	UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO	F-AC-DBL-007	10-04-2012	A	
Dependencia	Aprobado		Pág.	
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA	SUBDIRECTOR ACADEMICO		i(114)	

RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	LAURA MARIOTH AMAYA MEDINA ANDRIS ERNEY FORERO RUIDIAZ		
FACULTAD	DE CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE		
PLAN DE ESTUDIOS	INGENIERIA AMBIENTAL		
DIRECTOR	MARLON ALVAREZ BLANCO		
TÍTULO DE LA TESIS	“DIAGNÓSTICO DE LOS PROCESOS DE EROSIÓN Y SEDIMENTACIÓN EN LA MICROCUENCA DEL RIO TEJO TOMANDO COMO PUNTO DE CIERRE EL PAR DE COORDENADAS 8.249252 - 73.357064 MUNICIPIO DE OCAÑA NORTE DE SANTANDER”		
RESUMEN (70 palabras aproximadamente)			
<p>EL PROYECTO REALIZÓ LA INVESTIGACIÓN SOBRE LOS PROCESOS DE EROSIÓN Y SEDIMENTACIÓN PRESENTES EN LA MICROCUENCA DEL RIO TEJO DESDE SU PUNTO GEOGRÁFICO DE NACIMIENTO HASTA EL PAR DE COORDENADAS 8.249252 - 73.357064 DENOMINADO POR LOS AUTORES: “PUNTO DE CIERRE”; PARA ESTE ESTUDIO SE IMPLEMENTÓ LA ECUACIÓN USLE-RUSLE, MEDIANTE SU MODELACIÓN EN EL SOFTWARE SIG ARCGIS EN SU VERSIÓN 10.3 LICENCIA ACADÉMICA DE LA UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA.</p>			
CARACTERÍSTICAS			
PÁGINAS: 115	PLANOS:	ILUSTRACIONES: 65	CD-ROM: 1



VÍA ACOLSURE, SEDE EL ALGODONAL. OCAÑA N. DE S.
Línea Gratuita Nacional 018000 121022 / PBX: 097-5690088
www.ufpso.edu.co



**DIAGNÓSTICO DE LOS PROCESOS DE EROSIÓN Y SEDIMENTACIÓN EN
LA MICROCUENCA DEL RIO TEJO TOMANDO COMO PUNTO DE CIERRE EL
PAR DE COORDENADAS 8.249252 - 73.357064 MUNICIPIO DE OCAÑA NORTE DE
SANTANDER.**

Autores:

**ANDRIS ERNEY FORERO RUIDIAZ
LAURA MARIOTH AMAYA MEDINA**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Ingeniero Ambiental

Director:

**MARLON ALVAREZ BLANCO
Ing. Ambiental**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA
FALCULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y DEL AMBIENTE
INGENIERIA AMBIENTAL**

Ocaña, Colombia

Octubre, 2016

Índice

Capítulo 1. Diagnóstico de los procesos de erosión y sedimentación en la microcuenca del río tejo tomando como punto de cierre el par de coordenadas 8.249252 - 73.357064 municipio de Ocaña Norte de Santander.....	1
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.	5
1.5.3. Temporal.	5
1.5.4. Geográfica.....	5
Capítulo 2. Marco Referencial	6
2.1 Marco Histórico	6
2.1.1. Antecedentes Históricos a Nivel Internacional de Estudios de Erosión y Sedimentación en zonas de cuencas y microcuencas Hidrográficas.....	6
2.1.2. Antecedentes Históricos a Nivel Nacional de Estudios de Erosión y Sedimentación en zonas de cuencas y microcuencas Hidrográficas.	16
2.2 Marco Contextual	19
2.3. Marco Conceptual.....	23
2.2.1. Erosión.	23
2.2.2. Cuenca Hidrográfica.	23
2.2.3. Erosión Hídrica.	24
2.2.4. Sedimentación.....	24
2.2.5. Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada. (Forma Modificada).	25
2.2.6. Sistemas de Información Geográfica.	25
2.2.7. Suelo.	26

2.2.8. Precipitación.	26
2.2.9. Erosión por Flujo Laminar.	27
2.2.10. Erosión por Flujo Concentrado.	27
2.3. Marco Teórico	28
2.3.1. Índices de Erodabilidad de una tormenta.	31
2.3.2. La vegetación.	32
2.3.3. Efectos De La Erosión e Importancia De Su Estudio.	33
2.3.4. Modelos Matemáticos Para Estimar La Erosión.	33
2.3.5. La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE)	35
2.4. Marco Legal.	40
Capítulo 3. Diseño Metodológico	42
3.1. Tipo de Investigación	42
3.2. Población	42
3.3. Muestra.	43
3.4. Procedimiento Metodológico	43
3.5. Técnicas de recolección de Datos.	44
3.5.1. Información Primaria.	44
3.5.2. Información Secundaria.	45
Capítulo 4. Cronograma de Actividades	46
Capítulo 5. Presentación De Resultados.	47
5.1. Resultados del Objetivo N° 1.	47
5.1.1. Gestión de la información geográfica oficial de la microcuenca y sus temáticas.	47
5.1.2. Delimitación de la zona geográfica de la microcuenca y zona de estudio.	50
5.1.3. Criterios para la selección del punto de cierre de la microcuenca del río Tejo.	51
5.1.4. Delimitación del área de estudio dentro de la cuenca del río Tejo.	52
5.1.5. Pendientes Del Terreno En el Área De Estudio.	54
5.1.6. Identificación en campo de los procesos de erosión.	57
5.1.7. Puntos geográficos con procesos erosivos encontrados en la parte alta de la cuenca.	58

5.1.8. Breve Diagnostico de los procesos erosivos según lo observado en campo.....	62
5.2. Resultados del Objetivo N° 2. Aplicar la ecuación de pérdida universal de suelo (USLE - RUSLE) en el área de la microcuenca por medio del uso del software SIG ArcGIS 10.3. ..	65
5.2.1 Altitudes de la zona de estudio	67
5.2.2 Erodabilidad del suelo de la cuenca del rio Tejo.	68
5.2.3. Erosividad De La Precipitación en la zona de estudio.....	75
5.2.4. Distribución espacial de la precipitación.	77
5.2.5. Intensidad y Duración de la lluvia.	79
5.2.6 Litología.....	81
5.2.7 Coberturas de la tierra.....	82
5.2.8 Determinación del Factor de erosividad de la lluvia por medio de un Modelo SIG.	86
5.2.9 Caculo del factor C “Coberturas del suelos” modelación en SIG.	87
5.2.10 Determinación del grado de erosión de los suelos en la cuenca del rio tejo.....	87
5.3 Resultados del Objetivo N° 3. Calculo del grado de sedimentación y volumen de sedimentos de arrastre en la microcuenca.	89
5.3.1 Análisis de curva Hipsométrica	92
Capítulo 6. Conclusiones.....	93
Recomendaciones.....	95
Referencias	96
Apéndice.....	98

Lista de Figuras

Figura 1. Cuenca hidrográfica del río mundo.	7
Figura 2. Esquema que muestra de forma resumida el procedimiento llevado a cabo.	8
Figura 3. Factor R Erosividad de la lluvia.	9
Figura 4. Factor de erodabilidad del suelo.	10
Figura 5. Imagen de la composición de color con Landsat ETM del valle de Cochabamba – Bolivia.	12
Figura 6. Flujo grama del modelo geomórfico de erosión.	13
Figura 7. Fracción de cobertura vegetal.	14
Figura 8. Factores de la erosión Hídrica.	17
Figura 9. Mapa de pendientes complejas en el municipio de Ocaña Norte de Santander.	18
Figura 10. Mapa de la localización del municipio de Ocaña en el Departamento Norte de Santander.	19
Figura 11. Mapa de paisajes en subzonas hidrográficas del departamento Norte de Santander.	20
Figura 12. Modelo 3D del paisaje de montaña y lomerío predominante en el área Geográfica del municipio de Ocaña.	21
Figura 13. Localización Geográfica de la Reserva Forestal Protectora Cuenca Alta Del Río Tejo.	22
Figura 14. IP del Arc Catalog de ArcGIS 10.3. El cual permite el pre visualización de los archivos entregados por CORPONOR y la Alcaldía municipal de Ocaña Norte de Santander.	48
Figura 15. IP del Arc catalogo que muestra el modelo digital de elevación.	49
Figura 16. IP de ArcCatalog de ArcGIS 10.3. que muestra una imagen de satélite descargada de geoportal Earth Explorer con fecha de imagen marzo del año 2016, la cual será usada para el proceso de la descripción del coberturas del suelo y determinación del factor C.	49
Figura 17. Ip de los Archivos de información climática de las diferentes estaciones de carácter activo dentro de la provincia de Ocaña, la información del IDEAM contiene información de precipitación y atmosférica de los últimos 25 años, esta información fue usada como insumo para la determinación del factor R dentro de la ecuación universal de pérdida de suelo.	50
Figura 18. Delimitación inicial de acuerdo a un punto de cierre elegido de forma arbitraria, la temática deja ver el área de protección de la microcuenca del río tejo según resolución del INDERENA, los puntos geográficos de la confluencia del río algodónal, río el limón, río de oro y río chiquito al río Tejo.	51
Figura 19. Data frem del límite del área de estudio dentro de la cuenca del río tejo, y su relación espacial frente a la localización de la ciudad de Ocaña N. S. según los archivos geográficos oficiales del municipio y el PBOT 2015.	53
Figura 20. Traslape del polígono (archivo vectorial) del límite del área de estudio de la cuenca del río tejo sobre el modelo digital de elevación DEM con una resolución del 30 mtrs para realizar el proceso de análisis de pendientes del terreno.	54
Figura 21. Resultado del proceso de extracción por mascara con el uso de la caja de herramienta de ArcGIS 10.3 versión académica de la Universidad Francisco de Paula	

Santander Ocaña.	55
Figuras 22., 23, 24,25. De izquierda a derecha muestra la topografía y los paisajes de montaña en gran parte de la zona de estudio en la cuenca del río tejo del municipio de Ocaña, para realizar la visita se contó con el acompañamiento de miembros de la comunidad que viven y realizan sus actividades productivas en la zona cuenca del río tejo parte alta y media.	56
Figura 26. Mapa de pendientes de la zona de estudio dentro de la microcuenca del río tejo, este mapa muestra la clasificación de los rangos de pendientes del terreno en forma de porcentaje según lo estipulado por el IGAC en el año 2010.	59
Figuras 27,28, 29, 30. De abajo hacia arriba muestran los procesos de erosión que se presentan dentro de la microcuenca del río tejo en su parte alta, imágenes tomadas mediante visita a campo en el mes de junio del año 2016.	60
Figuras 31, 32. De izquierda a derecha muestran el proceso de calibración de las antenas receptoras GPS, las cuales fueron usadas en el proceso de geolocalización, esta placa GPS#2 se encuentra localizada en la institución educativa SIMON BOLIVAR de la ciudad de Ocaña Norte de Santander.	60
Figura 33. Localización de los puntos que presentan procesos erosivos dentro del límite del área de estudio de la microcuenca del río tejo.	61
Figura 34. Límite de la zona parte alta delimitada a partir de las diferencias altitudinales dadas estas por las cotas de las curvas de nivel, en esta parte alta se lograron georreferenciar un total 55 puntos los cuales se simbolizan con geometría de puntos de color rojo, dentro de esta zona el drenaje de mayor importancia es la quebrada la chepa.	62
Figura 35. Límite de la parte media de la zona de estudio la cual se delimito a partir de las diferencias altitudinales de la microcuenca del tejo, la quebrada la chepa también recorre la zona de sur a norte en un recorrido total de 3.225344km.	63
Figura 36. Parte baja de la cuenca del río tejo dentro de la zona de estudio, donde se simbolizaron los 20 puntos erosivos que fueron identificados en campo y geolocalizados con la antena receptora GPS.	64
Figura 37. División de la zona de estudio por diferencias altitudinales de las cotas de curvas de nivel las cuales fueron extraídas a partir de un modelo digital de elevación.	65
Figura 38. Factores que influyen sobre la erosión hídrica de los suelos.	66
Figura 39. Diferencia de altitudes en la zona de estudio construido a partir de un modelo digital de elevación a 30mtrs de resolución el cual se descargó del geoportal EARTH EXPLORET, y su posterior reproyección a sistema Magna SIRGAS Colombia Bogotá.	67
Figura 40. Unidades texturales de los suelos presentes en la zona de estudio.	70
Figura 41. Profundidad de los suelos en la zona de estudio.	72
Figura 42. Clasificación del drenaje natural de los suelos en la zona de estudio según el estudio de suelos de Norte de Santander.	74
Figura 43. Ejemplo de las tablas de precipitación recibidas por parte del IDEAM, estas tablas contienen la información climática de una serie de tiempo de los últimos 20 años.	75
Figura 44. Localización de las estaciones activas del IDEAM marzo del 2016, y de las cuales se recibieron las series de tiempo para el análisis de la precipitación.	76
Figura 45. Mapa de precipitaciones en la zona de estudio, a partir de las Isoyetas realizadas en el software arcgis10.3 con los datos de lluvias de los últimos 20 años, datos entregados por el IDEAM en formato de archivo de texto.	77
Figura 46. Raster de la distribución espacial en la zona de Estudio.	78
Figura 47,48. De izquierda a derecha que muestra el paisaje de montaña y la vegetación	

de bosque natural que se presenta en la zona donde se registra la mayor precipitación en el año según el modelo de Isoyetas.	79
Figura 49. Tabla de los valores máximos mensuales de la precipitación en 24 horas (mm).	80
Figura 50. Cuadro resumen de la intensidad para distintos periodos de retorno establecidos para un periodo de concentración hasta cien minutos.	81
Figura 51. Litología de la zona de estudio según el estudio de suelos de Norte de Santander y Zonificación de tierras del año 2006.	82
Figura 52. Fotografía de la cobertura de bosque denso fragmentado, zonas de cultivos o tierras agrícolas, estas tierras agrícolas han estado aumentando en el área de la cuenca según los testimonios de los habitantes en la zona, lo cual se debe a que las actividades productivas aumentan y las tierras con capacidad agropecuaria disminuyen.	83
Figura 53. Coberturas de pajonales, esta cobertura se presenta en grandes zonas de la cuenca debido a que es una característica fundamental en los suelos de estas clases agrologicas VII-VIII. Estos suelos están limitados por roca y son de fuerte pendiente.	83
Figura 54. Cobertura de herbazales y zonas con poca o nula vegetación que se presentan en la cuenca del rio tejo, también coberturas tradicionales en los suelos de clase VII- VIII.	84
Figura 55. Pajonales, cultivos de frijol y zonas desnudas dentro de la microcuenca del rio tejo.	84
Figura 56. Bosque de galería zonas de cultivos y con poca o nula vegetación.	85
Figura 57. Bosque fragmentando en el paisaje de montaña de la cuenca del rio tejo.	85
Figura 58. Aplicación de la formula N°1 para cálculo del factor R, mediante el uso de la calculadora raster en un mapa de pendientes de la cuenca del rio tejo o área de estudio.	86
Figura 59. Valores de C, en relación de las coberturas del suelo.	87
Figura 60. Mapa del grado de erosión de los suelos en la microcuenca del rio tejo desde su nacimiento hasta el punto de cierre establecido para este proyecto.	88
Figura 61. IP del proceso de reclasificación del modelo digital de elevación en el software SIG ARCGIS10.3.	89
Figura 62. Resultado de la reclasificación del modelo digital de elevación con una cuenta igual a 20 categorías.	90
Figura 63. Resultados del procesamiento de la reclasificación del DEM con la herramienta zonal Statics de Arc tollbox.	91
Figura 64. Grafica de la curva Hipsométrica de la cuenca del rio tejo desde su nacimiento hasta el punto de cierre seleccionado para este estudio.	91
Figura 65. Tipos de curvas hipsométricas que pueden ser construidas a partir de las áreas entre curvas.	92

Lista de Tablas

Tabla 1. Sumario de información sobre las fuente de datos usados en la modelación de la erosión a escala regional.	15
Tabla 2. Características morfométricas de la aérea de estudio dentro de la cuenca del rio tejo.	53
Tabla 3. Relación de las clases texturales de suelos en la zona de estudio, y sus áreas junto con algunas de sus características, las cuales se encuentran descritas en el estudio de suelos y zonificación de tierras de Norte de Santander.	69
Tabla 4. Relación de la profundidad de suelos y sus texturas, junto al área que ocupan en la zona de estudio.	71
Tabla 5. Características de drenaje natural de los suelos en la zona de estudio	73

Resumen

El proyecto realizó la investigación sobre los procesos de erosión y sedimentación los cuales se presentan en la microcuenca del río Tejo desde su punto geográfico de nacimiento hasta un lugar denominado por los autores punto de cierre el cual no es más que la confluencia del río Tejo con el río Chiquito, este lugar fue escogido de forma arbitraria y con el único fin práctico de delimitar la cuenca hidrográfica del río Tejo, el proceso de diagnóstico de los procesos erosivos fue construido a partir de una serie de visitas a campo dentro de la zona de la cuenca delimitada para efectos del estudio, en estas visitas fueron georeferenciados los lugares que según el conocimiento de los autores son productos de procesos erosivos naturales e inducidos o potencializados por la actividad antrópica y que afectan de forma significativa el uso potencial de estos suelos.

Luego se procedió a graficar la curva hipsométrica de la cuenca y a partir de esta estimar el potencial de sedimentación, para poder obtener esta curva hipsométrica se debió calcular algunas características morfométricas de la cuenca por medio del uso de herramientas de sistemas de información geográfica; una vez obtenida la curva hipsométrica, y realizar el diagnóstico erosivo a nivel de área de trabajo, se desarrollaron en el software SIG 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 suelos USLE.

El uso de los sistemas de información geográfica para desarrollar cada uno de los factores que componen la ecuación se hizo necesario por la extensión geográfica de la zona

de estudio, si bien es cierto que la ecuación en sus inicios fue formulada para desarrollarse en parcelas pequeñas con el avance de los sistemas de información geográfica se hizo posible su aplicación a grandes territorios , minimizando los costos de investigación en cualquier proyecto de esta índole .

Introducción

La cuenca del río Tejo es abastecedora del 40% del caudal de agua potable con el que se surte la ciudad de Ocaña Norte de Santander, esta microcuenca es de carácter rural y urbano y antes de drenar sus aguas al río Algodonal recibe las aguas de numerosos cuerpos de agua naturales desde quebradas, caños, hasta ríos; dentro de los ríos de importancia se encuentran el río Chiquito el cual a su vez colecta las aguas de las quebradas El Tejar y El Molino como las tributarias más importantes; el río Chiquito es el colector de aguas residuales de uso doméstico, comercial e industrial más significativo de la ciudad y el cual tributa sus aguas al río Tejo en las coordenadas geográficas 8.249252 - 73.357064.

Este punto geográfico se denominó para efectos de este estudio como punto de cierre, dado que la microcuenca del río Tejo termina en su confluencia con el río Algodonal y después de recibir las aguas de los ríos Chiquito, Río de Oro y El Limón, por lo anterior debía definirse un área geográfica de estudio que fuera más pequeña que la totalidad de la microcuenca del Tejo, por lo anterior, el punto geográfico donde confluyen las aguas del río Tejo y el río Chiquito se denominó de forma arbitraria “punto de cierre”.

Para el estudio de la erosión que afecta a la microcuenca del Tejo, específicamente en la zona delimitada, se implementó la ecuación USLE-RUSLE, mediante su modelación en el software SIG ArcGIS el cual fue facilitado por la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, específicamente la facultad de ciencias agrarias y del ambiente la cual cuenta con una licencia de carácter académico, el uso de esta herramienta computacional se hizo fundamental

para el estudio ya que por la extensión de la zona de estudio era inviable económicamente y logísticamente desarrollar el estudio mediante la implantación de parcelas demostrativas; además no se contaba con el presupuesto para la adquisición de un simulador de lluvias.

Capítulo 1. Diagnóstico de los procesos de erosión y sedimentación en la microcuenca del río tejo tomando como punto de cierre el par de coordenadas 8.249252 - 73.357064 municipio de Ocaña Norte de Santander.

1.1. Planteamiento Del Problema

La microcuenca del río tejo que hace parte de la cuenca del río algodónal y la cual ejerce una influencia directa sobre la población urbana del municipio de Ocaña dado que el casco urbano hace parte de la microcuenca y que del río tejo abastece en una parte el sistema de acueducto del municipio con un total de 60ltrs/segundo (fuente ESPO), en la zona rural de la microcuenca parte alta y media se desarrollan actividades antrópicas redituables como la agropecuaria, que generan la pérdida de la capa vegetal natural del suelo, lo que favorece los procesos de erosión del suelo y la sedimentación de las corrientes hídricas incluido su principal afluente que es el río tejo esto afectando la calidad y cantidad de agua debido a que el arrastre de sedimentos lleva consigo la incorporación de sales y compuestos nitrogenados y de fosforo que aumentan la eutrofización del agua y siendo estos potencialmente peligrosos para el ser humano y demás seres vivos de la microcuenca. La erosión geológica es un proceso normal y normalmente presenta tasas lentas pero el problema se da cuando el hombre por medio de sus actividades acelera estos procesos, esto causa que el suelo de la microcuenca no se pueda regenerar por que las actividades agropecuarias antes mencionadas se realizan a un ritmo acelerado en suelos que por sus características agrológicas según el estudio de Norte de Santander de suelos de IGAC realizado en el año 2010 . No cuentan con la capacidad agrológica para soportarlo.

Ya que el suelo es de tanta importancia para todas las actividades del ser humano en especial actividades como las productivas y de conservación ambiental , debemos cuidar este recurso natural y evitar su degradación de forma acelerada , ya que al desaparecer la capa superficial del suelo , podría afectarse gravemente el ciclo natural del agua , ya que el agua se infiltra con mucha más rapidez hasta horizontes que la hacen desaprovechable y su proceso de evaporación es más rápido (Plan de Gestión de La Oferta de Agua en las Cuencas del Ámbito del proyecto Tacna ; Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento., Perú.; Pág. 5).

1.2. Formulación Del Problema

¿Las actividades antrópicas que se desarrollan en el área geográfica de la microcuenca del rio tejo están influyendo sobre los procesos de erosión y sedimentación de esta. La capacidad de arrastre de sedimentos de la microcuenca según su curva Hipsométrica es potencialmente peligrosa para los cuerpos de agua de esta zona ?

1.3. Objetivos

1.3.1 General.

Realizar el Diagnóstico de los procesos de erosión y sedimentación en la microcuenca del rio tejo tomando como punto de cierre el par de coordenadas 8.249252 - 73.357064 municipio de Ocaña norte de Santander.

1.3.2 Específicos.

Identificar y diagnosticar los procesos de erosión presentes en la microcuenca del río tejo, teniendo como punto de cierre el par de coordenadas geográficas 8.249252 - 73.357064.

Aplicar la ecuación de pérdida universal de suelo (USLE - RUSLE) en el área de la microcuenca por medio del uso del software SIG ArcGIS 10.3.

Calcular el grado de sedimentación y volumen de sedimentos de arrastre en la microcuenca.

1.4. Justificación

Independientemente de su importancia en los procesos morfodinámicos, en la actualidad la erosión se ha convertido en un problema ambiental a nivel mundial de primer orden y esto se debe a la aceleración de los procesos erosivos gracias a la expansión sin control de la frontera agropecuaria y la mala utilización de los suelos a base de la sobre explotación (García Ruiz y López Bermúdez 2009).

De la microcuenca del río tejo se toman un total de 60ltrs/segundo de agua para consumo humano y de esta manera unirlos al caudal que se capta del río algodonal de 180ltrs/segundo (según datos entregados por ESPO), esto significa que el río tejo es la segunda fuente de abastecimiento hídrica más importante para el casco urbano, esta fuente abastecedora puede verse afectada por procesos de erosión los cuales son acelerados por las

actividades antrópicas que se desarrollan sin control en la parte alta y media de la microcuenca.

Según el plan básico de ordenamiento territorial para el municipio de Ocaña la microcuenca cuenta con un área delimitada geográficamente y ordenada como zona de protección y reserva, sin embargo no se sabe con certeza cuales son los procesos de erosión, sedimentación que se presentan en esta zona de reserva y que afectaría por procesos de sedimentación la calidad del agua corrientes abajo, por esta razón surgió la inquietud en nosotros como aspirantes al título de ingenieros ambientales de realizar el diagnóstico de esta situación y poder entregar un documento técnico que sirva a la administración local como insumo de trabajo para futuras investigaciones.

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, USLE – RUSLE, erodabilidad del suelo, SIG , imágenes de satélite, frontera agrícola, ganadería intensiva, áreas protegidas, características morfométricas, agrología, pendientes del terreno, coberturas de la tierra, usos de los suelos.

1.5.2. Operativas.

Para coleccionar información del entorno del lugar, se formularán encuestas estructuradas con el fin de conseguir información relevante sobre los procesos de deforestación que se viven en la zona y los productos fitosanitarios y de fertilización que se utilizan en la zona y que por la capacidad de arrastre de sedimentos de la microcuenca pueden generar problemas a la salud humana y animal.

Se usará un receptor GPS para georreferenciar los puntos críticos de erosión y los susceptibles a ellos y posteriormente se comparará con los datos obtenidos mediante la metodología RUSLE- USLE y su mapeo para análisis y formulación del documento final.

1.5.3. Temporal.

El proyecto se desarrollará 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 desarrollará 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 de Estudios de Erosión y Sedimentación en zonas de cuencas y microcuencas Hidrográficas.

El año 2015 fue declarado por la ASAMBLEA GENERAL DE LAS NACIONES UNIDAS como el año internacional de los suelos, esto con la idea de aumentar la toma de conciencia y comprensión de la importancia del suelo para la seguridad alimentaria.

La FAO promueve acciones en el marco de la alianza mundial por el suelo en colaboración con los gobiernos, la sociedad civil y la secretaria de la convención de las Naciones Unidas para la lucha contra la desertificación. (UNCCD, 2015)

En el 2012 se formula la tesis para optar por el título de MASTER en sistemas de información geográfica “RIESGO DE EROSION HIDRICA EN LA CUENCA DEL RIO MUNDO” Albacete España, el estudio se localiza en la cuenca hidrográfica del rio mundo en la zona sur oriental de Albacete España, y abarca una extensión de 1.013km².

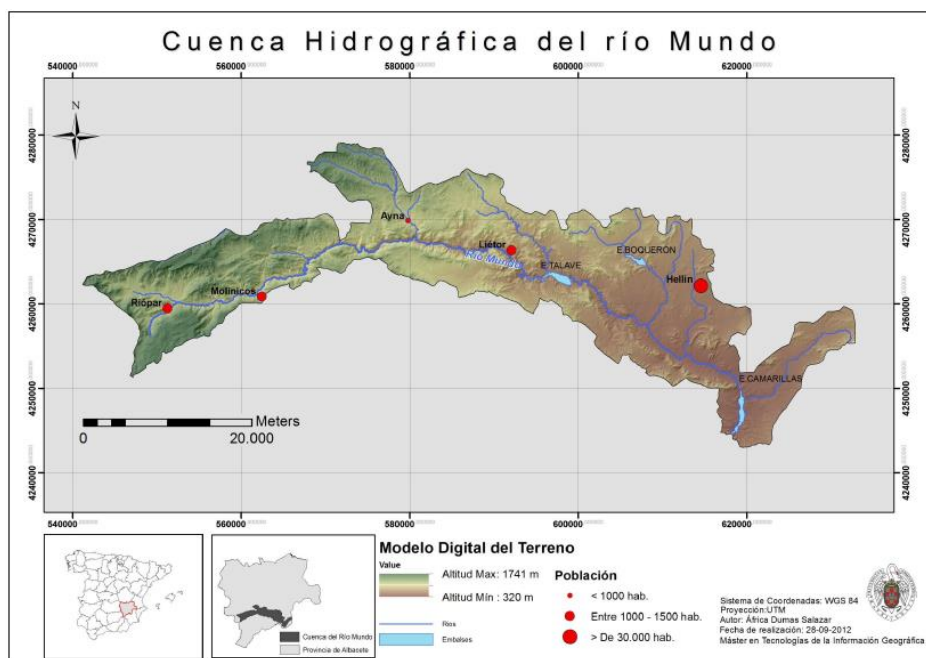


Figura 1. Cuenca hidrográfica del río mundo.

Fuente: RIESGO DE EROSION HIDRICA EN LA CUENCA DEL RIO MUNDO 2012 p18

Material y Método. Para elaborar el estudio se utiliza el SIG ARCGIS 10 Destock; donde se usaron las siguientes aplicaciones. Arc Map, Arc Tollbox y Arc Catalog, la información espacial en formato digital se obtuvo de las siguientes fuentes:

- Instituto Geográfico Nacional (ING)
- Sistema de Información Geográfica Agraria (SIGA)
- Sistema español de información de suelos sobre internet
- Servidor de Datos del centro de investigación forestal

Metodología. Para implementar la ecuación universal de pérdida de suelos (USLE), en ArcGIS se realizó el cálculo por separado de cada uno de los factores que la integran , mediante

una serie de operaciones dando como resultado una capa raster para cada factor esto permitió posteriormente operar con todas las capas resultantes para obtener la cartografía del riesgo de erosión esperada.

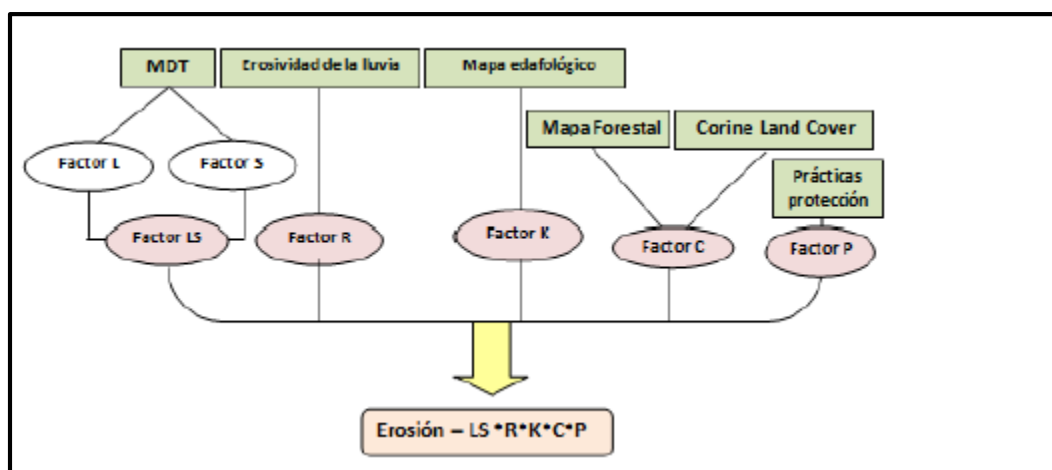


Figura 2. Esquema que muestra de forma resumida el procedimiento llevado a cabo.

Fuente: RIESGO DE EROSION HIDRICA EN LA CUENCA DEL RIO MUNDO 2012 p22

Calculo del factor R: erosividad de la lluvia.

A partir de las coordenadas geográficas de las estaciones meteorológicas fue generada una capa de puntos a la cual le fueron asignado los valores de altitud, precipitación y media y erosividad de la lluvia, con el objetivo de que se genere una capa raster la cual incluyese dicha información para todo el territorio fue aplicado el método de interpolación de los valores puntuales del factor R.

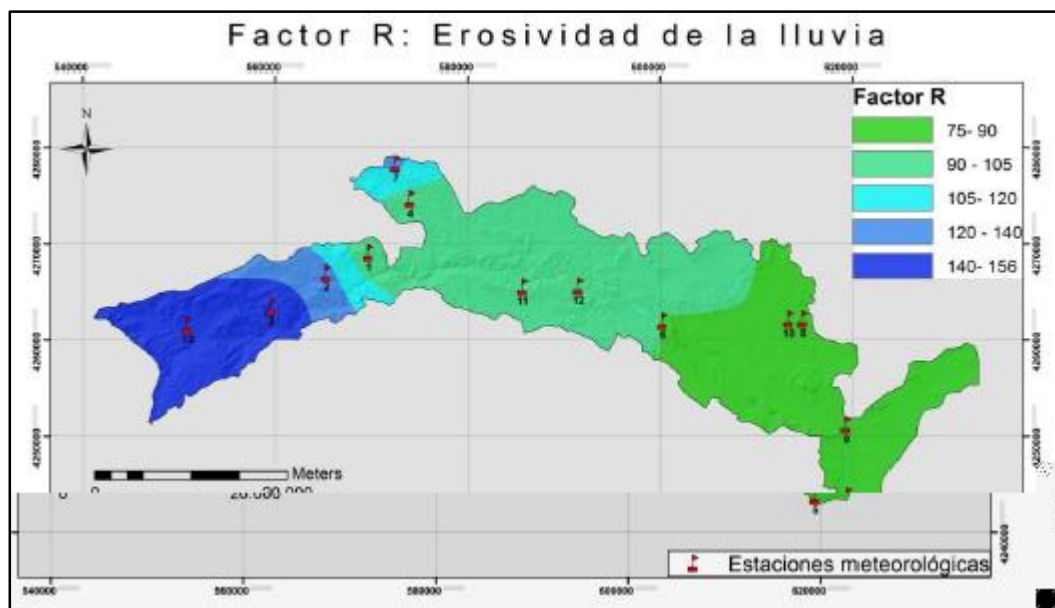


Figura 3. Factor R Erosividad de la lluvia.

Fuente: RIESGO DE EROSION HIDRICA EN LA CUENCA DEL RIO MUNDO 2012 p23

Calculo del Factor K: Erodabilidad Del Suelo. Los valores de este sueles ser obtenidos de forma habitual a partir de las medidas en campo, pero cuando la zona de estudio es de grandes dimensiones esto es demasiado laborioso, por esta razón se suele recurrir a mapas litológicos o mapas edafológicos y a partir de ahí son asignados los valores estimados.

En este estudio los valores de erodabilidad fueron asignados a partir del tipo de suelos que existe en cada una de las zonas para esto se consultó el mapa edafológico digital escala absoluta 1:1'000.000 del sistema español de información de suelos que emplea taxonomía de suelos USDA.

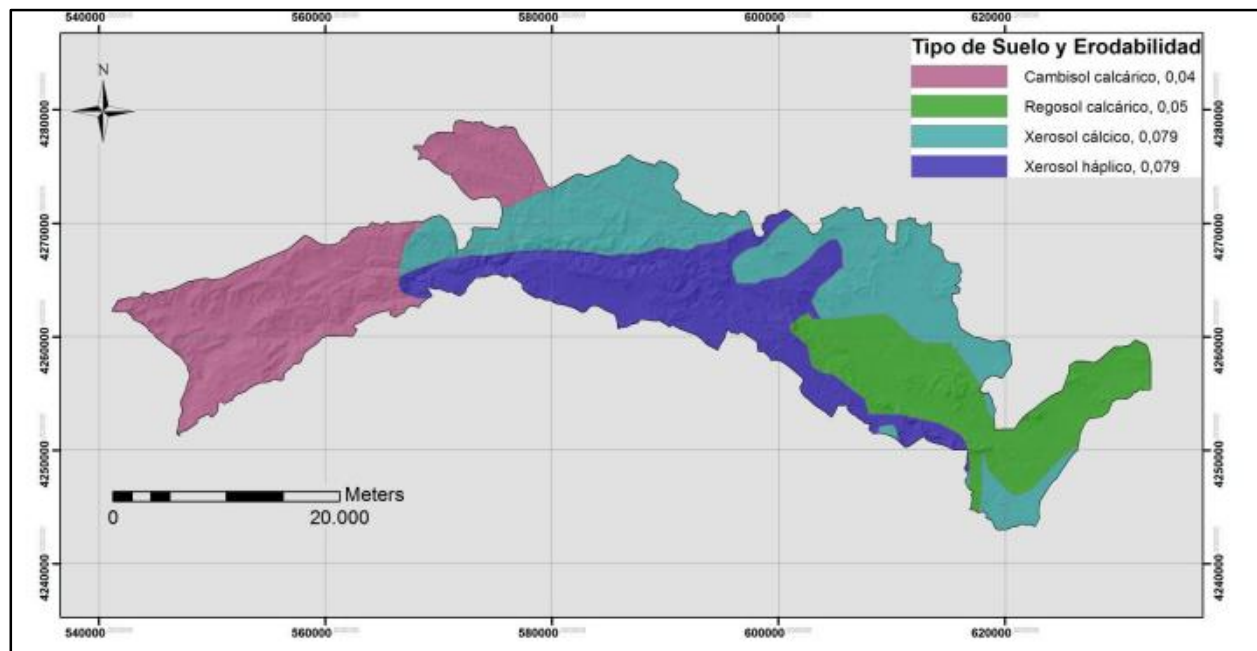


Figura 4. Factor de erodabilidad del suelo.

Fuente: RIESGO DE EROSION HIDRICA EN LA CUENCA DEL RIO MUNDO 2012 p23

En el año 2010 la UNESCO y el programa Hidrológico Internacional (PHI), de la oficina regional de ciencia para América latina y el caribe, publican el documento técnico No22 “Procesos de Erosión y Sedimentación en cauces y cuencas”. En el cual estipula que los factores que afectan la erosión y la sedimentación están dadas específicamente en el tipo de erosión pero que como regla general que la erosión está influenciada por los siguientes factores:

- Clima
- Vegetación
- Hojarasca
- Topografía
- Tipo de suelo

- Velocidad de flujo
- Usos de la tierra

Los objetivos del documento de la UNESCO fueron los siguientes: estimar la variabilidad espacial y temporal de los factores que integran la USLE en una situación típica de aplicación de la ecuación en los trópicos y calcular la incertidumbre resultante en la predicción de la pérdida de suelo, además se buscó estimar la probabilidad de ocurrir una degradación permanente en el terreno, cuando la pérdida de suelo es menor que la tolerancia a la erosión y demostrar utilidad del análisis de confiabilidad de sistemas como una herramienta fundamental en la planeación y gestión de la conservación. (cuencas)

Marco metodológico

Consistió en la aplicación de la USLE en un terreno relativamente homogéneo en la zona agrícola del distrito federal (Brasil), a partir de los datos locales. Desarrolla el modelo de pérdida de suelo, la descripción del área de aplicación y la metodología de análisis de incertidumbre y de confiabilidad de sistemas.

En el 2003 se realizó “la 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”. Artículo que fue presentado en la 3 conferencia Latinoamericana sobre el manejo de cuencas Arequipa – Perú 2003.

Datos y Metodología

El marco metodológico para la simulación de erosión hídrica y los procesos de deposición están basados en el uso comparativo de modelos de erosión dentro de un entorno SIG, que es capaz de describir el flujo de agua y del transporte de sedimentos y a partir de los datos obtenidos de servidores WEB, dentro de la plataforma SIG la distribución espacial de los flujos de agua y sedimento es generado usando direcciones hidrológicas de flujo con esquemas y algoritmos de acumulación y tránsito, en este estudio en primera instancia el descenso más inclinado o algoritmo D8 fue usado. Archivos individuales de SIG fueron construidos para cada parámetro espacial de entrada (clima, suelo, pendiente, cobertura, precipitación, etc.) y combinada mediante un procedimiento de modelamiento de grilla en ILLWIS GIS, para poder predecir las pérdidas de suelos en los dominios temporales y espaciales; la resolución espacial de la celda se ajustó a 1km², la resolución temporal de los datos fue un intervalo de tiempo de 1 mes.

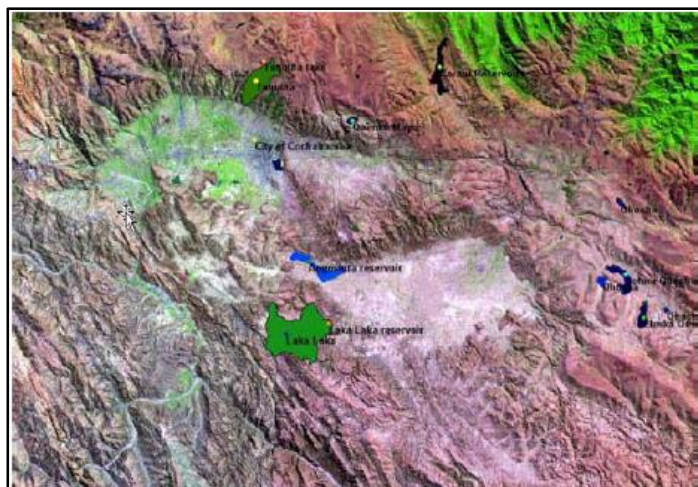


Figura 5. Imagen de la composición de color con Landsat ETM del valle de Cochabamba – Bolivia.

Fuente: la 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 p6

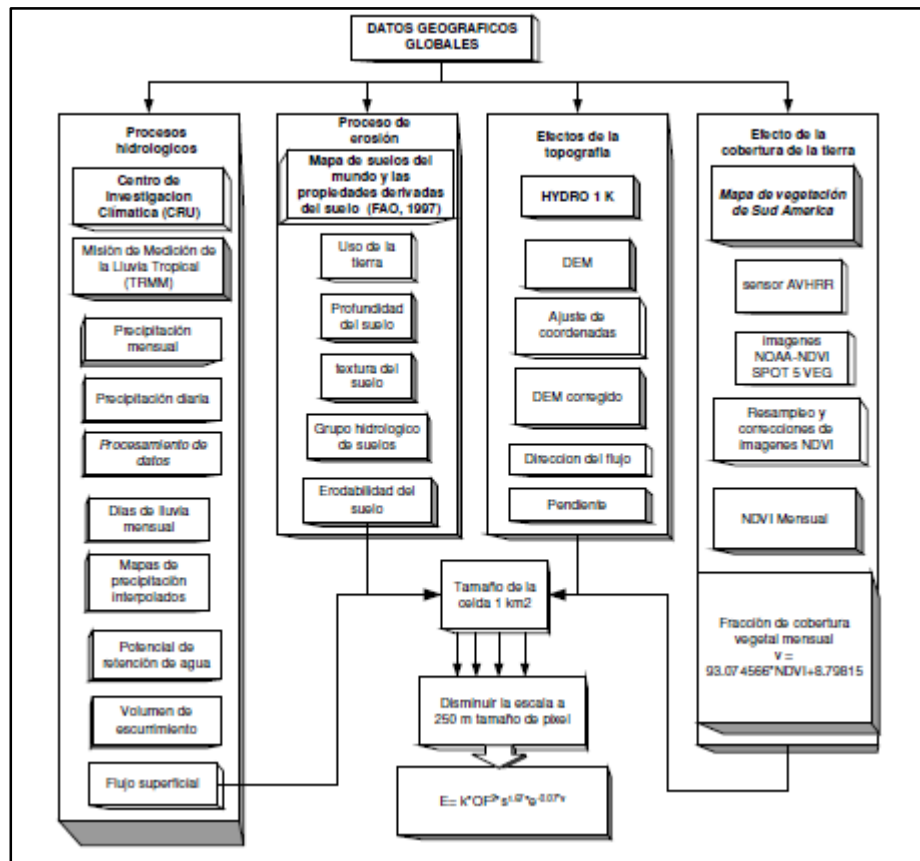


Figura 6. Flujo grama del modelo geomórfico de erosión.

Fuente: la 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 p8

Cobertura vegetal e índice Normalizado de Vegetación

El mapa de cobertura de la tierra, de sur América del 2000 (Eva; et al 2002) es el más actual de información satelital a la fecha de realización de este documento el mapa uso datos de los sensores ópticos y de microondas tales como ATSR2, SPOT VGT, JERS-1, entre otros.

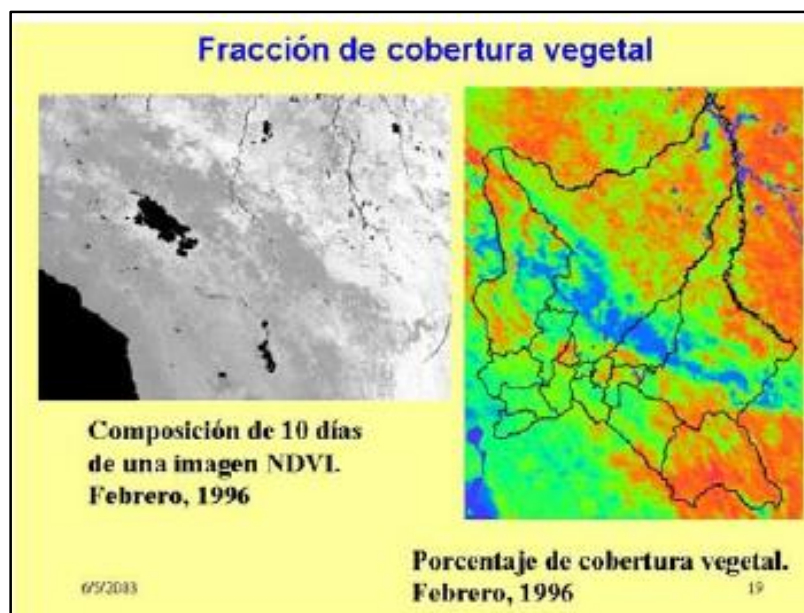


Figura 7. Fracción de cobertura vegetal.

Fuente: 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 p8

Colección de Datos. La mayor parte de los datos fueron coleccionados de una serie de servidores WEB, con archivos de imágenes satelitales de cobertura global como en la siguiente tabla, en ejemplo es el centro de distribución de datos geográficos EOS (EOS data Gateway), el cual es un punto de acceso primario para el sistema de información de datos EOS, dentro del EOS – DIS, el centro de archivos activos distribuidos, procesa, archiva y distribuye datos EOS y datos relacionados.

Tabla 1.

Sumario de información sobre las fuente de datos usados en la modelación de la erosión a escala regional.

Datos	Parámetros derivados	Descripción / fuente
Modelo de Elevación digital (MED)	Pendiente, aspecto, acumulación de flujo, dirección del flujo, generación de cuencas, divisoria de cuencas.	HYDRO 1K, USGS-GTOPO-30
	Mapa de cobertura vegetal de sud América.	Clasificación de la cobertura vegetal, Vegetación 2000 (SPOT 5)
Cobertura Vegetal	Clasificación de la cobertura vegetal IGBP (Belward, 1996).	Base de datos de las características Globales de la cobertura de la tierra. Centro de datos EROS.
	Sistema USGS Uso dela tierra/cobertura de la tierra (Anderson et al, 1976)	
	Composición NDVI cada 10 días.	(SPOT5)
NDVI	Composición mensual de NDVI.	Base de datos de globales de las características de la cobertura vegetal. USGS.
	Máxima composición cada 10 días (NDVI).	
Promedios climatológicos (promedios de larga data)	Promedio mensual de la cobertura de nubes; máximo, mínimo de la temperatura del aire; Promedio mensual de la precipitación; promedio mensual de la presión de vapor.	Colección de datos de la LBA Hydronet, UNH grupo del sistema de análisis del agua (Water Systems Analysis Group; LBA-HydroNet V2.0 database.)
Series de Datos Climáticos	Datos de precipitación diaria, número de días de lluvias.	Base de datos TRMM.
Suelo	Porcentaje de arena, limo, arcilla, materia orgánica (MO), erodabilidad, capacidad de almacenamiento de agua, almacenamiento superficial inicial de agua.	Datos globales de suelos (Global Soil Data Task 2000 CD ROOM - IGBP-DIS).

Fuente: 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 p8

El documento “navegando entre brumas” La aplicación de los sistemas de información Geográfica al análisis del riesgo en América latina 1998. En su capítulo 12 (Determinación de Áreas de Riesgo Potencial de Erosión con Sistemas de información geográfica y percepción remota sector: Quebrada la solana, Rio Quiroz , Margen Izquierda, Rio Macara Piura –Región Grau), argumenta que durante las últimas décadas se han aunado esfuerzos en búsqueda de la integración de Información los que se han denominado Sistemas de Información geográfica que están constituidos para establecer objetivos, modelo de simulación, datos que alimentan el

modelo así como el realizar los análisis mediante el procesamiento digital de imágenes de satélites.

Metodología del estudio. La metodología empleada para la elaboración de los estudios básicos y diagnósticos de la zona se sustenta en la tecnología de los SIG y el procesamiento digital de imágenes y percepción remota, alimentados con estudios de campo y complementada con información cartográfica y bibliográfica convencional existente sobre la zona de estudio, se obtuvieron imágenes de satélite, fotografías aéreas y cartografía convencional actualizadas se procesaron datos a 1:200.000 de toda el área. Con la ayuda de información anteriormente procesada fueron desarrollados estudios temáticos sectoriales, en lo que corresponde a recursos naturales, medio ambientales, sociales y económicos con los resultados de los productos básicos espaciales y socioeconómicos fueron formulados los lineamientos del plan de manejo de la zona de estudio.

2.1.2. Antecedentes Históricos a Nivel Nacional de Estudios de Erosión y Sedimentación en zonas de cuencas y microcuencas Hidrográficas.

En el año 2007 se formulan “las “ALTERNATIVAS AMBIENTALES PARA MITIGAR LA EROSIÓN EN LA MICROCUENCA DE LA COFRADÍA DEL MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO PUTUMAYO”. 2007, donde el objetivo primordial del proyecto de investigación fue el de formular las alternativas de solución para lograr mitigar la erosión en la microcuena cofradía del municipio de san francisco, en el documento de investigación determina que los agentes erosivos son: el viento, el agua, las acciones antrópicas, y el medio biótico, especialmente los animales, como factores de la erosión hídrica relaciona los siguientes:

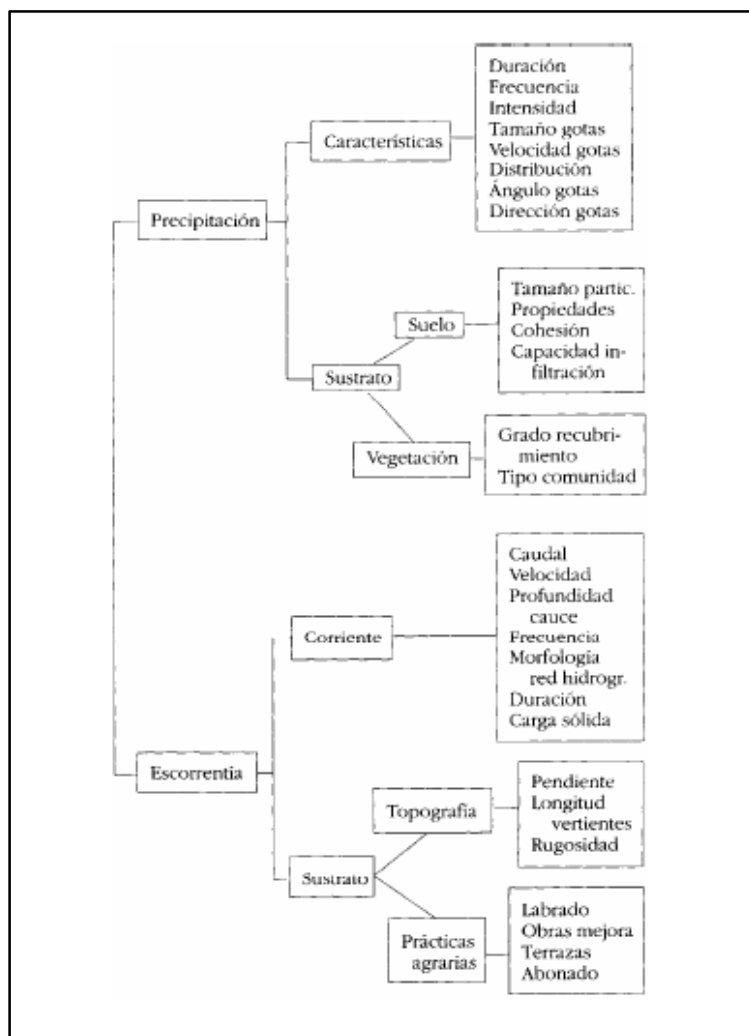


Figura 8. Factores de la erosión Hídrica.

Fuente: alternativas ambientales para mitigar la erosión en la microcuenca de la cofradía del municipio de san francisco putumayo 2007 p12.

Dentro de la metodología el proyecto utiliza un enfoque exploratorio o formulativo, luego paso a una investigación descriptiva, se realizaron consultas frente a la autoridad ambiental del putumayo, como frente a la alcaldía municipal de sanfrancisco.

En el año 2014 el Fondo Nacional de Adaptación presenta su informe de riesgo de adaptación al cambio climático elaborado en convenio por Corpoica en donde establece que

durante la emergencia invernal del año 2010 – 2012, el departamento de norte de Santander fue afectado muy fuertemente por deslizamientos e inundaciones como consecuencia de las lluvias intensas, su paisaje predominante de montaña con altas pendientes y sus suelos erosionados y degradados por actividades agropecuarias, según el documento citado el municipio de Ocaña presenta pendientes muy fuertes, ligados a suelos muy superficiales y por esta razón una alta susceptibilidad a erosión (A3re) el estudio de suelos indica que más de un 2% de estos (1221Ha) presentan zonas severamente degradadas (Misceláneo Erosivo). (Dpto Norte de Santander, 2014)

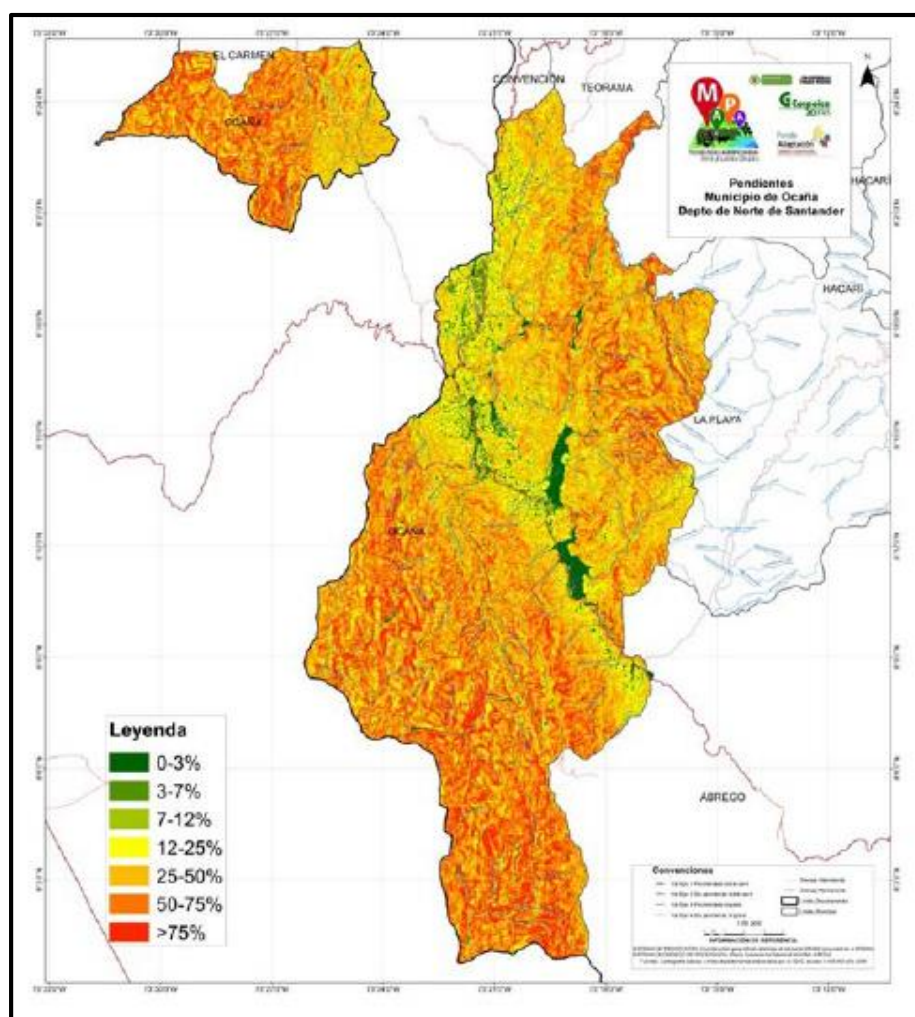


Figura 9. Mapa de pendientes complejas en el municipio de Ocaña Norte de Santander.

Fuente: REDUCCION DEL RIESGO DE ADAPTACION AL CAMBIO CLIMATICO; segundo informe semestral departamento Norte de Santander p14

2.2 Marco Contextual

Según la página oficial del municipio este se encuentra localizado a $8^{\circ} 14' 15''$ Latitud Norte y $73^{\circ} 2' 26''$ Longitud Oeste y su altura sobre el nivel del mar es de 1.202 m. La superficie del municipio es 460Km², 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]

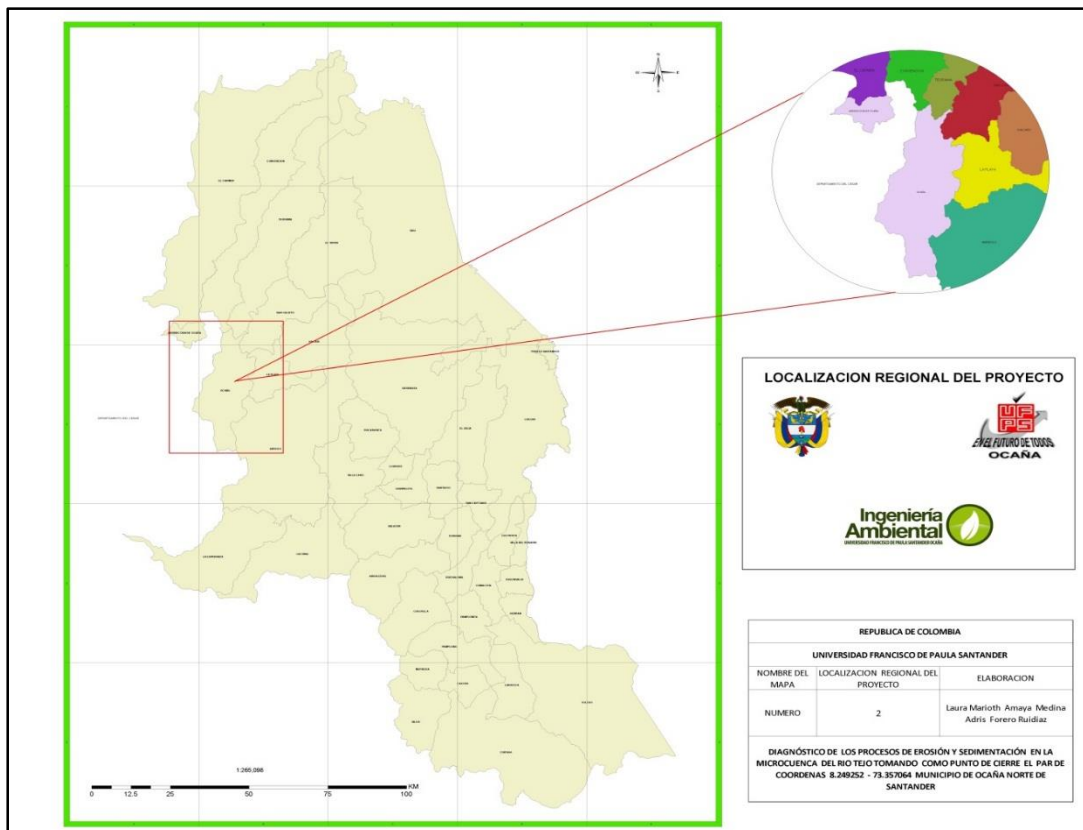


Figura 10. Mapa de la localización del municipio de Ocaña en el Departamento Norte de Santander.

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, según el mapa “paisajes en subzonas hidrográficas del departamento Norte de Santander” elaborado por el IGAC para el estudio general de suelos y zonificación de tierras el paisaje predominante es el de montaña y una pequeño porcentaje hacia el centro del municipio es de paisaje de lomerío.

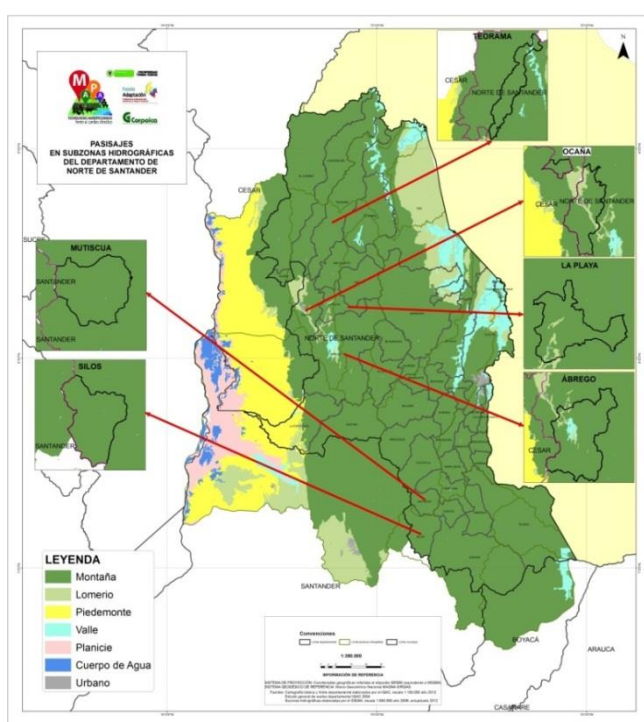


Figura 11. Mapa de paisajes en subzonas hidrográficas del departamento Norte de Santander.

Fuente: Estudio General De Suelos Norte De Santander, IGAC 2010; Reducción del Riesgo de Adaptación al Cambio Climático 2010 Corpoica.

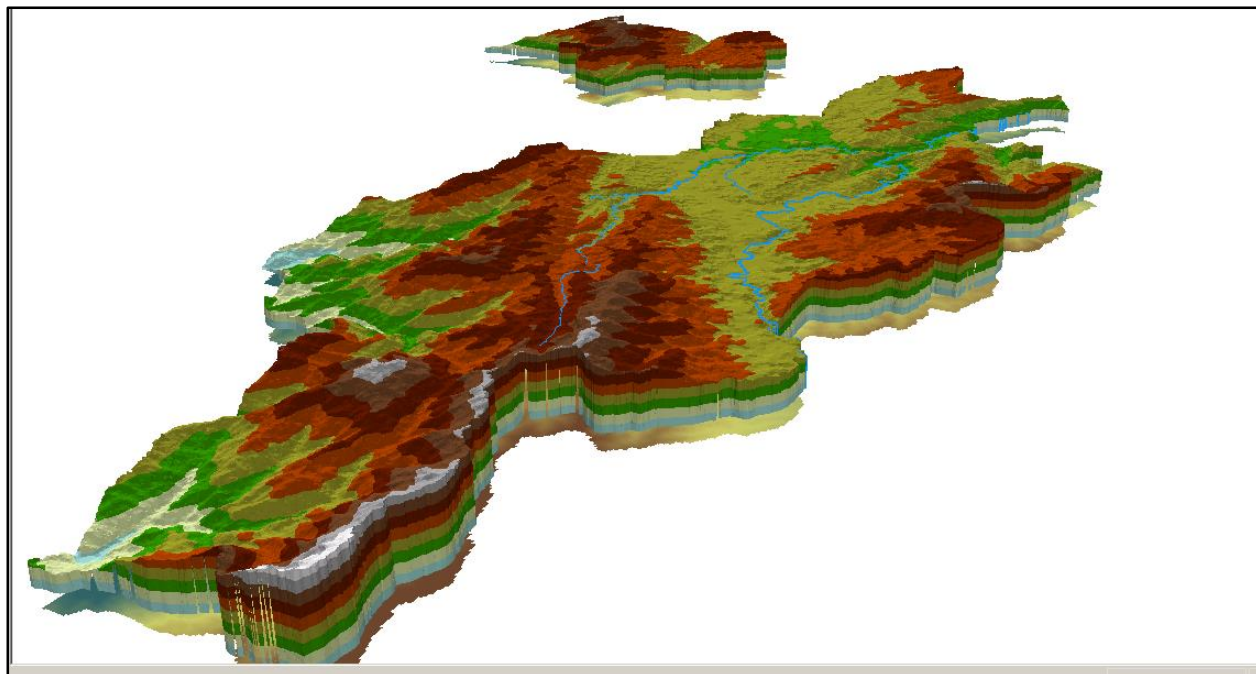


Figura 12. Modelo 3D del paisaje de montaña y lomerío predominante en el área Geográfica del municipio de Ocaña.

Fuente: Autores del Proyecto.

Reserva Forestal Protectora Cuenca Alta Del Rio Tejo

Esta parte de la micro cuenca del rio tejo hace parte de las antiguas Reservas Forestales Nacionales Declaradas por INDERENA. Según el PBOT del municipio de Ocaña esta se localiza en parte de los corregimientos de Buena vista, Agua de la Virgen, y Espíritu Santo, se extiende desde la bocatoma del acueducto el llanito (a unos 1250mtr) hasta la denominada cuchilla de Cimitarigua a 2200mtrs de altura su ubicación geográfica se delimita en el siguiente par de coordenadas planas: (PBOT, 2015)

Norte 13895,00; Este 10780,00

Norte 13985,00; Este 10840,00

Con un área total declaradas de 2500Ha mediante acuerdo 024 del INDERENA

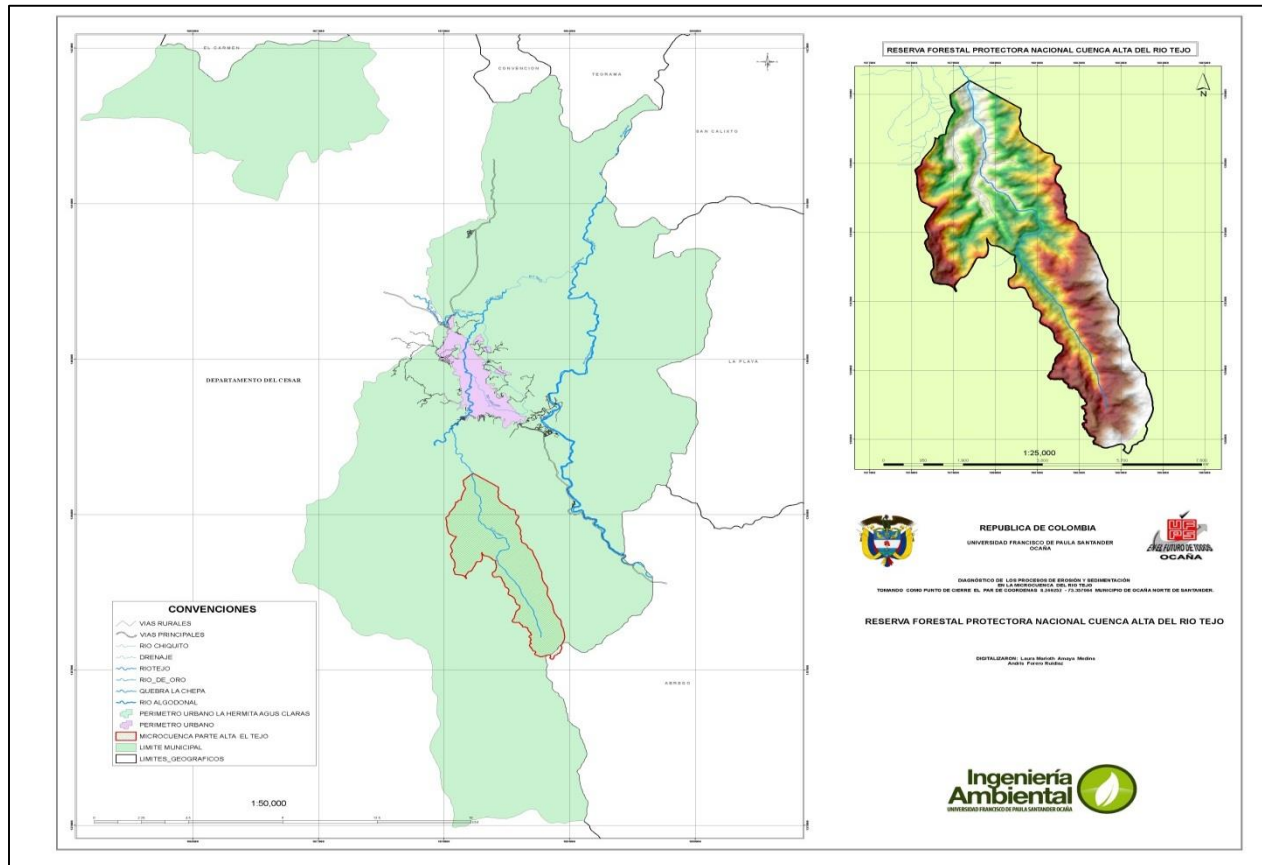


Figura 13. Localización Geográfica de la Reserva Forestal Protectora Cuenca Alta Del Rio

Tejo.

Fuente: Autores del Proyecto (formato SHP de CORPONOR).

2.3. Marco Conceptual

2.2.1. Erosión.

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). (Meyer F. y., 1972)

2.2.2. 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 río 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; universidad Nacional de Loja , 2007)

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.

2.2.3. Erosión Hídrica.

Es la degradación de suelos desnudos por la acción del agua. Este proceso 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. (Análisis Espacial y Dinámica Temporal Mediante Técnicas de Simulación y Teledetección, 2010)

2.2.4. 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.

2.2.5. 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).

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

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.

2.2.6. 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.

2.2.7. Suelo.

Es un cuerpo natural conformado por una conexión 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 fluctúa 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)

2.2.8. 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.

2.2.9. 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 intermoleculares 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.

2.2.10. 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; Merritt, 1984; Rauws, 1987). En primer lugar la escorrentía superficial se descompone en diversos flujos preferenciales y esto es debido a las micro 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.

2.3. Marco Teórico

Según la FAO los suelos del mundo se están deteriorando de forma rápida debido a la erosión, el agotamiento de sus nutrientes, la pérdida de Carbono Orgánico, el sellado del suelo y otras serias amenazas; pero según la misma FAO esta tendencia puede ser revertida siempre y cuando los países tomen la decisión política de realizar la promoción de prácticas de manejo sostenible de manejo sostenible y el uso de tecnología apropiadas .

Para la FAO no se debe confundir la erosión de los suelos con la degradación del suelo dado que la erosión se refiere a un proceso natural en zonas de montaña pero con frecuencia se empeora debido a las malas prácticas de manejo que realizan los pobladores de la zona en estudio. ((<http://www.fao.org/home/es/>))

La erosión Hídrica es un proceso natural el cual consiste en la disgregación y transporte de partículas del suelo por acción directa del agua, este proceso se e fuertemente acelerado a causa del uso irracional y desmedido de las tierras agrícolas (FAO, 1990; JIID, 1992).

Los factores que influyen sobre la erosión y la sedimentación se presentan en función del tipo de erosión en cuestión sin embargo se puede afirmar que el proceso de erosión que ocurrirá en un suelo será resultado directo de ciertas variables, las cuales se enumeran a continuación (Morgan, 2005):

- Clima

- Vegetación
- Hojarasca
- Tipo de suelo
- Topografía
- Velocidad del flujo
- Usos del suelo

La variable climática más importante es la Lluvia; esto se debe a su fuerte influencia en determinados procesos de erosión hídrica (erosión de impacto, riles, cárcavas, etc.) (Morgan, 2005).

Sin embargo, no todas las tormentas son de la misma intensidad por lo cual existen unas más erosivas que otras; variables como la cantidad de agua (mm), en intensidad de la tormenta (mm/hr), son las propiedades que determinan la erodabilidad del evento. En Una tormenta cuya intensidad es relativamente baja, las tasas de infiltración no serán superadas, por lo tanto no se producirá escurrimiento superficial evitando el proceso de erosión laminar así como la formación de riles y cárcavas, además esta tormenta no podría producir una erosión de impacto relevante, dado que el tamaño de sus gotas no contara con la suficiente energía cinética como para desprender las partículas de suelo superficial desnudo, al contrario de una tormenta intensa la cual no solo presentara un alto potencial erosivo de impacto sino que también generara escorrentía superficial dado lugar a los procesos erosivos anteriormente mencionados (García – Chevesich, 2008).

La duración de una tormenta así como su intensidad también son factores preponderantes en los grados o tasas de erosión que se puedan producir, en este caso una tormenta de larga duración provocara la contribución hídrica en toda la cuenca, aumentando de esta manera los caudales en los drenajes y generando más escurrimiento superficial, además tormentas cuya intensidad máxima ocurre en su etapa final cuando los suelos se encuentran ya saturados, también producirá una mayor cantidad de escurrimiento superficial. Esto sugiere entonces que las condiciones iniciales de humedad en el suelo también es una variable muy influyente en las tasas de erosión hídrica para un suelo dado. (UNESCO, 2010)

Según (Slack et al., 1996), la temperatura de las gotas de agua producida por la tormenta también influye en las tasas esperadas de erosión y sedimentación, una tormenta cuyas gotas se encuentren a bajas temperaturas, infiltraran el suelo a tasas menores produciéndose un escurrimiento superficial con mucha mayor facilidad, diciéndolo de otra forma la erosión producida en tormentas de invierno supera las tasas de pérdida de suelo en una tormenta de verano de igual duración e intensidad.

Aunque es claro que la intensidad de la tormenta se encuentra en relación directa con la erosión y la sedimentación producida, son las de intensidad media, las que a largo plazo, llega a producir la mayor cantidad de pérdida de suelo (Morgan, 2005), esto es debido a la combinación entre periodo de retorno y erosión unitaria.

2.3.1. Índices de Erodabilidad de una tormenta.

La medida más adecuada para la comparación de la erodabilidad entre tormentas es la generación de un índice basado en la energía cinética del evento (Morga 2005), de este modo la erosividad está en función de su duración e intensidad, así como del agua del agua caída y la velocidad y el diámetro de las gotas de lluvia, se ha podido comprobar que el tamaño de las gotas está relacionado con la intensidad de la tormenta, aumentando de esta manera su D_{50} a medida que su intensidad se incrementa (Laws y Parsons , 1943) , relación que se mantiene hasta intensidades no superiores a los 100mm/hr (Hudson, 1993) , a intensidades mayores el diámetro medio de la gota disminuye con el aumento de la intensidad de la lluvia esto se debe a la inestabilidad producida por las turbulencias sobre las grandes gotas, sin embargo sobre los 200mm/hr el diámetro medio de la gota vuelve a aumentar con la intensidad de la tormenta. (UNESCO, 2010)

Lo anterior no puede tomarse como una regla de total cumplimiento, pues la realidad es que tanto el tamaño de la gota, como su distribución espacio temporal varían de acuerdo a la ubicación geográfica (Kinnel, 1981; McIsaac, 1990). Debido a la alta variabilidad geográfica de las características precipitacionales muchas ecuaciones han sido desarrolladas relacionando la intensidad de las tormentas con la energía cinética que se produce. Sin embargo la ecuación elaborada por Wischmeier y Smith (1958) ha sido una de las más utilizadas y la cual se describe a continuación:

$$EC = 0,283(1 - 0,52e^{-0,042I})$$

Donde EC es la energía cinética (MJ/ha – mm) producida por la tormenta es I es la intensidad de la lluvia (mm/hr), pese a lo anterior, la ecuación (2), propuesta por Van Dijk et al. (2002) representa la última versión de la relación entre EC e I como fórmula universal.

Puesto que la intensidad en una tormenta no es constante se debe efectuar una subdivisión de acuerdo a la variación temporal de la intensidad, para luego sumar y calcular su energía cinética total.

$$EC = 0,283 (1 - 0,52e^{-0,042I})$$

2.3.2. La vegetación.

Una de las funciones de la vegetación es actuar como una cubierta de protección estableciendo de esta manera una especie de Buffer entre el suelo y la Atmosfera (Morgas, 2005), como regla general lo efectivo de la vegetación para reducir la erosión de impacto depende de forma directa de la altura y continuidad de la copa de los arboles así como de la intensidad de la cobertura superficial (pastos, Hierbas y Arbustos). Algunos estudios han demostrado que las hojas lobuladas, las cuales son típicas en especies arbóreas latifoliadas forman gotas cuyos diámetros dobla el de las gotas de lluvia (Brandt 1989); además se dice que a unos 7mtrs de altura de copa las gotas que impactan el suelo lo hacen una velocidad equivalente al 90% de su velocidad máxima, lo cual indica que a mayor altura de la copa, mayor erosión es producida, si bien las copas de los arboles interceptan la lluvia estas no reducen su energía cinética como resultado de esto las tasas de erosión de impacto bajo las copas de los arboles pueden ser hasta tres veces mayores que las producidas en suelos desnudos que reciben la precipitación de forma directa (García – Chevesich, 2008).

2.3.3. Efectos De La Erosión e Importancia De Su Estudio.

Son diversos los efectos negativos que pueden llevar consigo la erosión del suelo; sobre los terrenos dedicados a la agricultura la erosión puede conllevar la pérdida de la capa arable y la fertilidad natural, esto desencadena en el aumento de la dependencia de fertilizantes de síntesis de laboratorio, en otros casos cuando la erosión es muy intensa se presenta una alteración en el funcionamiento normal de los ríos, la capacidad de retención de zonas inundables, la colmatación y eutroficación de los embalses y cuerpos de agua. Además la erosión acelerada es uno de los factores que influye de manera directa en los procesos de desertificación ((RIESGO DE EROSION HIDRICA EN LA CUENCA HIDROGRAFICA DEL RIO MUNDO, 2012)

2.3.4. Modelos Matemáticos Para Estimar La Erosión.

Desde la segunda mitad del siglo XX, han proliferado una gran cantidad de modelos matemáticos los cuales permiten realizar cálculos aproximados para evaluar la pérdida de suelo por erosión a distintas escalas, numerosas administraciones públicas han apostado por el desarrollo y la aplicación de estos modelos, dado es el caso de la Agencia De Protección Ambiental (USEPA) de los Estados Unidos, en la Unión Europea también han sido creados nuevos modelos como EUROSEM, ; estos modelos varían sus requerimientos de información, insumos y en su facultad para predecir otros procesos tales como ciclo hidrológico, pérdida de nutrientes por lixiviación y escorrentía y otros procesos incluyendo el desarrollo de cultivos (FAO 2005)

Dependiendo de la forma matemática que adopte la descripción de los procesos físicos representados, podemos clasificar los modelos de la erosión en tres grupos ((RIESGO DE EROSION HIDRICA EN LA CUENCA HIDROGRAFICA DEL RIO MUNDO, 2012)

- Modelos Empíricos: son aquellos que se basan en el análisis estadístico de los datos obtenidos mediante observación. estos modelos son los más sencillos de aplicar.
- Modelos Conceptuales: Representan el proceso de la erosión partiendo de una serie de almacenamientos entre los que se establecen las relaciones matemáticas simplificadas.
- Modelos de Base Física: estos están basados en las leyes de la física que controla las relaciones entre los parámetros y los procesos observados.

El siguiente cuadro es extraído de L.C. Alatorre & S. Begueria (2009) “Los Modelos de erosión Una Revisión” Rev. C. & G., donde aparecen los modelos de predicción de la erosión de suelo más utilizados junto con la escala espacial y temporal en las que se suelen emplear

Modelo	Tipo	Escala espacial	Escala temporal	Base de datos	Resultados	Referencia (año)
USLE	Empírico	Ladera	Anual	Alta	Erosión	Wischmeier y Smith, 1978
USLE2	Empírico	Cuenca	Continuo	Alta	Erosión, carga de sedimentos	Wischmeier y Smith, 1980
RUSLE	Físico	Parcela	Evento/continuo	Alta	Erosión, deposición	Rusell, 1980; Srinivasan, 1995
ESG/EPIC	Físico	General	Peq. Evento	Alta	Escurrimiento, pico máximo, erosión, producción de sedimentos	Smith, 1981; Smith et al., 1993a
EPIC	Físico	Parcela	Evento	Alta	Erosión, deposición	Williams et al., 1983
MMF	Empírico/conceptual	Ladera/Cuenca	Peq. Anual	Moderada	Erosión	Morgan et al., 1984; Morgan, 2001
PESERA	Físico	Ladera/regional	Continuo	Alta	Erosión, sedimentos	Kirkby et al., 2000
AGNPS	Conceptual	Peq. cuencas	Evento/continuo	Alta	Erosión, pico máximo, erosión, producción de sedimentos	Young et al., 1989
IHACRES-WQ	Empírico/conceptual	Cuenca	Continuo	Baja	Erosión, carga de sedimentos	Jakeman et al., 1990; Jakeman y Hornberger, 1993
THORNES	Conceptual/empírico	Ladera/Cuenca	Peq. Anual	Moderada	Erosión	Thornes, 1990
TOPOG	Físico	Ladera	Continuo	Alta	Erosión, escurrimiento, pico máximo, producción de sedimentos	CSIRO Land and Water, TOPOG Homepage
WEPP	Físico	Ladera/Cuenca	Peq. Continuo	Alta	Escurrimiento, producción de sedimentos, pérdida de suelo	Nearing et al., 1989; Latlen et al., 1991
RUSLE PERFECT	Empírico	Ladera	Anual	Alta	Erosión	Renard et al., 1991 y 1994
SWAT	Conceptual	Parcela	Continuo	Alta	Escurrimiento, erosión	Littjeboy et al., 1992
IQQM	Conceptual	Cuenca	Continuo	Alta	Escurrimiento, pico máximo, erosión, producción de sedimentos	Arnold et al., 1995
IQQM	Conceptual	Cuenca	Continuo	Moderada	Escurrimiento, sedimentos, oxígeno disuelto, demanda biológica de oxígeno	DLWC, 1995
EROSIÓN 3D	2D-Físico	Cuenca	Evento	Alta	Escurrimiento, erosión, sedimentos	von Werner, 2000; Schmidt et al., 1997
LISEM	Físico	Peq. cuencas	Evento	Alta	Escurrimiento, sedimentos	de Roo et al., 1996; de Roo y Jatteu, 1999
RUSLE-3D	Empírico/conceptual	Cuenca	Anual	Moderada	Erosión	Mitasova et al., 1996; Mitas y Mitasova, 1998
USPED	Empírico/conceptual	Cuenca	Evento/anual	Moderada	Erosión, depositación	Mitasova et al., 1996; Mitas y Mitasova 1998

GUEST	Físico	Parcela	Continuo	Alta	Escoorrentía, concentración de sedimentos	Rose et. al., 1997	
MIKE-11	Físico	Cuenca	Continuo	Alta	Producción de sedimentos, escoorrentía	Hanley et. al., 1998	
EUROSEM	Físico	Peg. cuencas	Evento	Alta	Escoorrentía, erosión, sedimentos	Morgan et. al., 1998	
SWAT	Físico	Parcela	Continuo	Alta	Escoorrentía, erosión, sedimentos	Arnold et. al., 2000	
Srinivasan, 1999	LASPEM	Conceptual	Cuenca	Continuo	Alta	Escoorrentía, sedimentos	Ninoy et. al., 2000
et al., 2000	WALRM	Conceptual	Cuenca	Annual	Moderada	Erosión	Van Roon et. al., 2001
et al., 2001							Wilcox et. al., 2004
et al., 2004	SEDNET	Conceptual/empírico	Cuenca	Annual/continuo	Alta	Sedimentos en suspensión, contribución del fango superficial, procesos de rills y gullies	Vertes Cerda
et al., 2001	EMSS	Conceptual	Cuenca	Continuo	Baja	Escoorrentía, carga de sedimentos	Rojas
et al., 2002	STREAM	Conceptual	Cuenca	Evento	Moderada	Escoorrentía y erosión	
2002	CASC2D-SED	Físico	Peg. cuencas	Evento/continuo	Alta	Escoorrentía, pieo máximo, erosión y sedimentación separando las partículas por tamaños	DHI, 2003
2003	SEAGIS	Empírico/conceptual	Cuenca	Annual	Alta	Erosión, producción de sedimentos	Butts et. al., 2004
et al., 2004	AGWA	Conceptual/físico	Cuenca	Continuo	Alta	Escoorrentía, pieo máximo, erosión, producción de sedimentos	

Fuente: RIESGO DE EROSION HIDRICA EN LA CUENCA HIDROGRAFICA DEL RIO MUNDO, p12

2.3.5. La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE)

Como se pudo observar en el cuadro anterior existe una gran cantidad de modelos que se usan para calcular la erosión del suelo, el modelo que aún conserva mayor aceptación y de más amplia aplicación a nivel mundial es la ecuación universal de pérdida de suelo (Universal Soil Loss Equation) esta se trata de una tecnología empírica generada mediante un proceso evolutivo el cual se ha presentado en los últimos 60 años y se encuentra en una constante evolución y desarrollo de diversas revisiones (J.M. Laflém 2003) ; esta fue desarrollada durante la primera mitad del Siglo XX, por el departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) , es el resultado del arduo trabajo de numerosos investigadores como Zingg (1947) el cual relaciono la erosión con la pendiente y la longitud de la ladera, Musgrave (1947), el cual incluyo un factor climático basado en la precipitación máxima o Smith (1958) el cual considero un nuevo factor según el tipo de cultivo ((RIESGO DE EROSION HIDRICA EN LA CUENCA HIDROGRAFICA DEL RIO MUNDO, 2012)

Con los años los investigadores Walter Wischmeier y Dwight Smith recogieron estos estudios en su modelo que fue presentado en el año 1978 (Gabriel A. Mancilla , 2008) el cual está basado en una serie de relaciones estadísticas entre las pérdidas del suelo y determinadas variables reconocidas como los factores implicados de mayor relevancia en el proceso de erosión hídrica. Esta ecuación nos permite medir la cantidad de suelo (volumen) el cual se pierde por causa de la erosión hídrica laminar, bajo diferentes combinaciones de uso y manejo teniendo en cuenta, las características físicas del terreno. La USLE tiene en cuenta seis (6) factores y su modelo matemático se expresa a continuación:

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

Dónde:

- A: pérdida anual de suelo (T/ha *año)
- R: Erosividad de la lluvia ($h_j * \text{cm} / \text{m}^2 * \text{h} * \text{año}$)
- K: Erodabilidad del suelo ($\text{ton} * \text{h} * \text{m}^2 / \text{ha} * h_j * \text{cm}$)
- LS: longitud de la pendiente en metros y gradiente (adimensional).
- C: Factor de cobertura (adimensional).
- P: prácticas de Conservación del suelo (adimensional)

Factor de Erosividad de La Lluvia. Este representa la energía con la cual las gotas de la lluvia impactan en el suelo a determinada intensidad rompiendo los agregados superficiales en partículas de tamaño transportable y se trata de un factor activo en el proceso de erosión. Para realizar su cálculo han sido diseñados varios índices los cuales han sido utilizados en modelos de predicción del riesgo de erosión de los cuales el más conocidos es el factor R (Wischmeier,

1959), empleado por el departamento de agricultura de los EEUU; este factor se deduce a partir del producto de la energía cinética liberada por la lluvia (E) y la máxima intensidad de precipitación durante un intervalo de 30 minutos (I30) de la tormenta mediante la siguiente ecuación:

$$x = \frac{EI30}{173.6}$$

Para realizar el cálculo del índice de erosividad de la lluvia se requiere la información pluviométrica específica muy difícil de obtener donde la red de pluviógrafo existente es escasa y no se encuentra regularmente distribuida como ocurre en Colombia, para tratar de resolver este inconveniente, han sido propuestos algunos índices adicionales los cuales permiten calcular de forma más sencilla el índice de erosividad de la lluvia como son el índice de agresividad climática de Fournier (1960) el cual deja ver una alta correlación con la cantidad de sedimentos arrastrados por la escorrentía (Antonio Jordán 2000) y el Índice modificado de Fournier (IFM) que fue propuesto por Arnoldous en 1980 que después del índice R es el más utilizado. (RIESGO DE EROSION HIDRICA EN LA CUENCA HIDROGRAFICA DEL RIO MUNDO, 2012, p17) .

Factor Erodabilidad del Suelo. Este representa la respuesta del suelo a una determinada fuerza o mecanismo erosivo, es decir la susceptibilidad que presenta el suelo a ser erosionado. Este parámetro es obtenido a través de una ecuación de regresión que pone en relación K con diversas propiedades del suelo como lo son: la textura, la estructura, permeabilidad, presencia de materia orgánica y profundidad. La ecuación es la siguiente:

$$K = 1,313 * [2,1 P^{10-4} * (12-MO) * M^{1,14} + 3,25 * (S-2) + 2,5 * (p-3)] / 100$$

Donde

Mo: Contenido de Materia Orgánica (%)

S: Código de la estructura del suelo.

P: Código de permeabilidad.

M: Factor dado por el producto de la suma de los porcentajes de limo, arena y arcilla muy fina con la suma de los porcentajes de arena y limo. En términos matemáticos M corresponde a $(\% \text{limo} + \text{arena muy fina}) * (100 - \% \text{arcilla})$.

Factor Topográfico. Este combina dos parámetros distintos: longitud de la pendiente (L) y su ángulo de inclinación (S), LS, representa la relación de pérdida de suelo que se espera por unidad de área en una pendiente determinada x en relación con la pérdida correspondiente a una pendiente del 9% y de 22,13 metros de longitud. Este factor es uno de los más difíciles de calcular cuando no es aplicada la USLE a escala de parcelas, donde los terrenos son uniformes tanto en grado de pendiente como en longitud de flujo (A.G. Barrios 2000). Wischmeier y Smith propusieron una ecuación para realizar el cálculo de este factor así como un monograma, sin embargo en los últimos años han venido apareciendo varias ecuaciones que permiten calcular este factor. Entre estas se destaca la propuesta por Berne Engel en 2003 la cual está basada en la acumulación de flujo o caudal y la inclinación de la pendiente. La ecuación es:

$$LS = (\text{Flujo acumulado} * \text{tamaño de la celda} / 22.13)^{0.4} * (\sin \text{pendiente} / 0.0896)^{1.3}$$

Esta ecuación es usada donde se implementa la USLE en un SIG para evaluar la pérdida de suelo sobre amplios territorios. Entonces el flujo acumulado de la capa raster queda expresado como un número o conjunto de celdas (Derivadas de las Fases de la delimitación de cuencas) el tamaño de la celda es la longitud del tamaño de un lado de las celdas (Burciaga et al., 2010) (RIESGO DE EROSION HIDRICA EN LA CUENCA HIDROGRAFICA DEL RIO MUNDO, 2012 p 14)

Factor Cobertura del Suelo La vegetación representa el grado de protección que un determinado tipo de cobertura vegetal ofrece al suelo. Para el cálculo de esta variable existen tabulaciones no ecuaciones (Mancilla Escobar, 2008), Wischmeier y Smith propusieron en su modelo valores entre el 0 y 1 para este parámetro que dependerá del tipo de vegetación existente y de su grado de cobertura. Supone un factor el cual es decisivo en la USLE ya que por muy abrupto que sea el terreno si existe una buena cobertura vegetal la erosión será leve.

El Papel De Los SIG En Los Estudios De Erosión. Los SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA, dan una gran ventaja a la hora de realizar estudios de erosión ya que estos permiten:

- Gestionar gran cantidad de datos los cuales permiten el cálculo de las distintas variables implicadas en el modelo, pudiendo obtener como resultado una capa para cada factor de la ecuación matemática.
- Ejecutar operaciones y análisis entre capas
- Observar la distribución espacial de los resultados que se obtienen

- Crear diversos escenarios
- Visualizar y generar cartografía , la cual mostrara de forma clara y concisa los resultados

2.4. 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”

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.

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 biológica 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.

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.

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.

Capítulo 3. Diseño Metodológico

3.1. Tipo de Investigación

Esta es una investigación de tipo empírico analítico basado en el análisis explorativo de la observación directa en el lugar, para el caso de este proyecto se realizara dentro del área de la microcuenca del rio tejo hasta el punto de cierre asignado de forma arbitraria 8.249252 - 73.357064, el cual es el lugar geográfico de confluencia del rio tejo y el rio chiquito; para determinar el grado de erosión y sedimentación de sus suelos.

La investigación será desarrollada mediante la aplicación de la ecuación universal de perdida de suelo (USLE) y la ecuación universal de perdida de suelos revisada (RUSLE), implementada en un sistema de información geográfica SIG en donde se calcularan cada uno de sus componentes por separado y serán generadas capas raster de información con cada factor de la ecuación.

3.2. Población

La población objeto de estudio son los habitantes ubicados dentro del área geográfica delimitada como zona de estudio.

3.3. Muestra.

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

3.4. Procedimiento Metodológico

La información base en formato digital vectorial SHAPEFILE se obtendrán de la gestión frente a la alcaldía municipal, específicamente la información del PBOT del municipio también se revisará la información en formato CAD, para de esta manera obtener más robustez técnica en la información oficial, los formatos CAD que interesen al proyecto (zonificación ambiental, áreas protegidas, etc.) Será exportada a formato SHP. La información solicitada información geográfica a CORPONOR será la siguiente (Red hídrica municipal, áreas protegidas del municipio, áreas estratégicas, microcuencas del municipio, suelos) ya con esta información organizada en carpetas temáticas se delimitará la zona de estudio a partir del uso de herramientas de la plataforma SIG ArcMap (Arc toolbox) donde, por medio del servidor de datos del departamento de Geología de los Estados Unidos se obtendrá un DEM (MODELO DIGITAL DE ELEVACION) el cual es un archivo raster que contiene información geofísica con una resolución de 30*30mtrs en tamaño de pixel. Por medio de la herramienta Hydrology de ArcToolbox se generará las pendientes del terreno reclasificadas por pendientes complejas según lo determinado por el ICAG, el DEM también servirá como insumo para la delimitación de la zona de trabajo hasta el punto de cierre y para la extracción de las curvas de nivel a 15mtrs con la cual se construirá la topografía del terreno, para la construcción del factor de

erodabilidad del suelo se determinará a partir de la capa vectorial del estudio de suelos del departamento elaborado por el IGAC a escala espacial de 1:100.000 y serán usados como apoyo para complementar esta información los geoportales del IGAC específicamente el de agrología, para determinar el factor de erosividad de la lluvia se tomara la información de las estaciones del IDEAM (catalogo 2013) , por medio de un método de interpolación geoestadística denominado Kriging será generado el raster de factor erosivo y posteriormente su temática para el factor de cobertura o vegetación se realizara la reclasificación asistida de una imagen de satélite landsat 8 EMT cultivadas y se usara como base de interpretación la leyenda oficial para Colombia de CLC (CORINE LAND COVER) adoptada como la metodología oficial para el país en el año 2010 por el IDEAM.

Serán realizadas una serie de visitas a diferentes puntos de la zona de estudio con el objetivo de validar la información obtenida en el entorno de trabajo SIG y para generar las información georeferenciada de los lugares de sedimentación y verificación de coberturas de la tierra

3.5. Técnicas de recolección de Datos

3.5.1. Información Primaria.

La información primaria será colectada a partir de salidas de campo en primer lugar se georefreniciada los lugares que puedan ser potencialmente erosionables, geo localizando de igual forma coberturas como bosque seco tropical, pastizales, pajonales, suelos desnudos, cárcavas, rills etc., se formulara una entrevista a los líderes de acción comunal de la zona (presidente), en

la cual se buscara obtener información sobre la forma de vida de las comunidades residentes en este sector, enfocando la entrevista en su actividad económica. (Ver apéndice)

La imagen del satélite LANSATD 8 ETM se descargara de del servicio Geológico de los estado unidos luego de re proyectarla al sistema Magna Sirgas se realizara la reclasificación asistida a partir de los puntos de control tomados con la antena receptora GPS y partir de estos puntos se identificarán las firmas espectrales con la ayuda del software de interpretación de imágenes ERDAS IMAGE 2015 los resultados de esta reclasificación serán comparados con la reclasificación de imágenes de alta resolución descargadas del software Ruso SAS planet 2016.

3.5.2. Información Secundaria.

La información en formato SHP, CAD de los límites oficiales de las áreas protegidas municipales, las áreas estratégicas, la red hídrica de Ocaña serán obtenidas del PBOT, su información cartográfica, los límites oficiales del municipio y la delimitación de áreas protegidas se obtendrán a partir del portal del IGAG – SIG OT y del ANLA , la información cartográfica de coberturas al 2012 se descargara del IGAC, la información en formato vectorial Shapefile temática de estaciones meteorológicas será gestionada al IDEAM, el modelo digital de elevación (DEM) con un valor de pixel de 40*30 metros, se descargara del Geoportal del departamento de Geología de los Estados Unidos.

Capítulo 4. Cronograma de Actividades

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES PROPUESTAS PARA EL DESARROLLO DEL PROYECTO DE GRADO				MESES DE EJECUCION			
OBJETIVO GENERAL	OBJETIVO ESPECIFICO	ACTIVIDADES PROPUESTAS	METAS	MES1	MES2	MES3	MES4
Realizar el Diagnóstico de los procesos de erosión y sedimentación en la microcuenca del río tejo tomando como punto de cierre el par de coordenadas 8.249252 - 73.357064 municipio de Ocaña norte de Santander	* Identificar y diagnosticar los procesos de erosión presentes en la microcuenca del río tejo, teniendo como punto de cierre el par de coordenadas geográficas 8.249252 - 73.357064.	gestionar la información geográfica oficial de la microcuenca y sus temáticas (Hidrografía, suelos, coberturas, precipitación) al igual que información de cartografía convencional proveniente del PBDT y CORPONOR	con la información geográfica en formato vectorial se construirán las temáticas de la primera fase del proyecto que consistirá en la elaboración de las delimitaciones oficiales y demás temáticas				
		Realizar la descarga de las imágenes del satélite Landsat 8 ETM+ del DEM provenientes del Geoportal del departamento de Geología de los estados unidos, realizar la reproyección y corrección de información espacial y generación de la nueva delimitación del área de trabajo bajo el par de coordenadas elegidas de forma arbitraria como punto de cierre	obtener la nueva delimitación del área de trabajo, la dirección de flujo, las pendientes del terreno y la reproyección de la imagen de satélite				
		Reconocimiento en campo de zonas erosionadas (cañavías, rills y erosión la minar, procesos de deforestación)	georeferenciar la mayor cantidad de puntos donde sea evidente la erosión y/o procesos de sedimentación, la deforestación				
	* Aplicar la ecuación de pérdida universal de suelo (USLE - RUSLE) en el área de la microcuenca	en un entorno de trabajo SIG, generar una capa para cada componente de la ecuación	determinará cada uno de los componentes de la ecuación USLE - RUSLE y generará una capa raster por separado para cada componente de la ecuación				
* Calcular el grado de sedimentación y volumen de sedimentos de arrastre en la microcuenca	generar las características morfométricas de la microcuenca del río tejo incluida su curva hipsométrica	por medio de las características morfométricas de la microcuenca y su curva hipsométrica se determinará el arrastre de sedimentos de esta y su potencial de sedimentación					

Capítulo 5. Presentación De Resultados.

Los siguientes son los resultados obtenidos por parte de los autores del proyecto; para esta presentación se usó un formato por objetivos lo cual busca dar mayor claridad a los jurados en el cumplimiento de cada uno de estos.

5.1. Resultados del Objetivo N° 1. Identificar y diagnosticar los procesos de erosión presentes en la microcuenca del río tejo, tomando como punto de cierre el par de coordenadas geográficas 8.249252 - 73.357064.

Dentro de las actividades programadas para dar cumplimiento a este objetivo específico se encuentra en el cronograma las siguientes actividades.

5.1.1. Gestión de la información geográfica oficial de la microcuenca y sus temáticas.

Gestionar la información geográfica oficial de la microcuenca y sus temáticas (Hidrografía, suelos, coberturas, precipitación) al igual que información de cartografía convencional proveniente del PBOT y CORPONOR.

La información geográfica fue gestionada ante la alcaldía municipal de Ocaña Norte de Santander a la cual se le solicitó todo lo concerniente al municipio, la dependencia de desarrollo rural facilitó la información geográfica en formato SHP con los cuales fue elaborado la revisión, modificación y ajustes del PBOT del año 2015.

También se solicitó ante CORPONOR la información geográfica ambiental en formato vectorial relacionado con el plan de manejo y ordenación de la cuenca del río algodón a la cual pertenece la cuenca del río tejo, los archivos de información física de la cuenca (altura, curvas de nivel, etc.) Se obtuvo a partir de la descarga de un modelo digital de elevación a 30mtrs) el cual se obtuvo del servicio geológico de los estados unidos de forma gratuita.

A continuación presentan impresiones de pantalla (pantallazos), tomados desde el Arc Catalog de ArcGIS 10.3 en las cuales se pueden apreciar los archivos que fueron facilitados por la alcaldía municipal de Ocaña, de CORPONOR y la obtenida a partir de la gestión frente al Geoportal del servicio geológico de los estados unidos.

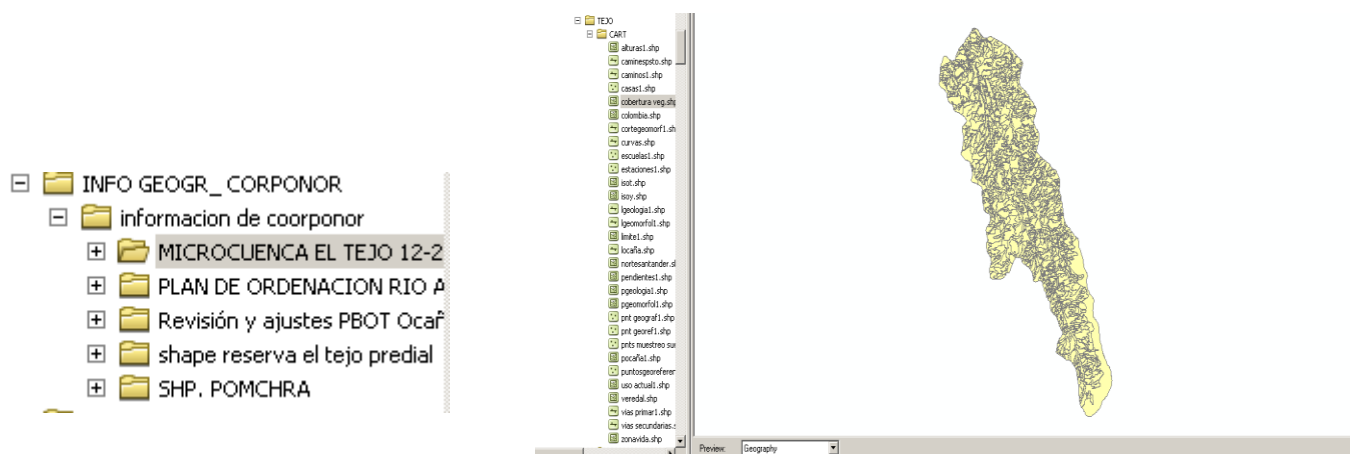


Figura 14. IP del Arc Catalog de ArcGIS 10.3. El cual permite el pre visualización de los archivos entregados por CORPONOR y la Alcaldía municipal de Ocaña Norte de Santander.

Fuente. Arc Catalog 10.3.

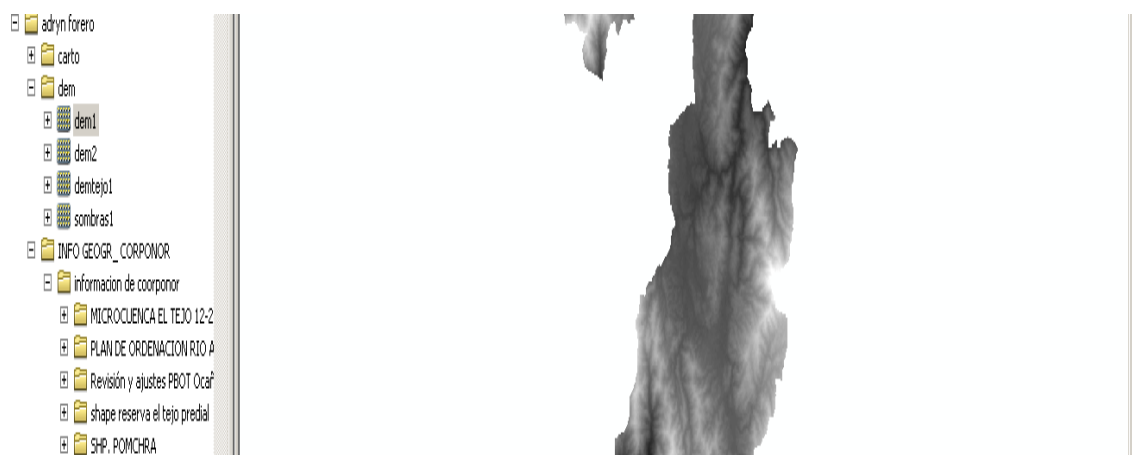


Figura 15. IP del Arc catalogo que muestra el modelo digital de elevación descargado de la página del servicio geológico de los estados unidos.

Fuente. Arc Catalog 10.3.

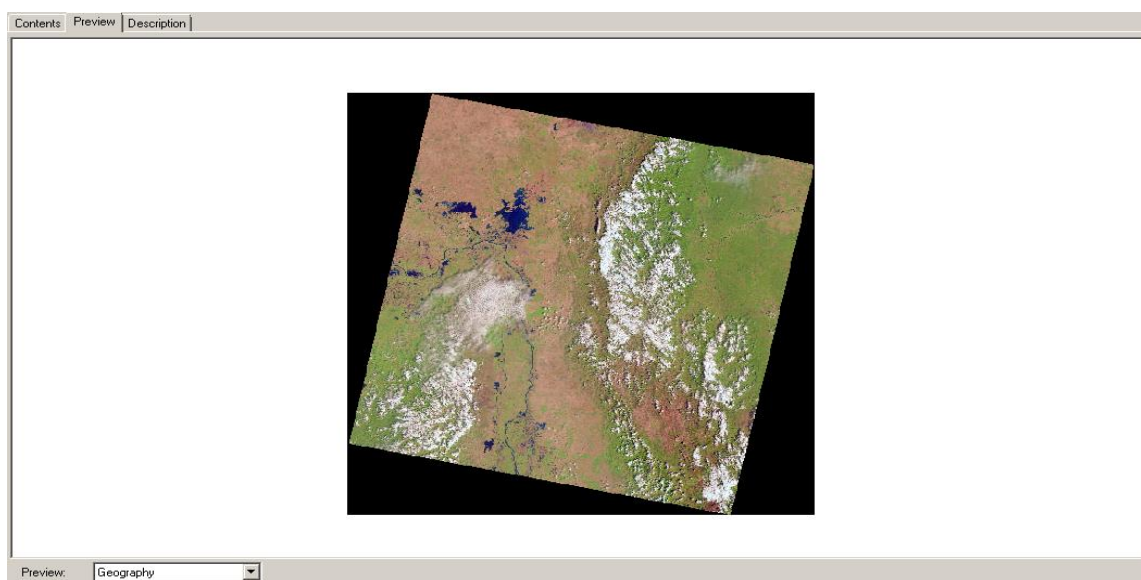


Figura 16. IP de ArcCatalog de ArcGIS 10.3. que muestra una imagen de satélite descargada de geoportal Earth Explorer con fecha de imagen marzo del año 2016 , la cual será usada para el proceso de la descripción del coberturas del suelo y determinación del factor C .

Fuente. Earth Explorer, fuente de la imagen Satélite Landsat 7.

SISTEMA DE INFORMACION

VALORES NO DIAS MENSUALES DE PRECIPITACION NACIONAL
 AMBIENTAL FECHA DE PROCESO : 2016/04/12
 ESTACION : 16055040 ABREGO CENTRO ADMO LATITUD 0805 N
 TIPO EST CP LONGITUD 7313 W DEPTO NORTE SANTANDER FECHA-INSTALACION
 1969-JUL 01 IDEAM MUNICIPIO
 ABREGO 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 *

 ***** 1969 2 01

 1970 2 01 5 1 22 19 22 13 4 24 85 3
 17 3 24 16 10 6 162 3 1971 2 22 11 14 3 9 3
 10 25 12 4 19 25 26 8 2 1 154 3
 1972 2 01 2 3 9 4 10 17 24 11 4 11
 13 3 21 18 4 135 3 1973 2 01 2 0 14 7 3
 13 3 8 11 17 24 22 5 11 13 141 3
 1974 2 01 3 3 5 6 11 20 6 11 13
 26 22 15 2 140 3 1975 2 01 0 20 1 7
 10 16 7 15 18 24 26 11 10 21 9 165
 1976 2 01 8 2 3 5 103 3 1977 2 01 5 3 10 10 9 10
 7 19 14 8 3 15 16 20 1 13 1 131 3
 1978 2 01 1 6 3 17 16 22 21 9 11 15
 23 25 4 16 170 3 1979 2 01 2 14 1 21 180
 20 19 23 16 17 21 22 10 7 4 23
 1980 2 01 4 4 2 9 22 10 7 5 23 18
 19 19 12 7 138 1981 2 01 0 5 7 5 181 1982 2
 01 28 2 24 7 3 12 4 21 16 24 25 22 0 9 15 5 8 4 7 20 17
 20 8 2 7 3 4 125 3 1983 2 01 0 9 5 8 4 7 20 17
 18 14 9 16 15 2 01 19 0 9 4 4 133 1984 2 01

Figura 17. Ip de los Archivos de información climática de las diferentes estaciones de carácter activo dentro de la provincia de Ocaña, la información del IDEAM contiene información de precipitación y atmosférica de los últimos 25 años, esta información fue usada como insumo para la determinación del factor R dentro de la ecuación universal de perdida de suelo.

Fuente. IDEAM

5.1.2. Delimitación de la zona geográfica de la microcuenca y zona de estudio.

Una vez obtenida y revisada la información anteriormente relacionada se procedió a la delimitación del área de estudio con la ayuda del software SIG ARGIS 10.3 “licencia académica de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña”, como el alcance del proyecto está definido por un par de coordenadas geográficas las cuales se tomaron como punto de cierre y/o desfogue de la microcuenca del río tejo, se debió realizar una delimitación con la implementación de la herramienta Hydrology la cual se encuentra en la caja de herramientas Arctoolbox y el resultado se integró al Shp oficial de la microcuenca del río tejo para generar un solo limite.

5.1.3. Criterios para la selección del punto de cierre de la microcuenca del río Tejo.

Para lograr entender este criterio es necesario entender primero las características fundamentales de la microcuenca del río Tejo y como entiende el municipio a este territorio de vital importancia para el desarrollo socio económico, la microcuenca del río Tejo hace parte en su totalidad del municipio de Ocaña, oficialmente cuenta con un área de 8233.74Ha, a la cual drenan sus aguas los ríos el limón, río de oro y el río urbano denominado río chiquito. El río Tejo cuenta con una longitud total de 312,34km hasta su punto geográfico de confluencia con el río algodón.

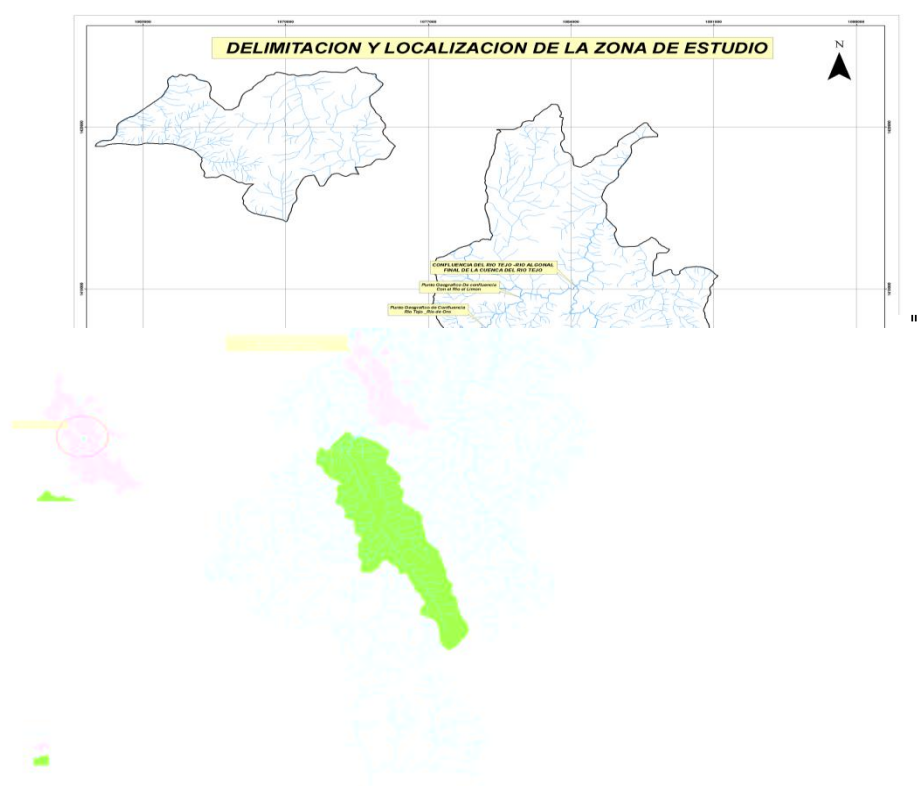


Figura 18. Delimitación inicial de acuerdo a un punto de cierre elegido de forma arbitraria, la temática deja ver el área de protección de la microcuenca del río Tejo según resolución del INDERENA, los puntos geográficos de la confluencia del río algodón, río el limón, río de oro y río chiquito al río Tejo.

Fuente. Autores del Proyecto.

5.1.4. Delimitación del área de estudio dentro de la cuenca del río tejo.

Como quedo claro en el punto anterior la cuenca del río tejo termina en el punto geográfico de la confluencia de esta corriente con la corriente del río el algodónal, de forma arbitraria se tomó el punto geográfico denominado punto de cierre el cual corresponde a la confluencia del río chiquito con el río tejo dentro del barrio conocido como el Totumalito.

Para realizar la delimitación de la nueva área de estudio se recurrió a la implementación de la herramienta hidrology del software SIG ARCGIS10.3 la licencia académica de la universidad francisco de paula Santander Ocaña , usando como insumo de archivo un modelo raster con una resolución 30mtrs de resolución.

Como resultado del proceso con la herramienta hidrology se generó el polígono perteneciente al área de estudio la cual hace parte de la cuenca del río tejo.

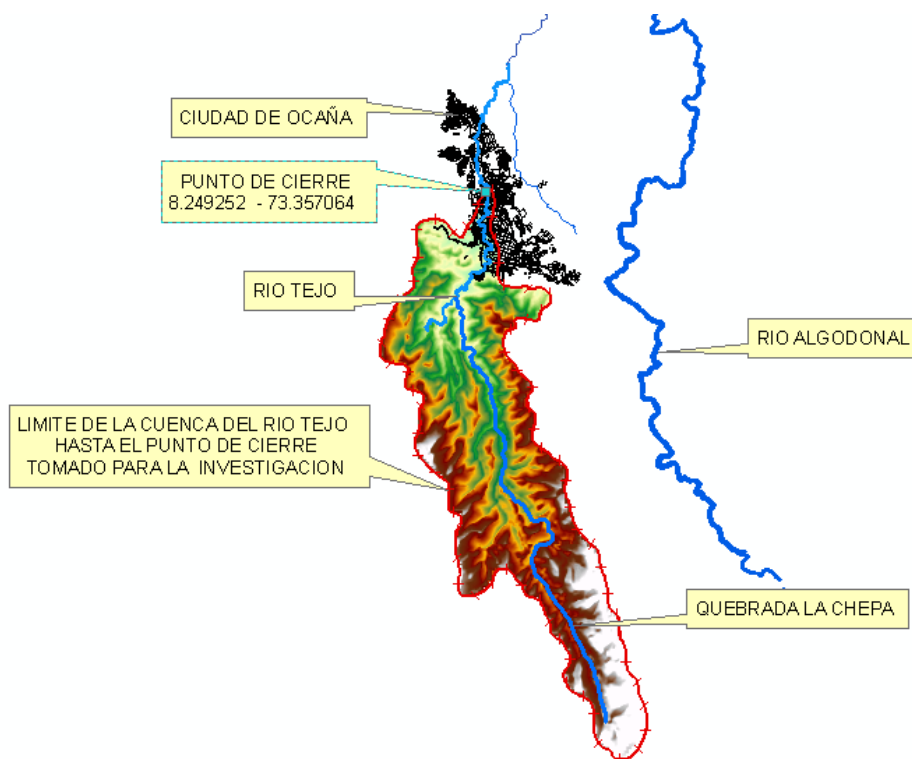


Figura 19. Data frem del límite del área de estudio dentro de la cuenca del rio tejo, y su relación espacial frente a la localización de la ciudad de Ocaña N. S. según los archivos geográficos oficiales del municipio y el PBOT 2015.

Fuente. Autores del Proyecto de acuerdo a información espacial oficial del municipio.

El área de estudio delimitada mediante el uso de hidrology cuenta con un las siguientes características morfométricas:

Tabla 2.

Características morfométricas de la aérea de estudio dentro de la cuenca del rio tejo.

Área superficial en Hectáreas	4329.537145Ha
Área superficial en Km ²	43.295371Km ²
Perímetro o divisoria de aguas en km	44.935655km
Longitud Axial	17.220357km

Fuente. Autores del Proyecto.

5.1.5. Pendientes Del Terreno En el Área De Estudio.

Como parte del proceso de estudio de la cuenca del río tejo hasta el denominado punto de cierre se desarrolló el análisis de las pendientes del terreno a partir de un modelo digital de elevación con un valor de pixel de 30 mtrs procedente del proyecto de observación de la tierra denominado ASTER GDEM y posterior a esto se realizaron visitas de campo por parte de los autores del proyecto, en estas visitas se verificaron mediante un método de observación directa la topografía del terreno (IGAC, Las pendientes complejas de la zona fueron construidas a partir de la metodología , 2010)

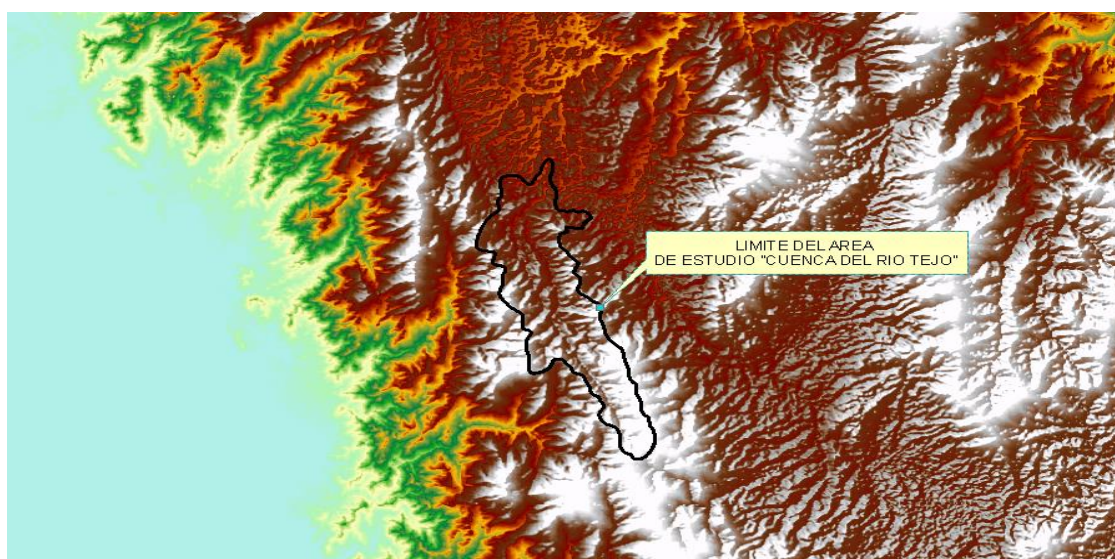


Figura 20. Traslapo del polígono (archivo vectorial) del límite del área de estudio de la cuenca del río tejo sobre el modelo digital de elevación DEM con una resolución del 30 mtrs para realizar el proceso de análisis de pendientes del terreno.

Fuente. Autores del Proyecto

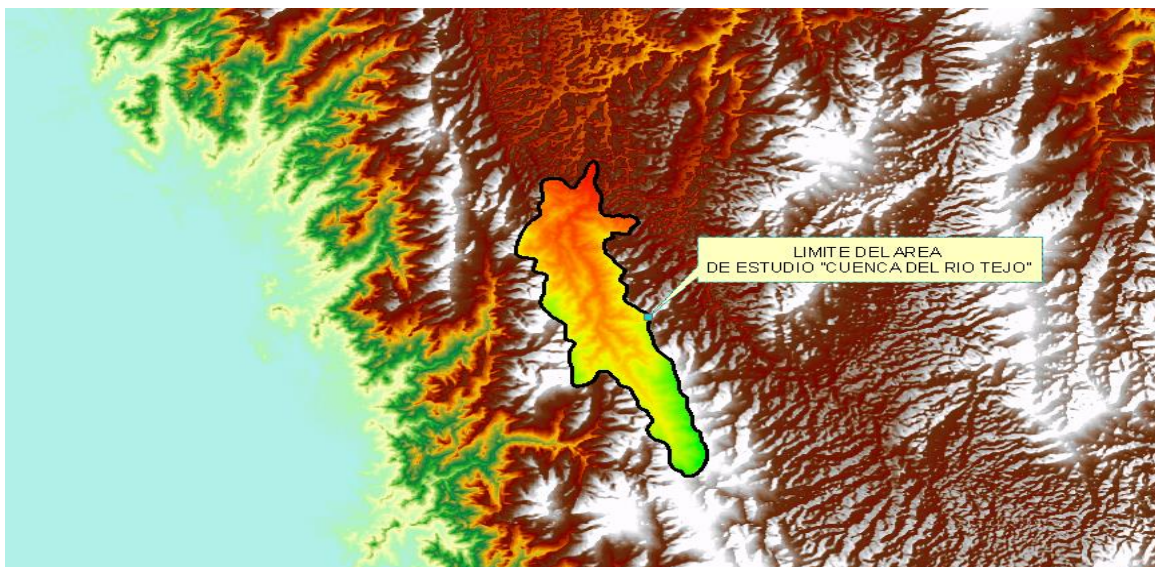
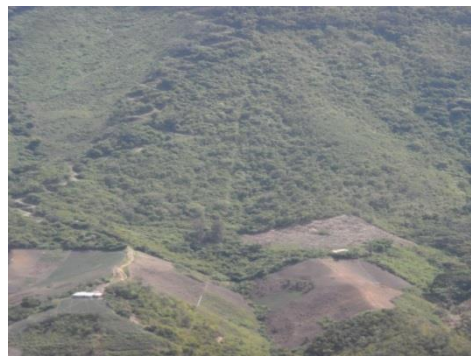


Figura 21. Resultado del proceso de extracción por máscara con el uso de la caja de herramienta de ArcGIS 10.3 versión académica de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

Fuente. Autores del Proyecto.

Como resultado de la clasificación se obtuvieron un total de 9 rangos desde el 0 hasta mayores al 25% de inclinación compleja del terreno, según el IGAC todos los suelos que presenten pendientes superiores al 25% son suelos que se deben dedicar únicamente a procesos de conservación de la naturaleza y en caso que se presenten procesos de carácter productivo estos deben realizarse con prácticas de manejo para la conservación de estos suelos, para obtener mayor certeza del tipo de pendientes de esta zona se realizaron visitas por medio de las cuales se pudieron obtener las siguientes apreciaciones del terreno.



Figuras 22, 23, 24,25. De izquierda a derecha muestra la topografía y los paisajes de montaña en gran parte de la zona de estudio en la cuenca del río tejo del municipio de Ocaña , para realizar la visita se contó con el acompañamiento de miembros de la comunidad que viven y realizan sus actividades productivas en la zona cuenca del río tejo parte alta y media. Fuente. Autores del Proyecto.

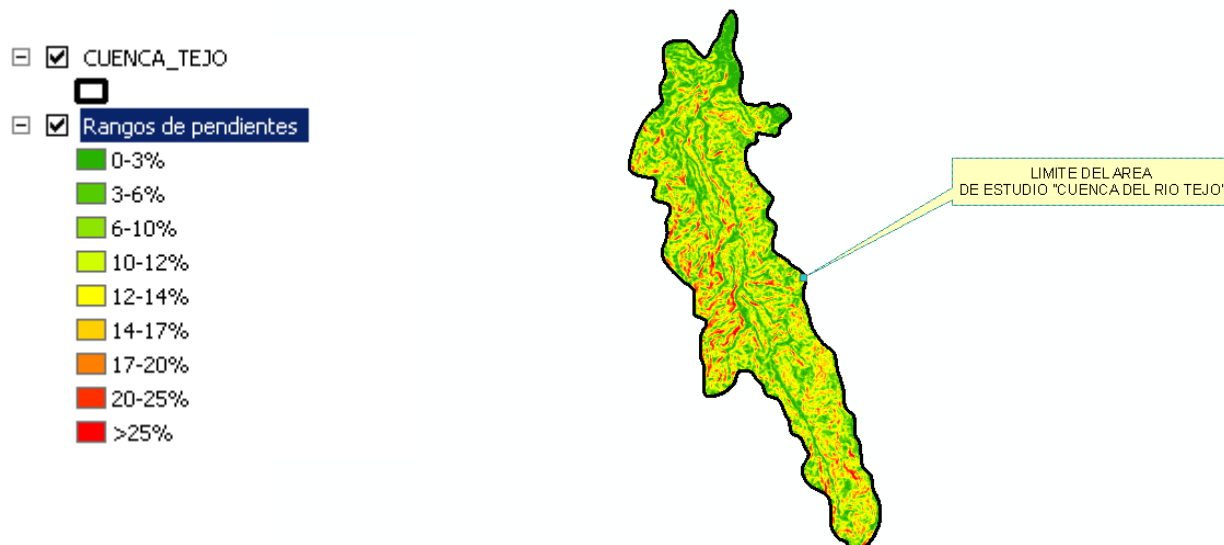


Figura 26. Mapa de pendientes de la zona de estudio dentro de la microcuenca del río Tejo, este dato muestra la clasificación de los rangos de pendientes del terreno en forma de porcentaje según lo estipulado por el IGAC en el año 2010.

Fuente. Autores del Proyecto.

Es la zona occidental de la microcuenca la que presentan las mayores pendientes junto con la zona sur de esta, lugar donde se localiza la zona de reserva forestal protectora delimitada por el INDERENA según el PBOT Ajuste, modificación y Revisión del año 2015.

5.1.6. Identificación en campo de los procesos de erosión.

Para desarrollar la actividad de identificación en campo de los procesos de erosión se definieron 3 zonas dentro del área de estudio las cuales recibieron los nombres de parte alta, parte media, parte baja; esto para facilitar el trabajo en campo por parte de los autores del

proyecto, con un antena GPS marca garmin se geo referenciaron estos puntos que presentan erosión y se incluyeron dentro de una línea base diseñada para contener esta información.

5.1.7. Puntos geográficos con procesos erosivos encontrados en la parte alta de la cuenca.



Este punto se localiza bajo la coordenada plana X: 1082516.05905; Y: 1389368.32119 no presenta un proceso grave o severo de erosión pero si viene incrementándose la pérdida de la capa vegetal natural lo cual es un potencializador de los procesos erosivos el lugar corresponde a la vereda denominada vereda sabaneta. Específicamente en el predio que corresponde al No predial 000400070001000.



Este punto se localiza en las coordenadas planas X1082717.80425 Y: 1389391.47228, presenta una cobertura de pajonales limitado por roca y ya con severos rasgos de erosión como se puede apreciar en la foto este lugar también se localiza dentro del predio con el numero catastral 000400070001000.



Este punto se localiza en las coordenadas planas X: 1082545.82474, Y: 1389166.576, limitando entre los predios de código catastral 000400070019000 y el predio con código catastral 000500020029000 esta ya es una zona desnuda con una fuerte pendiente de terreno, limitado por roca y vegetación de pajonales.



Punto localizado bajo las coordenadas planas X 1082357.30874, Y 1389249.25846, en la imagen se puede apreciar que el proceso se presenta a piedemonte en una zona de poca vegetación con ya partes de suelos desnudos y se ubica dentro del predio con cedula catastral 000500020029000.

Figuras 27,28, 29, 30. De abajo hacia arriba muestran los procesos de erosión que se presentan dentro de la microcuenca del rio tejo en su parte alta, imágenes tomadas mediante visita a campo en el mes de junio del año 2016.

Fuente. Autores del Proyecto

Para los procesos de geolocalización de los puntos con problemas de erosión se usó una antena GPS de marca GARMIN el cual se calibro en la placa GPS #2 de la ciudad de Ocaña la cual se encuentra en el centro educativo simón Bolívar.



Figuras 31, 32. De izquierda a derecha muestran el proceso de calibración de las antenas receptoras GPS, las cuales fueron usadas en el proceso de geolocalización, esta placa GPS#2 se encuentra localizada en la institución educativa SIMON BOLIVAR de la ciudad de Ocaña Norte de Santander.

Fuente. Autores del Proyecto.

La siguiente temática muestra la Localización de los puntos que presentan procesos erosivos dentro del cuenca del rio tejo, los puntos de simbología amarilla representan los puntos erosivos.

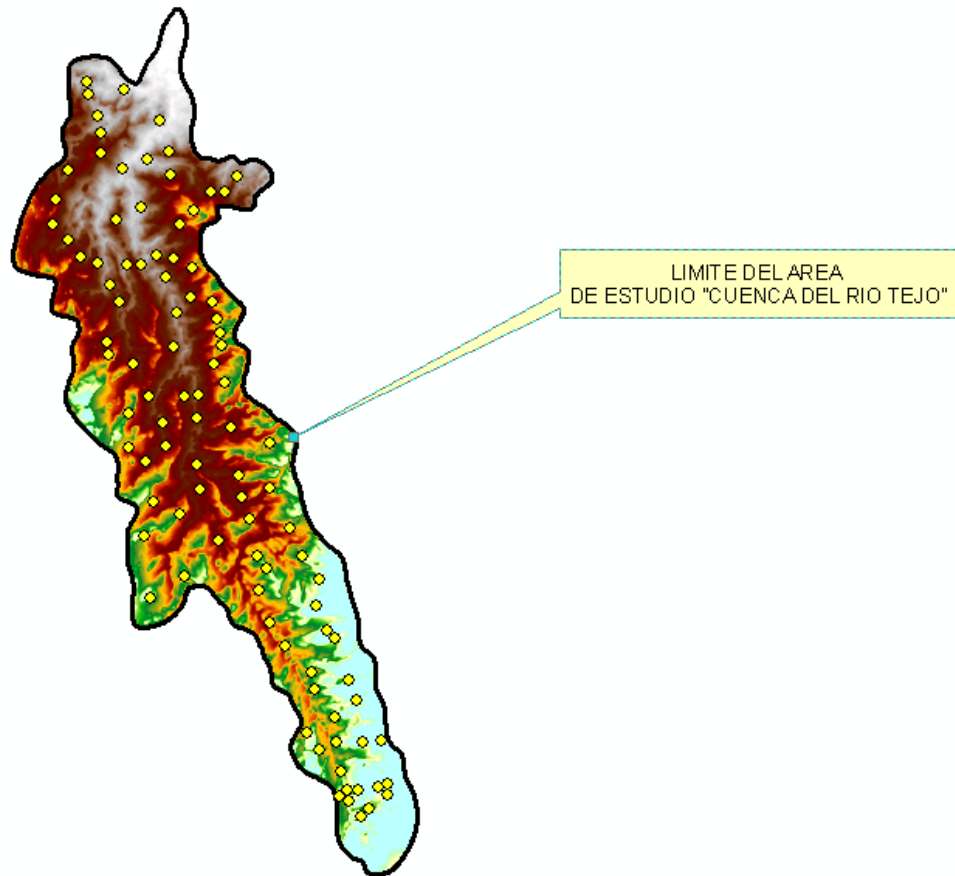


Figura 33. Localización de los puntos que presentan procesos erosivos dentro del límite del área de estudio de la microcuenca del río tejo.

Fuente. Autores del Proyecto.

5.1.8. Breve Diagnostico de los procesos erosivos según lo observado en campo

Fueron localizados un total de 98 puntos con sus respectivas coordenadas XY, los cuales se especializan de la siguiente forma dentro de la zona de estudio. Esta división de la cuenca se dio de acuerdo a la diferencia altitudinal de esta cuenca la cual determina su zona de vida.

Zona parte alta: corresponde a una zona con un área superficial de 4329.537145Ha unidades de paisaje de montaña y una pequeña zona de valle en esta zona se georeferenciaron un total de 55 puntos con problemas erosivos en diferente grado.

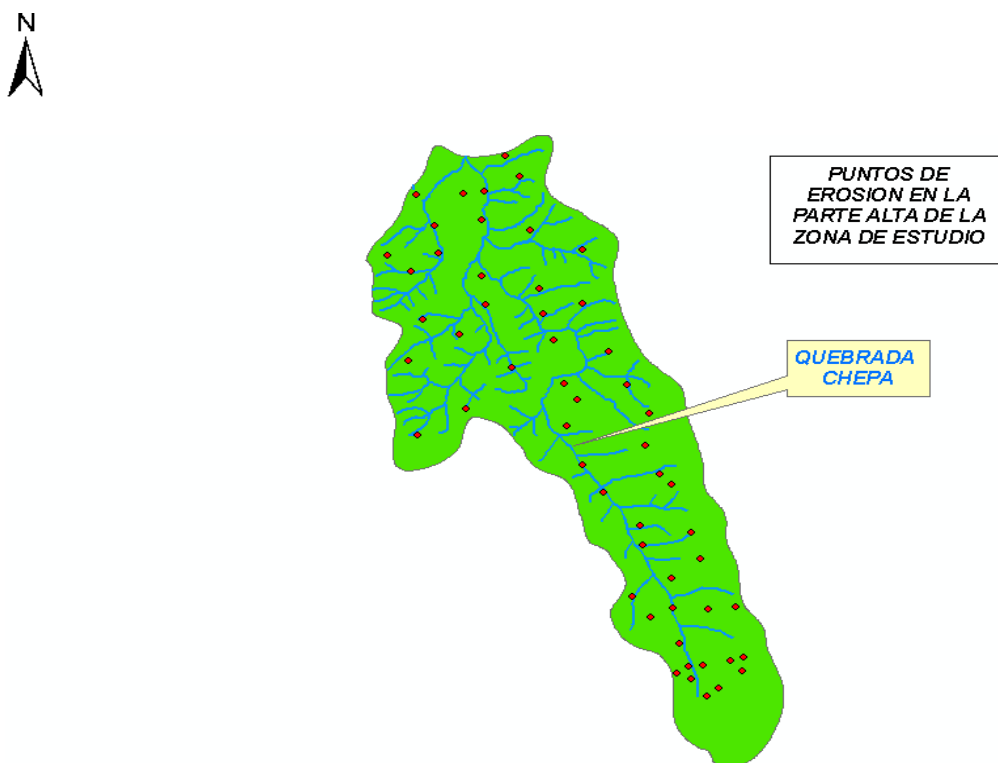


Figura 34. límite de la zona parte alta delimitada a partir de las diferencias altitudinales dadas estas por las cotas de las curvas de nivel, en esta parte alta se lograron georeferenciar un total de 55 puntos los cuales se simbolizan con geometría de puntos de color rojo, dentro de esta zona el drenaje de mayor importancia es la quebrada la chepa.

Fuente. Autores del Proyecto.

Zona parte media Presenta un área superficial de unos 1065.233703Ha unidades de paisaje de montaña y valle en la cual se encontraron un total de 23 puntos de procesos erosivos en distintos grados de afectación.

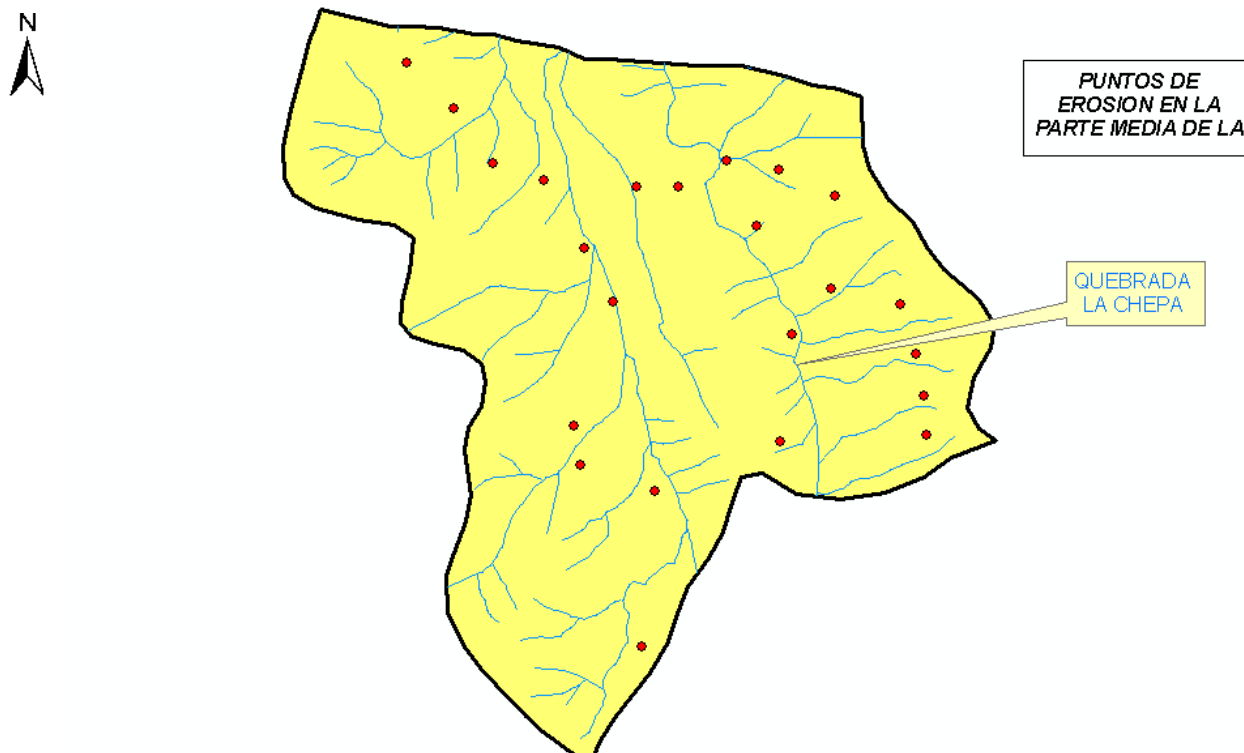


Figura 35. Límite de la parte media de la zona de estudio la cual se delimito a partir de las diferencias altitudinales de la microcuenca del tejo, la quebrada la chepa también recorre la zona de sur a norte en un recorrido total de 3.225344km.

Fuente. Autores del Proyecto.

Zona parte baja Con un área superficial de 788.469936Ha se geo referenciaron un total de 20 puntos con problemas erosivos dentro de sus límites geográficos los cuales fueron delimitados a partir de las diferencias altitudinales de la microcuenca del rio tejo.

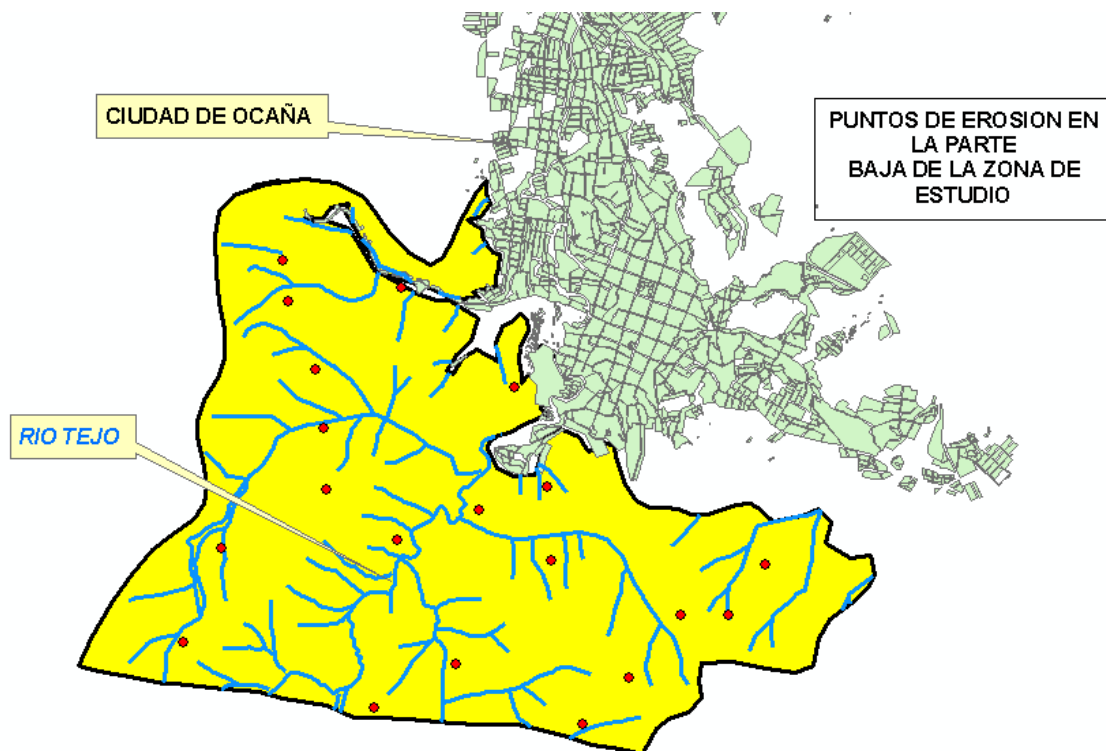


Figura 36. Parte baja de la cuenca del rio tejo dentro de la zona de estudio, donde se simbolizaron los 20 puntos erosivos que fueron identificados en campo y geolocalizados con la antena receptora GPS.

Fuente. Autores del Proyecto.

En la figura N° 33, se puede apreciar toda la zonificación alta, media, baja de la zona en estudio, la zona que más presento puntos en procesos erosivos fue la parte alta donde se encuentra también delimitada el área de reserva declarada por el INDERENA y que cumple funciones de protección del recurso hídrico.

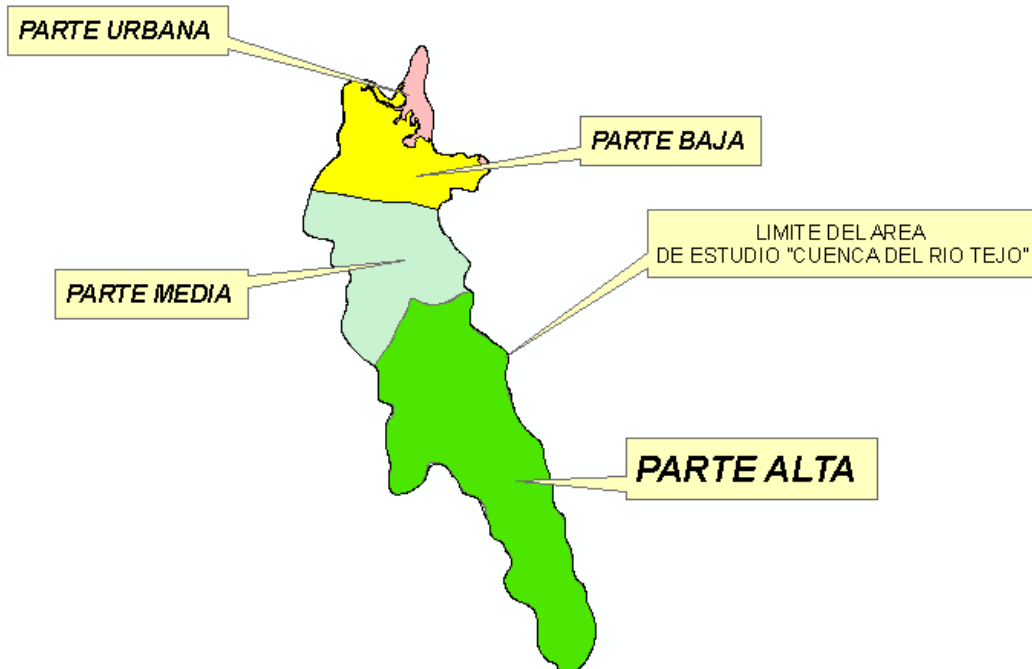


Figura 37. División de la zona de estudio por diferencias altitudinales de las cotas de curvas de nivel las cuales fueron extraídas a partir de un modelo digital de elevación.

Fuente. Autores del Proyecto.

5.2. Resultados del Objetivo N° 2. Aplicar la ecuación de pérdida universal de suelo (USLE - RUSLE) en el área de la microcuenca por medio del uso del software SIG ArcGIS 10.3.

Para el desarrollo de este objetivo se procedió a calcular cada uno de los factores que componen la ecuación (USLE – RUSLE), para este caso se procesó cada uno de los factores

en el software SIG ARCGIS 10.3 mediante la creación de los archivos raster y el apoyo de la calculadora raster para el procesamiento de la ecuación.

En la figura 38. Se muestran los principales factores que influyen sobre los procesos de erosión hídrica en un suelo.

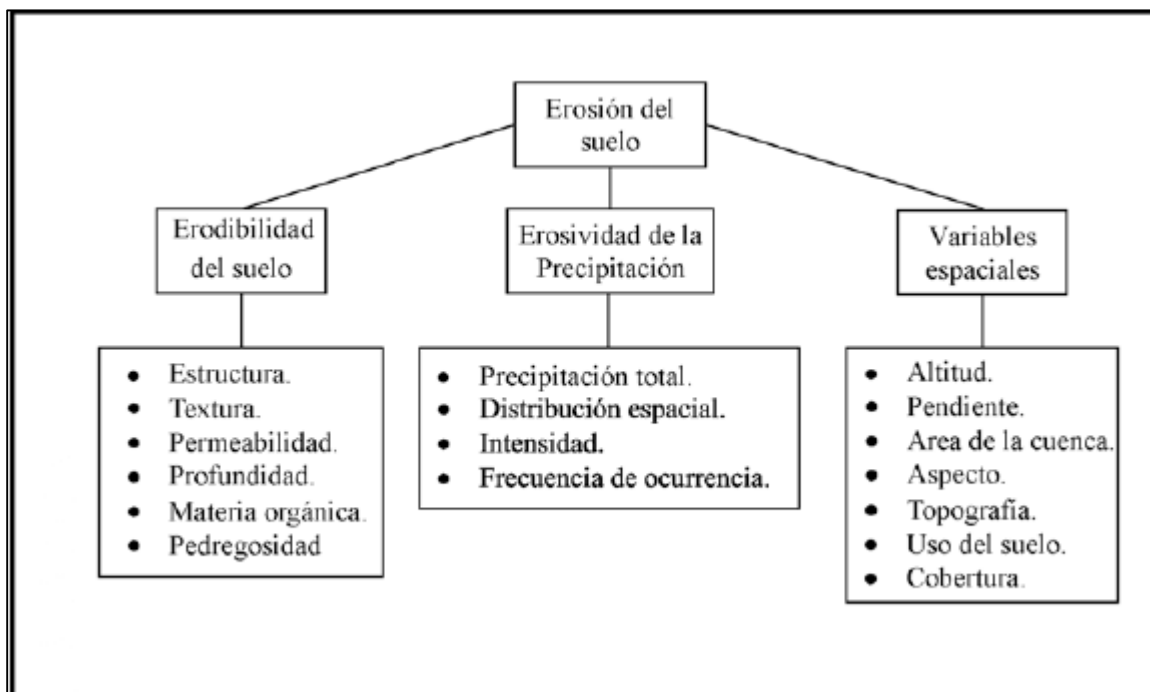


Figura 38. Factores que influyen sobre la erosión hídrica de los suelos.

Fuente. Adaptado de Symeonaky, 2001.

5.2.1 Altitudes de la zona de estudio

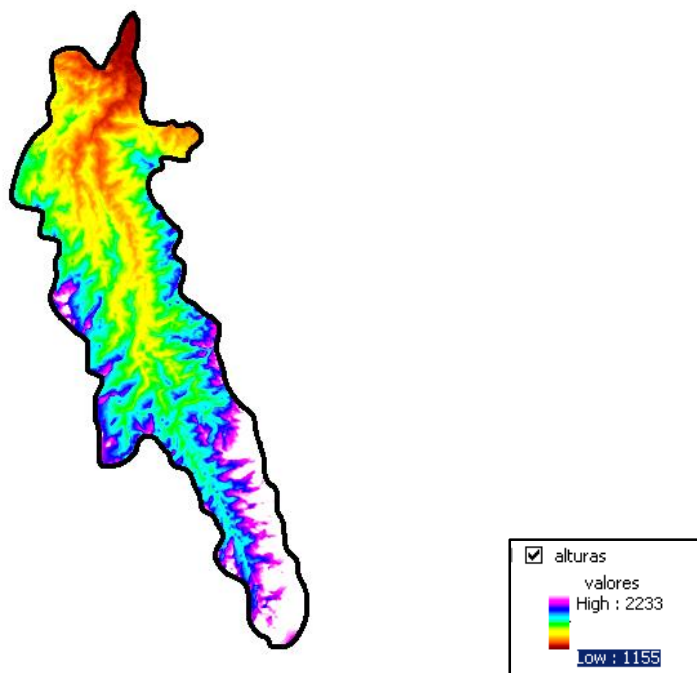


Figura 39. Diferencia de altitudes en la zona de estudio construido a partir de un modelo digital de elevación a 30mtrs de resolución el cual se descargó del geoportal EARTH EXPLORET, y su posterior reproyección a sistema Magna SIRGAS Colombia Bogotá.

Fuente. Autores del Proyecto.

La zona de estudio tiene su menor altura con 1155m y la mayor a 2233m la parte baja está localizada sobre el área urbana del municipio de Ocaña Norte de Santander las zonas de mayor elevación están hacia la cordillera oriental.

5.2.2 Erodabilidad del suelo de la cuenca del río Tejo.

Determinación del factor de erodabilidad del suelo. Según el estudio de suelos y zonificación de tierras de Norte de Santander elaborado en el año 2006 por el IGAC y financiado por CORPONOR, los suelos que hacen parte del área de estudio presentan las siguientes características:

Textura. En la zona se presentan varias clases texturales las cuales presentan una serie de características particulares y que también influyen en gran forma sobre el potencial de erodabilidad del suelo. En la siguiente tabla se muestra la relación de las clases texturales del suelo en la cuenca.

Tabla 3.

Relación de las clases texturales de suelos en la zona de estudio, y sus áreas junto con algunas de sus características, las cuales se encuentran descritas en el estudio de suelos y zonificación de tierras de Norte de Santander.

CLASES TEXTURALES DE LA ZONA DE ESTUDIO						
PAISAJE	CLIMA	UNID_CARTO	SIM	TEXTUR_	CLASIF_AGR	Area_ha
Montaña	Medio Húmedo	Asociación	MQBf 1	FArA - FA	VII	975.842038
Montaña	Medio Húmedo	Complejo	MQTf 1	FAr - FGr	VII	1832.98591 7
Montaña	Medio Húmedo	Complejo	MQTf 1	FAr - FGr	VII	32.788639
Montaña	Medio Muy Húmedo	Consociación	MPTf1	F - FAr	VII	777.499213
Montaña	Medio Muy Húmedo	Consociación	MPBf1	Ar	VII	157.239557
Montaña	Medio Muy Húmedo	Consociación	MPSg 1	FArA - FAr	VIII	1.84433
Montaña	Medio Húmedo	Consociación	MQSg 1	FA	VIII	154.778428
Montaña	Cálido Seco	Consociación	ME	FGr - Ar	VIII	123.332245
Lomerío	Medio Seco	Asociación	LRAe3	FA	VII	256.996772

Fuente. Estudios de Suelos de Norte de Santander.

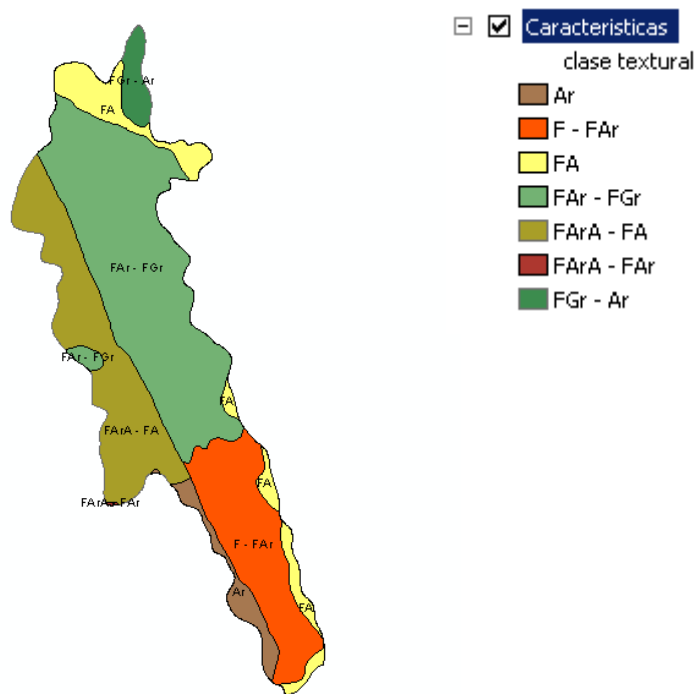


Figura 40. Unidades texturales de los suelos presentes en la zona de estudio.

Fuente. Autores del Proyecto.

Profundidad de los suelos. Según la información geográfica del estudio de suelos y zonificación de tierras de Norte de Santander clasifica los suelos de la zona de estudio con las siguientes profundidades:

Tabla 4.

Relación de la profundidad de suelos y sus texturas, junto al área que ocupan en la zona de estudio.

PROFUNDIDAD DE LOS SUELOS EN LA ZONA DE ESTUDIO						
COD_UNID	PAISAJ	SIM	PROFUNDI	TEXTU	CLASIF_A	AREA_H
AD	E		DA	R_	GR	A
MQBf1	Montaña	MQBf1	Profundos	FArA - FA	VII	975.842038
MQTf1	Montaña	MQTf1	Profundo	FAr – FGr	VII	1832.98592
MQTf1	Montaña	MQTf1	Profundo	FAr – FGr	VII	32.788639
MPTf1	Montaña	MPTf1	Moderada	F – Far	VII	777.499213
MPBf1	Montaña	MPBf1	Moderada	Ar	VII	157.239557
MPSg1	Montaña	MPSg1	Profundo	FArA – Far	VIII	1.84433
MQSg1	Montaña	MQSg1	Moderada	FA	VIII	154.778428
ME	Montaña	ME	Moderada	FGr – Ar	VIII	123.332245
LRAe3	Lomerío	LRAe3	Superficial	FA	VII	256.996772

Fuente. Estudios de Suelos de Norte de Santander

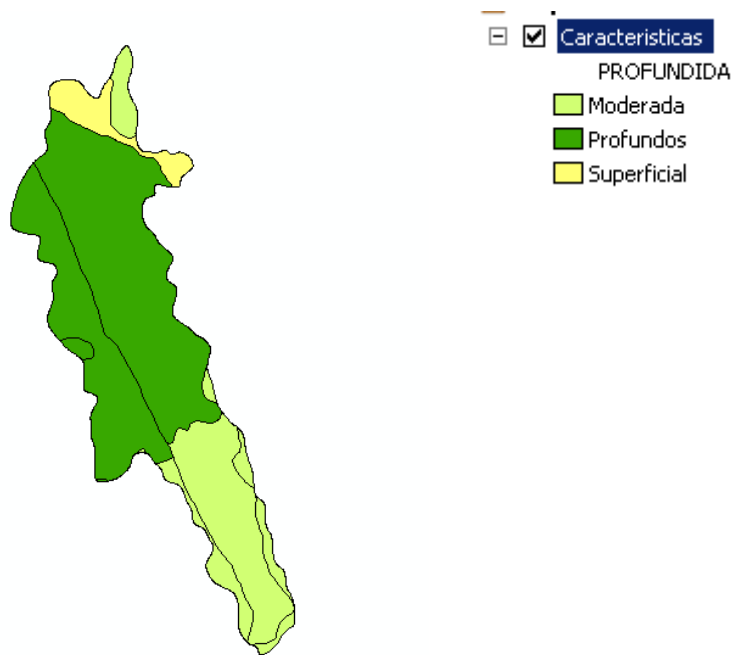


Figura 41. Profundidad de los suelos en la zona de estudio.

Fuente. Autores del Proyecto.

Infiltración, Drenaje o Permeabilidad del suelo. De acuerdo a las características agrologicas de los suelos estos presentan un nivel de infiltración o drenaje natural esta característica es fundamental en el momento de determinar el factor de erodabilidad de los suelos.

Tabla 5.

Características de drenaje natural de los suelos en la zona de estudio.

CAPACIDAD DE DRENAJE DEL SUELO EN LA ZONA DE ESTUDIO							
P	CLIMA	PROFU	DREN	TOPOGRAF_	TE	AR	
AISAJE		NDIDA	AJE		XTUR_	EA_HA	
M	Medio	Profund	Bien		FAr		975.
Montaña	Húmedo	os	drenados	Escarpada	A - FA		842038
M	Medio	Profund	Bien		FAr		183
Montaña	Húmedo	os	drenados	Escarpada	- FGr		2.98592
M	Medio	Profund	Bien		FAr		32.7
Montaña	Húmedo	os	drenados	Escarpada	- FGr		88639
M	Medio Muy	Moderada	Bien	Fuertemente	F -		777.
Montaña	Húmedo	da	drenados	quebrada	FAr		499213
M	Medio Muy	Moderada	Bien	Fuertemente			157.
Montaña	Húmedo	da	drenados	quebrada	Ar		239557
M	Medio Muy	Profund	Bien	Fte quebrada -	FAr		1.84
Montaña	Húmedo	os	drenados	Escarpada	A - FAr		433
M	Medio	Moderada	Excesi				154.
Montaña	Húmedo	da	vo	Escarpada	FA		778428
M		Moderada	Bien	Fte quebrada -	FGr		123.
Montaña	Cálido Seco	da	drenados	Ondulada	- Ar		332245
L		Superfic	Bien	Fuertemente			256.
Comerío	Medio Seco	ial	drenados	quebrada	FA		996772

Fuente. Estudios de Suelos de Norte de Santander

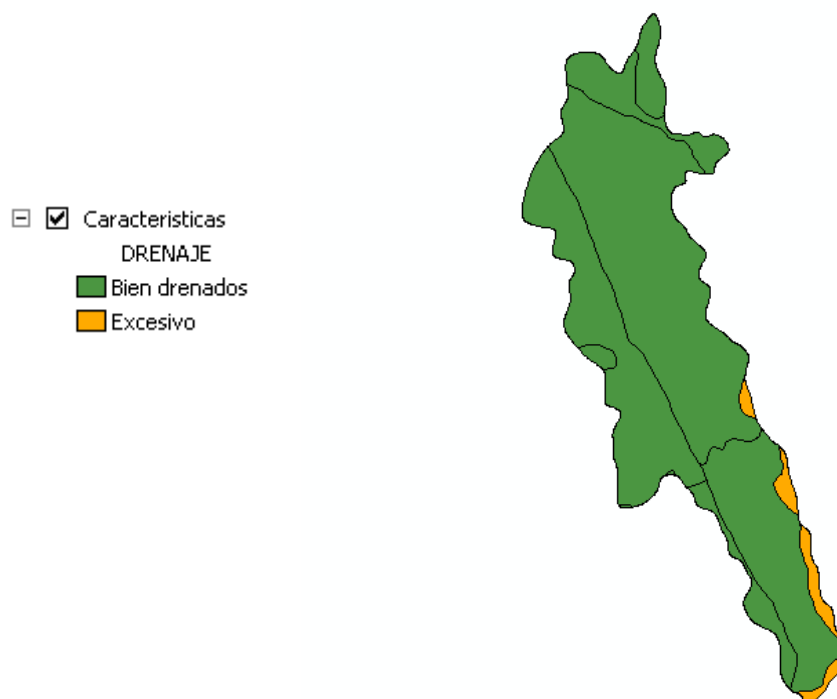


Figura 42. Clasificación del drenaje natural de los suelos en la zona de estudio según el estudio de suelos de Norte de Santander.

Fuente. Autores del Proyecto.

Todos los suelos presentes en la zona de estudio presentan una alta pedregosidad y/o están limitados por roca esto es una característica habitual de los suelos clase VII-VIII los cuales son suelos de conservación y recuperación de la naturaleza.

5.2.3. Erosividad De La Precipitación en la zona de estudio.

Para determinar el potencial erosivo de la lluvia se calculó primero la precipitación total que se presenta en la zona, estos calculo fueron realizados a partir la información climática entregada por el IDEAM y la cual fue solicitada al correo institucional de la entidad.

		I D E A		M - INSTITU ETEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES									
						SISTEMA DE		INFORMACION					
				VALORES TOT PRECIPITACI		NACIONAL		AMBIENTAL					
FECHA DE	PROCES	O :	2016/04	/12	ESTACION :	16055040	A	CENTRO	ADMO				
LATITUD	805 N			TIPO EST	CF DEPTO	NC	FECHA-INSTA	N	1969-JUL				
LONGITUD	7313 W			ENTIDAD	O MUNICIPIO		FECHA-SUSPENSION						
ELEVACION	1430 m.	s.n.m		REGIONAL	(CORRIENTE	ALGODONAL						

AÑO EST ENT	ENERO *		FEBRE *	MARZO *	AB *	JULIO *	AC	NOVIE *	DIC VR ANUAL *				

1969	2	01				29.6	223.7	67.0	15.7	726.3			
1970	2	01	36.7	0.3	32.3	50.0	149.9	3	197	89.0	55.6	1287.3	
1971	2	01	45.8	6.4	25.8	3	118.4	4.5	195.2	109.3	.5	1282.8	
1972	2	01	1.8	3	81.6	64.7	191.0	3.0	110.1	19.2	7.0	922.8	
1973	2	01	9.1		0	41.8	3	124.5	74.0	140.4	18.5	147.0	978.1
1974	2	01	1.1	3	7.7	15.3	70.7	37.9	142.2	76.3	.7	1114.4	
1975	2	01	0		14.6	86.3	92.0	98.1	141.3	134.7	134.7	1528.1	
1976	2	01	0	1.5	3	6.9	46.8	18.8	69.7	21.3	.8	609.1	
1977	1	01	71.1	3	147.4	26.9	8	42.6	81.9	138.0	83.0	.5	1128.4
1978	2	01	0.2	2.6	3	116.8	208.1	72.1	148.2	44.5	6.2	1161.6	
1979	2	01	2.9		22	58.7	221.4	120.6	128.1	46.4	5.0	1385.4	
1980	2	01	4.7		11.4	6.8	39.0	28.9	195.2	93.6	21.5	951.7	
1981	2	01	0		42.8	41.1	135.2	55.4	238.3	47.4	94.9	1492.1	

Figura 43. Ejemplo de las tablas de precipitación recibidas por parte del IDEAM, estas tablas contienen la información climática de una serie de tiempo de los últimos 20 años.

Fuente. IDEAM.

Luego de analizar y estudiar la información se ingresó está en las bases de datos de las estaciones vigentes o activas según la información del catálogo de IDEAM.

En la siguiente imagen descargada de GOOGLE EARTH PRO , se pueden apreciar las 5 estaciones usadas para el cálculo de la precipitación máxima en la zona de estudio.

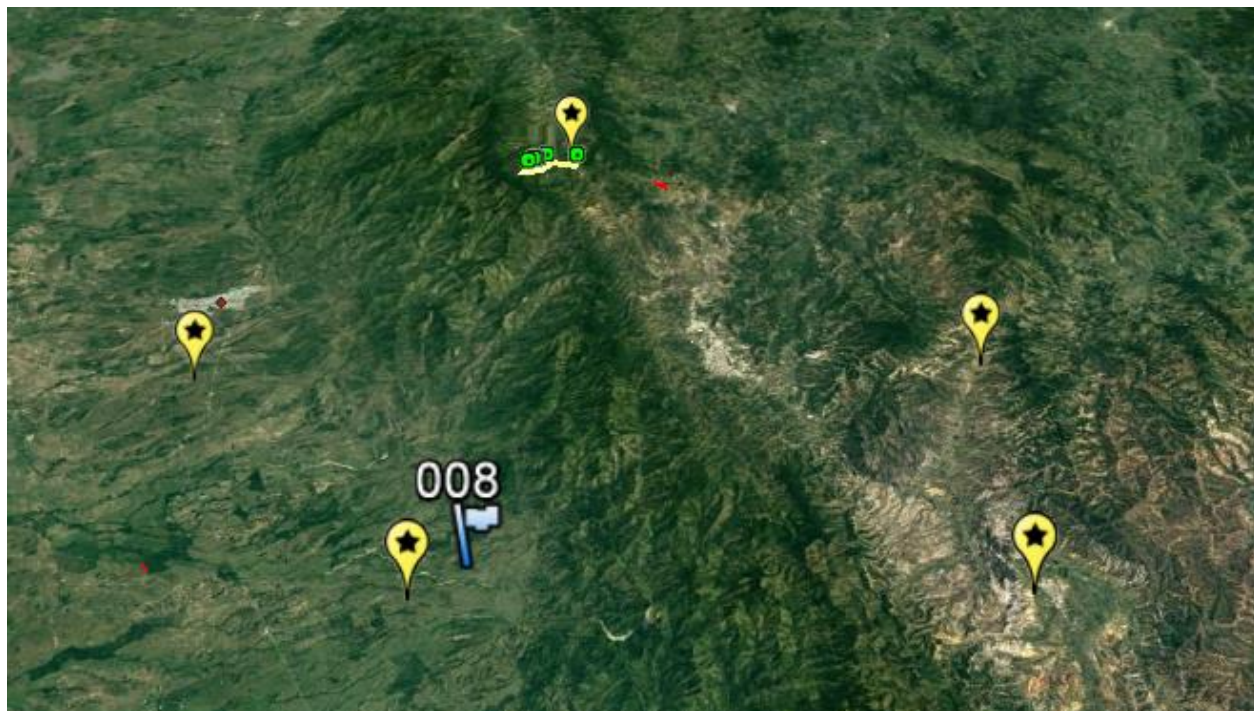


Figura 44. Localización de las estaciones activas del IDEAM marzo del 2016, y de las cuales se recibieron las series de tiempo para el análisis de la precipitación.

Fuente. Google Earth pro.

Basados en los datos que entrego el IDEAM sobre las precipitaciones máximas mensuales en la zona de influencia de las 5 estaciones representadas en la figura No 24. se procedió a realizar el mapa de precipitaciones máximas en la zona de estudio usando el método de las Isoyetas, se obtiene entonces que en la zona la menor precipitación es de 1173.91mm/año y una precipitación máxima de 1335.54mm/año.

5.2.4. Distribución espacial de la precipitación.

Mediante el uso de un modelo de Isoyetas dentro del límite geográfico de la zona de estudio se estableció el modelo de distribución de la precipitación total dentro de esta cuenca. Presentado que la zona de montaña o donde más predomina paisaje de montaña es donde se presenta una mayor precipitación, lo anterior puede verse como cierto dado que esta zona presenta una mejor cobertura vegetal de bosque natural sin intervenir lo cual favorece la captura de agua en su forma condensada.

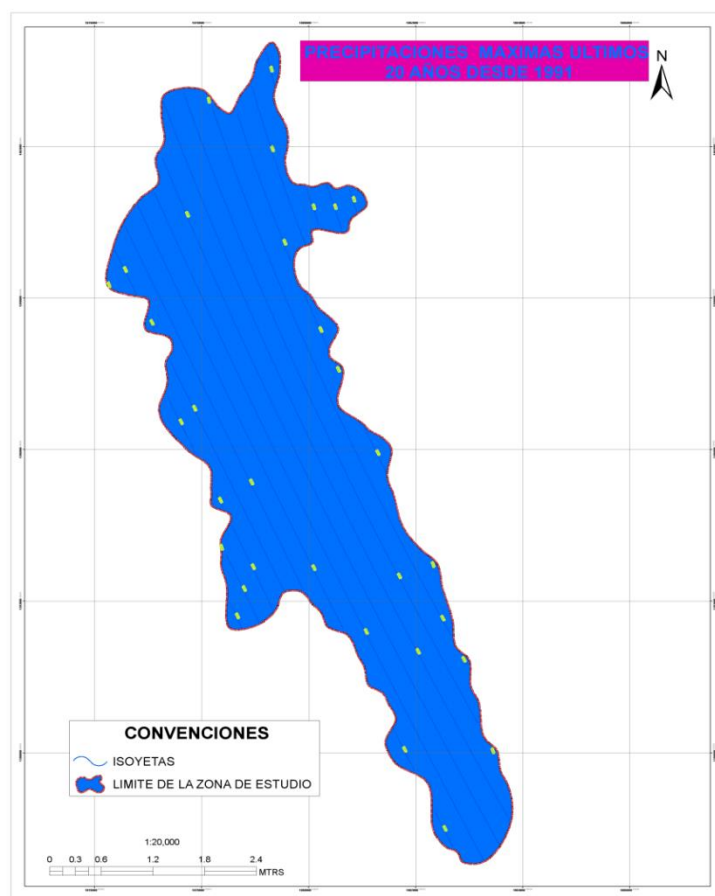


Figura 45. Mapa de precipitaciones en la zona de estudio, a partir de las Isoyetas realizadas en el software arcgis10.3 con los datos de lluvias de los últimos 20 años, datos entregados por el IDEAM en formato de archivo de texto.

Fuente. Autores del Proyecto.

Las zonas más bajas de la cuenca “zona de estudio” las cuales son las más próximas al perímetro urbano de la ciudad de Ocaña presentan menores precipitaciones de lluvia, como lo muestra el siguiente raster de precipitación construido a partir de las Isoyetas y mediante un modelo de interpolación geostatístico de ArcGIS 10.3.

Distribución Espacial de la Precipitación Dentro de la Zona de Estudio



Figura 46. Raster de la distribución espacial en la zona de Estudio.

Fuente. Autores del Proyecto.



Figura 47,48. De izquierda a derecha que muestra el paisaje de montaña y la vegetación de bosque natural que se presenta en la zona donde se registra la mayor precipitación en el año según el modelo de Isoyetas.

Fuente. Autores del Proyecto.

5.2.5. Intensidad y Duración de la lluvia.

La intensidad de la lluvia fue calculada a partir de las curvas IDF y las que para su desarrollo tuvieron la siguiente metodología.

Fue seleccionada la estación meteorológica del centro administrativo del centro de Abrego la cual serviría como base para el cálculo, los parámetros para la selección de esta estación fue que cuando se realizó el estudio y selección de datos de precipitación para realizar la temática de Isoyetas. Fue la estación que presento más consistencia en los registros y por su cercanía espacial a la zona de estudio unos 25 km.

Una vez a sumida la estación con serie de tiempo de 20 años se descontó el año 1991 dado que se presentaba inconsistencia en la información pluviografica, se procedió a seleccionar un total de 90 aguaceros, considerados los de mayor intensidad y desfavorables, una vez

fueron analizados se procedió a la selección de los 57 de estos, basados en la consideración de tener las máximas intensidades para diferentes duraciones de estas intensidades fueron elaborados los correspondientes bases de datos para proceder con la interpolación de precipitación acumulada con intervalos de 5 minutos.

Aplicando entonces los cálculos vectoriales correspondientes, fueron halladas las intensidades máximas de cada uno de los aguaceros y fue hallada una de probabilidades mediante la aplicación del método Gumbel, para cada duración y periodo de retorno y se obtuvo la curva de intensidad- frecuencia y duración correspondiente

valores maximos mensuales precipitacion en 24horas (mm)												
fecha del proceso	16/06/2017					DPTO	Norte de Santander					
Codigo Estacion	1605504	ABREGO AD	Tipo de Estacion	CP	Municipio	Abrego						
Latitud	0805N			Entidad	01IDEAM	corriente	Algodonal					
Longitud	7314W	Regional 08 Santanderes										
año	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
medios	7.7	15.2	18.4	31	38.2	29.6	27.9	41	27	35.4	19.5	13.4
maximos	57.4	66.2	58.7	59.2	55.6	77	72	80	56.3	76.5	35.4	44.4
minimos	0	0	3	15	8.8	8.7	1.2	28.6	4.9	13.4	6.9	0.2

Figura 49. Tabla de los valores máximos mensuales de la precipitación en 24 horas (mm).

Fuente. Autores del Proyecto, a partir de datos del IDEAM.

En la siguiente figura se resumen la intensidad para distintos periodos de retorno establecidos para un tiempo de concentración hasta cien minutos.

INTENSIDAD DE AGUAS LLUVIAS (lt/seg - Ha)					
DURACION EN MINUTOS	TIEMPO DE RETORNO EN AÑOS				
	3	5	10	25	50
5	268	329,5	384,5	448,9	496,7
10	241,2	297	347,8	408,9	453,9
15	218,2	268,6	315,6	373,6	416,1
20	198,3	244,5	288,1	342,2	382,3
25	180,7	223,1	263,6	314,2	351,7
30	165,7	204,5	242	289,2	324,2
35	152,2	188,1	222,5	266,7	299,5
40	140,5	173,6	205,6	246,7	277
45	130,2	160,6	190,3	228,4	257
50	120,8	149,2	176,4	212	238,4
55	112,4	138,6	164,2	197,2	221,7
60	104,8	129,5	152,8	183,6	206,4
65	98,1	120,8	142,8	171,4	192,5
70	91,8	113,3	133,6	160	179,7
75	86,3	106,4	125	149,7	168,1
80	81	100	117,5	140,3	157,5
85	76,5	94,2	110,6	131,7	147,5
90	72,2	88,9	103,9	123,9	138,6
95	68,3	83,9	98,1	116,4	130
100	64,5	79,5	92,8	109,7	122,5

Figura 50. Cuadro resumen de la intensidad para distintos periodos de retorno establecidos para un periodo de concentración hasta cien minutos.

Fuente. Autores del Proyecto.

5.2.6 Litología.

Según la litología del estudio de suelos de Norte de Santander, la zona de estudio presenta unas características heterogéneas esta condición le da unas características especiales a la cuenca las cuales influyen en forma directa sobre los procesos de escorrentía de esta .

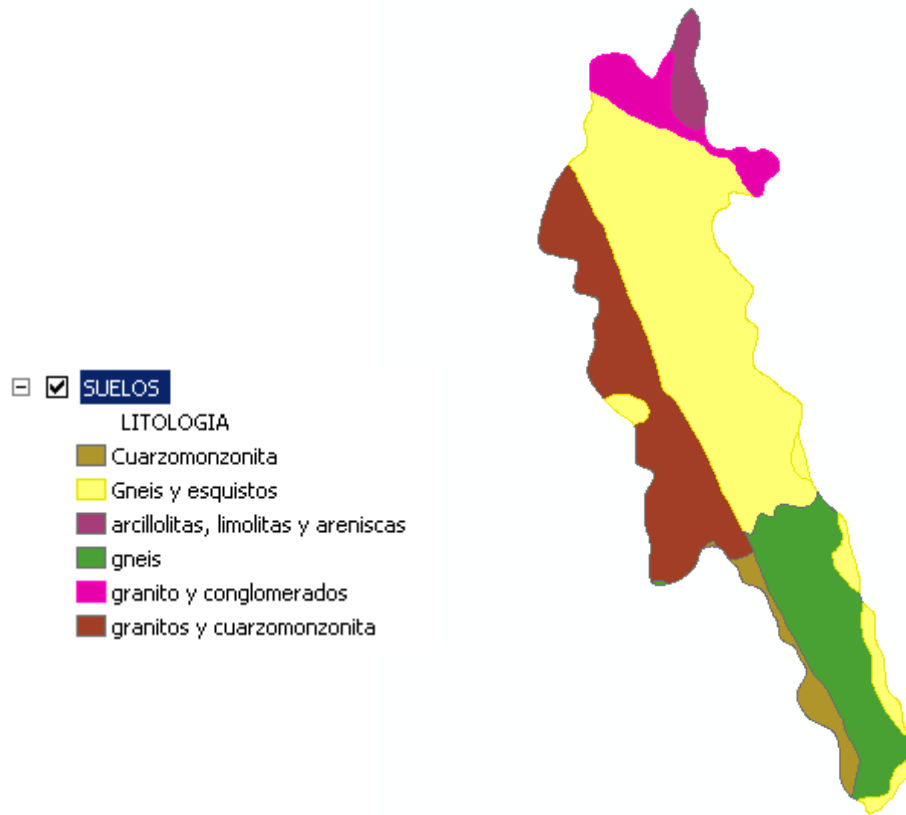


Figura 51. Litología

de

la zona de estudio según el estudio de suelos de Norte de Santander y Zonificación de tierras del año 2006.

Fuente. Autores del Proyecto.

5.2.7 Coberturas de la tierra.

Para determinar las coberturas de la tierra presentes en la zona de estudio, se realizaron visitas a campo por parte de los autores del proyecto identificando las diferentes coberturas las cuales son descritas en las siguientes fotografías.



Figura 52. Fotografía de la cobertura de bosque denso fragmentado, zonas de cultivos o tierras agrícolas, estas tierras agrícolas han estado aumentando en el área de la cuenca según los testimonios de los habitantes en la zona, lo cual se debe a que las actividades productivas aumentan y las tierras con capacidad agropecuaria disminuyen.

Fuente. Autores del Proyecto.



Figura 53. Coberturas de pajonales, esta cobertura se presenta en grandes zonas de la cuenca debido a que es una característica fundamental en los suelos de estas clases agrologicas VII-VIII. Estos suelos están limitados por roca y son de fuerte pendiente.

Fuente. Autores del Proyecto.



Figura 54. Cobertura de herbazales y zonas con poca o nula vegetación que se presentan en la cuenca del río tejo, también coberturas tradicionales en los suelos de clase VII- VIII.

Fuente. Autores del proyecto.



Figura 55. Pajonales, cultivos de frijol y zonas desnudas dentro de la microcuenca del río tejo.

Fuente. Autores del Proyecto.



Figura 56. Bosque de galería zonas de cultivos y con poca o nula vegetación.

Fuente. Autores del Proyecto.

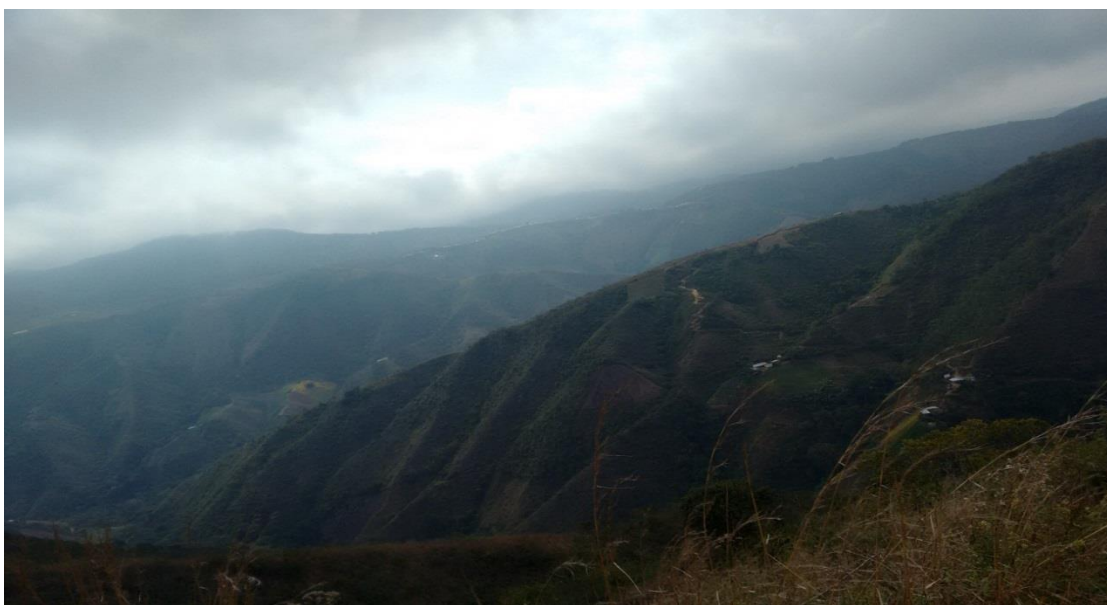


Figura 57. Bosque fragmentando en el paisaje de montaña de la cuenca del río tejo.

Fuente. Autores del Proyecto.

5.2.8 Determinación del Factor de erosividad de la lluvia por medio de un Modelo SIG.

Para la determinación del factor de erosividad de las precipitaciones en la microcuenca del río tejo (según Morgan, Roose, Foster y el índice modificado de Fournier), se usó como base un modelo digital de elevación aplicando la siguiente ecuación en la calculadora Raster del software SIG. La fórmula también calcula el factor Ls % de pendientes y longitud de la pendiente.

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

Fórmula 1. Ecuación para factor de erosividad de la lluvia.

Fuente. Usle – Rusle.

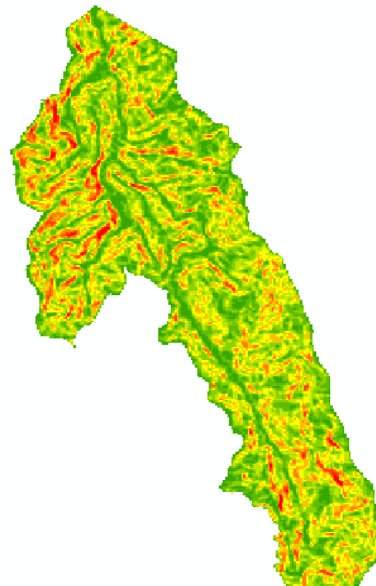
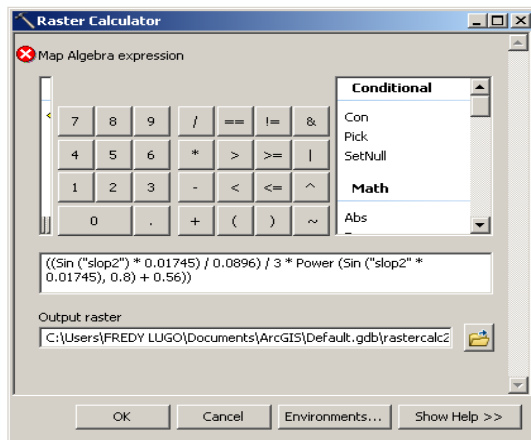


Figura 58. Aplicación de la fórmula N°1 para cálculo del factor R, mediante el uso de la calculadora raster en un mapa de pendientes de la cuenca del río tejo o área de estudio.

Fuente. Autores del Proyecto.

5.2.9 Cáculo del factor C “Coberturas del suelos” modelación en SIG.

Para determinar el factor c se le dio valores a las coberturas encontradas en campo y que fueron registradas en las figuras: de la 30-35

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

Figura 59. Valores de C , en relación de las coberturas del suelo.

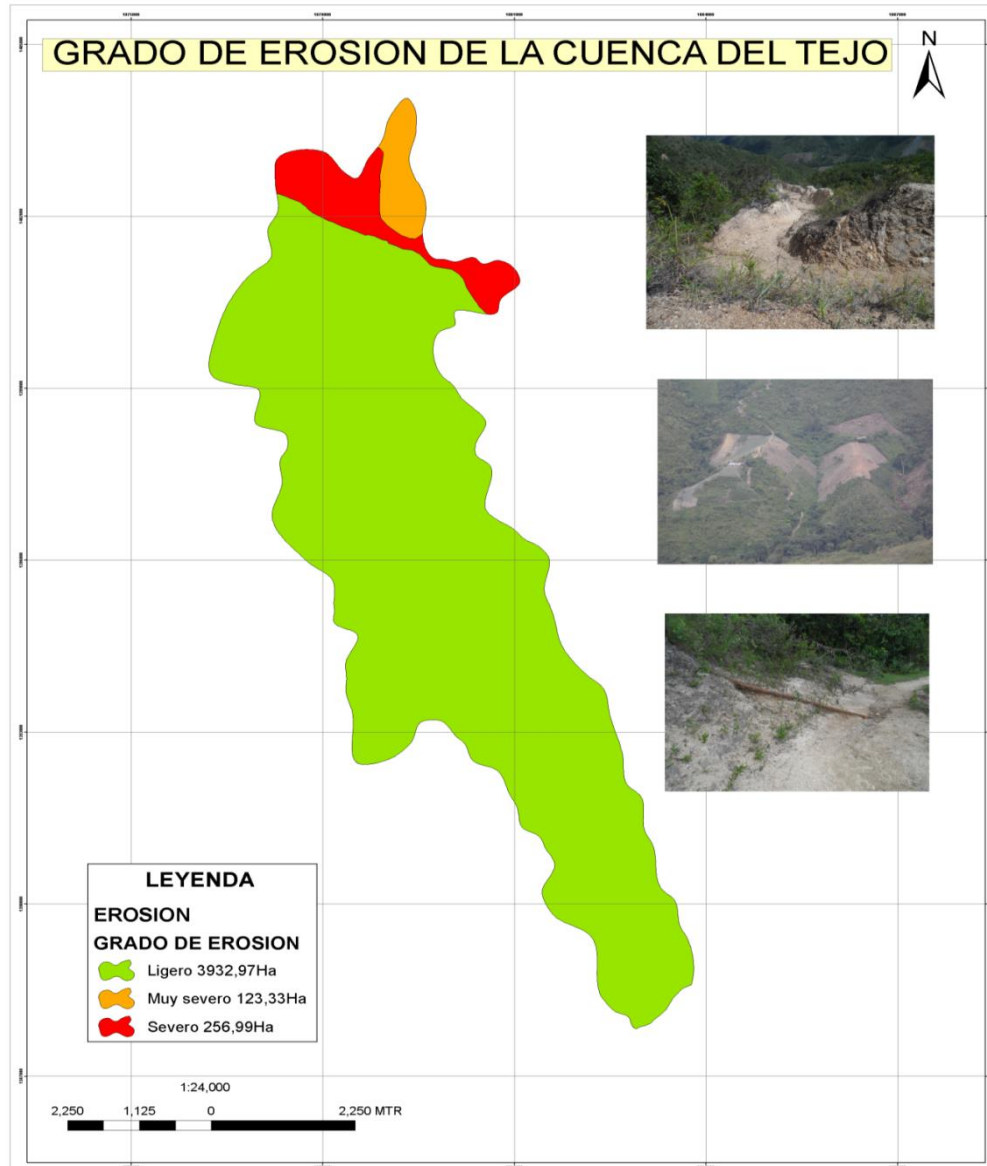
Fuente. Autores del Proyecto.

5.2.10 Determinación del grado de erosión de los suelos en la cuenca del rio tejo.

Posterior a los cálculos de los factores que componen la ecuación USLE – RUSLE, se introdujo en la calculadora Raster del algebra de mapas del software SIG arcgis10.3 versión académica de la universidad francisco de paula Santander Ocaña para poder entregar la temática de grado erosión en Ha se debió resolver cada uno de los factores basados en el procesamiento de información espacial oficial y la colectada en campo.

De acuerdo a las características de la precipitación, intensidad, duración las características litológicas, paisajes, profundidad de los suelos, coberturas actuales se generó la siguiente

temática. Figura 60. Mapa del grado de erosión de los suelos en la microcuenca del río tejo desde su nacimiento hasta el punto de cierre establecido para este proyecto.



Fuente. Autores del Proyecto.

5.3 Resultados del Objetivo N° 3. Cálculo del grado de sedimentación y volumen de sedimentos de arrastre en la microcuenca.

La literatura cita que para realizar el cálculo del grado de sedimentación del área de estudio se debió construir la curva Hipsométrica de la cuenca a partir de las características morfométricas, este objetivo se resolvió con el uso de la herramienta de sistemas de información geográfico como medio de generación de la curva Hipsométrica

Como primer paso para la creación de la curva Hipsométrica se reclasifica el modelo digital de elevación por medio de la herramienta Reclass de Arctoolbox. Como lo muestra la figura 61.

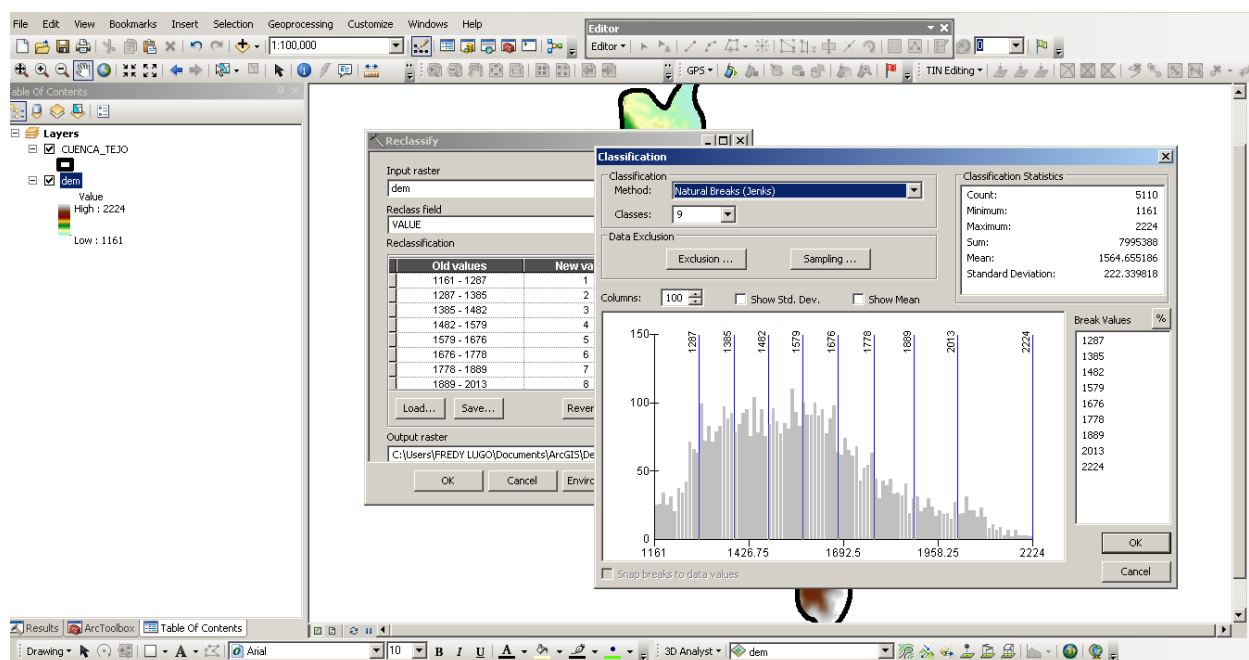


Figura 61. IP del proceso de reclasificación del modelo digital de elevación en el software SIG ARCGIS10.3.

Fuente. Autores del Proyecto.

Obteniendo como resultado un nuevo modelo raster el cual servirá para conocer las áreas entre curvas de nivel de la cuenca aplicando la herramienta zonal de la caja de herramienta de Arctoolbox.

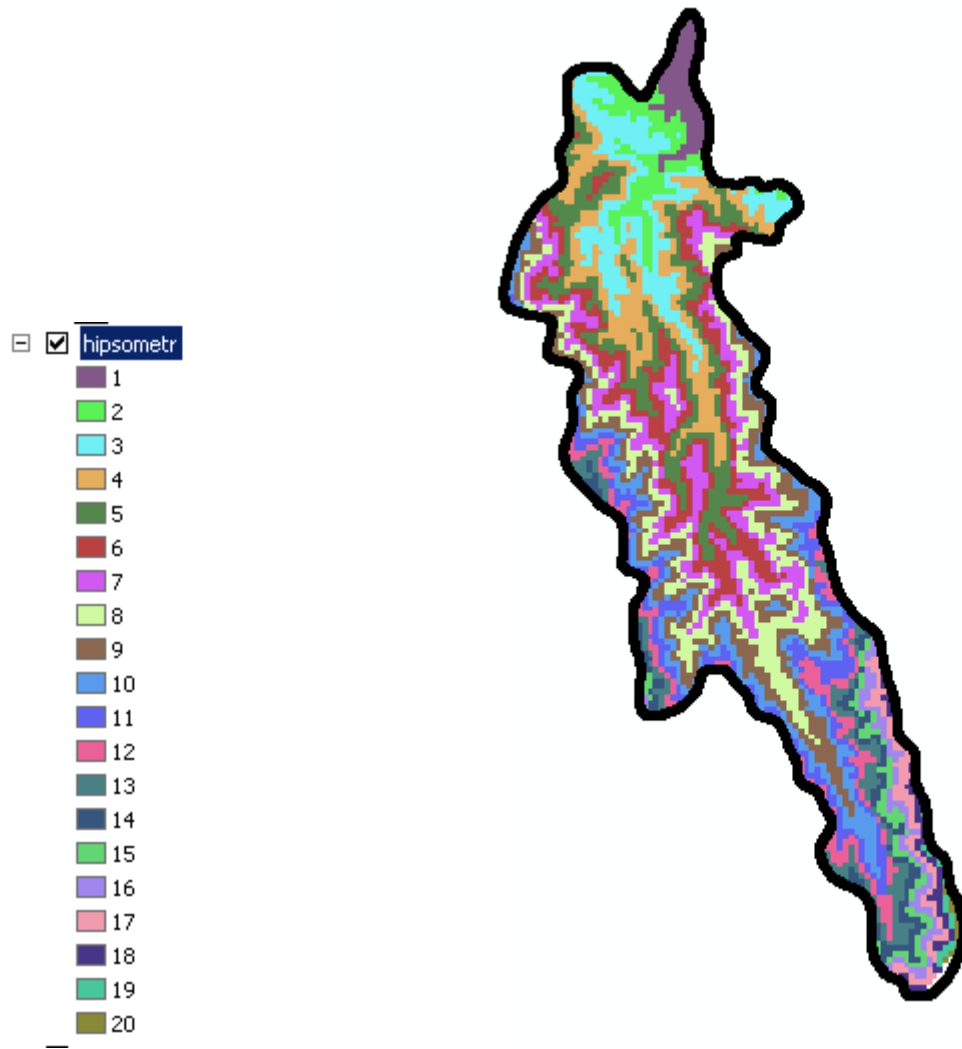


Figura 62. Resultado de la reclasificación del modelo digital de elevación con una cuenta igual a 20 categorías.

Fuente. Autores del Proyecto.

Como resultado del procedimiento de la herramienta zonal se obtienen entonces una tabla de valores estadísticos de las áreas entre curvas, como lo muestra la figura N° 63.

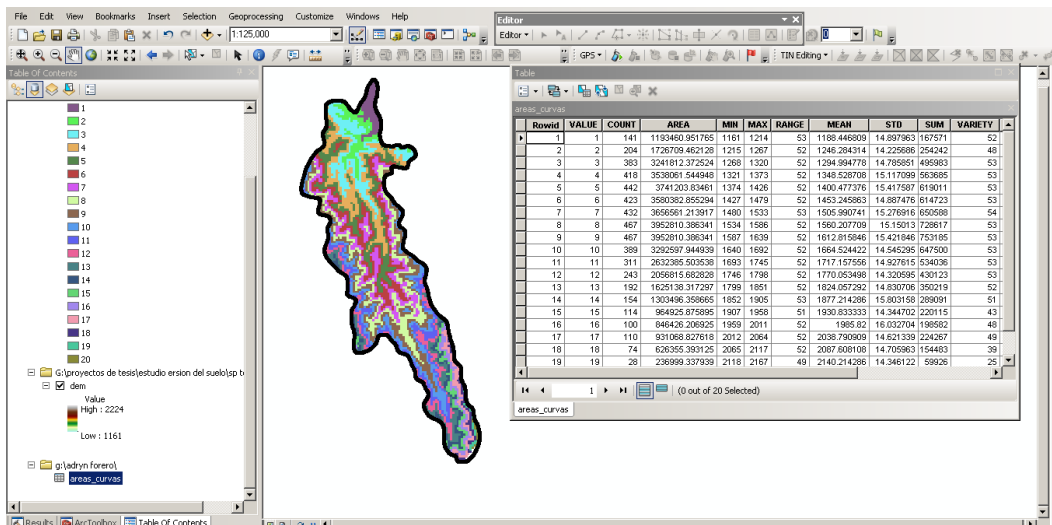


Figura 63. Resultados del procesamiento de la reclasificación del DEM con la herramienta zonal Statics de Arc tollbox.

Fuente. Autores del Proyecto.

Luego de exportar estos datos a una hoja Excel es graficada la curva Hipsométrica de la cuenca obteniendo el siguiente gráfico.

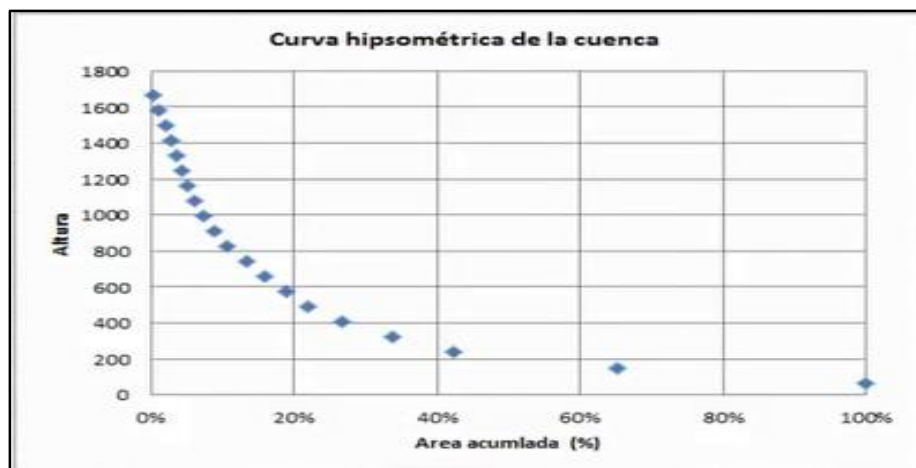


Figura 64. Grafica de la curva Hipsométrica de la cuenca del rio tejo desde su nacimiento hasta el punto de cierre seleccionado para este estudio.

Fuente. Autores del Proyecto.

5.3.1 Análisis de curva Hipsométrica

La curva Hipsométrica de una cuenca permite determinar el ciclo erosivo de esta y su potencial sedimentario (Lisley, et. al.1949), como se puede observar en la siguiente figura.

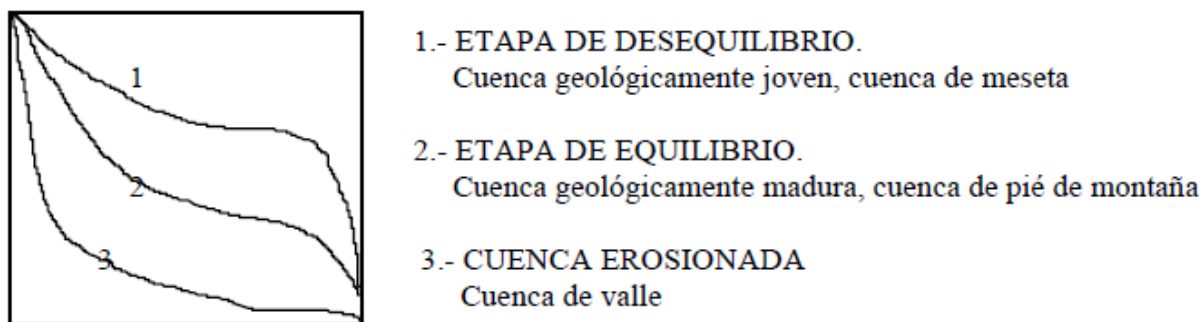


Figura 65. Tipos de curvas hipsométricas que pueden ser construidas a partir de las áreas entre curvas.

Fuente. Manejo sustentable de las cuencas hidrográficas, 2010.

Interpretando los resultados de la curva Hipsométrica obtenidos para el área de estudio y comparándolos con la gráfica de la figura N° 65 nuestro resultado es muy similar a la curva No3 lo cual significa que es una cuenca erosionada o con alto potencial erosionable y de erodabilidad.

Capítulo 6. Conclusiones

La microcuenca del río tejo es fundamental para la ciudad de Ocaña dado que de esta se toma parte importante del caudal de abastecimiento del acueducto local, esta cuenca hace parte de la cuenca del río algodón con el cual se une saliendo del municipio de Ocaña, durante su paso por el municipio del río tejo colecta las aguas residuales de los procesos productivos agropecuarios que se desarrollan dentro de los límites geográficos de esta. El río tejo después del punto geográfico de ingreso a la ciudad de Ocaña recibe el tributo de las aguas negras o hervidas de las habitantes de la ciudad su tributario más importante es el río chiquito. El cual confluye con el río tejo a la altura del punto geográfico denominado para efectos de este trabajo de investigación como punto de cierre.

El presente estudio permitió localizar puntos de erosión los cuales presentan distintos grados desde procesos que apenas se originan como resultado de la mala gestión de las tierras productivas sobre todo en la parte alta de la microcuenca la cual también es un área protegida por resolución del entonces INDERENA, hasta procesos fuertemente desarrollados presentando zonas desnudas y las cuales son resultados de procesos naturales de la meteorización de la roca y propios de suelos de clase agrologica VII-VIII como los son estos suelos según el estudio de suelos y zonificación de tierras de Norte de Santander .

Si bien, es cierto que la ecuación para la pérdida de suelos y la ecuación revisada para la pérdida de suelos (USLE-RUSLE), fue diseñada en un principio como una ecuación teórica para estudios a nivel de parcelas, a partir de la aparición de los sistemas de información geográfica

permitió la aplicación de esta ecuación a grandes extensiones de tierra como es el caso de este estudio, dado que realizar este proyecto mediante la aplicación de la ecuación en pequeñas parcelas habría sido imposible y sumamente costoso por el área de la cuenca en estudio, el uso adecuado de los SIG permitieron la gestión y el procesamiento de información espacial y climática las cuales mediante el tratamiento adecuado sirvió para calcular cada uno de los factores que integran la ecuación USLE.

Como resultado de la investigación se pudieron calcular las zonas en Ha que presentan las diferentes áreas de la microcuenca mostrándolas de forma clara en la figura N° 60 de este documento.

El diseño de la curva Hipsométrica como insumo fundamental para terminar el potencial erosivo y sedimentario de la cuenca que fue objeto de estudio en este proyecto se realizó por medio de la implementación la metodología de áreas entre curvas a partir de las curvas de nivel, pero en lugar de realizar el cálculo manual se realizó por medio del uso de herramientas computacionales en este caso de software SIG por medio del cual se procesó el modelo digital de elevación, reclasificándolo y obteniendo las áreas entre curvas con las cotas de las distintas curvas de nivel.

Este procedimiento arrojó entonces que la microcuenca, es una microcuenca con alto poder erosivo y sedimentario y esto debido a su clase de suelo, litología y geomorfología los cuales fueron estudiados en este proyecto y explicados en cada uno de los objetivos.

Recomendaciones

El uso de herramientas tecnológicas como el software SIG, Google Earth, y otros servidores de tipo geoportal son fundamentales para realizar este tipo de proyectos, este tipo de tecnología le permite a los futuros ingenieros ambientales complementar sus conocimientos teóricos y prácticos con herramientas de nuevas tecnologías, haciéndolos más competitivos en un mundo laboral cada vez más globalizados.

Es importante realizar una actualización en el estudio del POMCHAR de la cuenca del algodonal y desarrollar estudio de este tipo tanto en la cuenca del algodonal como en la cuenca del río Tejo, esos estudios deben contar con el presupuesto suficiente y el personal técnico profesional idóneo para esto, dado que no basta con el buen manejo de un software SIG, sino que este se debe complementar con trabajo en campo de alta calidad, lo cual cuesta desde el punto de vista financiero que por lógica financiera no se podían cubrir desde una tesis de pregrado, la cual se encuentra limitada por factor, financiero, logístico y operativo.

Referencias

- [PLAN DE GESTION DE LA OFERTA DEL AGUA EN LAS CUENCAS DEL AMBITO DEL PROYECTO TACNA] Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento de la República del Perú, 2002.
- [ALTERANTIVAS AMBIENTALES PARA MITIGAR LA EROSION EN LA MICROCUENCA LA COFRADIA DEL MUNICIPIO DE SAN FRANCISCO PUTUMAYO] Gerardo Eliecer Burbano Guerrero; 2007.
- [PLAN DE ORDENACION Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRAFICA DEL RIO BOGOTA] CAR; 2006.
- [EROSION DEL SUELO Y FUENTES DE SEDIMENTACION EN LA CUENCA DEL RIO ESERA] Análisis espacial y dinámica temporal mediante técnicas de simulación y teledetección; Luis Carlos Alatorre Cejudo; 2010.
- [BOLETIN DEL AÑO INTERNACIONAL DE LOS SUELOS], FAO; 2015.
- [DETERMINACION DE LA TASA DE EROSION HIDRICA EN FUNCION DEL MANEJO FORESTAL LA CUENCA DEL RIO SANTAN LUCIA]; 1997
- [PROCESOS DE EROSION Y SEDIMENTACION EN CAUCES Y CUENCAS]: Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO; 2010.
- [GUIA PARA LA DESCRIPCION DE SUELOS]; FAO 2009.
- [REDUCCION DEL RIESGO DE ADAPTACION AL CAMBIO CLIMATICO; SEGUNDO INFORME TRIMESTRAL]; Unidad Agro climatológica De Corpoica Centro de Investigación de Tibaitata; 2014.

- [NAVEGANDO ENTRE BRUMAS; LA APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA AL ANALISIS DE RIESGO EN AMERICA LATINA LA RED] red de estudios sociales en prevención de desastres en América latina; 1998
- [EVALUACION Y MONITOREO DE MODELOS DE EROSION Y SEDIMENTACION A ESCALA REGIONAL USANDO SENSORES REMOTOS Y SIG. CASO DE ESTUDIO EN LA REGION ANDINA COCHABAMBA, BOLIVIA]; 2003
- [METODOLOGIA PARA LA EVALUACION DE LA EROSION HIDRICA CON MODELOS INFORMATICOS, APLICACIÓN DEL MODELO GEOWEPP A DOS PEQUEÑAS CUENCAS EN MADRID ESPAÑA]; Tesis Doctoral ,Martha de Regollos Saenz Ing Agrónomo; 2003.
- [RIESGO DE EROSION HIDRICA EN LA CUENCA HIDROGRAFICA DEL RIO MUNDO] Tesis para optar por el título de Maestría en SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA; Dumas Salazar África; 2012.

Apéndice

1. Ficha de la encuesta para los presidentes de las juntas de acción comunal de las veredas o sus delegados.

FECHA DE ELABORACIÓN: _____

NOMBRE Y APELLIDOS _____ EDAD _____ CC _____

VEREDA _____

CARGO EN LA JAC (Junta de acción comunal) _____

Habitantes de la vereda _____, actividad económica _____

No de propietarios _____ Otra forma de Tenencia _____

Área promedio por predio _____ Ha _____ m²

Cultivos predominantes _____

¿Cuáles son los insumos de síntesis de laboratorio que más usan en la producción agrícola? _____

¿Cuáles son los arboles predominantes en la vereda?

¿Cuáles son los usos que más se le da a la madera en la vereda?

Elaboro la encuesta _____ cc _____

Encuestado _____ cc _____