



MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSION EN ZONA COSTERO-MARINA DE EL SALVADOR

DOCUMENTO

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS
NATURALES

Diciembre 2015



MAPA DE SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN EN ZONA COSTERO-MARINA DE EL SALVADOR

1.0 INTRODUCCIÓN

El presente “Mapa de Susceptibilidad a la Erosión” se ha realizado usando el método de la “RUSLE” o versión Revisada del Método de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos. Esta ecuación es actualmente utilizada de forma oficial en los Estados Unidos para el cálculo de la pérdida de suelos.

2.0 UBICACIÓN

La zona costera de El Salvador se ha definido por las cuencas que drenan al Océano Pacífico y conforman el área de estudio del sistema costero.



Figura No.1: Ubicación geográfica de la zona costera y de las cuencas que la conforman.

3.0 OBJETIVOS DEL INFORME

El objetivo principal de este informe es el siguiente:

- a. Calcular los volúmenes de sedimentos en la zona costera de El Salvador.
- b. Determinar las áreas susceptibles a la erosión.

4.0 MATERIALES Y METODOS

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 pérdida 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 zona costera de El Salvador cumple con esta característica, se ha utilizado esta metodología para el correspondiente cálculo de sedimentos.

APLICACIÓN DEL MODELO EMPÍRICO RUSLE

La ecuación RUSLE de pérdida de suelo

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. La primera publicación del modelo se remonta al trabajo de Renard et al. (1991) en el que presentaron los resultados de un proyecto conjunto iniciado en 1987 del Servicio Agrícola (Agricultural Research Service, ARS) y del Servicio de Conservación del Suelo (Soil Conservation Service, SCS) del gobierno de EE.UU. El objetivo de este proyecto fue la revisión del último manual del modelo USLE (Universal Soil Loss Equation, Agriculture Handbook No. 537, Wischmeier y Smith, 1978) añadiendo y agrupando las mejoras y nuevas aplicaciones obtenidas desde la publicación del manual No. 537. Posteriores investigaciones fueron modificando e incrementando los parámetros y la complejidad de cálculo de los mismos (Renard et al., 1994) hasta que Renard et al. (1997) publicaron el manual completo del modelo (Agriculture Handbook No. 703). En la RUSLE, los procesos y mecanismos de la erosión hídrica se agrupan en seis factores: la tasa de pérdida de suelo por erosión hídrica, **A**, es una función de: 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:

$$A = R K C P L S$$

Donde:

- 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)

De esos factores, **R** no puede ser modificado, **K** depende fuertemente de la textura de los suelos, la cual no puede ser fácilmente mejorada. De esa manera, sólo **C**, **P**, y **LS** pueden ser cambiados. Las prácticas agronómicas comunes, pueden utilizarse para modificar la cobertura vegetal, y consecuentemente **C**, mediante manejo de desechos y mejoramiento de los sistemas de siembra. El factor **P** puede ser cambiado por prácticas agronómicas, como las barreras vegetativas, o con obras de conservación de suelos como terrazas, zanjas o acequias de ladera. La modificación del factor **P** está íntimamente ligado a la reducción de la longitud de pendiente, **L**. Por último, la pendiente, **S**, sólo puede ser modificada mediante obras de conformación del terreno, tales como terrazas.

EL 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 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. Foster et al. (1981) presentan un método de cálculo para el sistema métrico.

$$e_j = -0.119 + 0.0873 \log_{10} ij \quad \text{si } ij < 76 \text{ mm/h} \quad \text{ó} \quad e_j = 0.283 \quad \text{si } ij > 76 \text{ mm/h}$$

El índice de erosividad presentado por Wischmeier y Smith (1978) se define como la suma del producto de la energía cinética total y la intensidad máxima en treinta minutos por evento. En donde **e_j** es la energía cinética en megajoules por hectárea por milímetro de lluvia (Mj/ha*mm) para el intervalo de tiempo **j**; **ij** es la intensidad de lluvia del intervalo, en mm/h.

El valor de **EI** para el evento es:

$$EI = E * I_{30}$$

En donde **I₃₀** es la máxima intensidad registrada en 30 minutos y se expresa en mm. **EI** se expresa en $Mj * mm / ha * h$. Las tormentas menores de 13 mm y distanciadas por más de 6 horas de otros eventos no se consideran en el cálculo de EI, a no ser que caigan más de 6 mm en 15 minutos (Wischmeier y Smith, 1978).

Como en la RUSLE la erosión no se calcula por eventos, sino por períodos de tiempos mayores, generalmente anual, entonces se utiliza el factor R, el cual es 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)

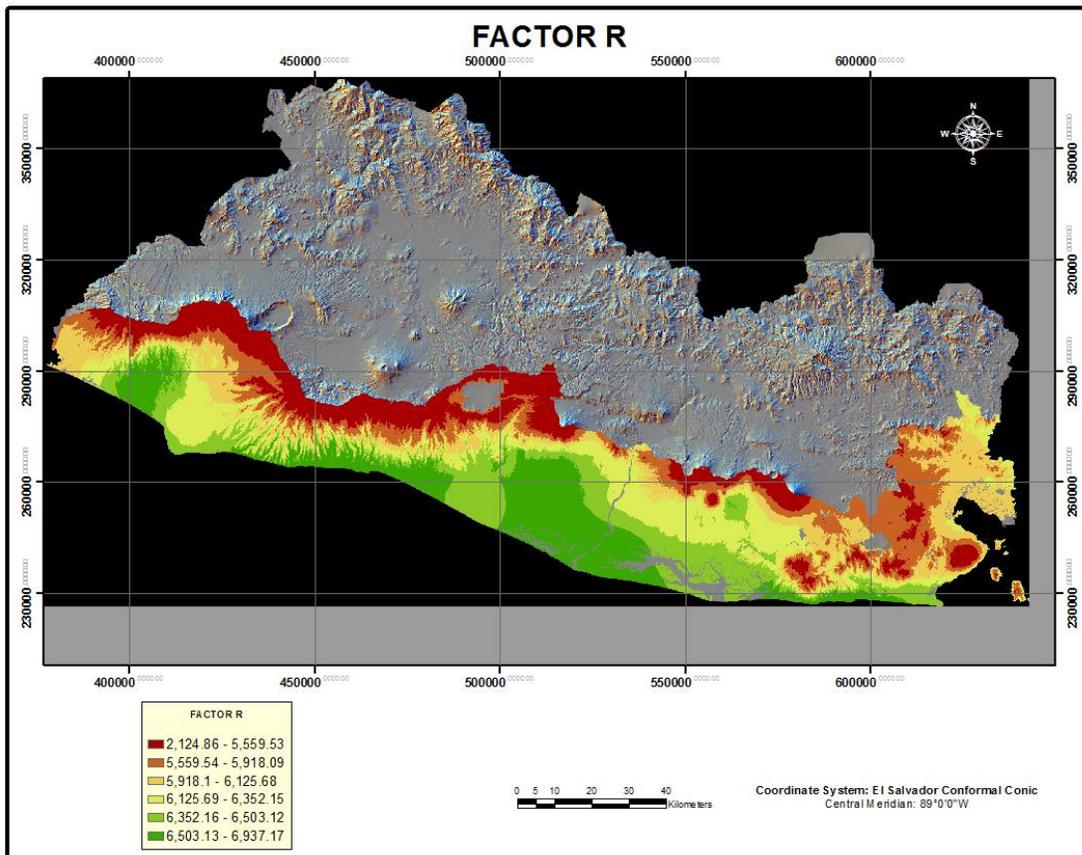
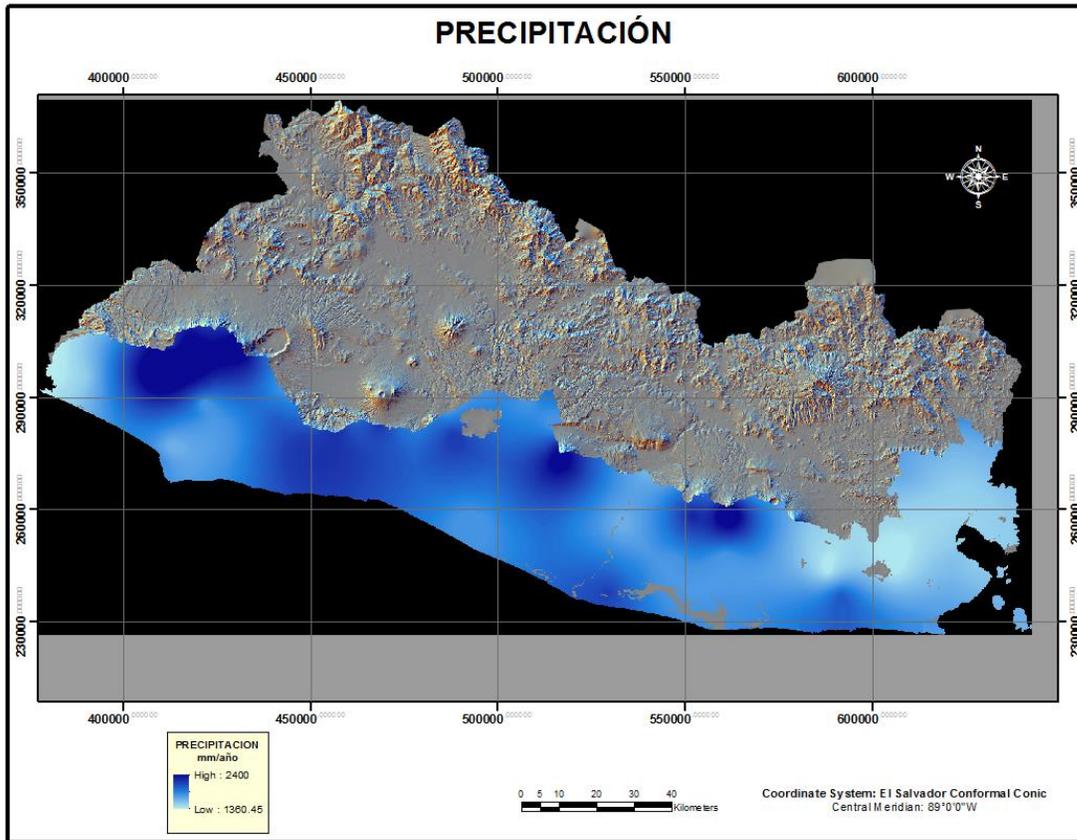
E: Elevación en metros.

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 Salvador¹ 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.

A continuación se muestra el mapa de precipitación utilizado y el mapa del Factor R ya procesado.

¹ Escalante, A.2010, UCA. Evaluación de riesgo de erosión, Cuenca Barra de Santiago. Universidad Centroamericana José Simeón Cañas



Figuras No.2 y No.3: El primero es un Mapa de precipitación en mm/año y el segundo es el resultado de la aplicación de la fórmula para la obtención del Facto R de la fórmula de la RUSLE.

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 los datos que se determinaron para estudios realizados por la UCA² a partir del mapa pedológico fuente del Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales MARN.

TIPO DE SUELOS	FACTOR K
ALUVIALES	0.55 -0.36
ANDISOLES	0.6
GRUMOSOLES	0.2 - 0.7
LATOSOLES ARCILLO ROJIZOS	0.19
LITOSOLES	0.20
REGOSOLES	0.15

Tabla No. 1. Valores de Factor de Erodabilidad del Suelo (K) de acuerdo estudios realizados por la UCA.

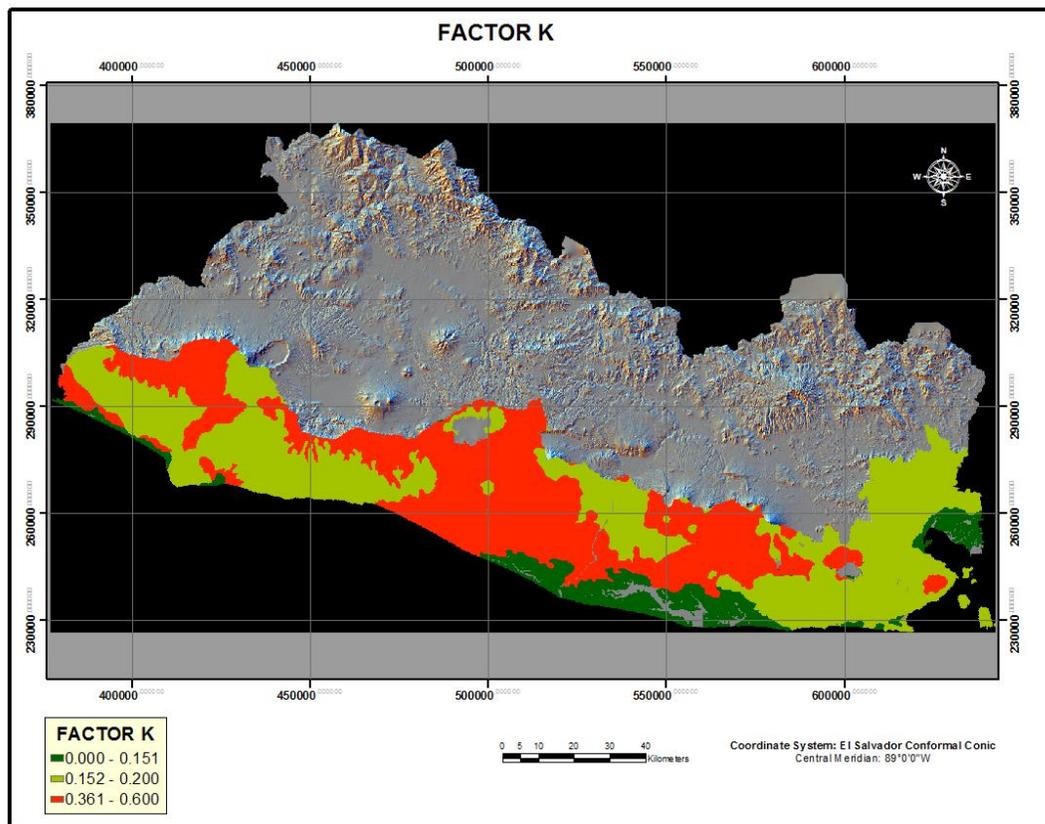


Figura No.4: Distribución de valores del factor K

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

FACTOR DE CULTIVO 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. En manejo de cuencas este factor puede ser modificado a fin de minimizar las pérdidas de suelo por erosión.

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. Wischmeier, 1978, proporciona tablas con valores de C para varios cultivos en diferentes condiciones de siembra y manejo. El coeficiente C varía con el porcentaje de cobertura del dosel, así como por la cobertura superficial y para un cultivo anual, C varía a lo largo del ciclo.

La estimación del Factor de Uso y Manejo de Suelos C fue realizado 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, la cuales se muestra más adelante. 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 para la Zona Costera de El Salvador.

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

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 (mosaico de imágenes), para lo cual se utilizaron las imágenes Landsat 8 correspondientes a esas fechas. 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 en la Zona Costera de El Salvador muestra los valores más altos, asociados a vegetación más saludable y mejor cobertura vegetal en la zona alta de las cuencas, 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.

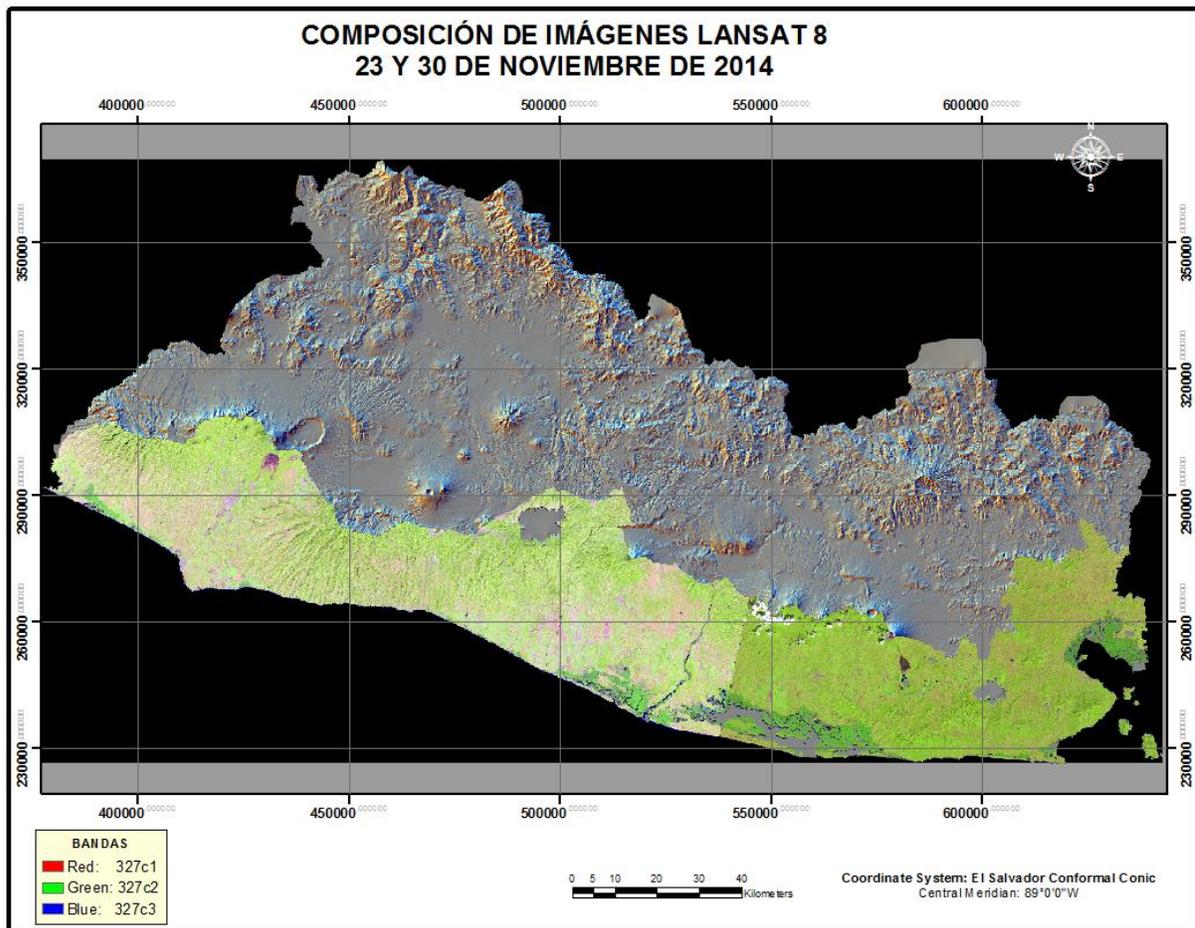


Image Quality VICID 1 - 2

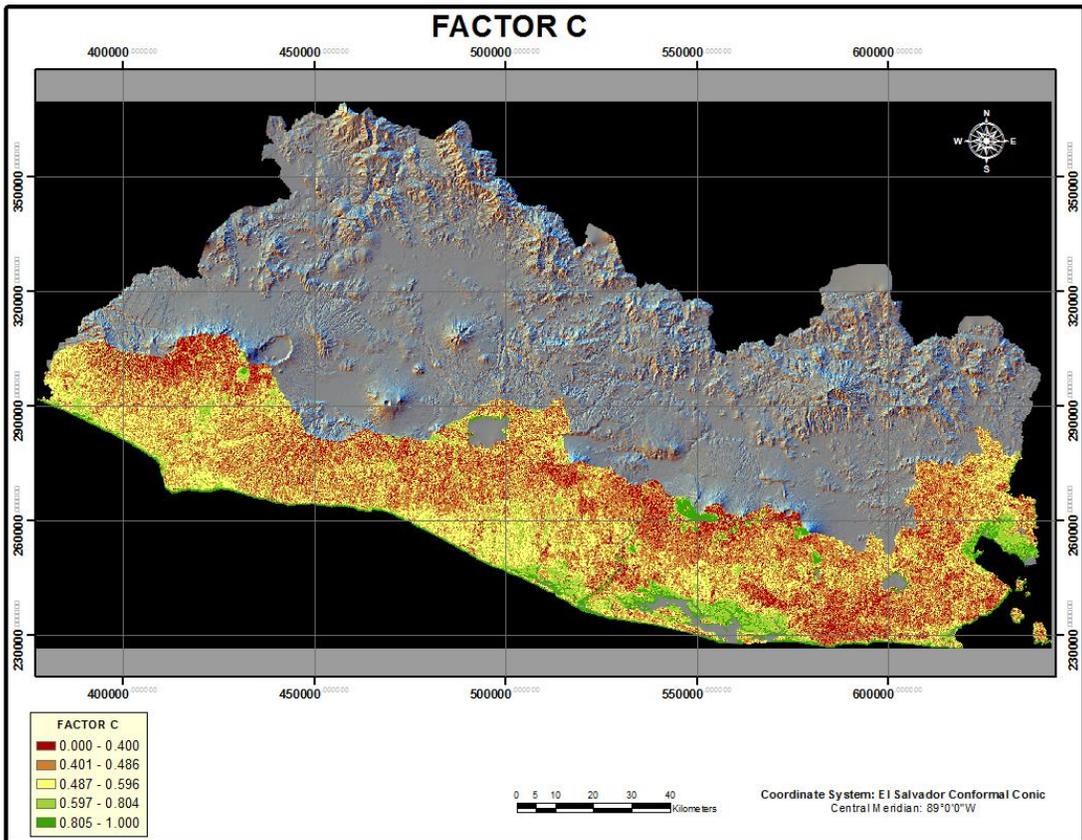
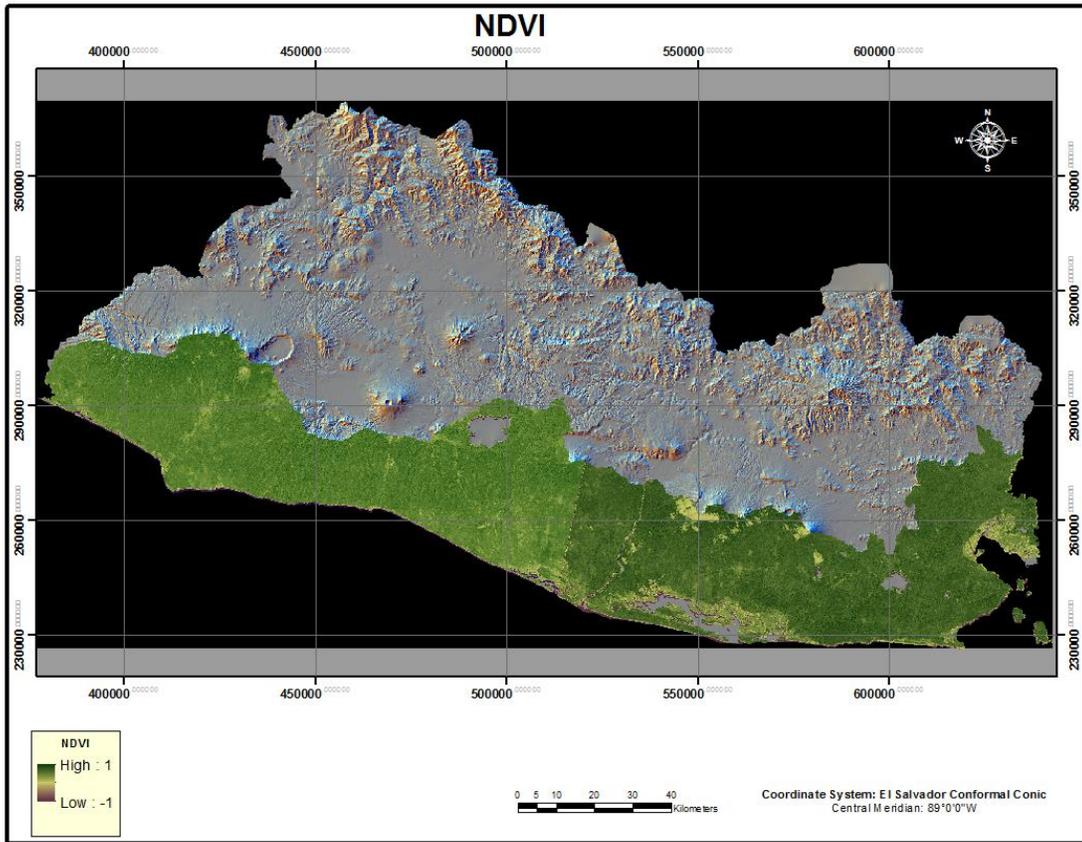
- Field Definition:** A single digit number that represents an image quality value used by the Landsat 7 Processing System (LPS). Image Quality 1 represents quality for format 1 (bands 1, 2, 3, 4, 5, 6i) and Image Quality 2 represents quality for format 2 (bands 6h, 7 and 8). Values for each format can range from 0 - 9.

The image quality is based on the number and distribution of bad scans or equivalent bad scans in a scene. It is computed by dividing the total number of filled minor frames for a scene by 6313 (the nominal number of image data minor frames in a major frame for 30 meter bands). This will give a number of equivalent bad scans. The distribution of filled minor frames is characterized as being either clustered or scattered. A cluster of 128 bad scans will still yield a scene with a cluster of 246 good scans which is two-thirds of a scene. A scattering of 128 bad scans may make the entire image worthless.

Values:
VICID = Virtual Channel Identifier
Value for Image Quality:

Value	Quality
9	No errors detected, a perfect scene
8	Less than or equal to 4 equivalent bad scans, clustered
7	Less than or equal to 4 equivalent bad scans, scattered
6	Less than or equal to 16 equivalent bad scans, clustered
5	Less than or equal to 16 equivalent bad scans, scattered
4	Less than or equal to 64 equivalent bad scans, clustered
3	Less than or equal to 64 equivalent bad scans, scattered
2	Less than or equal to 128 equivalent bad scans, clustered
1	Less than or equal to 128 equivalent bad scans, scattered
0	Greater than 128 equivalent bad scans, scattered (more than 33% of scene is bad)
-1	Image quality not calculated or assessed

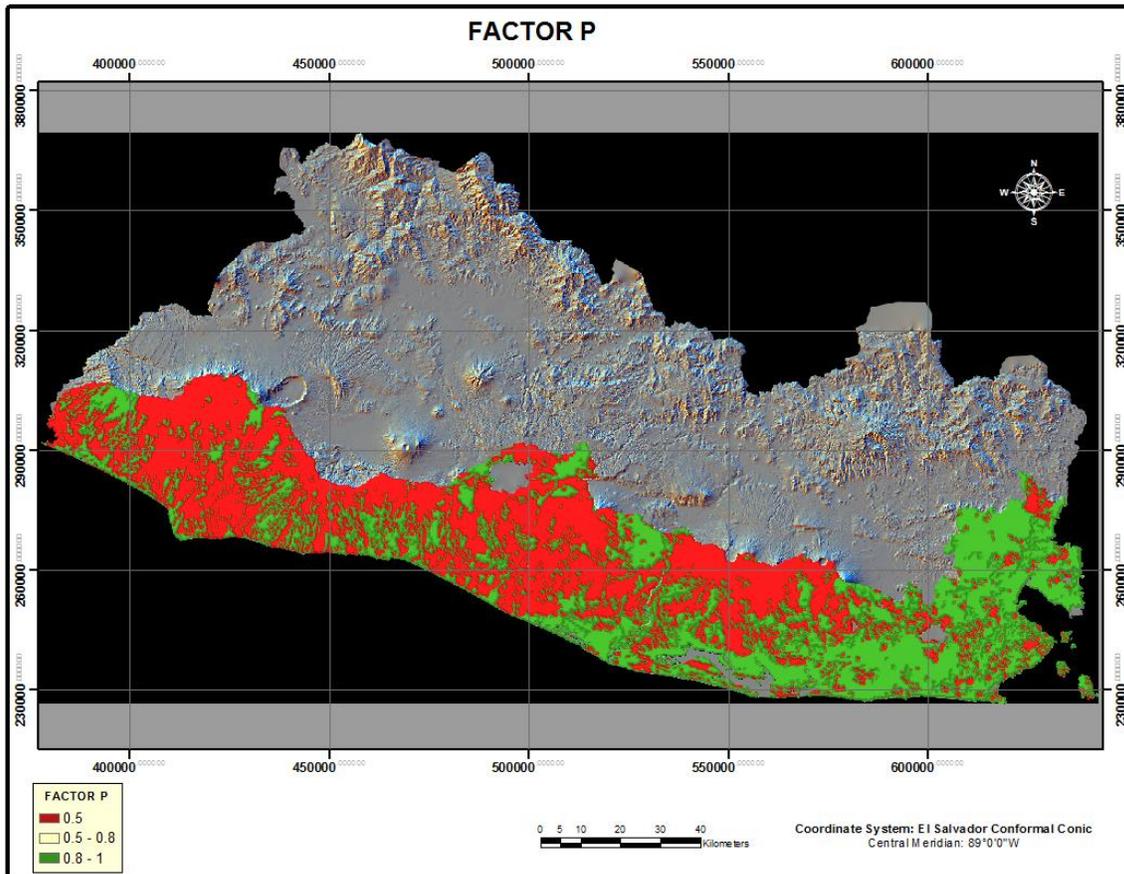
Figura No.5 y No.6: El primer mapa es el mosaico de las imágenes Lansat 8 y la segunda figura es la definición de la calidad de las imágenes, las que para este caso tienen valor = 9 es decir sin errores es una escena perfecta.



Figuras No.6 y No.7: El primer mapa es el resultado de la obtención del NDVI (Índice de Vegetación Diferencia Normalizado); y el segundo es el que corresponde al cálculo del valor C de la ecuación de RUSLE.

FACTOR DE PRÁCTICA CONSERVACIONISTA 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. La Tabla de la fig. No.8 presenta los valores más comunes de P, de acuerdo a la práctica conservacionista y la pendiente.



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

Figuras No. 8 y Tabla No.2: Mapa del Factor de Prácticas Conservacionistas del Suelo (P) para diferentes pendientes y Tabla de valores respecto a la pendiente.

EL 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 modelo RUSLE, asigna una mayor influencia a la longitud de ladera que la considerada en la USLE, teniendo en cuenta que esta longitud de ladera es decisiva para la iniciación de la formación de regueros, a partir de los cuales se incrementan mucho las pérdidas de suelo en las laderas. De tal manera, en el cálculo de este factor con la aplicación del modelo RUSLE, a diferencia de USLE, se incluye un conocimiento general de las características del suelo, así como el uso, que es determinante en la relación entre la erosión en regueros y la erosión entre regueros. Este efecto viene recogido por el parámetro β , que es la relación entre la erosión en regueros y la erosión entre regueros que se produce en la ladera, y que se evalúa en función de la pendiente del terreno y el uso del suelo

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 la pendiente dadas 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.

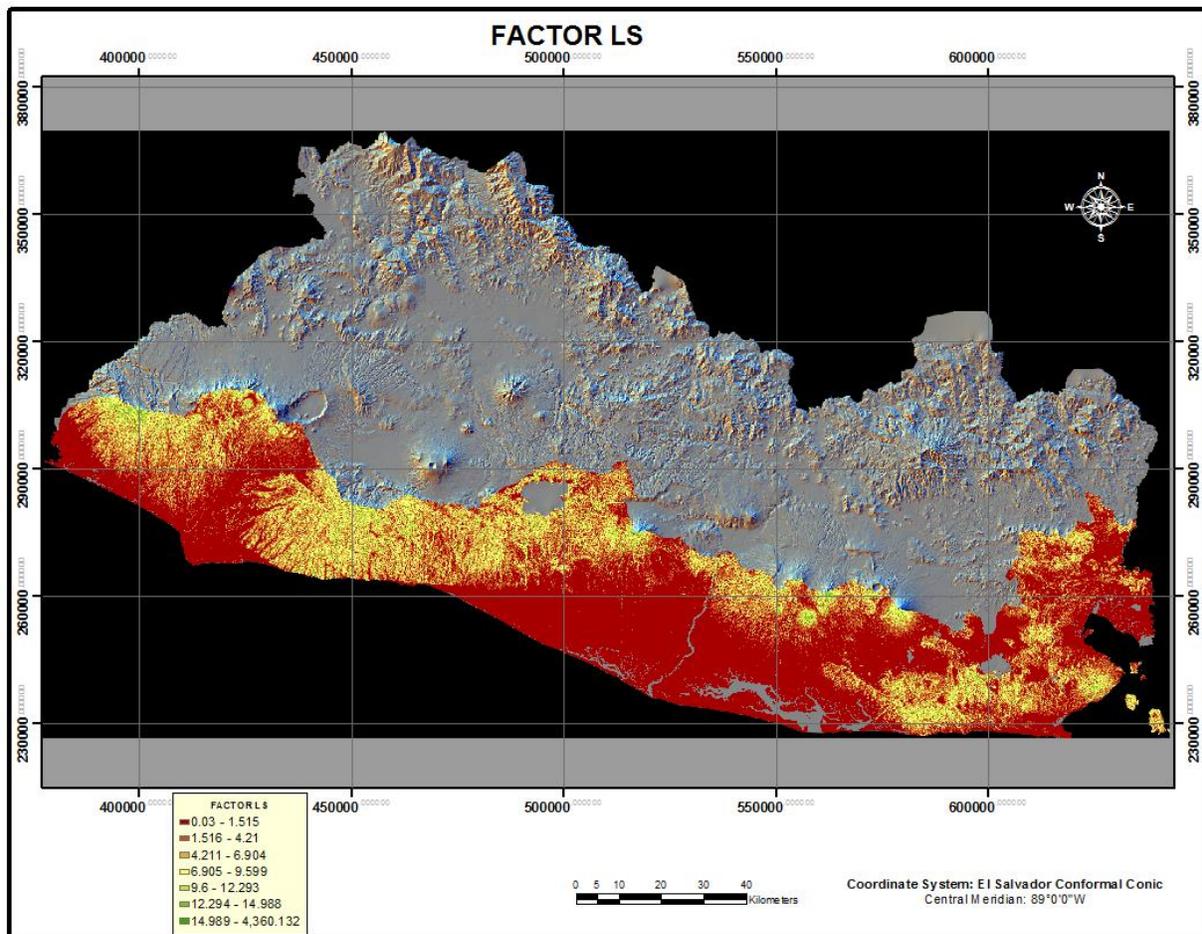


Figura No. 9. Mapa de Pendientes del área estudiada (Slope), los valores están dados en radianes

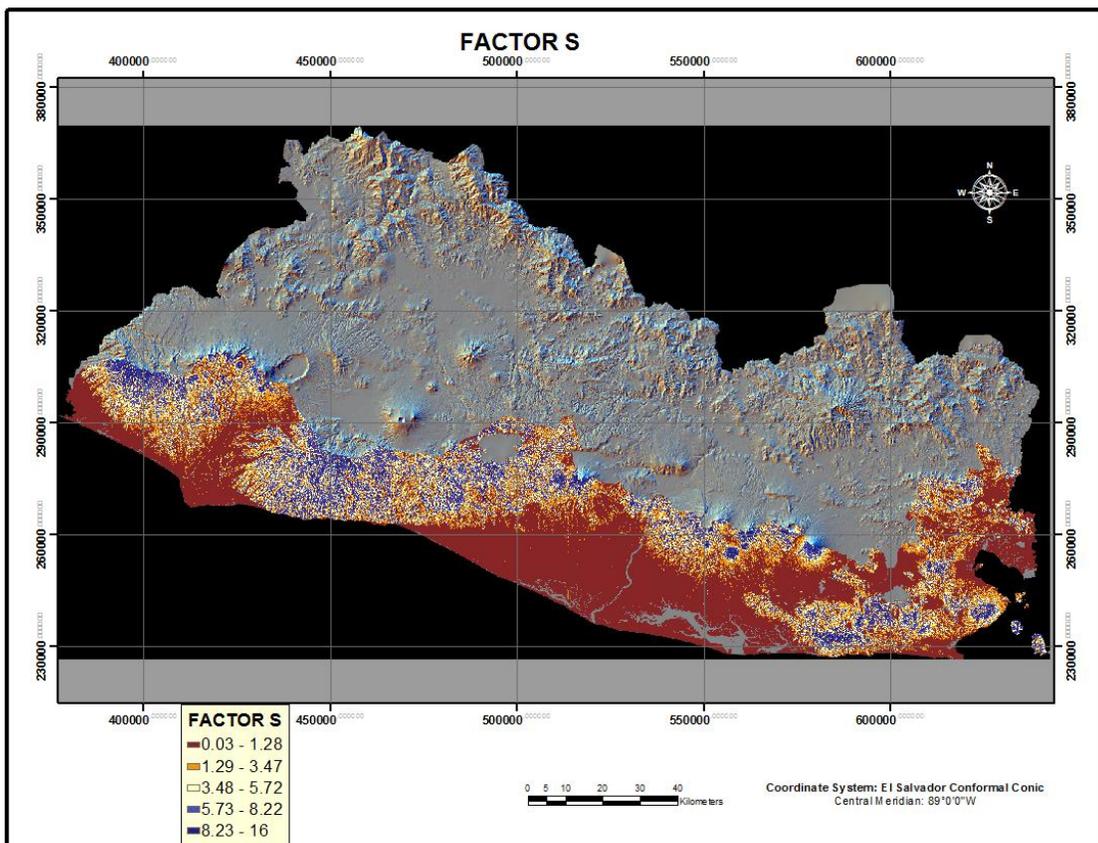
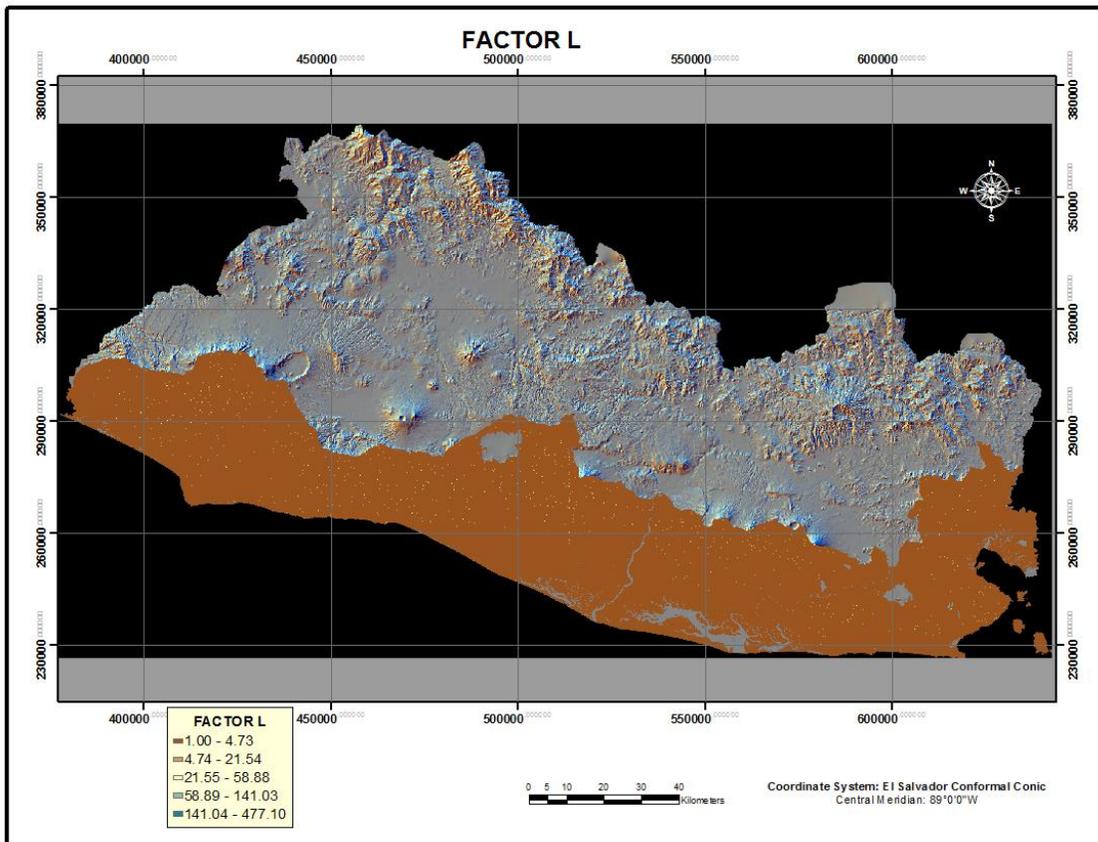


Figura No. 10 y No.11. Mapas de Factor L (Longitud de tramo) y Factor S (Pendiente del tramo).

OBSERVACIONES

Los mapas que se muestran a continuación son el resultado de la aplicación de la fórmula de la "RUSLE" (Revised Universal Soil Loss Equation), un método empírico de cálculo de erosión, enfocado a las parcelas agrícolas.

Por esta razón los datos generados deben ser tomados con el cuidado de considerar el punto de vista agrícola que tienen como origen, además de comprender que los valores no representan datos absolutos sino datos relativos, que dependen en gran medida de los valores escogidos para cada uno de los factores de la fórmula general.

Otro aspecto a considerar es que no se cuenta con trabajo de campo que pueda validar y generar datos más confiables.

Se tienen dos tipos de mapas: uno de "Volúmenes de Sedimento" que se obtiene de la aplicación directa de la fórmula de la RUSLE, y el otro de "Susceptibilidad a la Erosión" que se obtiene con la modificación de la fórmula RUSLE. Esta evalúa la vulnerabilidad innata del terreno a la erosión en base a la inclinación de la pendiente, la erosividad del suelo y la precipitación anual. Esta simplificación de la ecuación RUSLE excluye la cobertura terrestre, lo que permite identificar áreas vulnerables en donde tendría que evitarse la cobertura terrestre con más erosividad, o en áreas que ya han sido convertidas, es necesario implementar mejores prácticas de manejo.

La ecuación que rige la vulnerabilidad o susceptibilidad a la erosión es la siguiente:

$$\text{Vulnerabilidad} = R \times K \times S^{0.6}$$

Dónde:

R: Factor de descarga Pluvial

K: Factor de erosividad del suelo

S: Inclinación

Adicionalmente se han agregado como capas auxiliares los mapas de altura de sedimentos en el fondo marino, que fueron descargados de la página del National Geophysical Data Center (NGDC) de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

Los mapas que se generaron con las capas descargadas muestran la tendencia de acumulación en el frente de la plataforma continental, detalle de mucha importancia para determinar la dirección de las corrientes y el arrastre de sedimentos frente a nuestro país, sobre todo en la zona de aguas profundas.

ESPESOR TOTAL DE SEDIMENTOS DE LOS OCÉANOS DEL MUNDO Y LOS MARES MARGINALES, V.2³

La base de datos digital, del espesor total de sedimentos para los océanos del mundo y los mares marginales fue elaborada por el National Geophysical Data Center de NOAA (NGDC).

Estos datos fueron cuadrículados con un espaciado de la cuadrícula de 5 minutos de arco (aprox. 9 kilómetros). Los datos de espesor de sedimentos fueron compilados a partir de tres fuentes

³ Datos generales sobre la generación de la capa de espesor de sedimentos, de la página de la NOAA

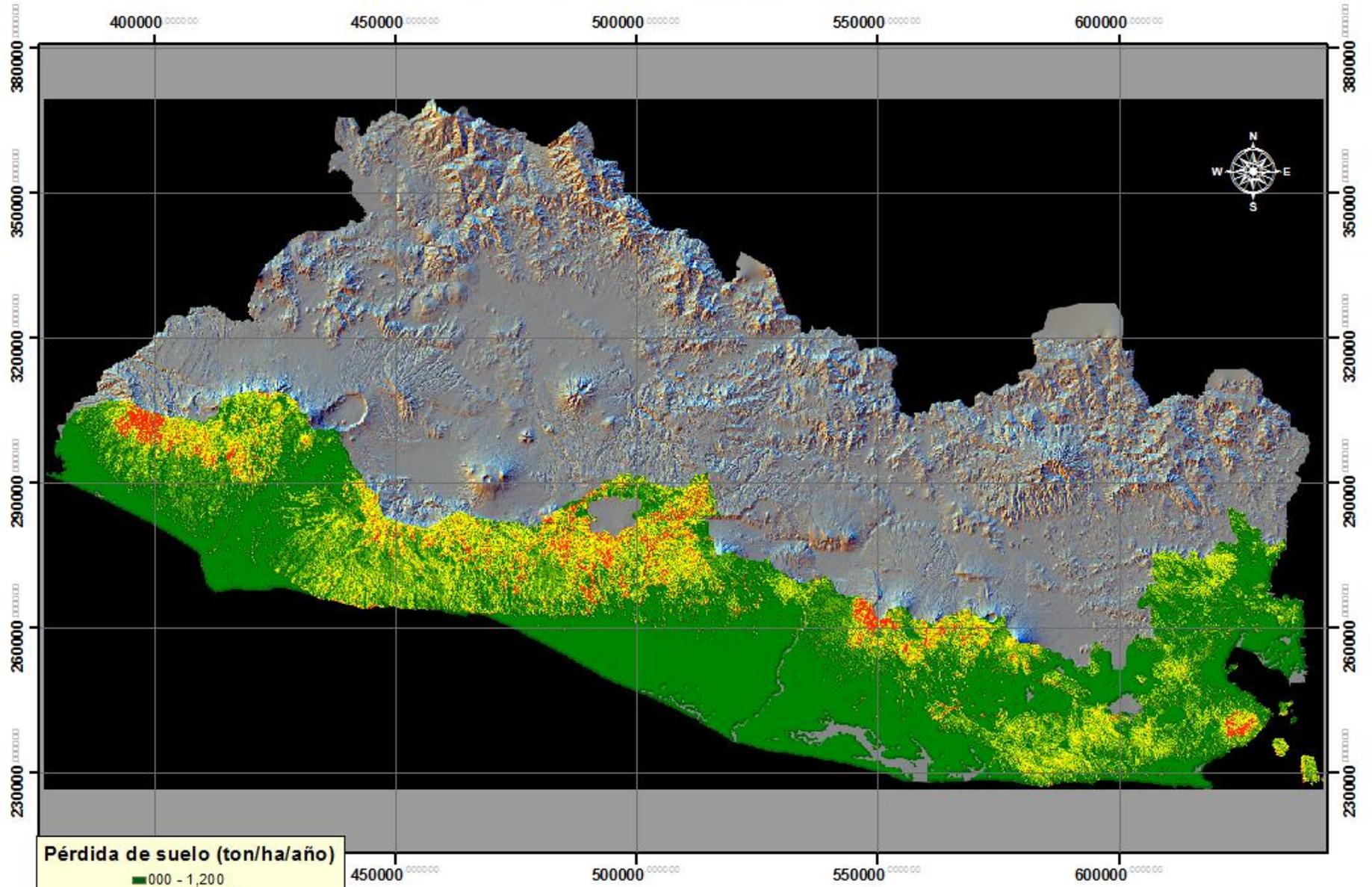
principales: (i) mapas isopacas previamente publicadas (Ludwig y Houtz [1979], Matthias et al. [1988], Divins y Rabinowitz [1990], Hayes y LaBrecque [1,991], y Divins [2003]); (ii) los resultados de perforación mar, tanto desde el Ocean Drilling Program (ODP) y el Proyecto de perforación en aguas profundas (DSDP); y (iii) los perfiles sísmicos de reflexión archivados en NGDC así como los datos sísmicos y mapas isopacas disponibles como parte de Atlas Geológico-Geofísico Internacional del COI del Océano Pacífico [Udinstev, 2003].

La distribución de los sedimentos en los océanos es controlado por cinco factores primarios:

1. Edad de la corteza subyacente
2. La historia tectónica de la corteza oceánica
3. Tendencias estructurales en el fondo
4. Naturaleza y la ubicación de la fuente de sedimentos, y
5. Naturaleza de los procesos sedimentarios de depositación.

Los datos digitalizados fueron cuadrículadas por NGDC utilizando el algoritmo de "Gridding con Splines de curvatura continua en tensión" de Smith y Wessel [1990]. Los valores de los datos se expresan en metros y representan la profundidad de fondo acústico (reflexión de señal acústica). Cabe señalar que el fondo acústico en realidad no puede representar la base de los sedimentos. Estos datos están destinados a proporcionar un valor mínimo para el espesor de los sedimentos en una región geográfica particular.

PÉRDIDA DE SUELO (ton/ha/ año)



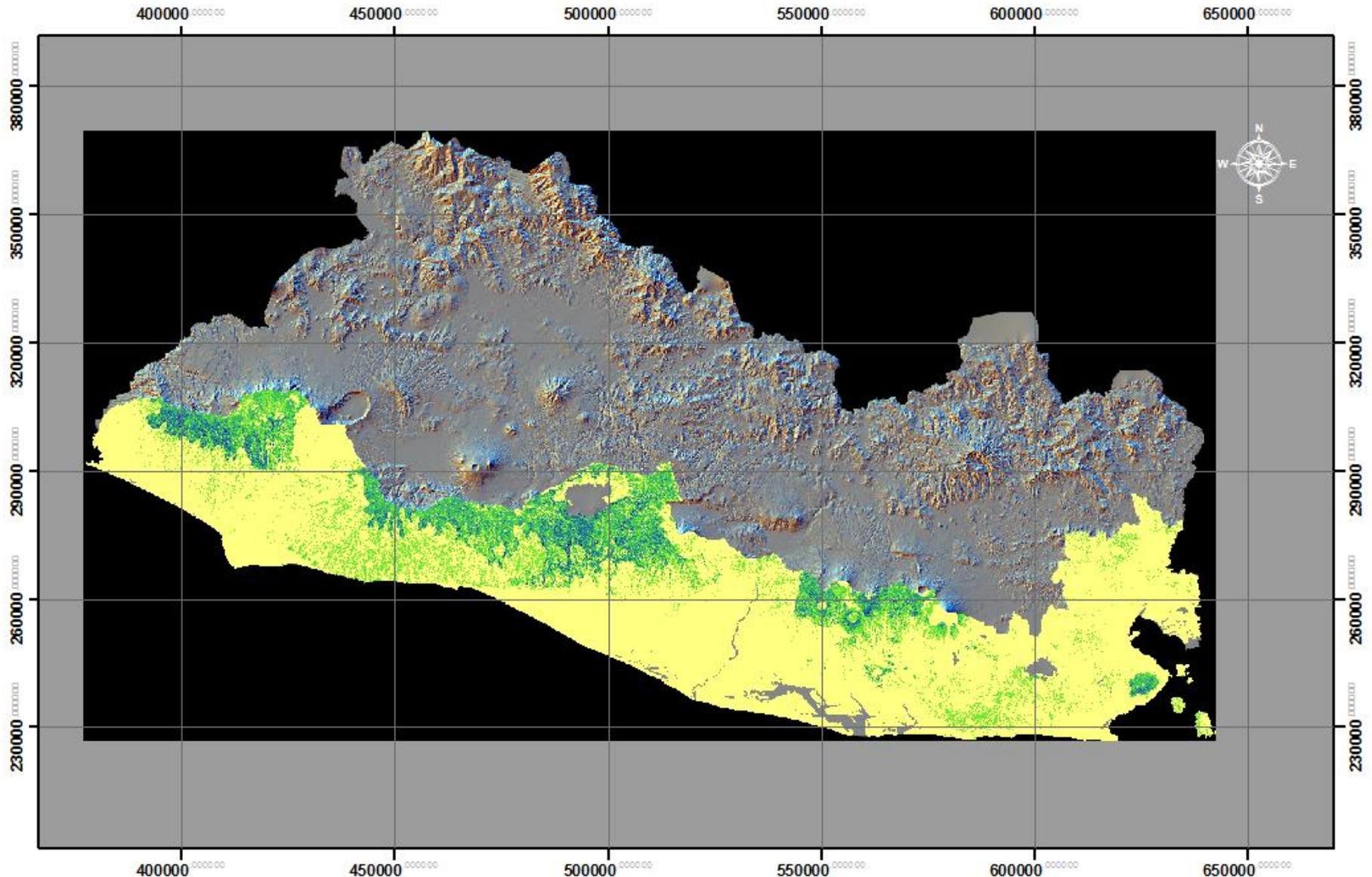
Pérdida de suelo (ton/ha/año)

000 - 1,200
1,201 - 2,400
2,401 - 3,600
3,601 - 4,800
4,801 - 6,000
6,001 - 7,200
7,201 - 8,400
8,401 - 15,000



Coordinate System: El Salvador Conformal Conic
Central Meridian: 89°0'0"W

SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSION

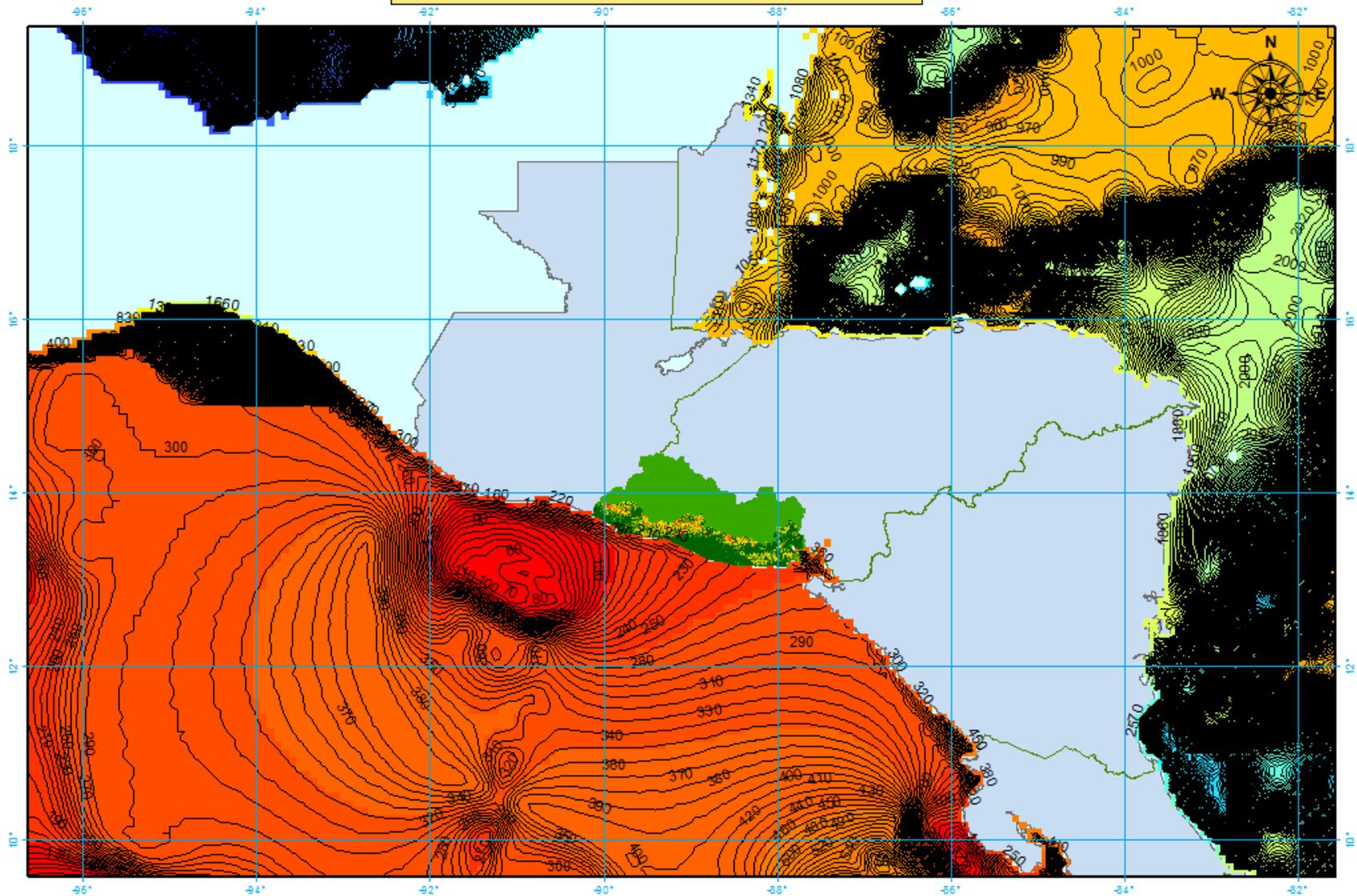


SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSION	
0 - 300	MUY BAJA
300 - 600	BAJA
600 - 1,000	MEDIA
1,000 - 1,300	ALTA
1,300 - 1,600	MUY ALTA



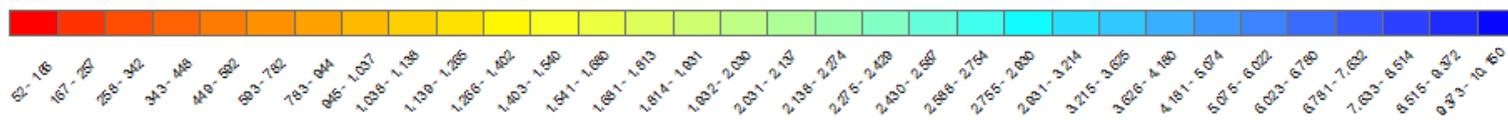
Coordinate System: El Salvador Conformal Conic
Central Meridian: 89°0'0"W

DISTRIBUCION DE SEDIMENTOS

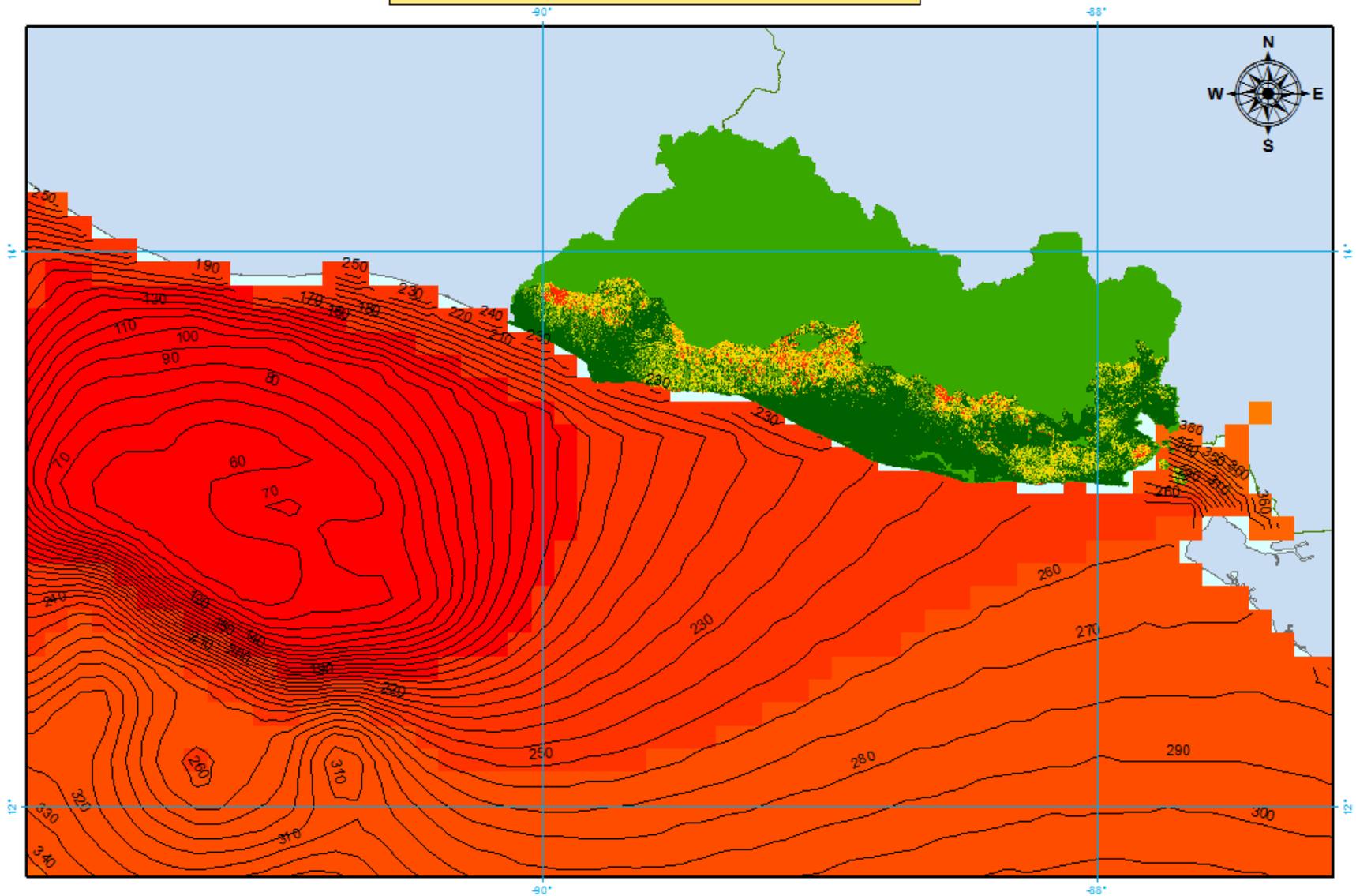


Altura de Sedimentos

Value



DISTRIBUCION DE SEDIMENTOS



Distribucion de Sedimentos
metros

- 52 - 166
- 167 - 257
- 258 - 342
- 343 - 448
- 449 - 592

0 5 10 20 30 40
Miles

Coordinate System:
Central Meridian:

5.0 BIBLIOGRAFIA

- RENARD, K.G., FOSTER, G.R., WEESIES, G.A., MC COOL, D.K, YODER, D.C. (1996).
Predicting Soil Erosion by Water: a guide with the Revised Universal Soil loss Equation (RUSLE).
Ed. USDA, Agriculture Handbook 703, Tucson (USA), 385 pp.
URL: www.iwr.msu.edu/rusle/
- Proyección de Pérdida del Suelo En La Cuenca del Río Jiboa, Utilizando El Método RUSLE/USLE
Aplicado En GIS, Violeta Aguilar de Consolín, Subdirección de Estudios Técnicos, DACGER,
Diciembre 2014
- Claves para la Taxonomía de Suelos, Departamento de Agricultura de los Estados Unidos
Servicio de Conservación de Recursos Naturales, NRCS
- Modelamiento hidrológico de la Descarga de las cuencas hidrográficas en el Arrecife
Mesoamericano, Laretta Burke y Zachary Sugg, Word Resources Institute.