	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
	FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	10-04-2012	A
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	Dependencia	Aprobado	Pág.	
	SUBDIRECTOR ACADÉMICO		1(88)	

## RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	YENCY PAOLA BAYONA AMAYA ZAMIR GALVIS ROJAS		
FACULTAD	CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE		
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERIA AMBIENTAL		
DIRECTOR	LUIS AUGUSTO JÁCOME GOMEZ		
TÍTULO DE LA TESIS	EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DEL RIESGO DE EROSIÓN HÍDRICA EN LA MICROCUENCA ABASTECEDORA QUEBRADA LA ESPERANZA MUNICIPIO DE OCAÑA, NORTE DE SANTANDER		
<b>RESUMEN</b> (70 PALABRAS APROXIMADAMENTE)			
<p>EL TRABAJO SE DESARROLLÓ EN LA MICROCUENCA HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA LA ESPERANZA, LA CUAL ES LA ABASTECEDORA DEL ACUEDUCTO DEL CASCO URBANO DEL CORREGIMIENTO DE AGUAS CLARAS CORREGIMIENTO DE OCAÑA NORTE DE SANTANDER, EL OBJETIVO DE ESTE TRABAJO CONSISTÍA EN REALIZAR LA EVALUACIÓN Y EL ANÁLISIS DEL RIESGO DE EROSIÓN HÍDRICA EN LA MICROCUENCA, APLICANDO LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE LA PERDIDA SUELO CON EL APOYO DE SOFTWARE DE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA SIG.</p>			
<b>CARACTERÍSTICAS</b>			
PÁGINAS: 88	PLANOS: 0	ILUSTRACIONES: 47	CD-ROM: 1



EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DEL RIESGO DE EROSIÓN HÍDRICA EN LA  
MICROCUEENCA ABASTECEDORA QUEBRADA LA ESPERANZA MUNICIPIO DE  
OCAÑA, NORTE DE SANTANDER

AUTORES:

YENCY PAOLA BAYONA AMAYA

ZAMIR GALVIS ROJAS

Trabajo de grado presentado para optar el título de Ingeniero Ambiental

Director:

LUIS AUGUSTO JÁCOME GOMEZ

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE

INGENIERÍA AMBIENTAL

Ocaña, Colombia

Agosto de 2016

## **Agradecimientos**

Los autores dan los agradecimientos al docente LUIS AUGUSTO JÁCOME, por su guía y orientación en el desarrollo del trabajo de grado.

A todos los docentes de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, por brindar los conocimientos y formar profesionales que le sirvan a la sociedad en general.

## Índice

	Pág.
<b>Capítulo 1: Evaluación y Análisis del Riesgo de Erosión Hídrica en la Microcuenca Abastecedora Quebrada la Esperanza Municipio de Ocaña, Norte de Santander</b>	<b>1</b>
1.1 Planteamiento del problema.	1
1.2 Formulación del problema.	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 General.	2
1.3.2 Específicos.	3
1.4 Justificación.	3
1.5 Delimitaciones.	4
1.5.1 Conceptual.	4
1.5.2 Operativas.	4
1.5.3 Temporal.	5
1.5.4 Geográfica.	5
<b>Capítulo 2: Marco Referencial</b>	<b>6</b>
2.1 Marco Histórico	6
2.1.1 Antecedentes Históricos a Nivel Internacional.	6
2.1.2 Antecedentes históricos a nivel Nacional.	12
2.2 Marco contextual.	21
2.3 Marco conceptual	24
2.4 Marco Teórico	29
2.5 Marco Legal.	34
<b>Capítulo 3: Diseño Metodológico</b>	<b>36</b>
3.1 Tipo de Investigación.	36
3.2 Población.	36
3.3 Muestra.	37
3.4 Procedimiento Metodológico.	37
3.5 Técnicas de recolección de datos.	39
3.5.1. Información Primaria.	39
3.5.2 Información Secundaria.	39
<b>Capítulo 4: Presentación de resultados</b>	<b>41</b>
4.1 Mecanismos y factores erosión que se presentan en el área geográfica microcuenca quebrada la Esperanza.	41
4.2 Áreas potencialmente en riesgo erosión hídrica mediante la aplicación de la ecuación universal de pérdida de suelos revisada USLE – RUSLE.	52
4.3 Establecimiento de la forma en que se produce la erosión y la intensidad de esta por medio de la implementación de US SIG.	67

<b>Capítulo 5: Conclusiones</b>	<b>69</b>
<b>Capítulo 6: Recomendaciones</b>	<b>70</b>
<b>Referencias</b>	<b>71</b>
<b>Apéndice</b>	<b>73</b>

## Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Localización de la zona socioeconómica del Suconusco Chiapas	7
Figura 2. Erosión hídrica	9
Figura 3. Estimación de erosión hídrica y su relación con el uso del suelo	10
Figura 4. Descripción de los Alcances, beneficios, restricciones y limitaciones de la USLE	12
Figura 5. Clasificación de los componentes de la USLE	13
Figura 6. Unidades de paisaje de la cuenca hidrográfica.	13
Figura 7. Estimación de sedimentos en la cuenca hidrográfica del sisga.	14
Figura 8. Referencia del municipio de Choconta, Cundinamarca.	15
Figura 9. Recuento de la precipitación para la cuenca del río Sisga	15
Figura 10. Esquema de las estructuras de la cuenca del Sisga.	16
Figura 11. Clasificación de las unidades de suelo según su composición.	17
Figura 12. Distribución de los rangos de pendiente.	17
Figura. 13. Índice morfométrico	18
Figura 14. Mapa de unidades.	19
Figura 15. Protocolo de degradación de suelos y tierras por erosión	20
Figura 16. Mapa de la localización del municipio de Ocaña y el área de estudio	21
Figura 17. Temática de relieves y paisajes del municipio de Ocaña Norte de Santander	23
Figura 18. Factores que componen la ecuación USLE	29
Figura 19. Extrapolación espacial	31
Figura 20. Temática del factor K de susceptibilidad del suelo a la erosión determinado por la metodología FAO	32
Figura 21. Factor topográfico Ls, el cual involucra el efecto de la longitud y el grado de pendiente en la erosión	34
Figura 22. Factores que afectan el proceso erosivo	38
Figura 23. Proceso para delimitación de la microcuenca quebrada la esperanza	42
Figura 24. Polígono de la microcuenca quebrada la esperanza generado a partir de un modelo digital de elevación	43
Figura 25. Mapa del límite y localización Geográfica de la microcuenca quebrada el Carmen Fuente. Elaboración Propia 2016	43
Figura 26. Modelo Digital de Elevación de la Microcuenca Quebrada La Esperanza Fuente. Elaboración propia 2016	45
Figura 27. Litología presente en los suelos de la microcuenca quebrada la esperanza; fuente Elaboración propia 2016	46
Figura 28. Hidrografía de la microcuenca quebrada la esperanza, fuente; elaboración propia	50
Figura 29. Curva Hipsometrica calculada a partir de un DEM de 30mtrs de resolución para la microcuenca quebrada la Esperanza, Elaboración Propia	51
Figura 30. Registro Fotográfico de las visitas a la zona de la microcuenca quebrada la Esperanza	52

Figura 31. IP del modelo digital de elevación procesado en el software SIG mediante la herramienta FILL, Elaboración Propia	53
Figura 32. Raster de pendientes de la microcuenca quebrada la esperanza, elaboración, Propia	54
Figura 33. Uso de la calculadora raster en el álgebra de mapas, fuente, propia	55
Figura 34. Datos de precipitación entregados por el IDEAM con series de tiempo de 20 años	56
Figura 35. Datos de precipitación entregados por el IDEAM	57
Figura 36. Datos de precipitación entregados por el IDEAM	58
Figura 37. Datos de precipitación entregados por el IDEAM	58
Figura 38. Datos de precipitación entregados por el IDEAM	59
Figura 39. Mapa de Isoyetas de la microcuenca quebrada la esperanza	59
Figura 40. Análisis de la imagen Landsat para determinación de coberturas de la tierra, Fuente, Satélite Alos	60
Figura 41. Análisis de la imagen ALOS para determinación de coberturas de la tierra, Fuente satélite Alos	61
Figura 42. K-Means Mss.	61
Figura 43. K-Means TM	62
Figura 44. K-Means ETM+	62
Figura 45. Relación de coberturas del suelo en la microcuenca quebrada la Esperanza	63
Figura 46. Relación de las coberturas existentes en la microcuenca quebrada la esperanza, elaboración Propia	64
Figura 47. Mapa de la susceptibilidad de los suelos de la microcuenca quebrada la esperanza a la erosión hídrica.	65

## Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Relación de las corrientes que conforman la red hidrica de la microcuenca quebrada la esperanza	48
Tabla 2. Relación de las estaciones activas del Ideam usadas para el cálculo de la precipitación media mensual y media anual, elaboración. Propia	56
Tabla 3. Relación de los suelos de la microcuenca la Esperanza y s u susceptibilidad a erosión hídrica.	66



## Lista de apéndices

Pág.

Apéndice 1. Cartera de campo

74

## Resumen

El trabajo se desarrolló en la microcuenca hidrográfica de la quebrada la esperanza, la cual es la abastecedora del acueducto del casco urbano del corregimiento de Aguas Claras corregimiento de Ocaña Norte de Santander, el objetivo de este trabajo consistía en Realizar la Evaluación y el análisis del riesgo de erosión hídrica en la microcuenca, aplicando la ecuación universal de la pérdida suelo con el apoyo de software de sistemas de información geográfica SIG , el cual para este caso fue el programa ARCGIS 10.3 licencia académica de la universidad francisco de paula Santander Ocaña.

Cada uno de los factores que componen la ecuación universal de pérdida de suelo fueron llevados al SIG para crear archivos raster y después de esto, transpolar estos archivos y vectorizarlos. Los factores que se evaluaron en este trabajo fueron; el factor K, factor Ls, factor R, factor C.

El desarrollo de la ecuación en el software SIG, permitió determinar cuáles son las zonas susceptibles de la microcuenca quebrada la esperanza y cuál es el grado de susceptibilidad de estos a la erosión hídrica, para el desarrollo integro de este documento se abordaron temas como la morfometría de la microcuenca, características climáticas como precipitación y temperaturas, pendiente media, suelos y sus características por unidades taxonómicas.

El uso de los sistemas de información geográfica en esta investigación permito el cumplimiento de los tres objetivos específicos del proyecto, aplicando técnicas de teledetección

para el proceso del tratamiento de las imágenes landsat +ETM y SPOT , sin este tipo de herramientas habría sido básicamente imposible dar cumplimiento a este proyecto.

## Introducción

El suelo es un recurso natural no renovable de vital importancia para todas y cada una de las actividades del ser humano en cualquiera de los lugares donde este se encuentre, sin embargo las malas prácticas productivas las cuales depredan las coberturas de la tierra potencializando el grado erosivo de un lugar, es motivo de preocupación de organismos internacionales como la FAO.

Por lo anterior y debido a la importancia de la microcuenca quebrada la esperanza y a que de las actividades que se realicen en sus suelos depende también la disponibilidad y calidad de agua para el acueducto urbano del corregimiento de aguas claras, se presenta este trabajo de investigación el cual pretende dar a conocer, cuales es el potencial erosivo de la microcuenca, cual es la susceptibilidad de sus suelos a la erosión hidrica y cuáles son las características únicas de la microcuenca que favorecen la tasa de erosión.

Lo anterior aplicando la ecuación universal de perdida de suelo por medio de la implementación de un programa de sistemas de información geográfica, lo que permitió fortalecer el conocimiento técnico ambiental que se tiene de esta importante unidad de gestión ambiental.

# **Capítulo 1. Evaluación y Análisis del Riesgo de Erosión Hídrica en la Microcuenca Abastecedora Quebrada la Esperanza Municipio de Ocaña, Norte de Santander**

## **1.1 Planteamiento del problema.**

La microcuenca abastecedora quebrada la esperanza, la cual se encuentra ubicada en el corregimiento con el mismo nombre, cumple la función de abastecimiento del recurso agua para los habitantes de las veredas que se encuentran bajo su influencia y para aproximadamente 1000 habitantes que hacen parte del casco urbano del corregimiento de aguas claras (Asociación de Usuarios del Acueducto de Aguas Claras, 2016)

A pesar de su importancia la microcuenca presenta un alta grado de intervención de carácter antrópico, esto gracias a los procesos de agricultura y ganadería que se desarrollan en ella, estos procesos agropecuarios plantean una gran presión sobre los recursos suelos, agua, fauna y flora.

A nivel del recurso suelo las quemas y tala de la vegetación nativa van desnudando el suelo dejándolo expuesta la capa superficial de este a la acción erosiva del agua y del viento. La erosión es una pérdida gradual del material que constituye el suelo, al ir siendo arrastradas las partículas (disgregadas, arrancadas y transportadas), a medida que estas van quedando en la superficie. La denudación del suelo causado por las malas prácticas agropecuarias de la zona acelera la ocurrencia de estos procesos de erosión hídrica y eólica. (Erosión del suelo y fuentes

de sedimentación en la cuenca del río Esera (pirineo central), Análisis Espacial y Dinámica Temporal mediante técnicas de simulación y teledetección 2010, p 22)

Estos procesos erosivos constituyen un impacto negativo sobre el recurso suelo cuyo resultado es una degradación progresiva de este recurso los cuales se caracterizan por:

Procesos relativamente lentos

Procesos progresivos

Procesos irreversibles

Esta afectación al recurso suelo por erosión afecta también la calidad y cantidad de agua al generar sedimentación de las corrientes hídricas que tributan sus aguas a la corriente principal quebrada la esperanza antes denominada quebrada la vaca.

## **1.2 Formulación del problema.**

¿Cuáles son las áreas de la microcuenca quebrada la esperanza que son susceptibles a erosión de carácter hídrico, cual es manejo ambiental más acertado para estas áreas que presentan riesgo de erosión?

## **1.3 Objetivos**

**1.3.1 General.** Realizar la Evaluación y el análisis del riesgo de erosión hídrica en la microcuenca abastecedora Quebrada la Esperanza municipio de Ocaña, Norte de Santander.

**1.3.2 Específicos.** Determinar los mecanismos y factores de erosión que se presentan en el área geográfica microcuenca quebrada la esperanza.

Identificar las áreas potencialmente en riesgo de erosión hídrica mediante la aplicación de la ecuación universal de pérdida de suelos revisada USLE – RUSLE.

Establecer la forma en que se produce la erosión y la intensidad de esta por medio de la implementación de USLE en un software SIG.

#### **1.4 Justificación.**

El suelo es uno de los recursos naturales no renovable, el cual es el soporte de una gran cantidad de actividades productivas esenciales para el hombre y en este caso en especial para los habitantes de microcuenca, lo cual hace que exista un estrecho vínculo entre ambos.

Existen varios factores de la degradación de los suelos que pone en peligro la sostenibilidad de la relación antes mencionada entre estos factores cabe destacar el de la erosión el cual es a su vez uno de los problemas ambientales globales más importantes (Pimentel,D. et., 1995).

La erosión del suelo es un daño el cual tradicionalmente se ha visto asociado a la agricultura y la ganadería y es importante por sus efectos a largo plazo, estos efectos negativos afectan al recurso hídrico de la microcuenca desde el indicador de calidad y cantidad.

El arrastre de sedimentos resultado de los procesos erosivos en los suelos de las microcuenca lleva con ellos residuos de insumos agropecuarios de síntesis de laboratorio tales

como sales nitrogenadas y altas concentraciones de fosforo lo cual afecta la calidad de la oferta hídrica de la microcuenca quebrada la esperanza. (Estimación de la erosión potencial en la cuenca de la laguna bustillos, Chiguagua. 2006)

## **1.5 Delimitaciones.**

**1.5.1 Conceptual.** El proyecto está enmarcado en los conceptos de erosión, sedimentación, curva Hipsométrica, suelo, deforestación, ciclo del agua, precipitación, microcuenca hidrográfica, RUSLE, probabilidad del suelo, SIG , imágenes de satélite, producción agrícola , producción ganadera intensiva, áreas protegidas, características morfométricas, agrología, pendientes del terreno, coberturas de la tierra, usos de los suelos, calidad de aguas.

**1.5.2 Operativas.** En cuanto al desarrollo del trabajo este se desarrollara de la siguiente manera:

Se llevaran a cabo vivistas a las diferentes veredas que hacen parte del área de influencia de la microcuenca quebrada la esperanza, con el procesamiento de imágenes de alta resolución del software libre SAS PLANET 2015 , se localizaran áreas que puedan estar presentando procesos erosivos de diferente tipo asociados estos a la erosión hídrica, estas zonas o lugares se georefrenada con la ayuda de una antena receptora GPS y posteriormente procesados estos datos en un entorno de trabajo SIG para espacializar sobre un mapa temático a escala veredal.



El desarrollo de la ecuación revisada universal de pérdida de suelo se llevara a cabo en el SIG ArcGIS versión 10.3 licencia académica de la universidad FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA , en la cual serán creadas las diferentes capas (Layers) raster de cada uno de las variables de la ecuación USLE - RUSLE.

En la operatividad del proyecto se contara con las siguientes herramientas técnicas y tecnológicas:

Software Edrisí selva 17.0

Software Illwis

Antena receptora GPS marca Garmin

Software SAS planet 2015

Catálogo de estaciones meteorológico del IDEAM 2013

Software ArcGIS 10.3. Versión académica UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA facultad de Ciencias Agrarias y del Ambiente

GEOPORTALES: SIG OT, ANLA, MIN AMBIENTE

**1.5.3 Temporal.** El proyecto se desarrollara en un total de 4 meses contando a partir de la aprobación de la propuesta por parte del comité

**1.5.4 Geográfica.** El proyecto se desarrollara dentro de los límites geográficos oficiales del municipio de Ocaña en el departamento Norte de Santander.

## Capítulo 2. Marco Referencial

### 2.1 Marco Histórico

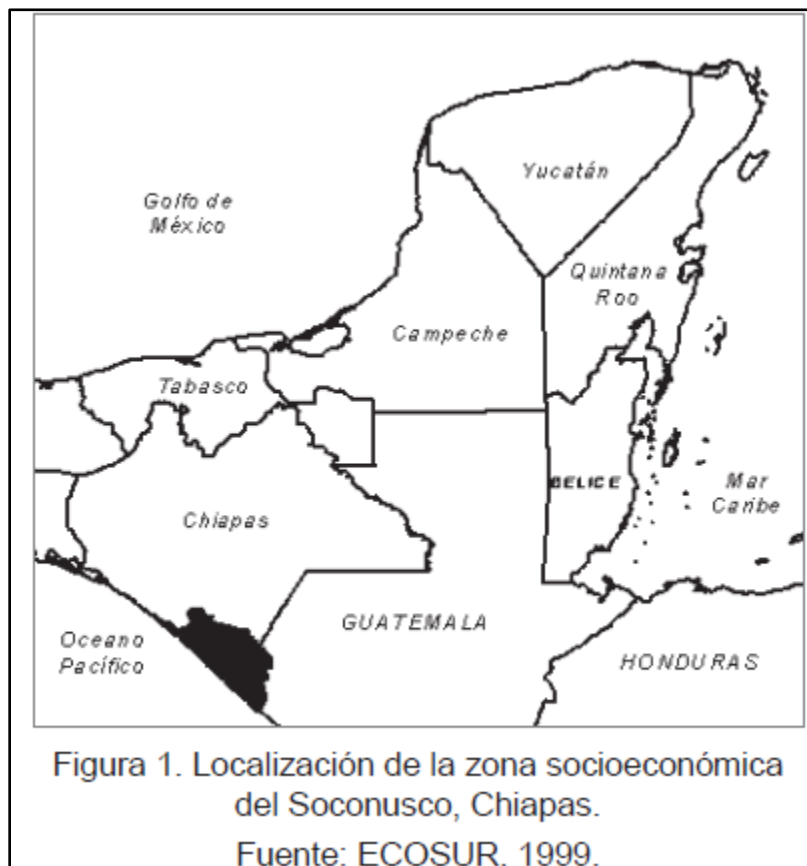
**2.1.1 Antecedentes Históricos a Nivel Internacional.** En el año 2004 en la república del Perú se publica el documento llamado “PLAN DE GESTION DE LA OFERTA DE AGUA EN LAS CUENCAS DEL AMBITO DEL PROYECTO TACNA” tomo 2,4 “Aspectos Ambientales en la Gestión del Agua, Erosión y Sedimentación de la cuenca” este documento contiene la evaluación preliminar y sedimentos de las cuencas que componen el área de influencia del proyecto Tacna , para cuya evaluación no se contó con información técnica suficiente que permitiera determinar el potencial de erosión hídrica de los suelos y el transporte de sedimentos, el trabajo presenta una evaluación de la información existente sobre erosión y transporte de sedimentos de las cuencas : caplina, sama, locumba.

El documentó inicia con una descripción del área de estudio en donde se incluyen sus localización, características geográficas más importantes una caracterización socioeconómica , luego sigue con una Descripción de los procesos erosivos y de erosiona en la zona de estudio para terminar con una serie de conclusiones y recomendaciones sobre el manejo de estas áreas erosionadas o con potencial erosivo.

En el año 2011 se publica el documento “ESTIAMCION DE EROSION HIUDRICA Y SU REALCION CON EL USO DEL SUELO EN LA CUENCA DEL RIO CHUACAN,CHIAPAS, MEXICO” este documento argumenta que la erosión hídrica es la más

importante causa de erosión de las tierras es responsable de la erosión de 440 millones de Ha de las 747 millones de Ha que sufren de erosión en ASIA, de 227 millones de Ha de las 497 que son afectadas por este fenómeno en África, de 123 millones de Ha de 243 millones de América del sur de 115 millones de Ha de 219 millones en Europa.

**Metodología del estudio.** Inicia con la localización y delimitación del área de estudio y una descripción general de la zona.



Para realizar la estimación la erosión hídrica del suelo se desarrolló la ecuación universal de pérdida de suelo USLE , pero indica que una de las principales problemáticas para el desarrollo de la ecuación es la inconsistencia de las unidades empleadas ya que el criterio original considera unidades inglesas, por lo que la consideración al sistema métrico no es para

nada trivial, el mismo autor propone como alternativa para resolver el problema en cuestión el determinar todos los factores en unidades inglesas y calcular la pérdida de suelo empleando la ecuación 1.

$$A = (224.2) R K S L C P$$

En México y en muchas otras regiones del mundo se cuenta con muy poca información sobre precipitación por esta razón se han desarrollado modelos empíricos alternativos para la estimación de R en función de otros parámetros de la lluvia, por ejemplo la de Lal (1976), y el de Ferro et al (1991), para estimar el factor R se estima la metodología propuesta por (Cortes) 1194, cuya ecuación ( $r^2 = 0.96$ ) es :

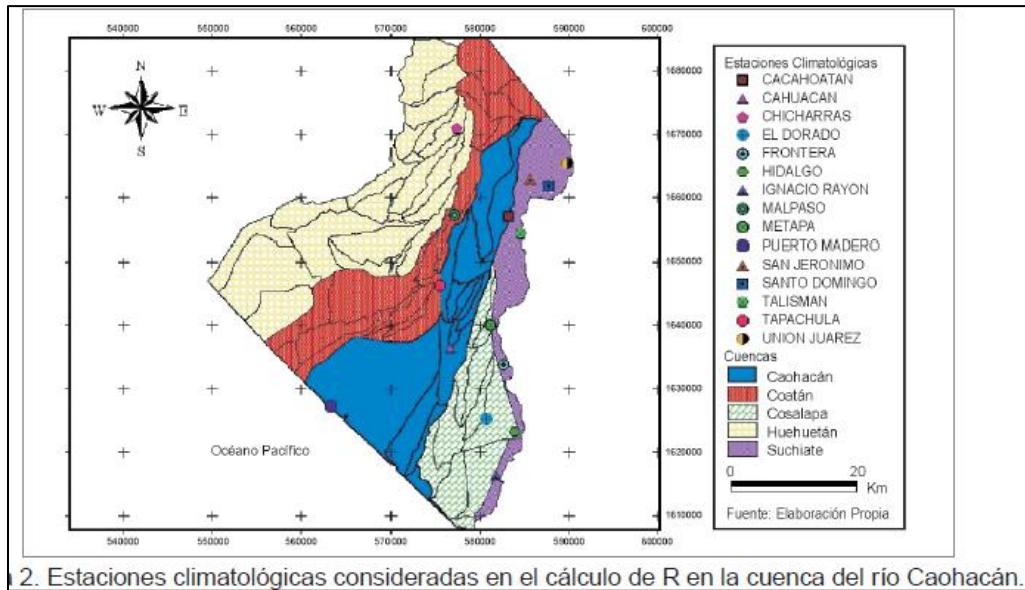
$$R = Y = 2.4619 P + 0.00606P^2$$

**DONDE:**

**R**= factor de erosividad de Wischmeier

**P**= precipitación media anual

Para determinar dicho valor se usaron los datos de precipitación media mensual y la precipitación media anual de 5 estaciones las cuales se encuentran dentro de los límites de la cueca así como los datos de 10 estaciones que se encuentran en las cuencas limítrofes.



2. Estaciones climatológicas consideradas en el cálculo de R en la cuenca del río Caohacán.

Figura 2. Erosión hídrica.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

El factor de erodabilidad del suelo FACTOR K, es un factor que toma en cuenta el tipo de suelo y para su determinación se consideró la metodología de la FAO, (1980) que utiliza unidades de suelos de acuerdo a su clasificación, y considera tres tipos de textura superficial de suelos además se consideró lo establecido por ARELLANO (1994), para determinar el factor de cobertura del suelo C, se consideró la información cartográfica en formato vectorial, el factor de prácticas de conservación de suelos P, el cual es considerado como una variable independiente de la ecuación universal de pérdida de suelo, contempla prácticas de conservación de suelos como: cultivos en curvas de nivel, cultivos en terrazas, en el caso de la cuenca en estudio se consideró que no se realizan alguna de estas prácticas de conservación de suelos por lo tanto este factor toma el valor de 1.

El factor de grado y longitud de la pendiente LS, considera el efecto de la topografía sobre la erosión para su determinación se empleó la ecuación 3, Gracia (1997), (Montes et al, 1987, Foster et al 1997).

$$LS = (X/22.13)^m (0.065 + 0.045 S + 0.0065 S^2)$$

**DONDE:**

X = longitud del tramo de pendiente S, en metros

S= pendiente en % (5 -10-20%)

M= exponente que depende del grado de pendiente del terreno

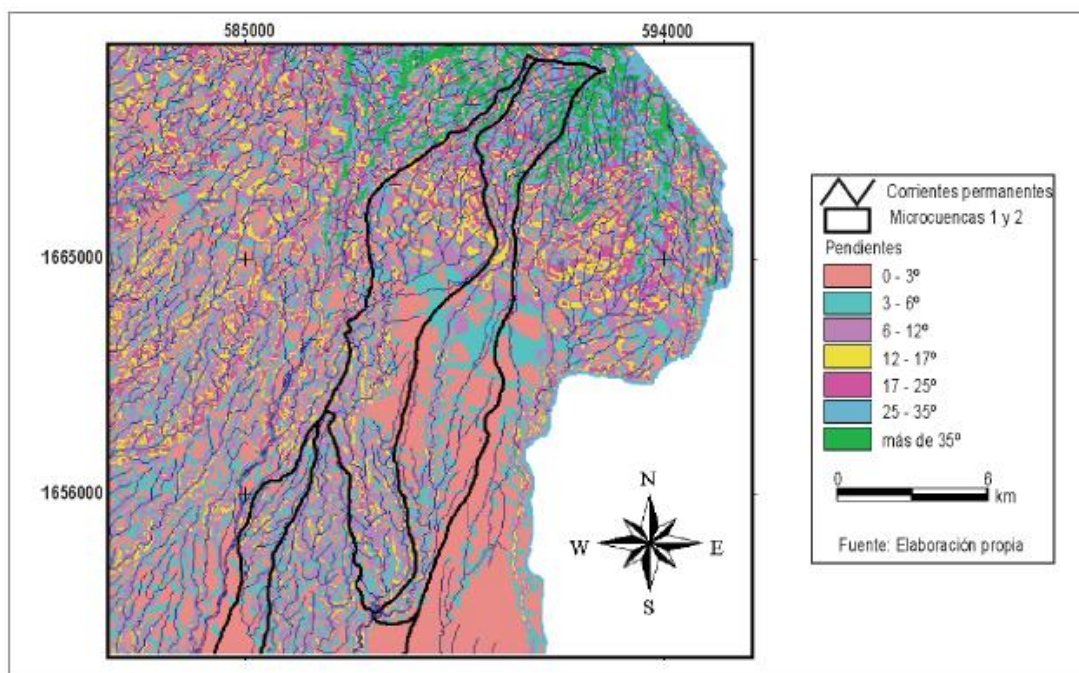


Figura 3. Estimación de erosión hídrica y su relación con el uso del suelo.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

En el año 2010 se publica el documento “PROCESOS DE EROSION - SEDIMENTACION EN CAUCES Y CUENCAS” por parte del programa hidrológico Internacional de la UNESCO para América latina y el Caribe.

El documento argumenta que la erosión que ocurre en un suelo determinado dependerá de los siguientes factores según Morgan (2005).

Clima

Vegetación

Hojarasca

Tipo de suelo

Topografía

Velocidad del flujo

Uso de la tierra

**Marco Metodológico.** La metodología del trabajo consistió en aplicar la USLE sobre un terreno relativamente homogéneo en la zona agrícola del distrito federal (BRASIL), a partir de datos locales.

En el capítulo III del documento establece metodologías para la medición de la erosión y la sedimentación en donde expresa que la sedimentación y la erosión pueden ser medidas bajo distintas escalas según las condiciones que se encuentre el profesional, si consideramos la pérdida del suelo por la acción exclusiva del agua, podemos estimar la erosión ocurrida a niveles de sedimentos (alta precisión), por ejemplo la cantidad de sedimentos desprendidos y transportados por la erosión de impacto. También es posible realizar mediciones de erosión a nivel de ladera (erosión laminar, en riles y Cárcavas).

Por otro lado se puede estimar la erosión neta ocurrida a nivel de cuenca, en otras palabras podemos medir variables como: pérdida de suelo o acumulación de sedimentos.

**2.1.2 Antecedentes históricos a nivel Nacional.** En el año 2008 se publica la tesis de grado para optar al título de ingeniero ambiental y sanitario en la Universidad de la Salle llamada “ ESTIMACIÓN DE LA GENERACIÓN DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA HIDROGRAFICA DEL RIO SISGA CON BASE EN LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO”. El objetivo del trabajo es la estimación cuantitativa de suelo erosionado de la cuenca del rio sisga ubicado en el municipio de choconta Cundinamarca, mediante la aplicación de la ecuación universal de pérdida de suelo la cual comprende los conceptos universalmente conocidos de los agentes generadores de erosión. Para el desarrollo del proyecto se contó con la herramienta del sistema de información geográfica SIG, el cual dio los mecanismos para la interpretación de los resultados obtenidos.

ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO (Smith y Wischmeier 1978)	
ALCANCE	RESTRICCIONES
El mayor propósito de la Ecuación de Pérdida de Suelo, es servir de guía metodológica y estratégica en la planeación de la conservación y de erosión del suelo en un sitio base.	Sobrestima las pérdidas de suelo en parcelas con bajas tasas de erosión. Subestima donde las tasas son elevadas.
El significado de universal radica en que incluye factores que universalmente son responsables de la erosión acelerada.	Es una tecnología madura y su mejoramiento se ve limitado por la estructura simple de su ecuación, ya que hay una interdependencia considerable entre variables.
Permite la estimación cuantitativa promedio de pérdida de suelo laminar y en surco, para un sistema combinado de características variables de un terreno, en función de las características de la lluvia, propiedades del suelo, rasgos topográficos, uso de la tierra y prácticas de manejo en periodos de tiempo largos.	No establece pérdidas de suelo para años específicos o eventos de lluvia aislados, aunque las unidades que representa la expresión matemática son en Ton/ha-año.
Evalúa el potencial de erosión o riesgo de erosión a la que está expuesto cierto terreno y basado en esto identifica los estadios de amenaza de erosión en el terreno.	Los resultados de la USLE, son estimaciones sujetas a usuales errores experimentales y de extrapolación.
Proporciona una tasa anual de generación de pérdida de suelo, en unidades métricas Ton/ha-año.	La USLE fue desarrollada para áreas de tamaño de campo agrícola. Si es utilizada para estimar rendimiento de sedimentos de una cuenca, el área de drenaje debería de ser subdividida en sub-áreas relativamente homogéneas, para lo cual, valores representativos de la USLE pueden ser definidos.

Fuente: WISCHMEIER, Walter etal. Adaptado por Autor

Figura 4. Descripción de los Alcances, beneficios, restricciones y limitaciones de la USLE.

Nota: Fuente: Autores del proyecto



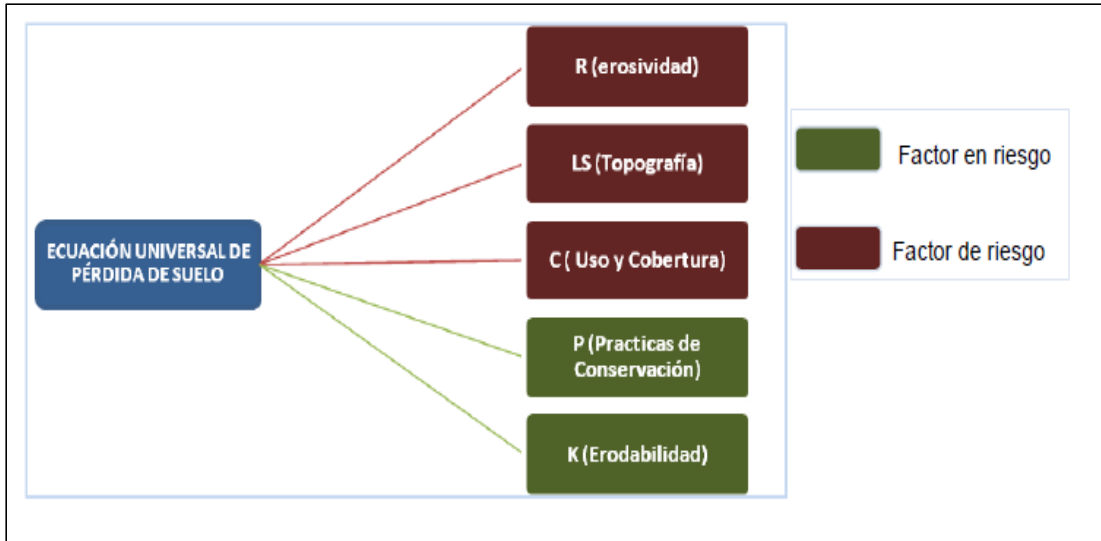


Figura 5. Clasificación de los componentes de la USLE.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

Según el documento, el uso de unidades de subpaisaje resulta muy apropiado para la aplicación de USLE, ya que estas unidades presentan características de homogeneidad desde el punto de vista de la forma del relieve, el clima, el drenaje externo e interno y los suelos lo cual a su vez condicionan cierto tipo de usos del suelo.

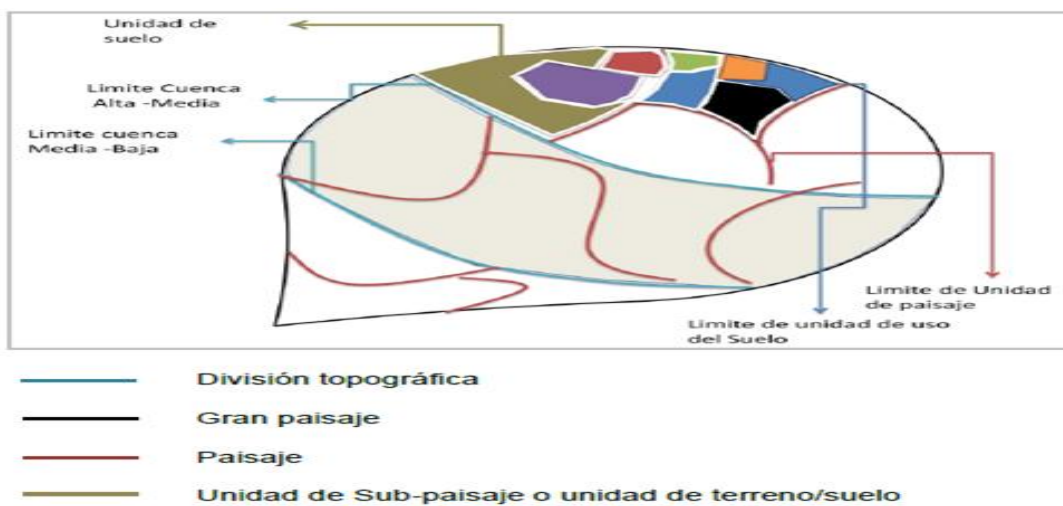


Figura 6. Unidades de paisaje de la cuenca hidrográfica.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

**Metodología.** La siguiente es la metodología usada en el documento “ESTIMACIÓN DE LA GENERACIÓN DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RIO SISGA CON BASE EN LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO” para la aplicación de la USLE.

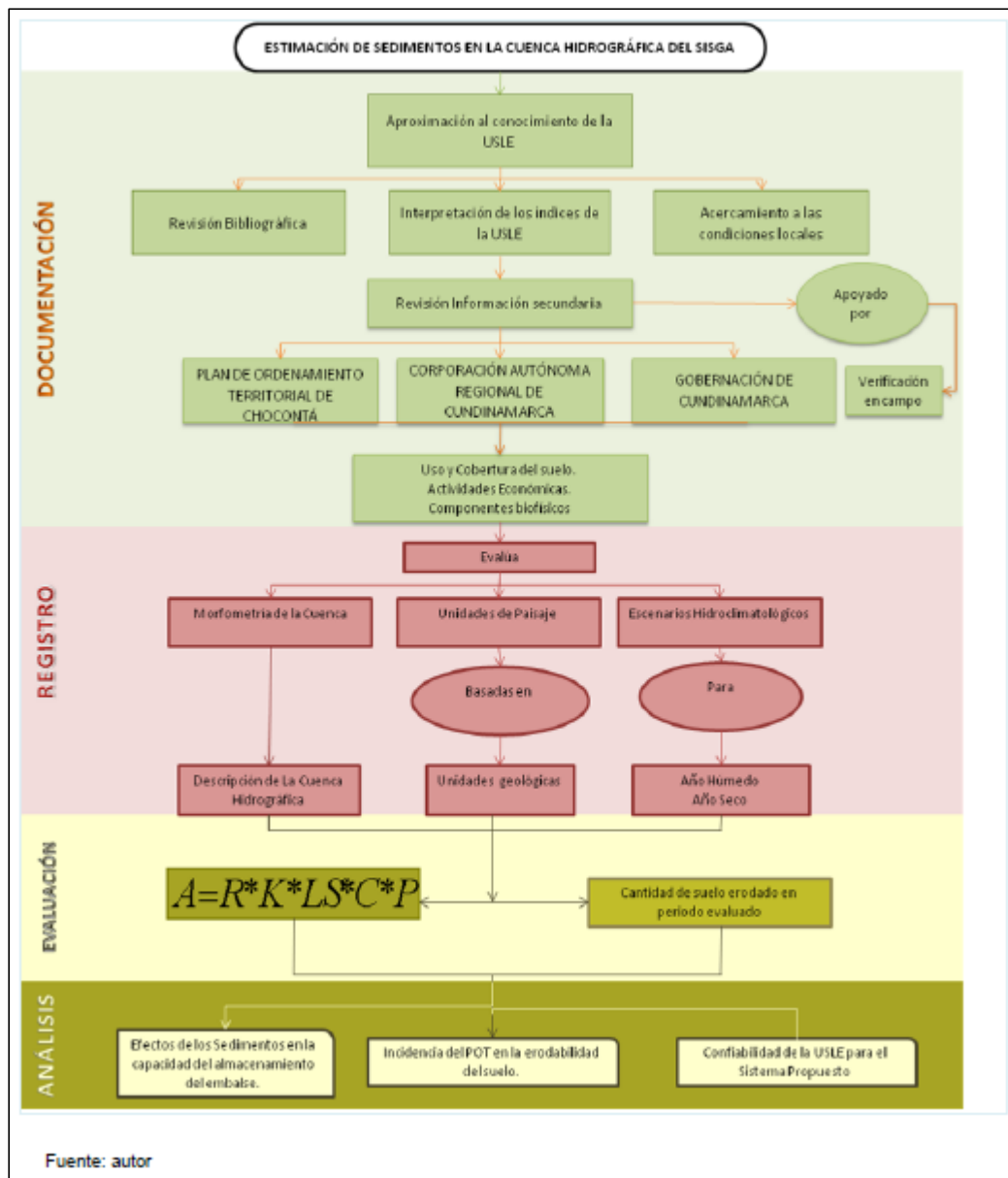


Figura 7. Estimación de sedimentos en la cuenca hidrográfica del sisga.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

La metodología inicia con unas descripciones generales del área de estudio incluida su delimitación geográfica.

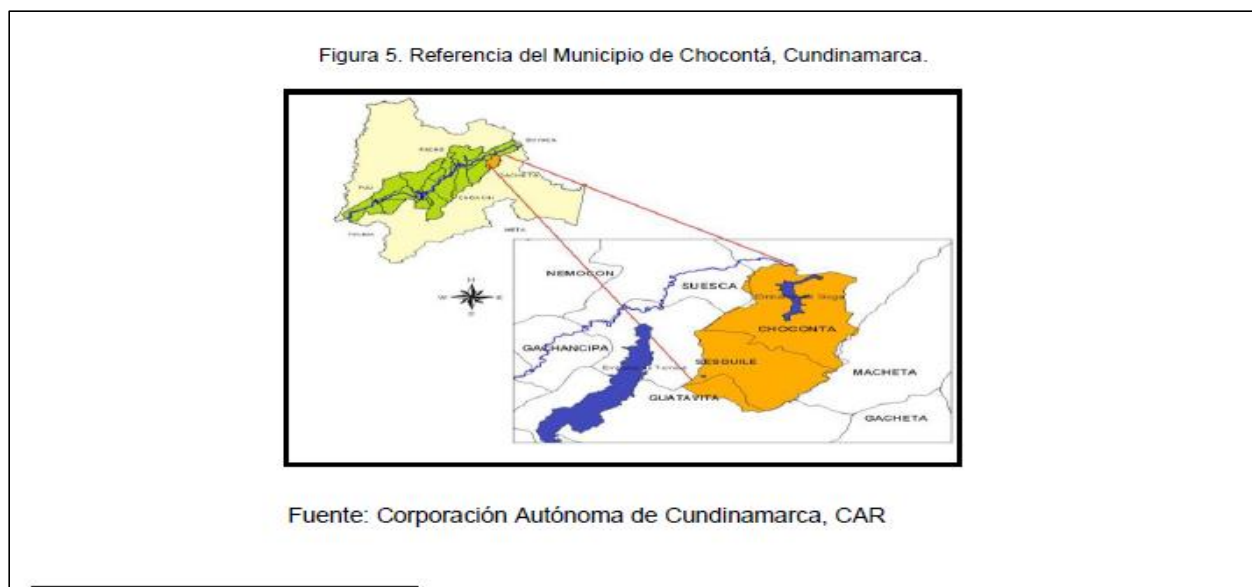


Figura 8. Referencia del municipio de Choconta, Cundinamarca.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

Continúa con una descripción biofísica de la cuenca hidrográfica, iniciando por el factor climatológico, temperatura, precipitación.

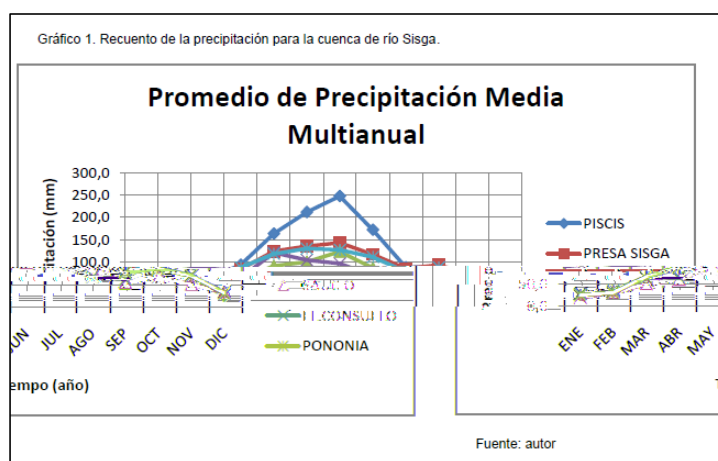


Figura 9. Recuento de la precipitación para la cuenca del río Sisga.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

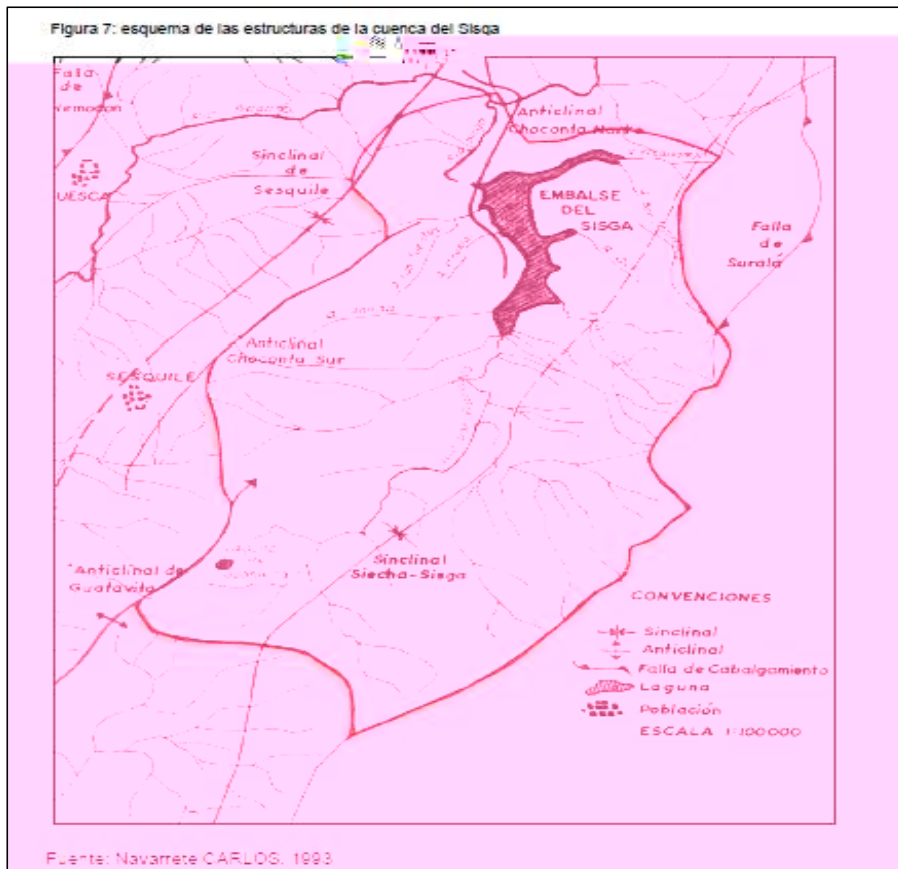


Figura 10. Esquema de las estructuras de la cuenca del Sisga.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

**Usos y coberturas.** Esta información fue tomada del estudio de suelos del momento que desarrollo la gobernación de Cundinamarca en el año 2002, para el análisis de usos y coberturas se hizo una discriminación de los usos y cobertura del suelo según su clasificación como lo muestra la siguiente figura.

Tipo de Unidad <sup>1</sup>	Usos Mezclados	% por Uso
Consociación	Pa/Pm/Ce	70/20/10
Asociación	Pa\Pm\Ce	60\25\15
Complejo	Pa-Pm-Ce	33-33-33
Consociación/Complejo	Pa/Pm-Ce	70/15-15
Asociación/Complejo	Pa\Pm-Ce	60\20-20

Fuente: Gobernación de Cundinamarca

Figura 11. Clasificación de las unidades de suelo según su composición.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

**Topografía y pendientes.** Según el mapa de pendientes desarrollada en el marco del proyecto la siguiente es la distribución de los rangos de pendientes en la cuenca hidrográfica.

Tabla 13: Distribución de los rangos de pendiente, extensión territorial y porcentual, para la cuenca del río Sisga.

Porcentaje de la pendiente	Relieve	Área (Km <sup>2</sup> )	%
0-3 %	Plano, plano cóncavo y ligeramente plano	2,24	1,45
3-7%	Ligeramente inclinado, ligeramente ondulado	7,2	4,66
7-12 %	Ondulado, inclinado	20,17	13,05
12-25 %	Fuertemente ondulado, fuertemente inclinado	78,15	50,57
25-50 %	Fuertemente quebrado	36	23,30
50-75 %	Escarpado	4,35	2,81
> 75 %	Muy escarpado	0,38	0,25
	Embalse	6,04	3,91

Fuente: autor.

Figura 12. Distribución de los rangos de pendiente.

Para la medición y evaluación de los rasgos morfométricos de la cuenca se utilizó el software SIG, (ILWIS), para la elaboración del mapa base se tomó la plancha 209 escala 1:100.000 del IGAC y en ella se delimitó inicialmente la cuenca hidrográfica, después de la digitalización las planchas fueron empalmadas y georeferenciadas para crear un mapa de

segmentos y luego un mapa de polígonos que permitieran la delimitación de la cuenca en forma digital la siguiente tabla muestra los resultados arrojados por ILWIS sobre los parámetros morfométricos de la cuenca.

Índice Morfométrico	Símbolo	Valor estimado	Significado
Área	A (Km <sup>2</sup> )	154,5	Frente a las cuencas del Departamento de Cundinamarca, la C.H. del río Sisga es una cuenca con proyección horizontal intermedia ya el área se encuentra en un rango de 1476,94 - 43745,25 Km <sup>2</sup> y el perímetro de esta entre 19.3- 275.9 Km
Perímetro	P (Km)	62,6	
Coefficiente de Gravelius	Cg	1,4	Indica que la cuenca hidrográfica (C.H) es susceptible a la acción de inundaciones debido a que su forma no permitiría una respuesta rápida a una creciente, y a que el drenaje superficial se distribuye en forma homogénea a lo largo y ancho de la misma, retardando la concentración de las aguas en su curso principal
Elevación media de la cuenca	Hm (m)	3050	Se encuentra por debajo de 600 m de la cuenca más alta de las pertenecientes al departamento de Cundinamarca, lo que indica que está ubicada en una zona alta. SE encuentra en una zona climatológica fría.
Pendiente media de la cuenca hidrográfica	Im	4,98	Supone un relieve acentuado lo que aumenta el riesgo de inundación y arrastre de sedimentos aguas abajo en eventos de alta pluviosidad.
Pendiente media del cauce principal	J	0,02	Es una pendiente suave que permite el flujo natural de las aguas hacia el embalse, lo que permitiría suponer que no hay un mayor arrastre de sedimentos por acción del movimiento de las aguas del río.
Coefficiente de masividad	Km	1,03	Es una cuenca montañosa implica que es proclive a la erosión.
Coefficiente orográfico	C.O.	3156,2	Indica una zona bastante accidentada con potencial arrastre de sedimentos, accionados por las condiciones orográficas.
Curva hipsométrica			La pendiente suavizada de la parte superior de la cuenca hidrográfica indica que ésta ha sido sometida a procesos seculares de erosión, ya que presenta una superficie bastante desgastada. No obstante, por la forma de la curva en las partes media y baja, pareciera que la cuenca hidrográfica se mantiene hoy en equilibrio, contrarrestándose la acción erosiva de la escorrentía.

Fuente: autor

Figura. 13. Índice morfométrico.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

**Zonificación de la cuenca en unidades de paisajes.** Las unidades del paisaje de la cuenca se tomaron del estudio “ACTUALIZACION DEL INVENTARIO DE RECURSOS NATURALES DE LA JURISDICCION DE LA CORPORACION AUTONOMA DE CUNDINAMARCA, 2006”, las cuales se muestran en la siguiente temática.

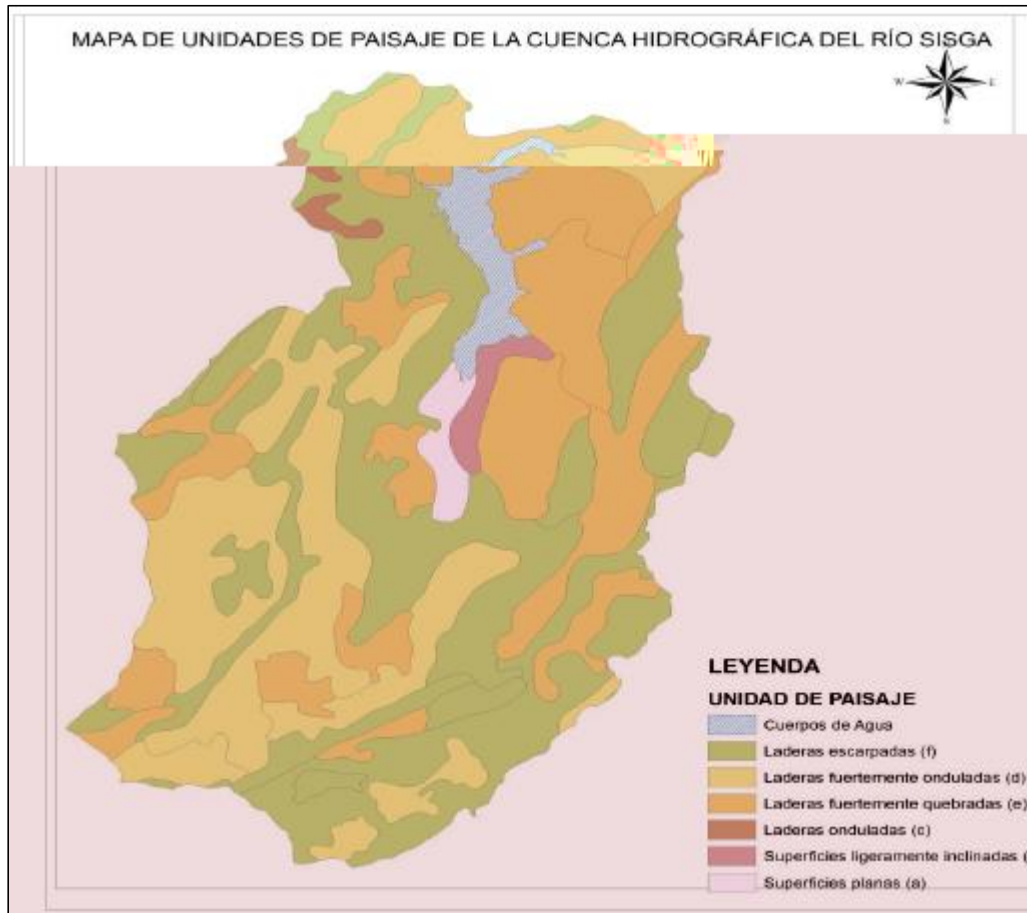


Figura 14. Mapa de unidades.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

En el año 2010 el IDEAM publica el documento “protocolo de degradación de suelos y tierras por erosión”, en el cual incluye los procedimientos detallados que explican cómo recolectar, manejar, analizar y reportar datos que garanticen el monitoreo y seguimiento de la degradación de suelos por erosión.

El siguiente es el modelo para generar información en erosión aprobado por el IDEAM.

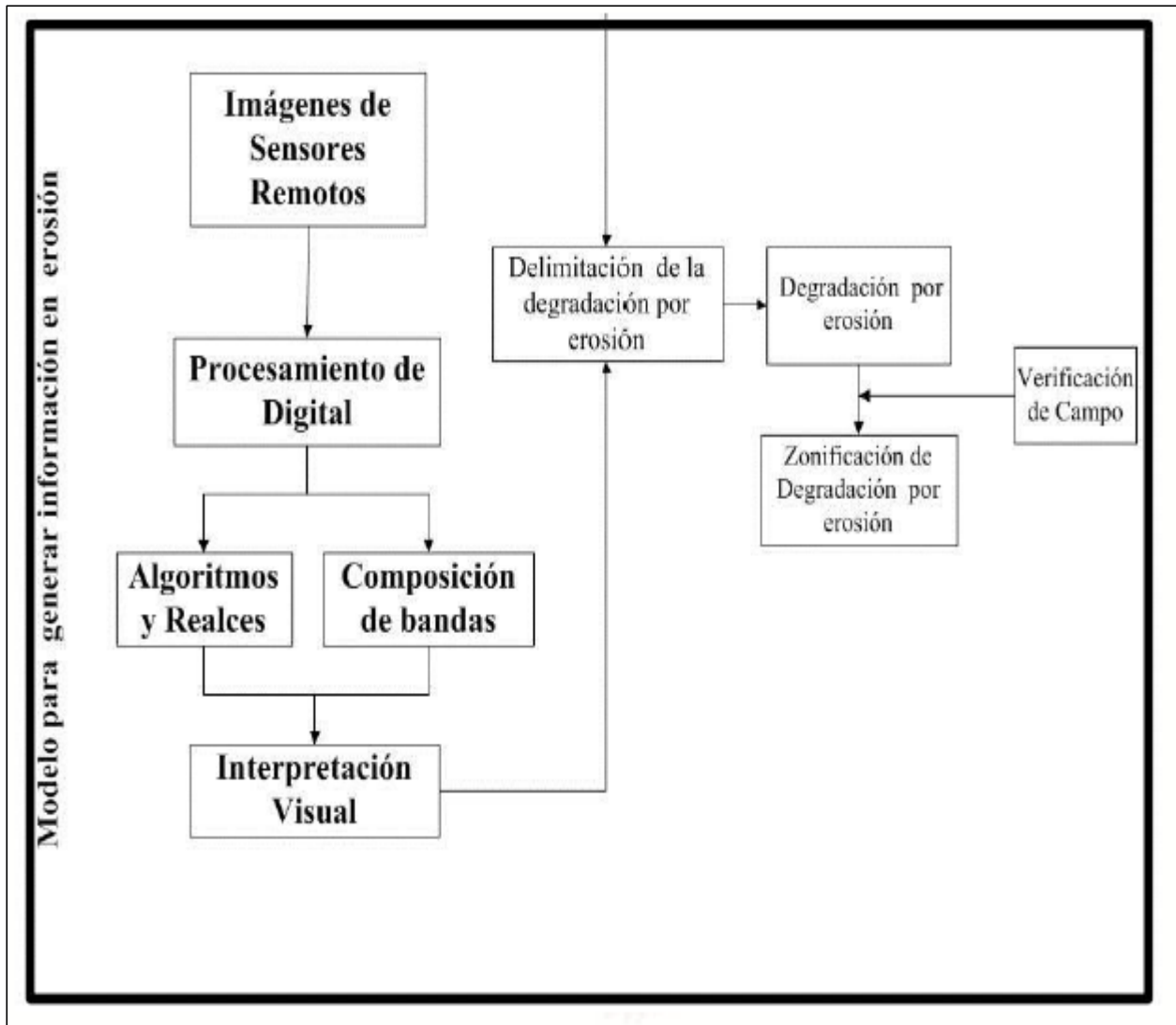


Figura 15. Protocolo de degradación de suelos y tierras por erosión.

Nota: Fuente: Autores del proyecto



## 2.2 Marco contextual.

Según la página oficial del municipio este se encuentra localizado a 8° 14' 15" Latitud Norte y 73° 2' 26" Longitud Oeste y su altura sobre el nivel del mar es de 1.202 m. La superficie del municipio es 460Km<sup>2</sup>, los cuales representan el 2,2% del departamento. [OCANA-NORTEDESANTANDER. Limites Ocaña [On line]. Mayo, 1998 [Citado el 20 febrero de 2016.] Disponible en internet en: [http://ocana-nortedesantander.gov.co/informacion\\_general.shtm](http://ocana-nortedesantander.gov.co/informacion_general.shtm)].

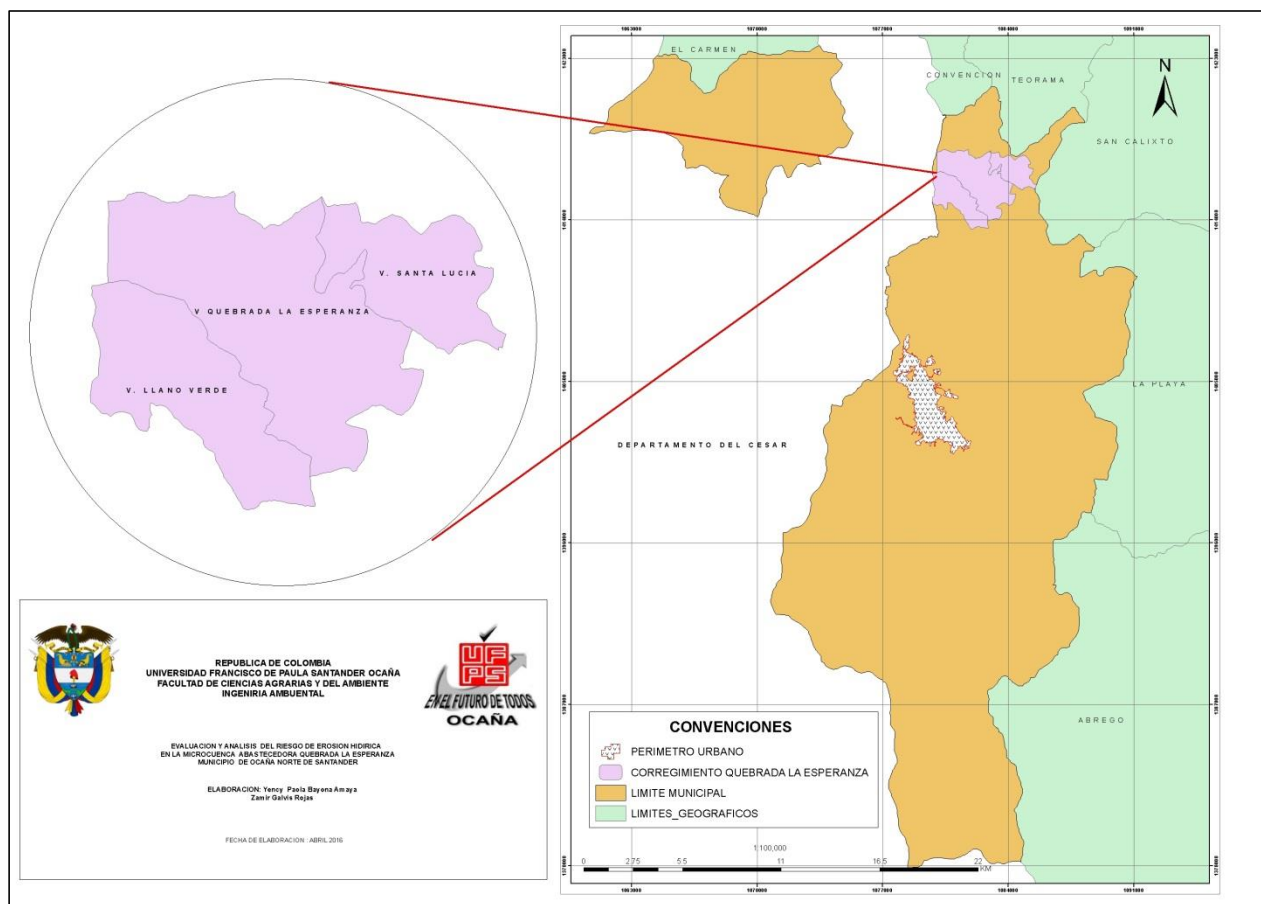


Figura 16. Mapa de la localización del municipio de Ocaña y el área de estudio.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

**Clima y Temperatura.** Su temperatura promedio es de 22°C según los datos de la página oficial de la alcaldía municipal de Ocaña, de piso térmico templado, de clima tropical húmedo y seco con periodos de sequias bien definidas una precipitación media mensual para el año 2015 de 1100mm según IDEAM.

**Relieve y paisajes** El relieve del municipio, por lo general está conformado por rocas ígneas desde el sur hasta límites con el municipio de Convención, los relieves presentes en el municipio de Ocaña según el estudio general de suelos y zonificación de tierras de Norte De Santander elaborado por IGAC a escala 1:100.000 son los siguientes:

Filas y vigas

Glacis

Lomas

Vallecitos

Lomas y crestones Homoclinales

Y en cuanto a las unidades de paisajes el municipio presenta las siguientes:

LOMERIO

MONTAÑA

Siendo el paisaje de mayor área dentro del municipio el de montaña como se puede ver en la salida temática RELIEVE Y PAISAJE.

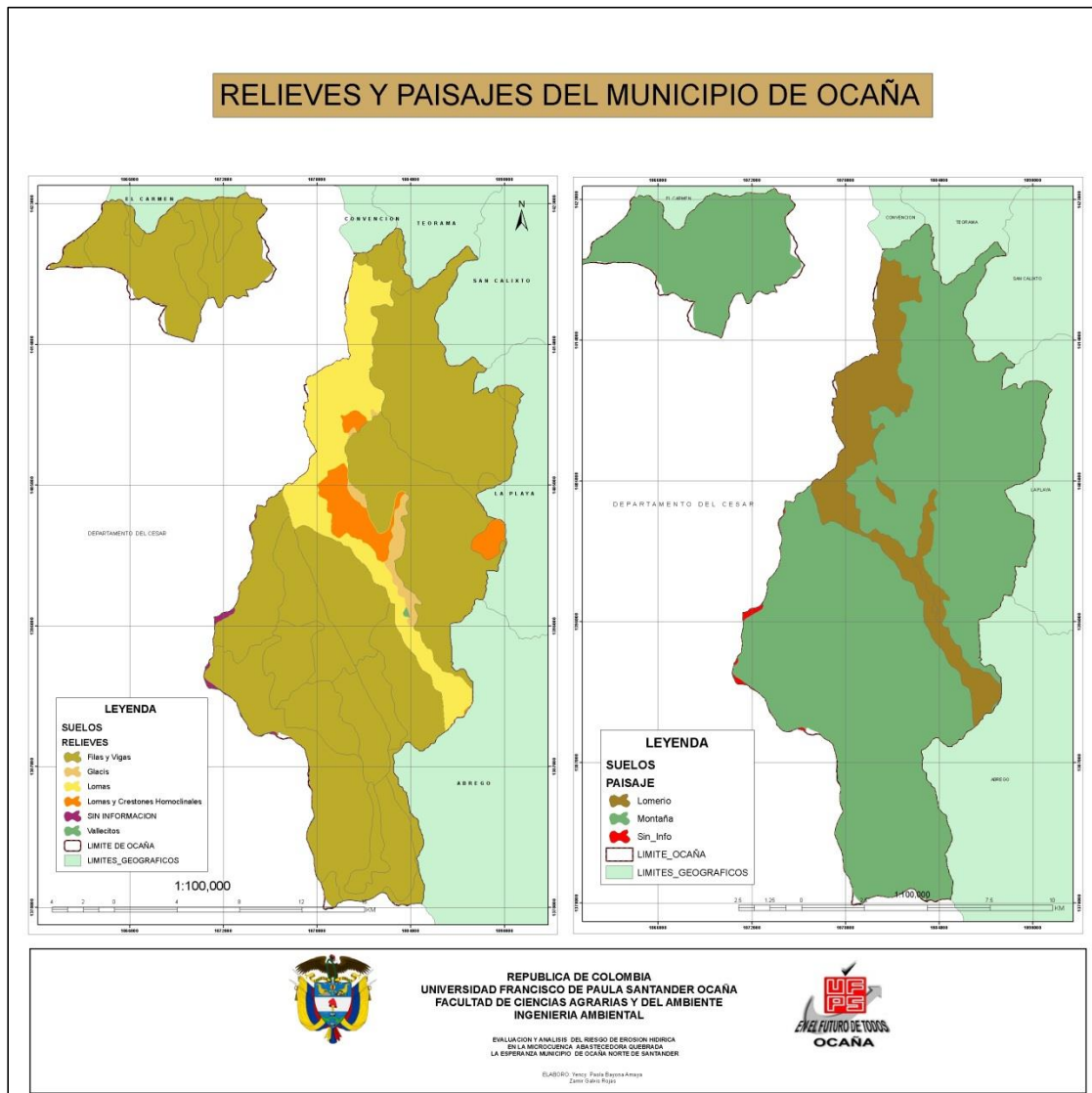


Figura 17. Temática de relieves y paisajes del municipio de Ocaña Norte de Santander.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

La información geográfica en formato vectorial Shapefile, hace parte del “estudio de suelos de norte de Santander y zonificación de tierras” estudio elaborado en el 2006 por la división de cartografía y geografía del IGAC a escala 1:100000, los archivos geográficos fueron sometidos a un Geoproceso a la adjudicación de simbología por unidad de relieve y de paisaje.

### 2.3 Marco conceptual

**Erosión.** Según (Foster & Meyer 1972), Esta es la denudación de la capa arable del suelo, esta se puede producir por efecto del agua y /o del viento, la erosión que se produce por acción del agua es la que se presenta con mayor frecuencia y se le denomina erosión hídrica; esta se produce debido al golpe de las gotas de la lluvia sobre el suelo desnudo de un territorio, levantando las partículas del suelo y generando un arrastres de estas a lugares más bajos por efecto de la pendiente del terreno y la fuerza de gravedad, generalmente estas partículas arrastradas terminan en los cauces de los ríos y quebradas de la zona afectada, el fenómeno de la erosión se presenta más frecuentemente en las denominadas tierras agrícolas y suelos afectados por deforestación. (“Plan De Gestión De La Oferta Del Agua En Las Cuencas Del Ámbito Del Proyecto Tacna” Volumen II, Tomo 2.4., “Aspectos Ambientales En La Gestión Del Agua; Erosión y Sedimentación De la Cuenca” Ministerio De Vivienda Construcción y Saneamiento, Lima – Perú 2002, pág. 8).

**Cuenca Hidrográfica.** Existe una gran variedad de conceptualizaciones en cuanto al termino cuenca hidrográfica, para efectos de desarrollo de este proyectos tomaremos solamente los siguientes:

Para la FAO la cuenca hidrográfica es la unidad hidrológica que ha sido descrita y utilizada como unidad físico – biológica y como unidad socio – económica, para la planificación y ordenación de los recursos naturales.

En términos hidrológicos una cuenca es un territorio conformado por un rio y sus tributarios o afluentes y por un área colectora de las aguas, en una cuenca existen los recursos

básicos suelo- agua- vegetación para el desarrollo socio económico del ser humano. (Manual para el Manejo sustentable de Cuencas Hidrográficas).

Otro concepto claro sobre cuenca hidrográfica es el consignado en el documento de la Universidad Mayor De San Simón denominado “Material De Apoyo Didáctico Para La Enseñanza de la Asignatura De Hidrología CIV 233 “. La cuenca hidrográfica es un espacio físico donde sus aportes hídricos naturales son alimentados exclusivamente por las precipitaciones y sus excedentes en agua o en materias solidas transportadas por el agua forman, en un punto espacial único una desembocadura.

**Erosión Hídrica.** Es la degradación de suelos desnudos por la acción del agua. Este proceso de involucra tres fases: desprendimiento, transporte y sedimentación de las partículas del suelo, estas son causadas por las fuerzas erosivas de la precipitación y la escorrentía cualquiera que sea la escala del estudio estas tres fases siempre estarán presentes aunque serán diferentes en intensidad (Erosión del suelo y fuentes de sedimentación en la cuenca del río Ésera pirineo Central; Análisis Espacial y Dinámica Temporal Mediante Técnicas de Simulación y Teledetección, 2010).

**Sedimentación.** Este proceso ocurre cuando la capacidad de transporte de la escorrentía laminar o concentrada no es suficiente para el acarreo de todas las partículas de sedimentos transportadas de manera que ese exceso de carga que no puede ser transportado es depositado sobre la superficie del terreno gracias a la gravedad.

**Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada. (Forma Modificada).** Esta es una ecuación empírica muy conocida y desarrollada para campos o parcelas con una capacidad limitada de desprendimiento y con una curvatura muy moderada y sin rastros de deposición. Representa entonces la pérdida promedio de suelo sobre un periodo de tiempo y en un área total la ecuación presenta la siguiente forma (Wischmeier y Smith 1987; Renard et al, 1997; Lu, H et al., 2001 y Mati, et al., 2000).

$$E(r) = R * K * LS_{(r)} * C * P (1)$$

Donde  $E_{(r)}$  [ton/ha] es el promedio de pérdida de suelos,  $R$  [ MJ. Mm/ha.hr] es el factor de intensidad de la lluvia (erosividad),  $K$  [ton/ha por unidad de R] es el factor de erodabilidad del suelo,  $LS_{(r)}$  [adimensional] es el factor de conservación del suelo y de prácticas de prevención.

**Sistemas de Información Geográfica.** Son software (programas) que permiten la gestión de información (datos) geográfica la cual generalmente está georeferenciada, los SIG realizan la modelación de estos datos y entregan nueva información la cual es usada en diversas disciplinas y áreas del conocimiento como mecanismo de consulta y análisis para la toma de decisiones técnicas y científicas, los Sistemas de Información Geográfica realizan la gestión de la información basados en el procesamiento de archivos de tipo vectorial y raster principalmente, los formatos vectoriales representan los objetos de la realidad basados en geometría de puntos, líneas y polígonos los archivos Raster representa la información en valor de píxeles (imágenes) los archivos raster están compuestos por una grilla en la que cada cuadro de la grilla contiene un valor de píxel.

**Parámetros Morfométricos de las cuencas hidrográficas.** La morfométricas de una cuenca corresponde a la caracterización cuantitativa de determinados rasgos fisiográficos superficiales de la cuenca representada en valores numéricos que permitan compararla en forma exacta una cuenca con otra, dos cuencas sometidas a las mismas condiciones climáticas, pueden tener regímenes de escurrimiento totalmente diferentes debido a sus características fisiográficas. (Galvis Martín, 2008).

**Suelo.** Es un cuerpo natural conformado por una combinación muy compleja de elementos y procesos, los cuales son resultado de su localización y del contacto de la atmósfera con la superficie de la corteza terrestre; la atmósfera del planeta ha evolucionado, por esta razón ya no predominan en ella elementos como el Hidrógeno y el Helio, su lugar es ocupado por el Nitrógeno, el Oxígeno, el gas carbónico, y el vapor de agua.

El clima del planeta tierra constituye un medio de alteración constantemente actuante sobre la superficie, la cual ha evolucionado tanto en su aspecto geoquímico como físico. En ella encontramos silicatos, grupo amplio de minerales que son producidos por las reacciones del silicio el oxígeno y el aluminio en cantidades las cuales fluctúan alrededor del 80% de las múltiples interacciones que se desarrollan en la superficie de la corteza terrestre surgen organismos los cuales actúan generando con el tiempo lo que nosotros denominamos suelo. (IGAC, 2010).

**Precipitación.** El uso más frecuente del término precipitación se haya en la Meteorología, y hace referencia al agua que cae desde la atmósfera a la superficie terrestre basados en lo anterior, la lluvia, el granizo y la nieve son tipos de precipitación. La lluvia de

forma concreta también puede ser denominada como precipitación pluvial, esta se mide con dispositivos como el pluviómetro y pluviógrafo.

**Erosión por Flujo Laminar.** Esta erosión ocurre en las zonas de ladera situadas entre los causes de escorrentía (rills o gullies) y es inducida por los fenómenos como la precipitación o la irrigación artificial (Foster, 1982). El desprendimiento de las partículas del suelo se puede presentar cuando las gotas de la lluvia golpean la superficie de suelo desnudo y de esta manera vence las fuerzas intercisiales que mantienen la unidad de estas partículas (Thornes, 1990). Logrando desplazarlas a través del aire algunos centímetros (Loch & silburn, 1996). Se debe señalar que el arranque de las partículas de suelo desde la superficie fue originalmente considerado exclusivamente como el resultado del impacto de las gotas de lluvia.

**Erosión por Flujo Concentrado.** Este se presenta cuando el movimiento de agua sobre la superficie del suelo deja de ser laminar y se canaliza de forma fácilmente reconocibles (Rose 1993) la transición de flujo laminar a flujo concentrado es un proceso complejo y como tal ha sido estudiado por diversos autores (Savat, 1979; Moss et al., 1982; Savat y De ploey 1982; Merrir, 1984; Rauws, 1987). En primer lugar la escorrentía superficial se descompone en diversos flujos preferenciales y esto es debido a los micros irregularidades del terreno, plantas etc, aunque sin perder las características de un flujo laminar la convergencia de diversas líneas de flujo preferencial hace que se formen trayectorias de flujo.



## 2.4 Marco Teórico

La ecuación universal de pérdida de suelo fue formulada y desarrollada por Smith (1978), es un modelo matemático el cual está compuesto por 6 parámetros los cuales permite predecir la pérdida de suelo al año en un área determinada de estudio; esta ecuación nos permite evaluar el potencial erosivo o el riesgo de erosión a la que está expuesto cierto terreno dadas ciertas condiciones, tales como: pendiente del terreno, intensidad de lluvias prácticas de uso, coberturas del suelo, etc. (Estimación de la generación de sedimentos en la cuenca hidrográfica del río sisga con base en la ecuación universal de pérdida de suelo, 2008).

$A = R * K * L * S * C * P$	
<b>A</b>	Pérdida de suelos.
<b>R</b>	Factor de erosividad.
<b>K</b>	Factor de susceptibilidad de erosión del suelo (erodabilidad).
<b>L</b>	Factor de longitud de la pendiente.
<b>S</b>	Factor de magnitud de la pendiente.
<b>C</b>	Factor de cobertura vegetal.
<b>P</b>	Factor de prácticas de apoyo de conservación del suelo.

Fuente: Walter and Smith, Handbook of predicting rainfall erosion losses. Pág 4.

Figura 18. Factores que componen la ecuación USLE.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

**Origen de la ecuación.** El estudio que dio como resultado la ecuación inicio en el año 1940, cuando se realizó el montaje de 9 parcelas de carácter experimental al este del río Misisipi y las cuales fueron expuestas a condiciones locales y posteriormente se dio apertura a nuevas parcelas por su gran acogida sistemática, en el año 1978, se realizó la publicación de la ecuación matemática, mostrando los efectos de la interacción entre los sistemas de cultivos, nivel de productividad, prácticas de labranza, gestión de los residuos y condiciones climáticas y generando como producto técnico herramientas como el monograma de erodabilidad del suelo, factores de topografía para pendientes irregulares, factores de coberturas del suelo y efectos de las prácticas de conservación de los suelos, integrado en la predicción de la erosión en las áreas en un tiempo representativo. (Estimación de la generación de sedimentos en la cuenca hidrográfica del río sisga con base en la ecuación universal de pérdida de suelo, 2008 p 37).

**Factor R “EROSIVIDAD DE LA LLUVIA”.** Este es el índice de erosividad presentado por Wischmeier y Smith (1978), y es definido como la suma del producto de la energía cinética total y la intensidad máxima en 30 minutos por evento y se expresa como:

$$EI_{30} = (Ec) (I_{30})$$

Dónde:

$EI_{30}$  = Índice de erosividad para un evento en Mj mm/ ha h

$Ec$  = Energía cinética total de la lluvia en Mj / ha

$I_{30}$  = Intensidad máxima de la lluvia en 30 mm/h.

El cálculo de la energía cinética requiere de la intensidad de la lluvia y esta última de los registros pluviográficos, en donde no se encuentren disponibles se puede usar la expresión generada por cortes en (1991).

$$Y = 2.8959 X + 0.002983 X^2$$

**Dónde:**

**Y=** Representa el índice anual de erosividad de la lluvia, en  $Mj\ mm/ha\ h$

**X=** Representa la precipitación media anual, en  $mm$

Un análisis de extrapolación espacial con base en las estaciones climáticas más cercanas al límite del área de influencia de la cuenca permite la generación del mapa de erosividad que se muestra en la siguiente figura.

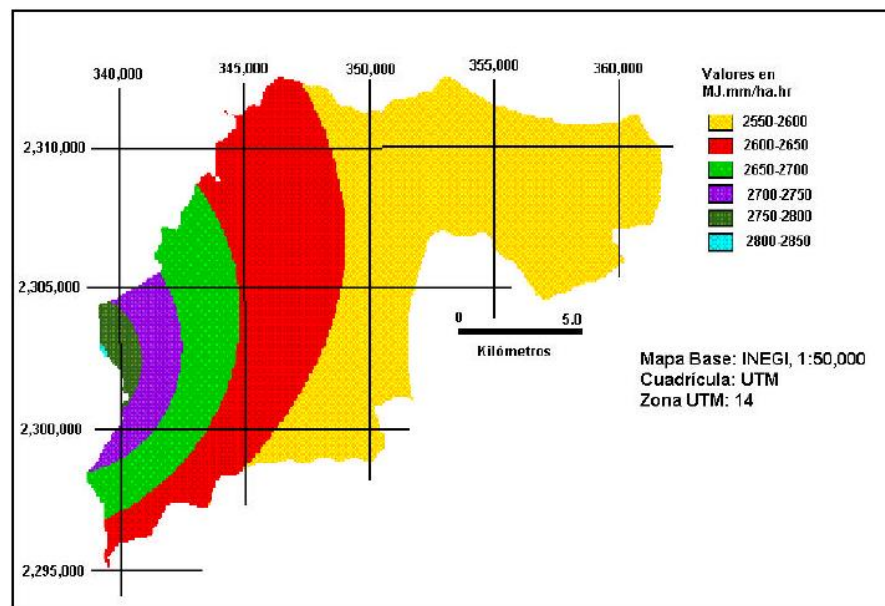


Figura 19. Extrapolación espacial.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

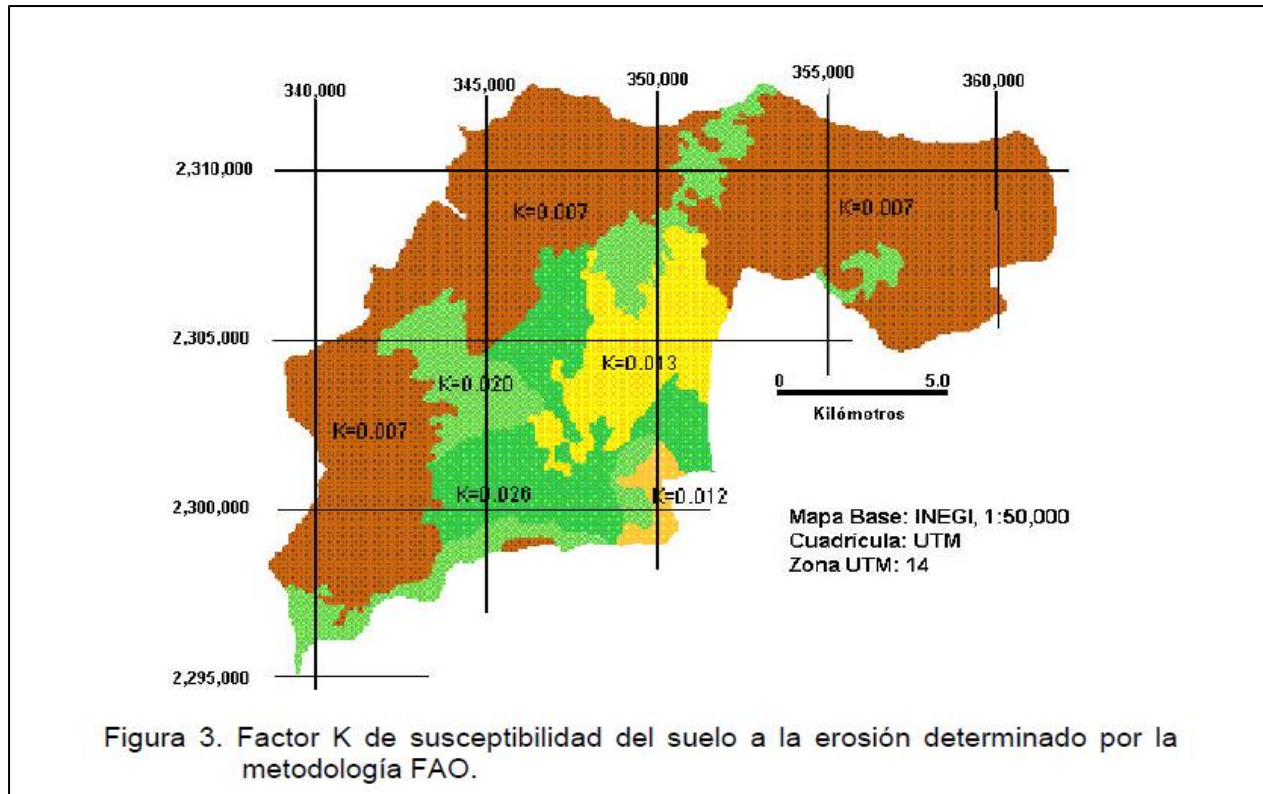


Figura 20. Temática del factor K de susceptibilidad del suelo a la erosión determinado por la metodología FAO.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

**Factor K “ERODABILIDAD DEL SUELO”.** Este factor representa la susceptibilidad que presenta una unidad de suelo a la erosión hídrica y su valor depende del contenido de materia orgánica, textura superficial estructura del suelo y permeabilidad si se carecen de estudio directos de suelos en el área especificada se puede acudir a la metodología para la determinación de la unidad de suelo de acuerdo a la metodología de la FAO y la textura superficial, la representación espacial de esta factor también se obtiene con la ayuda de un sistema de información geográfica, como se presentan a continuación:

**Factor LS “LONGITUD Y GRADO DE LA PENDIENTE”.** Este es el efecto de la topografía de un terreno sobre la erosión está representado por los factores longitud y el grado de la pendiente la longitud (L), hace relación a la distancia desde el punto de origen de un escurrimiento hasta el punto donde decrece la pendiente hasta que ocurre el depósito o hasta el punto donde el escurrimiento encuentra un canal de salida, el grado de erosión va a depender también de la pendiente, por lo cual en relación a una parcela de 22.3 mtrs de longitud, ambos factores se pueden unir en uno solo aplicando la siguiente ecuación adimensional.

$$LS = (X/22.13) (0.065 + 0.045 s + 0.0065 s^2)$$

Dónde:

X = longitud de la pendiente, en m

M = exponente que depende del grado de la pendiente

S = Pendiente del terreno en %

En la literatura se indica que esta ecuación funciona de forma correcta cuando las pendientes son aisladas y uniformes ( Foster and Wischmeier 1974), cuando no se presentan estos casos el cálculo deberá realizarse por segmentos a través de la expresión:

$$LS = \sum_{j=1}^N \frac{S_j \lambda_j^{m+1} - S_j \lambda_{j-1}^{m+1}}{(\lambda_j - \lambda_{j-1})(22.13)^m}$$

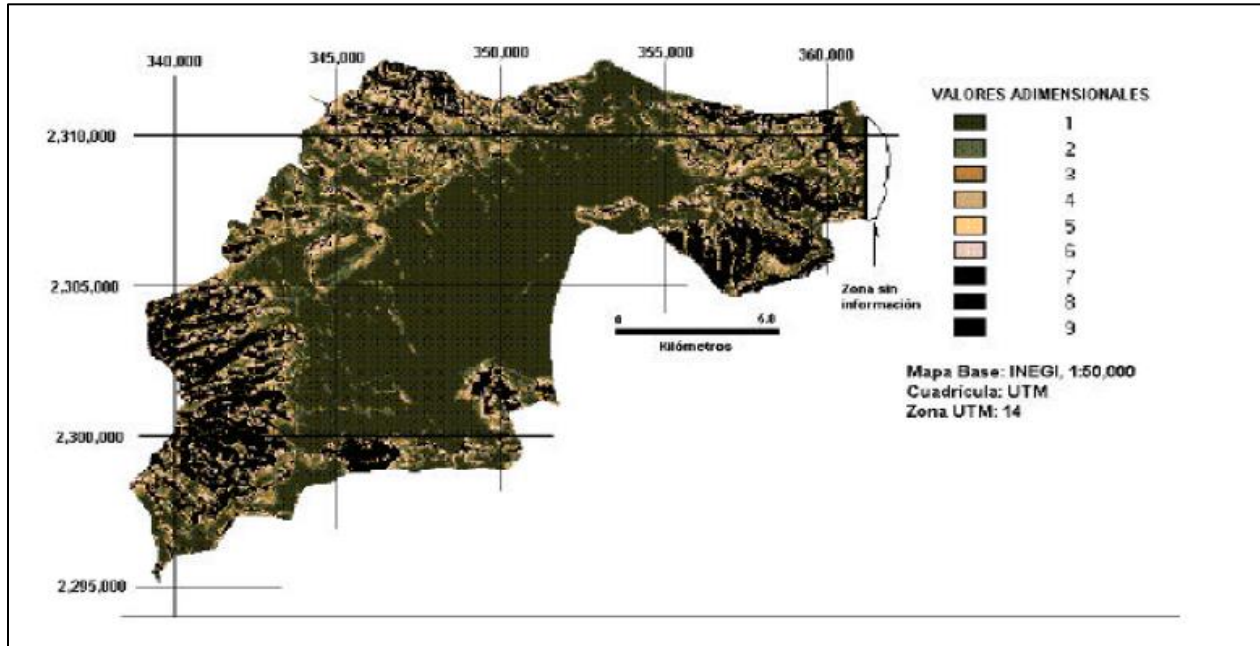


Figura 21. Factor topográfico  $L_s$ , el cual involucra el efecto de la longitud y el grado de pendiente en la erosión.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

## 2.5 Marco Legal.

El proyecto está enmarcado dentro de las siguientes leyes, normas y decretos para los siguientes aspectos.

**Art 79** de la constitución política de Colombia; “todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano, la ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo, es deber del estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines”

**Decreto 1640 del 2012.** Establece los lineamientos y directrices de la política nacional para la gestión integral del recurso hídrico en relación con la estructura de planificación de cuencas hidrográficas.

**Ley 165 de 1994.** Por medio del cual se aprueba el “convenio sobre la biodiversidad Biológica “establece el artículo 6°, elaborara estrategias, planes y programas nacionales para la conservación y la utilización sostenible de la diversidad bilógica o adoptara para este fin las estrategias, planes o programas existentes que habrán de reflejar, entre otras cosas las medidas establecidas en el presente convenio y que sean pertinentes.

**Artículo 80.** El estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible su conservación y restauración o sustitución además deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados, así mismo cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas.

En el 2010 el ministerio del medio ambiente expidió la política para la gestión integral del recurso Hídrico, la cual define la cuenca hidrográfica como la unidad espacial de análisis y de gestión en donde el agua interactúa con los demás recursos naturales renovables, elementos ambientales y ecosistemas estratégicos que la integran.

## Capítulo 3. Diseño Metodológico

### 3.1 Tipo de Investigación.

La investigación es de tipo empírico analítico basado en el análisis explorativo de la observación directa in situ, dentro del límite geográfico de la microcuenca quebrada la esperanza la cual se delimitara a partir de un archivo raster ( DEM ) con una resolución espacial de 12\*12 mtrs , tomando como punto de desfogue o cierre la coordenada geográfica del nacimiento de la quebrada la esperanza anteriormente denominada quebrada la Vaca. Se implementará la ecuación universal de pérdida de suelo USLE y se compararan los resultados con la ecuación universal de pérdida de suelos revisada, por medio del uso de un software SIG se desarrollará cada uno de los factores de la ecuación para proceder al análisis del mapa final y determinar el grado de susceptibilidad de la microcuenca basado en las características morfométricas de esta.

### 3.2 Población.

La población objeto de estudio son los habitantes ubicados dentro de los límites geográficos de la microcuenca quebrada la esperanza.



### **3.3 Muestra.**

Son los suelos que se encuentren delimitados dentro del área geográfica del estudio y perteneciente a la microcuenca de la quebrada la esperanza en el municipio de Ocaña Norte de Santander.

### **3.4 Procedimiento Metodológico.**

Se inició con la delimitación (Especialización) del área de estudio por medio de la generación del polígono de la microcuenca, el cual fue generado a partir del procesamiento de un DEM (Modelo Digital de Elevación) de 12\*12 mtrs de resolución por medio de la herramienta Hydrology de ArcToolbox, el punto geográfico de cierre o desfogue reasignara en la coordenada geográfica del nacimiento de quebrada le esperanza, este punto geográfico fue georeferenciado en compañía de uno de los miembros de la junta de acción veredal del corregimiento de la esperanza, una vez se genere la delimitación de la microcuenca se convirtió este archivo raster en un polígono en formato SHP de Esri, este polígono se compara con el generado en el trabajo de grado presentado por los estudiantes Yorgen Osneider Franco Sanguino - Eimer Amaya, llamado “BALANCE HIDRICO DE LA MICROUENCA QUEBARADA LA ESPERANZA UBICADA EN EL CORREGIMIEMTO DE AGUAS CLARAS MUNICIPIO DE OCAÑA PARA LA DETERMINACION DEL INDICE DE ESCASEZ” para determinar similitudes y diferencias espaciales.

Con el polígono de la microcuenca se procedió a determinar las características morfométricas de la microcuenca y la caracterización general de esta, posteriormente se implementó la ecuación universal de pérdida de suelos USLE por medio del uso de un software SIG, en el cual se especializó la información de cada uno de los factores que componen la ecuación, para la estimación del riesgo de erosión se tuvo en cuenta los principales factores que afectan la erosión como lo indica el método de Albaladejo et al.; (1998).

Y se presentan en la siguiente imagen.

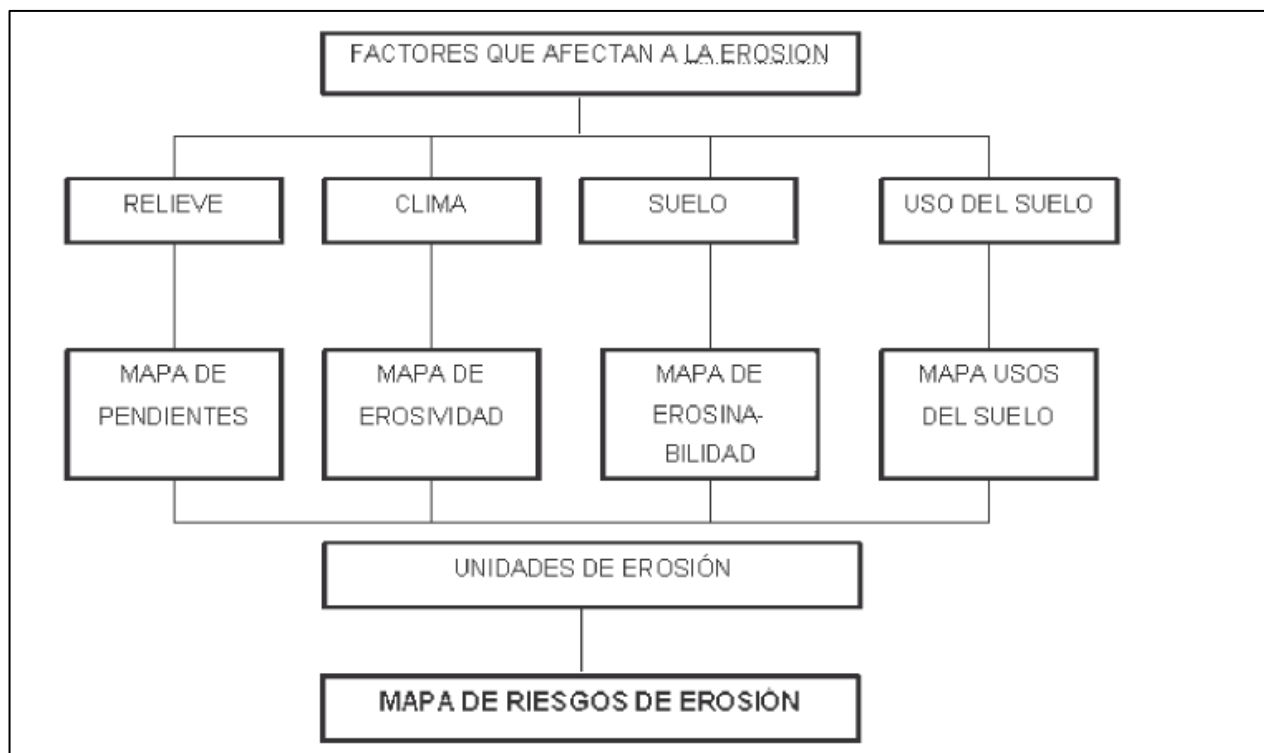


Figura 22. Factores que afectan el proceso erosivo.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

En campo se georeferenciarán los diferentes tipos de erosión que se presenten dentro de la divisoria de aguas de la microcuenca, para luego ubicarlos en un mapa base de la zona, y

generar la base de datos del proyecto la cual será la base del análisis al momento de determinar los riesgos de erosión.

### **3.5 Técnicas de recolección de datos.**

**3.5.1. Información Primaria.** Esta información fue obtenida a través de visitas de campo, donde por medio de inspecciones visuales acompañados de algún representante de la junta de acción veredal se consignara en una cartera de campo, las coordenadas de los puntos que presentan erosión laminar de algún tipo y aquellos lugares que por sus características topográficas, características físicas del suelo (textura – estructura) (para esta caracterización de suelos se usó la metodología RASTA (Rapid Soil and Terrain Assessment), desarrollada por el CIAT y la Corporación BIOTEC en el 2010) junto con tipos de coberturas seria susceptibles a fenómenos de erosión, si estas áreas son significativas no solo fueron georeferenciadas por medio de antena receptora GPS si no también se delimitaran sus polígonos para calcular sus áreas, se procedió a la geolocalización de las vías rurales fuentes hídricas en tres puntos diferentes cuando esto sea posible y puntos de control para la posterior elaboración del mapa de coberturas sobre una imagen landsat 8, de mediana resolución con fecha de escena febrero del 2016, mediante la leyenda de coberturas de Corine Land Cover adaptada y adoptada por el IDEAM en 2010.

**3.5.2 Información Secundaria.** La información geográfica en formato vectorial SHP, de los límites geográficos del municipio y el límite municipal se gestionaran a través de SISTEMA DE INFORMACION GEOGRAFICO PARA EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL SIG OT. La información cartográfica base se obtuvo del PBOT revisión del 2015 y sobre estos shapefiles se realizaron procedimientos de Geoproceso para la construcción

de diversas temáticas, la información climatológica será construida a partir del catálogo de estaciones meteorológicas del IDEAM y los datos climáticos que no sean de fácil acceso se obtendrán a partir del software de modelación climatológica de la FAO New Clim 1.0, esto se realizó buscando la suficiente información para la construcción de los raster de precipitación y temperaturas.

## Capítulo 4. Presentación de resultados

### 4.1 Mecanismos y factores de erosión que se presentan en el área geográfica microcuenca quebrada la Esperanza.

**Delimitación Geográfica de la zona de estudio.** La microcuenca quebrada la Esperanza se localiza en el corregimiento la esperanza del municipio de Ocaña norte de Santander a pesar de ser una microcuenca abastecedora de recurso hídrico para acueducto urbano corregimiento de Aguas claras, esta no se encuentra ordenada, por esta razón para delimitarla se procedió a aplicar la metodología establecida por el ministerio del medio ambiente, mediante el uso de Sistema de información geográfica.

Para este proceso se usaron los siguientes archivos Raster DEM con una resolución de 30mtrs de resolución el cual se reprojecto a un sistema de referencia Geográfico proyectado MAGNA SIRGAS COLOMBIA BOGOTA, el DEM se descargó de la página del servicio Geológico de los Estados Unidos.

Para delimitar la microcuenca hidrográfica se recurrió al uso de la herramienta Hydrology de Arctoolbox del software ARCGIS10.3 licencia académica de la universidad francisco de Paula Santander a continuación se presenta el proceso usado para realizar la delimitación espacial.

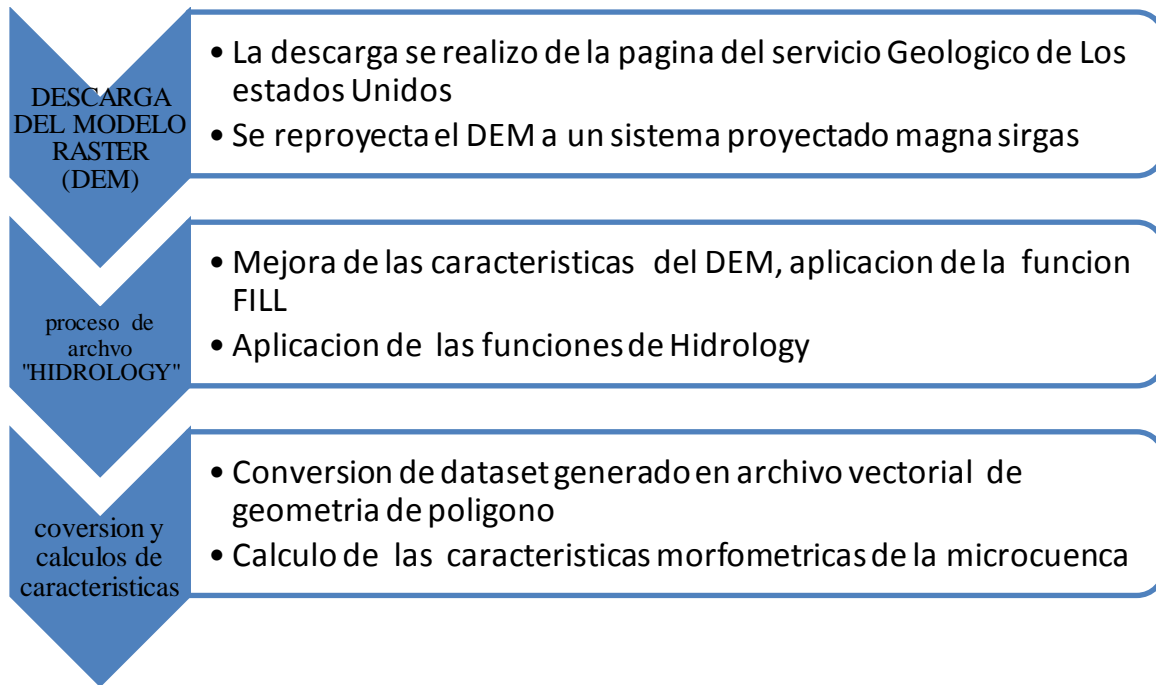


Figura 23. Proceso para delimitación de la microcuenca quebrada la Esperanza.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

Como resultado del proceso anterior se obtuvo el polígono de la microcuenca quebrada la Esperanza usando como punto de desfogue la localización Geográfica de la bocatoma de captación del acueducto del casco urbano del acueducto de Aguas Calaras.

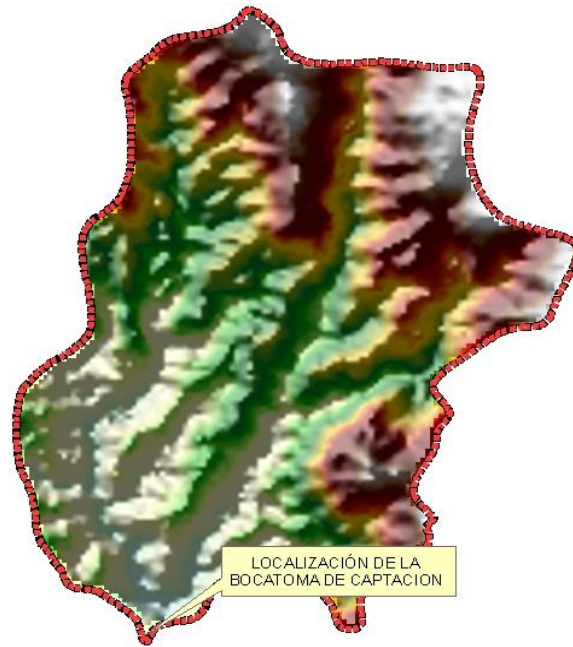


Figura 24. Polígono de la microcuenca quebrada la esperanza generado a partir de un modelo digital de elevación.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

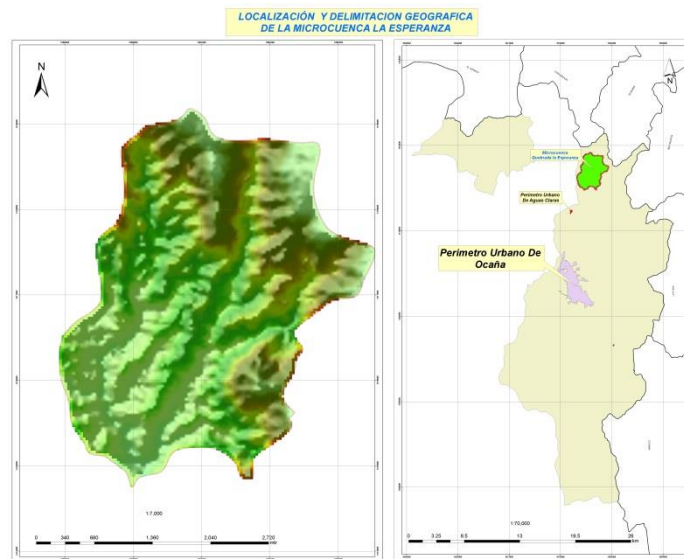


Figura 25. Mapa del límite y localización Geográfica de la microcuenca quebrada el Carmen

Fuente. Elaboración Propia 2016.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

A partir del polígono de la microcuenca se calcularon los siguientes parámetros morfométricos.

Área superficial: 999.47886Ha.

Área superficial: 9.994789 km<sup>2</sup>

Perímetro: 9.994789Km.

**Características Altimétricas de la Microcuenca.** Lo que se denomina comportamiento hidromorfológico de la microcuenca estas características hacen referencia al caudal a diferentes periodos de retorno, procesos erosivos y potencial sedimentario están directamente relacionados con las características morfométricas tales como:

Área superficial.

Forma.

Pendiente media de la microcuenca.

Las características morfométricas afectan el comportamiento del volumen del flujo la velocidad de este (Jones, 1997), entonces se puede asegurar que existe una relación entre las características morfométricas de la microcuenca y los caudales máximos que se puedan presentar en esta.



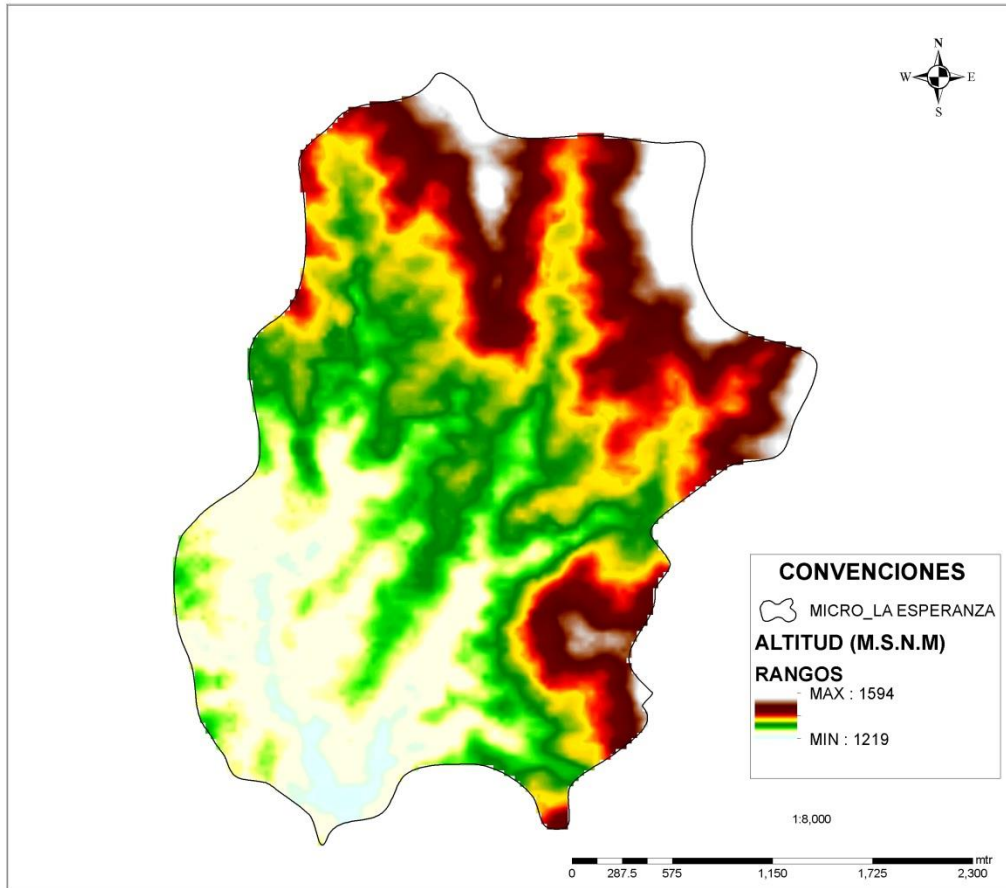


Figura 26. Modelo Digital de Elevación de la Microcuenca Quebrada La Esperanza Fuente.

Elaboración propia 2016.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

Ya que el relieve es una de las características morfométrica, que influye el régimen hídrico de la microcuenca afectando la distribución de las precipitaciones y de las temperaturas, se procedió a elaborar la temática de relieves de la microcuenca a partir del SHP de suelos y zonificación de tierras de Norte de Santander.

El área geográfica de la microcuenca se caracteriza por un paisaje de montaña y lomerío con una elevación media mínima de 1219mtrs y una máxima 1594, su paisaje montañoso le presenta unas fuertes pendientes estas se presentan al norte de la microcuenca, terminando en paisaje de lomerío el cual es la mayor parte de la microcuenca con aproximadamente unas 309.25Ha y un área en lomerío de 690.21Ha, los suelos de montaña son suelos excesivamente drenados y limitados por roca con baja fertilidad natural y los de lomerío son suelos muy superficiales y bien drenado de fertilidad natural (Estudio General de Suelos de Norte de Santander; 2006).

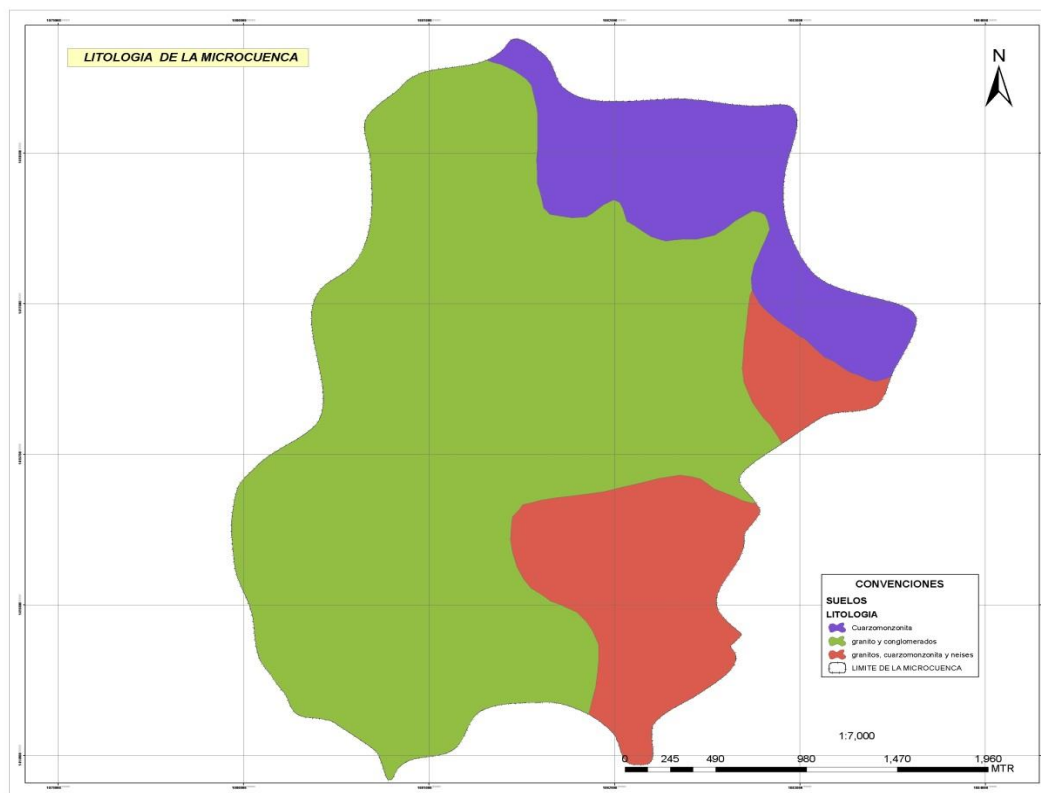


Figura 27. Litología presente en los suelos de la microcuenca quebrada la esperanza; fuente Elaboración propia 2016.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

**Clima e hidrología de la microcuenca Quebrada La Esperanza. Precipitación y temperaturas promedio anuales de la microcuenca.** El gradiente altitudinal de la microcuenca se encuentra marcado por una diferencia de 379mtrs de altura, según el POMCHRA. de la cuenca del río algodónal la microcuenca presenta una precipitación anual de 1161.33mm hasta los 1223.06mm en la zona norte de esta cálculos de precipitación realizados mediante la metodología de Polígonos de Thiessen.

Una temperatura promedio anual de 21.12C° hasta los 21.7°C según los polígonos de Thiessen que presenta el PONCHRA de la cuenca del río algodónal la zona norte de la microcuenca es la de mayor temperatura sin presentarse gradientes térmicos importantes.

**Hidrografía de la microcuenca.** Esta microcuenca cuenta con una longitud total de drenajes de 23711.73mtrs según los resultados del procesamiento de las capas geográficas de Red hídrica del Municipio de Ocaña capa procedente de CORPONOR, dentro de esta red hídrica la corriente principal se denomina quebrada la esperanza con una longitud aproximada de 4387.029mtrs la relación de la red hídrica se presenta en el siguiente cuadro.

Tabla 1. Relación de las corrientes que conforman la red hidrica de la microcuenca quebrada la esperanza.

<b>Nombre de la Corriente</b>	<b>COD_CORRIE</b>	<b>ORDEN</b>	<b>mtrs</b>	<b>km</b>
QBDA La ESPERANZA	1605-02-01-0547	3	4387.029637	4.38703
Drenaje	1605-02-01-0566	1	586.988487	0.586988
Drenaje	1605-02-01-0564	1	502.549829	0.50255
Drenaje	1605-02-01-0575	1	433.041558	0.433042
Q. Publico	1605-02-01-0577	2	1260.84689	1.260847
Drenaje	1605-02-01-0579	1	765.915474	0.765915
Drenaje	1605-02-01-0576	1	834.312887	0.834313
Q. Los Cucos	1605-02-01-0581	3	3870.660411	3.87066
Drenaje	1605-02-01-0589	1	548.739302	0.548739
Drenaje	1605-02-01-0587	1	641.99413	0.641994
Drenaje	1605-02-01-0590	1	1283.335853	1.283336
Drenaje	1605-02-01-0591	1	755.449275	0.755449
Drenaje	1605-02-01-0582	1	365.127538	0.365128
Drenaje	1605-02-01-0583	1	202.699156	0.202699
Drenaje	1605-02-01-0585	1	530.570546	0.530571
Drenaje	1605-02-01-0586	1	609.796357	0.609796
Drenaje	1605-02-01-0588	1	331.693715	0.331694
Drenaje	1605-02-01-0588	1	832.529029	0.832529
Drenaje	1605-02-01-0567	1	362.956708	0.362957
QBDA LA CANTINA	1605-02-01-0592	1	2258.91295	2.258913
QBDA LAGUNITA	1605-02-01-0568	2	2346.587682	2.346588

Fuente. Autor del proyecto

**Densidad de drenajes.** Esta se define como la longitud total de los cauces (L) dentro de la cuenca dividida entre el área total de drenaje (Ac), y es expresada mediante la relación:

$$Dd=L/Ac$$

$$= 23.71/9.99$$

$$= 2.37\text{Km}/\text{KM}^2$$

**Densidad de la corriente.** Esta es definida mediante la relación del número total de cauces (Nu), independientemente del número de orden de cauce (U), entre el área de la cuenca (Ac) o sea:

$$Dc= Un/Ac$$

$$Dc= 21/10.54$$

$$DC= 1.99 \text{ Km}/\text{KM}^2$$

Los resultados en el cálculo de densidad de drenajes obtenida a partir de la ecuación específica podemos inferir que la Microcuenca de la quebrada la esperanza presenta un arrastre de sedimentos de  $1900\text{m}^3/\text{km}^2/\text{año}$ , no existe manera de que por medio de esta investigación sepamos el origen de estos sedimentos ya no contamos ni con los recursos técnicos, económico para establecer el origen de los sedimentos, Según Horton (1978), por su orden de drenaje la microcuenca es de un orden 3.

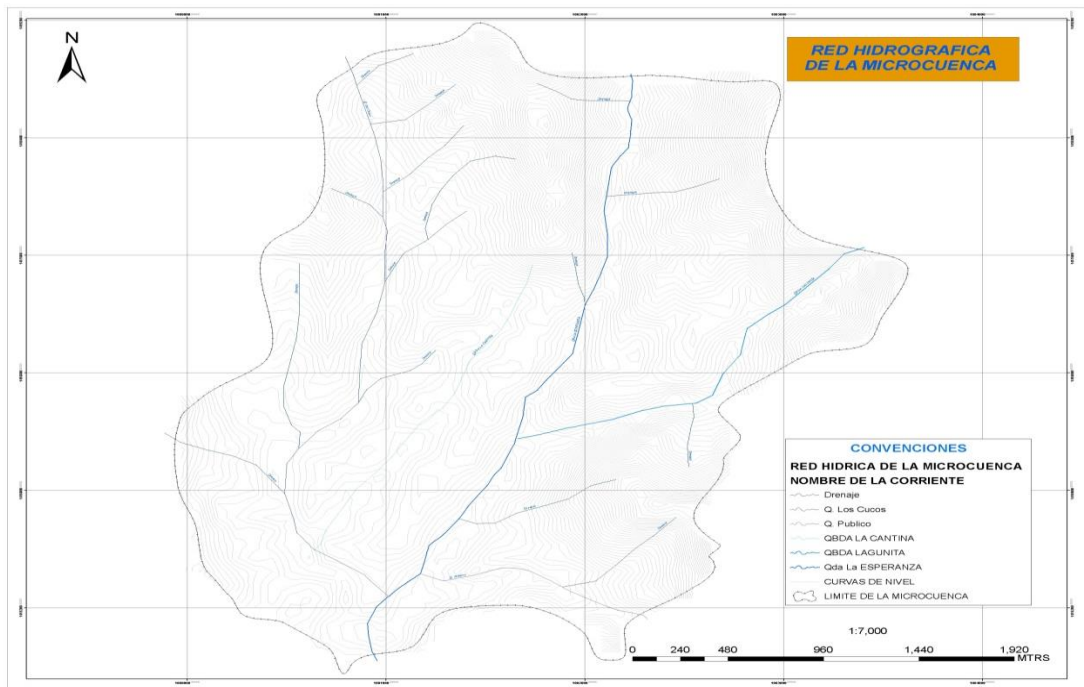


Figura 28. Hidrografía de la microcuenca quebrada la esperanza, fuente; elaboración propia.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

**Pendiente media de la microcuenca.** La determinación de la pendiente media de la microcuenca se realizó mediante el uso del software SIG ARCGIS 10.3 licencia académica de la universidad francisco de Paula Santander Ocaña, en el cual se procesó un modelo digital de elevación con una resolución espacial de 30mtrs procedente del servicio geológico de los estados unidos.

La pendiente media de la cuenca tiene la influencia fundamental en el régimen hidrológico puesto que la tiene sobre precipitaciones que alimentan el ciclo hidrológico a partir de la curva Hipsométrica se puede determinar de forma fácil la elevación media de la Microcuenca cuenca (Liney et. al 1994), la cual equivale a la cota correspondiente al 50% del área, esto nos permitirá a definir el relieve de la Microcuenca por medio de esta curva.

### Determinación de la curva Hipsométrica.

Las curvas hipsométricas reflejan características del ciclo erosivo de la Microcuenca y del tipo de cuenca. Para la determinación de la curva Hipsométrica de la microcuenca Esperanza se aplicó el método de Horton implementado en el software SIG ARCGIS 10.3, el software determina la pendiente media aplicando dentro de su programación la siguiente ecuación:

$$Sc = Dn * Lb / Ac$$

Como resultado se estimó que la pendiente media de la microcuenca es de 17.69%

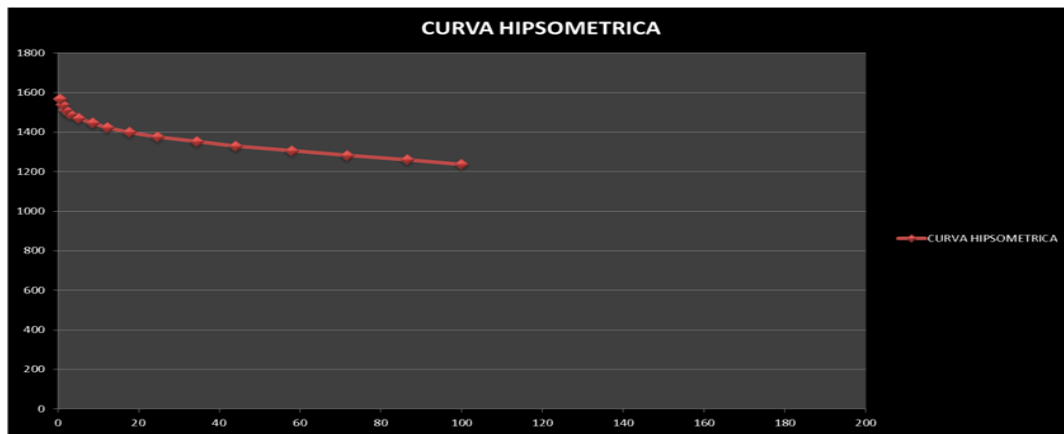


Figura 29. Curva Hipsométrica calculada a partir de un DEM de 30mtrs de resolución para la microcuenca quebrada la Esperanza, Elaboración Propia.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

Como análisis de la curva Hipsométrica obtenida de graficar de los datos geomorfológicos de la microcuenca la Esperanza y encontrando una similitud con la imagen de tipos de curvas Hipsométricas se puede concluir que es una Microcuenca con gran potencial erosivo en una fase de juventud en términos geológicos.



Figura 30. Registro Fotográfico de las visitas a la zona de la microcuenca quebrada la Esperanza.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

#### **4.2 Áreas potencialmente en riesgo de erosión hídrica mediante la aplicación de la ecuación universal de pérdida de suelos revisada USLE – RUSLE.**

Determinación del factor de erosividad de las precipitaciones en la microcuenca quebrada la Esperanza (según Morgan, Roose, Foster y el índice modificado de Fournier).



La primera etapa del proceso consistió en corregir posibles errores que se presentaron en el DEM mediante el uso de la herramienta FILL de ArcToolbox de ArcGIS 10.3, como lo indica la siguiente imagen.

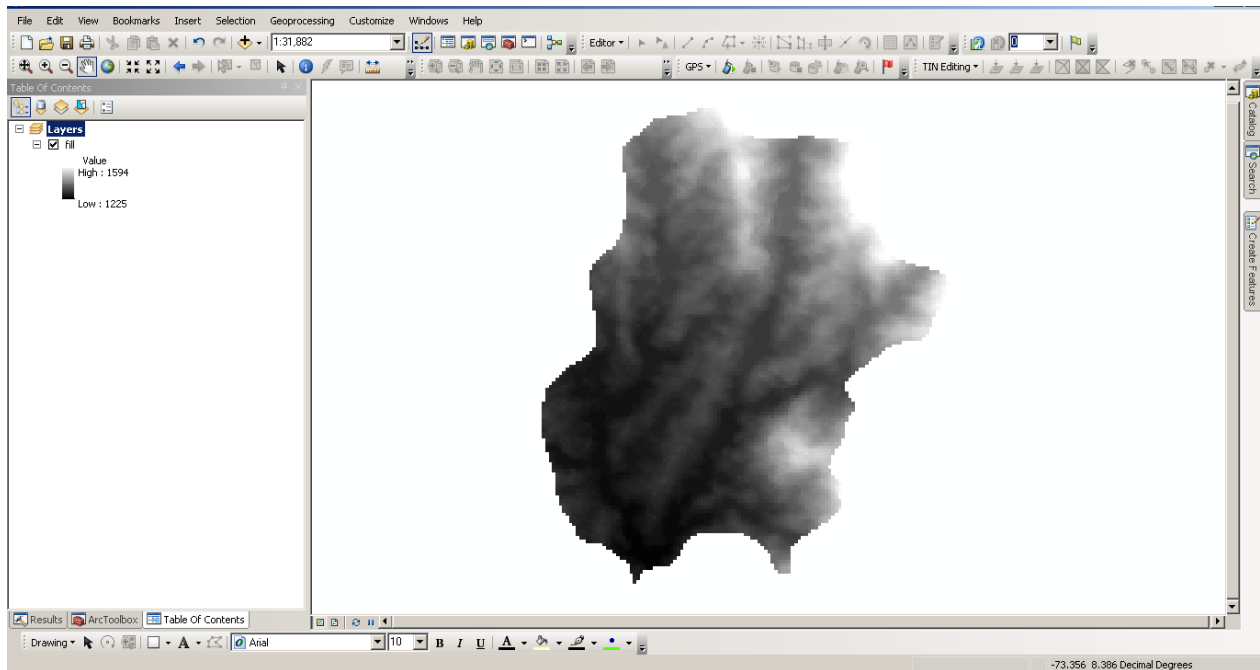


Figura 31. IP del modelo digital de elevación procesado en el software SIG mediante la herramienta FILL, Elaboración Propia.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

Se generó el raster de pendiente mediante la herramienta Slope y a partir de esta raster se calcula el factor L para el cual el software SIG mediante la calculadora raster resuelve la siguiente ecuación.

$$L = \left( \frac{\lambda}{22,13} \right)^m \quad m = \frac{F}{(1+F)} \quad F = \frac{\sin \beta / 0,0896}{3(\sin \beta)^{0,8} + 0,56}$$

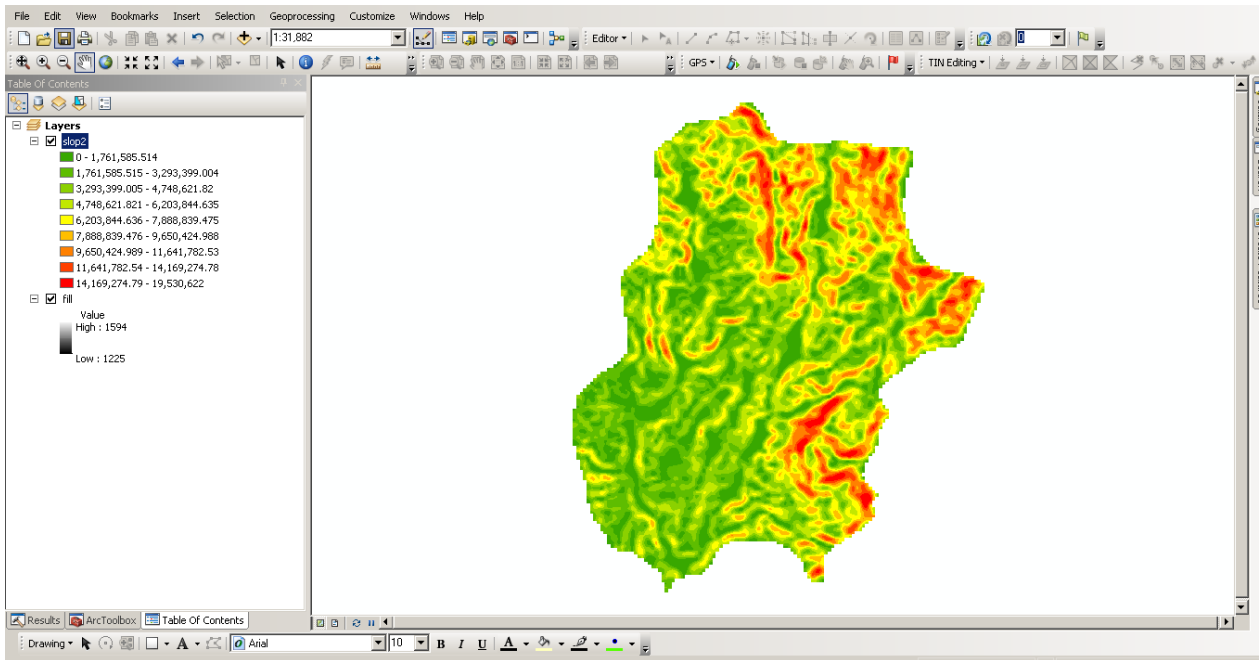


Figura 32. Raster de pendientes de la microcuenca quebrada la esperanza, elaboración propia.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

Para realizar el cálculo de este factor se procede con la calculadora raster que se encuentra en el álgebra de mapas del software SIG ARCGIS 10.3.

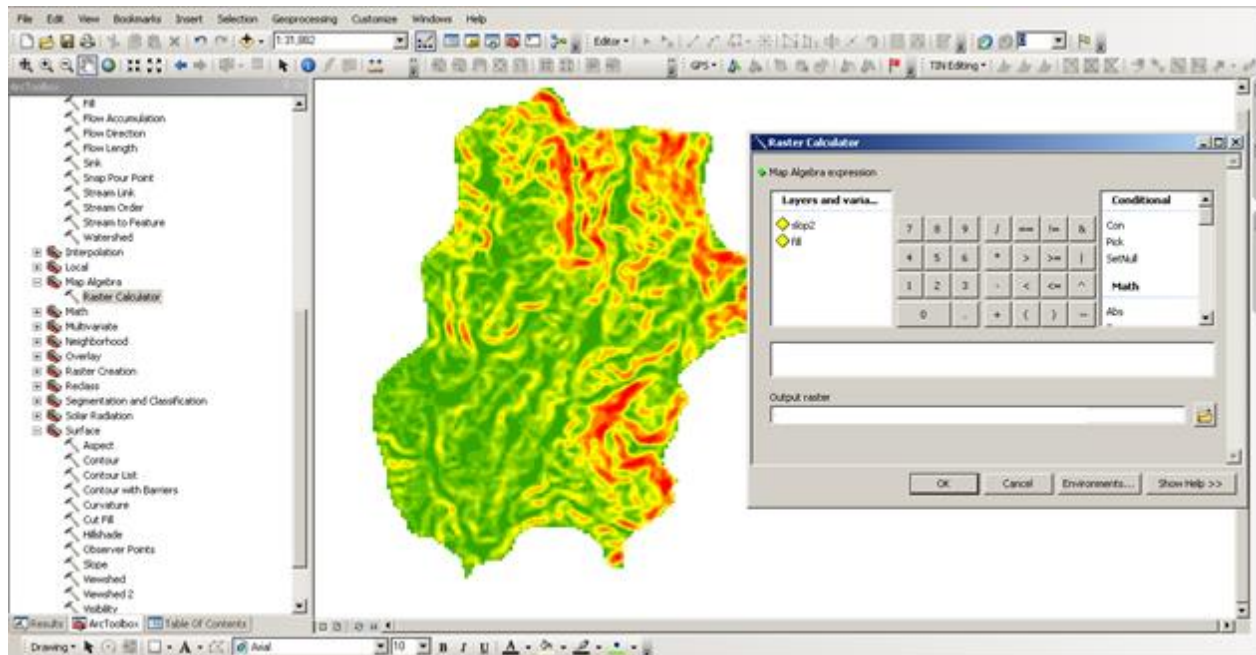


Figura 33. Uso de la calculadora raster en el álgebra de mapas, fuente propia.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

La fórmula se reemplazó en la calculadora raster quedando de la siguiente manera.

$$((\text{Sin} ("slop2") * 0.01745) / 0.0896) / 3 * \text{Power} (\text{Sin} ("slop2" * 0.01745), 0.8) + 0.56)).$$

**Calculo del factor R.** Para poder realizar el cálculo de este factor el cual es el factor erosivo de la lluvia se usó la fórmula ARNOLDS, la cual depende de la precipitación mensual y anual en el área de la microcuenca quebrada la esperanza el raster de precipitación se generó a partir de las estaciones climatológicas activas del catálogo del IDEAM de las cuales se solicitó la información mediante correo electrónico.

Tabla 2. Relación de las estaciones activas del IDEAM usadas para el cálculo de la precipitación media mensual y media anual, elaboración propia.

Lugar de ubicación de las estaciones	Tipo de estación	Código Estación	Longitud	Latitud	Elevación
Aguas claras	Climatológica principal	1605501	73° 21 27	8° 18 52	1435
UFPSO	Climatológica Ordinaria	1605510	73° 19 19	8° 14 16	1150
Otare	Pluviométrica	1605017	73° 25 23	8° 24 5	1545
Montecitos (Mun. La playa)	Pluviométrica	1605026	73° 14 46	8° 11 56	1400
La Playa de Belén	Climatológica ordinaria	1605506	73° 14 5	8° 13 1	1500

Fuente. Autores.

NACIONAL AMBIENTAL		FECHA DE PROCESO	FECHA DE PROCESO	FECHA DE PROCESO	VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACION (mms)												NACIONAL AMBIENTAL																
		EST	CP	DEPTO	NORTE SANTANDER	FECHA-SUSPENSIÓN	ELEVACION	1430 m.s.n.m	REGIONAL	OS	SANTANDERES	CORRIENTE	ALGODONAL			TIPO																	
		MUNICIPIO	ABREGO																														
		MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL																					
																AÑO EST	ENT	ENERO	FEBRE														
8085 N																1969	201																
IDEAM		197.9	196.4	145.4	29.6	223.7	159.0	231.3	67.0	15.7	726.3	1970	201	36.7	3	32.3	50.0	288.3	75.5	149.9													
		5	1282.8	3	1972	2	01	1.8	3	81.6	64.7	191.0	200.6	95.3	3.0	110.1	64.1	84.4	19.2	7.0	922.8	3	1973	2	01								
		9.1	0	41.8	3	124.5	3	26.1	104.5	74.0	140.4	3	1971	2	01	45.8	6.4	25.8	3	118.4	243.7	26.2	4.5	195.2	248.0	259.0	109.3						
		514.2	78.8	37.9	142.2	226.0	143.5	76.3	140.4	153.1	139.1	18.5	147.0	18.5	147.0	14.6	85.3	92.0	263.3	68.1	98.1	15.3	7.7	15.3	70.7	141.3							
		258.4	237.2	134.7	134.1	1528.1	1976	2	01	76.3	140.4	153.1	139.1	18.5	147.0	14.6	85.3	92.0	263.3	68.1	98.1	15.3	7.7	15.3	70.7	141.3							
		609.1	3	1977	1	01	71.1	3	147.4	26.9	8	42.6	192.7	60.8	81.9	138.0	67.7	215.8	83.0	.5	1128.4	3	1978	2	01	3	2.6						
		3	116.8	208.9	216.2	82.8	72.1	148.2	119.8	143.3	44.5	6.2	1101.6	3	1979	2	01	2.9	66.9	22.0	58.7	195.2	221.4	178.8	144.2	179.3							
		420.6	128.2	190.7	171.6	46.4	5.0	1385.4	1980	2	01	4.7	11.4	245.6	165.3	55.4	238.3	155.0	271.1	47.4	94.9	195.2	221.4	178.8	144.2	179.3							
		93.6	21.5	951.7	1981	2	01	.0	42.8	41.1	135.2	245.6	165.3	55.4	238.3	155.0	271.1	47.4	94.9	195.2	221.4	178.8	144.2	179.3									
		4.0	18.6	3	113	100.2	299.9	51.9	58.0	50.1	165.2	145.0	24.6	2.0	930.8	3	1983	2	01	.0	49.7	19.7	283.4	19.7	283.4	181.9							
		222.5	3	176.6	113.1	85.0	133.4	149.9	20.2	4.3	1259.8	3	1984	2	01	4.5	16.1	44.0	118.6	3	78.7	23.2	165.8	181.9	181.9								
		291.4	3	137.9	59.1	2.3	1121.4	3	1985	2	01	2.3	28.2	8.7	54.1	110.8	77.1	118.5	158.7	228.2	116.5	68.1	43.5	43.5	43.5								
		1023.7	1986	1	01	3.1	8	26.8	8	109.3	8	183.3	8	76.1	8	65.4	8	134.1	8	167.1	8	152.6	8	46.7	8	22.7	8	1016.6	1987	2	01	8.2	3.6
		23.6	98.1	102.6	50.0	59.2	120.0	323.7	118.0	43.3	11.4	41.6	32.6	991.9	1988	2	01	.0	.4	10.9	95.0	179.8	178.2	178.2	178.2	178.2							
		93.8	384.8	249.0	181.6	86.1	3	25.9	1485.5	3	1989	2	01	11.4	41.6	32.6	27.9	13.6	174.8	46.0	3	10.8	204.4	308.5	142.8	142.8							
		44.5	58.9	1076.2	3	1990	2	01	7.2	6.5	14.4	136.0	89.5	59.4	190.8	128.4	104.4	250.0	94.0	20.9	1101.5	1991	2	01	1.7	62.5							
		01	176.4	100.0	8.3	177.4	183.5	115.6	18.2	35.3	179.1	145.9	71.0	3	.0	936.8	3	1992	2	01	50.3	55.7	80.5	1.7	62.5								
		216.1	144.8	63.1	77.7	116.5	92.1	103.2	7.1	82.9	1993	2	01	23.2	87.5	69.8	85.9	220.7	158.5	196.2	7.1	56.3	5.1	56.3									
		943.0	3	1995	2	01	16.0	.0	21.1	240.6	143.3	97.7	193.2	301.6	206.7	195.6	33.8	3	4.6	1454.2	3	1996	1	01	.7	3.6							
		29.5	129.5	171.2	211.5	106.8	310.6	3	192.2	169.7	8	78.0	12.8	8	1416.1	3	1997	1	01	15.0	9.0	99.7	8	158.7	8	90.9							
		48.1	31.8	3	1317.7	3	1999	1	01	.0	36.4	29.1	118.6	158.8	8	52.1	55.1	100.3	307.3	203.3	80.3	28.6	1169.9	2000	1	01	48.9						
		01	12.0	13.2	.4	102.4	224.2	73.8	77.6	8	37.1	200.8	8	108.0	50.7	3	45.5	945.7	3	2001	1	01	3.3	.0	62.4								
		187.3	144.4	15.3	20.8	3	812.8	2003	1	01	2.4	1.2	32.4	166.1	29.8	246.4	57.6	271.6	276.6	238.3	134.7	127.6	91.6	3.5	50.4								
		1431.1	2004	1	01	1.1	22.0	4.6	164.3	129.5	63.7	135.0	77.6	251.9	136.8	88.4	15.9	1090.8	2005	1	01	33.5	25.9	25.9									
		64.9	3	84.5	227.0	184.8	110.7	68.1	129.2	217.2	1.0	145.4	28.0	.4	36.5	70.2	290.0	22.0	80.0	310.8	221.8	329.4	329.4										
		50.3	109.8	270.8	154.8	134.9	7.8	1214.3	2007	1	01	2.2	2.2	199.0	27.0	231.8	268.9	232.7	214.0	123.3	13.8	3	1399.6	3	2009	1	01	133.5					
		37	6.8	1407.4	2008	1	01	.1	13.5	9.4	64.1	199.0	27.0	231.8	268.9	232.7	214.0	123.3	13.8	3	1399.6	3	2009	1	01	133.5							
		01	21.4	9.0	43.8	54.8	226.2	114.9	15.1	159.9	107.4	97.6	140.2	16.5	1006.8	2010	1	01	.0	3	17.4	173.2	210.2										
		138.4	132.3	167.4	237.3	260.5	106.4	197.4	109.3	.0	1571.2	3	2011	1	01	9.2	11.2	40.8	163.4	241.2	125.4	81.3	3.7	3.7									
		220.6	210.7	156.8	29.6	1592.3	2012	1	01	.0	8	27.0	233.9	139.5	3	22.8	25.4	232.7	163.5	220.6	81.3	3.7	3.7										
		1171.2	3	2013	1	01	.0	24.4	15.7	41.8	57.5	57.7	9.5	114.4	153.3	172.7	3	66.9	24.3	738.2	3												
E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES																																	
FECHA DE PROCESO : 2016/04/12																																	
EST																																	
MUNICIPIO																																	
ABREGO																																	
		MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL																					
		24.7	124.7	119.5	3	98.9	105.7	3	56.5	20.7	153.3	175.7	66.9	24.3	703.9	3	2013	1	01	2.8	12.0	169.4	169.4										
																261.8	3	MEDIOS	10.5	20.4	32.4	113.6	176.3	90.0	78.9	149.5	191.8	169.4					

Figura 34. Datos de precipitación entregados por el IDEAM con series de tiempo de 20 años.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES  
 INFORMACION SISTEMA DE  
 1016/04/12 VALORES NO DIAS MENSUALES DE PRECIPITACION ESTACION : 16055040 ABREGO CENTRO ADMO LATITUD NACIONAL AMBIENTAL FECHA DE PROCESO :  
 DEPTO NORTE SANTANDER FECHA-INSTALACION 1969-JUL REGIONAL 08 SANTANDERES LONGITUD 7313 W ABREGO CENTRO ADMO ENTIDAD MUNICIPIO ABREGO TIPO EST CP  
 FECHA-SUSPENSION ELEVACION 1430 m.s.n.m REGIONAL 08 SANTANDERES CORRIENTE ALGODONAL AÑO EST ENT ENERO \* FEBRE \*  
 MARZO \* ABRIL \* MAYO \* JUNIO \* JULIO \* AGOST \* SEPTI \* OCTUB \* NOVIE \* DICIE \* VR ANUAL \*

DEPTO	NORTE	SANTANDER	FECHA-INSTALACION	1969-JUL	REGIONAL	08	SANTANDERES	LONGITUD	7313 W	ABREGO	CENTRO	ADMO	LATITUD	NACIONAL	AMBIENTAL	FECHA DE PROCESO :									
MARZO	24	17	3	24	16	5	22	19	22	13	8	4	85	3	1970	2	01	5	1	6	12	22	11	14	
ABRIL	1	154	3	1972	2	01	8	2	3	10	10	25	12	4	19	25	26	13	135	3	1973	2	01	13	
MAYO	6	11	7	3	13	3	18	9	11	17	24	11	4	11	13	21	9	4	9	3	4	5	6	11	
JUNIO	26	20	21	21	26	22	15	0	2	3	140	3	1975	2	01	5	14	141	3	1974	2	01	7	18	
JULIO	03	17	22	01	5	3	10	165	1976	2	01	0	2	3	14	15	16	11	10	13	1	7	19	8	6
AGOST	17	22	21	21	9	11	15	23	25	16	4	4	170	3	1979	2	01	2	1	131	3	1978	2	01	1
SEPTI	16	17	21	22	22	14	4	180	1980	2	01	9	22	10	2	2	10	22	10	1	21	23	19	19	23
OCTUB	2	7	4	16	15	19	9	8	7	17	20	24	8	2	21	9	12	2	21	9	24	22	19	20	
NOVI	22	14	9	16	15	19	9	9	4	133	1984	2	01	6	3	6	3	10	17	17	18	7	19	22	26
DICIE	21	13	3	1	11	8	16	20	18	11	11	14	161	3	1989	2	01	14	7	155	1988	2	01	16	0
VR ANUAL	13	21	22	1	15	7	30	140	3	1990	2	01	5	14	4	5	7	14	17	14	15	13	16	15	6
MARZO	18	19	11	2	19	24	18	13	0	148	1994	2	01	5	8	3	14	22	24	3	11	3	4	17	
ABRIL	2	1	4	5	5	12	12	18	14	18	3	1998	2	01	2	5	9	13	16	103	3	1997	1	01	1
MAYO	7	17	23	18	9	6	3	146	3	1999	1	01	0	10	9	15	9	15	13	16	26	24	24	1	
JUNIO	1	9	140	3	2000	1	01	7	4	17	10	17	9	15	9	15	13	3	5	93	3	2001	1	01	
JULIO	14	11	2	8	15	14	3	6	3	9	1	1	7	4	83	2002	1	01	5	1	2	12	7	10	
AGOST	21	11	5	4	5	125	2004	1	01	2	3	2	13	18	27	12	10	5	21	155	3	2006	1	01	
SEPTI	5	28	20	22	11	9	4	153	2008	1	01	1	7	5	8	17	9	13	9	23	20	22	9	17	
OCTUB	3	4	148	3	2009	1	01	11	11	19	16	12	15	13	14	12	6	5	153	2010	1	01	1	16	
NOVI	22	9	14	20	22	23	24	26	10	194	2012	1	01	0	1	9	24	8	3	8	7	19	16	116	
DICIE	3	2014	1	01	1	3	4	19	14	3	5	0	19	22	10	8	100	3							

Figura 35. Datos de precipitación entregados por el IDEAM .

Nota: Fuente: Autores del proyecto

IDEAM - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES  
 SISTEMA DE INFORMACION VALORES MAXIMOS MENSUALES DE PRECIPITACION (mms) NACIONAL  
 ESTACION : 16055040 ABREGO CENTRO ADMO LATITUD 0805 N EN 24 HORAS FECHA DE PROCESO : 2016/04/12 DEPTO NORTE SANTANDER FECHA-INSTALACION 1969  
 -JUL LONGITUD 7313 W ENTIDAD MUNICIPIO ABREGO TIPO EST CP REGIONAL  
 08 SANTANDERES CORRIENTE ALGODONAL AÑO EST ENT ENERO \* FEBRE \*

DEPTO	NORTE	SANTANDER	FECHA-INSTALACION	1969	REGIONAL
MARZO	35.1	39.6	3	23.6	34.4
ABRIL	5	55.6	3	1972	2
MAYO	6.4	0	13.1	3	24.6
JUNIO	55.0	45.3	15.2	41.6	8.8
JULIO	42.6	36.2	23.2	41.7	46.3
AGOST	48.0	3	1977	2	01
SEPTI	58.7	34.0	49.8	3	66.2
OCTUB	29.2	80.0	24.4	20.3	11.5
NOVI	35.4	11.4	53.1	1981	2
DICIE	2.5	5.5	6.7	25.6	48.3
VR ANUAL	35.7	45.7	46.4	30.4	17.4
MARZO	56.3	3	21.1	13.9	2
ABRIL	64.5	1987	2	01	3.6
MAYO	6.9	24.7	40.8	6.4	30.2
JUNIO	3.7	27.1	1	48.0	30.0
JULIO	29.1	1	7.9	80.5	1991
AGOST	01	25.1	1.3	1	20.5
SEPTI	41.1	12.0	38.8	12.2	39.9
OCTUB	20.0	30.9	39.1	3.1	39.1
NOVI	200.5	3	1996	2	01
DICIE	24.4	26.2	54.0	63.3	15.8
VR ANUAL	28.0	16.6	60.5	3	2000
MARZO	1	01	3.3	0	14.4
ABRIL	22.2	45.6	33.4	2.4	23.0
MAYO	36.4	60.3	47.2	40.0	8.3
JUNIO	8.2	54.6	2005	1	01
JULIO	10.0	17.5	47.7	64.4	63.5
AGOST	43.3	34.0	8.4	3	2009
SEPTI	2010	1	01	3	16.3
NOVI	48.5	48.2	21.3	36.6	43.2
DICIE	43.1	37.7	26.7	33.9	2.3

ESTACION	16055040	ABREGO CENTRO ADMO											LATITUD 0805 N		FECHA-INSTALACION 1969											
-JUL		LONGITUD	7313 W		ENTIDAD		01 IDEAM		MUNICIPIO		ABREGO		DEPTO		NORTE	SANTANDER	ELEVACION 1430 m.s.n.m		REGIONAL							
		OS SANTANDERES		CORRIENTE		ALGODONAL		AÑO EST		ENT	ENERO	FEBRE														
MARZO * ABRIL * MAYO * JUNIO * JULIO * AGOST * SEPTI * OCTUB * NOVIE * DICIE * VR ANUAL *																										
	34.1	36.1	35.2	22.8	11.5	35.6	34.8	3	19.4	12.4	8.1	0	35.6	3MEDIOS	6.8	11.3	15.2	2015	1	01	36.6	27.3	23.8			
200.5MINIMOS																										
	44.4	20.7	20.0	0.0	0.0	0.1	24.5	MAXIMOS	57.4	8.8	8.7	1.2	2.3	14.5	7.6	5.8	0.0	0.0	0.0	33.8	64.4	76.5	51.6			
I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES																										
SISTEMA DE INFORMACION VALORES MEDIOS MENSUALES DE TEMPERATURA (OC)																										
AMBIENTAL PROCESO DE 2016/04/12 ESTACION : 16055040																										
		OS SANTANDERES		CORRIENTE		ALGODONAL		AÑO EST		ENT	ENERO	FEBRE														
MARZO * ABRIL * MAYO * JUNIO * JULIO * AGOST * SEPTI * OCTUB * NOVIE * DICIE * VR ANUAL *																										
	20.7	20.0	20.2	19.8	19.8	20.8	1971	2	01	19.1	18.7	19.8	20.0	20.3	20.7	20.4	21.6	1969	2	01	21.7	21.8	21.0			
200.5MINIMOS																										
	18.8	19.8	1972	2	01	18.9	19.2	20.0	20.1	20.8	20.8	22.0	3	21.2	21.2	20.6	20.5	20.6	20.6	18.8	19.4	20.3	1973	2	01	21.0
I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES																										

Figura 36. Datos de precipitación entregados por el IDEAM.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

ESTACION	16055040	ABREGO CENTRO ADMO											LATITUD 0805 N		FECHA-INSTALACION 1969											
-JUL		LONGITUD	7313 W		ENTIDAD		01 IDEAM		MUNICIPIO		ABREGO		DEPTO		NORTE	SANTANDER	ELEVACION 1430 m.s.n.m		REGIONAL							
		OS SANTANDERES		CORRIENTE		ALGODONAL		AÑO EST		ENT	ENERO	FEBRE														
MARZO * ABRIL * MAYO * JUNIO * JULIO * AGOST * SEPTI * OCTUB * NOVIE * DICIE * VR ANUAL *																										
	20.9	20.7	22.8	41.9	21.7	21.9	22.1	3	2016	1	01	MEDIOS	19.9	20.3	20.8	21.1	21.2	21.2	21.4	21.5	21.5	21.1				
23.3MINIMOS																										
	26.9	30.7	1972	2	01	26.6	27.7	31.8	1971	2	01	27.8	27.8	31.0	30.7	29.7	27.5	28.7	29.1	29.4	29.3	31.0	1973	2	01	30.6
I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES																										
SISTEMA DE INFORMACION VALORES MAXIMOS MENSUALES DE TEMPERATURA (OC)																										
AMBIENTAL PROCESO DE 2016/04/12 ESTACION : 16055040																										
		OS SANTANDERES		CORRIENTE		ALGODONAL		AÑO EST		ENT	ENERO	FEBRE														
MARZO * ABRIL * MAYO * JUNIO * JULIO * AGOST * SEPTI * OCTUB * NOVIE * DICIE * VR ANUAL *																										
	27.8	27.8	27.0	30.7	30.0	29.6	29.9	27.7	29.0	30.7	3	1970	2	01	29.7	31.8	30.8	30.0	29.5	29.5	29.5	27.5				
200.5MINIMOS																										
	26.9	30.4	30.1	30.2	29.2	30.4	30.0	27.4	27.2	26.6	25.2	32.8	1974	2	01	26.2	28.0	28.0	29.0	29.2	28.2	31.0	1975	2	01	30.6
I D E A M - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES																										

Figura 37. Datos de precipitación entregados por el IDEAM.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES		VALORES MINIMOS MENSUALES DE TEMPERATURA (C°C)												NACIONAL AMBIENTAL		FECHA DE				
SISTEMA DE INFORMACION		ESTACION : 16055040 ABREGO CENTRO ADMO LATITUD 0805 N												01 IDEAM		TIPO EST				
PROCESO : 2016/04/12		DEPTO NORTE SANTANDER FECHA-INSTALACION 1969-JUL LONGITUD 7313 W												ENTIDAD		MUNICIPIO				
		ABREGO FECHA-SUSPENSIÓN ELEVACION 1430 m.s.n.m REGIONAL 08 SANTANDERES CORRIENTE ALGODONAL												AÑO EST		ENT ENERO FEBRE				
MARZO * ABRIL * MAYO * JUNIO * JULIO * AGOST * SEPTI * OCTUB * NOVIE * DICIE * VR ANUAL *																				
30.6	30.8	29.2	32.8	30.2	31.0	30.6	29.8	29.2	29.4	31.4	3	2015	1	01	29.5	29.3	28.8	29.1	29.6	29.4
29.0	28.2	27.7	28.3	28.9	MAXIMOS	32.4	32.8	32.6	*MEDIOS	28.4	29.0	32.2	32.4	32.6	32.6	32.4	32.0	32.8	30.2	31.8
32.8	MINIMOS	10.0	8.6	9.8	10.8	11.6	10.0	12.0	11.2	14.2	13.4	13.8	25.2	8.6						I D E A M

Figura 38. Datos de precipitación entregados por el IDEAM.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

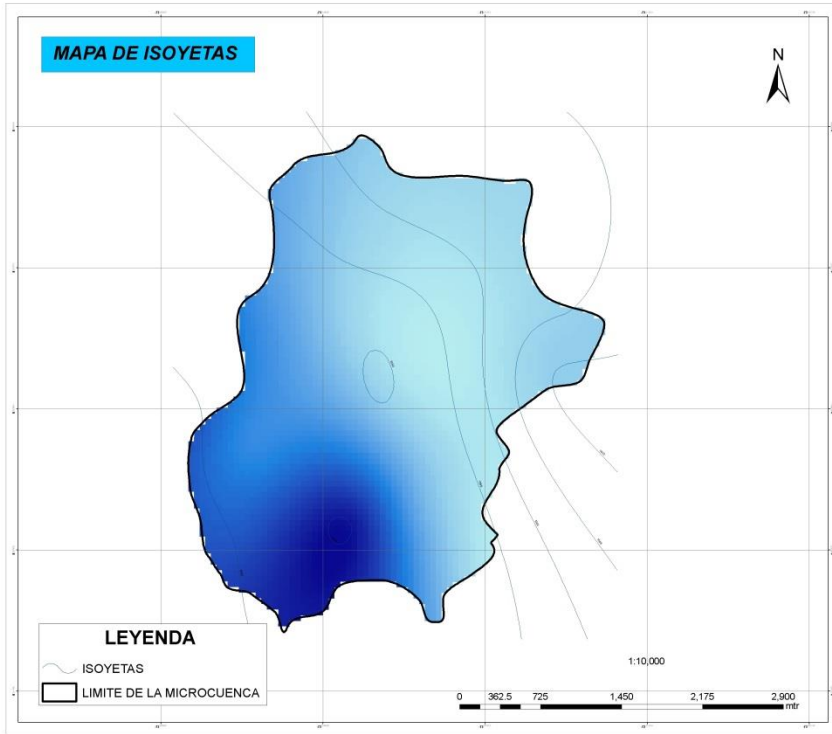


Figura 39. Mapa de Isoyetas de la microcuenca quebrada la esperanza.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

**Factor C (coberturas de la tierra y usos del suelo).** Para determinar el factor de coberturas de la tierra y de usos del suelo se usaron las imágenes de satélite landsat ETM y ALOS con fecha de escena de febrero del 2016 para la imagen Landsat y marzo del 2014 para la imagen ALOS. Como primera fase de este cálculo se reclasificaron las imágenes buscando las firmas espectrales y catalogándolas según la metodología CORINE LAND COVER la cual es la metodología oficial aprobada en Colombia para el cálculo de coberturas de la tierra.

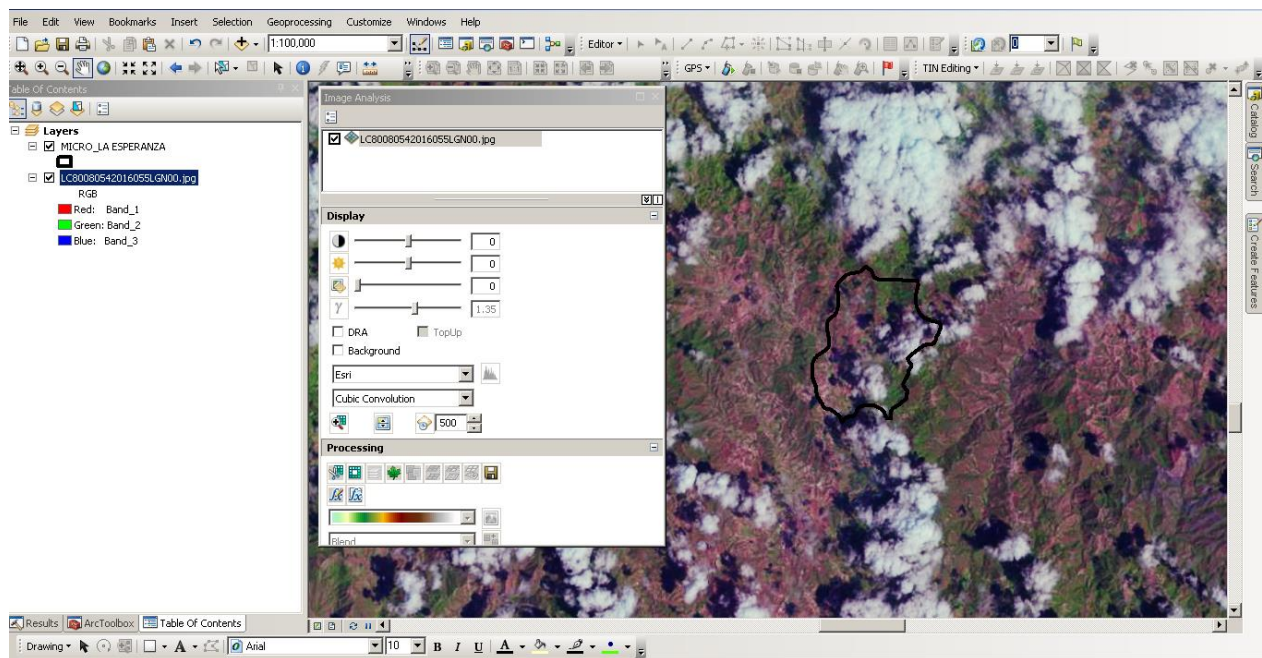


Figura 40. Análisis de la imagen Landsat para determinación de coberturas de la tierra, Fuente, Satélite Alos.

Nota: Fuente: Autores del proyecto



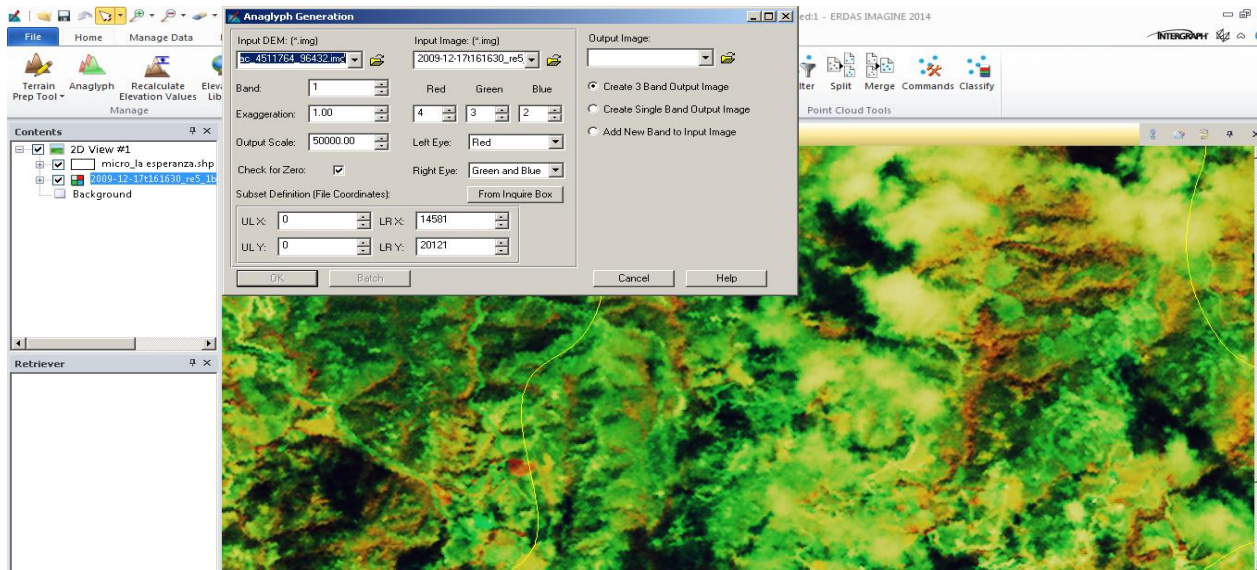


Figura 41. Análisis de la imagen ALOS para determinación de coberturas de la tierra, Fuente Satélite Alos.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

A cada imagen se le realizó la clasificación supervisada determinado 8 clases y 5 interacciones las cuales se presentan a continuación:

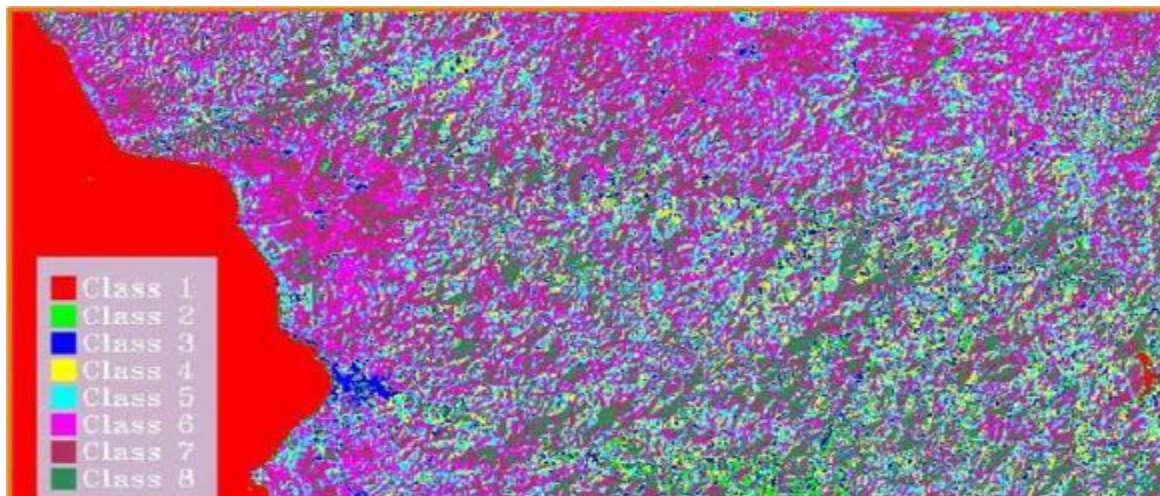


Figura 42. K-Means Mss.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

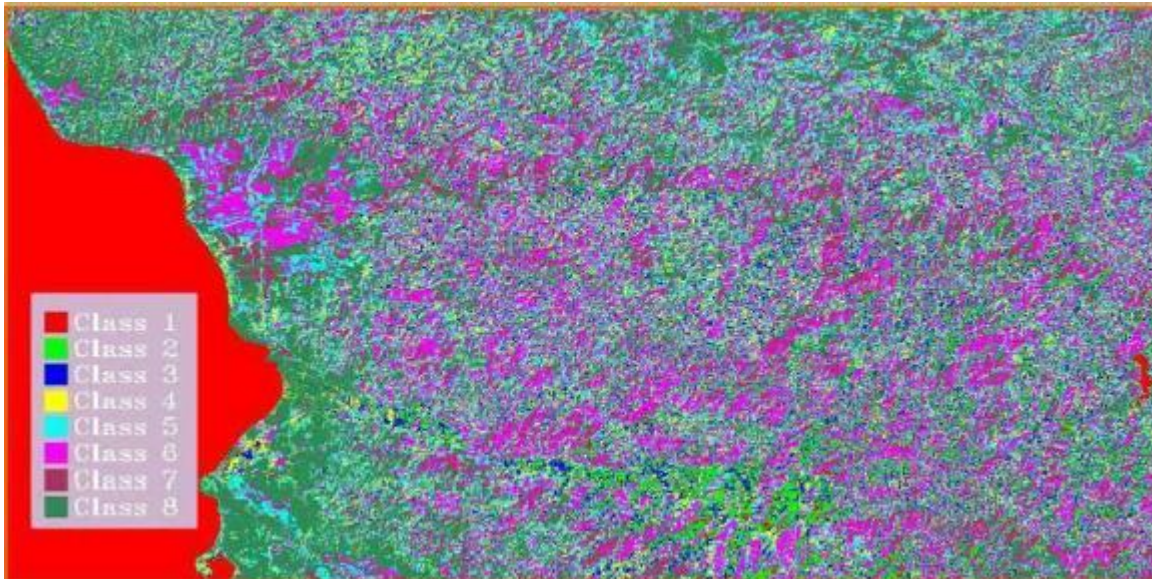


Figura 43. K-Means TM.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

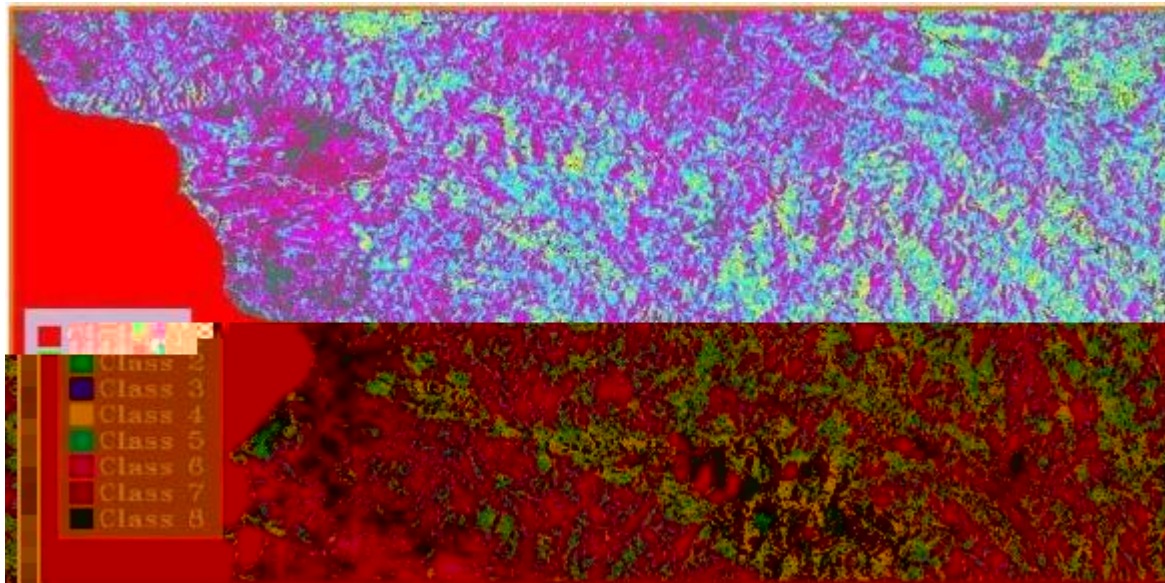


Figura 44. K-Means ETM+.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

A cada pixel de la zona de estudio le fue asignado una categoría de la clasificación y para cada una de esas clases se asignó un valor dependiendo este de la zona que representaba estos valores se presentan en la siguiente tabla.

CATEGORIA	C
CUERPOS DE AGUA	0
BOSQUE DENSO	0.002
BOSQUE INTERVENIDO	0.006
PASTOS	0.12
CULTIVOS	0.12

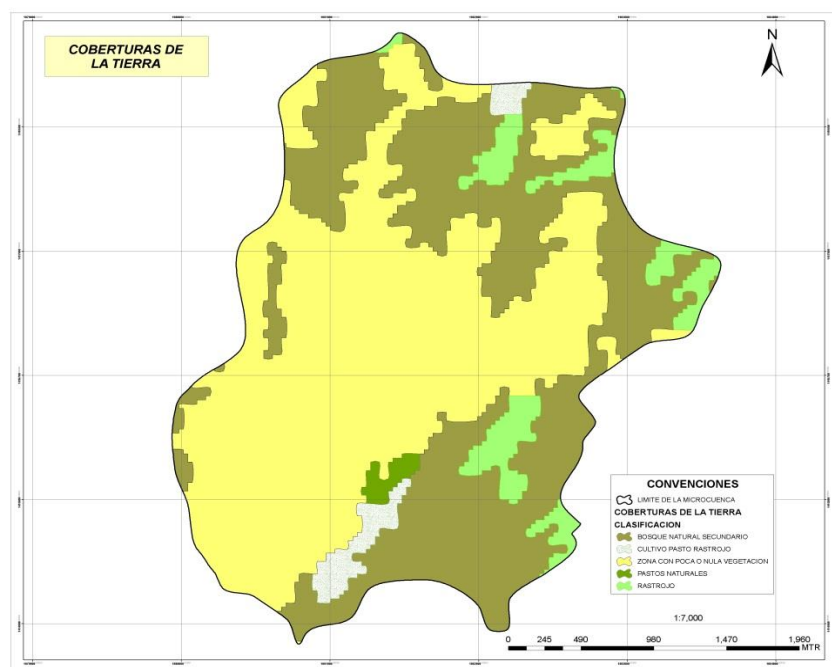


Figura 45. Relación de coberturas del suelo en la microcuenca quebrada la Esperanza.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

COBERTURA	GRAN_GRUPO	COD_SUBGRU	DEFINICION	COD_DEFMU	X_COORD	Y_COORD	X_COORD_1	Y_COORD_1	PERIMETER	HECTARES
Vegetal	Bosques	BNs	BOSQUE NATURAL SECUNDARIO	BNS	1080627	1417243	1080627	1417243	2291.922	8.109
Vegetal	Bosques	BNs	BOSQUE NATURAL SECUNDARIO	BNS	1081199.131	1418669.5	1081199.13	1418669.5	4921.33	52.727
Vegetal	Bosques	BNs	BOSQUE NATURAL SECUNDARIO	BNS	1080249.592	1416776.42	1080249.59	1416776.418	226.886	0.26
Vegetal	Bosques	BNs	BOSQUE NATURAL SECUNDARIO	BNS	1083940.75	1417520.25	1083940.75	1417520.25	389.142	0.378
Vegetal	Bosques	BNs	BOSQUE NATURAL SECUNDARIO	BNS	1079790.118	1416221.47	1079790.12	1416221.475	1992.942	5.971
Vegetal	Bosques	BNs	BOSQUE NATURAL SECUNDARIO	BNS	1081509.846	1398940	1081509.85	1398940	34795.003	320.499
Vegetal	Tierras agropecuarias	CPr	CULTIVO PASTO RASTROJO	CPR	1081211.563	1415501.56	1081211.56	1415501.563	3377.733	17.385
Vegetal	Tierras agropecuarias	CPr	CULTIVO PASTO RASTROJO	CPR	1082157.5	1418817.19	1082157.5	1418817.188	989.842	5.281
Eriales	Tierras eriales	ENzm	ZONAS CON POCA O NULA VEGENTACION	Er	1083191.5	1416738.56	1083191.5	1416738.563	1530.933	4.16
Eriales	Tierras eriales	ENzm	ZONAS CON POCA O NULA VEGENTACION	Er	1082637.5	1418502.81	1082637.5	1418502.813	2297.081	13.275
Eriales	Tierras eriales	ENzm	ZONAS CON POCA O NULA VEGENTACION	Er	1080746.063	1418708.63	1080746.06	1418708.625	1844.291	10.723
Eriales	Tierras eriales	ENzm	ZONAS CON POCA O NULA VEGENTACION	Er	1079684.926	1413194.06	1079684.93	1413194.063	24492.451	495.261
Vegetal	Tierras agropecuarias	Pm	PASTOS NATURALES	Pn	1081406.188	1415949.63	1081406.19	1415949.625	1752.52	7.59
Vegetal	Tierras agropecuarias	Rb	RASTROJO	Ra	1082698	1415606.63	1082698	1415606.625	2315.261	6.84
Vegetal	Tierras agropecuarias	Rb	RASTROJO	Ra	1082141.063	1416159.5	1082141.06	1416159.5	3078.106	18.583
Vegetal	Tierras agropecuarias	Rb	RASTROJO	Ra	1082819.747	1418248.75	1082819.75	1418248.75	2344.629	7.941
Vegetal	Tierras agropecuarias	Rb	RASTROJO	Ra	1082079.125	1418318.5	1082079.13	1418318.5	2050.381	10.547
Vegetal	Tierras agropecuarias	Rb	RASTROJO	Ra	1082953.688	1418909.31	1082953.69	1418909.313	306.877	0.217
Vegetal	Tierras agropecuarias	Rb	RASTROJO	Ra	1083219.727	1417875.25	1083219.73	1417875.25	3344.26	12.794
Vegetal	Tierras agropecuarias	Rb	RASTROJO	Ra	1080845.804	1419419.75	1080845.8	1419419.75	561.507	0.939

Figura 46. Relación de las coberturas existentes en la microcuenca quebrada la esperanza, elaboración Propia.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

La cobertura natural de la microcuenca ha experimentado grandes y traumáticos cambios, esto debido a las actividades antrópicas que allí se desarrollan, aún se conservan bosque naturales de forma fragmentada o relictos los cuales se localizan a las riveras de las quebradas de mayor importancia por su caudal.

Las zonas de mayor pendiente de la microcuenca aquellas que sobrepasan los rangos de 50% se encuentran con un mayor grado de conservación en cuanto a la vegetación natural. Una vez se obtuvieron los raster de estimación de los factores que componen la ecuación USLE RUSLE se realizó la interpolación Raster, y la vectorización de los archivos raster para obtener las áreas susceptibles a erosión dentro de la microcuenca quebrada la esperanza.

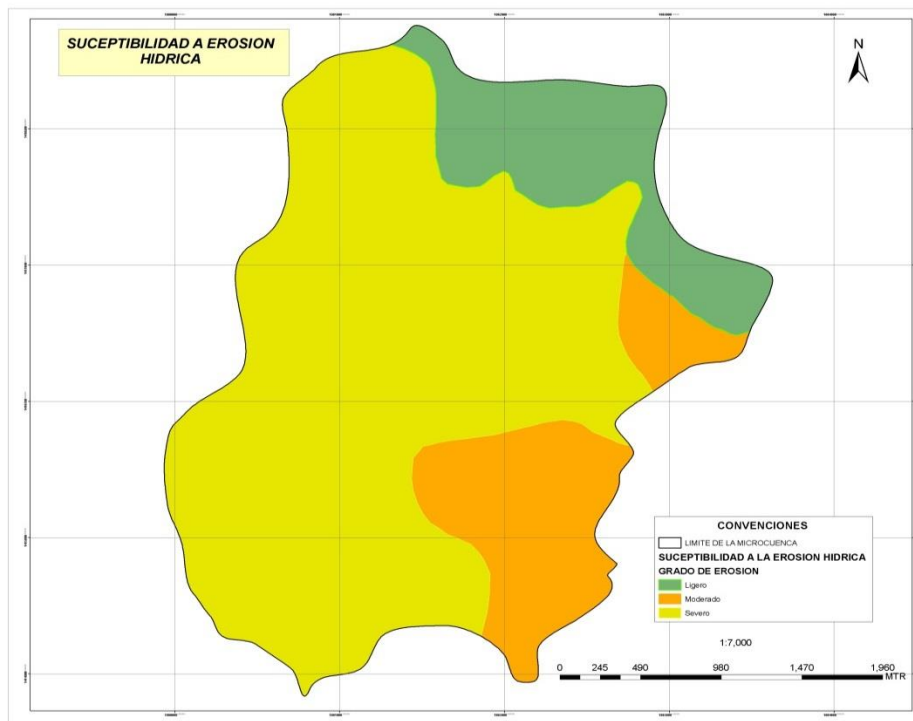


Figura 47. Mapa de la susceptibilidad de los suelos de la microcuenca quebrada la esperanza a la erosión hídrica.

Nota: Fuente: Autores del proyecto

Tabla 3. Relación de los suelos de la microcuenca la Esperanza y su susceptibilidad a erosión hídrica.

PROC_GEOMO	SIMBOLO DE LA UNIDAD	GRAD_EROS I	CLASIF_AG R	CLASIF_C A	AREA_HA S
Escorrimento difuso y concentrado en grado severo. Deslizamientos	LRAe3	Severo	VII	Muy bajo	690.218516
Soliflucción generalizada en grado moderado y severo, deslizamientos.	MQDf2	Moderado	VII	Muy bajo	164.892429
deslizamientos, soliflucción generalizado en grado ligero, reptación	MVBf1	Ligero	VII	Bajo	144.367915

Fuente. Autores.

#### **4.3 Establecimiento de la forma en que se produce la erosión y la intensidad de esta por medio de la implementación de USLE en un software SIG.**

Una vez analizada la base de datos que se generó con cada una de las temáticas construidas a partir del sistema de información Geográfica se analizó la forma en la que se produce la erosión.

Para esto se modelaron en el SIG los denominados microambientes los cuales se estimaron a partir de las respuestas de las zonas de laderas ante los diversos procesos erosivos que se viven en la microcuenca quebrada el Carmen, la metodología usada para definir los diversos microambientes fue la planteada por Ruiz – Faño (1993).

De forma concreta fueron realizados tres transeptos perpendiculares a la pendiente topográfica estos transeptos fueron ubicados en la parte superior, media y de la zona geográfica delimitada para la microcuenca quebrada la esperanza esto a través del perfil topográfico de la microcuenca construido con las curvas de nivel extraídas del DEM a 30mtrs de resolución espacial, de esta manera se pudieron diferenciar los siguientes ámbitos erosivos.

**Zonas no erosionadas o poco susceptibles.** Aquí fueron incluidos los enclaves en los que mediante el uso del SIG y el procesamiento de las imágenes de satélite no presentaron huellas de erosión hídrica superficial ni movimientos en masa rápidos, estas zonas mantienen lo que se denomina un bosque denso natural poco o nada intervenido.

**Áreas afectadas por erosión de carácter difuso.** Este tipo de procesos afecta aquellas superficies con poca o nula vegetación, también es más frecuente en aquellas zonas de ladera donde se desarrolla laboreo de suelo bajo técnicas como el subsolado, el arrastre de material puede afectar las zonas que son cubiertas por helechales (Lurralde, 1997).

**Zonas dominadas por erosión difusa fuerte.** Estos procesos afectan en gran manera aquellas zonas de ladera las cuales presentan nula vegetación las cuales están limitadas por roca en sus horizontes más superficiales esta es característica es una constante de los suelos con clase agrologica **VIII** y de acuerdo al Estudio General de suelos de Norte de Santander la microcuenca quebrada la esperanza cuenta con suelos clase agrologica 8.

**Perdidas de suelo en la microcuenca quebrada la Esperanza.** Bajo las anteriores condiciones el cálculo de la USLE, incorporada al software SIG, nos entrega una tasa erosiva media de 85tm/Ha/año, Oscilando entre las 3 y las 220tm , las pendientes elevadas que caracterizan el lugar, junto con las condiciones climáticas propias de la zona y el mal manejo de los suelos por parte de los habitantes y productores de la zona determinaron medianas tasas erosivas aproximadamente del 61,30% del territorio de la microcuenca presenta pérdidas de suelo mientras que la erosión nula o moderada afecta al 4,5% .



## Capítulo 5. Conclusiones

Gracias al desarrollo del presente trabajo de investigación se pudo entender, la forma correcta de la USLE – RUSLE, como ecuación empírica que busca establecer el comportamiento erosivo de un lugar específico, por medio de la implementación de los sistemas de información geográfica.

Para el desarrollo del presente trabajo se aplicaron los conocimientos específicos sobre cuencas hidrográficas su manejo y conservación de la unidad de análisis del territorio colombiano, se comprendió la aplicabilidad de los conceptos de aprendidos durante el desarrollo de nuestra academia, lo cual nos deja un grata experiencia como futuros profesionales de ingeniería ambiental.

Sin la implementación de los SIG se habría hecho muy dispendioso el desarrollo de un proyecto de investigación de este grado de complejidad dado que los SIG nos permitió la gestión de archivos geográficos y geofísicos de la zona de estudio y el procesamiento de las diferentes bases de datos climáticos y demás necesarios para el desarrollo de la investigación.

## Capítulo 6. Recomendaciones

Se recomienda que el gobierno local junto con los beneficiarios del acueducto urbano del corregimiento de aguas claras aúnen esfuerzos por la conservación del recurso suelo de la microcuenca quebrada la esperanza con el objetivo de minimizar el impacto de las actividades productivas en el recurso suelo y evitar su degradación .

Es recomendable que los futuros ingenieros ambientales profundicen en temas de manejo de software específico y de modelación lo cual les dé un valor agregado en el mercado laboral Colombia.

## Referencias

Foster & Meyer 1972; la Erosión se puede definir como el proceso de desprendimiento y transporte del suelo o material rocoso desde cualquier parte de la superficie de la tierra por parte de diferentes agentes erosivos.

Galvis Martin. Derby Ximena. Estimación de la generación de sedimentos en la cuenca hidrográfica del río sisga con base en la ecuación universal de pérdida de suelo. Universidad de la Salle facultad de ingeniería ambiental y sanitaria Bogotá 2008

Rasta (rapid soil and terrain assessment); ciat –biotec, 2010

[Alternativas ambientales para mitigar la erosión en la microcuenca la cofradia del municipio de san Francisco Putumayo] Gerardo Eliecer Burbano Guerrero; 2007.

Plan de ordenación y manejo de la cuenca hidrográfica del rio Bogotá. car; 2006.

[Erosión del suelo y fuentes de sedimentación en la cuenca del rio esera] análisis espacial y dinámica temporal mediante técnicas de simulación y teledetección; luis carlos alatorre cejudo; 2010.

Boletín del año internacional de los suelos], FAO; 2015.

[Determinación de la tasa de erosión hídrica en función del manejo forestal la cuenca del rio santa lucia]; 1997

UNESCO. Procesos de erosión y sedimentación en cauces y cuencas]: programa hidrológico internacional; 2010. [Guía para la descripción de suelos]; FAO 2009.

UNESCO [Reducción del riesgo de adaptación al cambio climático; segundo informe trimestral]; unidad agroclimatologica de corpoica centro de investigación de tibaitata; 2014.

UNESCO [Riesgo de erosión hídrica en la cuenca hidrográfica del río mundo] tesis para optar por el título de maestría en sistemas de información geográfica; dumas Salazar áfrica; 2012.

[Navegando entre brumas; la aplicación de los sistemas de información geográfica al análisis de riesgo en américa latina la red] red de estudios sociales en prevención de desastres en américa latina; 1998

Regollos, Martha. ing agrónomo; 2003 [Evaluación y monitoreo de modelos de erosión y sedimentación a escala regional usando sensores remotos y sig. caso de estudio en la región andina cochabamba, Bolivia]; 2003 [metodología para la evaluación de la erosión hídrica con modelos informáticos, aplicación del modelo geowepp a dos pequeñas cuencas en Madrid España]; tesis doctoral, [plan de gestión de la oferta del agua en las cuencas del ámbito del proyecto tacna] ministerio de vivienda construcción y saneamiento de la república del Perú, 2002.

## **Apéndice**

