

**Evaluación ambiental y de riesgo causado por erosión hídrica, en el río Chitagá, sector Mate Lata, vereda la Compañía, entre los PR (27+300 y 28+200), Norte de Santander.**

**Julián Andrés Plazas Jiménez.**

**Universidad de Pamplona**

**Facultad de Ingenierías y Arquitectura**

**Ingeniería Ambiental**

**Pamplona**

**2021**

**Evaluación ambiental y de riesgo causado por erosión hídrica, en el río Chitagá, sector  
Mate Lata, vereda la Compañía, entre los PR 27+300 y 28+200), Norte de Santander.**

**Julián Andrés Plazas Jiménez**

**1098801414**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de ingeniero ambiental**

**Directores**

**María Esther Rivera**

**PhD en Hidrología**

**Jesús Ramón Delgado Rodríguez**

**MSc en Geotecnia**

**Universidad de Pamplona**

**Facultad de Ingenierías y Arquitectura**

**Ingeniería Ambiental**

**Pamplona**

**2021**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Presidente del jurado**

---

**Jurado 1**

---

**Jurado 2**

Pamplona, 27 Junio 2021

## **Dedicatoria**

A Dios, por permitir cumplir tan anhelado sueño, a mis padres y hermano por brindarme el apoyo y ser el motor de aliento para culminar esta meta.

## **Agradecimientos**

A Dios por guiarme y darme fortaleza en los momentos de mayor complejidad, además de la sabiduría cuando aumentaba el estrés por acumulación de trabajos y parciales.

A mis padres y hermano por brindarme el apoyo necesario para culminar esta meta.

A todos los profesores que me impartieron sus conocimientos académicos. De igual manera, a los profesores María Esther Rivera y Jesús Ramón Delgado por aceptar ser los directores del proyecto.

A la Universidad de Pamplona por brindar los elementos académicos necesarios para culminar esta meta.

## Tabla de contenido

Tabla de contenido .....	6
Listado de ecuaciones.....	9
Lista de fotografías.....	10
Lista de gráficas. ....	11
Lista de tablas.....	12
Lista de mapas.....	13
Lista de anexos.....	14
Capítulo I.....	15
Introducción.....	15
1. Planteamiento del problema.....	16
2. Justificación.....	19
3. Objetivos.....	21
Objetivo general.....	21
Objetivos específicos.....	21
Capítulo II.....	22
4. Marco referencia.....	22
4.1. Marco contextual.....	22
4.2. Antecedentes.....	24
4.3. Marco teórico.....	34

➤ 4.3.1. Diagnóstico Ambiental.....	34
➤ 4.3.2. Clima e Hidrología.....	44
➤ 4.3.3. Cobertura Vegetal, Suelos, Topografía, Geología, Litología.....	47
➤ 4.3.4. Erosión.....	55
➤ 4.3.5. Riesgo.....	59
➤ 4.3.6. Parámetros Hidrológicos.....	61
➤ 4.3.7. Modelación hidráulica e hidrológica.....	65
4.4. Marco Legal.....	67
Capítulo III.....	68
5. Metodología.....	68
5.1. Realización del diagnóstico ambiental.....	68
5.2. Caracterización física – morfométrica de la zona de estudio.....	69
5.3. Caracterización de la cobertura vegetal, tipo de suelo, geología litología.....	69
5.4. Análisis hidráulico e hidrológico del río Chitagá.....	70
5.5. Determinación de la Amenaza, vulnerabilidad y riesgo por erosión hídrica.....	73
Capítulo IV.....	75
6. Resultados y Discusión.....	75
6.1. Diagnóstico ambiental en la zona de estudio.....	75
➤ 6.1.1. Vía de la soberanía:.....	75
➤ 6.1.2. Actividades agropecuarias.....	76
6.2. Caracterización física y morfológica de la zona de estudio.....	78
6.3. Caracterización de la cobertura vegetal, tipo de suelo, geología y litología.....	83

6.4.	Análisis hidráulico e hidrológico del río Chitagá.....	88
6.5.	Determinación de la susceptibilidad por erosión hídrica. ....	102
6.6.	Cálculo de amenaza por erosión hídrica. ....	103
6.7.	Calculo de riesgo por erosión hídrica.....	104
6.8.	Proposición de obras para disminuir los efectos erosivos en la zona de estudio. ....	104
Capítulo V.	.....	111
Conclusiones.	.....	111
Referencias	.....	113
Anexo.	.....	120

## **Listado de ecuaciones**

Ecuación 1. Calificación ambiental.....	36
Ecuación 2. Tiempo de concentración.....	41
Ecuación 3. Tiempo de retardo.....	41
Ecuación 4. Caudal pico.....	41
Ecuación 5. Erosión entre surcos.....	53
Ecuación 6. Ecuación USLE.....	53
Ecuación 7. Método USLE.....	53
Ecuación 8. Factor forma Horton.....	58
Ecuación 9. Coeficiente de compacidad.....	58
Ecuación 10. Pendiente media de la cuenca.....	59
Ecuación 11. Coeficiente de masividad.....	59
Ecuación 12. Relación de bifurcación.....	60

## Lista de fotografías.

Imagen 1.Presencia de bloques en el Río Chitagá.Fuente: Plazas Jiménez, (2020).....	82
Imagen 2. Bosque de galería y ripario zona de estudio.....	85
Imagen 3. Bosque natural fragmentado.....	86
Imagen 4. Cultivos transitorios zona de estudio .....	86
Imagen 5. Modelación hidráulica río Chitagá en la zona de estudio .....	94
Imagen 6.Sección transversal, periodo de retorno 500 años, sector de estudio parte alta. ....	97
Imagen 7.Sección transversal, periodo de retorno 500 años, sector de estudio parte media. ....	98
Imagen 8.sección transversal, periodo de retorno 500 años, sector de estudio parte baja. ....	98
Imagen 9 .Sección transversal, periodo de retorno 2 años, sector de estudio parte alta. ....	99
Imagen 10.Sección transversal, periodo de retorno 2 años, sector de estudio parte media. ....	99
Imagen 11. Sección transversal, periodo de retorno 2 años, sector de estudio parte baja.....	100
Imagen 12.Perfilado de taludes.....	103
Imagen 13. Recubrimiento de geomalla tridimensional.....	105
Imagen 14. Zanjas de infiltración en laderas.....	106
Imagen 15.Construcción de trinchos en zonas de ladera. ....	107
Imagen 16.Presencia de alisos en zona de montaña.....	108
Imagen 17. <i>Morella parvifolia</i> .....	109
Imagen 18.Instalación de barreas vivas con el Vetiever. ....	109
Imagen 19. Revestimiento del canal.....	108
Imagen 20.Revestimiento del canal con gaviones .....	110

### **Lista de gráficas.**

Gráfica 1. Impactos ambientales absolutos vía de la soberanía. ....	75
Gráfica 2. Impactos ambientales absolutos de las actividades agropecuarias.....	77
Gráfica 3. Curva hipsométrica cuenca del río Chitagá.....	82
Gráfica 4. Regresión potencial .....	91
Gráfica 5. Curvas IDF sector PR 57 + 200. ....	92
Gráfica 6. Hidrograma unitario Pr 27 + 800. ....	93

## Lista de tablas.

Tabla 1. Tipos de impacto ambiental. ....	35
Tabla 2. Metodologías para la evaluación de impacto ambientales. ....	38
Tabla 3. Criterios de evaluación metodología Arboleda.....	42
Tabla 4. Leyenda nacional de coberturas de la tierra. ....	48
Tabla 5. Clasificación de la pendiente .....	54
Tabla 6. Parámetros físico morfométricos. ....	61
Tabla 7. Coeficientes de rugosidad de Manning en cauces naturales. ....	71
Tabla 8. Parámetros morfométricos. ....	78
Tabla 9. Predicción de precipitaciones según el tiempo de retorno. ....	90
Tabla 10. P.M.P. según tiempo de retorno. ....	90
Tabla 11. Coeficiente de rugosidad de Manning.....	95
Tabla 12. Pendiente condición de contorno del modelo. ....	96
Tabla 13. Valores de rugosidad de Manning calculados y utilizados en el modelo. ....	96
Tabla 14. Factor de la erodabilidad del suelo.....	102

### Lista de mapas.

Mapa 1. Localización Geográfica de la zona de estudio, en la cuenca del río Chitagá .....	23
Mapa 2. Zona de estudio. ....	24
Mapa 3. Cobertura vegetal, metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia.....	84
Mapa 4. Mapa de pendientes zona de estudio .....	87
Mapa 5. Mapa litológico. ....	88
Mapa 6. Polígono de Thiessen .....	89
Mapa 7. Mapa de velocidad para Tiempo de Retorno=500 años.....	101
Mapa 8. Mapa de velocidad para Tiempo de Retorno= 2 años. ....	102
Mapa 9. Erosión hídrica potencial.....	103
Mapa 10. Riesgo de erosión hídrica zona de estudio. ....	104

## Lista de anexos.

Anexo 1. Matriz causa y efecto vía de la Soberanía. ....	120
Anexo 2. Matriz causa y efecto producción agropecuaria. ....	121
Anexo 3. Matriz ponderación vía de la Soberanía. ....	122
Anexo 4. Matriz ponderación producción agropecuaria. ....	123
Anexo 5. Calificación ambiental vía de la soberanía.....	124
Anexo 6. Calificación ambiental producción agropecuaria .....	128
Anexo 7. Impactos relativo y absoluto vía de la soberanía.....	131
Anexo 8. Impactos relativo y absoluto producción agropecuaria. ....	132
Anexo 9. Precipitaciones GEE.....	133
Anexo 10. Predicción de precipitaciones. ....	134
Anexo 11. Precipitación máxima probable. ....	135
Anexo 12. Regresión potencial .....	136
Anexo 13. Tabla regresión potencial.....	145
Anexo 14. Regresión potencial gráfica tiempos de retorno. ....	146
Anexo 15. Regresión potencial .....	149
Anexo 16. Gráfica regresión potencial.....	149
Anexo 17. Tablas curvas IDF pr 27 + 800. ....	150

## **Capítulo I.**

### **Introducción.**

Para Guadalupe y Varni, (2016), la erosión hídrica es un proceso que implica la pérdida de la capacidad productiva de las tierras agrícolas. Este es uno de los problemas ambientales de mayor relevancia mundial, pues se da por la acción de factores externos como el agua y el aire, los cuales caen o se mueven sobre el terreno, generando la pérdida de la capa superficial del suelo. Esta investigación, se centra en el estudio de la erosión hídrica, en un área de 418 hectáreas sobre el río Chitagá, en la vereda Mate lata, municipio de Toledo, Norte de Santander.

En el presente trabajo, se realizó la modelación de los niveles de agua del río Chitagá, en el tramo estudio, con la ayuda del software Hec-Ras. De igual manera, se utilizó el Software ArcGis, para realizar la caracterización morfométrica, identificación y cartografía de la cobertura vegetal, análisis de pendientes y clasificación de los suelos en el área de influencia.

En base a las variables anteriormente descritas, se identificó cuáles son las actividades que potencian el fenómeno erosivo, así como la cantidad de suelo erosionado por año. Por otra parte, el diagnóstico ambiental, arrojó la magnitud de los impactos ocasionados, junto con el medio involucrado. La modelación hidráulica, indica como sería la respuesta del Río Chitagá en el tramo en estudio, ante una avenida torrencial. Finalmente, el análisis geológico y litológico a la zona de estudio, expone las formaciones geológicas, así como las características del mismo. En base a lo anterior, se sugieren una serie de medidas para mitigar y/o disminuir los efectos producidos por la erosión hídrica

## **1. Planteamiento del problema.**

De acuerdo con Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC 1992) la variación climática es causada por las actividades antropogénicas, lo cual ha generado fragilidad de los ecosistemas, alterando diversos medios como el agua, suelo, aire, flora y fauna, reflejado a lo largo de los años y es un proceso que todos los días va evolucionando hasta presentarse situaciones críticas. Por ejemplo, la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2019) resalta que en el periodo 2015 – 2019 se ha incrementado el aumento del nivel del mar, derretimiento de los hielos y la aparición de fenómenos meteorológicos extremos.

Particularmente, Colombia cuenta con un régimen bimodal de lluvias y por estar ubicada sobre la zona ecuatorial es altamente afectada por los fenómenos climáticos del Niño – Oscilación del Sur (ENSO) y la Oscilación del Atlántico (NIÑA), los cuales se caracterizan por largos periodos de sequía e intensidad de las lluvias, que como consecuencia, generan gran incertidumbre a la población. Además, graves daños sociales y económicos. Sin embargo, en la época de estiaje se observa el efecto sobre la producción agropecuaria y la insatisfacción de las necesidades básicas de cada persona.

En época de lluvias, aumentan las posibilidades de generarse algún tipo de amenaza o riesgo, producto de los altos caudales, ocasionando así, desbordamiento de cuerpos hídricos y movimientos en masa, producto de la saturación del suelo, que sumados a diversos factores antropogénicos generan grandes pérdidas económicas a los sectores agropecuarios, industriales y estatal. Afectando directamente toda la cadena productiva, dependiente de carretables y zonas aledañas a sitios de riesgo; reflejándose en el aumento de precios del transporte y desabastecimiento de alimentos, combustibles, materias primas, entre otros. De igual manera, se

dificulta el mantenimiento y la adecuación de corredores viales, que en algunos casos son nulos. Además del peligro para las personas que diariamente transitan sobre estas vías.

Norte de Santander no es la excepción de presentar los problemas anteriormente mencionados, dentro de la malla vial del departamento se destaca el corredor vial Vía La Soberanía, la cual conecta los departamentos de Arauca, Santander, Norte de Santander y parte de Boyacá. Este corredor es fuertemente golpeado en sus 161 km por fuertes precipitaciones, en el cual se han generado varios tramos críticos. Por lo tanto, el alcalde de Toledo Jairo Castellanos Serrano destaca 80 derrumbes en la vía que comunica a su municipio, en el cual se encuentra los tramos referenciados PR (27 + 800) vereda La Compañía, PR (38 +450) sector tres esquinas, Alto De La Virgen, Miralindo, Alto De Santa Inés y la Choza de Tarzán.

El tramo referenciado PR (27 + 800) sector Mate lata, vereda La Compañía, jurisdicción del municipio de Toledo es uno de los tramos que más riesgo representa; en el año anterior interrumpió el tránsito más de 8 veces, producto del deslizamiento sobre la ribera del río y el aumento del caudal en época de lluvias. Visto desde una perspectiva empírica, la problemática mencionada se da a partir del aumento de la velocidad, que como consecuencia generó fenómenos de erosión hídrica en el tramo vial, dejando incomunicados los departamentos anteriormente nombrados.

Por lo tanto, se plantean las siguientes preguntas investigativas:

- 1.¿Qué factores y aspectos medioambientales son determinantes para la evaluación ambiental y de los riesgos ocasionados por fenómenos de remoción en amenaza y erosión hídrica?
- 2.¿Los procesos de remoción en masa inciden en los procesos de erosión hídrica en el tramo PR (27+300 A 28 + 200) de la vía nacional de la soberanía?

3.¿Los fenómenos naturales afectan las actividades antrópicas en el sector en estudio?

## **2. Justificación.**

Históricamente las comunidades han hecho que el centro de desarrollo social y económico, sea en zonas aledañas a cuerpos hídricos. Actualmente, el panorama no ha cambiado, cerca de estas se destacan grandes obras de aprovechamiento hidroeléctrico, mercantil y agropecuario. Es por esto que surge la necesidad de estudiar el comportamiento hídrico en las cuencas, junto con la vulnerabilidad y riesgo que pueda presentar.

Norte de Santander, al estar ubicado sobre la región Andina, presenta fenómenos de remoción en masa y alta sismicidad, además de fuertes precipitaciones en gran parte del año. La Vía de La Soberanía, a lo largo de los años se ha caracterizado por la inestabilidad y saturación de los suelos, producto de las precipitaciones. Es por esto que se hace necesario e importante estudiar la zona de estudio desde el punto de vista ambiental, integrando los conceptos hidrológicos en lo que concierne al manejo y tratamiento de series de datos hidrometeorológicos, manejo de cuencas, tipo, uso actual y potencial del suelo, asimismo, implementar herramientas de gestión ambiental para identificar los impactos y el manejo de los mismos para mitigarlos.

Según La Opinión, (2019), el Invias lanzaba alerta de precaución a las personas que hacían tránsito por la vía de La soberanía, y en el peor de los casos a no transitar, especialmente en horas de la noche. Esta alerta surgía como respuesta a las altas precipitaciones, y al riesgo por deslizamientos en los diferentes tramos de la vía, Vergel López, (2019), destacaba el tramo del sector Mate Lata, pues al estar la vía tan cerca del río Chitagá, generaba un posible riesgo por socavación lateral ante la creciente del río.

El tramo en estudio es referente de grandes problemas de transitabilidad, producto de tres factores: altas precipitaciones, grandes caudales del río Chitagá, y movimientos en masa sobre la

ribera del afluente, este último, ha disminuido la sección de flujo en un tramo de aproximadamente 200 metros, que colateralmente, ha ocasionado pérdida de la banca, dejando incomunicados los departamentos de Arauca, Santander y Norte de Santander.

El estudio de la erosión hídrica, conlleva el análisis de las variables que hacen que el fenómeno aumente o disminuya. En función de lo anterior, se pueden sugerir medidas que mitiguen el impacto generado por la erosión, y así aumentar la capacidad productiva de los suelos, beneficiando las comunidades que dependen económicamente de las actividades agropecuarias.

### **3. Objetivos.**

#### **Objetivo general.**

Realizar la evaluación ambiental y de riesgo causado por erosión hídrica en el río Chitagá, Sector Mate Lata, vereda La Compañía, entre los PR (27+800), Norte de Santander.

#### **Objetivos específicos.**

Realizar el diagnóstico ambiental en la zona de estudio, para determinar los factores de incidencia en la erosión hídrica en los PR (27+800).

Caracterización física – morfológica de la zona de estudio.

Caracterizar el tipo de suelo, cobertura vegetal, geología, litología de la zona de estudio.

Analizar el comportamiento hidráulico e hidrológico en el río Chitagá, Sector Mate Lata, vereda La Compañía, entre los PR (27+800) Norte de Santander.

Evaluar la amenaza por erosión hídrica en la zona de estudio.

Determinación de la vulnerabilidad por erosión hídrica en el río Chitagá, Sector Mate Lata, vereda La Compañía, entre los PR (27+800) Norte de Santander.

Proponer obras de ingeniería a sugerir para mitigar la erosión y socavación en la zona en estudio.

## **Capítulo II.**

### **4. Marco referencia.**

#### **4.1. Marco contextual.**

La cuenca del río Chitagá está ubicada al nororiente del departamento de Santander y en la zona sur de Norte de Santander; según el instituto Alexander Von Humbolt, Universidad de Pamplona, 2013, este afluente nace en el Páramo del Almorzadero, a una altura aproximada de 4000 m.s.n.m, tiene una extensión de 1573,94 km<sup>2</sup>, y recorre los valles y zonas montañosas de los municipios de Tona, Cerrito, Santa Bárbara y Guaca en Santander, junto con Silos, Chitagá, Cácosta, Pamplona, Labateca, Toledo, Mutiscua y Herrán en Norte de Santander. Dentro de su recorrido, recibe aportes de otros ríos como el Conaguay, Palchito, Portachuelo, Sorotama, El Horizonte, El Carbón, El Hato, Camagueta, Cañada Rosero, El Cacao, Cañada Buenavista, Burgua, El Barro, Siagá, Hato Viejo, Acora, Taporcuá, Don Antonio, Tane y Cherera entre otros, ver mapa 1.

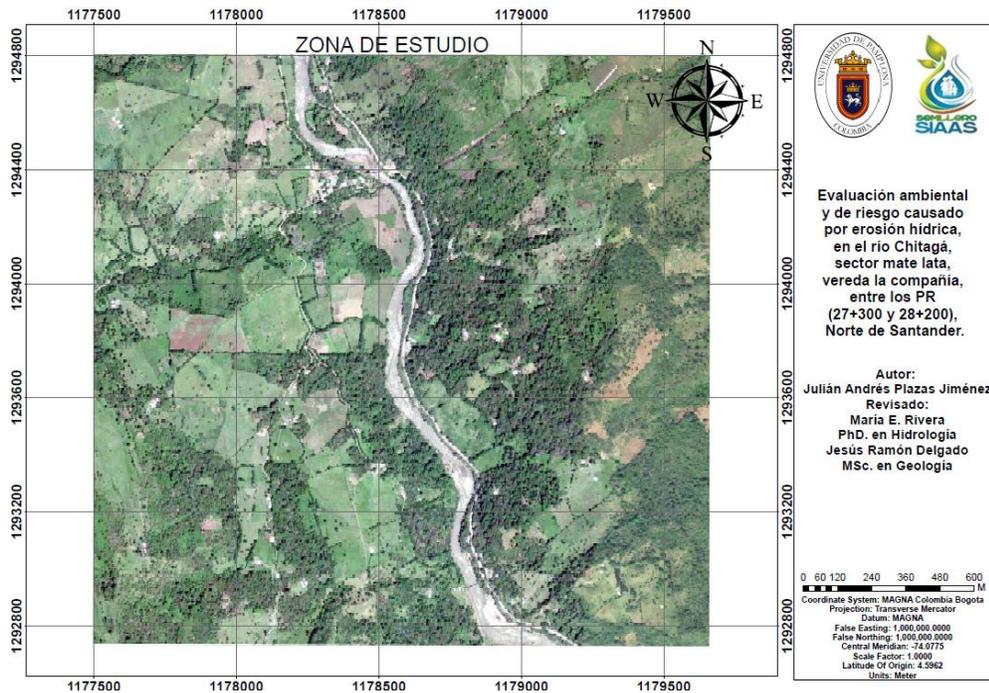
Mapa 1. Localización Geográfica de la zona de estudio, en la cuenca del río Chitagá



Fuente: Modificado de Alos Palsar en ArcGis, Plazas Jiménez, (2020).

Para esta investigación, se trabajó en el municipio de Toledo, Norte de Santander, particularmente en la vereda la Compañía, Sector Matelata, en las coordenadas  $7^{\circ}14'59.21''N$  y  $72^{\circ}27'39.56''O$ . En el mapa 2, se muestra la ubicación de la zona de estudio, la cual ocupa un área de 448 ha, sobre esta zona se encuentra ubicada la vía de la Soberanía y el río Chitagá.

Mapa 2. Zona de estudio.



Fuente: Modificado en ArcGis, Plazas Jiménez, (2020).

## 4.2. Antecedentes.

La degradación de los suelos es una de las grandes problemáticas que se afronta mundialmente; es así como el tipo de cobertura, ligado a agentes externos como el agua y el aire hacen que aumente o disminuya la posibilidad de producirse erosión. De acuerdo a lo anterior, mundialmente se han realizado estudios para determinar los factores detonantes de la problemática, así como las posibles soluciones, es por esto que se citan algunos estudios internacionales que se han hecho para analizar esta problemática medioambiental.

Según estudios de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2015), la erosión está causando la pérdida productiva de los suelos. El grupo

técnico intergubernamental sobre los suelos de la FAO, estimó que hasta el 2015 la erosión del suelo era del 33% de la cobertura total de la tierra, variando entre moderada y altamente moderada. Para la estimación de este resultado fue necesario recopilar información concerniente al uso actual y potencial del suelo, erodabilidad, factor longitud pendiente, además de la geología y litología de los suelos, precipitación, entre otros.

De acuerdo con Cantu, Becker, Musso (2004) se deben tener en cuenta aspectos geomorfológicos como el gradiente, longitud y forma de la pendiente para evaluar la susceptibilidad del medio, además de los aspectos litológicos para entender la formación y características de los sedimentos. Los autores plantean evaluar el riesgo por erosión hídrica de forma cualitativa con notación cuantitativa; usando esquemas de información obtenida en campo e interpretación de aerofotografías, además de los grados de erosión propuestos por Handbook N° 18 (Soil Survy Staff 1951). Los autores concluyen, que para la cuenca del río Cahoacán, México, se pueden presentar valores de erosión de hasta 20,025.6 Ton/hect/año.

Dumas (2012), calcula la erosión hídrica a partir de la ecuación USLE mediante la plataforma ArcGis. Una vez obtenida y procesada la información, el autor determina el nivel de erosión en función del número de toneladas por año afectadas, luego, realiza un estudio comparativo para determinar qué zonas han aumentado o disminuido la erosión hídrica, además de la influencia del uso del suelo a lo largo de los años. Los suelos desnudos son altamente propensos al fenómeno de erosión. De igual manera, concluye que la problemática de la cuenca del río Mundo en España, presenta riesgo potencial de erosión, producto de zonas con alta pendiente, donde se pueden presentar pérdidas superiores a 25 Ton/hect/año, en los casos más extremos.

Rienzi, et al, (1999), en La Evaluación por Erosión Hídrica Potencial del Suelo en la Cuenca del Río Santa María, Argentina, se determinó mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo; se emplearon valores de erosividad para simular la posibilidad de ocurrencia, además, se modeló la ausencia de cobertura vegetal para determinar la respuesta del suelo ante el proceso erosivo. Los resultados arrojaron que la posibilidad de aumentar la erosión, aumenta cuando disminuye la cobertura vegetal. De igual manera, el proceso erosivo puede disminuir si se aplican prácticas de restauración de vegetación natural en la zona. Así mismo, entre los resultados obtenidos, se evidencia que la erosión no aumenta con la erodabilidad, los autores indican que este factor es una fuente potencial de error.

Oyolsi, et al, (2016) determinaron el Riesgo de Erosión Hídrica, y Estimaron la Pérdida de Suelos en los Paisajes Geomorfológicos Volcánicos en México, en la cuenca del río Molola, a partir de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo. El estudio arrojó que los suelos más frecuentes son Cambisoles, Andosoles, Regosoles, Luvisoles, Acrisoles, Leptosoles, Feozems, Umbrisoles y Gleysoles. Según los resultados obtenidos, la cuenca padece de erosividad moderada, en el 72% del área estudiada, erodabilidad moderada, 25% ligera y 3% alta; la cobertura del suelo, está ocupada principalmente por plantaciones perennes la caña y agave. De acuerdo a los resultados, el 66% presenta algún nivel de afectación por erosión hídrica, el 31.1% presenta riesgo de erosión alto, es por esto, que el riesgo de erosión es alta y muy alta, siendo 50ton/hect en el 57.6% de la cuenca, el 30.3% presenta pérdida por encima de las 10 ton/hect con niveles de alta a moderada.

Mármol, Díaz, Larreal (2007), en la Evaluación de la erosión hídrica en la microcuenca de las quebradas Roja y Colorada en el municipio Valmore Rodríguez, estado Zulia, basan su estudio en

las características geológicas, relieve, pendiente, vegetación y cobertura del suelo, mapa de suelos venezolano junto con la clasificación taxonómica de los suelos norteamericanos. Se realizó una fotointerpretación de los suelos, densidad de drenajes, identificando las áreas con algún grado de erosión. Los resultados indican que el área sin erosión abarca un 22.24%, característico de zonas de piedemonte y valle coluvio-aluvial, los terrenos ligeramente erosionados ocupan 371.08 ha, generalmente terrenos de uso pecuario y bosque bajo ralo, la erosión moderada, abarca el 48.66%, caracterizada por pendientes ligeramente onduladas, de uso pecuario-matorral, y pecuario-bosque bajo, finalmente, los terrenos severamente erosionados abarcan 707.03 ha.

Quiñónez, Dal Pozo (2005) aplicaron la metodología FAO-PNUMA-UNESCO en la Influencia del Cálculo del Factor Topográfico en la Distribución Espacial del Riesgo de Degradación de los Suelos por la Erosión Hídrica en el Estado Mérida, Venezuela. La zona se caracteriza por topografía muy accidentada. Se establecen tres variables: factor de agresividad climática, suelo y topográfico. Finalmente, los resultados indican que el 57% de la zona tiene pendientes mayores al 50%; el riesgo de degradación es muy alto, superior a 200ton/hect/año, en el 83% de la superficie. De igual manera, el análisis permite establecer en términos relativos que el modelo agregado subestimó y sobreestimó el riesgo erosivo en un 7% y 19% de la superficie. Los dos modelos producen resultados idénticos en un 65% del total del área. El restante 9% se corresponde con la existencia de afloramientos rocosos, no sujetos a riesgos de degradación por erosión hídrica.

Para Febles, Vega (2016), en la Estimación del aporte de la Erosión Hídrica al Azolve del Embalse Mampostón Uno de los problemas que afectan a los embalses es su pérdida de capacidad debido a sedimentación en su interior por erosión hídrica. La cuenca de Mampostón

tiene un área de 49.8 km<sup>2</sup>. La metodología aplicada para obtener el índice de erosión fue la CORINE (1992); de acuerdo a lo anterior, se calculó la erodabilidad en base a la textura, profundidad y morfología del suelo; la erosividad, con el índice modificado de Fourier, además del índice de aridez de Bagnuuls Gausson; el índice topográfico fue definido en función de la pendiente del terreno. Las pérdidas de suelo en las regiones más susceptible a la erosión hídrica en la subcuenca Mampostón, es aproximadamente de 388,7 kg/m<sup>2</sup> (3887 t/ha) al año con lo que contribuyen al azolvamiento del embalse en un 0,9 % anual.

Según Domingo (2015) la Estimación de la Pérdida de Suelos por Erosión Hídrica en la Cuenca del Río Sigwas Utilizando Geoinformática, recaudó la información cartográfica, ubicación espacial de las estaciones, además del mapa de cobertura y eso del suelo de la Carta Nacional del Perú. El cálculo de la pérdida de suelo se realizó a partir del método USLE, mediante la aplicación de software SIG. La erosividad arrojó valores máximos de 337.35 MJ mm/ha\*hra, , siendo un valor de baja erosividad. La erodabilidad corresponde a conglomerados y arenas aluviales; el Factor LS, el 48.6 % de la extensión de la cuenca presenta valores de factor topográfico de 8.7, hasta 25.2, que corresponden a suelos con pendientes más pronunciadas entre 70 a 100%. En función de lo anterior, se pueden obtener valores de hasta 1400 ton/hect/año en las zonas donde la pendiente supera el 70%.

Melchor, Changoya (2016), en el Diagnóstico de la Erosión Hídrica en la Cuenca del Río Tuxpan, Veracruz, México. La estimación de la pérdida de suelo, se realizó en base a la EUPS, validada por Figueroa et al (1965) para México. la cuenca tiene valores de erosividad baja a muy severa, la erodabilidad, predomina el Feozem háplico, Vertisol pélico, Regosol calcárico, Regosol dístico y Acrisol órtico. En las zonas altas y de mayor pendiente, se encuentran los suelos

Cambisol, Feozem, Luvisol y Regosol; el Valor de k fluctuó desde 0.0109 hasta 0.0398 ton/hra\*hec, reflejando así, susceptibilidad baja a la erosión hídrica. El factor longitud pendiente, muestra pendientes altas. El valor promedio de erosivo es de 19.4 a 794.9 Mg/ha\*año, en total, se estima que se pueden producir valores de hasta 7948.5 Mg/ha\*año, que de acuerdo a la FAO, es 2.52% es ligera, el 71.38% moderada, 9.42% alto y muy alta en el 16.88%.

Según el IDEAM en el Primer Mapa de Degradación de Suelos por Erosión, para el año 2015 la erosión del suelo en Colombia afectaba al 40% del territorio nacional, del cual, el 20% se situaba en el rango ligero, 17% moderado y el 3% restante, en erosión severa. Según el documento, los focos más representativos están en el Caribe y la región Magdalena-Cauca. La última, se debe al área hidrográfica que representa, pues en esta zona de 34 focos de erosión, 16 están sobre la cuenca hidrográfica.

Ríos (2018), en el estudio a las cuencas de los Ríos Grande y San Andrés en Antioquia, empleó los modelos RUSLE, la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (Renard et al., 1997) y el Método de Erosión Potencial (Gavrilovic, 1998) (EPM). El autor desarrolló un modelo lineal para estimar R en función de la precipitación promedio multianual. Según lo anterior se obtuvo un valor de erosividad máximo de 5159.11 KJ mm/(ha\*h\*año), el factor de erodabilidad arrojó valores de hasta el 12% de materia orgánica. Por otra parte, el factor LS arrojó como valor máximo 194,09 para la escala 1:25000, el factor de cobertura y gestión, fue de 0,76 para las tierras desnudas y degradadas, y 1 para las prácticas de manejo. El método RUSLE, dio como resultado de erosión bruta anual de 942,88 Ton/(ha\*año) y de 15,41 Ton/(ha\*año), el factor precipitación 3723 mm anuales.

Guio, et al. (2015), realizan la Determinación y Mapificación de la Erosividad de la Lluvia en la Cuenca del Embalse La Copa, Boyacá. El procesamiento digital fue realizado en el Software ArcGis. Por otra parte, el análisis hidrometeorológico se determinó para el intervalo de años comprendido entre 1992 y 2011, utilizando la información registrada en 9 estaciones meteorológicas aledañas. El factor de erosividad se calculó a partir del IFM, dando como resultado 109 mm. De igual manera, el mayor índice de concentración de las precipitaciones (ICP) fue en Soracá, con 13,8%. Una vez obtenidos estos datos, se realizó el correspondiente análisis geoestadístico mediante el método determinístico del inverso de la distancia (IDW). El autor concluye que para tener un estimado numérico de toneladas de erosión producidas por la cuenca, es necesario calcular los demás factores de la ecuación para erosión del método USLE. El municipio de Ocaña Forero y Amaya (2016) aplicaron la metodología USLE y RUSLE en la microcuenca del río Tejo, para esto, fue necesario la recolección de información en lo que concierne a modelos de elevación digital, la capa vectorial del estudio de suelos del departamento, información hidrometeorológica e imágenes landsat. Una vez recolectada la información, se procesó en el software Arcgis, obteniéndose grado de erosión ligero para 3923,97 Ha, severo 256.99 Ha, y muy severo 123,33 Ha. Finalmente, los autores concluyen que a pesar de que la parte alta de la cuenca es una zona protegida por el INDERENA, se encuentran fuertes procesos erosivos debido a la mala gestión de los territorios.

La Determinación del Riesgo a la Erosión Potencial Hídrica en la Zona Cafetera del Quindío, Colombia fue realizada en el 2017, en los municipios de Armenia, Buenavista, Calarcá, Circasia, Córdoba, Filandia, Génova, La Tebaida, Montenegro, Pijao, Quimbaya y Salento, cubriendo un área total de 1.845 km<sup>2</sup>. De acuerdo a lo anterior, realizaron el mapa de unidades geológicas,

estas muestras se llevaron al laboratorio para su análisis respectivo, los datos primarios como el modelo digital de elevación fueron extraído del satélite Aster GDEM, la precipitación se descargó de la red climática de la Federación Nacional de Cafeteros Cenicafe. Se simuló la lluvia para determinar el factor de erodabilidad según la pendiente promedio de la zona en estudio junto con una precipitación de 80mm/hra, estos datos fueron usados en la ecuación Universal de Pérdida de Suelo, mediante el algebra de mapas en el software Arcgis. De acuerdo a lo anterior, se puede llegar a perder 2 cm de suelo fértil en 10 años, 2 mmm/año.

Muñoz, Pérez y Otero calcularon la Susceptibilidad a la Erosión Hídrica de Suelos en la Zona Andina del Departamento de Cauca Colombia, en la parte media de la cuenca río Las Piedras, para el año 2016, esta, tiene una extensión de 6626 hectáreas. Se utilizó la técnica de simuladores de lluvia en zonas de cultivo y pasturas, para determinar escorrentía superficial, suelo erodado y perdida de nutrientes; apoyados en las características físicas y químicas de los suelos, de igual manera, se estableció un diseño experimental teniendo en cuenta las pendientes, uso y manejo del suelo junto con la intensidad de la lluvia. En total, se realizaron 72 muestreos al azar en cuatro parcelas de 5 x 10 metros. De acuerdo a lo anterior, el suelo preparado para cultivos presentó los valores más altos de suelo erodado, junto con la escorrentía superficial, en comparación con la pastura, de igual manera, se comprobó la relación directamente proporcional entre la escorrentía superficial y el suelo erodado

Lince y Castaño (2019), en el artículo Pérdidas Potenciales de Suelo por Erosión Hídrica en la Región Cafetera del Departamento de Risaralda, el cual fue realizado en la región cafetera del departamento, la cual abarca cerca del 42% de los 4140 km<sup>2</sup> del área del departamento. Se representa por dos unidades geomorfológicas correspondientes a vertientes erosionales, con

pendientes pronunciadas y una amplia terraza aluvial; edafológicamente presenta suelos contrastantes, clasificados en más de 12 unidades cartográficas, de las cuales las unidades Chinchiná, Catarina, Malabar y Balboa, representan el 81% del área, siendo la de mayor área Chinchiná y la de menor Balboa. La información primaria se obtuvo de los datos cartográficos de la región con potencial cafetero del departamento de Risaralda (mapa de ecotopos cafeteros) y de las unidades de suelo de la FNC (1988), el procesamiento fue realizado en los software ArcGIS (V.10.3.1), Stathgraphics (V. 5.2), además de Sigmaplot (V. 10), herramientas para la toma de muestras de suelo en el campo, tamiz No.3/4 (abertura de orificio de 0,112 cm), simulador de lluvia con boquillas oscilatorias Veejet 80100 e inclinación ajustable, bandejas de lámina galvanizada de 35 cm de ancho, 60 cm de largo y 5 cm de alto, acondicionadas con un anejo como soporte y una capa de 2 cm de fragmentos de roca tamaño grava y tela tipo muselina con filtro, balanza analítica de alta precisión, estufa con circulación de aire, cápsulas metálicas y elementos de medición volumétrica. Los resultados, arrojan que los valores promedio de erosión total en la región mediante la simulación de eventos torrenciales de 80 mm h-1, con valores de erosividad entre 1.578,56 y 1.861,67 MJ mm ha-1, en suelo descubierto y con pendiente de 45°, oscilaron entre 4,10 y 10,09 t ha-1 (Tabla 2). Con relación a las formas de pérdida de suelo, se encontró que fueron mayores las pérdidas por arrastre que por salpique. De igual manera, el modelo indica que, la magnitud teórica y potencial de suelo por erosión hídrica, pueden estar entre 16,5 y 65,0 t ha año-1, que pueden llegar a representar pérdidas potenciales entre 1,8 mm y 6,3 mm de suelo anuales (Tabla 3). Con una erosividad de 6.400 MJ mm ha-1, el 12% de la zona cafetera de Risaralda puede perder entre 1 y 3 mm de suelo anual y el 87% restante entre 3 y 5 mm; con una erosividad de 9.200 MJ mm ha-1, el 86% del área puede perder entre 5 y 8 mm año-

1, el 13% del área puede perder entre 1 y 3 mm año<sup>-1</sup> y el 2% entre 3y 5 mm año<sup>-1</sup>; con una erosividad de 12.000 MJ mm ha<sup>-1</sup>, el 87% del área puede perder entre 5 y 8 mm año<sup>-1</sup> y el área restante entre 3 y 5 mm año<sup>-1</sup> del horizonte superficial del suelo.

Ramírez e Hincapié en el artículo Riesgo a la Erosión en la Zona Cafetera Central del Departamento de Caldas, utilizaron como materiales y métodos, para el cálculo de la pérdida potencial de suelos, la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE), en los municipios de Manizales, Chinchiná, Palestina, Neira, Villamaría, Filadelfia, Pácora, La Merced, Aranzau, Aguadas y Salamina en el año 2013; para esto, se tuvieron en cuenta sólo los factores R, K, y LS, mientras que la cobertura vegetal y las prácticas de manejo, fueron excluidas para generar una situación más crítica en el modelo anteriormente mencionado. La erosividad se calculó a partir de los registros diarios de lluvia de 34 estaciones pluviométricas de la red climática de Cenicafé; la erodabilidad, fue obtenida a través de pruebas de laboratorio, de las 14 unidades de suelo; de igual manera, el factor longitud pendiente, fue calculado a partir de las curvas de nivel, mediante un modelo de elevación digital. Los resultados arrojaron que, las lluvias en la zona tienen un alto poder erosivo, la erodabilidad arrojó una calificación natural, aunque en zonas como Manizales y Aguadas, se presenta mayor erodabilidad dada la unidad de suelo Guaica, el factor LS presentó los valores más bajos al sur de la región, en los municipios de Chinchiná, Palestina, y Manizales, esto indica que, entre más bajo es el valor de LS, más baja es la susceptibilidad a la pérdida de suelo por erosión. Finalmente, el estudio arroja que las pérdidas de suelo que supera las 100 ton/hect\* año, ocupan el 31.7% del área total, de 51 a 100ton/hect\* año son el 32.7%, del 26 a 50 ton /hect\* año 23%, y menores a 25 ton/hect\* año son el 12.5%, situándose en los rangos muy alta,

alta, moderada y baja respectivamente, siendo más afectados los municipios de La Merced, Salamina, Filadelfia y gran parte del municipio de aguadas

La Pérdida de Suelo por Erosión Hídrica en Diferentes Sistemas de Producción con Papa por Alvarado, López y castillo, fue desarrollado en el municipio de Pasto, el cual, tiene una precipitación promedio anual de 840mm y temperatura promedia de 13°C, el estudio, fue realizado en el año 2013, en un terreno de 3.5 ha, esta zona se caracteriza por pendientes ente el 31-42%, el terreno, fue preparado con labranza mecánica, labranza mínima, además de la fertilización que fue realizada al mes y a los dos meses después de la siembra, los datos de precipitación fueron medidos mediante un pluviógrafo de registro diario, para cada evento, fueron recolectados los sedimentos correspondientes en las canaletas recolectoras, este material, fue pesado húmedo y posteriormente secado y pesado nuevamente. Es así, como es calculada la pérdida total de suelo. A lo largo del ciclo del cultivo se presentaron 21 eventos de lluvia, generando así valores de hasta 450.17 kg/ha; por otra parte, Los datos obtenidos sugieren que el pasto Phalaris sp. funciona en la conservación de suelos al implementarse como barreras vivas, debido a que, por su condición de sellado, la capacidad de infiltración es más alta.

### **4.3. Marco teórico.**

#### **➤ 4.3.1. Diagnóstico Ambiental.**

Massolo (2015) lo define como el conjunto de estudios, análisis y seguimiento ante cualquier alteración o modificación que causa una acción humana sobre el medio ambiente, producto de la puesta en marcha o ejecución de proyectos, obras y/o actividades; es así, como el diagnostico

ambiental, abarca todo el sistema físico y social del medio involucrado, estableciendo un instrumento de identificación de cualquier daño ambiental. La forma de evaluarlo, es a través de un estudio de impacto ambiental (EIA), el cual es un documento técnico multidisciplinario de tipo jurídico administrativo, que determina la magnitud del daño hacia el agua, aire y/o suelo; el objetivo principal, es la prevención y predicción de posibles impactos hacia el medio ambiente, basado en el criterio y la clase del impacto ambiental (Ver tabla 1).

Tabla 1. Tipos de impacto ambiental.

<b>Clasificación de impactos ambientales</b>	
<b>Criterio de clasificación</b>	<b>Clases</b>
<b>Por el Carácter</b>	<p><b>Impacto simple:</b> aquel cuyo impacto se manifiesta sobre un solo componente ambiental, o cuyo modo de acción es individualizado.</p> <p><b>Impactos acumulativos:</b> Son aquellos resultantes del impacto incrementado de la acción propuesta sobre algún recurso común cuando se añade a acciones pasadas, presentes y esperadas en el futuro.</p>

<p><b>Por la relación causa-efecto:</b></p>	<p><b>Primarios:</b> son aquellos efectos que causa la acción y que ocurren generalmente al mismo tiempo y en el mismo lugar de ella (obvios y cuantificables).</p> <p><b>Secundarios:</b> son aquellos cambios indirectos o inducidos en el ambiente.</p>
<p><b>Por el momento en que se manifiestan:</b></p>	<p><b>Latente:</b> aquel que se manifiesta al cabo de cierto tiempo desde el inicio de la actividad que lo provoca.</p> <p><b>Inmediato:</b> aquel que en el plazo de tiempo entre el inicio de la acción y el de manifestación es prácticamente nulo.</p> <p><b>Momento Crítico:</b> aquel en que tiene lugar el más alto grado de impacto, independiente de su plazo de manifestación.</p>
<p><b>Por la interrelación de acciones y/o alteraciones:</b></p>	<p><b>Impacto simple:</b> aquel cuyo impacto se manifiesta sobre un sólo componente ambiental, o cuyo modo de acción es individualizado.</p> <p><b>Impactos acumulativos:</b> son aquellos resultantes del impacto incrementado de la acción propuesta sobre algún recurso común cuando se añade a acciones pasadas, presentes y esperadas en el futuro.</p>
<p><b>Por la extensión:</b></p>	<p><b>Puntual:</b> cuando la acción impactante produce una alteración localizada.</p>

	<p><b>Parcial:</b> aquel cuyo impacto supone una incidencia apreciable en el área estudiada.</p> <p><b>Extremo:</b> aquel que se detecta en una gran parte del territorio considerado.</p> <p><b>Total:</b> aquel que se manifiesta de manera generalizada en todo el entorno considerado.</p>
<b>Por la persistencia:</b>	<p><b>Temporal:</b> aquel que supone una alteración no permanente en el tiempo, con un plazo de manifestación que puede determinarse y que por lo general es corto.</p> <p><b>Permanente:</b> aquel que supone una alteración indefinida en el tiempo.</p>
<b>Por la capacidad de recuperación del ambiente</b>	<p><b>Irrecuperable:</b> cuando la alteración del medio o pérdida que supone es imposible de reparar.</p> <p><b>Irreversible:</b> aquel impacto que supone la imposibilidad o dificultad extrema de retornar, por medio naturales, a la situación anterior a la acción que lo produce.</p> <p><b>Reversible:</b> aquel en que la alteración puede ser asimilada por el entorno a corto, medio o largo plazo, debido al funcionamiento de los procesos naturales.</p> <p><b>Fugaz:</b> aquel cuya recuperación es inmediata tras el cese de la actividad y no precisa prácticas de mitigación.</p>

Fuente: Jure, Rodríguez, (1997).

De acuerdo a lo anterior, existen diversos métodos de evaluación de impacto ambiental, Sanz (1991) afirmaba, que hasta esa fecha existían más de 50 metodologías, siendo muy pocas las que reunían las características de una aplicación sistemática a diferentes impactos para actividades distintas, debido a que algunas características y criterios de los impactos ambientales no podían ser aplicados a proyectos obras o actividades distintas de para las que fueron diseñadas en un principio.

La metodología de evaluación de impactos ambientales, debe ser lo más veraz posible, interdisciplinaria, sistemática, con alto valor de organización y uniformidad, por lo cual debe establecerse un estándar de valores y rangos máximos, mínimos, que cuenten con la vigilancia y control por parte de la autoridad ambiental correspondiente, además de la obligatoriedad del cumplimiento de los rangos para cuando se vea afectado el medio; esto asegura, que los factores sean evaluados correcta e integralmente, además que garantice, la disminución del daño ocasionado por los impactos negativos.

La valoración de impacto ambiental, debe contar con la evaluación cualitativa y cuantitativa de las acciones que se ejecuten en el medio. Se deben identificar las acciones generadoras de impactos en el medio afectado; además de la magnitud de los impactos, producto de la puesta en marcha de cualquier obra, proyecto y/o actividad. En función de lo anterior, se debe seleccionar la metodología que más se acople a los impactos a evaluar, ver tabla 2.

Tabla 2. Metodologías para la evaluación de impacto ambientales.

<b>Metodología Cuantitativa</b>
---------------------------------

**Metodología Battelle-Columbus (Listas de chequeo):** Es un tipo de lista de verificación con escalas de ponderación que contempla descripción de los factores ambientales, la ponderación valórica de cada aspecto y la asignación de unidades de importancia. El sistema consta de cuatro niveles: General (categorías ambientales), intermedia (componentes ambientales), específica (parámetros ambientales) y muy específica (medidas ambientales) (Espinoza, 2007).

**Guías metodológicas del MOPU (Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo):** Estas guías metodológicas parten de una sólida base descriptiva de cada parámetro potencialmente afectable, así como de las acciones causantes de los posibles impactos, es decir, una descripción de la situación preoperacional a la que sigue una previsión de impactos, incluyendo criterios y metodologías de evaluación, en las que se incluyen varias alternativas que pueden ser utilizadas según convenga para el caso en cuestión. Se hace una evaluación cualitativa (generalmente de tipo matricial) y cuantitativa (generalmente del tipo Batelle) del impacto, a la que sigue una relación de medidas preventivas y correctoras, los posibles impactos residuales y un programa de vigilancia y control (Roberto, 2006).

**Redes:** Son una extensión de los diagramas de flujo incorporando impactos a largo plazo. Los componentes ambientales se interconectan y los impactos se ordenan por jerarquía (primarios, secundarios y sus interacciones). Las redes son útiles para detectar impactos indirectos o secundarios y para identificar interacciones mutuas en proyectos complejos (Espinoza, 2007). Su principal desventaja es que no proporcionan criterios para decidir la

importancia de los impactos. Si la red es muy amplia, genera confusión y dificultad en el manejo de la información.

### **Cualitativa**

**Leopold (matrices causa-efecto):** Consiste en una matriz de doble entrada en la que se disponen en las filas, los factores ambientales que pueden ser afectados y en las columnas, las actividades que van a tener lugar en un proyecto. Considerando a estas últimas como la causa de los posibles impactos (Conesa, 2010).

**Método del CNYRPAB (Departamento de Desarrollo y Planificación Regional del Estado de Nueva York):** Método de identificación de impactos usando dos matrices. La primera, toma los indicadores base y los compara después de la ejecución del proyecto, la segunda, toma las interacciones y define los impactos a partir de ellas (Conesa, 2010).

**Método Bereano:** Se basa en una matriz para la evaluación de los impactos asociados a las estrategias tecnológicas alternativas. Se comparan alternativas tomando como base ciertos parámetros, seleccionados de manera que reflejen los efectos diferenciales que las distintas alternativas producirán sobre el Medio Ambiente (Citado por Villegas, 2015)

**Metodología del banco mundial:** se realiza la identificación y medición de los efectos de los proyectos sobre el Medio Ambiente, indicando la información precisa y el tipo de experiencia necesaria que se requieren para estudiar con profundidad los aspectos ambientales de los diferentes proyectos y proporcionando una estructura para la formulación de procedimientos y pautas para el examen y la consideración sistemática de los factores ambientales (Ruberto, 2006).

## Metodología Cualitativa y Cuantitativa

**Metodología de las Empresas Públicas de Medellín:** La primera etapa consiste en organizar las actividades del proyecto o intervención, de manera que se obtengan acciones agrupadas por características semejantes, La segunda etapa toma las acciones determinadas e identifica los impactos ambientales, a través de diagramas de redes o de flujo. (León, 2002).

Fuente: Álvarez (2020), modificado por Plazas Jiménez (2020).

El método EPM o Método Arboleda fue desarrollado por la unidad de Unidad Planeación de Recursos Naturales de las Empresas Públicas de Medellín en el año 1986, con el propósito de evaluar proyectos de aprovechamiento hidráulico de la empresa, pero posteriormente se utilizó para evaluar todo tipo de proyectos de EPM y ha sido utilizado por otros evaluadores para muchos tipos de proyectos con resultados favorables. Ha sido Manual de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) aprobado por las autoridades ambientales colombianas y por entidades internacionales como el Banco Mundial y el BID (Arboleda, 2008).

El método Arboleda consta de tres fases, las cuales se dividen en:

**Desagregar el proyecto en componentes:** Se deben abordar todas las actividades a desarrollar en el proyecto obra o actividad, posteriormente, se identifican las posibles actividades que tienen lugar en la ejecución del proyecto y se agrupan en componentes de acuerdo a sus similitudes.

**Identificación de los impactos:** Se deben identificar cuáles son los impactos producidos al ambiente, para cada componente determinado anteriormente; se deben considerar los tres elementos básicos por los cuales está compuesto:

**Acción:** Son las actividades necesarias para la puesta en marcha de la actividad,

**Efecto:** Es el impacto sobre el medio Físico, biótico y/o social afectado, ya sea por una o varias actividades del proyecto.

**Impacto:** Es la Alteración o modificación benéfico o perjudicial sobre el medio ambiente

**Evaluación de los impactos:** A partir de las fases anteriores se obtiene un listado de impactos; posteriormente se procede a evaluar individualmente para cada componente en particular. Para ello se utilizará la Ecuación 1. Calificación ambiental metodología de Arboleda

$$Ca = C(P[aEM + bD]) \quad \text{Ec. (1).}$$

Donde, Ca - Calificación ambiental, C - Clase (+ ó -), P - Presencia (0 – 1),

E - Evolución (0 – 1), M- Magnitud (0 – 1), D - Duración (0 – 1), a=3, b=7

Así mismo, Clase: es el sentido que toma el impacto, es decir si es positivo o negativo, Presencia: representa la probabilidad de ocurrencia del impacto, Evolución: Corresponde a la velocidad de desarrollo del impacto, Magnitud: Es la dimensión numérica del cambio producido y Duración: Representa el periodo de existencia activa del impacto.

En la tabla 3 se muestran los rangos de valores de criterios de la evaluación de la metodología de Arboledas.

Tabla 3. Criterios de evaluación metodología Arboleda

<b>Criterio</b>	<b>Rango</b>	<b>Valor</b>
<b>Clase</b>	Positivo (+)	
	Negativo (-)	
<b>Presencia</b>	Cierta	1.0

	Muy probable	0.7
	Probable	0.3
	Poco probable	0.1
	No probable	0.0
<b>Duración</b>	Muy larga o permanente (>10 años)	1
	Larga (>7 años)	0.7 – 1
	Media (>4 años)	0.4 – 0.7
	Corta (>1 año)	0.1 – 0.4
	Muy corta (< 1 año)	0.0 – 0.1
<b>Evolución</b>	Muy rápida (< 1 mes)	0.8 – 1.0
	Rápida (< 12 meses)	0.6 – 0.8
	Media (<6 meses)	0.4 – 0.6
	Lenta (<24 meses)	0.2 – 0.4
	Muy lenta (>24 meses)	0.0 – 0.2
<b>Magnitud</b>	Muy alta $Mr > 80\%$	0.8 – 1.0
	Alta $Mr = 60-80\%$	0.6 – 0.8
	Media $Mr = 40 – 60\%$	0.4 – 0.6
	Baja $Mr = 20-40\%$	0.2 – 0.4
	Muy baja $Mr < 20\%$	0.0 – 0.2
<b>Importancia ambiental</b>	Muy alta	8 – 10
	Alta	6 – 8

	Media	4 – 6
	Baja	2 – 4
	Muy baja	0 – 2

Fuente: Arboleda (1994).

➤ **4.3.2. Clima e Hidrología.**

Según Morgan (2005), el Clima controla en parte la acción erosiva de la precipitación por: a) el poder de desprendimiento del impacto de las gotas al golpear el suelo y b) la contribución de la lluvia a la escorrentía. Así mismo, no existe una manera para calificar intensidades de precipitación como erosivas (Morgan, 1997 y García-Chevesich, 2008), puesto que el monto de erosión dependerá de las características del suelo y de las condiciones meteorológicas previas (contenido de humedad y estado estructural del suelo); por lo tanto, una determinada intensidad tendrá consecuencias diferentes, según sean las condiciones preexistentes.

Sin embargo, Fournier (1975) y Gonzales (2006) consideran que cuando cae la lluvia con una intensidad máxima, la velocidad de caída de la partícula del agua en el suelo es insuficiente para asegurar la infiltración. La cantidad de agua que cae al suelo en un tiempo corto produce rápidamente escorrentía dependiendo de la cobertura vegetal, el uso del suelo, y la pendiente. Las de intensidad intermedia las que, en el largo plazo, producen la mayor cantidad de pérdida de suelo Morgan (2005), debido a la relación entre período de retorno y erosión unitaria. Es de gran importancia recordar que la precipitación en exceso no se infiltra y se escurre por las laderas ejerciendo un efecto capaz de producir la separación de otras partículas, e incluso un fuerte desgaste (Fournier, 1975; Escobar, 2017).

Por otra parte, es relevante tener en cuenta el análisis de las características físicas morfométricas de la cuenca hidrográfica, debido a que abarca tanto las particularidades, como los patrones propios de cada cuenca, mediante el análisis de la red de drenaje, pendientes y la forma de la cuenca. En otras palabras, el análisis morfométrico de una cuenca de drenaje permite comprender e interpretar su comportamiento morfodinámico y su respuesta hidrológica (Méndez y Marcucci, (2006), citado por Delgado y otros, (2010). Por otra parte, Lux Cardona (2016) indica que la morfometría de cuencas es el primer paso para determinar el comportamiento hidrológico de la misma ante eventos climatológicos.

Para Vélez (1999) citado en Solano (2017), el estudio de los factores que alteran la estabilidad en una masa de suelo proporcionan herramientas de prevención y análisis, el análisis de los componentes que lo conforman es una herramienta de gran utilidad al momento de determinar problemas de erosión y posterior pérdida de suelo (y así poder cuantificar el coeficiente de erosión en un área determinada y determinar el comportamiento de una masa de suelo que sea afectada por un río o por la precipitación.

Según Duque, Escobar (2016), los factores principales que producen erosión son: a) el impacto de las gotas de lluvia que genera el desprendimiento por salpicadura, compacta el suelo, reduciendo la infiltración y aumentando la escorrentía; b) la capacidad hidráulica del flujo superficial sobre una pendiente capaz de acarrear los sedimentos.

Para comprender el fenómeno se se basa en separación entre la hidrología y la hidráulica, y en las propiedades del suelo que son importantes para cada una de ellas: 1) las propiedades hidrológicas del suelo determinan la tasa de infiltración y de esta manera se fija la parte de la precipitación

pluvial que contribuye al flujo superficial. 2) Las propiedades hidráulicas del suelo determinan la resistencia del suelo al transporte por el flujo o por las gotas de lluvia (Duque, Escobar., 2016).

### Hidrometeorología

Para Segoviano (1974) la hidrometeorología es el estudio de la meteorología aplicada a los parámetros hídricos. La teoría hidrometeorológica en general, comprende la observación, procesamiento y análisis del comportamiento de los elementos hídricos, fundamentalmente las descargas de los ríos y los volúmenes almacenados en reservorios y lagunas; y de los elementos meteorológicos, fundamentalmente la precipitación.

Las teorías hidrometeorológicas para el cálculo de caudales máximos son las siguientes: Método Racional, el cual comprende determinación de coeficiente de escurrimiento C, Curvas de Intensidad-Frecuencia-Duración y cálculos de tiempos de concentración; Hidrogramas Unitarios, los cuales se dividen en Sintéticos y Complejos

De acuerdo con Monsalve (1999), el hidrograma unitario sintético, tiene utilidad cuando no se cuenta con los datos necesarios conjuntos de caudal y precipitación históricos para la deducción del hidrograma unitario de una cuenca. La deducción de los parámetros para definir los hidrogramas unitarios sintéticos se basa en las características geométricas y morfológicas de la cuenca hidrográfica. En la región de los Montes Apalaches, en Los Estados Unidos, Snyder estableció que, para cuencas de 16 a 16,100 kilómetros cuadrados:

Se inicia, realizando el cálculo del tiempo de concentración (ver ecuación 2)

$$t_p = 0.7517C_t(LxL_c) \quad \text{Ec. (2)}$$

Donde,  $t_p$ : Tempo de retardo de la cuenca (horas),  $C_t$ : Coeficiente adimensional variando entre 1.8 y 2.2, tomando los valores menores para cuencas con grandes inclinaciones,  $L$ : Longitud del río principal desde la divisoria de aguas hasta el punto en consideración (en kilómetros),  $L_c$ : Longitud desde el punto del río principal más próximo al centro geométrico de la cuenca hasta el punto en consideración (en kilómetros).

El tiempo de retardo de la cuenca se puede sustraer de la ecuación 3.

$$t_r = \frac{t_p}{5.5} \quad \text{Ec. (3)}$$

Donde,  $t_r$ : Duración de la lluvia neta (en horas)

El caudal pico, se puede obtiene de la ecuación 4.

$$q_p = \frac{0.285C_pA}{t_p} \quad \text{Ec. (4).}$$

Donde,  $q_p$ : Caudal pico del hidrograma unitario por milímetro de lluvia neta ( $m^3/s$ ),  $a$ : Área de drenaje de la cuenca en  $Km^2$ ,  $C_p$ : Coeficiente adimensional variable entre 0.56 y 0.69 tomando valores mayores para cuencas con grandes inclinaciones.

#### ➤ **4.3.3. Cobertura Vegetal, Suelos, Topografía, Geología, Litología.**

La cobertura vegetal es un parámetro fundamental en la conservación de los suelos, por esta razón, es imprescindible estudiar los parámetros relacionados con factores topográficos como la pendiente y el relieve, los cuales son determinantes del fenómeno erosivo. De igual manera, a partir de las características del suelo, se realiza el análisis de infiltración, que en función del tipo de suelo, puede o no aumentar la escorrentía superficial. Por otra parte, la geología y litología

permiten determinar la morfogénesis del relieve, así como la susceptibilidad del medio ante agentes externos, que causen alguna alteración.

La cobertura vegetal es la capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomásas con diferentes características fisonómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques primarios (Mergili, y otros, 2015).

De igual manera, Murcia (1995), la cobertura vegetal es importante porque juegan un papel importante en la conservación del ambiente como son los bosques, debido a que mantienen la estabilidad hídrica, regulan el clima a nivel mundial y local, así como también favorecen la conservación de los suelos previniendo la erosión, además son el hábitat de numerosas especies de plantas y animales.

Corine Land Cover es una metodología francesa para determinar la cobertura vegetal, se encuentra adaptada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y el Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales (IDEAM), consiste en la evaluación de las coberturas a partir del análisis espacio temporal de imágenes satelitales multiespectrales de tipo Landsat, la interpretación de la misma, se realiza según la tabla 4.

Tabla 4. Leyenda nacional de coberturas de la tierra.

<b>1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS</b>	<b>3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES</b>
1.1.Zonas Urbanizadas	<b>3.1. Bosques</b>
1.1.1. Tejido urbano continuo	3.1.1. Bosque denso

1.1.2. Tejido urbano discontinuo	3.1.1.1. Bosque denso alto tierra firme
<b>1.2.Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación</b>	3.1.1.2. Bosque denso alto inundable
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	3.1.1.2. Bosque denso bajo de tierra firme
1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	3.1.1.3. Bosque denso bajo inundable
1.2.3. Zonas portuarias	3.1.2. Bosque abierto
1.2.4. Aeropuertos	3.1.2.1. Bosque abierto alto de tierra firme
1.2.5. Obras hidráulicas	3.1.2.2. Bosque abierto alto inundable
<b>1.3.Zonas de extracción minera y escombreras</b>	3.1.2.2. Bosque abierto bajo de tierra firme
1.3.1. Zonas de extracción minera	3.1.2.3. Bosque abierto bajo inundable
1.3.2. Zonas de disposición de residuos	3.1.3. Bosque fragmentado
<b>1.4.Zonas verdes artificializadas, no agrícolas</b>	3.1.4. Bosque de galería y ripario
1.4.1. Zonas verdes urbanas	3.1.5. Plantación forestal
1.4.2. Instalaciones recreativas	<b>3.2. Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva</b>
<b>2. Territorios agrícolas</b>	3.2.1.1. Herbazal denso

<b>2.1.Cultivos Transitorios</b>	3.2.1.1.1. Herbazal denso de tierra firme no arbolado
2.1.1. Otros cultivos transitorios	3.2.1.1.2. Herbazal denso de tierra firme arbolado
2.1.2. Cereales	3.2.1.1.3. Herbazal denso de tierra firme con arbustos
2.1.3. Oleaginosas y leguminosas	3.2.1.1.4. Herbazal denso inundable no arbolado
2.1.4. Hortalizas	3.2.1.1.5. Herbazal denso inundable arbolado
2.1.5. Tubérculos	3.2.1.1.6. Arracachal
<b>2.2.Cultivos permanentes</b>	3.2.1.1.7. Helechal
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	3.2.1.2. Herbazal abierto
2.2.1.1.Otros cultivos permanentes herbáceos	3.2.1.2.1. Herbazal abierto arenoso
2.2.1.2.Caña	3.2.1.2.2. Herbazal abierto rocoso
2.2.1.3.Plátano y banano	3.2.2.1. Arbustal denso
2.2.1.4.Tabaco	3.2.2.2. Arbustal abierto
2.2.1.5.Papaya	3.2.3. Vegetación secundaria o en transición
2.2.1.6.Amapola	<b>3.3. Áreas abiertas, sin o con poca vegetación</b>
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	3.3.1. Zonas arenosas naturales
2.2.2.1.Otros cultivos permanentes arbustivos	3.3.2. Afloramientos rocosos
2.2.2.2.Café	3.3.3. Tierras desnudas y degradadas

2.2.2.3.Cacao	3.3.4. Zonas quemadas
2.2.2.4.Viñedos	3.3.5. Zonas glaciares y nivales
2.2.2.5.Coca	<b>4. Áreas húmedas</b>
2.2.3. Cultivos permanentes y arbóreos	<b>4.1. Áreas húmedas continentales</b>
2.2.3.1.Otros cultivos permanentes arbóreos	4.1.1. Zonas pantanosas
2.2.3.2.Palma de aceite	4.1.2. Turberas
2.2.3.3.Cítricos	4.1.3. Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
2.2.3.4.Mango	<b>4.2. Áreas húmedas costeras</b>
2.2.4. Cultivos agroforestales	<b>1.</b> 4.2.1. Pantanos costeros
2.2.5. Cultivos confinados	4.2.2. Salitral
<b>2.3.Pastos</b>	4.2.3. Sedimentos expuestos en bajamar
2.3.1. Pastos limpios	<b>Superficies de agua</b>
2.3.2. Pastos arbolados	<b>5.1. Aguas continentales</b>
2.3.3. Pastos enmalezados	5.1.1. Ríos (50m)
<b>2.4. Áreas heterogéneas</b>	5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales
2.4.1. Mosaico de cultivos	5.1.3. Canales
2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos	5.1.4. Cuerpos de agua artificiales
2.4.3. Mosaico de pastos, cultivos y espacios naturales	<b>5.2 Aguas marítimas</b>

2.5.Mosaico de pastos con espacios naturales	5.2.1. Lagunas costeras
2.6.Mosaico de cultivos y espacios naturales	5.2.2. Mares y océanos
2.7.	5.2.3. Estanques para acuicultura marina

Fuente: Instituto Forestal Nacional de Francia (2010).

El suelo es la capa superior de la superficie de la tierra, formado a partir de la desintegración progresiva de las rocas. Está compuesto de agua, aire, minerales, materia orgánica, macro y microorganismos.

De igual manera, el IDEAM (2012), define el suelo como la capa más superficial de la corteza terrestre, que resulta de la interacción de los factores y los procesos formadores de suelos. Esta variable incluye características físicas que se obtienen de los mapas de suelos, publicados por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC).

De acuerdo con Velasco (2009), al clasificar los suelos de una manera más precisa se transmite una mejor descripción de su comportamiento, y al utilizar un sistema de referencia conocido y especificado por la técnica, se transmite la información de una mejor manera. El Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S) es uno de los sistemas de clasificación de suelos más utilizados, además de American Association of State Highway and Transportation Officials la (AASHTO). Siendo ambos sistemas usados para clasificar geomecánicamente los suelos.

El sistema genérico de clasificación de suelos se le atribuye a A. Casagrande en 1942, como la Clasificación general de Casagrande modificada. Años más tarde, fue modificado por el Bureau

of Reclamation, el cual es conocido como el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y adoptado por la American Society of Testing Materials (ASTM) como parte de sus métodos normalizados.

Según Das (2001) y Quesada (2016) citados por Barroso Anteliz (2017), para clasificar apropiadamente un suelo utilizando este sistema, deben conocerse el porcentaje de grava, el porcentaje de arena, el porcentaje de limo y arcilla, los coeficientes de uniformidad y curvatura y el límite líquido e índice de plasticidad. Los primeros cinco datos se obtienen a partir de un análisis granulométrico.

De acuerdo con Crespo (2004), el análisis granulométrico del suelo, es el estudio cuantitativo de la distribución del tamaño de las partículas de suelo, en relación a la masa total de la muestra. La clasificación se realiza mediante el uso de tamices de diferentes diámetros.

Para Graux, (1975) los límites de Atterberg definen los contenidos de agua característicos para los que una arcilla determinada, triturada, alcanza diferentes estados de consistencia relativa. Son ensayos de laboratorio en los que se determina el límite de humedad de la arcilla, clasificándolos en límites plásticos ó líquido, además del índice de plasticidad.

Para el Servicio Geológico Colombiano, (2015), la Geología da información sobre la distribución y propiedades físicas y mecánicas de las rocas y suelos, el agua subterránea, las características del relieve y procesos geodinámicos. Dicho de otra manera, INGEOMINAS (2009), citado por IDEAM (2012), define la geología y litología, como las características de los diferentes tipos de rocas y depósitos que se agrupan según el tipo de roca ígnea, metamórfica y sedimentaria, sus características texturales y propiedades geomecánicas. Cada uno de los materiales ofrece diferentes respuestas ante agentes para su alteración y para determinar la

susceptibilidad de cada uno. Los depósitos son los que presentan menos resistencia y mayor susceptibilidad a movimientos en masa.

En consecuencia, Ecured, (2012) indica que la litología estudia las rocas desde su tamaño de grano, así como las características físicas y químicas que lo componen, además de la textura, composición mineralógica, distribución espacial y material cementante. Desde el punto de vista litológico los materiales se clasifican de acuerdo a su génesis o formación (Abramson, 1996) diferenciándose dos grupos de materiales diversos que son: la roca y el suelo. En ese sentido, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y el Servicio de Conservación de Recursos Naturales (USDA), en la décimo segunda edición (2014) definen las claves para la Taxonomía del suelo, clasificándolos en 11 grupos: inceptisol, vertisol, alfisol, molisol, ultisol, Oxisol, Andisol, Aridisol, Gelisol, Histosol, Spodosols.

La topografía es la ciencia que estudia las formas y detalles de la tierra, su objetivo principal, es la representación gráfica del relieve en un plano, estas se hacen de acuerdo al sistema de coordenadas tridimensional, X,Y,Z, donde Z, representa la altura. La clasificación de las pendientes se hace de acuerdo a su altura, ver tabla 5.

Tabla 5. Clasificación de la pendiente

INCLINACIÓN (°)	PROCESOS CARACTERÍSTICOS Y CONDICIONES DEL TERRENO
0 - 2	<b>Plano o casi plano.</b> No hay denudación apreciable
2 - 4	<b>Suavemente inclinado.</b> Movimientos en masa de baja velocidad y procesos erosivos de diferentes tipos, especialmente bajo condiciones

	periglaciares (soliflucción) y fluviales (erosión laminar y en surcos). Susceptible a desarrollar procesos erosivos
4 - 8	<b>Inclinado.</b> Condiciones similares a las anteriores. Alta susceptibilidad a desarrollar procesos erosivos.
8 – 16	<b>Moderadamente abrupto.</b> Movimientos en masa de todos los tipos, especialmente soliflucción periglaciara, reptación y ocasionalmente deslizamientos, también erosión de tipo laminar y en surcos. Susceptible a erosión y deslizamientos
16 - 35	<b>Abrupto.</b> Procesos denudacionales intensos de diferentes tipos (erosión bajo cubierta forestal, reptación, deslizamientos). Alta propensión al desarrollo de procesos erosivos.
35 - 55	<b>Muy abrupto.</b> Afloramientos rocosos, procesos denudacionales intensos, depósitos granulares caóticos de poco espesor
> 55	<b>Extremadamente abrupto.</b> Afloramientos rocosos. Procesos denudacionales muy fuertes, especialmente “denudación de escarpe”; susceptible a rodamiento de rocas.

Fuente: Van Zuidam, (1986).

#### ➤ 4.3.4. Erosión.

Para Christensen y McElyea (1988) la erosión es un movimiento de suelo superficial, ocasionado por diversos factores, principalmente agentes hídricos y eólicos, que resulta en la reducción de la profundidad del horizonte superior, cambios en las características del suelo y la

alteración de su capacidad para soportar el desarrollo de la planta. En otras palabras, la erosión del suelo es la remoción del material superficial por acción del viento o del agua. El proceso se presenta gracias a la presencia del agua en las formas: pluvial (lluvias) o de escorrentía (escurrimiento), que en contacto con el suelo (las primeras con impacto y las segundas con fuerzas tractivas), vencen la resistencia de las partículas (Fricción o cohesión) del suelo generándose el proceso de erosión (Duque y Escobar 2016).

Dicho de otra manera, Duque Escobar (2016), la erosión de suelo, la pérdida de suelos y la acumulación de sedimentos son términos que tienen distintos significados en la tecnología de la erosión de suelos: la erosión de suelos es la cantidad bruta del suelo retirado por la acción dispersante de las gotas de lluvia y por la escorrentía. La pérdida de suelo es el suelo desprendido de una pendiente determinada. La producción de sedimentos es el volumen de suelo depositado en un punto que está bajo evaluación. De igual manera, considera que la Erosión hídrica es causada por el agua lluvia y comprende la erosión por el impacto de las gotas sobre el suelo desnudo, la acción hidráulica de las aguas de escorrentía con capacidad de movilizar y transportar las partículas de suelo, y modelar el relieve.

En cuanto a los aspectos fisiográficos que favorecen la ocurrencia de erosión hídrica, se debe tener en cuenta los relieves ondulados y las pendientes, así como la longitud de la misma, aunque Buján et al., (2003) citados por Chagas y Behrends Kraemer (2018) encontraron que la longitud influía significativamente. Las formas convexas de la pendiente también son las más peligrosas, debido a que las máximas velocidades de escurrimiento se alcanzan en forma simultánea con el máximo volumen de escurrimiento al final de la pendiente y por último las pendientes convergentes en las cuales se facilita la concentración del flujo hídrico. También es importante

considerar si las pendientes son simples o compuestas ya que esto incide sobre la complejidad del patrón de escurrimiento.

De acuerdo con Boughton (1989), Loch y Pocknee (1995) y Chagas et al. (1995), el factor antrópico que incide en transformar la fragilidad del suelo en vulnerabilidad depende de diferentes aspectos. Por ejemplo, el hombre incide sobre la erodabilidad edáfica al modificar mediante el manejo del suelo, la abundancia, continuidad y estabilidad de macroporos edáficos y la estabilidad estructural. Otro ejemplo, es el manejo de la cobertura del suelo mediante cultivos, pasturas y/o bosques, que a su vez condicionan el grado en que la agresividad climática pueda afectar la superficie edáfica. Dichas acciones pueden provocar escurrimientos y erosión por efectos de desmonte, sobrepastoreo y/o eliminación de la cubierta vegetal mediante labranzas agresivas (Wischmeier y Smith, 1978; Binkley y Brown, 1993; Mwendera y Saleem, 1997; Chagas et al., 1998, Chagas et al., 2000) citados por Chagas y Behrends Kraemer (2018).

Existen variedad de modelos empíricos, los cuales se destacan por su amplia utilización, el más utilizado es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE, por sus siglas en inglés), desarrollada en Estados Unidos por Wischmeier y Smith en 1965 y modificada en 1978. Su bondad depende del rigor con que los factores que componen la ecuación, reproduzcan las condiciones del medio al interpretar los mecanismos erosivos por sus causas y efectos (Almorox et al, 1994).

La ecuación USLE considera en su análisis que el proceso erosivo de un área es el resultado de la interacción de factores naturales (lluvia, suelo y topografía) y del impacto de factores influenciados por el hombre directamente (uso y manejo de la tierra). La capacidad potencial que presenta un suelo para hacer frente a los procesos de erosión hídrica, está determinada por los

factores predisponentes, los cuales pueden ser analizados y cuantificados por la USLE, que es un modelo matemático de tipo paramétrico que permite estimar cuantitativamente la erosión para determinadas condiciones de precipitación, suelo, relieve, cultivo y prácticas de manejo (Villanueva y Osinaga, 2004), citados por Gaitán, et al., (2017).

En la ecuación 5 se presenta un modelo para predecir el proceso de erosión laminar que incluye el modelo WEPP citada por Gumiere et al., (2009). En ella se observa que no existen términos separados para predecir el desprendimiento y el transporte, sino que están representados en el factor denominado erodabilidad entre surcos que es característico de cada suelo y se determina en forma empírica. Mientras más intensa sea la lluvia, más importante es el proceso conjunto de desprendimiento y transporte. El factor de ajuste por pendiente indica que el transporte será más efectivo en la medida que el terreno posea una mayor inclinación.

$$D_i = K_i * I^2 * S_f \quad \text{Ec. (5).}$$

Donde,  $D_i$  ( $\text{kg m}^{-2}\text{S}^{-1}$ ): Erosión entre surcos,  $K_i$  ( $\text{kg m}^{-4}\text{S}$ ) - Erodabilidad entre surcos,  $I$  ( $\text{m s}^{-1}$ ) - Intensidad de la lluvia efectiva,  $S_f = 1,05 - 0,85e^{-4\sin(\alpha)}$  - factor de ajuste por pendiente,  $\alpha$  - ángulo de inclinación.

Otros métodos para medir erosión hídrica se presentan en las ecuaciones 6 y 7 conocida como ecuación USLE.

$$Q_R = K * E^\alpha \quad \text{Ec. (6).}$$

Donde  $Q_R$ : erosión por lluvia,  $K$ : coeficiente de proporcionalidad,  $E$ ; la energía cinética de la lluvia y  $\alpha$  : constante que depende del tipo de suelo (baja en arcillas y alta en arenas

Por otra parte, se puede utilizar la ecuación del Método USLE.

$$A = R * K * LS * CP \quad \text{Ec.(7).}$$

Donde, A: promedio de pérdidas de suelo en Ton/Ha; R - EI30:factor de lluvia, expresado como el producto de la energía de una lluvia con la intensidad I30, de 30 minutos; K: factor de erodabilidad del suelo (función del tipo de suelo); LS: longitud de la pendiente y magnitud de la misma, lo que depende de la topografía del terreno y C: Factor de uso del suelo (suelo árido = 1; praderas = 0,1; bosque, selva = 0,01).

De acuerdo con González y Vázquez (2004), el motor de la erosión hídrica es la escorrentía o escurrimiento superficial. Escorrentía y erosión son el resultado de la interacción compleja entre diversos factores: precipitación, naturaleza del suelo, uso del suelos y morfología del relieve que se interrelacionan entre sí para dar lugar a los diferentes procesos.

#### ➤ 4.3.5. *Riesgo.*

La importancia del estudio del riesgo, conlleva a formular acciones que contribuyan a disminuir las afecciones del elemento expuesto ante cualquier eventualidad que represente algún grado de amenaza, por esta razón, es imprescindible estudiar la amenaza y vulnerabilidad que genera la erosión hídrica. Desde la ingeniería ambiental, surge la necesidad, de estudiar las variables que involucran el proceso erosivo, y así poder proyectar un plan de acción para disminuir el impacto de este evento natural.

Según la Ley 1523 de 2012, el Riesgo es el valor esperado de las pérdidas o daños cuando se considera la ocurrencia de un evento amenazante ante una zona, y que son determinados por la

vulnerabilidad de los elementos expuestos. Por lo tanto, el riesgo se deriva de la combinación de la amenaza y vulnerabilidad.

De acuerdo Valencia, (2006), Westen (2010) y la Ley 1523 de 2012 citados en Barroso Anteliz (2017), la Amenaza es la probabilidad o peligro latente de la ocurrencia de un evento natural o antrópico que se presenta con una cierta magnitud y dentro de un período de tiempo, suficiente para afectar directa o indirectamente la vida y causar pérdidas físicas y daño a recursos ambientales. Sin embargo, el grado de destrucción o exposición de una zona ante un evento, en función de su magnitud y los tipos de elementos bajo riesgo, se refiere a Vulnerabilidad.

González Valencia, (2006) y Westen, (2010) y de acuerdo a la Ley 1523 de 2012, es la fragilidad y disposición física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una zona o comunidad de ser afectada en caso de que un evento físico peligroso se presente.

Existen riesgos por erosión hídrica, remoción en masa, inundaciones, avenidas, crecientes súbitos, pro incendios forestales, por la contaminación del aire, entre otros.

La amenaza (A) por erosión hídrica es un proceso natural, en algunas ocasiones su impacto aumenta debido a la intervención antrópica, producto del crecimiento económico de cada región. Dentro de las afecciones se encuentran procesos de remoción en masa, degradación del suelo, pérdida de nutrientes y materia orgánica, inestabilidad de laderas y taludes, entre otros. De igual manera, en los cuerpos hídricos adyacentes a las zonas afectadas, se presenta arrastre de sedimentos, colmatación por el exceso de material de arrastre, pérdida de navegabilidad, reducción de la oferta piscícola, disminución de la calidad del agua, entre otros. Según sea la magnitud del impacto, la erosión se evaluará en términos de afección al medio: Sin evidencia, ligera, moderada, severa y muy severa.

La vulnerabilidad (V) del suelo por erosión hídrica se intensifica según la magnitud del impacto, debido al grado de exposición y/o probabilidad de pérdida de materia orgánica, agentes bióticos y abióticos propios de cada ecosistema, además de las afecciones a las diferentes infraestructuras involucradas.

De acuerdo con Keech, (1978), la evaluación del riesgo permite cuantificar la pérdida de suelo y la producción de sedimentos producto de la erosión hídrica, además de los factores causantes de la misma. Para esto, se deben determinar los factores de erodabilidad del suelo, pendiente y magnitud de la misma, así como la cobertura vegetal y el uso potencial del suelo.

#### ➤ **4.3.6. Parámetros Hidrológicos.**

El estudio de las características físicas de una cuenca hidrográfica, se utiliza para analizar los parámetros de forma y relieve, en función del área, perímetro, longitud, ancho de la cuenca y pendiente. Es así como el cálculo de los parámetros físico morfométricos (ver tabla 6) explican las dinámicas hidrológicas de la cuenca.

El estudio hidrológico de un canal conlleva conocer el comportamiento de las variables hidráulicas e hidrológicas propias del cauce, para conocer el comportamiento hidrológico y la repuesta ante dicho evento, cuyo objetivo, está orientado a inferir los posibles picos de crecidas o avenidas torrenciales, para así, tomar decisiones o acciones que permitan disminuir o mitigar el impacto socioeconómico que conlleva el evento natural. De igual manera, los resultados del estudio son usados para el diseño de obras hidráulicas, además de la gestión del territorio.

Tabla 6. Parámetros físico morfométricos.

<b>Parámetro morfométrico</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Observación</b>
<b>Parámetros de forma</b>			
<b>Área</b>	A	Km <sup>2</sup>	De acuerdo a (Cruz y Moreno, 2015), definen el área como la proyección ortogonal de toda la red de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural.
<b>Perímetro</b>	P	m	Según Cardona (2016), Es la longitud sobre un plano horizontal, que recorre la divisoria de aguas. Este parámetro se mide en unidades de longitud y se expresa normalmente en metros o kilómetros.
<b>Longitud</b>	L	m	Para Cardona (2016), es la distancia horizontal desde la desembocadura de la cuenca (punto de desfogue) hasta otro punto aguas arriba donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la cuenca.
<b>Ancho de la cuenca</b>	B	m	Se define como la relación entre el área y la longitud de la cuenca.
<b>Factor Forma de Horton</b>	Kf		De acuerdo con Cardona (2016), es la relación entre el área y el cuadrado de la longitud de la

			<p>cuenca. Intenta medir cuan cuadrada (alargada) puede ser la cuenca. Una cuenca con un factor de forma bajo, esta menos sujeta a crecientes que una de la misma área y mayor factor de forma.</p> <p>Ecuación 8. Factor forma de Horton.</p> $k_f = \frac{A}{L^2}$
<b>Coefficiente de compacidad</b>	Kc		<p>Férnadez (2012), lo define como el coeficiente adimensional, independiente del área estudiada tiene por definición un valor de uno para cuencas imaginarias de forma exactamente circular. Nunca los valores del coeficiente de compacidad serán inferiores a uno.</p> <p>Ecuación 9. Coeficiente de compacidad</p> $k_c = \frac{P}{P_c} = \frac{P}{2\pi R}$
<b>Parámetros de relieve</b>			
<b>Curva hipsométrica</b>			<p>De acuerdo con Rivas (2019), permite conocer la distribución de masa en la cuenca según la altitud de la misma representada en una gráfica con el área</p>

			acumulada expresada en porcentaje, en las abscisas y en las ordenadas las altitudes de cada una de las fajas altitudinales.
<b>Pendiente media de la cuenca</b>	S		<p>Para Guillarte (1978), citado por Gonzáles y Guerra (2002), permite hacer comparaciones entre cuencas para observar los fenómenos erosivos que se manifiestan sobre la superficie.</p> <p>Ecuación 10. Pendiente media de la cuenca.</p> $s = 100 * \sum Li * E/A$
<b>Elevación media</b>			Según Cardona (2016), a partir de la curva hipsométrica, se determinará la elevación media equivalente al 50% del área de la cuenca, donde el eje x del gráfico se aplicará el porcentaje.
<b>Coefficiente de masividad</b>			<p>Es la relación entre la elevación media de la cuenca y su superficie.</p> <p>Ecuación 11. Coeficiente de masividad.</p> $Cm = Amed/A$
<b>Parámetros de relieve</b>			

<b>Orden de los cauces</b>			bifurcación dentro de la cuenca. Según Horton (1945), es una medida de la ramificación del cauce principal. Mientras mayor sea el grado de corriente, mayor será la red y su estructura más definida.
<b>Relación de bifurcación</b>			Horton (1945), también introdujo este concepto para definir el cociente entre el número de cauces de cualquier orden (Nu) y el número de cauce de orden (u) del siguiente orden superior.  Ecuación 12. Relación de bifurcación.  $Rb = \frac{Nu}{Nu + 1}$
<b>Tiempo de concentración</b>			Tiempo que tarda en llegar una gota de agua de lluvia desde el extremo hidráulicamente más alejado de la cuenca a la salida  Ecuación 13. Tiempo de concentración Kirpich  $Tc = 0.066 * \left(\frac{L}{\sqrt{S}}\right)^{0.77}$

Fuente: Cortés, (2017) citado por Vergara, (2019).

➤ **4.3.7. Modelación hidráulica e hidrológica.**

La modelación se ha desarrollado notablemente en el campo de la hidráulica. A través del tiempo se ha evidenciado estudios de diseños hidráulicos, mediante pequeñas representaciones de

estructuras y máquinas, por los cuales se ha llegado a enunciar principios fundamentales en la hidráulica; que de acuerdo al Ideam, (2018), la modelación es empleada como un medio para evaluar las cuestiones más amplias de nuestra capacidad de analizar y planificar acciones para hacer frente a los problemas actuales y de largo alcance asociados al agua.

Según el Ideam (2018), las capacidades técnicas de los modelos varían mucho entre los diferentes temas relacionados con el recurso hídrico, sin embargo, se ha encontrado que los modelos capaces de analizar muchos de los temas relevantes en esta área están actualmente disponibles y tienen un potencial significativo para aumentar la exactitud y la eficacia de la información que se genera para los administradores, tomadores de decisiones y científicos.

La evolución tecnológica ha permitido hablar de modelación hidráulica e hidrológica, esto surge gracias a la necesidad de procesamiento de diversas técnicas y metodologías que conllevan grandes cálculos a partir de modelos matemáticos. Esto ha facilitado resultados tanto a científicos, académicos. como a la comunidad en general, que con en base a los resultados, se puede conocer en tiempo real el comportamiento de los afluentes y las posibles afecciones que pueda llegar a generar ante la respuesta de una avenida torrencial.

Hoy en día existen diversos software específicos de modelización hidráulica e hidrológica, que facilitan la entrada de datos y permiten visualizar gráficamente los resultados, incluso exportarlos en forma de tablas, lo que nos facilita su interpretación. Entre todo ellos, destaca el software desarrollado por el Hydrologic Engineering Center del US Army Corps of Engineers (HEC-RAS).

De acuerdo a la página oficial del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (USACE), el software HEC-RAS contiene varios componentes de análisis de ríos para:

cálculos del perfil de la superficie del agua a flujo constante, simulación de flujo inestable unidimensional y bidimensional, cálculos de transporte de sedimentos en los límites móviles; y análisis de la calidad del agua, junto con la Gestión y almacenamiento de datos, Gráficas e informes Mapeador de Ras.

#### **4.4. Marco Legal.**

A continuación, se menciona la normatividad vigente en el país, la cual enmarca los objetivos del presente estudio:

Constitución Política de 1991. Capítulo III, Artículo 79: Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.

**Decreto 2811 de 1974**, por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente

**Ley 99 de 1993**, por el cual se crea el ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones. Artículo 1, principio 9: La prevención de desastres será materia de interés colectivo y las medidas tomadas para evitar o mitigar los efectos de su ocurrencia serán de obligatorio cumplimiento.

**Decreto 4147 de 2011**, por el cual se crea la Unidad Nacional Para la Gestión del Riesgo de Desastres, se establece su objeto y alcance.

**Ley 1523 de abril del 2012**, por el cual se adopta la política nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se establece el sistema nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones.

### **Capítulo III.**

#### **5. Metodología.**

De acuerdo a los objetivos planteados, la investigación seguirá la siguiente metodología. Esta cual dicta los pasos para obtener los insumos necesarios, así como el procedimiento para el tratamiento y procesamiento de la información.

##### **5.1. Realización del diagnóstico ambiental.**

A partir de salidas a campo, y toma de fotografías de la zona, se procedió a interpretar los impactos ambientales en la matriz de Arboleda, basado en los componentes ambientales: físico, biótico y socioeconómico, se definieron los respectivos subcomponentes. Finalmente, se procedió a identificar y evaluar cada impacto ambiental, desarrollando los siguientes pasos:

1. Desagregación del proyecto en componentes: Se identificaron las actividades relacionadas para cada componente. De acuerdo a lo anterior, se subdividieron en subcomponentes relacionados con la temática.
2. Identificación de los impactos: Fue empleada la matriz causa y efecto, donde se subdividieron los impactos en dos macro actividades. En función de lo anterior, se identificaron los impactos ambientales de acuerdo a su semejanza con la respectiva macro actividad.
3. Evaluación ambiental: Los impactos identificados se evalúan individualmente de acuerdo a su significancia, mediante la ecuación denominada calificación ambiental (Ca)... véase marco teórico, diagnóstico ambiental...

## **5.2. Caracterización física – morfométrica de la zona de estudio.**

La caracterización físico-morfométrica del tramo en estudio, fue realizada a partir del análisis espacial en el software ArcGis, v. 10.5.

Se descargó el modelo digital de elevación (DEM) para la zona de estudio de la plataforma Alos Palsar de la Nasa. Una vez recopilada la información, se procesó en el software ArcGis, usando las herramientas Hydrology Fill, Flow direction, Flow Accumulation, Map Algebra, Surface, Conversion Tools; obteniendo así, los parámetros asociados a la forma, relieve, perfil, red de drenajes, y tiempos de concentración, junto con el posicionamiento geográfico de la cuenca.

## **5.3. Caracterización de la cobertura vegetal, tipo de suelo, geología litología.**

La cartografía de la cobertura vegetal, se realizó a partir de la descarga de imágenes multiespectrales del satélite de la NASA Landsat 8 y Google Earth. Estas capas, fueron

procesadas en ArcGis, v. 10.5 a partir de las herramientas de composición de bandas, Pan-sharpening y edición. De la primera, se combinaron las bandas según la composición RGB. Posteriormente, se mejoró la resolución espacial de la imagen, para obtener un mejor detalle de la cobertura presente, esta información fue contrastada con la imagen georreferenciada de Google Earth de la zona de estudio, que se usó como modelo para comparar y corregir la información obtenida a partir de la composición de bandas. Finalmente, se aplicó la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia.

El tipo de suelo se obtuvo a partir de la descarga del mapa de suelos a escala 1:100.000 de Norte de Santander, el cual fue proporcionado por el IGAC, la clasificación se realizó en el software ArcGis, v. 10.5, con la herramienta Clip.

Las características geológicas y litológicas del área en estudio, se realizaron en base a la plancha 111 del Servicio Geológico Colombiano (SGC), para el municipio de Toledo. De acuerdo a lo anterior, se elaboró el mapa litológico. De igual manera, a través de fotografías tomadas en la zona de estudio, se realizó la interpretación geológica. Finalmente, el análisis topográfico, se obtuvo a través del DEM de Alos Palsar, el cual fue procesado en ArcGis v. 10.5; clasificando las pendientes de acuerdo a la tabla 5.

#### **5.4. Análisis hidráulico e hidrológico del río Chitagá.**

El análisis hidrológico se hizo con base en la serie de datos sobre precipitación provenientes de la plataforma Google Earth Engine, y en función de esta información, se calcularon las curvas de intensidad duración y frecuencia (IDF) para la zona de estudio, una vez obtenida esta información, se aplicó el método hidrograma sintético triangular para generar las series sintéticas de caudales.

Para la creación geométrica del cauce, se utilizó el Software ArcGis v. 10.5, con el complemento Hec-GeoRas, usando las herramientas Stream Centerlines, Bank Lines, Flow Path Centerlines, XS Cut Lines, Stream Centerlines Attributes y XS Cut Line Attributes. El trazado del río se hizo teniendo en cuenta la imagen georreferenciada de la zona de estudio (ver anexo 10), la cual fue suministrada por Global Mapper. Finalmente, se eligió el coeficiente de rugosidad de manning de acuerdo a las características del canal (ver tabla 7).

Tabla 7. Coeficientes de rugosidad de Manning en cauces naturales.

Type of Channel and Description	Minium	Normal	Maximumium
A. Natural Streams			
1. Main Channels			
a. Clean straight full, no rifts or deep pools	0.025	0.030	0.033
b. Same as above, but more stones and weeds	0.030	0.035	0.040
c. Clean, winding, some pools and shoals	0.033	0.040	0.045
d. Same as above, but some weeds and stones	0.035	0.045	0.050
e. Same as above, lower stages, more ineffective slopes and sections	0.040	0.048	0.055
f. Same as “d” but more stones	0.045	0.050	0.060
g. Sluggish reaches, weedy, deep pools	0.050	0.070	0.080

h. Very weedy reaches, deep pools, or floodways with heavy stands of timber and brush	0.070	0.100	0.150
2. Flood Plains			
a. Pasture no brush	0.025	0.030	0.035
1. Short grass	0.030	0.035	0.050
2. High grass			
b. Cultivated areas	0.020	0.030	0.040
1. No crop	0.025	0.035	0.045
2. Mature row crops	0.030	0.040	0.050
3. Mature field crops			
c. Brush	0.035	0.050	0.070
1. Scattered brush, heavy weeds	0.035	0.050	0.060
2. Light brush and trees, in winter	0.040	0.060	0.080
3. Light brush and trees, in summer	0.045	0.070	0.110
4. Medium to dense brush, in winter	0.070	0.100	0.160
5. Medium to dense brush, in summer			
d. Trees	0.030	0.040	0.050
3. Cleared land with tree stumps, no sprouts	0.050	0.060	0.080
4. Same as above, but heavy sprouts	0.080	0.100	0.120

5. Heavy stand of timber, few down trees, little undergrowth, flow below branches	0.100	0.120	0.160
6. Same as above, but with flow into branches	0.110	0.150	0.200
7. Dense willows, summer, straight			
3. Mountain Streams, no vegetation in channel, banks usually steep, with trees and brush on banks submerged	0.030	0.040	0.050
a. Bottom: gravels, cobbles, and few boulders	0.040	0.050	0.070
b. Bottom: Cobbles with large boulders			

Fuente: Us Army Corps of Engineers, (2016)

### **5.5.Determinación de la Amenaza, vulnerabilidad y riesgo por erosión hídrica.**

El cálculo de amenaza, se realizó en base al índice modificado de Fourier, usando como insumo, el registro mensual de lluvias de la plataforma GEE, para el año 2019. Así como la erodabilidad del suelo, junto con el factor longitud pendiente. Esta información se procesó en el software ArcGis v10.5, con las herramientas Hydrology Fill, Flow direction, Flow Accumulation; Interpolation IDW, Map Algebra, Reclass reclassify, Surface, Slope, Raster Processing Clip.

Por otra parte, la vulnerabilidad por erosión hídrica, se obtuvo a través del cálculo del factor K, el cual se obtiene de la aplicación del modelo de USDA, (1962), usando como base, el Mapa Mundial de Suelos de FAO/UNESCO.

La evaluación de riesgo por erosión hídrica se realizó a partir de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (EUPS), mediante el aplicativo Arcgis, usando como insumos: el modelo digital de elevación del terreno (MDE) de la zona de estudio, las precipitaciones del año 2019,

junto con los porcentajes de arena, limo, arcilla y carbono orgánico, obtenidos del mapa mundial de suelos de la FAO/UNESCO. Además de la cobertura vegetal. Finalmente, se procesaron los insumos en el software Arcgis, bajo las siguientes extensiones: Hydrology Fill, Flow direction, Flow Accumulation; Interpolation IDW, Map Algebra, Reclass reclassify, Surface, Slope, Raster Processing Clip, Conversion Tools, y raster to polygon.

## Capítulo IV.

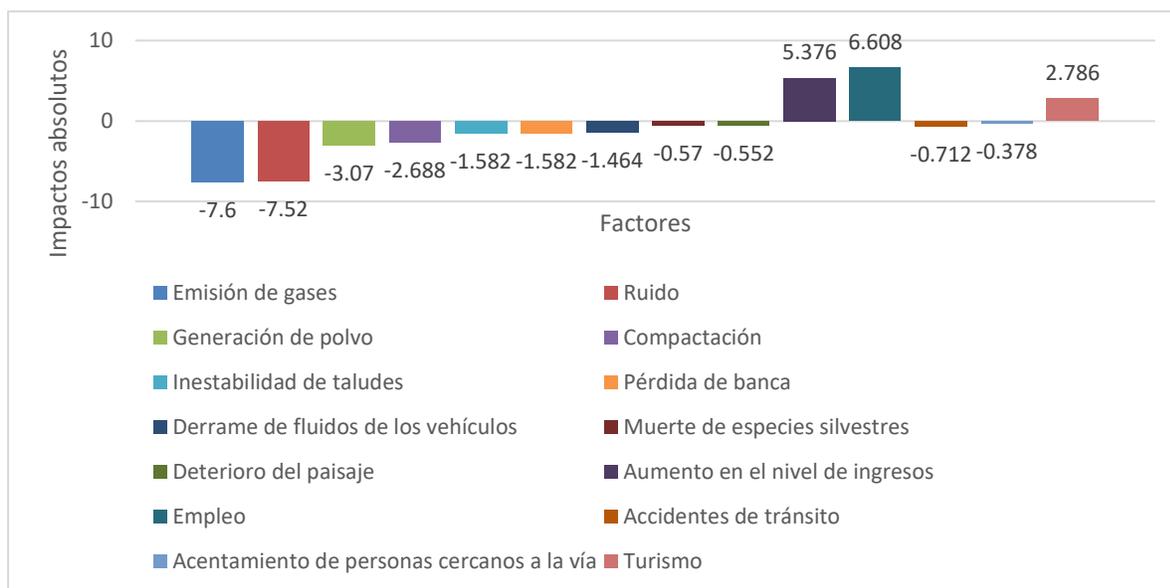
### 6. Resultados y Discusión.

#### 6.1. Diagnóstico ambiental en la zona de estudio.

##### ➤ 6.1.1. Vía de la soberanía:

Como se aprecia en la gráfica 1, los impactos ambientales de mayor magnitud, son los relacionados con el tránsito de vehículos por la zona de estudio, los cuales generan los siguientes impactos negativos: Emisión de gases, generación de polvo, ruido y compactación del suelo. Esto se debe, a que sobre la zona de estudio atraviesa el eje vial que comunica los departamentos de Santander, Norte de Santander y Arauca; esta zona, se caracteriza por el alto flujo vehicular, donde circula todo tipo de vehículos de carga y pasajeros, que a su paso, dejan la estela de humo, característica de la combustión interna, además de diversos tipos de fluidos sobre el carretable, producto de fugas en los sistemas.

Gráfica 1. Impactos ambientales absolutos vía de la soberanía.



Fuente: Plazas Jiménez, (2020).

Al no estar no estar pavimentado el tramo vial en la zona de estudio, se generan grandes nubes de polvo, sobre todo en época de sequía, esto conlleva la afección de la calidad de vida, pues es un factor detonante en las enfermedades respiratorias, que no sólo son padecidas por los moradores de la zona, también se presentan en las personas que transitan diariamente por esta vía.

Por otra parte, el ruido es generado en mayor medida, por los vehículos de carga pesada, pues en algunos casos es ensordecedor, afectando así, la tranquilidad de los habitantes.

La compactación del suelo es altamente afectada por las grandes cargas que transitan por este corredor vial. A causa de esta última actividad, se puede presentar afección a los taludes de la vía, que sumados a las altas precipitaciones de la zona, generan pérdida de banca, lo cual es propicio en este corredor vial, sobre todo en época de lluvias. Repercutiendo fuertemente en el paisaje, el cual se ve altamente modificado por el efecto del tránsito de vehículos.

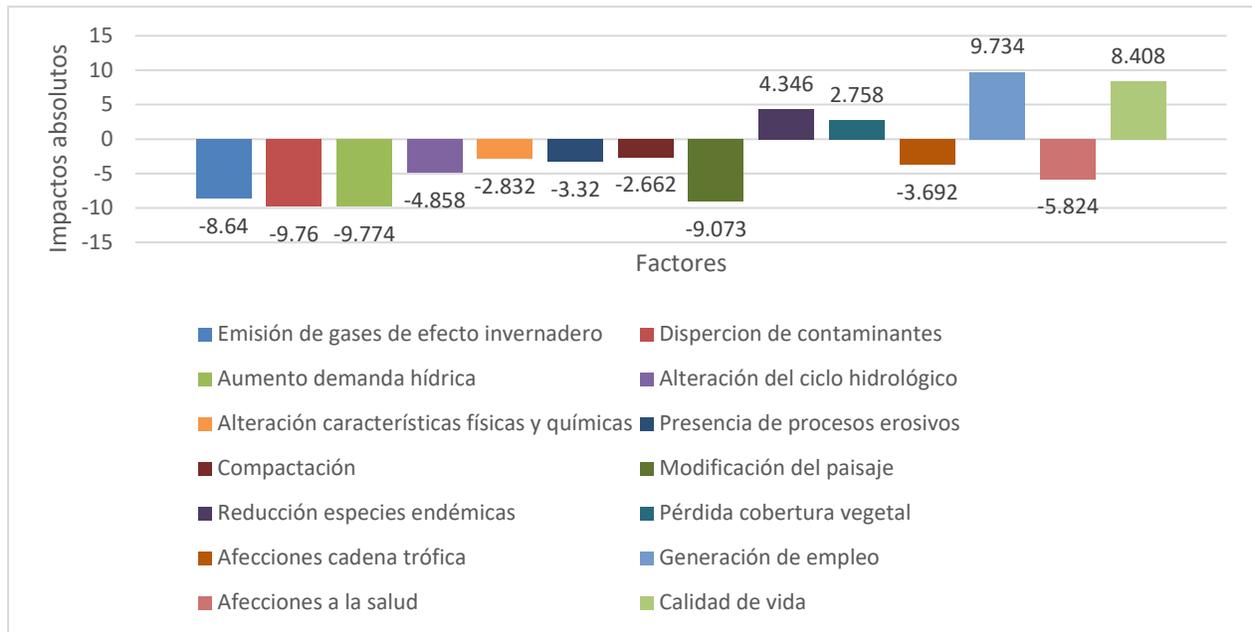
Los impactos positivos son la generación de empleo a causa de esta actividad, pues se dinamiza el turismo y el comercio entre las regiones intercomunicadas, además, que este aspecto mejora la calidad de vida al aumentar los ingresos económicos de las familias que dependen del corredor vial.

### ➤ **6.1.2. Actividades agropecuarias**

El diagnóstico ambiental, se evaluó de acuerdo al tipo de explotación: agrícola y pecuaria.

De acuerdo a la gráfica 2, en la zona de estudio se pueden apreciar cultivos anuales y transitorios, los cuales se obtuvieron a partir de la cobertura vegetal (ver capítulo 5, numeral 6.2, mapa 3...), el impacto de mayor magnitud por la agricultura, es la emisión de gases de efecto

invernadero, que según la Fao, (2010), la dispersión de gases fue de 2800 millones de toneladas, destacándose la producción pecuaria, en 85% de las emisiones, junto con el 15% ligado a la fertilización del suelo.



Gráfica 2. Impactos ambientales absolutos de las actividades agropecuarias.

Fuente: Plazas Jiménez, (2020).

La producción pecuaria genera mayor impacto sobre el suelo a causa del pastoreo, debido a que las zonas dedicadas a esta práctica, soportan grandes cargas a causa de la ganancia de peso de los semovientes, lo que implica que estos suelos se vean altamente compactados, a esto se le suma, que periódicamente se deben arar estas zonas para mejorar: por una parte la calidad nutricional de los pastos y por otro lado, el mejoramiento de la infiltración del agua y absorción de los nutrientes a las nuevas gramas, es por esto, que la compactación afecta significativamente al ciclo hidrológico, pues disminuye la infiltración y aumenta la escorrentía, además de los procesos erosivos.

La sumatoria de todas estas problemáticas se traducen en la modificación del paisaje, donde no sólo se afecta visiblemente, también todas las comunidades y especies que hacen que los suelos sean fértiles y productivos, dentro de las diversas comunidades se destacan la fauna y flora, y que sin la presencia de estas comunidades puede llegar hasta modificar las características físicas y químicas del suelo, aunado a esto, se encuentra la dispersión de contaminantes por fuentes fijas y móviles, que van desde la instalación de motores para el riego de cultivos, hasta maquinaria amarilla para la adecuación de los suelos.

Toda esta actividad en general, hace que aumente la demanda hídrica por la puesta en marcha de los procesos agropecuarios, finalmente, esto se ve reflejado positivamente en el mejoramiento de la calidad de vida, pues todo el proceso conlleva a contratar diversa mano de obra que se traduce en ingreso monetario, pero que por otra parte puede afectar significativamente la salud del operario por el contacto directo con los pesticidas y herbicidas.

## **6.2. Caracterización física y morfológica de la zona de estudio.**

Es importante determinar las características físicas y morfológicas de la cuenca, para entender los procesos que ocurren en la misma. En la tabla 8 se presentan las características físicas y morfológicas del río Chitagá.

Tabla 8. Parámetros morfométricos.

<b>Parámetro Morfométrico</b>	<b>Unidad</b>	<b>Símbolo</b>	<b>Valor</b>	<b>Descripción</b>
<b>Área</b>	Km <sup>2</sup>	A	1573.93	La cuenca del río Chitagá abarca un área de 1573,94 km <sup>2</sup> , ocupando así el 15,8% del área total en Santander, y el 84,3 % restante, en Norte de Santander.
<b>Perímetro</b>	Km	P	275.68	-
<b>Longitud de la cuenca</b>	Km	L	74.18	-
<b>Longitud del cauce principal (Lp)</b>	Km	B	65.65	-
<b>Longitud del cauce principal (Lp) zona de estudio</b>	Km	B	1.17	-

<b>Factor de forma Horton</b>	-	Kf	0.29	De acuerdo con Horton (1945), el valor indica que la cuenca es achatada.
<b>Coefficiente de Compacidad</b>	-	Kc	1.952	Según Gravelius (1914) corresponde a la forma rectangular oblonga.
<b>Razón de elongación</b>	-	Re	0.6	Indica que la cuenca es moderadamente plana con porciones accidentadas.
<b>Índice de alargamiento</b>	-	Ia	1.13	Se define como una cuenca poco alargada.
<b>Parámetros de relieve</b>				
<b>Pendiente media de la cuenca</b>	%	S	26.24	De acuerdo a la clasificación del Igac es ligeramente escarpada o ligeramente empinada.
<b>Coefficiente de masividad</b>	-	Cm	8.9	-

<b>Parámetros de drenaje</b>				
<b>Orden de los cauces</b>	-	Or	6	Indica que el orden de los tributarios alcanza el nivel 6.
<b>Relación de bifurcación</b>	-	Rb	3.6	-
<b>Tiempo de concentración</b>	Horas	Tc	3.43	Tiempo de concentración según metodología de Kirpich.

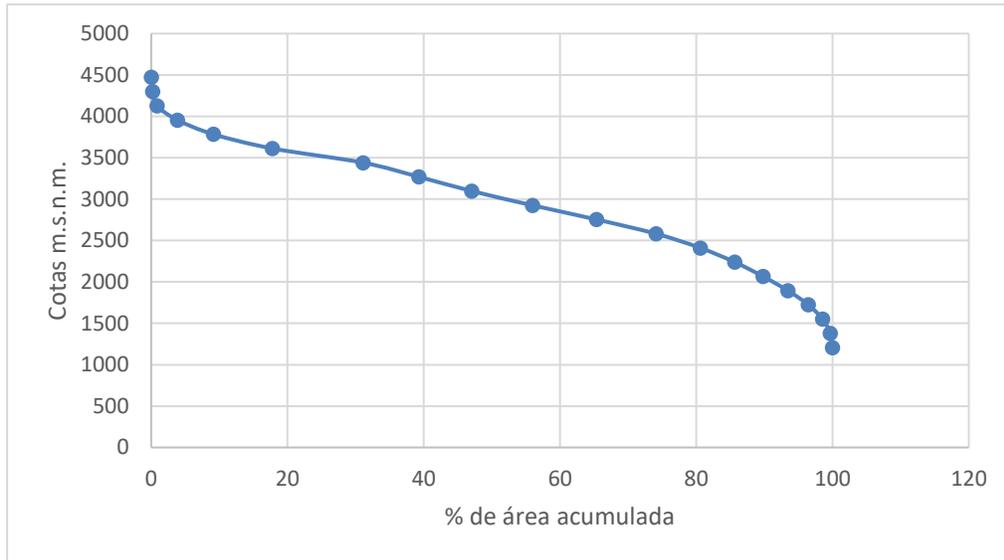
Fuente: Plazas Jiménez, (2020).

De acuerdo a las características físico-morfométricas, la cuenca del río Chitagá, abarca un área de 1573.93 Km<sup>2</sup>, la longitud del cauce principal es de 65.65 Km, el cual es de orden 6; el factor de forma indica que es de forma achatada. De igual manera, el coeficiente de compacidad, corresponde a la forma rectangular oblonga, sin embargo, el índice de alargamiento arroja que es una cuenca poco alargada. La pendiente promedio es de 26.24%, la cual es ligeramente escarpada o ligeramente empinada, por consiguiente, la razón de elongación indica que es moderadamente plana con porciones accidentadas.

La gráfica 3, refleja que la cuenca en estudio se encuentra en la fase de equilibrio o madurez. Lo cual se corrobora con lo dicho por Strahler, (1952). Por consiguiente, la cuenca puede presentar valores altos de erosión desde la parte más alta, hasta los 3952 m.s.n.m.. De igual manera, muestra tendencia al arrastre de material, producto de las altas pendientes, pues hasta esa elevación, presenta pendientes de hasta el 60%. En la imagen 1, se observa la presencia de

bloques de gran tamaño a lo largo del cauce principal, que dejan ver el arrastre por avenidas torrenciales en la zona.

Gráfica 3. Curva hipsométrica cuenca del río Chitagá.



Fuente: Plazas Jiménez, (2020).

Imagen 1. Presencia de bloques en el Río Chitagá.



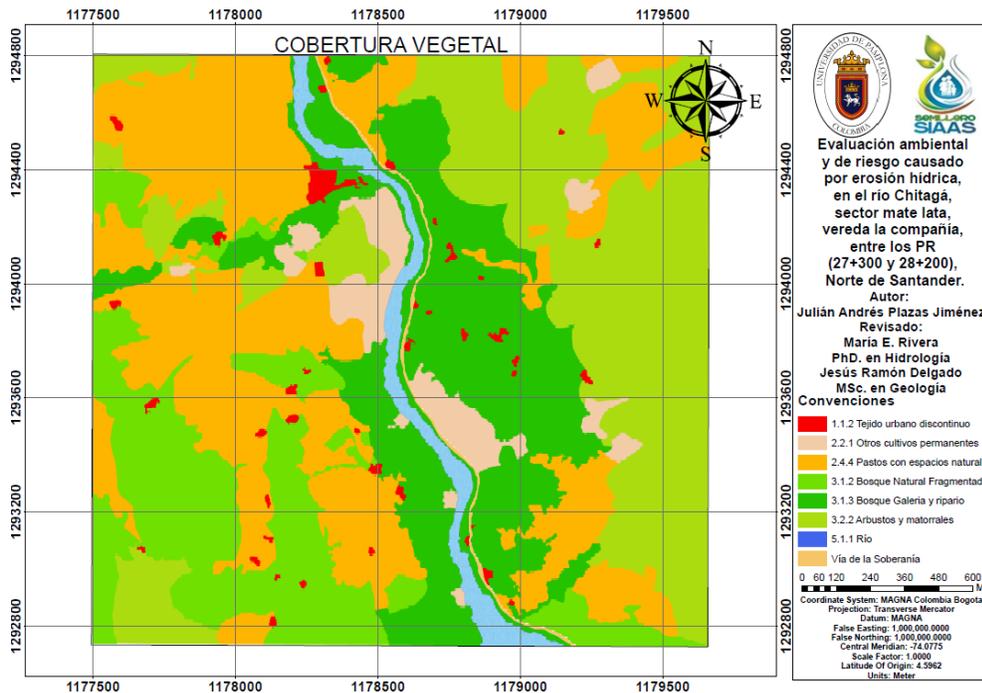
Fuente: Plazas Jiménez, (2020).

La imagen 1, muestra los bloques arrastrados a causa de avenidas torrenciales del Río Chitagá. En la imagen A, se aprecia que los bloques son más pequeños, midiendo hasta 70 cm de ancho por 50 cm de alto, de igual manera, en esta zona, la profundidad del agua supera los 2 m en los lugares más profundos, sin embargo, la imagen B, da muestra de bloques de mayor tamaño, superando tanto los 2 m de alto, como 2 metros de ancho, finalmente, la imagen C, muestra la parte baja del cauce, zona donde se reducen las pendientes y se depositan con mayor frecuencia los bloques, sobre todo, lo de mayor tamaño, que para la mayoría de los casos es donde mayor es la profundidad del agua.

### **6.3. Caracterización de la cobertura vegetal, tipo de suelo, geología y litología.**

En el mapa 3 se muestra la cobertura vegetal. El área de mayor cobertura está compuesta por mosaico de pastos con espacios naturales. Es característico en la zona encontrar pequeños relictos de bosque como arbustos y matorrales dentro de los potreros, esta zona, ocupa un 29,9% del área total.

Mapa 3. Cobertura vegetal, metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia.



Fuente: Plazas Jiménez (2020), a partir de información de World Imagery,

Los arbustos y matorrales, son el 26,1%, estos, se sitúan en la parte alta del área en estudio, donde predominan los elementos arbustivos y árboles de tamaño pequeño.

El bosque de galería y ripario, comprende el 20,54%, se caracteriza por vegetación arbórea, ubicada a los márgenes del río Chitagá. De igual manera, el bosque natural fragmentado es el 15,35%, que comprende bosque natural. En esta cobertura hay pequeños parches de zonas de pastoreo, además de matorrales que hacen que no cambie la estructura original de la cobertura.

Los cultivos transitorios ocupan el 4,24%, donde predominan los cultivos de café, naranja, tomate y habichuela; finalmente, el 1% cubre la vía de la soberanía y las viviendas aledañas a la zona de estudio.

En la imagen 2, se aprecia la presencia de bosque de galería y ripario en la zona de estudio.

Esta cobertura está presente en ambos márgenes del río Chitagá

Imagen 2. Bosque de galería y ripario zona de estudio.



Fuente: Delgado R (2020).

De igual manera, la imagen 3 muestra la cobertura de bosque natural fragmentado. Este tipo de cobertura se caracteriza por la presencia de matorrales, junto con zonas de pastoreo

Imagen 3. Bosque natural fragmentado.



Fuente: Delgado R (2020).

La zona de estudio se caracteriza por la producción de hortalizas. La imagen 4, muestra una plantación de habichuela. También es común encontrar cultivos de tomate, café, plátano y naranja.

Imagen 4. Cultivos transitorios zona de estudio

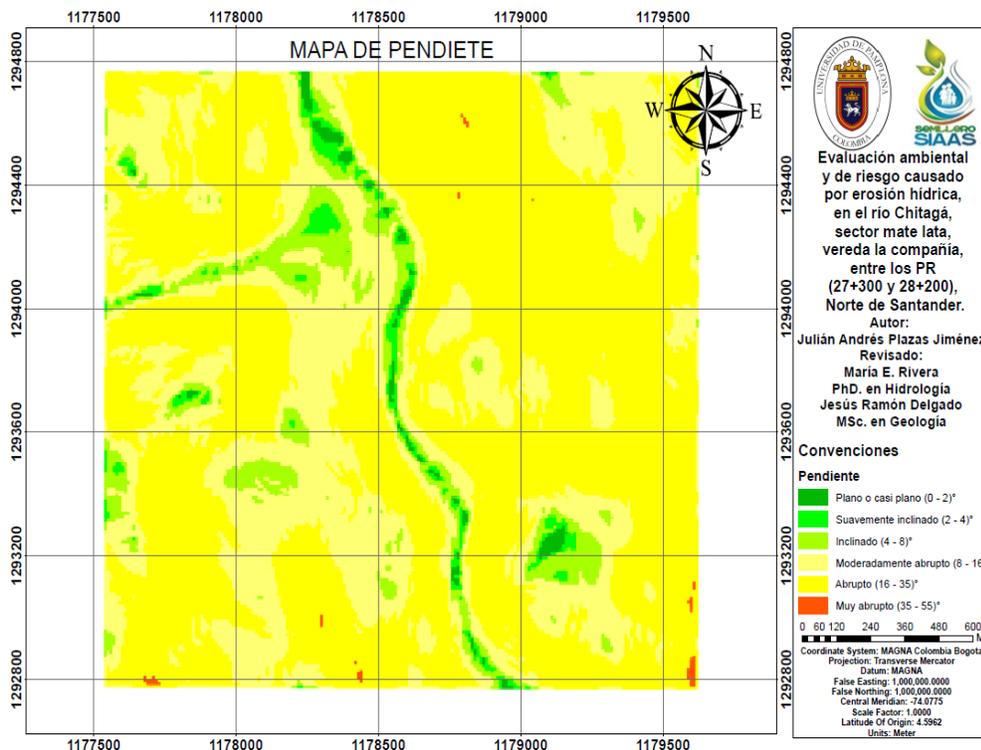


Fuente: Delgado R (2020).

Según el Mapa geológico de Colombia 1M 2015, los suelos presentes en la zona de estudio, son los del orden: Entisol, inceptisol, mollisol, andisol y alfisol.

De acuerdo con el Mapa geológico de Colombia 1M 2015, el área de estudio se caracteriza por ser una montaña estructural erosional con pendientes menores al 50%. Según el mapa 4, en el 0,12% del área se encuentran pendientes mayores de 35 grados. De igual manera, las inclinaciones desde los 16 hasta los 35 grados, ocupan el 60% del área total, así como pendientes moderadamente abruptas en el 30.8% del terreno, el cauce principal y algunas zonas aledañas se caracterizan por pendientes planas o casi planas en el 0.7% del área. Finalmente, el 6,5% corresponde a suavemente inclinadas, que inician desde los 0 hasta los 4°

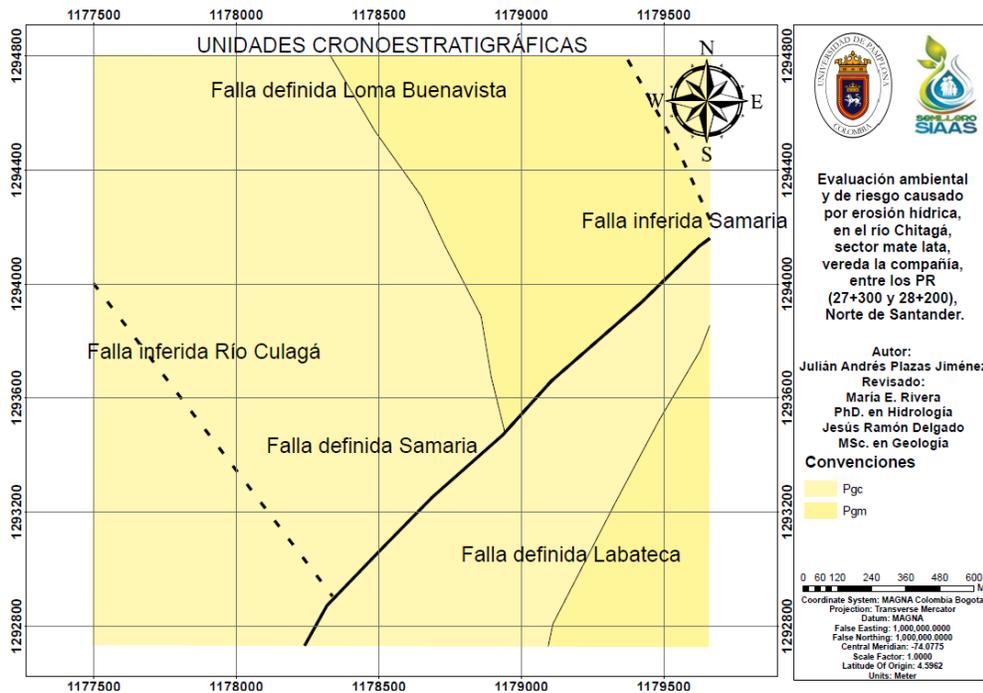
Mapa 4. Mapa de pendientes zona de estudio



Fuente: Plazas Jiménez (2020), a partir información de Alos Palsar.

El mapa 5, muestra las unidades cronoestratigráficas de la zona de estudio, la cuales están formadas a partir de los depósitos terciarios de la plancha 111 de Toledo, encontrándose dos unidades cronoestratigráficas Pgc y Pgm, junto con dos fallas inferidas: La del río Culagá y Samaria. De igual manera, existen 3 fallas definidas: Buenavista, Samaria y Labateca.

Mapa 5. Mapa litológico.



Fuente:Plazas Jiménez (2020), modificado de Ingeominas (2010).

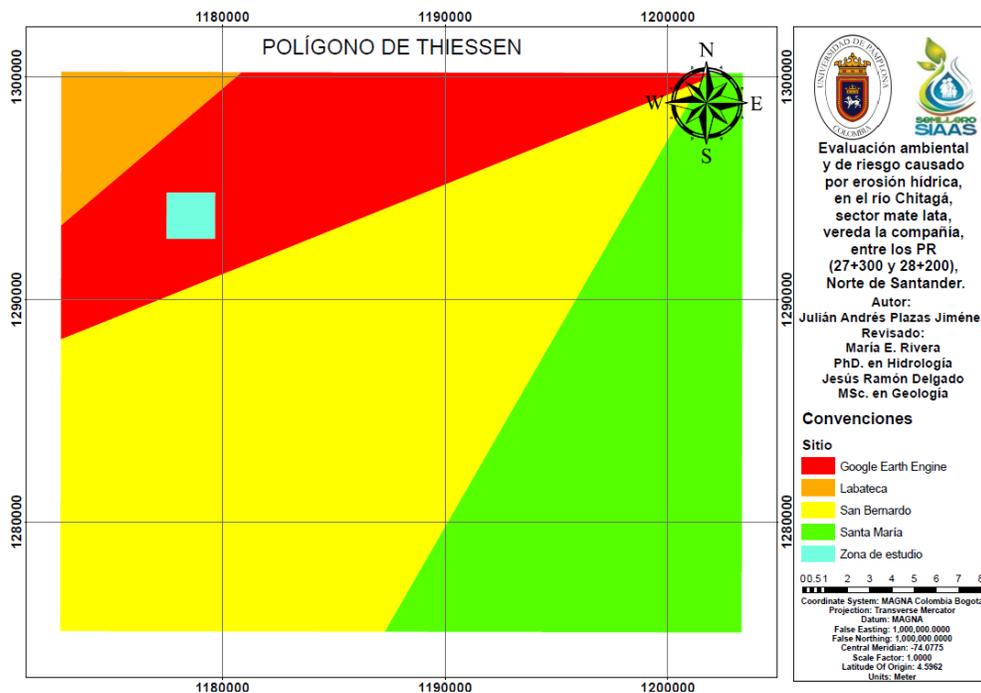
#### 6.4.Análisis hidráulico e hidrológico del río Chitagá.

En el mapa 6, se observa la ubicación de las estaciones hidrometereológicas en la zona de estudio, y la influencia de estas en la zona de acuerdo a los polígonos de Thiessen. Las estaciones pluviométricas más cercanas, que pertenecen a la red de estaciones del IDEAM son: Labateca,

San Bernardo y Santa María. De igual manera, la información descargada de Google Earth Engine (GEE), tiene una fuerte incidencia en la zona.

El recuadro azul, indica la ubicación espacial de la zona de estudio. Los datos de precipitación media de mayor influencia, son los descargados de la plataforma de GEE.

Mapa 6. Polígono de Thiessen



Fuente:Plazas Jiménez (2020), a partir de información del Catálogo de estaciones IDEAM.

La tabla 9, muestra la probabilidad de ocurrencia de un evento de precipitación para los tiempos de retorno de 2 hasta 500 años como lo indica la tabla. De acuerdo a lo anterior, se producirían precipitaciones desde 70.39 hasta 151.82 mm en un día, para 2 y 500 años, respectivamente.

Tabla 9. Predicción de precipitaciones según el tiempo de retorno.

Periodo de retorno	Variable reducida YT	Precipitación (mm) XT (mm)	Probabilidad de ocurrencia F(xT)	Corrección intervalo fijo XT (mm)
2	0.366512921	62.29451583	0.5	70.39280289
5	1.499939987	76.26433913	0.8	86.17870322
10	2.250367327	85.51357771	0.9	96.63034281
20	2.970195249	94.38566942	0.95	106.6558064
25	3.198534261	97.20001517	0.96	109.8360171
50	3.901938658	105.8696821	0.98	119.6327408
75	4.310784111	110.908823	0.986666667	125.32697
100	4.600149227	114.4753335	0.99	129.3571269
200	5.295812143	123.0495844	0.995	139.0460304
500	6.213607264	134.3616803	0.998	151.8286987

Fuente: Plazas Jiménez, (2020).

De acuerdo a la tabla 10, (ver anexo 11 ) las precipitaciones promedio, varían de acuerdo al intervalo de tiempo en horas ,para los tiempos de retorno indicados, y según el cociente, presentandose precipitaciones media de 21.11 hasta 151.82 mm/h.

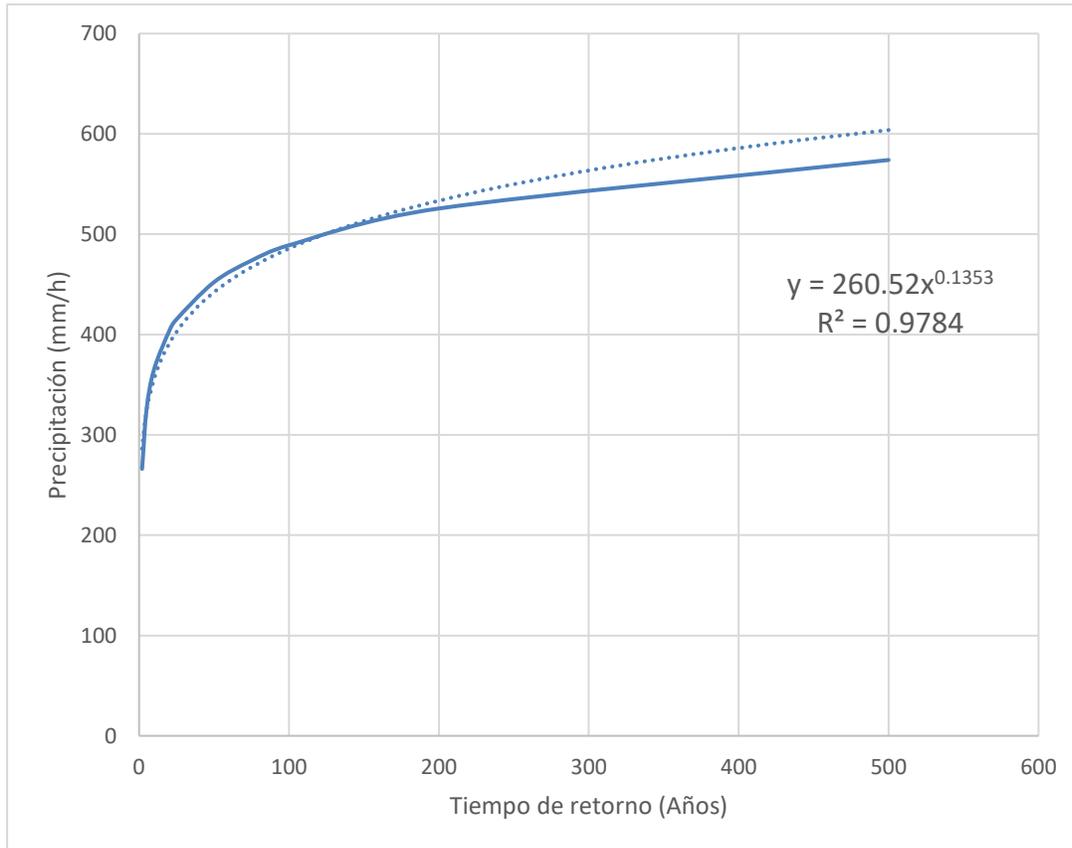
Tabla 10. P.M.P. según tiempo de retorno.

Tiempo de duración (h)	Cociente		
		2 años	500 años
24	1	70.3928029	151.828699
18	0.91	64.0574506	138.164116
12	0.8	56.3142423	121.462959
8	0.68	47.867106	103.243515
6	0.61	42.9396098	92.6155062
5	0.57	40.1238976	86.5423583
4	0.52	36.6042575	78.9509233
3	0.46	32.3806893	69.8412014
2	0.39	27.4531931	59.2131925
1	0.3	21.1178409	45.5486096

Fuente:A partir de información de precipitaciones de GEE, Plazas Jiménez, (2020).

En la gráfica 4, se muestra la regresión potencial de los valores alfa y beta de los tiempos de retorno de 2 hasta 500 años (ver anexo 13), así como el valor de la intensidad y constante n.

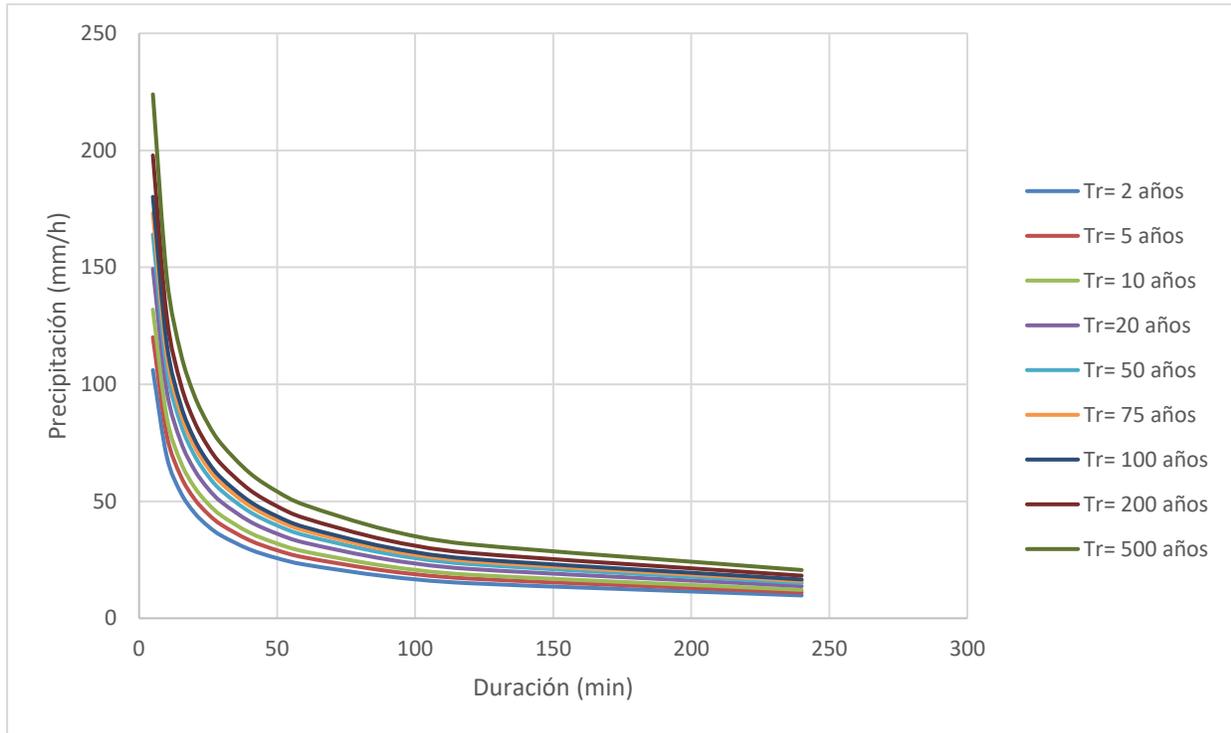
Gráfica 4. Regresión potencial



Fuente: Plazas Jiménez, (2020).

La gráfica 5, muestra la probabilidad de ocurrencia de las precipitaciones para los tiempos de retorno mencionados. De acuerdo a lo anterior, las intensidades máximas ocurren, en los intervalos de duración mas pequeños, así como aumenta la probabilidad de ocurrencia del evento, a medida que es mayor el tiempo de retorno.

Gráfica 5. Curvas IDF sector PR 57 + 200.

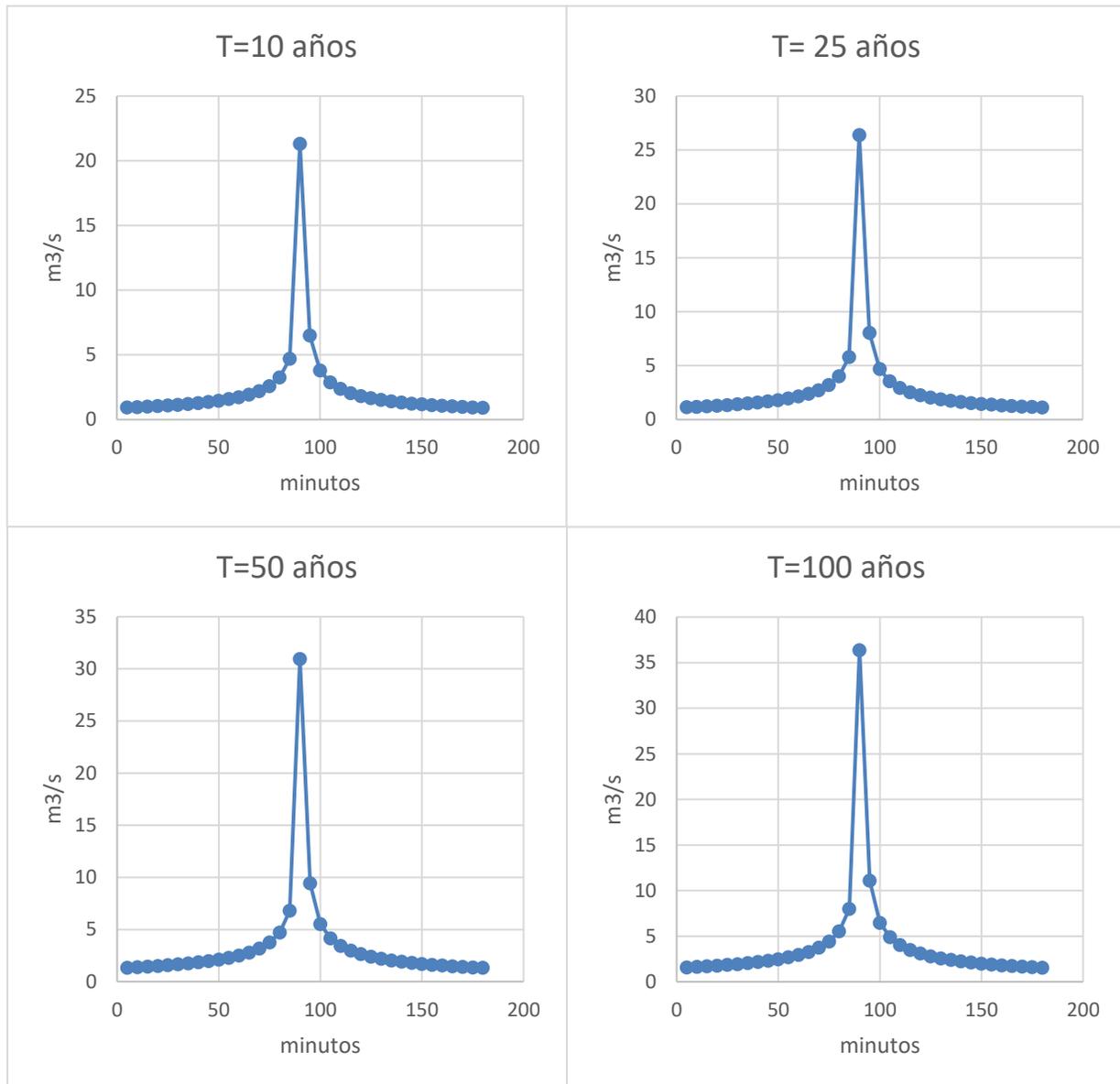


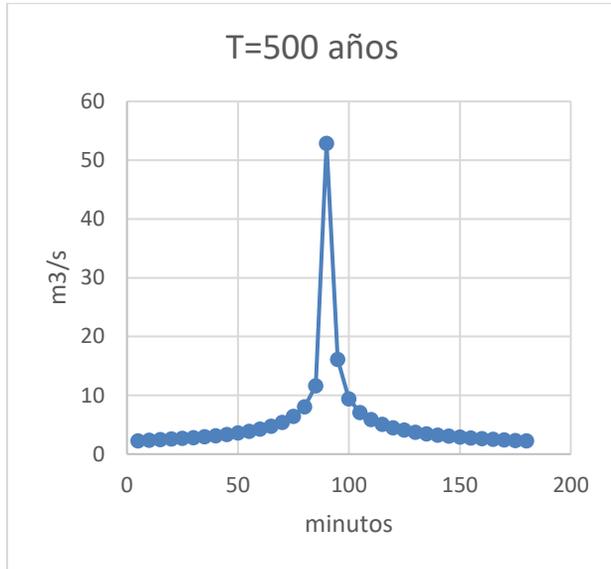
Fuente: Plazas Jiménez (2020), A partir de información de información de precipitación de GEE.

La zona de estudio no cuenta con ninguna estación limnimétrica o de aforo de caudal. Según Perez, Rubio, (2017) los hidrogramas unitarios permiten establecer la relación lluvia escurrimiento, es decir, se puede determinar la respuesta de un cuerpo hídrico en términos de caudal frente a un evento de precipitación. La gráfica 6, muestra el hidrograma sintético de la zona de estudio.

El hidrograma sintético triangular (Ver gráfica 6), muestra el aumento significativo de las precipitaciones en el minuto 90, donde la precipitación varía entre 5.08 a 18.3 mm/h, produciendo  $Q_{pico}$  de 14.67 a 52.86  $m^3/s$  para 2 y 500 años respectivamente.

Gráfica 6. Hidrograma unitario Pr 27 + 800.

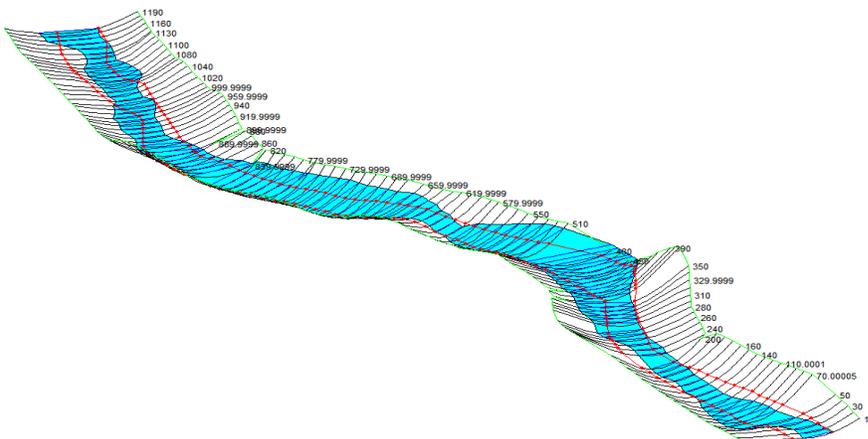




Fuente: A partir de información de información de precipitación de GEE, Plazas Jiménez (2020).

En la imagen 7, se aprecia la modelación hidráulica del río Chitagá en el tramo estudiado. Fue simulado para los caudales pico de los tiempos de retorno de 2 y 500 años (ver gráfica 5). Así mismo, en el software ArcGis, se generaron un total de 100 secciones transversales en el tramo de estudio.

Imagen 5. Modelación hidráulica río Chitagá en la zona de estudio



Fuente: Plazas Jiménez (2020), a partir de información de Alos Palsar y Worl Imagery,

Según Osío, et, al (2000), para la determinación del coeficiente de rugosidad "n" de Manning existen cuatro procedimientos generales: estimar el valor sobre la base del conocimiento de los factores que lo afectan; extraer el dato de tablas con valores típicos de "n"; estimar "n" en base a la similitud del caudal que se estudia con casos conocidos; y determinar el valor de "n" mediante un proceso analítico sobre la base de la distribución teórica de las velocidades en la sección transversal del canal y de los datos de velocidad o medidas de rugosidad.

El coeficiente de rugosidad de Manning para cada una de las secciones está determinado según las características físicas del canal. Esta descripción está disponible en las tablas del manual de referencia hidráulico de Hec-Ras (ver tabla 7), como se muestra en la tabla 11.

Identificadas las secciones transversales, se selecciona la rugosidad de Manning de acuerdo a las características del canal, arroyo de montaña, sin vegetación en el canal, orillas generalmente empinadas, con árboles y arbustos en las orillas sumergidas, valores que van desde 0.035 a 0.05.

Tabla 11. Coeficiente de rugosidad de Manning.

	River Station	Frctn (n/K)	n #1	n #2	n #3
1	1190	n	0.045	0.045	0.045
2	1180	n	0.045	0.045	0.045
3	1170	n	0.045	0.045	0.045
4	1160	n	0.045	0.045	0.045
5	1150	n	0.045	0.045	0.045
6	1140	n	0.045	0.045	0.045
7	1130	n	0.045	0.045	0.045
8	1120	n	0.045	0.045	0.045
9	1110	n	0.047	0.047	0.047
10	1100	n	0.047	0.047	0.047
11	1090	n	0.047	0.047	0.047
12	1080	n	0.047	0.047	0.047
13	1070	n	0.047	0.047	0.047

Fuente: Hec-Ras, editado por Plazas Jiménez, (2020).

La simulación fue realizada en régimen permanente, para estado de flujo mixto. Las condiciones de frontera se establecieron como calado normal, para aguas arriba como aguas abajo, que corresponde a la pendiente media de la cuenca en el tramo de estudio. La pendiente media se determinó de acuerdo al punto inicial del tramo aguas arriba, hasta el punto más bajo del tramo. El cálculo se muestra en la tabla 12.

Tabla 12. Pendiente condición de contorno del modelo.

Estación	Cota	Longitud del cauce	Pendiente
1190	1207	1196.2	0.022
10	1183		

Fuente: Plazas Jiménez, (2020).

La calibración del modelo se realizó en base a la ecuación de la rugosidad de Manning. La tabla 13, muestra los valores de rugosidad de Manning calculada y algunos de los valores usados en el modelo.

Tabla 13. Valores de rugosidad de Manning calculados y utilizados en el modelo.

n Fórmula de Manning	Margen izquierdo	Cauce	Margen derecho
0.042	0.045	0.045	0.045
	0.041	0.041	0.041
	0.043	0.043	0.043

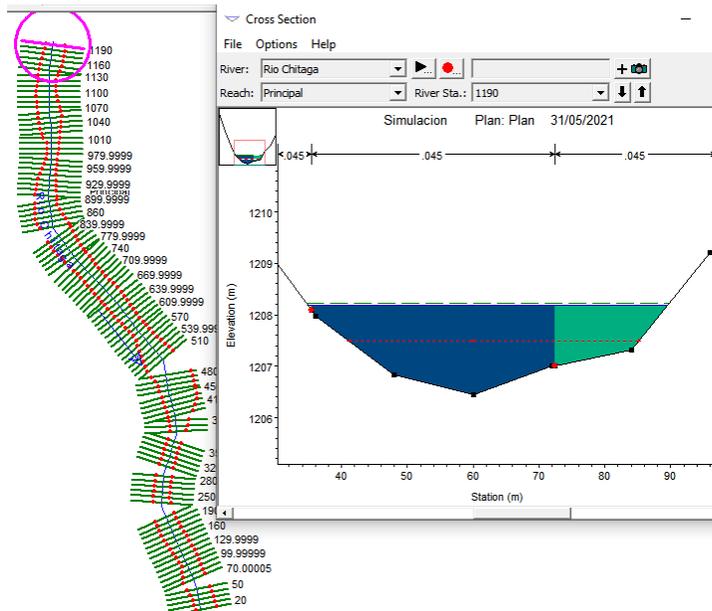
Fuente: Plazas Jiménez, (2020).

Como se observa en la tabla anterior, el valor calculado vs el usado en el modelo no difiere en gran medida, por lo que el modelo calibrado es una aceptable representación de las condiciones reales de la cuenca.

En las imágenes 8, 9 y 10, se muestra la altura de la lámina de agua, que corresponde al tiempo de retorno de 500 años, mientras que las imágenes 11, 12, y 13, corresponden al TR= 2 años. Las imágenes muestran las secciones transversales de la parte baja, media y alta de la zona de estudio.

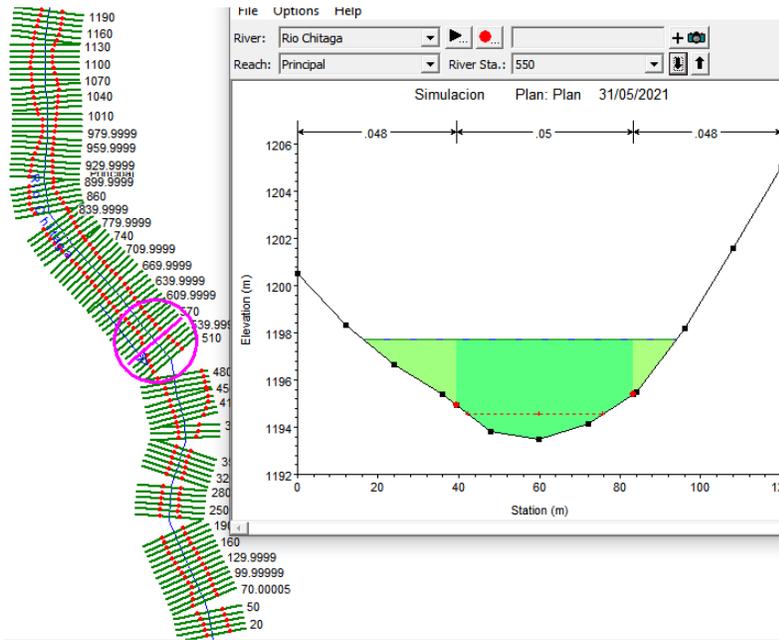
La línea verde, representa el grado energético de la sección, la roja, muestra la profundidad crítica, mientras que la línea azul muestra la altura de la lámina de agua.

Imagen 6. Sección transversal, periodo de retorno 500 años, sector de estudio parte alta.



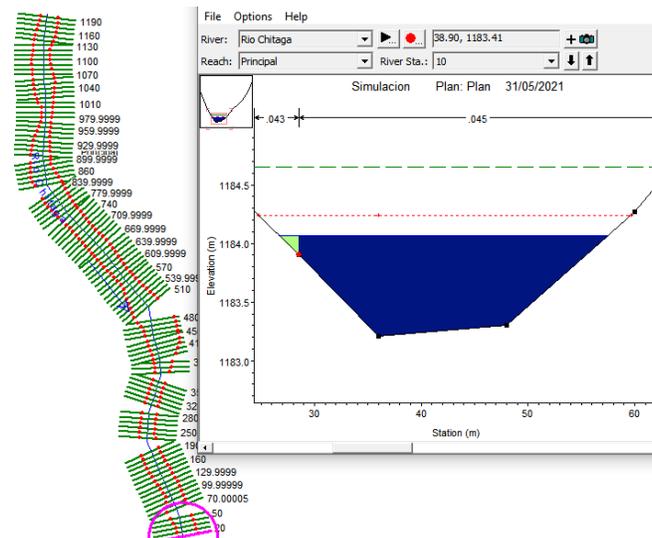
Fuente: Plazas Jiménez, (2020).

Imagen 7. Sección transversal, periodo de retorno 500 años, sector de estudio parte media.



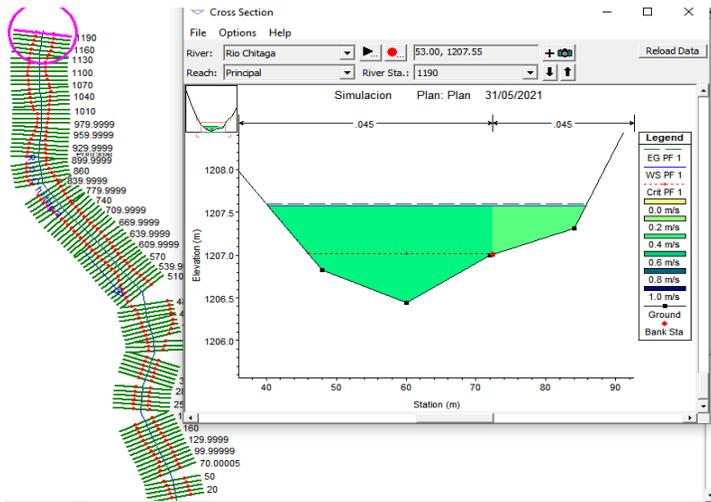
Fuente: Plazas Jiménez, (2020).

Imagen 8. sección transversal, periodo de retorno 500 años, sector de estudio parte baja.



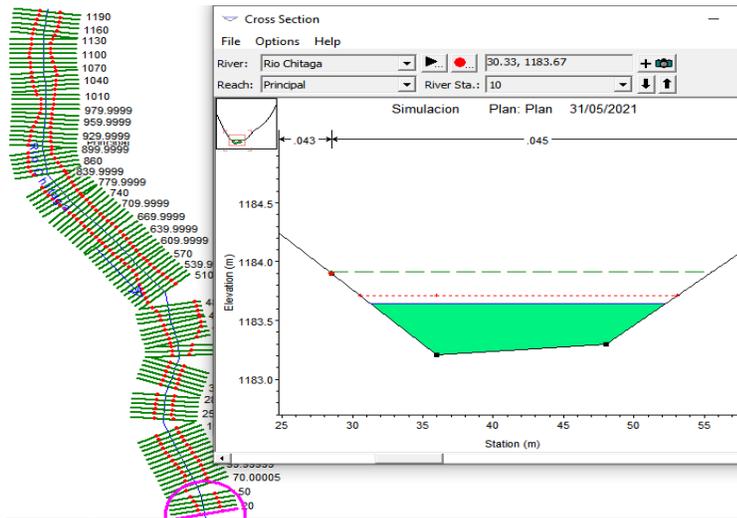
Fuente: Plazas Jiménez, (2020).

Imagen 9 .Sección transversal, periodo de retorno 2 años, sector de estudio parte alta.



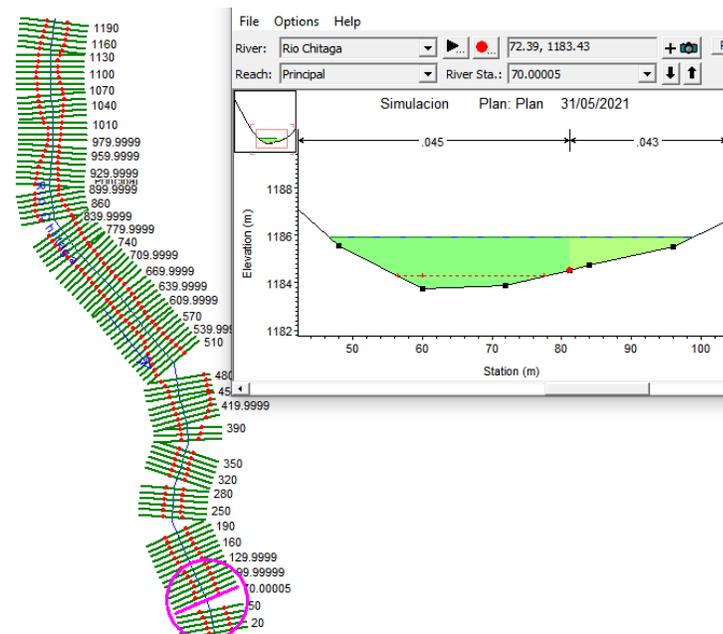
Fuente: Plazas Jiménez, 2020.

Imagen 10. Sección transversal, periodo de retorno 2 años, sector de estudio parte media.



Fuente: Plazas Jiménez, 2020.

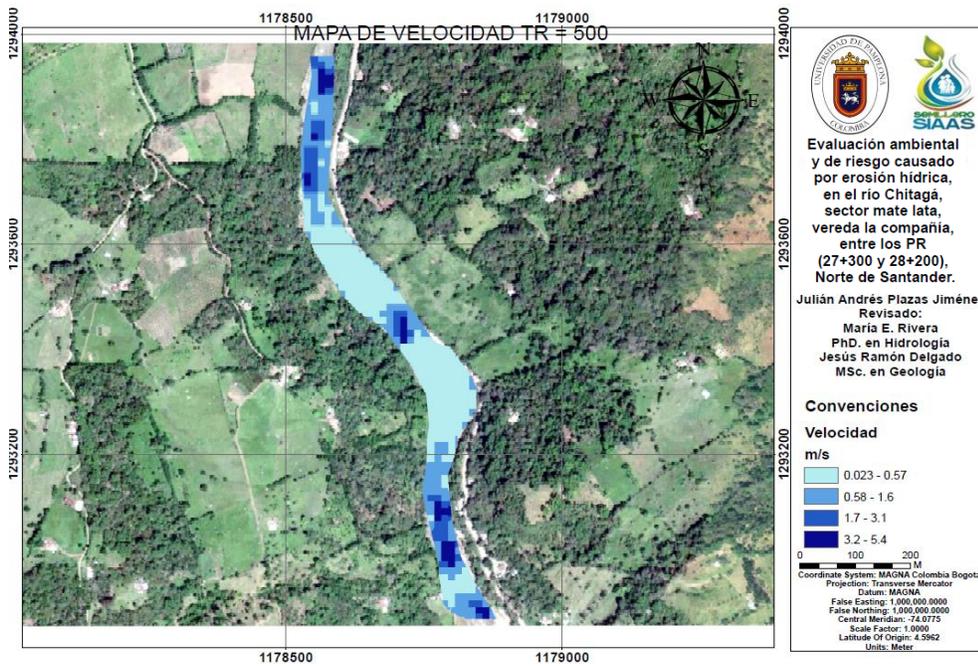
Imagen 11. Sección transversal, periodo de retorno 2 años, sector de estudio parte baja.



Fuente: Plazas Jiménez, 2020.

El mapa 7 muestra la distribución de velocidades a lo largo del cauce en el tramo estudiado, el modelo se corrió para el caudal generado en el tiempo de retorno igual a 2 y 500 años (ver gráfica 6). El mapa de velocidades indica que los valores más altos de velocidad, ocurren en las zonas de mayor pendiente (ver mapa 4), valores que aumentan en rangos de pendiente suavemente inclinado a inclinado, así como en las zonas donde se reduce el ancho del canal. Produciéndose velocidades de hasta 5.4 m/s. De igual manera, la velocidad de flujo que más se presenta es la que está en el rango de 0.023 hasta 0.57 m/s.

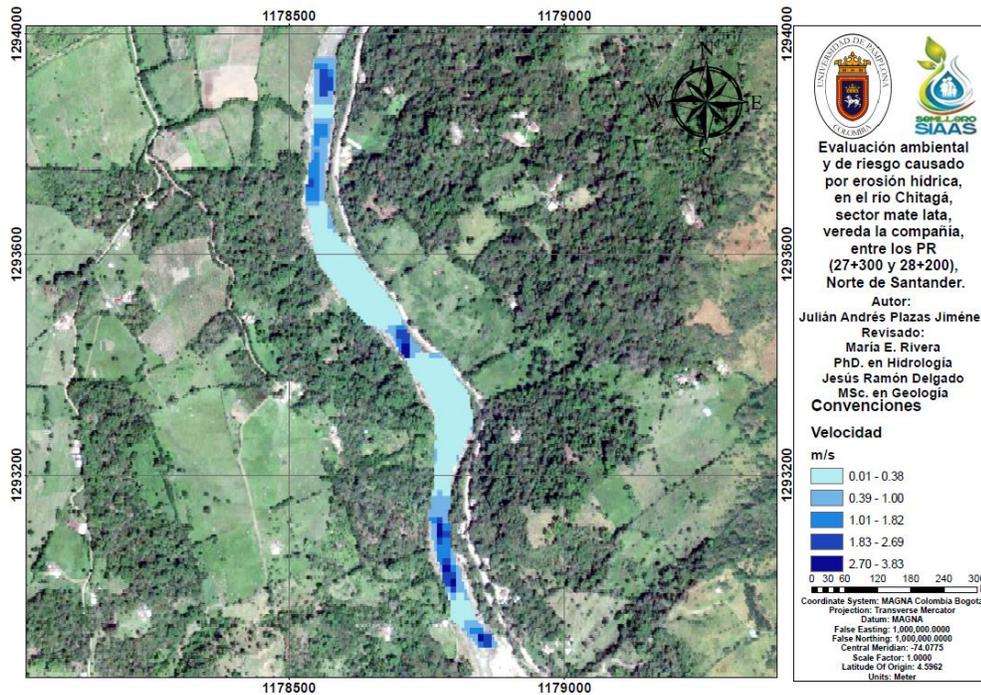
Mapa 7. Mapa de velocidad para Tiempo de Retorno=500 años.



Fuente: Alos Palsar, y GEE, modificado en ArcGis y Hec-Ras, por Plazas Jiménez, (2020).

De igual manera, el mapa 8 muestra la distribución de velocidades para el caudal del tiempo de retorno en 2 años, igual que en el mapa 4, las velocidades de flujo aumentan en las zonas de mayor pendiente, y donde la sección de flujo es más pequeña. Por consiguiente, la velocidad del río llega en algunas zonas hasta los 3,83 m/s, siendo más recurrente que la velocidad de flujo en el canal este en el rango de 0.1 a 0.57 m/s.

Mapa 8. Mapa de velocidad para Tiempo de Retorno= 2 años.



Fuente: Alos Palsar, y GEE, modificado en ArcGis y Hec-Ras, por Plazas Jiménez, (2020).

### 6.5. Determinación de la susceptibilidad por erosión hídrica.

En la tabla 14, se muestra el factor K de la zona estudio. De acuerdo con USDA, (1962), citado por Orozco y Hernández, (2014), la erodabilidad del suelo en la zona de estudio, es moderadamente erodable.

Tabla 14. Factor de la erodabilidad del suelo.

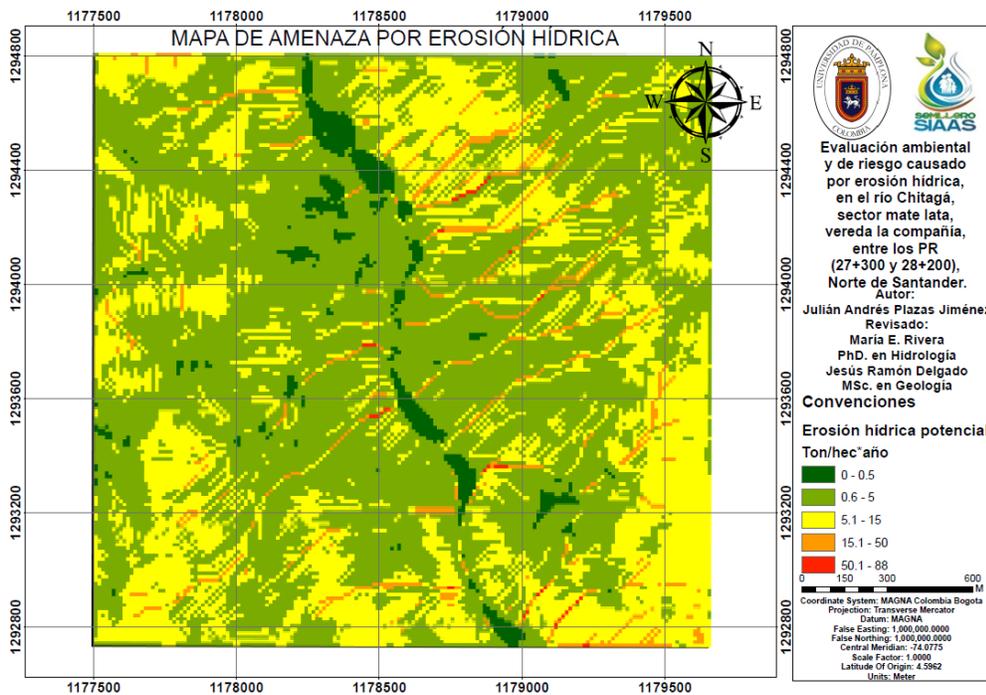
Soil unit symbol	sand % topsoil	silt % topsoil	clay % topsoil	pH water topsoil	OC % topsoil	Kusle Ton*h*/MJ*mm*ha
LC	64.3	12.2	23.5	6.4	0.63	0.14

Fuente: Mapa Mundial de Suelos de la FAO/UNESCO, modificado por Plazas Jiménez (2020).

## 6.6.Cálculo de amenaza por erosión hídrica.

El mapa 10, indica la magnitud del potencial erosivo hídrico en la zona de estudio. De las 448.72 hectáreas estudiadas, el 39.65% del área se encuentra en erosión Ligera, ocupando 177.91 ha; moderada en 218.14 ha, siendo el 48.61%, la erosión hídrica (EH) normal, es el 8.49%, y ocupa 38.11 ha, severa en el 3.07%, abarcando 13.78 ha, finalmente, 0.16% ha toman el rango de muy severa siendo tan solo el 0.76 ha del área total.

Mapa 9.Erosión hídrica potencial.

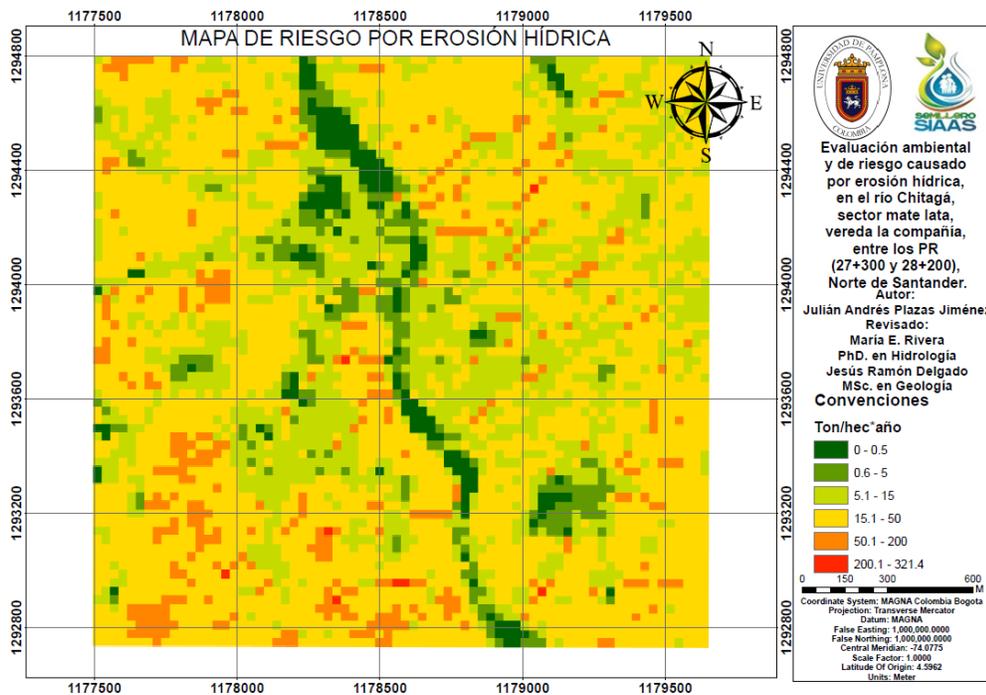


Fuente: Plazas Jiménez, (2020).

## 6.7. Cálculo de riesgo por erosión hídrica.

El riesgo por erosión hídrica en la zona de estudio (ver mapa 10), muestra que el índice erosivo de orden normal, es del 3.31%, ocupando 14.82 ha, ligero en el 5.07% en un total de 22.68 ha, así como moderado en 121.93 ha, siendo el 27.27 % del área estudiada. De igual manera, se torna erosión severa en el 57.48% del suelo evaluado y muy severa en el 6.84%, ocupando 57.48 y 30.6 ha respectivamente.

Mapa 10. Riesgo de erosión hídrica zona de estudio.



Fuente: Plazas Jiménez (2020)

## 6.8. Proposición de obras para disminuir los efectos erosivos en la zona de estudio.

Desde el punto de vista ingenieril, se proponen dos tipos de métodos para disminuir la erosión hídrica en la zona de estudio. El primer método tiene que ver con la modificación de la geometría

del talud, y obtener una nueva que resulte estable. El segundo método, consiste en el uso de la vegetación para la estabilización del taludes y control de erosión.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se sugiere que para disminuir los valores de erosión actuales y los que se puedan generar en la zona de estudio, se construya sobre las laderas de mayor pendiente, perfilado y abancalamiento de taludes, como el mostrado la imagen 14. Esta medida permite suavizar así la superficie de los taludes y aumentar la estabilidad del talud. Según la Norma de Construcción y Protección de Taludes, (2018), el perfilado y abancalamiento de taludes consiste en retirar de los taludes cuñas sueltas y material removido para proporcionar una pendiente uniforme y estable, de tal forma que puedan efectuarse procedimientos como la revegetalización con semilla, o el recubrimiento con malla y mortero de cemento, u otro método de protección de taludes (ver imagen 15).

Imagen 12. Perfilado de taludes.



Fuente: Escobar, 2005

Imagen 13. Recubrimiento de geomalla tridimensional.



Fuente: Projar, (2016)

Las zanjas de infiltración son excavaciones que se realizan en el terreno en forma de canales de sección rectangular o trapezoidal, que se construyen a curvas de nivel para detener la escorrentía de las lluvias, ver imagen 16. Según Pizarro et al, (2008) las zanjas de infiltración, en combinación con plantaciones, no sólo permiten la recuperación de terrenos degradados por procesos de erosión y desertificación, sino que han demostrado su alta eficiencia en la captura de humedad, lo que genera un desarrollo más rápido de las plantaciones

Imagen 14. Zanjas de infiltración en laderas.



Fuente: Observatorio Cambio Climático, (2018).

Según Rivera, (1993), la construcción de trinchos en zonas de ladera, debe conducir únicamente a la estabilización del fondo de cauces y de taludes de cárcavas o drenajes naturales. Por tanto, se deben utilizar principalmente para disminuir la velocidad del agua de escorrentía en derrumbes, cárcavas y cauces de drenajes naturales para evitar en ellos el socavamiento de fondo y base de sus taludes. Los trinchos de guadua (ver imagen 17) corresponden a una obra para la colocación temporal del material de corte y vegetación, dicha vegetación a medida que va

creciendo confortando el sistema estructural de la obra, haciendo más fuerte su anclaje al suelo y evita el movimiento en masa de la zona y erosión.

Imagen 15. Construcción de trinchos en zonas de ladera.



Fuente: elquindiano, (2019).

De acuerdo con el Manual de obras de Bioingeniería en Zonas de Laderas con Procesos de Remoción de Masa para Altitudes Superiores a 3.000 m.s.n.m., (2016). La vegetación puede aumentar la resistencia del suelo al agrietamiento, proteger de la erosión sobre una superficie de suelo expuesta y atrapar las partículas de suelo que se deslizan por el talud. La vegetación debe ser seleccionada para las condiciones particulares del lugar, se recomienda usar flora nativa del lugar y que se siembre con suficiente densidad para proporcionar una eficaz protección a la superficie del talud.

La imagen 18 muestra las plantaciones de El aliso o cerezo, Según Ospina et al, (2005) es de gran valor para el control de erosión en suelos de fuerte pendiente e inestables, y para la recuperación de taludes, gracias a que su sistema radical superficial y extendido. De otra parte, el

aporte al suelo de una alta cantidad de materia orgánica rica en nitrógeno aumenta la fertilidad del suelo, especialmente de hojas, las cuales se descomponen rápidamente. Así mismo, el aliso es una especie de gran valor para la protección de las cabeceras y márgenes de ríos y quebradas, y en general, para la protección de cuencas hidrográficas, debido a que la materia orgánica que aporta contribuye significativamente a incrementar la porosidad del suelo, la capacidad de infiltración y la conservación del agua en el suelo.

Imagen 16. Presencia de alisos en zona de montaña



Fuente: Núñez, (2020).

La *Morella parvifolia* es una especie de crecimiento rápido (ver imagen 19). Es una planta ornamental para climas templado-cálidos, según Parra, (2003) es muy útil en el control de la erosión, como también para la reforestación de las zonas con suelos pobres, rocosos.

Imagen 17. *Morella parvifolia*



Fuente: Hernández, (2008).

La instalación de barreras vivas, como en la imagen 20, es la siembra de plantas perennes y de crecimiento denso sembradas en el contorno de las pendientes, son utilizadas para reducir la velocidad de la escorrentía superficial y según la Corporación Autónoma Regional de Caldas CORPOCALDAS se puede sembrar plantas como el Vetiever, limoncillo, y pasto imperial, además de piña, iraca y piñuelas.

Imagen 18. Instalación de barreras vivas con el Vetiever.



Fuente: climate toolbox, (2008).

Según Hidrojing, (2012), el control a las medidas hidráulicas, limitan la socavación mediante la modificación de las líneas de corriente y la protección del lecho de las bancas del cauce contra las fuerzas erosivas del flujo de agua. Por tanto, se plantean las siguientes medidas para el control fluvial: Estructuras longitudinales construidas a lo largo de las orillas del cauce (ver imagen 21 y 22): revestimientos, muros. Estructuras transversales al flujo de agua: espolones, traviesas de fondo, vertederos de cresta ancha sumergidos. Combinación de estructuras longitudinales y transversales.

Imagen 19. Revestimiento del canal.



Fuente: Laymuns, (2018).

Imagen 20. Revestimiento del canal con gaviones



Fuente: Glassbox, (2020).

## **Capítulo V.**

### **Conclusiones.**

Con respecto a los impactos ambientales en la actividad sobre la vía de la Soberanía, se estableció que en su gran mayoría son impactos negativos, los cuales afectan principalmente los recursos aire y suelo. Esto ocurre principalmente, porque sobre la zona de estudio está ubicada la vía de la Soberanía. De igual manera, las actividades relacionadas a la agricultura afectan el agua, aire y suelo. Por otra parte, tanto las actividades agropecuarias como las relacionadas con el tránsito sobre la vía de la soberanía, generan remuneración económica, lo cual se traduce en el mejoramiento en la calidad de vida de las personas.

De acuerdo a las características físico morfométricas del río Chitagá, se concluye que la cuenca se encuentra en fase de madurez, sin embargo, la pendiente media de la cuenca es ligeramente escarpada o empinada, siendo muy frecuente encontrar presencia de bloques a lo largo del cauce principal. Aunado a esto, la cuenca abarca una extensión de 1573.94 km<sup>2</sup> y es de orden 6. Es por esto que el tiempo de concentración de Kirpch es de 3.43 horas.

La cobertura vegetal indica que el área en estudio aún conserva algunas características propias del lugar, en la zona adyacente del río Chitagá, se pueden apreciar varias hectáreas de bosque de galería y ripario, así como en la parte alta se pueden encontrar arbustos y matorrales, pequeños relictos de bosque natural con algunos parches de pasto, esto indica que a pesar de que es una zona con suelos bastante fértiles no está siendo explotada totalmente en lo que se refiere a la producción agropecuaria, pues no es la cobertura vegetal dominante.

Dentro de las diversas plataformas orientadas para la descarga de información hidromereológica, Google Earth Engine, es una fuente de datos bastante confiable, la cual ofrece registros de series desde 1985, hasta la fecha.

El hidrograma unitario, es un método válido para el cálculo de caudales picos de crecida en una cuenca cuando no se tiene registro limnimétrico.

La modelación hidráulica del río Chitagá en el tramo estudio, muestra la tendencia del río a la socavación lateral en las zonas convexas del canal. Lo cual indica que el estudio de las variables implicadas en la modelación hidráulica de un cauce, puede generar una alerta temprana ante cualquier eventualidad que genere algún tipo de riesgo por el aumento del caudal en un río.

De acuerdo a los valores obtenidos del modelo MUSLE, los rangos que generan mayor preocupación son los que se encuentran en los rangos ligero y moderado, a pesar de que están en los rangos relativamente bajos de erosión, son los que mayor área ocupan, se calcula que para esos dos rangos, se podrían erosionar hasta 4161 toneladas en un año.

## Referencias

- American Psychological Association. (2010). *Manual de Publicaciones de la American Psychological Association* (6 ed.). (M. G. Frías, Trad.) México, México: El Manual Moderno.
- Cardona, B. L. (2016). *Repositorio Usac*. Obtenido de Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas.:  
<http://www.repositorio.usac.edu.gt/4482/1/Conceptos%20b%C3%A1sicos%20de%20Morfometr%C3%ADa%20de%20Cuencas%20Hidrogr%C3%A1ficas.pdf>
- Carlos Mario Ospina Penagos, R. J. (2005). *CENICAFÉ*. Obtenido de El aliso o cerezo:  
<https://www.cenicafe.org/es/publications/aliso.pdf>
- Diana Carolina Cruz Monroy, M. E. (s.f.). *Repositorio Universidad Distrital*. Obtenido de Estudio Morfométrico de la Quebrada Gavilán Afluente del Río Negro en el Municipio de Pacho Cundinamarca:  
<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/7170/MorenoMejiaMarcoEliecer2015.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- El Quindiano. (12 de Octubre de 2019). *El Quindiano*. Obtenido de Bioingeniería, alternativa del gobierno para estabilizar taludes:  
<https://www.elquindiano.com/index.php/noticia/15329/bioingenieria-alternativa-del-gobierno-para-estabilizar-taludes>
- Fernández, O. G. (16 de Abril de 2012). *Universidad Nacional Agraria de la Selva* . Obtenido de Caracterización morfológica de la cuenca hidrográfica Chinchao, distrito de Chinchao, provincia Huanuco, región Huanuco:

[https://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades\\_academicas/CARACTERIZACION%20MORFOMETRICA%20DE%20LA%20CUENCA%20HIDROGRAFICA%20CHINCHAO%2C%20DISTRITO%20DE%20CHINCHAO%2C%20PROVINCIA%20DE%20HUANUCO%2C.pdf](https://www.unas.edu.pe/web/sites/default/files/web/archivos/actividades_academicas/CARACTERIZACION%20MORFOMETRICA%20DE%20LA%20CUENCA%20HIDROGRAFICA%20CHINCHAO%2C%20DISTRITO%20DE%20CHINCHAO%2C%20PROVINCIA%20DE%20HUANUCO%2C.pdf)

Guerra, F., & González, J. (2002). *Redalyc*. Obtenido de Caracterización Morofométrica de la Cuenca de la Quebrada la Bermeja, San Cristóbal, Estado Táchira, Venezuela:

<https://www.redalyc.org/pdf/360/36070208.pdf>

Ideam. (23 de Julio de 2018). *Protocolo de modelación hidrológica e hidráulica*. Obtenido de [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023833/Protocolo\\_Modelacion\\_HH.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023833/Protocolo_Modelacion_HH.pdf)

Instituto Forestal Nacional de Francia. (2010). *Ideam*. Obtenido de Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra Metodología CORINE Land Cover Adaptada para Colombia Escala 1:100.000:

<http://repository.humboldt.org.co/handle/20.500.11761/9467#:~:text=La%20metodolog%C3%ADa%20Corine%20Land%20Cover%2C%20es%20una%20metodolog%C3%ADa%20francesa%20adaptada,de%20im%C3%A1genes%20satelitales%20tipo%20Landsat.>

Laura Michele Pérez Cruz, L. C. (2017). *Repository Udistrital*. Obtenido de Determinación del hidrograma unitario para la cuenca de la quebrada Padre de Jesús, Bogotá DC.:

<https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/6919/PerezLauraRubioLaura2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Mónica G. Osío Yépez, F. F. (2000). *Redalyc*. Obtenido de Cálculo del coeficiente de rugosidad "n" de manning en los grandes ríos de Venezuela:

<https://www.redalyc.org/pdf/707/70770202.pdf>

Rivas, D. C. (s.f.). *Repositorio Universidad Cooperativa de Colombia*. Obtenido de Delimitación hidrográfica y caracterización morfométrico de la cuenca del rio Metica Auxiliar de investigación:

[https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/11680/5/2019\\_Delimitaci%C3%B3n\\_hidrogr%C3%A1fica\\_y\\_caracterizaci%C3%B3n.pdf](https://repository.ucc.edu.co/bitstream/20.500.12494/11680/5/2019_Delimitaci%C3%B3n_hidrogr%C3%A1fica_y_caracterizaci%C3%B3n.pdf)

Zuidam, V. (1986). *Servicio Geológico Colombiano*. Obtenido de Guía metodológica para la zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa Escala 1:25.000 :

[https://www2.sgc.gov.co/Archivos/GM\(2017\).pdf](https://www2.sgc.gov.co/Archivos/GM(2017).pdf)

Arboleda, J. D. (2018). *Erosión hídrica y evolución del relieve*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

CANTU M P, B. A. (2004). Metodología para evaluar el riesgo de erosión hídrica en el sur oeste de la provincia de Córdoba, Argentina. *RESEARCHGATE*, 5.

Chow, V. T. (1994). Introducción . En V. T. Chow, D. R. Maidment, & L. W. Mays, *Hidrología aplicada* (pág. 571). Santafé de Bogotá: McGraw-Hill Interamericana, S. A.

CMNUCC. (s.f.). *IDEAM*. Obtenido de Cambio climático:

<http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-ciudadana/cambio-climatico>

Cruz Velasco, L. G. (27 de septiembre de 2009). *Clasificación de los suelos*. Recuperado el 29 de noviembre de 2017, de Facultad de Ingeniería Civil:

<ftp://ftp.unicauca.edu.co/cuentas/.cuentasbajadas29092009/lucruz/docs/Curso%20Mec%E>

Inica%20de%20Suelos%20I/Mecanica%20de%20Suelos%20I%20ESLAGE%20(28\_29\_30).pdf

Delgado, M. I., & Gaspari, F. J. (2010). Caracterización morfométrica geoespacial. Estudio de caso: Arroyo Belisario, Argentina. *Medio ambiente y desarrollo sustentable*, 4(3). Argentina: Tecnociencia Chichuahua.

El Tiempo. (16 de Abril de 2019). Por aumento de lluvias, autoridades piden precaución en las carreteras. Obtenido de Por aumento de lluvias, autoridades piden precaución en carreteras.

*Foro Peruano para el Agua- GWP Perú*. (2011). Perú.

Gallego, J. M. (2005). *Caracterización hidrológica y de los procesos erosivos en la cabecera del río Monachil (Granada)*. Granada.

García, D. A. (2014). *Topografía y sus aplicaciones*. México : Compañía editorial continental.

Gayarre, F. L., López, C., & Pérez, C. (2006). *Elementos de topografía y construcción*. Oviedo: Ediciones de la universidad de Oviedo.

GRANDE, F. A., & JIMENEZ, J. R. (2015). *Universidad distrital Francisco José de Caldas*.

Obtenido de Estudio morfométrico de la Cuenca del Rio Azul, afluente del rio Calima, departamento del Valle del Cauca:

<http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/2126/1/MorenoGrandeFredyAlberto2015.pdf>

Graux, D. (1975). *Fundamentos de la mecánica del suelo, proyecto de muros y cimentaciones*. Barcelona: Editores técnicos asociados, s.a.

Grupo de Geotecnia. (octubre de 2013). *Clasificación de Suelos*. Recuperado el 29 de noviembre de 2017, de Universidad Católica de Valparaíso:

[http://icc.ucv.cl/geotecnia/03\\_docencia/03\\_clases\\_catedra/clases\\_catedra\\_ms1/05\\_terzaghi\\_3.pdf](http://icc.ucv.cl/geotecnia/03_docencia/03_clases_catedra/clases_catedra_ms1/05_terzaghi_3.pdf)

Guio Martínez, V. R. (2015). Determinación y mapificación de la erosividad de la lluvia en la cuenca del embalse La Copa, Boyacá. 12.

HENDERSON, F. Y. (1964). *Overland flow and groundwater flow from a steady rain of finite duration*. J. of Geoph. Research 1, p.

HERRERA, J. S. (04 de Mayo de 2015). Colombia se queda sin piel: erosión afecta a casi medio país.

Ibáñez Asensio., M. R. (s.f.). *Métodos para la determinación del tiempo de concentración (tc) de una cuenca hidrográfica*. Universidad politécnica de valencia.

Ibáñez Asensio, S., Moreno Ramón, H., & Gisbert Blanquer, J. M. (s.f.). *Universidad Politécnica de Valencia*. Obtenido de

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10782/Morfolog%C3%ADa%20de%20una%20cuenca.pdf>

IDEAM. (s.f.). *AGUA*. Obtenido de AGUAS SUPERFICIALES:

<http://www.ideam.gov.co/web/agua/aguas-superficiales>

Inga-Albañil, K. (Agosto de 2016). *Universidad de Piura*. Obtenido de Interpretación de los resultados de análisis químicos de los sedimentos en la zona del Valle de Chira:

[https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2602/ICI\\_230.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/2602/ICI_230.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Keech, M. (1978). *Remote Sensing in Planning the Control of Erosion* : in De BROODL, M. y GABRIELS D (eds). "Assessment of erosion".
- La opinión. (15 de Junio de 2019). Invías lanza alerta por carretera La Soberanía. *Región*.
- Luna, A. G. (2014). *Infraestructura pra establecer la implantación de cultivos*. Madrid: Ediciones Noble, S.A.
- Massolo, L. (2015). *Introducción a las herramientas de gestión ambiental*. Editorial de la Universidad de La Plata.
- OMM. (23 de Septiembre de 2019). *La Vanguardia Natural*. Obtenido de El cambio climático y sus consecuencias se han intensificado en el período 2015-19:  
<https://www.lavanguardia.com/natural/cambio-climatico/20190923/47577742988/los-indicios-del-cambio-climatico-se-han-intensificado-en-el-periodo-2015-19.html?facet=amp>
- Pérez. (1979).
- Pérez, G. R., & Restrepo, J. J. (2008). *Fundamentos de limnología neotropical* . Medellín: Universidad de Antioquia.
- Pichel, J. (03 de Octubre de 2012). *Agencia Iberoamericana para la difusión de la ciencia y la tecnología*. Obtenido de "Hay que estudiar el clima del pasado para entender cómo influye el hombre en el actual": <http://www.dicyt.com/noticias/hay-que-estudiar-el-clima-del-pasado-para-entender-como-influye-el-hombre-en-el-actual>
- Rienzi, E. A. (s.f.). factores que regulan la erosion Hidrica en la Cuenca Del Río Santa María, provincia dE Catamarca, Argentina.
- Salazar, Á. D. (2012). *Riesgo de erosión hídrica en la cuenca hidrográfica del río mundo*.

Obtenido de Elaboración de la cartografía geológica de un conjunto de planchas a escala 1:100 000 ubicadas en el territorio nacional, identificadas por el servicio geológico colombiano:  
<http://recordcenter.sgc.gov.co/B17/23008010028485/Documento/Pdf/2105284851106000.pdf>

SGC. (2015). *Guía Metodológica para estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por movimientos en masa*. Bogotá D.C., Colombia: Colección, Guías y Manuales. Servicio Geológico Colombiano.

Sharply, A. y. (1990). *Erosion Productivity Impact Calculator, 1. Model Documentation, U. S. Departmente of Agriculture, Agricultural Research Service, Tech.*

Solís, J. N. (2001). *Manejo y conservación de suelos*. San José: Universidad Estatal.

Trujillo, A. R., Barroso, F. U., & Escobar, Y. C. (2010). *Guía básica para la caraterización morfométrica de cuencas hidrográficas*. Santiago de Cali: Universidad del Valle.

Van Remortel, R. D. (2004). *Computing the LS factor forthe Revised Universal Soil Loss Equation through array-based slope processing ofdigital elevation data using a C++ executable. Computers & Geosciences, 30(9–10),1043–1053*. Obtenido de <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2004.08.001>

Villalaz, C. R. (2004). *MECÁNICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES*. Ciudad de México: Limusa.

Zemljic, M. (1971). *Calculation of sediment load. Evaluation of vegetation as anti-erosive factor. In roceedings of the international symposium Interpraevent. Villach*.

**Anexo.**

Anexo 1. Matriz causa y efecto vía de la Soberanía.

COMPONENTE	VÍA DE LA SOBERÍA		MANTENIMIENTO CORREDOR VIAL			TRANSITABILIDAD	
	SUB-COMPONENTE	FACTORES	IMPACTOS	Transporte de material de relleno	Motonivelación		Vibrocompactación
FÍSICO	AIRE	ATMOSFÉRICO	Emisión de gases	x	x	x	X
			Nivel de ruido	x	x	x	X
			Generación de polvo	x	X	X	X
	SUELO	SUELO	Compactación			x	X
			Inestabilidad de taludes	x			X
			Pérdida de banca	x			X
			Derrame de fluidos de los vehículos	x	x	x	X
	BIÓTICO	FAUNA	Muerte de especies silvestres	x			X
		PAISAJE	Deterioro del paisaje	x	x	x	X
	ECONÓMICO Y SOCIOCULTURAL	SOCIAL		Aumento en el nivel de ingresos	x	x	x
			Empleo	x	x	x	X
			Accidentes de tránsito	x			X
			Asentamiento de personas cercanos a la vía				x
			Turismo				X

Anexo 2. Matriz causa y efecto producción agropecuaria.

COMPONENTE	PRODUCCIÓN AGROPECUARIA			Agricultura					Ganadería		
	SUB-COMPONENTE	FACTORES	IMPACTOS	Adecuación de territorios agrícolas	Siembra	Fertilización	Manejo y control de plagas	Riego	Recolección de Cosechas	Pastoreo	
Físico	Aire	Atmosférico	Emisión de gases de efecto invernadero	x						x	
			Dispersión de contaminantes	x			x			x	
	Agua	agua	Aumento demanda hídrica		x	X	x			x	
			Alteración del ciclo hidrológico	x	x			x		x	
			Eutrofización			X		x			
	Suelo	Suelo	Alteración características físicas y químicas	x	x		x				
			Presencia de procesos erosivos	x	x		x				
			Compactación	x			x	x		x	
	Biótico	Paisaje	Paisaje	Modificación del paisaje	x	x					x
				Reducción especies endémicas	x			x	x		x
		Fauna y flora	Fauna y flora	Pérdida cobertura vegetal	x						x
				Afecciones cadena trófica	x			x	x		
	Socioeconómico y cultural	Social	Social	Generación de empleo	x	x	X	x			
				Afecciones a la salud	x			x		x	
				Calidad de vida		x		x			

Anexo 3. Matriz ponderación vía de la Soberanía.

Vía de la soberanía					
Componentes	Subcomponentes	Factores	Impactos	PONDERACIÓN	
<b>FÍSICO</b>	<b>AIRE</b>	<b>ATMOSFÉRICO</b>	Emisión de gases	15	40
			Nivel de ruido	14	
			Generación de polvo	11	
	<b>SUELO</b>	<b>SUELO</b>	Compactación	8	20
			Inestabilidad de taludes	5	
			Pérdida de banca	3	
			Derrame de fluidos de los vehículos	4	
	<b>BIÓTICO</b>	<b>FAUNA</b>	Muerte de especies silvestres	2	2
			<b>PAISAJE</b>	Deterioro del paisaje	6
		<b>ECONÓMICO Y SOCIOCULTURAL</b>	<b>SOCIAL</b>	Aumento en el nivel de ingresos	6
Empleo	7				
Accidentes de tránsito	6				
Asentamiento de personas cercanos a la vía	4				
Turismo	9				
Total %				100	100

Anexo 4. Matriz ponderación producción agropecuaria.

Producción agropecuaria					
Componentes	Subcomponentes	Factores	Impactos	PONDERACIÓN	
<b>Físico</b>	<b>Aire</b>	<b>Atmosférico</b>	Emisión de gases de efecto invernadero	14	24
			Dispersión de contaminantes	10	
	<b>Agua</b>	<b>agua</b>	Aumento demanda hídrica	10	25
			Alteración del ciclo hidrológico	7	
			Eutrofización	8	
	<b>Suelo</b>	<b>Suelo</b>	Alteración características físicas y químicas	8	18
			Presencia de procesos erosivos	6	
			Compactación	4	
	<b>Biótico</b>	<b>Paisaje</b>	Modificación del paisaje	10	10
			<b>Fauna y flora</b>	Reducción especies endémicas	2
Pérdida cobertura vegetal		3			
<b>Socioeconómico y cultural</b>		<b>Social</b>	Generación de empleo	5	15
	Afecciones a la salud		5		
	Calidad de vida		5		
<b>Total</b>				<b>100</b>	<b>100</b>

Anexo 5. Calificación ambiental vía de la soberanía

Calificación ambiental									
Vía de la soberanía - Transporte de material de relleno									
Impactos			Clase	Presencia	Evolución	Magnitud	Duración	CA	Significancia del impacto
AIRE	ATMOSFÉRICO	Emisión de gases	-1	1	1	1	0.1	-7.3	Muy significativa
		Ruido	-1	1	0.6	0.6	0.1	-2.82	Medianamente significativa
		Generación de polvo	-1	1	1	1	0.1	-7.3	Muy significativa
SUELO	SUELO	Compactación	-1	0.3	1	0.8	0.4	-2.04	Poco Significativa
		Inestabilidad de taludes	-1	0.3	0.6	0.8	0.1	-1.098	Poco Significativa
		Pérdida de banca	-1	0.3	0.6	0.8	0.1	-1.098	Poco Significativa
		Derrame de fluidos de los vehículos	-1	0.7	0.4	0.6	0.1	-1.386	Poco Significativa
BIÓTICO	FAUNA	Muerte de especies silvestres	-1	0.3	0.8	0.7	0.1	-1.266	Poco Significativa
	PAISAJE	Deterioro del paisaje	-1	0.3	0.2	0.7	0.1	-0.384	Poco Significativa
	SOCIAL	Aumento en el nivel de ingresos	1	0.7	0.8	0.6	0.2	2.772	Medianamente significativa
		Empleo	1	0.7	0.8	0.8	0.2	3.556	Medianamente significativa
		Accidentes de tránsito	-1	0.7	0.2	0.6	0.1	-0.798	Poco Significativa
		Acentamiento de personas cercanos a la vía	-1	0.3	0.2	0.3	0.1	-0.216	Poco Significativa
Turismo	1	0.3	0.2	0.7	0	0.294	Poco Significativa		

Calificación ambiental									
Vía de la soberanía - Motonivelación									
Impactos			Clase	Presencia	Evolución	Magnitud	Duración	CA	Significacia del impacto
AIRE	ATMOSFÉRICO	Emisión de gases	-1	1	1	1	0.1	-7.3	Significativo
		Ruido	-1	1	0.8	0.6	0.1	-3.66	Medianamente significativa
		Generación de polvo	-1	0.1	0.1	0.2	0.1	-0.044	Poco Significativa
SUELO	SUELO	Compactación	-1	0.1	0.1	0.2	0.1	-0.044	Poco Significativa
		Inestabilidad de taludes	-1	0.3	0.1	0.2	0.1	-0.132	Poco Significativa
		Pérdida de banca	-1	0.3	0.1	0.2	0.1	-0.132	Poco Significativa
		Derrame de fluidos de los vehículos	-1	0.3	0.4	0.6	0.1	-0.594	Poco Significativa
BIÓTICO	FAUNA	Muerte de especies silvestres	-1	0.1	0.2	0.3	0.1	-0.072	Poco Significativa
	PAISAJE	Deterioro del paisaje	-1	0.3	0.2	0.2	0.1	-0.174	Poco Significativa
	SOCIAL	Aumento en el nivel de ingresos	1	0.7	0.8	0.6	0.2	2.772	Medianamente significativa
		Empleo	1	0.7	0.8	0.8	0.2	3.556	Medianamente significativa
		Accidentes de tránsito	-1	0.1	0.2	0.4	0.1	-0.086	Poco Significativa
		Acentamiento de personas cercanos a la vía	-1	0.1	0.2	0.3	0.1	-0.072	Poco Significativa
Turismo	1	0.3	0.2	0.7	0	0.294	Poco Significativa		

Calificación ambiental									
Vía de la soberanía - Vibrocompactación									
Impactos			Clase	Presencia	Evolución	Magnitud	Duración	CA	Significancia del impacto
AIRE	ATMOSFÉRICO	Emisión de gases	-1	1	1	1	0.1	-7.3	Significativo
		Ruido	-1	1	0.8	0.6	0.1	-3.66	Medianamente significativa
		Generación de polvo	-1	0.1	0.1	0.2	0.1	-0.044	Poco Significativa
SUELO	SUELO	Compactación	-1	0.1	0.1	0.2	0.1	-0.044	Poco Significativa
		Inestabilidad de taludes	-1	0.3	0.1	0.2	0.1	-0.132	Poco Significativa
		Pérdida de banca	-1	0.3	0.1	0.2	0.1	-0.132	Poco Significativa
		Derrame de fluidos de los vehículos	-1	0.3	0.4	0.6	0.1	-0.594	Poco Significativa
BIÓTICO	FAUNA	Muerte de especies silvestres	-1	0.1	0.2	0.3	0.1	-0.072	Poco Significativa
	PAISAJE	Deterioro del paisaje	-1	0.3	0.2	0.2	0.1	-0.174	Poco Significativa
	SOCIAL	Aumento en el nivel de ingresos	1	0.7	0.8	0.6	0.2	2.772	Medianamente significativa
		Empleo	1	0.7	0.8	0.8	0.2	3.556	Medianamente significativa
		Accidentes de tránsito	-1	0.1	0.2	0.4	0.1	-0.086	Poco Significativa
		Acentamiento de personas cercanos a la vía	-1	0.1	0.2	0.3	0.1	-0.072	Poco Significativa
Turismo	1	0.3	0.2	0.7	0	0.294	Poco Significativa		

Calificación ambiental									
Vía de la soberanía - Transitabilidad									
Impactos			Clase	Presencia	Evolución	Magnitud	Duración	CA	Significancia del impacto
AIRE	ATMOSFÉRICO	Emisión de gases	-1	1	1	1	0.1	-7.3	Significativo
		Ruido	-1	1	0.8	1	0.1	-5.9	Significativo
		Generación de polvo	-1	1	0.1	1	0.1	-1	Poco Significativa
SUELO	SUELO	Compactación	-1	0.7	0.8	0.7	0.1	-2.954	Medianamente Significativo
		Inestabilidad de taludes	-1	0.7	0.4	0.7	0.1	-1.582	Poco Significativa
		Pérdida de banca	-1	0.7	0.4	0.7	0.1	-1.582	Poco Significativa
		Derrame de fluidos de los vehículos	-1	0.3	0.4	0.6	0.1	-0.594	Poco Significativa
BIÓTICO	FAUNA	Muerte de especies silvestres	-1	0.1	0.2	0.3	0.1	-0.072	Poco Significativa
	PAISAJE	Deterioro del paisaje	-1	0.3	0.2	0.2	0.1	-0.174	Poco Significativa
	SOCIAL	Aumento en el nivel de ingresos	1	0.7	0.8	0.6	0.2	2.772	Medianamente significativa
		Empleo	1	0.7	0.8	0.8	0.2	3.556	Medianamente significativa
		Accidentes de tránsito	-1	0.3	0.2	0.6	0.1	-0.342	Poco Significativa
		Asentamiento de personas cercanos a la vía	-1	0.3	0.2	0.3	0.1	-0.216	Poco Significativa
Turismo	1	0.7	0.2	0.7	1	2.786	Poco Significativa		

Anexo 6. Calificación ambiental producción agropecuaria

Calificación ambiental									
Producción agropecuaria - Adecuación de territorios agrícolas									
Impactos			Clase	Presencia	Evolución	Magnitud	Duración	CA	Significancia del impacto
<b>Aire</b>	<b>Atmosférico</b>	Emisión de gases de efecto invernadero	-1	1	1	1	0.1	-7.3	Muy significativa
		Dispersión de contaminantes	-1	1	1	1	0.1	-7.3	Significativa
<b>Agua</b>	<b>agua</b>	Aumento demanda hídrica	-1	0.1	0.5	0.2	0.1	-0.1	Poco Significativa
		Alteración del ciclo hidrológico	-1	0.3	0.2	0.7	0.7	-0.924	Poco Significativa
		Eutrofización	-1	0.1	0.3	0.3	0.7	-0.273	Poco Significativa
<b>Suelo</b>	<b>Suelo</b>	Alteración características físicas y químicas	-1	0.3	0.2	0.4	1	-1.068	Poco Significativa
		Presencia de procesos erosivos	-1	0.7	0.2	0.5	0.7	-1.96	Poco Significativa
		Compactación	-1	0.1	0.5	0.2	0.6	-0.25	Poco Significativa
<b>Biótico</b>	<b>Paisaje</b>	Modificación del paisaje	-1	0.7	0.5	0.7	0.1	-1.925	Poco Significativa
	<b>Fauna y flora</b>	Reducción especies endémicas	1	0.7	0.4	0.4	0.1	0.994	Poco Significativa
		Pérdida cobertura vegetal	1	0.3	0.2	0.5	0.8	0.93	Poco Significativa
		Afecciones cadena trófica	-1	0.3	0.2	0.5	1	-1.11	Poco Significativa
	<b>Social</b>	Generación de empleo	1	1	0.5	0.8	0.8	5.2	Significativa
		Afecciones a la salud	-1	0.7	0.8	0.6	0.8	-4.032	Medianamente significativa
Calidad de vida		1	0.7	0.8	0.6	0.8	4.032	Medianamente significativa	

Calificación ambiental									
Producción agropecuaria - Siembra									
Impactos			Clase	Presencia	Evolución	Magnitud	Duración	CA	Significancia del impacto
Aire	Atmosférico	Emisión de gases de efecto invernadero	-1	0.1	1	1	0.1	-0.73	Poco Significativa
		Dispersión de contaminantes	-1	0.1	1	1	0.1	-0.73	Poco Significativa
Agua	agua	Aumento demanda hídrica	-1	0.3	0.5	0.4	0.1	-0.51	Poco Significativa
		Alteración del ciclo hidrológico	-1	0.1	0.2	0.5	0.7	-0.28	Poco Significativa
		Eutrofización	-1	0.3	0.2	0.4	0.7	-0.798	Poco Significativa
Suelo	Suelo	Alteración características físicas y químicas	-1	0.1	0.2	0.4	1	-0.356	Poco Significativa
		Presencia de procesos erosivos	-1	0.3	0.2	0.2	0.7	-0.714	Poco Significativa
		Compactación	-1	0.1	0.2	0.2	0.6	-0.208	Poco Significativa
Biótico	Paisaje	Modificación del paisaje	-1	0.7	0.7	0.6	0.7	-3.528	Medianamente significativa
	Fauna y flora	Reducción especies endémicas	1	0.3	0.4	0.5	0.8	1.14	Poco Significativa
		Pérdida cobertura vegetal	1	0.3	0.2	0.5	0.8	0.93	Poco Significativa
		Afecciones cadena trófica	-1	0.3	0.2	0.5	0.5	-0.66	Poco Significativa
	Social	Generación de empleo	1	1	0.5	0.8	0.8	5.2	Poco Significativa
		Afecciones a la salud	-1	0.3	0.8	0.5	0.8	-1.56	Poco Significativa
		Calidad de vida	1	0.3	0.8	0.7	0.8	1.896	Poco Significativa

Calificación ambiental									
Producción agropecuaria - Fertilización									
Impactos			Clase	Presencia	Evolución	Magnitud	Duración	CA	Significancia del impacto
Aire	Atmosférico	Emisión de gases de efecto invernadero	-1	0.1	0.7	1	0.7	-0.7	Poco Significativa
		Dispersión de contaminantes	-1	0.1	0.1	1	0.1	-0.1	Poco Significativa
Agua	agua	Aumento demanda hídrica	-1	0.7	0.8	0.6	0.7	-3.822	Medianamente significativa
		Alteración del ciclo hidrológico	-1	0.1	0.2	0.8	0.7	-0.322	Poco Significativa
		Eutrofización	-1	0.3	0.2	0.2	0.7	-0.714	Poco Significativa
Suelo	Suelo	Alteración características físicas y químicas	-1	0.3	0.2	0.4	0.6	-0.708	Poco Significativa
		Presencia de procesos erosivos	-1	0.1	0.2	0.2	0.1	-0.058	Poco Significativa
		Compactación	-1	0.1	0.2	0.2	0.1	-0.058	Poco Significativa
Biótico	Paisaje	Modificación del paisaje	-1	0.1	0.7	0.2	0.1	-0.128	Medianamente significativa
	Fauna y flora	Reducción especies endémicas	1	0.1	0.2	0.2	0.4	0.148	Poco Significativa
		Pérdida cobertura vegetal	1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.058	Poco Significativa
		Afecciones cadena trófica	-1	0.3	0.2	0.4	0.2	-0.348	Poco Significativa
	Social	Generación de empleo	1	1	0.5	0.8	0.7	4.9	Medianamente significativa
		Afecciones a la salud	-1	0.1	0.8	0.4	0.4	-0.344	Poco Significativa
Calidad de vida		1	0.3	0.8	0.7	0.8	1.896	Poco Significativa	

Anexo 7. Impactos relativo y absoluto vía de la soberanía

Vía de la soberanía			Ponderación	Transporte de material de relleno		Motonivelación		Vibrocompactación		TRANSITABILIDAD		Σ Imp Absoluto	Σ Imp Relativo	Σ Imp Absoluto	Σ Imp Relativo (+)
				I. abs	I. rel	I. abs	I. rel	I. abs	I. rel	I. abs	I. rel				
Factores															
AIRE	ATMOSFÉRICO	Emisión de gases	15	-7.3	1.095	-7.3	1.095	-7.3	-1.1	-7.3	-1.1	-29.2	4.38	0	0
		Ruido	14	-2.82	0.395	-3.66	0.512	-3.66	-0.51	-5.9	-0.83	-16	2.25	0	0
		Generación de polvo	11	-7.3	0.803	0.044	0	0.044	0	-1	-0.11	-8.39	0.91	0	0
SUELO	SUELO	Compactación	8	-2.04	0.163	0.044	0	0.044	0	-2.95	-0.24	-5.08	-0.4	0	0
		Inestabilidad de taludes	5	-1.1	0.055	0.132	0.007	0.132	0	-1.58	-0.08	-2.94	0.14	0	0
		Pérdida de banca	3	-1.1	0.033	0.132	0	0.132	0	-1.58	-0.05	-2.94	0.08	0	0
		Derrame de fluidos de los vehículos	4	-1.39	0.055	0.594	0.024	0.594	0	-0.59	-0.02	-3.17	-0.1	0	0
BIÓTICO	FAUNA	Muerte de especies silvestres	2	-1.27	0.025	0.072	0	0.072	0	-0.07	-0	-1.48	0.03	0	0
	PAISAJE	Deterioro del paisaje	6	-0.38	0.023	0.174	-0.01	0.174	0	-0.17	-0.01	-0.91	0.04	0	0
	SOCIAL	Aumento en el nivel de ingresos	6	2.772	0.166	2.772	0.166	2.772	0.166	2.772	0.166	11.09	0	11.1	1
		Empleo	7	3.556	0.249	3.556	0.249	3.556	0.249	3.556	0.249	14.22	0	14.2	1
		Accidentes de tránsito	6	-0.8	0.048	0.086	0.005	0.086	0	-0.34	-0.02	-1.31	0.07	0	0
		Acentamiento de personas cercanos a la vía	4	-0.22	0.009	0.072	0	0.072	0	-0.22	-0.01	-0.58	0.02	0	0
		Turismo	9	0.294	0.026	0.294	0.026	0.294	0.026	2.786	0.251	3.668	0	3.67	0
Total			100												

Anexo 8. Impactos relativo y absoluto producción agropecuaria.

Producción agropecuaria			Pnderación %	Adecuación de territorios agrícolas		Siembra		Fertilización		Manejo y control de plagas		Riego		Recolección de cosecha			Pastoreo		Σ Imp Absoluto (-)	Σ Imp Relativo (-)	Σ Imp Absoluto (-)	Σ Imp Relativo (+)
				I. abs	I. rel	I. abs	I. rel	I. abs	I. rel	I. abs	I. rel	I. abs	I. rel	I. abs	I. rel	I. abs	I. rel					
Factores																						
AIRE	ATMOSFÉRICO	Emisión de gases de efecto invernadero	14	-7.3	-1.02	-0.73	-0.1	-0.7	-0.1	-0.7	-0.1	-5.6	-0.8	-0.5	-0	-5.8	-1	-21	-3	0	0	
		Dispercion de contaminantes	10	-7.3	-0.73	-0.73	0.07	-0.1	-0.01	-5.39	-0.54	-5.6	-0.6	-0.4	-0	-4.6	-0	-24	2.4	0	0	
Agua	Agua	Aumento demanda hídrica	10	-0.1	-0.01	-0.51	0.05	3.822	-0.38	-3.04	-0.3	-6.02	-0.6	-0.8	-0	-2.9	-0	-17	1.7	0	0	
		Alteración del ciclo hidrológico	7	-0.92	-0.06	-0.28	0.02	0.322	-0.02	-0.29	-0.02	-5.26	-0.4	-0.4	-0	-0.5	-0	-8.1	0.6	0	0	
		Eutrofización	8	-0.27	-0.02	-0.8	0.06	0.714	-0.06	-0.24	-0.02	-0.17	-0	-0.1	-0	-0.1	-0	-2.3	0.2	0	0	
Suelo	Suelo	Alteración características físicas y químicas	8	-1.07	-0.09	-0.36	0.03	0.708	-0.06	-1.64	-0.13	-0.09	-0	-0	-0	-0	-0	-3.9	0.3	0	0	
		Presencia de procesos erosivos	6	-1.96	-0.12	-0.71	0.04	0.058	-0	-0.06	-0	-0.51	-0	-0.3	-0	-0.7	-0	-4.3	0.3	0	0	
		Compactación	4	-0.25	-0.01	-0.21	0.01	0.058	-0	-0.04	-0	-0.04	-0	-0.2	-0	-3.5	-0	-4.3	0.2	0	0	
Biótico	Paisaje	Modificación del paisaje	10	-1.93	-0.19	-3.53	0.35	0.128	-0.01	-4.56	-0.46	-0.8	-0.1	-2.9	-0	-3.5	-0	-17	1.7	0	0	
	Fauna y flora	Reducción especies endémicas	2	0.994	0.02	1.14	0.02	0.148	0.003	4.214	0.084	0.058	0	0.17	0	0.71	0	7.44	0	7.4	0	
		Pérdida cobertura vegetal	3	0.93	0.03	0.93	0.03	0.058	0.002	0.086	0.003	1.392	0.04	0.26	0	0.12	0	3.77	0	3.8	0	
		Afecciones cadena trófica	3	-1.11	-0.03	-0.66	0.02	0.348	-0.01	-2.83	-0.08	-0.09	-0	-0.1	-0	-0.3	-0	-5.4	0.2	0	0	
	Social	Generación de empleo	5	5.2	0.26	5.2	0.26	4.9	0.245	5.46	0.273	0.882	0.04	3.98	0	4.4	0.2	30	0	30	2	
		Afecciones a la salud	5	-4.03	-0.2	-1.56	0.08	0.344	-0.02	-4.03	-0.2	-0.22	-0	-0.2	-0	-0.1	-0	-10	0.5	0	0	
Calidad de vida		5	4.032	0.2	1.896	0.09	1.896	0.095	4.424	0.221	0.632	0.03	4.82	0	4.82	0.2	22.5	0	23	1		
Total			100																			

Anexo 9. Precipitaciones GEE.

AÑO	PRECIPITACIÓN MÁXIMA	AÑO	PRECIPITACIÓN MÁXIMA
1985	43.7245674	2006	55.5103035
1986	54.1060219	2007	109.733856
1987	39.5724449	2008	51.0290604
1988	43.5326385	2009	53.4976387
1989	59.7459831	2010	45.9553032
1990	59.2667046	2011	77.2554321
1991	72.0137939	2012	50.2592049
1992	63.8840523	2013	43.2316208
1993	38.6642723	2014	105.025085
1994	50.8783722	2015	56.7941971
1995	47.2447052	2016	63.9373932
1996	55.0736809	2017	50.2617188
1997	67.324913	2018	61.0847015
1998	45.2798347	2019	43.6579971
1999	78.744751	2020	55.1505203
2000	60.9774094	Desviación	11.1747475
2001	59.0142021	Prom	55.1234694
2002	44.159481		
2003	61.4800224		
2004	45.9290009		
2005	66.9760056		

Anexo 10. Predicción de precipitaciones.

Periodo de retorno	Variable reducida YT	Precipitación (mm) XT (mm)	Probabilidad de ocurrencia F(xT)	Corrección intervalo fijo XT (mm)
2	0.366512921	62.29451583	0.5	70.39280289
5	1.499939987	76.26433913	0.8	86.17870322
10	2.250367327	85.51357771	0.9	96.63034281
20	2.970195249	94.38566942	0.95	106.6558064
25	3.198534261	97.20001517	0.96	109.8360171
50	3.901938658	105.8696821	0.98	119.6327408
75	4.310784111	110.908823	0.986666667	125.32697
100	4.600149227	114.4753335	0.99	129.3571269
200	5.295812143	123.0495844	0.995	139.0460304
500	6.213607264	134.3616803	0.998	151.8286987

Anexo 11. Precipitación máxima probable.

Tiempo de duración (h)	Cociente	Precipitación máxima probable (mm) Duraciones según el periodo de retorno					
		2 años	5 años	10 años	20 años	25 años	50 años
24	1	70.39280289	86.17870322	96.63034281	106.6558064	109.836017	119.632741
18	0.91	64.05745063	78.42261993	87.93361196	97.05678386	99.9507756	108.865794
12	0.8	56.31424231	68.94296257	77.30427425	85.32464515	87.8688137	95.7061926
8	0.68	47.86710596	58.60151819	65.70863311	72.52594838	74.6884917	81.3502637
6	0.61	42.93960976	52.56900896	58.94450912	65.06004193	66.9999705	72.9759719
5	0.57	40.12389765	49.12186083	55.0792954	60.79380967	62.6065298	68.1906622
4	0.52	36.6042575	44.81292567	50.24777826	55.46101935	57.1147289	62.2090252
3	0.46	32.38068933	39.64220348	44.44995769	49.06167096	50.5245679	55.0310607
2	0.39	27.45319313	33.60969425	37.6858337	41.59576451	42.8360467	46.6567689
1	0.3	21.11784087	25.85361097	28.98910284	31.99674193	32.9508051	35.8898222
<b>75 años</b>	<b>100 años</b>	<b>200 años</b>	<b>500 años</b>				
125.32697	129.357127	139.04603	151.828699				
114.047543	117.714985	126.531888	138.164116				
100.261576	103.485702	111.236824	121.462959				
85.2223396	87.9628463	94.5513007	103.243515				
76.4494517	78.9078474	84.8180785	92.6155062				
71.4363729	73.7335623	79.2562373	86.5423583				
65.1700244	67.265706	72.3039358	78.9509233				
57.6504062	59.5042784	63.961174	69.8412014				
48.8775183	50.4492795	54.2279518	59.2131925				
37.598091	38.8071381	41.7138091	45.5486096				

Anexo 12. Regresión potencial

TIEMPO DE RETORNO 2 AÑOS						
X (Duración en HORAS)	Y (INTENSIDAD)	LN X	LN Y	LN X *LN Y	(LN X)^(2)	
24	2.933033454	7.272398393	1.076037196	7.825371174	52.8877784	
18	3.558747257	6.98471632	1.269408589	8.866458887	48.7862621	
12	4.692853526	6.579251212	1.546040825	10.17179097	43.2865465	
8	5.983388245	6.173786104	1.788987004	11.0448231	38.1156349	
6	7.156601627	5.886104031	1.968035235	11.58406013	34.6462207	
5	8.024779529	5.703782475	2.082534196	11.87832205	32.5331345	
4	9.151064375	5.480638923	2.213870198	12.13342318	30.037403	
3	10.79356311	5.192956851	2.378949948	12.35378443	26.9668009	
2	13.72659656	4.787491743	2.619335306	12.54004615	22.9200772	<b>LN A</b> 5.58395398
1	21.11784087	4.094344562	3.050118222	12.48823496	16.7636574	<b>B</b> -0.61638609
<b>4980</b>	<b>87.13846855</b>	<b>58.15547061</b>	<b>19.99331672</b>	<b>110.886315</b>	<b>346.943515</b>	A 266.121767

TIEMPO DE RETORNO 5 AÑOS							
X (Duración en HORAS)	Y (Intensidad)	LN X	LN Y	LN X * LN Y	(LN X)^(2)		
24	3.590779301	7.272398393	1.278369254	9.29681051	52.8877784		
18	4.356812218	6.98471632	1.471740647	10.27969092	48.7862621		
12	5.745246881	6.579251212	1.748372884	11.50298441	43.2865465		
8	7.325189773	6.173786104	1.991319062	12.29397795	38.1156349		
6	8.761501494	5.886104031	2.170367294	12.77500768	34.6462207		
5	9.824372167	5.703782475	2.284866254	13.0323801	32.5331345		
4	11.20323142	5.480638923	2.416202256	13.24233213	30.037403		
3	13.21406783	5.192956851	2.581282007	13.40448608	26.9668009		
2	16.80484713	4.787491743	2.821667364	13.50870921	22.9200772	<b>LN A</b>	<b>5.786286</b>
1	25.85361097	4.094344562	3.25245028	13.31665212	16.7636574	<b>B</b>	<b>-0.616386</b>
<b>4980</b>	<b>106.6796592</b>	<b>58.15547061</b>	<b>22.0166373</b>	<b>122.6530311</b>	<b>346.943515</b>	<b>A</b>	<b>325.8008</b>

TIEMPO DE RETORNO 10 AÑOS						
X (Duración en HORAS)	Y (Intensidad)	LN X	LN Y	LN X * LN Y	(LN X)^(2)	
24	4.026264284	7.272398393	1.392838969	10.12927988	52.8877784	
18	4.885200664	6.98471632	1.586210362	11.0792294	48.7862621	
12	6.442022854	6.579251212	1.862842599	12.25610942	43.2865465	
8	8.213579139	6.173786104	2.105788777	13.00068949	38.1156349	
6	9.824084853	5.886104031	2.284837009	13.44878833	34.6462207	
5	11.01585908	5.703782475	2.399335969	13.68529045	32.5331345	
4	12.56194457	5.480638923	2.530671971	13.86969931	30.037403	
3	14.81665256	5.192956851	2.695751722	13.99892237	26.9668009	
2	18.84291685	4.787491743	2.936137079	14.05673202	22.9200772	<b>LN A</b>
1	28.98910284	4.094344562	3.366919995	13.78533057	16.7636574	<b>B</b>
<b>83</b>	<b>119.6176277</b>	<b>58.15547061</b>	<b>23.16133445</b>	<b>129.3100713</b>	<b>346.943515</b>	<b>A</b>
						<b>5.900756</b>
						<b>-0.616386</b>
						<b>365.3134</b>

TIEMPO DE RETORNO 20 AÑOS						
X (Duración en HORAS)	Y (Intensidad)	LN X	LN Y	LN X * LN Y	(LN X)^(2)	
24	4.443991935	7.272398393	1.491553057	10.84716805	52.8877784	
18	5.392043548	6.98471632	1.68492445	11.7687193	48.7862621	
12	7.110387096	6.579251212	1.961556686	12.90557421	43.2865465	
8	9.065743547	6.173786104	2.204502865	13.61012915	38.1156349	
6	10.84334032	5.886104031	2.383551096	14.02982972	34.6462207	
5	12.15876193	5.703782475	2.498050057	14.24833413	32.5331345	
4	13.86525484	5.480638923	2.629386059	14.41071558	30.037403	
3	16.35389032	5.192956851	2.794465809	14.51154037	26.9668009	
2	20.79788226	4.787491743	3.034851167	14.5293249	22.9200772	<b>LN A</b>
1	31.99674193	4.094344562	3.465634083	14.18950006	16.7636574	<b>B</b>
<b>83</b>	<b>132.0280377</b>	<b>58.15547061</b>	<b>24.14847533</b>	<b>135.0508355</b>	<b>346.943515</b>	<b>A</b>
						<b>5.99947</b>
						<b>-0.616386</b>
						<b>403.215</b>

TIEMPO DE RETORNO 25 AÑOS						
X (Duración en HORAS)	Y (Intensidad)	LN X	LN Y	LN X * LN Y	(LN X)^(2)	
24	4.576500714	7.272398393	1.52093467	11.06084285	52.8877784	
18	5.552820867	6.98471632	1.714306063	11.97394154	48.7862621	
12	7.322401143	6.579251212	1.990938299	13.09888322	43.2865465	
8	9.336061458	6.173786104	2.233884478	13.79152495	38.1156349	
6	11.16666174	5.886104031	2.412932709	14.20277295	34.6462207	
5	12.52130595	5.703782475	2.52743167	14.41592046	32.5331345	
4	14.27868223	5.480638923	2.658767672	14.57174559	30.037403	
3	16.84152263	5.192956851	2.823847422	14.66411782	26.9668009	
2	21.41802334	4.787491743	3.06423278	14.66998913	22.9200772	<b>LN A</b>
1	32.95080514	4.094344562	3.495015696	14.30979851	16.7636574	<b>B</b>
<b>83</b>	<b>135.9647852</b>	<b>58.15547061</b>	<b>24.44229146</b>	<b>136.759537</b>	<b>346.943515</b>	<b>A</b>
						<b>6.028851</b>
						<b>-0.616386</b>
						<b>415.2378</b>

TIEMPO DE RETORNO 50 AÑOS							
X (Duración en HORAS)	Y (Intensidad)	LN X	LN Y	LN X * LN Y	(LN X)^(2)		
24	4.984697531	7.272398393	1.606372726	11.68218243	52.8877784		
18	6.048099671	6.98471632	1.799744119	12.57070212	48.7862621		
12	7.97551605	6.579251212	2.076376355	13.66100165	43.2865465		
8	10.16878296	6.173786104	2.319322534	14.31900123	38.1156349		
6	12.16266198	5.886104031	2.498370765	14.70567023	34.6462207		
5	13.63813245	5.703782475	2.612869726	14.90324055	32.5331345		
4	15.5522563	5.480638923	2.744205728	15.04000072	30.037403		
3	18.34368692	5.192956851	2.909285478	15.10779395	26.9668009		
2	23.32838445	4.787491743	3.149670836	15.07902312	22.9200772	<b>LN A</b>	<b>6.11429</b>
1	35.88982223	4.094344562	3.580453752	14.65961135	16.7636574	<b>B</b>	<b>-0.616386</b>
<b>83</b>	<b>148.0920405</b>	<b>58.15547061</b>	<b>25.29667202</b>	<b>141.7282274</b>	<b>346.943515</b>	<b>A</b>	<b>452.2746</b>

TIEMPO DE RETORNO 75 AÑOS							
X (Duración en HORAS)	Y (Intensidad)	LN X	LN Y	LN X * LN Y	(LN X)^(2)		
24	5.221957084	7.272398393	1.652872252	12.02034551	52.8877784		
18	6.335974595	6.98471632	1.846243645	12.89548812	48.7862621		
12	8.355131334	6.579251212	2.122875881	13.96693371	43.2865465		
8	10.65279245	6.173786104	2.36582206	14.60607936	38.1156349		
6	12.74157529	5.886104031	2.544870291	14.97937128	34.6462207		
5	14.28727458	5.703782475	2.659369252	15.16846373	32.5331345		
4	16.2925061	5.480638923	2.790705254	15.29484784	30.037403		
3	19.21680207	5.192956851	2.955785004	15.34926399	26.9668009		
2	24.43875915	4.787491743	3.196170362	15.30163922	22.9200772	<b>LN A</b>	<b>6.160789</b>
1	37.59809101	4.094344562	3.626953278	14.84999643	16.7636574	<b>B</b>	<b>-0.616386</b>
<b>83</b>	<b>155.1408637</b>	<b>58.15547061</b>	<b>25.76166728</b>	<b>144.4324292</b>	<b>346.943515</b>	<b>A</b>	<b>473.8018</b>

TIEMPO DE RETORNO 100 AÑOS							
X (Duración en HORAS)	Y (Intensidad)	LN X	LN Y	LN X * LN Y	(LN X)^(2)		
24	5.389880287	7.272398393	1.684523174	12.25052363	52.8877784		
18	6.539721415	6.98471632	1.877894567	13.11656083	48.7862621		
12	8.623808459	6.579251212	2.154526804	14.17517308	43.2865465		
8	10.99535579	6.173786104	2.397472982	14.80148538	38.1156349		
6	13.1513079	5.886104031	2.576521214	15.1656719	34.6462207		
5	14.74671247	5.703782475	2.691020174	15.34899371	32.5331345		
4	16.8164265	5.480638923	2.822356176	15.46831512	30.037403		
3	19.83475946	5.192956851	2.987435927	15.51362586	26.9668009		
2	25.22463974	4.787491743	3.227821284	15.45316775	22.9200772	<b>LN A</b>	<b>6.19244</b>
1	38.80713807	4.094344562	3.658604201	14.97958621	16.7636574	<b>B</b>	<b>-0.616386</b>
<b>83</b>	<b>160.1297501</b>	<b>58.15547061</b>	<b>26.0781765</b>	<b>146.2731035</b>	<b>346.943515</b>	<b>A</b>	<b>489.0379</b>

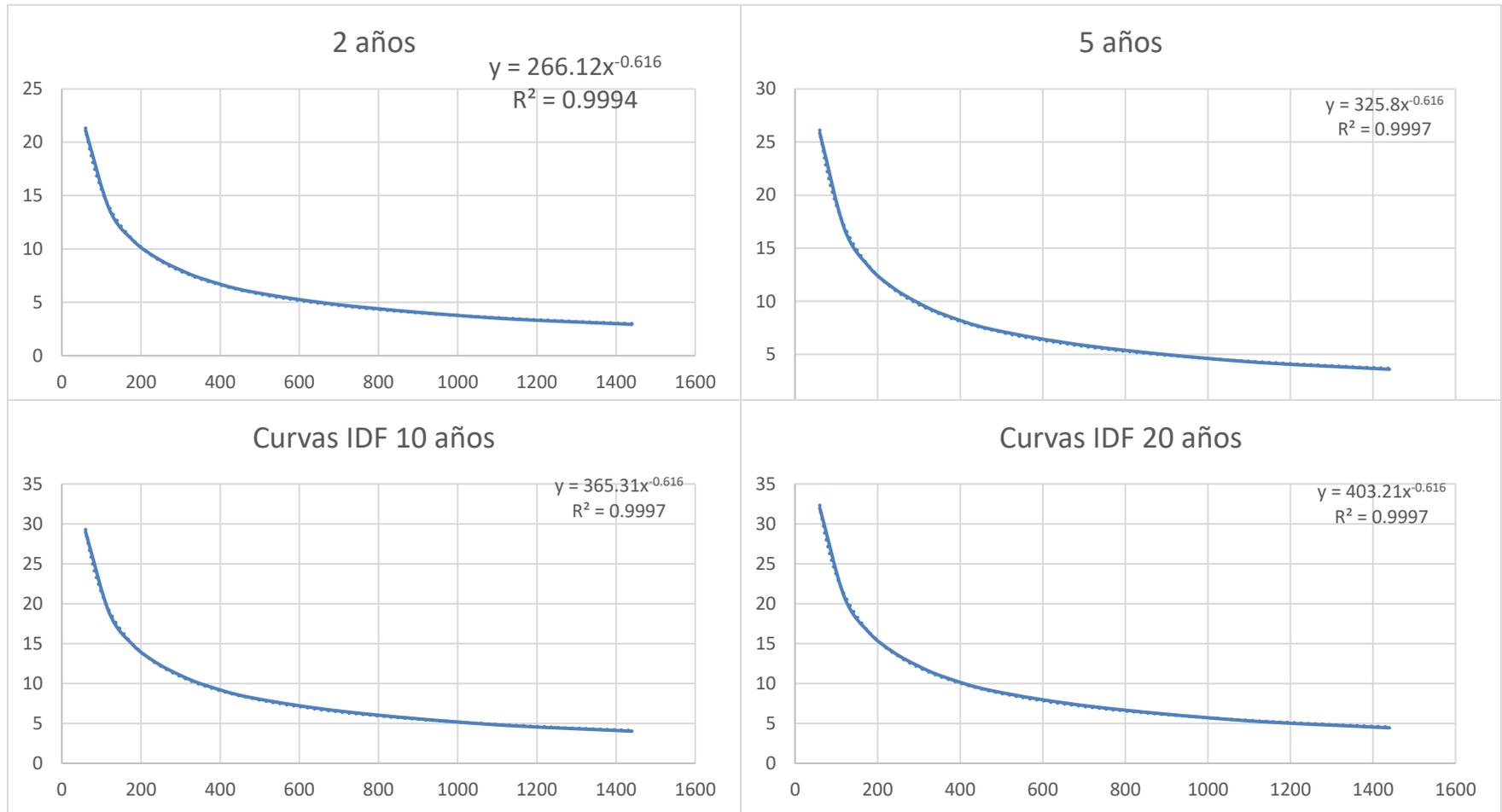
TIEMPO DE RETORNO 200 AÑOS							
X (Duración en HORAS)	Y (Intensidad)	LN X	LN Y	LN X * LN Y	(LN X)^(2)		
24	5.793584599	7.272398393	1.756751202	12.77579462	52.8877784		
18	7.029549313	6.98471632	1.950122595	13.62105311	48.7862621		
12	9.269735358	6.579251212	2.226754831	14.65037942	43.2865465		
8	11.81891258	6.173786104	2.46970101	15.24740577	38.1156349		
6	14.13634642	5.886104031	2.648749241	15.59081359	34.6462207		
5	15.85124746	5.703782475	2.763248201	15.76096666	32.5331345		
4	18.07598395	5.480638923	2.894584204	15.86417085	30.037403		
3	21.32039132	5.192956851	3.059663954	15.88870289	26.9668009		
2	27.11397592	4.787491743	3.300049312	15.79895883	22.9200772	<b>LN A</b>	<b>6.264668</b>
1	41.71380911	4.094344562	3.730832228	15.27531264	16.7636574	<b>B</b>	<b>-0.616386</b>
<b>83</b>	<b>172.123536</b>	<b>58.15547061</b>	<b>26.80045678</b>	<b>150.4735584</b>	<b>346.943515</b>	<b>A</b>	<b>525.667</b>

Anexo 13. Tabla

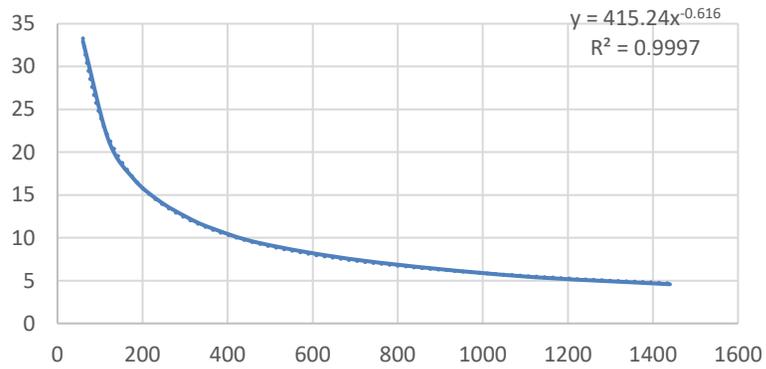
regresión potencial

TIEMPO DE RETORNO 500 AÑOS							
X (Duración en HORAS)	Y (Intensidad)	LN X	LN Y	LN X * LN Y	(LN X)^(2)		
24	6.326195781	7.272398393	1.844699073	13.41538657	52.8877784		
18	7.675784214	6.98471632	2.038070466	14.23534405	48.7862621		
12	10.12191325	6.579251212	2.314702702	15.22901056	43.2865465		
8	12.90543939	6.173786104	2.557648881	15.79037712	38.1156349		
6	15.43591771	5.886104031	2.736697112	16.10848391	34.6462207		
5	17.30847166	5.703782475	2.851196073	16.26260219	32.5331345		
4	19.73773084	5.480638923	2.982532075	16.34618138	30.037403		
3	23.28040047	5.192956851	3.147611825	16.34541239	26.9668009		
2	29.60659626	4.787491743	3.387997183	16.22000854	22.9200772	<b>LN A</b>	<b>6.352616</b>
1	45.54860962	4.094344562	3.818780099	15.63540153	16.7636574	<b>B</b>	<b>-0.616386</b>
<b>83</b>	<b>187.9470592</b>	<b>58.15547061</b>	<b>27.67993549</b>	<b>155.5882082</b>	<b>346.943515</b>	<b>A</b>	<b>573.9922</b>

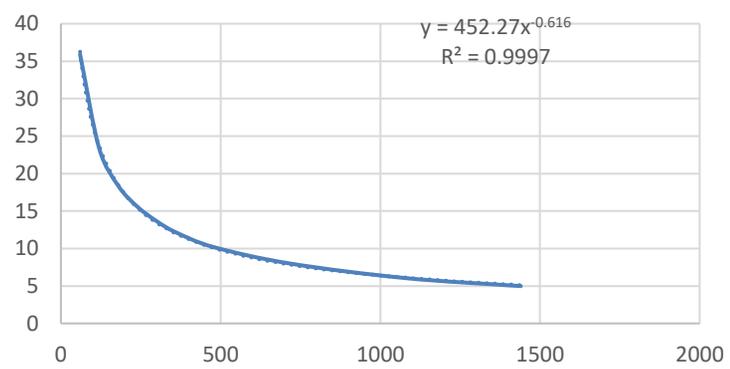
Anexo 14. Regresión potencial gráfica tiempos de retorno.



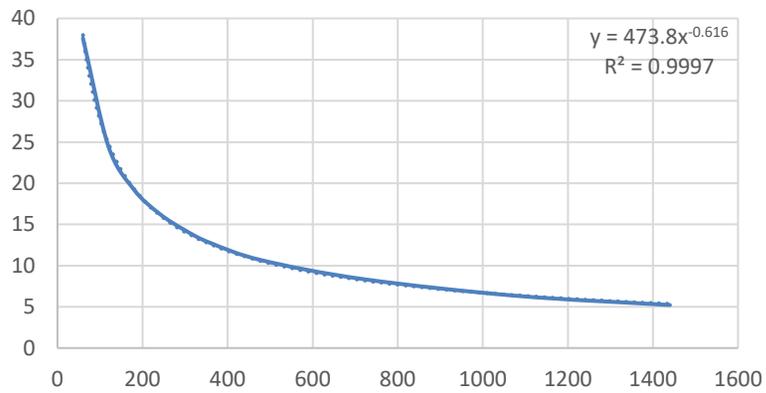
25 años



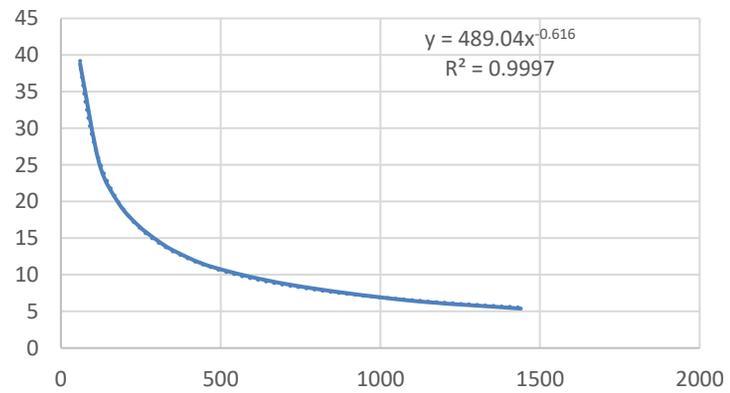
50 años



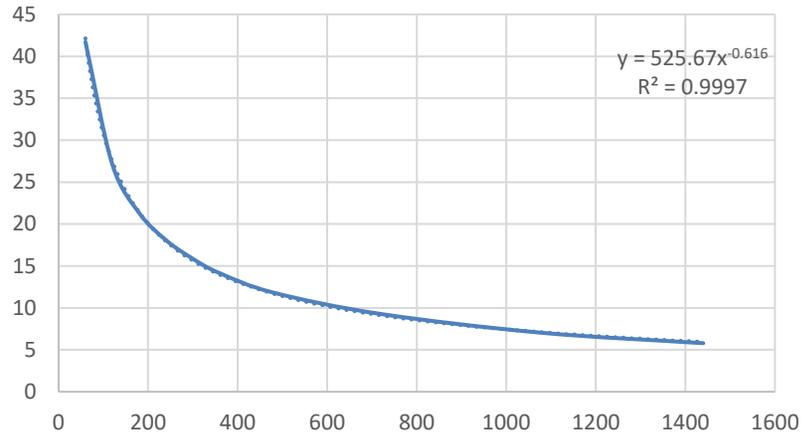
Curvas IDF 75 años



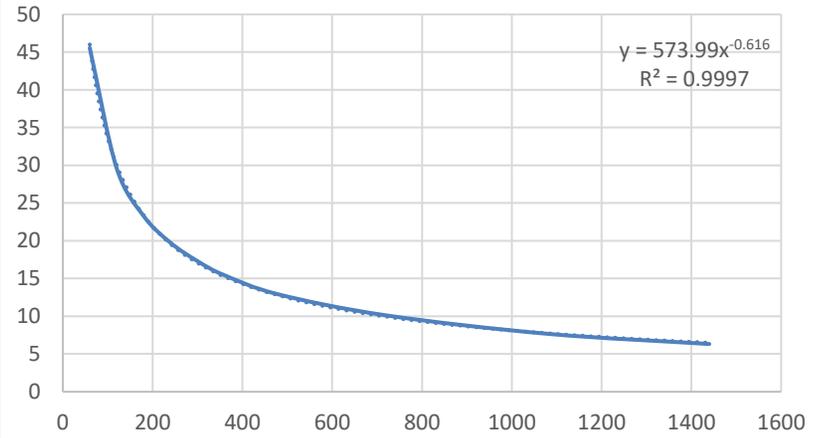
Curvas IDF 100 años



200 años



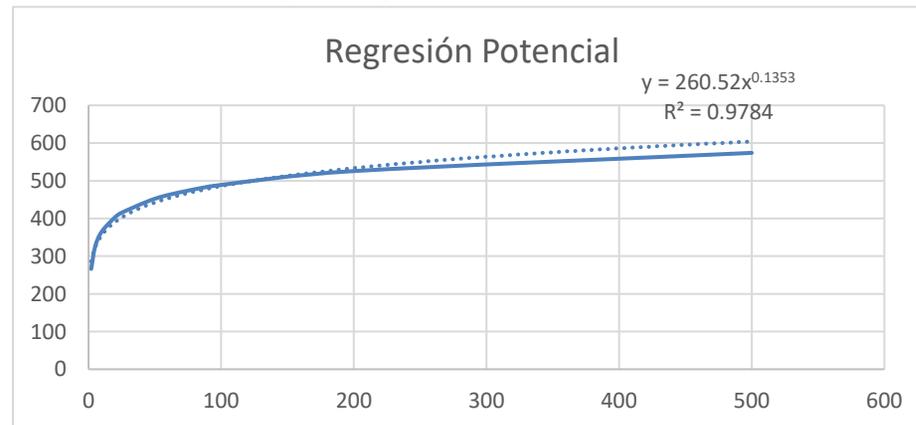
Curvas IDF 500 años



Anexo 15. Regresión potencial

REGRESIÓN POTENCIAL							
N°	X (Tiempo de retorno Tr)	Y (Coeficiente A)	LN X	LN Y	LN X * LN Y	(LN X)^(2)	
1	2	266.1217671	0.693147181	5.583953975	3.870501954	0.48045301	
2	5	325.8007615	1.609437912	5.786286034	9.312668115	2.59029039	
3	10	365.3134487	2.302585093	5.900755749	13.58699222	5.30189811	
4	20	403.2149668	2.995732274	5.999469836	17.97280541	8.97441185	
5	25	415.2378336	3.218875825	6.028851449	19.40612418	10.3611616	
6	50	452.2745944	3.912023005	6.114289505	23.91924121	15.303924	
7	75	473.8017717	4.317488114	6.160789031	26.59913341	18.6407036	
8	100	489.0378815	4.605170186	6.192439954	28.51723985	21.2075924	LN A
9	200	525.6670255	5.298317367	6.264667981	33.19219916	28.0721669	B
10	500	573.9922258	6.214608098	6.352615852	39.47901792	38.6213538	A
<b>10</b>	<b>987</b>	<b>4290.462277</b>	<b>35.16738505</b>	<b>60.38411937</b>	<b>215.8559234</b>	<b>149.55</b>	C
							<b>5.562623</b>
							<b>0.616386</b>
							<b>260.5052</b>
							<b>0.135293</b>

Anexo 16. Gráfica regresión potencial.



Anexo 17. Tablas curvas IDF pr 27 + 800.

Periodo de retorno (frecuencia x)	Duración (min)											
	5	10	15	20	25	30	40	50	60	90	120	240
2	106.0983	69.2082	53.9035	45.145	39.3435	35.1614	29.44802	25.6639	22.936	17.864	14.961	9.7592
5	120.101	78.34223	61.0177	51.103	44.536	39.802	33.33454	29.051	25.963	20.222	16.936	11.047
10	131.9088	86.04449	67.0167	56.127	48.9146	43.7152	36.61185	31.9071	28.516	22.21	18.601	12.133
20	144.8775	144.8775	144.877	144.88	144.877	144.877	144.8775	144.877	144.88	144.88	144.88	144.88
25	149.318	97.40055	75.8615	63.535	55.3703	49.4847	41.44384	36.1182	32.279	25.141	21.056	13.735
50	163.9983	106.9765	83.3198	69.781	60.814	54.3498	45.51842	39.6692	35.453	27.613	23.126	15.085
75	173.246	113.0088	88.0181	73.716	64.2433	57.4145	48.08516	41.9061	37.452	29.17	24.43	15.936
100	180.1219	117.494	91.5115	76.642	66.793	59.6932	49.99359	43.5693	38.938	30.327	25.399	16.568
200	197.8306	129.0455	100.508	84.177	73.3598	65.562	54.90874	47.8528	42.766	33.309	27.897	18.197
500	223.9401	146.0768	113.773	95.286	83.0418	74.2148	62.15554	54.1684	48.411	37.705	31.578	20.599