

MAPA DE RIESGO DE EROSIÓN DE SUELO PARA LA CUENCA DEL RIO YAGÜEZ EN PUERTO RICO

Nelson M. Anaya (nelson.anaya@upr.edu)
Departamento de Ingeniería Civil
Universidad de Puerto Rico Recinto de Mayagüez

Resumen

Se han desarrollado varios modelos paramétricos los cuales son utilizados para predecir la erosión de los suelos en las cuencas hidrográficas. La Ecuación de Pérdidas de Suelo Universal Revisada, RUSLE (por sus siglas en ingles), es comúnmente utilizada para la estimación anual de pérdida de suelos agrícolas en cuencas. Esta ecuación consiste en la multiplicación de ciertos parámetros los cuales pueden ser determinados con: modelos ya definidos, software y ecuaciones empíricas las cuales están relacionadas con datos característicos de la zona de estudio.

Este estudio utiliza la ecuación RUSLE para calcular y evaluar la cuenca del Río Yagüez el cual nace al suroeste del municipio de Las Marías y al noroeste del municipio de Maricao.

Los resultados muestran que con la imagen de ETM+ se observan los valores con mayor riesgo de erosión, los cuales corresponden a 530 ton/ha*año y permiten evidenciar que cerca del 85% de la cuenca presenta pérdida de suelo categoría muy baja moderada.

Palabras clave: GIS, Percepción Remota, RUSLE, Sedimentos.

Introducción

La dinámica de la hidrósfera y de la atmósfera sobre la superficie terrestre produce un lento cambio conocido con el nombre de procesos geológicos externos. Estos se dividen en cuatro grandes grupos, los cuales conocemos como: meteorización, erosión, transporte y sedimentación. La meteorización es el proceso de destrucción de las rocas ya sea física, química y biológica. Por otra parte, la erosión es el desgaste superficial debido a la fuerza de la lluvia o de la escorrentía, el viento, la fuerza gravitacional o las actividades humanas. El desgaste produce un desplazamiento de las partículas resultantes de la meteorización, llamado transporte, para finalmente acumularse las partículas en los sitios bajos, donde la gravedad ejerce de fuerza selectora del grano y esto último es lo que se conoce como sedimentación.

Este estudio se enfoca en el estudio de erosión del Río Yagüez. Se compararan los resultados con los datos históricos y se cuantificará los sedimentos generados en dicha cuenca utilizando la Ecuación de Pérdidas de Suelo Universal Revisada-RUSLE (por sus siglas en ingles).

Objetivos del Estudio

El principal objetivo del presente estudio fue construir un mapa de erosión de la cuenca del río Yagüez, para correlacionarlo con cambios en el uso del terreno. A su vez, comparar los datos de erosión generados con datos históricos. Todo lo anterior utilizando el modelo de pérdida de suelos universal revisado (RUSLE) por sus siglas en ingles, para cuantificar los sedimentos generados en la cuenca de estudio.

Metodología

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelos Revisada (RUSLE), es un modelo empírico simple basado en el análisis de regresión de las razones de pérdida de suelo a partir de gráficas de erosión en Estados Unidos. Sirve para estimar las tasas de erosión anual a largo plazo y ha sido aplicada en zonas de diferentes escalas y se muestra a continuación:

$$A=R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1)$$

Donde: (R) es la erosividad de la lluvia, (K) es la susceptibilidad de erosión del suelo, (L) es el largo de la pendiente, (S) es la magnitud de la pendiente, (C) es la cubierta y manejo de cultivos, (P) son prácticas de conservación y (A) es la pérdida de suelos promedio por el período de tiempo representado, generalmente en un año.

La figura 1 muestra la metodología desarrollada para encontrar el valor de cada uno de los términos de la ecuación de RUSLE, los cuales son multiplicados entre sí para cada pixel en particular, encontrando el valor de la pérdida de suelo promedio en unidades de tonelada/hectárea*año.

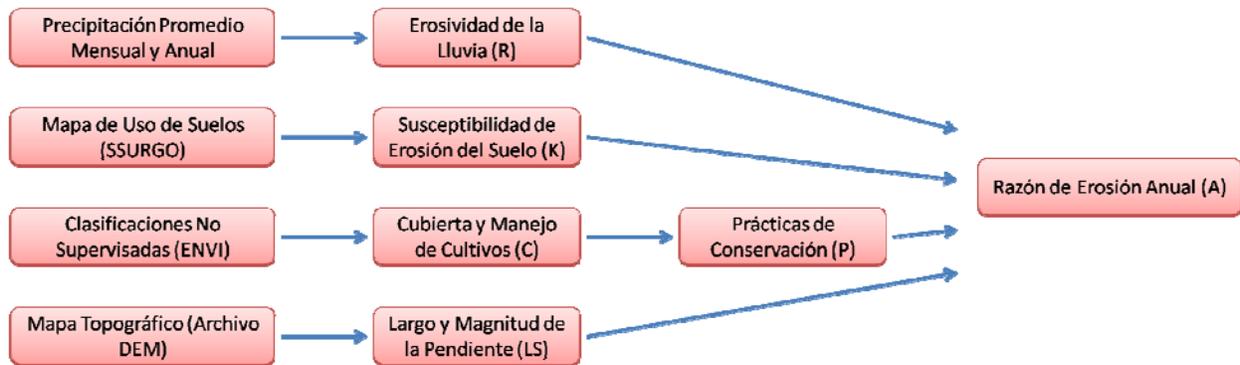


Figura 1: Metodología para Calcular la Razón de Erosión Anual (A)

Antes de explicar el desarrollo de cada una de las variables de la ecuación de RUSLE, se define el área de estudio, mencionando algunos parámetros relevantes de la zona

Área de estudio

El río Yagüez nace en las montañas Urayoán al suroeste del municipio de Las Marías y al noroeste del municipio de Maricao. Este río tiene una altura de 366 metros sobre el nivel del mar y una longitud aproximada de 20.8 kilómetros desde su nacimiento hasta que desembocadura en el Pasaje de Mona al oeste de Puerto Rico, corriendo generalmente de Este a Oeste. La cuenca tiene un área aproximada de 33.67 kilómetros cuadrados. En el curso del Río Yagüez está la Represa de Mayagüez, la cual está localizada entre el límite de los Barrios Bateyes y Limón del municipio de Mayagüez. En la figura 2, se puede apreciar las cuencas de Puerto Rico, y de manera especial aparece resalta la cuenca del Río Yagüez.

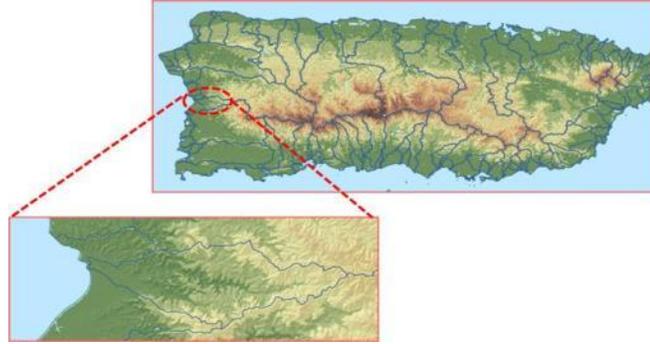


Figura 2: Ubicación de la cuenca del Rio Yagüez

Por su parte, la figura 3, muestra la zona de estudio (color Rojo) en una vista en 3D, la cual permite observar en detalle el relieve de la zona.

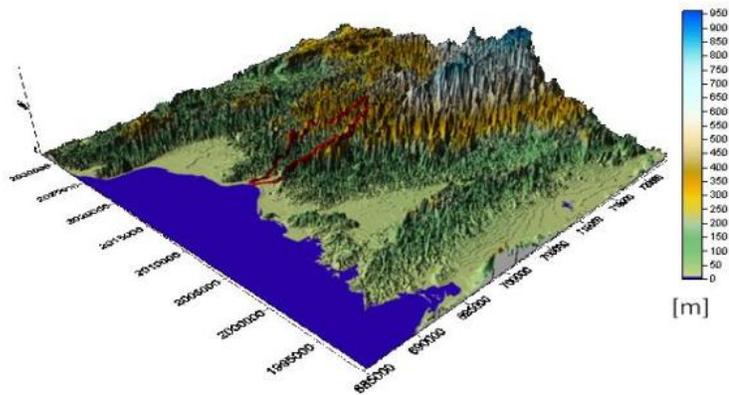


Figura 3: Zona de estudio en 3D

Factores para la ecuación de RUSLE

A continuación se presenta en detalle el procedimiento para calcular cada uno de los términos de la ecuación de RUSLE. Esto es, desde los datos necesarios que necesita cada término como el respectivo mapa generado para cada variable.

Factor R

Para el cálculo de este factor (erosividad de la lluvia) se utilizó la fórmula de Arnolds (Ecuación 2), la cual depende de la precipitación mensual y anual de la zona de estudio (Ecuación 3). A partir de catorce (14) estaciones de lluvia adquirimos los datos, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1: Estaciones de lluvia en la cuenca del Río Yagüez

Station	lat	long W	R
Adjuntas 1 nw	18 10'	66 43'	832.687
Adjuntas substation	18 10'	66 48'	765.126
Borinquen airport	18 30'	67 07'	278.152
Lares	18 16'	66 50'	1005.82
Maricao fish	18 10'	66 58'	1234.13
Maricao 2	18 08'	66 58'	758.432
Mayaguez airport	18 15'	67 09'	682.112
Mayaguez city	18 10'	67 07'	734.657
Mayaguez island	17 58'	67 03'	189.674
Puerto real	18 04'	67 10'	319.224
Sabana Grande	18 04'	66 55'	523.86
San sebastian 2 wnw	18 21'	67 01'	1027.09
Utua	18 16'	66 40'	638.485

$$R = 0.032 * (RI)^{1.9} \quad (2)$$

$$RI = \sum \frac{MR^2}{AR} \quad (3)$$

Donde,

MR: Lluvia mensual (mm)

AR: Lluvia anual (mm)

Una vez se han calculado los valores de RI y estos a su vez reemplazados en la ecuación (2); con la ayuda de algoritmos geo-estadísticos se construye el mapa de erosividad de la lluvia, el cual se aprecia en la siguiente figura.

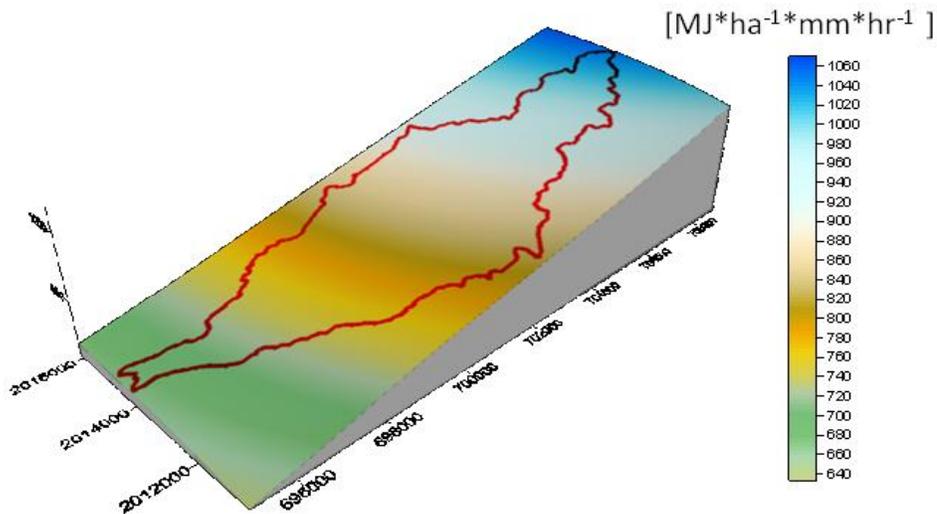


Figura 4: Factor R

Factor K

Con la información provista por SURGO, se procede a construir el mapa de susceptibilidad de erosión del suelo, el cual se muestra a continuación, donde para cada pixel existe un valor de K, dependiendo del tipo de suelo, permeabilidad, conductividad, entre otros.

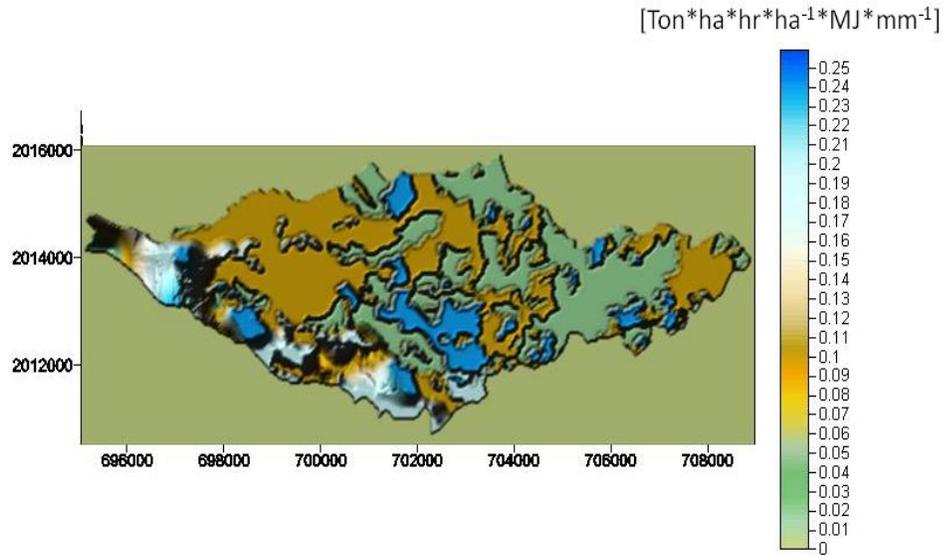


Figura 5: Factor K

Factor LS

En primer lugar se obtuvo el mapa de pendientes en porcentaje a partir de los modelos de elevación digital - DEM (por sus siglas en inglés), con 30 metros de resolución espacial, para calcular el largo (L) y la magnitud de la pendiente (S) mediante la siguiente relación matemática:

$$LS = \frac{L^{0.5}}{22} * (0.065 + 0.045 * S + 0.0065 * S^2) \quad (3)$$

Donde: L= 30 metros y [S] = %

En la figura 6, se puede apreciar la distribución de LS, para la zona de estudio, donde los valores máximos oscilan entre 90

Figura 6: Factor K

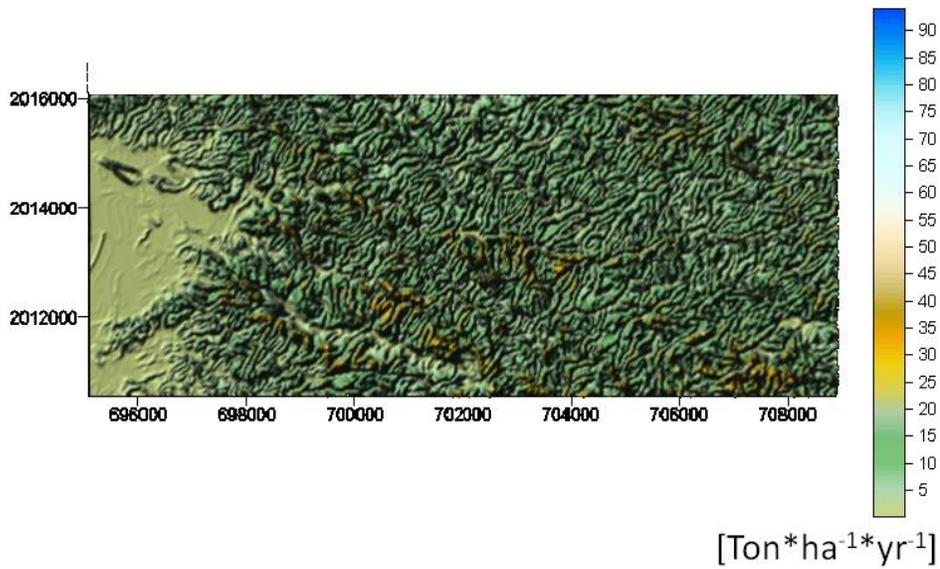


Figura 7: Factor LS

Factor C

Para hallar el factor de cubierta y manejo de cultivos, se utilizaron las respectivas imágenes de LandSat, estas fueron: MSS, TM y ETM+, de la zona: Fila 47, columna 5. A cada imagen se le realizó una clasificación no supervisada, exactamente: K-Means, con ocho clases y cinco interacciones, por medio del programa ENVI 4.5, las cuales se muestran en las siguientes figuras.(8-10)

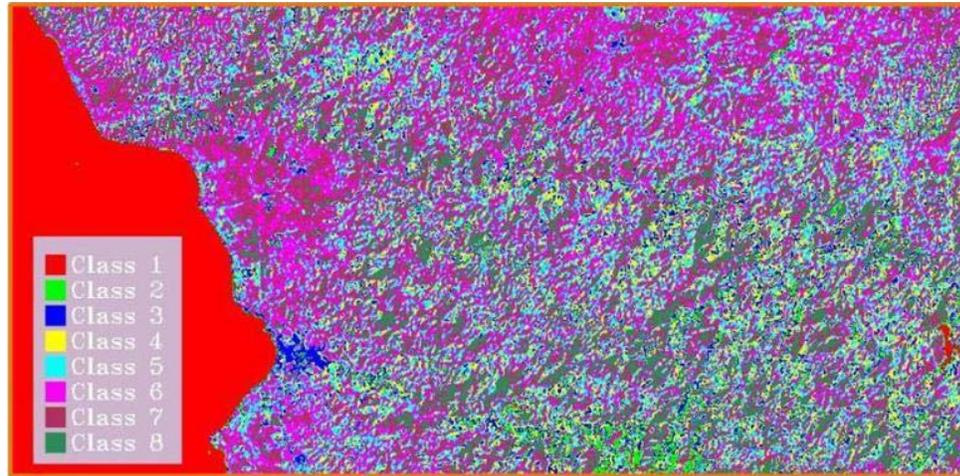


Figura 8: K-Means MSS

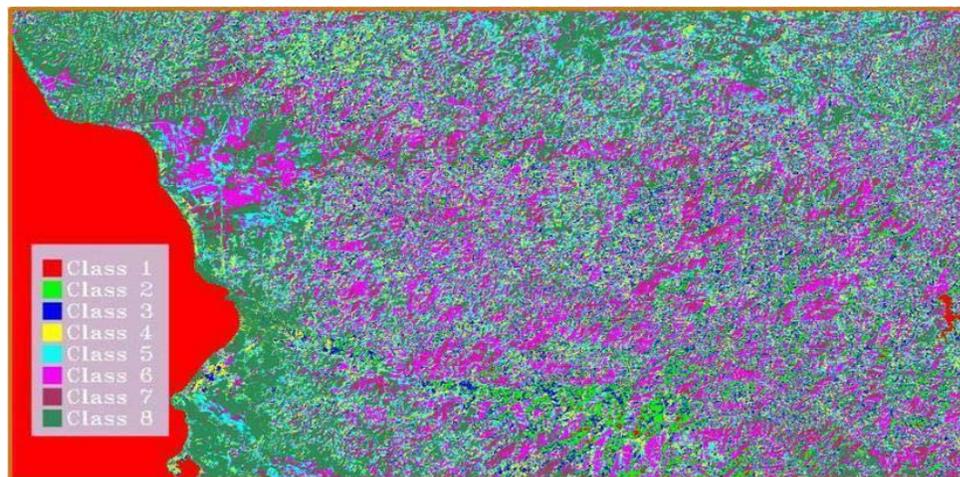


Figura 9: K-Means TM

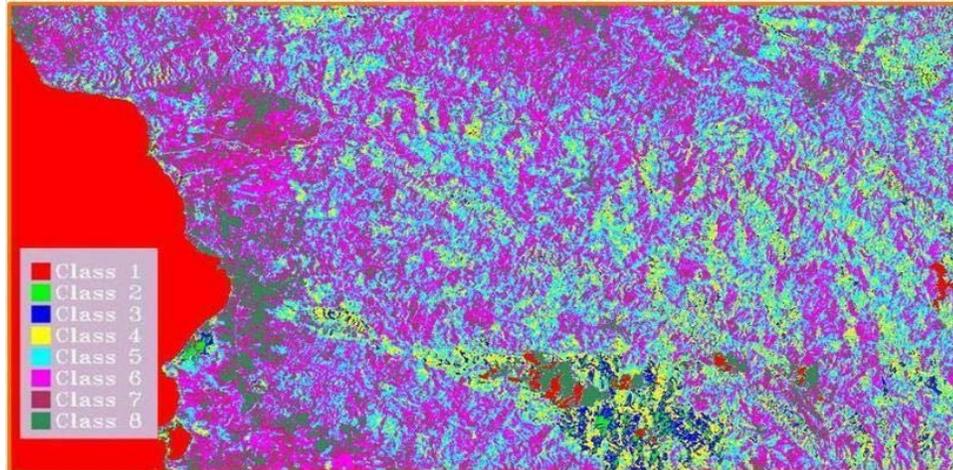


Figura 10: K-Means ETM+

Cada pixel de la zona de estudio, le correspondió una clase de la clasificación no supervisada, y para cada una de esas clases fue asignado un valor dependiendo que tipo de zona representaba, tales valores se encuentran en la tabla 2, Una vez se realiza la operación antes mencionada se encuentra el valor del factor C.

Tabla 2: Valores asignados para cada clase

CATEGORIA	C
Cuerpos de agua	0
Bosque Denso	0.002
Bosque Medio	0.006
Pasto	0.12
Cultivos	0.1
Ciudad	0

Al asignar cada uno de los valores de la anterior tabla a la clase respectiva, podemos generar los respectivos mapas para cada una de las imágenes del factor C, los cuales aparecen en las figuras de la 11-13.

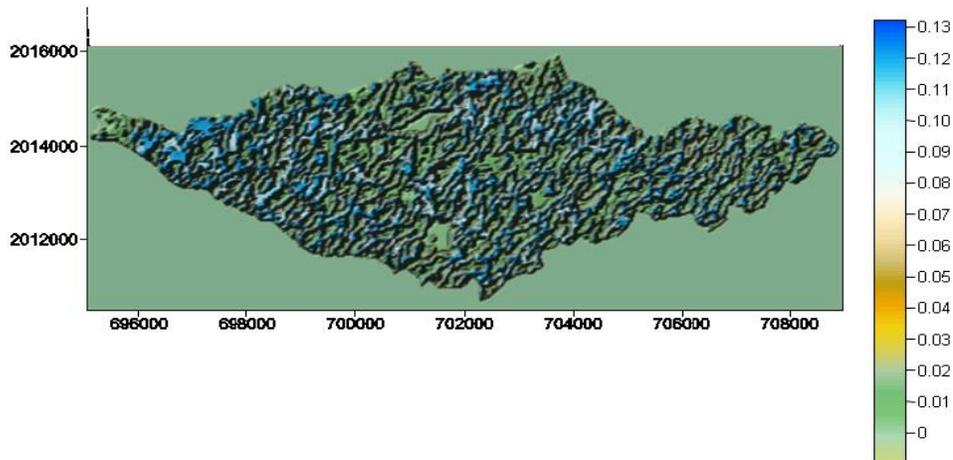


Figura 11: Factor C – MSS

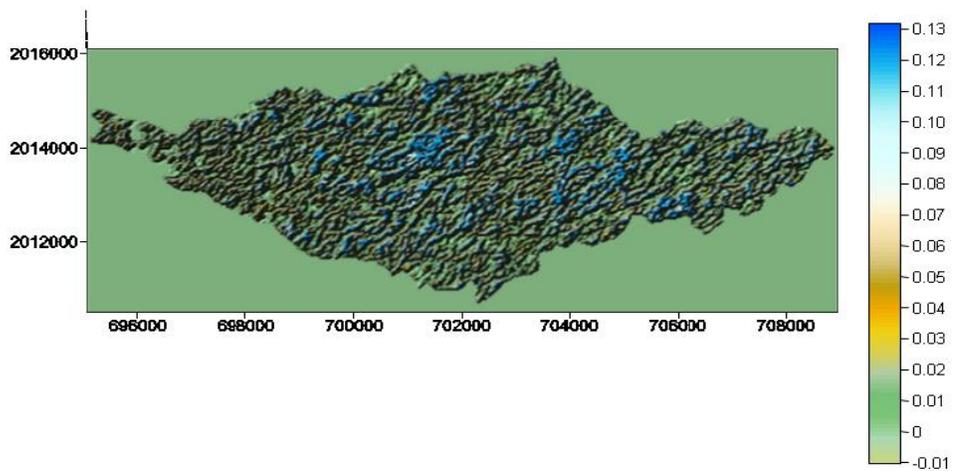


Figura 12: Factor C - TM

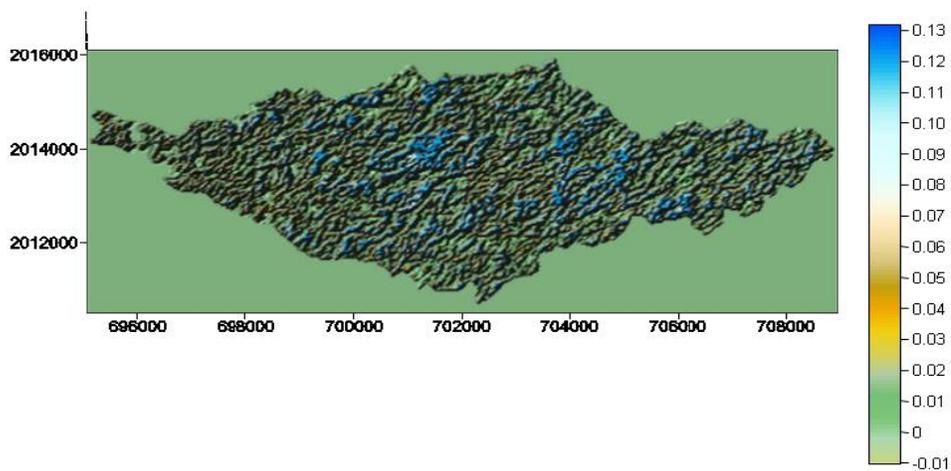


Figura 13: Factor C – ETM+

Mapas de Erosión

Cada pixel con su respectivo valor para cada termino de la ecuación de RUSLE es multiplicado entre si, para generar finalmente el mapa de erosión de cada imagen. Los respectivos resultados se muestran a continuación, en las figuras de la 14 a la 16.

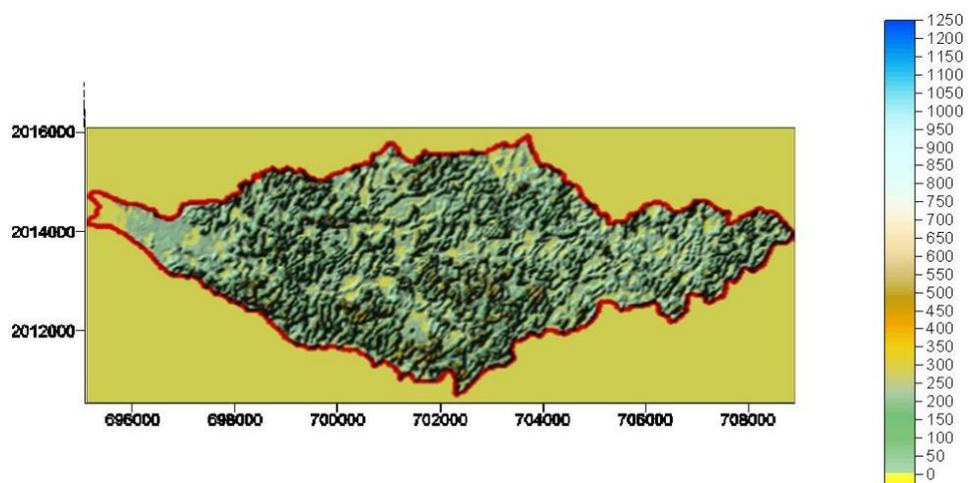


Figura 14: Mapa de erosión– MSS

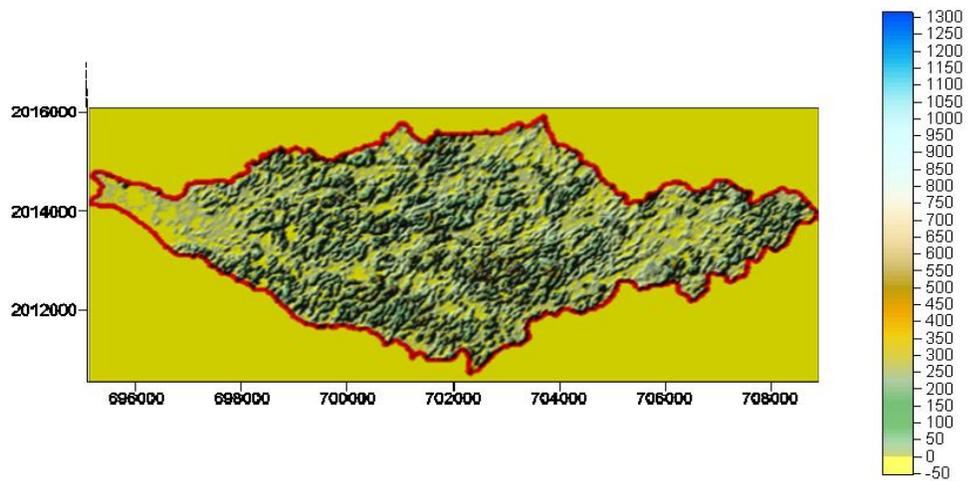


Figura 15: Mapa de erosión- TM

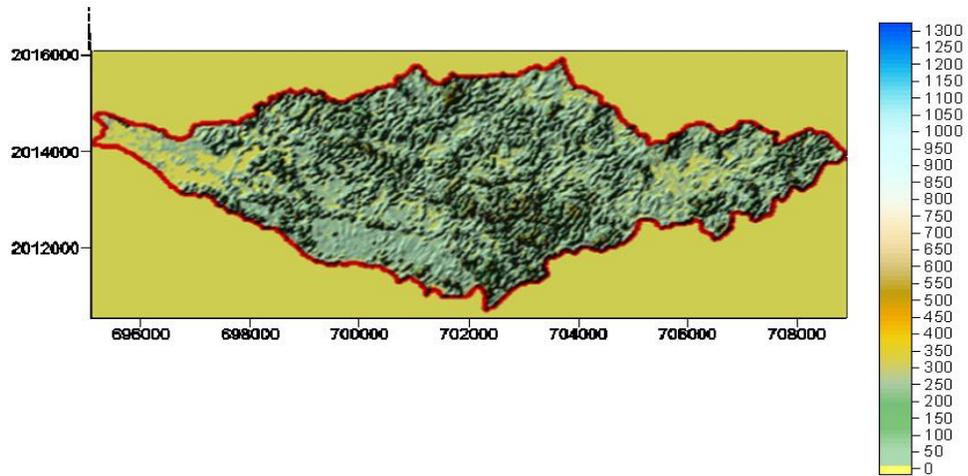


Figura 16: Mapa de erosión- ETM+

Discusión

Con la imagen de ETM+ se observan los valores con mayor riesgo de erosión (ver tabla 3), estos corresponden a 530 ton/ha*año y permite evidenciar que cerca del 85% de la cuenca presenta pérdida de suelo categoría muy baja moderada.

Tabla 3: Intensidad de Erosión para la cuenca del río Yagüez

Intensidad	Rango (Ton/ha*year)	MSS(%)	TM(%)	ETM+(%)
Muy Baja	0-5	55	50	78
Baja	5-12	7	5	4
Moderada	12-25	8	15	3
Alta	25-60	10	12	6
Muy Alta	60-150	10	22	4
Extremadamente Alta	> 150	10	8	5

“The Average Annual Soil Erosion by Water on Cultivated Cropland as a Portion of the Tolerable Rate, 1997.” muestra valores promedio para Puerto Rico entre 2 y 4 ton/ha/año, observando que un 62% en promedio de la cuenca se encuentra dentro de ese rango.

Referencias

WWW.landsat.org

www.ssurgo.usgs.gov

www.gers.uprm.edu

Land use/Land cover of two bioluminescent bays in Puerto Rico. Yadira Soto. Departamento de Geología. Universidad de Puerto Rico.2007.

Using ASTER Imagery in Land Use/cover Classification of Eastern Mediterranean Landscapes According to CORINE Land Cover Project. Alaaddin Yuksel, A. E. Akay and R. Gundogan. Sensors. Agosto, 2009.

Sampling Design for an integrated socioeconomic and ecological survey by using satellite remote sensing and ordination. Binford, M. W., T. J. Lee and R. M. Townsend. 2004.

Erosion de suelo y mapa de riesgo para la cuenca del Rio Grande de Añasco, Puerto Rico. Edwin Colon y Angel Anaya. Departamento de Geologia. Universidad de Puerto Rico.2007.