ESTRATEGIAS PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO DE EROSIÓN. MICROCUENCA QUEBRADA-NEGRA, VEREDA PILUMA, MUNICIPIO DE SASAIMA CUNDINAMARCA

GABRIEL ALEJANDRO CANTILLO REYES
KELLY JHOANA GONZÁLEZ GONZÁLEZ
Ingeniería Ambiental

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISO JOSÉ DE CALDAS.
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES. PROYECTO CURRICULAR INGENIERÍA AMBIENTAL.
BOGOTÁ – NOVIEMBRE DE 2016

PROYECTO DE APLICACIÓN

ESTRATEGIAS PARA LA REDUCCIPÓN DEL RIESGO DE EROSIÓN. MICROCUENCA QUEBRADA-NEGRA, VEREDA PILUMA, MUNICIPIO DE SASAIMA CUNDINAMARCA

PRESENTADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIEROS AMBIENTALES

GABRIEL ALEJANDRO CANTILLO REYES 20082180010
KELLY JHOANA GONZÁLEZ GONZÁLEZ 20082180027
Ingeniería Ambiental

DIRECTOR
HELMUT ESPINOSA GARCÍA
M. Sc Desarrollo Rural
Esp. Planificación del Desarrollo

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISO JOSÉ DE CALDAS. FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES. PROYECTO CURRICULAR INGENIERÍA AMBIENTAL.
BOGOTÁ – NOVIEMBRE DE 2016

DEDICATORIA

Al arquitecto universal,
por ponernos en el flujo
de los acontecimientos,
que nos lleva a esta etapa culmine.

A nuestros familiares,
que siempre presentes
nos instan a la valentía
de hacer caminos.

A nuestros queridos amigos,
compañeros de saberes,
de aventura
y de lucha incansable.

A nuestros campos,
que precisan con afán
nuestra labor de ingeniero.

A ti,
que con ojos ágiles
deseas saber
mediante este elaborado texto.

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer,
A nuestro director
el profesor
Helmut Espinosa García,
mentor y guía
en esta ruta por el conocimiento,
investigador incansable,
quién tiene toda nuestra admiración
por su denodado espíritu.

A nuestra Universidad Distrital
Francisco José de caldas,
por abrirnos de par en par las puertas,
un día lejano,
en el que nuestras mentes ávidas de conocimiento
deseaban ampliar su perspectiva
del mundo.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN **1**

ABSTRACT **2**

INTRODUCCIÓN **3**

1 OBJETIVOS **6**

1.1 OBJETIVO GENERAL **6**
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS **6**

2 MARCO REFERENCIAL **7**

2.1 ESTADO DEL ARTE **7**
2.2 MARCO TEÓRICO – CONCEPTUAL **8**
2.2.1 DESARROLLO SOSTENIBLE MICRO-REGIONAL (DSM) 8
2.2.2 MICRO-REGIÓN 8
2.2.3 TRANSICIÓN URBANO –RURAL 9
2.2.4 EL SUELO 9
2.2.5 EROSIÓN 10
2.2.6 RIESGO DE EROSIÓN 10
2.2.7 EROSIÓN HÍDRICA 11
2.2.8 ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DEL SUELO (EUPS) 12
2.2.9 BIOINGENIERÍA DEL SUELO 12
2.3 MARCO GEOGRÁFICO **13**
2.3.1 LOCALIZACIÓN 13

3 METODOLOGÍA **14**

3.1 ELEMENTOS METODOLÓGICOS PRIMER OBJETIVO ESPECÍFICO **14**
3.1.1 INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS 14
3.1.2 PROCESOS DE LA INFORMACIÓN 15
3.2 ELEMENTOS METODOLÓGICOS SEGUNDO OBJETIVO ESPECÍFICO **17**
3.2.1 INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS 17
3.2.2 PROCESO DE LA INFORMACIÓN 18
3.3 ELEMENTOS METODOLÓGICOS TERCER OBJETIVO ESPECÍFICO **19**
3.3.1 INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS 19
3.3.2 PROCESO DE LA INFORMACIÓN 21
3.4 ELEMENTOS METODOLÓGICOS CUARTO OBJETIVO ESPECÍFICO **30**
3.4.1 INSTRUMENTOS METODOLÓGICOS 30
3.4.2 PROCESO DE LA INFORMACIÓN 31

4 RESULTADOS.....32

4.1 CRITERIOS Y CARACTERÍSTICAS DE SELECTIVIDAD PARA CUATRO METODOLOGÍAS DE CÁLCULO DE LA EROSIÓN HÍDRICA.....32
4.1.1 COMPILACIÓN BIBLIOGRÁFICA..... 32
4.1.2 SELECCIÓN DE CRITERIOS..... 38
4.2 MODELO DE CÁLCULO DE LA EROSIÓN.....40
4.2.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN..... 40
4.3 CARACTERIZACIÓN TERRITORIAL 43
4.3.1 DIAGNÓSTICO BIOFÍSICO: 43
4.3.2 DIAGNOSTICO SOCIOECONÓMICO..... 47
4.4 EVALUACIÓN DE LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DEL SUELO. USLE 50
4.4.1 FACTOR DE EROSIVIDAD R. 50
4.4.2 FACTOR DE EROSIVIDAD DEL SUELO K: 53
4.4.3 FACTOR TOPOGRÁFICO LS. 53
4.4.4 FACTOR DE LA COBERTURA VEGETAL C..... 53
4.4.5 FACTOR DE PRÁCTICAS DE MANEJO P 54
4.4.6 VALORACIÓN DEL GRADO DE EROSIÓN. PÉRDIDA PROMEDIO DE SUELO ANUAL A..... 54
4.5 ESTRÁTEGIAS PARA LA REDUCCIÓN DE LOS EFECTOS ASOCIADOS A LA EROSIÓN HÍDRICA 64
4.5.1 SOLUCIONES DE BIOINGENIERÍA PARA LA REDUCCIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA 64
4.5.2 CLAVE SISTEMÁTICA: TÉCNICAS DE REDUCCIÓN DE LA EROSIÓN..... 71

5 ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS 75

5.1 SELECCIÓN DE MODELO ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN.....75
5.2 CARACTERIZACIÓN MICROCUENCA QUEBRADA NEGRA 76
5.3 ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA. 77
5.4 FORMULACIÓN DE MEDIDAS DE INTERVENCIÓN.....80

6 CONCLUSIONES.....82

7 REFERENCIAS 84

8 ANEXOS 89

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Agentes, tipos erosivos y procesos erosivos. Fuente: 1997, citado por García-Chevesich 2008. 11
Tabla 2 Campos básicos, base de revisión de documentos. Fuente: Autores 2016..... 15
Tabla 3 Estructura matriz de presencia – ausencia. Fuente: Autores 2016. 15
Tabla.4. Estructura tabla de frecuencia obtenida de los criterios analizados. Fuente: Autores 2016. 15
Tabla 5 Categorías de importancia para criterios matriz de presencia – ausencia. Fuente: Autores 2016. 16
Tabla 6 Estructura tabla de frecuencia obtenida de los estudios analizados. Fuente: Autores 2016. 16
Tabla 7 Categorías de importancia para estudios matriz de presencia – ausencia. Fuente: Autores 2016. 16
Tabla 8 Estructura matriz selección de criterios. Fuente: Autores 2016. 17
Tabla 9 Abreviaturas de criterios de selección. Fuente: Autores 2016. 17
Tabla 10 Estructura matriz selección de modelo de cálculo de la erosión. Fuente: Autores 2016 18
Tabla 11 Valores de calificación de importancia para los criterios de selección. Fuente: Autores 2016. 18
Tabla 12 Categorías clasificación de los criterios de selección. Fuente: Autores 2016. 19
Tabla 13 Estructura tabla de frecuencia obtenida de los modelos analizados. Fuente: Autores 2016. 19
Tabla 14 Promedio multianual estaciones de referencia. Fuente: Autores, 2016. 22
Tabla 15 Clasificación del Índice modificado de Fournier (IMF) para Latinoamérica.. 25
Tabla 16 Clasificación de la erosividad de las lluvias propuesta para Colombia..... 25
Tabla 17 Valoraciones para b correspondientes a cada tipo de estructura. Fuente: (Ministerio de Obras Públicas y transportes, 1992) 26
Tabla 18 Valoraciones para C (permeabilidad). Fuente: (Ministerio de Obras Públicas y transportes, 1992) 26
Tabla 19 Valores de C para diferentes cultivos. Fuente: (CORTOLIMA, 2009) 29
Tabla 20 Porcentajes de área, unidades compuestas. Fuente: Autores 2016..... 29
Tabla 21 Valores prácticas de conservación de suelos P. Fuente: (Ministerio de Obras Públicas y transportes, 1992)..... 30
Tabla 22 Estructura general lista técnicas de bioingeniería. Fuente: Autores 2016..... 30
Tabla 23 Base de revisión de documentos. Fuente: Autores 2016..... 37
Tabla 24 Frecuencia obtenida de los criterios analizados. Fuente: Autores 2016..... 38
Tabla 25 Frecuencia obtenida de los criterios analizados. Fuente: Autores 2016..... 39
Tabla 26 Matriz de selección de criterios. Fuente: Autores 2016 41
Tabla 27 Pesos de los criterios de selección en orden descendente. Fuente: Autores 2016 42
Tabla 28 Matriz selección del modelo de cálculo de la erosión. Fuente: Autores 2016 42
Tabla 29 Frecuencia obtenida de los modelos analizados. Fuente: Autores 2016 42

Tabla 30 Parámetros morfométricos de la Microcuenca Quebrada Negra. Fuente: Autores 2016 43
Tabla 31 Rangos de pendientes en la Microcuenca Quebrada Negra. Fuente: autores 2016 44
Tabla 32 Tipos de asociaciones Microcuenca Quebrada Negra. Fuente: Autores 2016. 46
Tabla 33 Coberturas vegetales microcuenca Quebrada Negra. Fuente: Autores 2016 .. 47
Tabla 34 IMF para la estación Venecia para el periodo comprendido entre los años 2003-2014. Fuente: Autores 51
Tabla 35 IMF para la estación El Acomodo para el periodo comprendido entre los años 2003-2014. Fuente: Autores. 51
Tabla 36 IMF para la estación San Isidro para el periodo comprendido entre los años 2003-2014. Fuente: Autores. 51
Tabla 37 IMF para la estación Guaduas para el periodo comprendido entre los años 2003-2014. Fuente: Autores. 52
Tabla 38 IMFj para las estaciones Venecia El Acomodo, San Isidro y Guaduas. Fuente: Autores. 52
Tabla 39 Valores del IMF y el Factor R para la Microcuenca Quebrada Negra y las estaciones de análisis. Fuente: Autores. 52
Tabla 40 Valores de erosividad K cada asociación. Fuente: Autores 2016 53
Tabla 41 Valor del Factor LS para diferentes rangos de pendiente. Fuente: Autores 2016. 53
Tabla 42 Valores de Factor C, para las diferentes coberturas del suelo Microcuenca Quebrada Negra. Fuente: Autores 2016 54
Tabla 43 Grado de erosión en la microcuenca Quebrada Negra. Fuente: Autores 2016. 55
Tabla 44. Grados de erosión por predio según sus coberturas presentes. Fuente: Autores 2016 63
Tabla 45 Valores medios y totales de las pérdidas de suelo según la Cobertura (tonha^{-1}año^{-1}). Fuente: Autores 2016 64
Tabla 46 Soluciones de bioingeniería para la reducción de la erosión hídrica. Fuente: Adaptado de Obras de bioingeniería. Técnicas de estabilización de taludes por los autores 2016 70
Tabla 47 Clave sistemática para medidas de reducción de la erosión hídrica. Fuente: Autores 2016. 74

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1Proceso cartográfico Mapa de pendientes. Fuente: Autores, 2016. 22
Gráfico 2proceso cartográfico Mapa climatológico. Fuente: Autores, 2016 23
Gráfico 3 Triángulo textural para permeabilidad. Fuente: (Ministerio de Obras Públicas y transportes, 1992) 27
Gráfico 4 Perfil del cauce principal Quebrada Negra. Fuente: Autores 2016. 45
Gráfico 5 Caracterización de la población. Fuente: Autores 2016. 48
Gráfico 6 Coberturas presentes en la microcuenca Quebrada Negra. Fuente: Autores, 2016. 49

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1 Vereda Piluma, Microcuenca Quebrada-Negra Elaboración: Autores. Fuente: Municipio de Sasaima en el Departamento de Cundinamarca, Tomado de: http://www.sasaima-cundinamarca.gov.co/presentacion.shtml 13
Imagen 2 Trapiche de caña panelera. Fuente: Autores, 2016. 50
Imagen 3 Proceso de deslizamiento por construcción de vivienda inadecuadamente. Tomado por: González 2016. 77
Imagen 4 Perdida de suelo por falta de cobertura vegetal en ciertas áreas. Tomado por: González 2016. 79
Imagen 5 Deslave originado por procesos erosivos. Tomado por: González 2016. 79

ÍNDICE DE ANEXOS

Mapa Anexo No. 1 Mapa general
Mapa Anexo No. 2 Mapa topográfico
Mapa Anexo No. 3 Mapa hidrológico
Mapa Anexo No. 4 Mapa Asociaciones de suelos
Mapa Anexo No. 5 Mapa Infraestructura
Mapa Anexo No. 6 Mapa Coberturas
Mapa Anexo No. 7 Mapa Pendientes
Mapa Anexo No. 8 Mapa Climatológico
Mapa Anexo No. 9 Mapa Predios
Mapa Anexo No. 10 Mapa Erosión actual

“ Volví a mi tierra verde
y ya no estaba,
ya no estaba la tierra,
se había ido.
Con el agua hacía el mar
se había marchado.
Espesa madre mía,
trémulos,
vastos bosques,
provincias montañosas,
tierra y fragancia y humus:
un pájaro que silba,
una gruesa gota cae,
el viento en su caballo transparente,
maitenes,
avellanos,
tempestuosos raulíes,
cipreses plateados,
laureles que en el cielo desataron su aroma,
pájaros de plumaje mojado por la lluvia.

Patria mojada,
Cielo grande,
raíces,
hojas,
silencio verde,
universo fragante,
pabellón del planeta:
ahora,
ahora siente y toca mi corazón tus cicatrices,
robada la capa germinal del territorio,
como si lava o muerte hubieran roto tu sagrada substancia
o una guadaña en tu materno rostro hubiera escrito las iniciales del infierno.

Tierra,
qué darás a tus hijos,
madre mía,
mañana,
así destruida,
así arrasada tu naturaleza,
así deshecha tu matriz materna,
qué pan repartirás entre los hombres?

Y ahora desde las raíces quemadas,
se va la tierra,
nada la defiende,
bruscos socavones,
heridas que ya nada ni nadie puede borrar del suelo:
asesinada fue la tierra mía,
quemada fue la copa, originaria.

Vamos a contener la muerte!

Ahora a establecer raíces,
a plantar la esperanza,
a sujetar la rama al territorio!

Es ésa tu conducta de soldado,
son ésos tus deberes rumorosos de poeta,
tu plenitud profunda de ingeniero.”

Fragmento del poema
Oda a la erosión en la provincia de malleco.
Pablo Neruda. 1956

RESUMEN

El presente trabajo se concibe como un estudio de caso, que se abordó desde una perspectiva del tipo evaluativa y prospectiva, cuya finalidad es la de establecer estrategias para reducir la erosión hídrica y de esta forma abordar sus efectos negativos a nivel micro-regional; para lo cual se tomó una micro-región como objeto de estudio, correspondiente a la microcuenca llamada Quebrada Negra, ubicada en la Vereda Piluma, Municipio de Sasaima, Departamento de Cundinamarca, Colombia; Sudamérica. La microcuenca Quebrada Negra posee un área aproximada de 71, 7 hectáreas, un perímetro de 3,66 kilómetros y su cauce principal tiene una longitud de 1,5 kilómetros.

Actualmente la microcuenca Quebrada Negra, está siendo sometida a una dinámica de fragmentación o parcelación del territorio, que induce en la microrregión un estado de transición urbano-rural que potencia la presión sobre los recursos naturales, mediante la introducción de agentes externos llamados neo-rurales. Los procesos de parcelación inciden también sobre los procesos erosivos en la microcuenca pues los acentúan.

Respecto a este contexto el presente estudio, aborda la problemática mediante el desarrollo de cuatro fases, la primera relacionada al establecimiento de criterios de selección para el modelo de estimación de la erosión, la segunda referente a la definición del modelo, la tercera correspondiente a la aplicación del modelo seleccionado el cual fue la Ecuación universal de pérdida de suelo USLE, para las condiciones de la microcuenca y por último la formulación de acciones de intervención basadas en bioingeniería. Para el procesamiento de la información se emplearon programas como Arc Gis 10.3, Microsoft Excel 2013 y Google Earth © 2015, obteniéndose como resultados la zonificación de la microcuenca según los grados de erosión presentes, las pérdidas anuales de suelo y las estrategias de reducción del riesgo de erosión hídrica para la microcuenca.

Palabras clave: *Erosión hídrica, Microcuenca, Bioingeniería, Ecuación universal de pérdida de suelo USLE, Fragmentación del Territorio.*

ABSTRACT

The present work is conceived as a case study, which was addressed from evaluative and prospective perspectives, whose purpose is to establish strategies to reduce hydrological erosion and thus address the negative effects on a micro-regional level; for which a micro-region was taken as the object of study, pertaining to the Quebrada Negra micro-watershed, located in the village of Piluma, Sasaima Municipality, Department of Cundinamarca, Colombia; South America. The Quebrada Negra micro-watershed has an area of approximately 71,7 hectares, a perimeter of 3,66 kilometers and its main riverbed has a length of 1,5 kilometers.

Currently, the watershed Quebrada Negra, is being subjected to a dynamic fragmentation or parceled up territory, which induces a state of urban-rural transition in the micro region that enhances the pressure on natural resources, through the introduction of external agents called neo-rural. The parcelling processes also affect the erosion process in the watershed since they accentuate them.

In relation to this context, the present study addresses the problem by developing four phases, the first related to the establishment of selection criterion for the model erosion, the second one is concerning to the model definition, the third corresponds to the application of a selected model which was the universal soil loss equation USLE, for the conditions of the microwatershed and finally the formulation of intervention actions based on bioengineering. Programs such as Arc Gis 10.3, Microsoft Excel 2013 and Google Earth © 2015 were used for information processing, obtaining results such as the zoning of the microwatershed according to the degrees of present erosion, the annual soil loss and the strategies for water erosion risk reduction for the watershed.

Keywords: *Hydrological erosion, Micro-watershed, Bioengineering, Universal soil loss equation USLE, territory fragmentation.*

INTRODUCCIÓN

Los suelos son un recurso subvalorado muchas veces para la planeación de nuestros territorios y subvalorado otras tantas dentro de nuestras mentes , en las que hospedamos una vaga percepción de la función de un recurso que puede catalogarse como ente integrador de un territorio, sustento de la vida. Pues es en los suelos donde lo abiótico puede convertirse en biótico.

En la actualidad el suelo está siendo sometido a presiones medioambientales a nivel planetario, tendencia marcada que se evidencia en procesos erosivos que llevan a la pérdida de los suelos o en otras palabras según Chevesich (2008) "al desgaste de la superficie terrestre bajo la acción de agentes… siendo los principales el agua y el viento" (pág. 52).

Dentro de dichos procesos erosivos, el de tipo hídrico es tal vez el de mayores repercusiones, pues "… la erosión del suelo por escurrimiento hídrico, cuyo origen está en la acción del agua sobre una superficie desprovista de cobertura vegetal, es quizás el más importante de todos, dado que es irreversible y generalmente de gran magnitud." (Honorato, 2001, pág. 7). En el territorio colombiano la degradación de los suelos por erosión y sedimentación es el fenómeno más notorio y de amplias consecuencias tanto ecológicas como económicas y sociales (Gallardo, 2001). Es así que nuestro país tiene cifras alarmantes respecto a los procesos erosivos ya que el 48% del área continental presenta algún tipo de erosión (IDEAM, 2012) además estudios realizados por el IGAC revelan que el 35% del territorio nacional presenta algún grado de erosión hídrica (Gómez Sanchez, 2002).

Aunque la erosión es un proceso natural de degaste de la superficie de la Tierra ha sido acelerado por actividades antrópicas al romper el equilibrio existente entre los suelos, la vegetación, el agua y el viento. Dentro de tales actividades pueden mencionarse el uso de herramientas y sistemas de cultivo inadecuados, tala de bosques, quema de vegetación y construcción de obras (CENICAFÉ, 1975).

Referente a las actividades antrópicas mencionadas antes, el fenómeno de fragmentación del territorio incide como un agente potencializador de la presión sobre los recursos naturales y por lo tanto de la erosión. Debido a que la fragmentación o subdivisión del territorio definida ésta como la división material de predios rurales, conlleva a la introducción de actores externos generalmente de origen urbano llamados neo – rurales que adquieren estos terrenos para establecerse en el campo; situación que incrementa la demanda de los servicios que brinda el espacio rural (Sepúlveda S. , 2008)

Actualmente la subdivisión del territorio también llamada parcelación es una dinámica que en las zonas rurales de nuestro país se ha convertido en una situación generalizada, esto debido a que "la caída de la rentabilidad del sector agropecuario, junto con procesos demográficos, han obligado a las comunidades rurales a fraccionar sus parcelas entre el número de miembros que constituyen su núcleo familiar…" Perdomo (citado por (Gómez & Herrera, 2015))

Para el presente estudio de caso, se abordó la micro – cuenca Quebrada Negra dentro de la vereda Piluma, municipio de Sasaima – Cundinamarca, como área de estudio propicia para el análisis de la erosión hídrica y sus repercusiones en el territorio rural.

Respecto al desarrollo de procesos erosivos en la microcuenca, además del impacto de la situación de fragmentación del territorio se suma la susceptibilidad del área a la erosión pues de acuerdo con el EOT del municipio de Sasaima (2012), la vereda tiene una susceptibilidad de amenaza media a severa de riesgo de erosión, característica generalizada en gran parte del territorio municipal.

Dicha susceptibilidad es explicable considerando que en el área predomina el relieve de ladera caracterizado por poseer pendientes medias a altas y las clases agrológicas presentes que de acuerdo con el EOT del municipio de Sasaima (2012) corresponden a las clases II, IV y VI con predominancia de las clases II y VI, esta última puede ser interpretada como una zona susceptible a erosión debido a las características propias de dicha clase, tales como pendiente mayor al 25%, muy poca profundidad efectiva y no apta para ningún tipo de actividad agrícola.

Entonces "el principal desafío es el de cómo asegurar la sostenibilidad agropecuaria en áreas que son intervenidas por el hombre, debido a la incapacidad de éste para mantener el equilibrio entre las resistencias del suelo y las fuerzas degradativas actuantes" (Amézquita, E. y Escobar, C.J., 1996). A nivel de Sur América "existen grandes superficies con suelos en condiciones naturales, sin embargo, presentan restricciones para las actividades agrícolas" (Gardi, 2014), esto por los procesos erosivos que a su vez son originados en gran "…medida por las condiciones socioeconómicas que obligan al agricultor a cultivar tierras inapropiadas..." (Gardi, 2014). "Se estima que en el trópico se han degradado 915 millones de hectáreas por erosión hídrica" (Amézquita, E. y Escobar, C.J., 1996).

Planteamiento del Problema

La subdivisión del territorio induce a un estado de transición urbano – rural, que provoca, además de las presiones sobre los recursos naturales, como se explicaba con anterioridad, una trasformación en el estilo de vida y en los valores comúnmente asociados a lo rural (Sepúlveda S. , 2008).

Dentro de la microcuenca Quebrada Negra, las situaciones de fragmentación del territorio no son ajenas; pues a lo largo del tiempo la parcelación de los predios ha ido en incremento, se presenta un estado de transición urbano – rural debido a dicha fragmentación, lo que creó condiciones que limitan el desarrollo sostenible en la microrregión debido a las trasformaciones en el uso del suelo. De esta manera la microcuenca Quebrada Negra reflejó situaciones generalizadas a toda la vereda pero que se percibieron acentuadas dentro de la microcuenca.

Justificación

Fue el propósito de este trabajo referente al anterior marco, promover la generación de conocimiento entorno al territorio, siendo que por parte de los habitantes de este, se comprendan los procesos que sufren sus suelos y se dé un entendimiento de las

problemáticas que llevan consigo la erosión en cuanto a los efectos negativos sobre las actividades productivas que desarrollan en su territorio.

Siendo este estudio a escala micro – regional generó información local y detallada que brinda directrices para la formulación de políticas, programas y proyectos coherentes con el ordenamiento del territorio (GTZ - Secretaría del Medio Ambiente. Cooperación Colombo - Alemana, 1999; GTZ - Secretaría del Medio Ambiente. Cooperación Colombo - Alemana, 1999). De igual forma se pueden determinar zonas críticas y sus límites, referentes claves para la toma de decisiones en el manejo y prevención de procesos erosivos.

En concordancia el presente trabajo también se concibió adaptable y extensivo a otras microrregiones, logrando de esta forma realizar una transformación de los territorios a partir de un mayor conocimiento sobre los procesos erosivos que les aquejen.

Cabe destacar que este trabajo forma parte fundamental de una serie de estudios que se han venido adelantando sobre este mismo micro – territorio, con el ánimo de abordar de una manera integral las problemáticas relacionadas con el estado de transición urbano – rural que se presentan en dicho territorio, siendo que se toman tres ejes principales a tratar dentro de los cuales al presente documento le atañe el recurso suelo.

El orden en el cual se aborda la temática de erosión hídrica que concierne a este documento, se desarrolla mediante una secuencia lógica en relación con los objetivos específicos propuestos, con el fin de dar respuesta a la problemática planteada.

Así el presente trabajo se compone de cuatro partes en las que se muestran los elementos metodológicos y sus respectivos procesos de la información, para llegar a un resultado o logro que aporta elementos para el desarrollo consecutivo de la siguiente parte.

Primeramente se hace referencia a una revisión bibliográfica, sobre la cual se identificaron mediante métodos heurísticos los documentos que cumplían con más criterios útiles para el análisis de la erosión hídrica a escala microrregional. Seguidamente se seleccionaron los criterios de mayor relevancia para la escogencia de un modelo apropiado que supliera las necesidades del estudio según el propósito general del proyecto. Con base en el modelo seleccionado se realiza su aplicación a las condiciones de la microrregión objeto de análisis, lo que da como resultado el grado de erosión de la microcuenca cuantitativa como cualitativamente.

Finalmente se plantean una serie de soluciones que con base en la erosión calculada y la configuración de las coberturas presentes, permiten a partir de una clasificación de los predios de la microcuenca, proponer las medidas de intervención más adecuadas según sea el caso.

1 OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

- ✓ Establecer estrategias para la reducción de los efectos de la erosión hídrica dentro de la Microcuenca Quebrada Negra, Vereda Piluma, Municipio de Sasaima – Cundinamarca.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Establecer los criterios y características de selectividad para tres metodologías de cálculo de la erosión hídrica.
- ✓ Definir una base de criterios que justifiquen la utilidad del modelo y su aplicabilidad en el área de estudio.
- ✓ Aplicar el modelo seleccionado a las condiciones territoriales de la microcuenca Quebrada Negra para cuantificar la erosión hídrica.
- ✓ Formular acciones para la reducción de los efectos asociados a la erosión hídrica en la microcuenca Quebrada Negra.

2 MARCO REFERENCIAL

2.1 ESTADO DEL ARTE

El aprovechamiento desmesurado de los recursos naturales, que desencadena un acelerado desgaste y degradación de los mismos es tal vez el más grande problema de la humanidad, que no detiene su carrera desenfrenada hacia ningún lado. Dentro de los recursos naturales el suelo es quizás el que ha sufrido el mayor daño por intervención humana, siendo él quién suministra los requerimientos diarios de nutrición para la misma humanidad (Amézquita, 1997).

En estos últimos 30 años, los recursos naturales han sido sometidos a condiciones extremas de degradación, responsables de ello por un lado los modelos extractivos insostenibles producto de la revolución verde y por otro lado la insuficiencia en activos productivos que obligan a pequeños productores a recurrir a la sobreexplotación como estrategia de supervivencia (IICA, 2003).

Uno de los varios problemas que aquejan al recurso suelo y siendo probablemente el más notable, el riesgo de erosión, término que proveniente del latín "erodere", que significa roer; se refiere además al fenómeno de desgaste de la superficie terrestre, bajo la acción de los agentes erosivos, siendo los principales el agua y el viento (GARCIA CHEVESICH, 2008), la FAO define erosión como "…un efecto de la pérdida de fertilidad y de los procesos de degradación..." (FAO, 2015) que "…incluye el desprendimiento, remoción y transporte de partículas de suelo o material rocoso…" (Alatorre &Beguería, 2009, p2).

La erosión hídrica es uno de los principales procesos de degradación de los suelos de los países del trópico como en el caso de Colombia. (FAO, 2015). Ciertamente se ha llegado a un crecimiento acelerado del riesgo debido al aumento progresivo de la población, llevando a una demanda excesiva de recursos Agua, Suelo y Biodiversidad principalmente (Sepúlveda, 2008).

A estas problemáticas se añade el desconocimiento generalizado y la falta de investigación en temas relacionados con la identificación de factores que aumentan los procesos erosivos, metodologías que permitan su predicción y otorguen herramientas para el control de estos procesos y la mitigación de sus impactos en el territorio.

El marco metodológico para la simulación de la erosión hídrica y los procesos de deposición están basados en el uso comparativo de modelos de erosión dentro de un entorno SIG, que es capaz de describir el flujo del agua y del transporte de sedimentos a partir de datos. Estos modelos son usados para la evaluación y monitoreo de la erosión de suelo (Saavedra & Mannaerts, 2003). Dentro de los distintos métodos para medir el grado de erosión del suelo encontramos el modelo SWAT que permite pronosticar el impacto del manejo del suelo en la generación de sedimentos y la regulación del agua en cuencas hidrográficas (Ramírez, 2012).

Cabe resaltar que el modelo Swat se encuentra dentro de la clasificación de modelo de base física que como lo indica la categoría de clasificación se basa "…en ecuaciones de validez universal y sus parámetros poseen un significado físico,…" (Allatorre & Beguería, 2009, pág. 34)

2.2 MARCO TEÓRICO – CONCEPTUAL

2.2.1 Desarrollo Sostenible Micro-Regional (DSM)

Dentro del contexto de la descentralización de los gobiernos estos delegan ciertas responsabilidades y obligaciones a los gobiernos locales en función de optimizar los resultados en la aplicación de las políticas de desarrollo, por lo anterior el DSM surge como una repuesta para abordar las necesidades nacientes de los diferentes procesos sociales que se desencadenan a nivel rural en función del cumplimiento de las políticas (Sepulveda, 2002).

Así mismo se concibe como un marco de referencia conceptual orientador de estrategias, políticas y programas de desarrollo rural nacional, que sirve de fundamento tanto para lograr cambios en las causas estructurales y funcionales de los desequilibrios espaciales y socioeconómicos, como para corregir algunas tendencias indeseables y promover la transformación del medio rural con una perspectiva de largo plazo. Todo ello en el contexto de estrategias nacionales de desarrollo y con las debidas vinculaciones al comercio nacional e internacional (Sepúlveda, 2001) y (IICA, 2003).

Desde esta escala local, se ofrece a la población la posibilidad de transformar su territorio desde un punto de vista sistémico en el cual se articulan las dimensiones social, económica, ambiental y político-institucional fundamentales en la planificación y orientación del diseño y ejecución de instrumentos que garantice la distribución equitativa de los beneficios del desarrollo (Espinosa, 2011).

2.2.2 Micro-región

Sepúlveda (2001) se refiere al término microrregión como un espacio rural o unidad mínima de análisis, donde tiene lugar el ejecutar actividades de naturaleza diversa, tales como la protección de recursos naturales estratégicos: suelo, fuentes de agua dulce y la biodiversidad presente en el bosque tropical y otros ecosistemas, y el desarrollo de programas orientados a potenciar las capacidades productivas de la comunidad y de combate a la pobreza.

Adicionalmente al desarrollo de dichos proyectos Boiser (1994) menciona que en este espacio es posible planificar y tomar acciones, igualmente es donde se procesan relaciones sociales, económicas, históricas y culturales.

"El concepto de microrregión contribuye metodológicamente a entender cómo éste subsistema de la región, permite delimitar los sistemas de producción agrarios a partir de una relativa continuidad espacial". Acosta R (citado por (Espinosa, 2011, pág. 24)),

En este contexto, los criterios de definición física de una Microrregión como unidad de planificación, son flexibles y fáciles para adaptarse a cada circunstancia.

2.2.3 Transición urbano –rural

Para el conveniente entendimiento del presente trabajo investigativo es preciso definir claramente el término transición urbano – rural, al cual nos referiremos constantemente, dicho término dista bastante en significado al término comúnmente usado en el ordenamiento territorial para referirnos a zonas en transición urbano – rural las cuales se caracterizan por ser áreas en las que se presenta una expansión de la zona urbana siendo evidentemente aledañas a la misma.

La transición urbano – rural es definida entonces como el proceso de diversificación de las dinámicas sociales, económicas y ambientales de la población rural, que transforma de paso el perfil de los territorios rurales (IICA, 2000).Esta diversificación, a la par del proceso de crecimiento de las urbes y de una mayor demanda de los servicios que ofrece el espacio rural; tanto para recreación como para residencia, transforma la relación entre campo y ciudad.

La tendencia a expandir el espacio urbano o establecer centros urbanos en el medio rural se traduce en un acercamiento espacial que invalida la antigua distinción entre lo rural y lo urbano. Por eso, esta relación se plantea como una condición de fluidez entre el campo y la ciudad reflejada en una gradiente en la cual ambas categorías se aproximan funcionalmente. Asimismo, y sobre todo en virtud del desarrollo de las comunicaciones, se ha dado una transformación en el estilo de vida y en los valores comúnmente asociados a lo rural (Sepúlveda S. , 2008).

Por lo tanto en un mismo pequeño poblado rural podrían coexistir múltiples actores para los cuales el sentido de lo rural adquiere múltiples significados (Sastoque M. , 2014). Siendo que los agricultores ya no son los únicos representantes de las sociedades rurales, debido a la introducción de diferentes actores como los denominados neo – rurales, (Chevalier, 1981) sujetos de origen urbano que por una u otra razón optaron por trasladarse al campo (Sastoque M. , 2014).

El estado de Transición urbano – rural induce a una situación de subdivisión del territorio o parcelación dinámica que puede considerarse la división material de uno o varios predios ubicados en el suelo rural, urbano o de expansión urbana de conformidad con lo dispuesto en Plan de ordenamiento territorial. (PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA, 2015). Es así que se produce una fragmentación interna de tierras, debido a procesos de sucesión permanente (Sastoque M. , 2014) “Algunos herederos deciden vender sus propiedades, estando entre los compradores de lotes o terrenos, los denominados neo-rurales, sujetos de origen urbano que optaron por trasladarse al campo” Chevailer (citado por (Gómez & Herrera, 2015, pág. 6)).

2.2.4 El Suelo

El suelo es un recurso natural no – renovable fundamental pues constituye el fundamento del desarrollo agrícola, de las funciones esenciales de los ecosistemas y de la seguridad alimentaria y, por tanto, son un elemento clave para el mantenimiento de la vida sobre la Tierra. (FAO, 2014).

> Edafológicamente el suelo se define como un cuerpo natural, formado a partir de una mezcla variable de minerales meteorizados y de materia orgánica en descomposición, que cubre la tierra en una capa delgada, y que cuando contiene cantidades apropiadas de agua y de aire ofrece soporte mecánico y sustento para las plantas (CENICAFÉ, 1975, pág. 28).

Los suelos se conciben como el producto final de la influencia del tiempo combinado con el clima, la topografía, organismos (flora, fauna y ser humano), sobre materiales parentales (rocas y minerales originarios). Como resultado el suelo difiere de su material parental en su textura, estructura, consistencia, color y propiedades químicas, biológicas y físicas. (FAO, 2015)

En otra definición el suelo es considerado según la importancia para las actividades humanas como "… soporte de las actividades del hombre dirigidas al aprovechamiento de su potencial productivo: cultivos agrícolas regadíos, repoblaciones, aprovechamientos forestales, etc" (Ministerio de Obras Públicas y transportes, 1992, pág. 212)

2.2.5 Erosión

La erosión es considerada generalmente como "… el desprendimiento y arrastre del suelo causado por el agua o por el viento, o su remoción e masa" (CENICAFÉ, 1975). La erosión es un proceso natural de desgaste que se da en la superficie terrestre sin intervención del hombre, y los factores que actúan son el agua como la lluvia, las corrientes fluviales y el mar, también el viento, la temperatura y la gravedad. Dicho proceso se toma como uno lento y casi imperceptible. (CENICAFÉ, 1975) En un sentido geomorfológico, el término erosión (y los términos asociados de remoción y transporte) se utiliza habitualmente en referencia a una unidad paisajística concreta, como por ejemplo una ladera o una cuenca (Allatorre & Beguería, 2009)

Cuando la erosión está ligada a la acción del hombre como factor acelerador, es ahí que se introduce un desequilibrio entre los suelos la vegetación y el agua o el viento. (CENICAFÉ, 1975). Este fenómeno involucra daños de alta relevancia a los recursos edáficos de un país y de un territorio en general (UNESCO, 2009).

Según Kirkby (1984) la erosión de suelos puede analizarse a través de varias perspectivas, una primera perspectiva muy general consiste en compararla con otros procesos de desgaste del paisaje que contribuye a demostrar la importancia de las tasas de erosión y su tolerancia a largo plazo. En una segunda perspectiva más estricta plantea examinar la erosión con sus controles inmediatos, cuestionando el grado de eficiencia en que se entienden los procesos erosivos en relación con el impacto de las gotas de lluvia, generación de flujo, etc. Y la última manera de considerar la erosión es mediante modelos generales de tiempo y espacio, de forma que puede entenderse la distribución de la erosión.

2.2.6 Riesgo de erosión

En un concepto general un riesgo natural es "… en sí mismo es la mayor o menor probabilidad de que se produzca un daño o catástrofe social en la zona debido la actividad de un proceso natural." (Ministerio de Obras Públicas y transportes, 1992, pág. 549)

El riesgo de erosión se define como el efecto combinado de los factores causales de la erosión lluvia, escurrimiento, suelo y topografía. La combinación de estos factores se denotan en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo: EUPS (Wischmeier & Smith, 1986).

Podemos concluir entonces que el riesgo de erosión es la probabilidad de que en un territorio suceda un fenómeno erosivo, esta situación depende de las características propias del territorio.

2.2.7 Erosión hídrica

La erosión hídrica constituye uno de los principales procesos de pérdida de suelo y representa una de las formas más completas de degradación, englobando tanto la degradación física del suelo como la química y la biológica (Regoyos., 2003).

Como su nombre lo indica el agente que la produce es el agua, específicamente las lluvias que actúan debido al impacto de las gotas de agua que generan el desprendimiento del suelo y su arrastre posterior por el agua de escurrimiento. (CENICAFÉ, 1975)

De esta manera, Mintegui y López (1990) definen este tipo de erosión como el proceso de disgregación de las partículas del suelo por la acción del agua, el cual culmina con el depósito de los materiales transportados por la corriente en áreas de sedimentación, cuando la capacidad de arrastre de las aguas se reduce hasta el punto de no permitir la continuación en el flujo de las partículas terrosas previamente incorporadas al mismo.

La erosión hídrica puede ocurrir de variadas formas la Statewide Urban Designs and Specifications (2007) señala, entre las principales, a la erosión por salpicadura, la erosión laminar, la erosión por surcos o en regueros, la erosión por cárcavas y la erosión en bancos aluviales. En el mismo sentido, es importante mencionar que la erosión puede ser provocada por distintos agentes, los cuales generan una energía capaz de erosionar el suelo, en donde éstos pueden actuar solos, o en conjunto (Tabla No.1 Agentes, tipos y procesos erosivos).Sin embargo, para el desarrollo de esta investigación solo se abordara factores generadores de origen hídrico.

Agente	Tipo de Erosión	Tipo de Proceso Erosivo
Agua	Erosión hídrica	Erosión en cursos de agua Erosión de Impacto Erosión laminar Erosión en riles Erosión en cárcavas Erosión costera
Viento	Erosión eólica	Abrasión Deflación
Hielo	Erosión glaciar	Movimiento de glaciares
Gravedad	Erosión por gravedad	Derrumbes Movimiento en masas Suelos repantes

Tabla 1 Agentes, tipos erosivos y procesos erosivos. Fuente: 1997, citado por García- Chevesich 2008.

2.2.8 Ecuación Universal de Pérdida del Suelo (EUPS)

La ecuación universal de pérdida de suelo por su siglas en español EUPS ó por sus siglas en inglés USLE, es una ecuación que evalúa la pérdida de suelo promedio producida en un año. Y representa seis factores a evaluar erosividad de la precipitación (R), la erosionabilidad del suelo (K), la topografía (L y S) y los métodos de gestión y de protección del suelo (C y P) (Allatorre & Beguería, 2009). Tiene entonces una forma multiplicativa. La ecuación USLE es considera un modelo empírico sobre el cual se basan muchos otros modelos de representación de la erosión.

A pesar de la popularidad de los modelos empíricos, se les ha criticado debido a que se basan en relaciones estadísticas que han sido tomadas a su vez de una base de datos. Aún con dichas críticas son los más frecuentemente usados pues pueden ser utilizados en situaciones en las que la falta de datos para alimentar el modelo, son una limitante importante. (Alatorre & Beguería, 2009)

Según Wischmeier (citado por (Kirkby & Morgan, 1984)) la USLE puede emplearse apropiadamente para: " 1. Predecir la pérdida anual de suelo de una pendiente en un campo con condiciones específicas para uso de la tierra. 2. Servir como guía en la selección de sistemas de cultivo y manejo, y de prácticas de conservación para los suelos y pendientes específicos…" (pág. 41)

La Ecuación universal de pérdida del suelo ha sido modificada y adaptada con el paso del tiempo, es así que como encontramos "… la ecuación MUSLE Modified Universal Soil Loss Ecuation, Williams, 1975), RUSLE (Revised Universal Soil Loss Ecuation, Renard et al., 1991 y 1994), ANSWERS (Areal Nonpoint Source Watershed Enviroment Response Simulator, Beasley et al, 1989), RUSLE-3D (Mitasova et al., 1996; Mitas y Mitasova, 1998) y SLEMSA (Soil Loss Estimation Model for Southern Africa, Elwell, 1981)." (Alatorre & Beguería, 2009)

2.2.9 Bioingeniería del suelo

Respecto a la intervención sobre la erosión del suelo en el territorio, la bioingeniería brinda una alternativa diferente a las técnicas de ingeniería convencional de estabilización y reducción de la erosión (Colegio Oficial de ingenieros técnicos y peritos agrícolas de Cataluña, 1998).

Una definición convencional de la bioingeniería de suelos explica que trata de una "disciplina técnico – científica que estudia las posibilidades de utilización de plantas vivas, o de partes de ellas, solas o en combinación con materiales inertes (piedra, madera o acero), como materiales de construcción en las obras de recuperación de entorno medioambiental." (Colegio Oficial de ingenieros técnicos y peritos agrícolas de Cataluña, 1998)

Sin embargo para el presente trabajo tomaremos el concepto de Bioingeniería del Suelo como lo especifica Flórez (2014) diciendo que:

> Es una tecnología producto de la investigación científica, que se refiere a la prevención y control de problemas de erosión, protección, estabilización y restauración de laderas, con problemas de movimientos masales, integrando los Procesos Físicos, Químicos y

> Biológicos de los fenómenos degradativos, hasta hallar la relación: causa – efecto de los mismos. (pág. 57)

Siendo entonces que la bioingeniería hace uso de diversidad de plantas locales, como estructuras vivas y muertas en reemplazo de materiales convencionales, puede considerarse como algo único pues son las mismas plantas que sirven como elementos mecánicos y con el pasar del tiempo se trasforman en obras vivas. (Flórez, 2014)

2.3 MARCO GEOGRÁFICO

2.3.1 Localización

El municipio de Sasaima, Cundinamarca se encuentra en las coordenadas W 74° 23’ 34.4“ y N 4° 57’ 51.84”, tiene una temperatura media de 22°C, con una precipitación media anual de 1500 mm y se encuentra a 1150 msnm en la zona urbana y a unos 1191 msnm en la cabecera municipal. De acuerdo con información de la Gobernación de Cundinamarca, presenta un periodo considerablemente bajo en lluvias entre los meses de junio a septiembre y el modelo de distribución de lluvias es bimodal con valores máximos en abril y noviembre (PBOT Sasaima, 2012).

La vereda Piluma se encuentra localizada a 70 Km de Bogotá aproximadamente y a una (1) hora del municipio de la Vega. Este territorio se encuentra en su mayoría en posición de montaña al costado occidental de la cordillera oriental, siendo entonces el paisaje de montaña el que predomina, sin embargo a partir de procesos endógenos y exógenos que inciden en los modelados del paisaje, se evidencia en la vereda y parte del municipio procesos que modifican la geomorfología de la zona

El área de estudio micro-cuenca Quebrada Negra se localiza entre las coordenadas w 74° 23’ 33.8” y N 4° 57’ 59”, con una altitud promedio de 1305 msnm, entre isotermas 20 y 22°C e isoyetas 1200 y 1300 mm, con una área aproximada de 71,7 Ha.

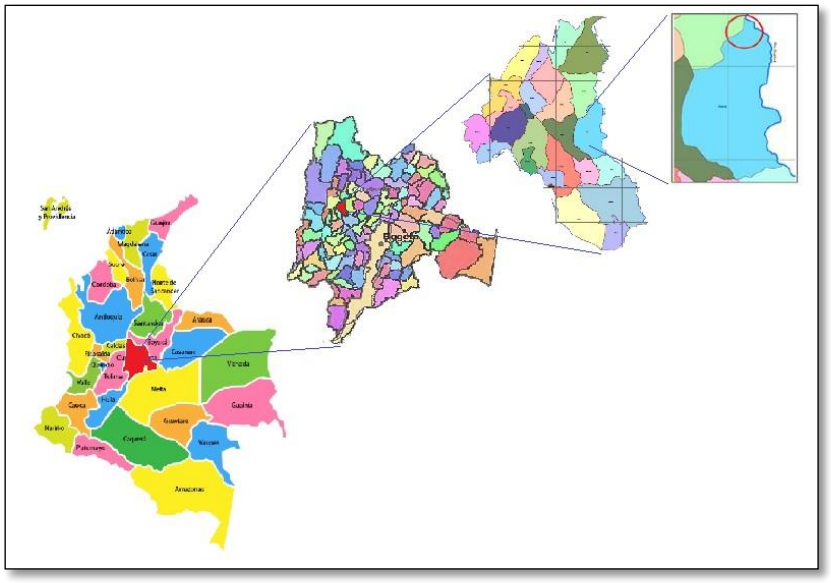


Imagen 1 Vereda Piluma, Microcuenca Quebrada-Negra Elaboración: Autores. Fuente: Municipio de Sasaima en el Departamento de Cundinamarca, Tomado de: http://www.sasaima-cundinamarca.gov.co/presentacion.shtml

3 METODOLOGÍA

El presente trabajo se plantea como un estudio de caso, el cual se abordó desde una perspectiva del tipo evaluativa y prospectiva, pues es su propósito trascender a la formulación de acciones que permitan el acercamiento a un territorio deseado, y no sólo aproximarse a un diagnóstico del territorio en materia de erosión hídrica. En este sentido la metodología desarrollada también pretende la identificación de zonas vulnerables de la erosión dentro de la microcuenca Quebrada Negra, para brindar soluciones a los problemas que conllevan los procesos erosivos del tipo hídrico.

Así la metodología planteada para el adecuado desarrollo de esta actividad técnico – científica que nos atañe, sigue una lógica de avance según el orden consecutivo de los objetivos específicos (planteados al inicio de este documento), los cuales dan cuenta del paso a paso en la actividad investigativa que para llevar al cabo la formulación de estrategias para reducción de la erosión hídrica es menester desarrollar. Se pretende que dichas estrategias puedan ser replicadas en otros territorios de nuestro país que también reflejen la heterogeneidad y diversidad biofísica que en este caso se aborda mediante la microcuenca Quebrada Negra.

3.1 ELEMENTOS METODOLÓGICOS PRIMER OBJETIVO ESPECÍFICO

Establecer los criterios y características de selectividad para tres metodologías de cálculo de la erosión hídrica.

Para el desarrollo de este primer objetivo, se realizó una revisión bibliográfica que permitiera a partir de la lectura de varios documentos y estudios de caso, extraer los criterios más usados en el ejercicio del estudio de la erosión hídrica, los que expusieran la mejor manera de llevar a cabo el estudio de la erosión hídrica según las necesidades del ámbito microrregional. Además criterios de selección que conduzcan a la elección de la metodología más adecuada para el alcance del presente trabajo; dentro de tres metodologías reconocidas para el cálculo de la erosión hídrica.

3.1.1 Instrumentos metodológicos

3.1.1.1 Base de datos

Trata de una compilación bibliográfica referente a documentos que presentan la utilización de modelos de erosión, la modelización y la predicción de la erosión hídrica y el trasporte de sedimentos. Según

Esta base de datos se realizó a manera de ficha bibliográfica en donde se muestran datos básicos del documento consultado, con los cuales es sencillo identificar el documento y la temática que aborda. Este instrumento se presenta en el software Microsoft Excel 2013, y puede apreciarse como sigue.

No.	Tipo	Título	Autor	Año	Ciudad	País	Revista	Editorial	Formato

Tabla 2 Campos básicos, base de revisión de documentos. Fuente: Autores 2016

3.1.1.2 Matriz de presencia – ausencia

Para el desarrollo de esta matriz se hizo una lluvia de ideas sobre criterios con los cuales los documentos consultados abordan el análisis de la erosión hídrica. De manera que la intensión es calificar la frecuencia con la cual estos criterios se exhiben en los estudios consultados. La matriz entonces se compone de filas en las que se ubican los estudios y columnas que contienen los criterios. La calificación que se asignó fue de unos y ceros, siendo que el número uno significa la presencia del criterio en el estudio y el número cero su ausencia. A continuación en la Tabla No. 3 se presenta la estructura de esta matriz.

ESTUDIOS / CRITERIOS	Cuenca hidrográfica como zona de estudio	Nivel de Estudio Local	Escala cartográfica Local	Empleo de infomación secundaria	Levantamiento de información primaria	Fotointerpretación de imágenes	Caracterización de variables ambientales	Utilización de SIG	Generación de cartografía temática	Modelación de erosión con base empírica	Modelación de erosión con base física	Análisis estadístico de la información	TOTAL
TOTAL													

Tabla 3 Estructura matriz de presencia – ausencia. Fuente: Autores 2016.

3.1.2 Procesos de la información

Base de Datos

La información sobre bibliografía compilada se almacenó y clasificó en el software Microsoft Excel 2013. Por cada temática se asignó una hoja de cálculo con la estructura de campos de la Tabla No.3 mostrada anteriormente.

Matriz de Presencia - Ausencia

Respecto a la matriz de presencia – ausencia, la información recibió el siguiente tratamiento: Se totalizaron las calificaciones por columnas, donde los valores obtenidos indican la frecuencia de los criterios en los estudios analizados. Seguidamente en otra tabla (Ver Tabla No.4) los totales de cada criterio fueron ordenados en forma descendente con el fin de apreciar los criterios que obtuvieron mayores frecuencias.

CRITERIO	PUNTAJE TOTAL

Tabla.4. Estructura tabla de frecuencia obtenida de los criterios analizados. Fuente: Autores 2016.

Luego con base en el número de estudios calificados se crearon tres categorías de importancia (Ver Tabla No.5) para clasificar los criterios, siendo que una mayor

frecuencia de aparición del criterio corresponderá a un mayor nivel de uso y de importancia de dicho criterio.

IMPORTANCIA	INTERVALO
Alta	16 - 23
Moderada	8 - 15
Baja	0 - 7

Tabla 5 Categorías de importancia para criterios matriz de presencia – ausencia. Fuente: Autores 2016.

Para la calificación de los estudios, se interpretó la matriz en sentido horizontal, totalizando como se mencionó con anterioridad pero esta vez por filas, ya que cada una corresponde a un estudio evaluado. Donde los valores obtenidos indican la frecuencia con que lo estudios poseen la presencia de los criterios. Paso siguiente en una tabla se ordenaron los totales de cada estudio en forma descendente de su calificación con el ánimo de apreciar de mejor forma los resultados.

ESTUDIO	PUNTAJE TOTAL

Tabla 6 Estructura tabla de frecuencia obtenida de los estudios analizados. Fuente: Autores 2016.

De igual forma como se realizó para la clasificación de los criterios se procedió con los estudios. Con base en el número de criterios tenidos en cuenta se crearon tres categorías de importancia (Ver Tabla No.7) para clasificar los estudios, siendo que una mayor frecuencia de aparición de los criterios en los estudios corresponderá a un mayor nivel de importancia del estudio calificado.

IMPORTANCIA	INTERVALO
Alta	8 - 11
Moderada	4 - 7
Baja	0 - 3

Tabla 7 Categorías de importancia para estudios matriz de presencia – ausencia. Fuente: Autores 2016.

3.2 ELEMENTOS METODOLÓGICOS SEGUNDO OBJETIVO ESPECÍFICO

Definir una base de criterios que justifiquen la utilidad del modelo y su aplicabilidad en el área de estudio.

3.2.1 Instrumentos metodológicos

3.2.1.1 Matriz de selección de criterios:

La matriz de selección se alimenta de once criterios algunos obtenidos de una lluvia de ideas preliminar y otros seleccionados entre los criterios de mayor calificación de la matriz presencia – ausencia, explicada en el anterior ítem.

La matriz se compone de filas y columnas, en la primera fila y en la primera columna se dispusieron los criterios a evaluar en el mismo orden con el fin de contrastar criterio con criterio, y así determinar la importancia de unos sobre otros. A continuación la estructura empleada para esta matriz.

	Adp. Inf	**Esc. T**	**Esc. Cart**	**Esc. Esp**	**Req. B**	**Emp. Inf**	**Fac. Uso**	**Req. Soft**	**C. SIG**	**Zon. Er**	**An. Cob**
Adp. Inf											
Esc. T											
Esc. Cart											
Esc. Esp											
Req. B											
Emp. Inf											
Fac. Uso											
Req. Soft											
C. SIG											
Zon. Er											
An. Cob											

Tabla 8 Estructura matriz selección de criterios. Fuente: Autores 2016.

Por practicidad en el manejo de la matriz se decidió asignar abreviaturas a los nombres de los criterios de selección, para su entendimiento se presenta la, Tabla No. 9 donde se específica a qué nombre hace referencia cada abreviatura.

CRITERIO	ABREVIATURA
Adaptable a limitada disponibilidad de información	Adp. Inf
Escala temporal anual	Esc.T
Escala cartográfica local	Esc.Cart
Escala espacial de microcuenca	Esc.Esp
Requerimiento de extensas bases de datos	Req. B
Empleo de información secundaria	Emp. Inf
Facilidad de uso del modelo	Fac. Uso
Requerimientos de software especializado	Req. Soft
Compatible con sistemas de información geográfica	C. SIG
Zonificación del territorio por grado de erosión	Zon. Er
Análisis específico de coberturas vegetales mixtas	An.Cob

Tabla 9 Abreviaturas de criterios de selección. Fuente: Autores 2016.

3.2.1.2 Matriz de selección del Modelo:

La matriz sigue un orden lógico con respecto a la información obtenida en el anterior paso, pues esta matriz se nutre con dicha información haciendo uso de los criterios obtenidos en la matriz de selección de criterios, para elegir el modelo que más se ajuste a las necesidades de este trabajo.

Esta matriz se compone de filas y columnas en las que se consignan los modelos a evaluar y los criterios sobre los cuales se les evalúa, como se aprecia en la Tabla No.10.

CRITERIOS / MODELOS	Adp. Inf	Esc. Cart	Esc. Esp	Emp. Inf	Fac. Uso	C. SIG	Zon. Er	An. Cob	TOTAL
Ecuación universal de pérdida de suelos. USLE									
Ecuación universal de pérdida de suelos modificada. MUSLE									
Ecuación universal de pérdida de suelos rectificada. RUSLE									
Soil and Water Assessment Tool. SWAT									

Tabla 10 Estructura matriz selección de modelo de cálculo de la erosión. Fuente: Autores 2016

En las filas se ubicaron los modelos a evaluar, que en este caso corresponden a cuatro modelos de generalizado uso, mientras que en las columnas se presentan los criterios que seleccionados previamente fueron los que definieron el modelo de cálculo de la erosión a emplear. Esta matriz es del tipo presencia – ausencia la calificación que se asignó fue de unos y ceros, siendo que el número uno significa la presencia del criterio en el modelo y el número cero su ausencia.

3.2.2 Proceso de la información

Matriz de Selección de Criterios

La matriz de criterios de selección se desarrolló en el software Microsoft Excel 2013. Con el fin de obtener los criterios más relevantes para la selección del mejor método de medición de la erosión hídrica. El procesamiento de la información consistió en calificar la matriz con base en los valores de importancia que se presentan en la Tabla No. 11. A continuación.

IMPORTANCIA	VALOR
Baja	1
Igual	2
Moderada	3
Alta	4

Tabla 11 Valores de calificación de importancia para los criterios de selección. Fuente: Autores 2016.

La evaluación de los criterios se realizó asignando valores en cada casilla según se definió el nivel de importancia que el criterio que se encuentra en la fila tenga con respecto al criterio que se encuentra en la columna.

Después de realizar la calificación de la matriz, se adicionó una columna en la cual se totalizaron los valores de cada fila de la matriz, dichos totales consisten en la suma de todos los puntajes obtenidos para el criterio de manera horizontal. Se procedió entonces de igual manera con cada criterio. Al tener el valor total por cada criterio se sumaron al final de la columna todos los totales, y se generó un valor total general.

Luego se procedió a clasificar los criterios en categorías según sus puntajes obtenidos, de manera que se eligieron los criterios con mayores valores.

CATEGORÍA	INTERVALO
Importancia Baja	10 - 19
Importancia Moderada	20 - 29
Importancia Alta	30 - 40

Tabla 12 Categorías clasificación de los criterios de selección. Fuente: Autores 2016.

Matriz de Selección del Modelo

En cuanto a la matriz de selección del modelo de cálculo de la erosión, se procedió a calificar la matriz con unos y ceros como se explicó con anterioridad. La información recibió el siguiente tratamiento: Se totalizaron las calificaciones por filas, donde los valores obtenidos indican la frecuencia con que los modelos exhiben los criterios considerados, de manera que el modelo con el mayor puntaje fue seleccionado como el más idóneo para el presente trabajo.

Seguidamente en otra tabla (Ver Tabla No. 13) los totales de cada modelo fueron ordenados en forma descendente con el fin de apreciar el modelo que obtuvo mayor frecuencia.

MODELO	PUNTAJE TOTAL

Tabla 13 Estructura tabla de frecuencia obtenida de los modelos analizados. Fuente: Autores 2016.

3.3 ELEMENTOS METODOLÓGICOS TERCER OBJETIVO ESPECÍFICO

Aplicar el modelo seleccionado a las condiciones territoriales de la microcuenca Quebrada Negra para cuantificar la erosión hídrica.

3.3.1 Instrumentos metodológicos

3.3.1.1 Cartografía temática y fotointerpretación:

Con el fin de caracterizar la microcuenca según sus dimensiones biofísicas y socioeconómicas se consultó información secundaria proporcionada por fuentes oficiales tales como IGAC, IDEAM, CAR, Gobernación de Cundinamarca y Alcaldía municipal de Sasaima. También se emplea, aunque en menor medida "… información primaria para

llenar vacíos … y subsanar las deficiencias encontradas en los reportes existentes." (Zuñiga, 2008, pág. 8).

Los componentes de los cuales se realizó la cartografía temática son: topográfico, de pendientes, climatológico, hídrico, edafológico y tipos de coberturas. Componentes que coexisten dentro de un mismo territorio y que se interrelacionan para dar origen a un sin número de dinámicas. La fotointerpretación se realizó de imágenes satelitales de Google Earth © 2015, de la vereda Piluma Municipio de Sasaima Cundinamarca.

3.3.1.2 Ecuación Universal de Pérdida del Suelo:

La ecuación universal de pérdida del suelo es un modelo predictivo de la erosión, del tipo empírico. La elección de este modelo se hizo con base en su simplicidad matemática, ya que al ser un modelo empírico como se mencionó anteriormente adquiere "… generalmente la forma de una ecuación paramétrica (suma y multiplicación de factores)." (Alatorre & Beguería, 2009, pág. 32).

Además cabe resaltar que "… su aplicación tiene unos requerimientos de datos y computación menores a los de los modelos conceptuales y físicos. Estas características han hecho que los modelos empíricos sean los más utilizados en la práctica como herramienta de planificación." (Alatorre & Beguería, 2009, pág. 32).

La USLE por sus siglas, posee una alta fidelidad y relativa aplicabilidad universal, "… producto de la gran cantidad de trabajos realizados en todo el mundo con fines científicos y de planificación." (Honorato, 2001, pág. 8). Una última justificación del porque se emplea este modelo en el presente trabajo tiene que ver con el déficit de información que se presenta en nuestro país a todas las escalas y con mayor incidencia a escala local. Es así como:

Los modelos empíricos son frecuente más usados que los modelos más complejos, a que pueden ser implementados en situaciones donde el principal limitante es la falta de datos para alimentar al modelo. Además permiten un primer acercamiento para identificar las causas y las fuentes de los sedimentos erosionados. (Alatorre & Beguería, 2009, pág. 33)

La EUPS se define a través de la ecuación (1):

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

Donde:

A: representa el valor promedio de las pérdidas de suelo anuales (Ton/Ha, año).

R: este factor representa la capacidad de la lluvia para producir erosión en el periodo establecido = Ec (J/m2)* I30 (mm/h)/1000

K= Índice de erosionabilidad del suelo. Es una característica propia del suelo ligada a su granulometría, porosidad, condiciones hidrológicas, porcentaje de materia orgánica, etcétera y distinta a la erosión del suelo, granulometría y porcentaje de materia orgánica (Ton/Ha).

L= Es el factor de longitud de la pendiente del terreno (adimensional).

S= Es el factor del grado de la pendiente (adimensional).

Estos dos factores (L y S) representan el efecto de la topografía en los procesos erosivos. Se define como la distancia desde el punto de origen de un escurrimiento hasta el punto donde decrece la pendiente al grado de que se presente la sedimentación del suelo erosionado.

C= Factor de manejo de la cobertura vegetal (adimensional). Este factor recoge la influencia de la cubierta vegetal como medio de protección del suelo frente a la fuerza erosiva de las precipitaciones, controlando no sólo la energía con la que llegan las gotas de lluvia a la superficie del suelo, sino la velocidad de la escorrentía superficial.

P= Factor de prácticas de manejo para el control de la erosión (adimensional). Recoge la influencia que tienen las prácticas de conservación de suelos sobre las tasas de erosión.

3.3.2 Proceso de la información

3.3.2.1 Espacialización temática de la Información:

La espacialización de la información de manera cuantitativa y temática mediante la relación de información geográficamente referenciada y datos no espaciales. Permite la definición de variables ambientales, que se detallan según la cantidad y calidad de la información disponible para alimentar los modelos de erosión hídrica de base física y empírica más adelante en la etapa de modelamiento y análisis de la información.

El tratamiento de la información se fundamenta pues en la clasificación y análisis según la definición de las variables ambientales relevantes.

Cómo procedimiento para organizar la información de los componentes biofísicos mencionados anteriormente se realizan procesos de fotointerpretación y elaboración de cartografía temática. Para ello se emplean Sistemas de Información Geográfica, puntualmente el Software ArcGis 10.2. Utilizado como modelo para el análisis y organización de la información (GTZ - Secretaría del Medio Ambiente. Cooperación Colombo - Alemana, 1999). Siendo que permite la sobreposición y cruce de capas para la complementación de la información obtenida en el prediagnóstico. Así la realización de la cartografía temática considerada por cada componente se llevó a cabo como sigue:

- ***Área de Estudio:*** Para este mapa se realizó fotointerpretación con imágenes satelitales de Google Earth © 2015, con el fin de realizar la delimitación del área que concierne a la microcuenca Quebrada Negra. Y a través de la aplicación Swat para ArcGis 10.2 se corroboro está información teniendo como base un modelo digital de elevación por sus siglas DEM.

- ***Topográfico*** El mapa topográfico se obtuvo a partir de cartografía digital del año 1970 consultada en el IGAC a escala 1:25.000 la plancha utilizada fue 208 III D correspondiente al municipio de Sasaima.

- ***Pendiente del terreno:*** Este mapa tiene su base en el mapa topográfico y se realizó con el SIG ArcGis 10.2, mediante la creación de un modelo digital de elevación (DEM) a través de la ArcToolbox y 3D Analyst Tools, al cual posteriormente se le calculó el valor de la pendiente para cada pixel y se establecieron valores de pendiente de acuerdo con los rasgos observados en el relieve, se definieron las siguientes seis rangos de pendiente: (0-5%), (5-12%), (12-18%), (18-30%), (30-45%) y (>45%). A través del gráfico No. 1 Se presenta el proceso cartográfico.

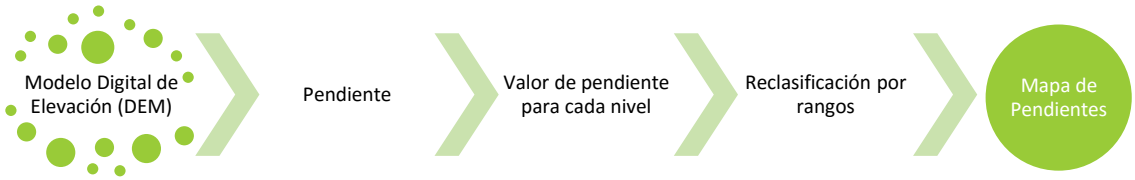


Gráfico 1Proceso cartográfico Mapa de pendientes. Fuente: Autores, 2016.

- ***Hidrológico:*** A partir de la plancha digital 208 III D proporcionada por el IGAC, a escala 1:25.000 se identificó el cauce principal de la microcuenca Quebrada Negra y sus cauces contribuyentes así como su longitud.

- **Climatológico**: Se consultaron las bases de datos del IDEAM y la CAR referentes a estaciones climatológicas ubicándose las más cercanas al área de estudio triangulando la zona. Se completaron datos faltantes en las series de tiempo por el método de proporciones. Seguidamente se realizó la modelación de isoyetas e isotermas en el software ArcGis 10.2.

  - Precipitación.

  Con el fin de hallar el poder erosivo de las lluvias en la microcuenca se utilizó información de precipitación existente en estaciones climatológicas de orden regional para la cuenca del Río Negro y la subcuenca del Río Tobia identificando estaciones climáticas operadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), que tuvieran series históricas mensuales de diez (11) años (2003 – 2014); y cercanía espacial al área de influencia. La Tabla No. 14 relaciona las estaciones climáticas que se utilizaron para determinar la precipitación.

Estación / Mes	Guaduas	San Isidro	Venecia	El Acomodo
Enero	62,36	57,94	40,59	200,71
Febrero	77,18	119,06	55,57	217,46
Marzo	124,1	180,75	94,45	177,96
Abril	196,37	211,81	114,39	261,2
Mayo	134,68	157,17	110,08	194,77
Junio	49,7	20,94	49,50	62,71
Julio	77,3	48,14	36,75	67,06
Agosto	84,62	74,08	54,67	65,86
Septiembre	55,05	79,41	44,64	92,85
Octubre	228,9	252,81	134,14	270,58
Noviembre	201,71	268,11	141,43	364,55
Diciembre	76,4	129,15	73,89	223,13
Sumatoria	1368,37	1599,36	950,09	2198,83

Tabla 14 Promedio multianual estaciones de referencia. Fuente: Autores, 2016.

Se tomaron los datos existentes de las estaciones seleccionadas con características climatológicas similares al área de estudio tales como la altura sobre el nivel del mar y precipitación. Una vez completada la serie mediante el método de proporciones se realizó una representación gráfica para conocer la precipitación media anual y su distribución espacial, para esto se utilizó el Sistema de Información Geográfica (SIG), ArcGis, Versión 10.2 y el método de isoyetas generando curvas de igual valor por área de influencia.

- Temperatura.

  Para hallar la temperatura media anual se utilizó información de las estaciones climatológicas de orden regional para la cuenca del Rio Negro y la subcuenca del Rio Tobia operadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), ante la ausencia de información y estaciones climatológicas en el área de estudio se tomaron los registros de las estaciones más cercanas y con características similares en altura y temperatura que tuvieran series históricas mensuales de diez (11) años (2003 – 2014).

  Se tomaron los datos existentes de las estaciones seleccionadas con características climatológicas similares al área de estudio tales como la altura sobre el nivel del mar y temperatura. Una vez completada la serie mediante el método de proporciones, luego se realizó una representación gráfica para conocer la precipitación media anual y su distribución espacial, para esto se utilizó el Sistema de Información Geográfica (SIG), ArcGis, Versión 10.2 y el método de isotermas generando curvas de igual valor por área de influencia. En el grafico No. 2 Se presenta el proceso cartográfico para ambos mapas.



Gráfico 2proceso cartográfico Mapa climatológico. Fuente: Autores, 2016

- ***Edafológico:*** Para el desarrollo de este mapa se obtuvo información de los estudios de suelos: *Estudio semidetallado de suelos de la parte plana de los municipios de Armero, Honda y general de Guaduas, Villeta, Sasaima, Albán y parte de Facatativá de 1979* y *Estudios general y semidetallado de las cuencas de Río Negro y Río Seco 1974*, ambos estudios suministrados por el IGAC.
- ***Tipos de Cobertura:*** La información para la realización de este mapa es de carácter primario, ya que fue obtenida mediante visitas de campo a cada uno de los predios que se localizan dentro de la microcuenca Quebrada Negra, realizando observación directa.

3.3.2.2 Desarrollo de las variables Ecuación USLE

3.3.2.2.1 Factor R:

Capacidad de la lluvia para producir erosión, el cual está definido por la siguiente ecuación (2):

$$R = [E_c(J/m^2) \times I_{30}(mm/h)]/\ 1000$$

Ecuación No. Factor R

Donde:
E_c = la energía cinética de la lluvia (J/m^2).

I_{30} = es la intensidad de la lluvia para un periodo de 30 minutos.

Dado que el área de estudio no se dispone con las estaciones necesarias y con información de eventos de precipitación por un periodo de 30 minutos y registros de precipitaciones de por lo menos 20 años continuos. Esta información es necesaria para el desarrollo del factor R y por ello se optó por el desarrollo del índice Fournier modificado (IMF) propuesto por (Arnoldus, 1977), modelo más sencillo con el cual se estimó la erosividad de las lluvias, el IMF_1 se calculó mediante la ecuación (3) citada por (Gabriels, 2003):

$$IMF = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P_t} \quad (3)$$

Donde:

IMF= Índice modificado de Fournier.

P_i= Precipitación media mensual (mm).

P_t= Precipitación media anual (mm).

I= Mes.

Se realizó un segundo cálculo del índice mediante la ecuación (4) citada por (Apaydin, 2006), donde el IMF se obtuvo para cada año con los datos de precipitación total mensual y anual. Luego se promedió la sumatoria de los IMF estimados sobre el número de años analizados.

$$IMF_j = \frac{1}{b} \sum_{j-1}^{b} IMF_j \quad (4)$$

Donde:
IMF_j= Índice modificado de Fournier.

j= Año.

b= Número de años de registro.

Los valores del IMF se clasificaron de acuerdo a los rangos presentados por (Michiels, 1996).

Clase	Rango	Descripción
1	< 60	Muy bajo
2	60 – 90	Bajo
3	90 – 120	Moderado
4	120 – 160	Alto
5	> 160	Muy alto

Tabla 15 Clasificación del Índice modificado de Fournier (IMF) para Latinoamérica.

Para estimar el factor R, se utilizó la ecuación (5) presentada por (Ramírez, 2006).

$$R = \sum_{12}^{1} 30{,}4\,(IMF) + 28{,}3 \quad (5)$$

Donde:

R = Erosividad en MJmm/Ha

IMF= Índice modificado de Fournier.

Los valores obtenidos se clasificaron según proponen (Rivera, 1991).

Clase	Erosividad R (MJ·mm·ha^{-1})	Clasificación
1	< 1.000	Natural
2	1.000 a 2.500	Muy Baja
3	2.500 a 5.000	Baja
4	5.000 a 7.500	Moderada
5	7.500 a 10.000	Alta
6	10.000 a 15.000	Muy Alta
7	15.000 a 20.000	Severa
8	> 20.000	Extremadamente severa

Tabla 16 Clasificación de la erosividad de las lluvias propuesta para Colombia.

3.3.2.2.2 Factor K:

El factor de erosionabilidad "Expresa a la influencia de las propiedades químicas y físicas del suelo en la erosión, …" (Ministerio de Obras Públicas y transportes, 1992, pág. 574). Para el cálculo de este factor existen varias fórmulas planteadas por diversos autores en las que generalmente se tienen en cuenta los mismos factores (porcentaje de materia orgánica, estructura del suelo, permeabilidad y porcentajes de limos, arcillas y arenas) pero difieren en las constantes que se consideran en la ecuación.

Para este caso se empleó la ecuación de ajuste que relaciona el factor de erosionabilidad con las características fisicoquímicas del suelo (Ministerio de Obras Públicas y transportes, 1992).

$$100K = [2{,}1 \times 10^{-4}(M^{1{,}14})(12 - \%MO) + 4{,}20(b - 2) + 3{,}23(c - 3]$$

Ecuación No. Factor Erosionabilidad. Fuente: (Ministerio de Obras Públicas y transportes, 1992)

Donde:

$M = [(\%\ de\ Limo + \%\ de\ Arena) \times (100 - \%\ de\ arcilla)]$

b = Número correspondiente a la estructura del suelo

c = Número por clase de permeabilidad del perfil de suelo

MO% = % de materia orgánica

Las variables que se presentan en la formula anterior se calculan con base en las características de las Asociaciones de suelos presentes en la microcuenca como sigue:

- ***Variable M:*** La variable M hace alusión a la textura del suelo, pues tiene en cuenta los porcentajes de limos, arcillas y arenas presentes en el perfil del suelo. Dicha información se obtuvo de estudios de suelos concernientes al municipio de Sasaima Cundinamarca, *Estudio semidetallado de suelos de la parte plana de los municipios de Armero, Honda y general de Guaduas, Villeta, Sasaima, Albán y parte de Facatativá de 1979* y *Estudios general y semidetallado de las cuencas de Río Negro y Río Seco 1974*, estudios suministrados por el IGAC
- ***Variable b:*** Para obtener el número correspondiente a la estructura, en una escala del 1 al 4. Primeramente se identifica el tipo de estructura del suelo según la asociación correspondiente, con base en la información suministrada por el estudio de suelos. Y luego se asocia con el número correspondiente a la escala como sigue:

Estructura	Diámetro
Gránulo muy fino y grumo muy fino	<1mm
Gránulo fino y grumo fino	1-2mm
Gránulo y grumo medio	2-5mm y 5-10 mm
Gránulo liso, prismático, columnar y muy grueso.	>10 mm

Tabla 17 Valoraciones para b correspondientes a cada tipo de estructura. Fuente: (Ministerio de Obras Públicas y transportes, 1992)

- ***Variable c:*** La variable c que también trata de un número en una escala del 1 al 6, parte del atributo del suelo llamado Permeabilidad, este atributo es quizás uno de los más relevantes por su importancia en los procesos de pérdida de la capa arable de una zona. La permeabilidad del suelo se puede hallar a través de varios métodos, como los son: el empleo del triángulo textural para la permeabilidad, o el nomograma de Wischmeier, W.H. y D.D Smith, 1978.

Rango	Permeabilidad
1	Rápida a muy rápida
2	Medianamente rápida
3	Moderada
4	Moderadamente lenta
5	Lenta
6	Muy lenta

Tabla 18 Valoraciones para C (permeabilidad). Fuente: (Ministerio de Obras Públicas y transportes, 1992)

Para el presente caso la variable permeabilidad se determinó mediante el empleo del triángulo textural para la permeabilidad que se muestra a continuación.

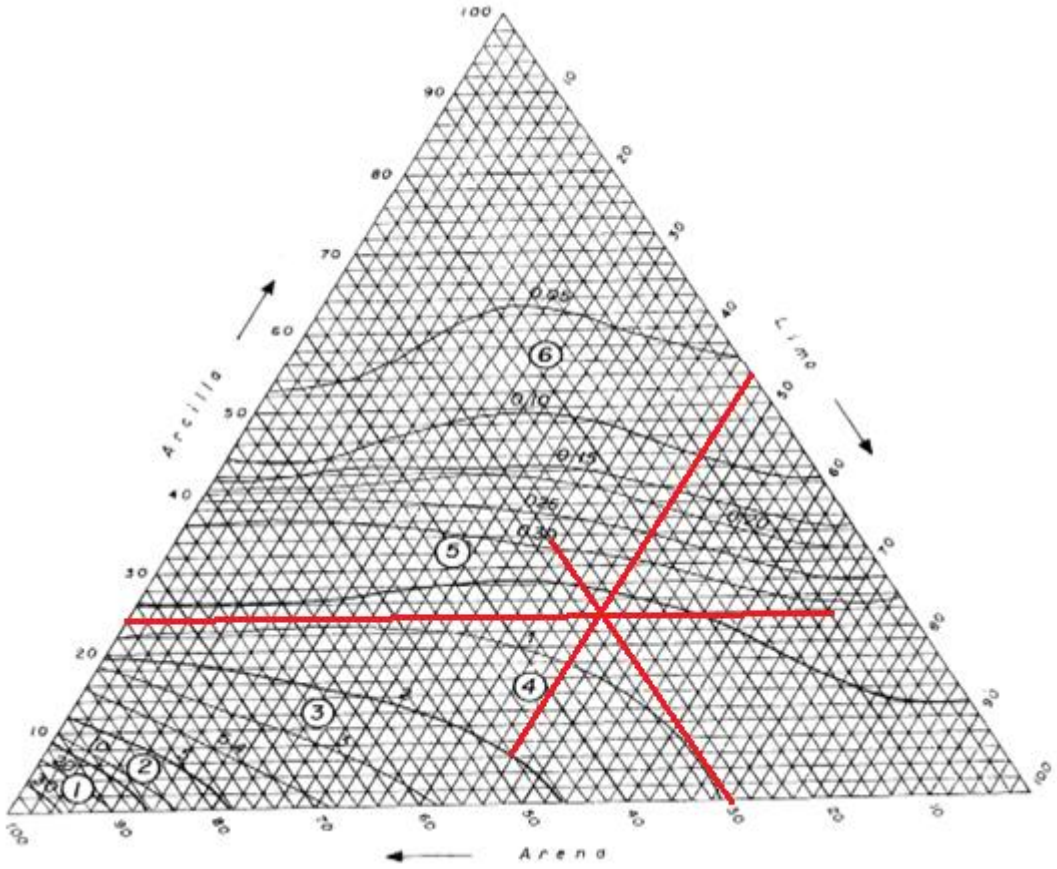


Gráfico 3 Triángulo textural para permeabilidad. Fuente: (Ministerio de Obras Públicas y transportes, 1992)

Para la utilización del triángulo se procedió de la siguiente manera. A partir de los datos del estudio de suelos de la cuenca de Río Negro y Río Seco se conocen las características físicas de los principales horizontes del perfil. El factor de erosionabilidad del suelo se determinó proyectando líneas rectas en el interior del triángulo, inicialmente se ingresó el porcentaje de arcilla en el lado izquierdo del triángulo teniendo en cuenta que los porcentajes aumentan de abajo hacia arriba, localizando el valor se traza la línea que representa el porcentaje dentro del triángulo. Seguidamente se ubica el porcentaje de arenas que se encuentra en la base de la figura, allí los valores aumentan de derecha a izquierda; al ubicar el valor se traza la línea correspondiente como en el anterior paso, hasta que sea interceptada por la línea trazada para las arcillas. Por último se realiza el mismo procedimiento para el porcentaje de limos el cual se halla en el lado derecho del triángulo textural. El lugar donde se presente el punto de interceptación de las tres líneas designará el valor de la permeabilidad según se encuentre en el área entre curvas que abarque cada valor definido en un rango de 1 a 6 como se indica en la Tabla No.18.

3.3.2.2.3 Factor LS:

El factor topográfico (LS) está ligado en gran medida a los procesos erosivos, siendo de gran influencia la pendiente y la longitud de la ladera, el factor topográfico es uno de los principales emisores de sedimentos en las cuencas.

Para hallar el factor topográfico se procedió a la utilización del software especializado ArcGis 10.3, ya que no se contaban con parcelas unitarias para el debido estudio de la pendiente en la microcuenca, usando el DEM (modelo digital de elevación) de la microcuenca se procedió al cálculo del factor LS, el cual es el producto de los subfactores longitud (L) y pendiente (S), que se calcularon con las siguientes ecuaciones (McCOOL, 1989).

$$L = \left[\frac{\lambda}{22.13}\right]^{m} \quad (6)$$

$$m = \frac{\beta}{1+b} \quad (7)$$

$$\beta = \left[\frac{(\sin\theta)/0.0896)}{[3.0x(\sin\theta^{0.8}) + 0.56]}\right] \quad (8)$$

$$S = 10.8\ \sin\theta + 0.03; para\ p < 9\% \quad (9)$$

$$S = 16.8 \sin\theta - 0.50; para\ p > 9\% \quad (10)$$

Donde:

λ = Longitud del terreno (m)

m= exponente variable según β

θ= ángulo de inclinación del terreno

Esto se realizó introduciendo cada formula en la herramienta "Raster calculator" del arctoolbox de ArcGis 10.3, al obtener cada factor (L) y (S) se proceden a multiplicar en la misma herramienta, obteniendo así el factor LS.

3.3.2.2.4 Factor C:

Este factor comprende la relación entre "la protección que genera la cobertura vegetal al suelo al interceptar las gotas de lluvia y amortiguar su energía de impacto y de la escorrentía, disminuyendo el efecto erosivo. El factor se determinó de manera distribuida en el espacio, partiendo de la información suministrada por los mismos habitantes de la microcuenca y la obtenida por los recorridos realizados en campo.

El factor se expresa como la relación que puede considerarse entre la pérdida de suelo que se produce en un área con suelo desnudo, es decir en lo que comúnmente se conoce como barbecho continuo; comparado con la pérdida que se produciría en un suelo con presencia de vegetación y sistemas de manejo específicos (CORTOLIMA, 2009)

El factor C de la USLE recoge esta influencia debida no sólo al tipo de vegetación existente, sino al manejo o disposición de los residuos que produce sobre el suelo.

Para la determinación de este factor en el presenta trabajo, se hizo uso de valores de C que han sido generalizados por Delgado y Vasquez y revisados por Cortolima para diferentes tipos de cultivos, dichos valores tabulados, se tomaron como referente para determinar los valores que adoptaría C, para las diversas combinaciones de coberturas presentes en la microcuenca Quebrada Negra, siendo que se encuentran varias asociaciones, consociaciones y complejos.

Cultivo	Factor C	Cultivo	Factor C	Cultivo	Factor C
Suelo Desnudo	1,000	Maíz (baja dens)	0,620	Maíz (Mod dens)	0,530
Maíz (alta dens)	0,415	Sorgo (baja dens)	0,555	Sorgo (alta dens)	0,405
Fríjol (baja dens)	0,450	Fríjol (alta dens)	0,400	Maní	0,575
Yuca	0,430	Ñame	0,525	Tomate (sonalanáceas)	0,625
Arroz	0,190	Papa	0,610	Trigo (baja dens)	0,675
Trigo (alta dens	0,580	Soya (baja dens)	0,460	Soya (alta dens)	0,415
Algodón	0,520	Tabaco	0,545	Piña	0,330
Lech. Repo. Colf	0,545	Ajo	0,820	Cebolla, cebollón	0,820
Zanahoria	0,690	Remolacha	0,670	Plátanos, bananos	0,250
Cacao	0,180	Café (con sombra)	0,090	Café (sin sombra)	0,180
Asociación maíz – fríjol	0,210	Asociación maíz – yuca	0,235	Asociación maíz – yuca – fríjol	0,105
Cítricos	0,375	Patilla, melón	0,265	Auyama	0,010
Pasto denso	0,005	Bosque denso	0,001		

Tabla 19 Valores de C para diferentes cultivos. Fuente: (CORTOLIMA, 2009)

Para hallar los valores de C, en una asociación, consociación o complejo se procede a tomar el valor de C para cada una de las coberturas y se multiplica este valor por el porcentaje de área correspondiente a la cobertura dentro de la unidad compuesta, finalmente se suman los valores C obtenidos para cada cobertura; hallando un valor C ponderado para la unidad compuesta. A continuación en la Tabla No. 20. Se muestran los diferentes tipos de asociaciones, consociaciones y complejos.

Nombre	Símbolo	Porcentaje de Área
Asociación	a \ b \ c	60% \ 25% \ 15%
	a \ b	60% \40%
Consociación	a / b / c	70% / 20% / 10%
	a / b	70% / 30%
Complejo	a – b – c	33% / 33% / 33%
	a – b	50% – 50%

Tabla 20 Porcentajes de área, unidades compuestas. Fuente: Autores 2016.

3.3.2.2.5 Factor P:

Este último factor de la USLE recoge la influencia que tienen las prácticas de conservación de suelos sobre las tasas de erosión de una parcela, realizando los trabajos culturales o disponiendo la vegetación siguiendo curvas de nivel, en fajas o en terrazas para cortar las líneas de escorrentía. Los valores de la siguiente tabla suministrados por (Wischmeier W. y., Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains., 1978) para el valor del factor P según las prácticas de conservación del suelo seleccionadas, se refieren al porcentaje de las pérdidas de suelo en conjunto, frente a las que tendría sin la práctica de conservación.

Practica de conservación de suelos	Factor P
En curvas de nivel (1-16% pendiente)	0,60
En curvas de nivel (17-25% pendiente)	0,85
Terrazas (desagües encespedadas)	0,14
Terrazas (desagües subterráneos)	0,05
Hoyos a nivel	0,13
Sin prácticas de conservación	1,00

Tabla 21 Valores prácticas de conservación de suelos P. Fuente: (Ministerio de Obras Públicas y transportes, 1992)

3.4 ELEMENTOS METODOLÓGICOS CUARTO OBJETIVO ESPECÍFICO

Formular acciones para la reducción de los efectos asociados a la erosión hídrica en la microcuenca Quebrada Negra.

3.4.1 Instrumentos metodológicos

3.4.1.1 Lista acciones de intervención

Con el fin de tener un panorama de las posibles medidas de intervención en la microcuenca, para la reducción de la erosión, se hizo uso de una lista en la cual se observan diferentes técnicas de bioingeniería de suelos encaminadas a la reducción de la erosión. A continuación se presenta la Tabla No.22 en la cual se aprecia la estructura general de dicha lista.

NOMBRE	ILUSTRACIÓN	TIPO DE TÉCNICA	DESCRIPCIÓN	APLICACIONES

Tabla 22 Estructura general lista técnicas de bioingeniería. Fuente: Autores 2016

3.4.1.2 Clave sistemática acciones de intervención

Las claves sistemáticas presentan uso generalizado comúnmente en las ramas pertenecientes a la biología, siendo mayormente usadas en la botánica para la clasificación e identificación de individuos. Observándose un uso exclusivo de tipo taxonómico.

Para el presente caso, se introduce la clave sistemática como un instrumento que de manera análoga permita hacer uso de su funcionalidad, dentro de la temática concerniente a la erosión hídrica. Se pretende entonces clasificar los predios pertenecientes a la microcuenca Quebrada Negra, por la configuración espacial de las coberturas que posean.

Es conocido que las combinaciones de coberturas del suelo que pueden tener lugar en un territorio son múltiples por lo que como último proceso en esta labor técnico – científica, se aborda la jerarquización y clasificación de los predios asociados a sus grados de erosión.

De esta forma se generan acciones adecuadas para condiciones específicas, que abordan los efectos negativos generados por la erosión hídrica.

3.4.2 Proceso de la información

Clave sistemática acciones de intervención

Se tomaron como insumos del anterior objetivo para la realización de la clave sistemática de acciones de intervención, el mapa predial de la microcuenca Quebrada Negra, realizado por los autores, los valores del factor LS, el mapa de coberturas, los rangos de pendiente obtenidos del mapa de pendientes y los valores de perdida de suelos obtenidos con la ecuación universal de perdida de suelos.

Posteriormente se tabularon los valores anteriormente mencionados para cada predio, dando como resultado una tabla con la combinación de las diferentes condiciones presentes para cada predio como lo son las diferentes coberturas, pendientes, grado de erosión y factor topográfico LS; con la combinación de factores para cada predio se formularon medidas de control y prevención del grado de erosión.

Lista acciones de intervención

Para el desarrollo de esta lista se empleó el software Microsoft Excel 2013, en el cuál se consignó la información concerniente a 15 técnicas de bioingeniería de suelos, usadas generalizadamente, esta lista se alimentó con información de los documentos sobre bioingeniería: Obras de bioingeniería. Técnicas de estabilización de taludes (Colegio Oficial de ingenieros técnicos y peritos agrícolas de Cataluña, 1998), Control de la erosión en zonas tropicales (Suaréz, 2001), Manual de bioingeniería (Navarro, 2008).

4 RESULTADOS

4.1 CRITERIOS Y CARACTERÍSTICAS DE SELECTIVIDAD PARA CUATRO METODOLOGÍAS DE CÁLCULO DE LA EROSIÓN HÍDRICA.

En esta parte del documento se presentan los resultados que permiten realizar una selectividad del método que se empleará para la estimación de la erosión hídrica en la microcuenca Quebrada Negra. Se inicia entonces con una recopilación bibliográfica que se describe a continuación.

4.1.1 Compilación bibliográfica

Cómo primer resultado en este aparte se obtuvo una base de datos donde se recopilaron 33 estudios sobre la erosión, mayormente consultados en línea realizados en diferentes países; en Latinoamérica en países como: Colombia, Venezuela, Perú, Chile, Argentina, Nicaragua, Costa Rica, México. Algunos países europeos como España e Italia y Estados Unidos como país de Norteamérica. Características como el país de donde proviene el estudio, el autor, el formato en el que se presenta el documento y otras se detallan en la Tabla No. 23 Base de revisión de documentos.

No.	Tipo	Título	Autor	Año	Ciudad	País	Revista	Editorial	Formato
01	Documento técnico	Manual de conservación de suelos de ladera	Cenicafé	1975	Chinchiná	Colombia		Litomoderna Ltda.	Texto
02	Documento técnico	Predicting Rainfall Erosion Losses. Aguide to conservation planning.	Wischmeier W & Smith D	1978		Estados Unidos		USDA	PDF
03	Documento técnico	Manual de ordenación de cuencas hidrográficas. Estabilización de laderas con tratamientos del suelo y la vegetación	H.M Schiechtl	1986	Roma	Italia		FAO	Texto
04	Artículo Revista	La ecuación universal de pérdidas de suelo.	González del Tánago Martha	1991	Madrid	España	Ecología		PDF

No.	Tipo	Título	Autor	Año	Ciudad	País	Revista	Editorial	Formato
		Pasado, presente y futuro							
05	Documento técnico	Capacidad de uso y erosión del suelo. Aproximación a una valoración económica de la erosión de Andalucía	Moreira J.M	1991	Sevilla	España		Junta de Andalucía. Agencia del Medio Ambiente	PDF
06	Documento técnico	Capacidad de uso y erosión del suelo en el valle central del río Guadalquivir	Moreira J.M	1991	Andalucía	España		Junta de Andalucía. Agencia del Medio Ambiente	PDF
07	Documento técnico	Guía para la elaboración de estudios del medio físico. Contenido y Metodología	Ministerio de Obras Públicas y Trasportes. MOPT	1992		España		FOTOJAE S.A	Texto
08	Documento técnico	Guía técnica para la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza por movimientos en masa.	GTZ	1999	Villavicencio	Colombia		Proyecto río Guatiquia	Texto
09	Tesis Académica	Susceptibilidad y predicción de la erosión en suelos de ladera de la zona cafetera colombiana	Rivera J	1999	Medellín	Colombia		Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas.	PDF
10	Artículo Revista	Evaluación de la erosión utilizando el modelo (R) USLE, con apoyo de SIG. Aplicación en una microcuenca de los Andes Venezolanos	Barrios A & Quiñonez E	2000		Venezuela	Revista Forestal Venezolana		PDF
11	Artículo Revista	Evaluación del modelo USLE en la estimación de la erosión en seis	Honorato R	2001	Santiago	Chile	Ciencia e Investigación Agraria	Pontificia Universidad Católica de Chile. Facultad de	PDF

No.	Tipo	Título	Autor	Año	Ciudad	País	Revista	Editorial	Formato
		localidades entre la IV y IX región de Chile						Agronomía e Ingeniería Forestal. Departamento de Ciencias de los Recursos Naturales.	
12	Tesis Académica	Modelo para evaluar la erosión hídrica en Colombia utilizando sistemas de información geográfica	Pérez Sandra Janeth	2001	Bogotá D.C	Colombia		Universidad Industrial de Santander. Escuela de Ingeniería Química	PDF
13	Artículo Revista	Modelo Predictivo para cuantificar la erosión hídrica con base en experimentación en Sabrinski Municipio de Mosquera	García et. al	2003	Bogotá D.C	Colombia	Colombia Forestal	Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad de Medio Ambiente y Recursos Natrales	Texto
14	Tesis Académica	Productividad y riesgos de erosión del suelo como factores importantes en la gestión de cuencas tropicales. Caso de Estudio: Cuenca del río Petaquire, Venezuela.	Ramírez Gloria	2005	Maracay	Venezuela		Universidad Central de Venezuela. Facultad de Agronomía	PDF
15	Documento técnico	Manual de métodos sencillos para estimar erosión hídrica. Basado en experiencias nacionales	PASOLAC, CIAT, UNA	2005	Managua	Nicaragua		PASOLAC	PDF
16	Documento técnico	Experiencias y resultados en control de erosión en el territorio CAR. Proyecto Checua PROCAS	GTZ, KFW, CAR	2006	Bogotá D.C	Colombia		Ladiprint Editorial Ltda	Texto
17	Documento técnico	Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica mayor del río Totare	CORTOLIMA	2007		Colombia			PDF

No.	Tipo	Título	Autor	Año	Ciudad	País	Revista	Editorial	Formato
18	Artículo Revista	Erosividad de las lluvias en la zona cafetera central y occidental del departamento de Caldas	Rivera F, Hincapié E, Sadeghian S. Pérez U.	2007		Colombia	Revista CENICAFÉ	CENICAFÉ	PDF
19	Tesis Académica	Estimación de la generación de sedimentos en la cuenca hidrográfica del río Sisga con base en la ecuación Uniiversal de pérdida del suelo	Galvis D	2008	Bogotá D.C	Colombia		Universidad de la Salle. Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria	PDF
20	Tesis Académica	Metodología de cálculo del factor topográfico LS integrado en los modelos RUSLE y USPED. Aplicación al arroyo del lugar Guadalajara (España)	Giménez M	2008		España		Universidad Politécnica de Madrid	PDF
21	Documento técnico	Propuesta de un modelo de estimación de la erosión hídrica para la región de Coquimbo, Chile	Pizarro et.al	2009		Chile		UNESCO	PDF
22	Artículo Revista	Los modelos de erosión. Una revisión	L.C Alatorre & S. Beguería	2009	Zaragoza	España	Revista C & G		PDF
23	Artículo Revista	Erodabilidad de los suelos de la zona central cafetera del departamento de Caldas	Ramírez F, Hincapié E, Sadeghian S.	2009		Colombia	Revista CENICAFÉ	CENICAFÉ	PDF
24	Artículo Revista	Riesgo a la erosión en la zona cafetera central del departamento de Caldas	Ramírez F, Hincapié E, Sadeghian S.	2009		Colombia	Revista CENICAFÉ	CENICAFÉ	PDF
25	Artículo Revista	Evaluación del factor C de la RUSLE para el manejo de coberturas vegetales en el control	Linares E, Marchamalo M, Roldán M	2009		Costa Rica	Agronomía Costarricense		PDF

No.	Tipo	Título	Autor	Año	Ciudad	País	Revista	Editorial	Formato
		de la erosión en la cuenca el río Birrís, Costa Rica							
26	Artículo Revista	Evaluación de la agresividad de las precipitaciones en la cuenca del arroyo El Pescado, provincia de Buenos Aires (Argentina)	Besteiro S. & Delgado M	2011		Argentina	Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata		PDF
27	Artículo Revista	Aplicabilidad del modelo SWAT para la estimación de la erosión hídrica en las cuencas de México	Rivera F, Pérez S, Ibañez A, Hernandez R	2012		México	Agrociencia		PDF
28	Artículo Docente	El factor C de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE)	Ibañez S, Moreno R, Gisbert J	2012		España		Universidad Politécnica de Valencia. Escuela Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural	PDF
29	Artículo Revista	Estimación del factor erosividad de la lluvia en la zona semiárida de San Pedro, Chile	Olivares B, Lobo D, Verbist K	2013		Chile	GEOMINAS	GEOMINAS	PDF
30	Artículo Revista	Erosividad de la lluvia en la región cafetera de Quindío, Colombia	Lince L & Castro A	2015		Colombia	Revista CENICAFÉ	CENICAFÉ	PDF
31	Documento técnico	Guía rápida temática para el usuario SIG.	Corporación autónoma regional del Valle del Cauca. CVC			Colombia		CVC	PDF
32		Aproximación del riesgo por erosión hídrica aplicando un SIG, en la subcuenca Shambillo, Distrito de Padre Abad	Flores A, Manrique L			Perú			PDF

No.	Tipo	Título	Autor	Año	Ciudad	País	Revista	Editorial	Formato
33	Artículo Revista	Erosividad de las lluvias en la región centro - sur del departamento de Caldas, Colombia	Echeverry L & Obando F	2010	Medellín	Colombia	Revista Facultad Nacional de Agronomía		PDF
34	Tesis Académica	Evaluación y adaptación de modelos de erosión y sedimentación en la región hidrológica 25; estudio del caso "Cuenca Potosi"	Carrera N	2012		México		Universidad autónoma de Nuevo león. Facultad de Ciencias Forestales.	PDF

Tabla 23 Base de revisión de documentos. Fuente: Autores 2016

4.1.2 Selección de criterios

Se calificó la matriz de presencia – ausencia para criterios y estudios, obteniéndose los resultados que se encuentran en el Anexo No. Matriz presencia – ausencia. Con base en las calificaciones obtenidas en dicha matriz se tabularon los puntajes totales referentes a cada criterio, de manera descendente, como se observa en la Tabla No. 24.

CRITERIO	PUNTAJE TOTAL
Empleo de información secundaria	22
Empleo de Modelos de erosión Empíricos	22
Caracterización de variables ambientales	21
Utilización de SIG	17
Generación de cartografía temática	16
Análisis estadístico de la información	16
Cuenca hidrográfica como zona de estudio	13
Levantamiento de información primaria	9
Nivel de Estudio Local	4
Empleo de Modelos de erosión de base física	4
Escala cartográfica Local	3
Fotointerpretación de imágenes	3

Tabla 24 Frecuencia obtenida de los criterios analizados. Fuente: Autores 2016.

Los criterios que se posicionan primero en la tabla poseen los puntajes más altos lo que significa que pueden ser empleados como insumo para la selección del modelo de cálculo de la erosión hídrica, mediante otra matriz de selección. Los colores que se observan están relacionados con las categorías que se crearon para la calificación, consignadas en la Tabla No.5 en la metodología.

ESTUDIO	PUNTAJE TOTAL
Guía técnica para la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza por movimientos en masa	10
Evaluación de la erosión utilizando el modelo (R) USLE, con apoyo de SIG. Aplicación en una microcuenca de los Andes Venezolanos	10
Evaluación cuali-cuantitativa de la erosión hídrica en la microcuenca Aguas Calientes, estado Mérida-Venezuela	9
Evaluación del factor C de la RUSLE para el manejo de coberturas vegetales en el control de la erosión en la cuenca el río Birrís, Costa Rica	8

ESTUDIO	PUNTAJE TOTAL
Evaluación y adaptación de modelos de erosión y sedimentación en la región hidrológica 25; estudio del caso "Cuenca Potosi"	8
Modelo para evaluar la erosión hídrica en Colombia utilizando sistemas de información geográfica	7
Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica mayor del río Totare	7
Estimación de la generación de sedimentos en la cuenca hidrográfica del río Sisga con base en la ecuación Uniiversal de pérdida del suelo	7
Erodabilidad de los suelos de la zona central cafetera del departamento de Caldas	7
Modelo Predictivo para cuantificar la erosión hídrica con base en experimentación en Sabrinski Municipio de Mosquera	6
Productividad y riesgos de erosión del suelo como factores importantes en la gestión de cuencas tropicales. Caso de Estudio: Cuenca del río Petaquire, Venezuela	6
Erosividad de las lluvias en la zona cafetera central y occidental del departamento de Caldas	6
Propuesta de un modelo de estimación de la erosión hídrica para la región de Coquimbo, Chile	6
Evaluación de la agresividad de las precipitaciones en la cuenca del arroyo El Pescado, provincia de Buenos Aires (Argentina)	6
Estimación del factor erosividad de la lluvia en la zona semiárida de San Pedro, Chile	6
Erosividad de la lluvia en la región cafetera de Quindío, Colombia	6
Método de evaluación de la erosión hídrica superficial en suelos desnudos en Chile	6
Aplicación del modelo Swat en la subcuenca del Río Ambato	6
Susceptibilidad y predicción de la erosión en suelos de ladera de la zona cafetera colombiana	5
Evaluación del modelo USLE en la estimación de la erosión en seis localidades entre la IV y IX región de Chile	5
Metodología para la estimación del riesgo de erosión hídrica en cuencas hidrográficas utilizando SIG	5
Capacidad de uso y erosión del suelo en el valle central del río Guadalquivir	4
Erosividad de las lluvias en la región centro - sur del departamento de Caldas, Colombia	4

Tabla 25 Frecuencia obtenida de los criterios analizados. Fuente: Autores 2016.

Los estudios que se observan en las primeras filas, en la tabla poseen los puntajes más altos lo que significa que pueden ser empleados como documentos guía para abordar el presente proyecto. Los colores que se observan están relacionados con las categorías que se crearon para la calificación, consignadas en la Tabla No. 7 en la metodología

4.2 MODELO DE CÁLCULO DE LA EROSIÓN

La elección de criterios para la selección de un modelo de cálculo de la erosión, permitió una mayor facilidad para determinar cuál sería el modelo más apropiado dentro de tres metodologías usadas de forma generalizada. Mediante este proceso se asegura que el modelo elegido sea el que más se aproxime a las necesidades del presente estudio.

4.2.1 Criterios de selección

Como se explicó con anterioridad en la metodología, los criterios fueron elegidos con base en los resultados arrojados por la evaluación de una matriz basada en la metodología de Frederick Vester. A continuación en la Tabla No.26 se encuentra dicha matriz calificada, observándose los valores totales para cada criterio.

CRITERIOS / CRITERIOS	Adp. Inf	Esc. T	Esc. Cart	Esc. Esp	Req. B	Emp. Inf	Fac. Uso	Req. Soft	C. SIG	Zon. Er	An. Cob	TOTAL
Adaptable a limitada disponibilidad de información (Adp. Inf)		3	2	2	4	2	2	4	2	2	2	**25**
Escala temporal anual (Esc.T)	1		1	1	3	2	1	3	1	1	1	**15**
Escala cartográfica local (Esc.Cart)	2	3		2	4	2	2	3	2	2	1	**23**
Escala espacial de microcuenca (Esc.Esp)	2	3	2		3	2	2	3	2	2	2	**23**
Requerimiento de extensas bases de datos (Req. B)	1	1	1	1		1	1	2	1	1	1	**11**
Empleo de información secundaria (Emp. Inf)	2	2	2	2	3		2	3	2	1	1	**20**
Facilidad de uso del modelo (Fac. Uso)	2	3	2	2	3	2		3	2	2	2	**23**

CRITERIOS / CRITERIOS	Adp. Inf	Esc. T	Esc. Cart	Esc. Esp	Req. B	Emp. Inf	Fac. Uso	Req. Soft	C. SIG	Zon. Er	An. Cob	TOTAL
Requerimientos de software especializado (Req. Soft)	1	1	1	1	2	1	1		2	1	1	**12**
Compatible con sistemas de información geográfica (C. SIG)	2	3	2	2	3	2	2	2		2	2	**22**
Zonificación del territorio por grado de erosión (Zon. Er)	2	3	2	2	3	3	2	3	2		2	**24**
Analisis específico de coberturas vegetales mixtas (An.Cob)	2	3	3	2	3	3	2	3	2	2		**25**
TOTAL												**223**

Tabla 26 Matriz de selección de criterios. Fuente: Autores 2016

A partir de los puntajes obtenidos para los criterios se seleccionaron los que exhibieron un mayor valor para alimentar la matriz de selección del modelo para el cálculo de la erosión en el presente estudio. En la tabla No. 27 se presenta la jerarquización de los criterios según los puntajes obtenidos.

CRITERIOS	PUNTAJE
Adaptable a limitada disponibilidad de información (Adp. Inf)	25
Análisis específico de coberturas vegetales mixtas (An.Cob)	25
Zonificación del territorio por grado de erosión (Zon. Er)	24
Escala cartográfica local (Esc.Cart)	23
Escala espacial de microcuenca (Esc.Esp)	23
Facilidad de uso del modelo (Fac. Uso)	23
Compatible con sistemas de información geográfica (C. SIG)	22
Empleo de información secundaria (Emp. Inf)	20

CRITERIOS	PUNTAJE
Escala temporal anual (Esc.T)	15
Requerimientos de software especializado (Req. Soft)	12
Requerimiento de extensas bases de datos (Req. B)	11

Tabla 27 Pesos de los criterios de selección en orden descendente. Fuente: Autores 2016

Respecto a la Tabla No. 27. Se descartaron los criterios con menor puntaje, respecto a los demás, siendo los criterios descartados tres: Escala temporal anual, Requerimientos de software especializado y requerimiento de extensas bases de datos.

Como siguiente paso se calificó la matriz de selección de modelo de cálculo de la erosión como se observa a continuación, en la Tabla No. 28.

CRITERIOS / MODELOS	Adp. Inf	Esc. Cart	Esc. Esp	Emp. Inf	Fac. Uso	C. SIG	Zon. Er	An. Cob	TOTAL
Ecuación universal de pérdida de suelos. USLE	1	1	1	1	1	1	1	1	**8**
Ecuación universal de pérdida de suelos modificada. MUSLE	0	1	1	0	0	1	1	1	**5**
Ecuación universal de pérdida de suelos rectificada. RUSLE	0	1	1	0	0	1	1	1	**5**
Soil and Water Assessment Tool. SWAT	0	1	0	0	0	1	1	0	**3**

Tabla 28 Matriz selección del modelo de cálculo de la erosión. Fuente: Autores 2016

Se observa en la matriz de selección del modelo de cálculo de la erosión, que el modelo con mayor puntaje, siendo que posee todos los criterios calificados (ocho en total) es la ecuación universal de pérdida del suelo. Para su mejor visualización se plasman las frecuencias obtenidas en la siguiente tabla, Tabla No. 29 como sigue.

MODELO	PUNTAJE TOTAL
Ecuación universal de pérdida de suelos. USLE	8
Ecuación universal de pérdida de suelos modificada. MUSLE	5
Ecuación universal de pérdida de suelos rectificada. RUSLE	5
Soil and Water Assessment Tool. SWAT	3

Tabla 29 Frecuencia obtenida de los modelos analizados. Fuente: Autores 2016

4.3 CARACTERIZACIÓN TERRITORIAL

La caracterización territorial de la microcuenca Quebrada Negra, nos acerca a la realidad del territorio mediante la descripción de sus componentes biofísicos y socioeconómicos. También se considera como punto de partida en la determinación de la erosión hídrica en la microcuenca. De igual manera nos ilustra acerca de factores propios del territorio que pueden propiciar la erosión hídrica.

4.3.1 Diagnóstico biofísico:

El diagnóstico biofísico consiste en una descripción detallada de los diferentes componentes del medio natural que se consideran relevantes para el presente trabajo siendo estos: topográfico, de pendientes, climatológico, hídrico, edafológico y tipos de coberturas.

Este diagnóstico se alimenta de información secundaria proporcionada por fuentes oficiales tales como IGAC, IDEAM, CAR, Gobernación de Cundinamarca y Alcaldía municipal de Sasaima, y de información primaria obtenida mediante observaciones directas en visitas de campo. De igual forma se sustenta en información especializada y procesada en cartografía temática.

4.3.1.1 Área de Estudio: Microcuenca Quebrada Negra:

La microcuenca Quebrada Negra, localizada en el municipio de Sasaima Cundinamarca, vereda Piluma. Posee un área aproximada de 71, 7 hectáreas y un perímetro de 3,66 kilómetros. Su cauce principal tiene una longitud de 1,5 kilómetros. En la Tabla No.30. A continuación se aprecian algunas de las características morfológicas de la cuenca.

Parámetros Morfométricos Microcuenca Quebrada Negra		
Parámetro	Unidades	Valor
Características generales de la cuenca		
Área	Hectáreas (Ha)	71,6
Perímetro	Kilómetros (Km)	3,66
Longitud del cauce principal	Kilómetros (Km)	1,15
Altitud		
Cota Máxima	Msnm	1700
Cota Mínima	Msnm	1250
Altitud Media	Msnm	1467,72
Altitud más frecuente	Msnm	1423

Tabla 30 Parámetros morfométricos de la Microcuenca Quebrada Negra. Fuente: Autores 2016

4.3.1.2 Topografía:

La topografía del terreno se caracteriza por poseer alturas que van desde los 1250 msnm hasta los 1700 msnm, la parte más escarpada de la microcuenca se encuentra en la zona sur y la parte más llana hacia la zona norte; siendo que las alturas van en incremento conforme se

avanza hacia el sur de la microcuenca, siendo está zona donde se halla el nacimiento del cauce principal de la microcuenca (Ver anexo No. 2 Mapa Topográfico).

4.3.1.3 Pendiente:

La Microcuenca cuenta con gran parte de su área en posición de montaña al costado occidental de la cordillera oriental, siendo entonces el paisaje de montaña el que predomina. Sin embargo, a partir de procesos endógenos y exógenos que inciden en los modelados del paisaje, se evidencia en la vereda y parte del municipio procesos que modifican la geomorfología de la zona.

En la microcuenca las pendientes con rangos más altos iguales o que sobrepasan el valor de pendiente del 45% se ubican en la zona sur, justamente en esta área es donde se presentan las alturas con mayor valor y coincide con la parte de la cuenca alta. Puede catalogarse esta zona como la más escarpada de la microcuenca con afloramientos rocosos. Los valores de pendiente más bajos son representados por rangos de pendiente entre 0-5%, 5-12% y 12-18%, que se localizan en la parte media de la cuenca, donde predomina un relieve ondulado y ligeramente ondulado. En la parte baja de la microcuenca se encuentra en posición de ladera con un predominio de relieve plano con valores de pendiente entre 0-5% y 5-12%.

La mayor parte de la microcuenca presenta pendientes medias que se ubican en el rango de 12% a 18% (Ver anexo No.7 Mapa de Pendientes Complejas).

Rango de Pendiente	Simbolo	Area (Ha)	% Area
0-5		10.037	14.01
5-12		12.140	16.94
12-18		16.392	22.88
18-30		12.386	17.29
30-45		9.456	13.20
>45		11.243	15.69
Total		71.655	100

Tabla 31 Rangos de pendientes en la Microcuenca Quebrada Negra. Fuente: autores 2016

4.3.1.4 Hidrología:

El municipio de Sasaima se ubica en la subcuenca del Río Tobia que cuenta con una extensión de 940.82 km² equivalente al 22.21% de la cuenca hidrográfica de Río Negro que hace parte de la área hidrográfica del Río Magdalena.

La Quebrada Negra se ubica en el noroccidente de la vereda Piluma y a su vez desemboca en la cuenca alta del Río Gualivá. El cauce principal llamado Quebrada Negra, se ubica en el costado oriental de la microcuenca con una longitud de aproximadamente 1,15 kilómetros, la red hídrica dentro de la microcuenca está compuesta también por otros drenajes que alimentan el cauce principal como contribuyentes. El cauce principal tiene su nacimiento sobre los 1700 msnm y su desembocadura en el río Gualivá a los 1200 msnm. A continuación el perfil de longitud del cauce.



Gráfico 4 Perfil del cauce principal Quebrada Negra. Fuente: Autores 2016.

4.3.1.5 Climatología:

El clima en general en el municipio se caracteriza por poseer dos periodos húmedos y dos secos alternados a lo largo del año con un modelo de lluvias bimodal presentando valores máximos en los meses de abril y noviembre, y valores mínimos en los meses de junio a septiembre (Alcaldia Municipal de Sasaima Cundinamarca, 2012).

La precipitación la microcuenca Quebrada Negra presenta una precipitación media anual de 1250 mm, precipitación media máxima de 1300 mm y precipitación media mínima de 1200 mm, presentando valores promedio anuales entre el rango de 1000 a 2000 mm. Referente a la temperatura en la microcuenca se tiene una temperatura media anual de 20°C, temperatura media máxima de 22°C y temperatura media mínima de 18°C. (Ver anexo No.8 Mapa Climatológico).

4.3.1.6 Edafología:

El suelo es el conjunto de unidades naturales que ocupan las partes de la superficie terrestre que soportan las plantas, y cuyas propiedades se deben a los efectos combinados del clima y de la materia viva sobre la roca madre, en un período de tiempo y en un relieve determinado. (CAR, 2011).). Los suelos se caracterizaron según la información disponible de los estudios de suelos, Estudios general y semidetallado de suelos de las cuencas de Rio Negro y Rio Seco.

En la microcuenca Quebrada Negra, hacen presencia dos asociaciones de suelos, La Granja y San Pedro – Flechas, que se describen a continuación en la Tabla No. 32 se observa que en la mayor parte del territorio se presenta la Asociación Granja, con un área de 69 hectáreas de las 71 que componen la microcuenca. Siendo que la mayor parte de la microcuenca, posee una profundidad efectiva de 155 cm catalogada como profunda.

Asociación	Símbolo	Profundidad Efectiva	Área (Ha)	Área (%)
Granja (Ge)		155	69,821	97,44
San Pedro Flechas (SGcd)		70	1,833	2,56
		Total	71.655	100

Tabla 32 Tipos de asociaciones Microcuenca Quebrada Negra. Fuente: Autores 2016.

Para un mejor entendimiento de las características propias de cada asociación presente en la microcuenca, se tabulan los datos obtenidos de los estudios de suelos, Estudios general y semidetallado de suelos de las cuencas de Rio Negro y Rio Seco.

4.3.1.7 Tipos de cobertura:

De acuerdo con la clasificación climática de Holdridge, la micro-cuenca se encuentra ubicada en una zona de vida correspondiente a Bosque Húmedo Pre –montano (bh – PM). Por lo que en la zona se encontraron variedad de especies vegetales como: Yarumo (*Cecropia arachnoidea*), Guamo blanco (*Inga marginata*), Drago (*Croton Smithianus*), Naranjillo (*Trichanthera gigantea*), se destaca la Guadua (*G. angustifolia)* y otras especies comerciales como Mandarino (*Citrus reticulata*), Aguacate (*Persea. americana*), Cafeto (*Coffea. arábica*), entre otras.

Las coberturas encontradas en la microcuenca, se consignan a continuación en la Tabla No. 33. En dicha tabla se clasifican las coberturas del suelo según la nomenclatura de CORINE Land Cover para Colombia, donde además de coberturas vegetales encontramos, coberturas artificiales, superficies húmedas y superficies desprovistas de cobertura.

TIPO DE COBERTURA				ÁREA (Ha)
Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	
TERRITORIOS AGRÍCOLAS	CULTIVOS TRANSITORIOS	Otros Cultivos Transitorios	Flores	0.051
	CULTIVOS PERMANENTES HERBÁCEOS	Bore		0.026
		Caña		8.255
		Plátano		0.091
		Papaya		0.014
		Piña		0.051
	CULTIVOS PERMANENTES ARBUSTIVOS	Café		0.188
		Borojo		0.092
	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Aguacate		0.085
		Cítricos		1.845
		Frutales		0.069
		Guanábana		0.175
		Mango		0.336
	PASTOS	Pastos Enmalezados		20.37

	ÁREAS AGRÍCOLAS HETEREOGÉNEAS	Mosaico de Cultivos	Cacao_Citricos	0.526
			Caña_Cacao	1.23
			Borojo_Citricos_Guama	0.042
BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUES	Bosque Denso Bajo	Bosque Denso bajo de tierra firme	16.382
		Bosque Abierto	Bosque Abierto bajo de tierra firme	8.263
			Bosque Abierto Bajo de tierra firme (Bambú)	0.289
		Bosque Ripario		6.087
		Plantación forestal		0.207
ÁREAS ABIERTAS SIN O CON POCA VEGETACIÓN	TIERRAS DESNUDAS Y DEGRADADAS	Sin Cobertura		0.555
SUPERFICIES DE AGUA	AGUAS CONTINENTALES	Cuerpos de agua artificiales	Estanques para acuicultura continental	1.219
TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	ZONAS URBANIZADAS	Tejido Urbano Discontinuo		1.305

Tabla 33 Coberturas vegetales microcuenca Quebrada Negra. Fuente: Autores 2016

4.3.2 Diagnostico socioeconómico

4.3.2.1 Población

La microcuenca está conformada en un 54 % por familias campesinas y 46% por familias de origen urbano denominadas neo-rurales con vivienda de segunda residencia, 45% de los habitantes reside en la zona de manera permanente y el 55% restante lo hace de manera temporal (Gómez & Herrera, 2015). La migración hacia la micro-cuenca se da en un 35% por motivos escapistas "Personas que buscan posibilidad de aislarse, de sus rutinas diarias en la ciudad, en procura de descanso y revitalización física y psíquica" (Sastoque M. J., 2013) mientras que el 5% migró por otros motivos.

Según las anteriores cifras, que pueden ser mejor observadas en el gráfico No. 5 a continuación, se evidencia que el porcentaje de actores neo-rurales en el micro – territorio es significativo siendo que componen aproximadamente la mitad de la población que habita la microcuenca. Esto refleja el proceso de transición urbano – rural, que aqueja a la microcuenca en la actualidad.

La escolaridad principalmente es de nivel primario con un 35%, seguido de profesional y bachiller con 30% cada uno. El 65% de la población ha asistido a capacitaciones en actividades agropecuarias (Gómez & Herrera, 2015).

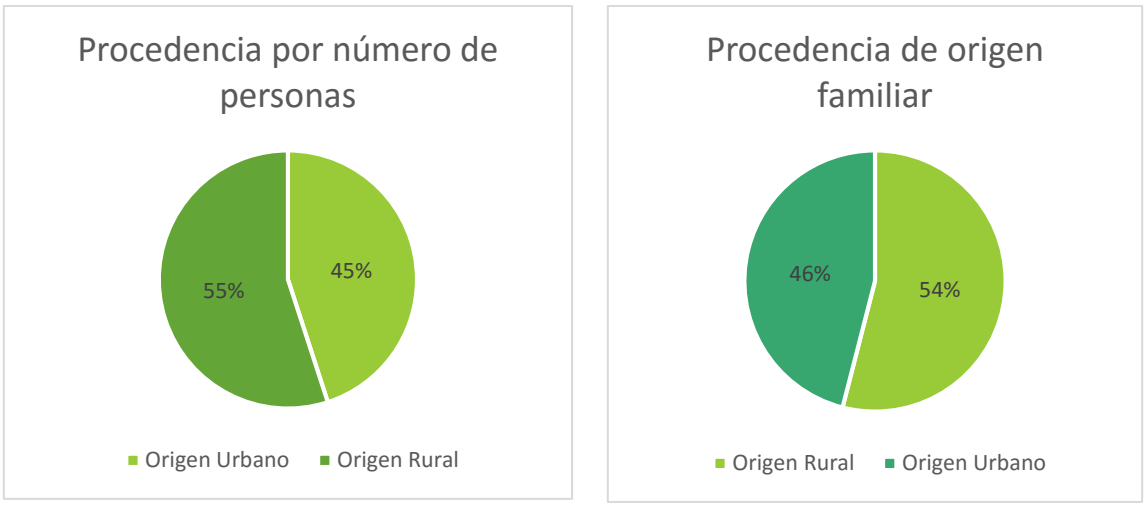


Gráfico 5 Caracterización de la población. Fuente: Autores 2016.

4.3.2.2 Redes e Infraestructura

De los 28 predios dentro de la microcuenca, 22 cuentan con vivienda. (Ver Anexo No.9 Mapa Predial). La red vial comprende una cercanía de 1 Km aproximadamente a la vía de orden Departamental llamada la Troncal del Café que permiten la comunicación al interior del municipio y exterior con el municipio de La Vega, este eje vial fue incluido dentro del Plan 2500 (Alcaldia Municipal de Sasaima Cundinamarca, 2012). La malla vial terciaria que recorre la parte interna de la microcuenca se encuentra conformada en su longitud en recebo afinado (Ver Anexo No. 5 Mapa Infraestructura).

La red de acueducto distribuye al 39% de los pobladores y pertenece a la empresa Acualimonal y Guane Sata Teresa la primera cuenta con sistema de distribución por medio de tubería de media pulgada con 2 tanques de almacenamiento y distribución de 2000 L; el segundo corresponde a un sistema básico por medio de manguera de polietileno de baja densidad con tanques de distribución de 1000 y 500 L, la comunidad manifiesta que el agua no presenta adecuadas condiciones organolépticas. La red de alcantarillado es inexistente a nivel veredal, sin embargo, los predios con vivienda cuentan con pozos sépticos para el manejo de agua residual doméstica. La red de energía eléctrica abastece al 85% de las viviendas, el servicio es prestado por la Empresa de Energía de Cundinamarca. El 85% de viviendas tiene suministro de gas propano por compra de cilindro. (Ver Anexo No. 5 Mapa Infraestructura).

4.3.2.3 Uso actual

En la microcuenca además de la cobertura vegetal natural hay lugar para otro tipo de coberturas como rastrojos y cultivos principalmente de caña, pastos y misceláneas de frutales, para el estudio de caso de considero una cobertura adicional denominada vivienda ocasional que corresponde a una integración de infraestructura, prados, jardines y algunas plantas frutales, con el fin integrar este tipo de cobertura en el análisis del grado de erosión hídrica

en la microcuenca. En el gráfico No 6 se presenta las diferentes coberturas presentes en la microcuenca.

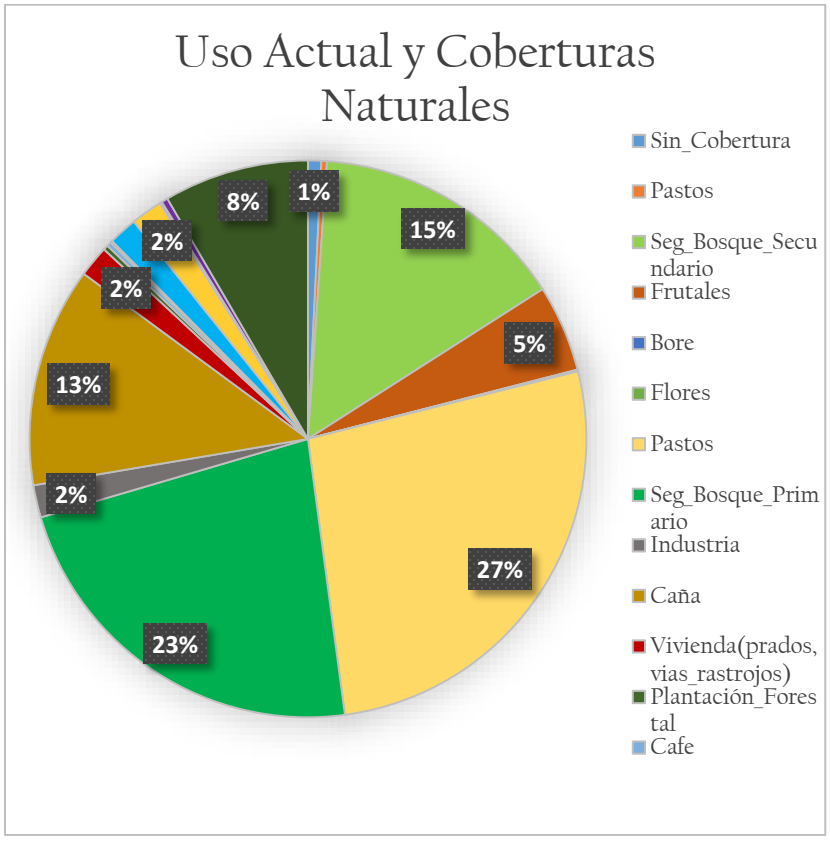


Gráfico 6 Coberturas presentes en la microcuenca Quebrada Negra. Fuente: Autores, 2016.

4.3.2.4 Actividades Económicas

Las actividades económicas que se desarrollan dentro de los predios de la microcuenca se encontraron en el sector primario los cultivos de frutales, caña y pastos para la ganadería principalmente que a través del tiempo se han convertido en cultivos de pancoger debido a la baja rentabilidad de su comercialización además de algunas actividades pecuarias con la misma tendencia (porcícola; avícola; piscícola y ganadería caprina, bovina y equina). Para el sector secundario se identificaron dos actividades de trasformación, elaboración de panela (ver Imagen No. 2) y productos derivados de la leche. El 55% de los sistemas fincas contrata mano de obra local, el 30% mano de obra es familiar y 15% mixta. El 40% de las familias cuentan con un ingreso extra predial, mientras que para el 25% sus ingresos dependen de la producción de sus fincas y el 35% ingresos mixtos, el empleo no agrícola ocupa la mayor proporción con un 50%. El 85% de la población cuenta con acceso a créditos El destino de la producción está dirigido principalmente al autoconsumo y de los habitantes que comercializan productos el 40% lo hacen en el mercado local y regional. Sin embargo la comunidad manifiesta que las condiciones del mercado no ofrecen las garantías para generar utilidades debido a los bajos precios de compra que ofrecen los intermediarios y los altos costos del transporte. (Gómez & Herrera, 2015).



Imagen 2 Trapiche de caña panelera. Fuente: Autores, 2016.

4.4 EVALUACIÓN DE LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DEL SUELO. USLE

En los siguientes apartes se describirán cada uno de los factores que componen la ecuación universal de perdida de suelos para dar como resultado final la zonificación de la microcuenca por grado de erosión y determinar las áreas más afectadas por erosión hídrica, todo ello con el fin de generar estrategias para la reducción y control del riesgo de erosión en la microcuenca Quebrada Negra.

4.4.1 Factor de erosividad R.

El índice de agresividad climática (R) se obtuvo mediante el desarrollo del índice de Fournier modificado a través de las ecuaciones (3) y (4), este índice se desarrolló para las estaciones meteorológicas de la Corporación Autónoma de Cundinamarca (CAR), Venecia, El Acomodo, San Isidro y Guaduas; ubicadas en los municipios de Facacativa, La Vega, Villeta y Guaduas respectivamente, siendo estas estaciones las más cercanas a la zona de estudio, en la siguiente tabla se resumen los valores del (IFM_1) para las estaciones anteriormente mencionadas.

Estación	Año	IFM
	2003	93.02
	2004	99.70
	2005	68.25
	2006	150.59
	2007	98.82

Estación	Año	IFM
Venecia	2008	151.50
	2009	104.91
	2010	125.50
	2011	141.81
	2012	90.59
	2013	107.38
	2014	61.83

Tabla 34 IMF para la estación Venecia para el periodo comprendido entre los años 2003-2014. Fuente: Autores

Estación	Año	IFM
El Acomodo	2003	231.32
	2004	241.74
	2005	293.67
	2006	133.53
	2007	184.95
	2008	289.26
	2009	190.07
	2010	271.72
	2011	423.18
	2012	281.30
	2013	260.76
	2014	235.91

Tabla 35 IMF para la estación El Acomodo para el periodo comprendido entre los años 2003-2014. Fuente: Autores.

Estación	Año	IFM
San Isidro	2003	97.58
	2004	151.04
	2005	200.54
	2006	360.72
	2007	266.44
	2008	136.84
	2009	259.94
	2010	427.80
	2011	341.02
	2012	158.75
	2013	204.10
	2014	129.56

Tabla 36 IMF para la estación San Isidro para el periodo comprendido entre los años 2003-2014. Fuente: Autores.

Estación	Año	IFM
	2003	150.55
	2004	191.26
	2005	148.19
	2006	166.3

Estación	Año	IFM
Guaduas	2007	303.43
	2008	200.84
	2009	139.71
	2010	200.79
	2011	263.24
	2012	176.49
	2013	152.46
	2014	98.06

Tabla 37 IMF para la estación Guaduas para el periodo comprendido entre los años 2003-2014. Fuente: Autores.

Como se evidencia en los datos tabulados anteriormente los valores para el índice de IMF de las estaciones Guaduas, San Isidro y el Acomodo dan señal del poder erosivo de las lluvias en la zona, ya que los valores para el IMF superan en su mayoría 160 mm, los valores más altos presentados para el índice fueron en la estación El Acomodo donde todos los años analizados superan el umbral más alto considerado para el índice. En la siguiente tabla se presenta el valor promedio del IMF obtenido mediante la ecuación (4) para cada estación durante el periodo comprendido entre los años 2003-2014.

Estación	IMF_j
Venecia	107.82
El Acomodo	253.12
San Isidro	227.86
Guaduas	182.61

Tabla 38 IMFj para las estaciones Venecia El Acomodo, San Isidro y Guaduas. Fuente: Autores.

Con la obtención del valor del índice de Fournier modificado para las estaciones, se procedió a interpolar los datos de las mismas en el software ArcGis 10.2 con el fin de obtener el valor promedio del IMF para la microcuenca Quebrada Negra para posteriormente obtener el valor de factor de agresividad climática (R) mediante la ecuación (5). En la siguiente Tabla No.39 se presenta el valor del IMF para la microcuenca, el valor correspondiente para el factor R

Zona	IMF	R(MJmm/Ha)	Clasificación
Venecia	107.82	4480.23	Baja
El Acomodo	253.12	10059.50	Muy Alta
San Isidro	227.86	9089.64	Alta
Guaduas	182.61	7352.12	Moderada
Microcuenca Quebrada Negra	195.13	7700.56	Alta

Tabla 39 Valores del IMF y el Factor R para la Microcuenca Quebrada Negra y las estaciones de análisis. Fuente: Autores.

4.4.2 Factor de erosividad del suelo K:

La erosividad del suelo puede catalogarse como un factor intrínseco del suelo que depende exclusivamente de sus características físicas y químicas. A continuación se presentan tabulados los valores para permeabilidad K, según la asociación correspondiente, de igual manera se observan las variables que intervienen en la Ecuación No. Factor de erosionabilidad.

Asociación	Horizontes	M	MO	b	c	K	K Promedio
Granja (Ge)	A11	3724	2.94	1	4	0.279	0.365
	A12	2910.4	5.56	4	5	0.303	
	B	2843.8	1.58	4	5	0.393	
	C	3404.8	0.3	4	5	0.485	
San Pedro – Flechas (SGcd)	A1	2052.2	2.13	4	5	0.308	0.289
	B	1002.7	0.4	4	6	0.263	
	C	1652.4	0.19	4	5	0.297	

Tabla 40 Valores de erosividad K cada asociación. Fuente: Autores 2016

4.4.3 Factor topográfico LS.

A partir del modelo digital de elevación se procedió a calcular el factor LS a través de las ecuaciones (8), (7), y (6) se calcular el factor L, en la herramienta raster calculator del software Arcgis 10.2 y posteriormente se realizó el cálculo del factor S en el software desarrollando las ecuaciones (9) y (10); para finalizar se multiplicaron los factores LS en la herramienta raster calculator, dando como resultado el factor LS. En la tabla No. 41 se presenta los valores para el factor LS.

Rango de Pendiente	Factor LS
0-5	0.2244
5-12	0.5071
12-18	0.8740
18-30	1.1850
30-45	1.9204
>45	3.58

Tabla 41 Valor del Factor LS para diferentes rangos de pendiente. Fuente: Autores 2016.

4.4.4 Factor de la cobertura vegetal C

Los valores del factor C de la cobertura vegetal que se tomaron para la microcuenca Quebrada Negra, se enlistan en la Tabla No. 42, abajo. Estos valores como se explicó en la metodología son adaptados para Colombia referente a unidades puras de cultivos, para los cultivos heterogéneos, como lo son consociaciones, asociaciones y complejos se obtiene el factor C a partir de los valores de unidades puras. Es importante resaltar que entre más cercano sea este factor a cero, más efectiva será la protección que la cobertura vegetal dará al suelo evitando la erosión del suelo por impacto de las gotas de lluvia.

Cultivo	Símbolo	Área (Ha)	Factor C
Aguacate	Ag	0.085	0.37500
Bambú	Ba	0.289	0.01360
Bore	Br	0.026	0.20000
Borojo	Bo	0.092	0.40000
Borojo, Cítricos, Guama	Bo / Ct / Gm	0.042	0.39500
Bosque Secundario	Bs	2.504	0.00100
Cacao, Cítricos	Ca / Ct	0.526	0.00500
Café	Cc	0.188	0.08900
Caña	Cp	8.255	0.23850
Caña, Cacao	Cp / Ca	1.230	0.30000
Cítricos	Ct	1.845	0.37500
Flores	Fl	0.051	0.04000
Bosque Ripario	Bn	6.087	0.00340
Frutales	Ft	0.069	0.37500
Guanábana	Gn	0.175	0.37500
Mango	Mg	0.336	1.00000
Papaya	Py	0.014	1.00000
Pastos	Pr	19.03	0.37500
Piña	Pi	0.051	0.37500
Plantación Forestal	Bp	0.207	0.08000
Plátano	Pl	0.091	0.33000
Rastrojos	Ra	1.340	0.00100
Seg Bosque Primario	Bn	16.382	0.25000
Seg Bosque Secundario	Bs	8.263	0.56000

Tabla 42 Valores de Factor C, para las diferentes coberturas del suelo Microcuenca Quebrada Negra. Fuente: Autores 2016

4.4.5 Factor de prácticas de manejo P

Para la evaluación de este factor se tomó una única condición de manejo ya que se evidenció que los residentes de la microcuenca no realizan ningún tipo de práctica con el fin de mitigar los efectos de la pérdida de suelo en la zona de estudio (microcuenca Quebrada Negra). Por lo tanto se optó por darle un valor al factor de prácticas de manejo (P) de 1.

4.4.6 Valoración del grado de erosión. Pérdida promedio de suelo anual A

Una vez se obtuvieron las diferentes capas temáticas correspondientes a cada uno de los factores para la evaluación de la USLE, se calcularon los valores mediante la ecuación (1), los valores correspondientes al grado de erosión se presentan en la tabla No.43.

Grado de Erosión	Erosión (TonHa/Año)	Area (Ha)	% Area
Ligera	<10	17.47	24.37
Baja	10-20	8.99	12.54
Moderada	21-50	14.31	19.97
Alta	51-100	9.96	13.90
Muy Alta	100-150	9.19	12.82
Severa	>150	11.75	16.40
Total		71.67	100

Tabla 43 Grado de erosión en la microcuenca Quebrada Negra. Fuente: Autores 2016.

En los resultados obtenidos (Ver anexo No. 10 Mapa de Erosión Actual) se puede observar la importancia de la pendiente y especialmente la cobertura vegetal, por ello se puede explicar en algunos casos la sobrestimación de la erosión presentando valores mayores a 300 TonHa/año, el aumento es significativo en la pérdida de suelo a medida que se incrementa la pendiente o el suelo se encuentra desprotegido.

De igual forma se presentan los grados de erosión actual en la microcuenca de manera cualitativa, siendo que para cada predio se consignan las coberturas presentes según la clasificación para Colombia de CORINE Land Cover. Ver a continuación Tabla No.44.

GRADOS DE EROSIÓN POR PREDIO SEGÚN COBERTURAS									
PROPIETARIO	ÁREA (Ha)	TIPO DE COBERTURA			GRADO DE EROSIÓN	Factores USLE			
		NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3		Pendiente	L -S	K	C
RAÚL CASTRO	3.397249271	TERRITORIO AGRÍCOLA	PASTOS	Pastos Enmalezados	BAJA	5-12	0.874	0.36548513	0.08
	0.211104621	TERRITORIO AGRÍCOLA	ÁREAS AGRÍCOLAS HETEREOGÉNEAS	Mosaico de Cultivos (Cacao_ Cítricos)					0.239
	11.18286854	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Denso	LIGERA				0.003
	1.230107909	TERRITORIO AGRÍCOLA	ÁREAS AGRÍCOLAS HETEREOGÉNEAS	Mosaico de Cultivos (Caña_ Cacao)	BAJA				0.089
	4.357946276	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES HERBÁCEOS	Caña					0.005
	0.01032245	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Abierto Bajo	LIGERA				0.001
	0.00117329	TERRITORIO AGRÍCOLA	PASTOS	Pastos Enmalezados		12-18	1.185		0.08

GRADOS DE EROSIÓN POR PREDIO SEGÚN COBERTURAS									
PROPIETARIO	ÁREA (Ha)	TIPO DE COBERTURA			GRADO DE EROSIÓN	Factores USLE			
		NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3		Pendiente	L -S	K	C
	0.000360968	TERRITORIO AGRÍCOLA	ÁREAS AGRÍCOLAS HETEREOGÉNEAS	Mosaico de Cultivos (Caña_ Cacao)					0.089
	0.000610395	TERRITORIO AGRÍCOLA	ÁREAS AGRÍCOLAS HETEREOGÉNEAS	Mosaico de Cultivos (Cacao_ Cítricos)					0.239
JOSÉ BENITO CASTRO	2.47964101	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Denso		5-12	0.874	0.28998074	0.003
	0.125035683	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Abierto Bajo				0.36548513	0.001
	8.38854E-05	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES HERBÁCEOS	Caña					0.005
	0.000123742	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES HERBÁCEOS	Caña	BAJA	12-18	1.185		0.005
	0.000293154	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Abierto Bajo		18-30	1.920		0.001
EFRAIN CASTRO	3.197346292	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Denso	LIGERA	5-12	0.874	0.28998074	0.003
	0.595051809	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Abierto Bajo				0.36548513	0.001
	0.000317539	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Abierto Bajo	BAJA	18-30	1.920		0.001
CECILIA CASTRO	0.013485956	TERRITORIO AGRÍCOLA	PASTOS	Pastos Enmalezados	MODERADA	5-12	0.874	0.36548513	0.08
	1.734807308	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES HERBÁCEOS	Caña					0.005
	1.68001E-05	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Ripario	BAJA				0.0034
	0.332751696	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Abierto Bajo	LIGERA				0.001
	0.00063095	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES HERBÁCEOS	Caña	BAJA	12-18	1.185		0.005
	3.42246E-07	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES HERBÁCEOS	Caña	MODERADA	18-30	1.920		0.005
ORTENCIA CASTRO	0.747406742	TERRITORIO AGRÍCOLA	PASTOS	Pastos Enmalezados	ALTA	5-12	0.874	0.36548513	0.08
	0.003829164	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Cítricos					0.375
	2.082328949	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES HERBÁCEOS	Caña	MODERADA				0.005
	0.563555126	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Ripario	BAJA				0.0034
CLAUDIA MORA	0.439955565	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Ripario	LIGERA	5-12	0.874	0.36548513	0.0034

GRADOS DE EROSIÓN POR PREDIO SEGÚN COBERTURAS									
PROPIETARIO	ÁREA (Ha)	TIPO DE COBERTURA			GRADO DE EROSIÓN	Factores USLE			
		NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3		Pendiente	L -S	K	C
	0.92391513	TERRITORIO AGRÍCOLA	PASTOS	Pastos Enmalezados	ALTA				0.08
VICTOR CASTRO	0.626730106	TERRITORIO AGRÍCOLA	PASTOS	Pastos Enmalezados	ALTA	5-12	0.874	0.36548513	0.08
	0.756336525	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Cítricos	BAJA				0.375
	0.665721044	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Ripario	LIGERA				0.0034
	0.000188689	TERRITORIO AGRÍCOLA	PASTOS	Pastos Enmalezados	MODERADA	12-18	1.185		0.08
	3.50027E-05	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Cítricos	MODERADA				0.375
LUCILA CASTRO	0.911422341	TERRITORIO AGRÍCOLA	PASTOS	Pastos Enmalezados	BAJA	5-12	0.874	0.36548513	0.08
	0.280924414	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Ripario	LIGERA				0.0034
MIGUEL RONCANCIO	0.622138942	TERRITORIO AGRÍCOLA	PASTOS	Pastos Enmalezados	LIGERA	5-12	0.874	0.36548513	0.08
	0.314841382	TERRITORIO AGRÍCOLA	ÁREAS AGRÍCOLAS HETEREOGÉNEAS	Cacao_ Cítricos	MODERADA				0.239
	1.059264445	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Abierto Bajo	BAJA				0.001
	0.858355884	TERRITORIO AGRÍCOLA	PASTOS	Pastos Enmalezados	MODERADA				0.560
	0.546781215	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Ripario	LIGERA				0.0034
	0.06508288	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Abierto Bajo	LIGERA				0.001
	0.002482209	TERRITORIO AGRÍCOLA	PASTOS	Pastos Enmalezados	MODERADA	12-18	1.185		0.560
	0.000171811	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Abierto Bajo	BAJA				0.001
	0.000247108	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Abierto Bajo	BAJA	18-30	1.920		0.001
ELIAS CORREDOR	0.85085172	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Abierto Bajo	LIGERA	5-12	0.874	0.36548513	0.001
	0.544979383	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Abierto Bajo	LIGERA				0.001
	4.714216853	TERRITORIO AGRÍCOLA	PASTOS	Pastos Enmalezados	ALTA	18-30			0.08
HELENA PEÑUELA	1.557856886	TERRITORIO AGRÍCOLA	PASTOS	Pastos Enmalezados	MODERADA	5-12	0.874	0.36548513	0.08
	0.000436845	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Ripario	LIGERA				0.0034

GRADOS DE EROSIÓN POR PREDIO SEGÚN COBERTURAS									
PROPIETARIO	ÁREA (Ha)	TIPO DE COBERTURA			GRADO DE EROSIÓN	Factores USLE			
		NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3		Pendiente	L -S	K	C
	0.002984814	TERRITORIO AGRÍCOLA	PASTOS	Pastos Enmalezados	ALTA	12-18	1.185		0.08
	0.007073447	TERRITORIO AGRÍCOLA	PASTOS	Pastos Enmalezados	ALTA	18-30	1.920		0.08
GILBERTO ALZATE	0.076361942	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES HERBÁCEOS	Plátano	MODERADA	5-12	0.874	0.36548513	0.2500
	0.19814532	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Abierto Bajo (Bambú)	LIGERA				0.0136
	0.179556183	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Ripario					0.0034
	0.350144754	TERRITORIO AGRÍCOLA	PASTOS	Pastos Enmalezados	MODERADA				0.08
	0.229935573	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Mango					0.375
	0.47392755	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Abierto Bajo	LIGERA				0.001
	0.255471273	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Cítricos	ALTA				0.375
	0.093841344	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBUSTIVOS	Café	MODERADA				0.300
	0.000141017	TERRITORIO AGRÍCOLA	PASTOS	Pastos Enmalezados		12-18	1.185		0.08
	0.002303697	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Mango					0.375
	0.000334453	TERRITORIO AGRÍCOLA	PASTOS	Pastos Enmalezados	ALTA	18-30	1.920		0.08
	0.000520835	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Mango					0.375
	4.94946E-05	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Cítricos					0.375
GERMÁN RIVERA	4.264536443	TERRITORIO AGRÍCOLA	PASTOS	Pastos Enmalezados	MODERADA	5-12	0.874	0.36548513	0.08
	0.888388256	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Ripario	LIGERA				0.0034
	3.161008127	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Abierto Bajo					0.001
CARLOS BAUTISTA	0.636397783	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Ripario		5-12	0.874	0.36548513	0.0034
	1.03793718	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Abierto Bajo					0.001
	0.001041842	ÁREAS ABIERTAS, SIN O CON POCA VEGETACIÓN	TIERRAS DESNUDAS Y DEGRADADAS	Sin Cobertura	MUY ALTA				1
	0.320471027	TERRITORIO AGRÍCOLA	PASTOS	Pastos Enmalezados	MODERADA	5-12	0.874	0.36548513	0.560

GRADOS DE EROSIÓN POR PREDIO SEGÚN COBERTURAS									
PROPIETARIO	ÁREA (Ha)	TIPO DE COBERTURA			GRADO DE EROSIÓN	Factores USLE			
		NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3		Pendiente	L -S	K	C
PEDRO ALDANA	0.122045154	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Ripario	LIGERA				0.0034
	0.000960131	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Abierto Bajo					0.001
	0.000662344	TERRITORIO AGRÍCOLA	PASTOS	Pastos Enmalezados	ALTA	18-30	1.920		0.560
ALBA CAMARGO	0.024194791	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES HERBÁCEOS	Bore	MODERADA	5-12	0.874	0.36548513	0.200
	0.051092437	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS TRANSITORIOS	Otros cultivos transitorios (Flores)					0.040
	0.050657025	TERRITORIO AGRÍCOLA	PASTOS	Pastos Enmalezados					0.08
	0.032864618	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Mango					0.375
	0.05461528	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Guanábana					0.375
	0.050954541	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Piña					0.330
	0.038406086	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Cítricos					0.375
	0.063746797	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBUSTIVOS	Borojo					0.400
	0.069088293	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Abierto Bajo					0.001
	0.001554665	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES HERBÁCEOS	Bore	ALTA	12-18	1.185		0.200
	8.90653E-06	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Mango					0.375
	0.00024966	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Guanábana					0.375
	0.00013441	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBUSTIVOS	Borojo					0.400
	2.66705E-05	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES HERBÁCEOS	Piña					0.330
	7.13961E-05	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES HERBÁCEOS	Bore	MUY ALTA	18-30	1.920		0.200
	0.000234238	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES HERBÁCEOS	Piña					0.330
	0.000115855	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBUSTIVOS	Borojo					0.400
	3.45554E-05	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Guanábana					0.375

GRADOS DE EROSIÓN POR PREDIO SEGÚN COBERTURAS									
PROPIETARIO	ÁREA (Ha)	TIPO DE COBERTURA			GRADO DE EROSIÓN	Factores USLE			
		NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3		Pendiente	L -S	K	C
	4.19942E-05	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Mango					0.375
MARÍA ALDANA	0.120332832	TERRITORIO AGRÍCOLA	PASTOS	Pastos Enmalezados	MODERADA	5-12	0.874	0.36548513	0.560
	0.059726138	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Abierto Bajo (Bambú)					0.0136
	4.54801E-05	TERRITORIO AGRÍCOLA	PASTOS	Pastos Enmalezados	ALTA	30-45	1.185		0.560
	6.99887E-05	TERRITORIO AGRÍCOLA	PASTOS	Pastos Enmalezados	MUY ALTA	18-30	1.920		0.560
	0.000387946	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Denso Bambú					0.0136
MARTHA MONJE	0.070890735	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Ripario	BAJA	5-12	0.874	0.36548513	0.0034
	0.067775617	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Abierto Bajo					0.001
	0.017456134	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Mango	MODERADA				0.375
	0.017906851	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Frutales					0.375
	0.000331043	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Plantación Forestal					0.001
	0.028657091	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Aguacate					0.375
	7.04014E-05	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Mango	MUY ALTA	30-45	1.920		0.375
	7.40046E-05	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Frutales					0.375
	0.000151718	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Aguacate					0.375
ALICIA MORA	0.0689947	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Cítricos	MODERADA	5-12	0.874	0.36548513	0.375
	0.015377551	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Aguacate					0.375
	0.012658156	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Mango					0.375
	0.000742988	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Cítricos	ALTA	30-45	1.185		0.375
	0.000655293	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Aguacate					0.375
HERNAN PEREZ	0.01417881	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES HERBÁCEOS	Papaya	MODERADA	5-12	0.874	0.36548513	0.375

GRADOS DE EROSIÓN POR PREDIO SEGÚN COBERTURAS									
PROPIETARIO	ÁREA (Ha)	TIPO DE COBERTURA			GRADO DE EROSIÓN	Factores USLE			
		NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3		Pendiente	L -S	K	C
	0.006019199	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Mango					0.375
	0.016857955	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBUSTIVOS	Café	BAJA				0.300
	0.02067375	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Abierto Bajo	LIGERA				0.001
	0.015215404	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES HERBÁCEOS	Plátano	BAJA				0.2500
	2.33876E-06	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Cítricos	ALTA	12-18	1.185		0.375
	0.000413559	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Plantación Forestal					0.001
VICTOR MEDINA	0.025335922	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Cítricos	MODERADA	5-12	0.874	0.36548513	0.375
	0.008815885	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Frutales					0.375
	0.010311829	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Mango					0.375
	0.019616073	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Aguacate					0.375
	2.55704E-05	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Frutales	ALTA	18-30	1.920		0.375
CARLOS HURTADO	0.084907749	TERRITORIO AGRÍCOLA	PASTOS	Pastos Enmalezados	MODERADA	18-30	0.874	0.36548513	0.08
	0.381196426	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Cítricos					0.375
	0.01476555	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Guanábana					0.375
	0.19466069	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Plantación Forestal	BAJA	5-12			0.001
	0.319401622	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Ripario					0.0034
	0.457051373	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Abierto Bajo					0.001
	0.022412764	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Mango	MODERADA	18-30			0.375
	0.083883867	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Guanábana					0.375
	0.02144424	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Aguacate					0.375
	0.078259794	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBUSTIVOS	Café					0.3

GRADOS DE EROSIÓN POR PREDIO SEGÚN COBERTURAS									
PROPIETARIO	ÁREA (Ha)	TIPO DE COBERTURA			GRADO DE EROSIÓN	Factores USLE			
		NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3		Pendiente	L -S	K	C
	2.49192E-05	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Plantación Forestal	BAJA	12-18	1.185		0.001
	0.000226875	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Cítricos	MODERADA				0.375
	9.99283E-05	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Plantacion Forestal	BAJA	18-30	1.920		0.001
JAIR LESMES	0.028349119	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBUSTIVOS	Borojo	MODERADA	5-12	0.874	0.36548513	0.400
	0.034597646	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Frutales					0.375
	0.087394423	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Abierto Bajo	LIGERA				0.001
	0.000219687	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBUSTIVOS	Borojo	MODERADA	12-18	1.185		0.400
	0.000299328	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Frutales					0.375
JAIRO CAMPOS	0.042577819	TERRITORIO AGRÍCOLA	ÁREAS AGRÍCOLAS HETEREOGÉNEAS	Mosaico de Cultivos (Borojo_Citricos_guama)	LIGERA	5-12	0.874	0.36548513	0.395
	5.23523E-07	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBUSTIVOS	Borojo	MODERADA				0.400
	0.218316245	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Cítricos					0.375
	0.034948651	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Guanábana					0.375
	0.132410147	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Ripario	LIGERA				0.0034
	0.324560614	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Abierto Bajo					0.001
	0.000462091	TERRITORIO AGRÍCOLA	ÁREAS AGRÍCOLAS HETEREOGÉNEAS	Mosaico de Cultivos (Borojo_Citricos_guama)	BAJA	12-18	1.185		0.395
	5.65846E-05	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Cítricos	ALTA	>45			0.375
	0.000835522	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Guanábana					0.375
	3.05214E-05	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Guanábana	MUY ALTA	18-30	1.920		0.375
	2.74458E-05	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Abierto Bajo	BAJA				0.001
YOLANDA ZARATE	0.075525293	TERRITORIO AGRÍCOLA	PASTOS	Pastos Enmalezados	MUY ALTA		0.874	0.36548513	0.08
	0.001552102	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Abierto Bajo	LIGERA	5-12			0.001

GRADOS DE EROSIÓN POR PREDIO SEGÚN COBERTURAS									
PROPIETARIO	ÁREA (Ha)	TIPO DE COBERTURA			GRADO DE EROSIÓN	Factores USLE			
		NIVEL 1	NIVEL 2	NIVEL 3		Pendiente	L -S	K	C
LUIS FELIPE FANDIÑO	0.079821099	ÁREAS ABIERTAS, SIN O CON POCA VEGETACIÓN	TIERRAS DESNUDAS Y DEGRADADAS	Sin Cobertura	SEVERA	5-12	0.874	0.36548513	1
	0.603652184	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Ripario	LIGERA				0.0034
	1.077196737	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Abierto Bajo					0.001
	0.20861301	ÁREAS ABIERTAS, SIN O CON POCA VEGETACIÓN	TIERRAS DESNUDAS Y DEGRADADAS	Sin Cobertura	SEVERA	12-18	1.185		1
	0.000459476	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Abierto Bajo	BAJA				0.001
	0.266260158	ÁREAS ABIERTAS, SIN O CON POCA VEGETACIÓN	TIERRAS DESNUDAS Y DEGRADADAS	Sin Cobertura	SEVERA	18-30	1.920		1
BERNET WARNER	0.158618279	TERRITORIO AGRÍCOLA	PASTOS	Pastos Enmalezados	ALTA	30-45	0.874	0.36548513	0.08
	0.142485857	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Ripario	LIGERA	5-12			0.0034
	0.363723646	BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	BOSQUE	Bosque Abierto Bajo					0.001
	0.003141812	TERRITORIO AGRÍCOLA	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Cítricos	ALTA	30-45			0.375

Tabla 44. Grados de erosión por predio según sus coberturas presentes. Fuente: Autores 2016

Las pérdidas de suelo por erosión en la microcuenca Quebrada Negra van de ligeras a moderadas, mostrando una tendencia de crecimiento a medida que aumenta la pendiente en la microcuenca y por la falta de cobertura en algunas zonas de la microcuenca. En la tabla No. 44 se presentan las pérdidas de suelo medias y totales para cada tipo de cobertura y bajo diferentes grados de pendiente.

	Pendiente baja	Pendiente Media	Pendiente Alta	TOTAL	MEDIA
Aguacate	5,35	10,86	---	**16,21**	**8,10**
Bambú	2	0,1	---	**2,01**	**1,00**
Bore	---	5,79	---	**5,79**	**5,79**
Borojo	---	9,83	27,84	**37,68**	**18,84**
Borojo, Cítricos, Guama	---	11,44	21,34	**32,78**	**16,39**
Bosque Secundario	0,01	0,02	0,06	**0,10**	**0,03**
Caña	0,17	0,12	0,32	**0,62**	**0,20**
Caña, Cacao	1,27	2,18	---	**3,45**	**1,73**
Cacao, Cítricos	---	6,56	---	**6,56**	**6,56**
Café	3,08	9	30,22	**42,79**	**14,26**
Cítricos	5,02	11,01	24	**39,80**	**13,26**
Flores	4,35	10,31	---	**14,67**	**7,33**
Guanábana	5	10, 86	24,64	**40,85**	**13,61**
Mango	4,854	10,31	26,83	**42,00**	**14,00**
Pastos	1,04	2,23	5,31	**8,60**	**2,86**
Piña	---	11,00	17,83	**28,83**	**14,41**
Plátano	2,57	6,69	17,40	**26,67**	**8,89**
Rastrojos	7	15,73	36,79	**59,63**	**19,87**
Seg Bosque Primario	0,03	0,09	0,35	**0,48**	**0,16**
Sin cobertura	13,13	27,51	77,39	**118,04**	**39,34**
TOTAL	**55,62**	**163,73**	**313,10**	**532,467**	**177,48**
MEDIA	**3,27**	**7,44**	**19,56**	**30,28**	**10,09**

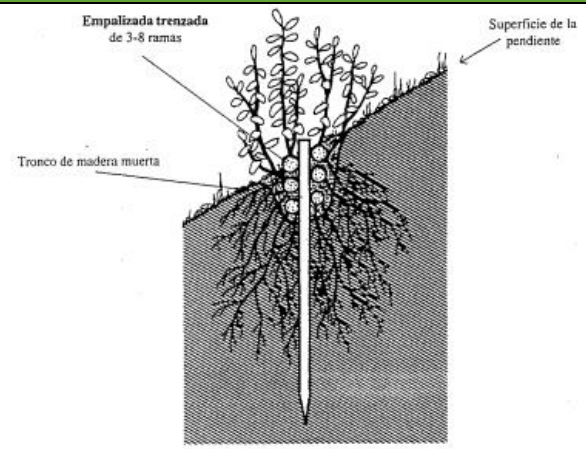
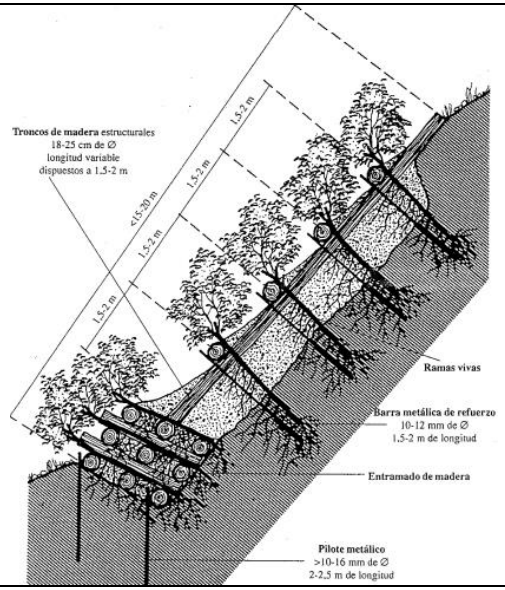
Tabla 45 Valores medios y totales de las pérdidas de suelo según la Cobertura (tonha^{-1}año^{-1}). Fuente: Autores 2016

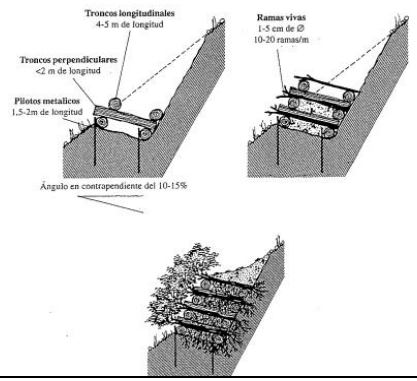
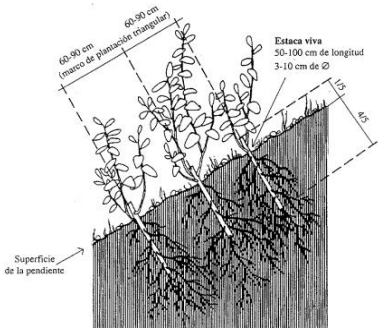
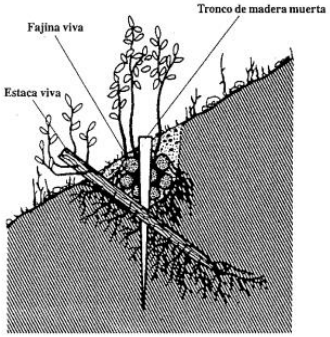
4.5 ESTRÁTEGIAS PARA LA REDUCCIÓN DE LOS EFECTOS ASOCIADOS A LA EROSIÓN HÍDRICA

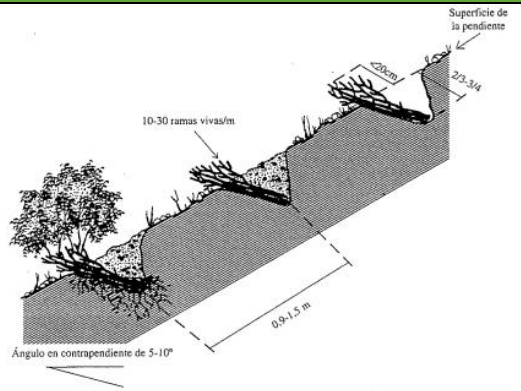
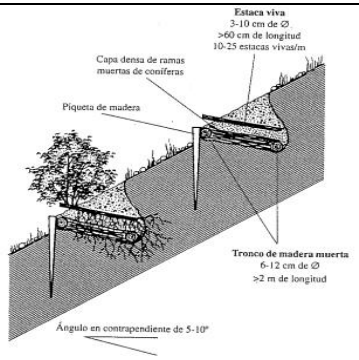
4.5.1 Soluciones de bioingeniería para la reducción de la erosión hídrica

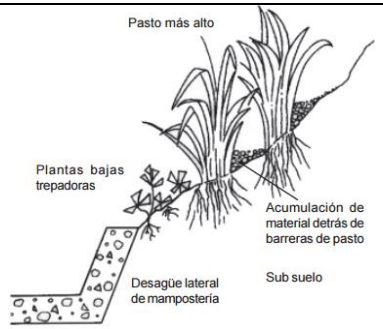
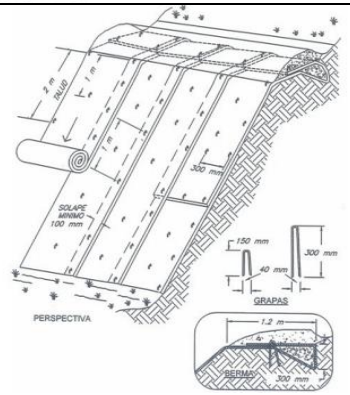
Para el tratamiento de la erosión hídrica dentro de la microcuenca Quebrada Negra, se plantean una serie de técnicas como medidas de intervención en el territorio con el propósito de reducir la erosión hídrica en zonas ya erosionadas y prevenir la erosión en áreas donde aún no se presentan procesos erosivos.

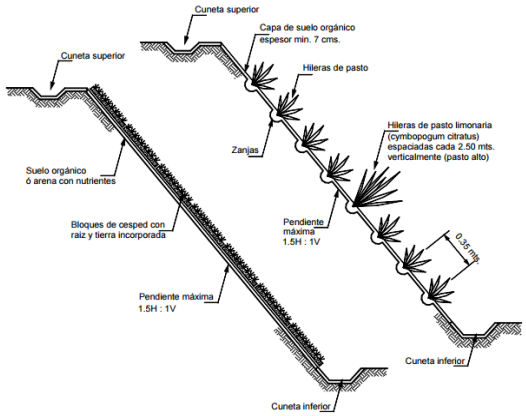
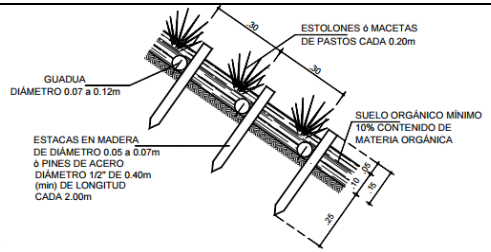
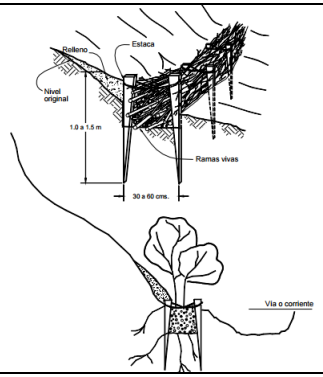
Como se explicó anteriormente en los elementos metodológicos del cuarto objetivo específico del presente trabajo, para visualizar de una manera general las diferentes técnicas de intervención se realizó la Tabla No. 46 que se muestra abajo como sigue.

NOMBRE	ILUSTRACIÓN	TIPO DE TÉCNICA	DESCRIPCIÓN	APLICACIONES
EMPALIZADA TRENZADA		ESTABILIZACIÓN	Implantación de ramas vivas cortadas, trenzadas entre sí y sujetas a troncos de madera muerta, estacas vivas o también barras de acero en pequeñas zanjas excavadas en el talud. Se coloca de forma lineal siguiendo el contorno del talud. Puede combinarse con plantas.	Reducción de la longitud vertical de la pendiente, transformándola en una serie de pendientes cortas separadas por líneas empalizadas Reforzamiento del suelo cuando se desarrollan las raíces, impidiendo su desplazamiento. Estabilización del terreno y establecimiento de la cobertura vegetal, reteniendo elementos sueltos del talud Generación de un microclima favorable que ayuda a la germinación de las semillas y a la regeneración natural Usada cuando es necesaria una estabilización superficial inmediata, por su costo más elevado.
EMPARRILLADO VIVO		ESTABILIZACIÓN	Estructura a modo de reja, construida con troncos verticales apoyados en su parte inferior en un tronco o un entramado resistente, a modo de contrafuerte y troncos horizontales clavados o atornillados unos con otros. Esta estructura está sujeta con barras metálicas al suelo y se disponen encima ramas vivas cortadas o plantas enraizadas.	En taludes de tierra que presentan grandes cárcavas En taludes empinados y resbaladizos qu requiere ser estabilizado En pendientes de 45° - 60° En zonas en las cuales se dispone de una gran profundidad del suelo

NOMBRE	ILUSTRACIÓN	TIPO DE TÉCNICA	DESCRIPCIÓN	APLICACIONES
ENTRAMADO DE MADERA		ESTABILIZACIÓN	Estructura a modo de cajones, construida a base de troncos y ramas vivas entrelazadas. La estructura se rellena con tierra y con capas de ramas vivas cortadas.	Estabilización de bases para taludes empinados y resbaladizos En zonas en las cuales se dispone de una gran profundidad del suelo En zonas donde hay poco espacio se requiere una estructura de contención vertical revegetalizada y sólida
ESTACA VIVA		ESTABILIZACIÓN	Plantación de estacas en el suelo, con el fin de que éstas se enraícen y se desarrollen en una planta completa. Apropiada para reparar pequeñas depresiones.	En situaciones no complicadas, cuando se dispone de tiempo para su ejecución y cuando se precisa un método económico Uso para sujetar lo materiales de recubrimiento utilizados para el control de la erosión superficial. Estabilización de áreas intermedias entre otras técnicas de estabilización de taludes.
FAJINA VIVA		ESTABILIZACIÓN	Estructuras cilíndricas, hechas con manojos de ramas vivas cortadas de plantas leñosas, con longitud mayor de 1m. Implantadas en terrazas superficiales	Estabilización de taludes de 30° - 35° Protección contra deslizamientos superficiales Reducción inmediata de la erosión superficial Reducción de una pendiente larga en una serie de pendientes cortas Creación de un microclima apto para el desarrollo y el establecimiento de plantas Drenaje de pendientes excesivamente húmedas

NOMBRE	ILUSTRACIÓN	TIPO DE TÉCNICA	DESCRIPCIÓN	APLICACIONES
LECHO DE RAMAJE		ESTABILIZACIÓN	Implantación de ramas vivas y/o plantas enraizadas en terrenos en pendiente, de forma perpendicular al contorno del talud	Reducción de la longitud vertical de la pendiente, transformándola en una serie de pendientes cortas separadas. Reforzamiento del suelo con ramas no enraizadas Reforzamiento del suelo cuando se desarrollan las raíces, impidiendo su deslizamiento Estabilización del terreno y establecimiento de la cobertura vegetal Retención de elemento sueltos del talud Infiltración en lugares secos Drenaje en lugares excesivamente húmedos Generación de un microclima favorable que ayuda a la germinación de las semillas y a la regeneración natural Reducción y mitigación de la infiltración adversa, actuando como drenaje horizontal Reparación de cárcavas.
PELDAÑO DE LEÑA		ESTABILIZACIÓN	Implantación de estacas vivas en pequeñas terrazas excavadas en el talud, previamente se han colocado troncos de madera muerta y un lecho de ramas muertas de coníferas. El material vivo se orienta en forma más o menos perpendicular al contorno del talud.	Reducción de la longitud vertical de la misma transformándola en una serie de pendientes Reforzamiento del suelo con ramas muertas de coníferas, a modo de armadura Reforzamiento del suelo cuando se desarrollan raíces, impidiendo su desplazamiento Estabilización del terreno y establecimiento de la cobertura vegetal Infiltración en lugares secos

NOMBRE	ILUSTRACIÓN	TIPO DE TÉCNICA	DESCRIPCIÓN	APLICACIONES
				Generación de un microclima favorable que ayuda a la germinación de las semillas y a la regeneración natural
BARRERA DE PASTO PARA ATRAPAR SEDIMENTACIÓN		RECUBRIMIENTO	Las barreras de pasto para atrapar la sedimentación constituyen un método eficaz para impedir que el material que baja por el talud llegue a un drenaje o a un cauce.	Captura del material que baja por el talud Apoya al detener en la base de talud el material erosionado suelto Refuerza el suelo encima del drenaje Protege el talud encima del drenaje y la base del talud
MALLAS Y MANTAS ORGÁNICAS		RECUBRIMIENTO	Mallas y mantas hechas de materiales orgánicos habitualmente de yute y coco, pueden degradarse en el suelo en periodos de 1 y 2 años	Protección de la superficie del talud a la erosión Retención de capas superficiales del terreno Favorecimiento del enraizamiento y desarrollo de la vegetación Utilización de taludes con mayor pendiente, mayores a 45° y con problemas erosivos fuertes Aporte de materia orgánica en su descomposición
CESPEDONES		RECUBRIMIENTO	Trata del corte y colocación de capas de pasto de gran tamaño, que se utilizan conjuntamente con sus raíces y el suelo.	Cubrimiento de taludes previamente conformados

NOMBRE	ILUSTRACIÓN	TIPO DE TÉCNICA	DESCRIPCIÓN	APLICACIONES
				Recubrimiento vegetal para el suelo Estabilización y amarre del suelo
SIEMBRA UTILIZANDO GUADUA		RECUBRIMIENTO	Consiste en hileras horizontales de guadua en zanjas hasta la mitad de su diámetro y sostenidos por estacas. Para rellenar los espacios entre las hileras de bambú se coloca suelo con nutrientes y se siembran las semillas, estolones o plántulas de vegetación.	Estabilización del terreno y establecimiento de la cobertura vegetal Evitar la erosión hasta el establecimiento de la vegetación En taludes de más de 7 m de altura, construir bermas intermedias
CAJONES DE RAMAS		ESTABILIZACIÓN	Construcción de barreras en forma de cajón longitudinal utilizando ramas las cuales se sostienen lateralmente con estacas enterradas.	Estabilización del terreno y establecimiento de la cobertura vegetal Excavaciones muy pequeñas

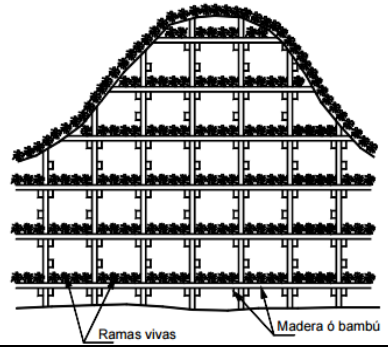
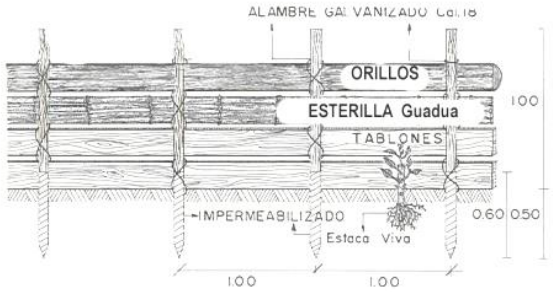
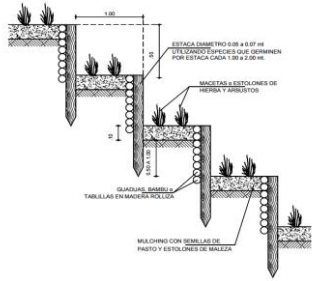
NOMBRE	ILUSTRACIÓN	TIPO DE TÉCNICA	DESCRIPCIÓN	APLICACIONES
CUBIERTAS VIVAS		ESTABILIZACIÓN	Consisten en un arreglo de troncos de madera formando cuadrados o rectángulos sobre la superficie del talud. El espacio entre los troncos de madera se rellena con ramas y suelo. Generalmente se colocan dos capas de arreglos de troncos el uno encima del otro, formando unos cajones de aproximadamente 50 centímetros de profundidad.	Recomendado para ser utilizado en taludes de alta pendiente donde otros sistemas difícilmente pueden sostenerse Uso de madera rolliza o guadua El sistema debe diseñarse para ser autoportante y poder soportar su propio peso.
TRINCHOS CON VEGETACIÓN		ESTABILIZACIÓN	Estacas vivas profundas hincadas las cuales sostienen un sistema vertical de contención construido con madera, ramas de árboles o bambú o malla. Arriba del sistema de contención se coloca un filtro de geotextil o biomanto, se rellena con suelo y se siembra la barrera de vegetación.	En taludes de más de 45°, done no es posible colocar barreras sencillas de vegetación Estabilización del terreno y establecimiento de la cobertura vegetal
TALUDES EN ESCALERA		RECUBRIMIENTO	Talud conformado por escalones consecutivos a manera de escalera recubiertos de especies vegetales.	Impide la aceleración de la escorrentía Aumento de la infiltración en el talud Mantiene la humedad facilitando el crecimiento de la vegetación Recoge los sedimentos de erosión por golpe de la lluvia

Tabla 46 Soluciones de bioingeniería para la reducción de la erosión hídrica. Fuente: Adaptado de Obras de bioingeniería. Técnicas de estabilización de taludes por los autores 2016

4.5.2 Clave Sistemática: Técnicas de reducción de la erosión

Esta tabla se organizó según los tipos de coberturas vegetales presentes en la microcuenca Quebrada Negra, y como segundo atributo de clasificación se tomó el grado de erosión en el que se encuentra el área con dicha cobertura, un factor decisivo para designar la técnica aplicable a la zona es el grado de pendiente que exhibe el suelo, pues la efectividad de la técnica depende de las condiciones de pendiente para las cuales ha sido concebida o diseñada.

En la Tabla No. 46 abajo se presentan las diferentes técnicas de bioingeniería de suelos consideradas como aplicables para cada una de las áreas según sus grados de erosión.

TIPO DE COBERTURA				GRADO DE EROSION	PENDIENTE	TECNICA APLICABLE
Nivel 1	**Nivel 2**	**Nivel 3**	**Nivel 4**			
BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	**BOSQUES**	Bosque Denso Bajo	Bosque Denso bajo de tierra firme	LIGERA	0-5	BARRERA DE PASTO PARA ATRAPAR SEDIMENTACIÓN
		Bosque Abierto	Bosque Abierto bajo de tierra firme			BARRERA DE PASTO PARA ATRAPAR SEDIMENTACIÓN
			Bosque Abierto Bajo de tierra firme (Bambú)			ESTACAS VIVAS
TERRITORIOS AGRÍCOLAS	**ÁREAS AGRÍCOLAS HETEREOGÉNEAS**	Mosaico de Cultivos	Borojo_ Cítricos _Guama			EMPALIZADA TRENZADA
TERRITORIOS AGRÍCOLAS	**ÁREAS AGRÍCOLAS HETEREOGÉNEAS**	Mosaico de Cultivos	Borojo_ Cítricos_ Guama	BAJA	12-18	CAJONES DE RAMAS
BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	**BOSQUES**	Bosque Abierto	Bosque Abierto bajo de tierra firme			PELDAÑO DE LEÑA
					18-30	LECHO DE RAMAJE
TERRITORIOS AGRÍCOLAS		Café			5-12	SIEMBRA UTILIZANDO GUADUA

TIPO DE COBERTURA				GRADO DE EROSION	PENDIENTE	TECNICA APLICABLE
Nivel 1	**Nivel 2**	**Nivel 3**	**Nivel 4**			
	CULTIVOS PERMANENTES ARBUSTIVOS	Caña				SIEMBRA POR MATEADO O CESPEDÓN
					12-18	FAJINAS VIVAS
	ÁREAS AGRÍCOLAS HETEREOGÉNEAS	Mosaico de Cultivos	Caña_ Cacao		5-12	CAJONES DE RAMAS
	ÁREAS AGRÍCOLAS HETEREOGÉNEAS	Cítricos				CAJONES DE RAMAS
	PASTOS	Pastos Enmalezados				ESTACAS VIVAS
BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES	**BOSQUES**	Plantación forestal				LECHOS DE RAMAJE
					12-18	PELDAÑO DE LEÑA
					18-30	CUBIERTAS VIVAS
TERRITORIOS AGRÍCOLAS	**CULTIVOS PERMANENTES HERBÁCEOS**	Plátano				EMPALIZADA TRENZADA
TERRITORIOS AGRÍCOLAS	**CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS**	Aguacate		MODERADA	5-12	ESTACAS VIVAS - SIEMBRA POR MATEADO O CESPEDÓN
	CULTIVOS PERMANENTES HERBÁCEOS	Bore				EMPALIZADA TRENZADA
	CULTIVOS PERMANENTES ARBUSTIVOS	Borojo				ESTACAS VIVAS
		Borojo			12-18	CAJONES DE RAMAS
	ÁREAS AGRÍCOLAS HETEREOGÉNEAS	Mosaico de Cultivos	Cacao_ Cítricos		5-12	CAJONES DE RAMAS

TIPO DE COBERTURA				GRADO DE EROSION	PENDIENTE	TECNICA APLICABLE
Nivel 1	**Nivel 2**	**Nivel 3**	**Nivel 4**			
	CULTIVOS PERMANENTES ARBUSTIVOS	Café			12-18	PELDAÑO DE LEÑA
	CULTIVOS PERMANENTES HERBÁCEOS	Caña			18-30	SIEMBRA UTILIZANDO GUADUA
	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Cítricos				FAJINAS VIVAS
		Mango				FAJINAS VIVAS
	CULTIVOS PERMANENTES HERBÁCEOS	Papaya				FAJINAS VIVAS
	PASTOS	Pastos Enmalezados			12-18	LECHOS DE RAMAJE
					18-30	SIEMBRA UTILIZANDO GUADUA
	CULTIVOS PERMANENTES HERBÁCEOS	Plátano			12-18	SIEMBRA UTILIZANDO GUADUA
	PASTOS	Pastos Enmalezados (Rastrojos)				EMPALIZADA TRENZADA
TERRITORIOS AGRÍCOLAS	**CULTIVOS PERMANENTES HERBÁCEOS**	Bore		ALTA	12-18	EMPALIZADA TRENZADA
	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Cítricos			30-45	TALUDES EN ESCALERA
					>45	TRINCHOS CON VEGETACIÓN
	PASTOS				18-30	LECHO DE RAMAJE

TIPO DE COBERTURA				GRADO DE EROSION	PENDIENTE	TECNICA APLICABLE
Nivel 1	**Nivel 2**	**Nivel 3**	**Nivel 4**			
		Pastos Enmalezados			30-45	TRINCHOS CON VEGETACIÓN
		Pastos Enmalezados (Rastrojos)			18-30	ENTRAMADO DE MADERA
					30-45	EMPARRILLADO VIVO
TERRITORIOS AGRÍCOLAS	**CULTIVOS PERMANENTES HERBÁCEOS**	Bore		MUY ALTA	18-30	ESTACAS VIVAS
	CULTIVOS PERMANENTES ARBÓREOS	Guanábana			18-30	CAJONES DE RAMAS
		Mango			30-45	EMPARRILLADO VIVO
	PASTOS	Pastos Enmalezados			18-30	FAJINAS VIVAS
		Pastos Enmalezados (Rastrojos)			18-30	FAJINAS VIVAS
ÁREAS ABIERTAS SIN O CON POCA VEGETACIÓN	**TIERRAS DESNUDAS Y DEGRADADAS**	Sin Cobertura			5-12	SIEMBRA POR MATEADO O CESPEDÓN
SUPERFICIES DE AGUA	**AGUAS CONTINENTALES**	Cuerpos de agua artificiales	Estanques para acuicultura continental	SEVERA	5-12	REMOCIÓN DE LAGOS
					18-30	REMOCIÓN DE LAGOS
ÁREAS ABIERTAS SIN O CON POCA VEGETACIÓN	**TIERRAS DESNUDAS Y DEGRADADAS**	Sin Cobertura			5-12	BARRERA DE PASTO PARA ATRAPAR SEDIMENTACIÓN
					12-18	SIEMBRA POR MATEDO O CESPEDÓN
					18-30	FAJINAS VIVAS

Tabla 47 Clave sistemática para medidas de reducción de la erosión hídrica. Fuente: Autores 2016.

5 ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 SELECCIÓN DE MODELO ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN

Seleccionar el modelo con el cual se estimaron los grados de erosión que manifiesta la microcuenca Quebrada Negra, fue la primera instancia para el desarrollo del presente trabajo, de gran relevancia ya que del modelo elegido dependen una serie de aspectos incidentes en el avance del mismo, tales como los recursos que se destinarán, los tiempos, la información necesaria y la proximidad de los resultados obtenidos a la realidad del territorio objeto de estudio.

Referente a la selección de los criterios bajo los cuales se eligió el modelo a emplear, la revisión bibliográfica de 34 documentos referentes al estudio de la erosión, arrojó una serie de criterios muy utilizados en el estudio de la erosión, al ser evaluados mediante una matriz de ausencia presencia, se obtuvo como se presenta en la Tabla No. 24 que criterios como: Nivel de estudio local y Escala cartográfica local no se exhiben a menudo en los estudios consultados, es explicable ya que la mayoría de estudios sobre la erosión se realizan a escalas pequeñas y medias, es decir a niveles nacionales, departamentales, o regionales, muy contrario al enfoque micro-regional que posee el presente trabajo; a pesar de este resultado tales criterios fueron usados para la selección del modelo de estimación de la erosión.

Según los resultados obtenidos para la selección de los criterios bajo los cuales se eligió el modelo de estimación de la erosión hídrica, encontramos en la Tabla No. 27 que fueron ocho los criterios con mayor peso, dichos criterios están asociados a la disponibilidad de información, el nivel de estudio, la complejidad de uso, y los productos del modelamiento. Esto ya que la calificación de dichos criterios debe responder a las necesidades del estudio donde es relevante que el modelo pueda ser ejecutado en escasez de información, a escalas locales, con facilidad de ejecución y que brinde productos que permitan una zonificación de la microcuenca.

La definición de criterios de selección se realizó mediante la aplicación de matrices de ausencia- presencia y matrices de ponderación, que son usadas más frecuentemente en otros ámbitos. Es de resaltar que mediante estos métodos heurísticos se logra realizar una adecuada selección del modelo de estimación de la erosión a emplear, pues referente a los estudios consultados sobre erosión en la compilación bibliográfica (Ver Tabla 23) no se aprecia que se dedique una primera fase del documento a la escogencia del modelo más apropiado para los menesteres del estudio que se pretenda.

El modelo elegido para el cálculo de la erosión hídrica, en la microcuenca Quebrada Negra fue “La Ecuación universal de Pérdida del Suelo” por sus siglas en inglés USLE, (Ver Tabla No. 28) modelo empírico de uso generalizado. El modelo se eligió dentro de tres modelos de estimación de la erosión: RUSLE, MUSLE y SWAT; pues el modelo USLE se consideró como el más apropiado para las necesidades del presente trabajo, debido a que comparativamente con los demás modelos evaluados podía adaptarse mejor a la escasez de información, como se mencionó anteriormente se trata de un modelo de

base empírica, los modelos de este tipo se caracterizan por requerir menos información que modelos del tipo conceptual y de base física. Observamos entonces que las limitaciones existentes representan un factor importante en la elección del modelo más apropiado para el estudio

Debido a que la ecuación universal de pérdida de suelo, posee una forma multiplicativa, no requiere de software especializado para su desarrollo. Siendo una herramienta práctica y funcional para aproximarse al grado de erosión de la microcuenca de manera cualitativa como cuantitativa.

Las modificaciones de la ecuación universal de pérdida del suelo (USLE), conocidas como RUSLE (Ecuación universal de pérdida de suelo revisada) y MUSLE (Ecuación universal de pérdida de suelo modificada), aunque poseen una forma multiplicativa como el modelo USLE, adicionan nuevas variables como es el caso de la ecuación universal de pérdida del suelo modificada, que introduce conceptos de caudales de escurrimiento y como resultado de su aplicación se obtienen los valores de aporte de sedimentos para una sección de cauce específica; lo que se traduce en mayor demanda de información que muchas veces no está disponible, además de que los valores obtenidos no concordarían con el objetivo del presente estudio. En cuanto a la ecuación universal de pérdida de suelo revisada, posee las mismas variables tenidas en cuenta en el modelo USLE, la diferencia se centra en que se deben calcular varios subíndices como forma de hallar las variables de la ecuación; esto nuevamente se traduce en mayor información requerida.

En relación con el modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool) este es un modelo de base física por lo que sus resultados son más aproximados a la realidad de los territorios pues se basan en ecuaciones que describen la trasferencia de masa, momento y energía (Alatorre & Beguería, 2009). Así mismo es su complejidad y la demanda de información

5.2 CARACTERIZACIÓN MICROCUENCA QUEBRADA NEGRA

Dentro de las condiciones estructurales de la microcuenca Quebrada Negra se pueden resaltar varios factores entre ellos, la mayor parte de la microcuenca presenta pendientes medias que se ubican en el rango de 12% a 18% y llegando a pendientes mayores a 45% lo cual hace a la microcuenca propicia a ser vulnerable al riesgo de erosión, lo cual se puede evidenciar a media que aumenta la pendiente. Las precipitaciones en la microcuenca tienen valores promedio cercanos a los 1300 mm anuales, esto determina que las precipitaciones tienden a tener un gran poder erosivo.

Este factor anteriormente hace que los suelos superficiales se saturen y el material que dio su origen, se deprenda fácilmente en forma de deslaves superficiales, favorecidos por el grado y longitud de la pendiente.

Las condiciones climáticas y edafológicas de la microcuenca Quebrada Negra, hacen de la misma apta para la producción de gran variedad de cultivos agrícolas y de aprovechamiento maderable pero a su vez estas condiciones hacen la microcuenca propensa a la erosión hídrica, por lo cual es muy importante el estudio del grado de

erosión en la microcuenca y la implementación de técnicas adecuadas con el fin de controlar y mitigar los efectos de la erosión.

Dentro de las diferentes coberturas de la microcuenca Quebrada Negra las más relevantes por su porcentaje de área ocupada son el bosque primario y el bosque secundario presentando porcentajes de 24,25 y 10,71% respectivamente, estas coberturas son relevantes en el presente estudio ya que son factores de mitigación de la erosión por agresividad climática.

La baja rentabilidad de las actividades agropecuarias generó que los habitantes campesinos fraccionaran sus predios en busca de recursos económicos, poniendo a la venta partes de sus predios, lo que favoreció la presencia de habitantes neo-rurales con fines principalmente escapistas para la construcción de vivienda de segunda residencia dando apertura a un estado de transición Urbano – Rural en la microcuenca (Espinosa, 2011). Generando un crecimiento sin planeación y por ende los nuevos habitantes de la microcuenca se establecen en el territorio sin ningún tipo de medida para mitigar los efectos propios de la zona de estudio y generando procesos erosivos y posteriormente de deslizamiento como se evidencian en las siguientes fotografías.



Imagen 3 Proceso de deslizamiento por construcción de vivienda inadecuadamente. Tomado por: González 2016.

5.3 ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA.

El índice de Fournier modificado en todas las estaciones supero el umbral de 100, en algunos casos llegando hasta 257 ver tabla No.38 lo que indica que las lluvias que se dan en la microcuenca son de un alto grado erosivo, cabe destacar que las estaciones tomadas

para el análisis del presente proyecto son estaciones a nivel regional y es de gran importancia el medir las precipitaciones a nivel microcuenca, con el fin de obtener valores de IFM y posteriormente del grado de erosividad de la lluvia más detallados. El índice de agresividad climática en la microcuenca tomo un valor de 7700 Mjmm/Ha, clasificado como de alto poder erosivo haciendo de la microcuenca vulnerable a procesos erosivos de origen hídrico sin las medidas adecuadas para la mitigación de la misma.

Por otro lado las asociaciones de suelos presentes en la microcuenca presentan un bajo índice de erodabilidad, presentando valores de 0.365485125 y 0.289980741 dadas en $tonha^{-1}año^{-1}$ por lo que son suelos que tienden a la erosión por estar ubicados en una zona de alta pendiente por lo cual el índice K es representativo para el cálculo de le erosión.

Como se puede observar en el mapa de pendientes y el factor LS en la microcuenca se presentan pendientes con valores superiores a 45% y a su vez donde se presentan las mayores alturas dentro de la microcuenca Quebrada Negra, el factor de topografía LS fue de gran importancia en el análisis del grado de erosión de la zona de estudio y como se puede observar en la Tabla No. 44 donde se observa que en diferentes coberturas y a medida que va aumentando la pendiente las pérdidas de suelo se ven aumentadas en algunos casos considerablemente por la falta de cobertura vegetal; llegando a valores de 280.55 $tonha^{-1}año^{-1}$, considerando esto como un grado de erosión moderada.

El factor de cobertura (C) y de pendiente (LS) son las variables más determinantes al momento de analizar las pérdidas de suelo en la microcuenca, a pesar de la susceptibilidad de los suelos a la erosión y el alto poder erosivo de las precipitaciones presentando un IFM de 195.13 y 7700 en el índice de agresividad climática R, la protección generada por las coberturas al suelo; disminuyen la energía con la que las gotas de lluvia golpean el suelo y generando un menor desprendimiento de partículas de suelo como se pudo corroborar también en el estudio previo realizado en la microcuenca por (Yuly Melo, Yehzaida Cordoba, 2016); comparando lo analizado con otros estudios que sirvieron de referente (Carlos Fransisco Olmos, 2003), donde se concluye que hay una relación directa en los factores mencionados anteriormente (Cobertura Vegetal y Pendiente) con las pérdidas de suelo. Como lo podemos observar en el Mapa Anexo No. 10 (Erosión Actual) y en contraposición en el Mapa Anexo No.8 (Pendientes), las zonas desprovistas de cobertura y con pendientes mayores a 12% evidencian pérdidas significativas de suelo.

El índice de erosión calculado con la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) a través de la ecuación No. 1 presenta valores menores a 10 $tonha^{-1}año^{-1}$ y en algunas áreas con suelos sin cobertura vegetal y alta pendiente llegan a presentar valores de 280.55$tonha^{-1}año^{-1}$ siendo de un grado severo de erosión, la ecuación universal de perdida de suelo presento un mayor grado de adaptabilidad a las condiciones de la microcuenca, aproximándose a lo observado en campo. El estudio realizado en la microcuenca arroja información de importancia como lo podemos analizar realizando un cruce de los Mapas Anexo No. 10 (Erosión Actual), No. 5 (Infraestructura) y No 7 (Predial); muestra que en la zona de mayor parcelamiento y concentración de viviendas hay perdidas de suelo mayores a 150 toneladas año, lo cual confirma lo afirmado en él (EOT Sasaima, 2012) y a su vez se corrobora en él (PLAN MUNICIPAL DE GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES), donde se afirma que las zonas más propensas al riesgo de erosión, son aquellas donde el territorio se ve fragmentado por deforestación y posterior construcción de viviendas. Cabe destacar que la parcelación del territorio y la posterior construcción

de infraestructura sin los adecuados sistemas de recolección y canalización de las aguas de escorrentía hacen que las mismas se concentren en un solo punto y en grandes cantidades causando la saturación de los suelos y posteriormente procesos erosivos de origen hídrico.

Para el cálculo de la Ecuación Universal de Perdida de Suelo fue de gran importancia la utilización del software ArcGis 10.2 permitiendo una mayor facilidad al momento de calcular los diferentes factores que hacen parte de la ecuación; calculados a través de la herramienta Raster calculator, facilitando la generación de cartografía temática y detallada de la zona de estudio, permitiendo un mejor análisis de la información obtenida y poder generar estrategias específicas para cada zona afectada.

Como soporte de en las siguientes fotografías tomadas por los autores se evidencian procesos erosivos acelerados por la parcelación del territorio y remoción de la cobertura vegetal del suelo, desencadenando posteriormente movimientos en masa afectando a los mismos habitantes de la microcuenca.



Imagen 4 Perdida de suelo por falta de cobertura vegetal en ciertas áreas. Tomado por: González 2016.

En la siguiente fotografía se evidencia un deslizamiento sobre una vía que atraviesa la microcuenca Quebrada Negra, proceso originado por la falta de cobertura vegetal.



Imagen 5 Deslave originado por procesos erosivos. Tomado por: González 2016.

La ronda de la Quebrada Negra se encuentra en gran parte afectada por la explotación minera que se realizó con explosivos, dejando huella a través del recorrido del cauce dejándolo en gran parte de la ronda desprotegido de vegetación provocando el desplome de taludes laterales y al arrastre de sedimentos conformados por lodo y piedra, arrastrados por el cauce aguas abajo.

5.4 FORMULACIÓN DE MEDIDAS DE INTERVENCIÓN

Referente a las medidas de intervención propuestas para la microcuenca Quebrada Negra, según los grados de erosión encontrados dentro de la misma con base en la modelación de la ecuación universal de pérdida del suelo, se puede afirmar que son específicas y aplicables a las condiciones puntuales presentadas en la Tabla No. pues los grados de erosión obtenidos se acercan en gran medida a la realidad de la microcuenca Quebrada Negra.

Sin embargo es importante analizar que en zonas intervenidas intensamente por el hombre, específicamente al margen del cauce principal de la microcuenca, las técnicas aplicables recomendadas según el grado de erosión no abordan de manera adecuada la situación que allí se desarrolla con relación a los procesos erosivos actuales, esto ya que las zonas de borde del cauce principal desde hace varias décadas fueron intervenidas con explosivos para actividades mineras incorrectas, de tal manera las pendientes naturales que allí se encontraban fueron modificadas, aumentando sus grados desgastando las laderas y provocando desprendimientos rocosos.

Por lo que se infiere que al no poseer la ecuación universal de pérdida del suelo un factor que sea capaz de representar dichas intervenciones antrópicas nocivas en el territorio se posee un diagnóstico alejado de la realidad para algunas áreas.

Según la Tabla No 45. se observa que coberturas tales como pastos las cuales poseen un alto grado de protección contra la erosión para los suelos; se encuentran en grados de erosión moderado, alto y muy alto; esto puede ser explicado por las actividades de ganadería extensiva que se desarrollan en la microcuenca, pues se evidencia que en varios predios se crían búfalos animales de gran peso que ejercen presiones sobre los suelos a lo que se suman las altas pendientes.

Además de las técnicas de bioingeniería recomendadas en la sección de resultados, es importante destacar que a toda la microcuenca independientemente del grado de erosión exhibido es fundamental la implementación de buenas prácticas agrícolas y de agricultura de conservación, de esta manera se evita la erosión en zonas con grados ligeros, y se atenúa la erosión en zonas con grados más altos. Además dichas prácticas crean una cultura de responsabilidad en torno al uso del recurso suelo entre los habitantes de la microcuenca.

Las técnicas de bioingeniería presentadas como acciones para la reducción de la erosión, representan una excelente alternativa en comparación con obras mecánicas tradicionales

con las que generalmente se abordan los problemas de erosión. Pues las obras de bioingeniería de suelos pueden desarrollarse con materiales naturales del mismo medio local, reduciendo costos de implementación, además que emplean como materiales para su construcción plantas o segmentos de plantas vivos que contribuyen a la revegetalización de las zonas erosionadas.

6 CONCLUSIONES

- Se concluye de la compilación bibliográfica realizada, que la mayor parte de los estudios realizados sobre la erosión hídrica se desarrolla a niveles de estudio regionales o superiores, de lo que puede inferirse que existe un gran vacío en la investigación de la erosión hídrica a nivel local o micro-regional; situación que incide en la planeación de los territorios y la prevención temprana de los procesos erosivos.
- El uso de matrices para la selectividad de criterios, es una herramienta práctica y versátil que puede incluirse en los estudios de erosión del suelo con el fin de tener un panorama de las limitaciones y aportes que diferentes modelos pueden tener respecto a los objetivos del estudio.
- El modelo de estimación de la erosión más adecuado y aplicable en el área de estudio está estrechamente relacionado con las limitaciones en cuanto a la disponibilidad de información que nutre el modelo.
- Mediante la aplicación del modelo USLE (ecuación universal de pérdida de suelo) en la microcuenca Quebrada Negra, podemos concluir que los factores de protección de la cobertura vegetal (Factor C) y prácticas de manejo (Factor P), pueden ser considerados como factores atenuantes de la erosión y que modificaciones en sus valores mediante buenas prácticas, pueden reducir las tasas de erosión; ya que el ser humano tiene directa incidencia en dichos factores, mediante acciones sencillas. Diferente sucede con relación a los demás factores presentes en el modelo a los que los seres humanos no pueden modificar pues son propios del medio natural tales como el índice de agresividad climática (Factor R), erosividad del suelo (Factor K) y el factor de la pendiente (Factor LS); este último podría ser modificado pero con altos costos.
- Se concluye con base al modelamiento de la ecuación universal de perdida de suelo (USLE) que para la microcuenca Quebrada Negra, debido a la ausencia de prácticas de manejo (factor P), se manifiesta una estrecha relación entre la cobertura vegetal y el factor de pendiente del suelo, siendo que para una misma cobertura vegetal a mayores pendientes, la erosión será mayor.
- La utilización del SIG ArcGis 10.2 permite una mayor facilidad en el cálculo de cada factor y el grado de perdida de suelo, permitiendo un mayor detalle en la generación de áreas susceptibles a la erosión y proponer usos del suelo más adecuados.
- Se encontró que al generar un inventario y diagnóstico integral y sistémico, que permita determinar las causas de los procesos erosivos en la microcuenca, se pueden proponer soluciones simples para la reducción de la erosión.
- Las técnicas de bioingeniería representan una excelente alternativa en comparación con obras biomecánicas que conllevan costos más elevados.

Recomendaciones

- Para el empleo de modelos de estimación de la erosión más complejos, es necesario contar con bases de datos extensas que satisfagan los requerimientos de

información del modelo para lo cual es imperioso que se realice levantamiento de información a nivel microrregional permitiendo una modelación más integral del fenómeno erosivo.

- Es importante desarrollar estudios detallados a nivel local o micro regional de los elementos ambientales, lo cual permita hacer una representación más detallada de las dinámicas ambientales y se evidencien las variabilidades por alteraciones físicogeográficas, hidroclimaticas, socioeconómicas entre otras, para lo cual se sugiere complementar el estudio con otras metodologías
- Se requiere trabajar en el desarrollo de un monitoreo continuo y completo de los elementos ambientales y el comportamiento hídrico con lo cual se pueda dar una representación más acertada de las dinámicas ambientales y permita un mayor detalle en la evaluación de las pérdidas de suelo y se pueda representar con mayor detalle la realidad de la microcuenca.
- Es recomendable la implementación de las técnicas de bioingeniería en las zonas de mayor riesgo por erosión, a través del apoyo de los diferentes entes municipales.
- Es muy importante implementar buenas prácticas agrícolas, de esta manera se puede reducir en gran medida las pérdidas de suelo.

7 REFERENCIAS

Alatorre, L., & Beguería, S. (2009). Los modelos de erosión: Una revisión. *Revista C & G*, 29-48.

Alcaldia Municipal de Sasaima Cundinamarca. (2012). *EOT Sasaima.* Sasaima, Cundinamarca: Alcaldía Municipal de Sasaima.

Allatorre, L. C., & Beguería, S. (2009). Los Modelos de Erosión una Revisión. *Revista C & G*, 29 - 48.

Amézquita, E. (1997). *HACIA LA SOSTENIBILIDAD DE LOS SUELOS EN LOS LLANOS ORIENTALES DE COLOMBIA.* Cali, Colombia: CIAT.

Amézquita, E. y Escobar, C.J. (1996). Degradación de tierras en regiones humedas. *Congreso Latinoamericano de Ciencia del Suelo*, 8.

Apaydin, H. G. (2006). Evaluation of indices for characterizing the distribution and concentration of precipitation: A case for the region of Southeastern Anatolia Project, Turkey. *Journal of Hydrology 328*, 726-732.

Arnoldus, H. (1977). Methodology used to determine the maximum potential average annual soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco. *FAO Soils Bulletin 34*, 39-51.

Boiser, S. (1994). *El díficil arte de hacer región.* Cuzco: Centro de Estudios Regionales Andinos “Bartolomé de las Casas”. Perú.

Carlos Fransisco Olmos, O. R. (2003). Modelo Predictivo de la Erosiòn Hìdrica con Base en experimentaciòn. *Colombia Forestal*, 65-76.

CENICAFÉ. (1975). *Manual de conservación de suelosde ladera.* Chinchiná. Caldas: CENICAFÉ.

Chevalier, M. (1981). Les phénomènes néo-ruraux. *Espace géographique*, 33 -47.

Chevesich, P. A. (2008). *Erosion Processes and Control.* Arizona: Outskirts Press Inc.

Colegio Oficial de ingenieros técnicos y peritos agrícolas de Cataluña. (1998). *OBRAS DE BIOINGENIERÍA. TECNICA DE ESTABILIZACIÓN DE TALUDES.* Barcelona: Colegio Oficial de ingenieros técnicos y peritos agrícolas de Cataluña.

CORTOLIMA. (2009). *Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica mayor del río Totare.* Departamento Tolima: Cortolima.

Desastres, C. M. (2012-2015). *PLAN MUNICIPAL DE GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES.* Sasaima, Cundinamarca.

Espinosa, H. (2011). *Caracterización de la funionalidad ambiental de los sistemas de producción rural de la vereda Arracachal municipio de San Antonio de Tequendama.* Bogotá D.C: Pontificia Universidad Javeriana.

FAO. (16 de Diciembre de 2014). *INTA. (Instituto Nacional de Tecnlogía Agropecuaria)*. Recuperado el 20 de Abril de 2015, de http://inta.gob.ar/noticias/la-fao-pone-en-marcha-el-ano-internacional-de-los-suelos-2015/

FAO. (22 de Abril de 2015). *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de http://www.fao.org/soils-portal/es/

Flórez, F. G. (2014). *Efectividad de la bioingeniería para el tratamiento de la erosión y los movimientos en masa en laderas.* Manizales: Universidad de Manizales.

Gabriels, D. A. (2003). Assessment of rain erosivity and precipitation concentration in Europe. *Gabriels, D. and W. Cornelis (eds.)*, 87 – 92.

Gallardo, S. J. (2001). *Modelo para evaluar la erosión hídrica en Colombia Utilizando Sistemas de Información Geográfica.* Bogotá D.C: Universidad Industrial de Santander.

GARCIA CHEVESICH, P. (2008). *procesos y control de la Erosión.* Arizona, Estados Unidos: Outskirts Press Inc.

Gardi, C. A. (2014). *Atlas de suelos de América Latina y el Caribe.* Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.

Gómez Sanchez, C. E. (2002). *Modelos para la evaluación, monitoreo y seguimiento del impacto ambiental de las actividades agrícolas intensivas sobre los suelos colombianos* . Bogotá: IDEAM.

Gómez, M. P., & Herrera, J. (2015). *SISTEMAS PRODUCTIVOS, NEO-RURALES Y ESTRATEGIAS DE USO DEL BOSQUE EN LA VEREDA PILUMA, MUNICIPIO DE SASAIMA CUNDINAMARCA.* Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

GTZ - KFW - CAR. Cooperación Colombo - Alemana. (2006). *Experiencias y resultados en control de erosión en el territorio CAR.* Bogotá - Colombia: Ladiprint Editorial Ltda.

GTZ - Secretaría del Medio Ambiente. Cooperación Colombo - Alemana. (1999). *Guía para la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza por movimientos en masa.* Villavicencio - Colombia: Proyecto Río Guatiquía (GTZ - Secretaría del Medio Ambiente).

GTZ - Secretaría del Medio Ambiente. Cooperación Colombo - Alemana. (1999). *Guía técnica para la zonificación de la susceptibilidad y la amenaza por movimientos en masa.* Villavicencio: Proyecto Río Guatiquia (GTZ - Secretaría del Medio Ambiente).

Honorato, R. (2001). Evaluación del modelo USLE en la estimación de la erosión en seis localidades entre la IV y IX Región de Chile. *Ciencia e Investigación Agraria*, 7 - 14.

IDEAM. (2012). *Propuesta del programa nacional de monitoreo y seguimiento de la degradación de suelos y tierras en Colombia: Diseño de esructura estrategias para su implementación.* Bogotá D.C.

IICA. (2000). *Jovenes y nueva ruralidad: Protagonistas actuales y potenciales del cambio. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. NuevaRuralidadSerie de Documentos Conceptuales. Hacia una nueva visión de lo rural.* Ciudad de Panamá. Panamá: N. Giarracca (Compiladora).

IICA. (2003). *El Enfoque Territorial del Desarrollo Rural.* San José, Costa Rica: Instituto Interamiericanos de Cooperación para la Agricultura.

Kirkby, M. J., & Morgan, R. (1984). *Erosión de Suelos.* México: EDITORIAL LIMUSA S.A.

McCOOL, D. G. (1989). Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions of ASAE*, 1571-1576.

Michiels, P. a. (1996). Rain variability indices for the assessment of rainfall erosivity in the Mediterranean region. *Rubio, J.L. and A. Calva (eds.).*, 49-70.

Ministerio de Obras Públicas y transportes. (1992). *Guía para la elaboración de estudios del medio físico.* España: Centro de publicaciones, Ministerio de obras públicas y transportes.

Mintegui, & López. (1990). *La ordenación agrohidrológica en la planificación.* Bilbao. España: Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. Recuperado el 17 de Abril de 2015, de http://www.foprideh.org/cms/librosvirtuales/1180647717.pdf

Navarro, S. H. (2008). *Manual de bioingeniería.* Managua: Universidad Nacional de Nicaragua.

Organización de naciones Unidas, ONU. (1987). *Nuestro futuro común.* Recuperado el 18 de Abril de 2015, de www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml

Pérez, G. (2001). *Modelo para evaluar la Erosión Hídrica en Colombia utilizando sistemas de información geográfica.* Bogotá: Universidad Central de Santander.

PRESIDENCIA DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA. (30 de Mayo de 2015). *Decreto 564 de 2006. artículo 6°*. Obtenido de http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=19163

Ramírez, O. (2006). *Evaluación del riesgo por erosión potencial de la zona cafetera central del departamento de Caldas.* Ibague: Facultad de Ingeniería Forestal. Universidad del Tolima.

Regoyos., M. D. (2003). Metodología para la evaluación de la erosión hídrica con modelos informáticos. Aplicación del modelo geowepp a dos pequeñas cuencas en Madrid. Madrid, España.

Rivera, P. y. (1991). Erosividad de las lluvias en la zona cafetera central colombiana (Caldas, Quindío y Risaralda). *Cenicafé*, 37-52.

Sastoque, M. (2014). Una tipologia de los nuevos habitantes del campo: aportes para el estudio del fenómeno neorrural a partir del caso de Manizalez. *Revista de Economía y Sociología Rural*.

Sastoque, M. J. (2013). Una tipología de los nuevos habitantes del campo: aportes para el estudio del fenómeno neorrural a partir del caso de Manizales, Colombia. *evista de Economia e Sociologia Rural*, 31-48.

Sepúlveda. (2001). *DESARROLLO SOSTENIBLE MICROREGIONAL: Métodos para la Planificación Local.* San José: C.R: IICA.

Sepulveda, S. (2002). *DESARROLLO SOSTENIBLE MICROREGIONAL: Métodos para la planificación local.* San José.

Sepúlveda, S. (2008). *Biograma: Metodología para estimar el nivel de desarrollo sostenible de territorios.* San José, Costa Rica: IICA.

Suaréz, D. J. (2001). *Control de Erosión en zonas tropicales.* Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

SUDAS (STATEWIDE URBAN DESIGN AND SPECIFICATIONS, USA). (2007). *The erosion and sedimentation process. In Iowa Statewide Urban Design Standards Manua.* Recuperado el 18 de Abril de 2015, de http://www.iowasudas.org/design.cfm

UNESCO. (2009). *Propuesta de un modelo de estimación e erosión hídrica para la región de Coquimbo, Chile.* Talca, Chile: UNESCO.

Victoria, V. O. (1999). *Hidráulica de aguas subterráneas.* Medellín: Universidad Nacional de Colombia. .

Wischmeier, & Smith. (1986). *PREDICTING RAINFALL EROSION LOSSES.* Beltsville, Maryland: U.S Departament of agriculture.

WISCHMEIER, W. H., y SM1TH, D. D. (1962). Soil1oss estimat10n as a tool in soil and water management. *Int. Assoc. Scient. Hydrol. Pub*, 148-159.

Wischmeier, W. y. (1965). *Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains.* Whasington D.C: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

Wischmeier, W. y. (1978). *Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains.* Whasington D.C: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

Wischmeier, W.H. y D.D Smith. (1978). *Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains.* Whasington D.C: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.

Yuly Melo, Yehzaida Cordoba. (2016). *FORMULACIÓN DE ADAPTACIONES METODOLÓGICAS PARA LA DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE.* Bogotà D.C.

Zuñiga, P. H. (2008). *Hagamos el ordenamiento territorial del sector rural de nuestro municipio.* Bogotá D.C: Universidad distrital Francisco José de Caldas.

Zuñiga, P. H. (2010). *Valoración apropiada de l permeabilidad del suelo, cualidad importante en la determinación de la erosionabilidad del territorio (Ensayo*

técnico). Bogotá D.C: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Facultad de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

8 ANEXOS