedimentos que llegan a la desembocadura, ya que a través de la formula MUSLE el volumen erosionado es total, sin considerar la fracción que queda depositada en el trayecto hacia el rio.

Y en el caso del caudal solido-caudal líquido, los volúmenes corresponden a la cantidad de sedimento suspendido pero sin considerar el sedimento de fondo del cauce.

Entonces el cálculo del volumen total se obtuvo a través del índice de aporte y utilizando la escorrentía anual promedio para el periodo 1960-1985 y que corresponde a los aforos de campo, no a los de sedimentos.

El valor obtenido se muestra en la siguiente tabla:

Índice de aporte (Ton/M3)	Escorrentía media (M3/año)	Descarga de sedimentos (Ton/año)	Volúmenes erosionados (M3/año)
0.00013	561.40	70,204.08	62,682.22

Tabla No.6: Valores de escorrentía media y descarga de sedimentos así como volúmenes erosionados en la cuenca del río Banderas

Bibliografía

- Publicación No. 87: “Cuantificación del sedimento suspendido acarreado por los ríos para un año promedio y evaluación de la erosión”, Departamento de Hidrología Operativa, Servicio de Meteorología e Hidrología, CENREN-MAG

- Escenarios de riesgo: Amenaza por inundación, Región hidrográfica: Sonsonate-Banderas, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Dirección del Observatorio Ambiental, 2012

- Plan Maestro de desarrollo y Aprovechamiento de los Recursos Hídricos, Documento Básico No.6: Recursos y Demandas Potenciales en la Región “D”, 1981