



MARN

Ministerio de Medio Ambiente
y Recursos Naturales

Erosión y transporte de sedimentos suspendidos del río Grande de San Miguel:

Cálculo del índice de aportación de sedimentos

**Msc. Haydée Beltrán Mayorga
2017**

Introducción		2
1. Objetivo		3
2. Consideraciones generales		3
2.1	Ubicación	3
2.2	Geomorfología de la región	5
2.3	Geología de la región	6
2.4	Drenaje	
3. Cálculo del volumen de sedimentos		10
3.1	Cálculo de la erosión de la cuenca mediante el método RUSLE	10
	3.1.1 Erosividad de la lluvia: Factor R	11
	3.1.2 Erodabilidad del suelo: Factor K	13
	3.1.3 Práctica conservacionista: Factor P	17
	3.1.4 Cobertura y manejo de la vegetación: Factor C	19
	3.1.5 Factor topográfico: Factor LS	21
	3.1.6 Volumen potencial total de sedimentos	23
3.2	Cálculo del volumen de sedimentos en suspensión a través del análisis de datos de campo	25
	3.2.1 Estación Villerías-Campo Aventura	27
	3.2.2 Estación El Delirio-La Canoa	29
	3.2.3 Estación Vado Marín	31
	3.2.4 Estación Moropala	33
	3.2.5 Estación Las Conchas	35
	3.2.6 Trayectoria de los sedimentos en suspensión	37
4. Desembocadura del río Grande de San Miguel		38
5. Conclusiones		41
Bibliografía		42

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 pueden ser cuantificables.

Las gotas de lluvia disgregan el suelo en partículas muy finas, las que son fácilmente transportadas en suspensión por las corrientes que originan y que al incrementarse el flujo aumenta el desgaste de los suelos.

La determinación del volumen de sedimento que proviene de la erosión hídrica 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.

Para determinar el volumen de sedimentos aportados por la cuenca del río Grande de San Miguel se ha trabajado con dos métodos: El método de la RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), 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 calcular un volumen de sedimentos que representan una parte de la producción de la cuenca, que es arrastrada por el río y una parte depositada en las zonas de menor pendiente.

Aparte del efecto de la erosión en las cuencas y del arrastre de sedimentos por el caudal del río se ha clasificado la desembocadura de la bahía de Jiquilisco, condición que influye directamente en la descargas del río, sobre todo durante eventos meteorológicos extremos y que producen inundaciones en las zonas bajas de la cuenca.

1. Objetivo

- Determinar el volumen de sedimento que proviene de la erosión de los suelos en la cuenca del río Grande de San Miguel, a través de dos metodologías: RUSLE, y análisis de la información de los sólidos suspendidos medidos en campo.

2. Consideraciones Generales

2.1. Ubicación

La cuenca del río Grande de San Miguel se localiza en la zona oriental del país, entre los departamentos de San Miguel, Morazán y Usulután. Esta cuenca conforma en solitario la Región Hidrográfica “H”.

La cuenca del río Grande de San Miguel cubre un área de 2,352.67 Km² y colinda en el extremo norte con la cordillera de Cacahuatique-Corobán, con una altura máxima de 1,630 msnm, sobresaliendo los cerros de La Campana, Borroñosa, Cacahuatique y Las Puntas. Al sur está limitada por una pequeña zona de la Bahía de Jiquilisco, que forma la desembocadura del río, en la zona de la bocana La Chepona, y con las colinas de Jucuarán. Al oeste con la cuenca del río Lempa, pasando por los volcanes de San Miguel, Usulután, cerro El Tigre y Laguna Seca - El Pacayal. Al este por la cuenca del río Goascorán y los cerros Ventarrón, Yayantique, Juana Pacha y El Arco

Comprende gran parte de los municipios del departamento de San Miguel, entre los que se encuentran los de San Miguel, Chirilagua, Quelepa, Moncagua, Chapeltique, Lolotique, Nueva Guadalupe y Chinameca. Comprende además, parte de los municipios de San Buenaventura, Jucuapa y Nueva Granada, del departamento de Usulután, y del municipio de El Carmen, del departamento de La Unión.

Dentro de la cuenca del Río Grande podemos encontrar cuerpos de agua, lagunas o humedales importantes para la vida silvestre entre los que podemos mencionar las lagunas de Aramuaca, Olomega, San Juan y El Jocotal.

El río mantiene un espejo de agua reducido en los meses de verano, sin embargo en época lluviosa el río llega a desbordarse debido a las fuertes precipitaciones.

La cuenca del Río Grande de San Miguel representa un valioso e importante recurso hídrico para los habitantes de la zona oriental principalmente para los municipios anteriormente descritos.

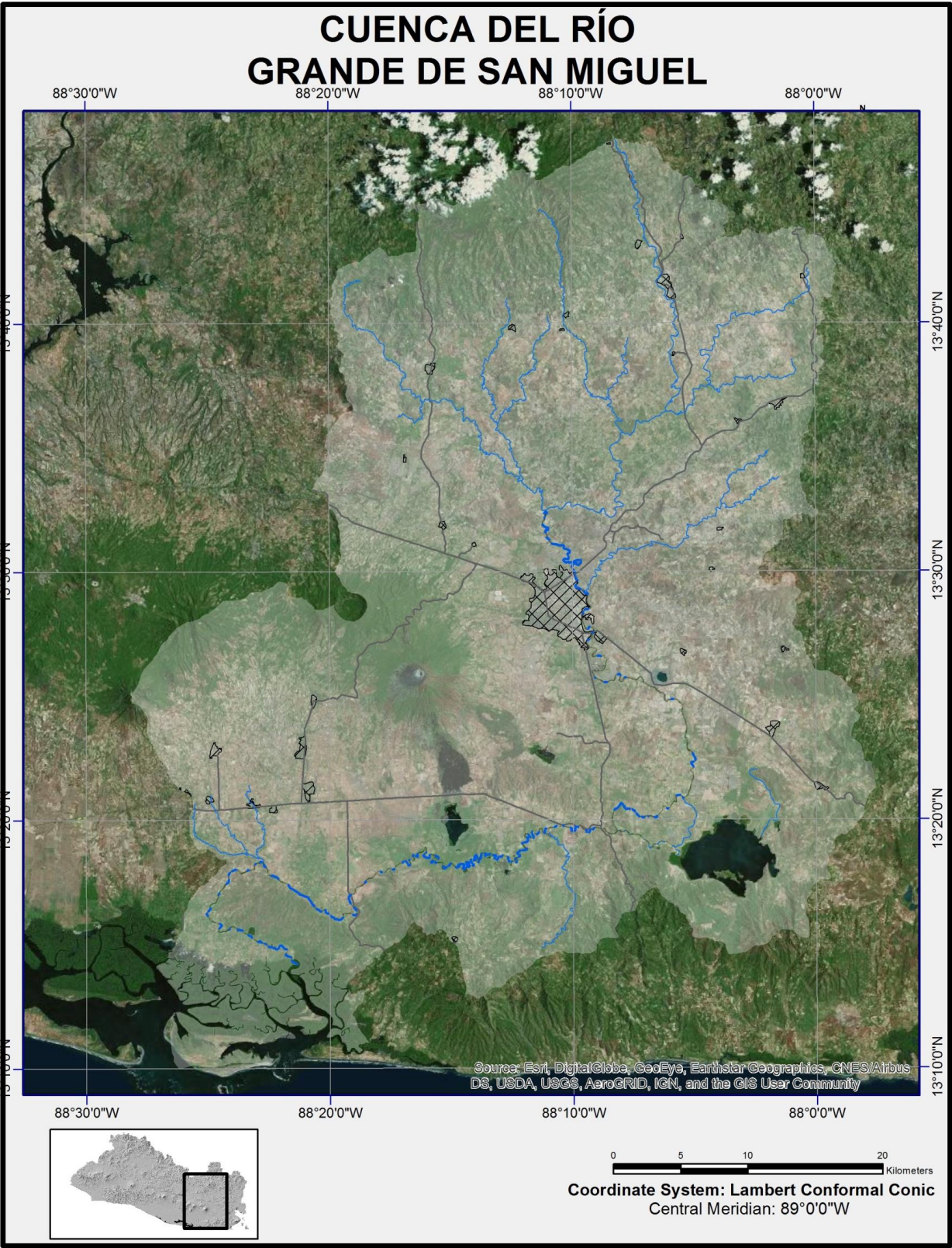


Figura 1: Ubicación de la cuenca del río Grande de San Miguel.

2.2. Geomorfología de la región

Geomorfológicamente la región se divide en las unidades siguientes:

- Volcanes de Tecapa y San Miguel: pertenecen a la llamada “Cadena volcánica Joven” por estar constituidas del mismo material del cuaternario.
- Cerro de Cacahuatique y Montañas antepuestas: estas unidades pertenecen al terciario comparten entre si la formación geológica y su morfología. El volcán Cacahuatique, localizado en el departamento de Morazán, tiene una elevación de 1663 msnm y es el parteaguas entre la cuenca del río Grande de San Miguel y el río Torola; los materiales constituyentes son aglomerados densos, brechas y tobas. Las zonas de montañas antepuestas a Cacahuatique (Valle del Cacahuatique) están formadas por terrenos ondulados y montañosos, la zona tiene elementos retrabajados y consolidados producto de los procesos erosivos del volcán Cacahuatique y lugares aledaños.
- Montañas de Jucuarán: alcanzan alturas de hasta 882 msnm en el cerro El Mono, con una estructura geológica compleja y de variada morfología. Existen algunas mesetas, cúpulas, conos y crestas que le dan un relieve complicado y de difícil orientación. La formación de este complejo es terciaria de materiales similares a los del volcán Cacahuatique.
- Cuenca del curso medio del río Grande de San Miguel: constituida por la planicie comprendida entre el volcán de San Miguel, las montañas de Jucuarán y la Laguna de Aramuaca. Formada por elementos retrabajados producto de la erosión del volcán de San Miguel y de la zona alta de la cuenca del mismo.
- Cuenca de Olomega: está constituida por unidades geológicas del terciario que forman parte de las montañas de Jucuarán y una zona de sedimentos aluvionales.
- Llanuras de San Miguel, La Unión y Santa Rosa de Lima: es la formación ubicada al pie del volcán de San Miguel y las montañas antepuestas de Cacahuatique, constituida especialmente por materiales aluviales. La llanura se extiende a la zona del río Lempa abarcando los valles de Estanzuelas, Chinameca, Nueva Guadalupe y Mercedes Umaña.
La llanura de La Unión es una prolongación de la llanura de San Miguel, es una formación sedimentaria de materiales consolidados y mucho más antiguos. Abarca los valles de El Sirama, Estanzuelas, Uluazapa-Comacarán y La Unión al pie del volcán de Conchagua.

La llanura de Santa Rosa de Lima se encuentra entre las montañas de Anamorós y Cacahuatique, formada por materiales erosionados y depositados en esa zona, que tienen un alto grado de consolidación. Es una zona ubicada en los alrededores de Santa Rosa de Lima, Jocoro y San Francisco Gotera, con una pequeña inclinación hacia el Golfo de Fonseca con tendencia a unirse con la llanura de la Unión en su zona baja.

- Llanura costera de Usulután: localizada entre la ciudad de Usulután y el Océano Pacífico, se extiende hacia el río Lempa formando gran parte de la planicie donde se desarrolla la Bahía de Jiquilisco. Está constituida por materiales aluvionales, con poco grado de consolidación y pertenecen a esta llanura el Cerro El Obrajuelo, La Gloria y el valle Usulután-Concepción Batres.
- Esteros y manglares: comprende la zona de la desembocadura del río Grande de San Miguel (canal Santa Rita en la bocana de La Chepona), los materiales que la conforman son lodos finos, sobre los que se desarrolla el sistema de manglares.

2.3. Geología de la región

El 80% de esta región está constituida por lavas que van de básicas (andesíticas-basálticas) a ácidas (riolíticas) y materiales piroclásticos sueltos y compactos (tobas), son rocas del terciario al cuaternario que se encuentran en la zona norte de la región y los materiales más antiguos pertenecen a las formaciones Morazán, Chalatenango y Bálsamo. El 20% lo forman materiales sedimentarios pertenecientes al cuaternario, principalmente aluvionales y fluviolacustres, ubicados en las zonas más bajas de la cuenca como las lagunas de Olomega y Jocotal¹.

La formación Morazán está constituida por lavas básicas y lavas de intermedias a ácidas, intercaladas con piroclastos, de edad oligocénica. También cubren parte de esta zona piroclastos y lavas ácidas, tobas de la formación Chalatenango, perteneciente al mioceno. Afloran además, lavas básicas (basálticas andesíticas), intercaladas con tobas aglomeradas y piroclastos de edad pliocénica, pertenecientes a la formación Bálsamo que se manifiestan en la parte sur de la región en los cerros de Jucuarán.

La formación Cuscatlán se localiza al norte y al este de la ciudad de San Miguel, y la constituyen lavas básicas a ácidas con intercalación de piroclastos y tobas pertenecientes al pleistoceno. En la parte media de la región se encuentra la formación San Salvador que está constituida por piroclásticos ácidos, con intercalación de lavas básicas (andesíticas basálticas) y tobas pertenecientes al cuaternario. Los materiales más recientes son los sedimentos aluvionales ubicados al pie de la cadena volcánica San Miguel - Usulután. Los sistemas de fallas tienen las siguientes direcciones N 30° W, N 40° W, N 20° E, N 43° E y E-W.

¹ Plan Maestro de Aprovechamiento y Desarrollo de los Recursos Hídricos, PLAMDARH, 1983

Existen tres fallas de dirección N 30° W que tienen una longitud de entre 5 y 21 kilómetros y están ubicadas al noreste del volcán de San Miguel.

El sistema de fallas de dirección N 40° W a N 60° W está compuesto por cinco fallas con una longitud de 10 a 30 kilómetros, y a lo largo de las cuales se han levantado los cerros del río Grande. Otras fallas de importancia pertenecientes a este sistema son las que separan los cerros de El Delirio del valle de Olomega y las que limitan el Vado Marín. Al sistema E-W pertenece la falla de los cerros de Jucuarán, que tiene una longitud aproximada de 11 kilómetros.

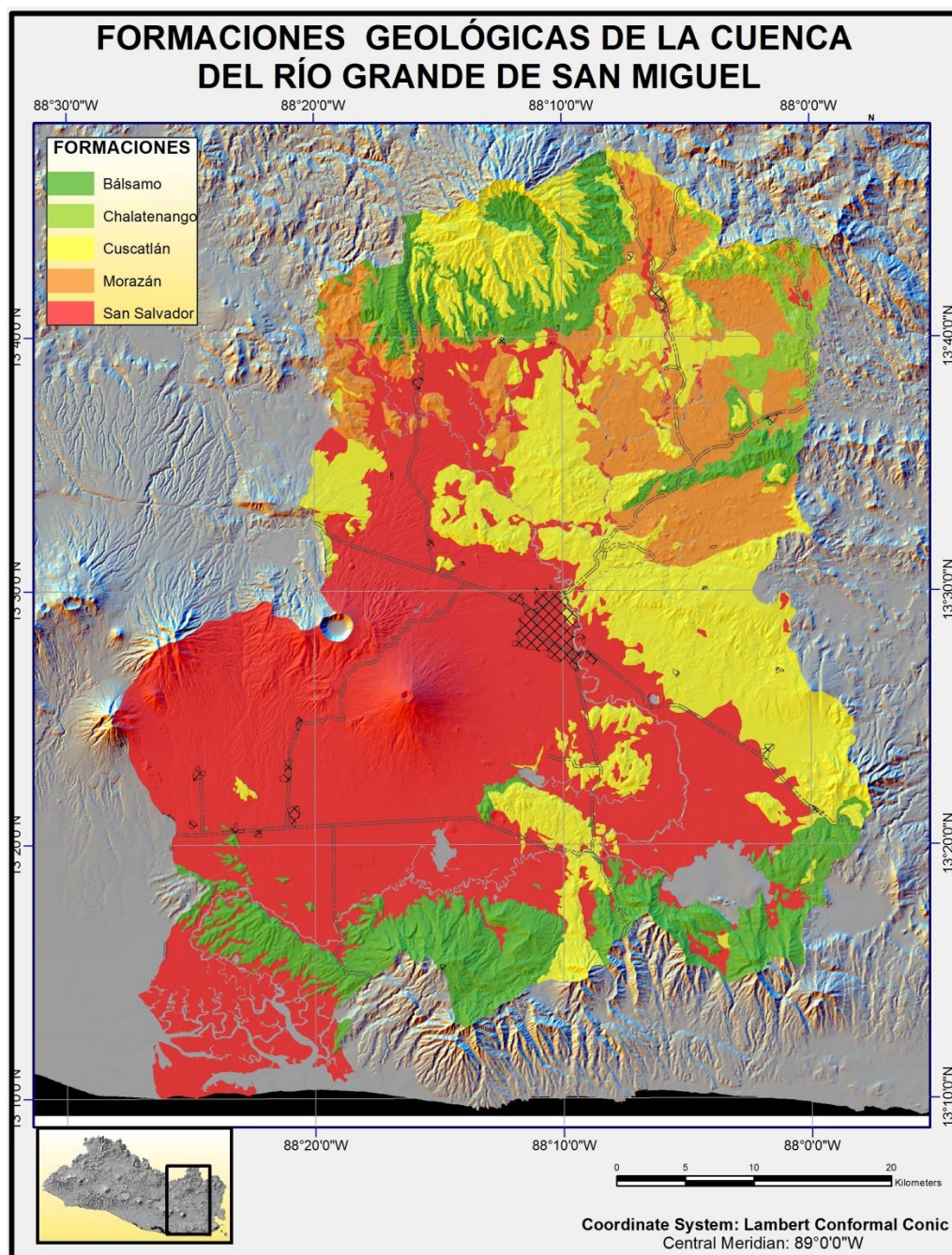


Figura 2: Formaciones geológicas de la cuenca del río Grande de San Miguel, Región Hidrográfica "H".

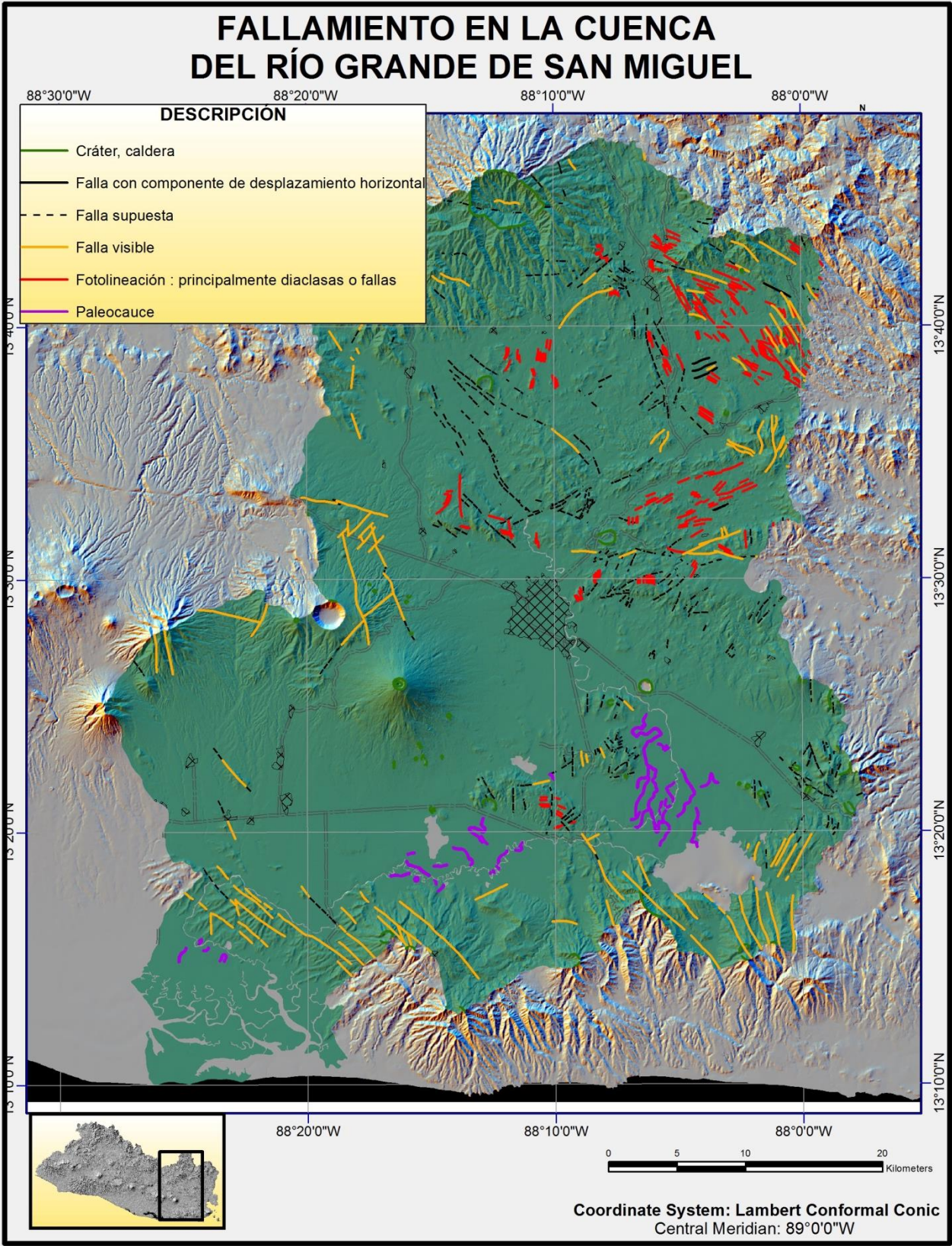


Figura 3: Estructuras de fallamiento de la cuenca del río Grande de San Miguel.

La combinación de diversos factores en la cuenca como el fallamiento de la zona, debido a los esfuerzos compresivos de la placa de cocos sobre la placa del caribe, las pendientes de las laderas, principalmente del volcán de San Miguel y la sierra de Jucuarán, y litología de los materiales que cubren las mayores pendientes, que son elementos retrabajados, meteorizados y erosionados, contribuyen a la generación de grandes volúmenes de sedimentos, que son depositados en las zonas bajas de la cuenca y arrastrados por el cauce del río hasta los canales de la Bahía de Jiquilisco. Esta es la dinámica natural de crecimiento por relleno paulatino de las desembocaduras.

2.4. Drenaje

La cuenca del río Grande de San Miguel tiene una longitud de cauce de 137 kilómetros, una pendiente media de 12.5% y una elevación media de 279.6 msnm. El río nace cerca del cantón Joya Grande a una elevación de 600 msnm con el nombre de Agua Zarca.

La cuenca alta está comprendida entre la región montañosa de Cacahuatique y la carretera Panamericana, con un drenaje dendrítico, cauces profundos y secciones transversales en forma de “V”, lo que denota la dureza del material sobre la cual corren, aquí se encuentran el cauce principal o Agua Zarca, el río Guayabal y el río San Francisco.

La cuenca media está comprendida entre la ciudad de San Miguel y la estación Vado Marín, aquí el drenaje es de tipo radial en la parte del volcán de San Miguel y un tanto caprichoso en algunas zonas en que los cauces son de corto recorrido que se pierden en su camino hacia el cauce principal. El propio río Grande de San Miguel tiene un curso itinerante debido a que corre por zonas aluviales que le obliga a cambiar de trayectoria. En esta parte de la cuenca se encuentran lagunas y zonas pantanosas de materiales recientes atrapados en algunas formaciones terciarias.

En la cuenca baja está la desembocadura del río Grande en donde el drenaje es un tanto caprichoso, tendiendo a mantenerse apegado a los materiales antiguos. Los afluentes en esta cuenca tienen drenaje dendrítico-radial más que todo en la aparte que da a los volcanes de San Miguel y Usulután.

En su gran mayoría, tanto el cauce principal como sus afluentes corren sobre materiales cuaternarios y aluviones poco consolidados, con lentes arcillosos y limosos de aproximadamente 100 metros de espesor.

En términos generales el tipo de drenaje de la cuenca se considera dendrítico, aunque existen zonas de drenaje radial, especialmente en el volcán de San Miguel y Usulután.

3. Cálculo del volumen de sedimentos

Para el cálculo del volumen de sedimentos se han utilizado dos métodos: el método empírico RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), como un parámetro de la erosión potencial en la cuenca y el método de cálculo a partir de las gráficas de la relación del caudal líquido-caudal sólido que se generan con los sedimentos suspendidos que son obtenidos en campo con los caudales de aforo.

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

La USLE (Universal Soil Loss Equation) o Ecuación Universal de Pérdida de Suelos, fue desarrollada por Wischmeier (1978), como una metodología para la estimación de la erosión laminar en parcelas pequeñas. En 1985, se acordó llevar a cabo la revisión de la USLE., para incorporar nuevas investigaciones y tecnologías, posteriores a la publicación del libro de la USLE de 1978. El trabajo de revisión fue iniciado seriamente después de 1987, y resultó un nuevo libro técnico (Handbook, 703) y una tecnología denominada RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) o revisión de la USLE.

El modelo empírico RUSLE 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 se cuantifican a través de la tasa de pérdida de suelo por erosión hídrica. Esta cuantificación se hace a través de 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):

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

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)

3.1.1. Erosividad de la lluvia: FACTOR R

Para calcular el factor de erosividad R se utilizó una ecuación que 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 Salvador², así como 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.

La ecuación para el cálculo del Factor R es la siguiente:

$$R = 3786.6 + 1.5679P - 1.9809E$$

Dónde:

R: capacidad de erosión de la lluvia [(MJ.mm)/ (Ha.h.año)]

P: precipitación anual promedio (mm/año)

E: Elevación en metros.

Para el cálculo del factor R en este estudio, 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.

En la figura 4 se muestra el mapa de la distribución del factor R en la cuenca del río Grande de San Miguel. El factor R representa la energía del impacto de las gotas de lluvia sobre el terreno por lo que en los lugares de mayor pendiente la energía tiene un ángulo diferente de 90°, es decir que la gota no cae perpendicular al terreno por lo que la energía es menor. Caso contrario es el caso de las zonas bajas donde la gota de lluvia cae perpendicular al suelo y por tanto la energía del impacto es mayor.

Por esta razón las zonas altas tiene un valor menor del factor R y las zonas bajas representan un valor mayor del mismo, por lo que el mapa muestra la media de la energía recibida por el suelo durante las tormentas

² Escalante, A.2010, UCA. Evaluación de riesgo de erosión, Cuenca Barra de Santiago. Universidad Centroamericana José Simeón Cañas

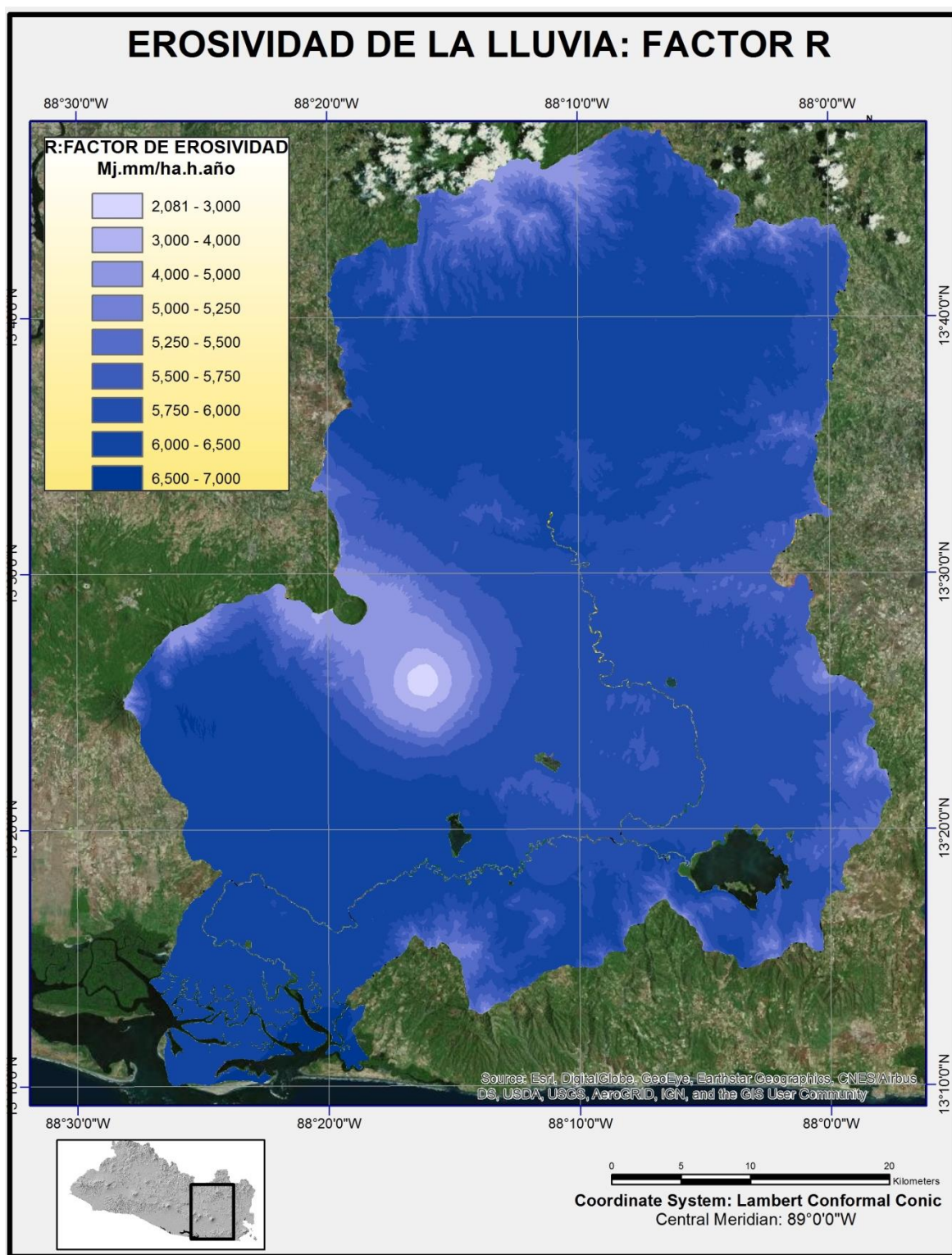


Figura 4: Distribución del factor de la erosividad de la lluvia en la cuenca del río Grande de San Miguel, las variables para el cálculo del factor R son la precipitación media anual y la elevación del terreno.

3.1.2. Erodabilidad del suelo: EL FACTOR K.

El factor erodabilidad del suelo o 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 RUSLE 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. Como el nivel de detalle que exigen los gráficos es muy alto, existen tablas de diversos autores y para diferentes entornos geográficos, que pueden ser tomados para realizar la distribución del factor de erodabilidad.

En El Salvador no se cuenta con información detallada de las características edáficas de los suelos, por lo que el Factor de Erodabilidad K se calculó a partir de un promedio de valores de los datos de estudios realizados por la UCA y la correlación establecida entre el Grupo Hidrológico del Suelo y la clase textural asociada establecida para la metodología de transformación lluvia-escorrentía del Servicio Nacional de Conservación Natural de los Estados Unidos (NRCS, por sus siglas en inglés, ver tabla 2). Con la clasificación textural general de los suelos se establecieron los valores de Factor de Erodabilidad del Suelo de acuerdo a los valores establecidos por la USDA, tomando el valor medio para un contenido de materia orgánica del 2%.

El promedio de los valores obtenidos de la tabla de la UCA y la de los valores correlacionados de la USDA son los valores que se utilizaron para el factor K de la cuenca del río Grande de San Miguel.

Tabla 1. Factor K de suelos, UCA 2010.

Tipo de Suelos Factor K	
ALUVIALES	0.055- 0.036
LATISOLES	0.02
ANDISOLES	0.06
GRUMOSOLES	0.02 - 0.07
REGOSOLES	0.043 - 0.023

Tabla 2. Permeabilidad de suelos basado en Clase textural del Suelo y asignación de grupo hidrológico correspondiente.

Textura del suelo	Código de permeabilidad ¹	Grupo Hidrológico de suelo ²
Arcilla, franco arcilloso	6	D
Arena arcillosa, franco arcillo limoso	5	C - D
Franco arcillo arenosa, franco arcilloso	4	C
Franco, franco limoso	3	B
Franco arenoso, arena franca	2	A
Arena	1	A+
1 - NATIONAL SOIL HANDBOOK (USDA, 1983), 2- NATIONAL ENGINEERING HANDBOOK (USDA, 1972)		

Tabla 3. Valores de Factor de Erodabilidad del Suelo (K) de acuerdo a su clase de textura (Stewart et al, 1975).

Clase de textura	Contenido de materia orgánica		
	0.5 %	2 %	4 %
Arena	0.05	0.03	0.02
Arena fina	0.16	0.14	0.10
Arena muy fina	0.42	0.36	0.28
Arena franca	0.12	0.10	0.08
Arena fina franca	0.24	0.2	0.16
Arena muy fina franca	0.44	0.38	0.30
Franco arenoso	0.27	0.24	0.19
Franco arenoso fino	0.35	0.30	0.24
Franco arenoso muy fino	0.47	0.41	0.33
Franco	0.38	0.34	0.29
Franco limoso	0.48	0.42	0.33
Límo	0.60	0.52	0.42
Franco arcillo arenoso	0.27	0.25	0.21
Franco arcilloso	0.28	0.25	0.21
Franco arcilloso limoso	0.37	0.32	0.26
Arcilla arenosa	0.14	0.13	0.12
Arcilla Limosa	0.25	0.23	0.19
Arcilla		0.13-0.29	

La tabla 4 contiene los valores de referencia utilizados como una mejor aproximación para la distribución de la erodabilidad. La figura 5 muestra la distribución de los tipos de suelo en la cuenca del río Grande de San Miguel, y la figura 6 la erodabilidad de la cuenca a partir de los valores del factor K.

En el grafico 1 puede verse que en la cuenca predominan los latosoles arcillo rojizos (58%) que tienen un valor de K (0.031), seguidos por los andisoles (16.73%) con un valor de K= 0.054 y los aluviales y los latosoles arcillosos ácidos tienen menor presencia en la cuenca (<2%).

En la distribución de los valores de K, en la figura 6 se observa que los suelos halomórficos y regosoles tienen el menor valor de erodabilidad ya que están asociados a zonas de depositación como son los manglares, y los andisoles tienen el mayor valor de erodabilidad y están asociados en algunos casos a las fuertes pendientes, pero también a zonas relativamente bajas debido a que este suelo es el resultado de la meteorización y transformación de los vidrios volcánicos y material piroclástico expulsado por la erupción volcánica, lo que lo hace fácilmente erosionable.

Los latosoles arcillo rojizos que forman la mayor parte de la cuenca y están asociados a pendientes fuertes son menos erosionables debido a su componente arcilloso le da mayor cohesividad al suelo.

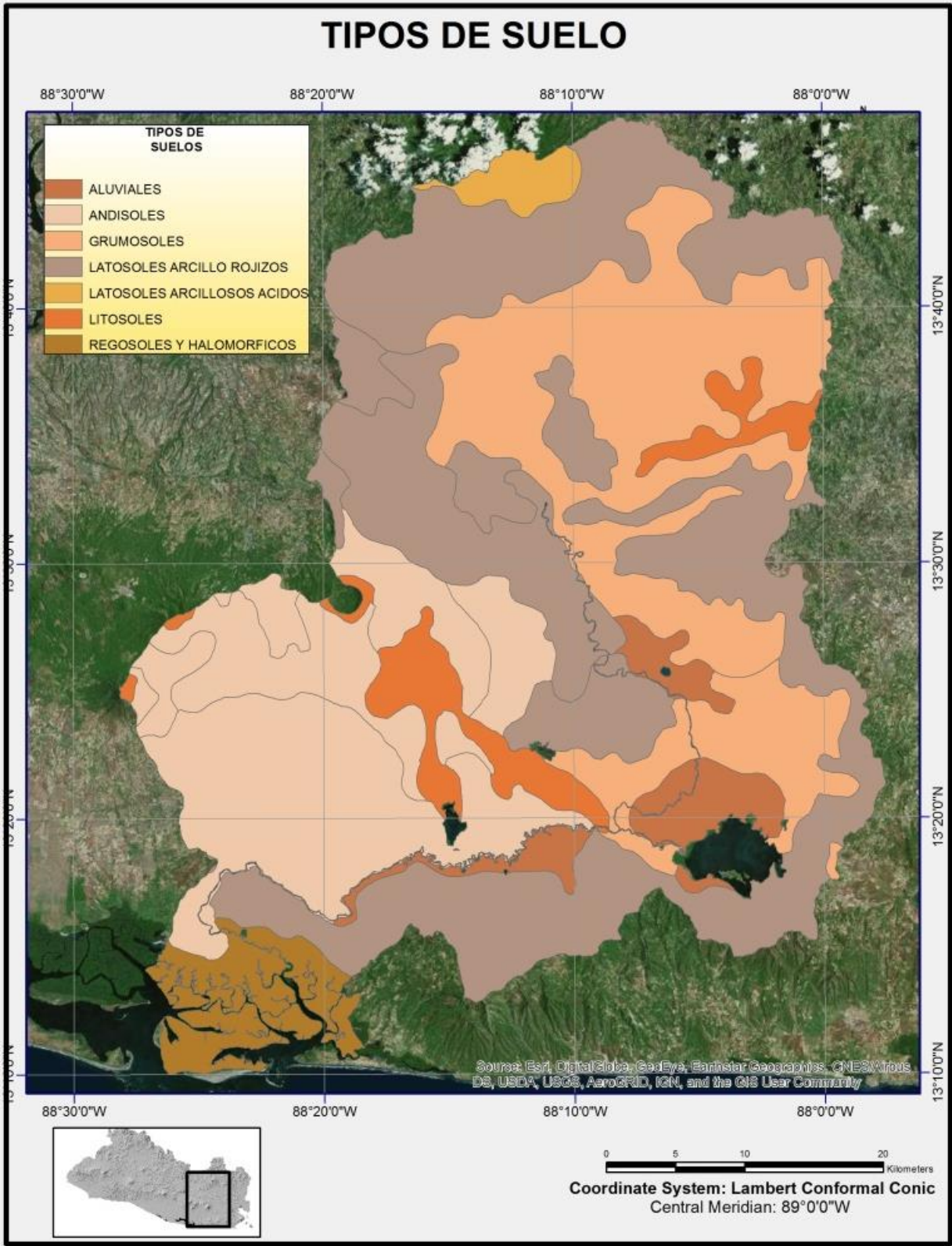


Figura 5: Distribución del tipo de suelos de la cuenca del río Grande de San Miguel

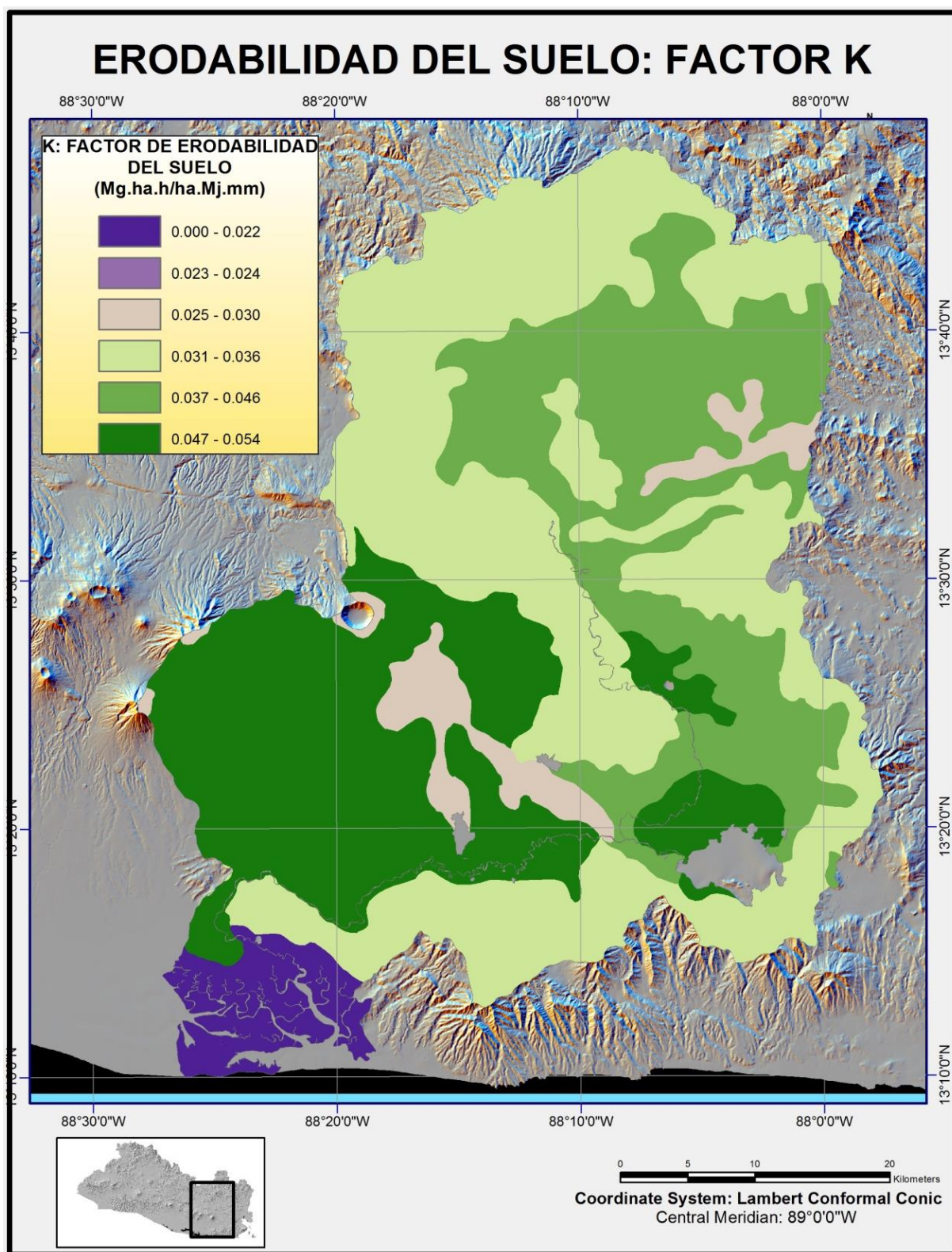
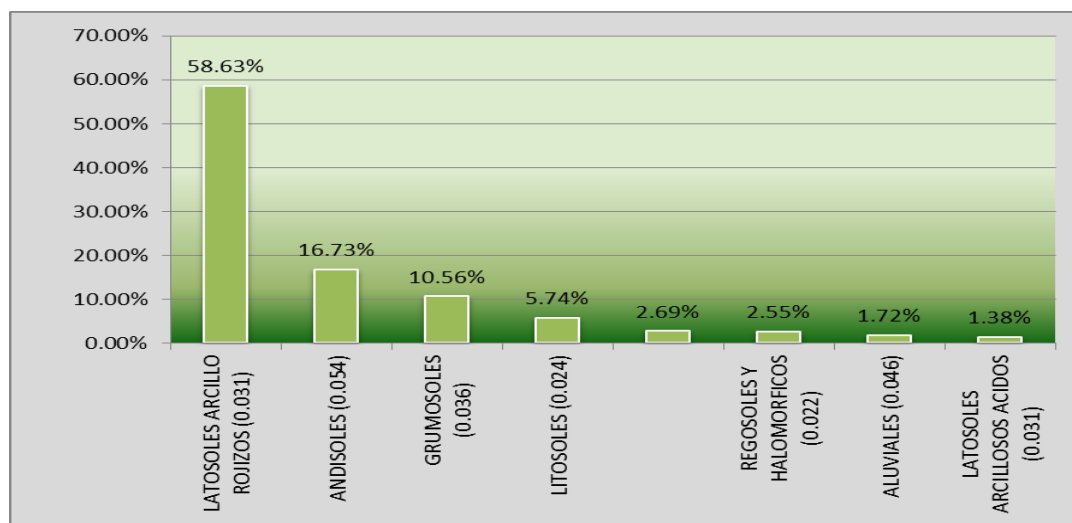


Figura 6: Distribución del factor de erodabilidad del suelo K de la cuenca del río Grande de San Miguel. Los valores corresponden a la predisponibilidad del suelo a la erosión.

Tabla 4: valores del FACTOR K o Factor de Erodabilidad³, en (Mg.ha.h)/(ha.Mj.mm).

NOMBRE	VALORES "K"
ALUVIALES	0.046
ANDISOLES	0.054
GRUMOSILES	0.036
LATOSILES ARCILLO ROJIZOS	0.031
LATOSILES ARCILLOSOS ÁCIDOS	0.031
LITOSILES	0.024
REGOSILES Y HALOMÓRFICOS	0.022

Gráfico 1: Porcentajes del tipo de suelo en la cuenca del río Grande de San Miguel.



3.1.3. 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. Como 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.

Tabla 5: valores del FACTOR P o Factor de Prácticas conservacionistas.

PENDIENTE (%)	VALOR DE "P"
1-3	0.4
3-8	0.5
8-12	0.6
12-16	0.7
16-20	0.8
>20	0.9

³ Fuente: Escalante, A.2010, UCA Evaluación de riesgo de erosión, Cuenca Barra de Santiago. Universidad Centroamericana José Simeón Cañas.

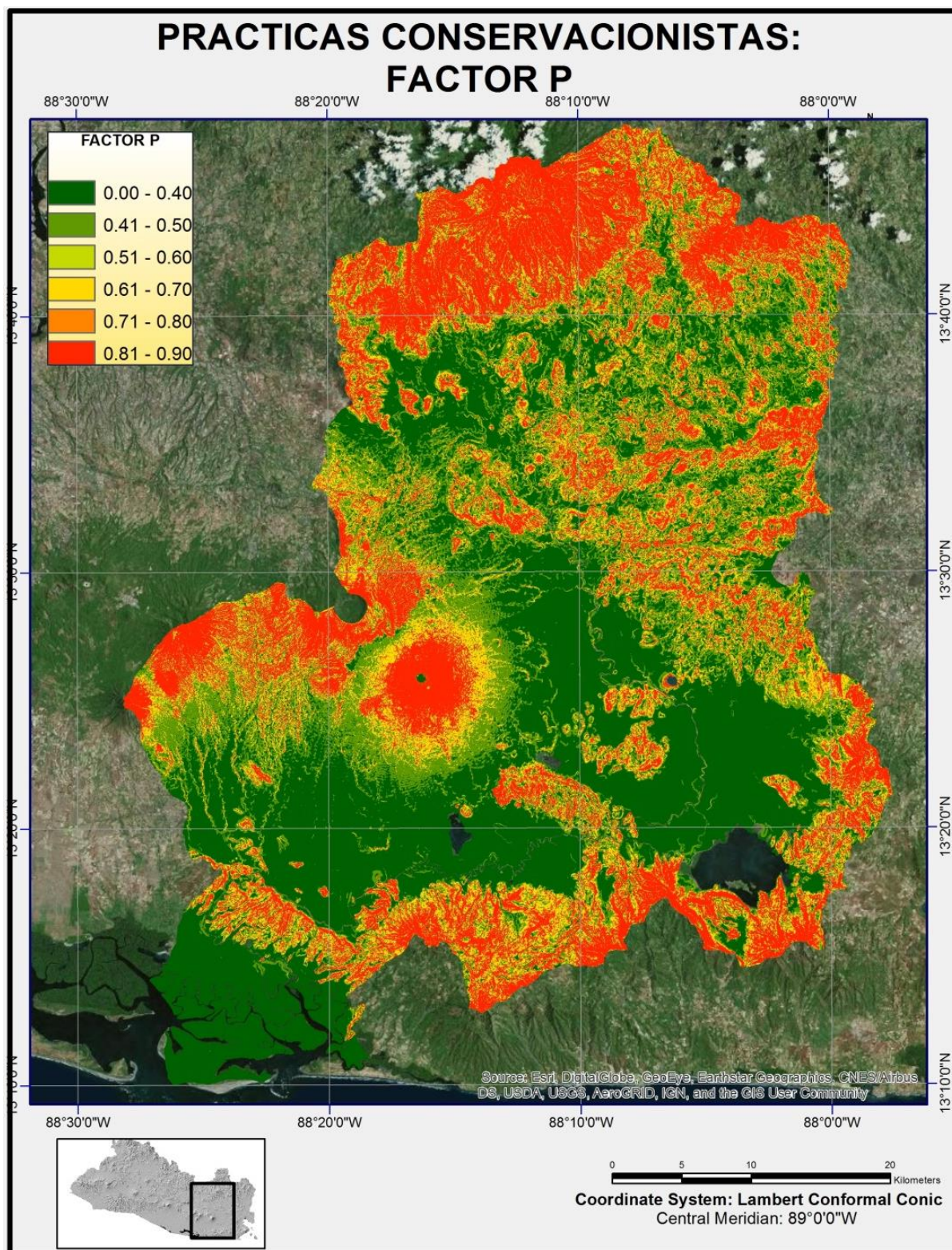


Figura 7: Distribución del factor P en la cuenca del río Grande de San Miguel. Los valores están asociados a las pendientes de la cuenca, ya que a mayor pendiente son menores las prácticas conservacionistas.

3.1.4. 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. La estimación del factor C es de suma importancia ya que es el más variable y sujeto a cambios. Representa la relación entre la pérdida de suelo de una superficie sin vegetación, $C=1$, y $C=0$ para un suelo con la cobertura natural.

Tabla 6: valores para determinación del FACTOR C o Factor de Cobertura y manejo de la vegetación.

Uso de suelo	Valor de "C"
Agricultura	0.630
Agricultura abierta	0.630
Agricultura con vegetación	0.630
Agricultura con fondo expuesto	0.630
acuacultura/arroz	0.000
Roca desnuda	0.000
Terreno desnudo	0.090
Terreno desnudo/Barra de arena	0.000
Fondo expuesto/agua	0.000
Orilla del campo	0.090
Bosque escaso	0.090
Bosque	0.003
Bosque/Cafetal	0.003
Bosque/carretera	0.003
Lava	0.000
Lava/agua	0.000
Manglares	0.000
Carretera/abierto/urbana	0.090
Carretera/bosque	0.003
Laderas orientada al oeste	0.003
Jacinto de agua	0.000
Agua/lava	0.000
Salineras	0.000
Fuente: Rapid Assessment of Soil Erosion, in the Rio Lempa Basin, Central America, Using the Universal Soil Loss Equation and Geographic Information Systems.	

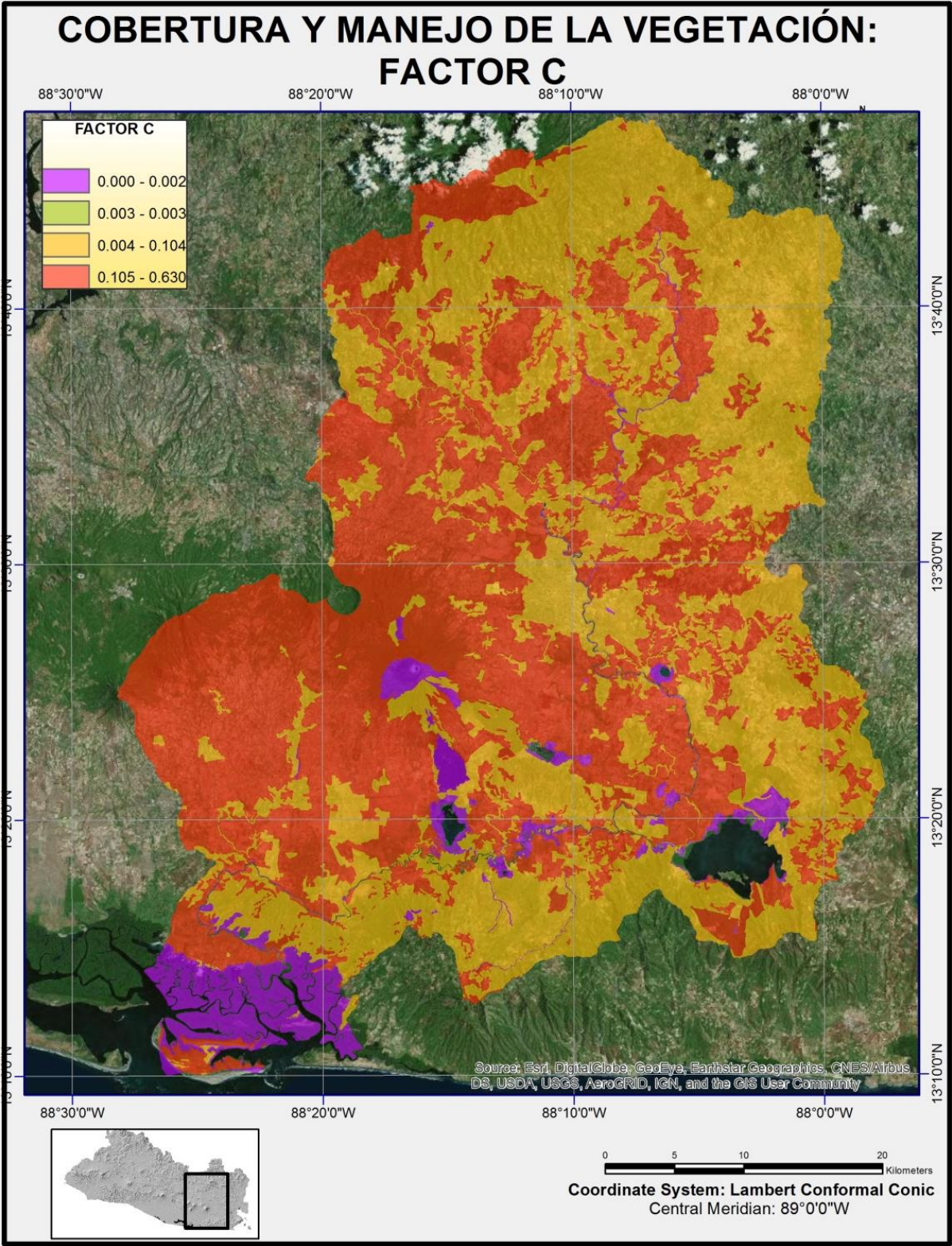


Figura 8: Distribución del factor de cobertura vegetal C de la cuenca del río Grande de San Miguel.

3.1.5. 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 regueros⁴.

La pendiente (S), 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.

El factor de longitud de la ladera (L) 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:

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

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

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.

⁴ Corriente, a modo de chorro o de arroyo pequeño, que se hace de un líquido.

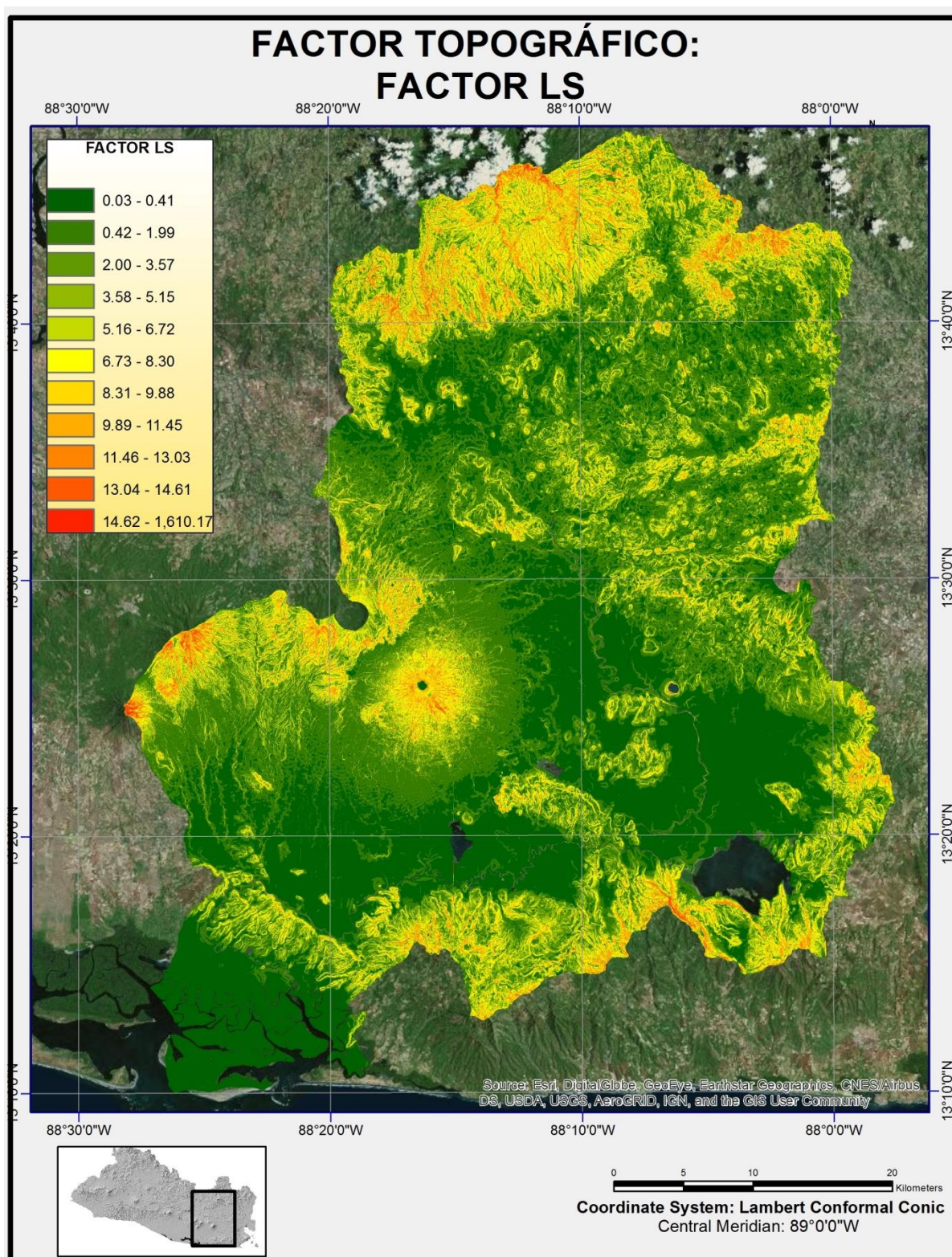


Figura 9: Distribución las pendientes de la cuenca del río Grande de San Miguel. El factor topográfico tiene un valor mayor en las mayores pendientes, ya que tiene una fuerte influencia en la erosión del suelo.

3.1.6. Volumen potencial total de sedimentos

Teniendo los datos generados por cada uno de los factores de la fórmula de RUSLE, es decir los valores de R, K, P, C y LS, se aplica la expresión:

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

La distribución resultante se muestra en la figura 10, donde las zonas en color rojo señalan las áreas de mayor erosión, que como es de esperarse están ubicadas en las zonas de mayor pendiente, principalmente en las laderas de los volcanes y de los cerros de la cuenca. En estos puntos la erosión tiene valores de mayores a las 200 toneladas por hectárea en un año. Los valores de color verde oscuro son zonas de acumulación de sedimentos o con bajas pendientes por lo que su arrastre varía entre los 0 y 50 toneladas por hectárea por año.

Como la erosión no depende un solo factor, sino de la combinación de cobertura vegetal, pendiente, prácticas de suelo, tipo de suelo y precipitaciones en la zona, el resultado es una distribución que tiene mayor área para valores medios que para valores muy altos.

La tabla 6 presenta los valores medios para cada uno de los factores evaluados en la fórmula de RUSLE, y el volumen medio de la erosión de la cuenca, que es de 48.58 toneladas por hectárea por año, por lo que en un año se esperaría que como valor medio se tenga un aproximado de 11, 429, 271 de toneladas de erosión potencial.

El índice de erosión potencial para la cuenca del río Grande de San Miguel es de **0.00823** que representa el valor por hectárea que puede ser erosionado, y que corresponde a los la multiplicación de los parámetros de la fórmula de RUSLE sin considerar el efecto de la lluvia. La utilidad de este valor está en que puede ser utilizado para cualquier tramo de la cuenca y para una lluvia específica, ya que representa el índice medio de erosión de la cuenca.

Tabla 7: Valores medios de los factores para el cálculo de volumen de sedimentos en la cuenca del río Grande de San Miguel, por el método de la RUSLE.

DESCRIPCIÓN	VALOR
Media de LS (Adimensional)	1.2029
Media C (adimensional)	0.3152
Media de K (Mg.ha.h)/(ha.Mj.mm)	0.0371
Media de P (Adimensional)	0.5852
Media de R [(MJ.mm)/(Ha.h.año)]	5901.52
Índice de erosión media (Mg.ha.h)/(ha.Mj.mm)	0.00823
Volumen medio de la erosión (Ton/Ha/año)	48.58
Área de la Cuenca (km ²)	2,352.67
Área de la Cuenca (Ha)	235267
Volumen de descarga potencial anual de la cuenca en Ton/año	11,429,271

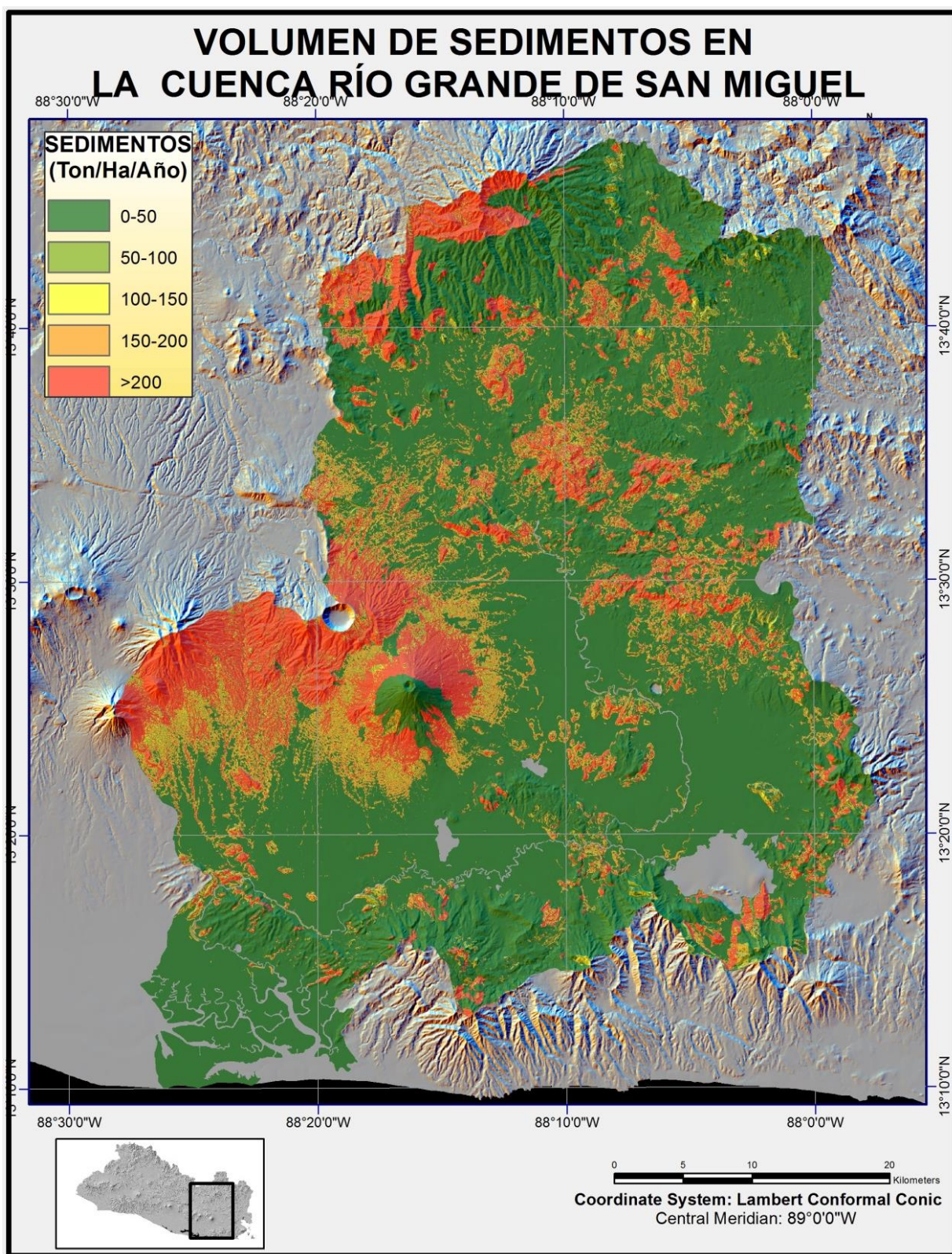


Figura 10: Distribución de la erosión potencial de la cuenca del río Grande de San Miguel. Nótese que las zonas con valores bajos corresponden a las de menor pendiente, los valores medios corresponden a las de mayor pendiente, sin embargo la vegetación, tipo de suelo y prácticas de cultivo contribuye modificar los valores de erosión.

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

Después de realizar un análisis estadístico para cada uno de los puntos donde se realiza muestreo de sedimentos, es decir donde se tiene registros de campo de las estaciones que se encuentran a lo largo del río Grande de San Miguel, y cuya ubicación se muestra en la figura 11; se elaboraron las curvas de calibración para establecer la relación potencial entre el caudal sólido y líquido, en cada uno de los puntos sobre el río.

En las ecuaciones potenciales que representan la tendencia y la relación del caudal líquido al caudal sólido, y que se muestran en la tabla 8, se introdujo el caudal medio anual (valor de x) para obtener el caudal sólido (valor de y), con el objetivo de generar un valor de carga media de sedimentos en cada uno de los diferentes puntos por los que pasa el río. El valor obtenido en cada punto multiplicado por el caudal medio anual representa el volumen medio de sedimentos que transporta el río en forma de sólidos en suspensión.

Los valores de caudal sólido que se muestran en la tabla no muestran una tendencia definida, son muy variables en el paso del río por los diferentes puntos. En el primer punto la carga o aporte es pequeño por el tamaño del área drenada y debido a que el río no está recorriendo zonas montañosas y aunque algunos de sus afluentes se originan en las zonas altas, el caudal es pequeño por lo que la carga de sedimentos también lo es.

En el último punto, en la estación Las Conchas, el río ya está llegando a la desembocadura por lo que el volumen recogido es casi la totalidad del volumen arrastrado.

En los puntos intermedios, la carga varía con tendencia a la disminución por lo que podría señalarse que la trayectoria tiene puntos de depositación importantes y pendientes bajas que la propician, esto también indica alguna fuga de sedimentos que podría deberse a extracciones.

En el punto de la estación El Delirio-La Canoa se observa un aumento que podría estar relacionado con zonas de erosión potencial (ver mapa de la figura 10) que aunque pequeñas incrementan el arrastre de sedimentos al río.

Los valores de y de la tabla 8 representan los índices medios de aporte de sedimento en los puntos donde existe registro hidrosedimentario en la cuenca.

Tabla 8: Valores de carga de sedimentos en las estaciones hidrométricas de la cuenca del río Grande de San Miguel.

ESTACIÓN	ECUACIÓN	x (m ³ /seg)	y (Kg/m ³)
Villerías-Campo Aventura	$y = 0.0090X^{0.7968}$	12.92	0.0691
El Delirio-La Canoa	$y = 0.0031X^{1.2308}$	19.02	0.1164
Vado Marín	$y = 0.0030X^{0.8593}$	27.08	0.0511
Moropala	$y = 0.0016X^{0.7516}$	22.30	0.0165
Las Conchas	$y = 0.0052X^{0.9761}$	37.41	0.1784

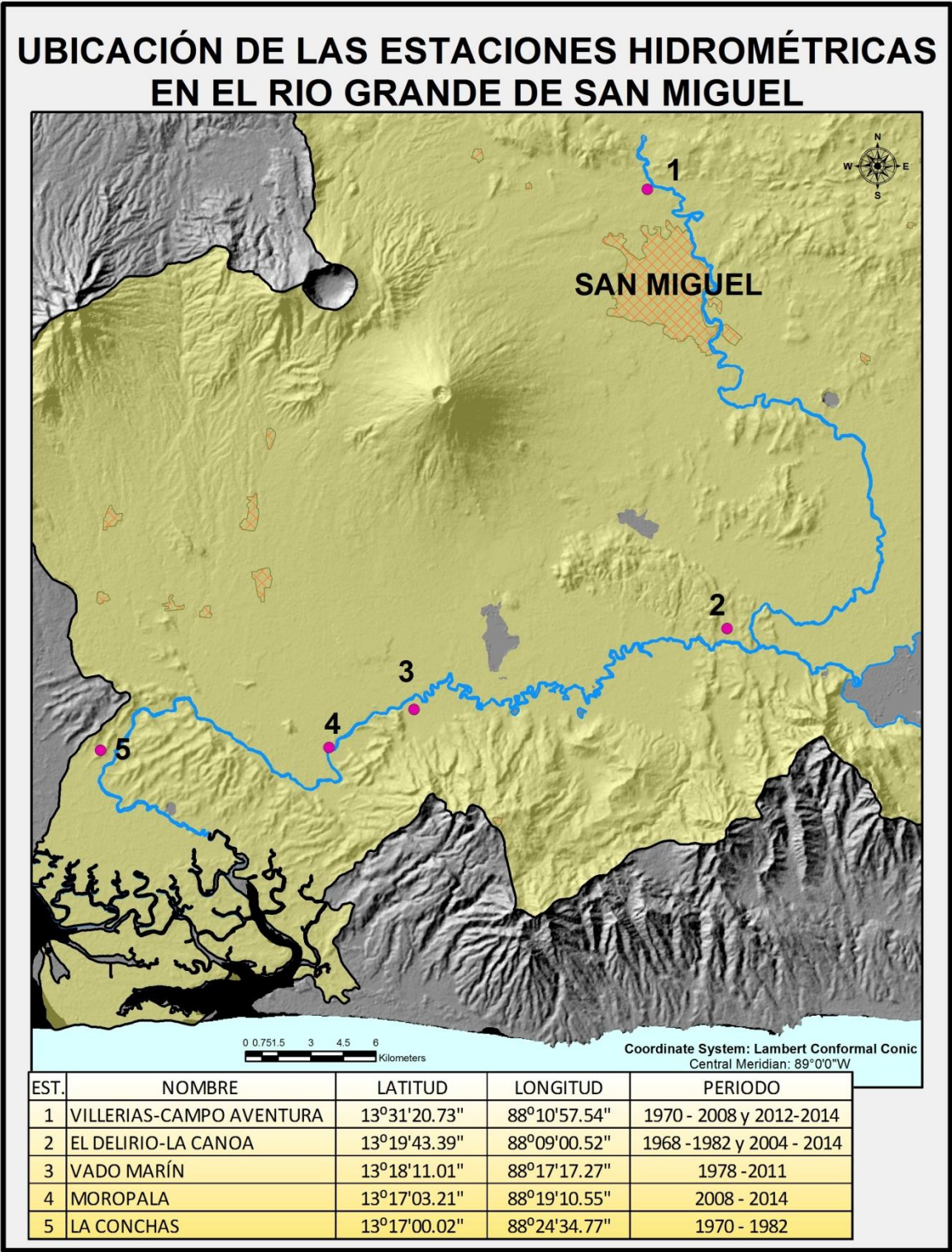


Figura 11: Ubicación de los estaciones hidrométricas con registro de aforos y sedimentos, que se encuentran a lo largo del río Grande de San Miguel.

Los datos de campo fueron ordenados para ser graficados en papel doble logarítmico que es el método utilizado para reducir el problema que representa la gran dispersión de los valores.

A partir de los datos graficados en una nube de puntos se estableció una línea de ajuste de tipo potencial es decir de la forma $y = ax^b$ donde y el caudal sólido, x es el valor del caudal líquido y el valor de b es la pendiente de la curva o tasa de incremento del sedimento. A partir de esta consideración el índice de aporte de sedimentos para cada estación está dado por los valores de “ y ” de la relación caudal líquido-caudal sólido.

Los gráficos de concentración media definen los meses de mayor carga de sedimentos, que son los que corresponden a los meses de la temporada de lluvias, siendo el mes de septiembre uno de los que mayor volumen de sedimentos aporta.

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

3.2.1. Estación Villerías-Campo Aventura

La estación Villerías – Campo Aventura drena un área de 910 kilómetros cuadrados, se encuentra en el punto más alejado de la desembocadura, y tiene un registro de 13 años continuos, de 1970 a 1982, y otro de tres años del 2012 al 2014. La pendiente de la curva para este tramo es 0.7968 que es la potencia de la curva de calibración y corresponde al arrastre que llega al río en este tramo de cuenca.

Gráfico 2: Curva de calibración que establece la relación de caudal líquido a caudal sólido en la estación Villerías-Campo Aventura en la cuenca del río Grande de San Miguel

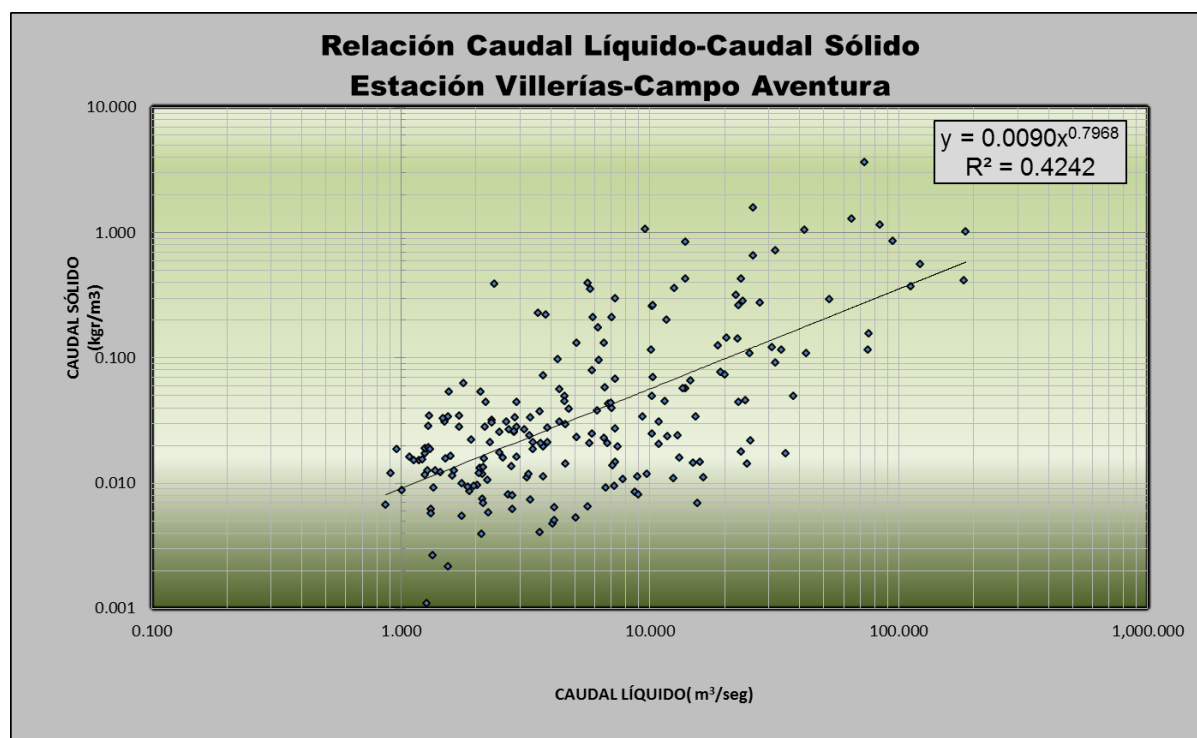
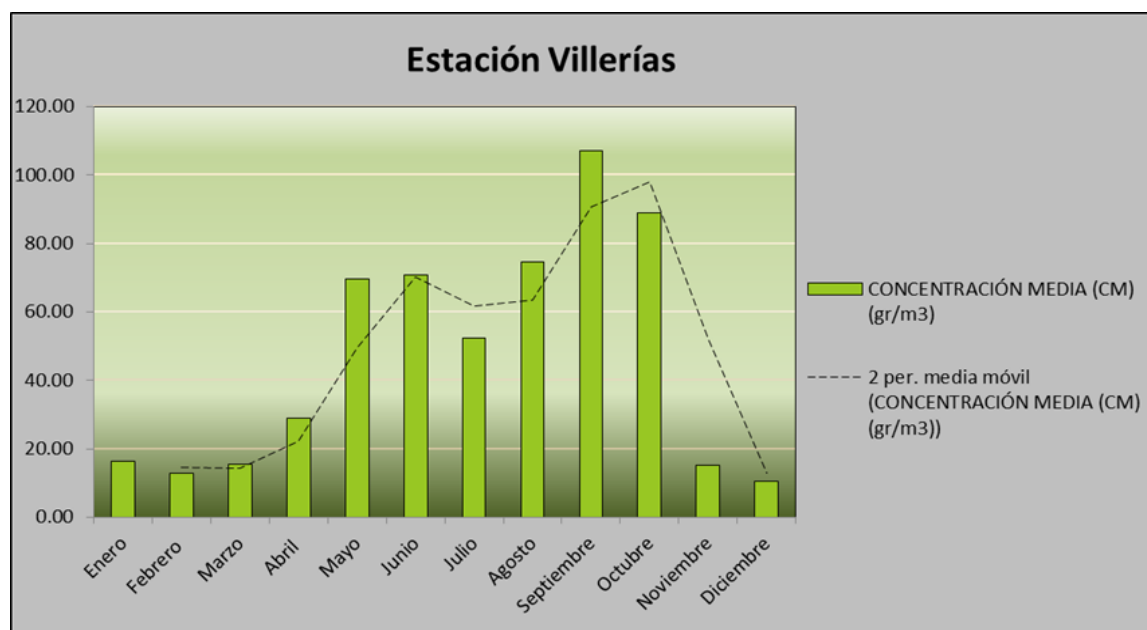


Tabla 9: Valores mensuales de volumen de sedimentos en la estación Villerías-Campo Aventura en la cuenca del río Grande de San Miguel.

Estación Villerías-Campo Aventura					
MES	Caudal promedio mensual m ³ /seg	Caudal Sólido kg/m ³	Sedimentos kg/seg	Sedimentos Ton/mes	Sedimentos m ³ /mes
Enero	2.30	0.0175	0.0401	107.38	40.52
Febrero	1.85	0.0147	0.0271	65.44	24.70
Marzo	2.07	0.0161	0.0334	89.35	33.72
Abril	3.01	0.0216	0.0650	168.53	63.60
Mayo	9.20	0.0528	0.4856	1,300.57	490.78
Junio	20.61	0.1003	2.0679	5,359.94	2,022.62
Julio	12.29	0.0664	0.8164	2,186.56	825.12
Agosto	19.22	0.0949	1.8234	4,883.66	1,842.89
Septiembre	38.94	0.1665	6.4845	16,807.80	6,342.57
Octubre	33.88	0.1490	5.0496	13,524.72	5,103.67
Noviembre	8.48	0.0495	0.4196	1,087.51	410.38
Diciembre	3.16	0.0225	0.0713	190.93	72.05
TOTAL				45,772.40	17,272.61

Los meses de mayor concentración de sólidos suspendidos son los de agosto, septiembre y octubre, como se muestra en el gráfico 3, la mayor concentración se da en la época lluviosa debido al arrastre ocasionado por las lluvias y el incremento de caudal.

Gráfico 3: Valores mensuales de la concentración media de sedimentos suspendidos en la estación Villerías – Campo Aventura.



3.2.2. Estación El Delirio-La Canoa

La estación El Delirio drena un área de 1,637 kilómetros cuadrados, se encuentra en un punto medio de la cuenca, y tiene un registro de 11 años no continuos, de 1968 a 1971 y de 1976 a 1982.

La pendiente de la curva para este tramo es 1.2308 que es la potencia de la curva de calibración y corresponde al arrastre que llega al río en este tramo de cuenca.

Para esta estación los meses de mayor aporte son los de junio, septiembre y octubre como puede verse en el gráfico 5, la mayor concentración se da en la época lluviosa debido al arrastre ocasionado por las lluvias y el incremento de caudal.

Gráfico 4: Curva de calibración que establece la relación de caudal líquido a caudal sólido en la estación El Delirio-La Canoa en la cuenca del río Grande de San Miguel

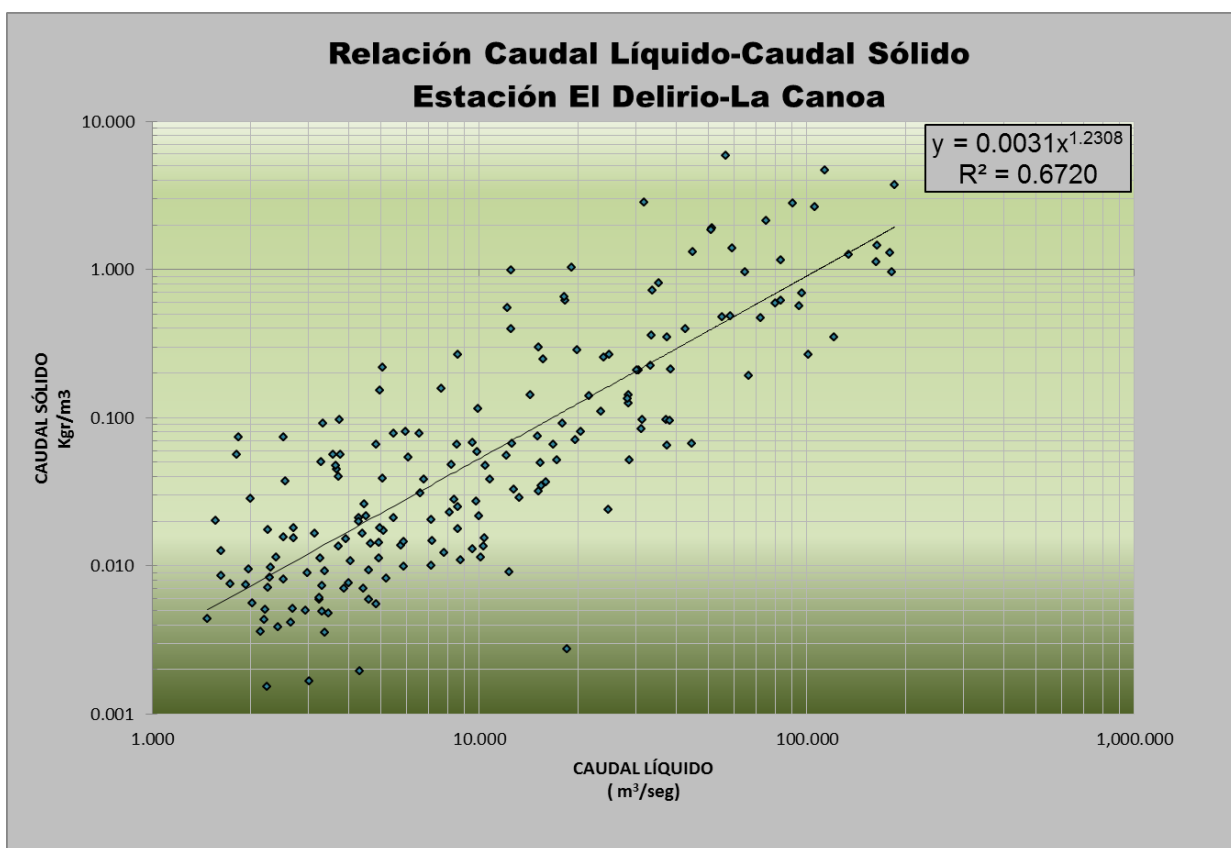
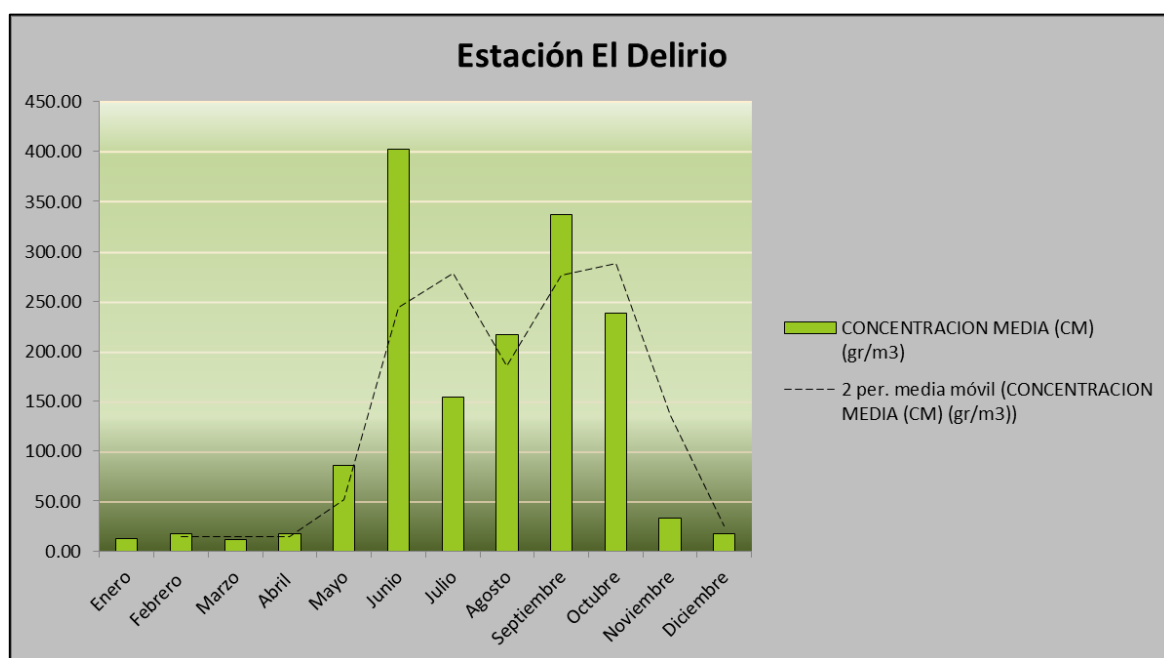


Tabla 10: Valores mensuales de volumen de sedimentos suspendidos en la estación El Delirio-La Canoa en la cuenca del río Grande de San Miguel

Estación El Delirio-La Canoa					
MES	Caudal promedio mensual m ³ /seg	Caudal Sólido kg/m ³	Sedimentos kg/seg	Sedimentos Ton/mes	Sedimentos m ³ /mes
Enero	4.07	0.0174	0.0710	190.16	71.76
Febrero	3.18	0.0129	0.0410	99.29	37.47
Marzo	2.84	0.0112	0.0319	85.45	32.24
Abril	3.60	0.0150	0.0540	140.01	52.83
Mayo	9.25	0.0479	0.4432	1,186.98	447.92
Junio	25.14	0.1640	4.1240	10,689.42	4,033.74
Julio	24.33	0.1575	3.8318	10,263.11	3,872.87
Agosto	24.00	0.1550	3.7196	9,962.63	3,759.48
Septiembre	55.36	0.4334	23.9929	62,189.71	23,467.81
Octubre	48.29	0.3663	17.6898	47,380.45	17,879.41
Noviembre	21.43	0.1348	2.8895	7,489.48	2,826.22
Diciembre	6.72	0.0323	0.2174	582.15	219.68
TOTAL				150,258.84	56,701.45

Gráfico 5: Valores mensuales de la concentración media de sedimentos suspendidos en la estación El Delirio-La Canoa.



3.2.3. Estación Vado Marín

La estación Vado Marín drena un área de 1,900 kilómetros cuadrados, se encuentra en un punto medio de la cuenca, y tiene un registro de 16 años no continuos, de 1978 a 1981, de 1993 a 1997, de 2004 a 2006 y de 2008 a 2011.

La pendiente de la curva para este tramo es 0.8593 que es la potencia de la curva de calibración y corresponde al arrastre que llega al río en este tramo de cuenca.

Los meses de mayor carga de sedimentos para esta estación son julio, agosto y septiembre como puede verse en el gráfico 7, la mayor concentración se da en la época lluviosa debido al arrastre ocasionado por las lluvias y el incremento de caudal.

Gráfico 6: Curva de calibración que establece la relación de caudal líquido a caudal sólido en la estación Vado Marín en la cuenca del río Grande de San Miguel.

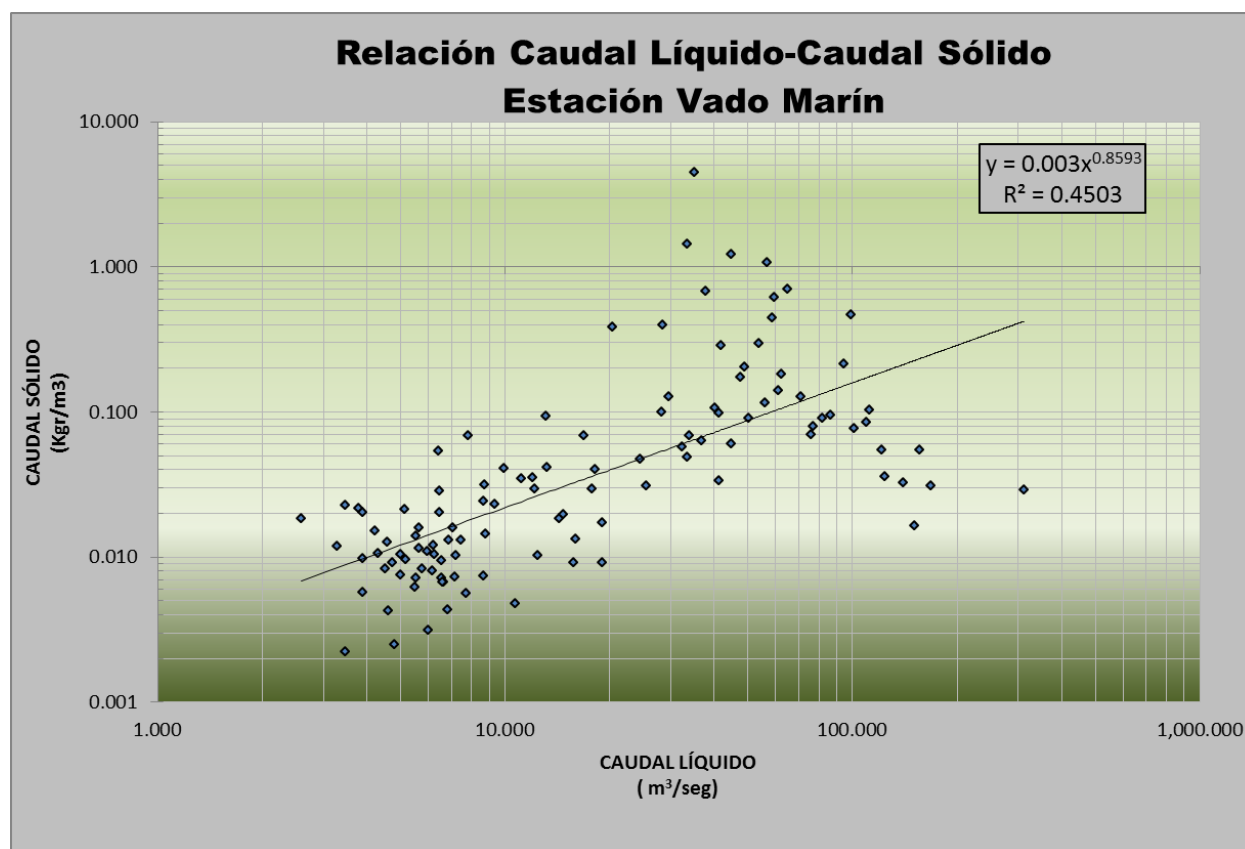
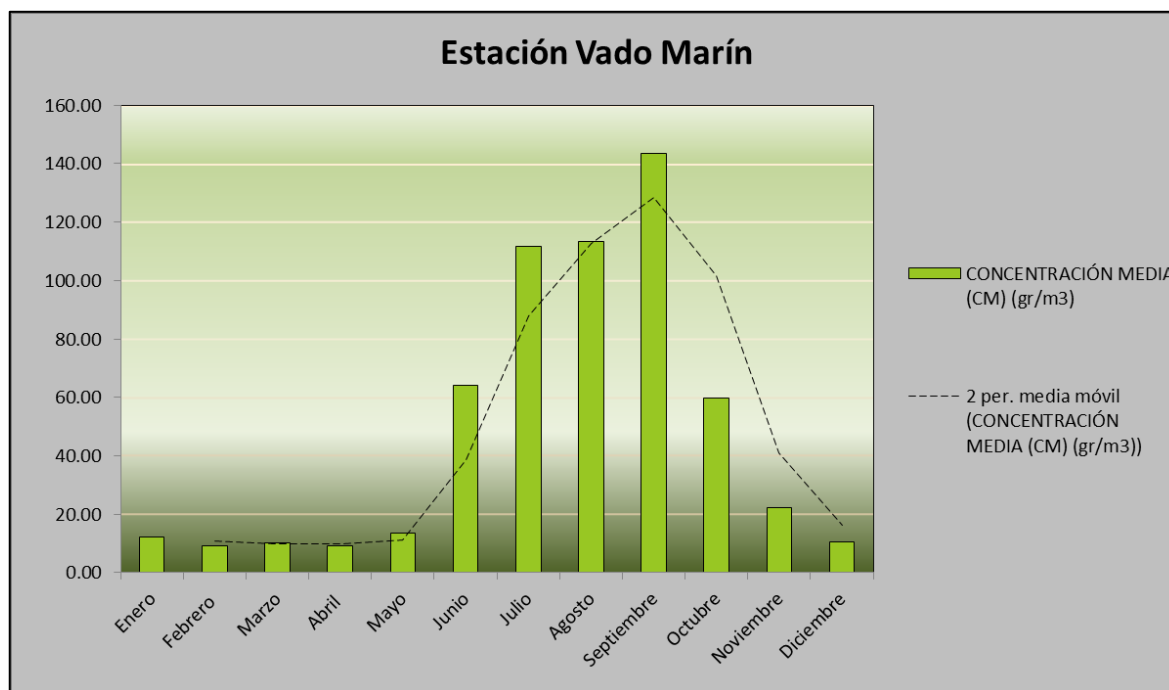


Tabla 11: Valores mensuales de volumen de sedimentos suspendidos en la estación Vado Marín en la cuenca del río Grande de San Miguel

Estación Vado Marín					
MES	Caudal promedio mensual m ³ /seg	Caudal Sólido kg/m ³	Sedimentos kg/seg	Sedimentos Ton/mes	Sedimentos m ³ /mes
Enero	7.14	0.0162	0.1159	310.45	117.15
Febrero	6.03	0.0141	0.0848	205.16	77.42
Marzo	5.80	0.0136	0.0789	211.25	79.72
Abril	6.09	0.0142	0.0864	223.93	84.50
Mayo	11.10	0.0237	0.2636	706.10	266.45
Junio	34.56	0.0630	2.1770	5,642.80	2,129.36
Julio	31.40	0.0580	1.8208	4,876.87	1,840.33
Agosto	33.52	0.0613	2.0564	5,507.75	2,078.40
Septiembre	73.13	0.1199	8.7717	22,736.30	8,579.74
Octubre	78.01	0.1268	9.8903	26,490.24	9,996.32
Noviembre	28.07	0.0527	1.4785	3,832.31	1,446.16
Diciembre	10.10	0.0219	0.2211	592.10	223.44
TOTAL				71,335.27	26,918.97

Gráfico 7: Valores mensuales de la concentración media de sedimentos suspendidos en la estación Vado Marín



3.2.4. Estación Moropala

La estación Moropala, se encuentra en un punto medio de la cuenca, y tiene un registro de 7 años continuos, de 2008 a 2014.

La pendiente de la curva para este tramo es 0.7516 que es la potencia de la curva de calibración y corresponde al arrastre que llega al río en este tramo de cuenca.

Los meses de mayor carga de sedimentos para esta estación son junio, julio y septiembre como puede verse en el gráfico 9, la mayor concentración se da en la época lluviosa debido al arrastre ocasionado por las lluvias y el incremento de caudal.

Gráfico 8: Curva de calibración que establece la relación de caudal líquido a caudal sólido en la estación Moropala en la cuenca del río Grande de San Miguel.

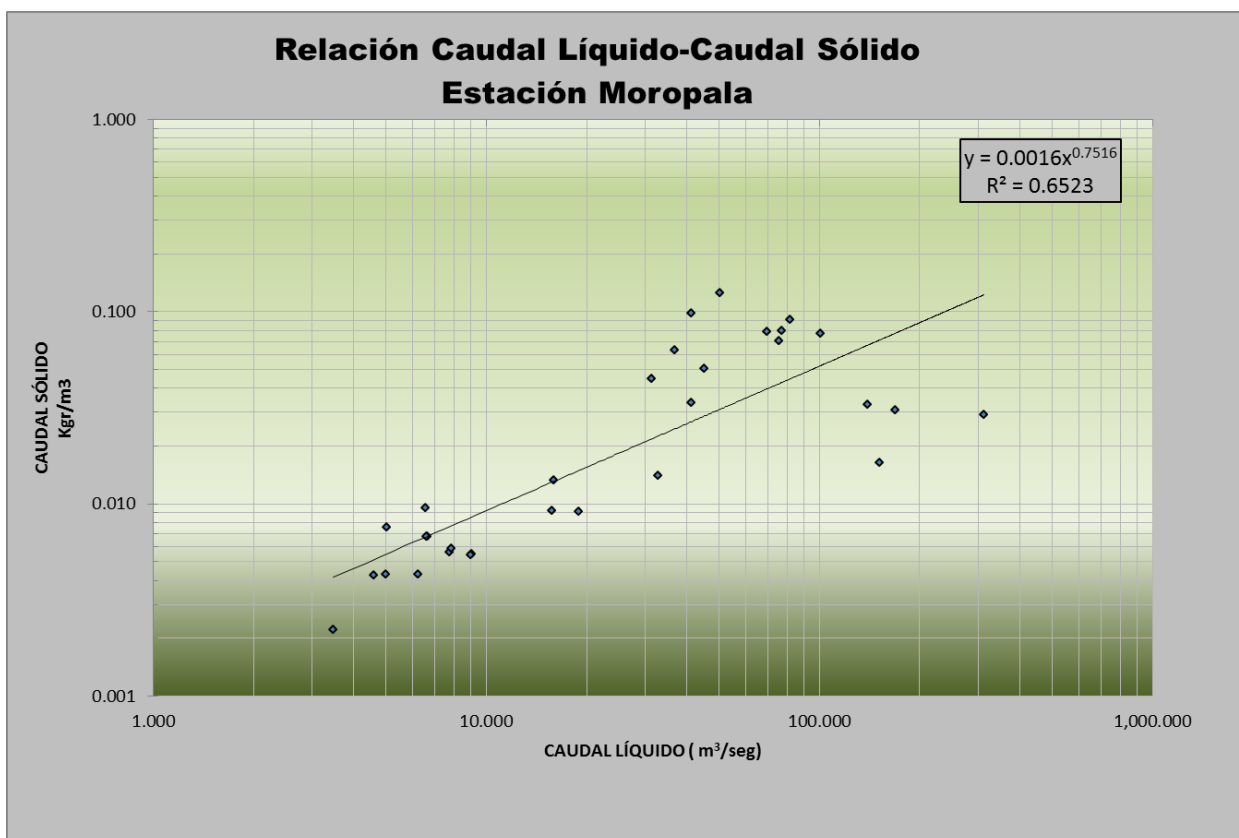
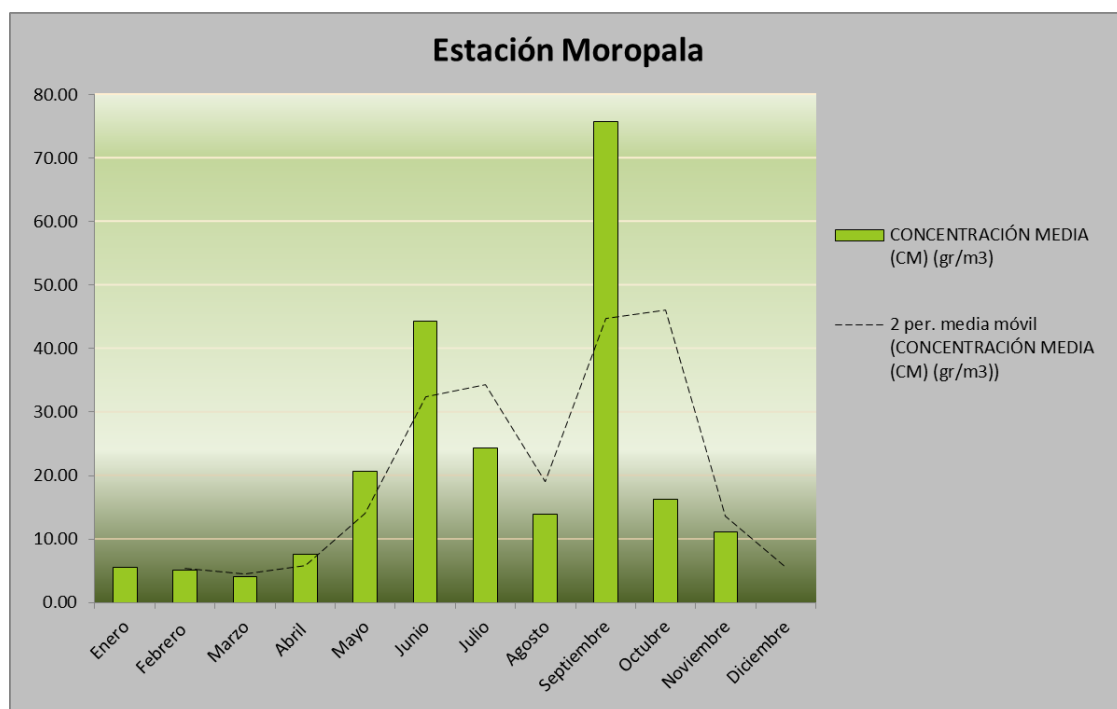


Tabla 12: Valores mensuales de volumen de sedimentos en la estación Moropala en la cuenca del río Grande de San Miguel

Estación Moropala					
MES	Caudal promedio mensual m ³ /seg	Caudal Sólido kg/m ³	Sedimentos kg/seg	Sedimentos Ton/mes	Sedimentos m ³ /año
Enero	0.00	0.0000	0.0000	0.00	0.00
Febrero	5.96	0.0061	0.0365	88.25	33.30
Marzo	7.33	0.0072	0.0524	140.38	52.97
Abril	6.74	0.0067	0.0452	117.13	44.20
Mayo	15.10	0.0123	0.1858	497.55	187.76
Junio	21.87	0.0163	0.3555	921.43	347.71
Julio	21.11	0.0158	0.3341	894.93	337.71
Agosto	22.32	0.0165	0.3686	987.37	372.59
Septiembre	60.00	0.0347	2.0832	5,399.64	2,037.60
Octubre	57.51	0.0336	1.9341	5,180.38	1,954.86
Noviembre	19.33	0.0148	0.2866	742.76	280.29
Diciembre	8.05	0.0077	0.0617	165.24	62.35
TOTAL				15,135.07	5,711.35

Gráfico 9: Valores mensuales de la concentración media de sedimentos suspendidos en la estación Moropala.



3.2.5. Estación Las Conchas

La estación Las Conchas drena un área de 2,238 kilómetros cuadrados que representa el 95% de la totalidad de la cuenca. Se encuentra en el punto más alejado de la cuenca, muy cerca del canal Santa Rita que es la desembocadura del río Grande de San Miguel y tiene un registro de 13 años continuos, de 1970 a 1982.

La pendiente de la curva para este tramo es 0.9761 que es la potencia de la curva de calibración y corresponde al arrastre que llega al río en este tramo de cuenca.

Los meses de mayor carga de sedimentos para esta estación son junio, julio y septiembre como puede verse en el gráfico 11, la mayor concentración se da en la época lluviosa debido al arrastre ocasionado por las lluvias y el incremento de caudal.

Gráfico 10: Curva de calibración que establece la relación de caudal líquido a caudal sólido en la estación Las Conchas en la cuenca del río Grande de San Miguel

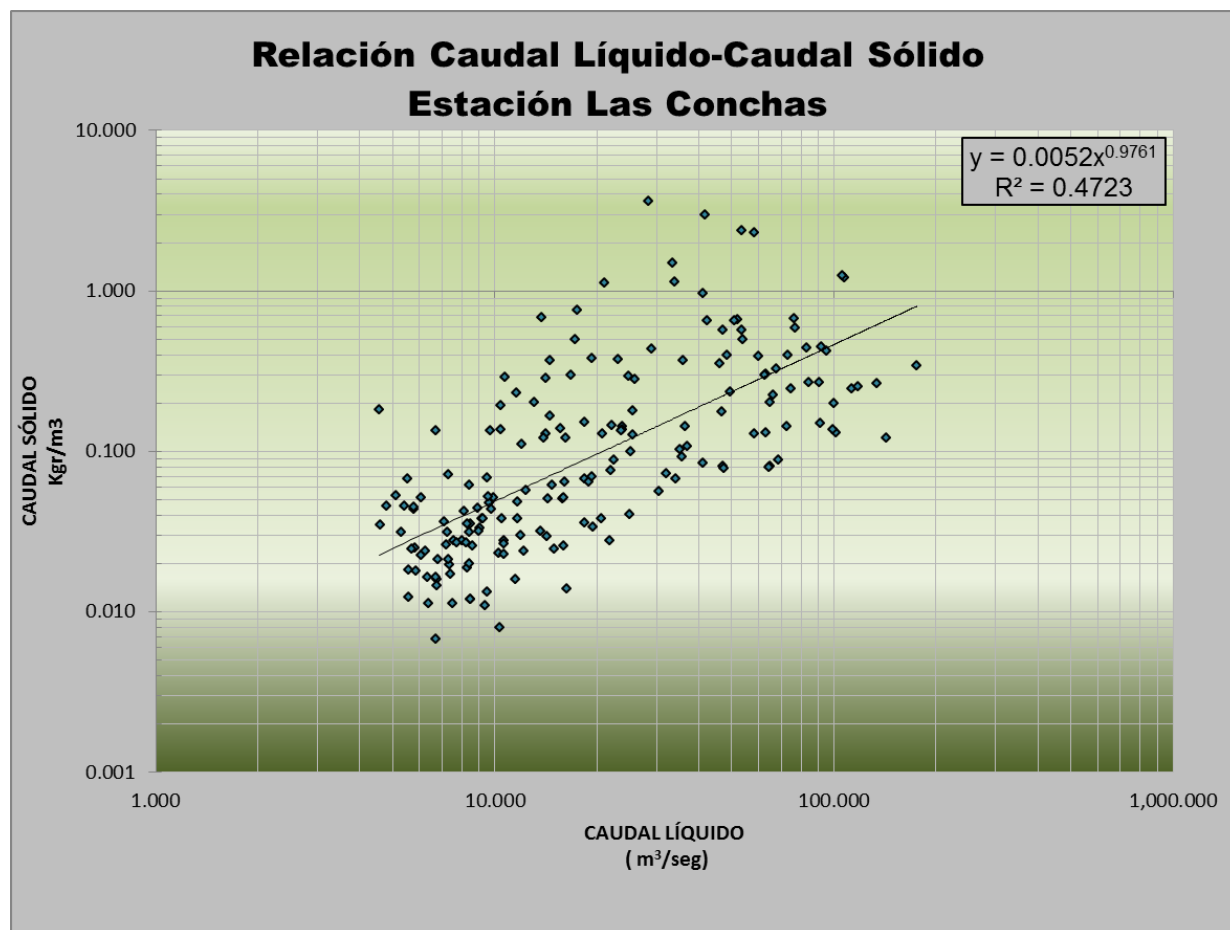
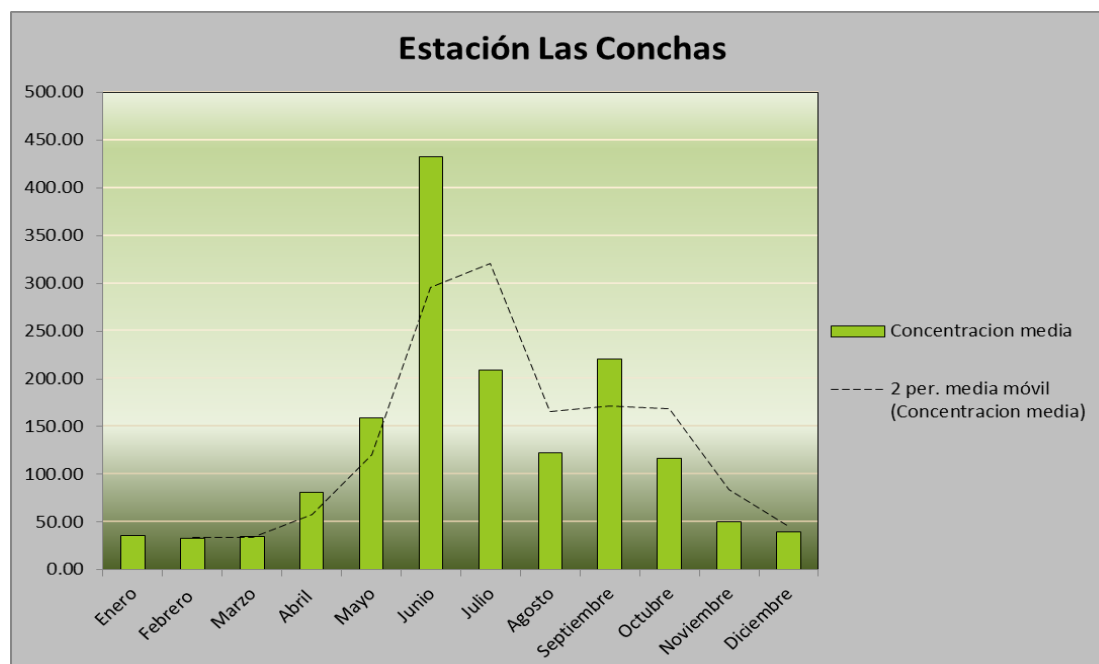


Tabla 13: Valores mensuales de volumen de sedimentos en la estación Las Conchas en la cuenca del río Grande de San Miguel.

Estación Las Conchas					
MES	Caudal promedio mensual m ³ /seg	Caudal Sólido kg/m ³	Sedimentos kg/seg	Sedimentos Ton/mes	Sedimentos m ³ /mes
Enero	10.32	0.0508	0.5240	1,403.39	529.58
Febrero	8.05	0.0398	0.3204	774.99	292.45
Marzo	7.41	0.0367	0.2720	728.47	274.89
Abril	7.88	0.0390	0.3072	796.28	300.48
Mayo	15.13	0.0737	1.1153	2,987.20	1,127.24
Junio	56.83	0.2683	15.2484	39,523.85	14,914.66
Julio	37.11	0.1770	6.5689	17,594.03	6,639.26
Agosto	49.00	0.2322	11.3755	30,468.15	11,497.41
Septiembre	104.15	0.4847	50.4777	130,838.28	49,372.94
Octubre	105.33	0.4900	51.6185	138,255.05	52,171.72
Noviembre	32.58	0.1559	5.0779	13,161.79	4,966.71
Diciembre	15.18	0.0740	1.1230	3,007.75	1,135.00
TOTAL ANUAL				379,539.22	143,222.35

Gráfico 11: Valores mensuales de la concentración media de sedimentos suspendidos en la estación Las Conchas.



3.2.6. Trayectoria de los sedimentos en suspensión.

Los sedimentos que viajan en suspensión a lo largo del río Grande de San Miguel, tienen una gran variabilidad, lo que en principio se debe a muchos factores, entre los que podemos destacar, los tipos de suelo y la dureza del material por donde el río corre, así como las pendientes y la cobertura vegetal de la zona.

Además es de tenerse en cuenta que los datos no son continuos, sino puntuales, tomados sin considerar variables importantes como la lluvia en la parte alta de la cuenca, por lo que tienen una gran dispersión.

Sin embargo la curva de ajuste nos proporciona la forma del comportamiento de los sólidos en los diferentes tramos del río. Así en el tramo inicial la tendencia es a incrementar el volumen de sedimentos, el recorrido abarca 36 kilómetros sobre suelos erodables y en zonas donde la lluvia tiene un impacto medio, además de que llegan los materiales de las zonas altas por el arrastre de las lluvias.

En el tramo El Deliro a Vado Marín, el volumen presenta pérdida de sedimentos en un tramo de 18 kilómetros aproximadamente.

En el tramo Vado Marín Moropala, la distancia es de 4 kilómetros entre estaciones y la pérdida de sedimentos es mayor. Sin embargo en esta estación debido a su registro muy corto no se puede considerar como un valor representativo.

En el tramo final la presencia del sistema de fallas E-W perteneciente a los cerros de Jucuarán, que son de la formación Bálsamo, por lo tanto más antiguos y erosionados, los fuertes ángulos del recorrido del río que abarca 14 kilómetros, genera un volumen considerable de sedimentos que llegan al mar.

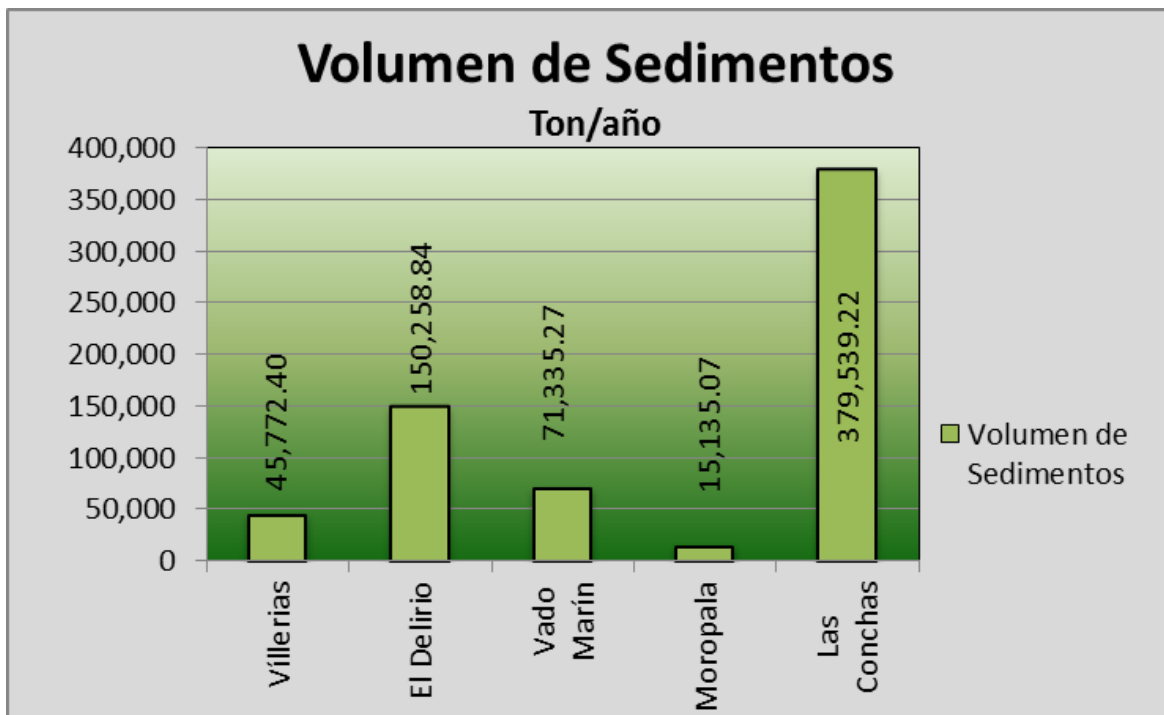
El arrastre de sólidos suspendidos en el río es de 379,539.22 toneladas al año. Puede considerarse que el 20% de este valor representa el arrastre de fondo por lo que el valor de los sólidos totales en la estación Las Conchas es de 455,447.06 toneladas al año.

En el gráfico 12 se muestran los volúmenes en toneladas al año de sólidos suspendidos en las diferentes estaciones hidrométricas.

Tabla 14: Valores anuales de volumen de sedimentos suspendidos en las estaciones de la cuenca del río Grande de San Miguel

Estación	Volumen Ton/año
Villerías-Campo Aventura	45,772.40
El Delirio-La Canoa	150,258.84
Vado Marín	71,335.27
Moropala	15,135.07
Las Conchas	379,539.22

Gráfico 12: Valores anuales de volumen de sedimentos suspendidos a lo largo de la cuenca del río Grande de San Miguel



4. Desembocadura del río Grande de San Miguel

El río Grande de San Miguel desemboca en el canal Santa Rita, uno de los brazos o canales internos de la Bahía de Jiquilisco, por esta razón es importante clasificar la desembocadura para realizar una valoración de la influencia de las descargas del caudal líquido que puede provocar inundaciones como del caudal sólido que rellena los canales y reduce la profundidad de la bahía.

La clasificación general de las entradas depende del predominio del acarreo de los sedimentos por marea o por las olas o por la combinación de ambas fuentes de energía. En la figura 12 se muestra la clasificación, (Davis y Gibeaut, 1990), basada en el proceso dominante que controla la morfología de la entrada.

Las entradas dominados por mareas tienden a ser estables con una gran acumulación y casi perpendicular a la costa de arena (reflujo de las mareas delta) en el lado del océano. El gran prisma de marea, que es la cantidad de agua que fluye a través de la entrada durante un ciclo de marea, produce un canal relativamente profundo y estable. Las ondas tienen poca

influencia sobre el transporte de entrada y de acumulación, no interfiere con las funciones de entrada.

Cuando predominan las olas las entradas tienden a ser pequeñas e inestables. Las olas y las corrientes litorales que éstas producen hacen que grandes volúmenes de sedimentos (arena) sean transportados a lo largo de la costa. Este movimiento de los sedimentos a lo largo de la costa hace que la entrada sea generalmente pequeña y migre en la dirección del transporte litoral o en condiciones extremas, provoca el cierre de la entrada.

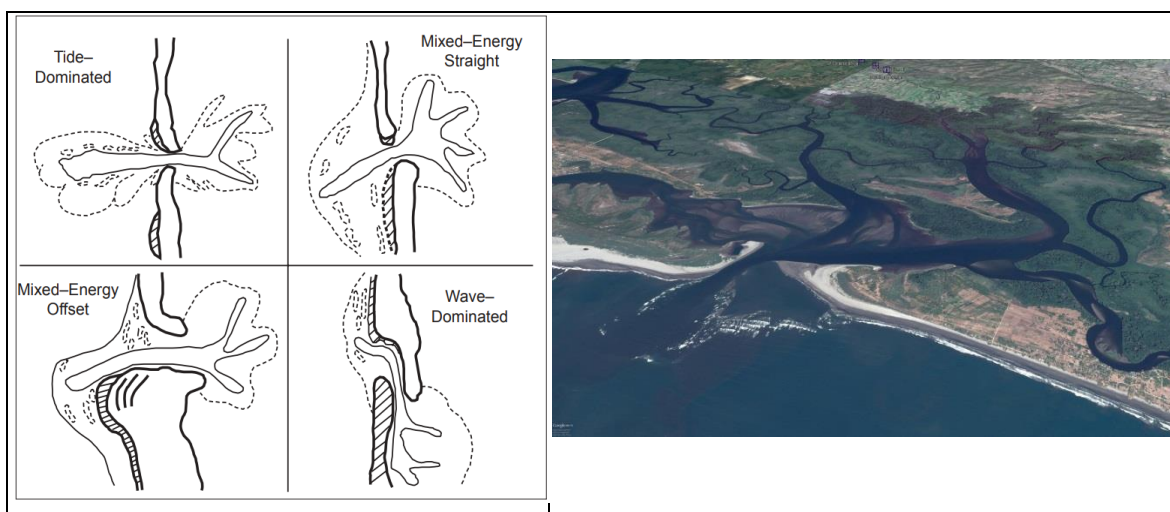


Figura 12: Clasificación de las bocanas, (Davis y Gibeaut, 1990), bocana La Chepona, desembocadura del canal Santa Rita, entrada recta producida por la combinación de la energía de marea y del oleaje.

Las entradas generadas por mezclas de energía se desarrollan, donde los procesos tanto de energía de mareas y de olas interactúan para controlar la morfología de la entrada y su delta de reflujo. Estas entradas pueden asumir dos geometrías de las barreras adyacentes muy diferentes

- En línea (figura 12, Mixed-energy straight). En este tipo de geometría, el flujo delta (el cuerpo principal de arena) en la boca de la entrada tiende a ser "unilateral" a un lado del canal.
- Con desviación de la línea de costa. El delta del flujo se divide esencialmente en dos por el canal principal (figura 12, Mixed-energy offset).

El desarrollo y evolución de la barra se debe a un proceso mixto dado por la combinación de la energía de marea y de las olas, como se muestra en el gráfico donde se han planteado los datos de rango de marea y altura de oleaje medio, sin olvidar que hay que tener en cuenta que el mareógrafo en La Unión se encuentra en la zona interior lo que puede influir en la altura registrada.

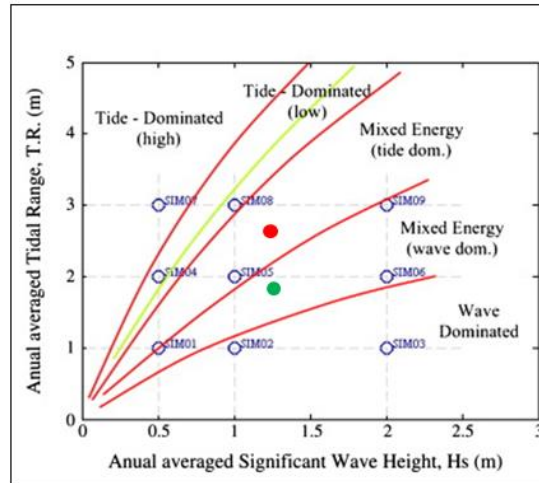


Figura 13: Clasificación basada en energía para desembocadura y líneas de costa (Hayes 1979). En color rojo la Unión, en color verde Acajutla y La Libertad

La barra tiene un extremo ancho y un extremo estrecho, denominadas “drumstick barrier” porque su forma se asemeja a la pata de un pollo. El desarrollo de la parte ancha de la barra es el resultado de la interacción del reflujo de las mareas en el delta a la entrada con la barrera. En las entradas generadas por la mezcla de energía, las olas se refractan lo que influye en el transporte litoral dominante, generándose abundante sedimento que evita la entrada en la zona del delta reflujo y finalmente se acumula en el lado de la corriente, abajo de la entrada. Este sedimento que es retenido se acumula en forma de barras que eventualmente hacen migrar a la barra y desarrollar una playa o una duna de crestas. La formación de muchas de estas crestas produce “drumstick barrier”.

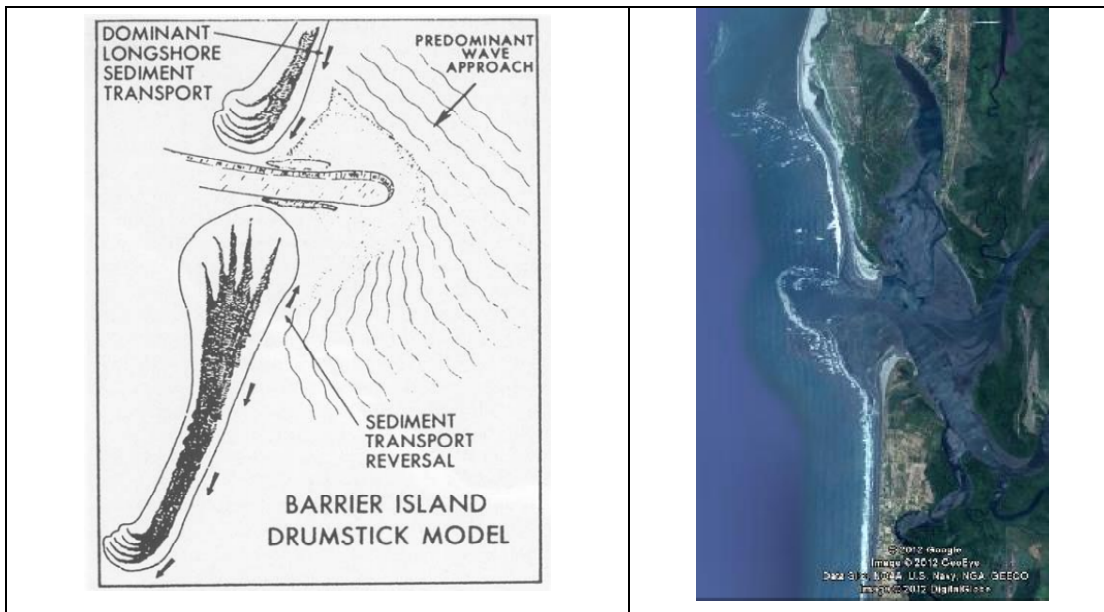


Figura 14. Modelo isla de Barra Drumstick La Chepona es un ejemplo de este tipo de isla.

En la figura 14 se presenta una drumstick barrier clásico definido por Davis and Wang 2012 y se muestra la entrada de la Chepona, que tiene similitud en la geomorfología de la costa y en los patrones de interferencia que se observan en el agua.

A partir de estas definiciones y clasificaciones de la bocana de La Chepona que es la zona de la desembocadura del canal Santa Rita que a su vez es la desembocadura del río Grande de San Miguel, podemos inferir que el régimen de mareas tanto como los eventos de oleaje extremos durante los eventos meteorológicos tiene una gran influencia en las zonas bajas del río, ya que al inundarse los canales, el río debe adaptar su descarga a un nivel del agua mayor que en las condiciones normales, sobre todo en marea alta, la que es incrementada por las olas que no permiten la salida del prisma de marea y se producen inundaciones en las riberas del río. Esta situación es agravada por las descargas de sedimentos en suspensión que quedan atrapadas en el vaso de la bahía y que contribuyen a su azolvamiento y al cierre de canales internos, y por tanto reducen el área de la desembocadura del río.

Conclusiones

- El índice de erosión potencial para la cuenca del río Grande de San Miguel es de **0.00823** que representa el valor por hectárea que puede ser erosionado. La utilidad de este valor está en que puede ser utilizado para cualquier tramo de la cuenca y para una lluvia media, ya que representa el índice medio de erosión de la cuenca.
- El índice de erosión potencial 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.
- Este valor representa un aproximado del volumen potencial de sedimentos que podrían llegar al cauce del río la desembocadura, ya que el volumen que puede erosionar es total, sin considerar la fracción que queda depositada en el trayecto hacia el río.
- 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 los datos disponibles de sedimentos de las estaciones que tienen registros y los caudales medios anuales asociados a los mismos puntos.
- Los valores de los índices de aporte de cada estación están dados por el valor de “y” de la ecuación. Este valor está determinado por la pendiente de la curva de calibración de la relación caudal líquido-caudal sólido, por lo que depende de que tan completa es la serie de datos y que tan homogéneos sean, razón por la cual debe ser tomada con precaución.
- Como es de esperarse los meses que aportan mayor cantidad de sedimentos son los meses de invierno, cuando los caudales del río aumentan su volumen y las lluvias arrastran material hacia el cauce de los ríos.

- La desembocadura de la bahía de Jiquilisco, está determinada por la influencia tanto del oleaje como de las mareas, por lo que la desembocadura del río Grande de San Miguel también responde a esta condición.
- La evaluación de la descarga de sedimentos en el río debe considerar las condiciones particulares de la desembocadura y del proceso de azolvamiento que es parte de la dinámica de la bahía.

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
- Plan Maestro de desarrollo y Aprovechamiento de los Recursos Hídricos, Documento Básico No.6: Recursos y Demandas Potenciales en la Región “H”, 1981
- “Rapid Assessment of soil erosion in the Río Lempa basin, Central America, using the universal soil loss equation and geographic information systems”, Kim, J. and other, San Diego State University, Octubre 2005
- “Evaluación de riesgo de erosión, Cuenca Barra de Santiago”, Escalante, A., Universidad Centroamericana José Simeón Cañas 2010.
- “Factor K de la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE)”, Gisbert, J. y otros, Universidad Politécnica de Valencia.
- “Modelamiento Hidrológico de la Descarga de las Cuencas Hidrológicas en el Arrecife Mesoamericano”, Lauretta Burke and Zachary Sugg, Proyecto Alianza para el Arrecife Mesoamericano, 2006