

## DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DEL RIESGO DE DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS POR EROSIÓN HÍDRICA EN EL ESTADO LARA, VENEZUELA

Esneira Quiñónez<sup>1</sup> y Francesco Dal Pozzo<sup>2</sup>

*Universidad de Los Andes. Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial, CIDIAT-ULA*

*Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales, IGCRN-ULA*

*Recibido: febrero 2008*

*Aceptado: junio 2008*

### Resumen

En este estudio se aplica la metodología propuesta por FAO-PNUMA-UNESCO (1980) para el cálculo de riesgo de degradación de los suelos por erosión hídrica en el Estado Lara, Venezuela. El factor climático se determina a través del Índice de Fournier modificado, el factor suelo se determina a través de valoraciones por clase textural y taxonomía, el factor topográfico se determina a partir de un modelo de elevación digital con resolución de 90 metros. Los resultados indican que el Estado Lara posee, en un 14% de su superficie un riesgo de degradación por erosión hídrica muy alto (> 200 t/ha/año). Los riesgos de degradación alto (50–200 t/ha/año) cubren un 29% del Estado. Los riesgos de degradación moderados (10–50 t/ha/año) ocupan una superficie de 19%. Los riesgos de degradación bajos (0–10 t/ha/año) se ubican predominantemente en los sistemas de valles y depresiones ocupando una superficie de 22%. Un 9% de la superficie se encuentra cubierta por afloramientos rocosos, el restante 8% de la superficie no tiene información de suelos, lo que impide determinar el riesgo de éstas áreas. Este estudio pretende aportar una categorización basada en una estructura cuantitativa, ofreciendo los resultados en un modelo distribuido de celdas de 90\*90m.

**Palabras clave:** Riesgo por erosión hídrica, SIG, Lara-Venezuela, SRTM

### SPATIAL DISTRIBUTION OF SOIL DEGRADATION HAZARD BY HYDRIC EROSION IN LARA STATE, VENEZUELA

### ABSTRACT

In this study is applied the methodology suggested by FAO-PNUMA-UNESCO (1980) to determine spatial distribution of soil erosion hazard in Lara State, Venezuela. The climatic factor is determined using the modified Fournier's Index, the soil factor is determined through textural class and taxonomy valuations, the topographic factor is determined from a digital elevation model with a 90-meter resolution. Results showed that, in the State of Lara, 14% of the area presents very high soil water erosion hazards (>200 t/ha/year). The high degradation risks (50-200 t/ha/year) cover up to 29% of the state surface. The moderate degradation risks (10-50 t/ha/year) occupy a surface of 19%. The low degradation risks (0-10 t/ha/year) are located predominantly in the systems of valleys and depressions occupying a surface of 22%. 9% of the surface is covered by rocky outcrop. Soil information for the remaining 8% of the state surface was unavailable, preventing the risk determination for these areas. This study seeks to provide a categorization based on a quantitative structure, offering the results in a distributed model of cells of 90\*90m.

**Keywords:** Risk by hydric erosion, SIG, Lara-Venezuela, SRTM

<sup>1</sup> Geógrafa, Msc. en Gestión de Recursos Naturales Renovables y Medio Ambiente (CIDIAT). Profesora Asistente CIDIAT. Email: qesneira@ula.ve

<sup>2</sup> Geógrafo, Msc. En Tecnologías de Información Geográfica (UAB-España). Docente IGCRN-ULA. Email: dalpozzo@ula.ve, info@dalpozzo.com

## 1. Introducción

A nivel global, uno de los problemas ambientales que causa mayor preocupación es el referido a la degradación de las tierras. Este problema bajo la denominación específica de desertificación, y dirigida principalmente hacia las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas del planeta, es causado por una compleja combinación de diversos factores, como las variaciones climáticas, y generalmente es acelerado por las actividades humanas. Desafortunadamente, los ecosistemas de las tierras áridas, semiáridas y subhúmedas secas que cubren una tercera parte del total de la tierra, son extremadamente vulnerables a la sobre-explotación y al uso inapropiado de la tierra.

En Venezuela, las áreas más extensas actualmente sometidas a procesos de desertificación se localizan en las regiones áridas y semiáridas de los Estados Lara y Falcón, al noroeste del país, generando impactos significativos en la vida de los habitantes locales y en la capacidad productiva de los recursos naturales, contribuyendo a profundizar la marginalidad y la pobreza en amplios sectores de la población (MARN, 2000). Específicamente en el Estado Lara, existen grandes zonas áridas y semiáridas que están actual y potencialmente sujetas a severos procesos de degradación del suelo, incluyendo la erosión, la degradación estructural, la contaminación salina y la contaminación química, el agotamiento y la contaminación del suelo superficial y los recursos hídricos subterráneos y el agotamiento, degradación y modificación de la composición de la vegetación (PNUD, 2005).

Los procesos de degradación del suelo, suelen traducirse en una reducción del rendimiento. La conservación y rehabilitación de tierras constituyen una parte esencial del desarrollo agrícola sostenible. Los efectos negativos de un suelo degradado sobre la economía de una región son más severos en las zonas que más dependen de la agricultura para obtener ingresos (FAO, 1996).

La economía del Estado Lara depende en gran medida de su actividad agrícola. Esta actividad tiene fuerte incidencia en las estadísticas de producción a nivel nacional. Según cifras preliminares para el año 2003, en la producción de hortalizas destacan la cebolla, con un 75,8% del total nacional, pimentón (67,5%), pepino (52,8%) y tomate (25,4%); en la producción de frutas destaca la piña con un 67,5 %. El Estado Lara produce además, el 100% de sisal y el 42,4% de la producción agrícola de caprinos a nivel nacional (FUDECO, 2004).

En Venezuela los esfuerzos por realizar diagnósticos sobre la degradación de tierras se remontan al año 1941 con la Misión de Conservación de Suelos, conocida abreviadamente como "Misión Bennett." Esta misión fue solicitada por el Gobierno Venezolano a la Secretaría de Estado del Gobierno de los Estados Unidos de América, quien delegó en el Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura, la responsabilidad de la misma, siendo el Ministerio de Agricultura y Cría la institución receptora y canalizadora de la comisión. Dentro de los diversos objetivos que tuvo esa misión, se consideró el diagnóstico de la erosión del suelo, los efectos del sobrepastoreo y del cultivo continuado, a partir de un reconocimiento del terreno (MARN, 2000).

En el año 1968 se realiza el Inventario de Suelos y Tierras desarrollado por los ya desaparecidos Ministerio de Obras Públicas (MOP), a través de la Dirección General de Recursos Hidráulicos, Dirección de Información Básica y por la Comisión del Plan Nacional de Aprovechamiento de los Recursos Hidráulicos (COPLANARH), quienes realizaron estudios semidetallados (1:25.000) y detallados

(1:10.000 o mayor) de suelos en el primer caso y de reconocimiento (1:500.000) y gran visión (1:250.000) en el segundo. Todos estos estudios básicos suministraron información acerca de la degradación de las tierras por diversos tipos de erosión laminar, en surcos, en cárcavas y movimientos de masa, calificando las mismas de manera cualitativa, partiendo, casi siempre, de una evaluación visual que se convertía en cuasi-cuantitativa, y cartografiándolas como Fases de Suelos (MARN, 2000).

El Inventario de Suelos y Tierras permitió el desarrollo de diferentes programas de evaluación de tierras y de conservación de suelos. Específicamente el programa Sistemas Ambientales Venezolanos (1979 – 1983) consta de una serie de documentos y mapas a escala 1:250.000 que ofrece información con relación a la erosión y la degradación de las tierras para 35 regiones naturales del país, manteniendo la calificación cualitativa de los procesos.

Este trabajo pretende, aportar un diagnóstico cuantitativo sobre el riesgo de degradación de suelos por la erosión hídrica para el Estado Lara, tomando en consideración un modelo distribuido y utilizando la herramienta de sistemas de información geográfica para la aplicación de la metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos (FAO-PNUMA-UNESCO, 1980).

## **2. Características generales del área de estudio**

El Estado Lara se encuentra situado en el centro - occidente de Venezuela, ocupa una superficie aproximada de 20.850 km<sup>2</sup>. Su relieve está constituido por una compleja combinación de paisajes montañosos, colinas, valles y depresiones. Los sistemas presentes son: Sistema Andino: integrado por las últimas estribaciones del Sistema de los Andes venezolanos. La mayor altura es el páramo Cendé con 3.585 msnm. Sistema Coriano o Falconiano: formado por las sierras de Baragua, Bobare-Matatera y Jirajara-Ziruna; su altura máxima es el cerro El Cerrón con 1.900 msnm. Sistema de la Costa: concluye o se inicia con la Sierra de Aroa, que penetra por el extremo centro-oriental, alcanzando una altura máxima de 2.500 msnm., en el cerro Palo de Agua. En su parte central está la Depresión de Lara, con un gran porcentaje de terreno plano; además de las depresiones Turbio-Yaracuy y la de Moroturo (Vila, 1966).

Geológicamente, se presenta un paisaje de contrastes: empinados frentes montañosos con formaciones de las eras secundaria y terciaria, así como planicies aluviales de la era cuaternaria. Los sedimentos terciarios plegados en anticlinales se aprecian en serranías alargadas y paralelas entre sí. Los sedimentos del terciario superior están menos consolidados y se representan en colinas bajas redondeadas. Los valles y depresiones comprenden extensiones importantes de sedimentos del cuaternario antiguo y reciente (Vila, 1966).

De acuerdo al sistema taxonómico del USDA (Soil Survey Staff, 1992), la mayor expresión de los órdenes de suelos se ubica en los órdenes Entisol, Aridisol, Inceptisol, Ultisol y Alfisol (COPLANARH, 1975). Los suelos en el área varían ampliamente en cuanto a su potencial agrícola y vulnerabilidad a los procesos de degradación. La ampliamente diseminada asociación orthents-orthids, que domina las colinas en las áreas secas, está compuesta por suelos poco profundos con una textura muy fina y relativamente impermeables, donde la cubierta del suelo prácticamente no existe. Como resultado, las tasas de erosión del suelo son extremas, con frecuente formación de cárcavas. Aunque son más profundos, muchos de los suelos en las principales depresiones secas tales como

la asociación camborthid-haplargid-torriotthent en los valles de Quibor, Carora, Bobare y Atarigua presentan limitaciones similares y son consideradas como altamente susceptibles a la degradación (PNUD, 2005).

En el estado Lara se ubican ecosistemas de importancia global. La ecoregión del bosque seco Lara-Falcón, cuya área total estimada es de 16.900 km<sup>2</sup>, forma parte de las únicas áreas tropicales xerofíticas fragmentadas que quedan en el norte de Venezuela (PNUD, 2005). En el Estado Lara, los bioclimas más representativos son: paramero húmedo, que corresponde al 0,3% del territorio, el montano bajo húmedo que representa el 4,5%, el premontano húmedo con el 19% de la superficie, el premontano seco y muy seco que ocupan el 30% del total, y el tropical seco y muy seco que ocupan el 46,2% de la superficie total (Vila, 1966).

A nivel climático, en las depresiones domina el clima semiárido, con escasas precipitaciones y altas temperaturas. En Barquisimeto se registran aproximadamente 464 mm de lluvia al año y una temperatura media de 24°C. En Carora se alcanzan temperaturas medias anuales de más de 27°C, mientras que en Quibor la pluviosidad anual es de 457 mm aproximadamente. En las últimas estribaciones de los Andes venezolanos, descienden las temperaturas y aumenta la pluviosidad, con 835 mm en Sanare, lo mismo que en las Sierras del Sistema Coriano, registrándose 1.167 mm de pluviosidad anual en Moroturo. Los registros de evaporación más extremos se presentan en Carora con un promedio de más de 3.200 mm anuales (Vila, 1966).

### **3. Materiales y métodos**

#### **3.1. Equipos y programas utilizados**

Se utilizó un computador Pentium IV, 3.2 GHz, 1024 Mb de memoria RAM y disco duro de 32 Gb. El cálculo del factor topográfico y el modelado cartográfico se determinaron con el programa ArcGIS versión 8.3. El análisis geoestadístico de la información climatológica se realizó con el programa SURFER versión 8.0. La licencia de ambos programas pertenece al Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial, CIDIAT.

#### **3.2. Estimación del riesgo de erosión hídrica**

El problema de la degradación de los suelos a nivel mundial ha sido un tema de primordial importancia para los organismos internacionales dedicados al medio ambiente. En esta línea, FAO - UNESCO - PNUMA (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación - Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura - Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) han desarrollado una metodología para la evaluación de la degradación de los suelos de aplicación a todo el mundo denominada: Metodología Provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos (FAO-PNUMA-UNESCO, 1980).

El principio fundamental de esta metodología es que el clima ataca los suelos, los cuales poseen una resistencia natural frente a las fuerzas degradantes y su estabilidad es drásticamente modificada por la acción humana (Red Nacional de Conservación de Suelos y Aguas, 2004).

Un segundo principio trata la formación del suelo como un proceso dinámico, en continua evolución, y por tanto la metodología ha de poder evaluar de distinta manera a un suelo que se encuentre bien preservado pero que actualmente se esté degradando con rapidez, de otro suelo, que por el contrario se encuentre muy degradado pero que actualmente lo haga a una velocidad de deterioro muy baja.

Un tercer principio adoptado en esta metodología es que la evaluación de los riesgos alcanza su máxima utilidad cuando al realizar la evaluación se eliminan todos los factores relativamente inestables o no permanentes, como puede ser la vegetación o el uso actual. De esta manera las evaluaciones adquieren un carácter permanente, no se vuelven obsoletas por un simple cambio en el uso del suelo.

Para calcular los diferentes riesgos de degradación de suelos se establece un modelo paramétrico conjugando los siguientes factores: clima, topografía y suelos. La premisa en la selección de estos factores está basada en la estabilidad que poseen cada uno de ellos en el tiempo. La expresión del modelo paramétrico es la siguiente:

$$R = f(C, S, T) \quad (1)$$

siendo:

R = riesgo de degradación,  
C = factor de agresividad climática  
S = factor suelo  
T = factor topografía.

En el cálculo del riesgo por degradación hídrica se multiplican cada uno de los factores contenidos en la ecuación 1. Los componentes de la ecuación, aún cuando son adimensionales, producen un resultado de riesgo de pérdida de suelos expresado en toneladas por hectárea por año (t/ha/año) o en milímetros por año (mm/año). Estos resultados pueden ser catalogados en diferentes rangos de acuerdo a la clasificación de la Tabla I.

### 3.3. Determinación del factor climático

Para el cálculo de la agresividad climática se utilizó el Índice de Fournier modificado, para ello se consideraron 265 estaciones climatológicas ubicadas en la región centro-occidental de Venezuela. El cálculo de la agresividad climática se determinó con base en los valores medidos, a partir de los cuales se calcularon los promedios mensuales y anuales necesarios para determinar el Índice de Fournier modificado, que se expresa tal como sigue (FAO-PNUMA-UNESCO, 1980):

$$C = f \sum_{1}^{12} \frac{p^2}{P} \quad (2)$$

siendo:

C = Índice de erosividad de la lluvia (adimensional)  
p = Precipitación mensual (mm)  
P = Precipitación anual (mm)

Los valores obtenidos de erosividad de la lluvia son catalogados como: ligeros (0-50), moderados (50-500), altos (500-1.000) y muy altos (> 1.000).

La metodología utilizada para generar la cobertura del factor climático se basó en un análisis geoestadístico que permitió determinar la estructura y distribución espacial de la agresividad climática sobre el área de estudio. Este análisis requiere de la elaboración y ajuste de un semivariograma experimental, luego se realiza la interpolación de la información puntual usando el semivariograma teórico obtenido.

### 3.4. Determinación del factor suelo

La evaluación de la degradación de los suelos, en lugares con escasa disponibilidad de estudios de suelo a nivel detallado, se hace, por lo general, tomando en consideración

estudios de reconocimiento. Dada la limitada cantidad de datos que aportan los estudios a un bajo nivel de detalle, las evaluaciones deben basarse en las clasificaciones de suelo y en la cantidad de datos cuantitativos disponibles (Shields y Coote, 1990).

Tomando en consideración la información disponible en los Sistemas Ambientales Venezolanos (MARN, 1983), la valoración de la erosionabilidad se realiza con base en la clasificación taxonómica y la textura. La valoración por clase textural considera las tres clases generales de texturas: gruesa (0,2), media (0,3), fina (0,1) y la fase pedregosa (0,5). En cuanto a la valoración por taxonomía se establecen valores que oscilan desde ligera (0,5) a alta (2,0), dependiendo de la combinación de órdenes y subórdenes taxonómicos presentes en las unidades cartográficas de regiones homogéneas para el área de estudio.

### 3.5. Determinación del factor topográfico

Quiñónez y Dal Pozzo (2005) precisan los riesgos de degradación por erosión hídrica comparando un modelo agregado y un modelo distribuido para la determinación del factor topográfico. Para el caso particular del Estado Mérida, Venezuela, se obtienen resultados idénticos en un 65% de la superficie para los dos modelos. Valores sobreestimados por el modelo agregado pueden observarse en un 19% del área de estudio, mientras que los valores subestimados corresponden con un 7% del área. El restante 9% de la superficie corresponde a afloramientos rocosos. Los autores enfatizan las ventajas de la utilización del modelo distribuido en cuanto a precisión, detalle y minimización de costos. Basado en esos resultados, se adopta para el presente estudio el modelo distribuido como procedimiento metodológico para la elaboración del factor topográfico.

El modelo de elevación digital se obtiene a partir de datos de elevación provenientes de imágenes de radar capturadas a través del *The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*. Esta misión se inició el 11 de Febrero de 2000, sus radares barrieron la mayor parte de la superficie de la Tierra, y adquirieron datos durante diez días de operación para obtener una base de datos topográfica digital de alta resolución que cubre el 80% de la superficie de la tierra entre los 60° de latitud norte y los 56° de latitud sur. La información de elevación está disponible cada 3 segundos de arco (cerca de 90 m). La precisión vertical de los datos de elevación es de aproximadamente 16 metros (90% de confiabilidad). Los datos de elevación son distribuidos de manera gratuita por la Agencia Nacional de Inteligencia Geoespacial (NGA) y la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA), (USGS, 2000).

El modelo distribuido se obtiene ya en formato RASTER y con resolución de 90 metros generados por la NASA. Se asume que las técnicas empleadas para procesar la información de Radar (interferometría) consideran la minimización del error. Por otra parte, el modelo generado a 90 metros no es un redimensionamiento de una fuente de mayor resolución (*resample*), lo que permite inferir que el nivel de error es bajo.

A partir del mapa de pendientes generado, la asignación de la valoración por factor topográfico se realiza tomando en consideración la ecuación ajustada por Quiñónez (1997) para los puntos medios de cada rango de pendiente considerados en ese estudio. La ecuación de tipo lineal con un  $R = 0,997$ , se expresa como sigue:

$$T = (0,2234 * P) - 0,5265 \quad (3)$$

siendo:

T = Valoración para el factor topográfico

P = Pendiente en porcentaje.



## 4. Resultados y discusión

### 4.1. El factor climático

Se realizó un análisis climatológico a nivel regional considerando las estaciones climatológicas ubicadas en el centro – occidente de Venezuela. El Índice de Fournier modificado se calculó para un total de 265 estaciones. La Figura 1 muestra la distribución espacial de las estaciones y los estadísticos básicos de la serie de datos utilizados.



#### Estadística descriptiva

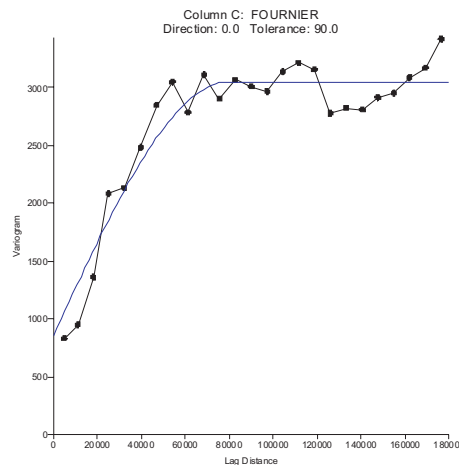
Número de datos	265
Media (Z)	120.0
Desviación estándar (Z)	54.59
Varianza	2980.72

#### Coordenadas

Mínimo X	226377.3
Máximo X	658988.2
Mínimo Y	1000555
Máximo Y	1341142.
Mínimo Z	29.1
Máximo Z	356.8

Figura 1. Distribución espacial de las estaciones climatológicas y estadísticos básicos del Índice de Fournier modificado.

La Figura 2, muestra el semivariograma teórico ajustado a los datos ya mencionados. El modelo ajustado es esférico con una escala de 2.200, rango de 80.000 y efecto pepita de 850.



Componentes del variograma:  
 Modelo Esférico:  
 Escala: 2200, Longitud: 80000  
 Radio: 1 Angulo: 0  
 Efecto Pepita: 850 Microvarianza: 1

Figura 2. Semivariograma teórico. Índice de Fournier modificado para 265 estaciones climatológicas ubicadas en la región centro-occidental de Venezuela.

El semivariograma ajustado se utilizó para interpolar por krigeado ordinario puntual el Índice de Fournier modificado sobre una malla con resolución de 90x90m. La Figura 3 muestra el modelo distribuido obtenido para el factor climático.

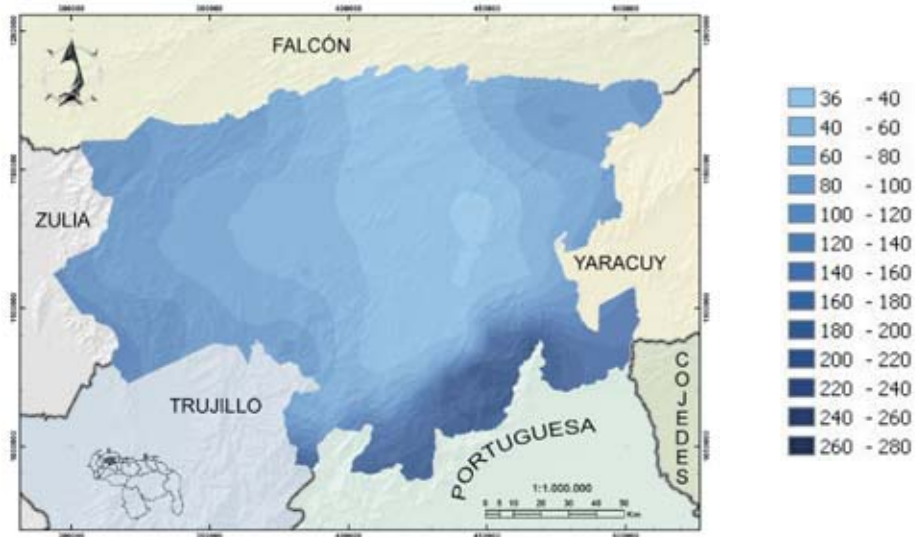


Figura 3. Factor climático. Agresividad de la lluvia según Índice de Fournier modificado.

La agresividad climática en el Estado Lara se clasifica en el rango de agresividad ligera a moderada. Un sector de ligera erosividad (35 a 60, en valores adimensionales del Índice de Fournier modificado) abarca una superficie aproximada de 24% y está situada prácticamente en el centro del Estado Lara cubriendo centros poblados como El Tocuyo, Quibor, Bobare y Siquisique. Alrededor de este sector de ligera erosividad se extiende otro rango de ligera a moderada (60 a 125, en valores adimensionales del Índice de Fournier modificado) que cubre cerca de 57% y cubre centros poblados como San Francisco, Rio Tocuyo, Carora, Duaca, Barquisimeto y Sanare. Los valores de erosividad restantes (entre 125 y 270, en valores adimensionales del Índice de Fournier modificado), se presentan al oeste y sur del Estado Lara cubriendo un área de 19%, en esta zona se encuentra el centro poblado de Sarare.

#### 4.2. El factor suelo

El Estado Lara tiene una predominancia de suelos de texturas medias, estos suelos cubren un 45% de la superficie y se ubican indistintamente en los sistemas de paisaje correspondientes a montañas, colinas y valles. Las texturas finas cubren un 29% del área y se encuentran de manera indistinta en sistemas de paisajes correspondientes a colinas, depresiones y valles. Las texturas gruesas se ubican en su mayoría al oeste del Estado y cubren un 9% de la superficie. Los afloramientos rocosos aparecen aisladamente ubicados en todo el estado y cubren un 9% de la superficie. Una fase pedregosa de suelo cubre un 4% del área total y se ubica al centro sur del Estado Lara. Para un restante 4% de la superficie no se dispone de información sobre clase textural. La Figura 4 muestra la distribución espacial de las clases texturales en el área de estudio.



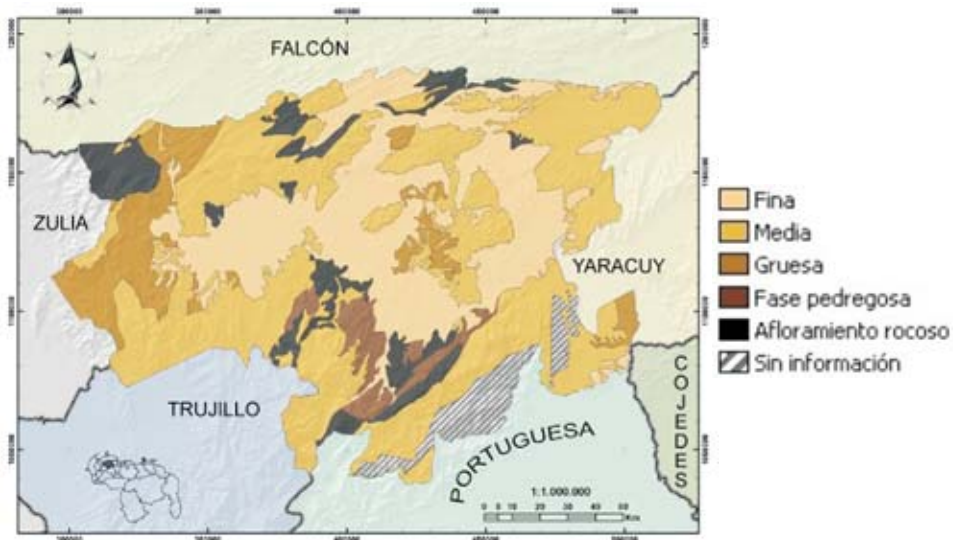


Figura 4. Factor suelo. Distribución de clases texturales en el Estado Lara.

Debido a la amplia gama de combinaciones por orden taxonómico presentes en la zona de estudio, se establecieron valoraciones desde 0.5 (baja erosionabilidad) hasta 2.0 (muy alta erosionabilidad). De manera general, el orden Inceptisol predomina en el área con un 35%. El orden Aridisol se presenta en un 27% de la superficie. Los ordenes Inceptisol y Ultisol cubren un 19 y 16% del área respectivamente. El restante 3% se corresponde con el orden Alfisol. La valoración por taxonomía se presenta en la Figura 5.

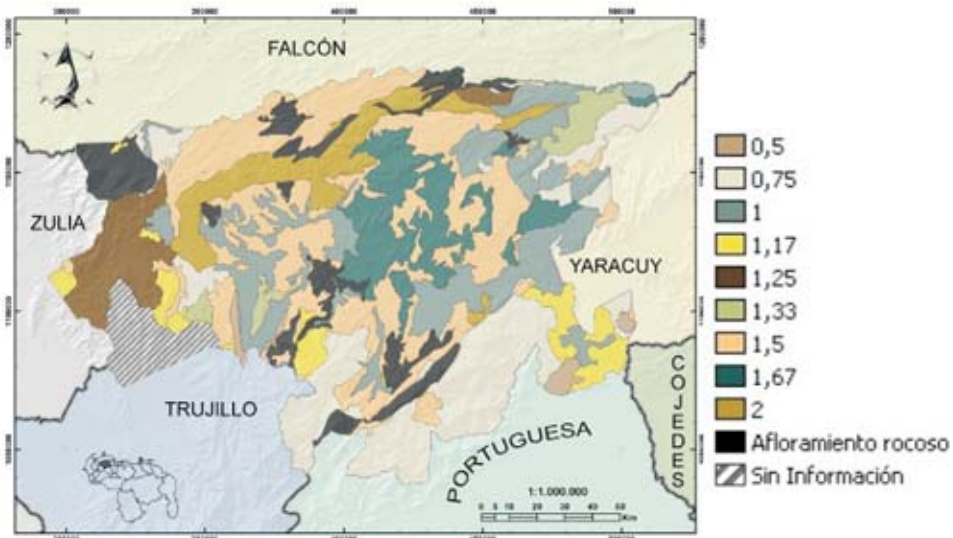


Figura 5. Factor suelo. Erosionabilidad del suelo según clasificación taxonómica.

### 4.3. El factor topográfico

Las pendientes suaves (0-8%) dominan la depresión de Carora, cuenca del río Daquiva, depresión del Valle de Quibor, planicie del río Turbio, planicie del río Tuy, entre otros. El área de pendientes suaves ocupa una extensión del 30% de la superficie total y se ubica predominantemente en el centro del Estado Lara, con una representación importante al extremo norte y sur oriental del mismo.

Las pendientes moderadas (8-20%) se ubican indistintamente en la totalidad del Estado a excepción de las depresiones, y se presentan en los sistemas montañosos y de colinas. Esta categoría representa el 29% de la superficie total.

Las pendientes pronunciadas (20-30%) ocupa. Se presentan igualmente en los sistemas montañosos y de colinas y representando el 20% de la superficie total. El rango de pendiente muy pronunciada (30-50%) se ubica predominantemente en los sistemas montañosos y representan el 17% de la superficie total. Las pendientes escarpadas (> 50%) ocupan sólo el 3% de la superficie ubicándose muy puntualmente en los sistemas montañosos. La Figura 6 muestra el modelo de pendiente de la zona de estudio.

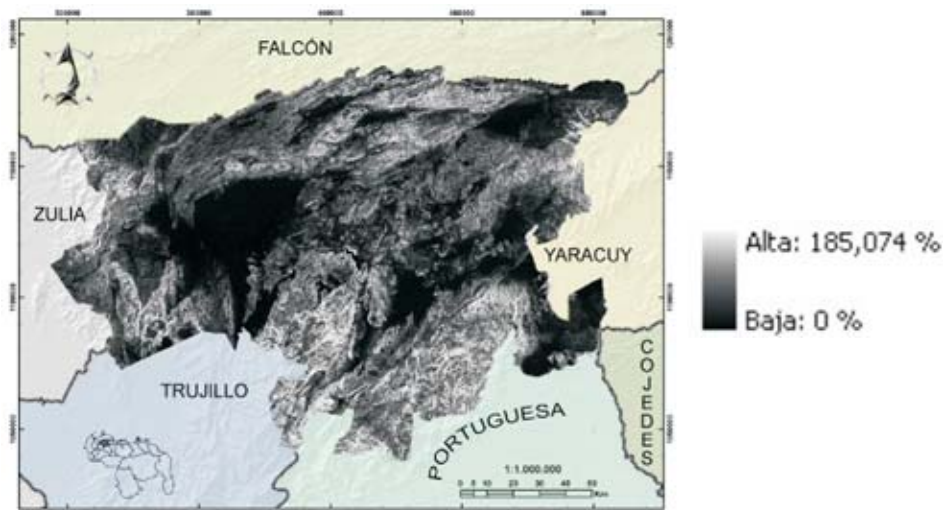


Figura 6. Pendiente del terreno

### 4.4 Distribución de los riesgos de degradación de los suelos por la erosión hídrica

El resultado de la aplicación del modelado cartográfico (Figura 7) indica que el Estado Lara posee, en el 14% de su superficie, un riesgo de degradación por erosión hídrica catalogado como muy alto (> 200 t/ha/año) y se ubica en los ejes montañosos norte y sur.

Los riesgos de degradación alto (50-200 t/ha/año) cubren un 29% del Estado. Estos riesgos se ubican espacialmente en los sistemas montañosos y de colinas. Los riesgos de degradación moderados (10-50 t/ha/año) se encuentran predominantemente al Centro-Este del Estado y ocupa una superficie de 19%. Los riesgos de degradación bajos (0-10 t/ha/año) se ubican predominantemente en los sistemas de valles y depresiones ocupando una superficie de 22%. Un total de 9% de la superficie se encuentra cubierta por afloramientos rocosos en donde ocurren procesos erosivos naturales o pedogenéticos. El restante 8% de la superficie no tiene información de suelos, lo que impide determinar el riesgo de éstas áreas.

La reciente disponibilidad de información topográfica a nivel de detalle en formato digital y de acceso libre permite la optimización en la aplicación de metodologías para la evaluación del riesgo. Por otra parte, la utilización de técnicas geoestadísticas implementadas en los programas informáticos, permite describir los fenómenos climatológicos a partir de un análisis estadístico de la variable con respecto a su distribución espacial, mejorando la precisión en la estimación y reduciendo los tiempos de análisis.

En Venezuela, los resultados de las evaluaciones de pérdida de suelo a escala pequeña, generalmente se han presentado a través de categorías nominales, tal como los presentados por Sistemas Ambientales Venezolanos. Este estudio pretende aportar una categorización basada en una estructura cuantitativa, ofreciendo los resultados en un modelo distribuido de celdas de 90\*90m. Los resultados obtenidos, aún cuando son aproximados, pueden servir como base para estudios más detallados y pueden resultar de valiosa utilidad en la planificación y conservación de los recursos naturales renovables.

Al evaluar sólo los factores físico naturales y excluir la acción que el hombre ejerce en la degradación del recurso suelo, se obtienen, entonces, las limitaciones intrínsecas de un área dada. Estas limitaciones deben ser consideradas antes del establecimiento de un determinado uso. El tratamiento de los problemas de degradación debe ser, principalmente, de carácter preventivo y no correctivo, pues éste último no compensa totalmente los daños causados, no sólo en la pérdida del suelo superficial sino también en la potencial degradación de otros recursos.

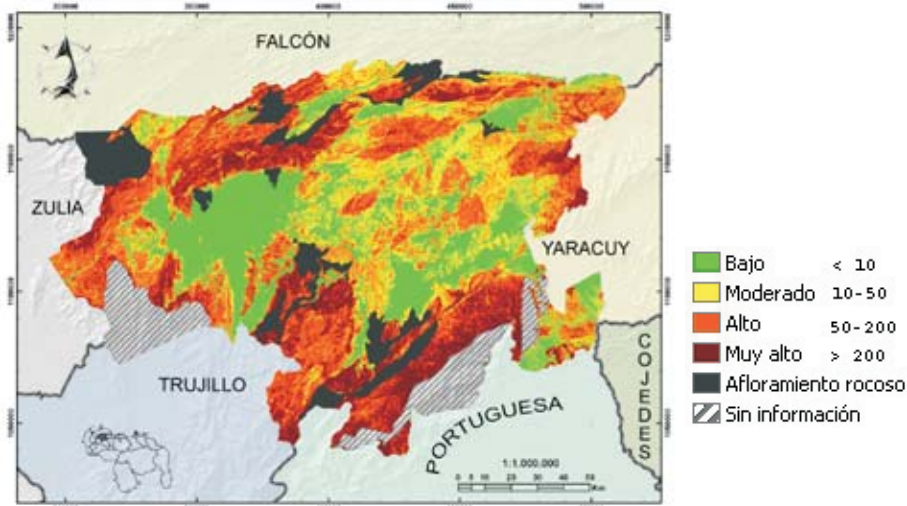


Figura 7. Distribución de los riesgos de degradación de suelos por erosión hídrica

## 5. Conclusiones

La reciente disponibilidad de información topográfica a nivel de detalle en formato digital y de acceso libre permite la optimización en la aplicación de metodologías para la evaluación del riesgo de degradación del suelo por erosión hídrica. De acuerdo a los resultados obtenidos, el Estado Lara posee, en un 14% de su superficie un riesgo de degradación por erosión hídrica muy alto (> 200 t/ha/año). Los riesgos de degradación alto (50–200 t/ha/año) cubren un 29% del Estado. Los riesgos de degradación moderados (10-50 t/ha/año) ocupan una superficie de 19%. Los riesgos de degradación bajos (0-10 t/ha/año) se ubican predominantemente

en los sistemas de valles y depresiones ocupando una superficie de 22%. Un 9% de la superficie se encuentra cubierta por afloramientos rocosos, el restante 8% de la superficie no tiene información de suelos, lo que impide determinar el riesgo de éstas áreas. Este estudio pretende aportar una categorización basada en una estructura cuantitativa, ofreciendo los resultados en un modelo distribuido de celdas de 90\*90m. Los resultados obtenidos, aún cuando son aproximados, pueden servir como base para estudios más detallados y pueden resultar de valiosa utilidad en la planificación y conservación de los recursos naturales renovables.

### Referencias bibliográficas

- COPLANARH (1975). Inventario Nacional de Tierras. Estudio geomorfológico de las regiones Costa Noroccidental, Centro Occidental y Central. Publicación N 44. Ministerio de Obras Públicas. Caracas. Venezuela.
- FAO (1996). Degradación antropogénica de los suelos. <http://www.fao.org/sd/spdirect/gis/wfs12.htm> Consultado en Enero 2005.
- FAO-PNUMA-UNESCO (1980). Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo de la Agricultura y la Alimentación (FAO), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Organización de las Naciones para el Medio Ambiente (UNESCO). Roma, Italia.
- FUDECO (2004). Información regional. Economía del Estado Lara. <http://www.fudeco.org/estados/lara/pdf/ESTADO%20LARA3.pdf>. Consultado en Enero de 2006.
- MARN (1983). Sistemas Ambientales venezolanos. Regiones naturales: 7B Andes Venezolanos, 11 Sistema montañoso Falcón Lara, 12 Depresión de Carora, 16 Macizo coriano subhúmedo y 22 Serranía del Interior. Proyecto VEN/79/001. Caracas. Venezuela.
- MARN (2000). Informe nacional sobre la implementación de la Convención de Naciones Unidas de lucha contra la desertificación y mitigación de la sequía. Informe Nacional de Venezuela CLD. Caracas, Venezuela.
- PNUD, 2005. Nota conceptual aprobada. PROYECTO VEN/00045460. Combate a la degradación de las tierras en las zonas áridas y semiáridas de los Estados Lara y Falcón, Venezuela.
- QUIÑÓNEZ, E. Y DAL POZZO, F. (2005). Influencia del cálculo del factor topográfico en la distribución espacial del riesgo de degradación de los suelos por la erosión hídrica en el Estado de Mérida, Venezuela. *GeoFocus (Artículos)*, nº 5, p. 204-218, ISSN: 1578-5157.
- QUIÑÓNEZ, E. (1997). Distribución espacial de riesgos de degradación de suelos en el Estado Mérida: Aplicación de un sistema de información geográfica. Tesis de maestría. CIDIAT, Universidad de los Andes. Mérida, Venezuela.
- RED NACIONAL DE CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUAS (2004). El recurso suelo. <http://www.redaguas.edu.co/default.php?link=recursos&sub=suelo&item=evaluacion>. Consultado en Diciembre 2004.
- SHIELDS, J. Y D. COOTE (1990). "Development, documentation and testing of the soil and terrain (SOSTER) database and its use in the global assessment of soil degradation (GLASOD)", *Trans. 14<sup>th</sup> International Congress Soil Sci.*, V, pp. V120 - V125.
- SOIL SURVEY STAFF (1992). Soil survey manual. Department of Agriculture. Agricultural Research Administration. Washington. United States.
- VILA, M. (1966). Aspectos geográficos del Estado Lara. Corporación Venezolana de Fomento. Departamento de Relaciones Públicas. Caracas. Venezuela.
- USGS (2000). The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM). <http://srtm.usgs.gov/> Consultado en Abril 2004.