

DOI: <https://www.doi.org/10.53766/ECOSOS/>

ARTÍCULO 003 RES 17: 2024

*EVALUACIÓN DE LA DINÁMICA DE
EROSIÓN HÍDRICA Y PÉRDIDA DEL
SUELO UTILIZANDO TÉCNICAS DE
TELEDETECCIÓN Y SIG EN EL MUNICIPIO
RANGEL DEL ESTADO MÉRIDA*

Luis Raúl Veliz Guillén
Edgar Hernández Becerra

Artículo RES 003

EVALUACIÓN DE LA DINÁMICA DE EROSIÓN HÍDRICA Y PÉRDIDA DEL SUELO UTILIZANDO TÉCNICAS DE TELEDETECCIÓN Y SIG EN EL MUNICIPIO RANGEL DEL ESTADO MÉRIDA

Evaluation of the dynamics of hydric erosion and soil loss using teledetection and GIS techniques in the Municipal Rangel of Mérida state

¹ LUIS RAÚL VELIZ GUILLÉN

² EDGAR HERNÁNDEZ BECERRA

¹ Profesor de la Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil, Instituto de Fotogrametría. La Hechicera, Mérida, Venezuela. Correo electrónico: veliz.luis@gmail.com

² Universidad de Los Andes. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Escuela de Ingeniería Forestal Mérida, Venezuela.

Recibido: 03/07/2024 Aceptado: 29/10/2024

RESUMEN

Se presenta en este trabajo una metodología para evaluar el riesgo de erosión hídrica y estimar las pérdidas de suelo, con los Sistemas de Información Geográfica, en las condiciones particulares de relieve, vegetación, hidrografía y climatología de los Andes venezolanos. El riesgo fue evaluado mediante técnicas de análisis espacial y álgebra de mapas utilizando la *Ecuación Universal de Pérdida de Suelo* EUPS. Los factores considerados involucran la potencialidad erosiva de la lluvia y del escurrimiento superficial de las aguas, la susceptibilidad del suelo a la erosión, el efecto del grado y longitud de la pendiente del terreno, el uso y cobertura de los suelos y, finalmente, las prácticas de conservación. Los resultados obtenidos muestran relación con lo que observamos en el terreno al coincidir las zonas ya erosionadas con aquellas que manifiestan un alto riesgo de erosión.

Palabras clave: Sistema de Información Geográfica, riesgo, análisis espacial, ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS).

REVISTA ECODISEÑO & SOSTENIBILIDAD

DOI: <https://www.doi.org/10.53766/ECOSOS/> ISSN-1856-9552

Sede Institucional: Laboratorio de Sostenibilidad y Ecodiseño ULA-UPV, Laboratorio Nacional de Productos Forestales. Galpón Principal en Tercer Piso. Avenida Principal hacia Chorros de Milla. Conjunto Forestal. Mérida 5101, Venezuela. Teléfonos: +58-4169769364 / +58-4247370411. E-mail: revecodisostenibilidad@gmail.com revecodiseno@ula.ve

WEB: <http://revistas.saber.ula.ve/ecodiseno>

SUMMARY

It is presented in this paper a methodology for evaluating the risk of water erosion and soil loss, with the Geographic Information Systems, estimate in the special conditions of relief, vegetation, hydrology and climatology from the Venezuelan Andes. The risk was assessed using techniques of spatial analysis and algebra maps using the Universal Soil Loss Equation USLE. Factors considered involve the erosive potential of rain and runoff of water, soil susceptibility to erosion, the effect of grade and length of the slope of the land, use and coverage of the soil and finally practices conservation. The results show relation to what we see on the ground to coincide with areas already eroded those who express a high risk of erosion.

Keywords: Geographic Information Systems, risk, spatial analysis, Universals Equation of Soil Loss (EUPS).

1. INTRODUCCIÓN

La erosión de los suelos en los Andes venezolanos es un problema ambiental muy serio que afecta a gran parte de la región en diferentes grados de severidad. Durante las últimas décadas, en algunas zonas de los andes venezolanos están apareciendo e incrementándose procesos erosivos que pueden llevar a la desertificación de la región. La problemática que se deriva de esa situación nos ha servido como justificación para llevar a cabo este estudio.

En Venezuela, el deterioro de los suelos avanza rápidamente, haciéndose necesaria la realización de investigaciones que contribuyan al establecimiento de medidas de prevención y control, sobre la base de un buen conocimiento de los procesos de degradación y, de los recursos afectados.

Desde el inicio de los años 1970, se ha reportado la escasez de tierras de aptitud agrícola, con una cobertura de aproximadamente el 12% de la superficie del país, de la cual sólo el 2% se considera que corresponde a tierras agrícolas de buena calidad (COPLANARH, 1970). Particularmente la región de Los Andes representa una importante zona agrícola con la producción de cultivos anuales, semipermanentes y permanentes con significativos aportes en los rubros de hortalizas.

Es necesario destacar el hecho de que las causas indirectas de la mayoría de los procesos de degradación por la erosión hídrica en tierras altas son de naturaleza socioeconómica. Sin embargo, la adecuada identificación y entendimiento de las causas directas y de los procesos físicos que se desarrollan o pueden desarrollarse, resulta de fundamental importancia para la selección de sistemas y prácticas adecuadas para la prevención, control o corrección de la degradación.

El objetivo básico planteado en este trabajo ha sido el desarrollo de una *metodología, que permita cartografiar y evaluar las áreas con riesgo de erosión hídrica y su consecuente pérdida del suelo*. El trabajo está basado en el tratamiento digital de los datos aportados por *Sensores Remotos*, y su posterior integración en el marco de un *Sistema de Información Geográfica o GIS*, para identificar los parámetros que acotan el proceso de erosión en el contexto andino.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 MATERIALES

- Mapas topográficos a escala 1:25.000 (IGVSB)

Las imágenes que se utilizaron fueron las siguientes:

- **Landsat ETM+ P006R054_L7_061601**, cedida por el programa LandCoverFacility de la Universidad de Maryland, USA.
- **Spot 5 S080514133750023** cedida por el proyecto LPAIS del Centro de Procesamiento Digital de Imágenes (CPDI- FII), Caracas.
- **Aster AST_L1B_003_03022003151719_03222003175933**, cedida por el Laboratorio de Sensores Remotos y Fotogrametría de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad de Los Andes.
- Datos de los receptores GPS Diferencial Promark 2.
- Registros diarios, mensuales y anuales de precipitación de 8 Estaciones Climáticas.
- Mapa de suelos a escala 1:25.000 (Castillo, 1965) y Mapa de suelos de los Sistemas Ambientales de Venezuela (MARNR).
- Software básico: ArcGIS, QGIS 2.8 SIG, Erdas Imagine, Entorno para Visualizar Imágenes. (ENVI) es un software especializado en el procesamiento y análisis de imágenes geoespaciales, utilizado principalmente en aplicaciones de teledetección y análisis de datos satelitales.
- Hardware utilizado: 2Workstation Dell M6300. 4 GB de RAM, 250 GB Disco duro, 1GB de Video, Sistema Operativo Windows Xp.

2.2 Área de estudio

El área de estudio comprende la mayor parte de la cuenca alta del río Chama, extendiéndose desde el propio nacimiento del río Chama en la quebrada Mifafí a (4 600 m s.n.m.), hasta la antigua estación hidrométrica de Mucurubá, a 2 470 m s.n.m. Está delimitada por las divisorias de agua de la Sierra del Norte o de la Culata (margen izquierda), la Sierra de Santo Domingo y la Sierra Nevada (margen derecha) en el Municipio Rangel (Figura 1).

Geográficamente pertenece a la cordillera de Mérida y, a su vez, a la región de los Andes centrales de Venezuela; posee una orientación en sentido noreste suroeste, siguiendo la dirección general del eje orográfico andino – venezolano. Astronómicamente, se localiza entre los paralelos $8^{\circ} 37' 16''$ y $8^{\circ} 53' 29''$ de latitud norte, y los meridianos $70^{\circ} 48' 09''$ y $70^{\circ} 59' 55''$ de longitud oeste (Figura 2).

147

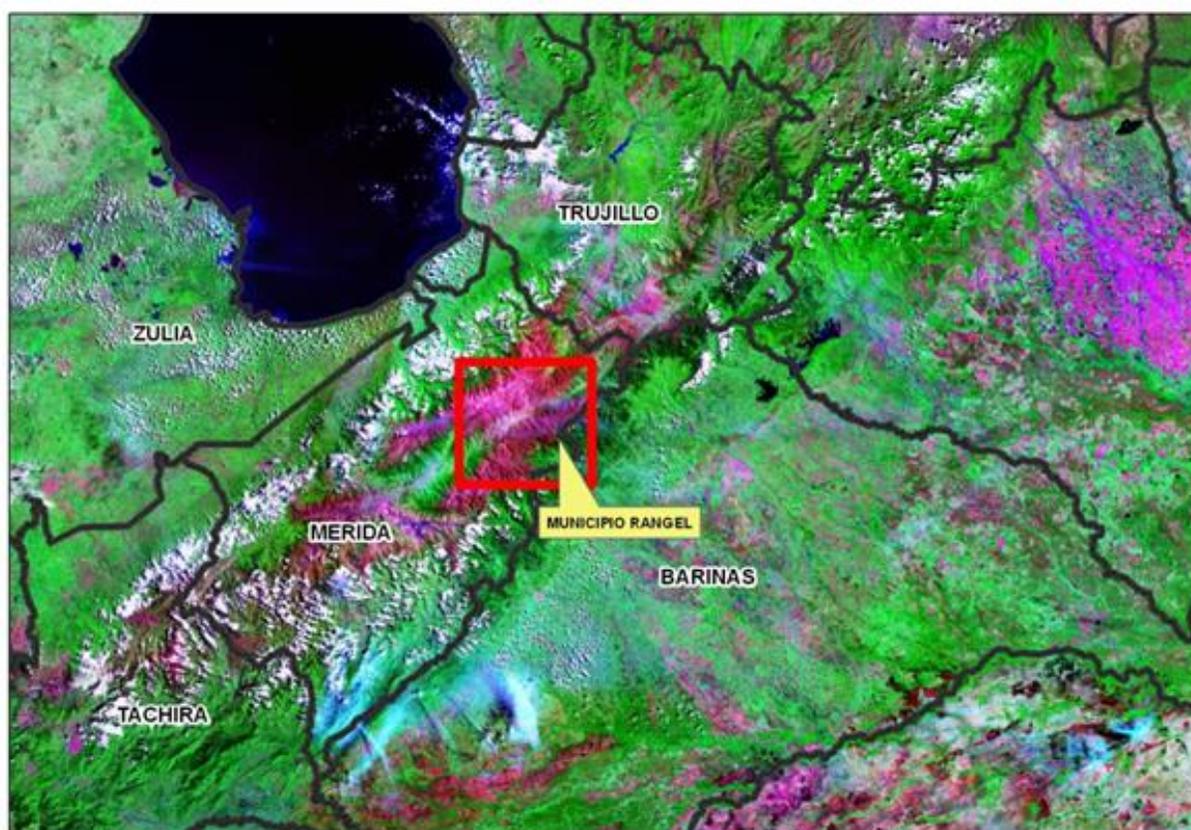


FIGURA 1. Zona de Ubicación del área de estudio. Fuente: Elaboración propia.

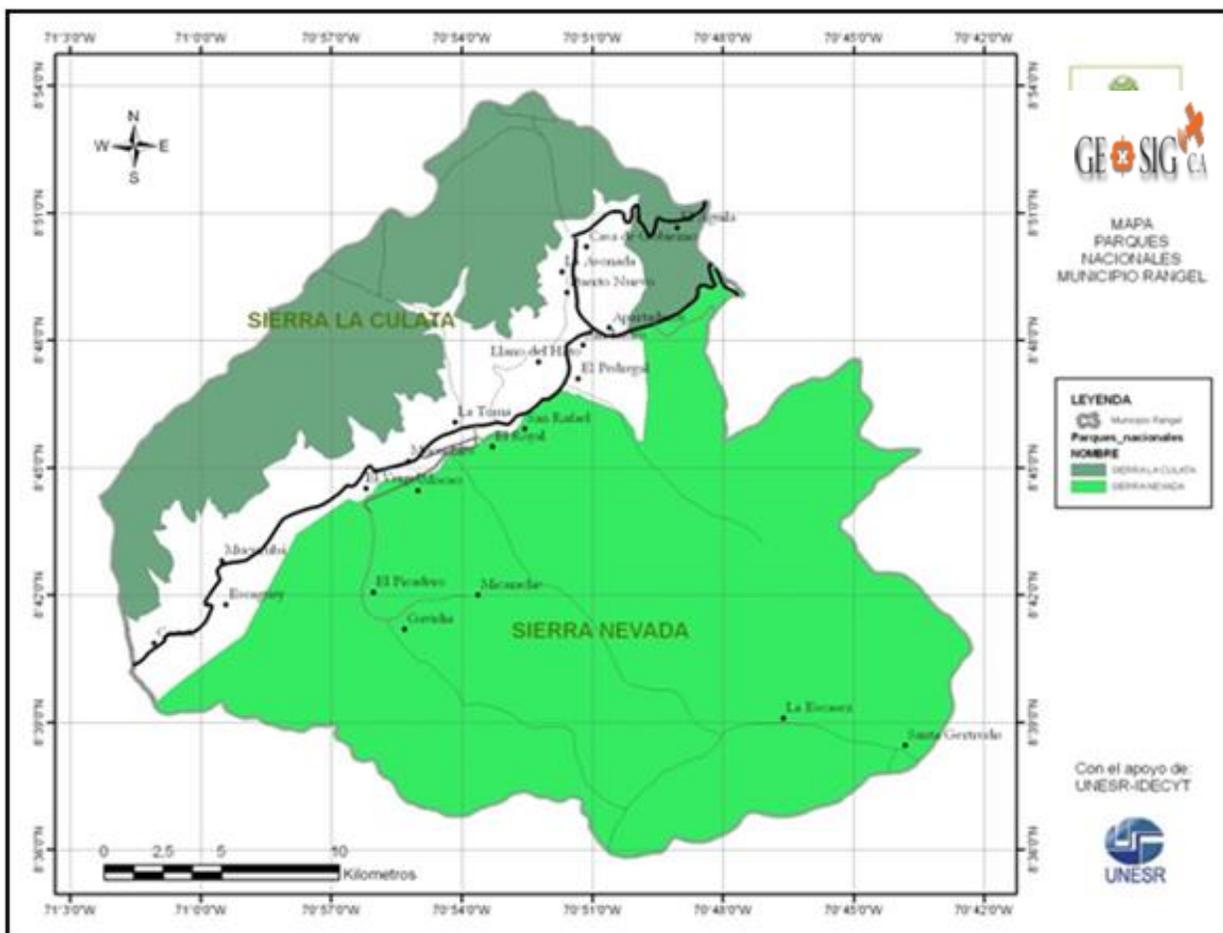


FIGURA 2. Mapa de Parques Nacionales en el Municipio Rangel. Fuente: Elaboración propia

Desde el punto de vista político – administrativo, toda el área bajo estudio pertenece al municipio Rangel del Estado Mérida. El municipio tiene una superficie de 726 km² de los cuales 573 km² son páramos lo que representa un 79% del total del municipio. Limita con el municipio Miranda (capital Timotes) al noreste; Justo Briceño (Capital Torondoy) y Libertador (Capital Mérida) al noroeste; Santos Marquina (Capital Tabay) al sur, Cardenal

Quintero (Capital Santo Domingo) al este; al oeste con parte del municipio Libertador, y Santos Marquina (Figura 3).

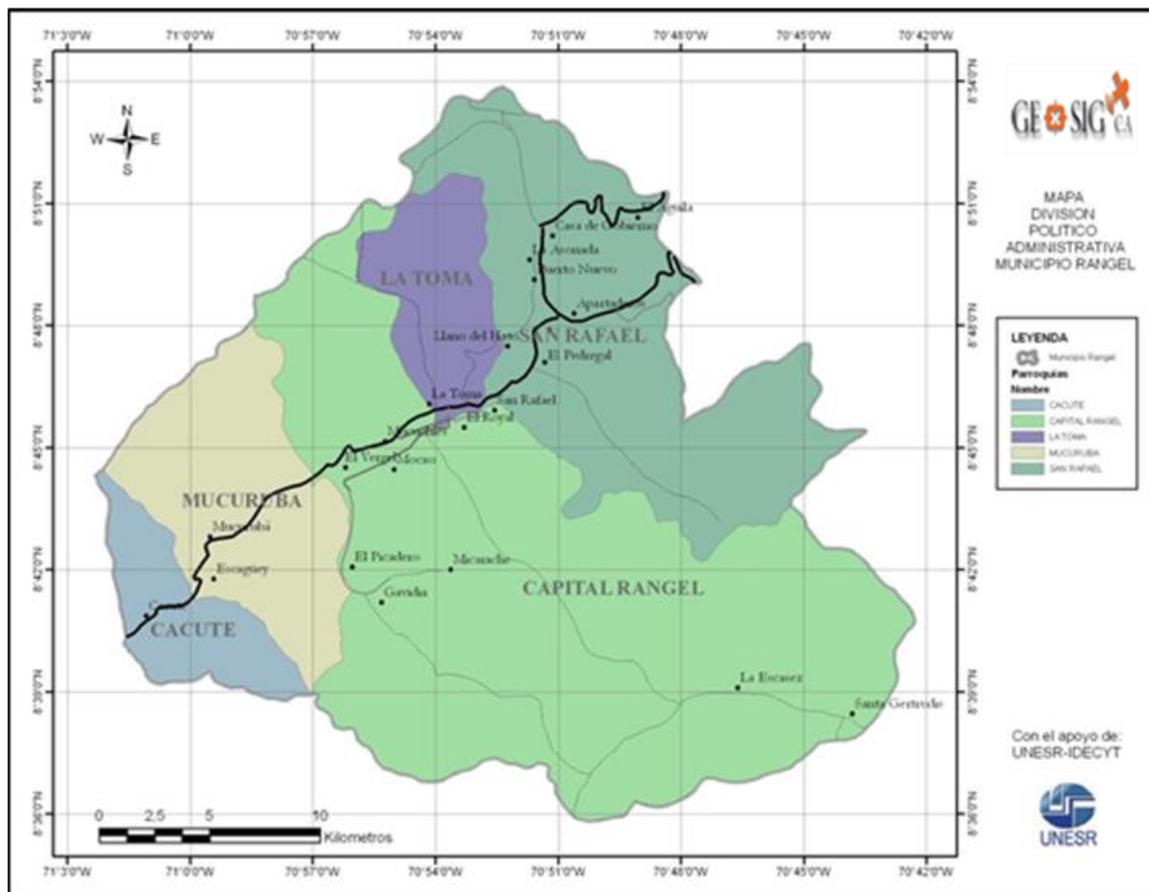


FIGURA 3. Mapa división político administrativa del Municipio Rangel. Fuente: Elaboración propia.

2.3 Aplicación de la EUPS

Los procesos involucrados en la erosión y en la pérdida del suelo son complejos y se encuentran muy interrelacionados entre sí. Varios modelos

empíricos y conceptuales han sido utilizados para evaluar la erosión de los suelos.

En este trabajo se plantea desarrollar un modelo dinámico piloto fundamentado en la ecuación empírica base (USLE), que describe los riesgos de erosión en los suelos debido a los cambios en el manejo en el uso de la tierra.

Los resultados de este estudio pueden usarse en la planificación del uso de la tierra con vista a determinar qué métodos de conservación de suelo tienen las mayores probabilidades de tener éxito en la protección del suelo contra la erosión en esta región.

La utilización de los modelos dinámicos de erosión en suelos y su integración a un SIG se considera una de las ventajas de este trabajo especialmente cuando se utiliza para correr el modelo tantas veces se desee en un análisis determinado utilizando diversos mapas y al mismo tiempo para diferentes escenarios de estudio.

2.4 Determinación de parámetros de la ecuación universal de pérdida de suelo (EUPS)

Para aplicar el modelo erosivo se debe adaptar la información base para obtener los factores de erosividad de la lluvia, erosionabilidad del suelo, longitud y pendiente de la ladera, cultivo y manejo del suelo. La ecuación 1 (Ecu:1) y las unidades que serán aplicadas son:

$$\text{Fórmula: } A=R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad \text{Ecu: 1}$$

(Pérdida media anual de suelo en Ton/Ha/Año)

Donde:

A = Pérdida media anual de suelo ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$)

R = Factor de erosividad de la lluvia ($\text{MJ cm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ año}^{-1}$)

K = Factor de erosionabilidad del suelo ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ h MJ}^{-1} \text{ cm}^{-1} \text{ ha}$)

L = Factor de longitud de la ladera (adimensional)

S = Factor de pendiente de la ladera (adimensional)

C = Factor cobertura y manejo del suelo (adimensional)

P = Factor prácticas de conservación (adimensional).

151

Cada uno de los factores requiere de un tratamiento diferenciado para obtener, como resultado final, el mapa que representa las pérdidas de suelo por erosión.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Metodología aplicada para la determinación de las áreas de fragilidad y susceptibilidad a la erosión en el municipio Rangel.

Para que sea posible la evaluación de los grados de erosión hídrica, en los Andes, es necesario recurrir al análisis de los factores causantes de la misma. En este trabajo, partimos de la hipótesis según la cual los parámetros definidos en la USLE ó EUPS (Universal Soil Loss Equation o Ecuación Universal de Pérdida de Suelo) acotan, desde un punto de vista cualitativo, los factores que intervienen en los procesos de erosión hídrica en Los Andes. Teniendo en cuenta lo anterior, hemos planteado la proposición metodológica que vamos a desarrollar a lo largo de este capítulo. El procedimiento consiste en agrupar los parámetros de la USLE dos a dos, para obtener un “elemento evidencia”, que es el resultado de ambos factores.

Así, (L.S) queda representado por un Mapa de Pendientes elaborado a partir de un Modelo Digital del Terreno (DEM. Digital Elevation Model); (K.R) se

puede evaluar a partir de un Mapa de Densidad de la Red de Drenaje y (C.P) mediante un Mapa de Cubiertas Vegetales.

A continuación, en este capítulo se detalla metodología seguida para la obtención de los mapas de pendientes, densidad de la red de drenaje y cubiertas vegetales a partir de los datos aportados por los satélites Landsat, Aster y Spot. Estos mapas son lo que denominaremos de primera generación. A partir de la integración de los mapas de primera generación en el marco de un Sistema de Información Geográfica vamos a obtener las Unidades homogéneas de Fragilidad (mapas de segunda generación) y de Susceptibilidad a la erosión (tercera generación) en el municipio Rangel.

152

3.1.1 Determinación de las áreas de fragilidad y susceptibilidad a la erosión

Los factores L (longitud de la pendiente) y S (ángulo de gradiente), constituyen el llamado efecto de la pendiente. Normalmente, la erosión aumenta con el incremento del ángulo y de la longitud de la pendiente, debido al aumento de la velocidad y de la superficie de escorrentía. Ambos factores quedan recogidos en un mapa de pendientes que se puede elaborar a partir de un Modelo Digital del Terreno. En la actualidad, el sensor HRV, a bordo de la sede de satélites Spot. Permite elaborar pares estereoscópicos y generar el Modelo Digital del Terreno.

Los factores C (cobertura) y P (conservación) se recogen en un mapa de cobertura de vegetación. El principal papel de la vegetación está en interceptar las gotas de lluvia, disipando su energía cinética, antes de que impacte contra el suelo. La respuesta espectral que presenta la vegetación en la región del infrarrojo cercano hace de los datos aportados por los sensores Landsat, Aster y Spot, la herramienta imprescindible para generar el mapa de cobertura de vegetación de un territorio.

Por último, los factores R (erosividad de la lluvia) y K (erosionabilidad del terreno) reflejan, respectivamente, el poder de arranque de las gotas de lluvia y la resistencia del suelo a ese arranque y transporte. Las variables de las cuales dependen estos factores son muchas: intensidad de la lluvia, posición topográfica, propiedades del suelo. La actuación de estos factores queda reflejada en un mapa de densidad de la red de drenaje, que es un índice de la intensidad de la erosión.

3.1.2 Mapa de pendientes

El Modelo Digital del Terreno se ha obtenido mediante una interpolación espacial, de manera que para cada pixel se calculan las distancias más cercanas a las dos curvas de nivel más próximas. El resultado es una matriz numérica bidimensional, en la que cada pixel tiene un valor que corresponde a una altura determinada (Figura 4).

A partir del Modelo Digital del Terreno se obtiene un mapa en el que queda reflejado el porcentaje o el grado de pendiente (Figura 5).

En el municipio Rangel, la superficie ocupada por los distintos rangos de pendientes está repartida entre éstos, en proporciones muy diferentes, como se puede observar en el cuadro 1.

Predominan aquellas pendientes que pueden definirse como abruptas superiores al 20%. Las zonas de menor pendiente (<10%) cubren una superficie de 7,669 Has. Y corresponden a los valles y depresiones principales de las micro cuencas dentro del municipio.

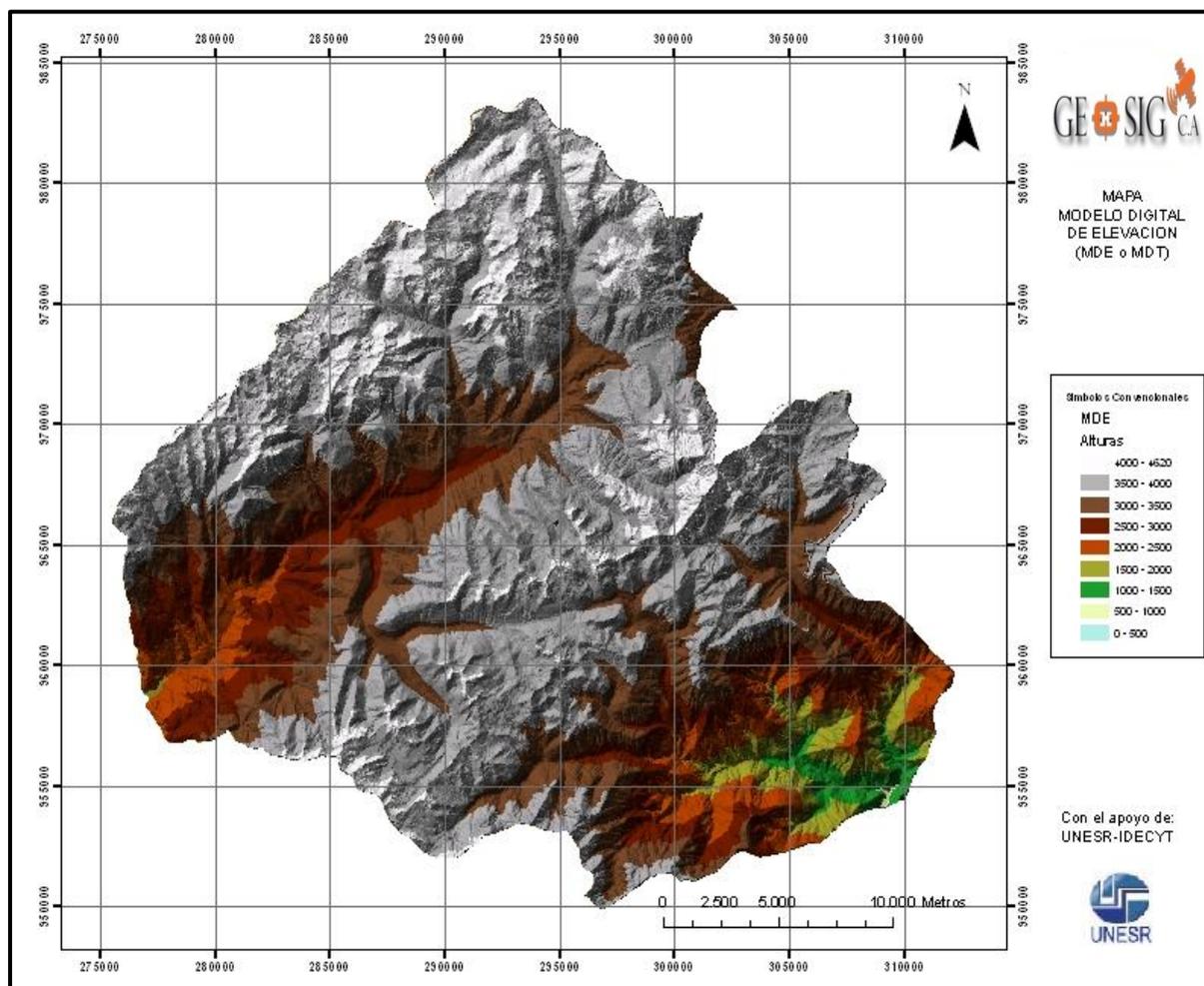


FIGURA 4. Modelo Digital de Elevaciones (MDE) del municipio Rangel. Fuente: Elaboración propia.

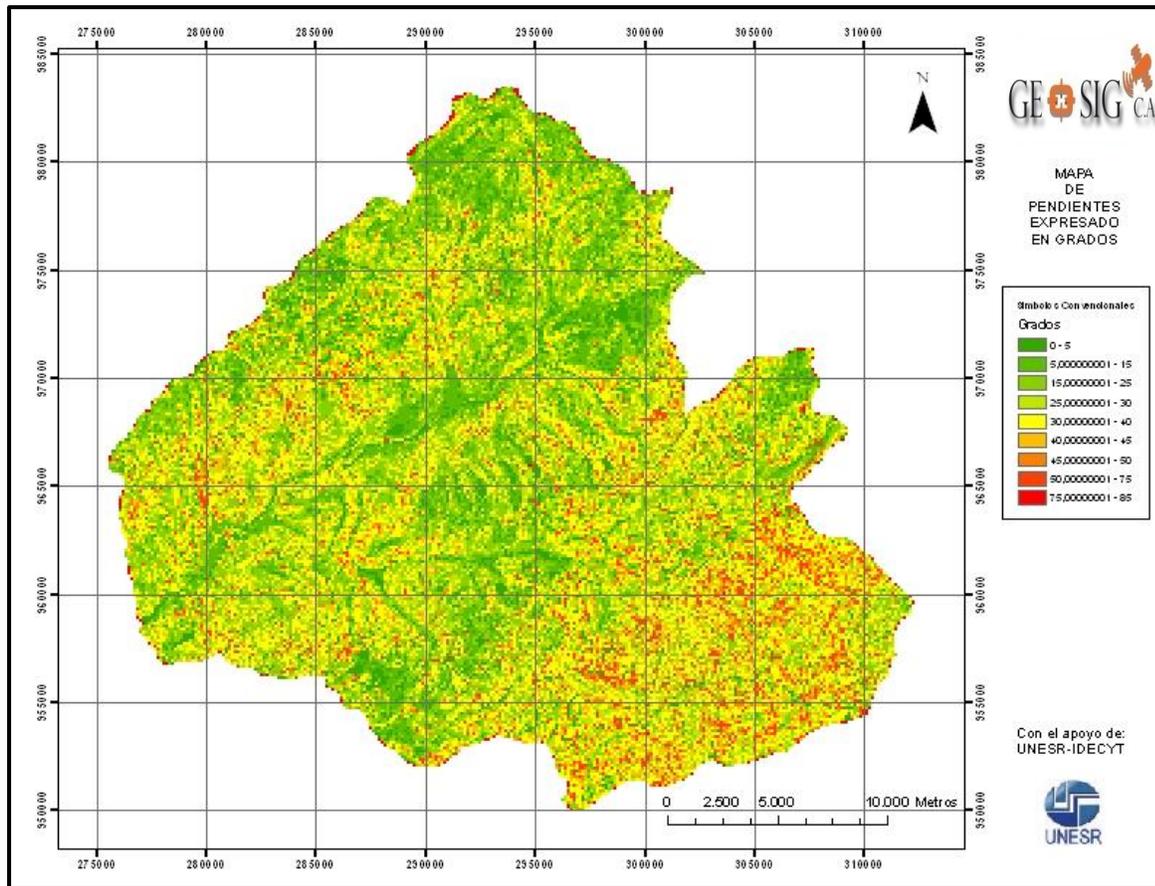


FIGURA 5. Mapa de Pendientes del municipio Rangel. Fuente: Elaboración propia.

CUADRO 1. Rangos de pendientes y superficies en el municipio Rangel.

Clase	Rango de Pendiente %	Superficie en Ha	Superficie en Km ²	Porcentaje
1	0 -5	5762	56,62	7,9
2	5 -10	1907	19,07	2,6
3	10 -20	13150	131,5	18,1
4	20 -35	32351	323,5	44,7
5	35 – 50	16320	163,2	22,5
6	50 - 65	2638	26,38	3,6
7	65 - 85	188	1,88	0,4

3.1.3 Mapa de cobertura de vegetación.

Una base de datos de carácter temático es necesario mantenerla actualizada, debido al dinamismo que presentan los usos agrícolas y forestales del suelo. Las imágenes de satélite son la fuente de datos más eficiente para llevar a cabo dicha actualización.

Para obtener el mapa de coberturas de vegetación se han elegido tres sensores multiespectrales: 1. El Sensor ETM+ del satélite Landsat, 2. El sensor VNIR del satélite Terra Aster, con una resolución espacial de 15 metros, 3. El sensor HRV del Satélite Spot 5 con una resolución espacial de 10 metros, estos sensores son los más adecuados para discriminar cubiertas vegetales en el municipio Rangel.

Mediante la utilización de avanzadas técnicas de teledetección espacial se realizó una clasificación digital con la cual se obtuvo una cartografía e inventario de las categorías objeto de estudio. La imagen multibanda o

multiespectral se convierte en otra imagen, del mismo tamaño y características de las originales. Con la diferencia de que el nivel digital o ND que define cada pixel no tiene relación con la radiancia detectada por el sensor, sino que se trata de una etiqueta que identifica la categoría asignada a ese pixel. A partir de este proceso se genera fácilmente la cartografía temática, así como un inventario estadístico del número de pixeles y por tanto de la superficie asignados a cada categoría. A continuación, se presenta el mapa de uso y cobertura obtenido para el municipio Rangel (Figura 6).

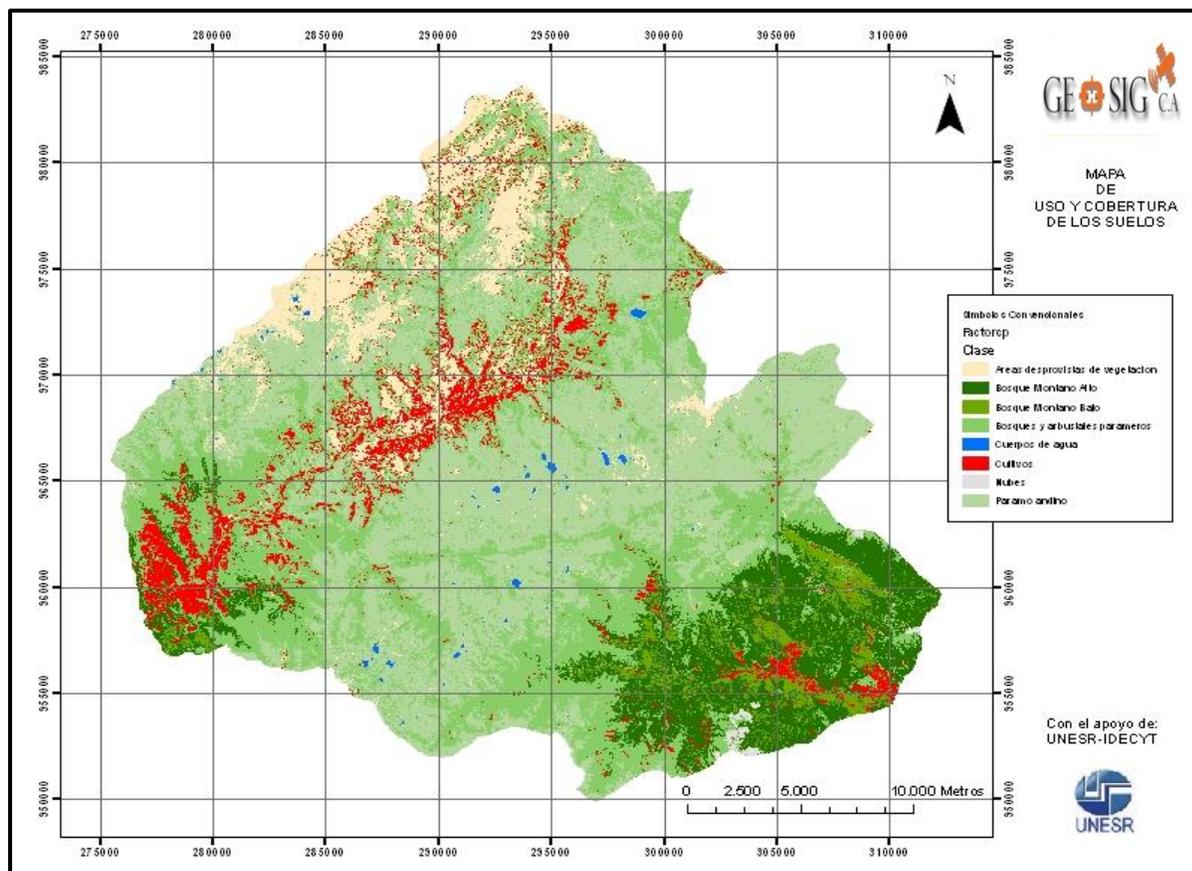


FIGURA 6. Mapa de uso y cobertura de vegetación del municipio Rangel. Fuente: Elaboración propia.

3.1.4 Mapa de densidad de drenaje

El mapa de densidad de la red de drenaje del municipio Rangel aporta una información básica de la erosión hídrica que se está produciendo en la zona. Nos permite deducir, indirectamente, los factores de erosividad de la lluvia y erosionabilidad del terreno, ya que la red de drenaje va a ser consecuencia de la resistencia de los materiales a ser arrastrados por el agua de lluvia y la escorrentía.

La evolución de la red de drenaje, significativa de la dinámica con que se desarrollan actualmente los procesos de erosión, es un indicador de la actividad torrencial. Basta analizar las fotografías aéreas o imágenes de satélite del municipio, en dos fechas alejadas entre sí en el tiempo, para comprobar el dinamismo de la red de drenaje y cómo quedan reflejadas en ella las acciones naturales y antrópicas.

La red de drenaje para este estudio fue digitalizada a partir de las hojas topográficas a escala 1:25.000 del IGVS y actualizadas con las fotografías aéreas a escala 1:60.000 del año 1997 y la imagen de satélite Spot de 2,5 m de resolución del año 2008 (Figura 7).

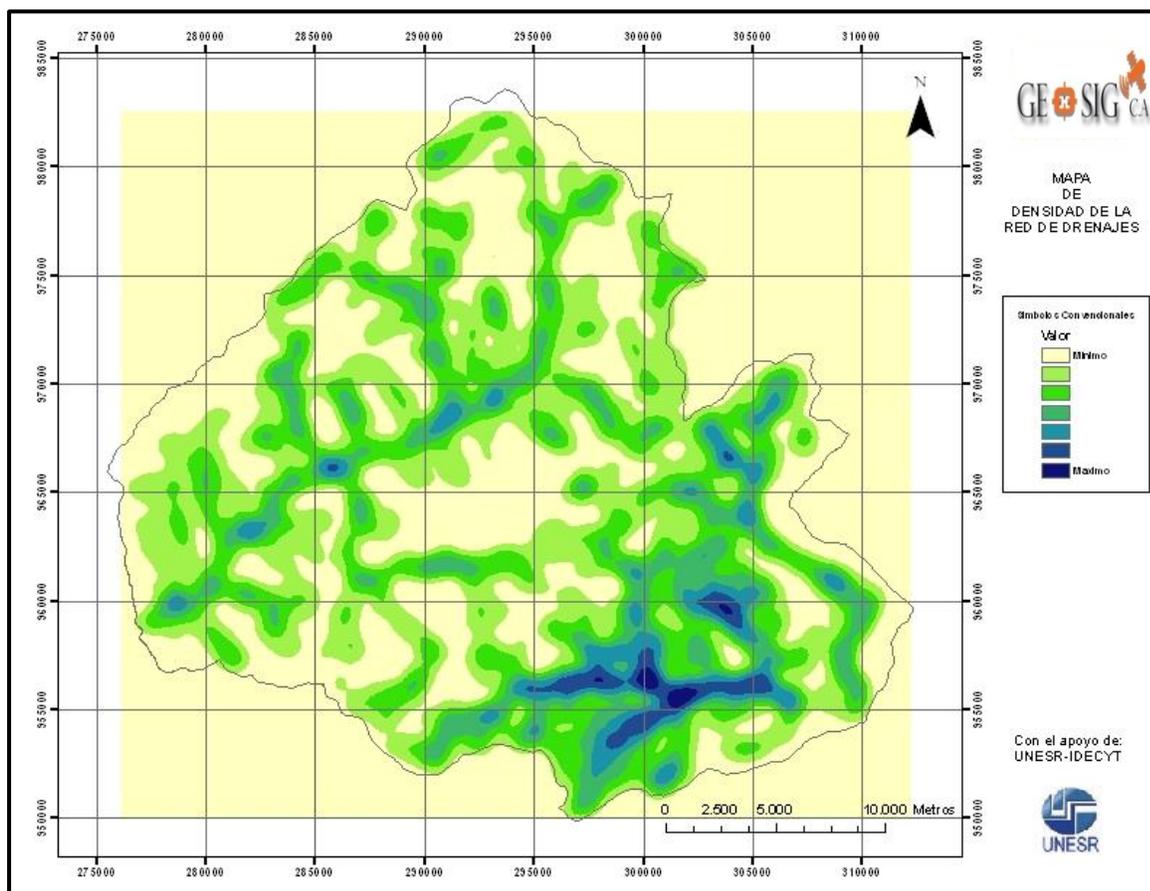


FIGURA 7. Mapa de densidad de drenaje. Fuente: Elaboración propia.

3.1.5. Zonas de Fragilidad y Susceptibilidad a la erosión

A partir de los mapas temáticos realizados previamente (Uso y cobertura de vegetación, pendientes y densidad de drenaje), vamos a obtener índices indicativos del grado de fragilidad y de susceptibilidad a la erosión de la cuenca.

El grado de fragilidad se pone de manifiesto mediante el análisis del tipo de cobertura y de su distribución en función de la pendiente. Esto significa que,

por ejemplo, dentro de la clase cultivos situados en zonas con una pendiente inferior al 12% van a proteger el sustrato sobre el que se asientan, de forma más efectiva que si las pendientes son superiores a este porcentaje, con lo que la fragilidad es menor.

En un caso similar nos encontramos con el resto de las clases definidas, los terrenos determinados como *Bosque* entendemos que ejercen una protección máxima sobre el suelo para cualquier porcentaje de pendiente, mientras que la presencia de terrenos tipo *área desprovista de vegetación* va a determinar una fragilidad máxima para cualquier pendiente, dada la carencia de cubierta protectora.

Para obtener el mapa de áreas con fragilidad se ha operado una matriz con las herramientas de álgebra de mapas a partir de los grados de pendientes y las coberturas del suelo, agrupándolas en 5 clases cualitativas desde el valor “bajo” hasta el “alto” grado fragilidad como se muestra en la figura 8.

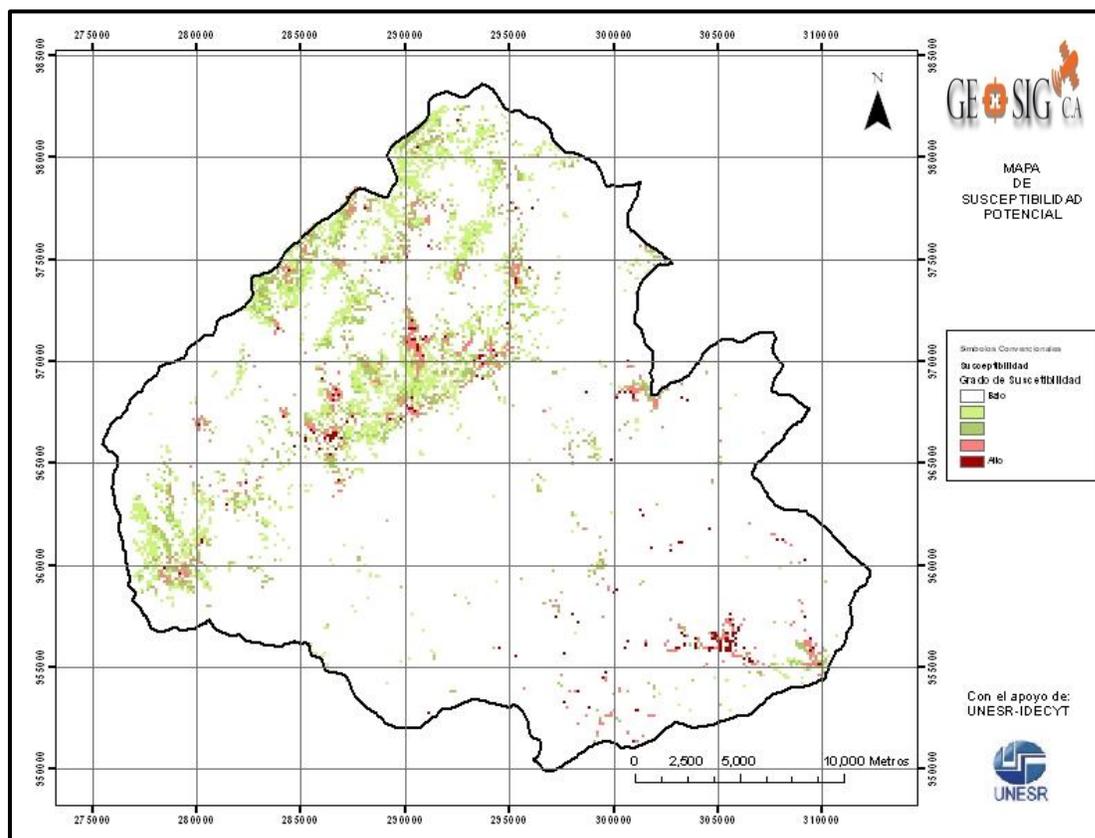


FIGURA 8. Mapa de Fragilidad potencial en el municipio Rangel. Fuente: Elaboración propia.

3.2 Metodología aplicada para la determinación de los factores de la EUPS y para el cálculo de la pérdida del suelo.

3.2.1 Estimación de la erosividad de la Lluvia o factor “R”.

Para realizar la estimación de la erosividad de la lluvia o factor R, diversos autores han realizado sus propuestas en los últimos 70 años. En Venezuela el Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial

(CIDIAT, 1996), regionalizó mediante un estudio el factor erosividad de la lluvia para las cuencas de los ríos Tuy y Chama.

Para ello utilizó registros de lluvias de más de 30 estaciones en cada caso. Ajustó la distribución probabilística de Gumbel para duraciones 1,3,6,9,12 y 24 horas obteniendo las respectivas láminas de precipitación con periodos de retorno de 1,2,5,10,20,25,50,100,500 y 1000 años (Figura 9).

Cada valor de R fue calculado a partir de información lluvia horaria (CIDIAT, 1996), fue correlacionado con los valores de precipitación dados por los ajustes de Gumbel. Para ambos casos Tuy y Chama se logró el mejor ajuste para 2 años de periodo y retorno y 24 horas de duración (P2, 24), como se expone en el cuadro 2.

$$R = 0,0718 * (P2, 24)^{2,64} \quad (\text{Ecu:2})$$

Donde:

R= Mj.mm/ha.h.año

P2, 24= es la lluvia para dos años de periodo de retorno y 24 horas de duración en mm.

CUADRO 2. Estimación de la erosividad de la lluvia o factor “R” en el municipio Rangel. Cálculos con base en la ecuación desarrollada por el CIDIAT (1996).

Estación	Serial	Factor R (Mj.mm/ha.h.año)
Mucubají	3072	648,13
Mucurubá	3029	1019,77
Paramo de Mucuchíes	3111	774,58
Pico el Águila	3112	452,85
Paramo La culata	3027	1131,33
Tabay	3038	3807,3
Timotes	3166	1123,67
Mitisus	3115	4513,23

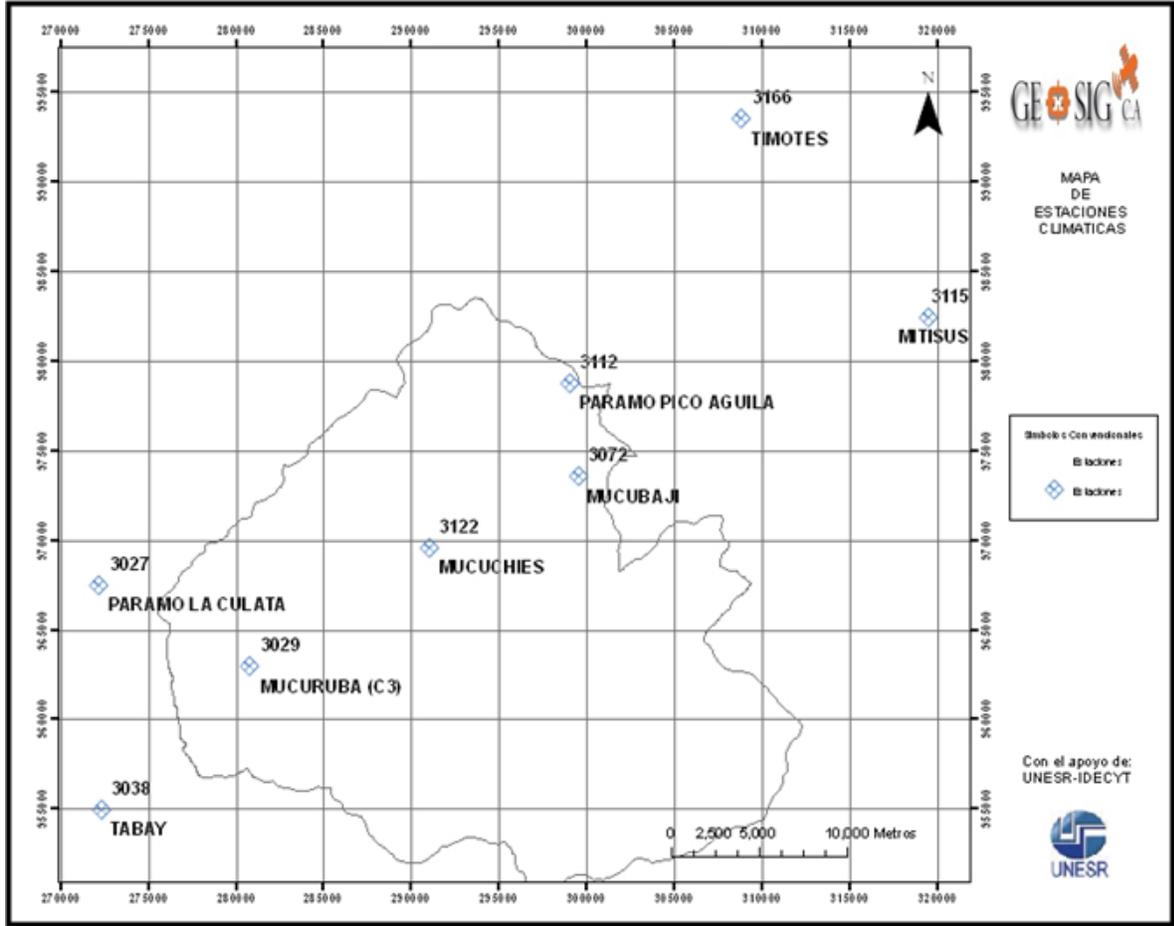


FIGURA 9. Mapa de Estaciones Climáticas del área de estudio. Fuente: Elaboración propia.

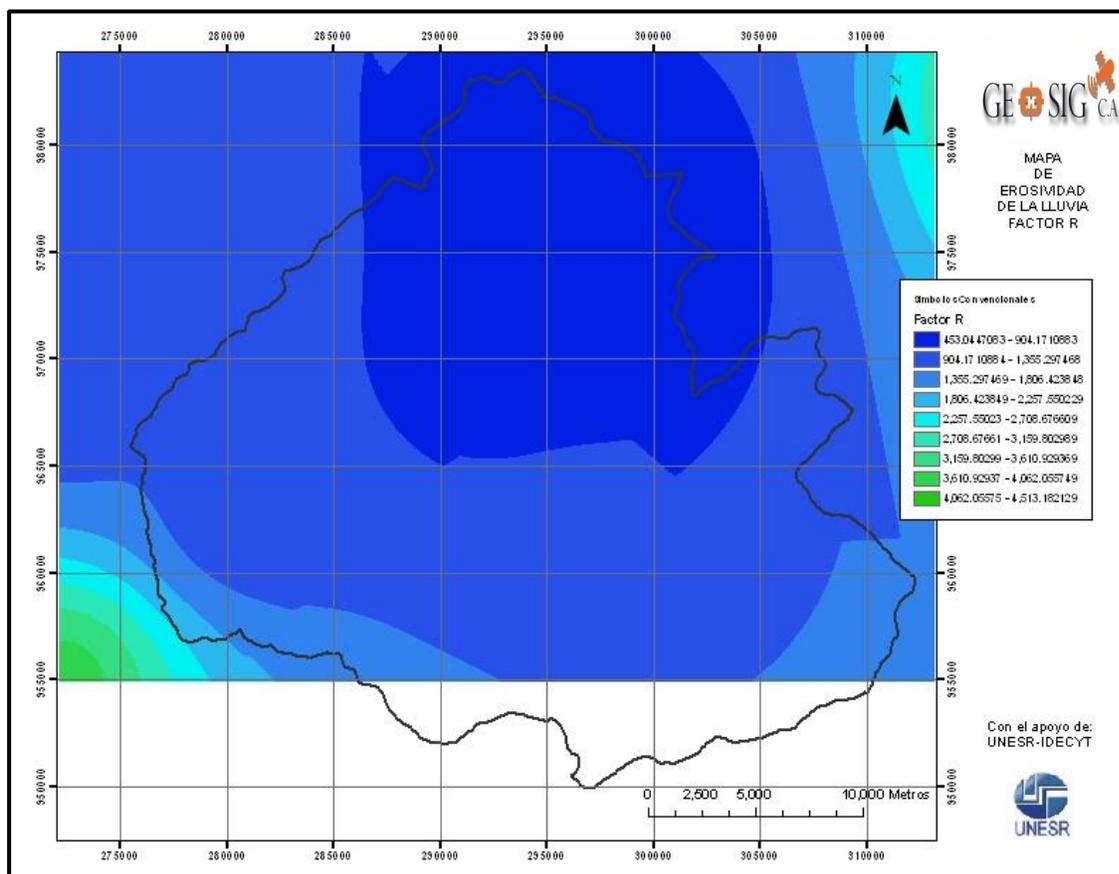


FIGURA 10. Cálculo del Factor Erosionabilidad o Erodabilidad de los suelos “K”. Fuente: Elaboración propia.

3.2.2 Estimación de la erosividad de los suelos Factor “K”.

López (1996) estimó la erosionabilidad del suelo en Mucuchíes con base a los estudios agrológicos detallados del campo experimental (Granados et al., 1988). Según sus estimaciones del factor K de erosionabilidad de los suelos en la zona en promedio tiene un valor de 0,027 (t/ha.)/ (Mj.mm/ha.h), lo cual corresponde a suelos de moderada erosionabilidad (Figura 11).

Debido a la falta de tiempo y recursos en esta investigación para hacer un estudio de suelos detallado por todo el municipio, la información necesaria para aplicar la metodología propuesta por Kirkby en 1980 se obtuvo del proyecto Sistemas Ambientales de Venezuela del MARNR de 1983, donde existe un estudio de suelos a escala 1:250.000, con descripción del tipo de suelos, texturas, otros. Este estudio se comparó con el mapa de levantamiento de suelos a escala 1:25.000 de Castillo (1965), el cual no existe otro mapa posterior, que cubre aproximadamente un 40% del municipio hacia las zonas centro norte del mismo.

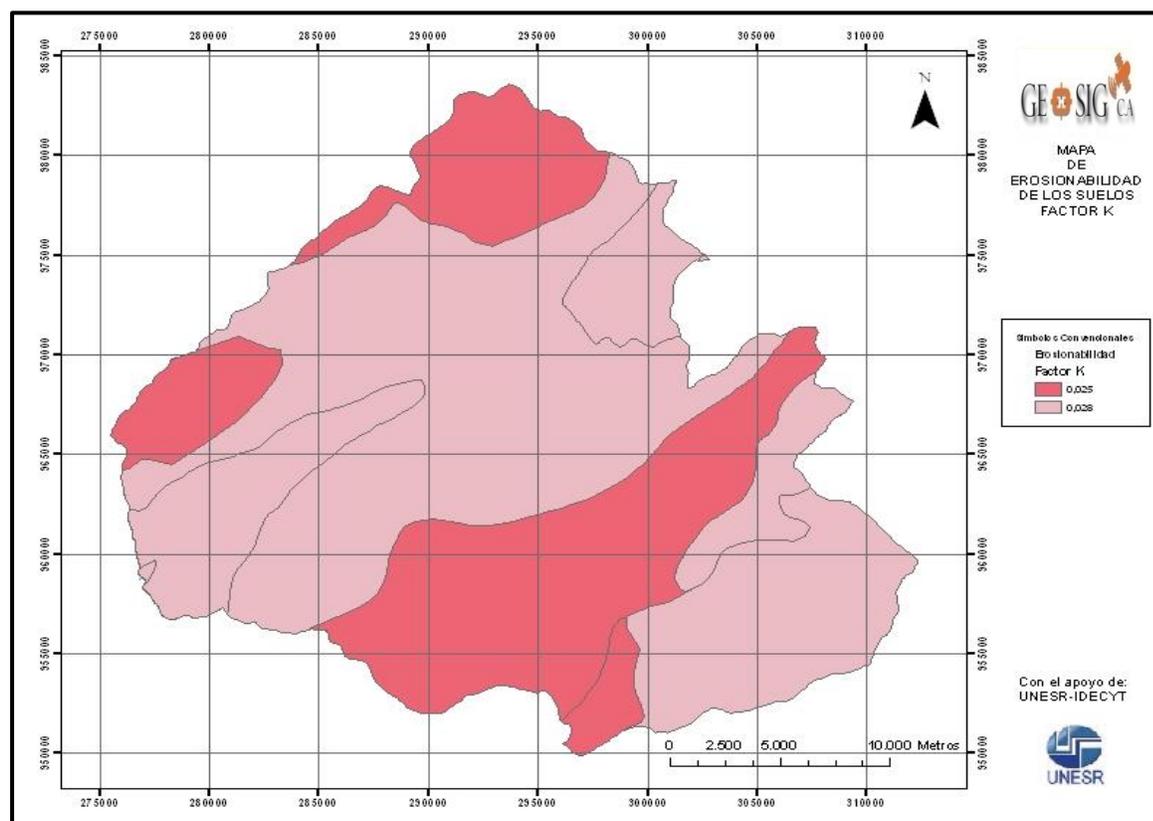


FIGURA 11. Cálculo del Factor Erosionabilidad de los suelos “K”. Fuente: Elaboración propia.

3.3 Cálculo del Factor Topográfico “LS”, Longitud y Pendiente de ladera.

El procedimiento general considera que el factor LS es el producto de los subfactores longitud (L) y pendiente (S) del terreno, y su magnitud y distribución espacial dependerá de la que tengan estos subfactores. La distribución espacial de S se obtuvo directamente aplicando las ecuaciones a una cobertura SIG sobre pendiente del terreno; esta última fue derivada del MDE usando las herramientas de análisis 3D en el SIG (Figura 12). Por otra parte, la distribución espacial de L depende de las distribuciones espaciales tanto de λ como del exponente m (Figura 13).

La distribución espacial de λ dentro de la cuenca se determinó mediante un MDE y aplicando la aproximación usada en CALSITE (Bolton et al., 1995), citado por Barrios (1999):

$$\lambda = (\text{área acumulada de flujo} / \pi)^{0.5} \quad (\text{Ecu:3})$$

El área acumulada de flujo se calculó mediante el algoritmo de Biesemans (1997), el cual determina el área acumulada de drenaje hasta cada celda a partir de un MDE (Barrios, 1999).

Debido a que en el área de estudio se presentan pendientes medias mayores a 9% la expresión utilizada para calcular el factor LS es:

$$LS = (\lambda / 22.1)^{0.5} * [16,8 \text{Sen} (\text{Arctg} (p/100)) - 0, 5] \quad (\text{Ecu:4})$$

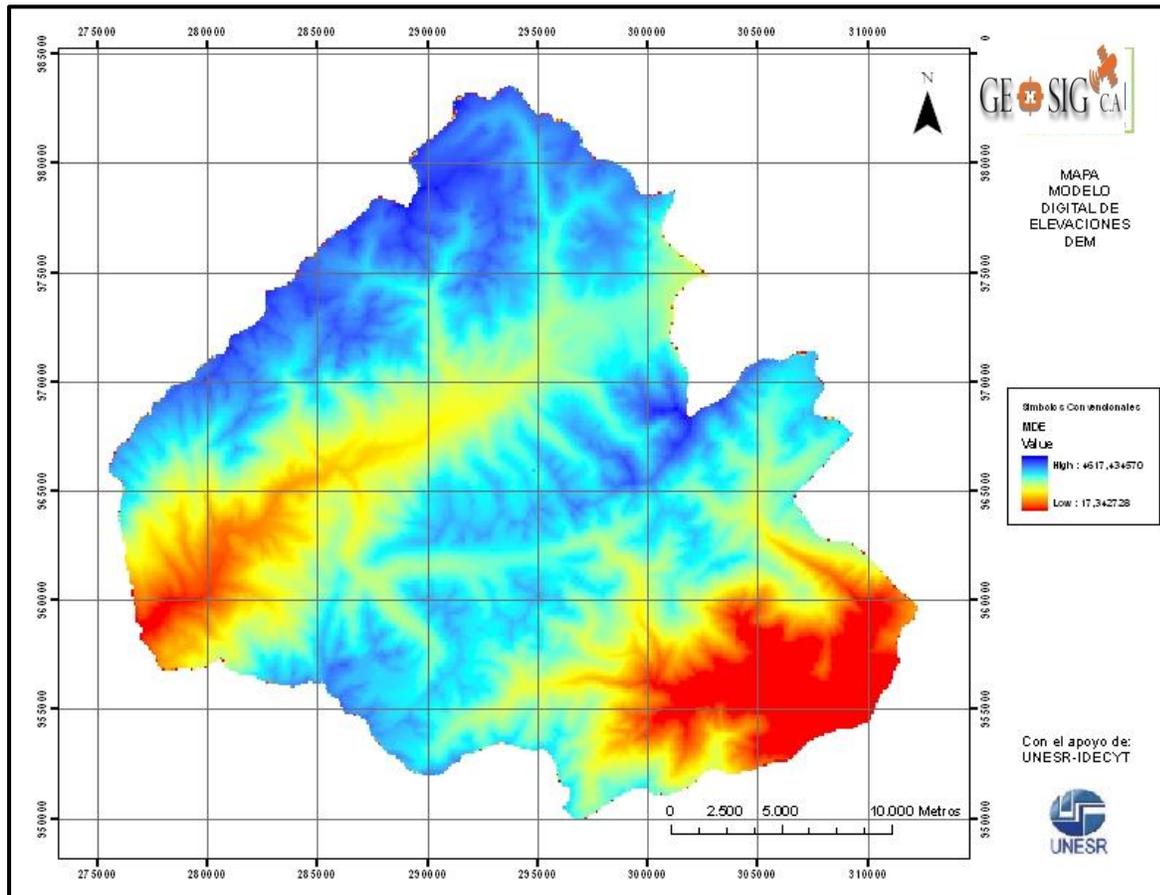


FIGURA 12. Modelo digital de elevaciones. Fuente: Elaboración propia.

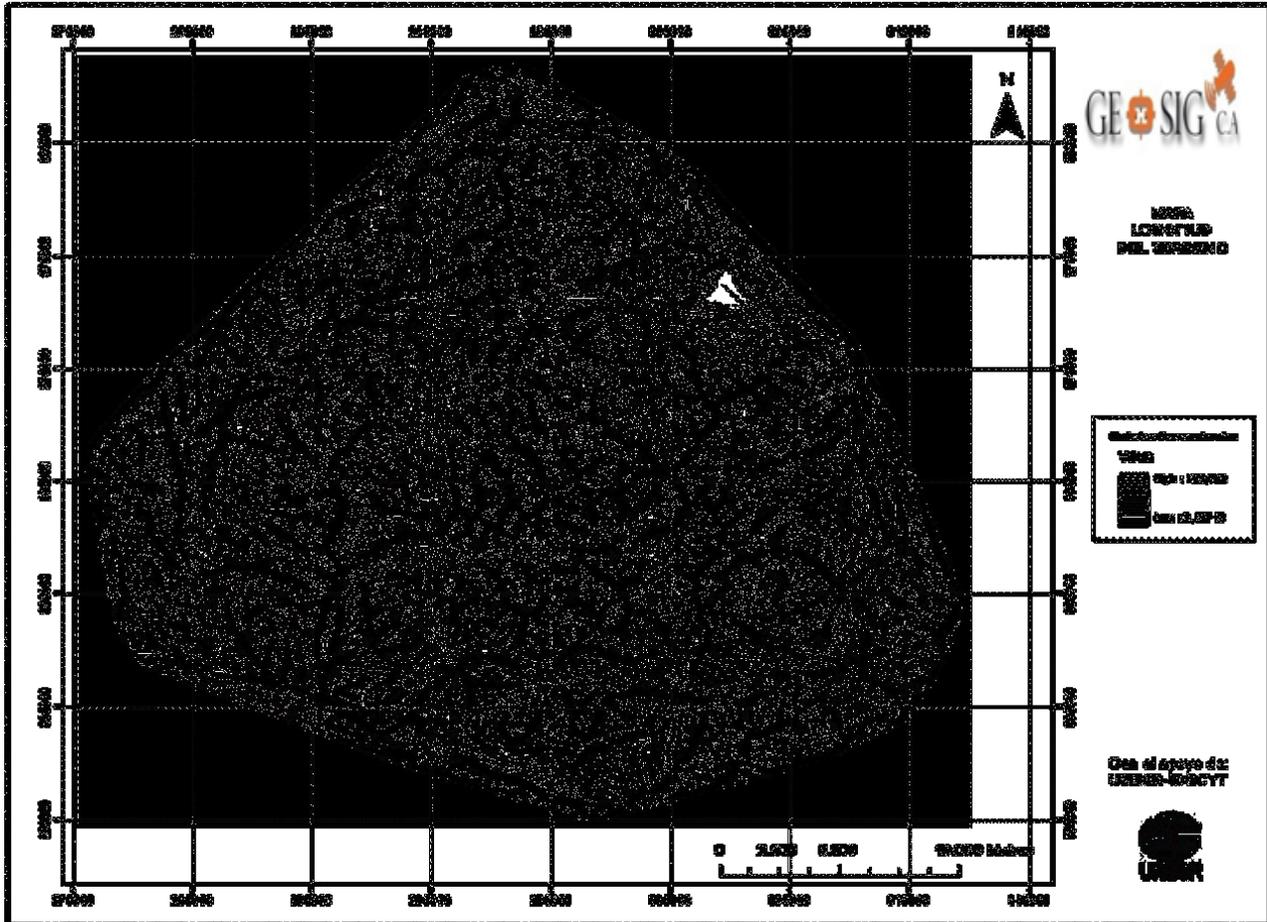


FIGURA 13. Longitud del terreno. Fuente: Elaboración propia.

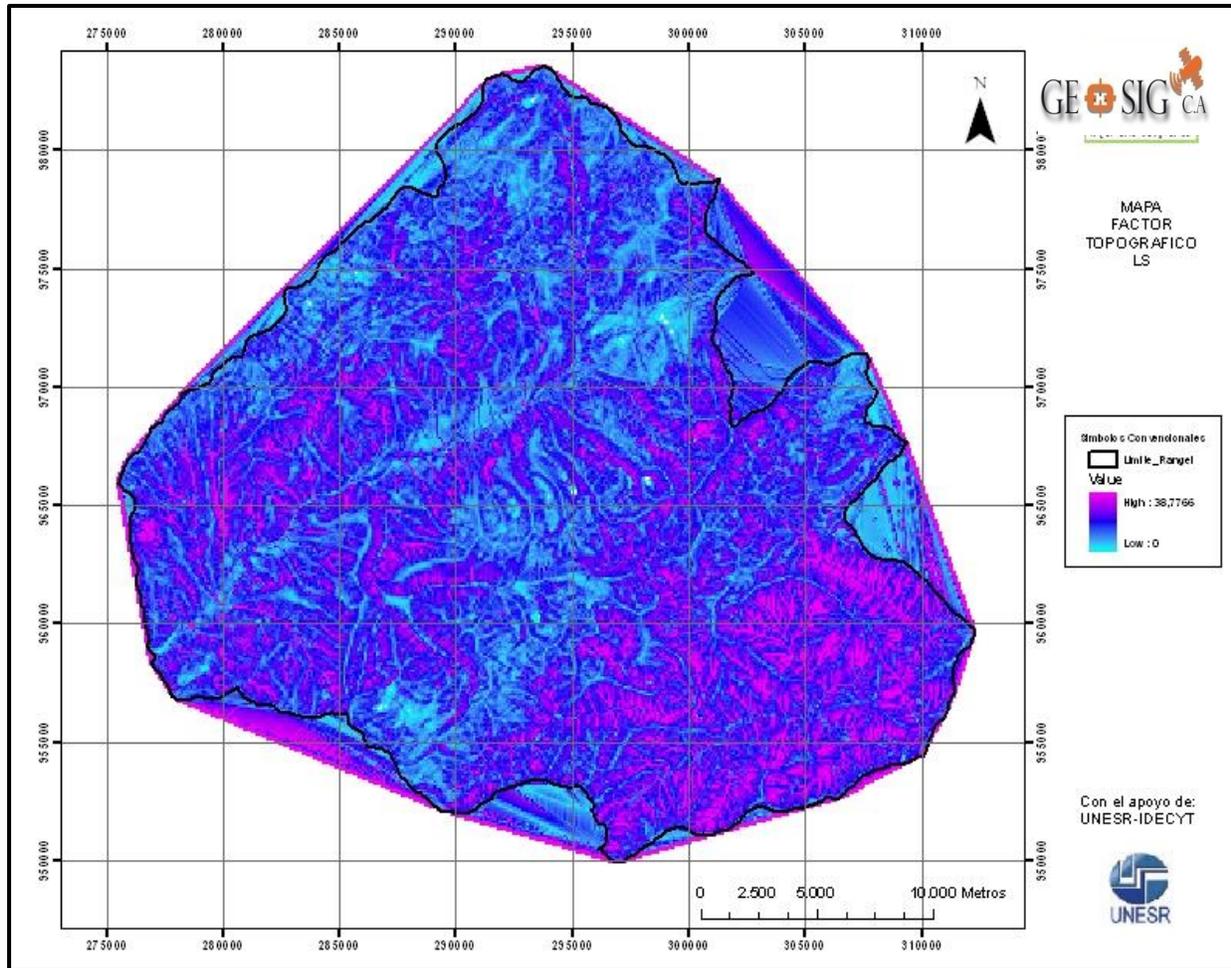


FIGURA 14. Factor topográfico LS. Fuente: Elaboración propia.

3.4 Cálculo del factor “C”, Cobertura y uso.

El factor de Cobertura y uso de los suelos factor “C” se estimó en base a valores de diferentes tablas fundamentadas en los trabajos de Wischmeier y Smith (1978).

Para evaluar el factor C se requirió levantar información sobre el uso y cobertura actual de los suelos. Este trabajo se realizó mediante técnicas de teledetección espacial utilizando las imágenes de satélite descritas anteriormente (Figura 15).

Las clases establecidas para realizar el mapa de uso y coberturas de los suelos y los cálculos de superficie se representan en el cuadro 3.

CUADRO 3. Tipos de cobertura y porcentaje de superficie ocupada.

Tipo de cobertura	% Superficie Has	% Superficie Km2	% total tipo Vs % Superficie Mun.
Aéreas desprovistas de vegetación	6157,42	61,57	8,45
Bosque Montano Alto	7836,99	78,36	10,76
Bosque Montano Bajo	2582,63	25,82	3,55
Bosques y Arbustales Parameros	23015,42	230,15	31,60
Cuerpos de agua	206,55	2,06	0,28
Cultivos	5086,39	50,86	6,98
Nubes	159,60	1,59	0,22
Paramo Andino	27789,50	277,89	38,15

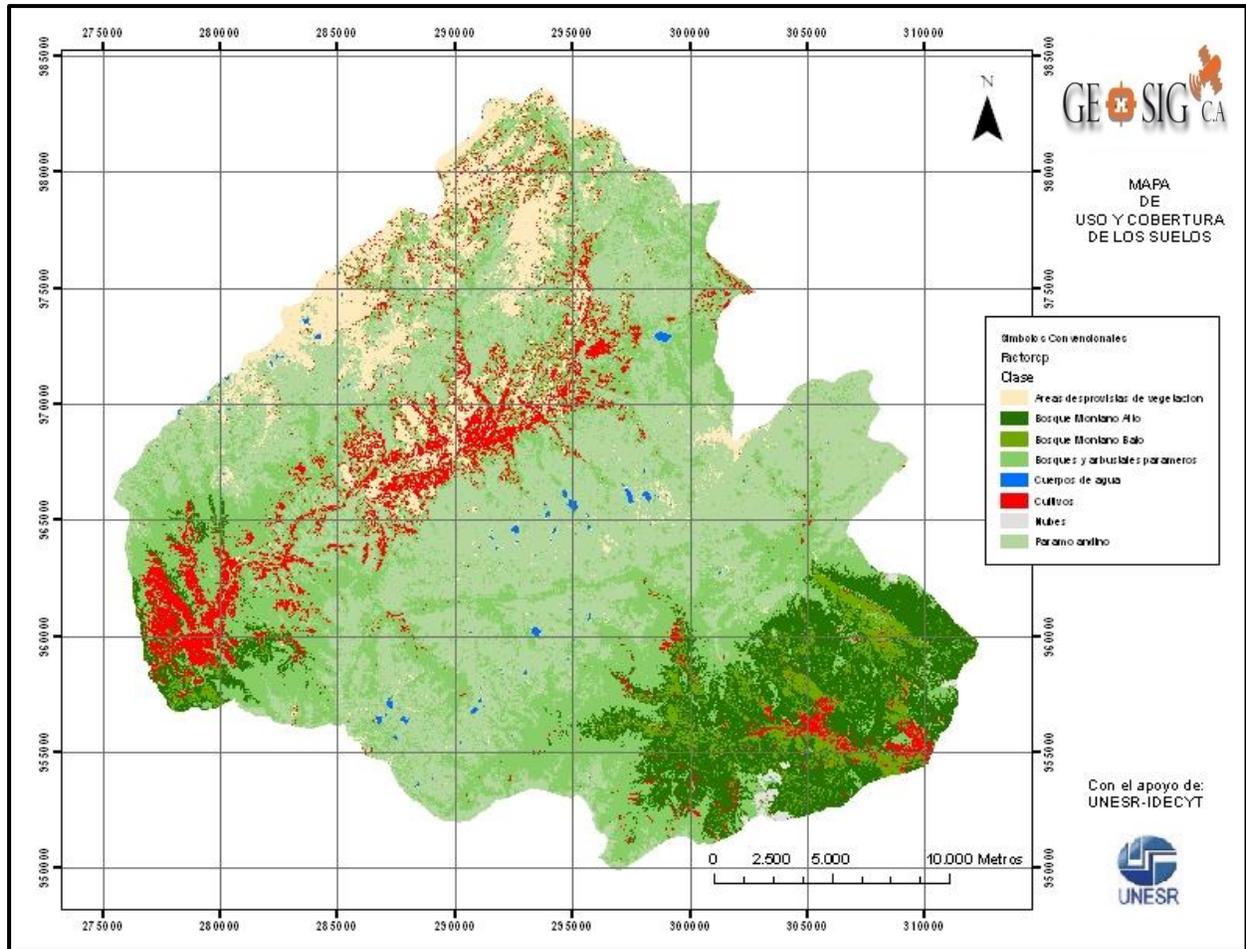


FIGURA 15. Uso y cobertura de los suelos del municipio Rangel. Fuente: Elaboración propia.

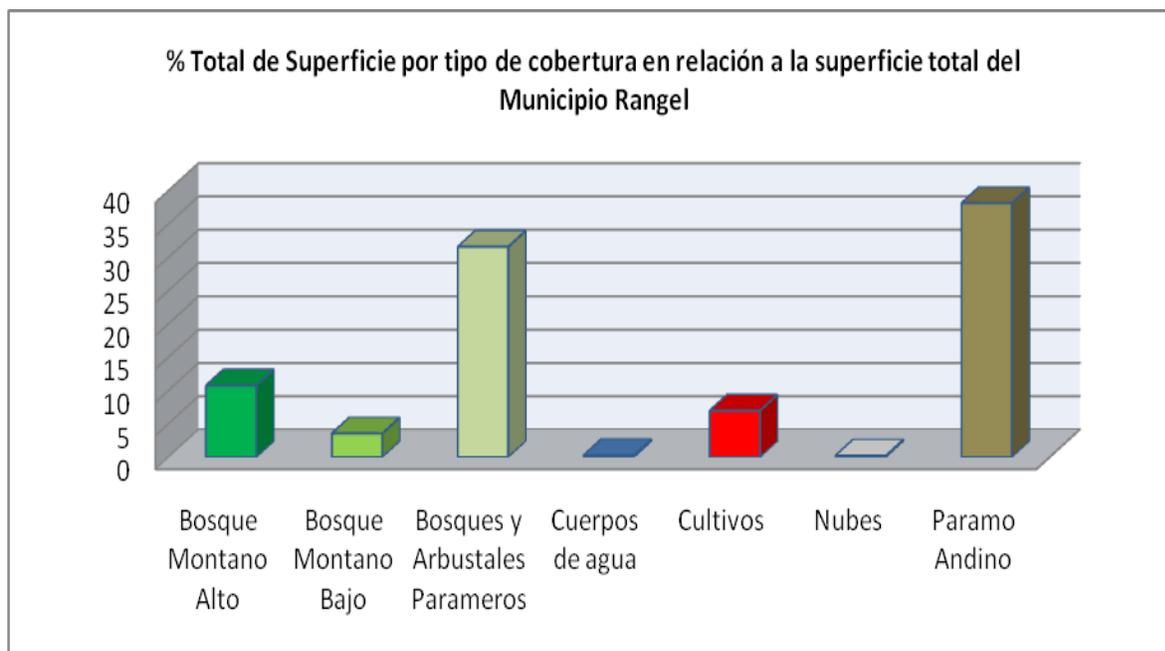


FIGURA 16. Porcentaje total de superficie por tipo de cobertura en relación a la superficie total del Municipio.

A partir de los valores de C obtenidos en las diferentes tablas y para áreas similares, se asignó un valor de acuerdo al rango comprendido entre 0,005 para Bosque Montano Alto y 1 para áreas desprovistas de vegetación. Como los valores de C en las diferentes tablas están agrupados en rangos se seleccionó un valor máximo y un valor mínimo para promediar el factor C de acuerdo a cada tipo de cobertura.

CUADRO 4. Factor C de USLE. Clasificación usada por el ministerio del ambiente (MARNR)
Fuente: Velásquez (1985), citado por Bizarro (1985).

SIMBOLO	COBERTURA VEGETAL Y USO DE LA TIERRA	C
1a	Bosque denso	0.003 - 0.01
1b	Bosque claro con sustrato herbáceo denso	0.003 - 0.01
1c	Bosque claro con sustrato herbáceo degradado	0.01 - 0.1
2a	Matorral denso	0.003 - 0.03
2b	Matorral claro con sustrato herbáceo denso	0.003 - 0.03
2c	Matorral claro con sustrato herbáceo degradado	0.030 - 0.10
2d	Páramo	0.003 - 0.01
3a	Pastizal natural completo	0.003 - 0.04
3b	Pastizal natural pastoreado	0.040 - 0.20
3c	Pastizal cultivado (manejado)	0.003 - 0.04
4	Terrenos desprovistos de vegetación	0.90 -1.0
5a	Cultivos anuales de ciclo corto (1 - 6 meses)	0.30 - 0.8
5b	Cultivos anuales de ciclo largo (> 6 meses)	0.40 - 0.9
6a	Cultivos permanentes asociados densos	0.01 - 0.3
6b	Cultivos permanentes no densos	0.100 - 0.45
7	¡Huertos de subsistencia	0.3 - 0.9

Es importante señalar que en el mapa de cobertura y uso no se especifican los tipos de cultivos de ciclo corto o de ciclo largo, si no que aparecen sólo áreas de cultivos de manera general, sin embargo, los trabajos de campo permitieron identificar distintos tipos de cultivos y coberturas para asignar los valores de C de forma correcta a cada uno de los tipos de cobertura. A partir de esto se promediaron valores de C para todas las áreas (Cuadro 5 y Figura 17).

CUADRO 5. Factor C en Los Andes Venezolanos.

Tipo de cobertura	Factor "C"
Aéreas desprovistas de vegetación	0,95
Bosque Montano Alto	0,005
Bosque Montano Bajo	0,01
Bosques y Arbustales Parameros	0,025
Cultivos	0,55
Paramo Andino	0,02

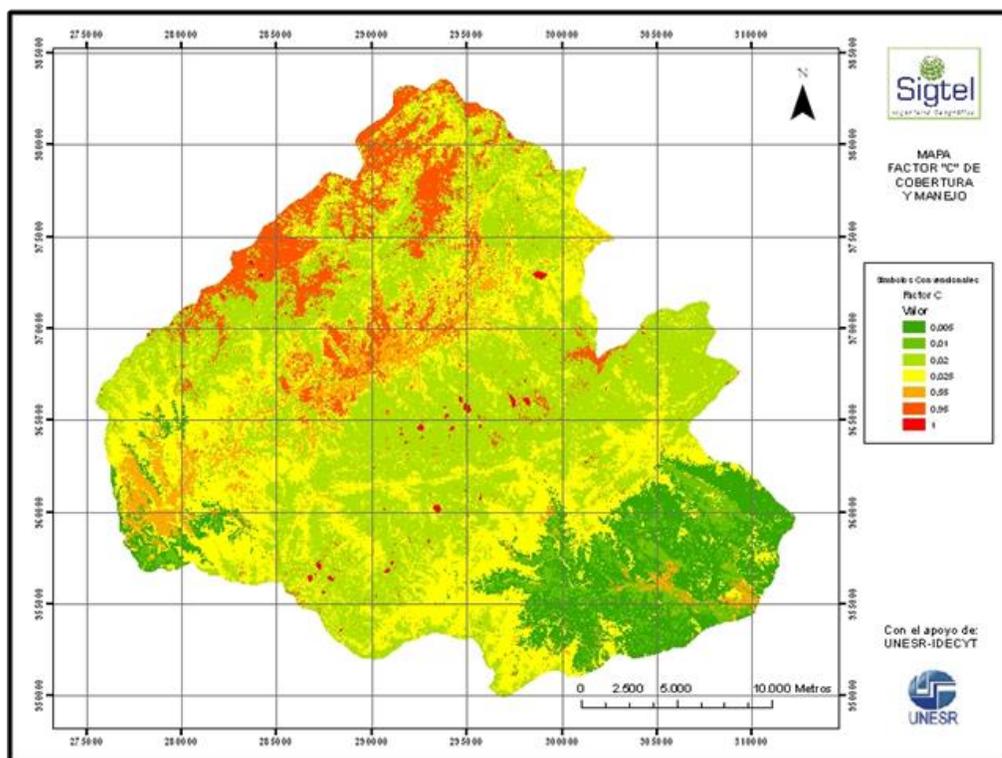


FIGURA 17. Factor "C" de cobertura y manejo. Fuente: Elaboración propia.

3.5 Cálculo del factor “P”, Prácticas de conservación

La cuenca alta del río Chama se caracteriza por presentar una intensa actividad agrícola abarcando parte de su espacio físico natural en donde se observa que, algunas vertientes con inclinaciones mayores a 25% no presentan tipo alguno de práctica conservacionista las cuales tienen como objetivo principal frenar o evitar los procesos erosivos.

175

Para los diferentes tipos de prácticas de conservación, el valor de P, puede variar entre 0,10 y 1, siendo más efectivas las prácticas cuando los valores de P están más cercanos a cero (0). Se identificó la distribución espacial de las Pérdidas Estimadas de Suelo (Figura 18).

Para este estudio se decidió trabajar con un valor de $P=1$, ya que éste se debe aplicar en las cuencas donde no es generalizado el uso de prácticas especiales de conservación, orientadas a facilitar la infiltración del agua en el suelo, disminuir o controlar el escurrimiento, o actuar en la retención de sedimentos (FAO, 1980) (Figura 19).

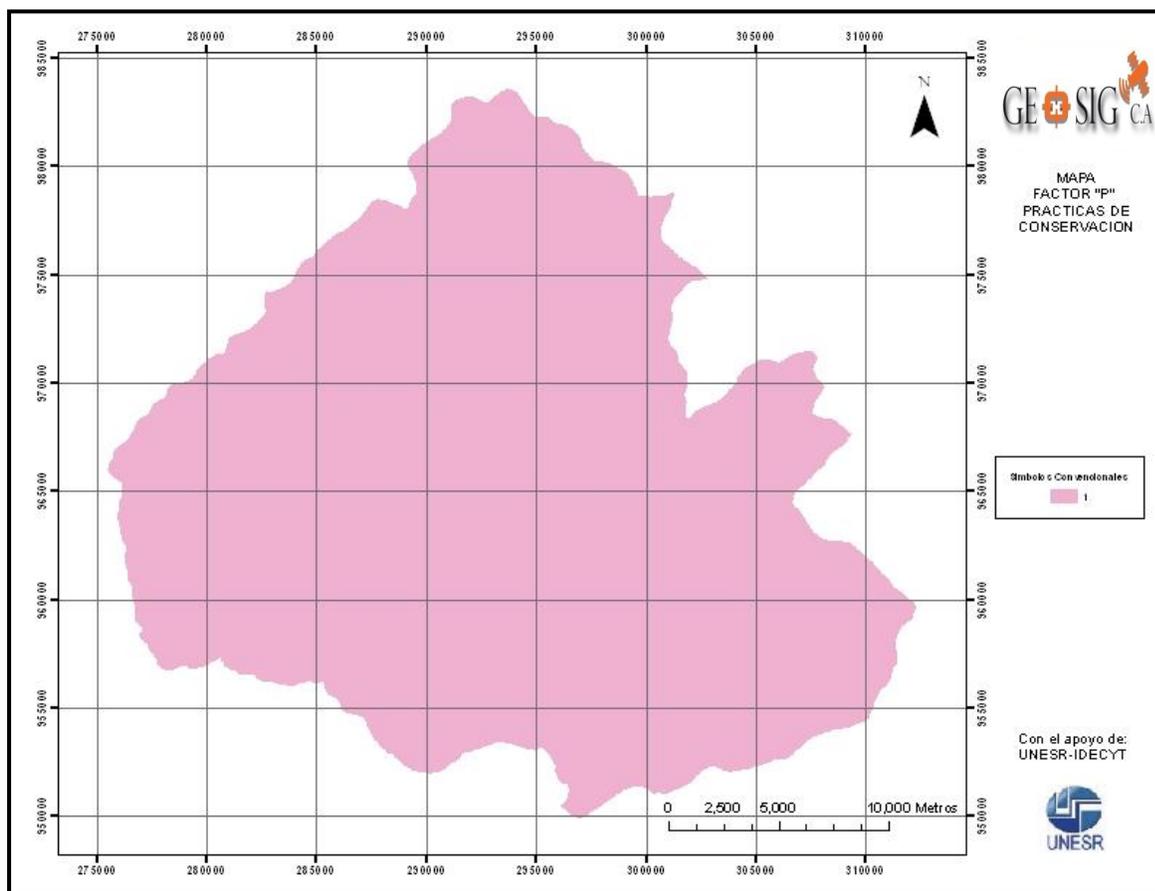


FIGURA 18. Factor "P", Prácticas de Conservación. Fuente: Elaboración propia.

3.6 Cálculo de las pérdidas de suelo

Para la realización del cálculo de estimación de pérdidas de suelos se utilizó una herramienta del sistema de información geográfica llamada Calculadora de datos Raster (RasterCalculator, ImageCalculator o MapCalculation). En este sistema se aplicó la fórmula de la EUPS y se obtuvo el resultado de **15,17 Tn/Ha/Año** de pérdida de suelo. También se obtuvo como resultado un mapa con la distribución espacial de estas pérdidas, es decir la ubicación

de los sitios dentro del municipio donde se estima que se está produciendo este fenómeno.

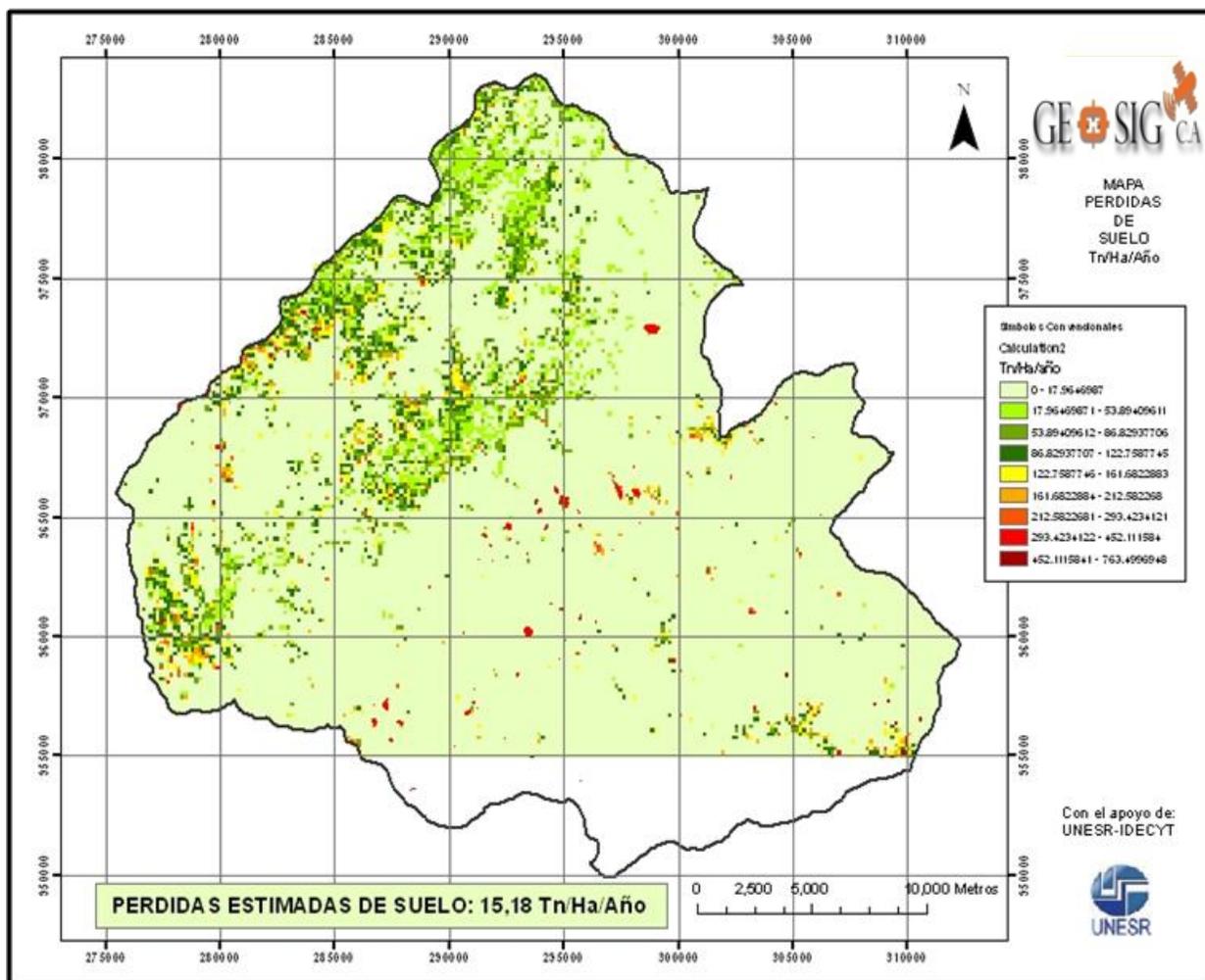


FIGURA 19. Distribución espacial de las Pérdidas Estimadas de Suelo en el Municipio Rangel. Fuente: Elaboración propia.

Las cuencas más susceptibles a los riesgos por erosión en el municipio Rangel obtenidas a través de este análisis son: parte media y baja de la microcuenca de la quebrada La Toma, río Chama; parte baja de la micro cuenca del río Canaguá, parte media de la microcuenca de la Qda. La Musuy; y parta baja de la micro cuenca del río Arenoso como se puede observar en la figura 19.

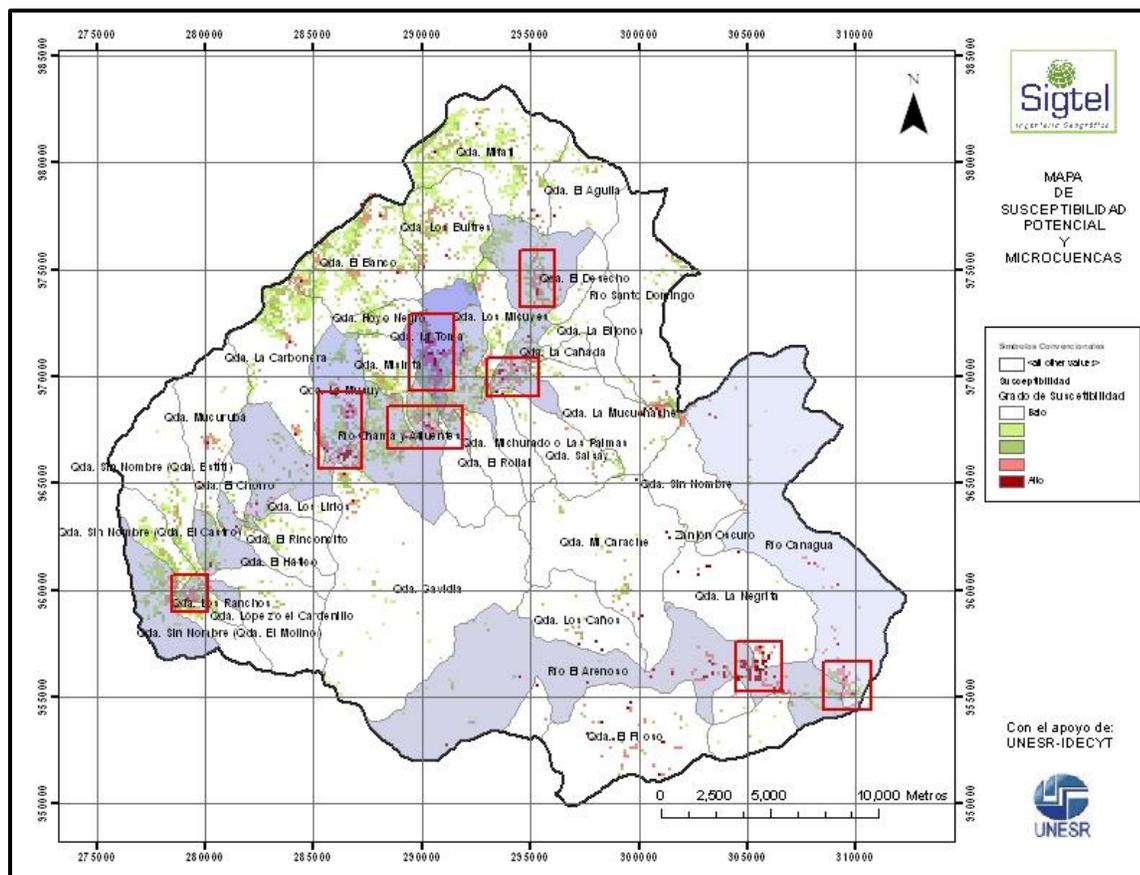


FIGURA 19. Distribución espacial de la pérdida de suelo, con la ubicación de los sitios dentro del municipio donde se estima que se está produciendo este fenómeno. Fuente: Elaboración propia.

En conjunto se puede definir el municipio Rangel como una zona de moderada fragilidad. Esto supone que una proporción media de su superficie está expuesta a la acción efectiva de los agentes erosivos, como consecuencia del tipo, estado y distribución de la cubierta vegetal, su red de drenaje y las pendientes presentes.

En lo que respecta a la susceptibilidad a la erosión, se puede ver como las áreas que tienen un valor “alto” se asocian con las cárcavas, los márgenes de los ríos con elevada pendiente y las zonas con escasa vegetación, zonas de cultivos, zonas deforestadas y todos los terrenos donde la densidad de drenaje es mayor.

El riesgo de erosión puede ser expresado cualitativamente (alto, moderado, bajo, etc.), o cuantitativamente (toneladas por hectárea por año). Existen varios cuadros comparativos para evaluar los resultados los cuales se presentan a continuación.

Para la evaluación cualitativa de los resultados formulada por Renschler (1996) y adoptada en Venezuela por el CIDIAT y El MARNR, se pueden interpretar los resultados expuestos en el cuadro 6.

CUADRO 6. Para la Evaluación de los resultados de estimación de pérdidas de suelo.

Riesgos de Erosión	Pérdidas (Tn/Ha/Año)
Muy Bajo	0-2
Bajo	2-5
Tolerable	5-10
Alto	10-20
Muy Alto	>20

4. CONCLUSIONES

Conceptualmente, la EUPS nos ha servido para definir los principales factores que inciden en los procesos erosivos en el municipio Rangel, que según lo demuestran los estudios son las pendientes y el uso del suelo.

El formato digital en que se utilizaron los datos geográficos ha permitido cruzarlos entre sí, utilizando matrices bidimensionales de cálculo. Esta técnica facilita enormemente el trabajo de los técnicos, ya que permite rehacer los criterios adoptados, modelizándolos y adecuándolos a la realidad observada en campo.

El 84.5 % del territorio del municipio no presenta problemas graves de erosión, el otro 15.5% corresponde a las pérdidas significativas de suelo presentes en el municipio.

El índice de agresividad, climático o de la lluvia, es moderado principalmente debido al tipo de lluvias orográfico-convectivas. El índice aumenta hacia la cuenca media del río Chama (población de Tabay) y hacia la población de Santo Domingo.

Para la vertiente sur del municipio en donde no se pudieron obtener datos debido a la falta de estaciones meteorológicas, se infiere que, el índice de lluvias también puede ser alto porque las precipitaciones anuales aumentan de forma brusca como lo demuestra el mapa de isoyetas.

El índice de erodabilidad del suelo se ubicó entre 0,026 y 0,028. Lo cual corresponde a suelos de moderada erosionabilidad.

La implementación de prácticas de conservación, en las zonas de cultivos agrícolas que se determinaron como críticas en el estudio, sería suficiente para minimizar e incluso eliminar algunos de los procesos erosivos relacionados con la erosión hídrica.

Con la finalidad de preservar los suelos y mejorar la producción, se debe integrar el manejo agroecológico en los procesos productivos y los ciclos ecológicos de la región y manejar los medios agrícolas en forma sostenible

5. AGRADECIMIENTOS.

El equipo de trabajo desea expresar su mayor agradecimiento a la Universidad Nacional Experimental Simón Rodríguez (UNESR) y al Instituto de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (IDECYT) por el apoyo económico para la realización de este trabajo. Un agradecimiento muy especial a la Profesora Hilda Di Stefano por todo su apoyo durante la realización de este trabajo. Al Profesor Miguel Ángel Núñez, por todo el apoyo que ha brindado a esta iniciativa, por su asesoría y comentarios sobre la investigación. A los estudiantes del Diplomado en Agroecológica, por sus comentarios y la atención prestada al presente trabajo.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barrios, A.** (1999). Distribución espacial del factor LS (RUSLE) usando procedimientos SIG compatibles con IDRISI. Aplicación en una micro cuenca andina. *Revista Forestal Venezolana*, 44, 57-64.
- Bizarro, D. M., y Siqueira, O. J. W. D.** (1985). Estimativa da erodibilidade e do fator cobertura e manejo para solos do Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 20, (3), 353-361.
- Bizarro, D. M., y De María, I. C.** (1988). Fator cobertura e manejo do solo (C) da equação universal de perdas de solo, para condições do Estado de São Paulo. *Bragantia*, 47, (1), 127-138.

- COPLANARH.** (1970). Evaluación de los sistemas de riego. Caracas: Comisión del Plan Nacional de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos.
- Castillo, J. B.** (1965). Estudio de los suelos de las partes altas de las cuencas de los ríos Chama y Santo Domingo. II Parte. Escuela de Geografía, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Universidad de Los Andes.
- CIDIAT.** (1996). Erosividad de la lluvia y riesgo de erosión hídrica en suelos de Mucuchíes, Estado Mérida. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial
- FAO.** (1980). Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Roma, Italia. 86 p.
- MARNR.** (1983). Sistemas Ambientales Venezolanos. Regiones naturales: 7A Depresión del Táchira, ProyectoVen/79/001, Código II-2-7A. Proyecto VEN/79/001. Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables MARNR.
- López, R y Crespo C, H.** (1996). Erosividad de la lluvia y riesgo de erosión hídrica en suelos de Mucuchíes, Estado Mérida. Revista Geográfica Venezolana, 37, 77-96.
- Wischmeier, W. H. y Smith, D. D.** (1978). Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. United States Department of Agriculture (USDA). Agriculture Handbook N° 537. Washington. USA. 51 p.
- Biesemans, J.** (1997). Wtrshed y Rusle_Flowline_Ls C source programs. Program. Dept.Soil Management. University Gent.