

CLASIFICACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO GUABAS CON APOYO DE HERRAMIENTAS GEOMÁTICAS.



CLASIFICACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A EROSIÓN HÍDRICA EN LA
CUENCA DEL RÍO GUABAS CON APOYO DE HERRAMIENTAS GEOMÁTICAS

RICARDO ANDRES COCUYAME R.
DIDIER SALAZAR QUINTERO



UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA
INGENIERÍA TOPOGRÁFICA
SANTIAGO DE CALI
2015

CLASIFICACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD A EROSIÓN HÍDRICA EN LA
CUENCA DEL RÍO GUABAS CON APOYO DE HERRAMIENTAS GEOMÁTICAS.

RICARDO ANDRES COCUYAME R.
DIDIER SALAZAR QUINTERO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar por el título de:

Ingeniero Topográfico

DIRECTORA:
OLGA LUCIA BAQUERO M.
M. SC.



UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA
INGENIERÍA TOPOGRÁFICA
SANTIAGO DE CALI
2015

Nota de aceptación:

Firma del director

Firma del evaluador

Firma del evaluador

Santiago de Cali, Junio de 2015

DEDICATORIA

A Dios.

Por habernos permitido llegar hasta este punto y darnos la salud para lograr nuestros objetivos, además de su infinito conocimiento, sabiduría, misericordia y amor.

A nuestras familias.

Por ser el pilar fundamental en todo lo que somos, en toda nuestra educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

¡Todo este trabajo ha sido posible gracias a ellos!

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos de manera muy especial a nuestra alma mater, la Universidad del Valle, por ofrecernos los conocimientos y metodologías para llevar a cabo este logro profesional. Y por enriquecernos en nuestras vidas personales, con su gran diversidad cultural.

A nuestra directora de tesis, Olga Lucia Baquero Montoya, por el esfuerzo y compromiso. Sus conocimientos, sus orientaciones, su paciencia y persistencia han sido fundamentales para nuestra formación como personas y luego como profesionales.

A nuestros amigos, personas extraordinarias, que en el transcurso de la carrera nos dieron su apoyo y afecto absoluto en nuestra formación personal y profesional, Damos gracias a Dios por su permanecía en nuestras vidas.

A la Ingeniera Agrícola Constanza Banguero Sánchez, funcionara de la CVC, y el Ingeniero Agrícola Aldemar Reyes Trujillo, profesor de la Universidad del Valle, por brindarnos el tiempo, sus consejos y conocimientos en el transcurso de este documento.

Y finalmente a la entidad Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC, por suministrarnos la información necesaria para la realización de nuestra tesis.

Tabla de Contenido

INTRODUCCIÓN.....	11
1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.	12
2. OBJETIVOS.....	12
2.1 GENERAL	12
2.2 ESPECÍFICOS	12
3. JUSTIFICACIÓN	13
4. MARCO REFERENCIAL	13
4.1 MARCO CONCEPTUAL.....	13
4.1.1 LA EROSIÓN.....	13
4.1.2 EROSIÓN HÍDRICA.	15
4.1.3 ESTIMACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE SUELO POR EROSIÓN.	17
4.1.4 ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO (USLE).	19
4.1.5 HERRAMIENTAS GEOMÁTICAS.....	24
4.2 ANTECEDENTES	26
5. ZONA DE ESTUDIO Y MATERIALES.	29
5.1 LOCALIZACIÓN Y RASGOS GENERALES DE LA CUENCA.	29
5.2 MATERIALES.....	31
6. DESARROLLO DEL PROYECTO.....	32
6.1 METODO PARA CLASIFICAR Y ZONIFICAR LA SUSCEPTIBILIDAD DE EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO GUABAS.....	32
6.1.1 ÍNDICE TOPOGRÁFICO LS.	33
6.1.2 ÍNDICE POTENCIAL DE DEGRADACIÓN.....	34
6.1.3 ÍNDICE DE PRÁCTICAS DE MANEJO	36
6.2 RESULTADOS	37
6.2.1 REVISIÓN, SELECCIÓN Y CORRECCIÓN DEL MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN (DEM) DE LA CUENCA PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE TOPOGRÁFICO.....	38
6.2.2 CARACTERIZAR EL USO DE SUELO EN LA CUENCA Y CONSTRUIR EL ÍNDICE DE PRÁCTICAS DE MANEJO Y EL ÍNDICE POTENCIAL DE DEGRADACIÓN.....	42
6.2.3 CARTOGRAFÍA DE UNIDADES DE FRAGILIDAD Y SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN.	57
7. DISCUSIÓN	62
8. CONCLUSIONES.....	63

9. RECOMENDACIONES Y LIMITACIONES.....	64
BIBLIOGRAFÍA.....	65
ANEXOS	69
Anexo A	70
Anexo B	71

Índice de Figuras

Figura 1 Proceso de la erosión hídrica	15
Figura 2 Nomograma de Wischmeier.	22
Figura 3 Síntesis del proceso metodológico.	29
Figura 4 Localización de las áreas de drenaje de la cuenca.	31
Figura 5 Modelo metodológico propuesto	32
Figura 6 Modelo digital de elevación.....	39
Figura 7 Flujograma del cálculo del índice topográfico	40
Figura 8 Mapa de pendiente en grados.	40
Figura 9 Índice topográfico.	41
Figura 10 Flujograma del cálculo del índice potencial de degradación	42
Figura 11 Porcentaje de los valores de precipitación de las estaciones.....	43
Figura 12 Interpolación método IDW.	45
Figura 13 Interpolación método Spline.	45
Figura 14 Exploratorio de datos.....	46
Figura 15 Mapa erosividad de la lluvia.	47
Figura 16 Mapa de suelos de la Cuenca de Guabas.....	48
Figura 17 Mapa factor de erodabilidad	52
Figura 18 Índice potencial de degradación.....	53
Figura 19 Flujograma del cálculo del índice prácticas de manejo	54
Figura 20 Mapa uso actual del suelo.	55
Figura 21 Mapa factor de cobertura por manejo de cultivo.....	56
Figura 22 Índice de prácticas de manejo.	57
Figura 23 Mapa de fragilidad a la erosión.....	58
Figura 24 Mapa de riesgo de erosión potencial.....	59
Figura 25 Zonificación de la susceptibilidad por erosión hídrica.	61
Figura 26 Mapa de clasificación y zonificación de la susceptibilidad por erosión hídrica.....	61

Índice de Tablas

Tabla 1 Modelos para estimar las pérdidas de suelo por erosión hídrica.	18
Tabla 2 Área de drenaje definidas en la cuenca.	30
Tabla 3 Principales valores del Factor C (Ludger Reining, 1992).	36
Tabla 4 Principales valores del Factor C (Publicado por la USDA).	37

Tabla 5 Principales valores del Factor C.....	37
Tabla 6 Clasificación de Pendientes.	41
Tabla 7 Factor R para los suelos de la Cuenca.	43
Tabla 8 Valores del código USDA para la estructura del suelo.	49
Tabla 9 Valores del código USDA para la permeabilidad del suelo.	49
Tabla 10 Factor K para los suelos de la Cuenca.	50
Tabla 11 Relación carbono y materia orgánica.....	51
Tabla 12 Factor C para los suelos de la Cuenca.	55
Tabla 13 Clases e indicadores de erosión del suelo.....	60
Tabla 14 Grado de erosión, área y porcentaje de ocupación.....	60

RESUMEN

Un proceso significativo en el territorio del Valle del Cauca, es el fenómeno de la erosión hídrica, originada por la acción del agua sobre el suelo libre de coberturas y la escasa aplicación de prácticas de conservación de suelos. Dado a que se presentan prácticas de manejo inadecuadas estas aceleran la pérdida en la estructura del suelo, generando menor permeabilidad, baja resistencia del subsuelo e inestabilidad de los agregados. Convirtiéndose en suelos altamente susceptibles, amenazando la productividad agrícola y la calidad de los suelos.

La erosión hídrica es estudiada por medio de la implementación de un modelo matemático empírico para el cálculo de la pérdida de suelo USLE, utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG) para su eficaz manipulación, procesamiento y representación de la variabilidad espacial, por medio del cual se facilita conocer la dinámica ambiental de este fenómeno. Los resultados del análisis de susceptibilidad sugieren que en la zona de estudio el mayor valor de erosión es 82,72% asociado a erosión ligera, debido a los suelos, las precipitaciones y el relieve.

La clasificación y zonificación de la susceptibilidad de erosión hídrica en la cuenca del Río Guabas, se convierte en un indicador esencial que permitirá estimar el alcance del deterioro del suelo para diseñar planes de manejo y conservación de suelos dirigidos a mitigar dicho proceso.

Palabras claves: Erosión hídrica, pérdida de suelo, USLE, SIG.

INTRODUCCIÓN

La degradación del territorio colombiano por erosión y sedimentación es un fenómeno de amplias repercusiones económicas, sociales y ecológicas. Las causas son los factores naturales y antrópicos, acentuada por la actividad social desordenada, que cada día se hace más crítica, debido al conflicto entre el uso que el hombre hace de su entorno ambiental y las potencialidades que éste le brinda (Pérez, 2001). En nuestro país ocurren procesos naturales que favorecen a los procesos erosivos como lo son las fuertes lluvias que se presentan y la presencia de altas pendientes en las zonas montañosas favoreciendo la erosión hídrica que convierten el terreno en áreas erosionadas y además están siendo acelerados por la sobreexplotación en el manejo de los recursos naturales como suelo, agua, fauna y flora principalmente (De la Cruz, S F).

En la cuenca del Río Guabas (Valle del Cauca) se presentan prácticas de manejo inadecuadas que se están sumando a los procesos naturales de la cuenca, acelerando la degradación del suelo en la zona. Lo que hace necesario estimar la pérdida del suelo debido a la erosión hídrica en la cuenca, y de esta manera contar con un producto como indicador de este proceso.

Para calcular la pérdida del suelo, se emplea de la ecuación Pérdida Universal de Suelo (USLE), la cual se le agrupa en tres índices, con el fin de adecuarla para un análisis de los factores que se usan en la ecuación. Utilizando para ello un modelo digital de elevación (DEM), datos geográficos como usos de suelo, suelos, entre otros y datos de numéricos como precipitación media mensual, características físicas de los suelos, etc. Todo esto apoyado mediante el manejo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) como herramienta geomática.

Para finalmente construir cartografía que clasifique y zonifique la susceptibilidad por erosión hídrica, las cuales crean una alternativa importante para la toma de decisiones en las prácticas de manejo de suelos y de esta manera contar con un producto indicador de la pérdida del suelo, que será de utilidad a las entidades ambientales como soporte para la elaboración de planes de manejo del suelo, buscando evitar la pérdida progresiva de este recurso.

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

La falta de planificación en el uso del suelo, sumado con el uso de prácticas de manejo inadecuadas provoca la degradación acelerada de los suelos. Uno de los procesos que contribuyen significativamente con este fenómeno es la erosión hídrica, originada por la acción del agua sobre el suelo libre de coberturas.

Debido que este proceso de degradación es irreversible y generalmente intensivo, agravado por factores tecnológicos, sociales y económicos, toma gran importancia en la cuenca del Río Guabas (Valle del Cauca), la cual presenta pendientes altas en la zona montañosa, constituyéndose en un problema grave, que provoca una pérdida en la estructura del suelo, reduce permeabilidad, débil resistencia del subsuelo e inestabilidad de los agregados. Convirtiéndose en suelos altamente susceptibles a la erosión, amenazando la productividad agrícola y la calidad de los suelos, debido a la alta presión sobre la tierra, manejo inadecuado y a la escasa aplicación de prácticas de conservación de suelos.

Teniendo en cuenta lo anterior, para evaluar la susceptibilidad por erosión hídrica en la cuenca del Río Guabas, se propone el uso de la ecuación de Pérdida Universal de Suelo a través del manejo de herramientas Geomáticas (Sistemas de información Geográfica), por medio del cual se determinan los factores de erosividad, erodabilidad, topografía y cubierta vegetal, los cuales componen la ecuación, representándolos por medio de índices. Considerándose entonces importantes para la toma de decisiones en las prácticas de manejo de suelos en los sistemas de producción o de conservación, y así contar con un producto indicador generado por la susceptibilidad.

2. OBJETIVOS.

2.1 GENERAL

Clasificar y zonificar la susceptibilidad a erosión hídrica en la cuenca del Río Guabas con apoyo de herramientas geomáticas.

2.2 ESPECÍFICOS

- Revisión, selección y corrección del modelo digital de elevación (DEM) de la cuenca para el cálculo del índice topográfico.
- Caracterizar el uso de suelo en la cuenca, construir el índice de prácticas de manejo y el índice potencial de degradación.
- Generar el mapa de fragilidad a la erosión en la cuenca del Río Guabas.
- Realizar una zonificación de la susceptibilidad del suelo por erosión hídrica en la cuenca del Río Guabas.

3. JUSTIFICACIÓN

Clasificar y zonificar la susceptibilidad por erosión hídrica en la cuenca del Río Guabas es como indicador útil para estimar el deterioro del suelo y necesario para diseñar planes de manejo que amortigüen este proceso empleando herramientas geomáticas, que posibilitan la simulación de condiciones presentes en la cuenca del Río Guabas mediante la aplicación de índices, y obtención de resultados confiables.

Los Sistemas de Información Geográfica, permitirán generar, manipular, integrar y realizar un análisis complejo de la información relacionada con suelos, pendientes, erosividad, erodabilidad, lluvia, etc., la cual es almacenada para su posterior chequeo, integración, manipulación, análisis y despliegue de datos espaciales y alfanuméricos.

Esta información permite identificar y evaluar los factores más importantes que intervienen en el proceso de erosión hídrica, así como contribuir al desarrollo de prácticas que ayuden a la conservación del suelo. Permitiendo a las entidades ambientales, municipales y departamentales tener un soporte para elaborar planes que orienten a un mejor uso y sistema de manejo de los suelos, buscando evitar las pérdidas de este recurso o en su defecto mantenerlas dentro de rangos tolerables.

4. MARCO REFERENCIAL

4.1 MARCO CONCEPTUAL.

4.1.1 LA EROSIÓN.

La erosión es un proceso físico de desgaste que ocurre en la superficie de la tierra y modifica constantemente el rostro del paisaje. Este fenómeno es causado principalmente por la acción de los factores físicos y acelerado por la intervención inadecuada del hombre (Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC, 2013).

La erosión geológica o natural es causada por el agua, lluvia, viento, la temperatura y la gravedad; pero también se encuentra la erosión acelerada o antrópica proporcionada por el hombre al romper el equilibrio entre el agua, el suelo y la vegetación (Ramírez, 2006). La erosión del suelo causada por el agua se produce en tres etapas: 1) Las partículas de suelo son desprendidas por el impacto de las gotas de lluvia o por la acción del agua de escorrentía; 2) éstas partículas desprendidas son arrastradas ladera abajo por la corriente de agua; y 3) las partículas de suelo quedan depositadas en nuevos lugares. (Ramírez, 2006).

TIPOS DE EROSIÓN

Fundamentalmente, se reconocen dos tipos de erosión: la erosión natural y la erosión antrópica o causada por el hombre. A su vez, la erosión natural se subdivide en erosión pluvial y erosión eólica.

La Erosión Natural

La erosión pluvial: Una gota de agua es aproximadamente 1000 veces más grande que una partícula de suelo. Por lo tanto, la fuerza del impacto de una sola gota de lluvia es suficiente para dispersar y arrastrar las partículas de suelo que encuentre a su paso. Así se inicia la erosión pluvial.

Al comienzo de una lluvia, millones de gotas golpearán el suelo y arrastrarán sus partículas. Si la lluvia continúa, el agua se juntará sobre la superficie y aumentará la velocidad con la que escurre; se formará una red de pequeños canales que, al unirse, irán formando otros más grandes, que luego se transformarán en surcos, zanjas y, finalmente, en zanjones muy grandes llamados “cárcavas”.

La erosión eólica: El viento, al abanicar con fuerza, levanta las partículas de suelo y las moviliza en distintas direcciones. En ocasiones, a través de un proceso lento, pero persistente, puede llegar a producir concavidades o depresiones que alcanzan varios metros de diámetro, o a formar dunas de polvo o arena sobre los terrenos productivos.

La Erosión Antrópica o causada por el hombre

Las prácticas agropecuarias, particularmente la agricultura intensiva, implementadas por el hombre fomentan la erosión. Entre las más frecuentes, tenemos

1. La realización de cultivos en cerros o terrenos inclinados, haciendo la labranza en el mismo sentido de la pendiente.
2. La sobrecarga de un potrero con animales, lo que se traduce en la pérdida de su capacidad para regenerar hierba o pasto. Sumado a la compactación superficial del suelo lo que disminuye la capacidad de infiltrar agua y aumenta la escorrentía.
3. La eliminación de vegetación en suelos de aptitud forestal, ya sea por medios mecánicos químicos o usando las quemadas forestales.

Todas estas prácticas crean las condiciones para que el agua y el viento arrastren las capas fértiles del suelo e incluso provoquen daños a mayor profundidad, por escurrimiento o infiltración acelerada.

4.1.2 EROSIÓN HÍDRICA.

Se define como la pérdida progresiva de los componentes del suelo como consecuencia de la dispersión de sus agregados, los cuales son arrastrados por el agua hasta lugares más bajos, contribuyendo a la degradación del suelo y a la pérdida de su fertilidad, siendo una amenaza para la productividad agrícola (Ramírez, 2006).

La erosión hídrica es propiciada principalmente por la precipitación natural, pero también por la irrigación. Las gotas de lluvia, al caer sobre terrenos de vegetación rala¹, desprenden el suelo no protegido y lo arrastran junto con las aguas de escorrentía (Figura 1), siendo depositados los sedimentos en las tierras bajas donde las corrientes se debilitan (Alvarado, 2013)

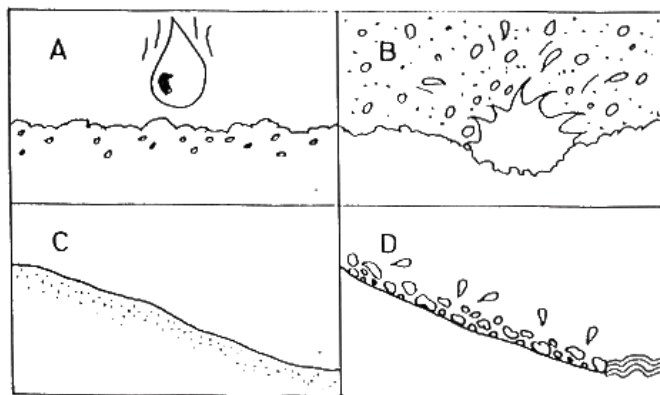
El proceso de erosión hídrica se presenta en tres fases básicas, la cual se mantiene vigente.

Separación: Consiste en el desprendimiento y disgregación de los agregados del suelo en partículas de tamaños transportables.

Transporte: En esta fase las partículas y/o agregados, separados del suelo, se mueven con el agua en dirección de la pendiente.

Sedimentación: Consiste en el depósito de los materiales de suelo transportado, que ocurre al disminuir la capacidad de transporte del flujo de agua. La acción es intermitente, pues el suelo depositado, es puesto de nuevo en movimiento, al reiniciarse la actividad del agua.

Figura 1 Proceso de la erosión hídrica



Fuente: Derpsch, 2004.

¹ Vegetación rala: Matorrales de pequeño tamaño, que no llegan a cubrir la totalidad del suelo.

TIPOS DE EROSIÓN HÍDRICA.

Según Suárez (2001), la erosión hídrica se divide en tres tipos que se denominan: Laminar, en surcos y cárcavas.

EROSIÓN LAMINAR

La erosión laminar consiste en el desprendimiento y transporte en capas bien definidas superficiales de suelo hacia diferentes direcciones.

El suelo se va perdiendo casi en forma imperceptible. Este tipo de erosión es muy común en los suelos residuales y en las zonas recientemente deforestadas.

La lluvia altera el suelo superficial formando una capa delgada de agua con flujos de 2 a 3 milímetros de espesor. El flujo laminar es poco profundo en la cresta de la ladera pero la profundidad de flujo aumenta talud abajo. El flujo propiamente laminar tiene poco poder erosivo pero en partes se convierte en turbulento, aumentando en forma importante su capacidad de erosión. Al continuar la acción de la lluvia y al mismo tiempo ocurrir el flujo se genera turbulencia en el flujo, aumentando la capacidad de erosión. El flujo de agua toma un color marrón o amarillo por la presencia de sedimento.

Las áreas de cultivos no permanentes son extraordinariamente susceptibles a la erosión laminar al igual que los suelos sin vegetación.

EROSIÓN EN SURCOS

La erosión en surcos ocurre cuando el flujo superficial empieza a concentrarse sobre la superficie del terreno, debido a la irregularidad natural de la superficie. Al concentrarse el flujo en pequeñas corrientes sobre una pendiente, se genera una concentración del flujo el cual por la fuerza tractiva de la corriente produce erosión, formándose pequeños surcos o canales, los cuales inicialmente son prácticamente imperceptibles pero poco a poco se van volviendo más profundos. En estos surcos la energía del agua en movimiento adquiere cada vez, una fuerza mayor capaz de desprender y transportar partículas de suelo. Inicialmente, los pequeños canales presentan una forma en V la cual puede pasar a forma en U.

La profundidad del canal va aumentando. Estos flujos adquieren velocidades cada vez mayores. La energía de este flujo concentrado empieza desprender partículas de suelo incorporándolas al flujo, convirtiendo estos microflujos concentrados en las rutas preferenciales de los sedimentos.

EROSIÓN EN CÁRCAVAS

Al profundizarse y ampliarse los surcos de erosión se convierten en cárcavas, o varios surcos pequeños pueden unirse y crecer para formar una cárcava.

Se denomina cárcava a un canal de erosión con una sección superior a un pie². Estos canales ya no pueden ser eliminados con prácticas agrícolas. Las cárcavas tienen una mayor capacidad de transporte de sedimentos que los surcos, debido a que las tasas de flujo son mayores. Las cárcavas actúan como cauces de concentración y transporte de agua y sedimentos. En este proceso una cárcava con cauce en V captura a las vecinas y va transformando su sección de una V ampliada a U. Estos canales transportan corrientes concentradas de agua durante e inmediatamente después de las lluvias. Las cárcavas van avanzando o remontando hacia arriba formando una o varias gradas o cambios bruscos de pendiente.

4.1.3 ESTIMACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE SUELO POR EROSIÓN.

Con el fin de predecir los niveles de erosión causada por el agua, se han desarrollado numerosos modelos, unos simples y otros muy complejos, los cuales son herramientas fundamentales para la planificación del uso y manejo de los suelos a nivel de finca, microcuenca, cuenca, región o país (Ramírez, 2006).

Entre los modelos específicos de pérdida de suelo destaca la ecuación universal de pérdida de suelo, USLE, basada en medidas realizadas durante más de cuarenta años por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos. Aunque de carácter eminentemente práctico y simplificador, resume la amplia información adquirida durante esos años y a pesar de la difícil extrapolación de algunos de sus parámetros ha sido usado con éxito en numerosas partes del mundo. Al mismo tiempo el modelo ha ido actualizándose, mejorando la definición de muchos parámetros y adaptando nuevas tecnologías como el laboreo de conservación. En la actualidad el propio Departamento de Agricultura de Estados Unidos patrocina una nueva versión de la ecuación, denominada la ecuación revisada RUSLE en sus iniciales inglesas, y otro más complejo conocido por WEPP (*The Water Erosion Prediction Project*) (Carvajal y Giráldez, 2000).

En la Tabla 1 se presentan algunos modelos de estimación de pérdida de suelos por erosión.

Tabla 1 Modelos para estimar las pérdidas de suelo por erosión hídrica.

NOMBRE	APLICACIÓN	ESCALA DE TIEMPO	ESCALA ESPACIAL
a. Nivel medio-bajo de necesidades de datos			
Cargas por superficie unitaria (Predicción estadística).	Pérdida de sedimentos pérdida de nutrientes.	Promedios a largo plazo.	Decenas a centenares de Km ² .
Nota: los modelos estadísticos utilizan datos agregados para situaciones comparables. La capacidad de predicción es baja, pero puede ser útil como medio de detección o en el caso de que no se disponga de datos en los medios de cultivo o la escala espacial es tan grande que resulta antieconómico obtenerlos.			
USLE (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo).	Pérdida media de suelo en relación con cultivos específicos.	Anual.	Parcela/finca.
RUSLE/MUSLE (USLE Revisada/Modificada).	Pérdida media de suelo en relación con cultivos específicos	Anual.	Parcela/finca.
Nota: los modelos empíricos semejantes al USLE se han aplicado en análisis de grandes superficies, utilizando, por ejemplo, datos obtenidos con teledetección, para elaborar estimaciones regionales de las pérdidas de suelos (por ejemplo México). Estos modelos se incorporan muchas veces en los modelos hidrológicos más detallados que se indican a continuación.			
b. Modelos que requieren gran disponibilidad de datos (orientados hacia el proceso)			
AGNPS (Contaminación de fuentes agrícolas no localizadas).	Hidrología, erosión, N, P y plaguicidas.	Suceso aislado, diariamente, continuada.	Cuadrícula, finca.
ANSWER (Simulación de respuestas ambientales en cuencas hidrográficas de fuentes zonales no localizadas).	Hidrología, erosión, N, P y plaguicidas.	Una tormenta.	Cuadrícula.
CREAMS (Erosión química y escorrentía de los sistemas de ordenación agrícola).	Hidrología, erosión, N, P y plaguicidas.	Diaria, continuada.	Finca.
EPIC (Calculador del efecto erosión / productividad).	Hidrología, erosión ciclo de nutrientes, ordenación de cosechas, suelos, economía.	Suceso aislado diaria, continuada.	Finca.
SWAN (Modelo de	Procesos	Diaria, continuada.	Cuenca hidrográfica.

cuenas hidrográficas pequeñas)	hidrológicos, sedimentos, nutrientes y plaguicidas.		
SWAT (Instrumento de evaluación de suelos y aguas).	Procesos hidrológicos, sedimentos, nutrientes y plaguicidas	Suceso aislado diaria, continuada.	Simulación simultanea para centenares de subcuencas.
SWRRB (Simulador para recursos hídricos en cuencas rurales).	Balance hídrico, procesos hidrológico y sedimentación	Suceso aislado diaria, continuada.	Cuenca hidrográfica.
WEPP (Proyecto de predicción de la erosión hídrica)	Procesos hidrológicos, procesos de sedimentación	Tormenta, diaria, continuada	Ladera, cuenca hidrográfica, cuadrícula

Fuente: Ramírez, 2006

4.1.4 ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO (USLE).

De los diversos modelos paramétricos que existentes para describir la relación entre erosión laminar debida a la lluvia y los principales factores que la controlan, el más conocido, estudiado y comprobado es la *Ecuación Universal de Perdidas de Suelo (USLE)*, desarrollada en el *National Runoff and SoilLoss Data Center* (Correa, 2003)

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) [1] es un modelo de erosión diseñado para predecir las pérdidas de suelo promedio de largo plazo en la escorrentía procedente de las áreas específicas en los sistemas de cultivo y de gestión especificados. Su uso generalizado en el campo ha fundamentado su utilidad y validez para este propósito. También es aplicable para tales condiciones no agrícolas como los sitios de construcción. (Wischmeier y Smith, 1978).

La ecuación del modelo [1], se expresa como una multiplicación de seis factores cuyos valores más probables en una localización particular puede expresarse numéricamente, las cuales varían considerablemente alrededor de su media, de una lluvia a otra. Debido al carácter aleatorio de los niveles de fluctuación de dichas variables, las predicciones de la ecuación son sustancialmente menos precisas para eventos específicos que para promedios a largo plazo (Correa, 2003). La ecuación se expresa como:

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

A = la pérdida de suelo calculada por unidad de área expresada en las unidades seleccionadas para K y por el período de tiempo seleccionado para R. En la práctica, estos suelen ser seleccionados de manera que permite calcular A en toneladas métricas por hectárea por año.

R = Factor de lluvia y escorrentía (erosividad de la lluvia), es el número de unidades del índice de erosión en un periodo considerado, representado por la energía cinética total del aguacero (E), por su intensidad máxima en 30 minutos, el cual mide la fuerza erosiva de un aguacero determinado.

K = Factor de erosionabilidad del suelo, es el valor de la erosión por unidad de índice de erosión pluvial, para un suelo determinado en barbecho continuo con una pendiente del 9% y una longitud de declive de 22,1 m.

L = Factor de pendiente de longitud, es la relación de pérdida de suelo que ocurren en una longitud de terreno dada y aquella que ocurrirán en una longitud de 22,1 metros del mismo tipo de suelo.

S = Factor de inclinación de la pendiente (gradiente de la pendiente), es la relación de la pérdida de suelo a partir de la inclinación de la pendiente determinada y aquella que ocurrirán en una inclinación del 9 % bajo el mismo tipo de suelo

C = Factor de cobertura por manejo de cultivo, es la relación entre las pérdidas de suelo en un terreno cultivado en condiciones específicas y aquellas que ocurrirían en un área idéntica en barbecho continuo.

P = Factor de prácticas de conservación del suelo, relación entre las pérdidas de suelo con cultivos a nivel, en fajas y en terrazas y las pérdidas correspondientes a un cultivo en surcos según la pendiente.

FACTOR DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA R

El factor climático R [2], fue determinado originalmente por Wischmeier y Smith (1978), como la suma anual para cada episodio de lluvia i , del producto de la energía cinética con la que las gotas de lluvia llegan al suelo E , por la intensidad máxima de precipitación registrada en períodos de 30 minutos, I_{30} .

$$R = \sum_{\forall i} E_i I_{30} \quad [2]$$

Como el factor R, el cual es la sumatoria de los valores de EI para el período en consideración. Se representa en unidades por año si ese es el caso [(MJ*mm) /

(ha*h*año)] siendo [t: toneladas métricas], [ha: hectáreas], [MJ: Mega julios], [mm: milímetros], [h: horas].

Este factor también fue definido por Fournier, el cual ha sido ampliamente utilizado por su facilidad de obtención, un ejemplo fue descrito en las colonias francesas, con altas correlaciones al compararlo con el factor EI30 USLE. El Índice de Fournier Modificado (IFM) [3] es considerado como un buen estimador de la erosividad de las lluvias para el modelamiento de los procesos erosivos en zonas tropicales (Ramírez et al, 2007).

$$IMF = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P_i} \quad [3]$$

En la zona cafetera colombiana se evaluó la erosividad de las lluvias mediante el Índice de Fournier Modificado y se correlacionó con el factor de erosividad propuesto por Wischmeier y Smith (1978), como resultado se encontró una regresión lineal alta entre los dos factores. (Ramírez et al, 2007).

FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO K

El factor de erodabilidad del suelo K, indica la susceptibilidad de los suelos a erosionarse. Para un suelo particular, K se define como la tasa de pérdida de suelo por unidad de índice de erosividad cuando es medido en una parcela estándar (Flores *et al*, 2003). Este factor depende del contenido de materia orgánica, textura superficial, estructura del suelo y permeabilidad (Montes *et al.*, S F).

Para obtener este factor la parcela estándar es de 22.1 m de longitud, con una pendiente uniforme de 9%, de labranza continua y a lo largo de la pendiente, con los resultados de estudios conducidos con simuladores de lluvia Wischmeier elaboró un nomograma de erodabilidad de suelo basado en porcentaje de limo + arena muy fina, porcentaje de arena, porcentaje de materia orgánica, estructura y permeabilidad textura y estructura del suelo (figura 2).

Wischmeier y Smith (1978) desarrollaron una ecuación de regresión del nomograma basado en función de sus propiedades físicas del suelo, en donde los factores quedaron expresados en la siguiente ecuación [4]:

$$100 * K = 2,1M^{1,14}(10^{-4})(12 - a) + 3,25 (b - 2) + 2,5 (c - 3) \quad [4]$$

Donde,

K = índice de erodabilidad del suelo, expresada en [(t*ha*año) / (MJ*mm*ha)]

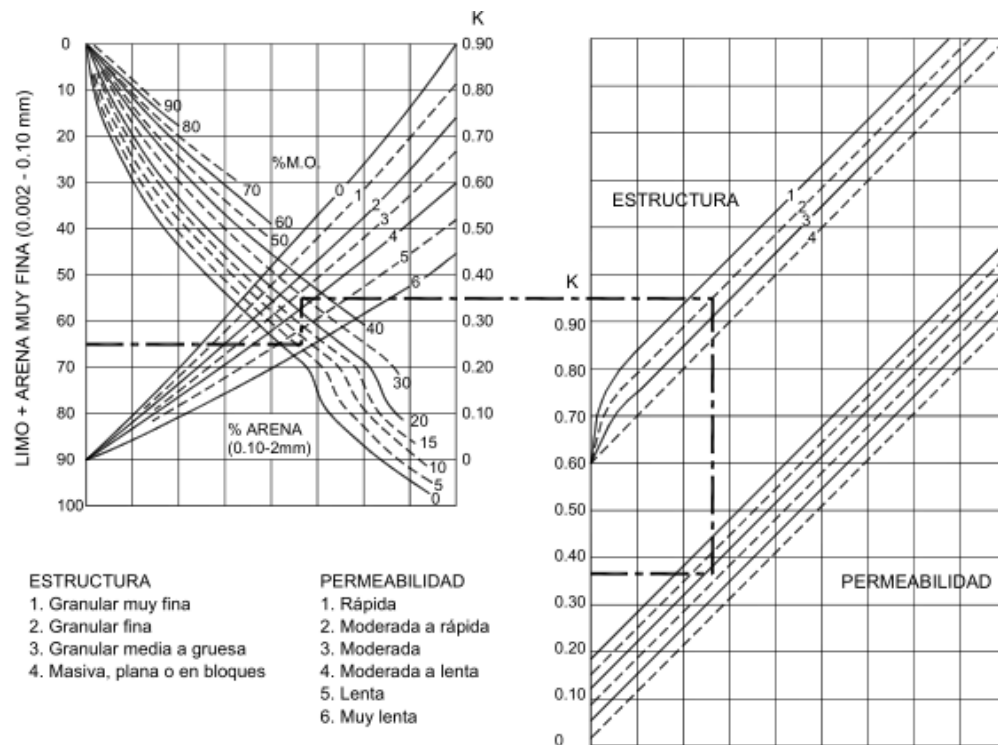
$M = (\% \text{ limo} + \% \text{ arena muy fina}) * (100 - \% \text{ de arcilla})$

$a = \% \text{ de materia orgánica.}$

$b = \text{código de estructura de suelo.}$

$c = \text{clase de permeabilidad.}$

Figura 2 Nomograma de Wischmeier.



Fuente: Suárez, 2001

FACTOR TOPOGRÁFICO LS

La USLE combina el efecto longitud de pendiente L y el factor de inclinación de la pendiente S , en un factor topográfico, LS , el cual se calcula mediante la ecuación [5]:

$$LS = (\lambda/22,1)^m * (65,41\text{sen}^2\theta + 4,45 \text{sen}\theta + 0,065)[5]$$

En donde:

λ = longitud de la pendiente en metros

θ = ángulo de la pendiente

$m = 0.5$ para pendientes iguales o mayores de 5%

0.4 para pendientes entre 3.5 y 4.5 %

0.3 para pendientes entre 1.0 y 3.0

0.2 para pendientes uniformes menores de 1%

La longitud de la pendiente se define como la distancia desde el origen de flujo superficial hasta el sitio donde se produzca el depósito de sedimentos o donde se entreguen las aguas al cauce. La conversión de unidades del factor LS del sistema inglés al sistema M.K.S, se realiza cambiando el valor original de 72,6 pies por 22,1 metros en el denominador de la expresión (Correa, 2003).

FACTOR DE COBERTURA POR MANEJO DE CULTIVOS C

Es también conocido por el nombre de “factor de cobertura vegetal”. Es la relación de la pérdida de suelo, a partir de una condición específica de cultivo o cobertura con la pérdida de suelo correspondiente a la misma parcela sometida a barbecho continuo. Es un factor adimensional.

La cobertura proporcionada por la vegetación protege al suelo de la acción directa de las gotas de lluvia y de la escorrentía, disminuyendo en forma significativa las pérdidas de suelo. Por tanto el factor de cobertura C es un valor entre (0, 1), dependiendo del grado de protección proveído por la vegetación (Correa, 2003).

Como el valor de C varía según la especie o tipo de cultivo, la disposición espacial o patrón de siembra, las mezclas entre especies, la presencia o ausencia de residuos vegetales, la productividad del suelo, la edad de cobertura, el tipo y número de labranzas del terreno, así como del estado de la vegetación en el momento de la ocurrencia de la lluvia. No existen modelos que permitan evaluar la influencia sobre la ocurrencia de pérdidas de suelo por erosión, de cada uno de estos factores por separado, todos estos se consideran mediante un único factor C (Correa, 2003).

FACTOR DE PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DEL SUELO P

Es la relación porcentual entre la pérdida de suelo en una parcela de prueba sometida a una determinada práctica de conservación de suelo y la pérdida de suelo de la misma parcela sometida a barbecho continuo (Correa, 2003).

Las condiciones normales supuestas en la ecuación universal son suelo desnudo, arado siguiendo la pendiente. Esta es la situación menos deseable posible con relación a la erosión, de manera que el factor P reduce la erosión esperada, en relación con la pérdida de suelo teórica en el peor de los casos (Ramírez, 2006).

4.1.5 HERRAMIENTAS GEOMÁTICAS.

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se han convertido en la última década en herramientas de trabajo esenciales en el planeamiento y en la gestión de recursos. Su capacidad para almacenar, recuperar, analizar, modelizar y representar amplias extensiones de terreno con enormes volúmenes de datos espaciales les han situado a la cabeza de una gran cantidad de aplicaciones. Los SIG se utilizan actualmente en la planificación de los usos del suelo, gestión de servicios, modelado de ecosistemas, valoración y planificación del paisaje, planificación del transporte y de las infraestructuras, marketing, análisis de impactos visuales, gestión de infraestructuras, asignación de impuestos, análisis de inmuebles y otras muchas (Escobar *et al*, 2013).

Los SIG permiten un análisis integrado de los datos temáticos y espaciales. Donde la gestión conjunta sobre datos geográficos tienen por finalidad generar nueva información.

La generación de nueva información geográfica puede ser de dos tipos: a través de la superposición de capas de información geográfica que permite análisis multivariantes y vecindad que evalúa las características del área que envuelve una localización determinada haciendo uso de sus propiedades topológicas del espacio geográfico de conectividad y vecindad.

ESTRUCTURA VECTORIAL

Es la representación discreta de la realidad, utiliza coordenadas discretas para representar las características geográficas en forma de puntos, líneas y polígonos. Se utiliza para representar la información que posee una expresión espacial claramente definida (Sainz, 2013), tal es el caso de:

- Cursos de agua
- Vías de comunicación
- Redes de servicios (Tuberías)
- Infraestructuras (Aeropuertos)

ESTRUCTURA RASTER

Es la representación continua de la realidad, trabaja con celdas de igual tamaño que poseen un valor; el tamaño de la celda define el nivel de detalle de la información. Se utiliza para representar la información que no posee una expresión espacial claramente definida (Sainz, 2013), tal es el caso de:

- Topografía del terreno

- Variables climáticas
- Masas de vegetación
- Áreas inundables

INTERPOLACIÓN.

En el análisis geoespacial la interpolación es un elemento esencial para el desarrollo de aplicaciones medio ambientales. La generación de mapas de distribución espacial de las variables, es básico para la etapa de análisis buscando garantizar de esa forma la objetividad de la estimación; los datos para generar dichos mapas se reúnen generalmente mediante observaciones de campo. Debido al alto costo, la disposición de datos es limitado. Para generar la superficie continua de una variable, se tiene que usar algún tipo de método de interpolación para estimar los valores en aquellos lugares donde no se obtuvieron muestras ni medidas (Baron, 2002).

Los métodos de interpolación permiten rellenar esas celdas restantes a partir de los valores puntuales conocidos, realizando estimaciones. Para ello, aplican conceptos de estadística espacial más o menos complejos según su formulación particular, de tal modo que los puntos cercanos a cada celda son los que determinan el valor estimado de esta. Este hecho es una aplicación directa de la ley de Tobler, que establece que los puntos cercanos tienen mayor probabilidad de tener valores similares que aquellos separados por una distancia mayor.

Los métodos de interpolación se pueden clasificar en métodos de un nivel y de dos niveles. En los primeros, los pesos se determinan simplemente aproximando los valores observados a una función curva dada, como ejemplo: el método lineal, bilineal, polinomial, spline, etc. En cuanto a los métodos de dos niveles, la interpolación se efectúa en dos etapas: en la primera se determina una función que resuma la estructura estadística del campo (Por eso se llaman métodos estadísticos), la cual sirva como base para calcular los pesos; en la segunda etapa, los pesos se calculan a través de un proceso de optimización (minimización). Por dicha razón, a estos métodos se les llama métodos de interpolación óptima, dentro de este tipo se catalogan los métodos: Kriging, Matheron, IDW2, Gandin y Cressman entre otros. Como se puede observar, hay disponible gran variedad de métodos de interpolación, cada uno de ellos cuenta con sus propias ventajas y desventajas, de acuerdo con la variable a interpolar y de las premisas inherentes al diseño del algoritmo usado para la estimación (Baron, 2002).

4.2 ANTECEDENTES

Carvajal y Giráldez (2000), analizaron la producción de sedimentos en las cuencas de los ríos Cubillas y Colomera, afluentes del río Genil (España). Para ello se ha aplicado la ecuación universal de pérdida de suelo a información raster, abordando el estudio en un sistema de información geográfica.

El objetivo principal de este trabajo es la propuesta de una metodología sencilla para estimar la cantidad de sedimento que aportan las cuencas de ríos a sus embalses. Para ilustrar su aplicación práctica se han realizado simulaciones de escenarios que permiten evaluar las consecuencias de las diferentes opciones de manejo, incluyendo circunstancias tales como una deforestación o una variación de la cantidad y frecuencia de las precipitaciones.

Para llevar a cabo el trabajo se ha segmentado la superficie total de las cuencas en una malla, mediante el proceso conocido como teselación². De este modo, la información básica del modelo estará recogida en matrices de igual número de filas y columnas, denominadas mapas.

Para la estimación de la producción de sedimento se calculan mapas representativos de los factores de la Ecuación USLE $A = R * K * LS * C * P$, de los que se obtendrá una estimación de la pérdida de suelo que se puede producir en dichas celdas. Al no disponer de información suficiente para calcular el factor de prácticas de protección P, la pérdida de suelo calculada será en realidad A/P, también llamada erosión potencial.

El uso de modelos sencillos distribuidos en una superficie grande permite explorar las consecuencias de la erosión del suelo. Aunque la información ambiental es escasa y de baja calidad, la representación espacial con sistemas de información geográfica permite mejorar su aprovechamiento.

Montes *et al* (S F), propone una metodología para evaluar el riesgo de erosión hídrica en la Cuenca Hidrográfica “Santa Catarina” en el Estado de Querétaro (México). El riesgo fue evaluado mediante el análisis multiplicativo de cuatro factores incluidos en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS). Los cuatro factores considerados involucran la potencialidad erosiva de la lluvia y (factor R), la susceptibilidad del suelo a la erosión (factor K) y el efecto del grado (factor S) y la longitud de la pendiente (factor L).

El factor R se define como la suma del producto de la energía cinética total y la intensidad máxima en treinta minutos, este producto se conoce como índice Wischmeier. Para el

² Teselado: Hace referencia a una regularidad o patrón de figuras que recubren o pavimentan completamente una superficie plana.

cálculo de la energía cinética se necesitaban registros pluviográficos, los cuales no se encontraban disponibles. Ante esta limitante, se utilizó la expresión [6]. La cual permite conocer el factor R en función de la lluvia media anual:

$$Y = 2,8959X + 0,002983X^2 \quad [6]$$

Donde,

Y representa el índice anual de erosividad de la lluvia, en MJ mm / ha h

X representa la precipitación media anual, en mm

Para el factor de K, se utilizó una metodología alternativa que consiste en la determinación de la unidad del suelo de acuerdo a la metodología FAO y la textura superficial. El cálculo del factor LS se llevó a cabo a partir del modelo digital de elevaciones y con el programa denominado USLE2D. El programa tiene la ventaja que proporciona los valores para cada punto espacial ubicado en la microcuenca y, a partir de ahí, se pueden aprovechar con un Sistema de Información Geográfica.

Los resultados obtenidos muestran total concordancia al coincidir las regiones ya erosionadas actualmente con aquellas encontradas con un riesgo muy alto de erosión. Los resultados sirvieron también para la planeación de un programa de manejo y conservación del recurso suelo de la Cuenca.

Ramírez (2006), en la región cafetera colombiana, se presentan graves problemas de erosión, donde la lluvia es el principal agente natural causante de éstos, la cual es favorecida por las pendientes fuertes de longitudes largas y por el manejo inadecuado del suelo.

El objetivo de este trabajo es caracterizar las zonas de acuerdo a la erosión potencial, como una herramienta de planificación y así contribuir con la sostenibilidad de los recursos

Para ello se empleó la ecuación universal de pérdida de suelo con modificaciones, utilizando el análisis multiplicativo de los factores Erosividad (R), Erodabilidad (K), Longitud y Gradiente de la pendiente (L y S). La Erosividad se determinó mediante el Índice de Erosividad EI_{30} calculado a partir del índice de Fournier modificado y especializados mediante interpolación *Kriging*.

La Erodabilidad se determinó en forma directa en condiciones de laboratorio; para ello se tomaron muestras disturbadas de 14 unidades de suelo mapificadas dentro del área de estudio.

A partir de las curvas de nivel digitalizadas se construyó un modelo digital de elevación DEM utilizando la interpolación en contornos del programa ILWIS, con lo cual se generó el mapa de pendientes de la zona estudiada. Partiendo del DEM se obtuvo el ángulo de la pendiente así como su longitud en cada pixel, posteriormente se aplicaron los algoritmos para el factor LS.

Con la información obtenida, a partir de las pérdidas de suelo por erosión y la profundidad del horizonte A, fue posible diferenciar zonas por el riesgo a la erosión mediante un ambiente SIG-ILWIS, donde se encontró que el 78% de la zona estudiada presenta alto riesgo a la erosión potencial.

Montesinos (2002), el aumento de los procesos erosivos, durante las últimas décadas, está llevando a algunas zonas del litoral mediterráneo a su práctica desertificación. Las características del clima mediterráneo, la existencia de una topografía accidentada y un proceso secular de degradación antrópica, ayudan a este aumento.

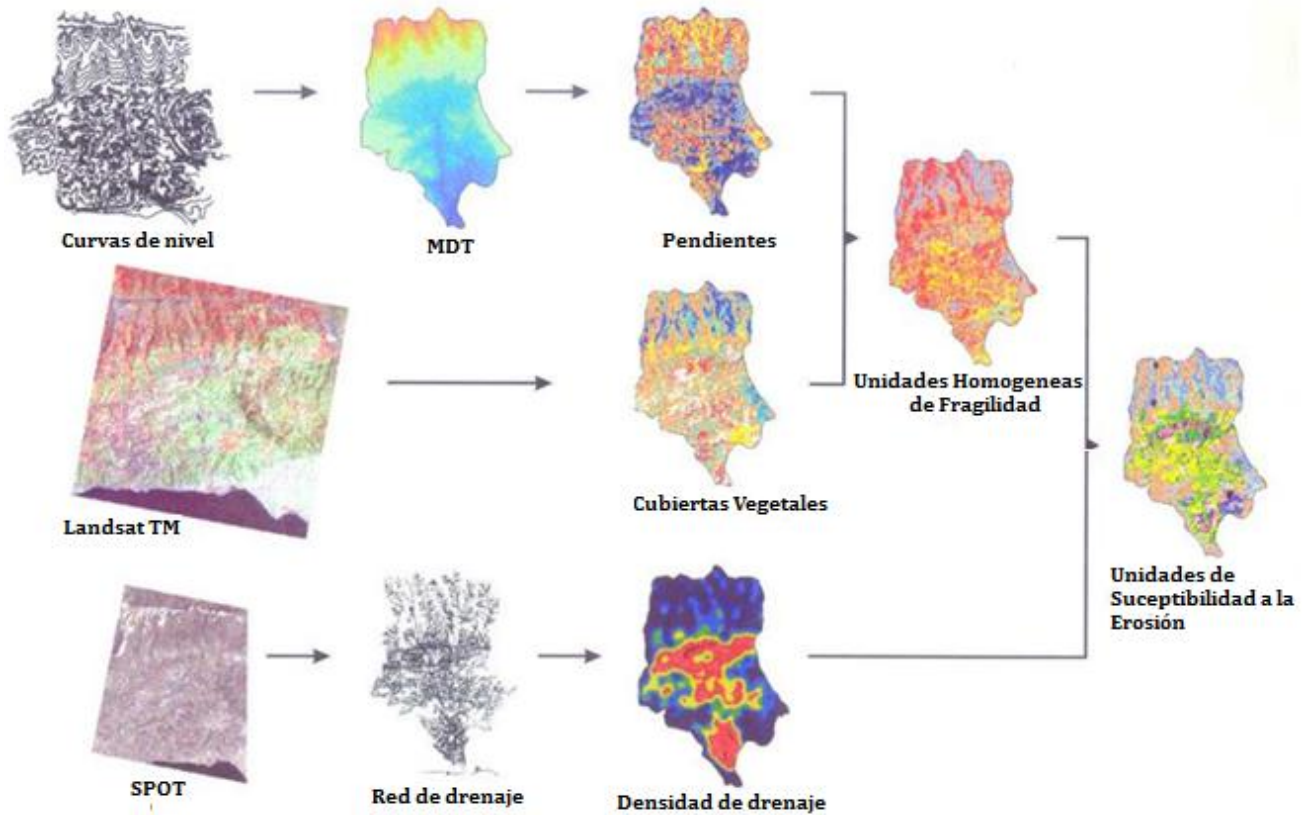
El objetivo principal es el desarrollo de una metodología basada en las técnicas de tratamiento digital y SIG. El plan, es ensayar la posibilidad de clasificar, mediante sus características erosivas, un territorio de gran extensión. Esta información es básica para la correcta planificación y gestión del territorio.

Para que sea posible la evaluación de los grados de erosión hídrica, en la zona mediterránea, es necesario recurrir al análisis de los factores causantes de la misma. Se parte de la hipótesis según la cual los parámetros definidos en la USLE acotan, desde un punto de vista cualitativo, los factores que intervienen en los procesos de erosión hídrica en el área. Debido a la magnitud de la zona, se reduce a realizar la metodología en la cuenca del río Adra se encuentra situada en el límite entre las provincias de Almería y Granada España.

Por lo tanto se plantea agrupar los parámetros de la USLE para obtener un “elemento evidencia”, que sea el resultado de ambos factores. Así (figura 3), (L.S) constituyen el llamado efecto de la pendiente. Normalmente, la erosión aumenta con el incremento del ángulo y de la longitud de la pendiente, queda representado por un Mapa de Pendientes elaborado a partir de un Modelo Digital del Elevación (DEM) aportado por las imágenes SPOT; (R.K) reflejan respectivamente, el poder de arranque de las gotas de lluvia y la resistencia del suelo a ese arranque y transporte. Las variables de las cuales dependen estos factores son muchas: intensidad de la lluvia, posición topográfica, propiedades del suelo, se puede evaluar a partir de un Mapa de Densidad de la Red de Drenaje y (C.P) mediante un Mapa de Cubiertas Vegetales. La respuesta espectral que presenta la

vegetación en la región del infrarrojo próximo hace de los datos aportados por el sensor TM de Landsat, la herramienta imprescindible para generar el mapa de cubiertas vegetales de un territorio.

Figura 3 Síntesis del proceso metodológico.



Fuente: Montesinos (2002)

5. ZONA DE ESTUDIO Y MATERIALES.

5.1 LOCALIZACIÓN Y RASGOS GENERALES DE LA CUENCA.

LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LA CUENCA

La Cuenca Hidrográfica del Río Guabas se encuentra ubicada sobre el flanco occidental de la Cordillera Central, hacia el sur-oriente del departamento del Valle del Cauca (CVC, 2013). Limita al norte con las cuencas hidrográficas de los Ríos Sonso y Guadalajara, por el oriente con las cuencas hidrográficas de los Ríos Amaime y Tuluá, al sur con la cuenca hidrográfica del Río Zabaletas y al occidente con el Río Cauca (CVC y ASOGUABAS, 2009).

Tiene una extensión de 23.774,032 hectáreas, a partir del cauce del Río Cauca hasta el Páramo de las Domínguez en la Cordillera Central, el Río Guabas nace a una altura de 3.400 msnm y tiene una extensión de 42,116 km hasta su desembocadura a 935 msnm (POMCH, 2009).

La jurisdicción de la cuenca se divide entre los municipios de Ginebra con un área de 165.28 Km² y Guacari con un área de 72.17 Km². La cuenca cuenta con cuatro áreas de drenaje, las cuales se ven enmarcadas en la figura 4:

Tabla 2 Área de drenaje definidas en la cuenca.

Nombre del Área	Área (Km ²)
Zona alta río Guabas	87
Río Flautas	42
Quebrada La Magdalena	36
Zona baja río Guabas	72

Fuente: C.V.C, 2013

RASGOS GENERALES DE LA CUENCA

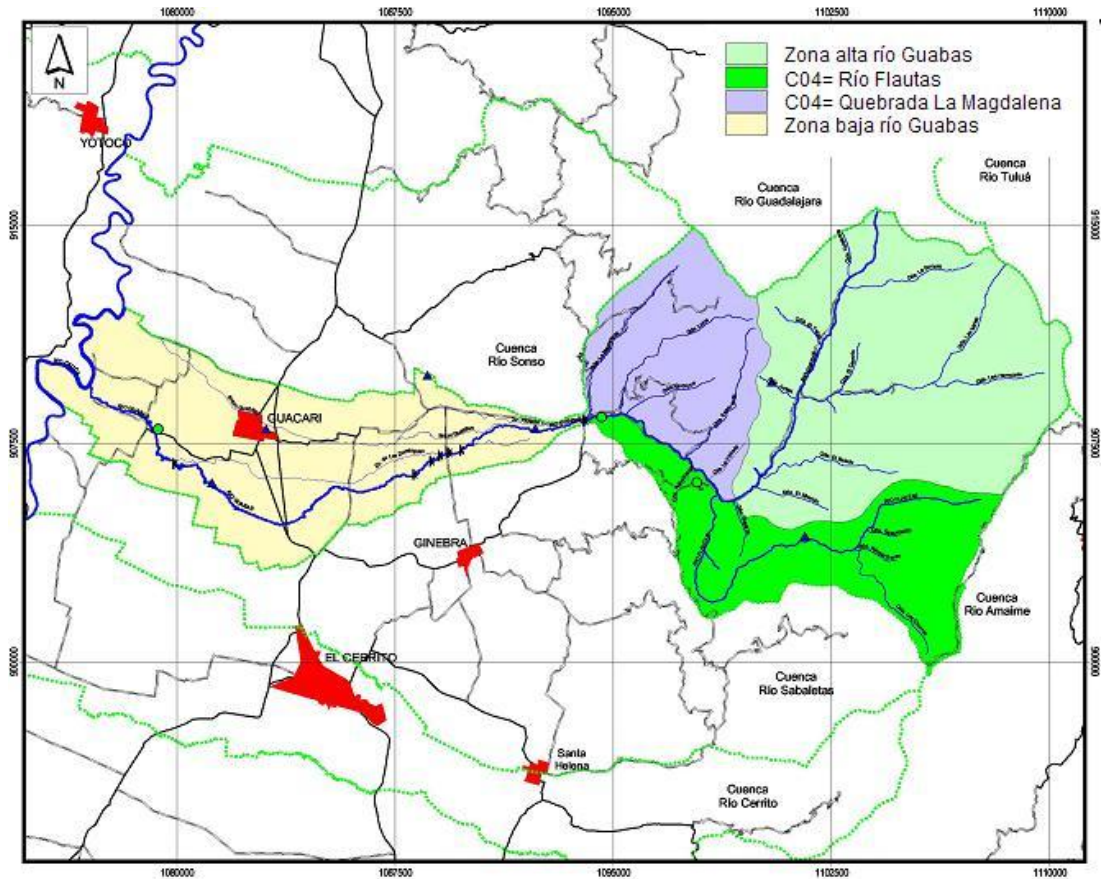
Clima y Temperatura: La Cuenca del Río Guabas tiene una orientación con referencia a su cauce principal oriente – occidente, con lo cual tiene una mayor duración de la exposición solar definida entre el rango de 1.300 a 1.600 horas de brillo solar anual. Lo anterior incide directamente en los incrementos de temperatura y en las pérdidas de agua por evaporación. La cuenca presenta influencia de los vientos de Sotavento de la Cordillera Central caracterizados por ser vientos secos. La temperatura está determinada por lo pisos altitudinales y varía entre los 23°C en la parte baja, 18°C en la parte media, 12°C en la parte alta y 4°C en el páramo

Precipitación: El régimen pluviométrico es bimodal en la zona, por lo cual presenta dos períodos secos que se presentan en los meses de diciembre, enero y febrero, y junio, julio y agosto, así como sus dos períodos húmedos en los meses de marzo, abril y mayo, y septiembre octubre y noviembre. La precipitación en la parte alta varía entre los 1300mm/año y los 2000 mm/año.

Geología y geomorfología: En la cuenca hidrográfica del río Guabas afloran unidades de rocas mesozoicas (Jurásico - Cretácicas) y cenozoicas de edad Terciaria en un cinturón a lo largo del flanco occidental de la Cordillera Central; además de la presencia de depósitos cuaternarios en la zona de piedemonte y en el valle geográfico del Río Cauca.

Usos de Suelos: En la cuenca se presentan las siguientes clases de usos de suelos: Agricultura, Ganadería, Pesca, Silvicultura, Agroforestería, Prácticas extractivas, Asentamientos e Infraestructura.

Figura 4 Localización de las áreas de drenaje de la cuenca.



Fuente: CVC (2013)

5.2 MATERIALES

Materiales:

- Cartografía Suelos del Valle del Cauca en formato shape.
- Los registros de precipitación media mensual de los años 1967 – 2012 (30 años), de 12 estaciones localizadas en las inmediaciones del área de estudio.
- Coordenadas de las estaciones del área de estudio en formato shape.
- Cartografía Uso de suelos del Valle del Cauca en formato shape.
- Información de las características físicas de las unidades de suelo del libro levantamiento de suelos y zonificación de tierras del Departamento del Valle del Cauca.

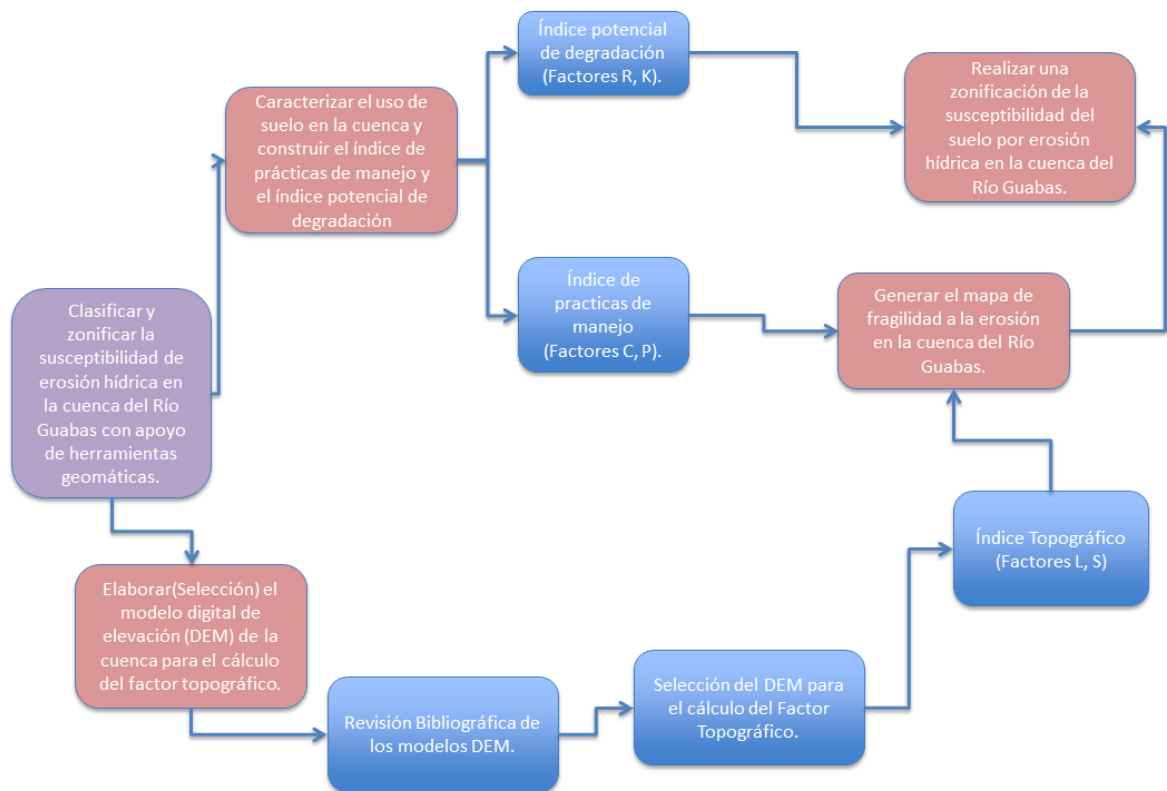
Programas:

La adecuación de la información y el procesamiento se realizaron por medio de la utilización del software ArcGis 10.1.

6. DESARROLLO DEL PROYECTO

Con el ánimo de alcanzar los objetivos propuestos, se expone el proceso metodológico en la figura 5, de una manera sintetiza el orden en que se desarrollara y se obtendrán los resultados para clasificar y zonificar la susceptibilidad de erosión hídrica.

Figura 5 Modelo metodológico propuesto



6.1 METODO PARA CLASIFICAR Y ZONIFICAR LA SUSCEPTIBILIDAD DE EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO GUABAS.

Para clasificar y zonificar la susceptibilidad de erosión hídrica en la cuenca del Rio Guabas se tiene como base la Ecuación de Pérdida de Suelo USLE, la cual se implementa de la siguiente forma [7]:

$$A = (R * K) * (L * S) * (C * P) \quad [7]$$

Donde,

A = Pérdida del Suelo por Erosión Hídrica

L*S = Índice Topográfico

R*K = Índice Potencial de Degradación

C*P= Índice de Práctica de Manejo

Estos índices quedaran reflejados en un mapa de zonificación de la pérdida del suelo. El cual estarán integrados en el marco de un Sistema de Información Geográfica.

6.1.1 ÍNDICE TOPOGRÁFICO LS.

Para el índice topográfico se considera el factor longitud de pendiente L y el factor de inclinación de la pendiente S. Cuando se calcula el índice topográfico LS de la ecuación USLE, se puede presentar inconveniente cuando se trabaja a escala de cuenca hidrográfica. Esto ha llevado a algunos estudios a plantear los factores L y S para tener en cuenta escala mayores que las parcelas experimentales y con pendientes uniformes planteadas en el concepto original.

El cálculo de los factores L y S se realiza con base en las expresiones de Foster *et al*, 1997 y Desmet & Govers, 1996, citado por Shi *et al.*, 2004 y Zhang *et al.*, 2012.

- **Factor de longitud de pendiente (L)**

Donde λ es la longitud en metros y m un exponente influenciado principalmente por la interacción entre la longitud y el ángulo de la pendiente (β)³. La longitud se define como la distancia desde el origen de la escorrentía superficial hasta el inicio del depósito.

La ecuación para el cálculo del factor L se expresa en la siguiente ecuación [11]:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22,13} \right)^m \quad m = \frac{\beta}{(1 + \beta)} \quad \beta = \frac{\sin \theta / 0.0896}{3(\sin \theta)^{0.8} + 0.56} \quad [11]$$

El cálculo del factor L con el área de drenaje aportadora [12] Desmet & Govers, 1996 citado por Shi *et al.*, 2004 y Millward *et al.*, 1999.

$$L_{(i,j)} = \frac{A_{ij-out}^{m+1} + A_{ij-in}^{m+1}}{(A_{ij-out} - A_{ij-in}) \cdot (22.13)^m} \quad [12]$$

³ β al ser un ángulo debe ser multiplicado por 0,01745 para ser convertido en radianes y así poder operar con los demás componentes de la ecuación.

Dónde:

$L_{(ij)}$ = pendiente factor de longitud de la celda de la cuadrícula con coordenadas (i, j).

A_{ij-out} = unidad de área que contribuye a la salida de la celda de la cuadrícula con coordenadas (i, j) (m^2/m).

A_{ij-in} = unidad de área que contribuye a la entrada de la celda de la cuadrícula con coordenadas (i, j) (m^2/m).

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

Se toma como el ángulo medio a todos los subgrids en la dirección de mayor pendiente, este factor es calculado [13] por McCool, 1987, citado por Foster *et al*, 1997 de la siguiente manera.

$$S_{(i,j)} = \begin{cases} 10.8 \sin \beta_{(i,j)} + 0.03 & \tan \beta_{(i,j)} < 0.09 \\ 16.8 \sin \beta_{(i,j)} - 0.5 & \tan \beta_{(i,j)} \geq 0.09 \end{cases} \quad [13]$$

6.1.2 ÍNDICE POTENCIAL DE DEGRADACIÓN

Los factores R (Erosividad por Lluvia) y K (Erodabilidad del Suelo) reflejan, respectivamente, el poder de arranque de las gotas de lluvia y la resistencia del suelo a ese arranque y transporte. Las variables de las cuales dependen estos factores son intensidad de la lluvia, posición topográfica, propiedades del suelo.

- **Factor de Erosividad de la lluvia R**

La vulnerabilidad a la erosión hídrica de la cuenca, está dada a la exposición de la misma a la lluvia (intensidad, duración y frecuencia). Es decir, si la cuenca está en una región lluviosa, está expuesta por un tiempo más prolongado al efecto que tiene el impacto de la lluvia que una región en la que no llueve tan a menudo y con tanta intensidad.

Para el cálculo de la erosividad se requiere información relativa a la cantidad de precipitación caída durante un lapso de tiempo, la erosividad se contempla como el producto de la energía cinética y la intensidad máxima de precipitación durante 30 minutos consecutivos. Debido que se realiza el cálculo para una cuenca y no una parcela experimental, se cuenta con información de datos promedios mensuales para el cálculo del factor de erosividad en la cuenca, se tomó el Índice de Fournier Modificado [8] (*IFM*) desarrollada por Arnoldus en 1980, ya que es considerado como un buen estimador de la erosividad de las lluvias para el modelamiento de los procesos erosivos en zonas tropicales (Ramírez *et al*, 2007).

$$R = IMF = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P_t} \quad [8]$$

Siendo:

P_i = Precipitación media mensual

P_t = Precipitación media anual

i = Mes

- **Factor de Erodabilidad del suelo K**

El factor K representa la susceptibilidad del suelo a la acción erosiva y está en función de sus características físicas que son la estructura, porcentaje de materia orgánica, índice de permeabilidad e índice de textura.

La precisión en la determinación del Factor K dependerá de la información de suelo disponible, como se mencionó anteriormente, Se han desarrollado ecuaciones de regresión basados en el nomograma de Wischmeier, la ecuación utilizada será la plateada por Suárez, 2001.

El factor K se halla mediante la ecuación [9]:

$$100 * K = 10^{-4} * 2,71 * M^{1,14} * (12 - a) + 4,20 (b - 2) + 3,23 (c - 3) \quad [9]$$

Donde,

K = índice de erodabilidad del suelo, expresada en [(t*ha*año) / (MJ*mm*ha)]

M = (% limo+% arena muy fina)*(100-% de arcilla)

a = % de materia orgánica.

b = número correspondiente a la estructura del suelo según la siguiente codificación:

1 – grano muy fino (<1mm)

2 – grano fino (1-2 mm)

3 – grano medio (2-5mm) y gránulo grueso (5- 10mm)

4 – grano liso, prismático, columnar y muy grueso (>10mm)

c = clase de permeabilidad del perfil, según la siguiente codificación del USDA-Soil Survey Manual:

1 – rápida a muy rápida

2 – medianamente rápida

3 – moderada

4 – moderadamente lenta

5 – lenta

6 – muy lenta

6.1.3 ÍNDICE DE PRÁCTICAS DE MANEJO

Los factores C (Cobertura Vegetal) y P (Prácticas de Manejo del Suelo) se recogen en un mapa de cubiertas vegetales para evaluar las prácticas de manejo. El principal papel de la vegetación está en interceptar las gotas de lluvia, disipando su energía cinética, antes de que impacte contra el suelo.

- **Factor de cobertura por manejo de cultivos C**

Este factor representa la relación de la pérdida de suelo, a partir del tipo de vegetación y de la fase de crecimiento, conglobándose en un solo coeficiente una gran cantidad de información referida a aspectos biológicos, químicos, físicos y de prácticas de manejo, con sus respectivas interacciones (Lane *et al.*, 1983).

Se han elaborado una gran cantidad de tablas para determinar el valor del coeficiente C dependiendo del tipo y cubrimiento de la cobertura vegetal (Suárez, 2001). La evaluación de este factor ha sido revisada incorporando la información que aporta la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca en su guía rápida temática para usuario SIG - Pérdida Máxima de Suelo (tabla 3, 4 y 5).

Tabla 3 Principales valores del Factor C (Ludger Reining, 1992).

SISTEMA DE USO DE LA TIERRA	VALOR C ANUAL REPRESENTATIVO
Cultivo Limpio	1.0
Bosque o Sistema de Cultivo con Alta Paja de Mulch	0.001
Pasto sin Uso	0.01
Cubierta Cultivo (Planta Crecimiento Lento)	
Primer Año	0.3 – 0.8
Segundo Año	0.1
Cubierta Cultivos (Crecimiento Rápido)	0.1
Maíz, Sorgo, Millo	0.3 – 0.9
Arroz (Cultivo Intensivo, Segundo Periodo de Cultivo)	0.1 – 0.2
Algodón, Tabaco (Segundo Periodo de Cultivo)	0.5
Groundnut (Nuez de Tierra)	0.4 – 0.8
Yuca (Primer Año)	0.2 – 0.8
Palma, Café, Cacao (Con Cubierta Cultivo)	0.1 – 0.3

Fuente: CVC, 2014.

Tabla 4 Principales valores del Factor C (Publicado por la USDA).

TIPO DE COBERTURA	FACTOR C	REDUCCIÓN DE PERDIDA DE SUELOS %
Desnudo (Barbecho)	1.0	0
Vegetación Nativa (Sin Disturbar)	0,01	99
Cultivos Temporales		
- 90 % Cobertura, Pastos Anuales, Sin Mulch	0.1	90
- Mulch con Fibra de Madera, ¾ ton/acre (1.7 ton/ha), con Semilla*	0.5	50
- Colchón Sobresaliente, Proyección*	0.3	70
Mulch de Paja		
- 1.5 ton/acre (3.4 ton/ha), Unida Abajo	0.2	80
- 4 ton/acre (9 ton/ha), Unida Abajo	0.05	95

Nota * Para pendientes mayores a 2:1 (25%). Publicado por la USDA.

Fuente: CVC, 2014.

Tabla 5 Principales valores del Factor C

COBERTURA	FACTOR C	REDUCCIÓN DE PERDIDA DE SUELOS %
Suelo Desnudo	1.0	0
Cultivo de Frijol	0.3 – 0.9	50
Césped Natural	0.01	90
Bosque de Pino	0.001	99

Nota * De acuerdo con las tablas anteriores: Roose en 1977, citado por Ludger, R., 1992

Fuente: CVC, 2014.

• **Factor de prácticas de conservación del suelo P**

El Factor P, prácticas de conservación, evalúa la eficacia en el control de la erosión de distintas medidas de conservación (terrazas, cultivo a nivel). Debido a que en la actualidad no se tiene reporte del manejo de las coberturas ni de las prácticas de conservación que se realizan en la cuenca, el Factor P es igual a 1 con lo cual se calcula el mayor valor de la pérdida (Barrio, Quiñonez, 2000; CVC, 2014).

6.2 RESULTADOS

Culminado el proceso metodológico se da paso a la exposición de los resultados donde se encuentra contenido el análisis de los índices que permitirá la clasificación y zonificación de la susceptibilidad de erosión hídrica en la cuenca del Río Guabas.

6.2.1 REVISIÓN, SELECCIÓN Y CORRECCIÓN DEL MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN (DEM) DE LA CUENCA PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE TOPOGRÁFICO.

Para el desarrollo del Índice Topográfico, se analizaron inicialmente los modelos digitales de elevación que se encuentran disponibles para el uso del público. En el que se observó el de mejor resolución espacial⁴ y que más se adaptó a las condiciones topográficas que plantea nuestra zona.

6.2.1.1 REVISIÓN BIBLIOGRAFICA DE LOS MODELOS DIGITALES DE ELEVACION.

- **Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)** de la National Aeronautics and Space Administration (NASA) y la National Geospatial-Intelligence Agency (NGA), la misión fue lanzada el 11 de febrero del 2000, en el cual se obtuvieron datos topográficos para el 80% de la superficie de la tierra. Cuenta con una resolución espacial de 90 metros, y abarca el área comprendida entre los 60° latitud norte y los 56° latitud sur, en una grilla de entre 3 arco segundo en latitud y longitud.
- **ASTER GDEM** es un producto desarrollado en conjunto y puesto a disposición del público por el Ministerio de Economía, Comercio e Industria (METI) de Japón y la National Aeronautics and Space Administration (NASA). Se genera a partir de los datos adquiridos y transmitidos por el sensor ASTER. El ASTER GDEM es el único DEM que posee cobertura global en alta resolución, entre los 83° Latitud Norte y los 83° Latitud Sur. Desde el lanzamiento de la versión 1 el 29 de junio de 2009.

6.2.1.2 SELECCIÓN Y CORRECCIÓN DEL MODELO DIGITAL DE ELEVACION PARA EL CÁLCULO DEL ÍNDICE TOPOGRAFICO.

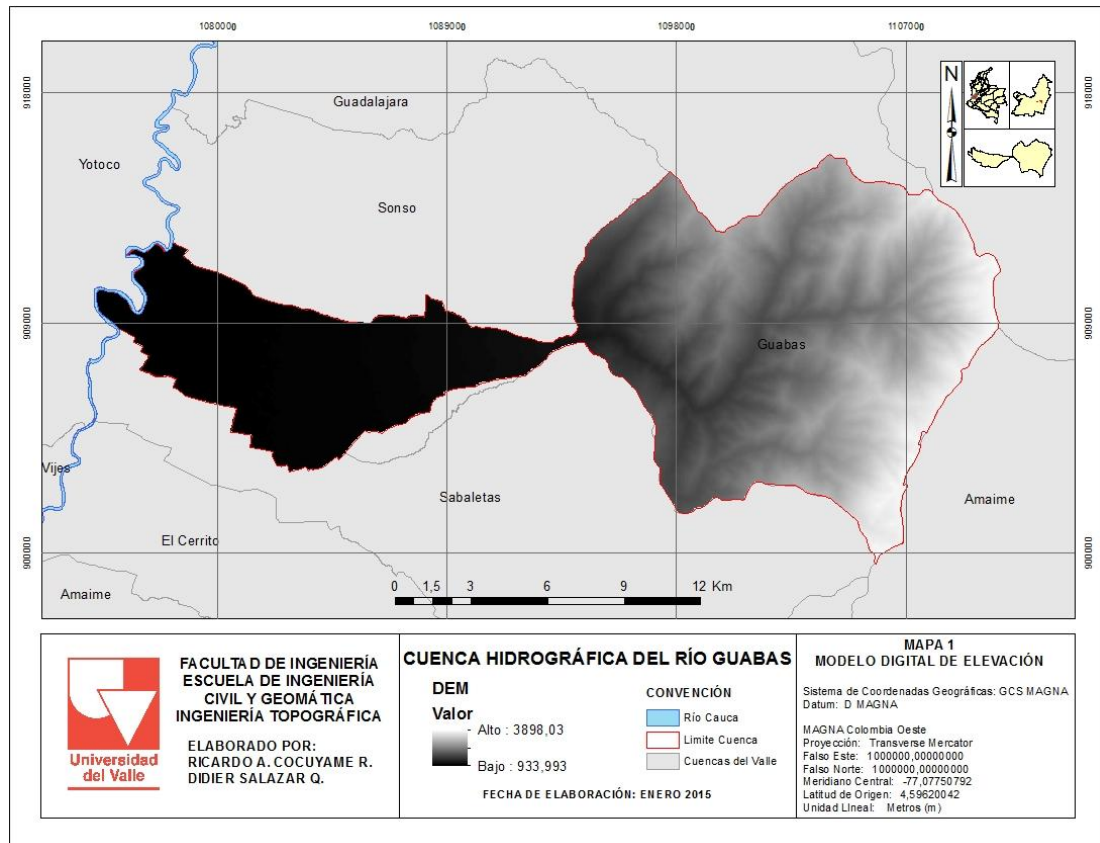
Se selecciona el modelo digital SRTM Plus o SRTM Versión 3, el cual utiliza el producto SRTM Versión 2, ASTER GDEM2 y GMTED2010; estos dos últimos son usados para el llenado de vacíos que presenta el DEM. Con estos se analiza la zona de estudio y se encuentra que no presenta huecos o vacíos de información, por lo tanto es óptimo para su utilización. Ver figura 6.

6.2.1.3 ÍNDICE TOPOGRÁFICO LS.

El índice topográfico (figura7) es calculado tomando como entrada el modelo de digital de elevación DEM previamente seleccionado. A partir de este dato de entrada se calcula el mapa de dirección de flujos, flujo acumulado, el mapa de pendientes en grados (figura 8), las variables correspondientes a β , exponente m , factor L ecuación [12], factor S condicionado a las pendientes menores de 9% y mayores de 9%. Apoyándonos del software ArcGis y de su caja de herramienta Arctoolbox.

⁴ Resolución espacial: es del tamaño de un pixel en las dimensiones del terreno. Un píxel es el elemento más pequeño en una escena y visualización de la imagen.

Figura 6 Modelo digital de elevación.



Cuando se aplica la ecuación [13] en el Raster Calculator de ArcGIS se debe tomar en cuenta que el ángulo deberá ser convertido a radianes (1 grado sexagesimal = 0,01745 radianes).

Tomando en cuenta las clasificaciones de la pendiente en grados presentadas en los trabajos de FAO, 2009 y CVC, 2012. Los valores obtenidos en el mapa de pendiente se agrupan como se observa en la tabla 6.

En el figura 9 se puede observar que los valores más altos del índice topográfico en la cuenca del Río Guabas se reúnen en la parte alta de la cuenca, donde se presenta las pendientes mayores al 20%. Mientras que en la parte plana se encuentra los valores más bajos del índice topográfico lo cual genera poca influencia en el riesgo de erosión.

Figura 7 Flujograma del cálculo del índice topográfico

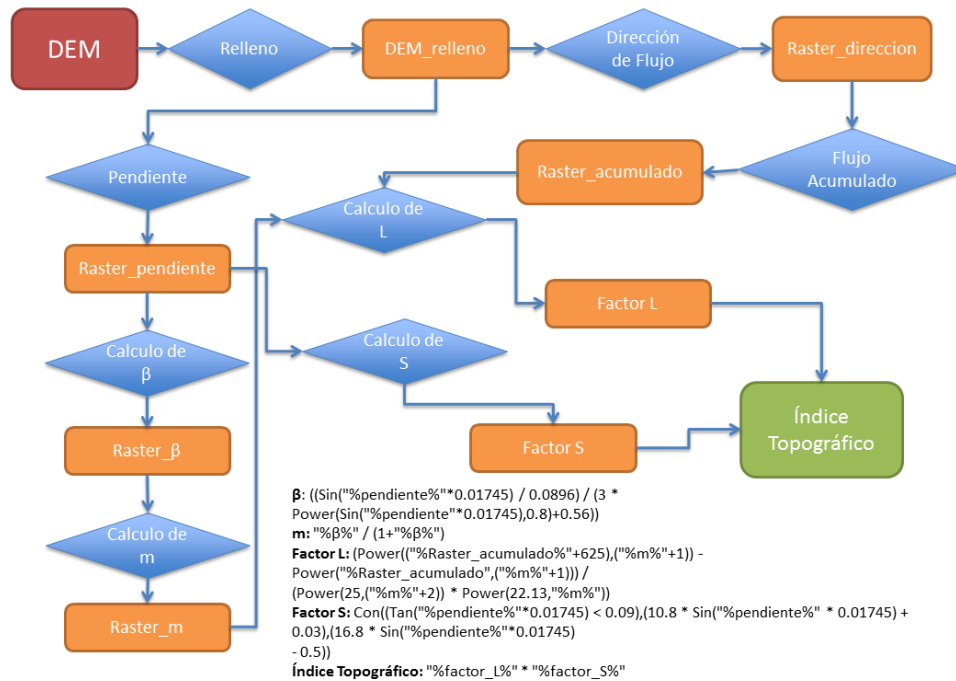


Figura 8 Mapa de pendiente en grados.

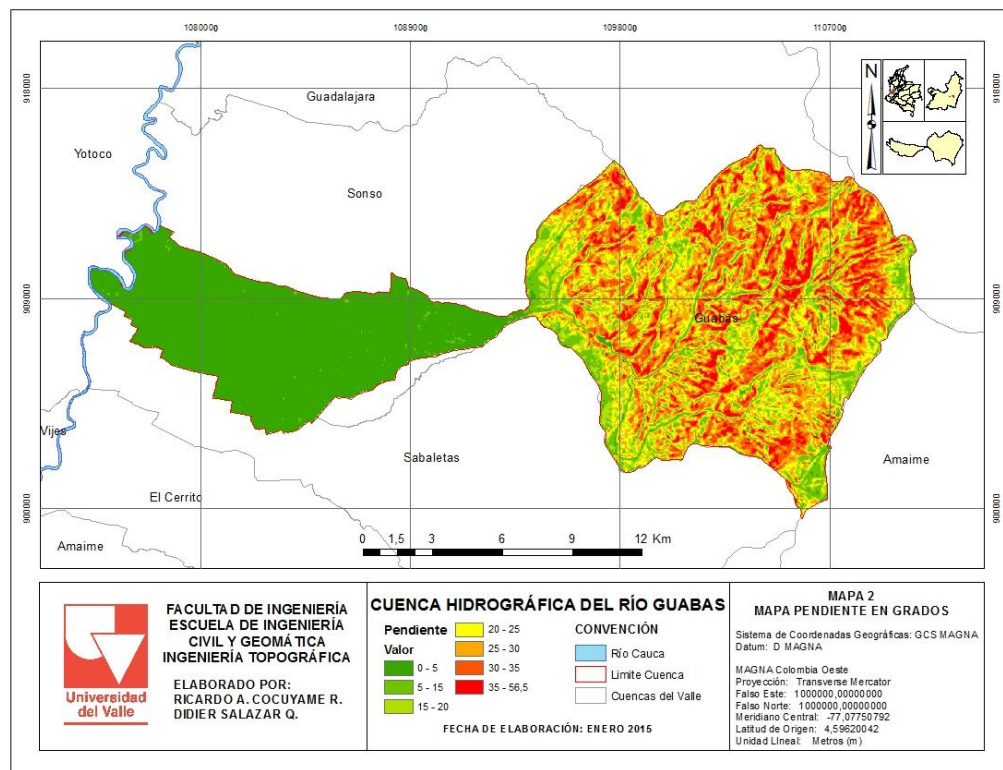
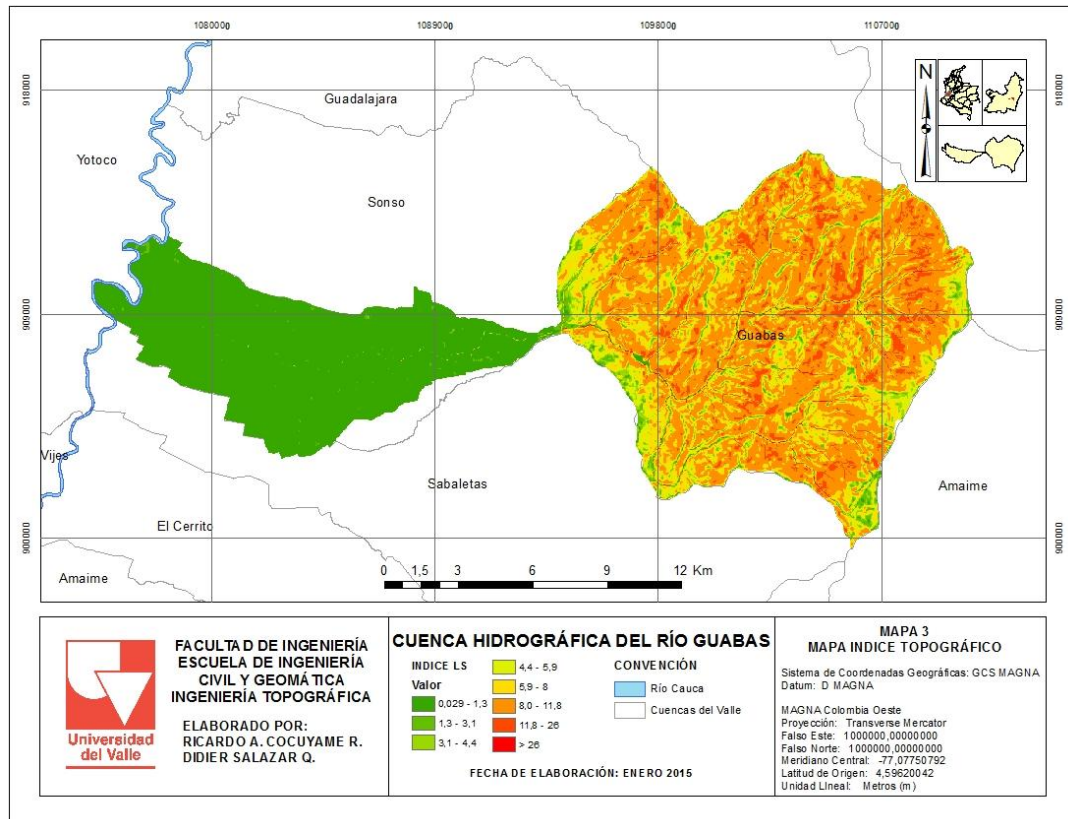


Tabla 6 Clasificación de Pendientes.

RANGO DE PENDIENTE %	CLASIFICACIÓN
0 – 5	Plano – Muy ligeramente inclinado
5 - 15	Ligeramente inclinado
15 – 20	Inclinado
20 – 25	Fuertemente inclinado
25 – 30	Moderadamente escarpado
30 – 35	Escarpado
35 – 56,5	Muy escarpado

Figura 9 Índice topográfico.

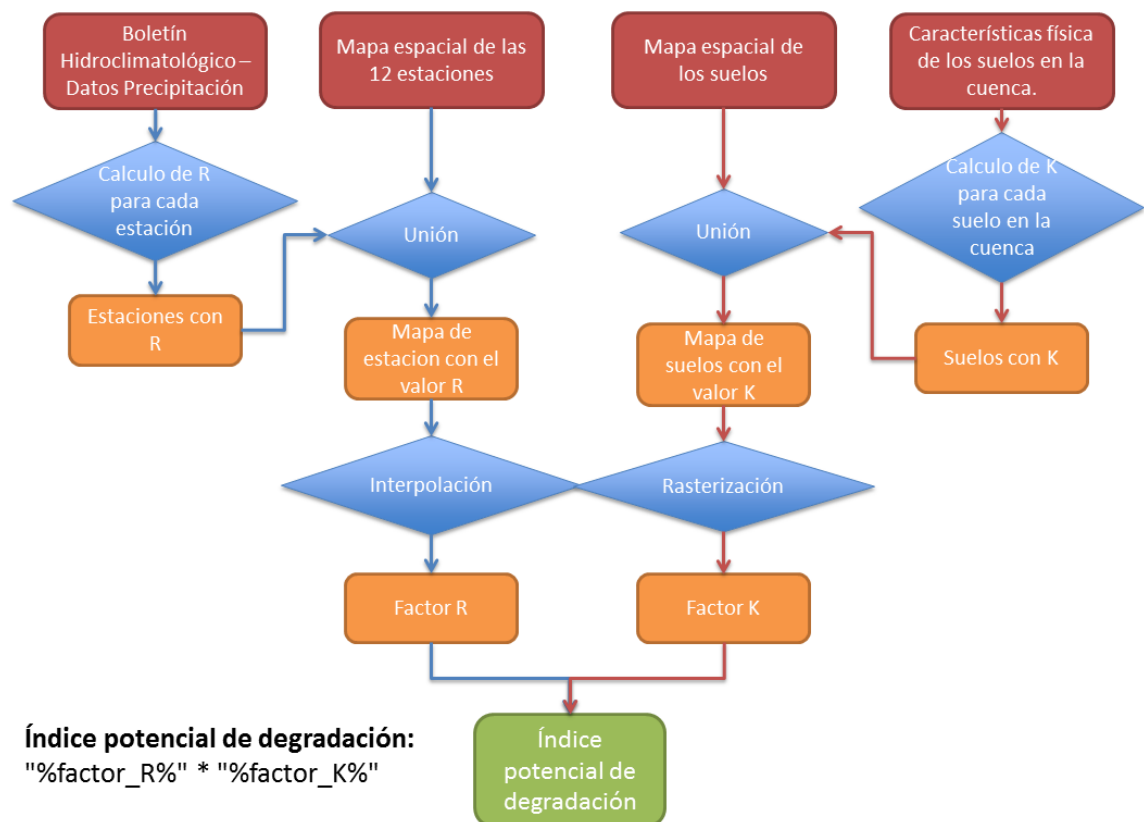


6.2.2 CARACTERIZAR EL USO DE SUELO EN LA CUENCA Y CONSTRUIR EL ÍNDICE DE PRÁCTICAS DE MANEJO Y EL ÍNDICE POTENCIAL DE DEGRADACIÓN.

6.2.2.1 ÍNDICE POTENCIAL DE DEGRADACIÓN.

El índice potencial de degradación (figura 10) de la cuenca aporta una información básica de la erosión hídrica que se está produciendo en la zona. Nos permite deducir, indirectamente, los factores de erosividad de la lluvia y erosionabilidad del terreno, ya que la red de drenaje va a ser consecuencia de la resistencia de los materiales a ser arrastrados por el agua de lluvia y la escorrentía.

Figura 10 Flujograma del cálculo del índice potencial de degradación



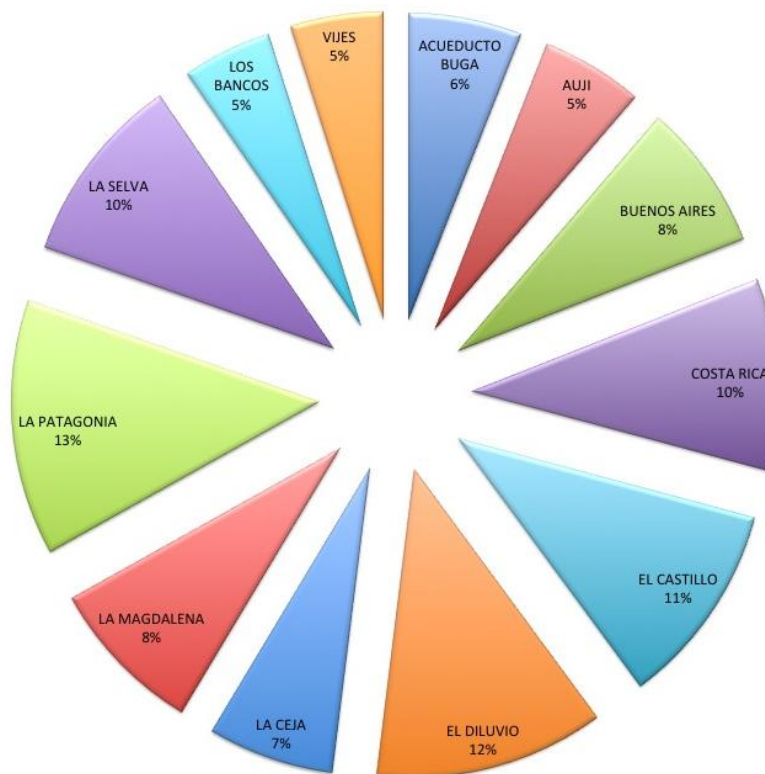
FACTOR DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA R

Utilizando el Boletín Hidroclimático – Año 2012 de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (Anexo A). Se utilizaron los valores de precipitación mensual, desde 1967 hasta 2012 - (30 años), de 12 estaciones cercanas a la cuenca. Para lo cual se calculó la precipitación media mensual de cada mes teniendo en cuenta los valores de los 30 años. Desarrollando así la ecuación [8] para el cálculo del factor R, los resultados se ven reflejados en la tabla 7 y figura 11.

Tabla 7 Factor R para los suelos de la Cuenca.

ESTACION	FACTOR R [Mj*mm/ha*h]
ACUEDUCTO BUGA	106,27
AUJI	95,73
BUENOS AIRES	138,38
COSTA RICA	179,76
EL CASTILLO	191,58
EL DILUVIO	215,53
LA CEJA	118,92
LA MAGDALENA	147,94
LA PATAGONIA	239,71
LA SELVA	179,13
LOS BANCOS	84,18
VIJES	87,41

Figura 11 Porcentaje de los valores de precipitación de las estaciones.



INTERPOLACIÓN

Para obtener el mapa de distribución de los valores del factor R, se realiza una interpolación de los datos obtenidos, con el fin de poder conseguir unos resultados óptimos para el proyecto, se realizan distintas interpolaciones y se escoge en la que mejor se representan y ajustan los datos representados en la tabla 7.

IDW (Inverse Distance Weigh), (Peso del Inverso de la Distancia) es un método avanzado de la técnica del vecino más próximo que utiliza la distancia de los puntos con datos hacia el punto desconocido, asignando un peso a los diferentes puntos con datos. Este método asume que cada punto posee una influencia local que disminuye con la distancia; de esta manera, el método pondera con mayor fuerza a los puntos con datos cercanos al punto de valor desconocido y con menor intensidad sobre aquellos ubicados a mayor distancia.

IDW es un método de interpolación que utiliza los promedios de los valores de entrada (figura 12), por lo que el resultado de los valores de interpolación jamás superará los límites máximos y mínimos establecidos en los puntos de entrada del análisis (Abad, 2014).

Método Spline. Es un método de interpolación inexacto, ya que altera ligeramente el valor y la posición de los datos, generando un resultado muy suavizado (el valor resultado de la interpolación en los puntos origen sobre los que se realiza la interpolación cambia tras aplicar el proceso). El valor que predice para los lugares donde existe el dato puede verse alterado, ya que no fuerza a la superficie resultante para que se ajuste de forma exacta a la muestra (figura 13). Este método es bueno cuando son pocos los puntos de partida, ya que posibilita obtener nuevos datos (García, Cebrián, 2006).

Krigging es un algoritmo basado en la geoestadística o “arte de modelizar datos espaciales”. Esta técnica tiene en cuenta el comportamiento espacial de la variable a partir de la distancia y el grado de variación entre los puntos. Los valores obtenidos se consiguen por combinación lineal de los puntos origen con dato conocido. Como resultado quedan áreas mayores y más compactas alrededor de los valores máximos de la variable. Nuevamente el grado de ajuste con respecto a la distribución de las estaciones es menor, situándose en un entorno más predictivo que real (García, Cebrián, 2006).

Figura 12 Interpolación método IDW.

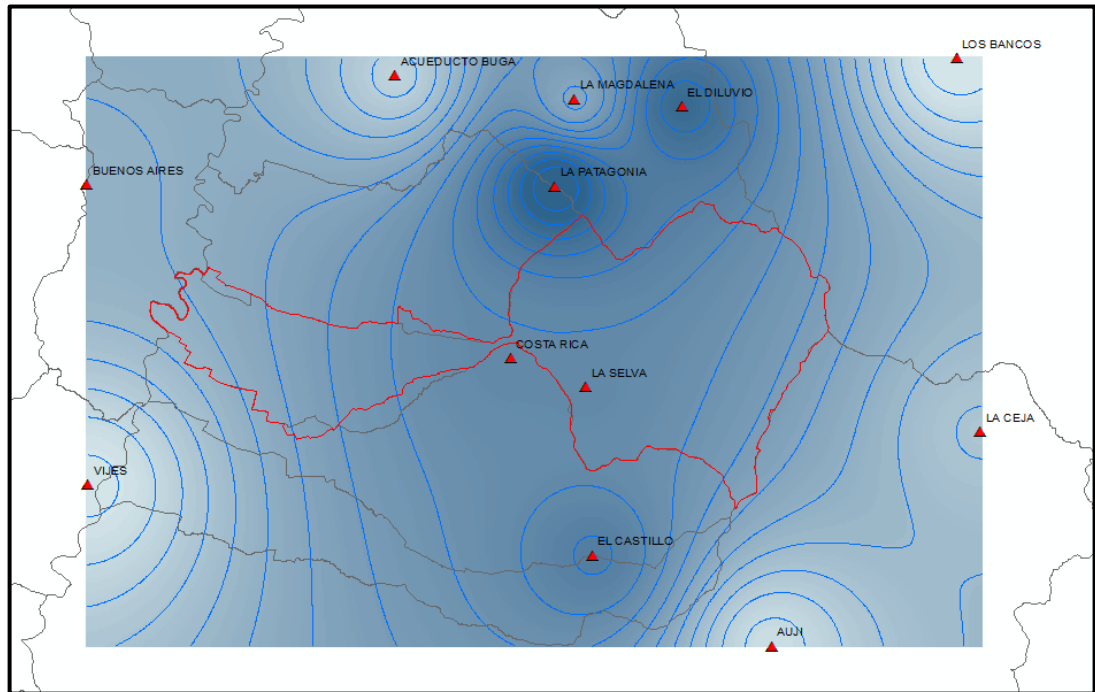
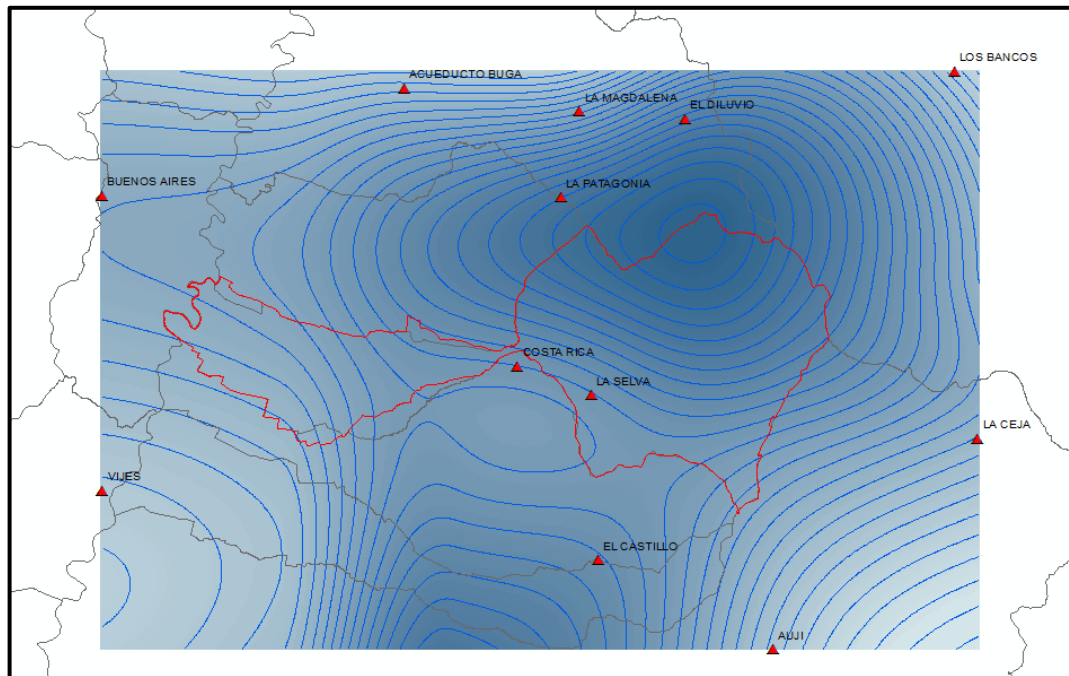


Figura 13 Interpolación método Spline.

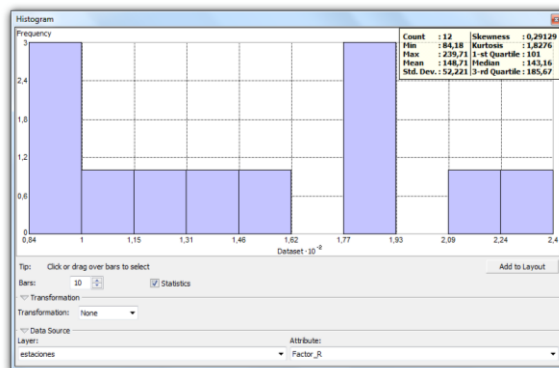


Con el fin de obtener la distribución espacial del Factor R se realizó la interpolación de la información mediante el método Kriging Ordinario el cual genera una representación lógica y aproximada de la distribución de las variables en el espacio (García, Cebrián,

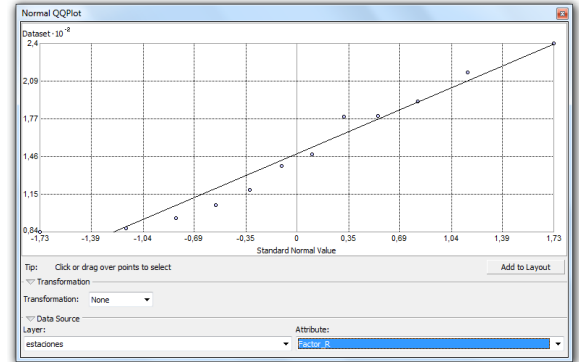
2006). Para el cual, primero se llevó a cabo un análisis exploratorio de los datos que consiste en la observación del Histograma (figura 14), donde se observa que la mediana y la media son datos cercanos, y mediante la gráfica normal QQPlot se puede observar que no hay una desviación muy fuerte de los datos, mostrando un comportamiento normal. La cual es un condicionante para la realización de la interpolación.

Figura 14 Exploratorio de datos.

Histograma método Kriging.

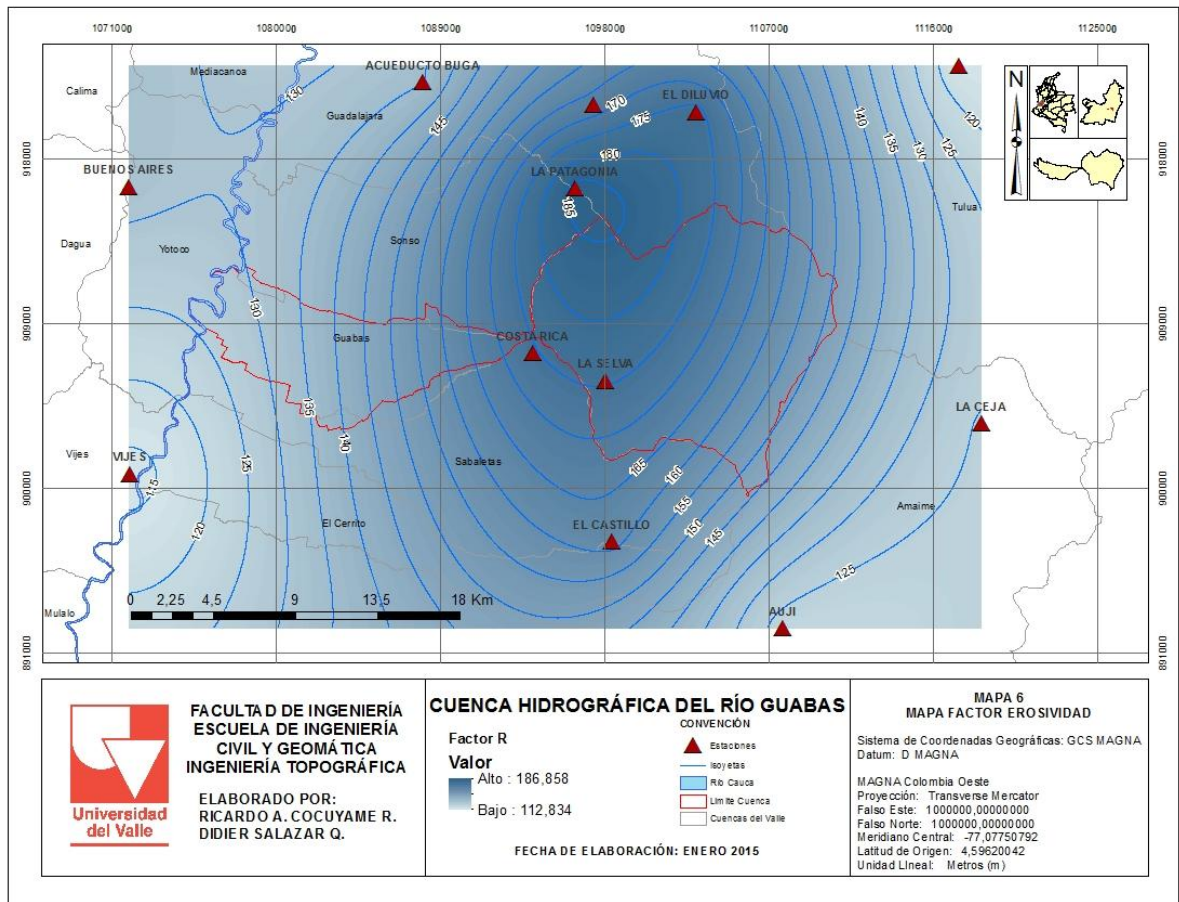


QQPlot método Kriging.



En la figura 15 se aprecia la distribución espacial de la interpolación del factor de erosividad de la lluvia en la cuenca del Río Guabas. Donde se identifica que la mayor erosividad que se muestra en la cuenca está concentrada en las estaciones La Patagonia y El Diluvio, esto además se puede apreciar teniendo en cuenta su precipitación mensual; lo que significa que las zonas que se encuentran entre las isoyetas con valor de 175 a 185 tienen un mayor potencial erosivo, ayudando de manera significativa en los procesos erosivos del suelo.

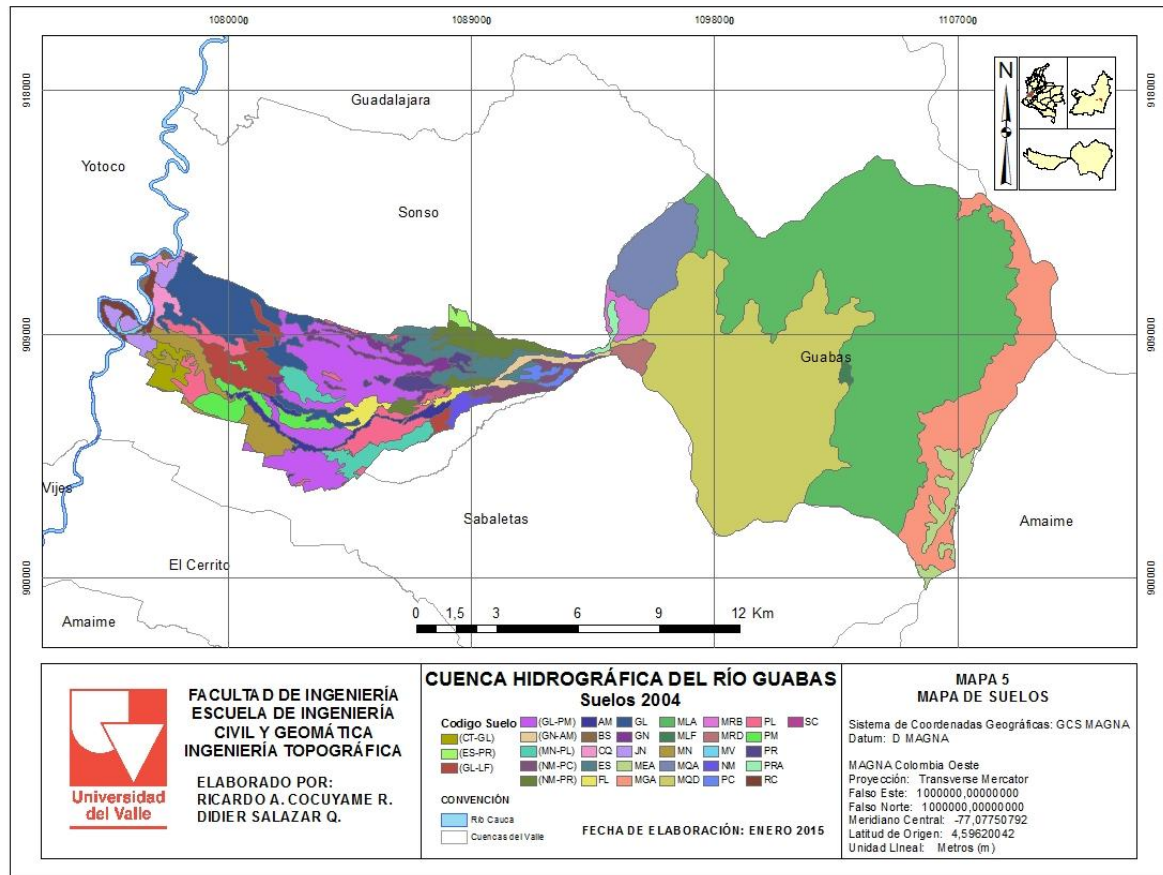
Figura 15 Mapa erosividad de la lluvia.



FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO K

Teniendo presente la ecuación [9] y conociendo cuales son los suelos presentes en la cuenca, y apoyándose con la información de los perfiles, tomada del documento “Levantamiento de suelos y zonificación de tierras del Departamento del Valle del Cauca”; IGAC – CVC, 2004, se calculó el factor K para cada conjunto de suelos, presentes en la Cuenca (figura 16).

Figura 16 Mapa de suelos de la Cuenca de Guabas.



Los valores de la textura, materia orgánica y estructura se refieren a los 15 – 20 cm, superiores del suelo y los de permeabilidad a todo su perfil.

Con el dato del porcentaje de Carbono %C se obtiene el porcentaje de materia orgánica a [10]:

$$a = 1,724 * \% C \quad [10]$$

La USDA ha establecido cualitativamente los valores del código para la estructura del suelo (tabla 8) y la permeabilidad del perfil (tabla 9) a partir de las descripciones de campo y de los valores de la granulometría según los siguientes criterios.

Tabla 8 Valores del código USDA para la estructura del suelo.

ESTRUCTURA			
GRADO	FORMA	TAMAÑO	CÓDIGO
Sin Estructura		Muy Fina	4
Débil	Granular	Media	3
	Bloqueangulares	Media	3
Moderada	Granular	Muy Fina	1
		Fina	2
		Media	2
	Bloquesubangulares	Muy Fina	2
		Media	2
	Bloqueangulares		2
Fuerte	Granular		2
	Bloqueangulares		2

Fuente: CVC, 2014.

Tabla 9 Valores del código USDA para la permeabilidad del suelo.

PERMEABILIDAD	
TEXTURA	CLASE DE PERMEABILIDAD
Franco – arenosa	Medianamente rápida
Franca	Moderada
Franco – limosa	
Franco – arcillo – limosa	
Franco – arcillo – arenosa	
Franco – arcillosa	
	Moderadamente lenta
Arcillosa	Lenta

Fuente: CVC, 2014.

Los valores del factor K (Erodabilidad del Suelo) presentes en los suelos de la cuenca de Guabas (Anexo B) se relacionan en la siguiente tabla 10.

Tabla 10 Factor K para los suelos de la Cuenca.

SUELO	CÓDIGO DE SUELO	FACTOR K
Complejo Corintias - Galpon	(CT-GL)	0,14
Complejo Esneda - Pradera	(ES-PR)	0,12
Complejo Galpon - Las Fuentes	(GL-LF)	0,15
Complejo Galpon - Palmeras	(GL-PM)	0,15
Complejo Genova - Amaime	(GN-AM)	0,25
Complejo Manuelita - Palmira	(MN-PL)	0,20
Complejo Nima - Pichichi	(NM-PC)	0,23
Complejo Nima - Pradera	(NM-PR)	0,23
Consociación Amaime	AM	0,78
Complejo La Balsa	BS	0,48
Consociación Cauquita	CQ	0,30
Consociación Esneda	ES	0,20
Consociación Florida	FL	0,63
Consociación Galpon	GL	0,26
Consociación Genova	GN	0,51
Consociación Juanchito	JN	0,20
	MEA (NO SE ENCUENTRA EL PERFIL)	
	MGA	0,89
Asociación Nogales	MLA	-0,04
Asociación El Placer	MLF	0,12
Consociación Manuelita	MN	0,34
Asociación Miraflores	MQA	0,09
	MQD	0,10
	MRB	0,23
	MRD	0,21
Consociación Madre Vieja	MV	0,21
Consociación Nima	NM	0,36
Consociación Pichichi	PC	0,00
Consociación Palmira	PL	0,22
Consociación Palmeras	PM	0,25
Consociación Pradera	PR	0,10
Consociación Pradera	PRA	0,17
Consociación Río Cauca	RC	0,40
Consociación Sauce	SC	0,91

Para el tipo de Asociación Nogales (MLA) con un valor en el factor $K = -0,04$, el cual está conformado por el siguiente suelo (tabla 11):

Tabla 11 Relación carbono y materia orgánica.

Suelos	% carbono	Materia Orgánica
Typic Hapludands	8,34	14,38

Se observa un alto valor en la materia orgánica, la cual está relacionada al porcentaje de carbono. La materia orgánica es clasificada dependiendo del tamaño de la partícula como un indicador de erosionabilidad, mientras que el contenido de escorrentía del suelo esta inversamente relacionado con el contenido de materia orgánica.

Por lo cual el valor del factor K puede verse afectado por la materia orgánica, hasta el punto de generar un valor negativo en su cálculo, lo que no quiere decir que este mal calculado, sino que debido a su alto contenido en materia orgánica no produce riesgo de erosionabilidad. Por lo tanto para no presentar valores negativos en el cálculo de la formula, se opta por dejar el suelo Typic Hapludands con un valor máximo de 12 en la materia orgánica.

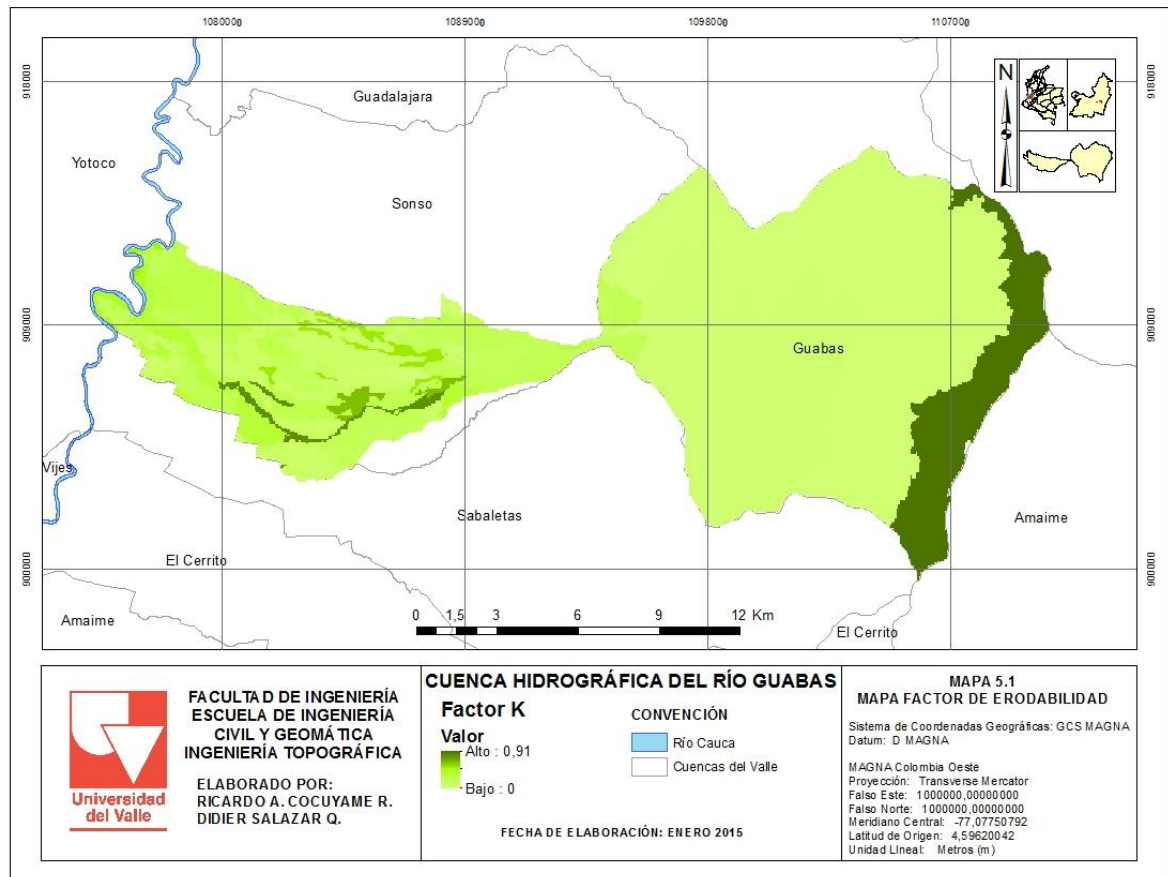
El suelo MEA no presenta un perfil en el cual podamos tomar los valores correspondientes para el cálculo del factor K . Por consiguiente se elige colocar el valor del suelo MGA que se encuentra a una altura similar y cercana a él. Lo mismo sucede con la consociación pichichi (PC) debido a que su perfil no presenta valores para arcilla, limos y arenas; se designa poner el valor del complejo (NM-PC) ya que se encuentra a una misma altura y está conformado por dicha consociación. Todo esto con el fin de no presentar vacíos en los cálculos del factor K .

Teniendo en cuenta lo anterior los datos modificados quedan representados de la siguiente manera:

Asociación MLA = 0,00 Suelo MEA = 0,89 Consociación pichichi (PC) = 0,23

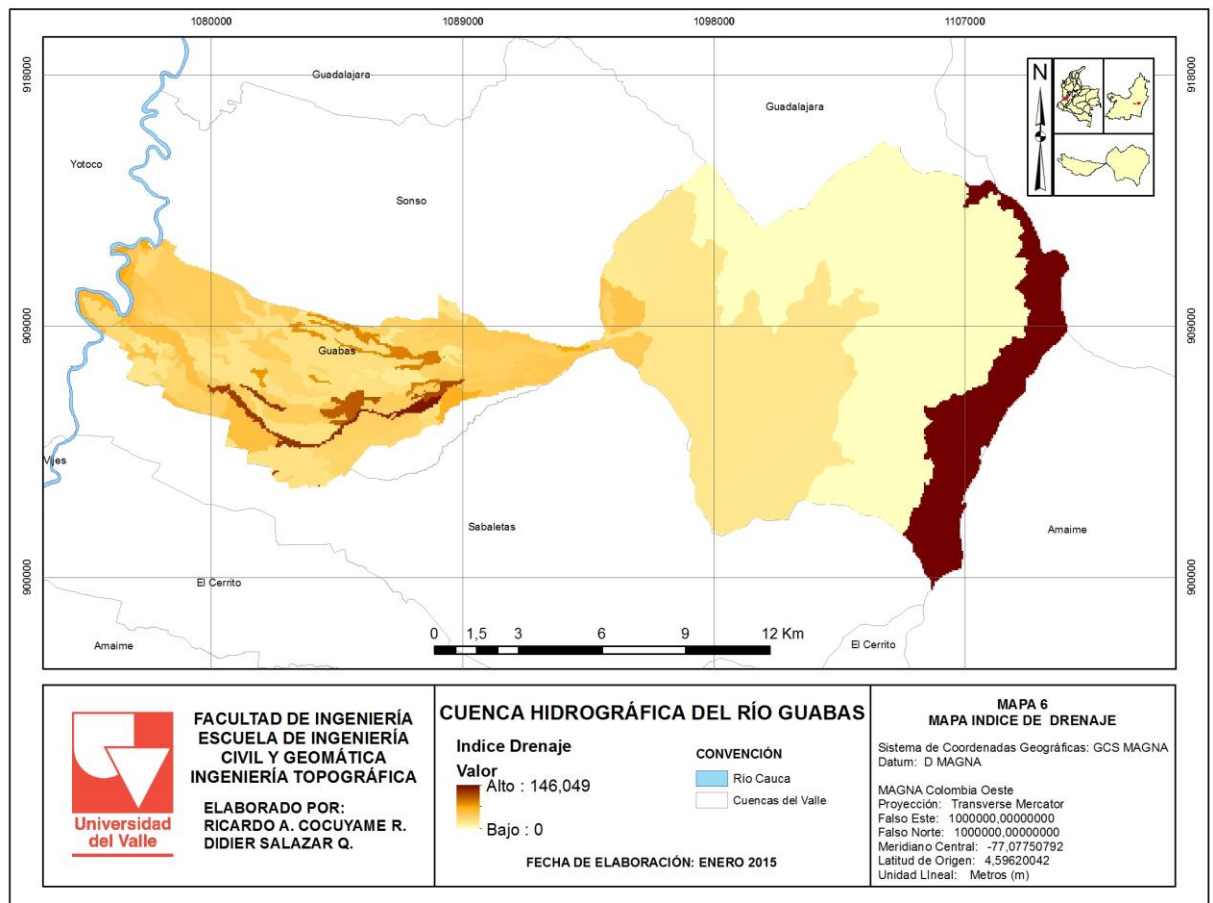
El factor K para la cuenca, se puede observar en la figura 17.

Figura 17 Mapa factor de erodabilidad



En el figura 18 se ilustra el índice potencial de degradación en la cuenca, en el cual se puede observar que los valores más altos se encuentran en la parte más alta de la cuenca (Paramo), aunque esta tenga poca precipitación como se ilustro anteriormente, se ve muy afectada por la zonificación del suelo, Gracias a que el cálculo del factor K en esta zona tiene valores de erodabilidad altos. A diferencia de lo que ocurre donde la precipitación es alta, ya que en esta zona la zonificación del suelo tiene valores de erodabilidad bajos. También el potencial es mayor en la parte plana de la cuenca, donde la asociación de suelos que presenta posee valores altos.

Figura 18 Índice potencial de degradación.



6.2.2.2 ÍNDICE DE PRÁCTICAS DE MANEJO

El índice de prácticas de manejo, aporta información sobre el papel de la vegetación en la zona, ya que esta se encarga de interceptar las gotas de lluvia, disipando su energía cinética, antes de que impacte contra el suelo. Este índice es creado de la manera descrita en la figura 19.

Figura 19 Flujograma del cálculo del índice prácticas de manejo



FACTOR DE COBERTURA POR MANEJO DE CULTIVOS C

Teniendo en cuenta los coeficientes de C anteriormente presentados en las tablas 3, 4 y 5, se le asigna a cada uso de suelo (figura 20) un valor correspondiente de coeficiente C (tabla 12), para la cuenca de Guabas, los usos de suelo fueron suministrados por parte de la C.V.C. (figura 20). Generando al final el mapa del factor C ilustrado en la figura 21.

Figura 20 Mapa uso actual del suelo.

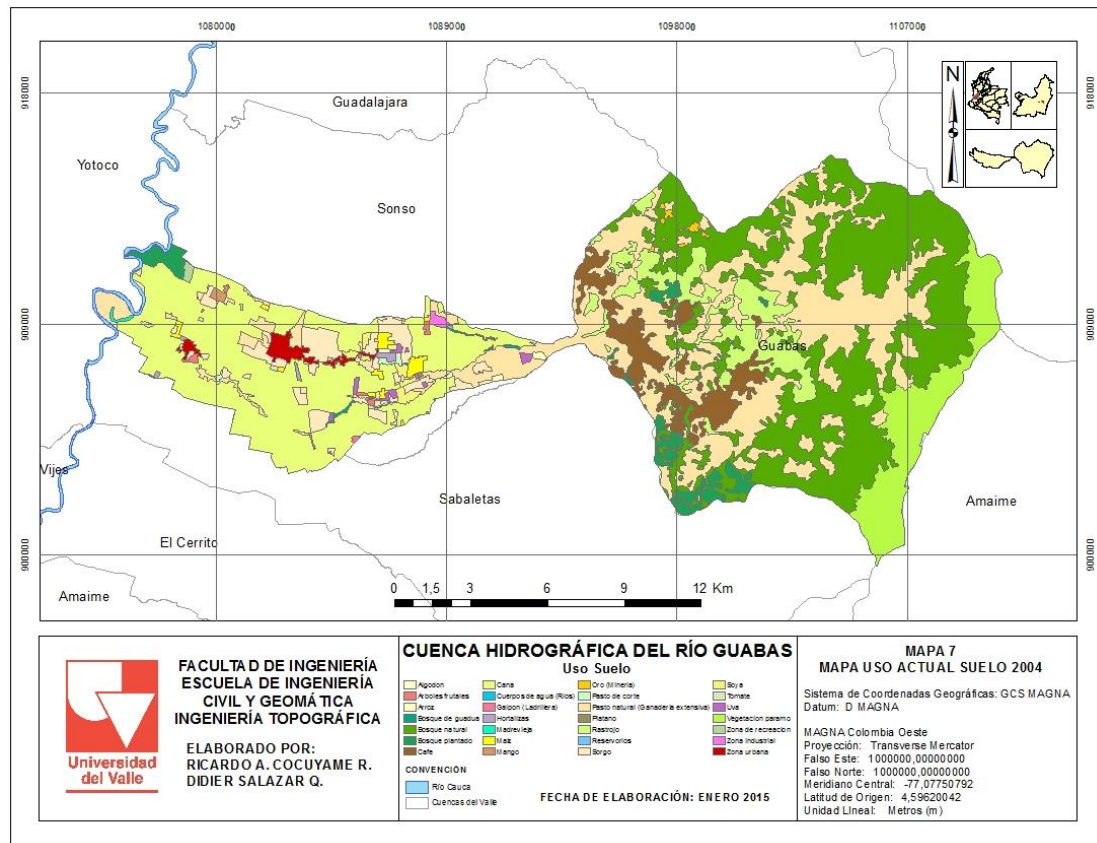
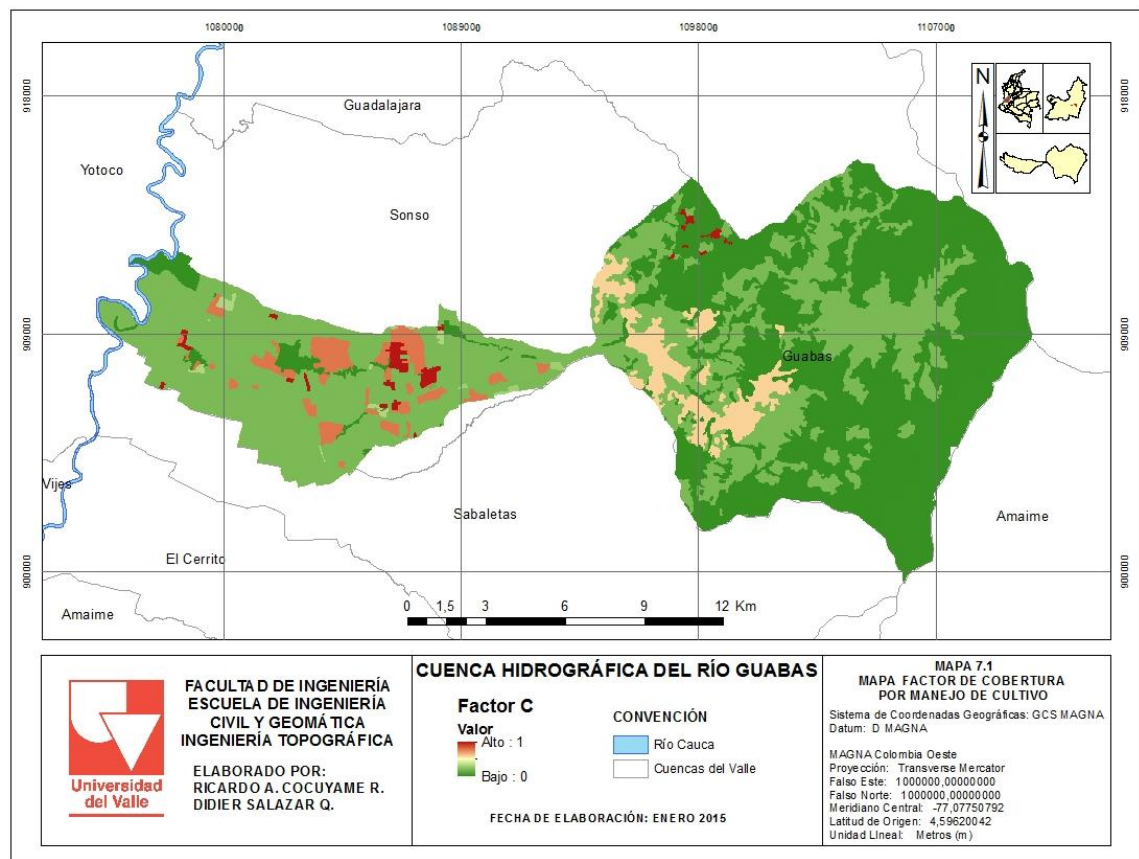


Tabla 12 Factor C para los suelos de la Cuenca.

NOMBRE USOS DE SUELO	CODIGO	FACTOR C
Árboles frutales	AF	0,166
Algodón	AL	0,500
Arroz	AR	0,150
Bosque de guadua	BG	0,001
Bosque natural	BN	0,001
Bosque plantado	BP	0,001
Café	CF	0,300
Galpón (Ladrillera)	GL	----
Hortalizas	HO	1,000
Mango	MG	0,166
Madrevieja	MV	0,000
Maíz	MZ	0,500
Oro (Minería)	OR	1,000
Pasto de corte	PC	0,100

Plátano	PL	0,086
Pasto natural (Ganadería extensiva)	PN	0,100
Rastrojo	RA	0,001
Cuerpos de agua (Ríos)	RIO	----
Reservorios	RV	----
Sorgo	SO	0,400
Soya	SY	0,100
Tomate	TO	0,100
Uva	UV	0,400
Vegetación paramo	VP	0,010
Zona industrial	ZI	----
Zona de recreación	ZR	----
Zona urbana	ZU	----
Caña	CANA	0,100

Figura 21 Mapa factor de cobertura por manejo de cultivo.

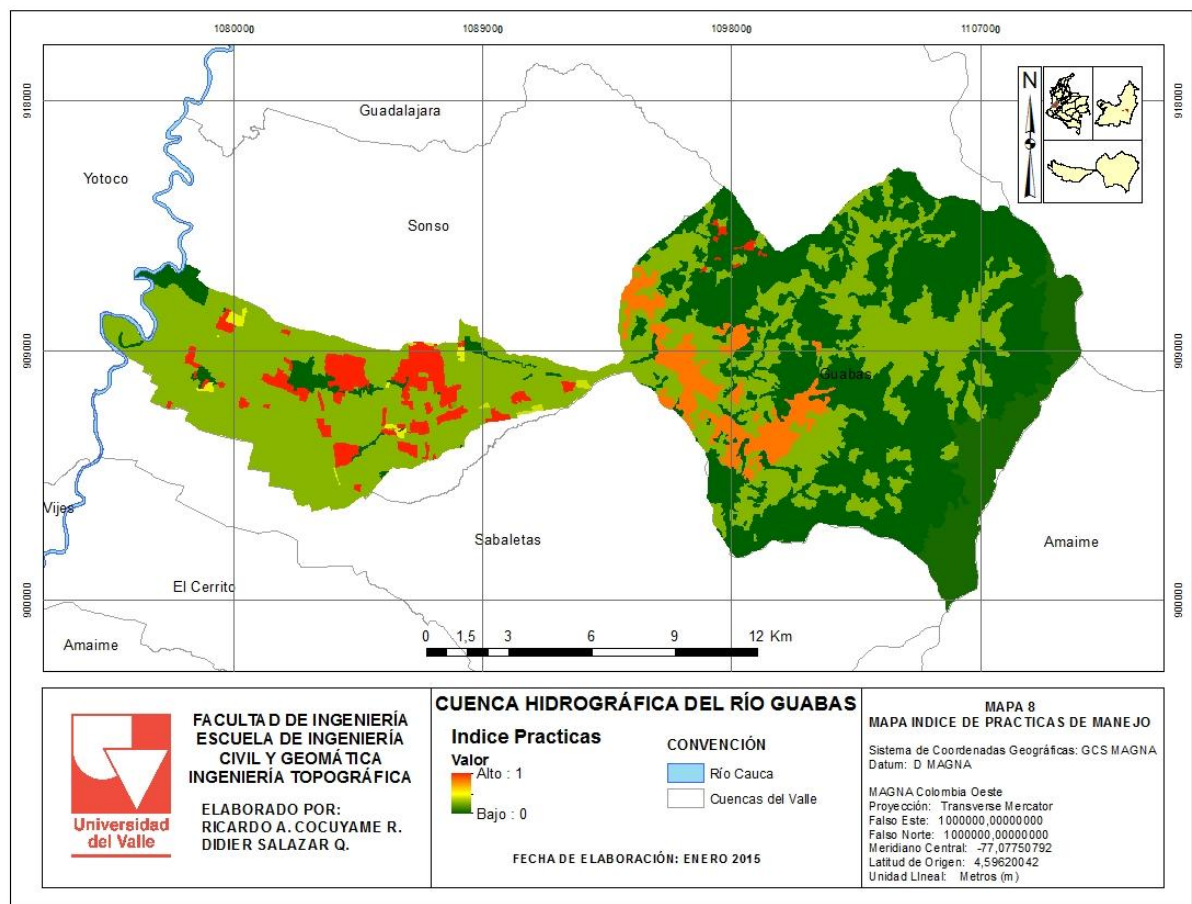


FACTOR DE PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DEL SUELO P

Como se había mencionado con anterioridad, en la cuenca no se presentan actualmente reportes sobre la conservación del suelo en la cuenca, por lo cual al momento del cálculo del este facto queda con valor de 1, para representar el mayor valor de pérdida.

En el figura 22 se ilustra el índice de prácticas de manejo, en la que se puede observar que los valores más altos son los correspondientes al factor de cobertura por manejo de cultivos, los cuales son: minería (oro), maíz, hortalizas, algodón. Debido a que el factor de prácticas de conservación se coloca igual a 1.

Figura 22 Índice de prácticas de manejo.



6.2.3 CARTOGRAFÍA DE UNIDADES DE FRAGILIDAD Y SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN.

A partir de los mapas temáticos realizados previamente (índice topográfico, índice potencial de degradación y índice de prácticas de manejo), vamos a obtener mapas los

cuales nos van a exponer el grado de fragilidad y de susceptibilidad a la erosión de la cuenca.

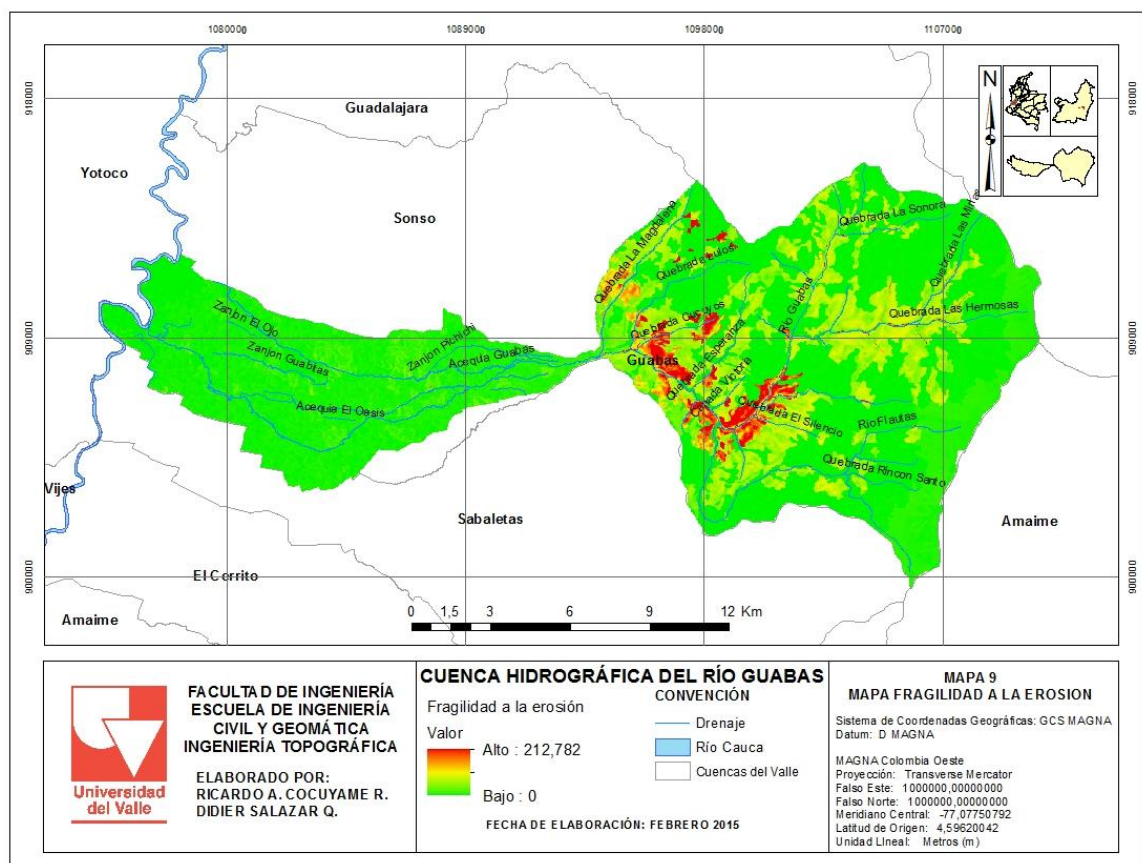
6.2.3.1 MAPA DE FRAGILIDAD A LA EROSIÓN DE LA CUENCA DEL RÍO GUABAS.

El grado de fragilidad se pone de manifiesto mediante el análisis del índice topográfico y del índice de prácticas de manejo.

La figura 23, aproxima en primera instancia a las zonas que presentan algún tipo de fragilidad por erosión hídrica. Donde las zonas con mayor valor de fragilidad son las que se encuentran en las cercanías de las quebradas La Magdalena y Lulos, en donde se localiza el uso de suelo para la minería (oro). Otra zona de gran fragilidad es la localizada en las inmediaciones de las desembocaduras de las quebradas Cucuyos, Esperanza y El Silencio con el Rio Guabas, en las cuales se presenta el uso del suelo para el cultivo de café.

En una mediana escala de fragilidad, se encuentra las zonas de ganadería extensiva, la cual se presenta en gran parte de la cuenca, mostrándose más resaltada sobre las quebradas Las Hermosas, La Magdalena y El Silencio.

Figura 23 Mapa de fragilidad a la erosión.

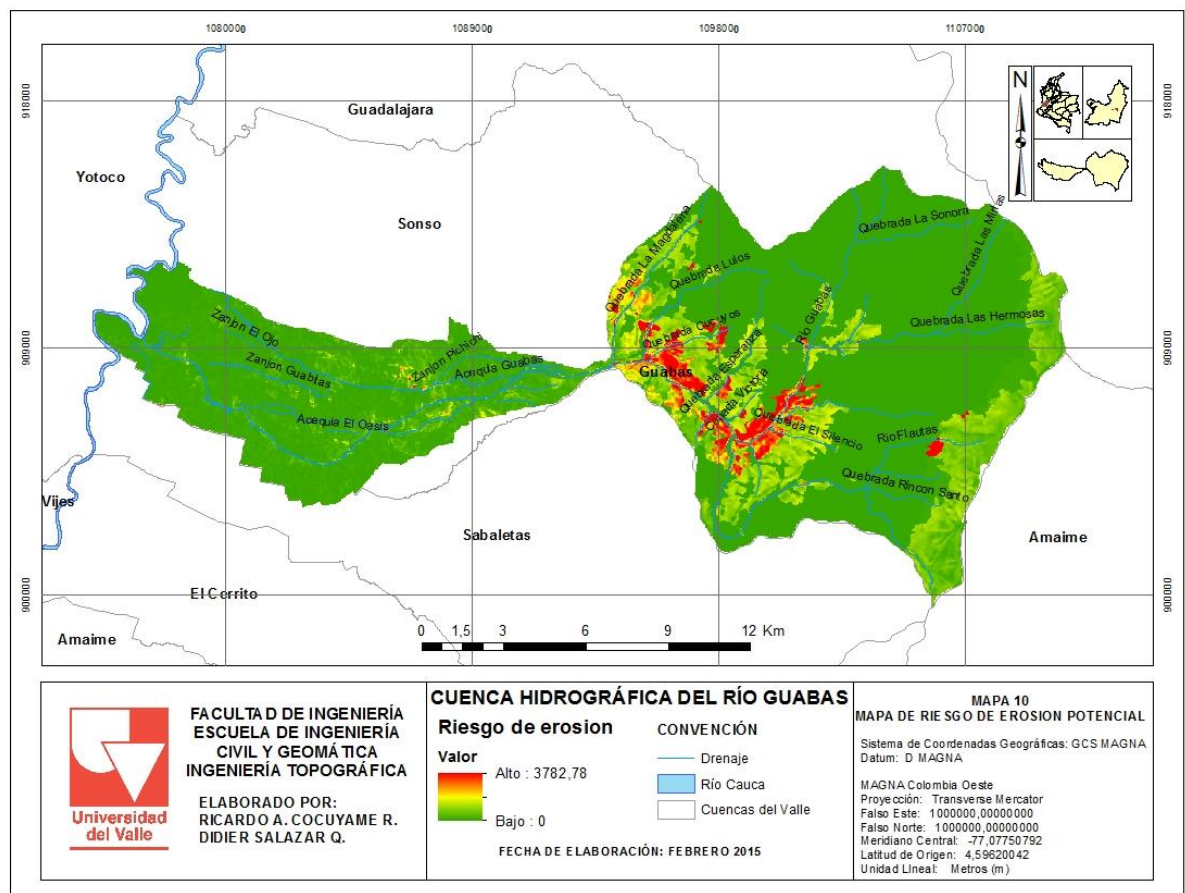


6.2.3.2 MAPA DE RIESGO DE EROSIÓN POTENCIAL DE LA CUENCA DEL RÍO GUABAS.

El mapa de riesgo de erosión potencial de la cuenca, se obtiene a partir del mapa de fragilidad de la cuenca y del mapa de índice potencial de degradación. La relación entre ambos parámetros es directamente proporcional.

En la figura 24, queda ilustra el riesgo de erosión potencial, este riesgo tiene semejanza al mapa de fragilidad. Solo que en las zonas correspondientes a ganadería extensiva en la quebrada Las Hermosas, no se ve demasiado afecta cuando entra a combinarse el índice potencial de degradación, debido a que valor de erodabilidad (factor K) del perfil (MLA) del suelo es bajo. También se observa que la parte alta de la cuenca (Páramo Las Hermosas) presenta riesgo, y esto se debe a que el valor de erodabilidad en el páramo es muy alto y se le suma una alta erosividad.

Figura 24 Mapa de riesgo de erosión potencial.



6.2.3.3 ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR EROSIÓN HÍDRICA.

En este mapa quedan recogidos los índices para la obtención de la susceptibilidad a la erosión hídrica de la zona, logrando como resultado la zonificación de la susceptibilidad por erosión hídrica en la cuenca del Rio Guabas.

Tomando como referencia las clases e indicadores de erosión (tabla 13) presentados en el documento de Gonzales *et al*, 2007, los cuales fueron tomados de las clases propuestas por la FAO. Se obtienen los resultados de la clasificación y zonificación de la susceptibilidad por erosión hídrica de la Cuenca Guabas, en donde se encuentra que el 82,72% del territorio de la cuenca posee erosión ligera (tabla 14), los cuales pueden estar en su estado natural o presenta una muy alta resistencia a la erosión.

El siguiente es el grado moderado, el cual abarca un área de 15,72%, que en gran parte se localiza en la parte media alta de la cuenca. Los cuales se presenta mayor intervención del hombre. De manera consecutiva encontramos que el grado severo se localiza al margen del Rio Guabas y la quebrada Cucuyo con un porcentaje de área del 1,52% (figura 25).

La figura 26 muestra el mapa de clasificación y zonificación de la susceptibilidad de erosión hídrica en la cuenca del Rio Guabas

Tabla 13 Clases e indicadores de erosión del suelo.

Clase de erosión	Indicador de erosión
Negativa o ligera	Perdida de suelo menor a $10 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$
Moderada	Perdida de suelo de 10 a $50 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$
Severa	Perdida de suelo de 50 a $200 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$
Muy severa	Perdida de suelo mayor a $200 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$

Fuente: González *et al*, 2007.

Tabla 14 Grado de erosión, área y porcentaje de ocupación.

Grado de erosión	Área (ha)	Área %
Ligera	19553,85	82,72
Moderada	3714,79	15,72
Severa	359,14	1,52
Muy Severa	9,42	0,04
Total	23637	

Figura 25 Zonificación de la susceptibilidad por erosión hídrica.

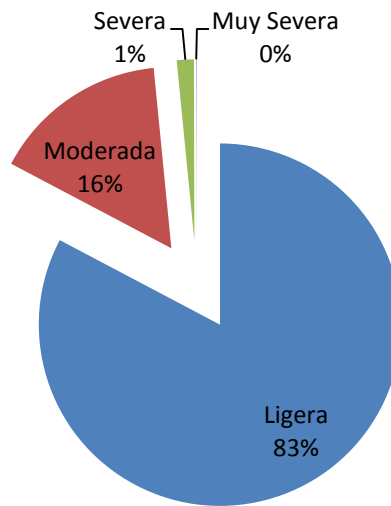
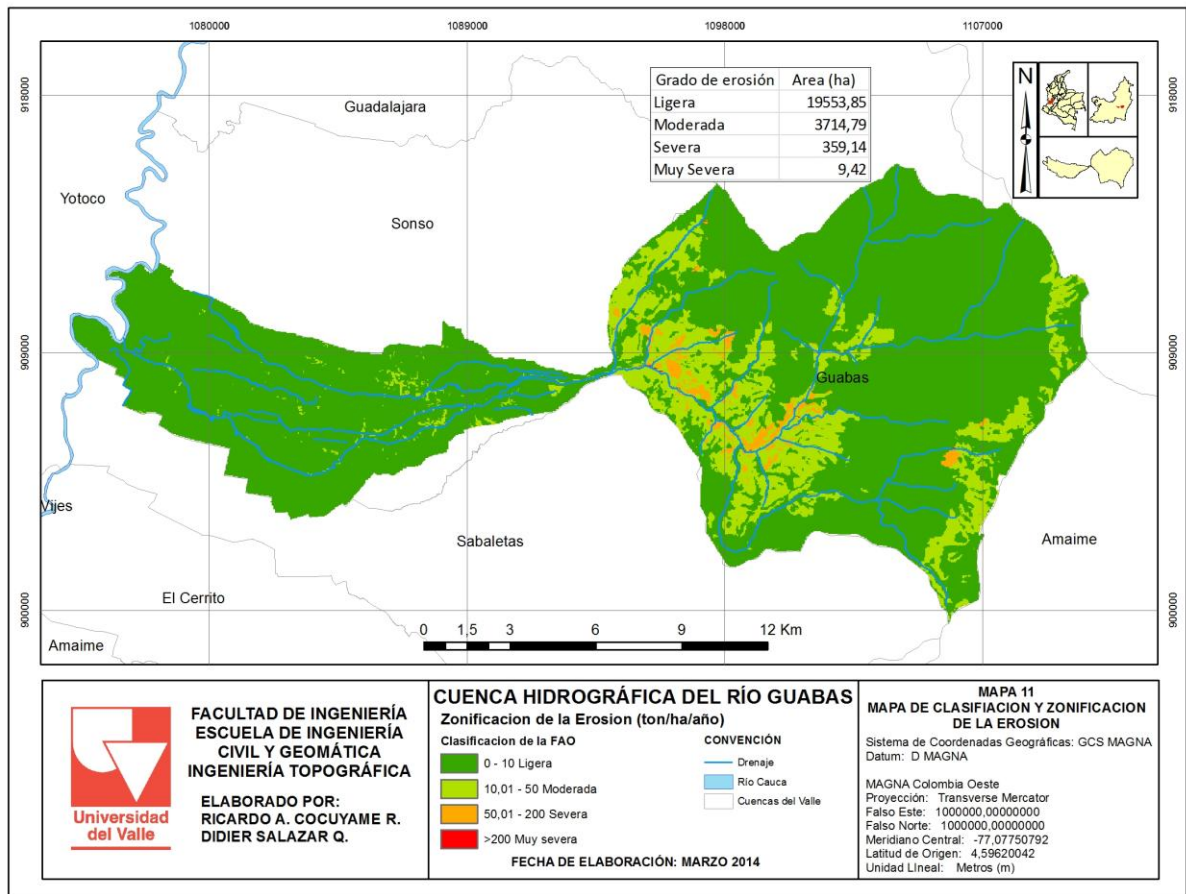


Figura 26 Mapa de clasificación y zonificación de la susceptibilidad por erosión hídrica.



7. DISCUSIÓN

La metodología se ha aplicado en la cuenca del Río Guabas, con el fin de identificar y zonificar la susceptibilidad por erosión hídrica, con la necesidad de contar con un indicador para evaluar el alcance del deterioro del suelo y diseñar planes de manejo que amortigüen dicho proceso.

Para el caso del Factor L y S el cual generan el índice topográfico, se evidencia una mayor vulnerabilidad de los suelos a la erosión en la parte alta de la cuenca, como lo muestra también Ramírez (2006). Cuando cita a Wischmeier y Smith, los cuales dicen que esto se debe principalmente a que el aumento del porcentaje de la pendiente y el incremento de la longitud de la ladera, aceleran la velocidad del flujo escurrido y disminuye la capacidad de infiltración de los suelos, lo cual incrementa el poder erosivo del agua.

Al mirar la metodología por Montesinos (2002) y hacer unos cambios en los cálculos de los factores como se observa en el trabajo de Ramírez (2006), se obtienen resultados satisfactorios como en el caso del factor K, al utilizar el Índice de Fournier Modificado (IFM). Debido a que Montesino (2002) analiza fotografías aéreas en dos fechas alejadas en el tiempo. Y para la zona de estudio es difícil obtener buenas imágenes, ya que en la parte alta de la cuenca se presentan demasiada nubosidad.

8. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten tener una visión general a gran escala de la susceptibilidad de erosión en la cuenca, donde se evidencia que el parámetro más influyente en la susceptibilidad de erosión son las prácticas de manejo.

La implementación de los sistemas de información geográfica (SIG) permitió estimar las pérdidas del suelo a través del análisis multiplicativo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), donde se logró visualizar y localizar las áreas de mayor susceptibilidad de una manera más práctica a escala de cuenca hidrográfica.

La información permite jerarquizar el grado de erosión para focalizar acciones de conservación de suelos en las regiones que presentan mayor riesgo, con miras a la preservación del recurso.

Mediante la información generada, cerca del 98.44% del área de estudio es susceptible de pérdidas potenciales de suelo inferiores a $50 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. El 1.56% de la zona puede presentar pérdidas potenciales de suelo superiores a $50 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

El 82.72% de la región estudiada, está clasificado como zona de ligero riesgo a la erosión, por presentar pérdidas de suelo inferiores a $10 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$.

Se obtuvo que para la cuenca del Río Guabas, el grado moderado de erosión cuenta con limitaciones muy altas para el desarrollo de cultivos agrícolas.

Los sectores que sufren mayor afectación son los que se encuentran en el margen de las quebradas El Silencio, Esperanza y Cucuyos, a los cuales se les debe prestar mayor atención para iniciar los procesos de recuperación y así evitar afectaciones por erosión, ya que estas tienen bastante influencia sobre cuenca para surtir de agua los Municipios de Guacari y Ginebra.

Los resultados permiten ser utilizados como herramienta de planificación para nuevas recomendaciones de uso y manejo del suelo en la zona estudiada.

9. RECOMENDACIONES Y LIMITACIONES

Para el mejoramiento de la metodología presentada se recomienda utilizar factores de cobertura por manejo de cultivo y de prácticas de conservación que sean producto de estudios detallados para la determinación de ellos en la zona de estudio.

Para poder lograr buenas prácticas de conservación de suelos, se recomienda impartir educación ambiental, y dar prioridad a ésta, donde se dé un enfoque a la importancia del recurso suelo. Como por ejemplo el Páramo Las Hermosas, el cual se encuentra en un grado moderado de erosión.

Es importante la actualización periódica de la información de este tipo de trabajos con miras a una mejor clasificación que conlleve a un recomendable uso y manejo del suelo, con la ayuda de prácticas de conservación de suelos a partir de las necesidades de la cuenca.

Un gran limitante es la falta de estudios detallados en la zona, como es el caso de las coberturas por manejo y las prácticas de conservación, así mismo se podría mejorar el estudio “Levantamiento de suelos y zonificación de tierras del Departamento del Valle del Cauca”, con el fin de poder tener datos que no se encontraron o no existen como es el caso del perfil del suelo MEA.

BIBLIOGRAFÍA

Abad Encalada, I. O. Estimación de precipitación espacial mediante correlación con variables secundarias y la ayuda de tecnologías de información geográfica. Facultad de Ingeniería. Universidad de Cuenca. Cuenca – Ecuador. 2014.

Alvarado, E. Erosión y degradación de los recursos naturales, 2013. [Consultado el 25 Febrero del 2013]. Disponible en: <http://www.slideshare.net/ealvaradounefm/erosion-hidrica-present>

Arnoldus H., M. J. AN Approximation of the rainfall Factor in the Universal Soil Loss Equation. In M. De Boodt and D. Gabriels. (Eds.). Assessment of soil erosion. John Wiley and Sons, Chichester, Gran Bretaña. pp 127-132. 1980.

Barrios R, A.G.; Quiñonez, E. Evaluación de la erosión utilizando el modelo (r) USLE, con apoyo de SIG. Aplicación en una microcuenca de los andes venezolanos. Rev. Forest. 44(1), pp 65-71. 2000.

Carvajal Ramírez, F. y Giráldez Cervera, J. V. Análisis de la producción de sedimentos en una cuenca con un Sistema de Información Geográfica. El sistema cubillas-colomera. Ingeniería del Agua, Vol. 7 N° 3, pp 255-236. 2000.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, CVC. Guía rápida temática para usuario SIG - Perdida Máxima de Suelo. Grupo Sistemas de Información Ambiental, 2012. [Consultado el 10 Marzo del 2014]. Disponible en: <http://geocvc.co/pdf/PerdidaMaximaSuelo.pdf>

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, CVC, 2013. [Consultado el 1 de marzo del 2013]. Disponible en: <http://www.cvc.gov.co>

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, CVC. Perdida máxima del suelo da la Cuenca Mediacanoa. Dirección Técnica Ambiental, DTA. Santiago de Cali, 2012.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, CVC. Boletín Hidroclimatológico. Red Hidroclimatológica. Grupo Sistemas de Información Ambiental. 2012.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, CVC. Concepto técnico sobre el desarrollo de actividades de minería aurífera en la Cuenca del Río Guabas. Agosto de 2011

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC y Asociación de Usuarios de la cuenca hidrográfica del río Guabas - ASOGUABAS. Actualización del Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del Río Guabas. Santiago de Cali, 2009.

Correa Calle, O. Modelo dinámico para calificación de la amenaza pluvial y evaluación de la posibilidad de erosión en la sectorización geotécnica de oleoductos y su aplicación en la planeación y toma de decisiones. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá 2003.

De La Cruz Jasso, M.;Hernández Tellez, M.; Balderas Plata, M. Á.; Franco Plata R. Evaluación del riesgo de degradación del suelo en la Cuenca del Río Lerma, Estado de México, utilizando plataformas SIG'S. Facultad de Geografía. Universidad Autónoma del Estado de México. Sin Fecha.

Derpsch, R. Entender el proceso de la erosión y de la infiltración de agua en el suelo, 2004. [Consultado el 1 de marzo del 2013]. Disponible en: <http://www.rolf-derpsch.com/erosion-es.html>

Escobar, F.; Hunter, G.; Bishop, .I; Zerger A. Introducción a los SIG, 1999. [Consultado el 1 de marzo del 2013]. Disponible en: <http://www.geogra.uah.es/gisweb/1modulosespanyol/IntroduccionSIG/GISModule/GISMModule.htm>

Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO. Guía para la descripción de los suelos. 4ª Edición. División de información FAO, Roma. 2009.

Flores López, H. E.; Martínez Menes, M.; Oropeza Mota, J. L.; Mejía Saens, E.; Carrillo González, R. Integración de la EUPS a un SIG para estimar la erosión hídrica del suelo en una Cuenca Hidrográfica de Tepatitlán, Jalisco, México. Terra Latinoamericana, Vol. 21 Nº 2, pp 233-244. 2003.

García González, J. A.; Cebrián Abellán, F. La interpolación como método de representación cartográfica para la distribución de la población: Aplicación a la Provincia de Albacete. Cuadernos Geográficos, núm. 39, pp. 223-224, 2006.

González Mateos, R.; Volke Haller, V.; González Ríos, J.; Ocampo Portillo, M.; Ortiz Solorio, C.; Manzo Ramos, F. Efecto de la erosión del suelo sobre el rendimiento de maíz de temporal. Terra Latinoamericana, Vol 25 Nº 4, pp 399-408. 2007.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC. & Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, CVC. Levantamiento de suelos y zonificación de tierras del Departamento de Valle del Cauca. Vol. 1 y 2. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Bogotá. 2004.

Lane, L.J.; Hakonson, T.E. & Foster, G.R. Watershed erosion and sediment yield affecting contaminant transport. Proc. Symposium on Environmental Research on Actidine Elements. Hilton Head, South Dakota, pp. 193-223. 1983.

Mendivelso, D.; Rubiano, S.; Malagón C, D y López L., D. Erosión de Tierras Colombianas. Bogotá, Colombia: Departamento Administrativo Nacional De Estadística – DANE: Instituto Geográfico Agustín Codazzi –IGAC. Subdirección de agrología, 20 p. 2004.

Millward, A.; Mersey, J.E. Adapting the rusle to model soil erosion in a mountainous tropical watershed. Catena. Vol 38. p. 109-129. 1999.

Montes León, M. A. L. Domínguez Cortázar, M. A. y Ventura Ramos, E. Metodología para la estimación del riesgo de erosión hídrica en cuencas hidrográficas utilizando un SIG. Universidad Autónoma de Queretaro. Sin Fecha.

Montesinos Aranda, S. Desarrollo metodológico para la evaluación del riesgo de erosión hídrica en el área mediterránea utilizando técnicas de teledetección y GIS. Universidad Complutense de Madrid. 2002.

Pérez Gallardo, S. J. Modelo para evaluar la erosión hídrica en Colombia utilizando Sistemas de Información Geográfica. Universidad Industrial de Santander. 2001.

Ramírez Ortiz, F. A.; Hincapié Gómez, E.; Sandeghian Khalajabadi, S.; Pérez Gómez, U. Erosividad de las lluvias en la zona cafetera central y occidental del Departamento de Caldas. Cenicafe 58 (1), pp 40-52. 2007.

Ramírez Ortiz, F. A. Evaluación del riesgo por erosión potencial de la zona cafetera central del Departamento de Caldas. Universidad del Tolima. 2006.

Rodríguez, M. J. Los Sistemas de Información Geográfica: una herramienta de análisis en los Estudios de Impacto Ambiental (EIA). Universidad de Alicante. Sin Fecha.

Sainz Marquez, C. J. Evaluación multicriterio de la susceptibilidad a la erosión hídrica en la Cuenca Misicuni. Universidad Mayor de San Simón. Bolivia. 2013.

Santacruz De León, G. Estimación de la erosión hídrica y su relación con el uso de suelo en la Cuenca del Río Cahoacán. Mexico. Aqua-LAC. Vol. 3 N°1. 2011.

Shi, Z. H.; Cai, C. F.; Ding, S. W.; Wang, T. W.; Chow, T. L. Soil conservation planning at the small watershed level using RUSLE with GIS: a case study in the three gorge area of China. Catena. Vol. 55, pp 33-48. 2004.

Suárez Díaz, J. Control de erosión en zonas tropicales. Instituto de Investigación sobre Erosión y Deslizamientos. Universidad Industrial de Santander. 2001.

U.S. Geological Survey. (s.f.). glovis.usgs.gov, 2013. [Consultado el 1 de marzo del 2013]. Disponible en: <http://glovis.usgs.gov/>

Wischmeier W. H. & Smith, D. D. Predicting Rainfall Erosion Losses -A Guide to Conservation Planning. US-DA, Agric. Hbk. nº 537. 1978.

Zhang, H.; Yang, Q.; Li, R.; Liu, Q.; Moore, D.; He, P.; Moore, D.; Geissen, V. Extension of a GIS procedure for calculating the RUSLE equation LS Factor. *Computers & Geosciences*. Vol. 52, pp 177-188. 2013.

ANEXOS

Anexo A

Estación	Precipitación media mensual (mm/mes) 30 años												ΣPm^2	ΣP	R - (IFM)
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC			
ACUEDUCTO BUGA	71,55	71,77	125,1 6	142,4 5	99,26	58,06	44,58	56,42	91,94	144,4 2	135,7 4	86,68	119870,6 8	1128,0 3	106,2 7
AUJI	72,58	74,55	86,90	110,2 7	79,81	40,26	28,87	23,94	53,90	141,9 0	135,0 6	95,32	90304,15	943,37	95,73
BUENOS AIRES	83,23	89,23	139,7 7	183,2 0	132,5 9	85,55	64,87	67,74	136,1 6	195,4 5	179,7 7	112,8 1	203467,5 4	1470,3 7	138,3 8
COSTA RICA	142,8 3	124,1 1	200,2 5	230,1 0	142,3 8	85,16	66,87	65,42	146,4 2	254,7 4	231,5 2	172,1 9	334708,3 1	1861,9 9	179,7 6
EL CASTILLO	168,2 6	144,1 6	196,1 3	225,6 8	128,3 2	63,63	38,65	47,68	125,7 7	260,1 0	269,6 1	194,8 1	356881,8 1	1862,7 9	191,5 8
EL DILUVIO	163,2 9	170,7 3	218,2 7	274,6 4	220,6 0	119,4 7	93,37	70,53	143,1 7	297,2 6	296,5 2	178,4 5	484137,6 7	2246,2 9	215,5 3
LA CEJA	98,07	98,60	130,7 7	128,7 9	105,8 3	59,07	59,14	51,14	65,97	153,2 4	177,5 3	126,6 9	149229,9 3	1254,8 3	118,9 2
LA MAGDALENA	113,0 3	103,5 2	153,9 0	179,4 2	158,1 0	94,77	60,06	61,55	116,9 4	197,9 5	202,9 0	137,6 7	233723,1 1	1579,8 2	147,9 4
LA PATAGONIA	182,3 7	171,1 5	260,4 7	332,6 6	268,2 6	169,2 3	138,0 3	120,6 1	175,0 3	301,4 1	287,6 9	228,6 1	631770,9 9	2635,5 2	239,7 1
LA SELVA	152,3 5	128,8 7	186,7 7	204,0 0	151,8 7	70,52	58,90	46,68	115,5 8	248,5 2	244,7 7	195,2 9	323177,8 8	1804,1 3	179,1 3
LOS BANCOS	66,19	55,42	81,83	95,52	82,48	42,87	36,19	29,90	49,97	122,2 6	123,3 5	76,10	72569,55	862,09	84,18
VIJES	41,26	54,81	98,39	121,8 1	92,45	60,13	43,61	37,29	82,97	119,9 0	100,3 9	65,10	80253,67	918,10	87,41

Anexo B

Suelo y Componentes	% participación	Arcillas (Ar)	Limos (L)	Arena (A)	M=(100-Ar)(L+A)	% Carbono (C)	a: materia orgánica a=1,724*%C	b: Número correspondiente a la estructura del suelo	c: Clase de permeabilidad del perfil	100K	K	Factor K (K * % participación)
(CT-GL)												
Udic Haplusterts (V62)	0,5	42	30	28	3364	2,55	4,40	2	5	28,07	0,28	0,14
(ES-PR)												
Udic Haplusterts (V23)	0,5	40	24	36	3600	3,52	6,07	2	5	24,67	0,25	0,12
(GL-LF)												
Udic Calciusterts (V26)	0,5	36	34	30	4096	2,57	4,43	2	4	30,15	0,30	0,15
(GL-PM)												
Udic Calciusterts (V26)	0,5	36	34	30	4096	2,57	4,43	2	4	30,15	0,30	0,15
(GN-AM)												
Entic Haplustolls (V89)	0,5	18	24	58	6724	1,98	3,41	2	2	50,51	0,51	0,25
(MN-PL)												
Cumulic Haplustolls (V32)	0,5	26	36	38	5476	2,26	3,90	2	3	40,13	0,40	0,20
(NM-PC)												
Entic Haplustolls	0,5	22	24	54	6084	2,24	3,86	2	3	45,44	0,45	0,23

(V18)												
(NM-PR)												
Entic Haplustolls (V18)	0,5	22	24	54	6084	2,24	3,86	2	3	45,44	0,45	0,23
AM												
Typic Ustifluvents (ES4)	0,8	3	60	37	9409	0,76	1,31	2	3	98,12	0,98	0,78
BS												
Typic Ustipsammen ts (R29)	0,6	2	18	74	9016	1,48	2,55	2	2	79,38	0,79	0,48
CQ												
Fluventic Haplustolls (S23)	1	34	32	34	4356	2,94	5,07	2	4	29,68	0,30	0,30
ES												
Udic Haplusterts (V23)	0,8	40	24	36	3600	3,52	6,07	2	5	24,67	0,25	0,20
FL												
Entic Haplustolls (V31)	1	14	16	70	7396	1,48	2,55	2	2	62,69	0,63	0,63
GL												
Udic Calciusterts (V26)	0,85	36	34	30	4096	2,57	4,43	2	4	30,15	0,30	0,26
GN												
Entic Haplustolls (V89)	1	18	24	58	6724	1,98	3,41	2	2	50,51	0,51	0,51

JN												
Vertic Endoaquepts (V10)	0,85	52	24	24	2304	1,72	2,97	2	5	23,14	0,23	0,20
MEA												
Lithic Cryorthents	NO EXISTE PERFIL											
MGA												
Typic Hapludands (C100)	1	14	30	56	7396	*	0,00	4	2	88,89	0,89	0,89
MLA												
Typic Hapludands (C90)	0,45	38	8	54	3844	8,34	14,38	2	3	-7,87	-0,08	-0,04
MLF												
Typic Hapludolls (C96)	0,5	10	30	60	8100	5,43	9,36	2	4	23,65	0,24	0,12
MN												
Cumulic Haplustolls (V32)	0,85	26	36	38	5476	2,26	3,90	2	3	40,13	0,40	0,34
MQA												
Typic Dystrudepts(C 86)	0,45	22	16	62	6084	4,78	8,24	2	3	20,99	0,21	0,09
MQD												
Typic Dystrudepts (C121)	0,6	34	12	54	4356	4,42	7,62	2	3	16,71	0,17	0,10
MRB												

Lithic Ustorthents (C22)	0,35	14	22	64	7396	1,22	2,10	2	2	65,81	0,66	0,23
MRD												
Lithic Ustorthents (C28)	0,3	14	22	64	7396	1,22	2,10	2	3	69,04	0,69	0,21
MV												
Aeric Fluvaquents (S24)	1	24	22	54	5776	4,7	8,10	2	3	20,51	0,21	0,21
NM												
Entic Haplustolls (V18)	0,8	22	24	54	6084	2,24	3,86	2	3	45,44	0,45	0,36
PC												
Vertic Haplustalfs (V170)	1	*	*	*	0	2,45	4,22	2	3	0,00	0,00	0,00
PL												
Pachic Haplustolls (V65)	0,75	38	34	28	3844	2,5	4,31	2	4	28,67	0,29	0,22
PM												
Vertic Haplustolls (V56)	0,75	32	42	26	4624	2,71	4,67	2	4	33,16	0,33	0,25
PR												
Vertic Haplustepts (V170)	0,9	32	36	42	5304	1,98	3,41	2	4	44,23	0,44	0,10
PRA												
Ultic	0,35	20	32	48	6400	2,54	4,38	2	4	48,31	0,48	0,17

Haplustalfs (C108)												
RC												
Fluvaquentic Haplustolls (V5)	1	34	38	28	4356	1,37	2,36	2	4	40,00	0,40	0,40
SC												
Typic Ustifluvents (V2)	1	12	36	52	7744	0,13	0,22	3	3	90,77	0,91	0,91

Las casillas que se encuentran con un * es debido a que no se encuentra valor correspondiente en el libro de LEVANTAMIENTO DE SUELOS Y ZONIFICACIÓN DE TIERRAS DEL DEPARTAMENTO DE VALLE DEL CAUCA.