



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E
INDUSTRIAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y MANEJO
DE RIESGOS NATURALES**

**GENERACIÓN DE UN MODELO DE EROSIÓN DE LA VÍA
COLLAS, MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE SENSORES Y UN
SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES**

AUTOR: JONATHAN DAVID RECALDE MONGE

DIRECTOR: ING. MAURICIO VALLADARES BORJA

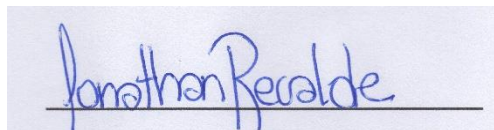
Quito, Mayo 2017

© Universidad Tecnológica Equinoccial. 2017
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo **JONATHAN DAVID RECALDE MONGE**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Tecnológica Equinoccial puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

A rectangular box containing a handwritten signature in blue ink that reads "Jonathan Recalde". The signature is written over a horizontal line.

Jonathan David Recalde Monge

C.I. 1722015706

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo que lleva por título “**Generación de un modelo de erosión de la Vía Collas, mediante la utilización de sensores y un sistema de información geográfico**” que, para aspirar al título de **Ingeniero Ambiental y Manejo de Riesgos Naturales**, fue desarrollado por **Jonathan Recalde**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería; y cumple con las condiciones requeridas por el reglamento de Trabajos de Titulación artículos 18 y 25.



Ing. Mauricio Valladares Borja
DIRECTOR DEL TRABAJO
C.I. 1708523855

FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

PROYECTO DE TITULACIÓN

| DATOS DE CONTACTO | |
|-----------------------------|--|
| CÉDULA DE IDENTIDAD: | 1722015706 |
| APELLIDO Y NOMBRES: | RECALDE MONGE JONATHAN DAVID |
| DIRECCIÓN: | Calderón barrio Terán calle Antis y de los Tulipanes N°2-197 |
| EMAIL: | jdavid14_416@hotmail.com |
| TELÉFONO FIJO: | 022-824-518 |
| TELÉFONO MOVIL: | 098-763-7165 |

| DATOS DE LA OBRA | |
|---|--|
| TITULO: | GENERACIÓN DE UN MODELO DE EROSIÓN DE LA VÍA COLLAS, MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE SENSORES Y UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO |
| AUTOR O AUTORES: | RECALDE MONGE JONATHAN DAVID |
| FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN: | 24 de mayo del 2017 |
| DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN: | Ingeniero Mauricio Valladares Borja |

| | |
|-------------------------------------|---|
| PROGRAMA | PREGRADO <input checked="" type="checkbox"/> POSGRADO <input type="checkbox"/> |
| TITULO POR EL QUE OPTA: | INGENIERO AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES |
| RESUMEN: Mínimo 250 palabras | <p>La vía Collas o acceso norte al Aeropuerto Mariscal Sucre, fue entregado por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas el 29 de julio del 2014, siendo una de las interconexiones rápidas para los habitantes que se encuentran en el norte de Quito. Se ha visto un proceso importante de erosión en los últimos años, mismo que ha sido generado por la construcción de esta importante arteria vial, por lo que el presente trabajo tiene como objetivo generar un modelo de erosión de la Vía Collas, mediante la utilización de sensores y un sistema de información geográfico. Para lograr cumplir con este objetivo, se caracterizó físicamente el trazado de la Vía Collas mediante observación del área de estudio e información seleccionada con ayuda del sistema ArcGIS 10.3. Luego se identificaron las principales amenazas que causan erosión en base a revisión bibliográfica y criterios técnicos; y finalmente se desarrolló un modelo de simulación en el programa Model Builder de ArcGIS de cada proceso erosivo seleccionado. En dicho modelo se analizaron las variables que comprenden las ecuaciones de pérdida de suelo: 1. Ecuación universal de pérdida de suelo (RUSLE), y 2.</p> |

| | |
|--------------------------------|--|
| | <p>Ecuación para estimar el promedio anual potencial de erosión eólica del suelo. Los principales procesos de erosión a los que se encuentra expuesta la vía son la erosión eólica y la erosión hídrica. El proceso de erosión hídrica ha sido minimizado debido a la impermeabilización de los taludes a lo largo de la vía; mientras que la erosión eólica es medianamente significativa en una parte de la vía. En la parte final de trabajo se detalla las recomendaciones para evitar problemas derivados por la erosión y mantenimiento.</p> |
| <p>PALABRAS CLAVES:</p> | <p>Vía Collas, procesos erosivos, simulación, modelo, erosión eólica, erosión hídrica.</p> |
| <p>ABSTRACT:</p> | <p>Collas track or northern access to Mariscal Sucre Airport was handed over by the Ministry of Transport and Public Works on July 29th of 2014, being one of the fast interconnections used by the inhabitants in the northern part of Quito. An important process of erosion has been reported during the last years, which has been produced by the construction of this track. The present work aims to present an erosion model for Collas track, through sensors monitoring and a geographic information system. In order to achieve this target, Collas route was physically marked through the observation of the area of study and selection of information applying ArcGIS 10.3 system. Further on, the</p> |

| | |
|-----------------|---|
| | <p>main threats that caused erosion were identified conducting an academic review and technical criteria. Finally, a simulation model was developed for each erosive process selected previously using ArcGIS Model Builder Program. This model analyzed the equations for soil erosion: 1. Universal loss of soil equation (RUSLE), and 2. Equation to estimate the annual average of potential soil and wind erosion. The main erosion processes to which Collas track is exposed to is wind erosion and water erosion. Water erosion process has been minimized due to the waterproofing of the slopes along the track; while wind erosion is moderately significant in one part of the track. Recommendations to avoid problems arising from erosion and recommendations for maintenance has been described in the last section of the paper.</p> |
| KEYWORDS | Collas track, erosive processes, model, simulation, wind erosion, water erosion. |

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.

f: Jonathan Recalde

RECALDE MONGE JONATHAN DAVID

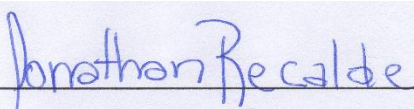
1722015706

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **RECALDE MONGE JONATHAN DAVID**, CI 1722015706 autor del proyecto titulado: **GENERACIÓN DE UN MODELO DE EROSIÓN DE LA VÍA COLLAS, MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE SENSORES Y UN SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO**. Previo a la obtención del título de **INGENIERO AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES** en la Universidad Tecnológica Equinoccial.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad Tecnológica Equinoccial a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Quito, 24 de mayo del 2017

f: 

RECALDE MONGE JONATHAN DAVID

1722015706

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación va dedicado en primer lugar a Dios, a mis padres y hermanos, que han sido mí guía a lo largo del camino no solo en el ámbito profesional sino también personal brindándome su apoyo incondicional y palabra de aliento en el momento oportuno. A mí sobrino quién me da la energía para luchar cada día, con el único fin de cumplir mis sueños.

Es por ellos, que me esfuerzo cada día para ser una mejor persona.

Les amo.

Jonathan David Recalde Monge

AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios, por haberme bendecido tanto hasta el momento, pero sé que cosas mejores están por venir.

A mi madre que siempre ha estado poniendo en peligro su vida, únicamente para el bienestar de la mía, agradezco a Dios por darme una madre como usted, no voy a encontrar una mejor consejera. A mi padre que siempre me ha demostrado que con esfuerzo y dedicación se consiguen las cosas, y en especial por darme el mejor regalo que un padre puede darle a su hijo en este mundo tan competitivo, la educación.

A mis hermanos que siempre han estado apoyándome para conseguir mis objetivos, son los mejores muchachos sigan adelante.

A mi mejor amigo Marcelo Godoy que ha sido un hermano más a lo largo de mi vida, gracias totales.

A la ingeniera Eliana Pulles por toda ayuda para culminar el trabajo de investigación, mi total gratitud.

A mis amigos y amigas que me han acompañado a lo largo de mi formación personal como profesional.

A mi director de tesis el Ingeniero Mauricio Valladares, que ha sido mi guía a lo largo del presente trabajo mi infinita gratitud.

A la institución por abrirme las puertas y formarme a lo largo de estos 5 años.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|--|------------|
| RESUMEN | vi |
| ABSTRACT | vii |
| 1. INTRODUCCIÓN | 2 |
| 1.1 PROBLEMA: | 2 |
| 1.2 JUSTIFICACIÓN: | 2 |
| 1.3 OBJETIVOS: | 3 |
| 2. MARCO TEÓRICO | 5 |
| 2.1 PROCESOS EROSIVOS | 5 |
| 2.2 EROSIÓN HÍDRICA | 5 |
| 2.3 EROSIÓN EÓLICA..... | 5 |
| 2.4 MODELO DE EROSIÓN HÍDRICA..... | 6 |
| 2.5 MODELO DE EROSIÓN EÓLICA | 8 |
| 2.6 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) | 9 |
| 2.6.1 COMPONENTES DE UN SIG | 10 |
| 2.6.2 MODELOS DE REPRESENTACIÓN DE DATOS | 11 |
| 2.6.1.1 Raster | 11 |
| 2.6.1.1 Vector | 11 |
| 2.7 SENSORES REMOTOS | 12 |
| 2.7.1 TIPOS DE SENSORES: | 13 |
| 2.7.1.1 Activos | 13 |
| 2.7.1.2 Pasivos | 13 |
| 2.7.2 RESOLUCION DE LOS SENSORES: | 14 |
| 2.8 MODELOS DE SIMULACIÓN | 15 |
| 2.9 MODEL BUILDER | 15 |

| | |
|--|-----------|
| 2.9.1 GEOPROCESAMIENTO | 16 |
| 2.9.2 ELEMENTOS DEL MODEL BUILDER | 16 |
| 3. METODOLOGÍA..... | 19 |
| 3.1 INFORMACIÓN E INSUMOS | 20 |
| 3.3.1 DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO | 20 |
| 3.3.1 RECOPIACIÓN EN GRADIENTE Y CAMPO | 20 |
| 3.3.2 CARACTERIZACIÓN DE LA VÍA COLLAS | 20 |
| 3.3.4 DETERMINACIÓN DE VARIABLES QUE PARTICIPAN EN LA EROSIÓN | 21 |
| 3.3.5 DEFINICIÓN DE ECUACIONES A UTILIZAR | 21 |
| 3.3.5.1 Ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) | 21 |
| 3.3.5.2 Promedio anual potencial de erosión de suelos | 22 |
| 3.3.6 GENERACIÓN DEL MODELO | 23 |
| 3.3.7 VALIDACIÓN DEL MODELO | 24 |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 26 |
| 4.1 DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO:..... | 26 |
| 4.2 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN | 26 |
| 4.3 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO: | 27 |
| 4.4 MODELO DE EROSIÓN HÍDRICA..... | 29 |
| 4.4.1 Factor R (Factor de erosividad de las lluvias): | 30 |
| 4.4.2 Factor K (Erodabilidad del suelo) | 32 |
| 4.4.3 Factor LS (Factor topográfico)..... | 34 |
| 4.4.3.1 Factor L: | 34 |
| 4.4.3.2 Factor S: | 35 |
| 4.4.4 Factor C (Factor de cobertura vegetal) | 39 |
| 4.4.5 Factor P (Factor de prácticas de conservación del suelo) | 41 |

| | |
|---|-----------|
| 4.4.6 Factor A (Pérdida de suelo promedio anual) | 43 |
| 4.5. MODELO DE EROSIÓN EÓLICA | 47 |
| 4.5.1 Factor I (Índice de Erodabilidad del Suelo) | 48 |
| 4.5.2 Factor K (Factor de rugosidad) | 50 |
| 4.5.3 Factor C (Factor climático local) | 52 |
| 4.5.4 Factor L (Longitud del terreno en dirección prevaleciente de los vientos) | 54 |
| 4.5.5 Factor V (Equivalente de cobertura de vegetación) | 56 |
| 4.5.6 Factor E (Erosión eólica potencial) | 58 |
| 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 63 |
| 5.1 CONCLUSIONES | 63 |
| 5.2 RECOMENDACIONES | 64 |
| 6. BIBLIOGRAFÍA | 66 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Descripción de las herramientas utilizadas en ArcGIS 10.3..... | 24 |
| Tabla 2. Capas base para la generación de mapas..... | 26 |
| Tabla 3. Relación de las variables para determinar el factor K..... | 32 |
| Tabla 4. Relación de las variables para determinar el factor C..... | 39 |
| Tabla 5. Relación de las variables para determinar el factor P..... | 41 |
| Tabla 6. Relación de las variables para determinar el factor A..... | 43 |
| Tabla 7. Relación de las variables para determinar el factor I..... | 48 |
| Tabla 8. Relación de las variables para determinar el factor K..... | 50 |
| Tabla 9. Relación de las variables para determinar el factor K..... | 52 |
| Tabla 10. Relación de las variables para determinar el factor V..... | 56 |
| Tabla 11. Relación de las variables para determinar el factor E..... | 58 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Componentes de un SIG..... | 10 |
| Figura 2. Representación raster..... | 11 |
| Figura 3. Representación Vectorial..... | 12 |
| Figura 4. Diagrama de flujo de las etapas a realizar en la metodología..... | 19 |
| Figura 5. Mapa de ubicación general de la Vía Collas..... | 28 |
| Figura 6. Flujograma del proceso de erosión hídrica..... | 29 |
| Figura 7. Pluviometría utilizada para determinar el factor R..... | 30 |
| Figura 8. Factor de erosividad de las lluvias..... | 31 |
| Figura 9. Factor de erodabilidad del suelo..... | 33 |
| Figura 10. Mapa de factor L (longitud de la pendiente)..... | 36 |
| Figura 11. Mapa de factor S (Factor de ángulo de pendiente)..... | 37 |
| Figura 12. Factor topográfico..... | 38 |
| Figura 13. Geomembranas de la Vía Collas..... | 39 |
| Figura 14. Factor de cobertura vegetal..... | 40 |
| Figura 15. Factor de prácticas de conservación del suelo..... | 42 |
| Figura 16. Estabilización de taludes de la Vía Collas..... | 43 |
| Figura 17. Pérdida de suelo promedio anual..... | 44 |
| Figura 18. Modelo generado en Model Builder de ArcGis para la obtención del Modelo de Erosión Hídrica..... | 46 |
| Figura 19. Flujograma del proceso de erosión hídrica..... | 47 |
| Figura 20. Índice de Erodabilidad del Suelo..... | 49 |
| Figura 21. Mapa de factor K (Factor de rugosidad)..... | 51 |
| Figura 22. Factor de Rugosidad..... | 51 |
| Figura 23. Factor climático local..... | 53 |
| Figura 24. Longitud del terreno en dirección prevaleciente de los vientos...55 | |
| Figura 25. Geomembranas ubicadas en el kilómetro 5 de la Vía Collas..... | 56 |
| Figura 26. Equivalente de cobertura de vegetación..... | 57 |
| Figura 27. Erosión potencial eólica..... | 59 |
| Figura 28. Modelo generado en Model Builder de ArcGis para la obtención el Modelo de Erosión Eólica..... | 61 |

RESUMEN

La vía Collas o acceso norte al Aeropuerto Mariscal Sucre, fue entregado por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas el 29 de julio del 2014, siendo una de las interconexiones rápidas para los habitantes que se encuentran en el norte de Quito. Se ha visto un proceso importante de erosión en los últimos años, mismo que ha sido generado por la construcción de esta importante arteria vial, por lo que el presente trabajo tiene como objetivo generar un modelo de erosión de la Vía Collas, mediante la utilización de sensores y un sistema de información geográfico. Para lograr cumplir con este objetivo, se caracterizó físicamente el trazado de la Vía Collas mediante observación del área de estudio e información seleccionada con ayuda del sistema ArcGIS 10.3. Luego se identificaron las principales amenazas que causan erosión en base a revisión bibliográfica y criterios técnicos; y finalmente se desarrolló un modelo de simulación en el programa Model Builder de ArcGIS de cada proceso erosivo seleccionado. En dicho modelo se analizaron las variables que comprenden las ecuaciones de pérdida de suelo: 1. Ecuación universal de pérdida de suelo (RUSLE), y 2. Ecuación para estimar el promedio anual potencial de erosión eólica del suelo. Los principales procesos de erosión a los que se encuentra expuesta la vía son la erosión eólica y la erosión hídrica. El proceso de erosión hídrica ha sido minimizado debido a la impermeabilización de los taludes a lo largo de la vía; mientras que la erosión eólica es medianamente significativa en una parte de la vía. En la parte final de trabajo se detalla las recomendaciones para evitar problemas derivados por la erosión y mantenimiento.

ABSTRACT

Collas track or northern access to Mariscal Sucre Airport was handed over by the Ministry of Transport and Public Works on July 29th of 2014, being one of the fast interconnections used by the inhabitants in the northern part of Quito. An important process of erosion has been reported during the last years, which has been produced by the construction of this track. The present work aims to present an erosion model for Collas track, through sensors monitoring and a geographic information system. In order to achieve this target, Collas route was physically marked through the observation of the area of study and selection of information applying ArcGIS 10.3 system. Further on, the main threats that caused erosion were identified conducting an academic review and technical criteria. Finally, a simulation model was developed for each erosive process selected previously using ArcGIS Model Builder Program. This model analyzed the equations for soil erosion: 1. Universal loss of soil equation (RUSLE), and 2. Equation to estimate the annual average of potential soil and wind erosion. The main erosion processes to which Collas track is exposed to is wind erosion and water erosion. Water erosion process has been minimized due to the waterproofing of the slopes along the track; while wind erosion is moderately significant in one part of the track. Recommendations to avoid problems arising from erosion and recommendations for maintenance has been described in the last section of the paper.

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

1.1 PROBLEMA:

La importancia de la Vía Collas radica en que ésta constituye la principal arteria de comunicación entre la ciudad de Quito, el Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre ubicado en Tababela y el norte del país. Por este trayecto circulan alrededor de 5000 vehículos, transportando aproximadamente 20000 personas por día; razón por la que es indispensable analizar los principales procesos erosivos a los que se encuentra expuesta dicha vía, y que podrían afectar la infraestructura existente.

1.2 JUSTIFICACIÓN:

El presente proyecto plantea establecer un modelo de erosión a lo largo de todo el trazado de la vía Collas y analizar los posibles problemas que podrían presentarse debido a que esta vía es la principal arteria de interconexión entre la ciudad de Quito, el Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre, el norte del país y Colombia.

Para levantar los modelos de erosión se prevé utilizar variables que determinen el grado de erosión de la vía tales como: la pendiente, los suelos, y su uso potencial; el clima, la cobertura vegetal, topografía, etcétera. Esto permitirá minimizar la contaminación ambiental contribuyendo al objetivo 7 del Plan Nacional del Buen Vivir que señala textualmente: “Garantizar los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial y global”. (SENPLADES, 2013)

1.3 OBJETIVOS:

Generar un modelo de erosión en la Vía Collas, mediante la utilización de sensores y un sistema de información geográfico.

Objetivos específicos:

- Caracterizar físicamente el trazado de la Vía Collas, que une a Quito con el Aeropuerto Mariscal Sucre (Tababela).
- Identificar las principales amenazas que causan erosión en la zona de interés.
- Desarrollar un modelo de simulación que analice las principales variables que interactúan en el proceso de erosión de la zona de interés.

2. MARCO TEÓRICO

2. MARCO TEÓRICO

2.1 PROCESOS EROSIVOS

La erosión es la pérdida de las características del suelo la misma que se produce por diversos factores como: procesos climáticos; procesos eólicos, procesos hídricos, etcétera. Para (Suárez, 2002), se entiende por erosión:

... al desprendimiento, transporte y depósito de partículas, o masas pequeñas de suelo o roca, por la acción de las fuerzas generadas por el movimiento del agua. Los procesos de erosión son frecuentes en suelos residuales poco cementados o en suelos aluviales, básicamente en aquellos compuestos por limos y arenas finas donde la cobertura vegetal ha sido removida.

2.2 EROSIÓN HÍDRICA

La erosión hídrica es uno de los principales procesos de degradación del suelo, generado por la acción que ejercen los cuerpos de agua sobre el suelo, dependiendo de la zona y sus características se puede acelerar el proceso de erosión, este proceso puede amentar también por la acción antrópica. (Cisneros J., Cholaky C., Cantero A, González J., 2012)

2.3 EROSIÓN EÓLICA

La erosión eólica es producida por acción del viento, y su impacto es mayor cuando existe menor cobertura vegetal. Existen diversos motivos por los

cuales la erosión eólica puede tener mayor impacto en la superficie de una zona determinada. Entre ellos se puede mencionar el viento, la vegetación, y el clima.

Este proceso erosivo puede aumentar su desarrollo por la acción antrópica produciendo impacto ambiental. Se puede entender la erosión eólica como la remoción del material superficial de una zona determinada por acción del viento. La remoción de esta parte superficial se puede ver influenciada por procesos de remoción de tierras y rellenos de quebradas ubicadas en la zona del aeropuerto. Según (Buschiazzo & Aimar, 2000):

Los suelos de las regiones áridas y semiáridas, y principalmente aquellos bajo uso agrícola tienen más susceptibilidad a erosionarse eólicamente dadas sus características son generalmente son poco desarrollados, de textura gruesa y poco estructurados. Las condiciones climáticas de estas regiones están principalmente caracterizadas por precipitaciones concentradas en períodos cortos de tiempo, vientos de gran intensidad coincidentes con períodos secos, altas temperaturas y altas tasas de evapotranspiración; la escasa cobertura vegetal y el uso de una tecnología no adecuada, aumentan la peligrosidad a la erosión.

2.4 MODELO DE EROSIÓN HÍDRICA

Ya que dentro de la erosión hídrica intervienen diferentes factores que interactúan en el proceso erosivo. Se han desarrollado modelos específicos que emplean variables como: cobertura vegetal, prácticas de conservación del suelo, topografía. Los cuales permiten determinar la cantidad de pérdida de suelo por erosión hídrica.

Uno de los modelos más utilizados para estimar tasas de erosión hídrica es el de Wischmejer y Smith (1978) conocido como la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE/RUSLE), la cual permite predecir la pérdida de suelo

por unidad de superficie en un año expresado en $\frac{tn}{ha*año}$, mencionada a continuación:

$$A = R * K * LS * C * P \quad [1]$$

Dónde:

A: Pérdida de suelo promedio expresado en $\frac{Tn}{ha*año}$. Es la pérdida de suelo por unidad de superficie dentro de un año.

R: Factor de erosividad¹ de las lluvias expresado en $\frac{J*mm\ de\ lluvia}{ha}$, señalando que R es el índice de erosión pluvial mismo que recoge la influencia que la erosión tiene sobre la energía cinética de los aguaceros, disgregando las partículas del suelo, compactando su superficie y su intensidad máxima, determinando la correntía superficial cuando la misma se supera la capacidad de infiltración.

K: Factor de erodabilidad² del suelo que mide la vulnerabilidad del suelo a la erosión expresado en $\frac{Tn}{J}$, misma que está ligada a una característica propia del suelo y a su granulometría, porosidad, condiciones hidrológicas. Además, el mismo cuantifica la erosionabilidad de cada suelo, expresada a través de la tasa de erosión del suelo por unidad de índice de erosión pluvial.

Los demás factores son relaciones estándares y son adimensionales:

LS: Factor topográfico, se obtiene de la multiplicación de los factores L y S. El factor L o longitud de pendiente, expresa la relación de pérdida de suelo de una pendiente con una longitud dada y la pérdida de suelo de una

¹ Erosividad, capacidad de la lluvia para provocar erosión, relacionando la precipitación con la cantidad de pérdida de suelo. (Colloti, 1999)

² Erodabilidad, susceptibilidad del suelo a erosionarse. Entre mayor sea el porcentaje de erodabilidad, mayor es el porcentaje de erosión. (Echeverría & Silenzi, 2006)

pendiente con una longitud estándar de 22,13 m, con idénticos valores de erodabilidad y gradiente de pendiente. Mientras que el factor S o factor de ángulo de pendiente, expresa la relación de pérdida de suelo de una gradiente de pendiente específica y la pérdida de suelos de una pendiente con gradiente estándar de 9%, bajo otras condiciones similares, definen el efecto de la inclinación de la pendiente sobre la pérdida de suelo por unidad de área. (Adimensional)

C: Factor de cobertura vegetal, usado para reflejar el efecto de la cultivación y prácticas de manejo en las tasas de erosión. El mismo que mide como el potencial de pérdida de suelo que será distribuido en el tiempo durante la construcción de actividades, rotación de cultivos y otros esquemas de manejo. El factor C está basado en el concepto de desviación standard, siendo el standard un área bajo condiciones de barbecho con cultivo limpio. (Adimensional)

P: Factor de prácticas de conservación del suelo, es la proporción de pérdida de suelo con una práctica de apoyo como cultivo en contorno, barreras vivas, o cultivo en terrazas, con respecto a aquella labranza en el sentido de la pendiente. (Adimensional)

2.5 MODELO DE EROSIÓN EÓLICA

Debido a que la erosión eólica se ve afectada por diversos factores, se han establecido modelos específicos que emplean variables como: susceptibilidad de erosión, rugosidad, factor climático local, longitud del terreno en dirección prevaleciente de los vientos, y cobertura vegetal

Uno de los modelos más conocidos y aplicados es el de Woodruff y Siddoway (1965) el mismo que usa la siguiente relación general para estimar el promedio anual potencial de erosión de suelos:

$$E = f(I', K', C', L', V) \quad [2]$$

Dónde:

E: Erosión potencial expresado en $\frac{tn}{ha \cdot año}$. Es la pérdida de suelo por unidad de superficie dentro de un año.

I': Factor de susceptibilidad de erosión del suelo, que es la máxima erosión que puede sufrir un suelo en base a sus características, se mide en $\frac{tn}{ha}$. y está determinado por la cantidad de agregados menores a 0.84 mm de diámetro de la capa superficial del suelo.

K': Factor de rugosidad, expresado en $\frac{m}{kg}$. Expresa la retención de las partículas del suelo a erosionarse provocado por el viento, dependiendo de las características del suelo.

C': Factor climático local, determina cuan agresivo (erosivo) es el clima en el proceso erosivo, dependiendo del clima y velocidad del viento que presenta la zona. Es un factor adimensional.

L': Longitud del terreno en dirección prevaleciente de los vientos, hace referencia a la longitud recorrida por el viento dentro del área de estudio determinada se expresa en metros (m). Sin embargo, los vientos provienen de diferentes direcciones por ello prácticamente se descarta la dirección de erosión eólica y solo se toma en cuenta la longitud del área de estudio para determinar dicho factor.

V: Equivalente de cobertura de vegetación expresada en $\frac{kg}{m^2}$, representa la protección arbustiva a partir del tipo de vegetación.

2.6 SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

Se pueden definir a los sistemas de información geográfica como una herramienta computacional para capturar, almacenar, revisar, integrar, manipular, analizar y mostrar datos relacionados con las posiciones en la superficie de la Tierra. Generalmente a un SIG se utiliza para el manejo de mapas. Estos se pueden representar en diversas capas que están

georreferenciadas, las cuáles contienen datos sobre una característica específica. Cada característica se relaciona con una posición en la imagen geográfica de un mapa. Los SIG se utilizan para manipular, analizar datos espaciales y propiedades de los datos procedentes de las distintas fuentes. También se utilizan para producir reportes en formato de mapas, bases de datos y textos que faciliten los procesos de toma de decisiones. El uso de un SIG nos ayuda a obtener datos geográficos georreferenciados, base de datos y textos con el fin de resolver problemas específicos. (Kapetsky, 2009)

2.6.1 COMPONENTES DE UN SIG

Los componentes de un SIG son cinco, cada uno de ellos cumplen una función para que exista una interrelación, como se presenta en la Figura 1:

1. **Datos:** Materia prima de un SIG, contienen información geográfica y alfanumérica.
2. **Procedimiento:** Metodologías y prácticas operativas para usar los datos.
3. **Software:** Aplicación informática necesaria para procesar los datos y metodologías.
4. **Hardware:** Equipo que ejecute el software.
5. **Recurso Humano:** Personas encargadas de utilizar el software.

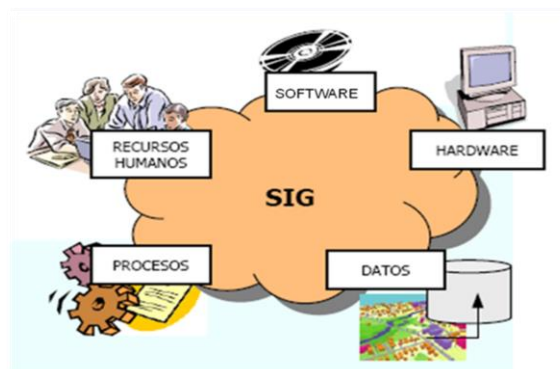


Figura 1. Componentes de un SIG

(Ingeniería y soluciones geográficas, 2012)

2.6.2 MODELOS DE REPRESENTACIÓN DE DATOS

Existen dos principales modelos de representación de información geográfica en un SIG, el modelo RASTER y el modelo VECTOR, ambos son capas de información espacial.

2.6.1.1 Raster

En este modelo cada superficie a ser representada se divide en filas y columnas formando celdas regulares, cada una de las celdas recibe un valor representativo de la superficie, no existe sobreposición de una celda sobre otra de tal manera que toda la imagen es cubierta en orden, de tal manera que existe una relación coherente entre cada celda contigua.

En la figura 2 se muestran la representación raster.

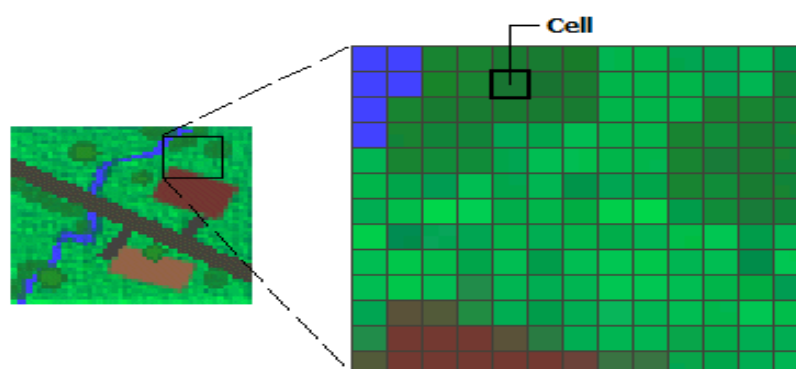


Figura 2. Representación raster
(ArcGIS PRO, 2017)

2.6.1.1 Vector

El modelo vectorial permite la recolección de información de elementos geométricos como: puntos, líneas y polígonos. Estos pueden representarse

en un conjunto de puntos que se pueden conectar, es decir, las líneas son un conjunto de puntos interconectados, y los polígonos son un conjunto de líneas cerradas. Se puede definir entonces que un espacio geográfico puede ser un punto, o una sucesión de puntos que tienen establecidas sus propiedades espaciales.

En la figura 3 se muestran la representación vectorial con sus respectivos atributos.

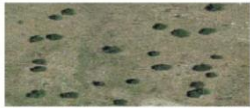
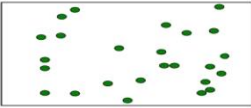




| <i>Primitiva</i> | <i>Entidad espacial</i> | <i>Representación</i> | <i>Atributos</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|--|---|---|------------------------------|--------------------|-----------------|------|------|----|-----|-----|------|---|----|------|---|------|------|-----|--|--|
| Puntos |  |  | <table border="1"> <thead> <tr> <th>ID</th> <th>Altura</th> <th>Diámetro Normal</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>17.5</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>22</td> <td>45.6</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>15</td> <td>27.2</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>19.7</td> <td>36.1</td> </tr> <tr> <td>...</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | ID | Altura | Diámetro Normal | 1 | 17.5 | 35 | 2 | 22 | 45.6 | 3 | 15 | 27.2 | 4 | 19.7 | 36.1 | ... | | |
| ID | Altura | Diámetro Normal | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 17.5 | 35 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 22 | 45.6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 15 | 27.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 19.7 | 36.1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ... | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Líneas |  |  | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ancho máx(m)</th> <th>Calado máx(m)</th> <th>Longitud(km)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>15</td> <td>4.3</td> <td>35</td> </tr> <tr> <td>6.3</td> <td>3.9</td> <td>5.2</td> </tr> </tbody> </table> | Ancho máx(m) | Calado máx(m) | Longitud(km) | 15 | 4.3 | 35 | 6.3 | 3.9 | 5.2 | | | | | | | | | |
| Ancho máx(m) | Calado máx(m) | Longitud(km) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 15 | 4.3 | 35 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6.3 | 3.9 | 5.2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Polígonos |  |  | <table border="1"> <thead> <tr> <th>Superficie(km)²</th> <th>Profundidad máx(m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>31494</td> <td>1637</td> </tr> </tbody> </table> | Superficie(km) ² | Profundidad máx(m) | 31494 | 1637 | | | | | | | | | | | | | | |
| Superficie(km) ² | Profundidad máx(m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 31494 | 1637 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 3. Representación Vectorial
(ArcGIS, 2016)

2.7 sensores remotos

Los Sensores Remotos son instrumentos que nos permiten recolectar y analizar datos de un área u organismo en estudio, por ejemplo, pueden obtener datos relacionados con topografía, cobertura vegetal, clima, uso de suelo, precipitación entre otros.

Estos datos pueden ser gestionados en un SIG para el estudio de una zona determinada. Permiten obtener una imagen de la superficie terrestre de forma remota, es decir captada por sensores situados en satélites o aviones, y posteriormente tratarla e interpretarla con el objetivo de obtener información de la superficie terrestre y de sus cambios. (Pérez D. , 2007)

2.7.1 TIPOS DE SENSORES:

Existen dos principales tipos de sensores **ACTIVOS** y **PASIVOS**. Ambos tienen la capacidad de transformar la información electromagnética en información palpable con el fin de realizar diferentes análisis.

2.7.1.1 Activos

Poseen fuentes internas que generan artificialmente la radiación es decir generan su propia energía. Se distinguen dos tipos de sensores activos: radar y el lidar.

Radar: Trabaja en una banda espectro comprendida entre 1 mm y 1 m. Basado en el principio en el cual las microondas artificiales enviadas en una dirección determinada chocan con los objetos y son dispersadas. Dicha energía dispersada se recibe, para ser amplificada, a su vez analizada para determinar la localización y las propiedades de los objetos. Además, puede medir el tiempo que tarda un pulso de radiación en ir y volver, se puede conocer la distancia recorrida y generar así modelos digitales de elevación. El radar es insustituible en zonas con cobertura nubosa persistente, debido a su capacidad para atravesar las capas nubosas. (Pinilla, 2017)

Lidar: Es un captador activo, similar al radar, pero con tecnología láser. Se utiliza para topografía de precisión.

2.7.1.2 Pasivos

Los sensores pasivos registran la luz reflejada o emitida por la superficie terrestre. Tienen sensibilidad multiespectral, esto significa que recogen

simultáneamente datos de diferentes bandas espectrales. Miden sobre diferentes áreas el espectro electromagnético, de esta manera aportan una amplia información sobre distintos aspectos del medio ambiente. Por ejemplo, la radiación ultravioleta se utiliza para monitorizar los niveles de ozono en las altas capas de la atmósfera. Las bandas visibles e infrarrojas permiten determinar cómo se encuentra la cubierta vegetal (cultivos, bosques) y los captadores sensibles a la radiación infrarroja térmica nos permiten determinar la temperatura del suelo, de las nubes, y de la superficie de los mares. (Pinilla, 2017)

2.7.2 RESOLUCION DE LOS SENSORES:

Existen cuatro tipos de resoluciones básicas dentro de las imágenes aéreas, están son: espacial, radiométrica espectral y temporal.

- **Espacial:** Según (Hernández, 2006) relaciona una imagen con el tamaño de menor objeto reconocible en la misma. Depende de la altura con la que fue tomada la fotografía respecto a la tierra y el ángulo de visión para determinar la relación en metros y pixeles.
Las imágenes digitales tienen una resolución geométrica directamente proporcional con el tamaño del pixel, misma que en la actualidad ha mejorado los trabajos cartográficos a mayor escala.
- **Radiométrica:** Según (Hernández, 2006) es la relación entre los valores de energía detectados relacionados con los diferentes tonos dentro de una imagen.
- **Espectral:** Va ligado al tipo de banda utilizado en el espectro electromagnético es decir si se utiliza películas pancromáticas muestran un espectro en una sola banda mostrada en escala de grises, mientras que si se utiliza una película a color mostrará un espectro en

tres bandas roja, verde y azul; o si utiliza una película con sensor termal puede obtener un espectro no visible infrarrojo.

- **Temporal:** Es la más usada para teledetección refiriéndose al tiempo que tarda un sensor en tomar dos imágenes en un mismo lugar.

2.8 MODELOS DE SIMULACIÓN

Un modelo intenta representar la realidad de una forma más simplificada, en temas ambientales se aplica modelos con el fin de representar los diversos procesos que ocurren en la naturaleza para su estudio y comprensión debido que estudiar a la naturaleza es bastante complejo, la misma presenta un comportamiento estocástico³ lo que dificulta su comprensión, por lo tanto, es casi imposible expresar un comportamiento general de la naturaleza en una expresión matemática.

Por ejemplo, los modelos pueden ser implementados para la simulación de un proceso erosivo con el fin de prevenir y mitigar su impacto. “Un modelo es un objeto, concepto o conjunto de relaciones que se utiliza para representar y estudiar de forma simple y comprensible una porción de la realidad empírica”. (Pérez Á. M., 2008)

2.9 MODEL BUILDER

Según (Matellanes R.; Quesada L. & Muñoz D., 2017), el ModelBuilder es una herramienta que se encuentra disponible en ArcGIS misma que está destinada a la edición y administración de geoprocursos. Este permite generar modelos de trabajo autónomos y secuenciales ya que analiza los datos según

³ Estocástico significa “Teoría estadística de los procesos cuya evolución en el tiempo es aleatoria, tal como la secuencia de las tiradas de un dado” (Real Academia Española, 2017).

las exigencias del usuario optimizando el tiempo y siguiendo secuencias de análisis lógicas y progresivas.

Estos modelos permiten diagramas de flujo formados por tareas específicas interconectadas de forma progresiva. Ya que estas están encadenadas secuencialmente generando líneas de trabajo de manera lineal, paralela o convergente dentro de una actividad con el fin de dar un resultado final. (Matellanes R.; Quesada L. & Muñoz D., 2017)

2.9.1 GEOPROCESAMIENTO

Según (Matellanes R.; Quesada L. & Muñoz D., 2017) el Geoprocesamiento es la construcción metódica de una secuencia de operaciones en los datos geográficos que permiten crear nueva información. Con el fin de ayudar a realizar el modelados y análisis de manera automatizada dentro de las tareas SIG.

ArcToolBox es el componente de ArcGIS que concede la aplicación de las herramientas del SIG para ejecutar el análisis geográfico, relacionando información entre capas con el fin de obtener capas secundarias de los análisis iniciales. Además realiza las funciones clave de cruce entre capas para obtener información básica a nivel vectorial (mediante resultados gráficos) y a nivel alfanumérico (mediante resultados contenidos en las tablas de atributos). (Matellanes R.; Quesada L. & Muñoz D., 2017)

2.9.2 ELEMENTOS DEL MODEL BUILDER

Según (Fernández, 2012) el programa ModelBuilder tiene tres elementos básicos. Estos son: herramientas de geoprocesamiento, variables y conectores.

- **Herramientas de Geoprocesamiento:**

Son bloques de construcción básicos de flujos de trabajo en un modelo, mismas que realizan varias acciones en datos geográficos. Permite agregar herramientas que lo convierten en elementos del modelo.

- **Variables:**

Contienen un valor o referencia de datos recolectados en el disco. Existen dos tipos de variables:

- ✓ **Datos:** Son elementos de modelo que contiene información descriptiva sobre los datos recolectados en el disco.
- ✓ **Valores:** Son cadenas de caracteres, números, referencias espaciales, unidades lineales o extensiones.

- **Conectores:**

Son aquellos que enlazan datos y valores a herramientas. Las flechas de conexión indican la dirección del procesamiento. Existen cuatro tipos de conectores:

- ✓ **Datos:** Enlazan datos y variables de valor a herramientas.
- ✓ **Entorno:** Enlazan a variables que contienen una configuración del entorno una herramienta.
- ✓ **Condición previa:** Enlazan variables a una herramienta.
- ✓ **Comentarios:** Enlaza la salida de una herramienta de nuevo a la misma herramienta como entrada.

3. METODOLOGÍA

3. METODOLOGÍA

La metodología se realizó en 4 diferentes etapas las mismas que permitieron cumplir con los objetivos específicos propuestos. Estas etapas son descritas en la Figura 4:

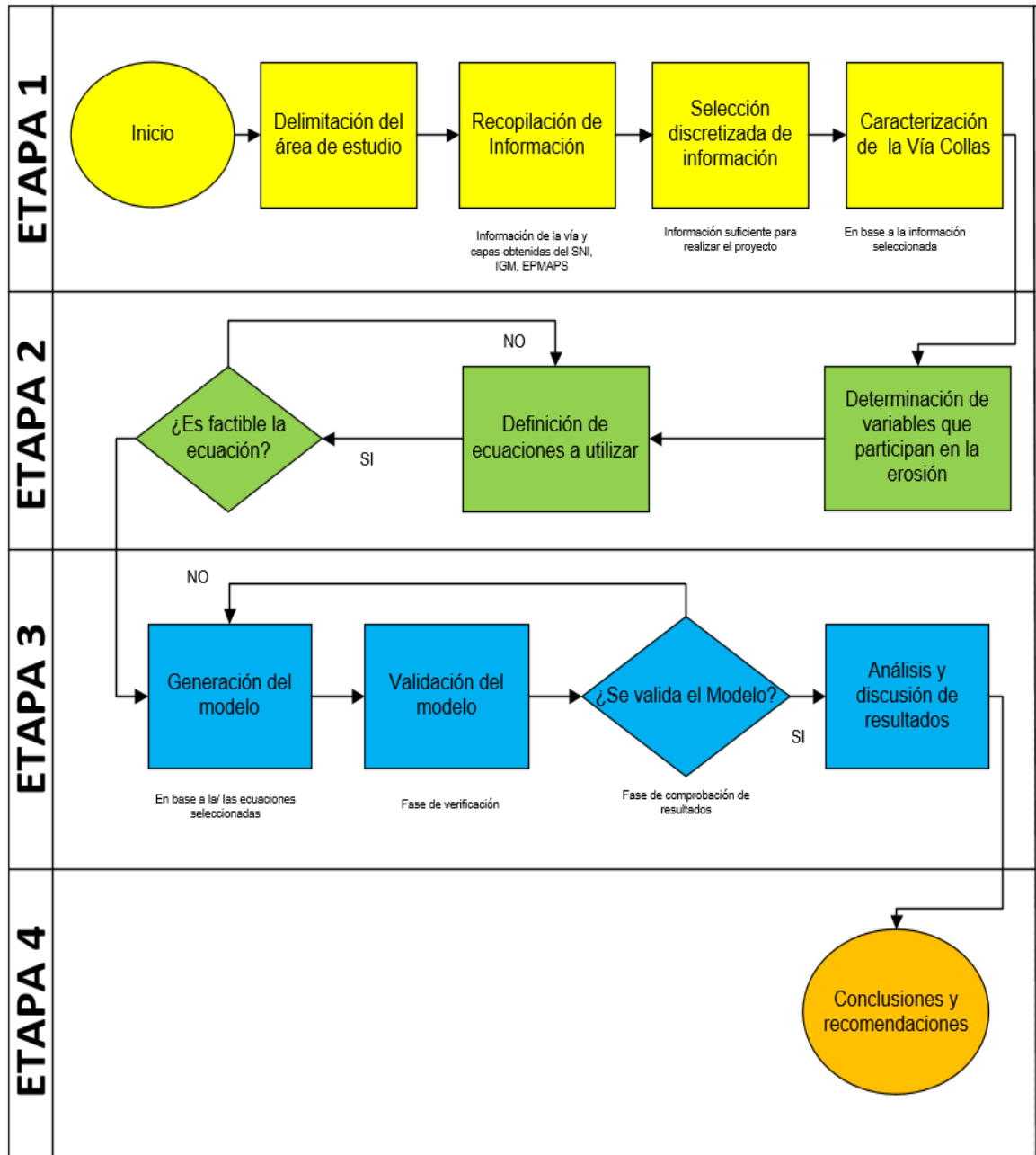


Figura 4. Diagrama de flujo de las etapas a realizar en la metodología

3.1 INFORMACIÓN E INSUMOS

Los trabajos prescritos en la Etapa N°1 de la Metodología permitió obtener información espacial georreferenciada básica (mapas base) y temática. También se obtuvo información de sensores remotos del área de estudio. Respecto a los insumos, se empleó softwares específicos como ArcGIS, Model Bulider, Microsoft Office; y dispositivos de recopilación de datos se utilizó un receptor GNSS y cámara fotográfica.

3.3.1 DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La delimitación del área de estudio se circunscribió al área de influencia directo del trazado de la Vía Collas.

3.3.1 RECOPIACIÓN EN GRADIENTE Y CAMPO

Se realizó la recopilación de la información de la vía con la visita de campo desde la abscisa 0+000 hasta la abscisa 11+667, con el fin de reconocer el área de estudio de tal manera que se recopile los datos más adecuados que permitan caracterizar físicamente el trazado de la Vía Collas.

3.3.2 CARACTERIZACIÓN DE LA VÍA COLLAS

Una vez seleccionada la información, se procedió a la caracterización física geográfica de la Vía Collas, con el fin de identificar las principales amenazas que afectan la zona; y simularlos mediante un modelo en un programa SIG. Dichos factores físicos geográficos son: topografía, geología, pendiente, precipitación, clima en cada tramo del abcisado de la vía. Este análisis

permitió identificar que los procesos erosivos presentes en el área de estudio son la erosión hídrica y la erosión eólica.

3.3.4 DETERMINACIÓN DE VARIABLES QUE PARTICIPAN EN LA EROSIÓN

Para modelar los procesos erosivos de la zona de interés, se necesitan variables que interactúan en el proceso de erosión, y luego se requiere estudiar la interrelación lógica, teniendo en cuenta las restricciones que presenta el modelo; por ejemplo, un evento que modifique el estado de la vía, y las variables no controlables que influyen en el proceso erosivo para la formulación del modelo.

3.3.5 DEFINICIÓN DE ECUACIONES A UTILIZAR

Una vez determinadas las variables que participan en los procesos erosivos presentes en el área de estudio se procedió a definir dos ecuaciones que relacionen las variables tanto para el proceso erosivo hídrico como eólico, ambas ecuaciones son mencionadas a continuación:

3.3.5.1 Ecuación universal de pérdida de suelo (USLE)

Para realizar el modelo de erosión hídrica se utilizó la ecuación universal de pérdida del suelo USLE (Wischmejer y Smith) que se formula de la siguiente manera:

$$A = R * K * LS * C * P \quad [1]$$

Donde:

A: Pérdida de suelo promedio anual el resultado de la relación de todas las variables expresada en $\frac{Tn}{ha*año}$. Se obtiene multiplicando todas las variables de la ecuación.

R: Factor de erosividad de las lluvias, expresado en $\frac{J*mm\ de\ lluvia}{ha}$, se obtiene mediante precipitaciones.

K: Factor de erodabilidad del suelo $\frac{Tn}{J}$, Se obtiene analizando las características del suelo.

LS: Factor topográfico (adimensional), se obtiene mediante curvas de nivel, y pendiente.

C: Factor de cobertura vegetal (adimensional). Se obtiene analizando la cobertura vegetal de la zona.

P: Factor de prácticas de conservación del suelo (adimensional), son prácticas de conservación generalmente influenciadas por la presencia forestal, y cuidado dentro del área de estudio

3.3.5.2 Promedio anual potencial de erosión de suelos

Para estimar la erosión eólica se utilizó la ecuación para estimar el promedio anual potencial de erosión de suelos (Woodruff y Siddoway) que se formula de la siguiente forma:

$$E = f(I', K', C', L', V) \quad [2]$$

Donde:

E: Erosión potencial medida es el resultado de la relación de todas las variables expresada en $\frac{tn}{ha*año}$. Se obtiene multiplicando todas las variables de la ecuación.

I': Índice de erodabilidad del suelo $\frac{tn}{ha}$. Se obtiene analizando las características del suelo.

K': factor de rugosidad $\frac{m}{kg}$. Se obtiene analizando las características del suelo.

C': Factor climático local (adimensional). Se obtiene mediante el clima de la zona, gracias a condiciones estándar.

L': Longitud del terreno en dirección prevaleciente de los vientos expresada en metros (m). Se obtiene mediante la longitud del área de estudio determinada, debido a que se desprecia la dirección de los vientos ya que el viento no tiene un dirección constante y es muy variante.

V: Equivalente de cobertura de vegetación expresada en $\frac{kg}{m^2}$. Se obtiene analizando la cobertura vegetal de la zona.

3.3.6 GENERACIÓN DEL MODELO

Para la generación del modelo se procedió a realizar la interrelación según cada ecuación, en el programa ModelBuilder utilizando las herramientas mencionadas en la tabla 1, con el fin de generar el modelo que analice los principales procesos erosivos en el área de interés.

Tabla 1. Descripción de las herramientas utilizadas en ArcGIS 10.3

| HERRAMIENTAS UTILIZADAS DEL SOFTWARE ARCGIS | DESCRIPCIÓN DE LAS HERRAMIENTAS |
|---|---|
| Create TIN | Crea un dataset de red irregular de triángulos. |
| Clip | Herramienta de geoprocésamiento que extrae características de entrada que se superponen a las características del clip. |
| Create Features | Crea una clase de entidad vacía en una geodatabase corporativa o de archivos; en el caso de una carpeta, crea un shapefile (capa). |
| Fill | Rellena sumideros en un ráster de una superficie para quitar pequeñas imperfecciones en los datos. |
| Flow Accumulation | Crea un ráster de flujo acumulado en cada celda. Opcionalmente se puede aplicar un factor de peso. |
| Flow Direction | Crea un ráster de dirección de flujo desde cada celda hasta su vecina con la pendiente descendente más empinada. |
| Model Builder | Es un lenguaje de programación visual para crear flujos de trabajo de geoprocésamiento. |
| Polygon to Raster | Convierte una entidad de polígono en un ráster. |
| Raster Calculator | Esta herramienta es una calculadora ráster que permite crear y ejecutar una expresión de Álgebra de mapas, que generará como salida un ráster. |
| Slope | Identifica la pendiente (gradiente o tasa de cambio máximo en el valor z) de cada celda de una superficie ráster |
| Spline | Permiter interpolar una superficie raster desde puntos usando la técnica de ranura de curvatura mínima bidimensional. La superficie lisa resultante pasa exactamente a través de los puntos de entrada. |
| TIN to Raster | Crea un ráster interpolando sus valores de celda desde la elevación TIN de entrada a la distancia de muestra especificada. |

(ArcGIS PRO, 2017)

3.3.7 VALIDACIÓN DEL MODELO

La validación de los modelos de erosión se realizó con ayuda del programa ModelBuilder, el cual permitió saber si la interrelación de las variables era lógica generando cada uno de los mapas. Además del criterio personal, basados en el análisis de erosión de suelo realizado en una microcuenca en República Dominicana. (Díaz, 2014)

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO:

La Vía Collas tiene una extensión de 11,667 km, desde el desvío a Guayabamba hasta el redondel de Tababela, es una vía de cuatro carriles, que se dirige hacia el sector norte del Aeropuerto Mariscal Sucre, atraviesa el Río Guayabamba con un puente de una longitud de 320 metros. A lo largo de la vía se encuentra una topografía irregular, pendientes pronunciadas, fuertes vientos y precipitaciones debido a que es una zona que colinda con ríos y quebradas. (Geovial, 2011).

En la figura 5 se presenta el mapa de ubicación general de la Vía Collas.

4.2 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Se realizó la recopilación de la información de la vía con la visita de campo con el fin de reconocer el área de estudio, de tal manera que se recopile los datos más adecuados que permitan caracterizar físicamente el trazado de la Vía Collas. Obteniendo los datos mencionados en la tabla 2.

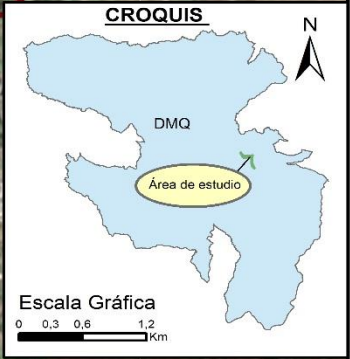
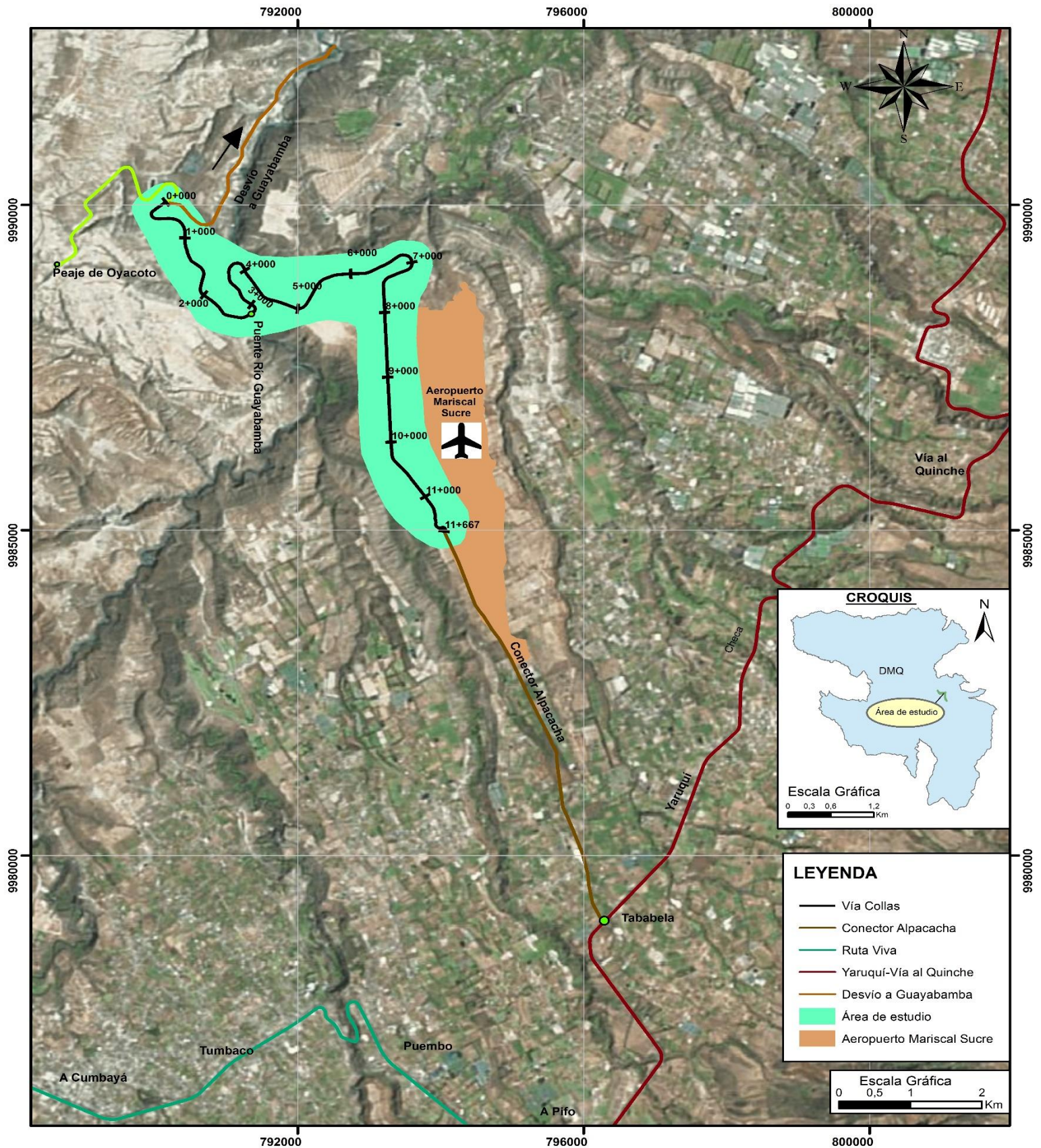
Tabla 2. Capas base para la generación de mapas

| Tema | Escala | Año | Formato | Fuente |
|------------------------|-----------|------|-----------------------|--------|
| Cobertura Vegetal | 1:10.000 | 2012 | cobertura_vegetal.shp | MAGAP |
| Curvas de nivel | 1: 5.000 | 2016 | curvas_nivel.shp | EPMAPS |
| Erodabilidad del suelo | 1:25.000 | 2013 | suceptibilidad.shp | MAGAP |
| Isoyetas | 1:25.000 | 2015 | isoyetas.shp | INAMHI |
| Rugosidad | 1:25.000 | 2016 | rugosidad.shp | MAGAP |
| Tipos de clima | 1:25.000 | 2016 | climas.shp | INAMHI |
| Uso suelo | 1:25.000 | 2016 | uso_suelo.shp | EPMAPS |
| Imagen del mundo | 1:100.000 | 2017 | worldimagery.tif | ESRI |

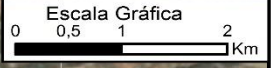
Gracias al sistema ArcGIS y a los sensores remotos se utilizó como mapa base la imagen del satélite Landsat denominada Worldimagery (2017) escala 1:100.000.

4.3 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO:

La Vía Collas es una de las principales arterias que une la ciudad de Quito con el Aeropuerto Mariscal Sucre. Su construcción estuvo a cargo del MTOP. Es considerada como una de las vías más modernas del país, la misma que exigió la realización de trabajos de estabilización, para minimizar los procesos erosivos tales como: terrazas escalonadas, estabilizadores químicos, y roca que es el principal componente de este suelo; geomembrana de color verde para garantizar la estabilidad de la vía y hormigón lanzado para evitar deslaves. (MTOP, 2012)



| LEYENDA | |
|---------|---------------------------|
| | Vía Collas |
| | Conector Alpacacha |
| | Ruta Viva |
| | Yaruquí-Vía al Quinche |
| | Desvío a Guayabamba |
| | Área de estudio |
| | Aeropuerto Mariscal Sucre |



| | | | |
|---|--|--|---------------------------------------|
| <p>UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES</p> <p>DR. ISIDRO GUTIERREZ COORDINADOR DE CARRERA APROBO</p> <p>ING. MAURICIO VALLADARES DIRECTOR DE TESIS REVISO</p> <p>JONATHAN RECALDE TESISTA ELABORO</p> | <p>CONTIENE</p> <p>Mapa de ubicación general de la Vía Collas.</p> | <p>OBSERVACIONES:</p> <p>1. FUENTE DE LA INFORMACIÓN: GOOGLE EARTH</p> <p>2. SISTEMA DE REFERENCIA ESPACIAL DATUM HORIZONTAL: WGS84 DATUM VERTICAL: E.M. LA LIBERTAD ELIPSOIDE: INTERNACIONAL PROYECCIÓN: UTM</p> <p>3. ELABORADO EN EL SISTEMA: ARCGIS 10.3</p> | <p>ESCALA: GRÁFICA</p> |
| | | | <p>FECHA: MAYO 2017</p> |
| | | | <p>ARCHIVO: Mapa de ubicación.mxd</p> |
| | | | <p>MAPA No.: 1 DE 1</p> |

Figura 5. Mapa de ubicación general de la Vía Collas

4.4 MODELO DE EROSIÓN HÍDRICA

Para realizar el modelo de erosión hídrica se tomó en cuenta cada uno de los factores de la ecuación Universal de Pérdida de Suelo, y se relacionó la información descrita en la figura 6.

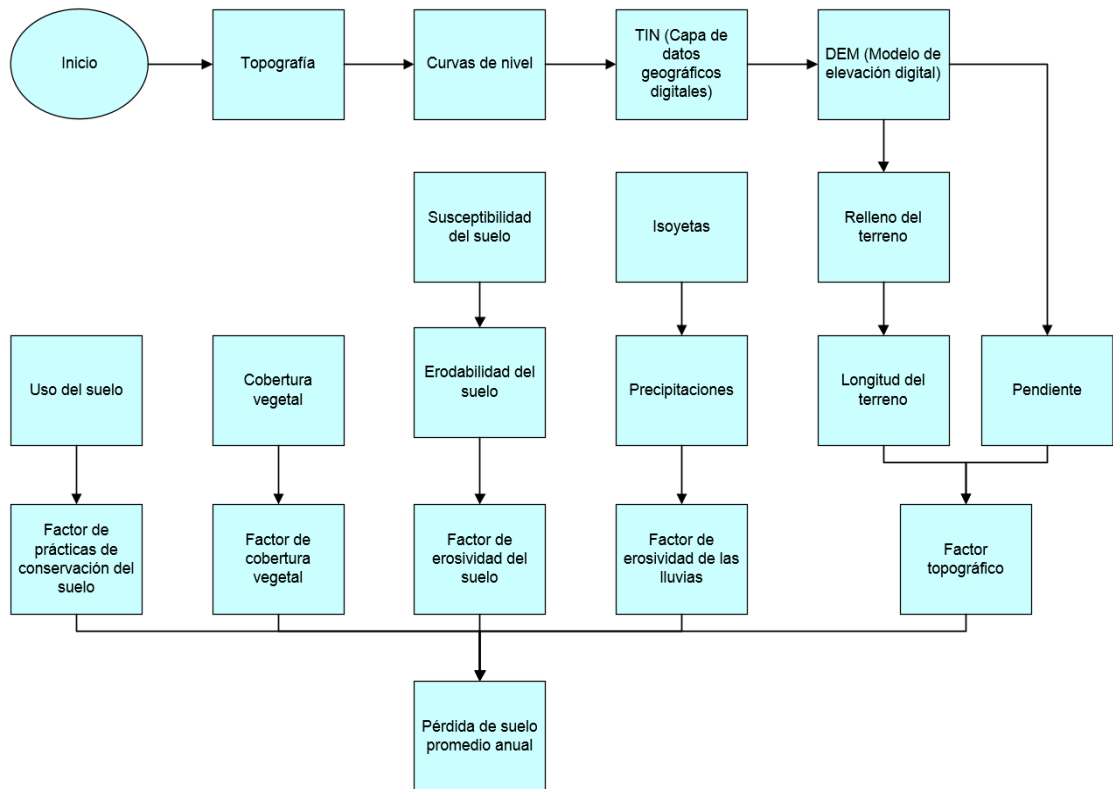


Figura 6. Flujograma del proceso de erosión hídrica

Se tomó como referencia espacial los parámetros establecidos por el IGM, mencionados a continuación:

- **Proyección:** Universal Transversal Mercator Zona 17 Sur
- **Datum Horizontal:** World Geodesic System 1984 (WGS 1984)
- **Datum Vertical:** Estación Mareográfica de La Libertad

4.4.1 Factor R (Factor de erosividad de las lluvias):

A partir de la capa de isoyetas (2011) del INAMHI, se tomó el rango de precipitaciones existentes en el área de estudio, usando la herramienta SPLINE para interpolación de los datos de precipitación dentro de toda el área de estudio. Como resultado se generó el mapa del factor R, el mismo representa la erosividad de las lluvias en el suelo que se expresa en $\frac{J \cdot \text{mm de lluvia}}{\text{ha}}$, mostrado en la figura 8. Del análisis de dicho componente se determina que en el tramo correspondiente a la abscisa 0+000 hasta la abscisa 4+000 ubicado desde el inicio de la vía Collas al kilómetro cuatro se observa la mayor presencia de precipitación que afectara al modelo, influenciada también por la presencia del río Guayabamba, a partir del abscisado 4+000 hasta la abscisa 8+000 se observa la menor cantidad de precipitación, del abscisado 8+000 hasta la abscisa 11+667 se puede observar que se tiene una cantidad moderada de precipitación con mayor afectación entre la abscisa 8+000 hasta la abscisa 9+000. En la figura 7 se muestra la pluviometría para determinar el factor R.

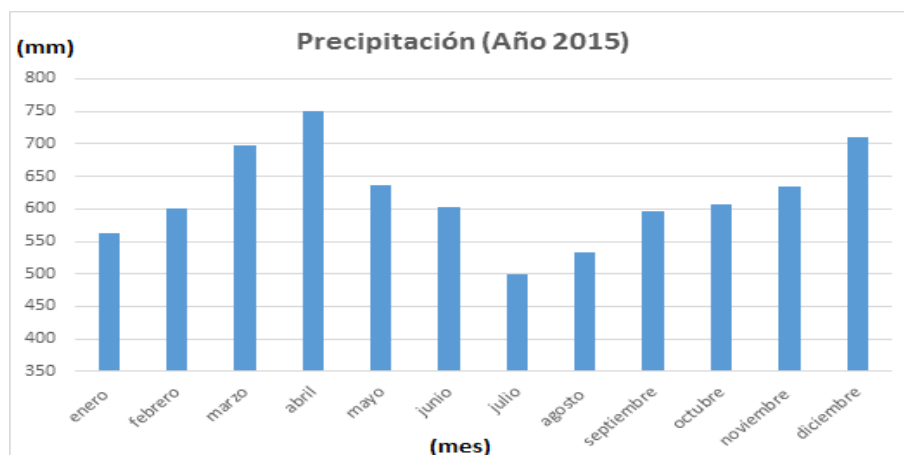
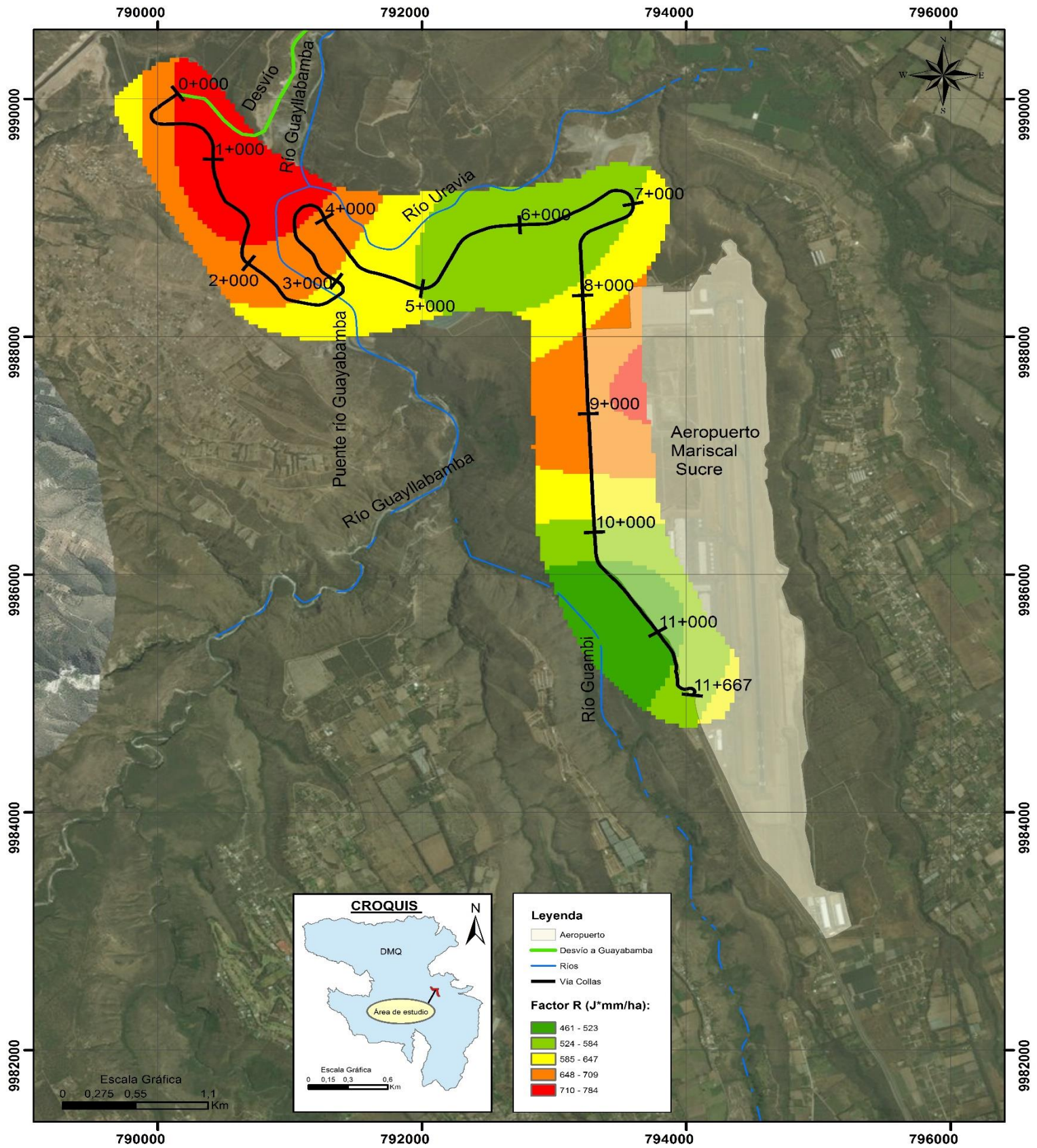


Figura 7. Pluviometría utilizada para determinar el factor R



| | | | |
|---|---|--|------------------------------|
| <p>UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES</p> <p>DR. ISIDRO GUTIÉRREZ COORDINADOR DE CARRERA APROBÓ</p> <p>ING. MAURICIO VALLADARES DIRECTOR DE TESIS REVISÓ</p> <p>JONATHAN RECALDE TESISTA ELABORÓ</p> | <p>CONTIENE</p> <p>Mapa de factor R</p> | <p>OBSERVACIONES:</p> <ol style="list-style-type: none"> FUENTE DE LA INFORMACIÓN: GOOGLE EARTH SISTEMA DE REFERENCIA ESPACIAL DATUM HORIZONTAL: WGS84 DATUM VERTICAL: E.M. LA LIBERTAD ELIPSOIDE: INTERNACIONAL PROYECCIÓN: UTM ELABORADO EN EL SISTEMA: ARCGIS 10.3 | <p>ESCALA: GRÁFICA</p> |
| | | | <p>FECHA: MAYO 2017</p> |
| | | | <p>ARCHIVO: Factor R.mxd</p> |
| | | | <p>MAPA No.: 1 DE 1</p> |

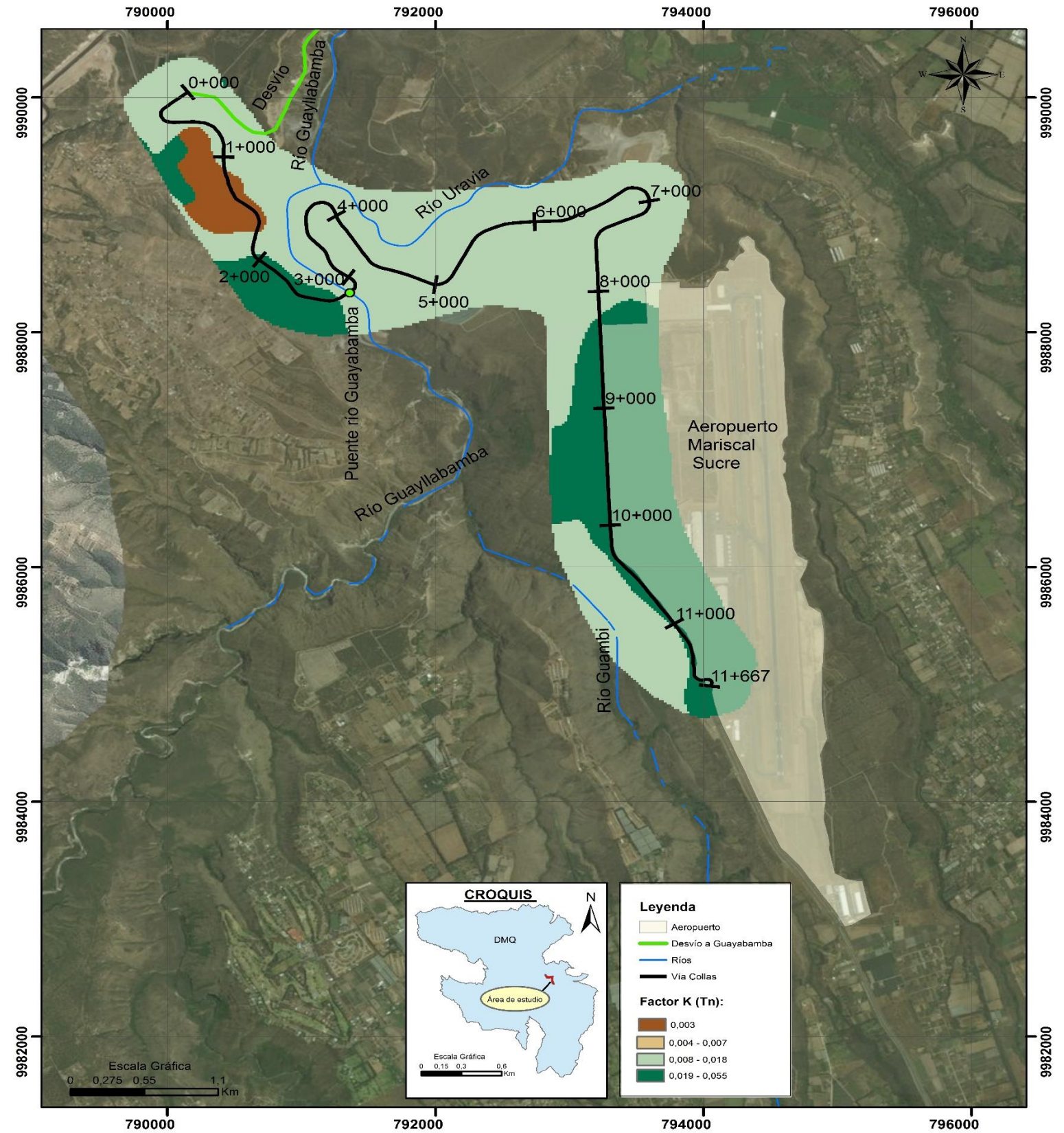
Figura 8. Factor de erosividad de las lluvias

4.4.2 Factor K (Erodabilidad del suelo)

A partir de la capa de erodabilidad del suelo (2013) del MAGAP, se tomó en cuenta las características que presenta el área de estudio en cuanto a erodabilidad (capacidad del suelo a erosionarse), permeabilidad y susceptibilidad de erosión; para determinar los valores del factor K que se expresa en $\frac{Tn}{J}$ tal como se muestra en la tabla 3 con la relación de los valores, el mapa es mostrado en la figura 9. Del análisis de dicho componente se determina que en el tramo correspondiente a la abscisa 0+000 hasta la abscisa 4+000 ubicado desde el inicio de la vía Collas al kilómetro cuatro se observa la menor cantidad de erodabilidad de la zona principalmente en el abscisado 1+000 hasta el abscisado 2+000, a partir del abscisado 4+000 hasta la abscisa 8+000 se observa la una cantidad de erodabilidad que oscila entre 0.008 hasta 0.018, y del abscisado 8+000 en adelante se puede observar que se tiene una alta cantidad de erodabilidad es decir es más propenso a un proceso erosivo.

Tabla 3. Relación de las variables para determinar el factor K

| Susceptibilidad | Permeabilidad | Tipo suelo | Factor K(Tn/ha) |
|-----------------|---------------|-------------------|-----------------|
| Moderada | Alta | Arena | 0,007 |
| Moderada | Media | Arcilloso-arenoso | 0,017 |
| Moderada | Alta | Arena | 0,003 |
| Moderada | Media-baja | Arenoso muy fino | 0,055 |




| | | | |
|---|--|--|------------------------------|
|  <p>UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES</p> | <p>CONTIENE</p> <p>Mapa de factor K</p> | <p>OBSERVACIONES:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. FUENTE DE LA INFORMACIÓN: GOOGLE EARTH 2. SISTEMA DE REFERENCIA ESPACIAL DATUM HORIZONTAL: WGS84 DATUM VERTICAL: E. M. LA LIBERTAD ELIPSOIDE: INTERNACIONAL PROYECCIÓN: UTM 3. ELABORADO EN EL SISTEMA: ARCGIS 10.3 | <p>ESCALA: GRÁFICA</p> |
| | | | <p>FECHA: MAYO 2017</p> |
| | | | <p>ARCHIVO: Factor K.mxd</p> |
| | | | <p>MAPA No.: 1 DE 1</p> |
| <p>DR. ISIDRO GUTIÉRREZ COORDINADOR DE CARRERA APROBÓ</p> | <p>ING. MAURICIO VALLADARES DIRECTOR DE TESIS REVISÓ</p> | <p>JONATHAN RECALDE TESISTA ELABORÓ</p> | |

Figura 9. Factor de erodabilidad del suelo

4.4.3 Factor LS (Factor topográfico)

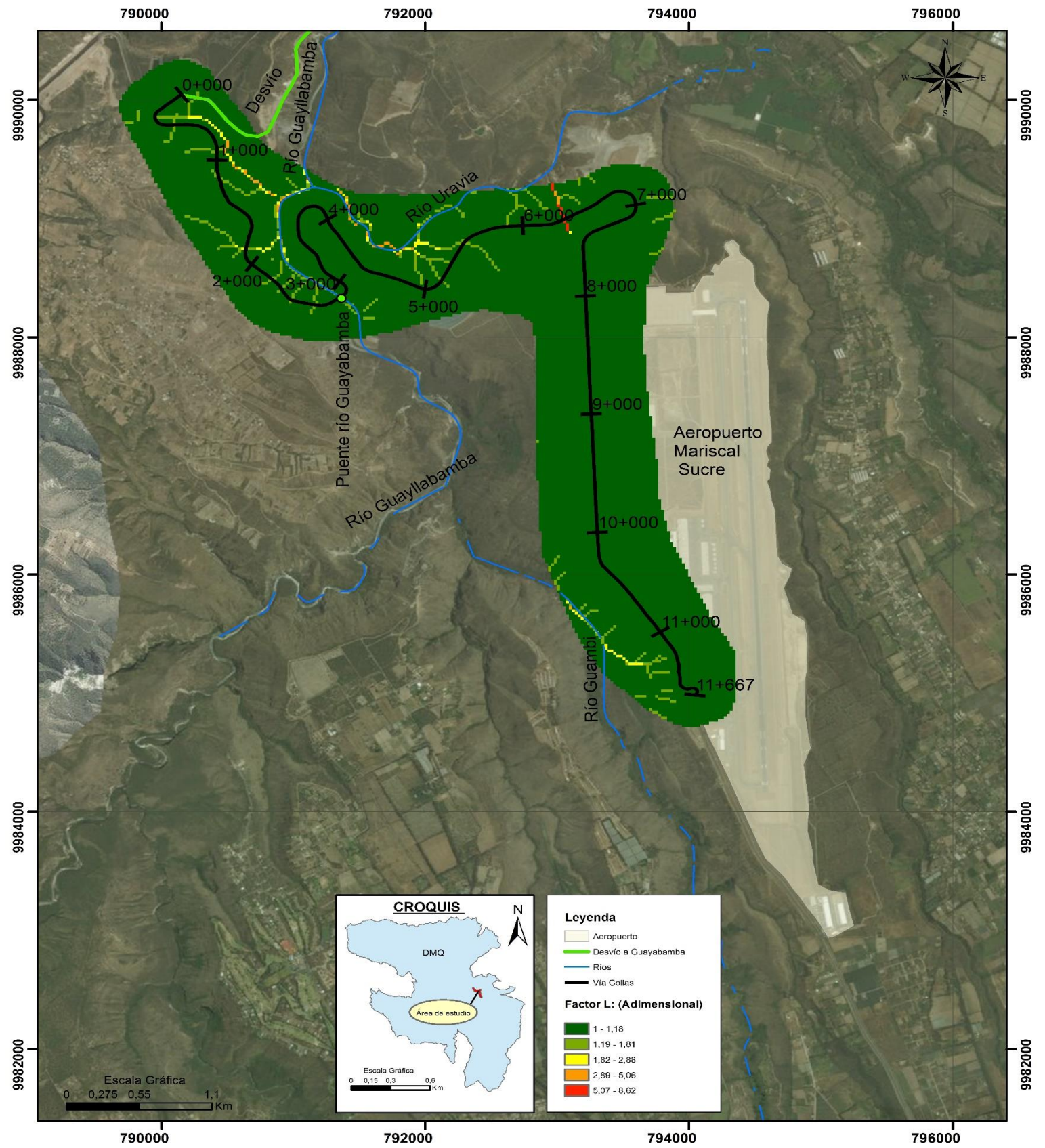
El factor LS se obtiene de la multiplicación del factor L y S es decir la longitud de la pendiente (factor L), por la gradiente de la pendiente (factor S); generándose el mapa del factor topográfico el cual se muestra en la figura 12. Dicho factor es adimensional. Representa el factor topográfico de la formula representa los lugares más propensos a erosionarse relacionando la longitud de la pendiente con la gradiente. Este factor es adimensional. Del análisis de dicho factor se puede observar El abscisado 0+000 hasta el abscisado 7+000 y entre la abscisa 10+000 hasta la abscisado 11+667, se observa la una cantidad moderada a un proceso erosivo por la influencia del factor S, agudizándose en tramo correspondiente entre el abscisado 6+000 hasta el abscisado 7+000 por la influencia del factor L, debido a que existe una pendiente de longitud, y altamente pronunciada.

4.4.3.1 Factor L:

Para determinar el factor L) se parte desde la capa de curvas de nivel, proporcionada por la EPMAPS (2016). A partir de esta capa se obtuvo el modelo de elevación digital el cual permite realizar el análisis de pérdida de suelo de una pendiente con relación a la longitud que recorre una gota de lluvia. Dicho factor es adimensional. Del análisis del mapa de factor L mostrado en la figura 10 se observa que entre el abscisado 6+000 hasta el 7+000 esto se debe que dentro de este tramo de la vía existe una pendiente pronunciada por tal motivo la longitud que recorre la gota de lluvia es mayor.

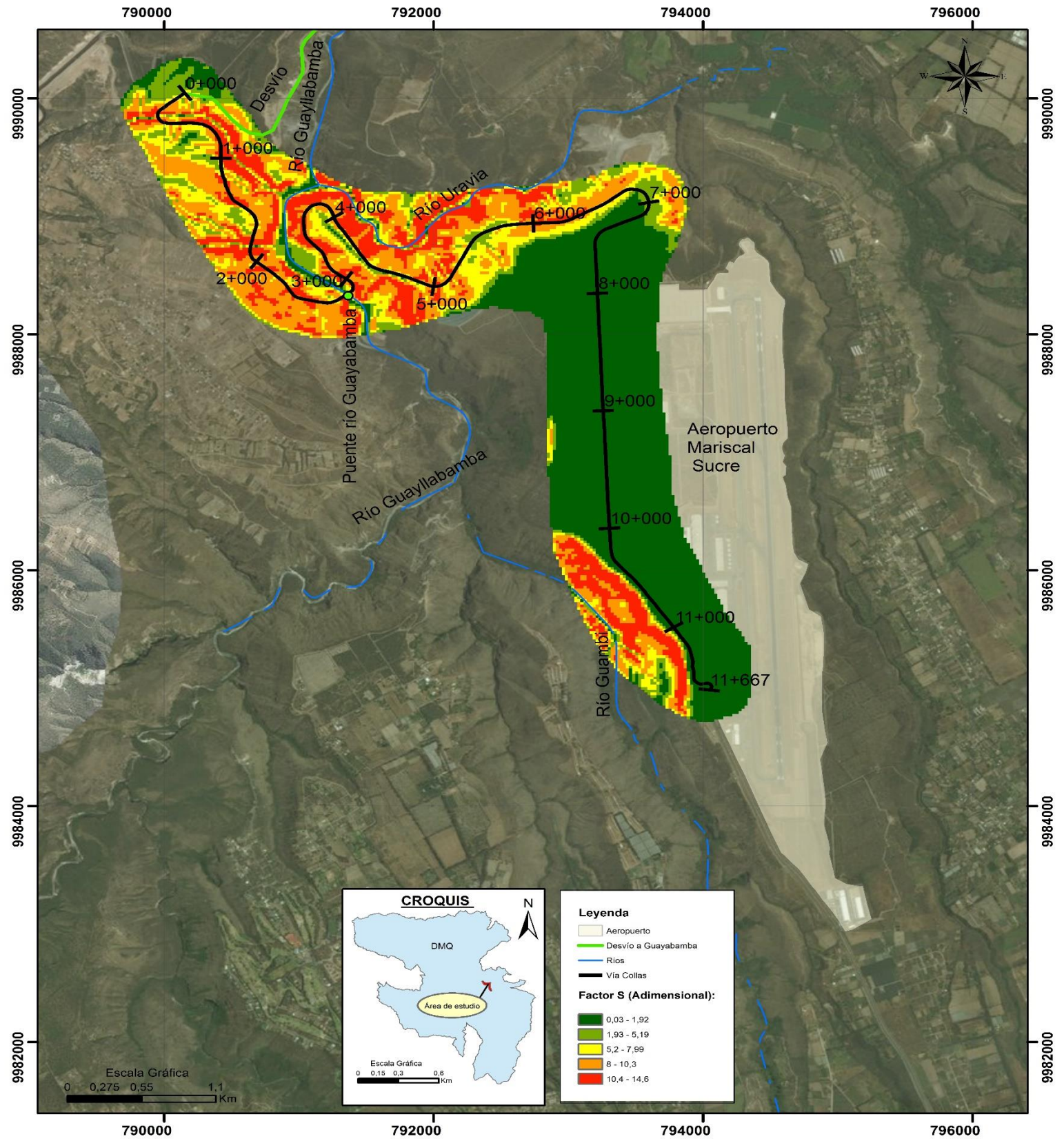
4.4.3.2 Factor S:

Para determinar el factor S se parte desde la capa de curvas de nivel, proporcionada por la EPMAPS (2016). A partir de esta capa se obtuvo el modelo de elevación digital el cual permite obtener la pendiente, para determinar el potencial de erosión según el ángulo de inclinación. Este factor es adimensional. Del análisis del mapa de factor S mostrado en la figura 11 se observa que entre El abscisado 0+000 hasta el abscisado 7+000 y entre la abscisa 10+000 hasta la abscisado 11+667, se observa la mayor cantidad de ángulos de inclinación, pendientes más pronunciadas a lo largo de la vía provocando que estos sean los lugares más propensos a que se produzca el proceso erosivo.



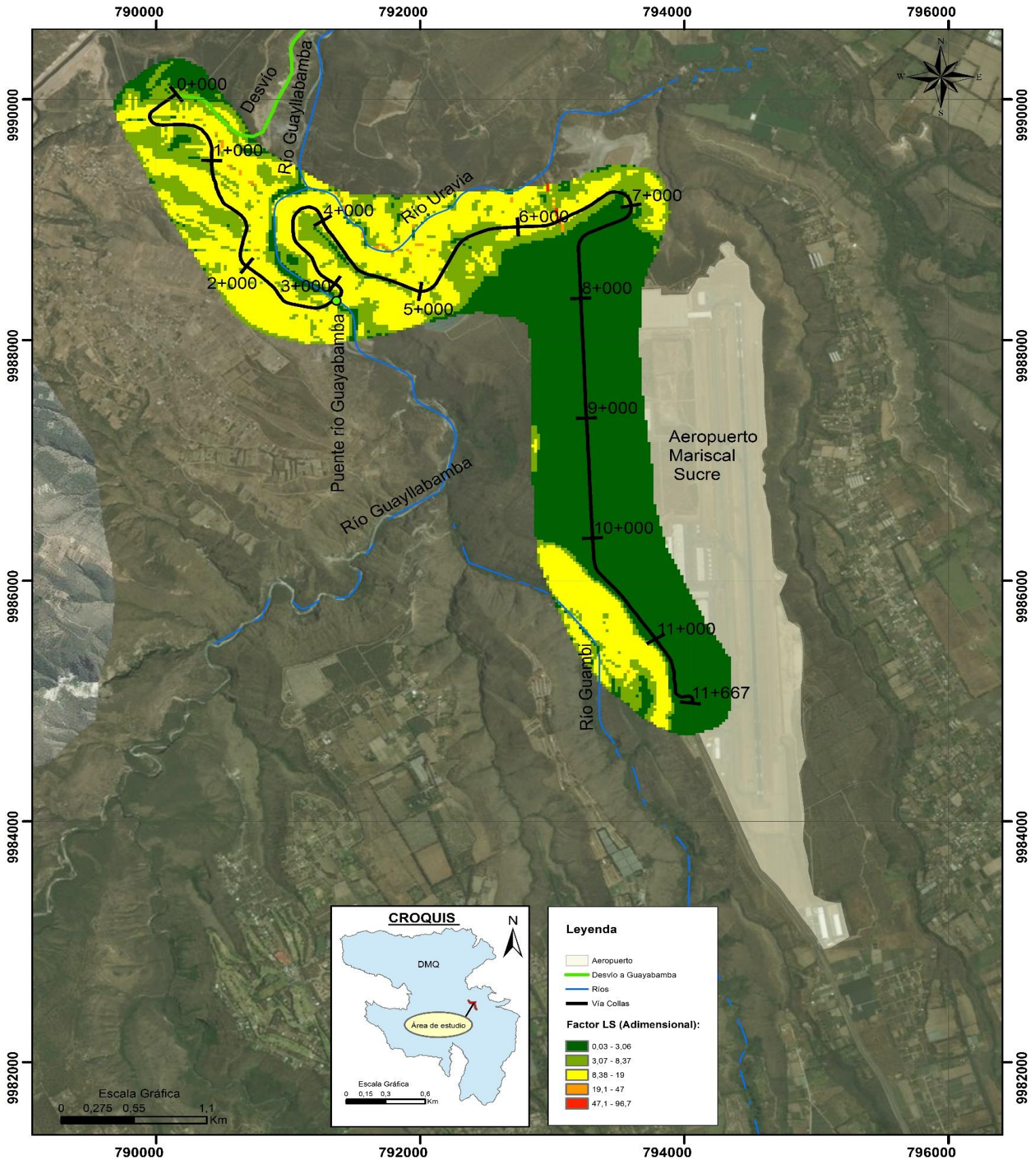
| | | | |
|---|---|--|------------------------------|
| <p>UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES</p> <p>DR. ISIDRO GUTIÉRREZ COORDINADOR DE CARRERA APROBÓ</p> <p>ING. MAURICIO VALLADARES DIRECTOR DE TESIS REVISÓ</p> <p>JONATHAN RECALDE TESISISTA ELABORÓ</p> | <p>CONTIENE</p> <p>Mapa de factor L</p> | <p>OBSERVACIONES:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. FUENTE DE LA INFORMACIÓN: GOOGLE EARTH 2. SISTEMA DE REFERENCIA ESPACIAL DATUM HORIZONTAL: WGS84 DATUM VERTICAL: E. M. LA LIBERTAD ELIPSOIDE: INTERNACIONAL PROYECCIÓN: UTM 3. ELABORADO EN EL SISTEMA: ARCGIS 10.3 | <p>ESCALA: GRÁFICA</p> |
| | | | <p>FECHA: MAYO 2017</p> |
| | | | <p>ARCHIVO: Factor L.mxd</p> |
| | | | <p>MAPA No.: 1 DE 1</p> |

Figura 10. Mapa de factor L (longitud de la pendiente)



| | | | |
|---|---|---|------------------------------|
| <p>UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES</p> <p>DR. ISIDRO GUTIÉRREZ COORDINADOR DE CARRERA APROBÓ</p> <p>ING. MAURICIO VALLADARES DIRECTOR DE TESIS REVISÓ</p> <p>JONATHAN RECALDE TESISTA ELABORÓ</p> | <p>CONTIENE</p> <p>Mapa de factor S</p> | <p>OBSERVACIONES:</p> <p>1. FUENTE DE LA INFORMACIÓN: GOOGLE EARTH</p> <p>2. SISTEMA DE REFERENCIA ESPACIAL DATUM HORIZONTAL: WGS84 DATUM VERTICAL: E. M. LA LIBERTAD ELIPSOIDE: INTERNACIONAL PROYECCIÓN: UTM</p> <p>3. ELABORADO EN EL SISTEMA: ARCGIS 10.3</p> | <p>ESCALA: GRÁFICA</p> |
| | | | <p>FECHA: MAYO 2017</p> |
| | | | <p>ARCHIVO: Factor S.mxd</p> |
| | | | <p>MAPA No.: 1 DE 1</p> |

Figura 11. Mapa de factor S (Factor de ángulo de pendiente)




| | | | | |
|--|--|---|--|------------------------|
|  <p>UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES</p> | CONTIENE | OBSERVACIONES: | ESCALA: GRÁFICA | |
| | Mapa de factor LS | 1. FUENTE DE LA INFORMACIÓN: GOOGLE EARTH | FECHA: MAYO 2017 | |
| | DR. ISIDRO GUTIÉRREZ COORDINADOR DE CARRERA APROBÓ | ING. MAURICIO VALLADARES DIRECTOR DE TESIS REVISÓ | JONATHAN RECALDE TESISTA ELABORÓ | ARCHIVO: Factor LS.mxd |
| | | | | MAPA No.: 1 DE 1 |

Figura 12. Factor topográfico

4.4.4 Factor C (Factor de cobertura vegetal)

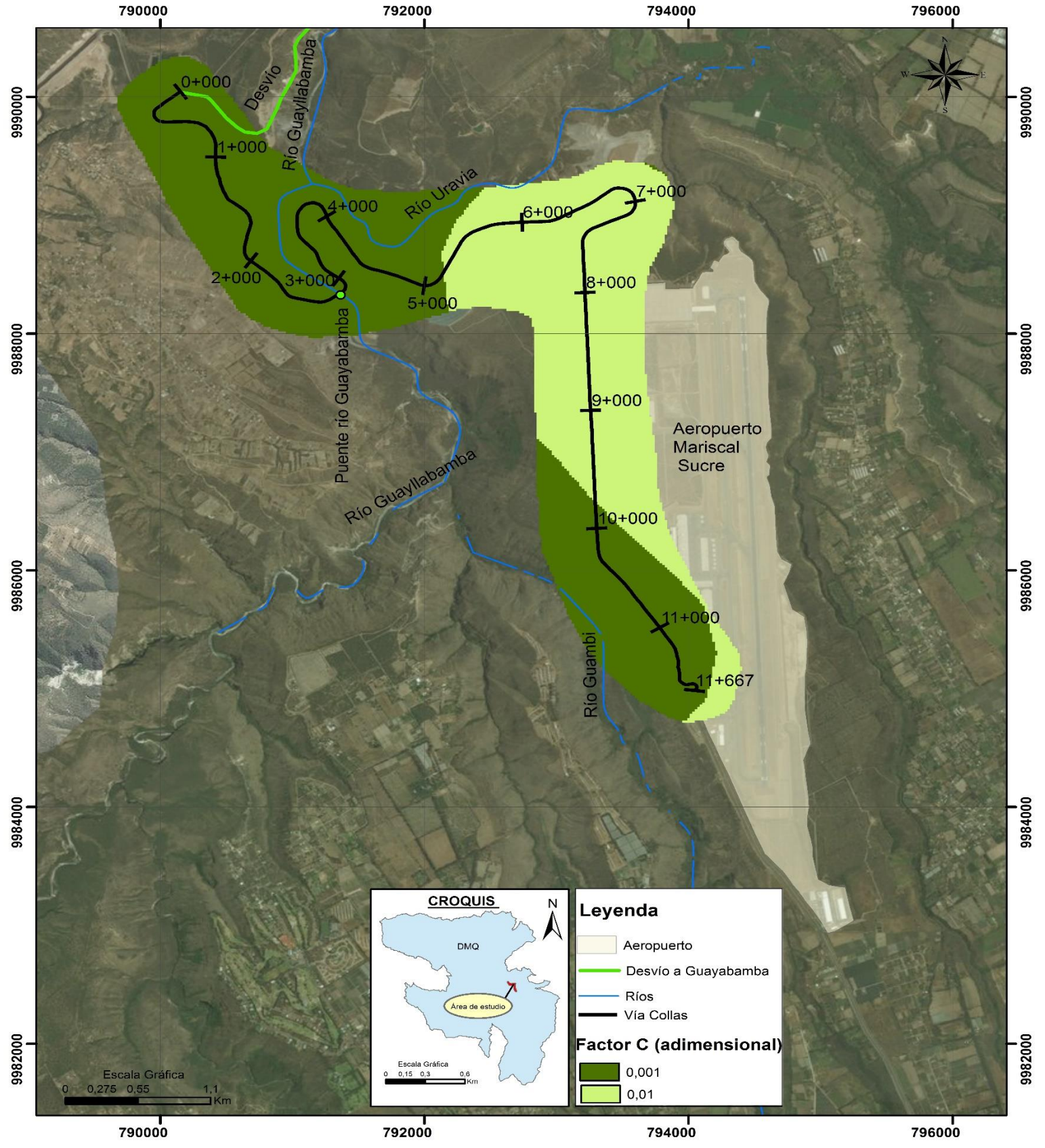
A partir de la capa de cobertura vegetal (2012) del MAGAP, se tomó en cuenta las características que presenta el área de estudio en cuanto a cobertura vegetal y permeabilidad; para determinar los valores del factor C que es un factor adimensional, mostrado en la figura 14, se relacionaron los valores mostrados en la tabla 4. Del análisis de dicho componente se determina que en el tramo correspondiente a la abscisa 0+000 hasta la abscisa 5+000 y entre el tramo 10+000 hasta el abscisado 11+667, existe la presencia de vegetación natural lo que previene una moderada cantidad erosión hídrica, mientras que entre el abscisado de 5+000 y el abscisado 10+000 existe cultivos de ciclo corto lo que previene de gran manera el proceso erosivo, además de las geomembranas que se encuentran en la vía tal como muestra la figura 13.

Tabla 4. Relación de las variables para determinar el factor C

| Piso | Cobertura vegetal | Permeabilidad | Factor C |
|----------|-------------------------|---------------|----------|
| Templado | Vegetación natural | Seco | 0,01 |
| Cálido | Cultivos de ciclo corto | Seco | 0,001 |



Figura 13. Geomembranas de la Vía Collas



| | | | |
|---|---|--|------------------------------|
| <p>UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES</p> <p>DR. ISIDRO GUTIÉRREZ COORDINADOR DE CARRERA APROBÓ</p> <p>ING. MAURICIO VALLADARES DIRECTOR DE TESIS REVISÓ</p> <p>JONATHAN RECALDE TESISTA ELABORÓ</p> | <p>CONTIENE</p> <p>Mapa de factor C</p> | <p>OBSERVACIONES:</p> <ol style="list-style-type: none"> FUENTE DE LA INFORMACIÓN: GOOGLE EARTH SISTEMA DE REFERENCIA ESPACIAL DATUM HORIZONTAL: WGS84 DATUM VERTICAL: E.M. LA LIBERTAD ELIPSOIDE: INTERNACIONAL PROYECCIÓN: UTM ELABORADO EN EL SISTEMA: ARCGIS 10.3 | <p>ESCALA: GRÁFICA</p> |
| | | | <p>FECHA: MAYO 2017</p> |
| | | | <p>ARCHIVO: Factor C.mxd</p> |
| | | | <p>MAPA No.: 1 DE 1</p> |

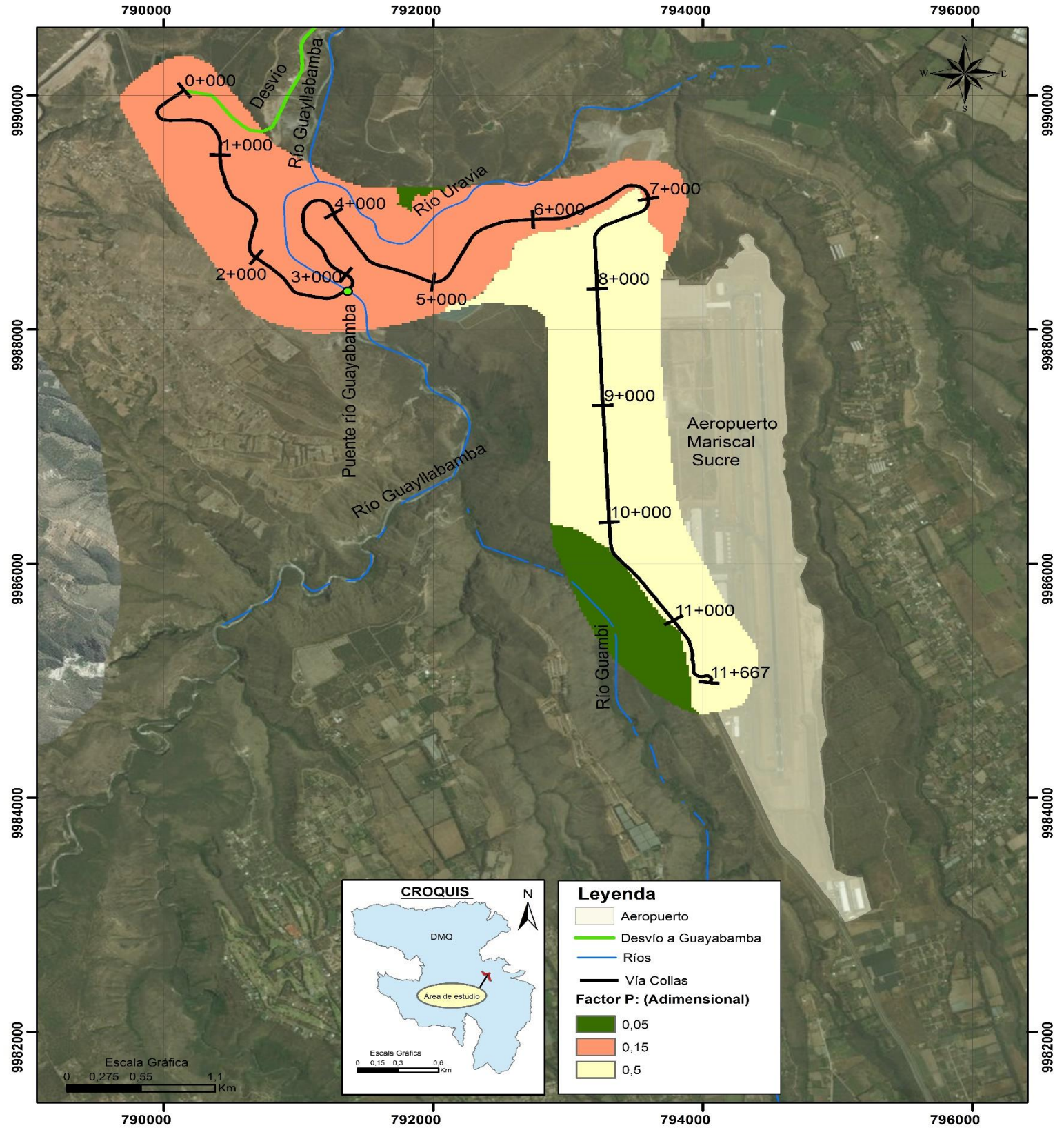
Figura 14. Factor de cobertura vegetal

4.4.5 Factor P (Factor de prácticas de conservación del suelo)

A partir de la capa de uso suelo (2012) de la EPMAPS mostrado en la figura, se tomó en cuenta las características que presenta el área de estudio en cuanto al uso de suelo otorgando valores tal como se muestra en la tabla 5; para determinar los valores del factor P que es un factor adimensional, mostrado en la figura 15. Del análisis de dicho componente se determina que en el tramo correspondiente a la abscisa 0+000 hasta la abscisa 7+000, existe la producción sostenible de la zona, desde el abscisado 7+000 hasta el abscisado 10+000 existe una conservación del lugar con influenciado por el equipamiento urbano entre las abscisas 10+000 y 11+667. Dicho factor ayuda a la disminución de la erosión, entre menor sea el número menor es el efecto del proceso erosivo.

Tabla 5. Relación de las variables para determinar el factor P

| Clasificación | Uso suelo | Factor P |
|---------------|----------------------------------|----------|
| Rural | Conservación Patrimonio Nacional | 0,05 |
| Rural | Producción sostenible | 0,15 |
| Rural | Equipamiento | 0,5 |




| | | | |
|--|---|--|------------------------------|
|  <p>UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES</p> <p>DR. ISIDRO GUTIÉRREZ COORDINADOR DE CARRERA APROBÓ</p> <p>ING. MAURICIO VALLADARES DIRECTOR DE TESIS REVISÓ</p> <p>JONATHAN RECALDE TESISISTA ELABORÓ</p> | <p>CONTIENE</p> <p>Mapa de factor P</p> | <p>OBSERVACIONES:</p> <ol style="list-style-type: none"> FUENTE DE LA INFORMACIÓN: GOOGLE EARTH SISTEMA DE REFERENCIA ESPACIAL DATUM HORIZONTAL: WGS84 DATUM VERTICAL: E.M. LA LIBERTAD ELIPSOIDE: INTERNACIONAL PROYECCIÓN: UTM ELABORADO EN EL SISTEMA: ARCGIS 10.3 | <p>ESCALA: GRÁFICA</p> |
| | | | <p>FECHA: MAYO 2017</p> |
| | | | <p>ARCHIVO: Factor P.mxd</p> |
| | | | <p>MAPA No.: 1 DE 1</p> |

Figura 15. Factor de prácticas de conservación del suelo

4.4.6 Factor A (Pérdida de suelo promedio anual)

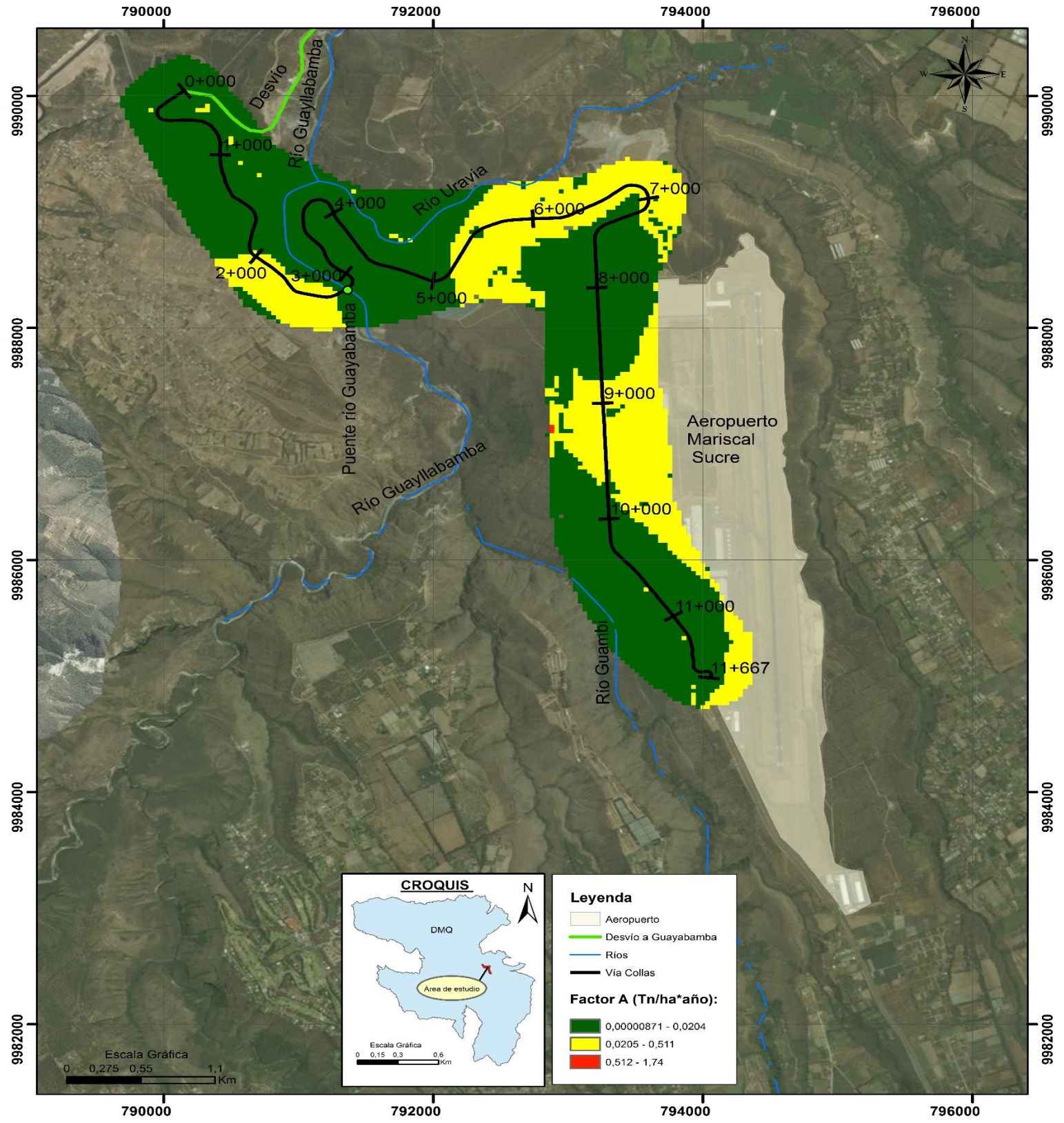
Luego de obtener cada uno de los factores de la ecuación universal de pérdida de suelo, que determina la cantidad de erosión hídrica la cual esta expresada en $\frac{tn}{ha*año}$. Se observa en mapa de perdida de suelo promedio anual donde se establecen los niveles de erosión, que este caso como se presenta en la figura 17, la perdida de suelo por efecto de las precipitaciones no afecta en gran medida a la Vía Collas, debido al estado de la vía, los taludes de estabilización y geomembranas, mostrado en la figura 16. En la tabla 6 se muestra la relación de los valores de erosión hídrica.

Tabla 6. Relación de las variables para determinar el factor A

| Descripción | Factor A (Tn/ha*año) |
|-------------|----------------------|
| Baja | 0,00000871-0,0204 |
| Media | 0,0205-0,511 |
| Alta | 0,512-1,74 |



Figura 16. Estabilización de taludes de la Vía Collas



| | | | |
|---|---|--|------------------------------|
| <p>UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES</p> <p>DR. ISIDRO GUTIÉRREZ COORDINADOR DE CARRERA APROBÓ</p> <p>ING. MAURICIO VALLADARES DIRECTOR DE TESIS REVISÓ</p> <p>JONATHAN RECALDE TESISISTA ELABORÓ</p> | <p>CONTIENE</p> <p>Mapa de factor A</p> | <p>OBSERVACIONES:</p> <ol style="list-style-type: none"> FUENTE DE LA INFORMACIÓN: GOOGLE EARTH SISTEMA DE REFERENCIA ESPACIAL DATUM HORIZONTAL: WGS84 DATUM VERTICAL: E.M. LA LIBERTAD ELIPSOIDE: INTERNACIONAL PROYECCIÓN: UTM ELABORADO EN EL SISTEMA: ARCGIS 10.3 | <p>ESCALA: GRÁFICA</p> |
| | | | <p>FECHA: MAYO 2017</p> |
| | | | <p>ARCHIVO: Factor A.mxd</p> |
| | | | <p>MAPA No.: 1 DE 1</p> |

Figura 17. Pérdida de suelo promedio anual

El factor A se obtuvo a partir de un modelo de simulación desarrollado en "ModelBuidar", del sistema ArcGis, mismo que representa el proceso de erosión. En la figura 18 se muestra el modelo creado, en donde las variables de entrada se representan de color azul, los procesos y/o herramientas implementados se representan de color amarillo, y las variables de salida se representan de color verde.

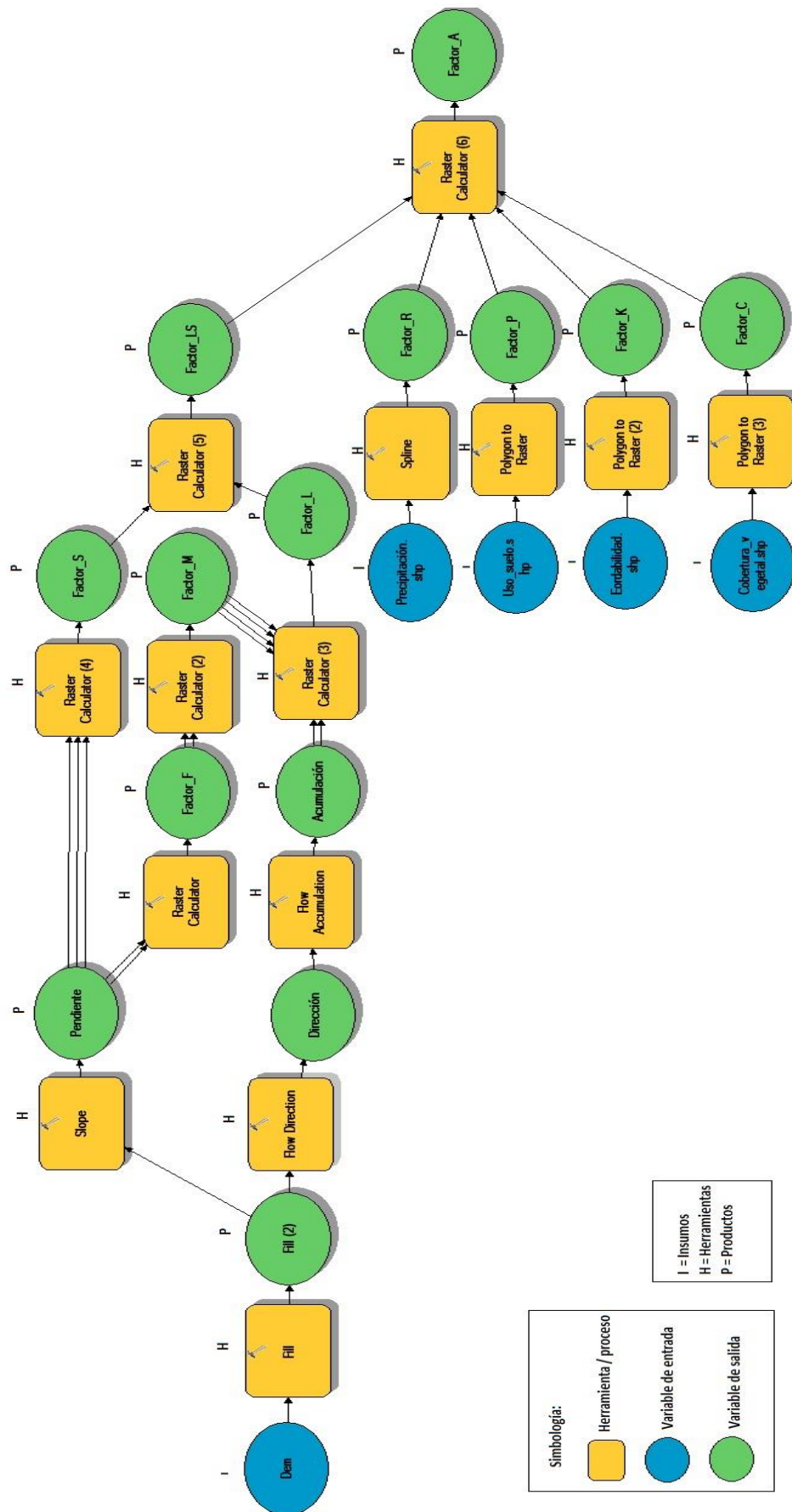


Figura 18. Modelo generado en Model Builder de ArcGis para la obtención del Modelo de Erosión Hídrica

4.5. MODELO DE EROSIÓN EÓLICA

Para realizar el modelo de erosión hídrica se tomó en cuenta cada uno de los factores de la ecuación Universal de Pérdida de Suelo, y se relacionó la información descrita en la figura 19.

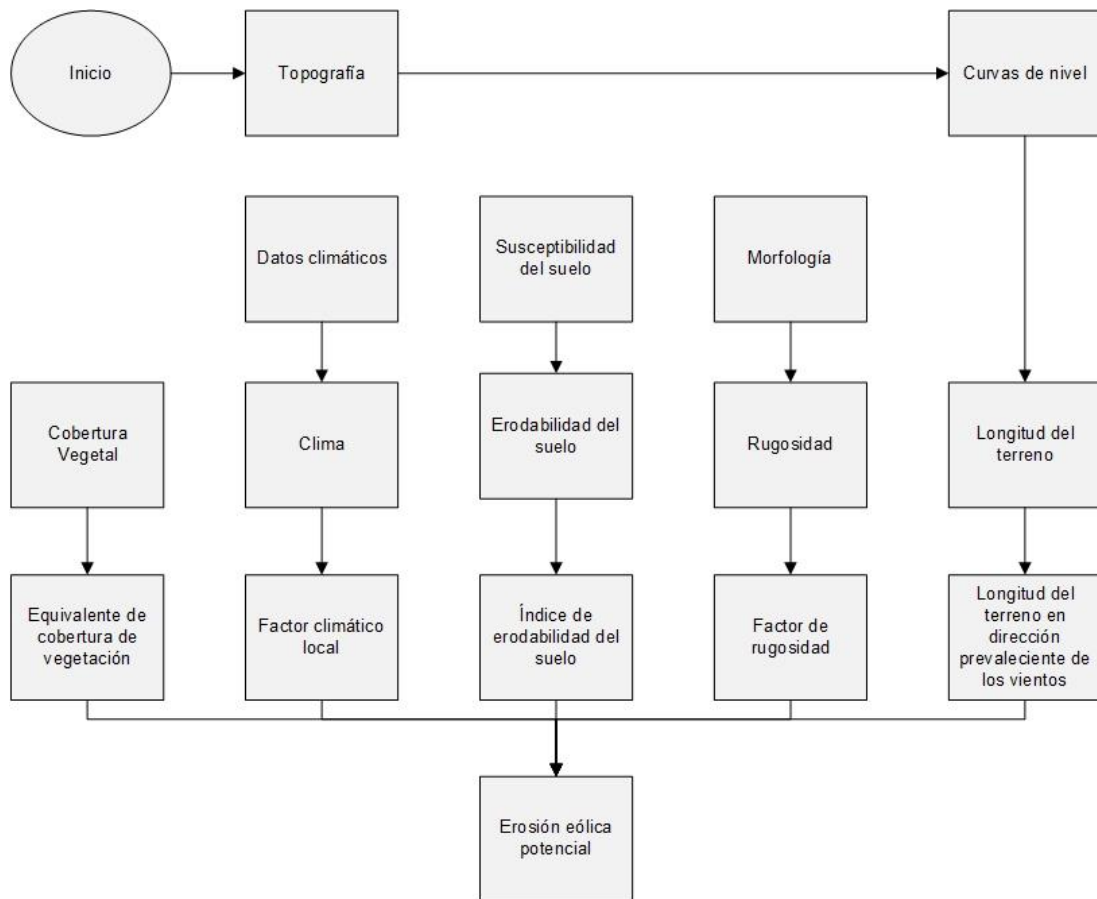


Figura 19. Flujograma del proceso de erosión hídrica

Se tomó como referencia espacial los parámetros establecidos por el IGM, mencionados a continuación:

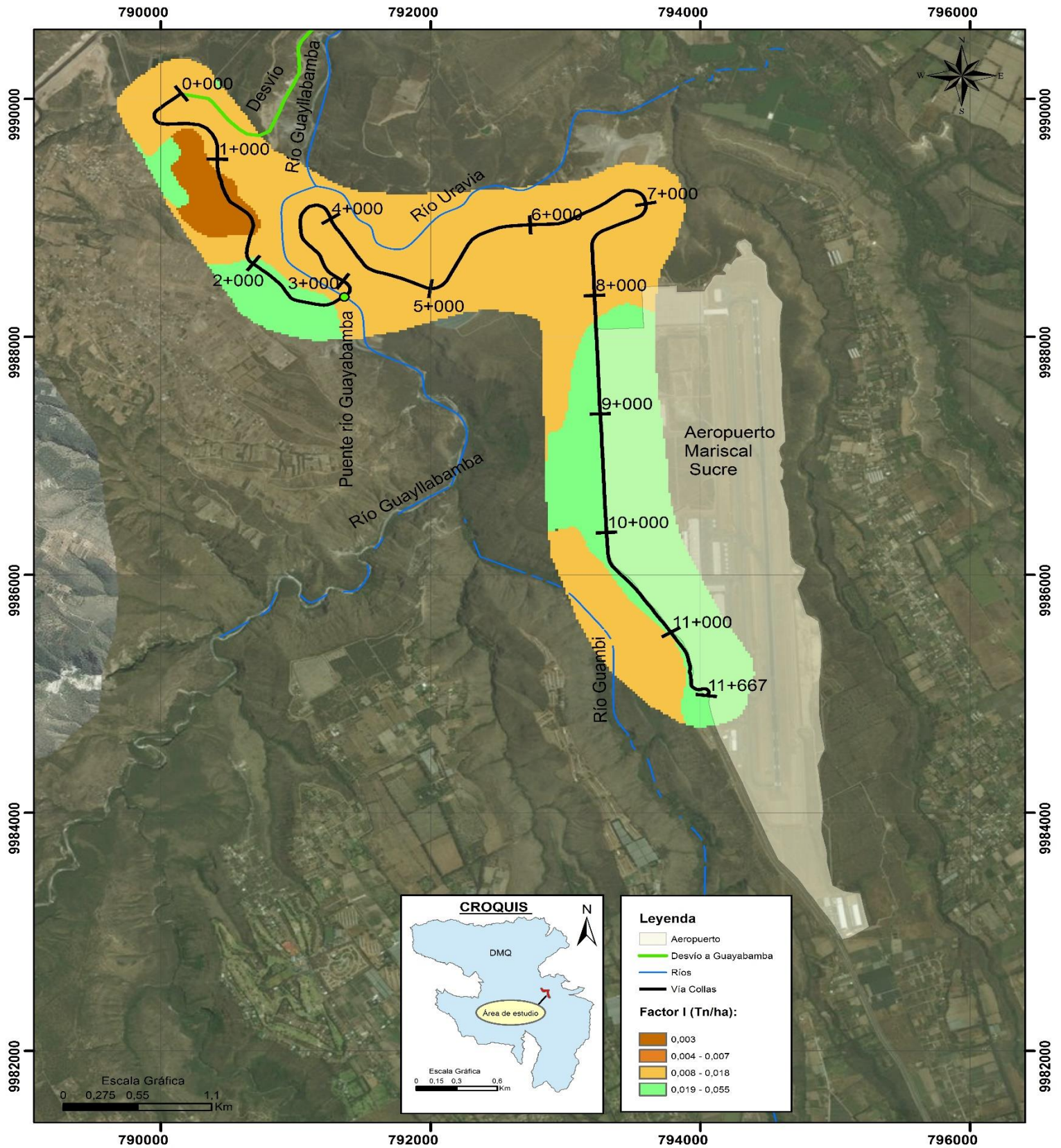
- **Proyección:** Universal Transversal Mercator Zona 17 Sur
- **Datum Horizontal:** World Geodesic System 1984 (WGS 1984)
- **Datum Vertical:** Estación Mareográfica de La Libertad

4.5.1 Factor I (Índice de Erodabilidad del Suelo)

A partir de la capa de erodabilidad del suelo (2013) del MAGAP, se tomó en cuenta las características que presenta el área de estudio en cuanto a erodabilidad (capacidad del suelo a erosionarse), permeabilidad y susceptibilidad de erosión; para determinar los valores del factor I que se expresa en $\frac{Tn}{ha}$ tal como se muestra en la tabla 7 con la relación de los valores, el mapa es mostrado en la figura 20. Del análisis de dicho componente se determina que en el tramo correspondiente a la abscisa 0+000 hasta la abscisa 4+000 ubicado desde el inicio de la vía Collas al kilómetro cuatro se observa la menor cantidad de erodabilidad de la zona principalmente en el abscisado 1+000 hasta el abscisado 2+000, a partir del abscisado 4+000 hasta la abscisa 8+000 se observa la una cantidad de erodabilidad que oscila entre 0.008 hasta 0.018, y del abscisado 8+000 en adelante se puede observar que se tiene una alta cantidad de erodabilidad es decir es más propenso a un proceso erosivo.

Tabla 7. Relación de las variables para determinar el factor I

| Susceptibilidad | Permeabilidad | Tipo suelo | Factor I (Tn/ha) |
|-----------------|---------------|-------------------|------------------|
| Moderada | Alta | Arena | 0,007 |
| Moderada | Media | Arcilloso-arenoso | 0,017 |
| Moderada | Alta | Arena | 0,003 |
| Moderada | Media-baja | Arenoso muy fino | 0,055 |




| | | | |
|--|---|--|------------------------------|
|  <p>UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES</p> <p>DR. ISIDRO GUTIÉRREZ COORDINADOR DE CARRERA APROBÓ</p> <p>ING. MAURICIO VALLADARES DIRECTOR DE TESIS REVISÓ</p> <p>JONATHAN RECALDE TESISTA ELABORÓ</p> | <p>CONTIENE</p> <p>Mapa de factor I</p> | <p>OBSERVACIONES:</p> <p>1. FUENTE DE LA INFORMACIÓN: GOOGLE EARTH</p> <p>2. SISTEMA DE REFERENCIA ESPACIAL DATUM HORIZONTAL: WGS84 DATUM VERTICAL: E.M. LA LIBERTAD ELIPSOIDE: INTERNACIONAL PROYECCIÓN: UTM</p> <p>3. ELABORADO EN EL SISTEMA: ARCGIS 10.3</p> | <p>ESCALA: GRÁFICA</p> |
| | | | <p>FECHA: MAYO 2017</p> |
| | | | <p>ARCHIVO: Factor I.mxd</p> |
| | | | <p>MAPA No.: 1 DE 1</p> |

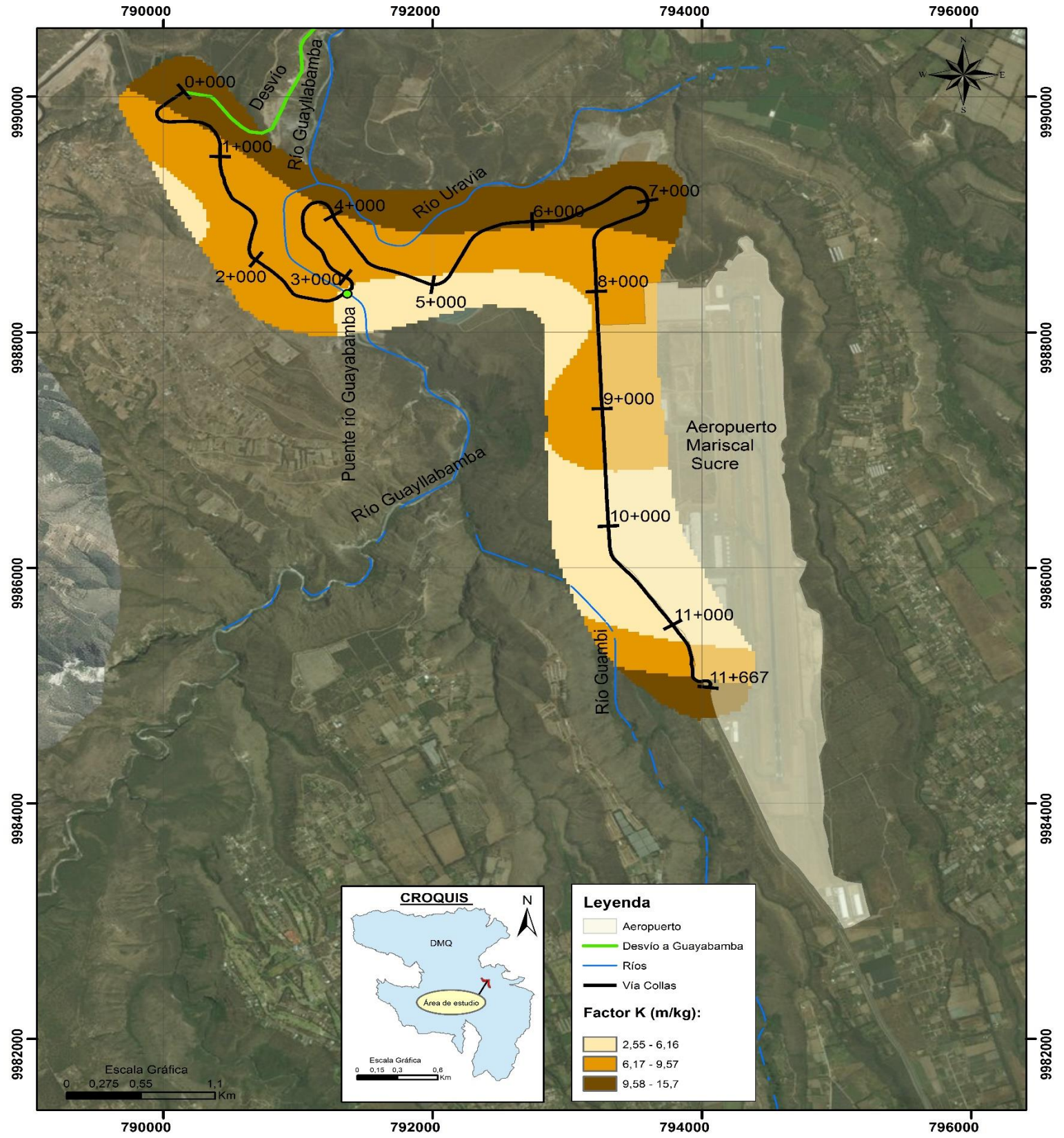
Figura 20. Índice de Erodabilidad del Suelo

4.5.2 Factor K (Factor de rugosidad)

A partir de la capa de rugosidad (2016) del MAGAP, se tomó en cuenta las características que presenta el área de estudio en cuanto a rugosidad (retención de las partículas del suelo a erosionarse); para determinar los valores del factor K que se expresa en $\frac{m}{kg}$ tal como se muestra en la tabla 8 con la relación de los valores, el mapa es mostrado en la figura 21. Del análisis de dicho componente se determina que a lo largo de trazado va a existir tres tipos de rugosidad: ligera, media, alta. Del abscisado 10+000 al abscisado 11+000 una rugosidad baja.

Tabla 8. Relación de las variables para determinar el factor K

| Descripción | Factor K(m/kg) |
|------------------|----------------|
| Rugosidad ligera | 2.55 -6.16 |
| Rugosidad media | 6.17-9.57 |
| Rugosidad alta | 9.58-15.7 |




| | | | |
|---|--|--|------------------------------|
|  <p>UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES</p> | <p>CONTIENE</p> <p>Mapa de factor K</p> | <p>OBSERVACIONES:</p> <ol style="list-style-type: none"> FUENTE DE LA INFORMACIÓN: GOOGLE EARTH SISTEMA DE REFERENCIA ESPACIAL DATUM HORIZONTAL: WGS84 DATUM VERTICAL: E.M. LA LIBERTAD ELIPSOIDE: INTERNACIONAL PROYECCIÓN: UTM ELABORADO EN EL SISTEMA: ARCGIS 10.3 | <p>ESCALA: GRÁFICA</p> |
| | | | <p>FECHA: MAYO 2017</p> |
| | | | <p>ARCHIVO: Factor K.mxd</p> |
| | | | <p>MAPA No.: 1 DE 1</p> |
| <p>DR. ISIDRO GUTIÉRREZ COORDINADOR DE CARRERA APROBÓ</p> | <p>ING. MAURICIO VALLADARES DIRECTOR DE TESIS REVISÓ</p> | <p>JONATHAN RECALDE TESISISTA ELABORÓ</p> | |

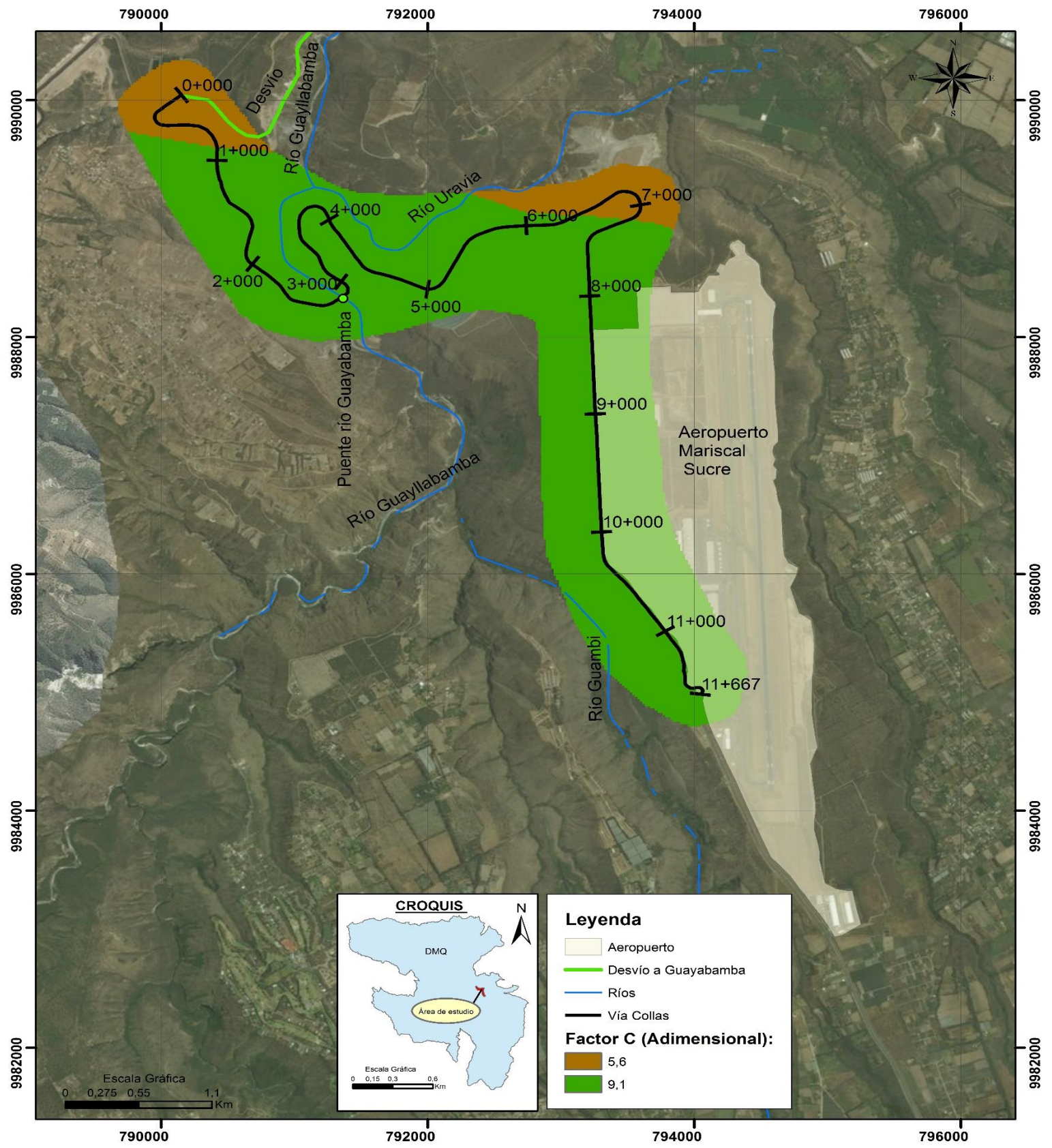
Figura 21. Mapa de factor K (Factor de rugosidad)

4.5.3 Factor C (Factor climático local)

A partir de la capa de tipos de clima (2016) del INAMHI, se tomó en cuenta las características que presenta el área de estudio en cuanto los tipos de clima para determinar el Factor C mostrado en la figura 23. Este factor es adimensional y representa la agresividad del clima en el proceso erosivo), la relación de las variables se muestra en la tabla 9. Del análisis de dicho componente se determina que en el tramo correspondiente a la abscisa 0+000 hasta la abscisa 1+000 ubicado desde el inicio de la vía Collas y del abscisado 6+000 hasta el abscisado 7+000 la vía presenta un clima ecuatorial Mesotérmico seco, en el resto del trazado existe un clima ecuatorial Mesotérmico húmedo.

Tabla 9. Relación de las variables para determinar el factor K

| Factor Climático | Factor C |
|------------------------------------|----------|
| Ecuatorial Mesotérmico semi-húmedo | 9,1 |
| Ecuatorial Mesotérmico seco | 5,6 |

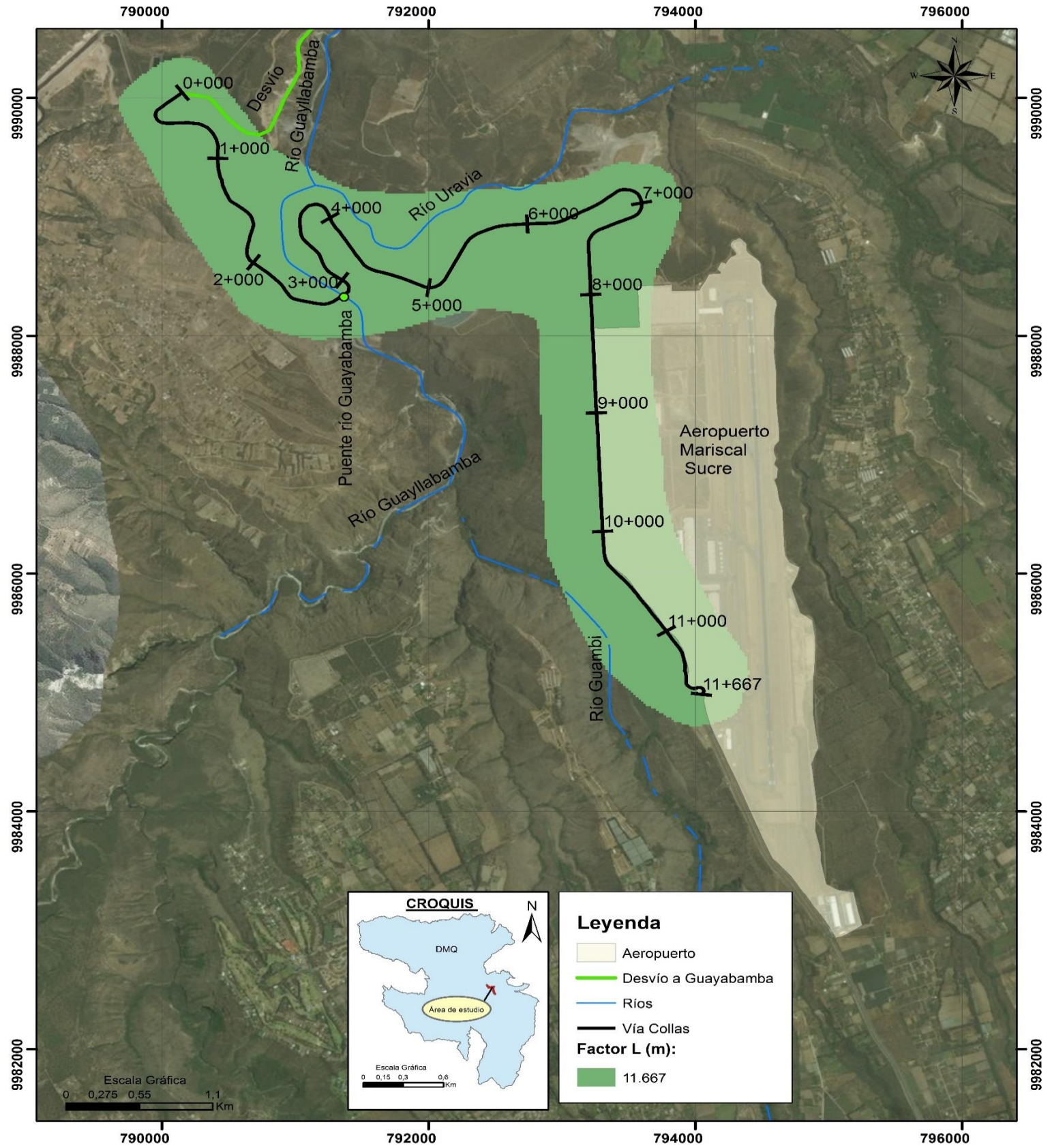


| | | | |
|---|---|--|------------------------------|
| <p>UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES</p> <p>DR. ISIDRO GUTIÉRREZ COORDINADOR DE CARRERA APROBÓ</p> <p>ING. MAURICIO VALLADARES DIRECTOR DE TESIS REVISÓ</p> <p>JONATHAN RECALDE TESISTA ELABORÓ</p> | <p>CONTIENE</p> <p>Mapa de factor C</p> | <p>OBSERVACIONES:</p> <ol style="list-style-type: none"> FUENTE DE LA INFORMACIÓN: GOOGLE EARTH SISTEMA DE REFERENCIA ESPACIAL DATUM HORIZONTAL: WGS84 DATUM VERTICAL: E.M. LA LIBERTAD ELIPSOIDE: INTERNACIONAL PROYECCIÓN: UTM ELABORADO EN EL SISTEMA: ARCGIS 10.3 | <p>ESCALA: GRÁFICA</p> |
| | | | <p>FECHA: MAYO 2017</p> |
| | | | <p>ARCHIVO: Factor C.mxd</p> |
| | | | <p>MAPA No.: 1 DE 1</p> |

Figura 23. Factor climático local

4.5.4 Factor L (Longitud del terreno en dirección prevaleciente de los vientos)

Para determinar la longitud del terreno en dirección prevaleciente de los vientos o factor L mostrado en la figura 24, se tomó en cuenta la capa de la caracterización de la vía Collas, la vía presenta una longitud de 11.667 metros, no se tomó en cuenta la dirección prevaleciente de los vientos debido a que el viento proviene de diferentes direcciones por ello no existe una sola dirección de erosión eólica,.




| | | | |
|--|---|--|------------------------------|
|  <p>UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES</p> <p>DR. ISIDRO GUTIÉRREZ COORDINADOR DE CARRERA APROBÓ</p> <p>ING. MAURICIO VALLADARES DIRECTOR DE TESIS REVISÓ</p> <p>JONATHAN RECALDE TESISISTA ELABORÓ</p> | <p>CONTIENE</p> <p>Mapa de factor L</p> | <p>OBSERVACIONES:</p> <ol style="list-style-type: none"> FUENTE DE LA INFORMACIÓN: GOOGLE EARTH SISTEMA DE REFERENCIA ESPACIAL DATUM HORIZONTAL: WGS84 DATUM VERTICAL: E.M. LA LIBERTAD ELIPSOIDE: INTERNACIONAL PROYECCIÓN: UTM ELABORADO EN EL SISTEMA: ARCGIS 10.3 | <p>ESCALA: GRÁFICA</p> |
| | | | <p>FECHA: MAYO 2017</p> |
| | | | <p>ARCHIVO: Factor L.mxd</p> |
| | | | <p>MAPA No.: 1 DE 1</p> |

Figura 24. Longitud del terreno en dirección prevaeciente de los vientos

4.5.5 Factor V (Equivalente de cobertura de vegetación)

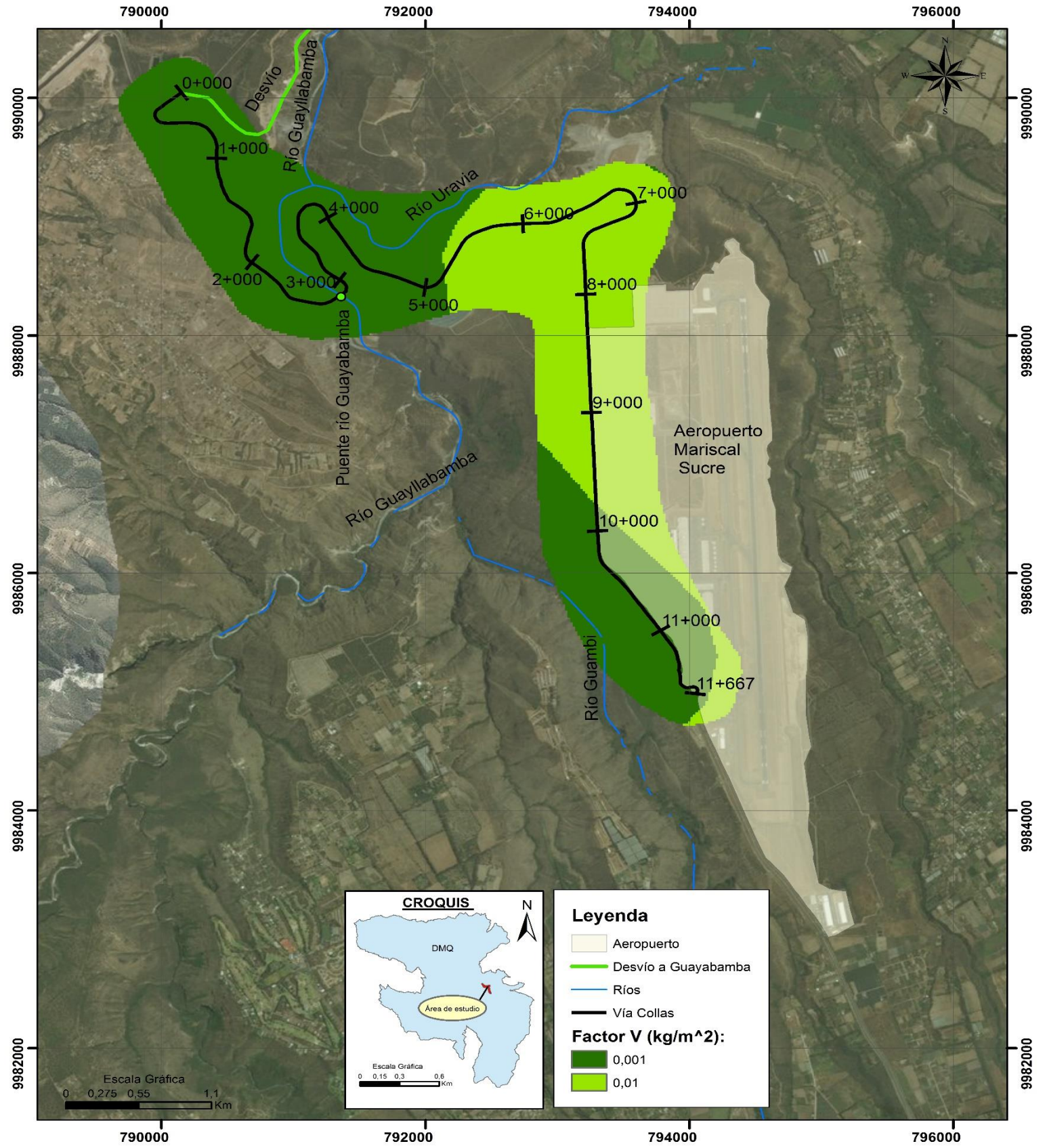
A partir de la capa de cobertura vegetal (2012) del MAGAP mostrado en la figura, se tomó en cuenta las características que presenta el área de estudio en cuanto a cobertura vegetal y permeabilidad dicha relación es mostrada en la tabla 10; para determinar los valores del factor V que es un factor expresado en $\frac{kg}{m^2}$, mostrado en la figura 26. Del análisis de dicho componente se determina que en el tramo correspondiente a la abscisa 0+000 hasta la abscisa 5+000 y entre el tramo 10+000 hasta el abscisado 11+667, existe la presencia de vegetación natural lo que previene una moderada cantidad erosión eólica, mientras que entre el abscisado de 5+000 y el abscisado 10+000 existe cultivos de ciclo corto lo que previene de gran manera el proceso erosivo, además de las geomembranas que se encuentran en la vía tal como muestra la figura 25.

Tabla 10. Relación de las variables para determinar el factor V

| Piso | Cobertura vegetal | Permeabilidad | Factor V (kg/m ²) |
|----------|-------------------------|---------------|-------------------------------|
| Templado | Vegetación natural | Seco | 0,01 |
| Cálido | Cultivos de ciclo corto | Seco | 0,001 |



Figura 25. Geomembranas ubicadas en el kilómetro 5 de la Vía Collas



| | | | |
|---|---|--|------------------------------|
| <p>UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES</p> <p>DR. ISIDRO GUTIÉRREZ COORDINADOR DE CARRERA APROBÓ</p> <p>ING. MAURICIO VALLADARES DIRECTOR DE TESIS REVISÓ</p> <p>JONATHAN RECALDE TESISTA ELABORÓ</p> | <p>CONTIENE</p> <p>Mapa de factor V</p> | <p>OBSERVACIONES:</p> <ol style="list-style-type: none"> FUENTE DE LA INFORMACIÓN: GOOGLE EARTH SISTEMA DE REFERENCIA ESPACIAL DATUM HORIZONTAL: WGS84 DATUM VERTICAL: E.M. LA LIBERTAD ELIPSOIDE: INTERNACIONAL PROYECCIÓN: UTM ELABORADO EN EL SISTEMA: ARCGIS 10.3 | <p>ESCALA: GRÁFICA</p> |
| | | | <p>FECHA: MAYO 2017</p> |
| | | | <p>ARCHIVO: Factor V.mxd</p> |
| | | | <p>MAPA No.: 1 DE 1</p> |

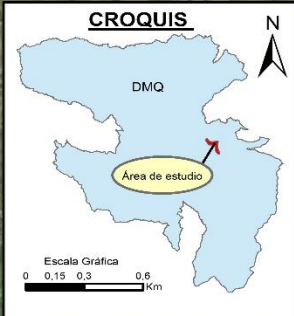
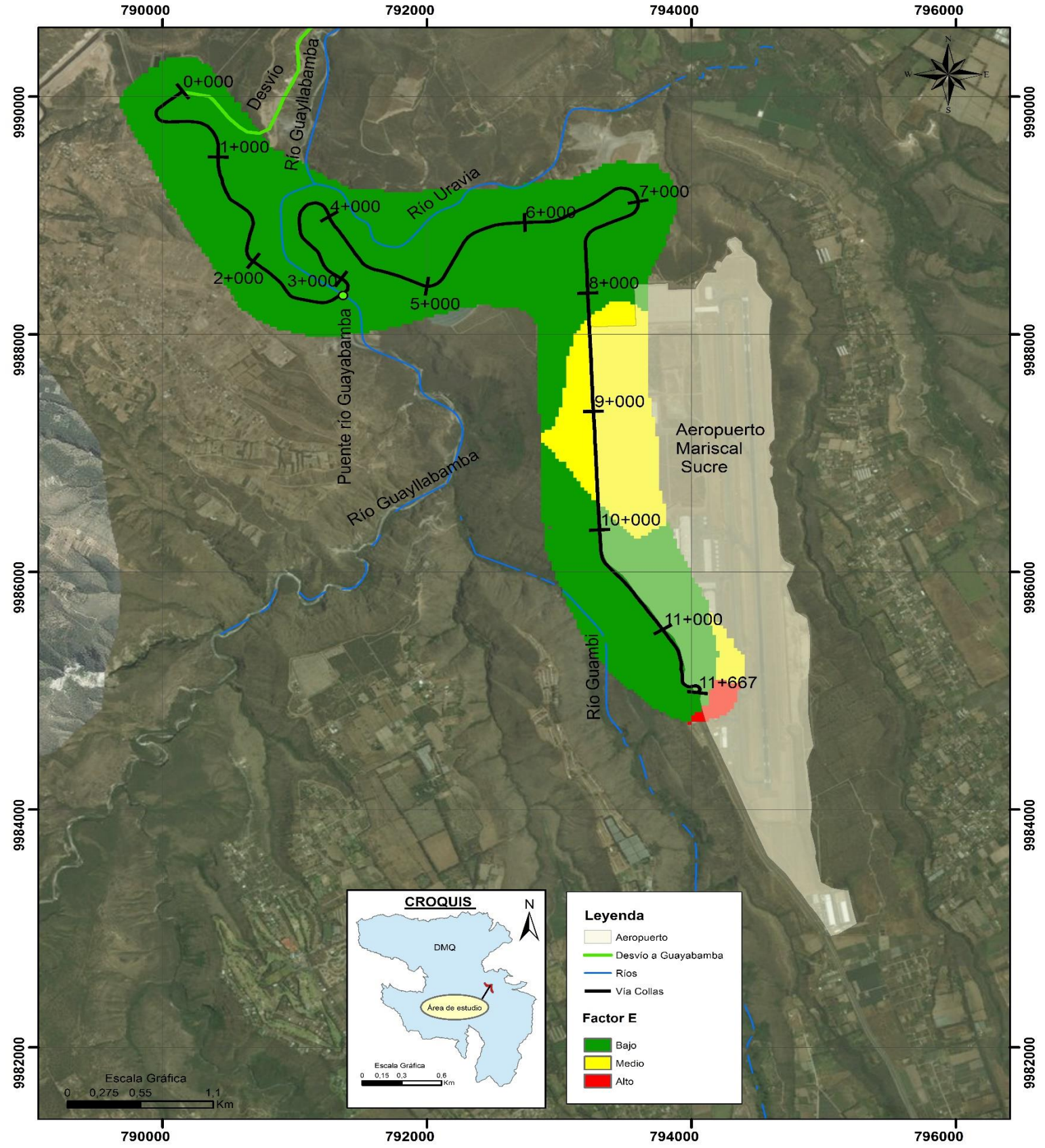
Figura 26. Equivalente de cobertura de vegetación

4.5.6 Factor E (Erosión eólica potencial)

Luego de obtener cada uno de los factores de la ecuación de erosión eólica, que determina la cantidad de erosión eólica la cual esta expresada en $\frac{tn}{ha*año}$. Se observa en mapa de erosión eólica potencial donde se establecen los niveles de erosión, que este caso como se presenta en la figura 27, la perdida de suelo por efecto de los vientos va a tener una afectación media entre el abscisado 9+000 hasta el abscisado 11+000, y un nivel medio-alto de erosión eólica fuera de la vía debido a la falta de geomembranas y estabilización de taludes aumentando el proceso erosivo producido por los fuertes vientos de la zona. En la tabla 11 se muestra la relación de los valores de erosión eólica.

Tabla 11. Relación de las variables para determinar el factor E

| Descripción | Factor E (Tn/ha*año) |
|-------------|----------------------|
| Baja | 0 - 0.022 |
| Media | 0,023 - 0.68 |
| Alta | 0,59 - 3.00 |



Leyenda

- Aeropuerto
- Desvío a Guayabamba
- Ríos
- Via Collas

Factor E

- Bajo
- Medio
- Alto

| | | | |
|---|------------------------------|--|---|
| <p>UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA EQUINOCCIAL FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA E INDUSTRIAS CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y MANEJO DE RIESGOS NATURALES</p> <p>DR. ISIDRO GUTIÉRREZ COORDINADOR DE CARRERA APROBÓ</p> <p>ING. MAURICIO VALLADARES DIRECTOR DE TESIS REVISÓ</p> <p>JONATHAN RECALDE TESISTA ELABORÓ</p> | CONTIENE Mapa de factor E | OBSERVACIONES: 1. FUENTE DE LA INFORMACIÓN: GOOGLE EARTH 2. SISTEMA DE REFERENCIA ESPACIAL DATUM HORIZONTAL: WGS84 DATUM VERTICAL: E.M. LA LIBERTAD ELIPSOIDE: INTERNACIONAL PROYECCIÓN: UTM 3. ELABORADO EN EL SISTEMA: ARCGIS 10.3 | ESCALA: GRÁFICA FECHA: MAYO 2017 ARCHIVO: Factor E.mxd MAPA No.: 1 DE 1 |
|---|------------------------------|--|---|

Figura 27. Erosión potencial eólica

El factor E se obtuvo a partir de un modelo de simulación desarrollado en "ModelBuidier", del sistema ArcGis, mismo que representa el proceso de erosión. En la figura 28 se muestra el modelo creado, en donde las variables de entrada se representan de color azul, los procesos y/o herramientas implementados se representan de color amarillo, y las variables de salida se representan de color verde.

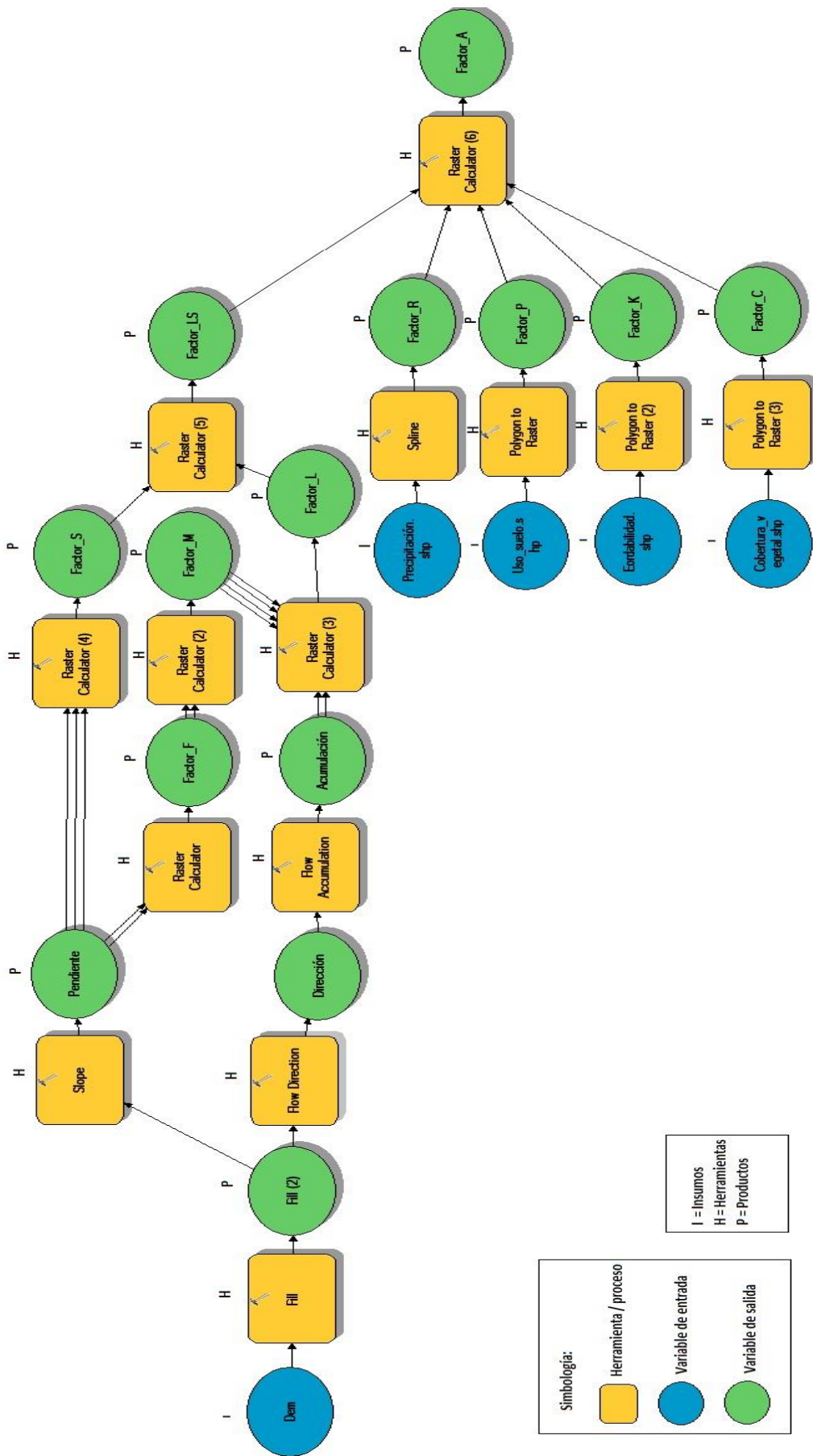


Figura 28. Modelo generado en Model Builder de ArcGis para la obtención del Modelo de Erosión Eólica

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

1. La erosión hídrica es producida principalmente por la energía cinética de las precipitaciones y el agua que circula por la superficie desprendiendo partículas del suelo, a lo largo del trazado no se presenta una mayor afectación dentro de la vía gracias a las características que posee ya que se realizaron trabajos de estabilización de taludes, y se pusieron geomembranas que minimizan el impacto producido por la erosión hídrica.
2. La erosión eólica es uno de los principales problemas erosivos, en el caso de la vía producirá afectaciones a largo plazo si no se toma precauciones debido a la presencia de fuertes vientos en la zona. Sin embargo, son muy pocas las investigaciones de erosión eólica en el país, por la dificultad en su representación, además de la escasez de datos para su simulación.
3. Los sistemas de información geográfica SIG permitieron realizar un estudio de erosión, de la vía Collas, gracias a sus herramientas de análisis. La generación de los modelos conlleva al uso de distintos factores, por tal motivo presentan limitaciones y variaciones continuas de las variables al representar estos procesos erosivos; por ello fue pertinente implementar la utilización del “Model Builder” del sistema ArcGIS para la automatización de los procesos.

5.2 RECOMENDACIONES

1. Para la simulación del proceso de erosión hídrica es recomendable usar la ecuación Universal de Perdida de suelo, debido a que ya existen estudios sobre el proceso, además de condiciones estándares que facilitan la obtención de datos con el fin de orientar a prácticas de conservación de un área específica.
2. La erosión eólica presenta muchas complicaciones debido a la falta de información, además de que es un proceso muy complejo. Por lo que no se recomienda utilizar la ecuación de erosión eólica por lo complejo que resulta la obtención de los datos, algunas restricciones dentro del proceso erosivo y la constante variación de los vientos.
3. Se recomienda usar Sistemas de Información Geográfica y Modelos de Simulación en estudios de interés, ya que permiten la organización, gestión, análisis y simulación de datos, lo que ayuda a la representación de procesos muy complejo dentro de la naturaleza.

6. BIBLIOGRAFÍA

6. BIBLIOGRAFÍA

- ArcGIS. (03 de 04 de 2016). <http://desktop.arcgis.com/>. Obtenido de <http://desktop.arcgis.com/es/desktop/managedata/raster-and-images/raster-bands.htm>
- ArcGIS PRO. (10 de Febrero de 2017). *ArcGIS for desktop*. Obtenido de Vista general de la caja de herramientas: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-statistics-toolbox/an-overview-of-the-spatial-statistics-toolbox.htm>
- Azarang M. & Garcia E. (2014). *Simulación y análisis de modelos estocásticos*. México: Mc. Graw Hill.
- C.A. Jones, R.H. Griggs, J.R. Williams y R. Srinivasan. (26 de junio de 2016). *Predicción de la erosión hídrica y eólica del suelo*. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S03.htm#Predicci%C3%B3n%20de%20la%20erosi%C3%B3n%20h%C3%ADdrica%20y%20e%C3%B3lica%20del%20suelo>
- Cisneros J., Cholaky C., Cantero A, González J. (2012). *Erosión hídrica: Principios y técnicas de manejo*. Río Cuarto: UniRío editora.
- Colloti, E. (1999). La erosividad: cualidad de la lluvia poco conocida. Caracas: Terra Nueva XV Edición. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72102406>
- Coss, R. (1981). *Simulación un enfoque práctico* . Limusa.
- Daniel E. Buschiazzo & Silvia B. Aimar. (2000). *Erosión eólica procesos y predicción*. S.F.
- Díaz, J. (2014). *Análisis de erosión de suelo*. Services in Geographic Information Systems (GIS). Obtenido de <https://www.youtube.com/watch?v=gFKHDa0dHfo&t=306s>
- Echeverría, N., & Silenzi, A. V. (2006). *Erodabilidad de los suelos del sur de la región semiárida Argentina*. Bahía Blanca: Universidad Nacional del Sur.
- ESRI. (25 de Enero de 2017). *ArcGIS Resources*. Obtenido de ¿Qué es ArcGIS?: <http://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n00000014000000.htm>

- Fernández, E. (2012). *Ejemplos de aplicación del ModelBuilder de ArcGIS 10 en la gestión forestal*. Obtenido de http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/4164/3/TFM_EmmanuelFGarcia.pdf
- Geovial. (2011). *Vía de acceso al nuevo Aeropuerto de Quito. Estudio de Impacto Ambiental*. Quito.
- Hernández, D. (2006). *Introducción a la fotogrametría digital*. España: La Mancha. Obtenido de http://www.sitopcar.es/modelos/descargas/manuales/Introduccion_Fotogrametria_Digital.pdf
- INAMHI. (15 de 12 de 2016). *Ecuador ama la vida*. Obtenido de Geoinformación Hidrometeorológica: <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/geoinformacion-hidrometeorologica/>
- Ingeniería y soluciones geográficas. (2012). *Componentes de un SIG*. Obtenido de <http://ingeosolutions.blogspot.com/2012/01/los-componentes-de-un-sig.html>
- Instituto Geográfico Militar. (11 de 12 de 2016). *Geodescargas*. Obtenido de Capas de Información Geográfica básica del IGM de libre acceso.: <http://www.geoportalign.gob.ec/portal/index.php/cartografia-de-libre-acceso-escala-50k/>
- Kapetsky, J. M. (2009). *Sistemas de información geográfica, sensores remotos y mapeo para el desarrollo y la gestión de la acuicultura marina*. Roma: Organización para la agricultura y alimentación de las Naciones Unidas.
- Matellanes R.; Quesada L. & Muñoz D. (16 de 04 de 2017). *GeoInnova*. Obtenido de Geoprocesos con ModelBuilder: <https://geoinnova.org/blog-territorio/tutorial-arcgis-geofasciculo-25-geoprocesos-con-modelbuilder/>
- Miliarium.com. (18 de 12 de 2016). *Ingeniería Civil y de medio Ambiente*. Obtenido de MODELO DE LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELOS: <http://www.miliarium.com/prontuario/medioambiente/suelos/Rusle.htm>
- MTOP. (2012). *Ruta Collas-Nuevo Aeropuerto Tababela*. Quito.
- Pérez, Á. M. (2008). *Sistemas de Información Geográfica Modelos y Simulación*. Badajoz-España: Universidad de Extremadura.

- Pérez, D. (2007). *Introducción a los Sensores Remotos-aplicación en Geología*. Buenos Aires: Laboratorio de Tectónica Andina.
- Pinilla, C. (02 de 04 de 2017). *Sensores de Teledetección: los ojos de los satélites*. Obtenido de <http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material121/unidad3/sensores.htm>
- Real Academia Española. (04 de febrero de 2017). *Diccionario de la lengua española | Edición del Tricentenario*. Obtenido de <http://dle.rae.es/?id=Gu89KMq>
- SENPLADES. (2013). *Plan Nacional del Buen Vivir*. Quito.
- SENPLADES. (08 de 12 de 2016). *Archivos de Información Geográfica*. Obtenido de <http://sni.gob.ec/coberturas>
- Smith & Wischmejer. (1978). *Ecuación Universal Revisada de pérdida de suelo*.
- Suárez, J. (2002). En *Capítulo 1. Nomenclatura y Análisis de Movimientos. En Deslizamientos: Análisis Geotécnico* (pág. 3). Colombia.
- Wischmejer, W. & Smith, D. (1978). *Manual de agricultura. Predicción de la erosión*. Departamento de los Estados Unidos.
- Woodruff, N.P. & Siddoway, F.H. (1965). *Una ecuación de la erosión eólica*.