

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingeniería**

**Modelo de Erosión para Cuencas Hidrográficas del Ecuador**

**Camila Antonella Hinojosa Jara**

**Ingeniería Civil**

Trabajo de integración curricular presentado como requisito  
para la obtención del título de  
Ingeniería Civil

Quito, 17 de diciembre de 2019

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ  
COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍAS**

**HOJA DE CALIFICACIÓN  
DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**Modelo de Erosión para Cuencas Hidrográficas del Ecuador**

**Camila Antonella Hinojosa Jara**

**Calificación:**

**Nombre del Profesor:**

Sixto Durán-Ballen, Ph.D.

**Firma del Profesor:**

\_\_\_\_\_

Quito, 17 de diciembre de 2019

## **Derechos de Autor**

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante: \_\_\_\_\_

Nombres y apellidos: Camila Antonella Hinojosa Jara

Código: 00126260

Cédula de identidad: 1722727136

Lugar y fecha: Quito, 17 diciembre de 2019

## **RESUMEN**

En el Ecuador, al igual que en otras partes del mundo las causas del proceso de erosión se dan por factores climáticos, precipitaciones, viento y el hombre. La Ecuación Universal de pérdida de suelos es un método matemático que permite modelar de manera sencilla los principales factores que influyen en la erosión hídrica. La aplicación de este método nos permitió elaborar un mapa de la erosión potencial del Ecuador mediante el uso de la herramienta Arcmap.

Palabras clave: erosión, sedimentos, modelo matemático, Ecuador, USLE.

## **ABSTRACT**

In Ecuador, as in other parts of the world, the causes of the erosion process are due to climatic factors, rainfall, wind and man. The Universal Soil Loss Equation (USLE) is a mathematical method that allows to model in a simple way the main factors that influence water erosion. The application of this method allowed us to develop a map of the potential erosion areas in Ecuador through the use of the Arcmap's tool.

Key words: erosion, sediments, mathematical model, Ecuador, USLE.

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	11
EROSIÓN HÍDRICA .....	12
Definición .....	12
Clasificación .....	13
Factores fundamentales .....	15
PROBLEMÁTICA CON RESPECTO A LA EROSIÓN EN EL ECUADOR .....	18
Antecedentes.....	18
Principales Causas de la Erosión .....	19
Impactos de la Erosión .....	20
Objetivos.....	24
MODELO DE EROSIÓN .....	25
Área por analizar .....	26
Enfoque general de la evaluación.....	28
Especificaciones de modelado.....	28
Conjunto de datos de entrada.....	29
Desarrollo modelo .....	29
DEM .....	29
Factor L .....	30
Factor S.....	36
Factor K.....	37
Factor R .....	42
RESULTADOS .....	50
CONCLUSIONES.....	56
Recomendaciones .....	57
REFERENCIAS .....	58

ANEXOS .....	60
Anexo A. Acercamiento Cuenca Jubones .....	60
Anexo B. Tabla Factor R.....	65
Anexo C. Tabla tipo de suelos Ecuador. ....	78
Anexo D. Factor K Ecuador .....	81

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Usos del suelo versus porcentaje de erosión (Soto, 1990). .....	17
Tabla 2. Intensidad de los Procesos Erosivos (Noni & Trujillo, 1986).....	20
Tabla 3. Porcentajes precipitación en 24 horas (Campos, 2017).....	43
Tabla 4. Ejemplo cálculo energía. ....	45
Tabla 5. Clasificación erosión (FAO, 1980).....	51
Tabla 6. Factor R Ecuador.....	65
Tabla 7. Tipo de suelos Ecuador. ....	78
Tabla 8. Factor K Ecuador.....	81



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tipos de la Vegetación Ecuatoriana (Patzel, 1996). .....	19
Figura 2. Intensidad Erosión Ecuador (Noni & Trujillo, 1986). .....	21
Figura 3. Áreas más propensas a la erosión (WFPGeoNode, 2018). .....	23
Figura 4. Áreas ICA (WFPGeoNode, 2018). .....	24
Figura 5. Mapa Ecuador (Castro, 2016) .....	26
Figura 6. Mapa zona analizada. ....	27
Figura 7. DEM Ecuador (90 m).....	30
Figura 8. Factor F Ecuador. ....	32
Figura 9. Factor M Ecuador.....	33
Figura 10. Dirección de Flujo Ecuador. ....	34
Figura 11. Acumulación de Flujo Ecuador.....	35
Figura 12. Factor L Ecuador.....	36
Figura 13. Factor S Ecuador. ....	37
Figura 14. Mapa digital de suelos del mundo.....	38
Figura 15. Mapa digital de suelos Ecuador. ....	39
Figura 16. Tabla Arcmaps tipos de suelos Ecuador ejemplo. ....	40
Figura 17. Mapa Factor K Ecuador. ....	42
Figura 18. Estaciones pluviométricas Ecuador. ....	46
Figura 19. Factor R sin barreras Ecuador. ....	47
Figura 20. Factor R con barrera central Ecuador.....	48
Figura 21. Factor R con barreras por demarcaciones hidrográficas Ecuador.....	49
Figura 22. Mapa de isoyetas Ecuador (INAMHI, 2010). ....	50
Figura 23. Erosión potencial Ecuador. ....	52
Figura 24. DEM Cuenca Jubones .....	60
Figura 25. Factor F Cuenca Jubones. ....	60
Figura 26. Factor M Cuenca Jubones. ....	61
Figura 27. Dirección del flujo Cuenca Jubones.....	61
Figura 28. Acumulación de flujo Cuenca Jubones .....	62
Figura 29. Factor L Cuenca Jubones. ....	62
Figura 30. Factor S Cuenca Jubones. ....	63
Figura 31. Mapa Factor K Cuenca Jubones.....	63
Figura 32. Mapa Factor R Cuenca Jubones.....	64

Figura 33. Erosión Cuenca Jubone ..... 64

## **INTRODUCCIÓN**

La degradación y desertificación de la tierra está sucediendo en el Ecuador debido a la tala de árboles indiscriminada, la agricultura sin el conocimiento debido, cambio climático, entre otras; están generando severas consecuencias en cada uno de los ecosistemas, afectando tanto su biodiversidad como el potencial biológico y económico del ser humano. Entre las principales afectaciones que se producen por estos fenómenos se encuentra la erosión hídrica del suelo (López Falcón, 2002). Por lo tanto, es necesario tomar en cuentas los diversos factores que influyen en la erosión del suelo.

## **EROSIÓN HÍDRICA**

### **Definición**

La erosión hídrica, se define como el resultado de varios procesos geológicos que se identifican por la pérdida, sustracción o arranque de masa sólida del suelo que se da por la energía producida por un flujo de agua que circula por el mismo. Este es un proceso natural que se rige por la gravedad en el cual los relieves de corteza terrestre se equilibran mediante un flujo de agua. Se caracterizan por tener una alta intensidad y una gran extensión espacial. La pérdida de suelo que se da por este proceso geológico se expresa en unidades de peso por unidades de área y unidad de tiempo o unidad de longitud por unidad de tiempo (Tayupanta, 1993).

La erosión es un proceso que está conformado por tres fases principales de acuerdo con Ellison (1947), quien aportó esta información hace más de 50 años, pero sigue vigente hasta el día de hoy:

1. Desprendimiento de partículas y porciones de agregados del suelo. Dicho desprendimiento produce la pérdida de nutrientes del suelo. Esto sucede generalmente por la acción de la gravedad o por fuerzas naturales como lo son la acción del viento, agua (principalmente gotas de lluvia) o hielo.
2. Estas partículas son transportadas mediante los agentes erosivos entre estos el viento, gravedad y agua. Estos al chocar con nuevas partículas de agregados generan abrasión y provocan el desprendimiento de estas.
3. Finalmente, se genera la deposición de las partículas cuando la energía de los agentes mencionados anteriormente no es suficiente para seguir transportándolas o cuando estas son atrapadas por la vegetación que las rodea.

Cada una de estas fases tendrá variables que cambiarán con factores como lo son el clima, la pendiente, la vegetación, tamaño de los agregados, entre otros; y se encuentran regidos por el comportamiento de los agentes de acuerdo con las leyes físicas (López, 2002). Por lo tanto, la erosión hídrica se considera como uno de los factores que disminuye la capacidad de los suelos de sustentar vida. A pesar de ser un fenómeno

natural el hombre aumenta de manera voluntaria o involuntariamente los procesos erosivos a través de las acciones realizadas diariamente entre estos los incendios forestales, deforestación, construcción de infraestructura, entre otros (Tayupanta J., 1993).

De acuerdo con García este proceso natural actúa desde el nivel microscopio, tal como los agregados del suelo, hasta el nivel continental con todas las escalas intermedias. Por lo que concierne a la escala temporal existen casos de corta duración, como las tormentas repentinas, por otro lado, tenemos aquellos que duran miles de años como lo son el derrumbe de una cordillera. Es por esto, que la erosión es considerada un fenómeno complejo y con múltiples factores que intervienen a lo largo de este proceso (García-Ruiz & Puigdefábregas-Tomás, 1982).

## **Clasificación**

De acuerdo con los planteamientos de Laflen y Rosee (1988) se tiene la siguiente clasificación de erosión hídrica:

- *Erosión pluvial o por salpicadura*

Este proceso inicia cuando las gotas de lluvia golpean los agregados ubicados en la superficie del suelo sin vegetación. Las gotas de lluvia caen con alta energía y velocidades variables que dependen de su diámetro lo que causa el movimiento de las partículas finas que generan sedimento en suspensión en el flujo de agua (López, 2002). Su movimiento por la gravedad va creando surcos a lo largo de su camino. La evidencia de la existencia de erosión pluvial se puede observar en las salpicaduras de partículas de suelo además de la formación de costras cuando este se encuentra seco.

- *Erosión por escurrimiento*

La erosión por escurrimiento está constituida por la erosión laminar, erosión en surcos y erosión en cárcavas.

Erosión Laminar: es aquella cuyo arrastre tiende a ser uniforme, forma delgadas capas de suelo superficial que se dan por la acción del agua en flujo laminar. Sus factores son la saturación del suelo y el deslizamiento superficial por la pendiente del terreno. Este tipo de erosión es característica de suelos arenosos y suelos

arcillosos. Sus indicios son la existencia de raíces al descubierto y abundancia de fragmentos rocosos en la superficie del suelo (Tayupanta, 1993).

Erosión en surcos: el flujo de agua y partículas de suelo se arrastra de manera concentrada generando pequeños surcos en el terreno. El escurrimiento de las partículas depende principalmente de la topografía del terreno, sus irregularidades y rugosidades. La presencia de un obstáculo en medio del flujo provoca acumulación de agua y excavación de la base. Los regueros generados por este tipo de erosión desaparecen una vez que han sido allanadas y mezcladas las capas superiores.

Erosión en cárcavas: sucede cuando existe una acumulación de escurrimiento y la topografía presenta fuertes pendientes. Las cárcavas se van abriendo camino a lo largo de los años tanto en ancho como en profundidad. Característico de formar complejas redes de drenaje. Se diferencia con la erosión en surcos en que sus rastros no pueden ser eliminados mediante maquinas agrícolas. Se presenta alta tasa de erosión en materiales finos. Sus indicios son sedimentos mal consolidados, escasa vegetación, gradientes topográficos, substrato rocoso débil, entre otros (Almorox et al., 2010).

- *Movimientos en masa*

Esta es una forma de erosión poco frecuente que esta regida mediante las fallas geológicas naturales de la topografía del terreno. Se genera por la acción de la infiltración del agua al suelo y el desequilibrio del terreno por dicha acción. Se inicia durante las tormentas fuertes. Estos pueden ser de flujo lento o flujo rápido. Entre los más importantes se tienen los siguientes:

Deslizamientos: sucede debido al aumento de peso de la superficie del suelo por la saturación de este con agua. Se presenta un deslizamiento de la masa dependiendo de la pendiente del terreno. Cuando se sobrepasa el límite liquido se da lugar a movimientos muy rápidos en forma de lodo.

Derrumbes: se definen como desmoronamiento de agregados del suelo por acción de la gravedad y del agua. Es muy frecuente que sucede en cortes de carreteras, taludes, debido al socavamiento de las bases de estos.

Soliflucción: flujo de manera muy lenta que se da por la sobresaturación de la superficie del suelo. Es provocado por la infiltración de aguas subterráneas o de flujos internos. Es muy característico observar postes inclinados por este tipo de

erosión. Sus reacciones suceden de manera muy suave, pero puede llegar a destruir estructuras, terrenos, vías, entre otros.

- *Otras formas de erosión.*

Sufusión: este tipo de erosión ocurre debido a la infiltración de agua en el suelo. A medida que el flujo aumenta se van formando túneles cada vez más grandes que pueden llegar a provocar derrumbes. Es menos común en suelos agrícolas. Estos túneles no siguen ningún patrón específico, se los encuentra alrededor de las cárcavas.

Erosión reticular: está formada por una red de zanjas interconectadas de diferente profundidad y densidad. Se caracteriza por la presencia de montículos que forman micro relieves en la topografía del terreno.

## **Factores fundamentales**

La erosión también produce pérdida de nutrientes del suelo además de pérdida de una fracción húmica de este. Generalmente la erosión ocurre en suelos específicos que varían dependiendo de ciertos factores. Entre los factores fundamentales de la erosión hídrica tenemos los siguientes:

- *Clima*

El clima es uno de los factores más importantes que propicia este proceso natural, siendo aquellas regiones que tenga variaciones altas, es decir sequías prolongadas y aguaceros de alta intensidad, las más afectadas. Se debe tomar en cuenta que el factor más importante es la precipitación, pero es necesario considerar su interacción tanto la temperatura, energía solar y el viento que también forman parte de la erosión hídrica.

Precipitación: esta trabaja como un agente activo en el proceso de separación de agregados y como un suministro importante de agua para el flujo de escorrentía. Es necesario considerar la intensidad de la precipitación que está definida por la cantidad de agua que cae por unidad de tiempo, se toma en cuenta el tamaño de las gotas de lluvia y su velocidad de impacto. La duración de la precipitación es decir el periodo en el que sucede la tormenta. Finalmente, la frecuencia que toma en cuenta el número de veces que un evento se repite en un lapso.

Viento: esta variable afectara a la erosión hídrica dependiendo de su velocidad y el ángulo de impacto. Además de influir en el contenido de humedad del suelo a partir de la evapotranspiración.

Temperatura: es un factor importante en la evapotranspiración ya que a partir de eso dependerá la cantidad de agua que el suelo contenga. También la temperatura formara parte de si la precipitación sea nieve o lluvia.

- *Relieve*

La topografía del terreno influirá de manera critica en la erosión hídrica. Este proceso será inexistente o inapreciable en zonas planas o llanas. Sin embargo, si el terreno presenta pendientes que determinaran la cantidad y velocidad de flujo generado. Si se tienen altas pendientes los desplazamientos serán mayores debido a la gravedad, de la misma manera su potencia erosiva será mayor. Otro factor influyente es la altura de la ladera debido a que la distancia a la cumbre aumentará, de igual manera lo hará el caudal de escorrentía y se incrementará la cantidad de suelo desprendido desde la superficie del suelo.

- *Tipo de suelo*

Este proceso natural dependerá de la disponibilidad de material que el terreno posea. Las propiedades físicas y químicas de los suelos influirán en la intensidad de los procesos de erosión. El material más erosionable está conformado por las pequeñas partículas, fragmentos y minerales primarios. Las características que dependerán de si un suelo es erosionable o no son: humedad de suelo, textura, rugosidad superficial, cohesión, material orgánico, entre otras. Es decir, si se tiene un suelo con textura más permeable, como lo es el limo, la cantidad de infiltración será menor y por lo tanto se generará más escorrentía. Mientras que, si tenemos un suelo arenoso, la capacidad de infiltración será mayor y no se tendrá tanta escorrentía (Cubero y Fernández, 1994).

- *Vegetación*

La vegetación del terreno alterara la influencia de la precipitación interceptándola, disminuyendo de esta manera el volumen y por lo tanto su energía erosiva. Sirve de amortiguación o protección del suelo frente al impacto de las gotas de lluvia de manera que se disminuye el efecto que si actuaran directamente sobre la superficie del suelo y el flujo de escorrentía en estos sitios del terreno disminuirá. Se tienen los siguientes efectos gracias a la cobertura vegetal de acuerdo con González Hidalgo (1998):



1. Las raíces de la vegetación mejoraran las características físicas del suelo aumentando su resistencia al esfuerzo a cortante.
2. Disminuye caudales de precipitación
3. Protege la superficie del suelo frente al directo impacto de las gotas de lluvia.
4. Aumenta la infiltración del agua por la estructura del suelo
5. Favorece la retención de humedad del suelo
6. La descomposición de los restos vegetales aumenta el contenido de nutrientes de la superficie del suelo, creando condiciones óptimas para la permeabilidad al agua.

A continuación, se muestran un estudio de los usos de suelo frente a su porcentaje de erosión:

**Tabla 1. Usos del suelo versus porcentaje de erosión (Soto, 1990).**

<i>USOS DEL SUELO</i>	<i>Pérdida mg/ha*año</i>	<i>%Superficie ocupada</i>	<i>% Erosión</i>	<i>Relación con el optimo</i>
Arbolado forestal cc>0,7	0,216	9,12	1,43	1,00
Pastizal permanente	0,446	4,3	1,39	2,06
Arbolado forestal cc 0,2-0,7	0,452	11,95	3,92	2,09
Regadío	0,615	6,04	2,70	2,85
Arbustos y matorral	0,866	9,9	6,23	4,01
Erial y matorral	1,006	16,36	22,96	4,67
Cultivos herbáceos de secano	1,724	29,88	37,43	7,98
Cultivos arbóreos de secano	4,772	10,07	39,94	22,09

- *El hombre y el tiempo*

En lo que respecta a los hombres estos son los encargados de alterar los suelos acelerando o disminuyendo los procesos erosivos. La cantidad de pérdida del suelo por erosión también dependerá del uso y manejos que este recibe, entre estos el laboreo, incendios, construcción de estructuras, minería, modificación de causes, entre otros. La erosionabilidad del suelo está más influenciada por el manejo de este que por cualquier otro factor.

De esta manera el sobre laboreo del suelo y la plantación continua de cultivos limpios conducen a la degradación de la estructura del suelo y por lo tanto un mayor proceso erosivo. Mientras que la aplicación de abonos, residuos vegetales, variaciones en las cualidades y propiedades del suelo para hacerlo más resistente generan un aumento de la cohesión del suelo y por lo tanto menor riesgo de transportabilidad y erosión del suelo (López, 2002 (Noni & Trujillo, 1986))

## **PROBLEMÁTICA CON RESPECTO A LA EROSIÓN EN EL ECUADOR**

### **Antecedentes**

La región del Ecuador está caracterizada por presentar una gran variedad y riqueza en sus recursos naturales debido a sus condiciones biofísicas particulares. Posee suelos volcánicos que presentan un potencial agrícola elevado, además, de la presencia de climas favorables para la producción. Sin embargo, sus suelos se han visto afectados por el proceso de erosión que se da tanto por factores naturales como por acciones producidas por el hombre. Ecuador ha sido y continúa siendo afectado por varios procesos erosivos en aproximadamente el 50% de su territorio (Noni & Trujillo, 1986).

El Ecuador presenta 4 regiones principales que son la región costa, región interandina, región amazónica y finalmente la región insular. Dentro de estas cuatro regiones naturales se presentan diferentes sistemas ecológicos y ecosistemas claramente diferenciados. Es por esto, que la flora ecuatoriana es muy rica y variada debido a la diversidad de cada una de las regiones. En Ecuador existen alrededor de veintidós mil especies diferentes identificadas (Patzel, 1996). A continuación, se muestra una figura con los tipos de vegetación en el Ecuador:

## TIPOS DE LA VEGETACION ECUATORIANA:

Según el Prof. Dr. Gunnar Harling

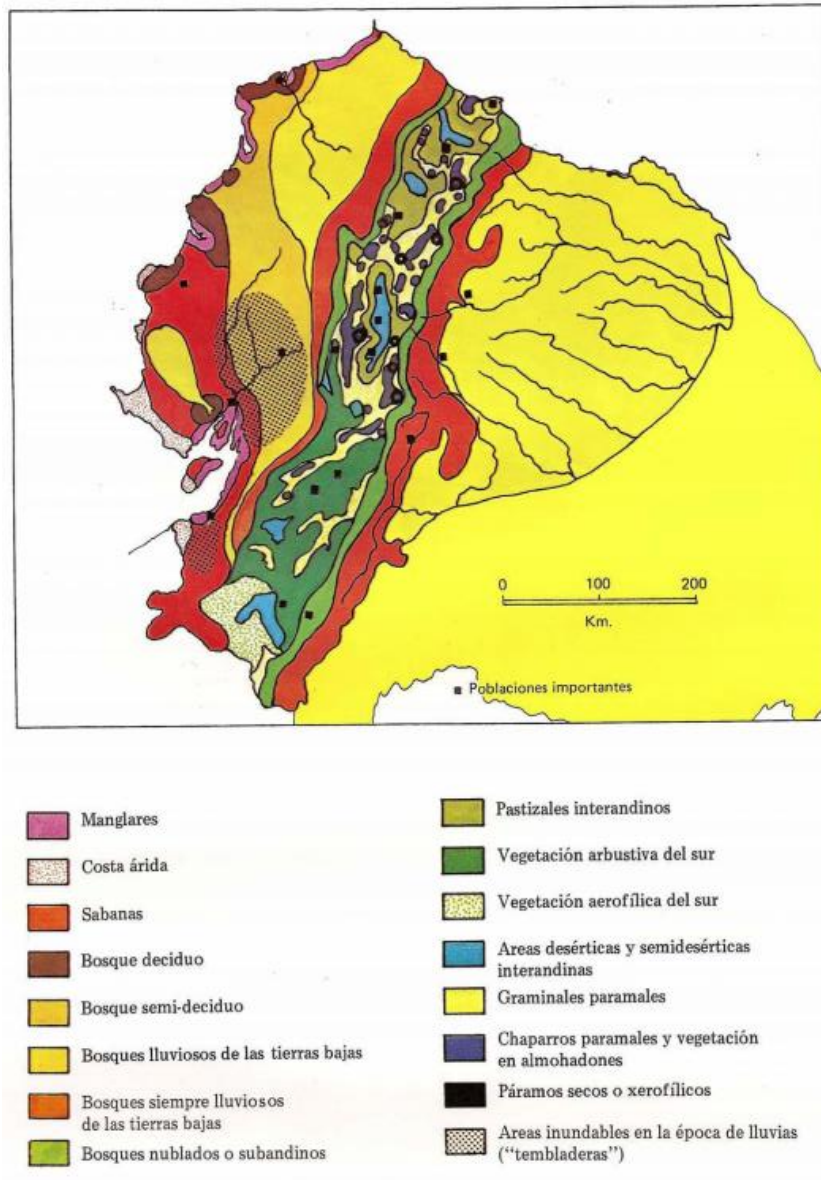


Figura 1. Tipos de la Vegetación Ecuatoriana (Patzel, 1996).

### Principales Causas de la Erosión

En el Ecuador, al igual que en otras partes del mundo las causas del proceso de erosión se dan por factores climáticos, precipitaciones, viento y el hombre. Siendo el factor más agresivo el agua debido a que actúa con gran intensidad en el país durante 9 meses. Mientras que los siguientes 3 meses el factor del viento es el que origina la erosión. Por otra parte, el papel del hombre es de gran importancia debido al cambio del suelo por

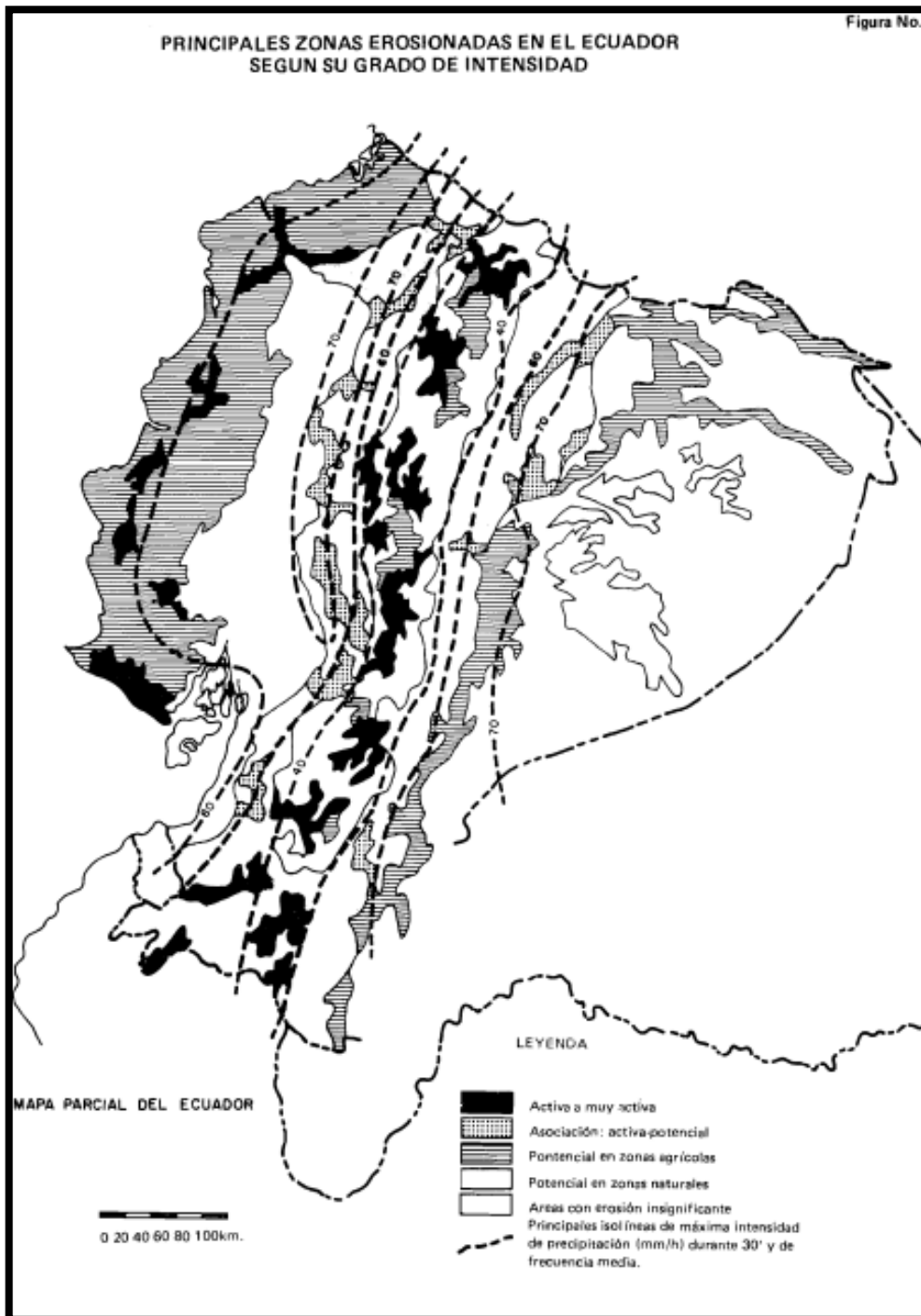
la actividad agrícola, cambios de cobertura vegetal, entre otros (De Noni & Trujillo, 1985).

### **Impactos de la Erosión**

Los principales procesos erosivos en el Ecuador se pueden determinar a partir del análisis de la Figura 2, esta permite determinar las regiones y zonas más afectadas. La intensidad de los procesos erosivos está determinada mediante la escala de muy activa, activa, activa y potencial y potencial.

**Tabla 2. Intensidad de los Procesos Erosivos (Noni & Trujillo, 1986).**

<b>Intensidad de los Procesos Erosivos</b>	<b>Porcentajes Estimados de Erosión en Relación con la Superficie del Ecuador</b>
Muy activa	1,3%
Activa	7,7%
Activa y potencial	3,1%
Potencial	35,8%
<b>TOTAL</b>	<b>47,9%</b>



**Figura 2. Intensidad Erosión Ecuador (Noni & Trujillo, 1986).**

Por lo tanto, se determina que aproximadamente el 47,9% del terreno ecuatoriano presenta erosión en diferentes rangos de intensidad. Siendo la región de la Sierra la más severamente afectada por el proceso de erosión activa. Esto se da debido a que en el invierno un proceso dominante es el escurrimiento mientras que en verano domina la erosión eólica (Noni & Trujillo, 1986). Un estudio cartográfico realizado por el

departamento de suelos del MAG (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca) y el ORSTOM (Instituto Francés de Investigación Científica para el Desarrollo en Cooperación) determinó que el 15% de las tierras erosionadas se encuentran en el callejón interandino, el 35% restante están ubicados en los límites de la frontera agrícola, principalmente en los flancos de la cordillera de los Andes.

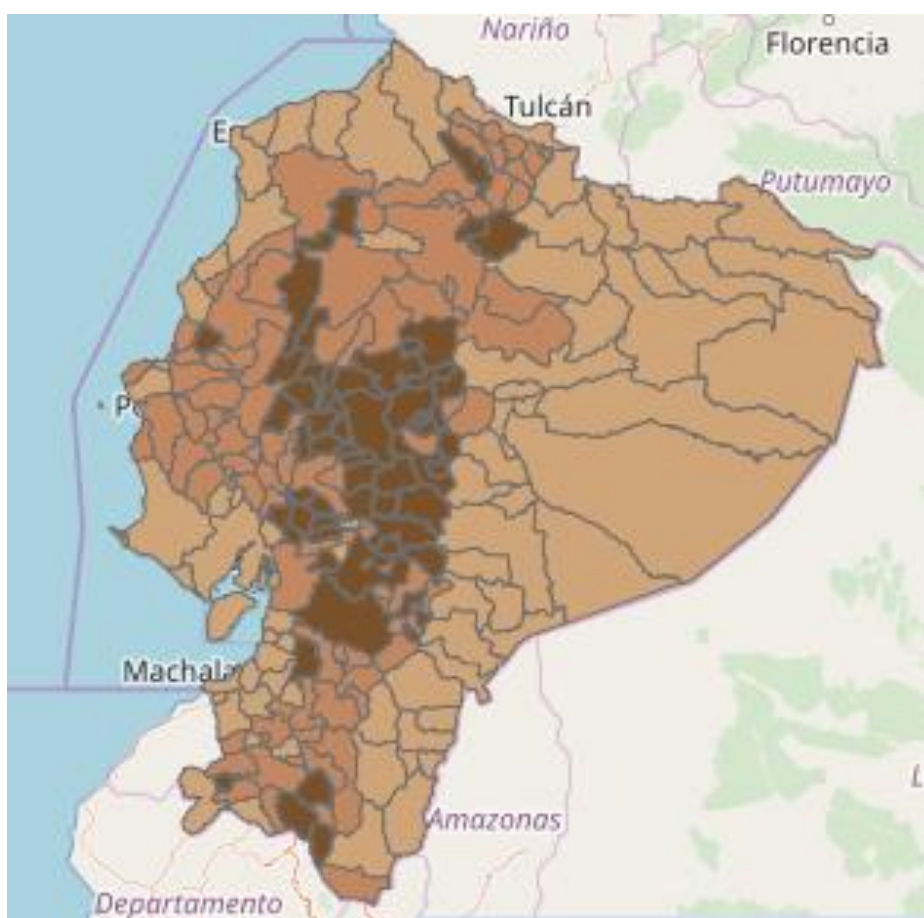
A lo largo de 9 meses al año, desde la época de septiembre hasta mayo, se muestran manifestaciones importantes en el proceso erosivos producidos por los factores hídricos. Entre las principales causas se encuentran las siguientes:

- Ecurrimiento difuso y concentrado: a lo largo del callejo interandino es el proceso que más predomina. Esto genera que la capa superficial presente colores cada vez más claros, dado al arrastre de los agregados. Se puede observar rasgaduras en la parte superficial debido al trazo de surcos, quebradillas y quebradas.
- Ecurrimiento en conjunto con pequeños movimientos de masa: se presenta de mayor manera en suelos que tienen diferente textura a poca profundidad. Esto se da en la provincia del Carchi, Pichincha y Chimborazo donde se presenta una ceniza negra arcillosa que mineraliza la cangagua endurecida. El arrastre de esta ceniza genera pequeños surcos que llegan a los 5 metros por efecto del proceso de escurrimiento.
- Movimientos en masa: estos se encuentran localizados en la hoya de Cuenca, principalmente en zona de Cumbe. La erosión se presenta mediante el proceso de solifluxión que se da sobre suelos arcillosos no volcánicos, estos generalmente presentan tonalidades rosadas y rojizas.

Los flancos exteriores de la cordillera de los Andes constituyen un medio frágil donde se caracteriza por tener desmontes exagerados sobre grandes pendientes para la siembra de cultivos y ganadería lo que produce un incremento importante en cuanto a los procesos erosivos. Mientras que, en la Costa y Oriente, los fenómenos erosivos son menores debido a que existe un equilibrio morfo dinámico más estable. En la Costa, la región de Manabí y Esmeraldas son las más afectadas por este tipo de fenómenos. El Oriente debido a la protección de su vegetación arbórea densa es menos susceptible a los procesos de erosión. Sin embargo, en las regiones del Puyo, Tena, Lago Agrio y Coca existe un

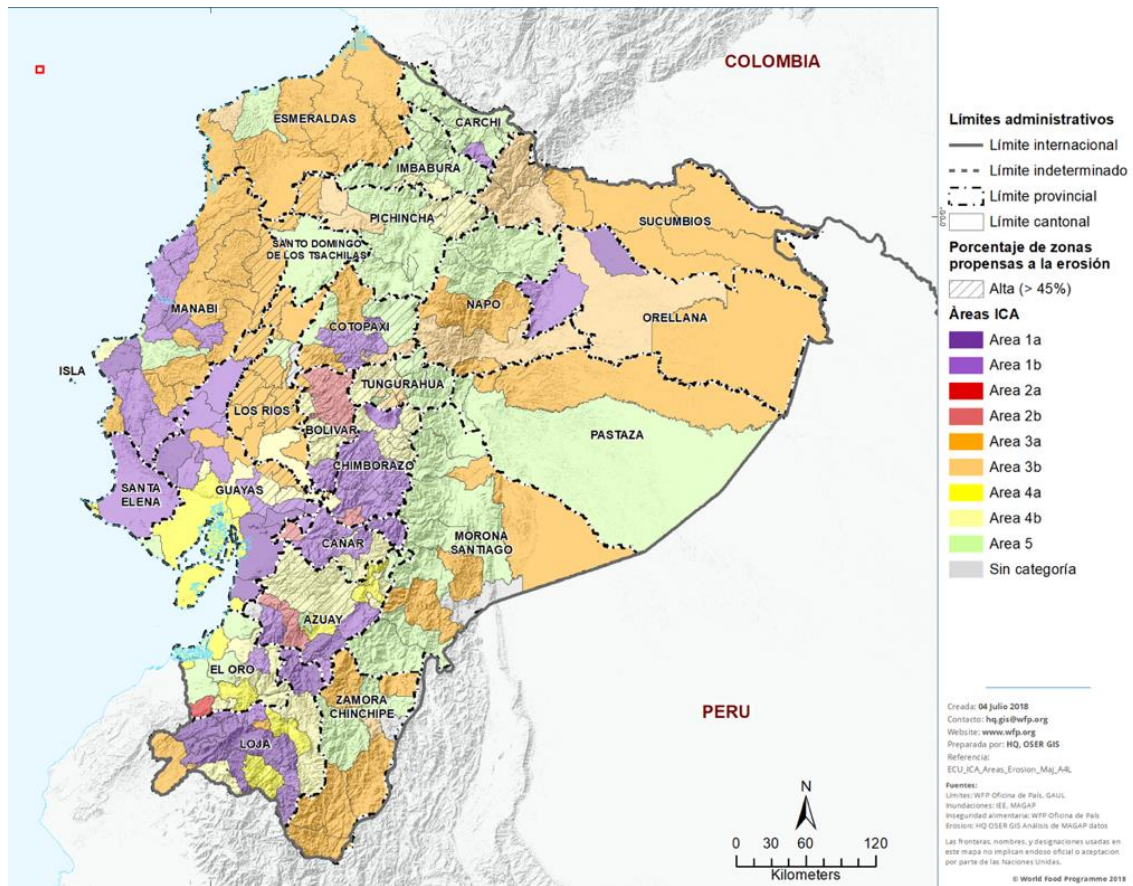
empobrecimiento fisicoquímico debido al sobre pisoteo que genera el ganado y debido a los movimientos en masa en las colinas arcillosas (Noni & Trujillo, 1986).

El mapa de la Figura 3 muestra las zonas más propensas a la erosión en la región del Ecuador. Este mapa fue realizado a partir de la información sobre la propensión a la erosión del suelo calculada en un Análisis de Contexto Integrado (ICA) realizado en Ecuador en el 2018. A medida que se intensifica el color marrón existe más probabilidades de que la zona presente erosión.



**Figura 3. Áreas más propensas a la erosión (WFPGeoNode, 2018).**

En la Figura 4 se muestra un mapa diferenciado a partir de colores las diferentes áreas ICA que son las áreas integradas de contexto. En este caso la ICA distinguió cinco patrones principales basados en la exposición a los fenómenos naturales (deslizamientos de tierra, inundaciones y sequías). Cada categoría se encuentra subdividida en áreas que están basadas en el riesgo de shock natural.



**Figura 4. Áreas ICA (WFPGeoNode, 2018).**

## Objetivos

El objetivo de esta investigación para el sistema de ríos y cuencas hidrográficas de la Republica del Ecuador es cuantificar los peligros de la erosión, comprender mejor la relación con el uso y el manejo de suelo, y proponer una hoja ruta hacia una gestión más sostenible de las cuencas hidrográficas. Para esto, es necesario tener una comprensión de la erosión, los transportes de sedimentos y uso de la tierra en las diferentes cuencas hidrográficas. Esta investigación deberá permitir un mejor diseño de las actividades para promover practicas sostenibles sobre el uso de la tierra y la conservación de esta. El propósito de este estudio es determinar las áreas susceptibles a la erosión en las 3 regiones principales del Ecuador, para esto se realiza un modelamiento hidrológico de las zonas más afectadas por la erosión.



## MODELO DE EROSIÓN

Antes de realizar el modelo de erosión fue necesario determinar el software o herramienta informática que se utilizara para poder realizarlo. En este caso de estudio se consideraron los siguientes:

- **SPHY**

El software Spatial Processes in Hydrology (SPHY) es una herramienta de modelación hidrológica que ayuda en la toma de decisiones operativas y estratégicas en el ámbito de la gestión de recursos hídricos. Se caracteriza por su facilidad de uso y la combinación de las ventajas de diferentes modelos hidrológicos que son usados hoy en día (Future Water, 2019). Adaptado para la inclusión y procesamiento de imágenes de satélite.

- **CAESAR**

El software CAESAR Lisflood es una herramienta para modelar el terreno deseado simulando erosión y la deposición de partículas en cuencas hidrográficas. Este proceso se lo realiza mediante un modelo de flujo hidrodinámico 2D. Opera en escalas espaciales y temporales de 1 km<sup>2</sup> a 1000 km<sup>2</sup> (CAESAR-Lisflood, 2019).

- **ArcMap**

La herramienta ArcMap sirve tanto para visualizar como explorar los conjuntos de datos de SIG del área de estudio deseada. Se representa la información geográfica como una colección de capas y otros elementos de un mapa (ArcGIS, 2016). Además, se puede usar diferentes comandos para generar un análisis hidrológico a detalle.

Para el caso de estudio se seleccionó la herramienta ArcMap para poder modelar el mapa de erosión hídrica de las cuencas hidrográficas del Ecuador debido a los datos de entrada pudieron ser obtenidos. En cuanto a los softwares SPHY y CAESAR se determinó que son una buena opción para generar modelos hidrológicos, sin embargo, no se dispone de la información necesaria para poder usarlos.

## Área por analizar

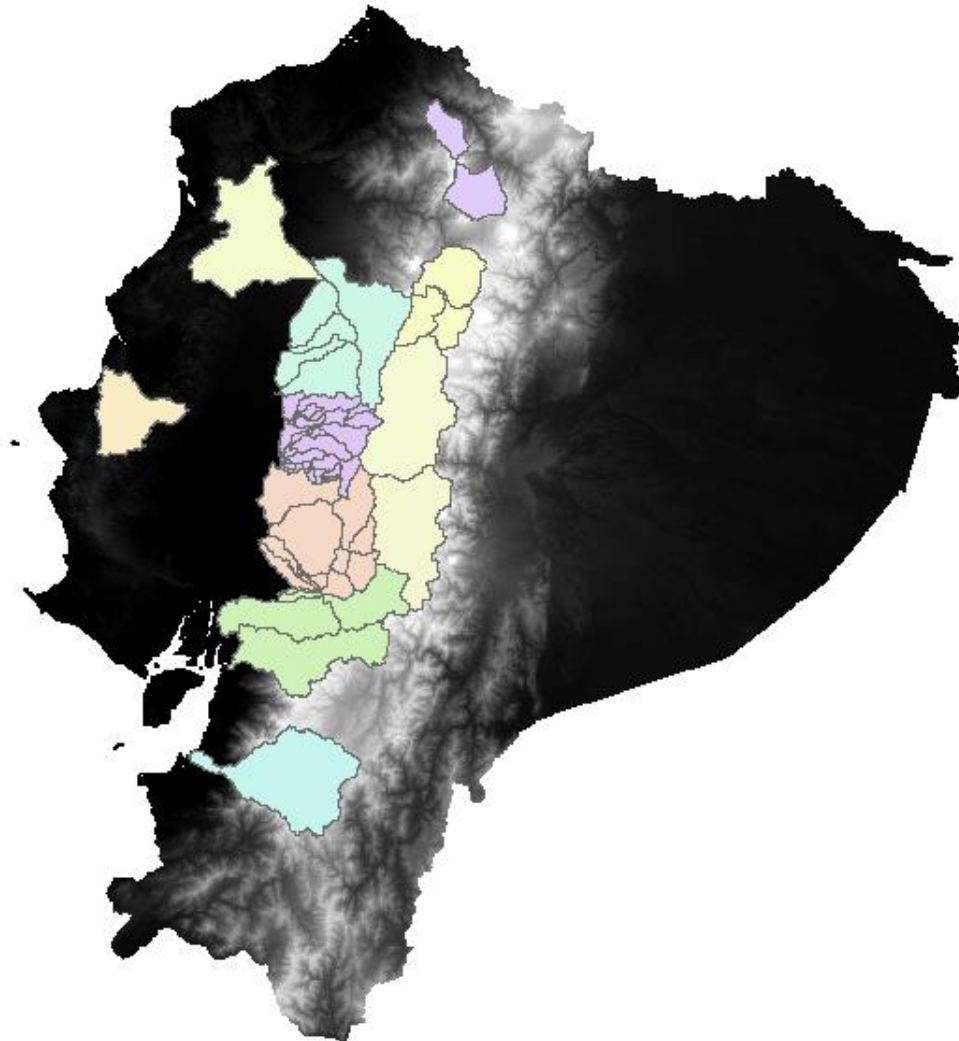
El área por estudiar está conformada por las tres regiones que forman la República del Ecuador, excluyendo el archipiélago de Galápagos. El terreno analizado es principalmente accidentado, irregular y montañoso, siendo atravesado por la cordillera de los Andes de sur a norte. Las grandes elevaciones del Ecuador se encuentran del centro al norte del país (Ministerio de Turismo del Ecuador, 2019). Siendo el punto más alto de la región el volcán Chimborazo con 6310 msnm.

Ecuador posee un clima tropical que varía dependiendo de la altitud y región en la que se encuentre. Sin embargo, las estaciones no se encuentran completamente definidas. De octubre a mayo se presenta la estación lluviosa con periodos extremos de tormentas violentas, a menudo acompañada de descargas eléctricas (Pourrut, Los climas del Ecuador - Fundamentos explicativos, 1983).



Figura 5. Mapa Ecuador (Castro, 2016)

Para el estudio, a partir de la información mencionada anteriormente, se determinó la zona más propensa a la erosión (Figura 6) que serán analizadas mediante el uso de la herramienta ArcMap.



**Figura 6. Mapa zona analizada.**

- Cuenca del Rio Esmeraldas
- Cuenca del Rio Guayas
- Cuenca del Rio Taura
- Cuenca del Rio Quinindé
- Cuenca del Rio Lita
- Cuenca del Rio Cañar
- Cuenca del Rio Toachi
- Cuenca del Rio Quevedo
- Cuenca del Rio Jubones

- Cuenca del Rio Pastaza
- Cuenca del Rio Chambo
- Cuenca del Rio Sibimbe
- Cuenca del Rio Patate - Cutuchi
- Cuenca del Rio Mira
- Cuenca del Rio Chimbo - Chanchan

### **Enfoque general de la evaluación**

Para el desarrollo del estudio se realizó un modelo dinámico de erosión de suelos del Ecuador donde se considera de manera específica las áreas más propensas a la erosión mostradas en la Figura 6 para el análisis de los niveles de erosión y transporte de sedimentos. Se realiza este modelo para tener una medida más exacta basada en los índices de variabilidad de la precipitación, pendiente, tipo de suelo, entre otros.

En este caso se usa la ecuación USLE (Universal Soil Loss Equation) para desarrollar el modelo de erosión del suelo tomando en cuenta, la intensidad de la lluvia, la pendiente longitudinal, cobertura, manejo de la tierra y prácticas agrícolas. Para poder utilizar el enfoque USLE es necesario desarrollar un análisis hidrológico con la ayuda de la herramienta ArcMap.

### **Especificaciones de modelado**

El modelo aplicado con la ayuda de la herramienta ArcMap que es una de las aplicaciones tradicionales de ArcGIS Desktop que sirve para realizar mapas, análisis espaciales, administrar datos geográficos y obtener resultados (ESRI, 2019).

Se hace uso de la ecuación USLE (Universal Soil Loss Equation) que es un método empírico matemático para calcular la erosión total laminar. Este método hace uso de diferentes factores nombrados a continuación:

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

Donde:

- A- Pérdida de suelos calculada por unidad de superficie [T/ha\*año]  
R- Factor de precipitación [MJ\*mm/ha\*h]  
K- Factor de susceptibilidad de erosión del suelo  
L- Factor de longitud de la pendiente  
S- Factor de magnitud de la pendiente  
C- Factor de cubierta y manejo del suelo  
D- Factor de prácticas de apoyo de conservación

Para este ejercicio se calcula la erosión potencial lo que quiere decir que se considera que el factor de cubierta y manejo del suelo junto con el factor de prácticas de apoyo de conservación tienen un valor de uno (Jones, Griggs, Williams, & Srinivasan, 1993).

### **Conjunto de datos de entrada**

Para realizar el modelo con la herramienta ArcMap es necesario juntar un grupo de datos de entrada que son los siguientes:

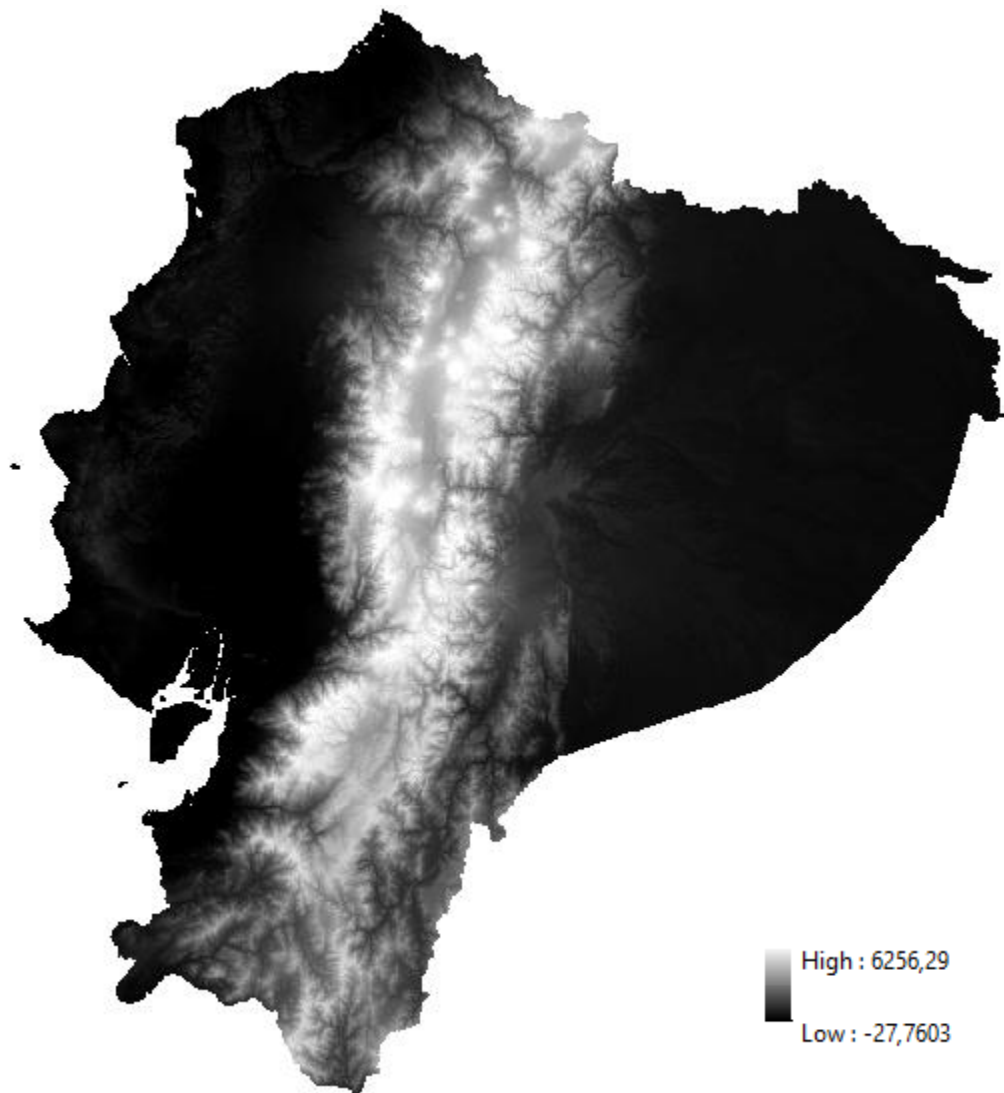
- Datos de elevación digital SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) o DEM remuestreados para modelación de erosión.
- Precipitación: conjunto de datos FEWS basados en satélite y datos de diferentes estaciones de lluvia (SENAGUA, 2015).
- Propiedades del suelo: porcentaje de cada tipo de suelo en la zona (FAO, 1980).
- Uso de la tierra y cambio de cobertura del suelo: TNC ha elaborado un mapa de cobertura del suelo basado en imágenes digitales de alta resolución.

### **Desarrollo modelo**

#### **DEM**

Se usa los datos globales DEM (Modelos de Elevación Digital) para generar el modelo digital de elevación del sitio estudiado. En este caso se utiliza el conjunto de datos SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) con resolución de 90 m para la región del

Ecuador. Esta servirá como capa base para el cálculo del Factor L (longitud de la pendiente) y del Factor S (magnitud de la pendiente).



**Figura 7. DEM Ecuador (90 m).**

### **Factor L**

El Factor L, también conocido como factor de longitud de la pendiente, posee una gran influencia en la estimación de la erosión debido a que la extensión de la pendiente del terreno está estrechamente relacionada con la velocidad de la escorrentía (Geler, Penteadó, & Pérez, 2014). Este factor de topografía se lo obtiene a partir de los datos DEM que son la base para poder calcularlo.

En este caso de estudio se usarán los datos del DEM de los sitios mostrados en la Figura 6 para realizar el análisis completo. A partir de estos datos se obtendrá los rasters para el Factor F y Factor M que serán usados para determinar finalmente el Factor L. Se mostrará el análisis paso a paso del cálculo de los mismo en la Cuenca Jubones para observar de manera detallada los datos obtenidos.

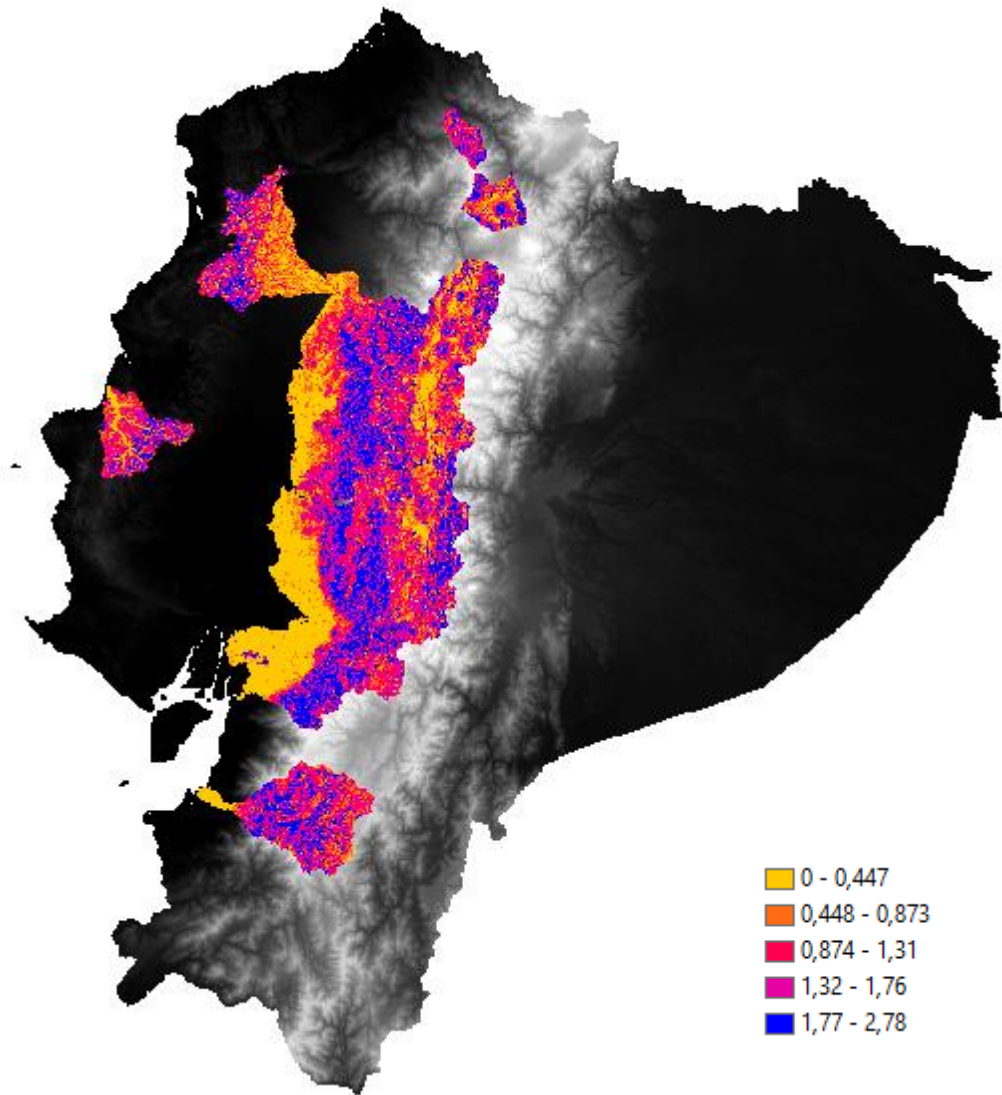
El primer raster que se realiza es el Factor F para esto es necesario usar la herramienta ArcMap y la ecuación descrita a continuación:

$$F = \frac{\sin \beta / 0.0896}{3(\sin \beta)^{0.8} + 0.56}$$

Donde

$\beta$ - Pendiente a nivel de pixel

Se usa la función “Fill” para de esta manera rellenar los vacíos que se encuentran en el DEM obtenido. Una vez obtenido el raster anterior se usa la función “Slope” para determinar la pendiente a nivel del pixel del terreno. Por último, se usa la herramienta Map Algebra donde es necesario tomar en cuenta que la pendiente debe estar expresada en radianes.

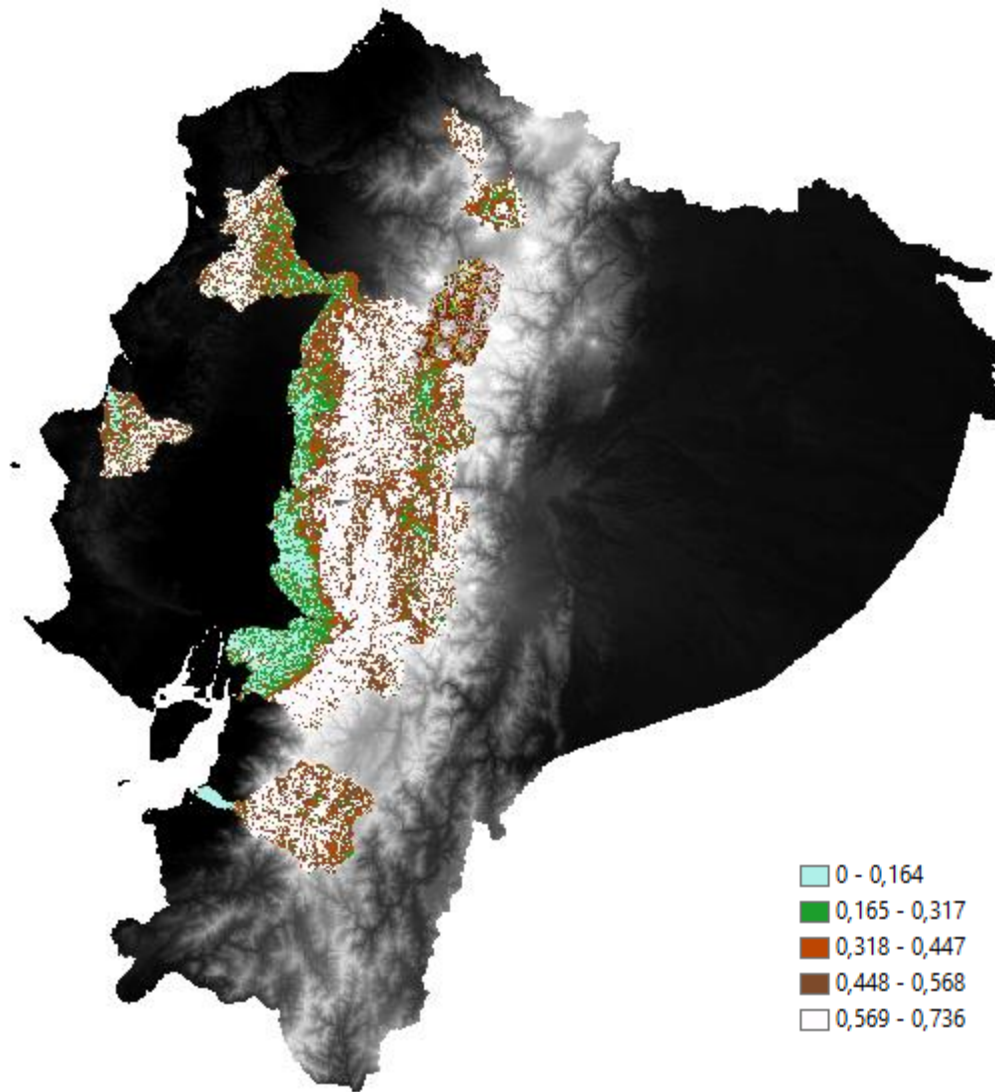


**Figura 8. Factor F Ecuador.**

Una vez obtenido el Factor F continuamos calculando el Factor M con la siguiente ecuación:

$$M = \frac{F}{(1 + F)}$$





**Figura 9. Factor M Ecuador.**

Finalmente, se calcula el Factor L.

$$L = \frac{[A_{(i,j)} + D^2]^{(m+1)} + A_{(i,j)}^{m+1}}{x^m D^{m+2} (22.13)^m}$$

Donde:

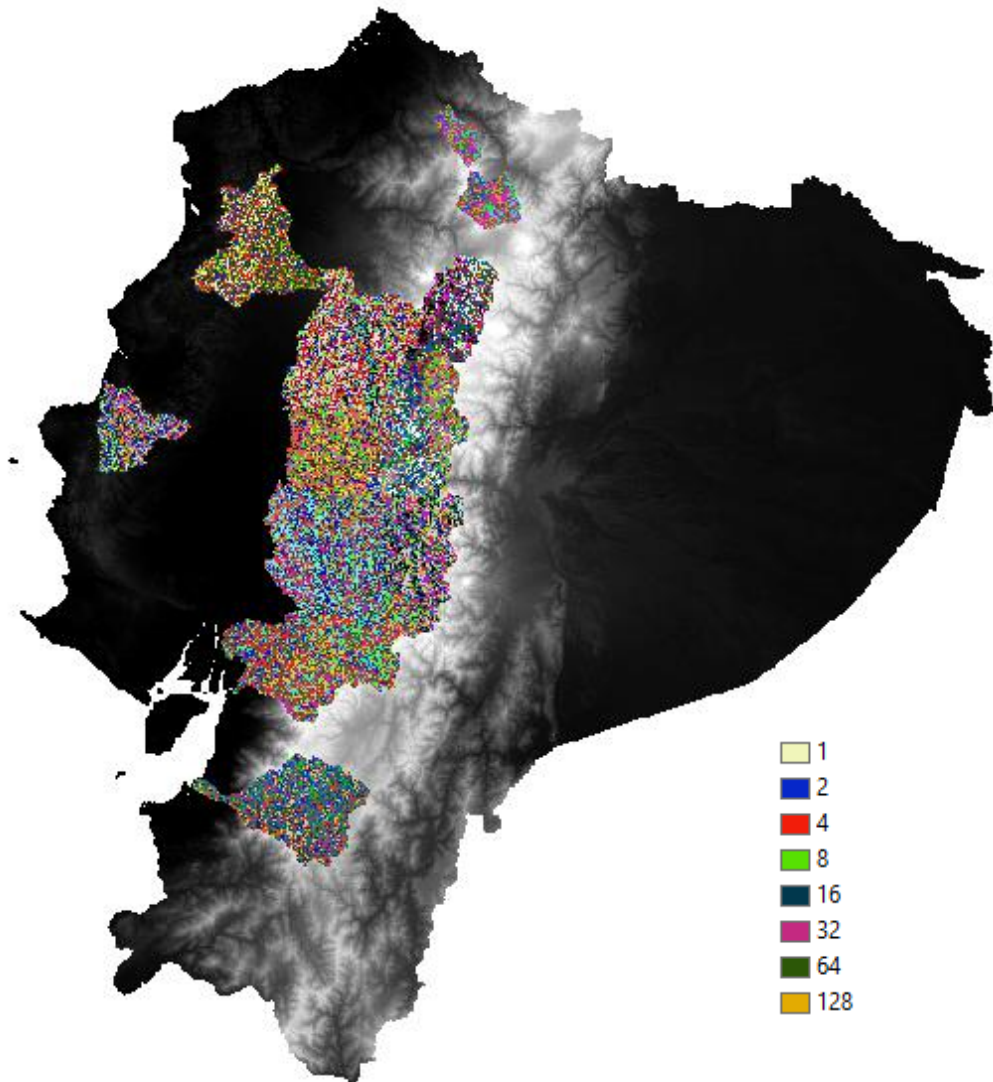
A – Acumulación del flujo a nivel del pixel

D – Tamaño del píxel = 76.44

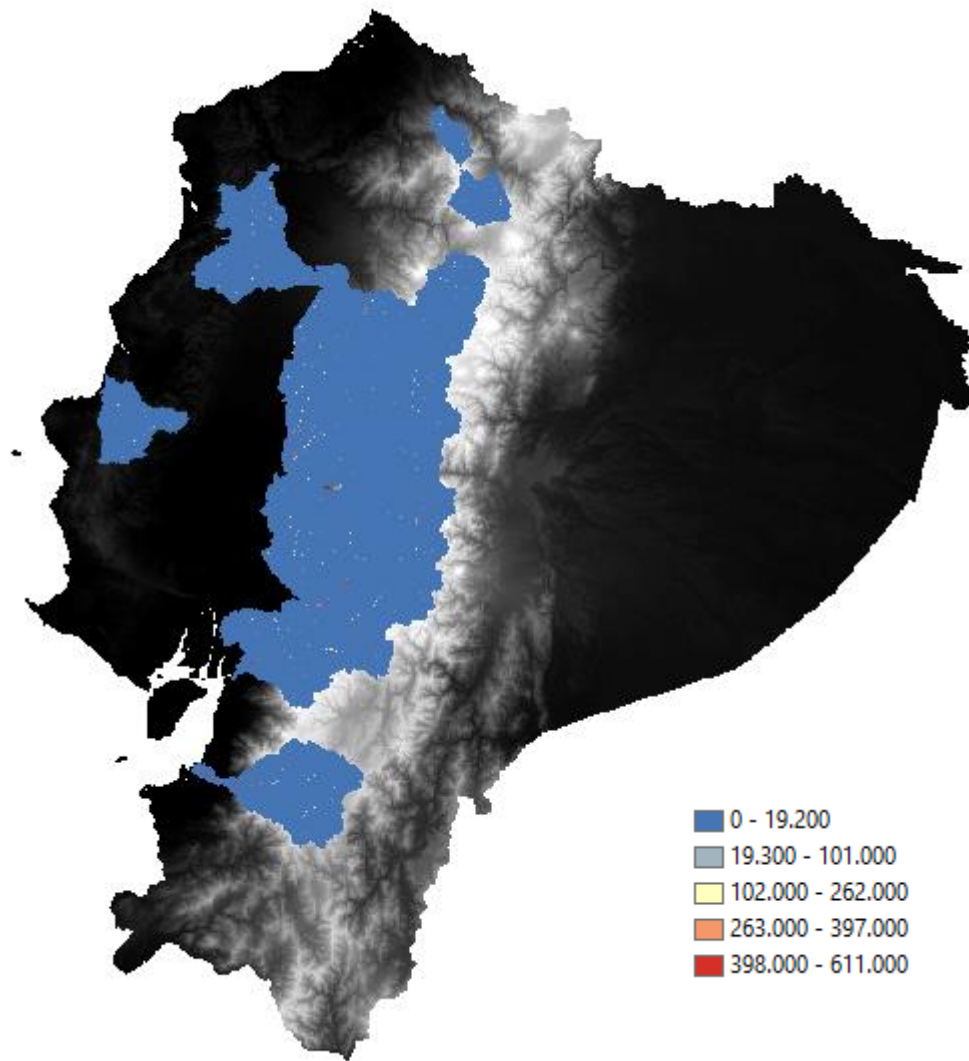
X – Coeficiente de forma

m – Factor M calculado en el paso anterior

En nuestro caso el valor de D es 76.44 debido al tamaño del pixel obtenido por el DEM utilizado y el valor de x es 1 por ser un sistema pixelado. Para obtener el raster de la acumulación del flujo es necesario obtener la dirección del flujo mediante la función “Flow Direction”. Finalmente, con el uso del raster anterior se obtiene la acumulación de flujo con “Flow Accumulation”.

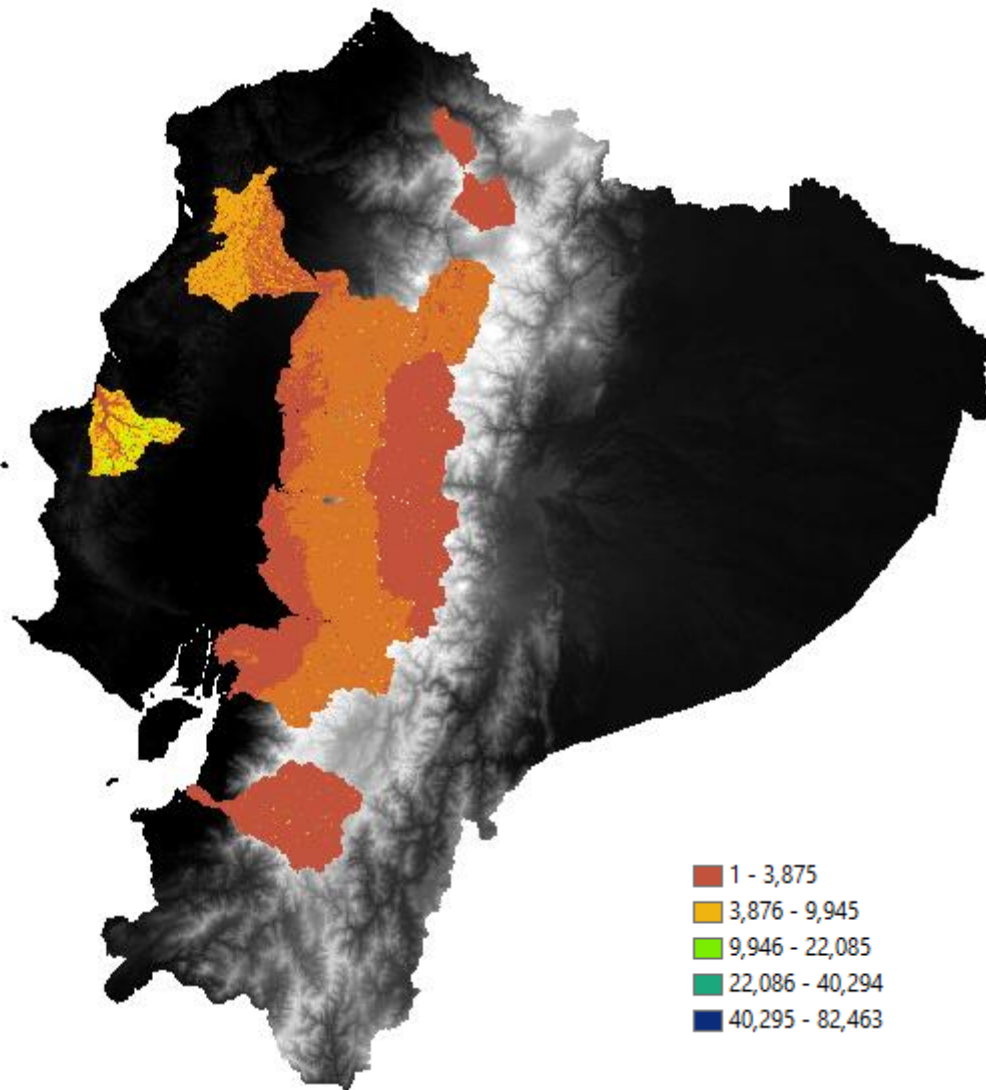


**Figura 10. Dirección de Flujo Ecuador.**



**Figura 11. Acumulación de Flujo Ecuador.**

Una vez obtenido los dos rasters anteriores se utiliza la ecuación 3 para obtener el Factor L de la zona seleccionada.



**Figura 12. Factor L Ecuador.**

### **Factor S**

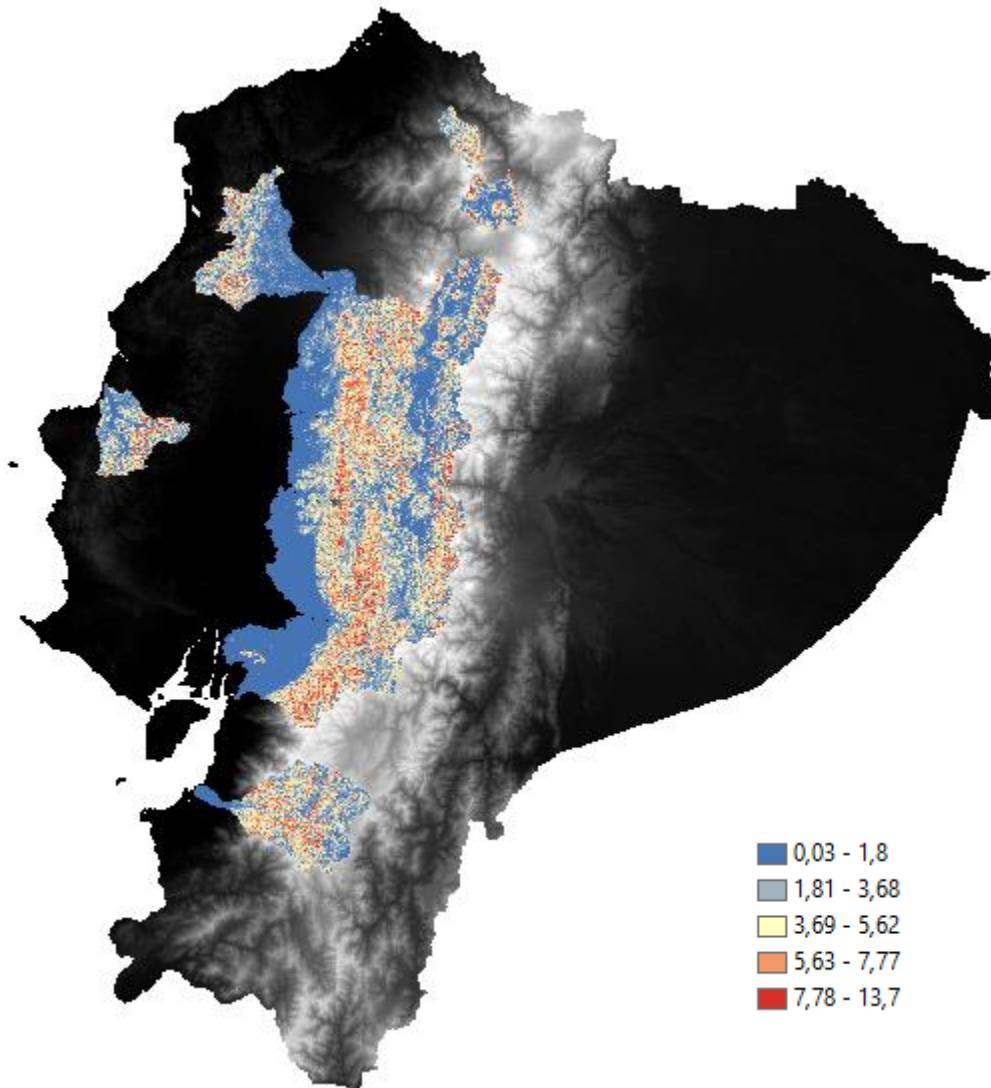
El Factor S, factor de magnitud de la pendiente, al estar relacionado directamente con la pendiente del terreno determina la velocidad de escorrentía del terreno. El potencial erosivo del suelo aumentara a medida que la pendiente aumente debido al transporte de sedimento que surge debido a la velocidad de la escorrentía (Geler, Penteado, & Perez, 2014). Este es el segundo factor de topografía que usara los datos DEM para poder ser calculado.

Se hace uso de los rasters obtenidos en el Factor F para poder calcular el Factor S. Se aplica las siguientes condiciones para poder calcularlo:

Cuando  $\tan \beta_{(i,j)} < 0.09$  entonces  $S_{(i,j)} = 10.8 \sin \beta_{(i,j)} + 0.03$

Cuando  $\tan \beta_{(i,j)} \geq 0.09$  entonces  $S_{(i,j)} = 16.8 \sin \beta_{(i,j)} - 0.05$

Estas condiciones son ingresadas mediante la herramienta “Map Algebra” para de esta manera ser calculadas por píxel de terreno.



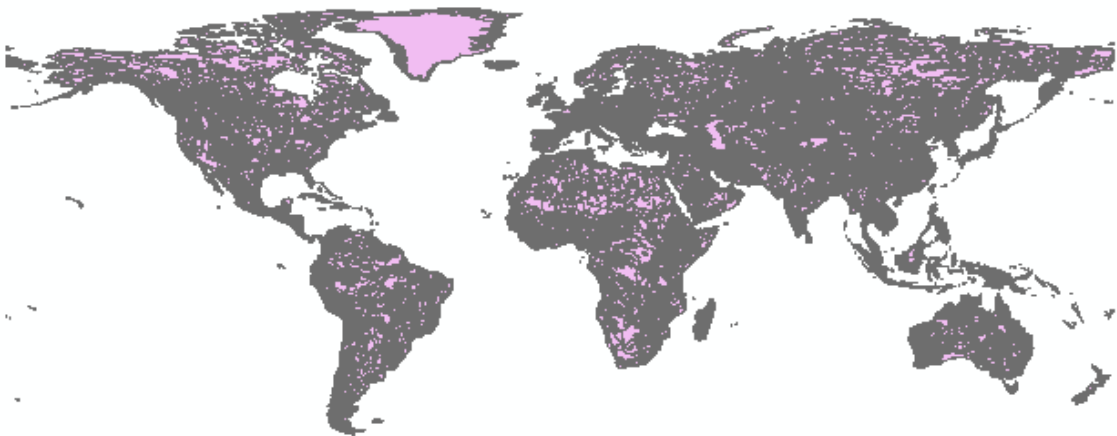
**Figura 13. Factor S Ecuador.**

### **Factor K**

El Factor K, también conocido como factor de erosionabilidad, es un valor cuantitativo que refleja la susceptibilidad que posee el suelo a sufrir pérdidas de terreno por erosión. Expresa la respuesta que posee el suelo frente a un episodio de lluvia determinando su capacidad de mantener su estructura, capacidad de almacenar agua y

capacidad de transmitir agua. Estos aspectos están íntimamente relacionados entre sí a pesar de actuar por separado (Gisbert, Ibáñez, & Moreno).

Para obtener el Factor K es necesario obtener el mapa digital de suelos del mundo que se completó en un lapso de 20 años. Este mapa fue el fruto de la colaboración mundial de innumerables científicos del suelo y hace algunos años era la única información global del suelo (FAO, 2019).



**Figura 14. Mapa digital de suelos del mundo.**

El mapa digital es importado a ArcMap y junto con la demarcación del Ecuador se usa el comando “clip” para obtener el mapa digital de suelos del Ecuador.



**Figura 15. Mapa digital de suelos Ecuador.**

Junto con la Figura 14 se adjunta un Excel donde se encuentra especificado cada tipo de suelo junto con sus características físicas como porcentaje de arena, porcentaje de arcilla, pH del agua, contenido de materia orgánica , entre otros.

Por lo tanto, se seleccionaron los tipos de suelos del Excel mencionado anteriormente de acuerdo a los suelos que se obtengan en el Ecuador. Estos pueden ser observados a partir de la tabla en ArcMap del mapa.

DSMW_Ecuador						
	FID *	Shape *	SNUM	FAOSOIL	DOMSOI	PHASE1
▶	1	Polygon	5521	I-Fh-Ne-To-c	I	0,0184
	2	Polygon	5711	Zg5-3a	Zg	0,0152
	3	Polygon	4705	Ge12-2a	Ge	0,0165
	4	Polygon	5666	Th10-b	Th	0,0178
	5	Polygon	5486	Gd13-3a	Gd	0,0138
	6	Polygon	5475	Fx3-2a	Fx	0,0133
	7	Polygon	5521	I-Fh-Ne-To-c	I	0,0184
	8	Polygon	5426	Fh3-3b	Fh	0,0145
	9	Polygon	5711	Zg5-3a	Zg	0,0152
	10	Polygon	4705	Ge12-2a	Ge	0,0165
	11	Polygon	5711	Zg5-3a	Zg	0,0152
	12	Polygon	5411	Bh3-3c	Bh	0,0157
	13	Polygon	5486	Gd13-3a	Gd	0,0138
	14	Polygon	5711	Zg5-3a	Zg	0,0152
	15	Polygon	5666	Th10-b	Th	0,0178
	16	Polygon	5671	Th7-a	Th	0,0178
	17	Polygon	5623	Ne5-3b	Ne	0,0178
	18	Polygon	5614	Nd1-3b	Nd	0,0145
	19	Polygon	5521	I-Fh-Ne-To-c	I	0,0184
	20	Polygon	5711	Zg5-3a	Zg	0,0152

**Figura 16. Tabla ArcMap tipos de suelos Ecuador ejemplo.**

Para obtener el raster del Factor K se necesitan las siguientes variables obtenidas en el Excel:

1. Porcentaje de arena en la capa superficial del suelo (sand % topsoil)
2. Porcentaje de limo en la capa superficial del suelo (silt % topsoil)
3. Porcentaje de arcilla en la capa superficial del suelo (clay % topsoil)
4. Porcentaje de materia orgánica en la capa superficial del suelo (OC % topsoil)

Una vez seleccionados los datos necesarios para el mapa del Ecuador se obtiene la tabla del Anexo C. Con estos valores se utiliza el método de Williams para obtener el Factor K (Williams, Dyke, W.W. Fuchs, Rice, & Taylor, 1990).

$$f_{csand} = (0.2 + 0.3 \exp \left[ -0.0256 m_{sand} \left( 1 - \frac{m_{silt}}{100} \right) \right])$$

$$f_{cl-si} = \left( \frac{m_{silt}}{m_{clay} + m_{silt}} \right)^{0.3}$$

$$f_{orgc} = \left[ 1 - \frac{0.25 \text{ orgC}}{\text{orgC} + \exp(3.72 - 2.95 \text{ orgC})} \right]$$



$$f_{hisand} = \left[ 1 - \frac{0.70 \left(1 - \frac{m_{sand}}{100}\right)}{\left(1 - \frac{m_{sand}}{100}\right) + \exp[-5.51 + 22.9 \left(1 - \frac{m_{sand}}{100}\right)]} \right]$$

Donde:

$m_{sand}$  = porcentaje de arena en la capa superficial del suelo

$m_{silt}$  = porcentaje de limo en la capa superficial del suelo

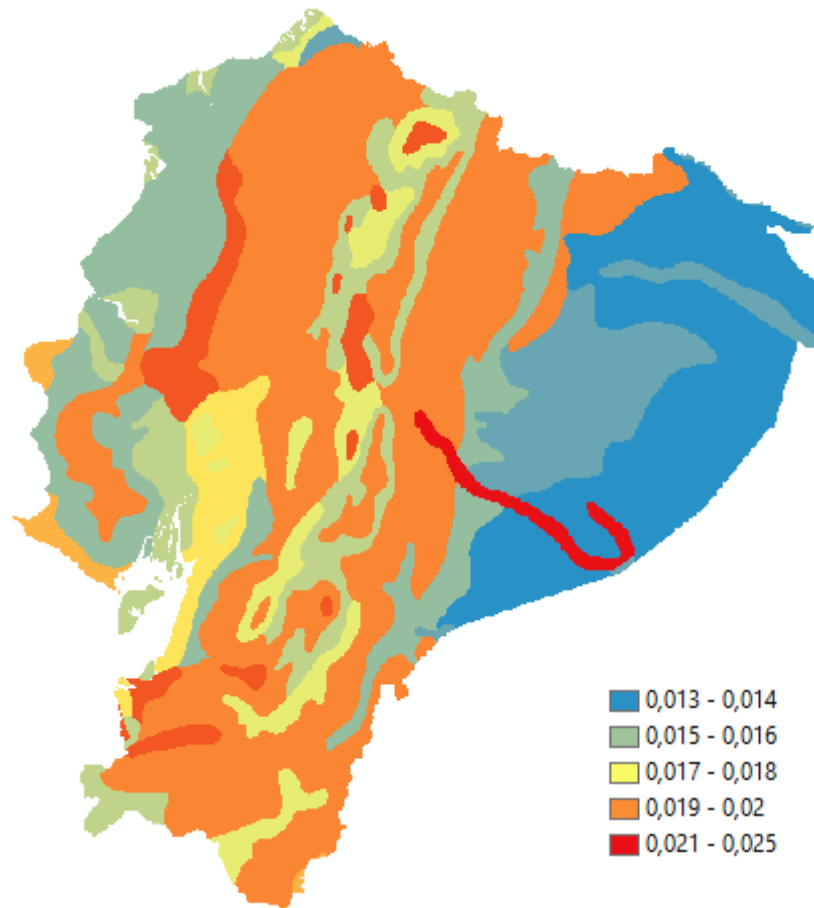
$m_{clay}$  = porcentaje de arcilla en la capa superficial del suelo

$orgC$  = porcentaje de materia orgánica en la capa superficial del suelo

Finalmente, a partir de cada uno de los factores calculados anteriormente se obtiene el Factor K (Anexo D).

$$K = 0.1317 * f_{csand} * f_{cl-si} * f_{orgc} * f_{hisand}$$

Estos valores resultantes son agregados a la tabla de ArcMap para que puedan ser proyectados en el mapa final del Factor K.



**Figura 17. Mapa Factor K Ecuador.**

### **Factor R**

El Factor R, factor de precipitación, representa la capacidad de la precipitación para producir erosión en el terreno. Este es calculado a partir de la energía cinética de la lluvia que es la responsable de disgregar las partículas del suelo que posteriormente son transportadas por la escorrentía. Las características físicas de la lluvia influirán de manera directa en el valor del factor (Gisbert, Ibáñez, & Moreno).

Para obtener los datos de precipitación del Ecuador se hace uso de la tabla dinámica propuesta por la Secretaría del Agua (SENAGUA) donde a partir de las diferentes estaciones ubicadas a lo largo del país se obtuvieron los valores de precipitación promedio mensual y multianual.

Los valores de precipitación mensual se transforman a valores de precipitación diaria asumiendo que existen 15 eventos de lluvia mensuales en promedio (Campos, 2017). Este valor asumido puede generar error debido a que dependiendo de la región se tendrá más o menos eventos de precipitación mensuales, sin embargo, para el estudio se asume este valor promedio.

$$P_{Diaria} = \frac{P_{Mensual}}{15 \text{ eventos}}$$

Obteniendo los valores de precipitación diaria es necesario obtener la precipitación en 30 minutos, para esto se usa la siguiente tabla establecida para 24 horas de lluvia.

**Tabla 3. Porcentajes precipitación en 24 horas (Campos, 2017).**

Hora	% de Distribución	% Distribución Acumulado
0	0	0
2	42	42
4	16	58
6	10	68
8	7	75
10	5	80
12	4	84
14	3	87
16	4	91
18	2	93
20	3	96
22	2	98
24	2	100

Con los valores de la Tabla 1 se obtiene mediante una regresión lineal que en 30 minutos el porcentaje de precipitación es de 14%, este valor nos ayuda a determinar la precipitación de lluvia en 30 minutos para cada mes.

$$P_{30 \text{ min}} = 0.14 * P_{Diaria}$$

A continuación, se obtiene la intensidad de la precipitación en 30 minutos con la siguiente formula:

$$I_{30 \text{ min}} = 2 * P_{30 \text{ min}}$$

Se calcula la energía para cada mes en cada una de las estaciones seleccionadas mediante el uso de la Tabla 1 y los datos obtenidos para la precipitación diaria mensual. De esta manera se obtiene la precipitación a lo largo de las 24 horas del día, se calcula la intensidad mediante el tiempo entre cada intervalo y los datos de precipitación.

$$I = \frac{P [mm]}{t[min] \left[ \frac{1 h}{60 min} \right]}$$

Se determina el coeficiente “e” mediante la ecuación propuesta por Wischmeier-Smith (1978).

$$e = 0.1191 + 0.0873 * \log_{10}(I)$$

Finalmente, se calcula la energía con la ecuación propuesta a continuación:

$$E = e * I$$

Se muestra un ejemplo del cálculo de energía para el mes de enero de la estación M292.

**Tabla 4. Ejemplo cálculo energía.**

ENE		6,658				
Hora	%dis	P [mm]	t [min]	I [mm/h]	e [MJ/ha*h]	E [MJ/ha]
0	0	0	0	0		
2	42	2,80	120	1,40	0,132	0,369
4	16	1,07	120	0,53	0,095	0,101
6	10	0,67	120	0,33	0,077	0,052
8	7	0,47	120	0,23	0,064	0,030
10	5	0,33	120	0,17	0,051	0,017
12	4	0,27	120	0,13	0,043	0,011
14	3	0,20	120	0,10	0,032	0,006
16	4	0,27	120	0,13	0,043	0,011
18	2	0,13	120	0,07	0,016	0,002
20	3	0,20	120	0,10	0,032	0,006
22	2	0,13	120	0,07	0,016	0,002
24	2	0,13	120	0,07	0,016	0,002

6,66

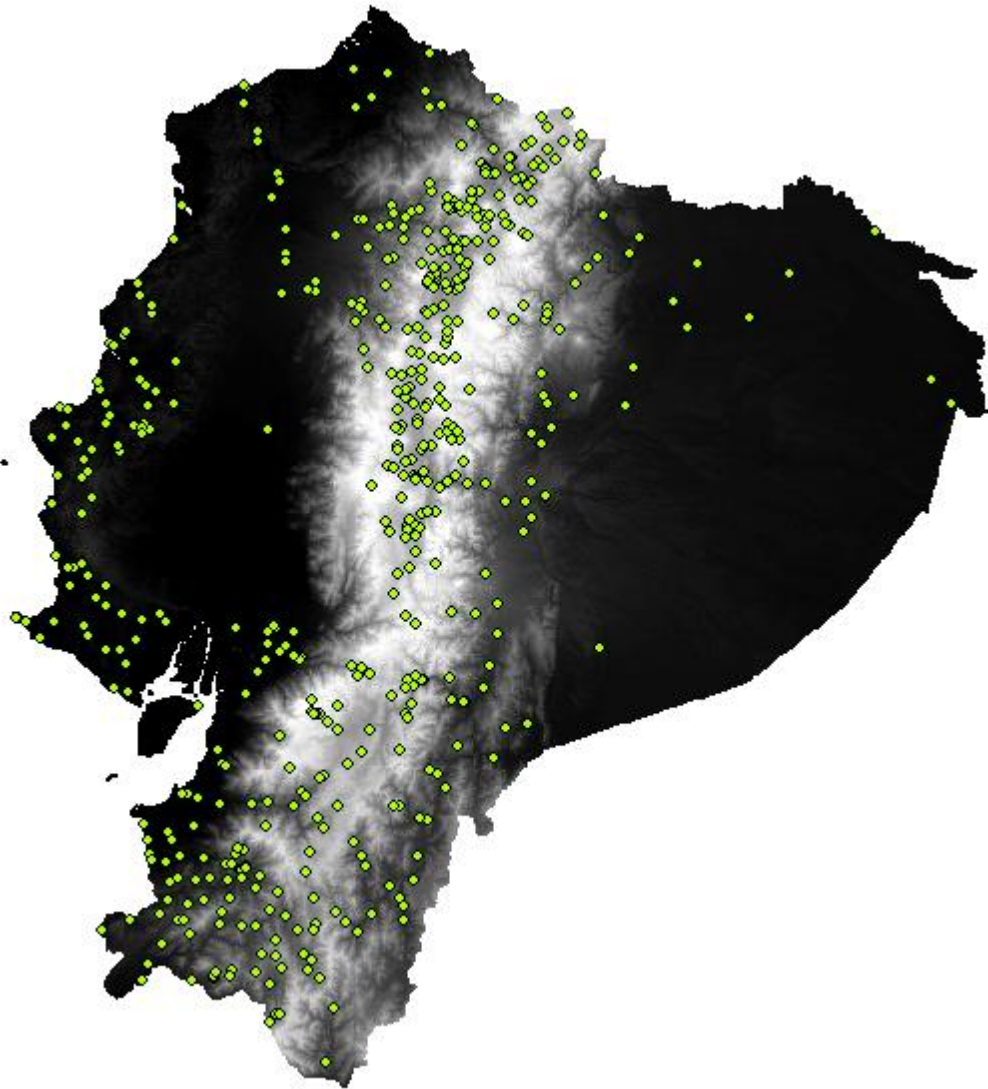
0,610

Por último, se obtiene el factor R de los eventos para cada uno de los meses del año de las estaciones seleccionadas.

$$R = I_{30 \text{ min}} * E$$

Se obtiene el valor R para cada mes, al igual que mencionamos anteriormente, asumiendo un valor de 15 eventos mensuales. Se crea una tabla con las coordenadas de cada estación y con el valor obtenido del Factor R (Anexo B).

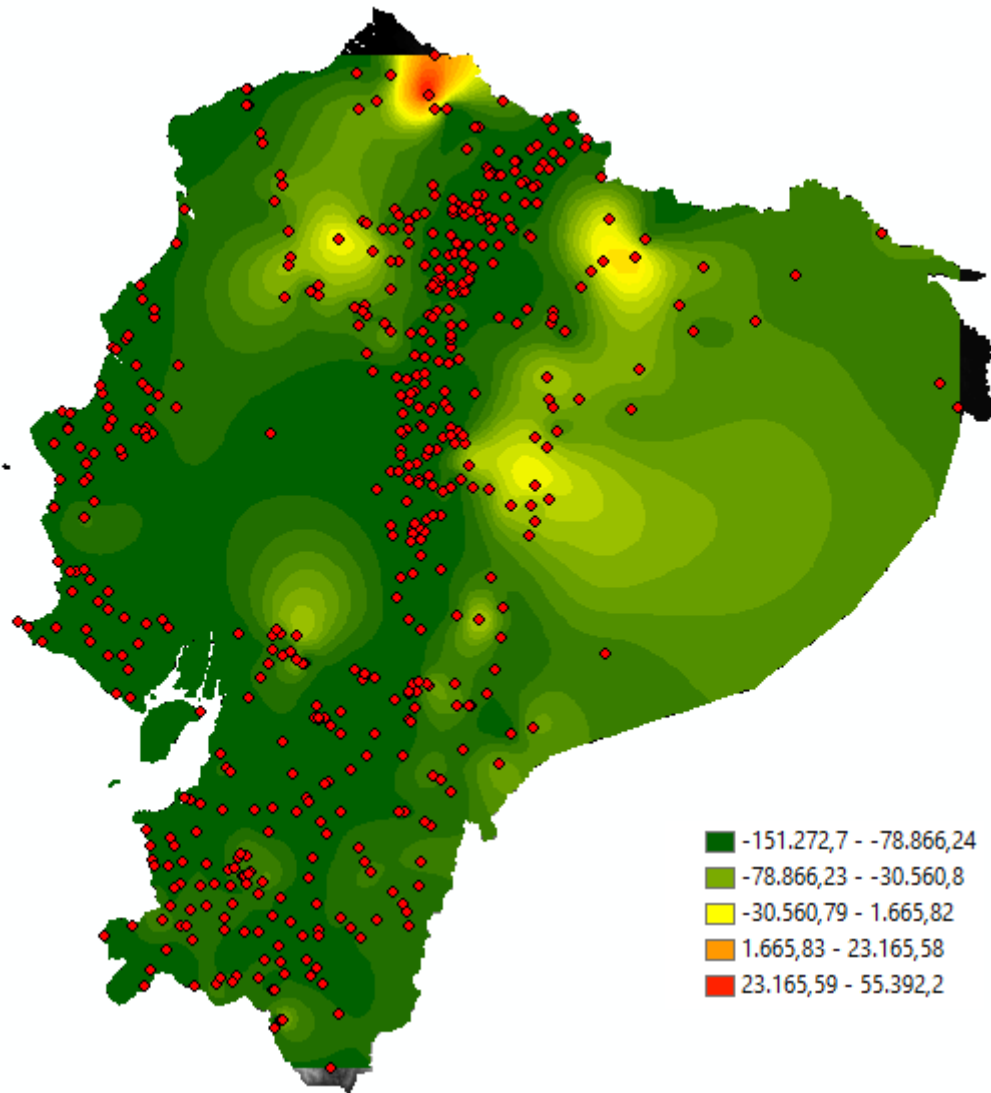
Esta tabla es importada a ArcMap; mediante el comando “Conversion from Excel to Raster” se obtiene el resultado de la figura 18.



**Figura 18. Estaciones pluviometricas Ecuador.**

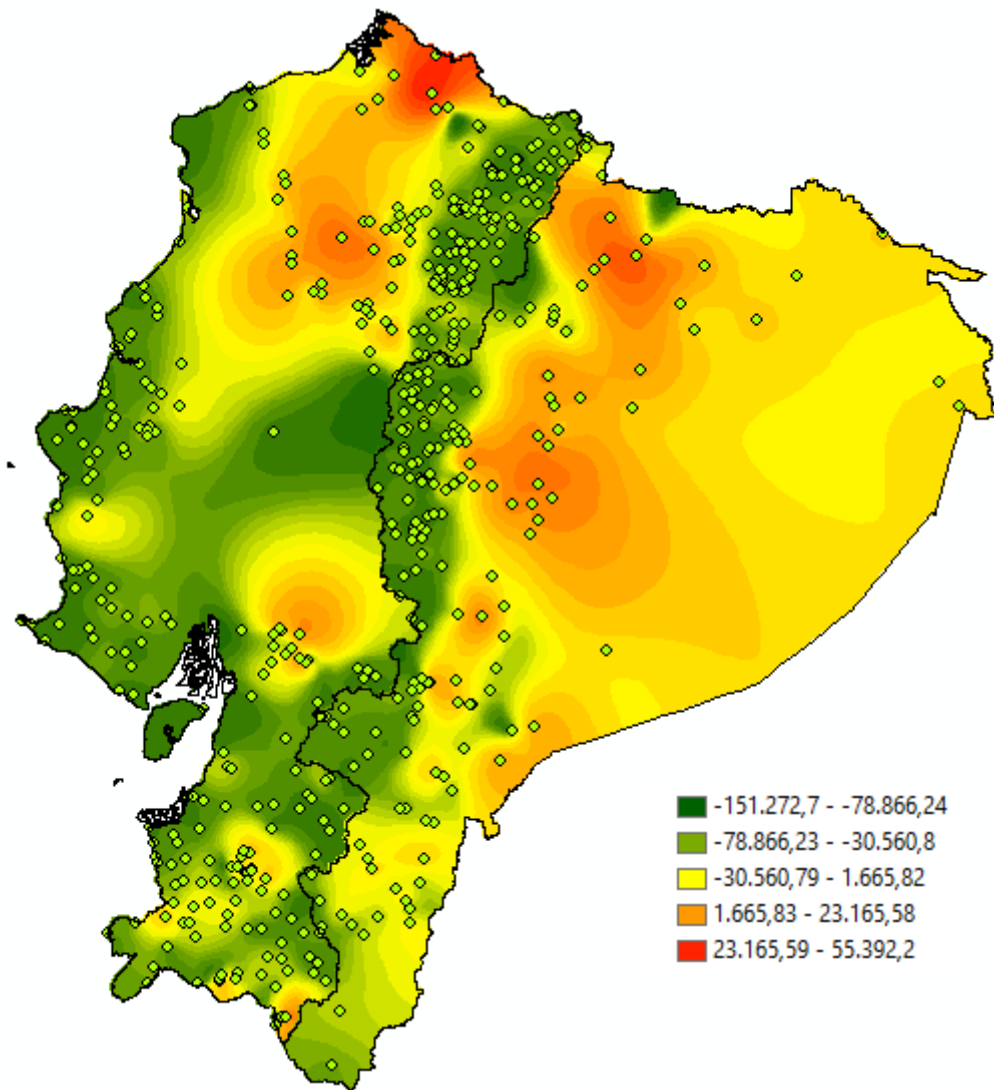
Sin embargo, para el análisis de este caso necesitamos obtener un raster del mapa del Ecuador con cada uno de los valores del Factor R. Para esto se usa el comando “Spline” que sirve para interpolar los valores obtenidos en cada una de las estaciones con los valores más cercanos de las mismas generando un raster. Se consideraron 2 opciones para la creación del mapa:

1. Raster sin barreras para toda la superficie del Ecuador.



**Figura 19. Factor R sin barreras Ecuador.**

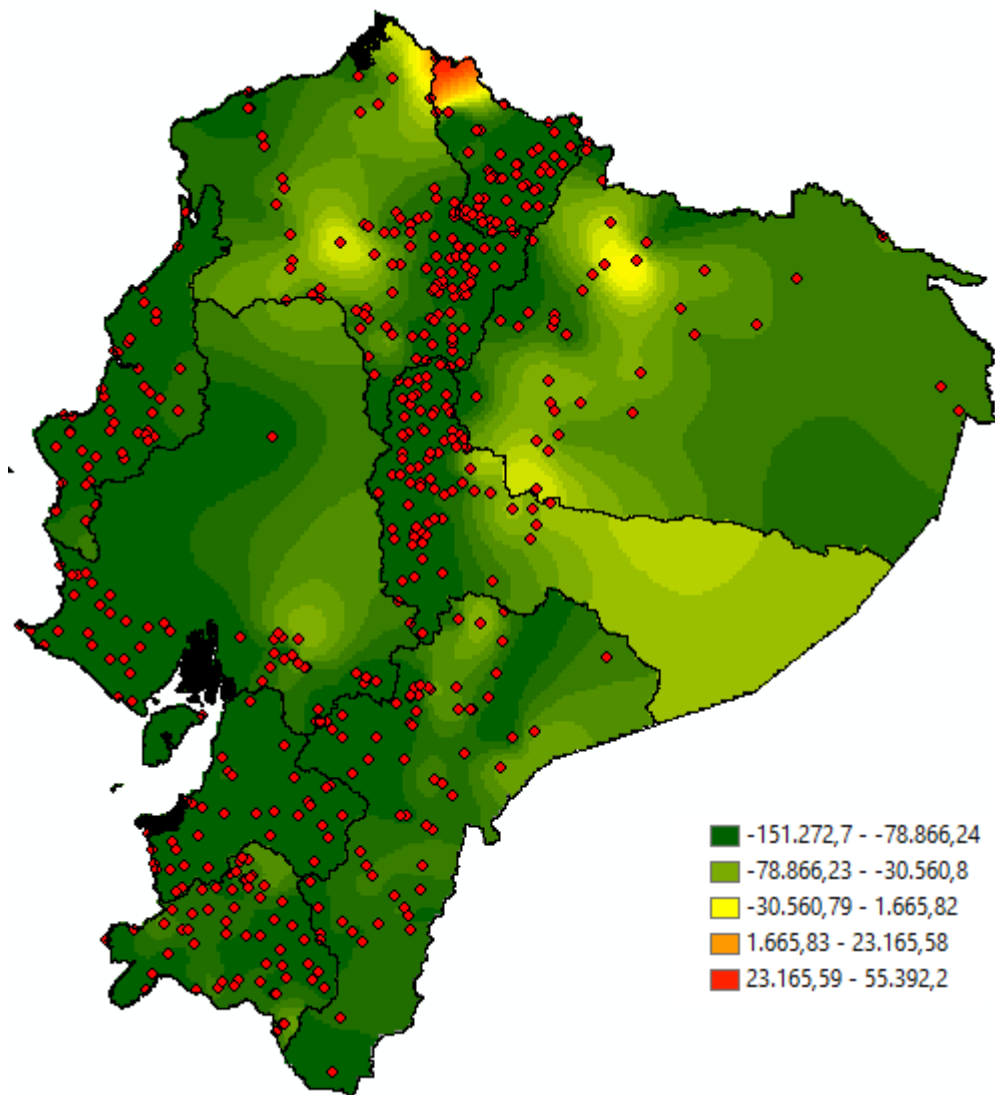
2. Raster con una barrera central a lo largo del Ecuador.



**Figura 20. Factor R con barrera central Ecuador.**

3. Raster con barreras dividiendo al Ecuador por sus demarcaciones hidrográficas.





**Figura 21. Factor R con barreras por demarcaciones hidrográficas Ecuador.**

El raster de la Figura 19 presenta más inconsistencias que los otros mapas debido a que la interpolación entre los valores R del Ecuador se realiza de manera conjunta entre las tres regiones, mientras que en la Figura 20 al usar una barrera central se analiza de mejor manera las regiones Costa y Oriente por separado. El Factor R con barreras por demarcaciones hidrográficas a lo largo del estudio generará un mapa que no posea continuidad en los resultados obtenidos debido a que existirá cortes a lo largo de cada cuenca.

Por lo tanto, para este estudio se decidió usar el raster con una barrera central a lo largo del Ecuador debido a que la aproximación presenta más similitud con el mapa de isoyetas del Ecuador.

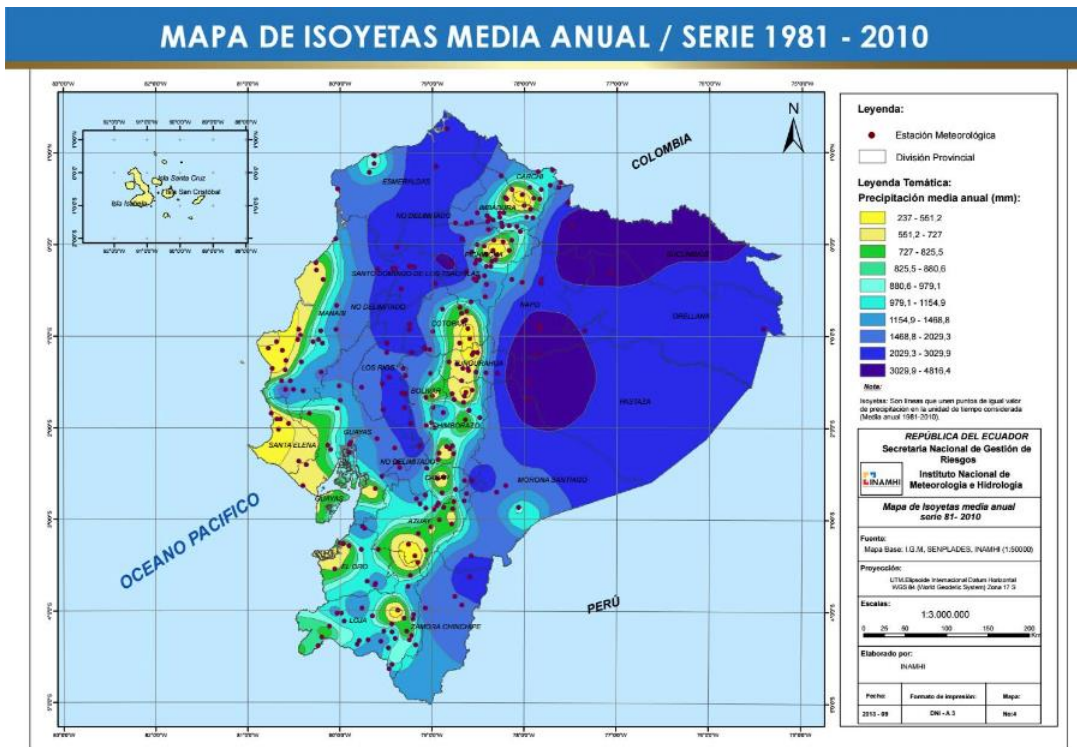


Figura 22. Mapa de isoyetas Ecuador (INAMHI, 2010).

## RESULTADOS

Con los factores obtenidos anteriormente se usa la siguiente ecuación para determinar la erosión potencial del Ecuador.

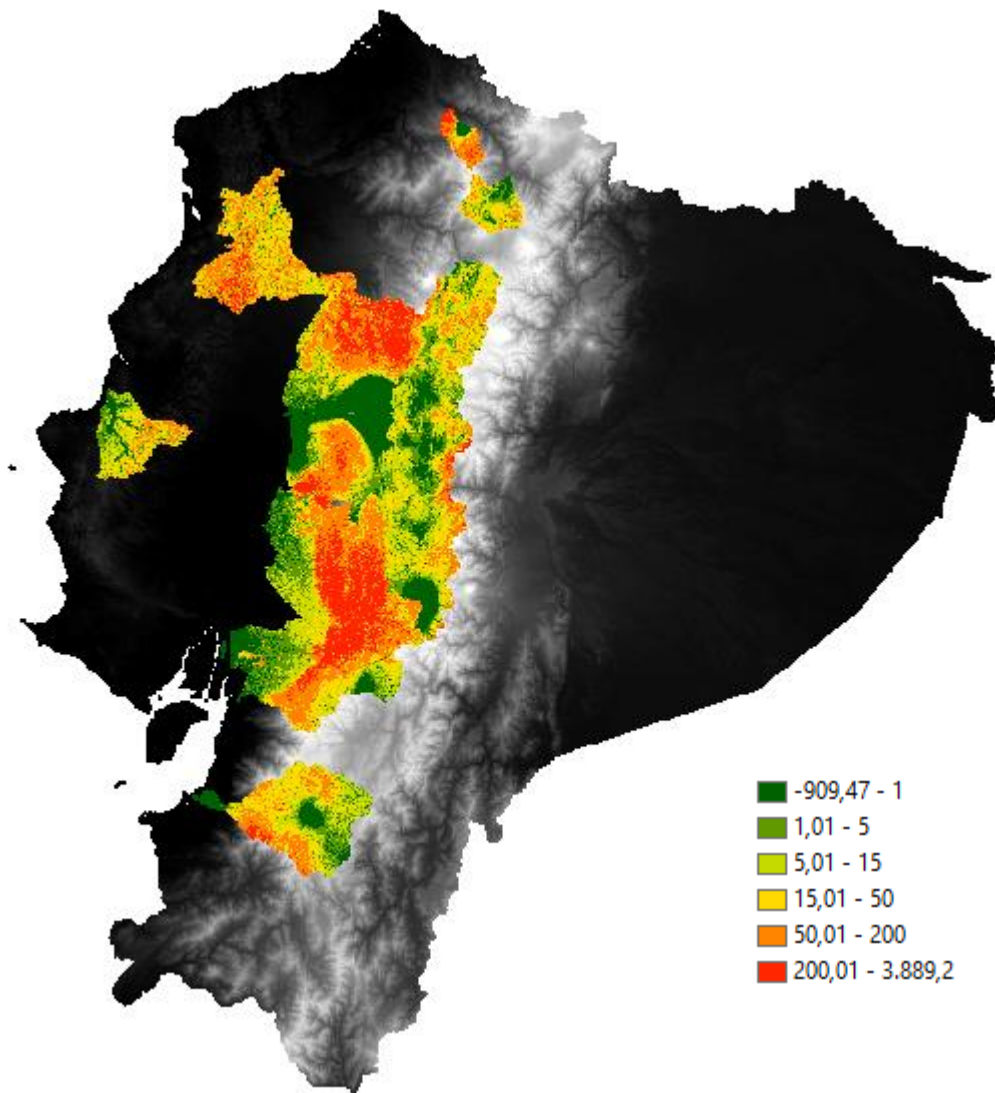
$$A = R * K * L * S$$

Para esto, se usa la función “map algebra” de la herramienta ArcMap para superponer cada uno de los mapas obtenidos y multiplicarlos entre sí. El mapa de erosión del Ecuador fue clasificado de acuerdo con la siguiente tabla:

**Tabla 5. Clasificación erosión (FAO, 1980).**

<b>Nivel</b>	<b>Perdida de Suelo [Ton/ha/año]</b>	<b>Tipo de Erosión</b>
1	<0.5	Normal
2	0.5 - 5	Ligera
3	5 - 15	Moderada
4	15 - 50	Severa
5	50 - 200	Muy Severa
6	>200	Catastrófica

En este estudio se obtiene el mapa final que representa la erosión potencial de las zonas analizadas.



**Figura 23. Erosión potencial Ecuador [Ton/ha/año].**

Se puede ver en la Figura 23 que la erosión potencial es más alta principalmente en las siguientes zonas:

- Cuenca del Rio Quinindé
- Cuenca del Rio Lita
- Cuenca del Rio Toachi
- Cuenca del Rio Quevedo
- Cuenca del Rio Jubones
- Cuenca del Rio Chambo
- Cuenca del Rio Sibimbe
- Cuenca del Rio Patate - Cutuchi

- Cuenca del Rio Chimbo - Chanchan

Esto se da principalmente debido al Factor R, factor de precipitación, que es el valor que predomina en el resultado debido a sus valores elevados. Esto concuerda con la información mencionada anteriormente donde el callejón interandino es el más afectado debido a la presencia de altas precipitaciones, longitud de pendientes elevadas, características del suelo, entre otros. Es necesario tomar en cuenta que la erosión presentada en la Figura 23 es erosión potencial, es decir, no se considera tanto el factor C que representa la cubierta y manejo del suelo, como el factor D que representan las prácticas de apoyo de conservación.

También se puede observar que no existe continuidad entre las cuencas de la región Costa con las cuencas de la región Sierra, esto se da debido al uso del Factor R donde la interpolación de los valores de precipitación se la realizó con una barrera central a lo largo del Ecuador. Esta interpolación puede generar ciertos errores en la Figura 23 debido a que en los lugares donde no hay presencia de estaciones meteorológicas con valores de precipitaciones se asume un valor cercano al de las estaciones más cercanas.

Un aspecto poco estudiado a lo largo de los años ha sido la incidencia de la erosión hídrica y que hacer para su mitigación. Las acciones que deben realizarse requieren de coherencia además de continuidad debido a la intervención de diferentes agentes y factores (MINVU, 1996). No existe un método que elimine de manera de completa la erosión hídrica, sin embargo, existen diferentes procedimientos que pueden ser empleados con el fin de reducir la erosión y en otros casos con el fin de prevenir la misma.

Ecuador necesita soluciones de ingeniería que disminuyan los efectos de erosión ya existentes dentro de su territorio. Estos procedimientos deben estar sustentados en el principio de minimizar las escorrentías producidas por la precipitación en los lugares más afectados. A continuación, se establecen las siguientes propuestas para mitigar la erosión hídrica en las zonas analizadas anteriormente:

- *Plantaciones forestales*

Establecer planes de manejo de vegetación para proteger tierras altas en las cuencas hidrográficas evitando la exposición del suelo de manera directa con la escorrentía o precipitación, reduce la velocidad del agua debido a que aumenta a resistencia hidráulica del terreno. Implementar plantaciones forestales productivas y protectoras que permitan incrementar la fijación de carbono mejorando así la calidad del suelo (Viteri, 2010).

- *Productos en rollo para el control de la erosión*

Uso de revestimientos orgánicos convencionales que están conformados de paja, yute, madera, fibra de coco, PVC, nylon, entre otros (Díaz Mendoza, 2011). Estos productos en rollo para el control de la erosión aumentan la resistencia del suelo, evitando así el arrastre y transporte de sedimentos producido por la escorrentía. Entre los más usados para la erosión hídrica se encuentran los siguientes:

1. Red para el control de revestimientos orgánicos: fibra o malla geo-sintética temporal y degradable para anclar cubiertas sueltas.
2. Telas de trama abierta: Red temporal y degradable que se usa en el control de la erosión y facilita el arraigo de la vegetación.
3. Revestimiento para el control de la erosión: malla temporal y degradable formado de fibras naturales que forman un aglutinante continuo para el control de la erosión.
4. Manto de refuerzo de la vegetación: fibra, malla o red permanente compuesta por fibras sintéticas no degradables. Son usados generalmente en aplicaciones hidráulicas como canales de flujo, diques, pendientes empinadas, donde las fuerzas erosivas exceden los límites de la vegetación natural (Díaz Mendoza, 2011).

- *Cultivo en contorno*

Se planta el cultivo cortando la dirección de la pendiente además de a medida que se avanza construir pequeñas terrazas de tierra que frenan la velocidad de la escorrentía. Esto permite que el agua se infiltre en el suelo por lo tanto no genera erosión (Michelena, 2016).

- *Revestimiento orgánico suelto*

Se emplea materiales como paja y heno en terrenos con erosión para minimizar a misma. La paja suelta y las fibras de heno deben tener una longitud aproximada de 10 a 20 cm para entrelazarse y generar el efecto deseado (Díaz Mendoza, 2011). Este revestimiento es incorporado al terreno mediante discos de cuchilla de arado.

- *Zanjas de infiltración*

Estos son canales sin desnivel que son construidos en laderas. Su objetivo es captar el agua que se escurre, disminuyendo así los procesos erosivos, aumentando la infiltración de agua en el suelo. Pueden ser construidas de manera manual o de manera mecanizadas. Se sitúan normalmente en la parte superior o media de una ladera para así capturar y almacenar la esocorrentía proveniente de cotas superiores (Pizarro, Flores, Sanguesa, & Martínez, 2004)

## CONCLUSIONES

Ecuador ha sido y continúa siendo afectado por varios procesos erosivos en aproximadamente más de la mitad de su territorio. De acuerdo con los resultados del presente estudio, se puede determinar que varias zonas del Ecuador poseen alta erosión potencial, donde tanto la precipitación como escorrentía son factores fundamentales que determinan los lugares con erosión catastrófica. El sector más afectado es el callejón interandino donde tanto su pendiente como cantidad de precipitación influyen de manera drástica en la erosión de su terreno presentando 200 ton/ha/año de esta.

El callejón interandino está severamente afectado por erosión hídrica y requiere de soluciones ingenieriles que permitan minimizar los efectos producidos por este fenómeno. Este trabajo permitió obtener una visión a gran escala del problema de la erosión hídrica en cada una de las cuencas analizadas, siendo capaz de orientar a la toma de decisiones políticas para conservación y manejo adecuado del suelo. Además, permitió la detección de áreas críticas que deben ser estudiadas y analizadas a mayor profundidad para implementar medidas de mitigación específicas para la zona.

Tomando en cuenta la clasificación de la FAO, se puede decir más de un 40% de las cuencas estudiadas presentan una tasa muy alta de erosión. Estos resultados fueron calculados sin tomar en cuenta la cobertura y medidas de conservación del suelo, por lo que en la vida real estos valores de erosión podrán ser menores. Además, algunos factores usados en la ecuación universal de pérdida de suelo se los realizaron mediante interpolación por lo que sus valores no son exactamente los reales por lo que pueden generar errores mínimos.

Para prevenir o mitigar la erosión hídrica se presentaron diferentes propuestas que deben ser analizadas a fondo para poder ser aplicadas en las cuencas de estudio. Entre las principales encontradas para las zonas fueron zanjas de infiltración, cultivo en contorno, revestimiento orgánico, entre otros. En Ecuador estas medidas deben ser aplicadas para evitar cambios irreversibles que afecten estos lugares causando problemas catastróficos.



## **Recomendaciones**

Para mejorar las investigaciones futuras en temas relacionados, se recomienda una actualización de los datos tales como la precipitación en cada una de las estaciones meteorológicas. Además, agregar nuevas estaciones si estas existen para tener mayor cantidad de datos de entrada.

Asimismo, se recomienda una investigación más profunda donde se analice de manera concreta cada uno de los eventos de precipitación que suceden en cada una de las regiones más no el promedio como se lo realizó en esta investigación.

Adicionalmente, se recomienda realizar la investigación usando el factor de uso del suelo y el factor de prácticas de manejo del mismo para poder determinar la diferencia entre la erosión activa y la erosión mediante el método USLE.

Finalmente, se recomienda tener datos de entrada de mejor resolución para de esta manera obtener menos incongruencias en los resultados obtenidos.

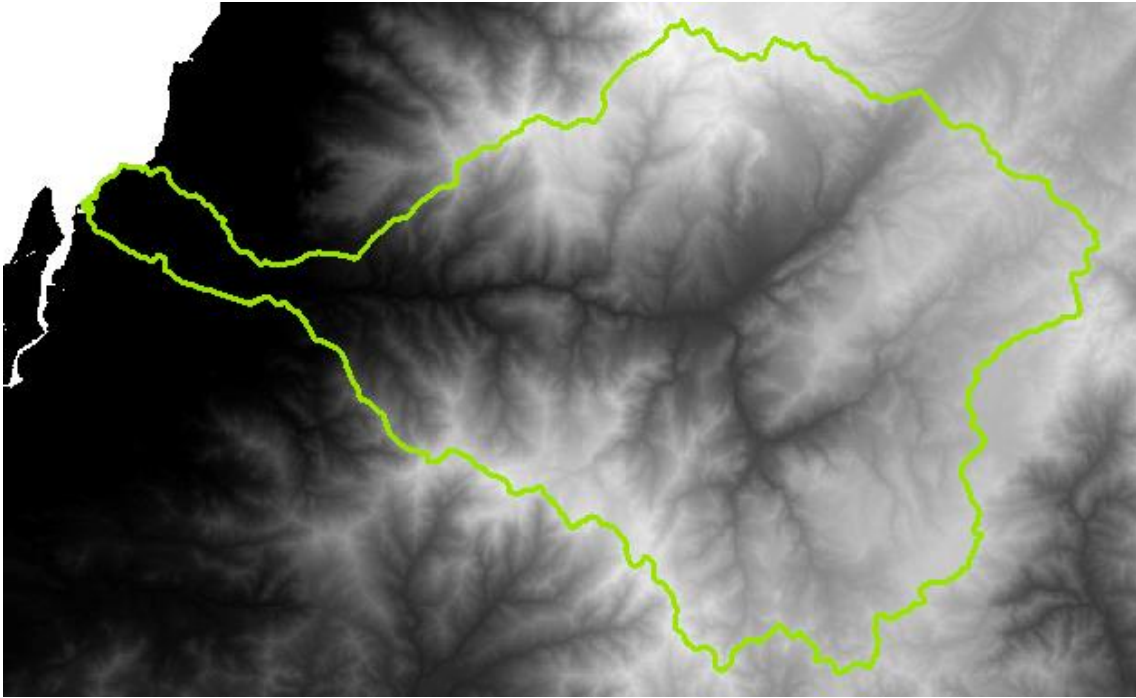
## REFERENCIAS

- Laflen, J. M., & Roose, E. J. (1998). Methodologies for assessment of soil degradation due to water erosion. Boca Raton, Florida, USA: CRC Press.
- Noni, G., & Trujillo, G. (1986). *La erosión actual y potencial en el Ecuador*. Quito: Centro Ecuatoriano de Investigaciones Geográficas (CEDIG).
- Almorox et al. (2010). La degradación de los suelos por erosión hídrica - Métodos de estimación. España: Universidad de Murcia.
- Cubero Fernández, D. (1994). *Manual de manejo y conservación de suelos y aguas*. Costa Rica.
- González Hidalgo, J. C. (1998). *Los procesos de erosión del suelo: Hechos, mitos y paradojas*. Zaragoza: Departamento de Geografía y ordenación del Territorio Universidad de Zaragoza.
- López Falcón, R. (2002). *Degradación del suelo: Causas, procesos, evaluación e investigación*. Merida, Venezuela: Centro Interamericano de Desarrollo e investigación Ambiental y Territorial - Universidad de los Andes.
- Tayupanta J., J. R. (1993). *La erosión hídrica: Proceso, factores y formas*. Quito: Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias Ecuador.
- Soto, A. (1990). *Aproximación a la meddia de la erosión y medios para reducir esta en la España Peninsular*. Madrid: ICONA.
- Patzel, E. (1996). *Flora del Ecuador*. Quito: Banco Central del Ecuador .
- WFPGeoNode. (28 de Noviembre de 2018). *WFPGeoNode*. Obtenido de ICA Ecuador, 2018 - ICA Categories: <https://geonode.wfp.org/wfpdocs/ica-ecuador-2018-ica-categories/>
- WFPGeoNode. (28 de Noviembre de 2018). *WFPGeoNode*. Obtenido de ICA Ecuador, 2018 - Erosion Propensity, 2019-2017: [https://geonode.wfp.org/layers/geonode%3Aecu\\_ica\\_landdegradation\\_geonode\\_jul2018](https://geonode.wfp.org/layers/geonode%3Aecu_ica_landdegradation_geonode_jul2018)
- Ministerio de Turismo del Ecuador . (2019). *Ministerio de relaciones exteriores y movilidad humana* . Obtenido de Bienvenidos al Ecuador - Geografía: <https://www.cancilleria.gob.ec/bienvenidos-geografia-del-ecuador/>
- Pourrut, P. (1983). *Los climas del Ecuador - Fundamentos explicativos*. Quito, Ecuador: ORSTOM.
- Castro, L. D. (6 de Febrero de 2016). Geografía en el Ecuador.
- Pourrut, P. (1995). *El agua en el Ecuador - Clima, precipitaciones, escorrentía*. Quito: Corporación Editora Nacional .
- Neitsch, S. L., Arnold, J. R., Williams, J. R., & King, K. W. (2015). Soil Water Assessment Tool (SWAT) Theoretical Documentation. Temple, TX: Blackl. Res. Center.
- Hunink, J. E., Terink, W., Contreras, S., & Droogers, P. (2015). *Scoping Assessment of Erosion Levels for the Mahale region, Lake Tanganyika, Tanzania*. The Netherlands : FutureWater.
- De Noni, G., & Trujillo, G. (1985). *La erosión actual y potencial en Ecuador: Localización, manifestaciones y causas*. Quito.
- ESRI. (Junio de 2019). *ArcMap*. Obtenido de ArcGIS Desktop: <desktop.arcgis.com/es/arcmap>

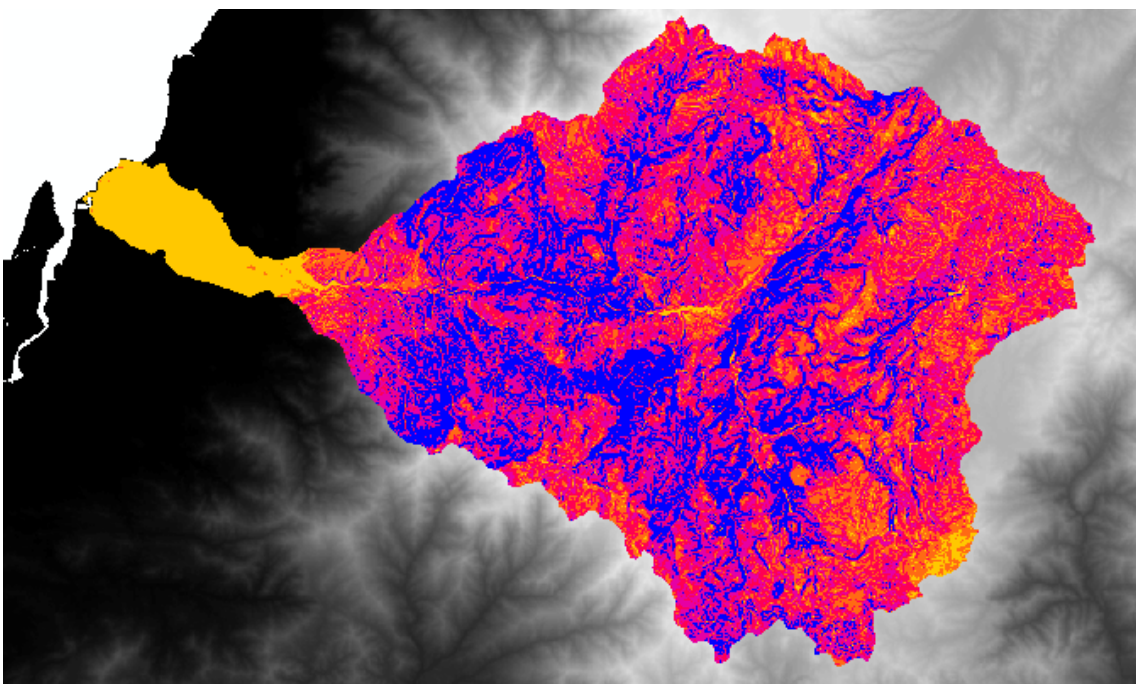
- Jones, C., Griggs, R., Williams, J., & Srinivasan, R. (1993). *Erosion de suelos en America Latina*. Santiago, Chile: FAO. Obtenido de Tema 1: Predicción de la erosión de suelos : <http://www.fao.org/3/t2351s/T2351S03.htm>
- Gisbert, J., Ibáñez, S., & Moreno, H. (s.f.). *El factor K de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE)*. València: Universidad Politécnica de València . Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16850/AD%20%20K%20USLE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Geler, T., Penteado, A., & Perez, A. (2014). *Análisis del factor LS en diferentes modelos de predicción hídrica del suelo*. Cuba : Instituto de Geografía Tropical CITMA.
- Campos, A. (29 de Enero de 2017). Erosión hídrica del suelo - USLE. *Factor R*. Manabí, Ecuador.
- Ellison, W. (1947). *Soil Erosion*. Madison : Soil Sci. Soc. Am. Proc. .
- Wischmeier, W., & Smith, D. (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses. Agriculture Handbook 537. United States Department of Agriculture: Science and Education Administration .
- INAMHI. (2010). *Atlas hidrológico y meteorológico estudiantil 2013*. Quito: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.
- FAO. (2019). *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Obtenido de FAO/UNESCO Soil Map of the World : <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/soil-maps-and-databases/faounesco-soil-map-of-the-world/en/>
- Williams, J., Dyke, P., W.W. Fuchs, V. B., Rice, O. W., & Taylor, E. (1990). *EPIC-Erosion/Productivity Impact Calculator: 2 User manual*. Temple, TX: US Department of Agriculture.
- FAO. (1980). *FAO*. Obtenido de Erosión del Suelo : <http://www.fao.org/3/t2351s/T2351S0a.htm>
- MINVU. (1996). *Manual de técnicas alternativas para soluciones de aguas lluvias en sectores urbanos*. Obtenido de Ministerio de Vivienda y Urbanismo: [http://www.minvu.cl/aopensite\\_det\\_20070317115825.aspx](http://www.minvu.cl/aopensite_det_20070317115825.aspx).
- Michelena, R. (2016). *Cómo controlar la erosión hídrica para que no destruya los suelos* . Institutos de Suelos INTA Castelar.
- Viteri, A. (2010). *Documento de análisis del sector forestal en el contexto de adaptación y mitificación al cambio climático del sector uso de suelo, cambio de suelo y silvicultura (forestal) en el Ecuador*. Quito: UNDP.
- Díaz Mendoza, C. (2011). Alternativas para el control de la erosión mediante el uso de coberturas convencionales, no convencionales y revegetalización. En *Ingeniería e Investigación VOL. 31* (págs. 80-90).
- Pizarro, R., Flores, J., Sanguesa, C., & Martínez, E. (2004). *Zanjas de infiltración*. Talca, Chile: Universidad de Talca.
- García-Ruiz, J., & Puigdefábregas-Tomás, J. (1982). *Formas de erosión en el Flysch Eoceno surpirenaico*. Cuadernos de Investigación Geográfica .

## ANEXOS

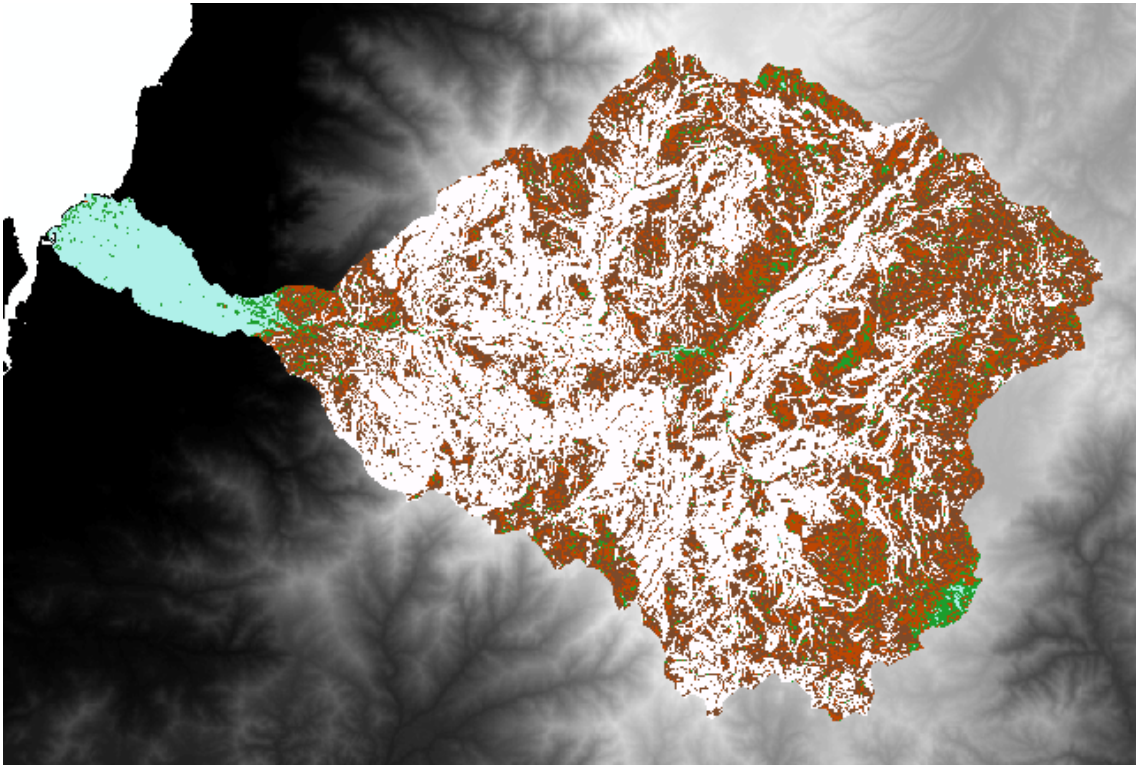
### Anexo A. Acercamiento Cuenca Jubones



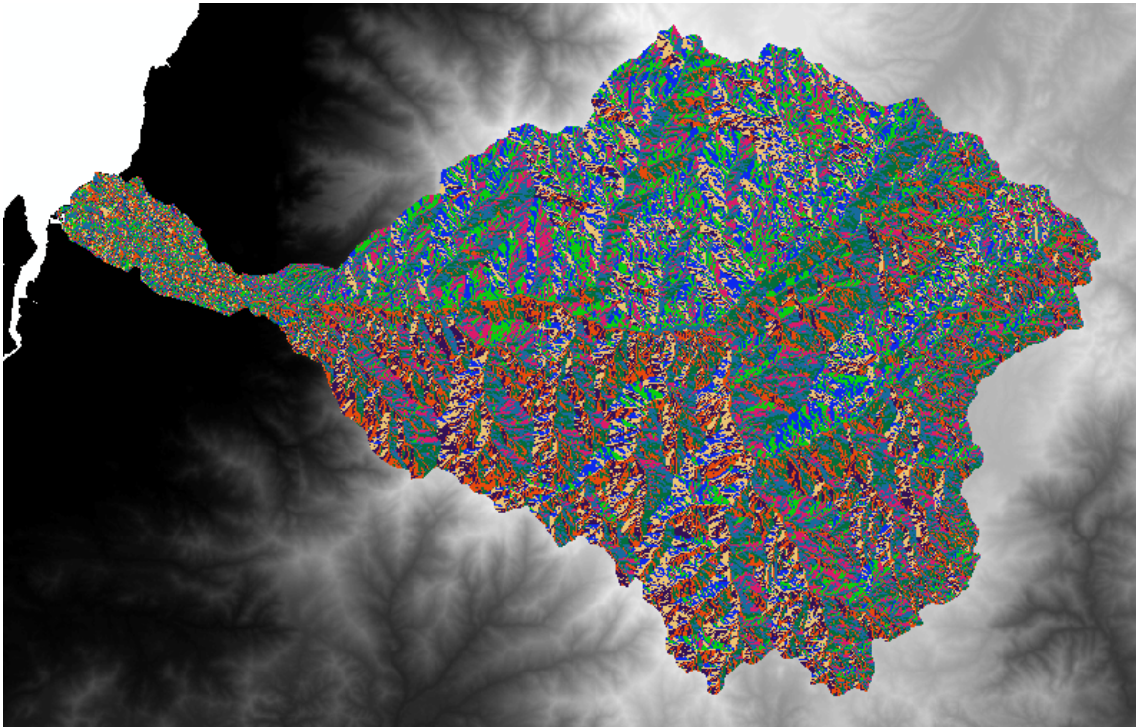
**Figura 24. DEM Cuenca Jubones**



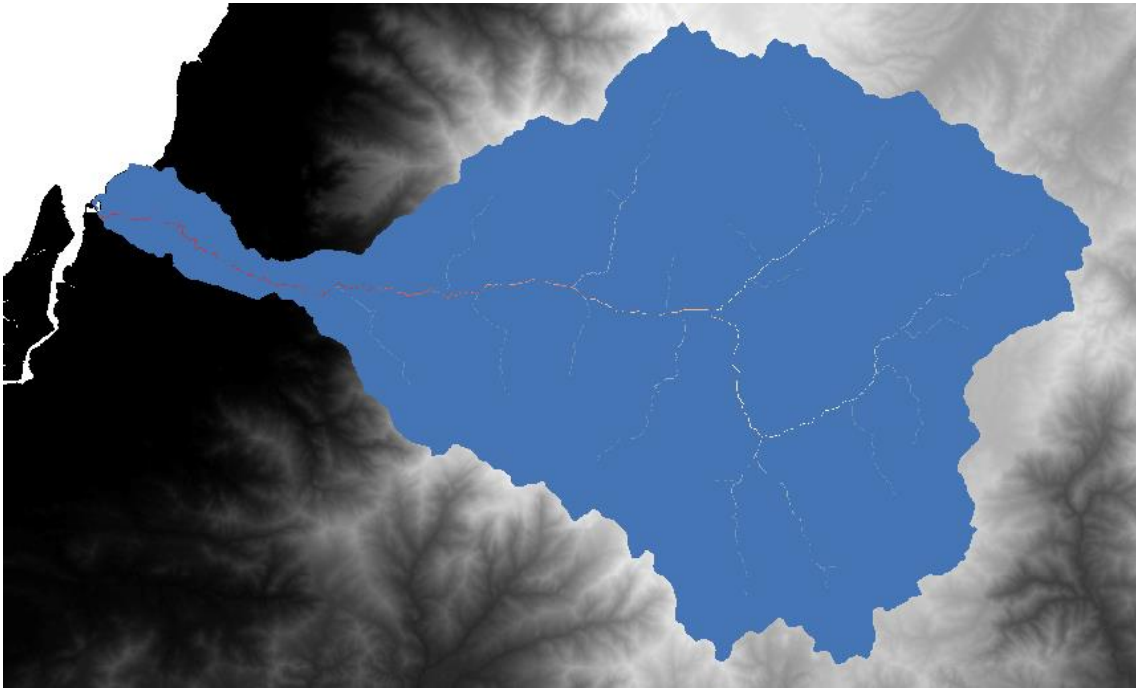
**Figura 25. Factor F Cuenca Jubones.**



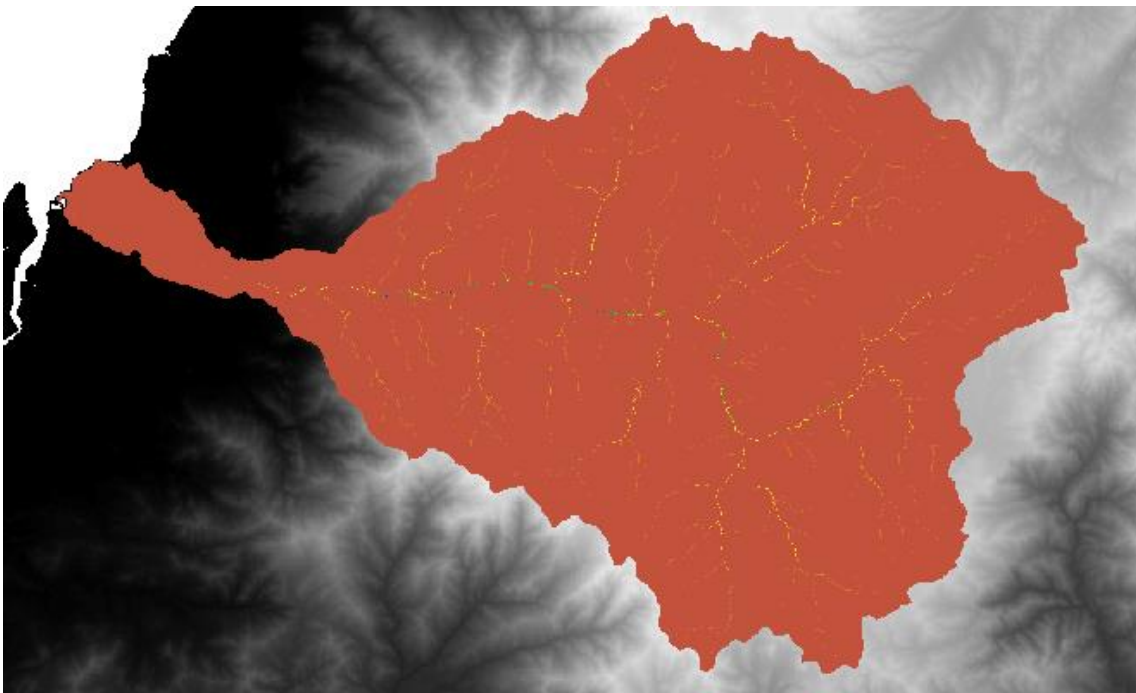
**Figura 26. Factor M Cuenca Jubones.**



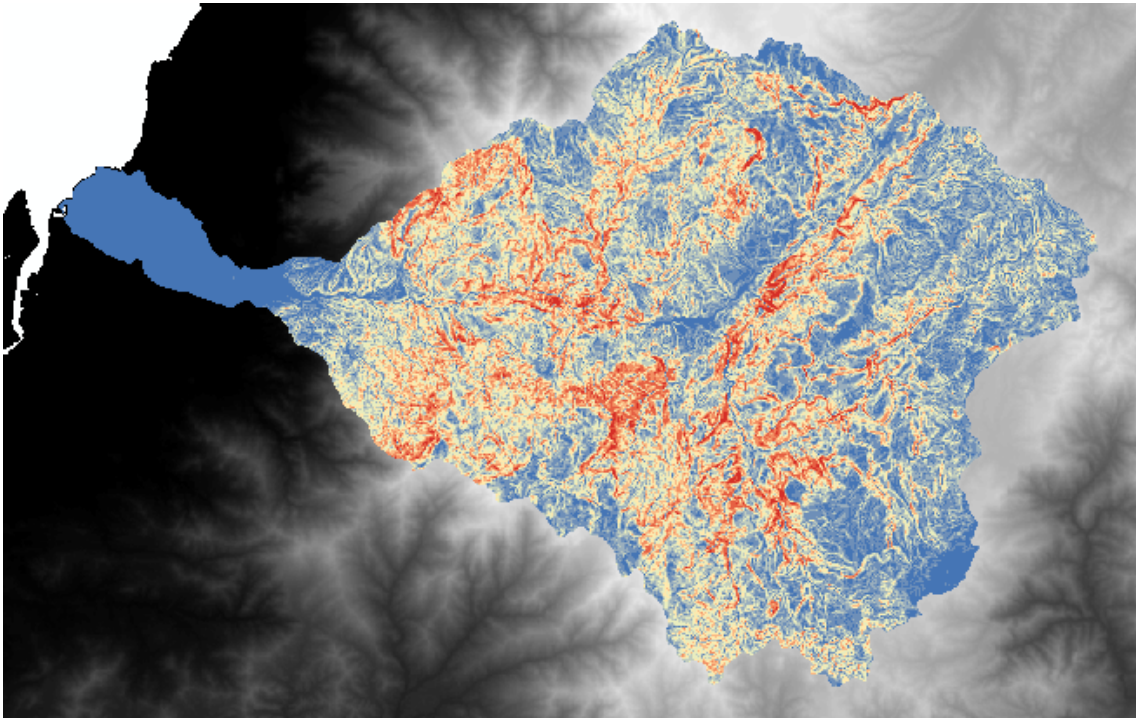
**Figura 27. Dirección del flujo Cuenca Jubones**



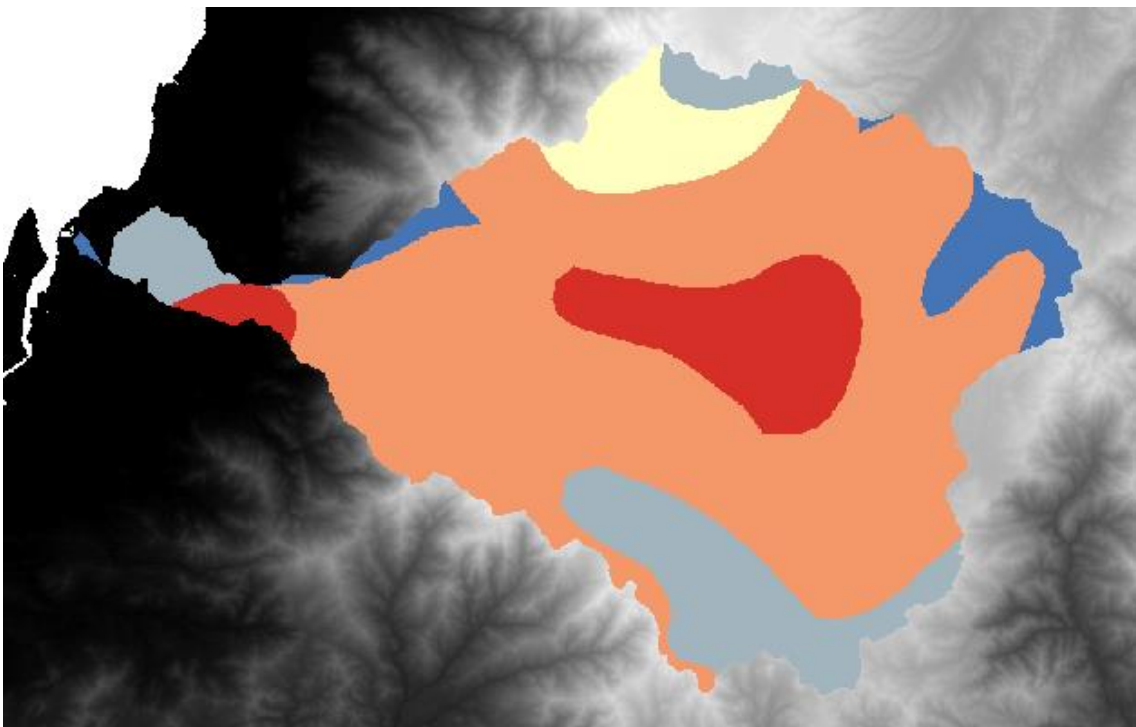
**Figura 28. Acumulación de flujo Cuenca Jubones**



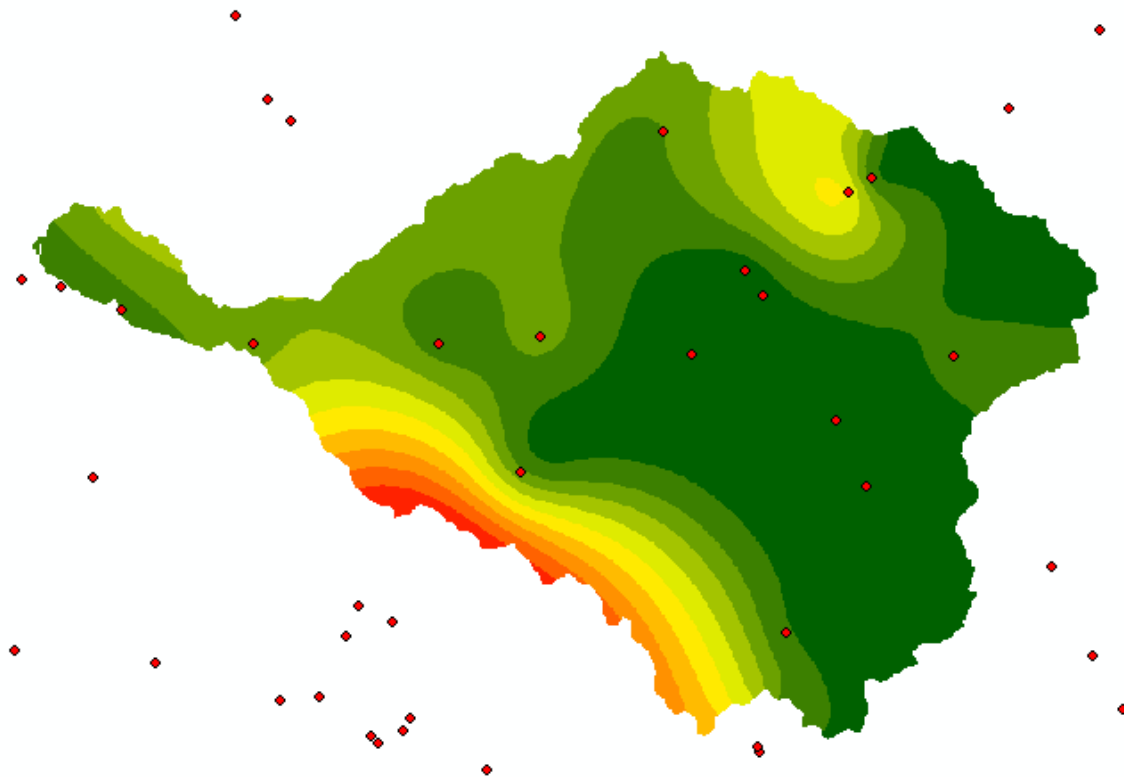
**Figura 29. Factor L Cuenca Jubones.**



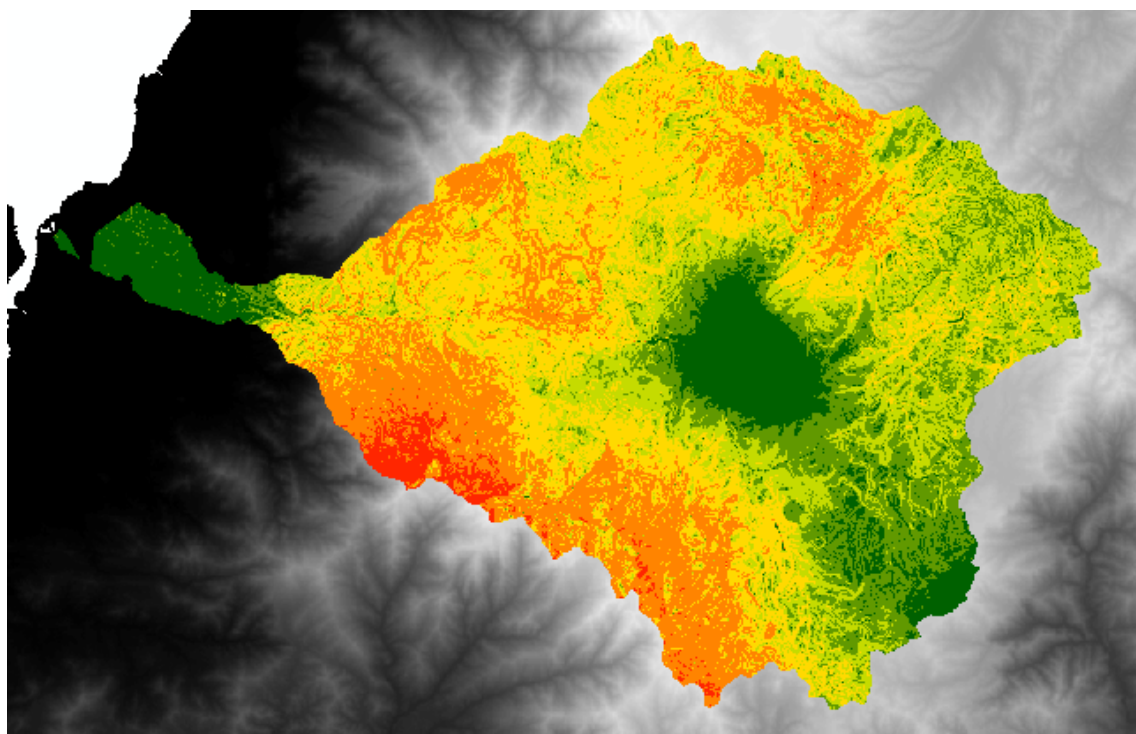
**Figura 30. Factor S Cuenca Jubones.**



**Figura 31. Mapa Factor K Cuenca Jubones**



**Figura 32. Mapa Factor R Cuenca Jubones**



**Figura 33. Erosión Cuenca Jubone**



**Anexo B. Tabla Factor R.**

**Tabla 6. Factor R Ecuador**

<b>ID</b>	<b>Estación</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>P [mm]</b>	<b>Factor R</b>
1	<b>M001</b>	789081,000000	10028216,000000	105,27	322,30
2	<b>M002</b>	792888,000000	9974245,000000	71,46	128,93
3	<b>M003</b>	772463,000000	9959068,000000	120,47	409,62
4	<b>M004</b>	767445,000000	9886792,000000	45,32	36,10
5	<b>M005</b>	560132,130084	9885319,815860	45,09	102,18
6	<b>M006</b>	667687,721352	9881209,319410	22,28	3,89
7	<b>M007</b>	1121970,000000	9897825,000000	241,08	1762,38
8	<b>M008</b>	839877,000000	9832769,000000	378,83	4715,10
9	<b>M011</b>	798460,000000	9990350,000000	73,13	190,97
10	<b>M012</b>	602003,000000	9613428,000000	53,16	121,71
11	<b>M015</b>	1014048,000000	9984846,000000	220,18	1378,78
12	<b>M019</b>	889135,000000	9735705,000000	245,13	1699,01
13	<b>M020</b>	987991,000000	9955289,000000	261,63	2068,48
14	<b>M021</b>	808388,000000	10038764,000000	58,49	77,85
15	<b>M022</b>	807558,000000	10005504,000000	71,46	122,08
16	<b>M023</b>	828417,000000	10016019,000000	65,18	91,83
17	<b>M024</b>	779893,000000	9981193,000000	90,26	214,66
18	<b>M025</b>	680259,000000	9997297,000000	275,60	4170,93
19	<b>M027</b>	700085,000000	9972478,000000	264,72	3410,39
20	<b>M028</b>	764238,000000	9861350,000000	39,58	23,19
21	<b>M029</b>	787081,000000	9845684,000000	118,81	369,92
22	<b>M031</b>	728467,000000	9717724,000000	18,92	2,96
23	<b>M032</b>	691245,000000	9640518,000000	38,85	42,24
24	<b>M033</b>	699469,000000	9553261,000000	73,08	115,39
25	<b>M034</b>	569597,000000	9866589,000000	67,99	225,89
26	<b>M035</b>	556746,000000	9907674,000000	38,56	48,12
27	<b>M038</b>	680542,000000	9737108,000000	99,30	553,06
28	<b>M040</b>	636530,000000	9632368,000000	79,85	215,93
29	<b>M041</b>	838207,000000	9812755,000000	334,21	3519,27
30	<b>M042</b>	547960,000000	9852255,000000	61,95	167,90
31	<b>M043</b>	778484,000000	9928794,000000	117,89	340,65
32	<b>M045</b>	763294,000000	9699159,000000	115,57	351,81
33	<b>M046</b>	727921,000000	10020586,000000	273,28	3630,80
34	<b>M047</b>	530577,000000	9895756,000000	26,40	27,35
35	<b>M048</b>	842895,000000	9822525,000000	394,80	5213,22

36	<b>M050</b>	772194,000000	9714538,000000	284,55	3040,23
37	<b>M053</b>	822594,000000	10036524,000000	51,59	57,85
38	<b>M054</b>	778036,000000	9976276,000000	102,46	292,05
39	<b>M055</b>	779708,000000	9984143,000000	91,84	219,99
40	<b>M057</b>	761223,000000	9817103,000000	37,11	21,09
41	<b>M058</b>	652815,000000	10107892,000000	71,11	192,15
42	<b>M059</b>	867140,000000	10090050,000000	71,13	111,12
43	<b>M060</b>	680630,000000	9558124,000000	31,93	26,18
44	<b>M062</b>	820331,000000	9745702,000000	210,53	1221,31
45	<b>M063</b>	826202,000000	9833618,000000	417,88	5880,30
46	<b>M064</b>	765133,000000	9898593,000000	39,94	27,56
47	<b>M065</b>	617496,000000	9516032,000000	53,72	212,98
48	<b>M066</b>	770553,000000	9866876,000000	42,70	26,46
49	<b>M068</b>	1108952,000000	9914502,000000	217,71	1386,52
50	<b>M069</b>	501606,000000	9756465,000000	22,04	3,79
51	<b>M070</b>	854085,000000	9898507,000000	348,55	4032,41
52	<b>M072</b>	615178,000000	9638811,000000	50,75	101,42
53	<b>M073</b>	646477,000000	9749029,000000	46,93	69,27
54	<b>M074</b>	534986,000000	9894627,000000	19,21	17,92
55	<b>M076</b>	500895,000000	9756465,000000	19,27	4,78
56	<b>M077</b>	1071753,000000	10012579,000000	258,55	2076,67
57	<b>M079</b>	815338,000000	9724255,000000	159,91	666,13
58	<b>M080</b>	773839,000000	9621631,000000	173,45	837,01
59	<b>M082</b>	854454,000000	10081337,000000	99,33	232,35
60	<b>M083</b>	859358,000000	10060583,000000	93,68	241,68
61	<b>M084</b>	847626,000000	10058917,000000	66,35	100,52
62	<b>M085</b>	817142,000000	10050878,000000	38,71	28,09
63	<b>M086</b>	829118,000000	10054327,000000	37,77	28,72
64	<b>M087</b>	769969,000000	9913740,000000	56,47	61,72
65	<b>M088</b>	754861,000000	9894175,000000	51,27	51,16
66	<b>M094</b>	761065,000000	9814337,000000	55,63	79,49
67	<b>M095</b>	769571,000000	9816171,000000	51,73	86,51
68	<b>M096</b>	764936,000000	9818942,000000	41,88	38,59
69	<b>M097</b>	779790,000000	9826300,000000	56,88	94,17
70	<b>M098</b>	838168,000000	10011255,000000	162,60	790,26
71	<b>M099</b>	836302,000000	10047443,000000	37,94	34,54
72	<b>M101</b>	876996,000000	10075387,000000	109,71	263,61
73	<b>M102</b>	839975,000000	10068967,000000	76,39	139,75
74	<b>M103</b>	853844,000000	10066515,000000	80,72	139,08
75	<b>M104</b>	830662,000000	10060845,000000	44,57	40,25
76	<b>M105</b>	805884,000000	10026560,000000	70,10	116,45

77	<b>M106</b>	783606,000000	10095675,000000	284,37	2649,57
78	<b>M107</b>	810207,000000	10056962,000000	56,69	77,40
79	<b>M110</b>	812074,000000	10023364,000000	82,80	172,20
80	<b>M111</b>	796727,000000	10005780,000000	47,40	42,11
81	<b>M114</b>	787627,000000	9973816,000000	75,62	145,13
82	<b>M115</b>	785061,000000	9998496,000000	37,61	25,48
83	<b>M116</b>	746635,000000	9976342,000000	247,14	2385,18
84	<b>M117</b>	773509,000000	9941643,000000	78,76	137,06
85	<b>M118</b>	778033,000000	9960910,000000	127,38	525,65
86	<b>M120</b>	768957,000000	9930674,000000	92,49	208,45
87	<b>M121</b>	785312,000000	9927069,000000	83,15	159,99
88	<b>M125</b>	757080,000000	9883603,000000	91,06	273,79
89	<b>M126</b>	776958,000000	9869605,000000	52,40	46,76
90	<b>M127</b>	771855,000000	9869917,000000	56,26	52,82
91	<b>M128</b>	765155,000000	9850010,000000	43,17	28,31
92	<b>M133</b>	759976,000000	9809268,000000	52,26	51,40
93	<b>M134</b>	753762,000000	9785769,000000	38,33	25,95
94	<b>M140</b>	736009,000000	9682158,000000	69,32	111,04
95	<b>M141</b>	713978,000000	9697404,000000	107,49	257,28
96	<b>M142</b>	695925,000000	9600208,000000	66,15	99,06
97	<b>M143</b>	691652,000000	9533403,000000	56,20	86,10
98	<b>M144</b>	697562,000000	9528229,000000	73,19	161,55
99	<b>M145</b>	694711,000000	9522583,000000	76,05	180,63
100	<b>M146</b>	660171,000000	9520506,000000	109,66	585,06
101	<b>M147</b>	702314,000000	9516575,000000	102,34	273,30
102	<b>M148</b>	616149,000000	9545853,000000	97,52	649,43
103	<b>M149</b>	673885,000000	9531875,000000	103,89	452,93
104	<b>M150</b>	673864,000000	9492681,000000	71,07	207,62
105	<b>M151</b>	584481,000000	9515181,000000	62,50	283,49
106	<b>M152</b>	636729,000000	9552764,000000	143,36	621,44
107	<b>M154</b>	726537,000000	10094504,000000	292,48	2936,35
108	<b>M156</b>	670404,540617	10034955,415600	188,26	1599,41
109	<b>M158</b>	653592,000000	10097604,000000	89,73	261,13
110	<b>M162</b>	606979,000000	9926212,000000	104,11	588,30
111	<b>M164</b>	593096,000000	9906286,000000	84,36	399,14
112	<b>M165</b>	561103,000000	9897664,000000	37,94	66,83
113	<b>M167</b>	581807,424222	9978239,128110	60,27	159,44
114	<b>M168</b>	605691,295193	10007053,406700	83,51	281,13
115	<b>M170</b>	524966,401314	9832176,856560	21,42	11,51
116	<b>M173</b>	566327,000000	9709135,000000	26,60	14,57
117	<b>M174</b>	516616,000000	9742709,000000	23,09	9,76

118	<b>M175</b>	570169,000000	9734342,000000	23,08	4,36
119	<b>M176</b>	653681,560042	9705723,768480	57,95	134,21
120	<b>M179</b>	604839,000000	9608205,000000	56,73	135,56
121	<b>M180</b>	653970,000000	9590667,000000	118,28	736,14
122	<b>M181</b>	620914,000000	9581439,000000	120,01	739,28
123	<b>M182</b>	589866,000000	9599406,000000	32,29	51,80
124	<b>M183</b>	618674,000000	9617556,000000	46,97	84,15
125	<b>M184</b>	638121,054900	9659542,011550	131,99	629,25
126	<b>M185</b>	640755,000000	9657269,000000	115,18	468,16
127	<b>M186</b>	946549,000000	9948078,000000	252,79	1979,95
128	<b>M188</b>	818211,000000	9957879,000000	124,72	413,93
129	<b>M189</b>	769119,000000	9623702,000000	157,01	678,29
130	<b>M190</b>	748491,000000	9577415,000000	170,89	761,25
131	<b>M195</b>	610858,000000	9639613,000000	52,89	121,99
132	<b>M196</b>	685425,000000	9631190,000000	16,38	3,76
133	<b>M198</b>	731629,000000	9958679,000000	174,35	1271,66
134	<b>M200</b>	953505,000000	9991198,000000	316,90	3257,66
135	<b>M201</b>	854443,000000	9962059,000000	207,88	1200,76
136	<b>M202</b>	842903,000000	9877810,000000	384,69	5813,76
137	<b>M203</b>	886728,000000	9994944,000000	508,69	9046,46
138	<b>M204</b>	780341,000000	9652471,000000	214,25	1331,18
139	<b>M205</b>	879887,000000	9988441,000000	393,00	5028,69
140	<b>M206</b>	789042,000000	9715642,000000	241,06	1989,15
141	<b>M207</b>	727343,000000	9546866,000000	161,44	660,28
142	<b>M208</b>	872747,000000	9977488,000000	264,77	2134,01
143	<b>M209</b>	723403,000000	9964456,000000	178,54	1600,95
144	<b>M210</b>	788991,000000	9999694,000000	35,54	22,19
145	<b>M211</b>	774325,000000	10012540,000000	64,27	107,76
146	<b>M212</b>	751803,000000	9994348,000000	219,77	2074,29
147	<b>M213</b>	759164,000000	10020958,000000	140,05	725,66
148	<b>M214</b>	786732,000000	10012049,000000	44,74	38,12
149	<b>M216</b>	734604,000000	10001476,000000	354,39	6084,71
150	<b>M217</b>	770340,000000	9715126,000000	249,65	2265,36
151	<b>M219</b>	787273,000000	9885055,000000	106,32	268,20
152	<b>M220</b>	792809,000000	9850258,000000	135,56	492,46
153	<b>M222</b>	764861,000000	9710619,000000	105,64	268,33
154	<b>M223</b>	546083,000000	9750932,000000	21,51	3,58
155	<b>M225</b>	724573,000000	10119204,000000	170,96	858,24
156	<b>M228</b>	621825,000000	9697268,000000	22,77	4,16
157	<b>M230</b>	668494,000000	9738196,000000	105,61	601,55
158	<b>M231</b>	690358,000000	9729232,000000	98,57	448,21

159	<b>M232</b>	602051,000000	9568410,000000	98,56	598,57
160	<b>M236</b>	649678,000000	9588708,000000	156,90	1902,83
161	<b>M238</b>	610012,000000	9598342,000000	61,58	313,97
162	<b>M239</b>	650387,000000	9588031,000000	75,78	262,28
163	<b>M240</b>	660106,000000	9551835,000000	51,88	87,37
164	<b>M241</b>	677415,000000	9524004,000000	104,28	498,48
165	<b>M243</b>	770509,000000	9824467,000000	46,94	39,61
166	<b>M244</b>	747656,000000	9856294,000000	58,17	61,40
167	<b>M245</b>	539049,000000	9789620,000000	29,89	15,18
168	<b>M246</b>	599831,000000	9752750,000000	70,83	218,31
169	<b>M258</b>	766205,000000	9848380,000000	49,72	40,62
170	<b>M260</b>	795704,000000	9974736,000000	92,67	183,72
171	<b>M264</b>	798057,000000	9982574,000000	70,95	162,78
172	<b>M269</b>	651609,000000	10108568,000000	72,00	182,58
173	<b>M270</b>	555387,000000	9913048,000000	26,19	47,66
174	<b>M279</b>	1014048,000000	9984846,000000	235,66	1606,46
175	<b>M285</b>	791033,000000	10007009,000000	12,16	0,70
176	<b>M286</b>	753854,000000	9870577,000000	37,77	23,32
177	<b>M287</b>	774319,000000	9957223,000000	121,37	400,34
178	<b>M288</b>	759411,000000	9859510,000000	31,58	19,72
179	<b>M289</b>	753851,000000	9866890,000000	66,65	90,69
180	<b>M290</b>	551672,000000	9866992,000000	37,04	114,70
181	<b>M291</b>	767665,000000	9948928,000000	77,98	127,96
182	<b>M292</b>	621811,000000	9636163,000000	54,62	130,96
183	<b>M293</b>	937603,000000	9965717,000000	298,11	2812,87
184	<b>M296</b>	586914,000000	9909358,000000	60,73	227,16
185	<b>M297</b>	579499,000000	9925940,000000	41,43	148,58
186	<b>M298</b>	568361,000000	9870673,000000	64,22	195,60
187	<b>M301</b>	818527,000000	10066957,000000	43,59	35,23
188	<b>M302</b>	829115,000000	10060814,000000	51,25	52,40
189	<b>M303</b>	844470,000000	10055563,000000	61,59	80,95
190	<b>M304</b>	843608,000000	10045478,000000	46,83	35,18
191	<b>M305</b>	864521,000000	10072242,000000	97,50	226,78
192	<b>M306</b>	843223,000000	10071429,000000	94,20	188,18
193	<b>M307</b>	851962,000000	10054983,000000	64,12	75,62
194	<b>M308</b>	849867,000000	10088284,000000	106,64	291,62
195	<b>M309</b>	805149,000000	10082811,000000	110,30	356,50
196	<b>M310</b>	835780,000000	10033023,000000	97,96	218,61
197	<b>M311</b>	810207,000000	10056962,000000	63,85	103,15
198	<b>M312</b>	812250,000000	10055211,000000	62,22	93,78
199	<b>M313</b>	812715,000000	10053274,000000	43,98	43,98

200	<b>M314</b>	832866,000000	10046796,000000	38,82	25,86
201	<b>M315</b>	840533,000000	10043138,000000	44,81	32,55
202	<b>M316</b>	824454,000000	10022352,000000	112,80	358,75
203	<b>M317</b>	803809,000000	10033383,000000	110,02	329,46
204	<b>M318</b>	776517,000000	10038908,000000	135,30	642,02
205	<b>M319</b>	806999,000000	10021765,000000	77,59	141,50
206	<b>M320</b>	813808,000000	10020352,000000	89,77	210,00
207	<b>M321</b>	815231,000000	10023026,000000	78,96	166,49
208	<b>M322</b>	790349,000000	10029784,000000	113,23	380,93
209	<b>M323</b>	791865,000000	10031659,000000	103,95	290,79
210	<b>M324</b>	843581,000000	10032625,000000	89,42	164,96
211	<b>M325</b>	763866,000000	10025599,000000	149,26	802,10
212	<b>M326</b>	769465,000000	10026891,000000	149,47	789,95
213	<b>M328</b>	803684,000000	10038178,000000	87,33	204,24
214	<b>M329</b>	789019,000000	10028124,000000	129,44	510,47
215	<b>M330</b>	788679,000000	10028124,000000	112,49	377,12
216	<b>M331</b>	788339,000000	10028339,000000	112,95	378,91
217	<b>M332</b>	788741,000000	10028585,000000	111,07	356,09
218	<b>M333</b>	788060,000000	10028831,000000	110,15	354,39
219	<b>M334</b>	788091,000000	10028954,000000	113,08	361,96
220	<b>M335</b>	774138,000000	9977322,000000	115,50	395,46
221	<b>M336</b>	748678,000000	10015826,000000	125,97	474,47
222	<b>M338</b>	786794,000000	10012265,000000	47,08	41,66
223	<b>M339</b>	758392,000000	10007008,000000	211,12	1647,10
224	<b>M340</b>	747719,000000	9994071,000000	240,54	2211,20
225	<b>M341</b>	795520,000000	9993332,000000	45,52	38,42
226	<b>M342</b>	778625,000000	9988876,000000	66,16	95,63
227	<b>M343</b>	799945,000000	9988321,000000	39,51	30,53
228	<b>M344</b>	815109,000000	9993300,000000	57,79	70,48
229	<b>M345</b>	786856,000000	9988753,000000	46,57	43,86
230	<b>M346</b>	798614,000000	9981959,000000	71,78	128,68
231	<b>M347</b>	794095,000000	9980146,000000	64,72	98,70
232	<b>M348</b>	694704,000000	9974138,000000	189,09	1525,36
233	<b>M349</b>	794120,000000	9952607,000000	124,66	451,39
234	<b>M350</b>	760951,000000	9946933,000000	98,77	235,91
235	<b>M351</b>	677479,000000	9971160,000000	251,24	3420,83
236	<b>M352</b>	785459,000000	9962752,000000	149,83	759,68
237	<b>M353</b>	787405,000000	9952333,000000	127,85	479,76
238	<b>M355</b>	729868,000000	9965377,000000	232,13	2306,08
239	<b>M356</b>	775902,000000	9981194,000000	113,06	389,20
240	<b>M357</b>	775531,000000	9981409,000000	115,73	408,94

241	<b>M358</b>	776646,000000	9999786,000000	77,21	167,10
242	<b>M359</b>	818204,000000	10005597,000000	71,51	127,76
243	<b>M360</b>	728506,000000	9961537,000000	179,43	1165,55
244	<b>M361</b>	769931,000000	9991520,000000	77,50	162,04
245	<b>M362</b>	726246,000000	9952566,000000	180,50	1394,42
246	<b>M363</b>	734555,000000	9922270,000000	78,91	167,74
247	<b>M364</b>	786223,000000	9937519,000000	127,77	469,55
248	<b>M365</b>	762387,000000	9908859,000000	42,25	32,56
249	<b>M369</b>	755408,000000	9881116,000000	47,12	42,09
250	<b>M371</b>	763816,000000	9919767,000000	71,85	118,19
251	<b>M372</b>	759444,000000	9901916,000000	39,19	29,96
252	<b>M373</b>	757596,000000	9916667,000000	60,14	75,62
253	<b>M375</b>	759818,000000	9907293,000000	69,81	105,36
254	<b>M376</b>	752109,000000	9855645,000000	56,70	54,42
255	<b>M377</b>	759001,000000	9850477,000000	61,75	67,77
256	<b>M378</b>	800753,000000	9844593,000000	248,99	2023,65
257	<b>M379</b>	812354,000000	9844303,000000	315,47	3333,91
258	<b>M380</b>	774894,000000	9846158,000000	71,42	109,13
259	<b>M381</b>	771622,000000	9852462,000000	47,54	39,98
260	<b>M382</b>	766050,000000	9847489,000000	53,62	57,53
261	<b>M390</b>	757532,000000	9835544,000000	82,67	136,95
262	<b>M393</b>	746715,000000	9819454,000000	61,94	86,66
263	<b>M394</b>	748633,000000	9813276,000000	64,13	96,44
264	<b>M395</b>	762207,000000	9788585,000000	42,32	36,32
265	<b>M396</b>	779743,000000	9791264,000000	84,77	152,50
266	<b>M398</b>	751270,000000	9772068,000000	42,56	31,25
267	<b>M400</b>	774780,000000	9826951,000000	47,47	37,16
268	<b>M401</b>	767005,000000	9751394,000000	35,68	20,15
269	<b>M406</b>	766626,000000	9810274,000000	65,80	92,65
270	<b>M407</b>	766767,000000	9799887,000000	108,92	279,74
271	<b>M408</b>	762867,000000	9821618,000000	39,39	26,82
272	<b>M410</b>	761068,000000	9714928,000000	111,97	312,42
273	<b>M411</b>	736073,000000	9718782,000000	52,19	45,87
274	<b>M413</b>	688966,000000	9728189,000000	198,52	2272,30
275	<b>M414</b>	750232,000000	9704254,000000	126,34	372,96
276	<b>M416</b>	759138,000000	9691639,000000	91,03	180,26
277	<b>M417</b>	702942,000000	9692813,000000	110,65	274,96
278	<b>M418</b>	720613,000000	9658683,000000	57,86	62,04
279	<b>M419</b>	705405,000000	9650846,000000	64,62	131,94
280	<b>M420</b>	714631,000000	9630922,000000	63,31	95,69
281	<b>M421</b>	704816,000000	9616502,000000	40,35	27,93

282	<b>M422</b>	693401,000000	9637781,000000	35,56	33,27
283	<b>M423</b>	701403,000000	9623789,000000	27,54	14,71
284	<b>M425</b>	668603,000000	9633183,000000	84,97	193,05
285	<b>M427</b>	714513,945165	9681842,502590	86,05	173,85
286	<b>M428</b>	682162,000000	9656045,000000	80,15	166,49
287	<b>M429</b>	707443,000000	9687092,000000	86,91	158,62
288	<b>M430</b>	699543,000000	9692204,000000	78,70	120,53
289	<b>M431</b>	760680,000000	9690161,000000	116,15	327,88
290	<b>M432</b>	692844,000000	9586943,000000	100,87	231,90
291	<b>M433</b>	669345,000000	9513147,000000	84,23	306,13
292	<b>M434</b>	634151,000000	9521504,000000	101,78	664,59
293	<b>M435</b>	607680,000000	9555383,000000	115,44	878,74
294	<b>M436</b>	830859,000000	9954166,000000	136,79	466,42
295	<b>M437</b>	588685,000000	9526416,000000	65,66	354,94
296	<b>M438</b>	670031,000000	9487897,000000	110,77	575,35
297	<b>M439</b>	631771,000000	9517484,000000	102,21	767,37
298	<b>M441</b>	652015,000000	10097696,000000	92,59	293,05
299	<b>M445</b>	534367,000000	9884772,000000	32,09	40,61
300	<b>M446</b>	590600,000000	9958057,000000	64,95	178,77
301	<b>M448</b>	541566,000000	9872213,000000	31,96	35,92
302	<b>M449</b>	545737,000000	9860576,000000	45,08	99,54
303	<b>M450</b>	524538,000000	9874794,000000	37,49	44,96
304	<b>M451</b>	551078,000000	9836104,000000	87,06	293,58
305	<b>M452</b>	606005,226790	9897389,186400	127,82	951,61
306	<b>M453</b>	534367,000000	9883114,000000	47,72	95,89
307	<b>M454</b>	578471,000000	9883076,000000	73,41	285,21
308	<b>M455</b>	544870,000000	9849031,000000	38,42	63,82
309	<b>M456</b>	582718,000000	9969173,000000	38,65	50,86
310	<b>M457</b>	529202,000000	9850506,000000	37,82	44,46
311	<b>M459</b>	545174,000000	9825113,000000	157,38	1356,99
312	<b>M460</b>	589906,000000	9881415,000000	73,53	223,00
313	<b>M461</b>	563389,000000	9890632,000000	71,81	209,03
314	<b>M462</b>	587839,000000	9896338,000000	84,51	396,77
315	<b>M464</b>	585116,000000	9885039,000000	100,09	577,39
316	<b>M472</b>	571230,000000	9758783,000000	71,20	224,34
317	<b>M473</b>	548706,000000	9743746,000000	42,91	96,84
318	<b>M477</b>	661647,000000	9719868,000000	114,66	824,35
319	<b>M478</b>	634566,000000	9668947,000000	73,20	143,15
320	<b>M479</b>	653166,000000	9589378,000000	122,27	812,86
321	<b>M480</b>	651367,000000	9583607,000000	118,58	731,54
322	<b>M481</b>	657150,000000	9632432,000000	60,77	132,51



323	<b>M482</b>	588825,000000	9607913,000000	35,48	72,09
324	<b>M485</b>	849879,000000	9870976,000000	406,63	5583,15
325	<b>M486</b>	853173,000000	9953599,000000	222,69	1439,61
326	<b>M487</b>	875019,000000	10069450,000000	138,04	455,01
327	<b>M488</b>	851779,000000	9902954,000000	342,47	3981,20
328	<b>M489</b>	850150,000000	9917808,000000	392,18	5298,67
329	<b>M490</b>	854029,000000	9957380,000000	220,98	1471,88
330	<b>M491</b>	856589,000000	9882439,000000	280,13	2510,00
331	<b>M494</b>	852200,000000	9837271,000000	419,69	6032,49
332	<b>M495</b>	842928,000000	9846509,000000	435,44	8380,44
333	<b>M497</b>	810946,000000	9709202,000000	153,19	635,47
334	<b>M498</b>	756042,000000	9631201,000000	120,47	339,51
335	<b>M499</b>	786869,000000	9643726,000000	142,20	529,01
336	<b>M500</b>	794353,000000	9671370,000000	161,18	648,41
337	<b>M501</b>	799643,000000	9700651,000000	184,10	959,93
338	<b>M502</b>	757970,000000	9564544,000000	139,59	473,32
339	<b>M503</b>	713833,000000	9561247,000000	183,90	960,29
340	<b>M504</b>	737404,000000	9559714,000000	158,68	654,10
341	<b>M505</b>	765089,000000	9582471,000000	162,53	683,41
342	<b>M506</b>	767478,000000	9598230,000000	243,29	1727,24
343	<b>M515</b>	650235,000000	9551207,000000	74,00	303,89
344	<b>M523</b>	730424,000000	9722385,000000	46,69	38,18
345	<b>M524</b>	750191,000000	10029131,000000	189,31	1386,59
346	<b>M525</b>	796601,000000	10025451,000000	76,78	143,96
347	<b>M526</b>	812911,000000	10015187,000000	102,97	306,17
348	<b>M527</b>	675935,000000	9733980,000000	131,98	1107,94
349	<b>M528</b>	750483,000000	9918207,000000	53,06	53,51
350	<b>M530</b>	774506,000000	9898065,000000	58,83	66,20
351	<b>M532</b>	787308,000000	9942467,000000	71,26	100,64
352	<b>M533</b>	802636,000000	9906927,000000	86,55	154,25
353	<b>M534</b>	753816,000000	9905545,000000	66,62	104,80
354	<b>M536</b>	685540,000000	9731050,000000	257,59	3197,31
355	<b>M537</b>	666352,000000	9728647,000000	118,80	836,43
356	<b>M539</b>	826215,000000	9682358,000000	70,23	106,65
357	<b>M541</b>	730854,000000	9667420,000000	64,46	95,65
358	<b>M542</b>	674428,000000	9573678,000000	95,87	381,78
359	<b>M543</b>	698995,000000	9548378,000000	101,00	348,59
360	<b>M544</b>	644789,000000	9522377,000000	98,21	507,64
361	<b>M545</b>	837451,000000	9962737,000000	106,45	278,98
362	<b>M547</b>	915458,000000	10008894,000000	267,22	2187,01
363	<b>M548</b>	755177,000000	9570053,000000	204,59	1417,68

364	<b>M550</b>	662072,000000	10072269,000000	162,07	794,27
365	<b>M553</b>	575714,000000	9706704,000000	34,25	27,70
366	<b>M554</b>	776305,000000	10095056,000000	503,05	9776,77
367	<b>M558</b>	782521,000000	9900794,000000	99,31	234,10
368	<b>M560</b>	560903,000000	9734346,000000	49,36	272,12
369	<b>M561</b>	798459,000000	9983035,000000	33,22	92,53
370	<b>M562</b>	802952,000000	10083855,000000	137,55	511,81
371	<b>M563</b>	910520,000000	9922591,000000	336,26	4032,34
372	<b>M564</b>	805665,000000	9758027,000000	316,98	5758,38
373	<b>M566</b>	801276,000000	9991057,000000	69,98	122,36
374	<b>M567</b>	583941,000000	9882522,000000	100,73	714,12
375	<b>M568</b>	585933,000000	9618571,000000	19,18	11,33
376	<b>M569</b>	625623,000000	9596819,000000	90,95	433,61
377	<b>M571</b>	812407,000000	10051368,000000	53,47	65,55
378	<b>M572</b>	786174,000000	9978365,000000	96,00	241,82
379	<b>M574</b>	794685,000000	9999971,000000	41,65	33,96
380	<b>M575</b>	679615,000000	9991862,000000	283,18	4840,95
381	<b>M577</b>	792315,000000	9929156,000000	140,33	478,81
382	<b>M579</b>	768217,000000	9884517,000000	44,81	33,21
383	<b>M580</b>	781699,000000	9877929,000000	64,55	79,39
384	<b>M583</b>	759373,757831	9709018,527190	94,20	201,14
385	<b>M584</b>	697962,000000	9569792,000000	83,76	154,08
386	<b>M585</b>	772432,000000	10104734,000000	757,96	23142,20
387	<b>M586</b>	747646,000000	10117622,000000	326,91	3375,78
388	<b>M587</b>	758422,000000	10015181,000000	171,73	1260,54
389	<b>M590</b>	611393,000000	10029625,000000	113,86	583,95
390	<b>M593</b>	713262,000000	10009402,000000	399,59	8563,54
391	<b>M599</b>	737378,000000	9844075,000000	40,57	31,40
392	<b>M603</b>	819834,000000	10051002,000000	24,58	8,73
393	<b>M604</b>	791093,000000	10027694,000000	149,50	735,47
394	<b>M605</b>	799233,000000	10005842,000000	64,51	89,42
395	<b>M606</b>	778036,000000	9975662,000000	101,88	293,50
396	<b>M609</b>	679491,000000	10014161,000000	211,48	2245,48
397	<b>M610</b>	563815,000000	9937835,000000	51,49	250,28
398	<b>M611</b>	565781,000000	9935881,000000	46,63	113,76
399	<b>M612</b>	741903,000000	10015333,000000	184,07	1373,93
400	<b>M613</b>	583361,000000	9914149,000000	53,60	168,87
401	<b>M615</b>	585053,000000	9878038,000000	92,84	395,59
402	<b>M619</b>	527929,000000	9796500,000000	32,05	31,92
403	<b>M621</b>	775463,000000	10044655,000000	156,55	894,30
404	<b>M622</b>	787310,000000	9946155,000000	94,30	221,47

405	<b>M626</b>	661420,000000	10078934,000000	131,54	570,33
406	<b>M627</b>	674105,000000	10051233,000000	221,97	1939,87
407	<b>M628</b>	826622,000000	10017187,000000	63,38	93,01
408	<b>M629</b>	785735,000000	9896581,000000	105,48	238,46
409	<b>M630</b>	787269,000000	9879769,000000	100,73	227,38
410	<b>M635</b>	700086,000000	9979359,000000	239,58	3308,58
411	<b>M661</b>	525698,000000	9752778,000000	10,62	4,63
412	<b>M665</b>	675739,000000	9677587,000000	77,22	269,83
413	<b>M666</b>	702746,000000	9649253,000000	117,09	467,68
414	<b>M667</b>	697703,000000	9701054,000000	63,82	89,80
415	<b>M668</b>	755413,000000	9667770,000000	113,34	294,97
416	<b>M670</b>	751902,000000	9630566,000000	127,00	423,02
417	<b>M671</b>	765708,000000	9717378,000000	80,42	133,90
418	<b>M672</b>	759204,000000	9709707,000000	96,22	204,29
419	<b>M673</b>	790711,000000	9700885,000000	269,78	2405,68
420	<b>M674</b>	775281,000000	9655188,000000	257,14	2017,18
421	<b>M675</b>	790826,000000	9759898,000000	211,24	1323,20
422	<b>M676</b>	798716,000000	9700560,000000	208,84	1317,32
423	<b>M677</b>	821081,000000	9765714,000000	231,29	1524,99
424	<b>M678</b>	719955,000000	9553552,000000	122,13	331,06
425	<b>M679</b>	758839,000000	9555292,000000	195,99	1022,25
426	<b>M680</b>	730089,000000	9597677,000000	186,11	961,05
427	<b>M681</b>	725450,000000	9607519,000000	187,75	963,76
428	<b>M682</b>	733378,000000	9591678,000000	232,43	1545,18
429	<b>M684</b>	712409,000000	9496949,000000	146,07	542,83
430	<b>M685</b>	706765,000000	9461665,000000	105,81	304,24
431	<b>M687</b>	723505,000000	9724393,000000	61,64	99,74
432	<b>M688</b>	795926,000000	9873614,000000	288,91	2850,72
433	<b>M691</b>	759286,000000	9757890,000000	37,21	21,72
434	<b>M692</b>	776123,000000	10130367,000000	676,46	17498,53
435	<b>M693</b>	797267,000000	10069036,000000	164,47	961,36
436	<b>M694</b>	820950,000000	10100221,000000	263,43	2686,42
437	<b>M695</b>	818498,000000	9662917,000000	316,88	3052,13
438	<b>M696</b>	812981,000000	9785588,000000	207,64	1397,52
439	<b>M697</b>	891221,440314	10022486,293900	450,53	7194,06
440	<b>M698</b>	886040,000000	10050753,000000	205,53	1346,33
441	<b>M699</b>	861839,000000	9947753,000000	134,81	446,62
442	<b>M703</b>	908055,000000	9997786,000000	539,19	10596,72
443	<b>M710</b>	906142,000000	9896259,000000	269,76	2285,64
444	<b>M712</b>	840755,000000	9686009,000000	300,03	2776,01
445	<b>M713</b>	870849,000000	9903676,000000	336,43	3906,37

446	<b>M715</b>	737172,000000	10101023,000000	266,17	2640,88
447	<b>M716</b>	731633,000000	10019910,000000	314,06	3601,12
448	<b>M717</b>	742763,000000	9953545,000000	177,72	1337,43
449	<b>M718</b>	731621,000000	9933270,000000	151,69	907,58
450	<b>M719</b>	746474,000000	9948013,000000	280,20	3038,19
451	<b>M720</b>	798387,000000	9859473,000000	344,39	5018,17
452	<b>M721</b>	752296,000000	10024460,000000	119,57	577,28
453	<b>M724</b>	792160,000000	9882746,000000	135,80	457,89
454	<b>M725</b>	789616,000000	9874665,000000	113,25	304,34
455	<b>M730</b>	763265,000000	9932981,000000	111,66	328,18
456	<b>M731</b>	782185,000000	9908232,000000	54,75	58,10
457	<b>M732</b>	753399,000000	9882285,000000	52,08	53,38
458	<b>M734</b>	840242,000000	10010148,000000	128,46	492,42
459	<b>M735</b>	646917,000000	9599769,000000	130,29	858,97
460	<b>M736</b>	630233,000000	9583208,000000	91,81	430,13
461	<b>M738</b>	666388,000000	9618167,000000	68,25	177,05
462	<b>M739</b>	641801,000000	9582301,000000	91,53	387,15
463	<b>M740</b>	651950,000000	9601420,000000	212,25	1943,45
464	<b>M741</b>	608483,000000	9582713,000000	90,10	362,90
465	<b>M742</b>	603638,000000	9581183,000000	91,01	396,98
466	<b>M743</b>	639564,000000	9592777,000000	99,70	522,72
467	<b>M744</b>	648311,000000	9603207,000000	172,20	1617,48
468	<b>M745</b>	599888,000000	9594453,000000	68,59	230,53
469	<b>M746</b>	590571,000000	9594615,000000	45,63	101,31
470	<b>M748</b>	662631,000000	9585002,000000	197,70	2189,53
471	<b>M750</b>	675405,000000	9492831,000000	335,17	5438,18
472	<b>M751</b>	642708,000000	9569831,000000	126,65	740,92
473	<b>M752</b>	558027,000000	9548274,000000	73,47	201,61
474	<b>M753</b>	615095,000000	9565569,000000	153,19	1458,45
475	<b>M754</b>	615095,000000	9565569,000000	110,83	693,24
476	<b>M755</b>	576225,000000	9555630,000000	95,55	430,41
477	<b>M756</b>	663618,000000	9532908,000000	109,43	531,18
478	<b>M757</b>	596891,000000	9559295,000000	182,55	2026,89
479	<b>M758</b>	659656,000000	9577144,000000	121,96	825,53
480	<b>M759</b>	688478,000000	9549169,000000	80,84	251,52
481	<b>M760</b>	637574,000000	9560932,000000	120,49	1094,20
482	<b>M761</b>	669900,000000	9513115,000000	106,97	431,66
483	<b>M762</b>	612460,000000	9555285,000000	99,95	644,95
484	<b>M763</b>	673596,000000	9541796,000000	69,65	223,70
485	<b>M764</b>	694711,000000	9522583,000000	63,90	128,90
486	<b>M765</b>	598318,000000	9539272,000000	62,43	276,50

487	<b>M766</b>	631833,000000	9517638,000000	211,82	2365,52
488	<b>M767</b>	692783,000000	9587496,000000	85,34	179,33
489	<b>M768</b>	634151,000000	9521504,000000	84,56	405,62
490	<b>M769</b>	642778,000000	9517773,000000	131,08	863,92
491	<b>M770</b>	625525,000000	9569241,000000	123,79	940,88
492	<b>M773</b>	643822,000000	9593140,000000	206,96	2463,58
493	<b>M774</b>	596128,000000	9758279,000000	71,11	287,86
494	<b>M775</b>	585005,000000	9754601,000000	75,78	352,07
495	<b>M777</b>	573654,000000	9725129,000000	40,70	111,86
496	<b>M778</b>	560914,000000	9763823,000000	69,52	398,50
497	<b>M779</b>	560702,000000	9776719,000000	53,22	102,55
498	<b>M780</b>	536822,000000	9776725,000000	25,84	23,18
499	<b>M781</b>	544426,000000	9791462,000000	69,61	108,09
500	<b>M782</b>	534971,000000	9789621,000000	37,80	46,48
501	<b>M783</b>	548872,000000	9784091,000000	48,43	93,48
502	<b>M784</b>	580921,000000	9741706,000000	40,21	83,46
503	<b>M785</b>	553502,000000	9769352,000000	79,45	172,58
504	<b>M812</b>	571989,000000	9943443,000000	46,58	179,88
505	<b>M813</b>	574061,000000	9945899,000000	68,11	176,36
506	<b>M816</b>	507165,000000	9752780,000000	19,23	26,42
507	<b>M836</b>	794508,000000	9879394,000000	109,48	309,49
508	<b>M839</b>	773174,000000	9894992,000000	73,89	388,30
509	<b>M840</b>	769787,000000	9920594,000000	74,49	118,40
510	<b>M851</b>	697445,000000	9693497,000000	84,14	147,87
511	<b>M852</b>	699080,000000	9692389,000000	79,68	137,69
512	<b>M853</b>	668976,000000	9561586,000000	86,66	417,76
513	<b>M855</b>	675467,000000	10044814,000000	255,84	3056,83
514	<b>M856</b>	590631,000000	9962786,000000	55,07	163,71
515	<b>M858</b>	668411,000000	9747165,000000	119,50	1104,98
516	<b>M859</b>	673975,000000	9749002,000000	135,90	1451,30
517	<b>M865</b>	685096,000000	9747146,000000	175,08	4678,99
518	<b>M866</b>	672123,000000	9750847,000000	167,00	2825,96
519	<b>M874</b>	788648,000000	10026495,000000	105,33	288,84
520	<b>M875</b>	788029,000000	10028431,000000	113,78	374,87
521	<b>M900</b>	781665,000000	9842893,000000	200,10	1077,64
522	<b>M909</b>	788244,000000	10035131,000000	89,39	209,34
523	<b>M910</b>	795610,000000	10029724,000000	91,52	226,49
524	<b>M911</b>	800345,000000	10027511,000000	107,70	312,00

**Anexo C. Tabla tipo de suelos Ecuador.**

**Tabla 7. Tipo de suelos Ecuador.**

<b>Soil unit symbol</b>	<b>ms (sand) Top Soil %</b>	<b>msilt (silt) Top Soil %</b>	<b>mc (clay) Top Soil %</b>	<b>Organic Carbon %</b>
<b>I</b>	58,9	16,2	24,9	0,97
<b>ZG</b>	47,8	8,5	43,8	0,38
<b>GE</b>	42,8	20,4	36,8	1,3
<b>TH</b>	41	41,3	17,7	7,03
<b>GD</b>	18,9	21,8	59,3	2,92
<b>FX</b>	52,6	7,8	39,5	1,23
<b>I</b>	58,9	16,2	24,9	0,97
<b>FH</b>	12,8	21,6	65,5	3,49
<b>ZG</b>	47,8	8,5	43,8	0,38
<b>GE</b>	42,8	20,4	36,8	1,3
<b>ZG</b>	47,8	8,5	43,8	0,38
<b>BH</b>	55,2	21	23,8	3,86
<b>GD</b>	18,9	21,8	59,3	2,92
<b>ZG</b>	47,8	8,5	43,8	0,38
<b>TH</b>	41	41,3	17,7	7,03
<b>TH</b>	41	41,3	17,7	7,03
<b>NE</b>	68,4	10,5	21,2	0,6
<b>ND</b>	38,9	17,6	43,6	1,57
<b>I</b>	58,9	16,2	24,9	0,97
<b>ZG</b>	47,8	8,5	43,8	0,38
<b>ZG</b>	47,8	8,5	43,8	0,38
<b>TH</b>	41	41,3	17,7	7,03
<b>BK</b>	81,6	6,8	11,7	0,44
<b>BH</b>	55,2	21	23,8	3,86
<b>TM</b>	31,2	39,6	29,2	3,95
<b>I</b>	58,9	16,2	24,9	0,97
<b>LC</b>	64,3	12,2	23,5	0,63
<b>TV</b>	64,5	26,2	9,3	1,4
<b>I</b>	58,9	16,2	24,9	0,97
<b>ZG</b>	47,8	8,5	43,8	0,38
<b>FX</b>	52,6	7,8	39,5	1,23
<b>TV</b>	64,5	26,2	9,3	1,4
<b>I</b>	58,9	16,2	24,9	0,97
<b>GD</b>	18,9	21,8	59,3	2,92
<b>NE</b>	68,4	10,5	21,2	0,6
<b>LC</b>	64,3	12,2	23,5	0,63
<b>GD</b>	18,9	21,8	59,3	2,92
<b>ZG</b>	47,8	8,5	43,8	0,38
<b>FH</b>	12,8	21,6	65,5	3,49

<b>LC</b>	64,3	12,2	23,5	0,63
<b>TV</b>	64,5	26,2	9,3	1,4
<b>TM</b>	31,2	39,6	29,2	3,95
<b>FX</b>	52,6	7,8	39,5	1,23
<b>TV</b>	64,5	26,2	9,3	1,4
<b>GD</b>	18,9	21,8	59,3	2,92
<b>TV</b>	64,5	26,2	9,3	1,4
<b>FX</b>	52,6	7,8	39,5	1,23
<b>LC</b>	64,3	12,2	23,5	0,63
<b>TV</b>	64,5	26,2	9,3	1,4
<b>LC</b>	64,3	12,2	23,5	0,63
<b>TV</b>	64,5	26,2	9,3	1,4
<b>FX</b>	52,6	7,8	39,5	1,23
<b>GD</b>	18,9	21,8	59,3	2,92
<b>TV</b>	64,5	26,2	9,3	1,4
<b>LC</b>	64,3	12,2	23,5	0,63
<b>TV</b>	64,5	26,2	9,3	1,4
<b>FO</b>	28,7	18,4	52,9	1,92
<b>VP</b>	25,1	12,2	62,7	0,68
<b>BK</b>	81,6	6,8	11,7	0,44
<b>TV</b>	64,5	26,2	9,3	1,4
<b>VP</b>	25,1	12,2	62,7	0,68
<b>LC</b>	64,3	12,2	23,5	0,63
<b>TV</b>	64,5	26,2	9,3	1,4
<b>I</b>	58,9	16,2	24,9	0,97
<b>GD</b>	18,9	21,8	59,3	2,92
<b>BK</b>	81,6	6,8	11,7	0,44
<b>I</b>	58,9	16,2	24,9	0,97
<b>LC</b>	64,3	12,2	23,5	0,63
<b>KL</b>	36,7	40,3	23,1	2
<b>FX</b>	52,6	7,8	39,5	1,23
<b>W</b>	61,4	21,9	16,7	1,25
<b>TM</b>	31,2	39,6	29,2	3,95
<b>JE</b>	70,8	12,8	16,5	1,15
<b>LC</b>	64,3	12,2	23,5	0,63
<b>I</b>	58,9	16,2	24,9	0,97
<b>LC</b>	64,3	12,2	23,5	0,63
<b>VP</b>	25,1	12,2	62,7	0,68
<b>BH</b>	55,2	21	23,8	3,86
<b>DG</b>	46,4	45,2	8,4	0,65
<b>GH</b>	40,5	30,3	29,2	6,56
<b>I</b>	58,9	16,2	24,9	0,97
<b>TM</b>	31,2	39,6	29,2	3,95
<b>TV</b>	64,5	26,2	9,3	1,4
<b>I</b>	58,9	16,2	24,9	0,97

<b>GH</b>	40,5	30,3	29,2	6,56
<b>ND</b>	38,9	17,6	43,6	1,57
<b>FH</b>	12,8	21,6	65,5	3,49
<b>KL</b>	36,7	40,3	23,1	2
<b>TM</b>	31,2	39,6	29,2	3,95
<b>GD</b>	18,9	21,8	59,3	2,92
<b>FX</b>	52,6	7,8	39,5	1,23
<b>GH</b>	40,5	30,3	29,2	6,56
<b>VP</b>	25,1	12,2	62,7	0,68
<b>AO</b>	53,6	15,8	30,6	2,25
<b>I</b>	58,9	16,2	24,9	0,97
<b>ZG</b>	47,8	8,5	43,8	0,38
<b>TH</b>	41	41,3	17,7	7,03
<b>ZG</b>	47,8	8,5	43,8	0,38
<b>KL</b>	36,7	40,3	23,1	2
<b>FX</b>	52,6	7,8	39,5	1,23
<b>ZG</b>	47,8	8,5	43,8	0,38
<b>I</b>	58,9	16,2	24,9	0,97
<b>ZG</b>	47,8	8,5	43,8	0,38
<b>TV</b>	64,5	26,2	9,3	1,4
<b>I</b>	58,9	16,2	24,9	0,97
<b>HL</b>	39,1	26,5	34,6	1,46
<b>GD</b>	18,9	21,8	59,3	2,92
<b>AO</b>	53,6	15,8	30,6	2,25
<b>I</b>	58,9	16,2	24,9	0,97
<b>I</b>	58,9	16,2	24,9	0,97
<b>ZG</b>	47,8	8,5	43,8	0,38
<b>XH</b>	54,8	20,6	24,9	0,53
<b>RE</b>	68,3	15,1	16,6	0,5
<b>JE</b>	70,8	12,8	16,5	1,15
<b>RE</b>	68,3	15,1	16,6	0,5
<b>RE</b>	68,3	15,1	16,6	0,5
<b>JE</b>	70,8	12,8	16,5	1,15
<b>RE</b>	68,3	15,1	16,6	0,5
<b>VP</b>	25,1	12,2	62,7	0,68
<b>XH</b>	54,8	20,6	24,9	0,53
<b>VP</b>	25,1	12,2	62,7	0,68
<b>I</b>	58,9	16,2	24,9	0,97
<b>I</b>	58,9	16,2	24,9	0,97
<b>VP</b>	25,1	12,2	62,7	0,68
<b>HL</b>	39,1	26,5	34,6	1,46
<b>I</b>	58,9	16,2	24,9	0,97
<b>I</b>	58,9	16,2	24,9	0,97
<b>I</b>	58,9	16,2	24,9	0,97
<b>HL</b>	39,1	26,5	34,6	1,46



<b>KL</b>	36,7	40,3	23,1	2
<b>KL</b>	36,7	40,3	23,1	2
<b>KL</b>	36,7	40,3	23,1	2
<b>KL</b>	36,7	40,3	23,1	2

#### Anexo D. Factor K Ecuador

**Tabla 8. Factor K Ecuador**

<b>fcsand</b>	<b>f ci-si</b>	<b>f org</b>	<b>f hisand</b>	<b>K</b>
0,2000	0,7563	0,9272	0,9942	0,1221
0,2000	0,5798	0,9931	0,9994	0,1308
0,2000	0,7340	0,8517	0,9998	0,1122
0,2006	0,8985	0,7500	0,9999	0,0988
0,2068	0,6743	0,7506	1,0000	0,0989
0,2000	0,5823	0,8678	0,9984	0,1143
0,2000	0,7563	0,9272	0,9942	0,1221
0,2230	0,6582	0,7501	1,0000	0,0988
0,2000	0,5798	0,9931	0,9994	0,1308
0,2000	0,7340	0,8517	0,9998	0,1122
0,2000	0,5798	0,9931	0,9994	0,1308
0,2000	0,7967	0,7500	0,9973	0,0988
0,2068	0,6743	0,7506	1,0000	0,0989
0,2000	0,5798	0,9931	0,9994	0,1308
0,2006	0,8985	0,7500	0,9999	0,0988
0,2006	0,8985	0,7500	0,9999	0,0988
0,2000	0,7179	0,9803	0,9627	0,1291
0,2001	0,6881	0,8010	0,9999	0,1055
0,2000	0,7563	0,9272	0,9942	0,1221
0,2000	0,5798	0,9931	0,9994	0,1308
0,2000	0,5798	0,9931	0,9994	0,1308
0,2006	0,8985	0,7500	0,9999	0,0988
0,2000	0,7406	0,9906	0,7185	0,1305
0,2000	0,7967	0,7500	0,9973	0,0988
0,2024	0,8473	0,7500	1,0000	0,0988
0,2000	0,7563	0,9272	0,9942	0,1221
0,2000	0,7246	0,9777	0,9830	0,1288
0,2000	0,9129	0,8304	0,9824	0,1094
0,2000	0,7563	0,9272	0,9942	0,1221
0,2000	0,5798	0,9931	0,9994	0,1308
0,2000	0,5823	0,8678	0,9984	0,1143
0,2000	0,9129	0,8304	0,9824	0,1094
0,2000	0,7563	0,9272	0,9942	0,1221

0,2068	0,6743	0,7506	1,0000	0,0989
0,2000	0,7179	0,9803	0,9627	0,1291
0,2000	0,7246	0,9777	0,9830	0,1288
0,2068	0,6743	0,7506	1,0000	0,0989
0,2000	0,5798	0,9931	0,9994	0,1308
0,2230	0,6582	0,7501	1,0000	0,0988
0,2000	0,7246	0,9777	0,9830	0,1288
0,2000	0,9129	0,8304	0,9824	0,1094
0,2024	0,8473	0,7500	1,0000	0,0988
0,2000	0,5823	0,8678	0,9984	0,1143
0,2000	0,9129	0,8304	0,9824	0,1094
0,2068	0,6743	0,7506	1,0000	0,0989
0,2000	0,9129	0,8304	0,9824	0,1094
0,2000	0,5823	0,8678	0,9984	0,1143
0,2000	0,7246	0,9777	0,9830	0,1288
0,2000	0,9129	0,8304	0,9824	0,1094
0,2000	0,7246	0,9777	0,9830	0,1288
0,2000	0,9129	0,8304	0,9824	0,1094
0,2000	0,5823	0,8678	0,9984	0,1143
0,2068	0,6743	0,7506	1,0000	0,0989
0,2000	0,9129	0,8304	0,9824	0,1094
0,2000	0,7246	0,9777	0,9830	0,1288
0,2000	0,9129	0,8304	0,9824	0,1094
0,2007	0,6661	0,7673	1,0000	0,1011
0,2011	0,5802	0,9727	1,0000	0,1281
0,2000	0,7406	0,9906	0,7185	0,1305
0,2000	0,9129	0,8304	0,9824	0,1094
0,2011	0,5802	0,9727	1,0000	0,1281
0,2000	0,7246	0,9777	0,9830	0,1288
0,2000	0,9129	0,8304	0,9824	0,1094
0,2000	0,7563	0,9272	0,9942	0,1221
0,2068	0,6743	0,7506	1,0000	0,0989
0,2000	0,7406	0,9906	0,7185	0,1305
0,2000	0,7563	0,9272	0,9942	0,1221
0,2000	0,7246	0,9777	0,9830	0,1288
0,2011	0,8729	0,7634	0,9999	0,1005
0,2000	0,5823	0,8678	0,9984	0,1143
0,2000	0,8436	0,8631	0,9905	0,1137
0,2024	0,8473	0,7500	1,0000	0,0988
0,2000	0,7800	0,8867	0,9422	0,1168
0,2000	0,7246	0,9777	0,9830	0,1288
0,2000	0,7563	0,9272	0,9942	0,1221
0,2000	0,7246	0,9777	0,9830	0,1288
0,2011	0,5802	0,9727	1,0000	0,1281
0,2000	0,7967	0,7500	0,9973	0,0988

0,2004	0,9501	0,9758	0,9996	0,1285
0,2002	0,8167	0,7500	0,9999	0,0988
0,2000	0,7563	0,9272	0,9942	0,1221
0,2024	0,8473	0,7500	1,0000	0,0988
0,2000	0,9129	0,8304	0,9824	0,1094
0,2000	0,7563	0,9272	0,9942	0,1221
0,2002	0,8167	0,7500	0,9999	0,0988
0,2001	0,6881	0,8010	0,9999	0,1055
0,2230	0,6582	0,7501	1,0000	0,0988
0,2011	0,8729	0,7634	0,9999	0,1005
0,2024	0,8473	0,7500	1,0000	0,0988
0,2068	0,6743	0,7506	1,0000	0,0989
0,2000	0,5823	0,8678	0,9984	0,1143
0,2002	0,8167	0,7500	0,9999	0,0988
0,2011	0,5802	0,9727	1,0000	0,1281
0,2000	0,7238	0,7559	0,9981	0,0995
0,2000	0,7563	0,9272	0,9942	0,1221
0,2000	0,5798	0,9931	0,9994	0,1308
0,2006	0,8985	0,7500	0,9999	0,0988
0,2000	0,5798	0,9931	0,9994	0,1308
0,2011	0,8729	0,7634	0,9999	0,1005
0,2000	0,5823	0,8678	0,9984	0,1143
0,2000	0,5798	0,9931	0,9994	0,1308
0,2000	0,7563	0,9272	0,9942	0,1221
0,2000	0,5798	0,9931	0,9994	0,1308
0,2000	0,9129	0,8304	0,9824	0,1094
0,2000	0,7563	0,9272	0,9942	0,1221
0,2002	0,7783	0,8189	0,9999	0,1079
0,2068	0,6743	0,7506	1,0000	0,0989
0,2000	0,7238	0,7559	0,9981	0,0995
0,2000	0,7563	0,9272	0,9942	0,1221
0,2000	0,7563	0,9272	0,9942	0,1221
0,2000	0,5798	0,9931	0,9994	0,1308
0,2000	0,7884	0,9856	0,9975	0,1298
0,2000	0,8005	0,9874	0,9634	0,1300
0,2000	0,7800	0,8867	0,9422	0,1168
0,2000	0,8005	0,9874	0,9634	0,1300
0,2000	0,8005	0,9874	0,9634	0,1300
0,2000	0,7800	0,8867	0,9422	0,1168
0,2000	0,8005	0,9874	0,9634	0,1300
0,2011	0,5802	0,9727	1,0000	0,1281
0,2000	0,7884	0,9856	0,9975	0,1298
0,2011	0,5802	0,9727	1,0000	0,1281
0,2000	0,7563	0,9272	0,9942	0,1221
0,2000	0,7563	0,9272	0,9942	0,1221

0,2011	0,5802	0,9727	1,0000	0,1281
0,2002	0,7783	0,8189	0,9999	0,1079
0,2000	0,7563	0,9272	0,9942	0,1221
0,2000	0,7563	0,9272	0,9942	0,1221
0,2000	0,7563	0,9272	0,9942	0,1221
0,2002	0,7783	0,8189	0,9999	0,1079
0,2011	0,8729	0,7634	0,9999	0,1005
0,2011	0,8729	0,7634	0,9999	0,1005
0,2011	0,8729	0,7634	0,9999	0,1005
0,2011	0,8729	0,7634	0,9999	0,1005