



*Diagnóstico de la erosión hídrica del suelo aplicando modelo U.S.L.E mediante herramientas SIG*

*Diagnosis of soil water erosion applying the U.S.L.E model using GIS tools*

*Diagnóstico de erosão hídrica do solo aplicando o modelo U.S.L.E usando ferramentas GIS*

Julio Javier Jaramillo-Véliz <sup>1</sup>  
[julio.jaramillo@unesum.edu.ec](mailto:julio.jaramillo@unesum.edu.ec)  
<https://orcid.org/0000-0001-8715-0789>

**Correspondencia:** [julio.jaramillo@unesum.edu.ec](mailto:julio.jaramillo@unesum.edu.ec)

Ciencias técnicas y aplicadas  
Artículo de investigación

\***Recibido:** 26 de febrero de 2021 \***Aceptado:** 20 de marzo de 2021 \***Publicado:** 08 de abril de 2021

- I. Magister en Sistemas de Información Geográfica Aplicada a la Conservación y Desarrollo Sostenible por la Universidad Central del Ecuador. Docente titular a tiempo completo en la Facultad de Ciencias Naturales y de la Agricultura, Carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, Jipijapa, Ecuador.



## Resumen

La presente investigación trató del diagnóstico de la erosión hídrica del suelo utilizando el modelo U.S.L.E., mediante herramientas S.I.G, aplicado en la subcuenca río Portoviejo, Provincia de Manabí. En la investigación fue determinante obtener los rangos y la ubicación de las áreas de mayores erosiones afectadas por la erosión hídrica y su impacto en el recurso suelo. En la evaluación se utilizó el modelo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (U.S.L.E), y Sistemas de Información Geográfica (S.I.G). Para la aplicación de la ecuación y la elaboración de los mapas de erosión a nivel de la subcuenca se estudiaron los factores de Erosividad (R), Erodabilidad (K), Longitud y Grado de la pendiente (LS), cobertura y uso del suelo (C), y Prácticas de conservación (P), estos factores y sus resultado fueron congeniados con el software informático de ArcGis 10.1 y sus aplicaciones, generando información temática de cada uno de los factores que al final se multiplicaron para generar un solo mapa de la erosión del suelo de la subcuenca. Se obtuvo que las pérdidas potenciales de erosión registraron entre los rangos de 0 – 5 (ton/ha\*año), una superficie de 74.67% de erosión muy baja; del rango 5 – 10 (ton/ha\*año), una superficie del 22.51% de erosión baja; del rango 10 – 25 (ton/ha\*año), una superficie del 2.26% de erosión leve; del rango 25 – 50 (ton/ha\*año), una superficie del 0.24% de erosión moderada; del rango 50 – 100 (ton/ha\*año), una superficie del 0.11% de erosión grave; del rango 100 – 200 (ton/ha\*año), una superficie del 0.21% de erosión muy grave.

**Palabras clave:** Erosión Hídrica; Modelo U.S.L.E; Sistema De Información Geográfica; Erosividad; Erodabilidad, uso del suelo.

## Abstract

This research risk study treatment due to water erosion using U.S.L.E., model using GIS tools applied in the sub river Portoviejo, Manabí Province. The research was crucial to obtain the ranges and location of the areas of greatest erosion affected by water erosion and its impact on the soil resource. The model of the Universal Soil Loss Equation (U.S.L.E) and Geographic Information Systems (S.I.G) was used in the evaluation. For the application of the equation and making maps erosion at the watershed erosivity factors (R), erodibility (K), length and degree of slope (LS), cover and land use were studied (C), and Practices Condition (P), these factors and their results were congeniados with computer software ArcGis 10.1 and its applications, creating thematic information of each of the factors that eventually multiplied to generate a single map soil erosion in

the watershed. It was found that the potential losses from erosion recorded ranges between 0-5 (ton / ha \* year), an area of 74.67% with very low erosion; range 5-10 (ton / ha \* year), an area of 22.51% low erosion; range 10-25 (ton / ha \* year), an area of 2.26% mild erosion; range 25-50 (ton / ha \* year), an area of 0.24% of moderate erosion; range 50-100 (ton / ha \* year), an area of 0.11% of severe erosion; range 100-200 (ton / ha \* year), an area of 0.21% very severe erosion.

Keywords: Water Erosion; U.S.L.E Model; Geographic Information System; Erosivity; Erodability; land use.

## Resumo

Esta pesquisa tratou do diagnóstico da erosão hídrica do solo utilizando o modelo U.S.L.E., utilizando ferramentas S.I.G, aplicado na sub-bacia do rio Portoviejo, Província de Manabí. Na pesquisa, foi decisivo obter as faixas e a localização das áreas de maior erosão afetadas pela erosão hídrica e seu impacto no recurso do solo. A avaliação utilizou o modelo da Equação Universal de Perdas de Solo (U.S.L.E) e Sistemas de Informações Geográficas (S.I.G). Para a aplicação da equação e elaboração dos mapas de erosão ao nível da sub-bacia, os fatores de erosividade (R), erodabilidade (K), comprimento e grau de declive (LS), cobertura e uso do solo (C), e Práticas de conservação (P), esses fatores e seus resultados foram reconciliados com o software de computador ArcGis 10.1 e seus aplicativos, gerando informações temáticas para cada um dos fatores que foram finalmente multiplicados para gerar um único mapa da erosão do solo no sub- bacia. Obteve-se que as perdas potenciais por erosão registaram-se entre os intervalos de 0 - 5 (ton / ha \* ano), uma área de 74,67% de erosão muito baixa; na faixa de 5 a 10 (ton / ha \* ano), uma área de 22,51% com baixa erosão; na faixa de 10 a 25 (ton / ha \* ano), uma área de 2,26% de leve erosão; na faixa de 25 - 50 (ton / ha \* ano), uma área de 0,24% de erosão moderada; na faixa de 50 - 100 (ton / ha \* ano), uma área de 0,11% de erosão severa; na faixa de 100-200 (ton / ha \* ano), uma área de 0,21% de erosão muito grave.

**Palavras-chave:** Erosão da Água; Modelo U.S.L.E; Sistema de Informações Geográficas; Erosividade; Erodabilidade, uso do solo.

## Introducción

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la degradación del suelo es definida como: “Un proceso que rebaja la capacidad actual y potencial del suelo para producir (cuantitativamente o cualitativamente) bienes o servicio”. (1980).

La provincia de Manabí actualmente está considerada como un potencial agrícola por la gran variedad de productos que se cosechan y se comercializan, esto se debe a que los campesinos han sabido cultivar la tierra como un medio de subsistencia, aplicando métodos inadecuados y menos conservacionistas en la agricultura, estas prácticas han llevado a una acelerada degradación y pérdida del suelo, que han afectado fuertemente el área de la subcuenca río Portoviejo y contribuyendo con este fenómeno llamado erosión hídrica, entre otros factores que intervienen en la problemática a estudiarla como el recurso hídrico y las variables de mayor peso para el estudio encontramos a: el clima, las características físicas del suelo, la vegetación y la topografía del terreno. La FAO (1996), indica que: “Los procesos de degradación del suelo, suelen traducirse en una reducción del rendimiento y fertilidad, haciéndolos pobre para la siembra de cualquier cultivo. La conservación y rehabilitación de las 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”.

En la actualidad las subcuencas hidrográficas se presentan como unidades físicas que sirven como marco referencial para generar objetivos que se apliquen en la planificación y gestión del desarrollo sostenible de cada sector o área estudiada. Bajo esta concepción la subcuenca hidrográfica representa un espacio físico tangible, pues permite la concurrencia de los distintos factores físicos, interés humano y actividades económicas que constituyen un instrumento valioso del estado y la sociedad para administrar su actividad, conciliar intereses, conservar como es lo más importante la biodiversidad y permitir un uso sustentable de los recursos naturales.

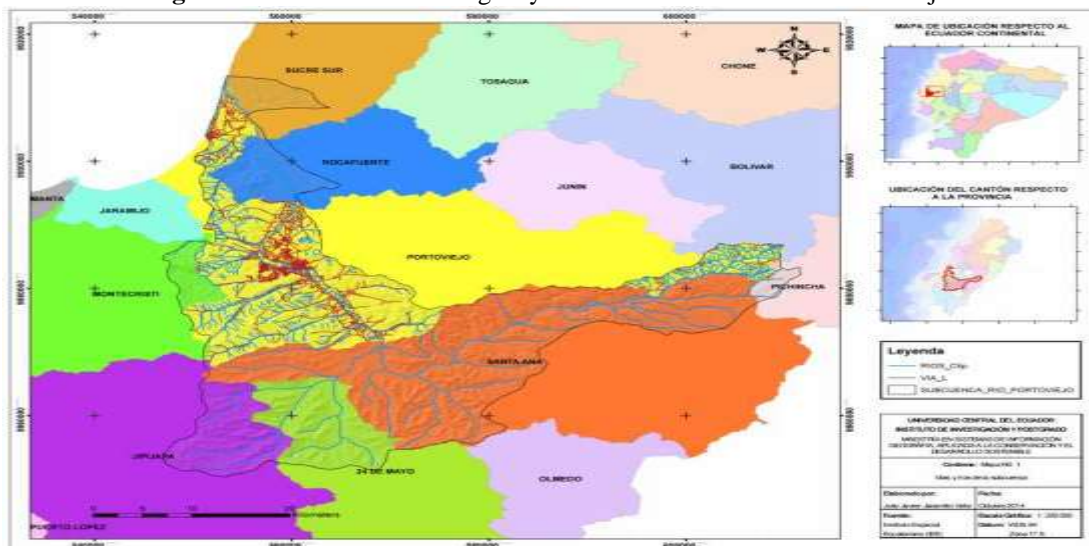
Debido a la importancia en estudiar la erosión hídrica sobre la degradación del suelo en la subcuenca hidrográfica, utilizando el método de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (U.S.L.E), se aplicó los sistemas de información geográfica para la obtención de resultados cuantitativos sobre el riesgo de degradación del suelo y la necesidad de medir o estimar la erosión hídrica. En esta investigación fueron partícipes los cantones Santa Ana, Portoviejo, Rocafuerte, 24 de Mayo, Jipijapa, Montecristi, cuya forma de trabajo utilizó la tecnología de los sistemas de información geográfica,

que permitió incorporar, manipular y modelar información relacionada con precipitación, textura de los suelos, pendientes, uso del suelo, geomorfología de los suelos etc.; así como su integración, análisis y despliegues de datos espaciales y alfanuméricos, generando mapas de erosión, con modelos de pérdidas potenciales y actuales de los suelos dentro del área de estudio y que servirán de referencia para investigaciones y técnicas en futuras regiones del Ecuador.

## Materiales y métodos

La investigación se efectuó en la subcuenca río Portoviejo que posee una superficie de 145.3576 hectáreas y contiene tres microcuencas principales que son: río Portoviejo con 58.628 ha, río Lodana con 29.644 has., el embalse de Poza Honda con 19.074 has. A la subcuenca se la considera como una de mayores extensiones en la Provincia de Manabí, por su posición geográfica, excelente diversidad de ecosistemas, con condiciones climáticas muy ricas por los recursos naturales que aún posee, presenta una gran variedad de actividades agrícolas, forestal, ganadera, pesca y acuicultura, que fortalecen la economía de la provincia y del país.

**Figura 1:** Distribución hidrológica y vial en a subcuenca del río Portoviejo.



## Proceso de recopilación y análisis de la información

Para el estudio de la erosión en la subcuenca del río Portoviejo mediante el método de la Ecuación de Pérdidas de Suelo (U.S.L.E.), se emplearon los sistemas de información geográfica (S.I.G), para crear

entidades geográficas cuyo resultado fue una geodatabase representada mediante un modelo digital. El material empleado como la cartografía base y temática en el estudio es el siguiente:

### **Materiales de campo**

Cartas topográficas (El pueblito MIII-F1; Rocafuerte MIII-F3; Manta MIII-E4; Montecristi MIV-A2; Portoviejo MIV-B1; Honorato Vásquez MIV-B2; Membrillal MIV-A4; Santa Ana MIV-B3; Jipijapa MIV-C2; Pueblo Nuevo MVI- B4), de la zona de la subcuenca, GPS (Sistema de posicionamiento global), cámara digital.

### **Materiales de gabinete**

#### ***Cobertura en formato raster***

Modelo digital de elevación (M.D.E).

#### ***Cobertura en formato vectorial***

Capa sectorial de la subcuenca en estudio, polígonos sobre límites administrativos de la Provincia de Manabí, polígonos de edafología nacional, puntos de poblados, coberturas y vegetación nacional, uso de suelos nacional, puntos de estaciones meteorológicas nacional, ríos simples y dobles nacional, curvas de nivel cada 10 metros, topografía y altitud, datos climáticos/meteorológicos, datos socio-económicos, datos de campo sobre uso actual del suelo y mapas catastrales.

### **Régimen Pluviométrico**

En lo que tiene que ver con las precipitaciones media anual de 740,29 mm., dato estadístico calculado durante 10 años y proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), para el período comprendido entre los años 2001 – 2010, sin embargo, existe una amplia variabilidad con valores máximos anuales.

### **Tipo de investigación**

Se realizó el tipo de investigación analítico – descriptivo, el analítico que consiste en la proposición de plantear y sugerir para obtener buenos resultados verdaderos en el área de estudio. Descriptivo, para realizar un análisis de conjunto obteniendo un resultado del problema que es la erosión, lo cual no existen cambios en el contorno del área estudiada.

## **Metodología de investigación**

Dentro de la metodología empleada se utilizó la propuesta del Departamento de Agricultura (U.S.D.A), donde se determina que la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (U.S.L.E), es el método más empleado para este tipo de estudios cuando se trata de la erosión del suelo.

Para el análisis de la erosión hídrica se utilizó los sistemas de información geográfica, en la cual se empleó información temática y gráfica. Primeramente se procedió a recopilar información mediante trabajos de campo cuya información se analizó con el programa ArcGis y también se recurrió a datos de estudios anteriores relacionados con los factores de la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo (R,K,LS,C,P), siendo necesario entrar en contacto con instituciones encargadas de realizar los estudios geográficos como son: Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca; Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE); Instituto geográfico militar (IGM); para así poder elaborar, ordenar y codificar la información en una base de datos para el estudio con información confiable y actualizada de la Provincia de Manabí y sus respectivos cantones, de cuya información se obtuvieron los elementos importantes como: estado y uso de la tierra, drenaje superficial, división de cuencas, subcuenca, curvas de nivel (cada 10 y 20 metros), geología, erosión hídrica, cuya información son de libre acceso en las páginas de las instituciones antes mencionadas.

Para el estudio de la erosión hídrica en la subcuenca río Portoviejo, se estimaron los factores elementales de la Ecuación de Pérdidas de Suelo, por estar representados por cada elemento como los siguientes: R (erosividad de la lluvia), K (erodabilidad del suelo), LS (longitud y grado de la pendiente), C (Factor cobertura). En el factor P (Prácticas de conservación del suelo), no se realizó el respectivo cálculo por la falta de información disponible dentro de la subcuenca y por no existir prácticas de conservación en la zona de estudio.

Una vez obtenida la información alfanumérica se procedió a realizar diferentes procesos para digitalizar la información como: interpolación, intersección y edición de tablas, cada uno de los procesos aplicados dieron resultados los mapas temáticos del área estudiada.

### **Cálculo de erosividad de la lluvia (factor R)**

Es el factor R, que determina la agresividad o erosividad de la lluvia, lo cual se expresa en ( $Mj*mm/ha*hr*añ$ o), siendo el que define la capacidad potencial de las precipitaciones en provocar erosión en el suelo por un periodo de lluvia determinado.



Para el cálculo de la erosividad de la lluvia sobre el suelo se realizó mediante la ecuación de Arnoldus (1978), lo cual se encuentra fundamentada mediante el índice de Fournier, esta ecuación se aplica en estudios de influencia del clima en el suelo, definiéndose de la siguiente manera:

**Ecuación (1)**

$$IF = \frac{P^2}{P}$$

Donde:

IF = Índice de Fournier

P<sup>2</sup> = Precipitación mensual en milímetros (mm).

P = Precipitación anual en milímetros (mm).

Se consideró que para obtener el resultado del factor R, el clima es la variable de mayor importancia en el estudio de la erosividad, la intensidad de energía cinética, ésta se da en cada impacto que provoca la lluvia en el suelo y no generalmente por la escorrentía en sí; esto quiere decir que el resultado que se obtendrá de aplicar la fórmula de Arnoldus (1978), dependerá solamente de la lluvia y es independiente del escurrimiento del suelo.

**Procesamiento de los datos de lluvia (pluviométricos)**

Para la aplicación de la ecuación fue necesario la obtención de los registros de precipitaciones que existen en los libros diarios de la entidad encargada del manejo de la información hidrológica como es el Instituto Nacional de Meteorología e hidrología (INAHMI), se empleó los registros de precipitaciones durante el periodo de 2001 al 2010 (ver tabla 1), realizando el cálculo promedio para el estudio de la precipitación media anual durante los 10 años.

**Tabla 1:** Estaciones climatológicas utilizada para el cálculo de la erosividad de la lluvia en la subcuenca río Portoviejo.

| Nº | Cantón     | Código | Nombre                  | Coord  | Coordenada | Altitud | Promedio precipitación media anual (mm) |
|----|------------|--------|-------------------------|--------|------------|---------|---|
| 1  | Santa Ana  | M034   | INAMHI Santa Ana        | 569409 | 9867116    | 70      | 1332,51                                 |
| 2  | Santa Ana  | MB82   | Teodomira – UTM         | 568161 | 9870292    | 47      | 590.77                                  |
| 3  | 24 De Mayo | M447   | 24 de Mayo – Jaboncillo | 575490 | 9850179    | 140     | 803.30                                  |

|    |            |      |                            |        |         |    |         |
|----|------------|------|----------------------------|--------|---------|----|---------|
| 4  | Portoviejo | M005 | Portoviejo - UTM           | 560426 | 9884598 | 41 | 445.10  |
| 5  | Portoviejo | M274 | Portoviejo –<br>Aeropuerto | 559179 | 9884349 | 46 | 428.65  |
| 6  | Rocafuerte | M165 | Rocafuerte                 | 561740 | 9898489 | 21 | 368.13  |
| 7  | Portoviejo | M461 | Río chico<br>- Pechiche    | 565564 | 9889584 | 43 | 822.18  |
| 8  | Chone      | M162 | Chone                      | 613311 | 9930309 | 39 | 880.70  |
| 9  | Bolívar    | M247 | Murucumba                  | 612352 | 9898391 | 64 | 1346.27 |
| 10 | Manta      | M074 | Manta –<br>Aeropuerto      | 535213 | 9894641 | 12 | 402,30  |
| 11 | Portoviejo | M452 | Zapote                     | 605084 | 9896272 | 50 | 723.26  |

**Fuente:** Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología – INAMHI

**Elaboración:** Propia.

En la espacialización de la información se procedió a estimar los datos de precipitación mediante la interpolación, aplicando la herramienta Spatial Analyst/interpolation; mediante el método de Ponderación Inversa a la Distancia (IDW), cuya función depende de un parámetro (precipitación), generando una excelente continuidad espacial, dichos resultados se los compara mediante valores parecidos utilizando el cálculo del promedio de puntos de los datos de la muestra en la vecindad de cada celda procesada. Cuanto más cerca está un punto del centro de la celda que se está interpolando, más influencia o peso tendrá en el proceso de cálculo del promedio, eso implica que nunca generará valores fuera del rango de los datos. Como resultado de la aplicación del método de Ponderación Inversa a la Distancia (IDW), se obtuvo un modelo ráster del valor interpolado de la precipitación media durante los años 2001 al 2010.

Una vez obtenido el raster de precipitación se aplicó la fórmula de Arnoldus (1978), fundamentada en el índice de Fournier con la herramienta en ArcGis 10.1 de Spatial Analyst/ raster calculator, cuya función es ejecutar una expresión algebraica aplicada, empleando varias herramientas de una calculadora simple. Mediante esta aplicación se pudo obtener el mapa de erosividad de la lluvia factor (R), luego se aplicó desde la caja de herramientas de ArcToolbox, la opción de Spatial Analyst tools>reclass>reclassify, clasificando en cuatro valores para tener una mejor regulación del modelo. Con el respectivo cálculo de la erosividad (R), se aplicó la categorización de clasificación del Índice de Fournier (tabla 2), como manifiesta la metodología que ha sido probada por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO, en estas clases de investigaciones.

**Tabla 2:** Categorización de la erosividad (R), propuesta para el estudio.

| <b>MJ*mm/Ha*H*Hrs*año</b> | <b>Factor R</b> |
|---------------------------|-----------------|
| 0 – 50                    | Bajo            |
| 50 – 550                  | Moderado        |
| 550 – 1000                | Alto            |
| Mayor a 1000              | Muy Alto        |

**Fuente:** Índice de Fournier

Para determinar el grado de intensidad de la posible relación entre las variables aleatorias como son la precipitación y el índice de Fournier, se aplicó el método de coeficiente de relación lineal, ésta se desarrolló mediante el programa Excel, que permite obtener el diagrama de dispersión para confirmar si existe relación entre las dos variables antes mencionadas procediendo primeramente a generar una tabla con los valores de precipitaciones y el resultado del índice de Fournier (IF), luego se seleccionó los valores antes mencionados y se aplicó la opción insertar gráficos>función de dispersión de X y Y, generando el gráfico con los valores antes mencionados. En el cálculo del coeficiente de regresión lineal (r), de Pearson se aplicó la opción insertar función (fx), luego se fue clasificando los valores de longitud y latitud con cada valor para obtener el resultado.

### **Cálculo de erodabilidad del suelo (factor K)**

La erodabilidad se la describe como la susceptibilidad o desprendimiento de un suelo que provoca una erosión, ésta se generaría por la caída de la lluvia en un lugar determinado. Mediante el método de Wischmeier y Smith (1978), para el cálculo del factor K, se emplearon los datos más relevantes que posee el suelo en la subcuenca río Portoviejo, para el estudio se tomaron en cuenta los cuatro componentes más importantes como son: el contenido de materia orgánica, la estructura del suelo, la textura y permeabilidad del suelo.

En todo estudio de la erodabilidad del suelo se considera a la textura gruesa como un suelo arenoso que tienden a poseer valores cercanos de 0,05 a 0,2 de valor, esto se debe por su muy baja escorrentía, aunque son suelos fácilmente de mucha erodabilidad de acuerdo a la pendiente y son totalmente permeables. Para determinar en la subcuenca del río Portoviejo y obtener los valores en el cálculo del factor K, se recurrió a los mapas digitales de geopedología y edafológicos de escalas 1: 25.000.

Se determinaron ocho clases de texturas (ver tabla 3), dentro de la subcuenca río Portoviejo, siendo los siguientes suelos: arenoso (a), franco arenoso (Fa), franco (F), franco limoso (FL), franco arcilloso arenoso (FAa), franco arcilloso (FA), franco arcillo limoso (FAL), arcillo limoso (AL), arcilloso (A).

**Tabla 3:** Valores de las clases texturales.

| <b>Textura</b>  | <b>Descripción</b> |
|---|--------------------|
| Arcilloso, arcillo limoso   | 1                  |
| Arena   | 2                  |
| Franco arcilloso; franco arcillo arenoso;<br>Franco limoso; franco arcillo limoso | 3                  |
| Franco arenoso  | 4                  |
| No aplicable  | 0                  |

**Fuente:** Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca (MAGAP); Instituto Ecuatoriano Espacial (IEE)

**Elaboración:** Propia.

### **Materia Orgánica**

Los suelos en la Provincia de Manabí son netamente pobres en materia orgánica, siendo este elemento muy importante en el crecimiento, estructuración del suelo y su resistencia a erosiones. Para determinar la erodabilidad se calculó el porcentaje de acuerdo a la clase de cada suelo y estudios efectuados en la zona de la subcuenca río Portoviejo.

### **Estructura del suelo**

En los valores de la estructura (tabla 4), se emplearon de acuerdo a la textura y taxonomía del suelo, dado que este factor es muy importante en la regulación de aire y del agua en el suelo, por la función que cumplen cada partícula que conforman cada tipo de suelo y cuyos valores son los siguientes:

**Tabla 4:** Clases de estructura del suelo

| <b>Estructura del suelo</b>       | <b>Código</b> |
|-----------------------------------|---------------|
| Granular muy fina (<1mm)          | 1             |
| Granular fina (1-2 mm)            | 2             |
| Granular media o gruesa (2-10 mm) | 3             |
| Bloques, laminar o maciza         | 4             |

**Fuente:** Iñiguez 1999.

### **Permeabilidad**

Los datos de permeabilidad de cada suelo se obtuvieron mediante el triángulo textural de porcentaje de limo, arcilla y arena que posee cada tipo de suelo en la subcuenca río Portoviejo, por lo tanto, se obtuvo el código de permeabilidad que conforma el área en estudio (tabla 5).

En el cálculo para la determinación de la erodabilidad del suelo mediante el método U.S.L.E, se le asignaron seis valores de acuerdo a las clases de textura encontradas dentro de la subcuenca (tabla 6).

**Tabla 5:** Código U.S.L.E., de la permeabilidad del suelo.

| Código U.S.L.E | Categoría de Permeabilidad |
|----------------|----------------------------|
| 1              | Rápida a muy rápida        |
| 2              | Moderada a rápida          |
| 3              | Moderada                   |
| 4              | Moderadamente Lenta        |
| 5              | Lenta                      |
| 6              | Muy Lenta o nula           |

**Fuente:** Iñiguez 1999.

**Tabla 6:** Código de permeabilidad y estructura del suelo en función de su textura.

| Clase de textura                              | Código de permeabilidad |
|---|-------------------------|
| Arcilloso                                     | 6                       |
| Arcillo limoso                                | 5                       |
| Franco, franco arcilloso                      | 4                       |
| Franco arcillo limoso, franco arcillo arenoso | 3                       |
| Franco arenoso                                | 2                       |
| Arena   | 1                       |

**Fuente:** Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca (MAGAP); Instituto Ecuatoriano Espacial (IEE).

**Elaboración:** Propia.

Una vez realizado el análisis de las texturas y determinado los valores o códigos de materia orgánica, estructura y permeabilidad, se procedió a emplear las ecuaciones (2 y 3), utilizada por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO (Food and Agriculture Organization por sus siglas en inglés), aplicándola de la siguiente:

Ecuación (2), Erodabilidad utilizado para el cálculo del factor K.

$$K = 2,1M^{1,4} (10^{-4})(12-a)+3,25(b-2)+2,5(c-3) / 100$$

Ecuación (3), Cálculo de porcentaje de limo, arena fina y arcilla.

$$M = (\% \text{ limo} + \% \text{ arena muy fina}) (100\% - \text{arcilla})$$

Donde:

**K:** Factor de erodabilidad del suelo.

**M:** Asociado a las partículas – factor textural (% limo + arena muy fina) (100 % –arcilla).

**a:** Porcentaje de materia orgánica.

**b:** Código de tipo de estructura (granular muy fina=1: granular grueso a medio=3; Blocosa, laminar, masiva=4).

**c:** Código de clase de permeabilidad (rápida = 1; moderadamente rápida = 2; moderada = 3; lenta a moderada = 4; lenta = 5; muy lenta = 6).

De acuerdo a los diferentes tipos de textura que posee el área en estudio, se procedió a realizar el respectivo cálculo mediante las ecuaciones (2 y 3).

Una vez obtenidos los resultados necesarios para el respectivo cálculo de la erodabilidad, se ingresaron los datos en el programa utilizado de las cuatro clases de texturas con sus respectivos valores del factor K).

### **Factor de longitud y grado de la pendiente (LS).**

Este factor representa el efecto que genera la longitud y el grado de la pendiente en un suelo determinando su erosión. La longitud (L), se la define como la distancia de inicio del punto del flujo en el terreno, hasta el punto final donde se depositan los sedimentos provocados por la lluvia. La pendiente (S), refleja la gradiente que se genera en una pendiente provocando la erosión y, esta se expresa en porcentaje. Para obtener los factores L y S, se procedió a realizar el cálculo por separado a partir de los dos subfactores: grado de la pendiente en porcentaje (S), así como la longitud de la pendiente (L), el primer paso consistió en crear un Tin (red irregular de triángulos), para lo cual se utilizó las curvas de nivel de cada 20 metros.

### **Factor inclinación de la pendiente (S)**

Para la obtención del factor S (pendiente), se procedió mediante el área de la subcuenca a extraer del Modelo de Digital de Elevación (MDE), en formato raster solo el área que comprende la superficie de la subcuenca, se generó un mapa de pendientes en valores porcentuales, por medio del análisis se utilizó la herramientas Spatial Analyst>Surface Analysis>Slope, generando un mapa con la inclinación en porcentaje y poder aplicar la siguiente ecuación de Wischmeier y Smith (1978), de la siguiente manera:

Ecuación (4)

$$S = 0,065 + 0,045s + 0,0065s^2$$

Dónde:

S = Factor de la pendiente

s = La pendiente del terreno (en porcentaje)

Luego de remplazar los valores mediante la herramienta Spatial Analyst > raster calculator, que es la calculadora de mapas que generaría el factor en estudio, se aplicó los valores como se detalla en el siguiente procedimiento:

Ecuación (5)

$$S = 0,065 + 0,045 [\text{Slope}] + 0,0065 [\text{Slope}]^2$$

Dónde:

Slope = Mapa en porcentaje.

Una vez aplicada la ecuación, se obtuvo el mapa del factor S.

### **Factor de longitud de la pendiente (L)**

La longitud de la pendiente se la define como la distancia que generaría la caída de una gota de lluvia en un relieve mayor sobre una superficie hasta el punto final del recorrido del depósito llamado sedimento. Para proceder a determinar este factor L (Longitud de la pendiente), se recurrió a la fórmula empleada por Wischmeier y Smith (1978), que consiste en obtener el factor en estudio mediante la siguiente ecuación:

Ecuación (6)

$$L = (\lambda/22.13)^m$$

Dónde:

L = Factor de la longitud de la pendiente.

$\lambda$  = Longitud de la pendiente (m).

m = Exponente influenciado por el grado de la pendiente (raster).

22.13 = Longitud estándar de la pendiente usada para el área en estudio.

En la obtención del valor  $\lambda$  (Longitud de la pendiente), se procedió a generarlo mediante el Modelo de Digital de Elevación (M.D.E), en formato raster, aplicando con el botón derecho en el raster del

Modelo Digital de Elevación y con la opción/source de ArcGIS se verificó los valores en la resolución del pixel los cuales fueron los siguientes: X= 25 m (metros); en Y= 25 m (metros).

Una vez obtenidos los valores de la resolución del pixel se procedió aplicar la ecuación del teorema de Pitágoras, que permitió obtener la longitud de la hipotenusa ( $\lambda$ ).

Ecuación (7)

$$\lambda = \sqrt{TC^2 + TC^2}$$

Dónde:

TC = Es el tamaño del pixel de cada celda en el Modelo de Digital de Elevación (MDE).

Aplicando la ecuación se obtuvo el valor de longitud de la pendiente en la siguiente ecuación:

Ecuación (8)

$$\lambda = \sqrt{25^2 + 25^2}$$

$$\lambda = \sqrt{1250}$$

$$\lambda = 35.4$$

Para el cálculo del exponente m (exponente influenciado por el grado de la pendiente), se procedió aplicar los respectivos valores mediante la tabla (9), de Wischmeier y Smith (1978), lo cual mediante el raster de pendientes en porcentajes (SLOPE %), se realizó una reclasificación de valores (ver tabla 7), procediendo a remplazar los porcentaje obtenidos en el raster de pendiente.

**Tabla 7:** Valores del exponente (m).

| Valor de la Pendiente | % de Pendiente |
|-----------------------|----------------|
| 0.5                   | > 5            |
| 0.4                   | 3 – 5          |
| 0.3                   | 1 – 3          |
| 0.2                   | < 1            |

**Fuente:** Wischmeier y Smith, 1978.

Una vez obtenido los resultados de las variables, se procedió mediante la herramienta de raster calculator (calculadora de mapas), a realizar la siguiente ecuación:

$$L = (\lambda/22.13)^m$$

Remplazando los datos, la ecuación se calculó de la siguiente manera:

$$L = (35,4/22.13)^{[SLOPE]}$$



Determinación del Factor LS (Longitud y Pendiente de la ladera)

Para la obtención del factor LS, se multiplicaron los mapas de factor L y S, mediante el Sistema de Información Geográfica empleando la herramienta Spatial Analyst/raster calculator.

$$LS = \text{factor\_L} * \text{factor\_S}$$

Cuyo resultado fue un raster del factor LS con una resolución espacial de 25 metros.

Se categorizó los valores de la siguiente forma.

**Tabla 8:** Categorización del factor LS.

| <b>Factor LS</b> | <b>Categorización</b> |
|------------------|-----------------------|
| Bajo             | <15                   |
| Moderado         | 15 - 30               |
| Alto             | 30 - 45               |
| Muy Alto         | > 45                  |

**Fuente:** Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE).

**Elaboración:** Propia.

### **Factor de uso y cobertura del suelo (C).**

El factor C, nos indica el estado de protección vegetal y comportamiento del suelo frente a un área de intensidad generada por la precipitación caída y la disminución del efecto erosivo en el suelo. Para la obtención del uso y cobertura del suelo, se valoró las coberturas existentes, cuya información y clasificación se realizó del archivo digital en modelo vectorial del mapa de uso y cobertura del suelo, efectuando verificaciones de campo mediante un análisis cualitativo de las coberturas y su uso actual del suelo por parte de los habitantes que habitan en el área estudiada. En lo consiguiente se procedió a efectuar un análisis de los tipos y usos de suelos, mediante las imágenes satelitales de RapidEye y Landsat 7, capturadas entre los años 2001 – 2012, cuya resolución del pixel en cada imagen fueron de 5 x 5 metros y 30 x 30 metros.

Luego del análisis se logró obtener 24 tipos de usos de suelos dentro del área en estudio, considerando el factor C, considerando su importancia en la protección que brinda al suelo ante uno de los elementos más erosivos que existe en nuestro medio como es la lluvia.

En la determinación de cada tipo de vegetación o cultivo de los valores en factor C, se recurrió a los publicados por Wischmeier (1.978).

### **Factor prácticas de conservación de suelos (P).**

El factor P, es considerado en los estudios de erosión cuando se aplica la ecuación de U.S.L.E., como variable independiente del factor C, uno de los procesos de recuperación del suelo muy empleado por conservacionistas. Por lo tanto, este factor no se lo consideró por no presentar prácticas de conservación en la subcuenca estudiada.

## **Resultados y discusión**

### ***Factor de erosividad de la lluvia (R).***

#### **Precipitaciones**

Una vez analizado los registros de precipitaciones de cada mes durante los años del periodo estudiado que comprende del 2001 al 2010, las mayores precipitaciones se localizaron en la zonas altas de la subcuenca río Portoviejo, cuyos resultados obtenidos indican que la máxima anual se registró durante el año 2002, con una precipitación de 2222,0 mm. año-1, en la estación meteorológica murucumba perteneciente al cantón Bolívar, y la de menor valor de precipitación fue registrada en el año 2009 con un valor de 222,5 mm. año-1, perteneciente a la estación meteorológica de Manta-aeropuerto, ubicada en el cantón Manta. Una vez analizado se obtuvo que las precipitaciones no generaron mayor incidencia dentro de la subcuenca en lo que tiene que ver con el arrastre de particular que generarían una mayor erosión en el suelo. Los periodos de mayor agresividad de lluvias se presentaron a partir de los meses de enero a abril, atribuyéndole a que cuyos meses son de la etapa invernal que se presentan todos los años en las dos estaciones climáticas existentes.

Durante el rango de estudio que comprendió entre los años 2001 al 2010, se registraron rangos con mayores precipitaciones de lluvias durante el 2002 y 2006 en el mes de febrero. Se puede comprobar que durante los meses de la etapa invernal que comprenden entre enero a abril cuyas precipitaciones caídas representan un 81,16 %, durante el periodo estudiado. Otros meses considerables de lluvias de menores agresividades se dieron durante la época de verano, comprendido entre mayo a diciembre con valores que fluctúan entre el 17% al 18% respectivamente.

Mediante el índice de Fournier (IF), se pudo obtener que en el mes de febrero se registrara el mayor potencial erosivo, cuya representación comprende un 28% de erosividad anual durante los años en estudio en la subcuenca río Portoviejo. Las estaciones meteorológicas utilizadas para el estudio registraron un 89% del valor del índice de Fournier (IF), anual.

Como indica la tabla 9, se puede observar los resultados del factor R, en cuanto a la erosividad de la lluvia en cada estación meteorológica y, en la figura 3, se puede apreciar de forma gráfica los valores para cada celda, donde los distintos colores muestran los diferentes resultados de erosividad calculados dentro del área en estudio.

**Tabla 9:** Resultados obtenidos del valor del índice de Fournier (R).

| Cód. | Estación meteorológica  | Índice de Fournier (mm.año <sup>-1</sup> ) | Valoración |
|------|-------------------------|--|------------|
| M034 | Inamhi – Santa Ana      | 309.64                                     | Moderado   |
| MB82 | Teodomira – UTM         | 131.65                                     | Moderado   |
| M447 | 24 de Mayo - Jaboncillo | 193.32                                     | Moderado   |
| M005 | Portoviejo – UTM        | 118.15                                     | Moderado   |
| M274 | Portoviejo - Aeropuerto | 113.40                                     | Moderado   |
| M165 | Rocafuerte              | 97.38                                      | Moderado   |
| M461 | Rio chico - Pechiche    | 205.97                                     | Moderado   |
| M162 | Chone                   | 210.55                                     | Moderado   |
| M074 | Manta - Aeropuerto      | 100.05                                     | Moderado   |
| M247 | Murucumba               | 548.72                                     | Moderado   |

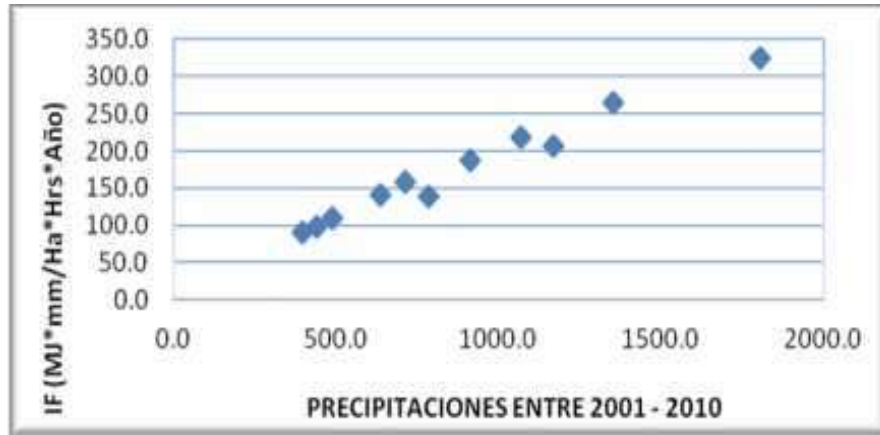
**Fuente:** Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología – INAMHI.

**Elaboración:** Propia.

El valor del Índice de Fournier (IF), cuyo promedio de rango máximo es 548.72, se registró en la estación meteorológica Murucumba y los valores mínimos de precipitación de 97,38 (IF), en la estación meteorológica Rocafuerte.

Se evidenció que los valores de mayor erosividad (rangos de 50 – 500), se registraron en los cantones: Portoviejo, Bolívar y Chone. Una vez aplicado el índice de Fournier (IF), de la metodología de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, se obtuvieron los valores los cuales indican una erosividad moderada en toda el área de la subcuenca río Portoviejo, esto se debe que la mayoría de los tipos de suelos que conforman el área de estudio, presentan cierta resistencia a la agresividad de las lluvias.

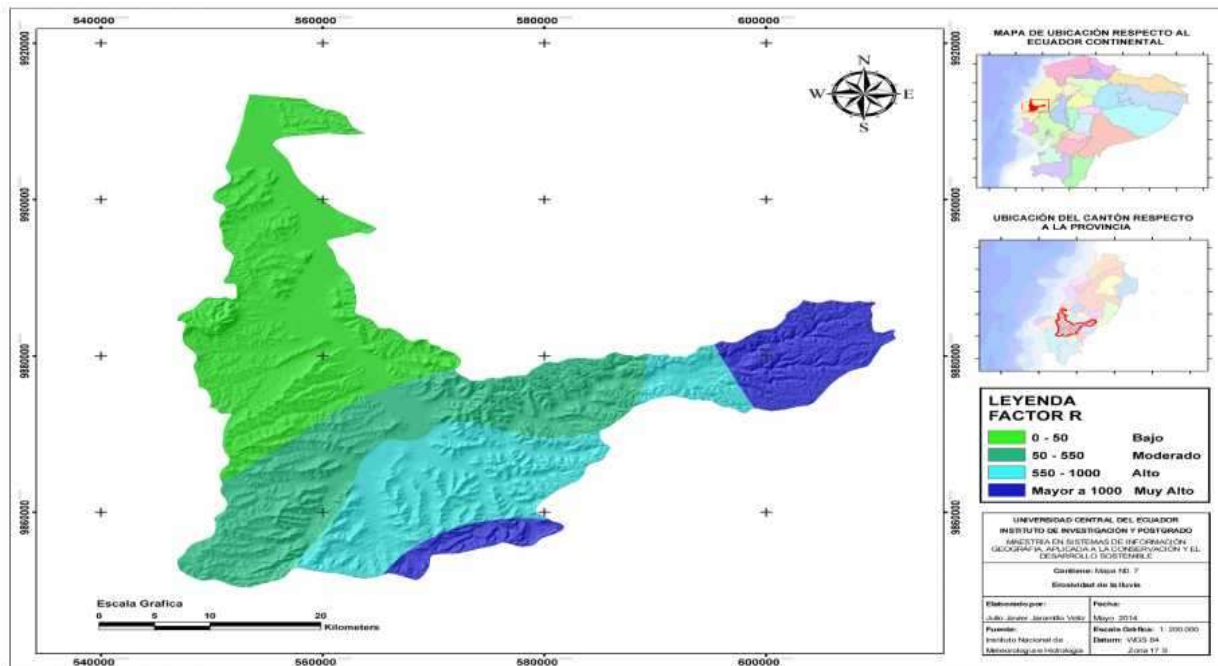
**Figura 2:** Relación del promedio del Índice de Fournier (IF), y la precipitación de las estaciones meteorológicas empleadas en el estudio.



**Fuente:** Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología – INAMHI

**Elaboración:** Propia.

**Figura 3:** Distribución del Factor R, subcuenca río Portoviejo.



**Elaboración:** Propia.

### Resultados del riesgo de erosión

El diagnóstico de la erosión hídrica en la subcuenca río Portoviejo aplicando el método U.S.L.E., se comprobó por medio del mapa de niveles de erosión que la mayor parte de la superficie presenta

erosión de muy baja a baja de un 97,18%, presentando una alta resistencia al proceso de erosión hídrica, con valores que van desde 5 a 10 y 25 ton/ha\*año.

Se constató que las pérdidas potenciales de erosión entre los niveles 50 a 100; de 100 a 200 ton/ha\*año., presentaron rangos desde graves a muy graves de erosión, cuyo valor presentaron un 0,32% de afectación del total del área en la subcuenca. Las superficies de niveles de 25 a 50 ton/ha año, catalogadas como una erosión moderada, presentaron valores de un 0,24% de afectación en la superficie total de la subcuenca río Portoviejo.

Mediante la tabla 10, podemos observar los resultados del estudio de la erosión hídrica tanto en la superficie en hectáreas, como en rangos porcentuales, para la calificación de las pérdidas de suelos se emplearon seis rangos de erosión en ton/ha\*año que fueron establecidos en el estudio.

**Tabla 10:** Superficie y porcentaje de pérdida de suelo en la subcuenca río Portoviejo.

| Calificación de pérdidas del suelo | Rango de erosión (ton/ha *año) | Superficie (ha) | Superficie % |
|------------------------------------|--------------------------------|-----------------|--------------|
| Erosión muy baja                   | 0 - 5                          | 108,5382        | 74,67        |
| Erosión baja                       | 5 - 10                         | 32,7218         | 22,51        |
| Erosión leve                       | 10 - 25                        | 3,2893          | 2,26         |
| Erosión moderada                   | 25 - 50                        | 0,3470          | 0,24         |
| Erosión grave                      | 50 - 100                       | 0,1612          | 0,11         |
| Erosión muy grave                  | 100 - 200                      | 0,3001          | 0,21         |
| <b>TOTAL</b>                       |                                | <b>145,3576</b> | <b>100%</b>  |

**Elaboración:** Propia.

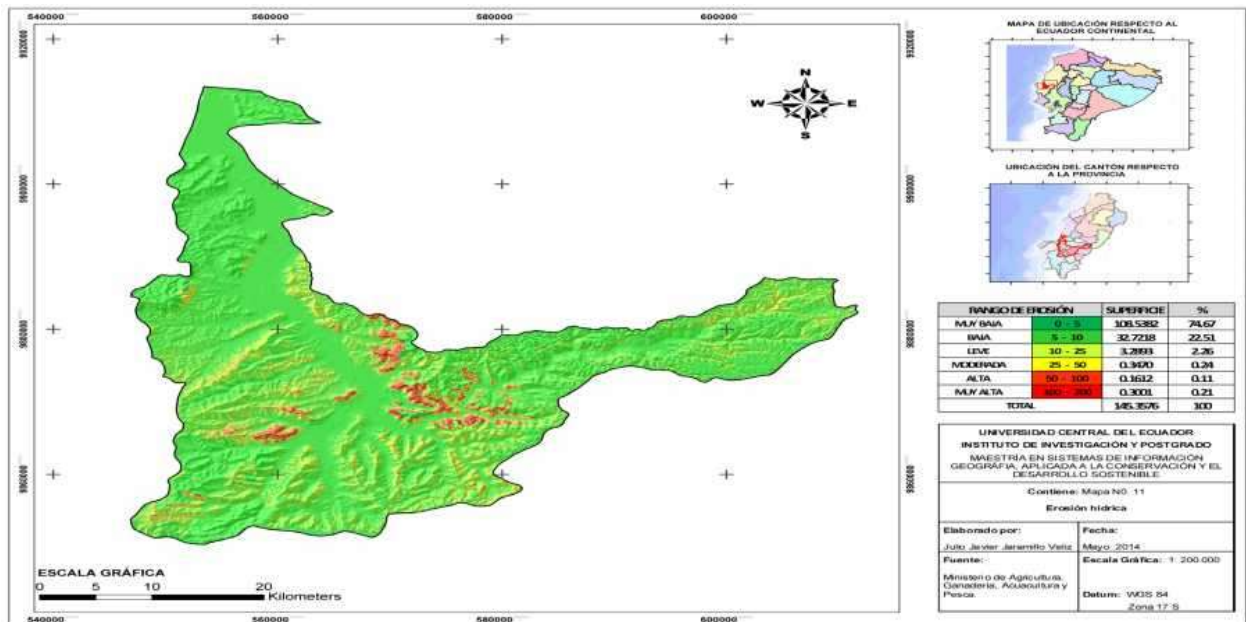
Las zonas identificadas donde existen superficies de riesgos de erosión entre rangos: moderada, grave y muy grave se encuentran ubicados en áreas de mayores precipitaciones y pendientes, siendo estas zonas las más afectadas por los procesos erosivos, lo contrario se evidenció en zonas de bajas pendientes y precipitaciones.

Figura 4: Niveles erosivos en la subcuenca río Portoviejo



Elaboración: Propia.

Figura 5: Erosión del suelo de la subcuenca río Portoviejo.



Elaboración: Propia.

## Conclusiones

El mejor resultado en la erosividad de la lluvia lo genero el método de ponderación inversa a la distancia, que espacializó los datos de precipitación e interpolo las áreas en rangos de las precipitaciones, facilitando mediante la aplicación de la ecuación del Índice de Fournier obtener el mapa de lluvia, esto permitió detectar las áreas donde la agresividad de la lluvias de acuerdo a la cantidad de precipitación podría generar mayores escorrentías y erosiones en el suelo.

De acuerdo al resultado del modelo U.S.L.E aplicado para la determinación de la erosión hídrica (Figura xxx), se ha obtenido un mapa de riesgo de erosión en donde el 99,44 % del área estudiada presentan rangos de riesgo de erosión desde muy baja, baja y leve, ocupando la mayoría del área de la subcuenca. El 0,56% restante de superficie de la subcuenca presenta un 0.32% de riesgo de erosión de grave a muy grave. Lo que nos permite indicar que la erosión hídrica en la subcuenca río Portoviejo entre los años 2001 al 2010 ha sido muy reducida, aun así, teniendo estos valores alentadores para la conservación, se debe prevenir para que no se incremente la erosión en las áreas localizadas en la zona estudiada.

Los suelos donde se presentan mayores rangos de erosión hídrica fueron de texturas franco arenoso (0,53), franco arcillo arenoso (0,36), franco arcilloso (0,29) y franco arcillo limoso (0,30), siendo estos suelos utilizados en actividades agrícolas con cultivos perennes como la arboricultura tropical, bosque intervenido, pastos cultivados y cultivos de ciclo corto. Se establece que los principales factores que generan la erosión en la subcuenca se deben a la no aplicación de prácticas de conservación adecuadas, tanto para los tipos de suelos y cultivos lo que conlleva a la sobre explotación, compactación y bajo contenido de materia orgánica en el suelo, afectando la estructura de los mismos convirtiéndoles a ser más vulnerable a factores eólicos e hídricos.

Las áreas de un posible aumento del riesgo de erosión en la subcuenca se la considero a la erosión moderada, lo cual representan un rango de entre 25 – 50 ton/ha\*año, cuya superficie es de 0,3470 has., y que puede aumentarse porque son áreas que actualmente se encuentran destinadas a la arboricultura tropical con un 24.46% y de bosque intervenido , pasto, vegetación con un 15.98%; en cultivos de ciclo corto con un 2.84%; y en frutales tenemos un 5.51%, estos cultivos de ciclo perenne y corto se encuentran asociados, esto se debe a que el área en estudio es una zona dedicada a la agricultura, por lo tanto la mayor parte del área de la subcuenca que se encuentran entre rangos de erosión de: muy baja, baja, leve y moderada, puedan incrementar el riesgo de erosión si se siguen permitiendo que el ser humano efectúe labores agrícolas no conservacionista, como implantando cultivos con curvas de nivel, cultivos asociados orgánicos, siembra en terrazas con técnicas adecuadas para mitigar y proteger el recurso suelo de los agentes erosivos.

## Referencias

1. Alatorre, L. y Beguería, S. (2009). Los Modelos De Erosión: Una Revisión. Cuaternario y Geomorfología. Madrid, España: Editorial RA.
2. Arsenault, Bonn. (2005). Evaluación de la cubierta protectora de la erosión de suelos por residuos de cultivos empleando índices de vegetación y un análisis de combinación espectral de datos multiespectrales e hiperespectrales. Italia: Editorial Catena.
3. Flores, H., Martínez, M., Oropeza, J. L., Mejía, E. y Carrillo, R. (2003). Integración de la EUPS a un SIG para estimar la Erosión Hídrica del suelo en una Cuenca Hidrográfica de Tepatitlán. México: Editorial Astrea.
4. Martínez, H. (2007). Desarrollo de una metodología hidrogeomática para estimar la contaminación difusa en aguas superficiales de una cuenca. Toluca, México: Universidad Autónoma del Estado de México.
5. Ministerio de Ambiente. (2009). La Cuenca del Río Portoviejo. Manabí, Ecuador: MAE.
6. Mintegui Aguirre, J. y López, Unzú. (1990). La ordenación agrohidrológica en la planificación. Madrid, España: Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco.
7. Morgan, J. (1995). Growth and yield of wheat lines with different osmoregulative capacity at high soil water deficit in seasons of varying evaporative demand. Australian: Field Crops Research.
8. Mutchler, K. (1998). Soil erosion research methods. Virginia. USA: Arlinton.
9. Tejerina, F. (2010). Implementado en Formato SIG. Salta, Argentina: Universidad Nacional de Salta, Facultad de Ciencias Naturales.
10. Organización de las Naciones Unidas. (1980). La Alimentación y la Agricultura. México: FAO/UNESCO.
11. Walling, D. y Fang, D. (2003). Recent trends in the suspended sediment loads
12. of the world's rivers. Ucrania: Global and Planetary Change.
13. Wischmeier, W. y Smith, D. (1978). Predicting rainfall erosion losses; a guide to conservation planning. USA: Department of agricultura.