

**ANALISIS DE PROCESOS DE EROSIÓN LOCAL EN EL MARGEN DEL RÍO  
NEGRO EN UN RADIO DE 2 KM DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE  
SAN BERNARDO.**

**JICELL VIVIANA MORA RUIZ  
DANIEL SAENZ CABALLERO**

**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
2017  
BOGOTA D.C.**

**ANALISIS DE PROCESOS DE EROSIÓN LOCAL EN EL MARGEN DEL RÍO  
NEGRO EN UN RADIO DE 2 KM DEL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE  
SAN BERNARDO.**

**JICELL VIVIANA MORA RUIZ  
DANIEL SAENZ CABALLERO**

**UNIVERSIDAD LA GRAN COLOMBIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**

**2017**

**BOGOTA D.C.**

## **TABLA DE CONTENIDO**

|  |    |
|--|----|
| GENERALIDADES.....                           | 10 |
| INTRODUCCION.....                            | 11 |
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....           | 12 |
| 2. JUSTIFICACION.....                        | 14 |
| 3. OBJETIVOS.....                            | 16 |
| 3.1. OBJETIVO GENERAL.....                   | 16 |
| 3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....              | 16 |
| 4. ANTECEDENTES.....                         | 17 |
| 5. MARCOS REFERENCIALES.....                 | 21 |
| 5.1. MARCO CONCEPTUAL.....                   | 21 |
| 5.1.1. Erosión.....                          | 21 |
| 5.1.3. Cuenca hidrográfica.....              | 21 |
| 5.1.4. Escorrentía.....                      | 22 |
| 5.1.6. Fuerza tractiva.....                  | 23 |
| 5.2. MARCO TEORICO.....                      | 24 |
| 5.2.1 Ecuación de USLE.....                  | 25 |
| 5.2.2. Manejo de ArcGis 10.1 Factor C.....   | 26 |
| 5.2.4 Manejo de ArcGis 10.1 Factor S.....    | 27 |
| 5.2.3 Manejo de ArcGis 10.1 Factor K.....    | 29 |
| 5.2.2 Manejo de ArcGis 10.1 Factor R.....    | 30 |
| 5.2.5 Manejo de ArcGis 10.1 Factor Es.....   | 31 |
| 5.2.6 Manejo de ArcGis ecuación de USLE..... | 32 |
| 5.3. MARCO GEOGRAFICO.....                   | 33 |
| 5.3.1. Marco Demográfico.....                | 33 |
| 5.3.2. Cuencas hídricas San Bernardo.....    | 34 |
| 5.3.3 Sub cuenca Río Negro.....              | 34 |
| 5.3.4 Vías de comunicación San Bernardo..... | 35 |

|  |    |
|--|----|
| 5.4. MARCO LEGAL .....   | 35 |
| 5.5.1. Ensayos de laboratorio.....   | 36 |
| 6. DISEÑO METODOLOGICO.....  | 36 |
| 6.1. ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN .....  | 36 |
| 6.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....  | 37 |
| 6.3 DISEÑO MUESTRAL.....   | 37 |
| 6.3.1 Población.....   | 37 |
| 6.3.2 Muestra y tipo de muestreo.....  | 37 |
| 6.3.3 Variables.....   | 38 |
| 6.3.4 Operacionalización de las variables .....  | 38 |
| 6.4 FASES DE LA INVESTIGACION.....   | 39 |
| 6.5 INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN  | 39 |
| 6.5.1 Datos satelitales .....  | 40 |
| 6.5.2 Datos existentes .....   | 40 |
| 6.5.3 Recolección de datos en campo.....   | 40 |
| 6.5.4 Toma de muestras inalteradas de suelo en superficie.....   | 40 |
| 6.5.5 Conservación y transporte de las muestras de suelos .....  | 40 |
| 6.6 INFORMACION RECOLECTADA .....  | 41 |
| 5.3.3. Eventos ocurridos.....  | 41 |
| 5.3.5. Precipitaciones zonas aledañas al municipio de San Bernardo .....   | 42 |
| 6.7 ENSAYOS DE LABORATORIO NORMA INVIAS .....  | 42 |
| 6.7.1 Determinación del contenido orgánico de un suelo mediante el ensayo de pérdida por ignición .....            | 43 |
| 6.7.2 Determinación en laboratorio del contenido de agua (Humedad) del suelo, roca y mezcla de suelo agregado..... | 43 |
| 6.7.3 Determinación de los tamaños de partículas de los suelos .....   | 43 |
| 6.7.4 Determinación tamaño de partícula por medio de hidrómetro .....  | 44 |
| 6.7.5 Determinación del límite líquido de los suelos .....   | 44 |

|        |   |    |
|--------|---|----|
| 6.7.6  | Determinación de límite plástico e índice de plasticidad de suelos .....  | 45 |
| 6.7.7  | Gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante mineral, empleando un picnómetro de agua ..... | 45 |
| 6.7.8  | Determinación de la resistencia al corte método de corte directo (CD) (Consolidado drenado) .....                         | 45 |
| 6.8.   | <b>CRONOGRAMA</b> .....   | 46 |
| 7.     | <b>ANALISIS DE RESULTADOS</b> .....   | 47 |
| 7.1    | <b>ANALISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN FLUVIAL</b> .....  | 48 |
| 7.1.1  | Análisis de mapas y ubicación de los apiques .....  | 48 |
| 7.1.2  | Reconocimiento directo .....  | 48 |
| 7.1.3  | Apiques.....  | 49 |
| 7.1.4  | Toma de muestras inalteradas de suelo en superficie.....  | 49 |
| 7.1.5  | Resultados de laboratorio .....   | 51 |
| 7.1.6  | Caracterización morfológicas del margen del río negro .....   | 55 |
| 7.1.7  | Longitud del río Negro.....   | 55 |
| 7.1.8  | Sección transversal del río Negro.....  | 56 |
| 7.1.9  | Densidad del agua .....   | 58 |
| 7.1.10 | Pendiente del río Negro .....   | 59 |
| 7.1.11 | Etapas de la corriente de agua.....   | 60 |
| 7.1.12 | Determinación de la fuerza tractiva.....  | 61 |
| 7.1.13 | Determinación de la resistencia a la fuerza tractiva .....  | 64 |
| 7.1.14 | Análisis de la erosión por fuerza tractiva .....  | 66 |
| 7.2    | <b>ANALISIS DE SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN HIDRICA DE USLE</b> 68  |    |
| 7.4.1  | Factor K.....   | 68 |
| 7.4.2  | Factor R .....  | 69 |
| 7.4.3  | Factor L/S.....   | 71 |
| 7.4.4  | Factor V .....  | 72 |
| 7.4.5  | Factor Es .....   | 73 |
| 7.4.6  | Análisis Ecuación de USLE .....   | 74 |

|                        |    |
|------------------------|----|
| 8. CONCLUSIONES .....  | 77 |
| 10. BIBLIOGRAFIA ..... | 79 |

## TABLA DE ILUSTRACIONES

|  |    |
|--|----|
| Ilustración 1, Erosión Puente San Bernardo .....                     | 21 |
| Ilustración 2, Cuenca hidrográfica, Río Negro San Bernardo .....     | 22 |
| Ilustración 3, Escorrentía, Quebrada aguas claras San Bernardo ..... | 23 |
| Ilustración 4, Fuerza tractiva.....                                  | 24 |
| Ilustración 5, Manejo de ArcGis 10.1 Factor V .....                  | 26 |
| Ilustración 6, Susceptibilidad a la erosión factor V.....            | 27 |
| Ilustración 7, Manejo de ArcGIS 10.1 Factor S .....                  | 27 |
| Ilustración 8, Susceptibilidad a la erosión Factor S .....           | 28 |
| Ilustración 9, Geología Icononzo.....                                | 29 |
| Ilustración 10, Susceptibilidad a la erosión Factor K.....           | 30 |
| Ilustración 11, Susceptibilidad a la erosión Factor R.....           | 30 |
| Ilustración 12, Susceptibilidad a la erosión por escorrentia.....    | 31 |
| Ilustración 13, Susceptibilidad a la erosión USLE.....               | 32 |
| Ilustración 14, Mapa, ubicación San Bernardo .....                   | 33 |
| Ilustración 15, Muestras Río Negro – 100cm.....                      | 41 |
| Ilustración 16, Muestra # 9 Río Negro - 100cm.....                   | 41 |
| Ilustración 17, Resumen de datos IDEAM.....                          | 42 |
| Ilustración 18, Muestras 100gr contenido orgánico .....              | 43 |
| Ilustración 19, Mezcla hexametafosfato de sodio y suelo.....         | 44 |
| Ilustración 20, Clasificación de suelos por hidrómetro .....         | 44 |
| Ilustración 21, Procedimiento limite liquido .....                   | 45 |
| Ilustración 22, Preparación de muestras para corte directo .....     | 46 |
| Ilustración 23, Vereda Agua Dulce .....                              | 50 |
| Ilustración 24, Vereda Quecos .....                                  | 50 |
| Ilustración 25, Imagen Satelital longitud del río Negro .....        | 56 |
| Ilustración 26, Ubicación de perfiles transversales .....            | 57 |
| Ilustración 27, Ancho río Negro.....                                 | 57 |
| Ilustración 28, Ancho río Negro.....                                 | 57 |
| Ilustración 29, Perfil 1 sección transversal .....                   | 58 |
| Ilustración 30, Perfil 2 sección transversal .....                   | 58 |
| Ilustración 31, Densidad del agua.....                               | 59 |
| Ilustración 32, Pendiente río Negro .....                            | 59 |
| Ilustración 33, Pendiente Secciones río Negro.....                   | 60 |
| Ilustración 34, Pendiente río Negro .....                            | 60 |
| Ilustración 35, Formato encuesta.....                                | 61 |
| Ilustración 36, Respuestas encuestas .....                           | 62 |

|  |    |
|--|----|
| Ilustración 37, Radio hidráulico perfil 1 .....                                | 63 |
| Ilustración 38, Radio hidráulico perfil 2 .....                                | 63 |
| Ilustración 39, Calculo fuerza tractiva .....                                  | 64 |
| Ilustración 40, Resistencia a la fuerza tractiva.....                          | 64 |
| Ilustración 41, Resistencia a la fuerza tractiva.....                          | 65 |
| Ilustración 42, Fuerza tractiva .....  | 66 |
| Ilustración 43, Susceptibilidad a la erosión análisis de fuerza tractiva ..... | 67 |
| Ilustración 44, Susceptibilidad a la fuerza tractiva .....                     | 67 |
| Ilustración 45, Factor K.....  | 68 |
| Ilustración 46, Mapa factor geológico.....                                     | 69 |
| Ilustración 47, Mapa factor precipitación .....                                | 71 |
| Ilustración 48, Mapa factor pendiente .....                                    | 72 |
| Ilustración 49, Mapa factor cobertura vegetal.....                             | 73 |
| Ilustración 50, Mapa factor escorrentía.....                                   | 74 |
| Ilustración 51, Susceptibilidad a la erosión USLE .....                        | 75 |



## LISTADO DE TABLAS

|  |                                      |
|--|--------------------------------------|
| Tabla 10, Norma ensayos de laboratorio                             | 36                                   |
| Tabla 11, Operacionalización de las variables                      | 39                                   |
| Tabla 12, Fases de la investigación                                | 39                                   |
| Tabla 8, Incidencias   | 41                                   |
| Tabla 9, Estaciones pluviométricas                                 | 42                                   |
| Tabla 14, Presupuesto anteproyecto                                 | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| Tabla 15, Presupuesto toma de muestras                             | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| Tabla 16, Presupuesto total  | <b>¡Error! Marcador no definido.</b> |
| Tabla 17, Cronograma   | 47                                   |
| Tabla 18, Coordenadas de los apiques                               | 49                                   |
| Tabla 19, Toma de muestras   | 51                                   |
| Tabla 20, Contenido de materia orgánica                            | 52                                   |
| Tabla 21, Resultados de laboratorio caracterización por tamizado   | 53                                   |
| Tabla 22, Resultados de laboratorio caracterización por hidrómetro | 54                                   |
| Tabla 23, Resultados Corte Directo                                 | 55                                   |
| Tabla 26, Calculo del Factor R                                     | 70                                   |

## **GENERALIDADES**

### **Título del proyecto**

Análisis de procesos de erosión local en el margen del río negro en el casco urbano de San Bernardo.

### **Línea de investigación**

La línea de investigación apropiada para el proyecto, es Geotecnia.

### **Sub línea de investigación**

La sub línea que mejor se acopla al trabajo, es riesgos geotécnicos.

## INTRODUCCION

El estudio realizado en el presente trabajo buscó definir la susceptibilidad a la erosión en el margen del río Negro en el casco urbano del municipio de San Bernardo por medio de la ecuación de USLE, analizando los diferentes factores de susceptibilidad a la erosión, incidencias en la zona para formular la ecuación, la cual se utilizó en el programa ArcGis, generando un mapa final que analizó todos los factores de la erosión, con esto se aportó un documento base para futuros estudios y proyectos realizados en el municipio.

La realización del trabajo de grado dio comienzo con la búsqueda de información en fuentes confiables como IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, CAR Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, IGAC Instituto Geográfico Agustín Codazzi, Servicio Geológico Colombiano y departamento de planeación en el municipio de San Bernardo Cundinamarca, posteriormente se establecieron las geoformas para la zonificación y ubicación de los apiques en el margen del río Negro en el municipio de San Bernardo, se realizaron 12 apiques en los cuales se colectaron 20 muestras, seguidos por ensayos de laboratorio pertinentes en las instalaciones de la Universidad La Gran Colombia bajo las normas INVIAS en donde se buscó definir las características de los materiales obtenidos para calcular el factor k y la resistencia a la fuerza tractiva.

Para el cálculo de la fuerza tractiva se obtuvieron datos del documento “delimitación de la cuenca sumapaz y subcuenca río Negro”, aforos y mediciones en campo del río Negro.

Se elaboraron mapas de susceptibilidad a la erosión de los factores pendientes, escorrentía, geología, cobertura vegetal, pluviosidad generados mediante la herramienta ArcGis, la información obtenida de diferentes entidades estatales, base de datos en el sistema ArcGis, apiques realizados en el margen del río Negro en el casco urbano de San Bernardo. Como resultado final, se obtienen cinco mapas de factores de susceptibilidad a la erosión y un mapa de susceptibilidad a la erosión final, en donde se multiplican los factores correspondientes y la ecuación analizada en el documento.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El crecimiento poblacional del departamento de Cundinamarca ha aumentado considerablemente en los últimos años y el municipio de San Bernardo no ha sido la excepción. San Bernardo comienza a expandirse hacia el norte, sobre la vía que lo comunica con Arbeláez, este crecimiento conlleva a que el municipio se amplíe cerca del margen del río Negro, donde las crecientes del mismo generan fenómenos erosivos que ponen en riesgo a los nuevos asentamientos urbanos.

Por otra parte, en la vía que comunica a San Bernardo con Arbeláez existe un puente que se ha visto afectado por procesos erosivos en el pasado, éste la única vía de acceso que comunica al municipio con el resto de Cundinamarca por vía terrestre, si llegase a colapsar, afectaría a la población para el desarrollo de su economía, ya que San Bernardo es un municipio agrícola y uno de los principales proveedores de Corabastos con la comercialización de frutas y verduras.

San Bernardo con el paso de los años ha dado comienzo a nuevos asentamientos los cuales son construidos sin la realización estudios de suelos, en muchas ocasiones en pendientes del más 40% y sobre fallas geológicas situación a menos de 100m del margen del río Negro, por otra parte, se han realizado siembra de cultivos en los predios ubicados al margen del río Negro, cambiando las características de la cobertura vegetal en el casco urbano del municipio, también se registran fuertes lluvias en los últimos 10 años las cuales son un factor indispensable en el cálculo de los factores de erosión, además, el territorio que comprende el municipio de San Bernardo cuenta con una topografía caracterizada por fuertes pendientes siendo este un factor importante para la escorrentía.

Las incidencias en eventos que afectan la estabilidad de los terrenos aledaños al municipio de San Bernardo registradas en los últimos 10 años son de alrededor de 154, entre las cuales se encuentran incendios, incendios forestales, inundaciones, deslizamientos, sismos, vendavales, lluvias, avenidas torrenciales entre otros.

Algunos de los factores que se evidencian principalmente es el arrastre de materiales no renovables a lo largo de la margen del río en épocas de crecientes, como arena, piedras y gravas, por otra parte, la erosión se da cuando se extraen partículas del suelo, para generar erosión es necesaria una fuerza activa que debe ser mayor a la resistencia del suelo a la fuerza tractiva. Para este caso, no se tuvo en cuenta la erosión causada por el viento, ya que San Bernardo está ubicado en una zona montañosa con velocidades bajas de corrientes de aire que no son consideradas un factor representativo en la erosión.

Por lo anterior, la pregunta problema en la investigación fue: ¿Cómo es la susceptibilidad del suelo ante la erosión en el margen del río Negro a su paso por el casco urbano del municipio de San Bernardo?

## 2. JUSTIFICACION

Este proyecto se realizó con el fin de investigar la susceptibilidad del suelo a la erosión que se encuentra en la ribera del río Negro, identificando las zonas propensas a la pérdida y arrastre de material de las orillas ante la acción dinámica de la corriente. El estudio de erosión es importante para el municipio de San Bernardo porque corren peligro 9.932 habitantes, debido a que se pueden generar problemas de inestabilidad y pérdida de suelo.

La sub cuenca del río Negro, presenta cierta homogeneidad en sus sistemas de producción, pudiendo afirmarse que la base de su economía es la producción agropecuaria, con énfasis en los frutales tanto de clima medio, como en los de frío moderado.

A 400 metros de distancia del puente de la trampa está ubicado el Colegio Técnico Departamental de San Bernardo, con aproximadamente 300 estudiantes de los cuales el 20% deben transitar a diario por el puente, en rutas escolares, por otra parte, este colegio se encuentra ubicado a menos de 100 metros del margen del río Negro por lo que los estudiantes y la estructura del mismo se ven implicados frente a los procesos de erosión que se estudiaron en el presente documento.

Lo mencionado anteriormente, evidencia como los habitantes se ven afectados por los procesos de erosión que suceden en el margen del río Negro del municipio de San Bernardo en el cual se encuentra el puente que es principal vía de transporte.

El barrio San Antonio se encuentra ubicado a menos de 60 metros del margen de río Negro, este barrio se ve afectado negativamente por una falla geológica en el que múltiples viviendas se han visto deterioradas al punto de ser deshabitadas. Los procesos de erosión también se ven implicados en la estabilidad de estos terrenos.

Los principales factores que han llevado al estudio de los procesos de erosión en el margen del río Negro en el municipio de San Bernardo son sus fuertes pendientes en el territorio, siendo éste una zona montañosa, la cobertura vegetal se ha reemplazado por cultivos de frutas y verduras dando una menor protección frente a los procesos de erosión que se ven implicados, las fuertes lluvias han aumentado el caudal del río Negro y elevado el factor de escorrentía implicado en los procesos de erosión.

San Bernardo no cuenta con estudios previos que permitan cuantificar los daños que puede causar el río Negro a su paso por el caso urbano, estos estudios son un recurso importante para el plan de ordenamiento territorial que busca minimizar el impacto a futuros asentamientos urbanos sobre cercanías a esta afluente, beneficiando a un sector de la población San Bernardina.

Esta investigación midió el rango de afectación implicado a los efectos de erosión del margen del río Negro, para dar paso a nuevas investigaciones de futuros proyectos realizados en el municipio de San Bernardo, este trabajo de grado es basado en datos previamente obtenidos por documentos de entidades oficiales en Colombia y resultados conseguidos mediante el muestreo en la zona afectada y la realización de diferentes laboratorios con base en la norma INVIAS. Con esto se llevó a cuantificar y cualificar los efectos de la erosión en el margen del río Negro. Esto es la base de la investigación que permitirá a nuevos investigadores realizar adecuaciones a las estructuras y terrenos afectados por la erosión del suelo.

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. OBJETIVO GENERAL**

Analizar la susceptibilidad a la erosión fluvial causados por el río Negro y la susceptibilidad a la erosión hídrica laminar en un radio de 2 km del casco urbano del municipio de San Bernardo.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Identificar las propiedades de los materiales que circulan el margen del río Negro mediante apiques y ensayos de laboratorio.
- Determinar la susceptibilidad a la erosión fluvial de los suelos en diferentes sitios del río Negro mediante la fuerza tractiva y la resistencia a la fuerza tractiva.
- Establecer los procesos de erosión hídrica laminar en el margen del río Negro, elaborando un mapa de susceptibilidad a la erosión del sector estudiado.



#### 4. ANTECEDENTES

Existen diferentes estudios de erosiones en el territorio nacional que permiten analizar el daño producido por las corrientes hídricas, factores climáticos y la estabilidad del suelo.

El ingeniero Julio Triviño habla en su documento “Una alternativa de recuperación del río Magdalena”, acerca de la depresión tectónica que es formada como resultado del levantamiento de las cordilleras central y oriental, la cual se originó hace 560 millones de años por el desarrollo del drenaje de oeste-este. El objetivo de la investigación, fue dar una solución a la erosión del río Magdalena, como consecuencia de las acumulación de sedimentos que formaron cambios morfo métricos y las depresiones del Magdalena a consecuencia del levantamiento y sedimentos que se encontraban en la geo fractura de Plato; para ello, se tomaron factores importantes como el comportamiento estructural, la morfología pre cuaternaria, la sedimentación cuaternaria, la morfología de la llanura de inundación, la geología y la morfología de sub cuencas, la resistencia de las orillas y la dinámica fluvial, lo anterior con el fin de realizar un análisis y por ende una solución a los diferentes problemas ocasionados por ésta. Entre las conclusiones que el ingeniero obtuvo están:

*La resistencia a la erosión es ocasionada por materiales infrayacentes, que corresponden a unidades de sedimentación estatificadas.*

*El río Magdalena tiene mayor capacidad erosiva en los niveles superiores de los taludes del cauce en donde se encuentra el material granular.*

La investigación realizada por el ingeniero Triviño, sirvió de base para realizar el análisis de la erosión en el río Negro en el municipio de San Bernardo, de manera que permita determinar los procesos erosivos, las causas y sus posibles alternativas ante este fenómeno<sup>1</sup>.

El artículo del Ph.D. Juan D. Restrepo, profesor e investigador de la Escuela de Ciencias, de la Universidad EAFIT, “Causas naturales y humanas de la erosión en la cuenca del río Magdalena”, tiene como objetivo principal la investigación de las posibles causas para la erosión y la socavación en el río Magdalena, en el indica que la rapidez de los procesos hidrológicos en la cuenca del río Magdalena, ha fundado deslizamientos e inundaciones, estos son consecuencia de su geología, geomorfología y cambios climáticos relacionados con los fenómenos del Niño y la

---

<sup>1</sup> TRIVIÑO TORRES, Julio A. Una alternativa de recuperación dl río Magdalena sector Barrancabermeja – La Gloria: Conozcamos y entendamos la naturaleza para disfrutar de ella poniéndola al servicio de la humanidad. 1997.

Niña. El fenómeno del Niño y la Niña afectan a todo Colombia, siendo este un factor importante en los procesos de erosión en todos los ríos del país<sup>2</sup>.

Por otra parte, en las zonas activas de erosión es frecuente la acumulación de sedimentos, poniendo en peligro la estabilidad de las estructuras.

*“Al remover la vegetación, los excesos hídricos en las cuencas fluviales no son filtrados y la escorrentía o caudal se presenta de forma errática o en pulsos, ocasionando las inundaciones de carácter extremo aguas abajo y el incremento en los sedimentos transportados desde las zonas activas de erosión”<sup>3</sup>.*

Tomando como referencia otra zona del país, se encuentran antecedentes en el Huila, uno de los departamentos de Colombia más afectado por la erosión. La profesora Imelda Montañez de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales (UDCA), en la entrevista concedida a la revista Dinero, advierte sobre los daños ocasionados por la erosión en el territorio colombiano, indicando que en la actualidad, las principales causas de este fenómeno son las lluvias, el uso inadecuado de la ganadería y la explotación agrícola, lo que ha generado una serie de desastres ambientales y naturales como inundaciones, deforestación y contaminación.

*“El 3% del territorio colombiano sufre de erosión severa, un nivel irreversible que provoca la ‘muerte’ del suelo, lamentó la experta, y detalló que el 17% del total tiene un grado moderado de afectación y el 20% ligero.*

*Los departamentos más perjudicados por la erosión son Cesar, con el 82% de su superficie afectada, seguido por La Guajira (79 %) Magdalena (77%) y Huila (73%).”<sup>4</sup>.*

El uso adecuado del suelo es un factor primordial para la prevención de la erosión, estas son condiciones similares al proyecto aquí presentado.

El municipio de Anorí también hace parte de los terrenos afectados por la erosión como efecto de los factores climáticos como se ve reflejado en el documento “Evaluación de la susceptibilidad a la erosión”, este municipio se ha visto afectado por la minería y la deforestación en los últimos años, este documento tiene como objetivo evaluar la erosión en el territorio mediante la ecuación de ULSE implicando los factores de erosión climáticos como lluvias, escorrentía, geología, pendientes,

---

<sup>2</sup> RESTREPO, Juan D. Causas naturales y humanas de la erosión en la cuenca del río Magdalena. Abril, 2015.

<sup>3</sup> *Ibíd.*, p. 4.

<sup>4</sup> MONTAÑEZ, Imelda. Informe Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. Citado por REVISTA DINERO. El suelo productivo de Colombia sufre de “cáncer” por cuenta de la erosión. [En línea] En: Rev. Dinero. Julio, 2015. Disponible en <http://www.dinero.com/economia/articulo/niveles-erosion-colombia-alcanzan-40-extienden-nuevas-regiones/211722>.

cobertura vegetal y la minería, generando mapas de cada uno de los factores y como resultado un mapa de susceptibilidad a la erosión con base en la ecuación.

En Anorí la explotación minera ha llevado a un aumento en la susceptibilidad a la erosión como resultado de las prácticas a cielo libre y la remoción de la cobertura vegetal<sup>5</sup>.

El artículo “Estudio sobre erosión de suelo. Estados Unidos de Norte América” establecen los parámetros de erosión ocasionados por la cobertura vegetal y las fuertes lluvias en el territorio de Estados Unidos, este documento tiene como objetivo analizar los procesos de erosión que se dan en los ríos debido a la sedimentación del fondo, entre los factores analizados se encuentra las lluvias, el viento, los cultivos y la composiciones de los suelos en la zona. La pérdida y arrastre de material ocasionado por los procesos de erosión pueden llegar a ser desastrosos van desde la pérdida de suelos fértiles hasta inundaciones.

El documento evalúa los efectos de la erosión principalmente en los cultivos que se dan en el Estado de Illinois en donde la siembra de trigo, maíz, algodón y avena se ven afectados, por otra parte, la erosión laminar ha causado en los Estados Unidos la pérdida del terreno superficial de 51000000 hectáreas<sup>6</sup>.

Los procesos de erosión son comunes en suelos residuales poco cementados o en suelos aluviales que son compuestos por limos y arenas finas, su riesgo aumenta cuando la cobertura vegetal es extraída, este es uno de los diagnósticos que da el artículo “ Caracterización geotécnica en movimientos de la pendiente” este documento evalúa los riesgos de la erosión en los Estados Unidos y como objetivo buscar los efectos de la erosión en los deslizamientos y fallas geológicas, para esto se establecieron factores como el lavado superficial o erosión que es la pérdida y arrastre de material por acción del agua en fuentes hídricas, la erosión laminar que son los procesos de erosión por impacto de las gotas de lluvias sobre la superficie, la erosión en surcos que es la acción del agua por escorrentía entre otras.

Entre los efectos de la erosión se encuentran el cambio de la topografía que inducen esfuerzos en los taludes, aumento de la humedad, presión poros afectando la resistencia de los suelos y aumento en el riesgo de deslizamientos en roca fracturada por erosión permanente.<sup>7</sup>.

---

<sup>5</sup> CEBALLOS ESPINOSA, Darley. Evaluación de la susceptibilidad a la erosión. Marzo. 2011.

<sup>6</sup> CASANUEVA, Ruperto. Estudio sobre erosión del suelo. Estados Unidos de Norte América. Octubre. 2000

<sup>7</sup> LEROUEIL., Locat J. , Vaunat J., Picarelli L., Lee H, Faure R. (1996) “Geotechnical characterization of slope movements”. Proceedings of the Seventh International Symposium on landslides, Trondheim, pp 53-74



## 5. MARCOS REFERENCIALES

### 5.1. MARCO CONCEPTUAL

#### 5.1.1. Erosión

Ilustración 1, Erosión Puesto San Bernardo



Fuente: Propia.

La erosión es el desprendimiento de partículas de la estructura o el suelo; para generar erosión es necesaria una fuerza activa que debe ser mayor a la fuerza de cohesión de la estructura, comprende el desprendimiento, transporte y posterior depósito de materiales de suelo o roca por acción de la fuerza de un fluido en movimiento. La erosión se da por contacto con los fluidos el agua como por el viento, otras de las causas de la erosión es la deforestación ya que debilita el suelo, para el estudio de la erosión es necesaria información de la zona, y en presencia de ríos también se deben tener datos como precipitaciones, caudales, velocidades y tamaños promedios de sólidos suspendidos en el agua<sup>8</sup>.

#### 5.1.3. Cuenca hidrográfica

---

<sup>8</sup> ROCHA FELICES, Arturo. Erosión en pilares y estribos de puentes. [En línea]. Lima: IV Congreso internacional de la construcción – ICG. Segunda edición. 2008. 30p. Disponible en <http://www.lamolina.edu.pe/postgrado/doctorh/2012/Erosi%C3%B3n.pdf>

Ilustración 2, Cuenca hidrográfica, Río Negro San Bernardo



Fuente: Propia.

Es un drenaje natural, resultado de la precipitación que produce un flujo superficial y subterráneo hacia una gran cantidad de corrientes que desembocan unas con otras, las cuales al unirse van formando quebradas y ríos, también son provenientes de montañas o el deshielo. El área total que drena hacia el río principal y sus corrientes se denomina cuenca de drenaje, los límites de la cuenca de aguas se definen naturalmente mediante la topografía de la zona, existen también las cuencas de curso sucesivo a las fuentes hídricas que nacen en un país y cruzan uno o más territorios en su extensión. Las fuentes hídricas son las principales causantes de daños en estructuras, sus caudales y velocidades son importantes en cálculos de obras civiles, como presas y puentes, por otra parte, las fuentes hídricas son fuente primordial de agua potable que abastece las zonas alejadas, el buen manejo de estas aguas aseguran agua potable, disminución de enfermedades, aseo y mantenimiento de cultivos, por esto, la importancia de su conservación<sup>9</sup>.

#### **5.1.4. Escorrentía**

---

<sup>9</sup> UNIVERSIDAD DEL CAUCA., Socavación en puentes, conceptos básicos sobre la socavación. Parte IV. Cauca: Universidad del cauca.

Ilustración 3, Escorrentía, Quebrada aguas claras San Bernardo



Fuente: Propia.

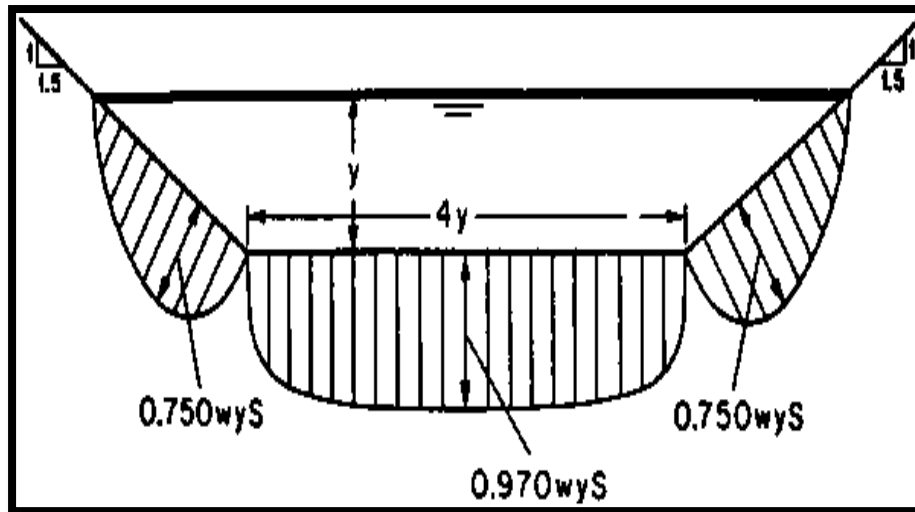
Es la proporción de lluvia que fluye sobre la superficie del terreno, es una lámina de agua que circula usualmente a pocos centímetros de altura. El camino y el tiempo que toma el agua desde que cae en forma de lluvia hasta que alcanza una cañada o río depende de las características físicas de la cuenca, particularmente de las pendientes del terreno, textura del suelo y vegetación. Las escorrentías son causantes de variedad de daños en el terreno como remociones en masa, erosión y socavación, por esto, es necesario el tratamiento de estas aguas superficiales, para esto se diseñan diferentes tipos de alcantarillados para aguas lluvias, otra de las consecuencias del mal manejo de estas aguas son las inundaciones<sup>10</sup>.

#### 5.1.6. Fuerza tractiva

---

<sup>10</sup> Ibíd. P.31

Ilustración 4, Fuerza tractiva



Fuente: Guía teórica y práctica sobre hidráulica de canales

Es la fuerza de corte o arrastre que ejerce el flujo sobre las partículas del cauce en un determinado punto, la mayoría de ocasiones en el fondo de la estructura, esta fuerza esta principalmente en función de las variables flujo y permite determinar las propiedades del suelo. El agua en el lecho del río tiene una zona de influencia como se muestra en la figura, esta es la fuerza tractiva que puede ocasionar el desprendimiento de partículas del suelo, los factores que influyen en el aumento de la fuerza tractiva con los componentes del suelo, el caudal y la velocidad del flujo en el río<sup>11</sup>.

## 5.2. MARCO TEORICO

El análisis de erosión de suelo usando Arc – Gis se realizó con base en la ecuación universal de pérdida de suelo USLE y el cálculo de cada uno de los factores de erosión que influyen en la ecuación.

<sup>11</sup> REYES VENTURA., Miguel. Guía teórica y práctica sobre hidráulica de canales. Trabajo de grado Profesional en Ingeniería Civil. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de ingeniería. Departamento de ingeniería, 1997. Pág. 138.



### 5.2.1 Ecuación de USLE

Este método se ha planteado como una forma de evaluar el potencial de erosión de un área determinada. De estos modelos empíricos el más conocido es la Ecuación Universal de Pérdidas de suelo desarrollada por Smith y Wischmeier.

$$A = K + R + Es + S + C$$

A: Es la pérdida de suelo por unidad de superficie, que se obtiene por el producto del resto de los factores (Ton/hectárea).

R: Es el factor de lluvia en forma de un índice (EI30), una medida de fuerza erosiva de la lluvia, expresado en toneladas metro por hectárea hora.

K: Es el factor de erodabilidad del suelo, es erosión estándar en tonelada por hectárea por unidad de erosividad.

Es: Es el factor de susceptibilidad a la erosión por escorrentía.

S: Es el factor pendiente es la relación entre las pérdidas para una pendiente determinada y las pérdidas para una pendiente del 9% del mismo tipo de suelo (adimensional).

C: Es el factor combinado de vegetación y manejo, expresa relación de pérdida de suelo de un área con cobertura (adimensional).

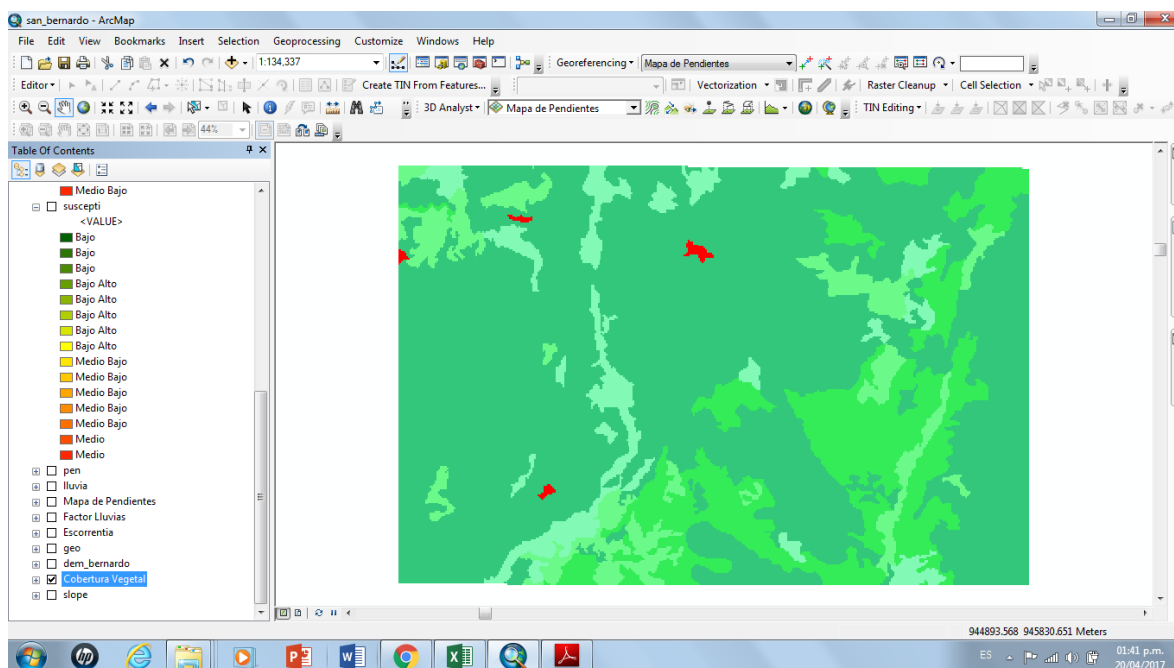
P: Es el factor prácticas de conservación del suelo, la relación entre las pérdidas de suelo con cultivo a nivel, en fajas y en terrazas, y las pérdidas de suelo correspondientes a un cultivo en surcos según la pendiente (adimensional)<sup>12</sup>.

---

<sup>12</sup> SUAREZ, Jaime. Control de erosión en zonas tropicales. Ecuación universal de la erosión. Primera edición. 20 Bucaramanga: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos — Ingeniería de Suelos Ltda. 2001.

## 5.2.2. Manejo de ArcGIS 10.1 Factor C

Ilustración 5, Manejo de ArcGIS 10.1 Factor V



Fuente: Elaboración propia ArcGIS 10.1

El factor C es el factor de susceptibilidad a la erosión por cobertura vegetal para la elaboración del mapa de cobertura vegetal la base de datos obtenida de IDEAM en donde se encuentran los datos de tipos de cobertura vegetal con la utilización el programa ARCGIS 10.1 y manejado el mapa a una escala 1: 134.337 como se evidencia en la imagen para una mejor visualización, se dio comienzo pasando la zona seleccionada a formato “Raster”, con la opción “Properties” se despliego la tabla de atributos de las celdas y se ingresó una nueva en donde se colocaron los valores respectivos de la susceptibilidad a la erosión por Cobertura con base en la tabla obtenida del documento de Susceptibilidad a la erosión en el municipio de Anori, para la clasificación de rangos se da un valor de 10 a 1, siendo 10 el mayor grado de susceptibilidad a la erosión hasta 1 el menor grado de susceptibilidad a la erosión.

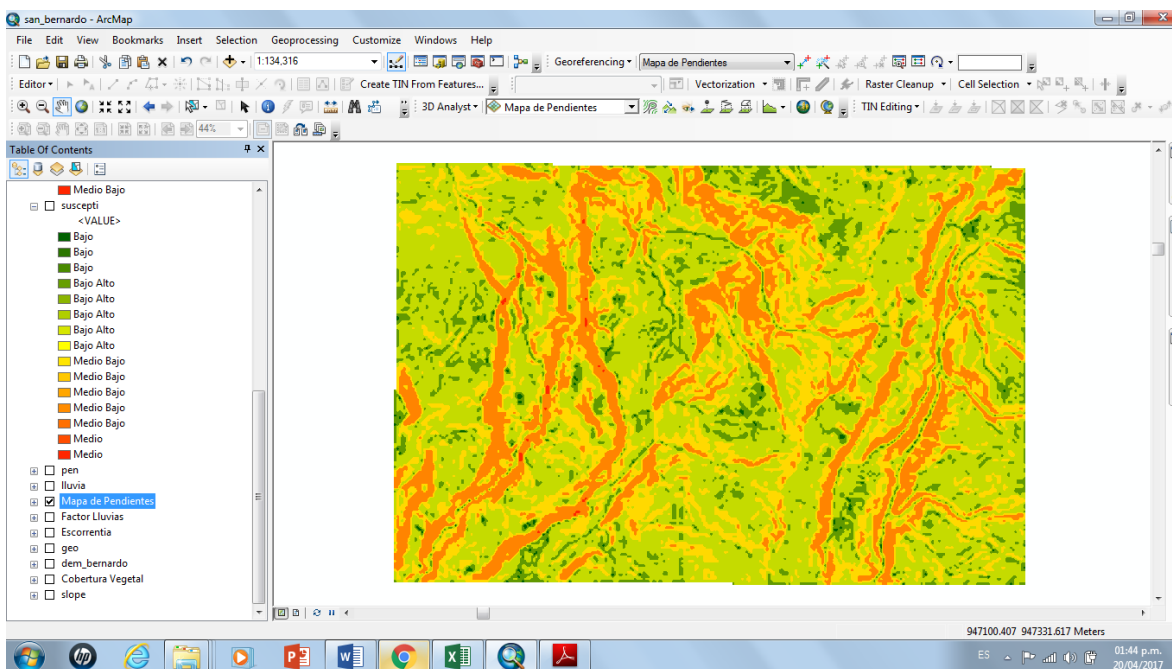
Ilustración 6, Susceptibilidad a la erosión factor V

| Cobertura Vegetal                                | C |
|--|---|
| Tejido urbano continuo                           | 1 |
| Bosque denso                                     | 2 |
| Bosque fragmentado                               | 2 |
| Bosque de galería y ripario                      | 2 |
| Herbazal   | 4 |
| Cultivos permanentes arbustivos                  | 4 |
| Mosaico de pastos y cultivos                     | 4 |
| Pastos enmalezados                               | 4 |
| Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales | 4 |
| Mosaico de pastos con espacios naturales         | 4 |
| Mosaico de cultivos con espacios naturales       | 4 |
| Vegetación secundaria o en transición            | 4 |
| Pastos limpios                                   | 8 |

Fuente: Fuente: Evaluación de la susceptibilidad a la erosión Municipio de Anori.

## 5.2.4 Manejo de ArcGIS 10.1 Factor S

Ilustración 7, Manejo de ArcGIS 10.1 Factor S



Fuente: Elaboración propia ArcGIS 10.1

El factor S es el factor de susceptibilidad a la erosión por pendiente para la elaboración del mapa de pendiente se utilizó el modelo de elevación digital (DEM) de Colombia mediante la utilización del programa ARCGIS 10.1 manejando el mapa a una escala 1:134.316 como se evidencia en la imagen anterior para una mejor visualización, se da comienzo aplicando la herramienta “spacial analyst – Slope” junto con “slope” que permite calcular el cambio existente entre los valores de las celdas siendo capaz de identificar los valores de inclinación para cada una de las celdas analizadas calculadas por medio de un “Raster” de superficie, para la asignación de los valores de susceptibilidad a la erosión se asignaron valores de 1 a 10, siendo 10 el mayor grado de susceptibilidad y 1 el menor grado de susceptibilidad, esto se realizó con base en la siguiente tabla.

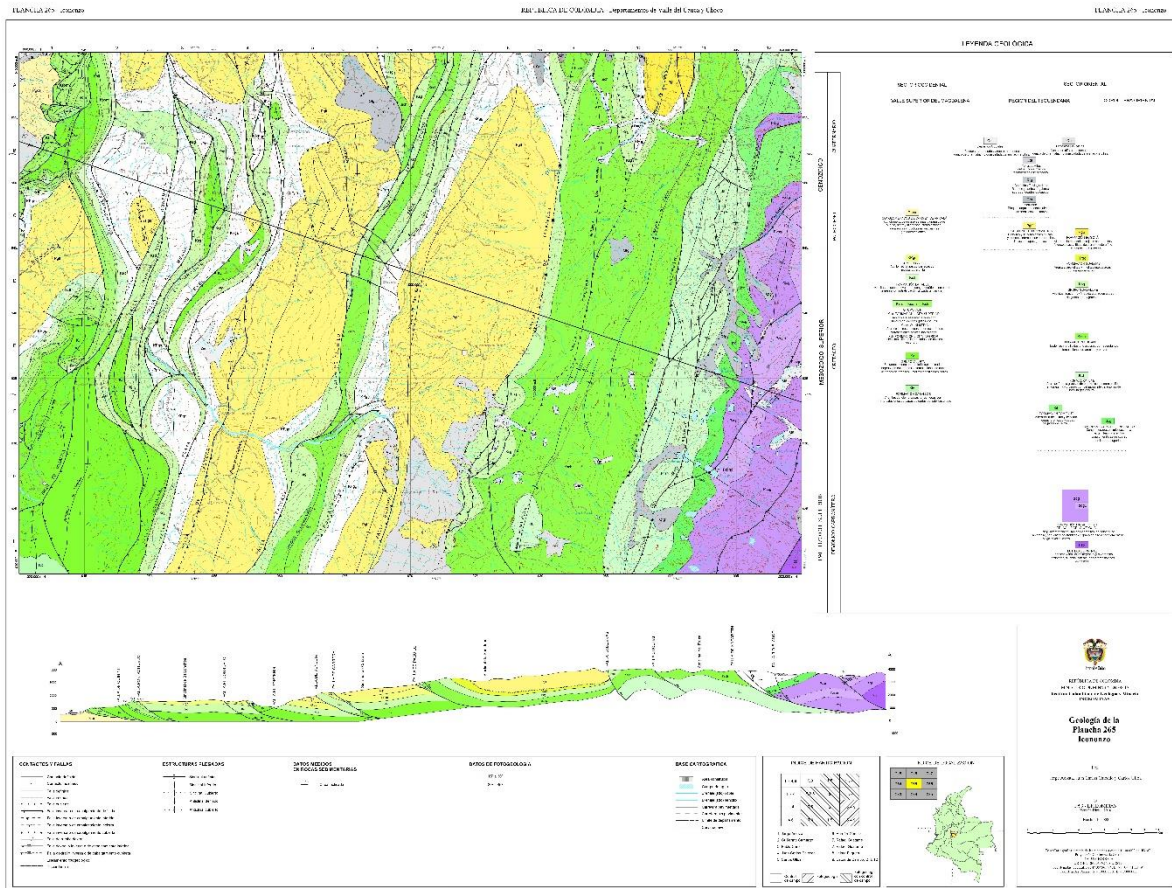
Ilustración 8, Susceptibilidad a la erosión Factor S

| <b>Pendiente %</b> | <b>S</b> |
|--------------------|----------|
| <2%                | 1        |
| 2% - 6%            | 2        |
| 6% - 13%           | 4        |
| 13% - 20%          | 6        |
| 20% - 55%          | 8        |
| >55%               | 10       |

Fuente: Evaluación de la susceptibilidad a la erosión Municipio de Anori.

### 5.2.3 Manejo de ArcGis 10.1 Factor K

Ilustración 9, Geología Icononzo



Fuente: Instituto Colombiano de Geología y Minería

Para determinar la geología se recolecto información en el Instituto Colombiano de Geología y Minería, lamentablemente no se contaban con información del municipio de San Bernardo específicamente pero se encontró información del sector de Icononzo el cual barca el municipio de San Bernardo que se encuentra a una escala 1: 100.000. Con base en este plano se trabajó en ArcGis 10.1 subiendo el archivo en formato “JPG” se procede a referenciarlo mediante las coordenadas y posteriormente se pasa a formato “TIF” para la realización de los polígonos para cada uno de los aspectos geológicos del municipio, mediante la opción “Properties” se despliega la tabla de atributos de las celdas y se ingresó una nueva en donde se colocaron los valores respectivos de la susceptibilidad a la erosión por Geología con base en la tabla obtenida del documento de Susceptibilidad a la erosión en el

municipio de Anori, finalmente se pasa a formato “Raster”. Para la clasificación de rangos se da un valor de 10 a 1, siendo 10 el mayor grado de susceptibilidad a la erosión hasta 1 el menor grado de susceptibilidad a la erosión.

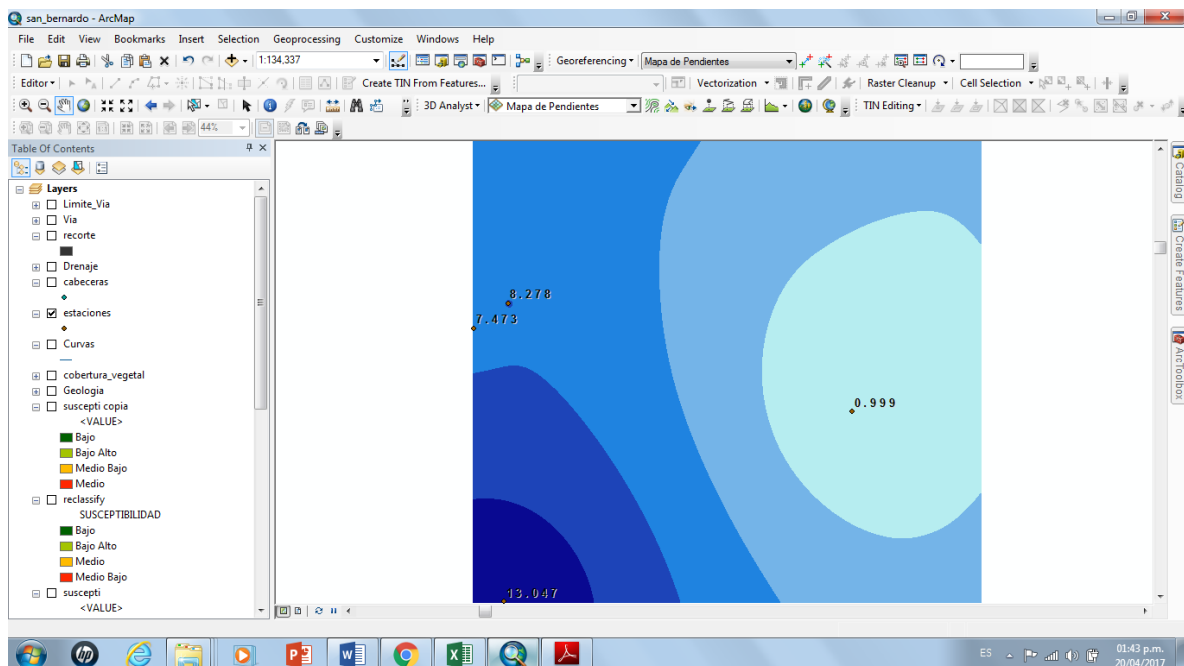
Ilustración 10, Susceptibilidad a la erosión Factor K

| Tipo de suelo | Descripción  | Factor K |
|---------------|--|----------|
| Kpgs          | FORMACIÓN SECA: Arcillolitas rojizas abigarradas con niveles de arenitas   | 6        |
| Ksg           | GRUPO GUADALUPE: Arenitas finas a muy finas de cuarzo en capas delgadas a muy gruesas.   | 7        |
| Pglf          | LODOMITAS DE FUSAGASUGA: Lodomititas y limolitas grises rojizas y blancas, intercaladas con arenitas liticas en capas gruesas.                       | 4        |
| Kv            | GRUPO VILLETA: Secuencia monotonica de lodolitas laminadas negras con esporadicas intercalaciones de capas delgadas de arenitas, limolitas y calizas | 8        |

Fuente: Evaluación de la susceptibilidad a la erosión Municipio de Anori.

## 5.2.2 Manejo de ArcGis 10.1 Factor R

Ilustración 11, Susceptibilidad a la erosión Factor R

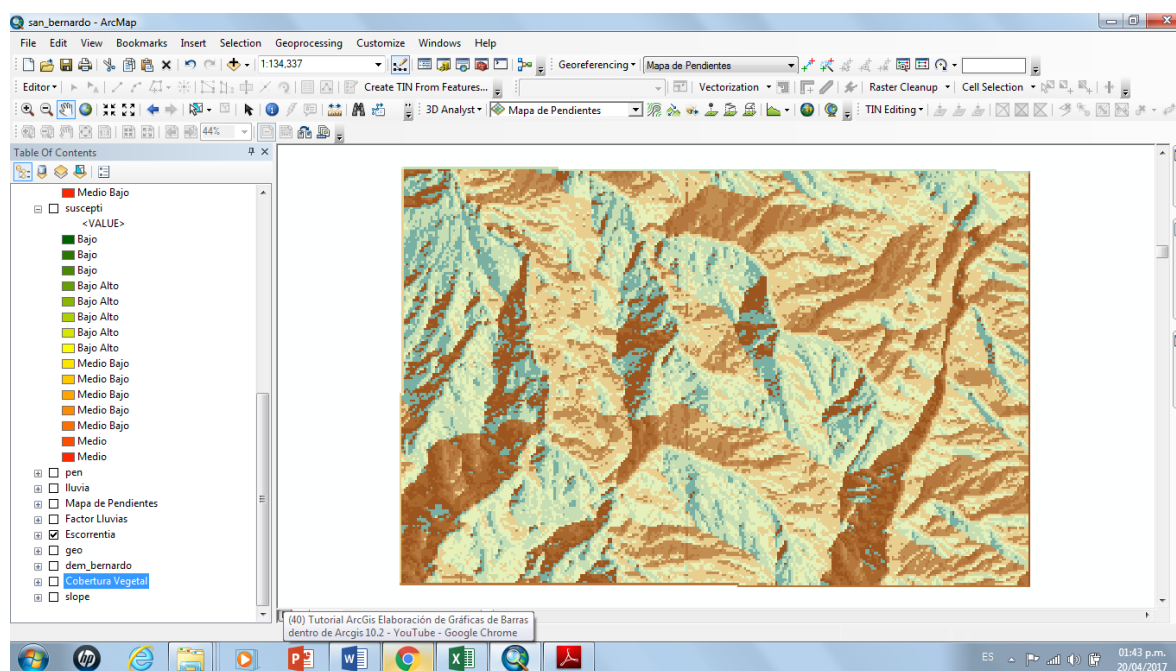


Fuente: Elaboración propia ArcGis 10.1

Para el mapa de precipitaciones se solicitó información de las precipitaciones en las estaciones en el IDEAM acerca de 5 estaciones cercanas al municipio de San Bernardo además de una base de datos con capas de estaciones meteorológicas en Colombia obtenida de la página oficial de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales estas estaciones son actualizadas cada 2 meses, se realiza un recorte de la zona estudiada y se procede a ingresar a la barra de atributos de las celdas mediante la opción “Properties” y se ingresa una nueva celda en donde se coloca el Factor R calculado para cada estación, con la herramienta “Raster Interpolation” se cargó las estaciones y se dio comienzo al cálculo de las isoyetas mediante en modelo circular generado el mapa de isoyetas. El mapa de isoectas se encuentra en la imagen anterior a una escala 1:134.337 para una mejor visualización.

### 5.2.5 Manejo de ArcGis 10.1 Factor Es

Ilustración 12, Susceptibilidad a la erosión por escorrentia



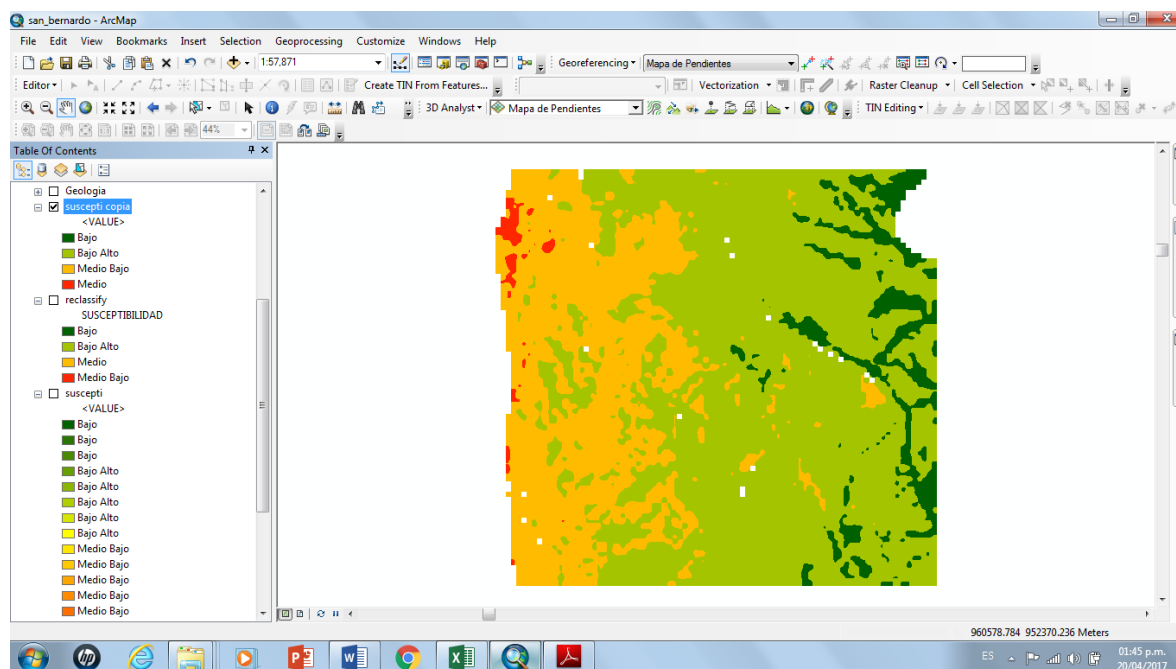
Fuente: Elaboración propia ArcGis.

El factor Es es el factor de susceptibilidad a la erosión por escorrentia para la elaboración del mapa de pendiente se utilizó el modelo de elevación digital (DEM) de Colombia mediante la utilización el programa ARCGIS 10.1 manejando el mapa a una escala 1:134.337 como se evidencia en la imagen anterior para una mejor visualización, se da comienzo aplicando la herramienta “spacial analyst – hidrology”

utilizando las opciones “film”, “flow accumulation” y “flow direction” generando un mapa con celdas que se clasifican automáticamente.

## 5.2.6 Manejo de ArcGis ecuación de USLE

Ilustración 13, Susceptibilidad a la erosión USLE



Fuente: Elaboración propia ArcGis 10.1

Para generar el mapa de susceptibilidad a erosión es necesario tener los factores establecidos con respecto a los eventos ocurridos en la zona en los últimos 10 años, posteriormente se cargaron cada uno de los mapas que evalúan los factores de susceptibilidad a la erosión en formato “Raster” y con la herramienta “Raster Calculator” se ingresa cada uno de los factores que son multiplicados con los coeficientes calculados y sumados para cada uno de los mapas. Finalmente se reclasifica el mapa de Susceptibilidad a la erosión dándole rangos de alto, medio y bajo.



## 5.3. MARCO GEOGRAFICO

### 5.3.1. Marco Demográfico

Nombre del municipio: Municipio de San Bernardo

NIT: 800.093.437-5

Código Dane: 25649

Gentilicio: Sanbernardinios

#### Habitantes:

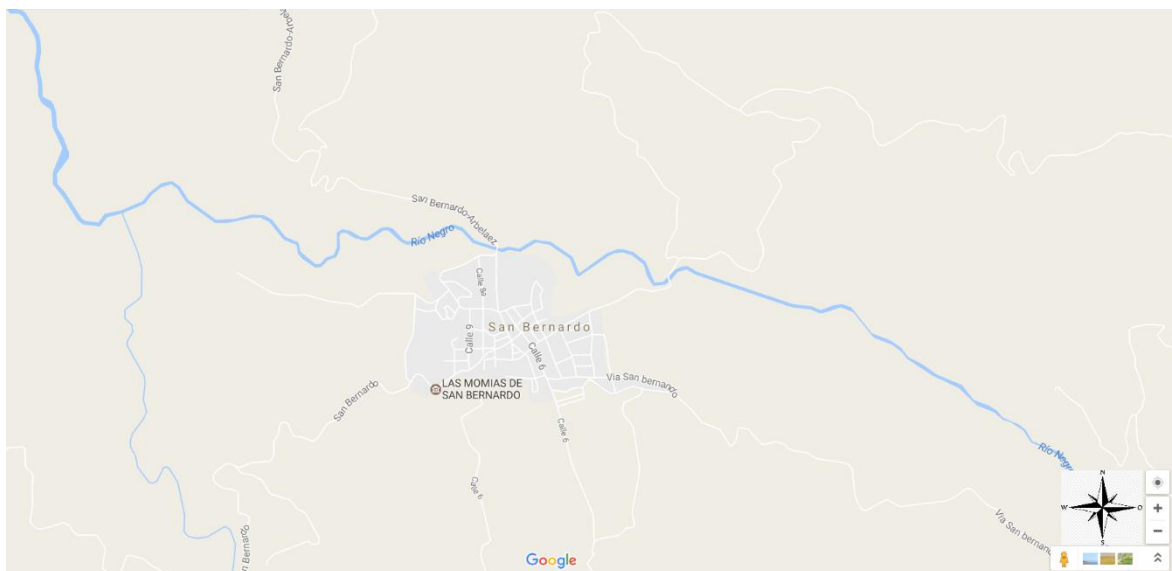
No. Habitantes Cabecera: 3316

No. Habitantes Zona Rural: 6616

Total: 9932

El Municipio de San Bernardo se encuentra ubicado al Sur - oriente del Departamento de Cundinamarca en la Provincia del Sumapaz <sup>13</sup>.

Ilustración 14, Mapa, ubicación San Bernardo



<sup>13</sup> ALCALDIA DE SAN BERNARDO., Plan de desarrollo municipal San Bernardo 2012-2015. Noviembre. 2012.

Fuente: Google maps Imagen satelital

Los límites establecidos del terreno en el que se encuentre el municipio son los siguiente: Limita por el Norte con el Municipio de Arbeláez, por el Oriente con Bogotá D. C., por el Sur con el Municipio de Venecia y el municipio de Cabrera, y por el Occidente con el Municipio de Pandi.

Es un municipio agrícola, con un casco urbano reducido su principal fuente económica es la comercialización de frutas y verduras, su fuente de turismo son las momias que se han conservado de forma natural, en sus extensiones esta:

Extensión total: 248.98 Km<sup>2</sup>

Extensión área urbana: 0.6 Km<sup>2</sup>

Extensión área rural: 248.38 Km<sup>2</sup>

Altitud de la cabecera municipal (metros sobre el nivel del mar): 1.600 msnm

Temperatura media: 20°C<sup>0</sup> C      Distancia de referencia: 99 Km de Bogotá, D.C<sup>14</sup>.

### **5.3.2. Cuencas hídricas San Bernardo**

Como patrimonio natural se han identificado tres sitios de gran importancia, estos son:

- El Páramo y sus lagunas Negra y de los Currucuyes que forman parte del Parque Nacional Natural del Sumapaz.
- La cuenca alta del río Pilar.
- La cuenca alta y media del río Negro.

Se encuentran relictos de bosques naturales secundarios (bosque alto andino), los cuales son el nacimiento de quebradas tan importantes como la Chorrera, La Unchia y Honduras, las cuales son fuente de los acueductos rurales, municipales y regionales<sup>15</sup>.

### **5.3.3 Sub cuenca Río Negro**

La subcuenca del Río Negro comprende los municipios de Arbeláez, Pandi y San Bernardo, limita al norte con la subcuenca del Río Cuja (Municipio de Arbeláez), al sur con la subcuenca Río Medio Sumapaz (municipios de San Bernardo y Pandi),

---

<sup>14</sup> CANCHON MENDEZ., Velkis. Plan de contingencia para fenómenos de remoción en masa en temporada de lluvias en el municipio de San Bernardo Cundinamarca. Contrato de consulta N° 257. Diciembre. 2010.

<sup>15</sup> ALCALDIA DE SAN BERNARDO. Nuestro municipio. [En línea]. San Bernardo: Alcaldía de San Bernardo, Cundinamarca. 2012. Disponible en [http://www.sanbernardocundinamarca.gov.co/informacion\\_general.shtml](http://www.sanbernardocundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml)

al oriente con la subcuenca del Río Pilar (Municipio de San Bernardo) y al occidente con la subcuenca Medio Sumapaz (Municipio de Pandi).

Delimitación en el municipio de San Bernardo: Limitada por la cuchilla del Carmen en límites con Arbeláez, la cuchilla del Pilar, la divisoria de aguas del río Negro con la quebrada La Chorrera y la Unchia.

#### **5.3.4 Vías de comunicación San Bernardo**

San Bernardo cuenta con 172 km de malla vial rural terciaria y 37 km de malla vial secundaria que comunica al municipio con la trocal del Pacífico (sitio estación Shell).

## **5.4. MARCO LEGAL**

### 5.5.1. Ensayos de laboratorio

El manual de normas de materiales para carreteras con el propósito de estandarizar los procedimientos de muestreo y ensayos de laboratorios, es realizado por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS). Los procedimientos y requerimientos se basan en normas internacionales elaboradas por instituciones de prestigio, en especial la ASTM, adaptadas a las necesidades específicas del INVIAS.

Tabla 1, Norma ensayos de laboratorio

| Norma Utilizadas ensayos de laboratorio I.N.V.E | Descripción   |
|---|---|
| I.N.V.E 121-13                                  | Determinación del contenido orgánico de un suelo mediante el ensayo de pérdida por ignición <sup>16</sup> .                         |
| I.N.V.E 122-13                                  | Determinación en laboratorio del contenido de agua (Humedad) del suelo, roca y mezcla de suelo agregado <sup>17</sup> .             |
| I.N.V.E 123- 13                                 | Determinación de los tamaños de partículas de los suelos <sup>18</sup> .  |
| I.N.V.E 124-13                                  | Determinación tamaño de partícula por medio de hidrómetro <sup>19</sup> .   |
| I.N.V.E. 125-13                                 | Determinación del límite líquido de los suelos <sup>20</sup> .  |
| I.N.V.E 126-13                                  | Determinación de límite plástico e índice de plasticidad de suelos <sup>21</sup> .  |
| I.N.V.E 128-13                                  | Gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante mineral, empleando un picnómetro de agua <sup>22</sup> . |
| I.N.V.E 154-13                                  | Determinación de la resistencia al corte método de corte directo (CD) (Consolidado drenado) <sup>23</sup> .                         |

Fuente: Elaboración Propia.

## 6. DISEÑO METODOLOGICO

### 6.1. ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN

<sup>16</sup> COLOMBIA. Instituto Nacional de Vías. Norma de Ensayos de Materiales para Carreteras. INVIAS Sección 100 Suelos I.N.V.E 121-13

<sup>17</sup> INVIAS Sección 100 Suelos I.N.V.E 122-13

<sup>18</sup> INVIAS Sección 100 Suelos I.N.V.E 123- 13

<sup>19</sup> INVIAS Sección 100 Suelos I.N.V.E 124-13

<sup>20</sup> INVIAS Sección 100 Suelos I.N.V.E. 125-13

<sup>21</sup> INVIAS Sección 100 Suelos I.N.V.E 126-13

<sup>22</sup> INVIAS Sección 100 Suelos I.N.V.E 128-13

<sup>23</sup> INVIAS Sección 100 Suelos I.N.V.E 154-13

El enfoque fue de tipo mixto debido a que se utilizaron variables numéricas a través de los estudios de suelos con la cual se busca analizar los procesos de erosión local en el margen del río Negro en el casco urbano de San Bernardo, mediante los ensayos de corte directo en condición consolidada drenada, relación de humedad – peso unitario seco en los suelos (ensayo normal de compactación), relación de humedad – peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación), determinación del límite líquido de los suelos, descripción e identificación de suelos (procedimiento visual y manual) y variables cualitativas como fue la descripción de las muestras tomadas, caracterización de los materiales.

## **6.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

La investigación es de tipo experimental, ya que se ya que se obtendrán resultados a partir de datos tomados en laboratorio en donde se controlan las variables que podrían influir en los resultados que se obtuvieron, los apiques fueron realizados con el fin de obtener muestras de diferentes partes del margen del río Negro en puntos estratégicos para la obtención de datos significativos en la investigación. A partir de esto se podrá determinar las características de los suelos del casco urbano de San Bernardo que colinden con el río Negro y de esta manera establecer los procesos de erosión ocasionados por el río Negro, elaborando un mapa de susceptibilidad a la erosión del sector estudiado.

## **6.3 DISEÑO MUESTRAL**

La susceptibilidad a la erosión en las zonas montañosas afectan la vida de los habitantes y es esencial saber las magnitudes de los daños ocasionados y los futuros problemas que podría enfrentar el municipio de San Bernardo, por esta razón es indispensable el estudio de estos procesos con los que se lleva a cabo para dar bases a futuros proyectos en el municipio.

### **6.3.1 Población**

La población involucrada para el método de análisis de procesos de erosión local en el margen del río Negro en el casco urbano de San Bernardo, es la zona de afluencia involucrando a la población residente del sector que se ve afectada día a día por el estado actual de la vía en el municipio de San Bernardo Cundinamarca.

### **6.3.2 Muestra y tipo de muestreo**

Se realizaron diferente tomas de muestras a lo largo de la margen del río Negro, para llevar a cabo los estudios requeridos, las muestras son de tipo no probabilístico ya que los apiques fueron realizados con base en la información recolectada del terreno estudiado.

Se realizaron para el análisis de la muestra un tipo de muestreo por apiques que fueron extraídos de la zona de afluencia del río Negro, asegurándose tomar los puntos clave para la toma de las muestras.

### **6.3.3 Variables**

Las variables fueron controladas en las instalaciones de la Universidad La Gran Colombia para cada uno de los ensayos realizados, entre los cuales están la velocidad de corte para el ensayo de corte directo, la saturación de la muestra, agua destilada para los ensayos de granulometría por hidrómetro entre otras.

Entre las variables se encuentran de tipo X las cuales fueron manipuladas en laboratorio como la velocidad de corte, tipo Y que son determinadas después del laboratorio como la temperatura.

### **6.3.4 Operacionalización de las variables**

Para la realización de los ensayos en las instalaciones de la Universidad La Gran Colombia fue necesario establecer las variables que se manipularon y las variables que fueron dependiente, para esto se realizaron la siguiente tabla:

Tabla 2, Operacionalización de las variables

|                | Variable                             | Indicador                   | Medición           |
|----------------|--------------------------------------|-----------------------------|--------------------|
| Independientes | Incorporación de hidroxido de sodio  | Sedimentación               | % en peso          |
|                | Incorporación de agua destilada      | Soluciones                  | mililitros         |
| Dependiente    | Comportamiento mecanico del material | Resistencia a la compresión | kg/cm <sup>2</sup> |

Fuente: Elaboración propia.

## 6.4 FASES DE LA INVESTIGACION

Tabla 3, Fases de la investigación

| NOMBRE DE LA FASE              | ACTIVIDADES REALIZADAS   |
|--------------------------------|--|
| <b>FASE 1<br/>Caracterizar</b> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Se Identificó el margen el río Negro, las formas geológicas en el municipio, la geología, estructuras afectadas por la erosión del suelo y los puntos seleccionados para la realización de los apiques.</li> <li>Se estableció los factores climáticos mediante los datos obtenidos del IDEAM</li> </ul>  |
| <b>FASE 2<br/>Determinar</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Se estableció los puntos para la toma de muestras (Apiques).</li> <li>Se determinó las características de los suelos del casco urbano de San Bernardo que colinden con el río Negro.</li> <li>Se estableció los procesos de erosión ocasionados por el río Negro, elaborando los diferentes mapas de susceptibilidad estudiados en el documento.</li> </ul> |
| <b>FASE 3<br/>Analizar</b>     | <ul style="list-style-type: none"> <li>Se analizó los procesos de erosión local en el margen del río Negro en el casco urbano de San Bernardo mediante un mapa de susceptibilidad a la erosión elaborado en Arcgis.</li> </ul>   |

Fuente: Propia.

## 6.5 INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

La elaboración de la presente investigación, la adecuada obtención de las muestras requeridas y ensayos de laboratorio necesarios se llevó a cabo mediante la metodología planteada. Los laboratorios fueron realizados en las instalaciones de la Universidad La Gran Colombia.

#### **6.5.1 Datos satelitales**

Para la recolección de datos se necesitaron imágenes satelitales y fotografías aéreas en donde se encontró el estado actual del río Negro, su formación y extensión. Estas imágenes fueron extraídas mediante Google Earth, base de datos de ArcGis 10.1 y Fotografías aéreas de IGAC Instituto geográfico Agustín Codazzi.

#### **6.5.2 Datos existentes**

Se recolectaron una serie de datos geológicos, mapas de geo formas de la zona de Icononzo, Mapa geológico de la zona de Icononzo que se obtuvieron del Servicio Geológico Colombiano, cobertura vegetal mediante el plan de contingencia para fenómenos de remoción en masa en temporada de lluvias en el municipio de San Bernardo Cundinamarca, precipitaciones anuales, mensuales y horarias de 5 estaciones meteorológicas aledañas al terreno en estudio mediante el IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, mapa topográfico por medio de IGAC Instituto geográfico Agustín Codazzi, curvas de nivel obtenidas mediante base de datos en ArcGis.

#### **6.5.3 Recolección de datos en campo**

Se realizó una visita al municipio de San Bernardo Cundinamarca en el que se observaron las condiciones actuales del margen del río Negro, los terrenos aledaños y el caso urbano del municipio, con esto se realizó reconocimiento del lugar y ubicación de los puntos para la recolección de muestras en los terrenos.

#### **6.5.4 Toma de muestras inalteradas de suelo en superficie**

Con base en la norma I.N.V.E 104-13, toma de muestras inalteradas que tiene como objetivo obtener muestras que conserven su estructura y su humedad natural abriendo una zanja y excavando el contorno para extraer una muestra en bloque tallada en superficie.

#### **6.5.5 Conservación y transporte de las muestras de suelos**

Con base en la norma I.N.V.E. 103-13, conservación y transporte de las muestras de suelos, la cual establece los métodos para la conservación de las mismas en el momento de ser obtenidas en el terreno, transporte y manejo.

Las muestras obtenidas del municipio de San Bernardo Cundinamarca se clasifican en el grupo B ya que requieren ensayos de laboratorio por consiguiente se conservaron y transportaron en empaques sellados a prueba de humedad para lo cual se utilizó bolsas de polietileno y papel vinipel que ofrece una membrana plástica para evitar su rotura.



Cada una de las muestras fueron transportadas en un automóvil hasta el punto de almacenaje en el municipio San Bernardo Cundinamarca, posteriormente fueron transportaron a el laboratorio de suelos de la Universidad La Gran Colombia.

Ilustración 15, Muestras Río Negro – 100cm



Fuente: Propia.

Ilustración 16, Muestra # 9 Río Negro - 100cm



Fuente: Propia.

## 6.6 INFORMACION RECOLECTADA

### 5.3.3. Eventos ocurridos

Los eventos ocurridos alrededor del municipio de San Bernardo son un factor primordial para los procesos de erosión, las incidencias ocurridas son utilizadas en la formulación de la ecuación de USLE. A continuación se encuentra resumidos los datos obtenidos de la DESINVENTAR Sistema de inventario de efectos de desastres, en donde están reflejados los eventos ocasionados en los últimos 10 años en el territorio entre los cuales se encuentra los municipio de San Bernardo, Arbeláez, Fusagasugá, Pandi, Pasca y Venecia.

Tabla 4, Incidencias

|                    |    |
|--------------------|----|
| Incendio forestal  | 42 |
| Inundación         | 38 |
| Deslizamiento      | 40 |
| Sismo              | 1  |
| Vendaval           | 23 |
| Lluvias            | 2  |
| Avenida torrencial | 5  |
| Otro               | 1  |
| Incendio           | 2  |

Fuente: CAR Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca

Otra parte importante de las fallas en el municipio de San Bernardo es su ubicación que se encuentra en medio de movimientos naturales (sismos), para lo cual se recopiló información de los diferentes sismos a su alrededor<sup>24</sup>.

### 5.3.5. Precipitaciones zonas aledañas al municipio de San Bernardo

Para la realización del presente documento se tuvieron en cuenta 5 estaciones meteorológicas aledañas al municipio de San Bernardo y se realizó la solicitud de información al IDEAM Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia.

Tabla 5, Estaciones pluviométricas

| Nombre estación de | Codigo   | Municipio                  | Latitud  | Longitud   | Altura     |
|--------------------|----------|----------------------------|----------|------------|------------|
|                    |          |                            |          |            | (m.s.n.m.) |
| Pandi              | 21195060 | Pandi - Cundinamarca       | 4,192722 | -74,487417 | 950        |
| Ospina Perez       | 21190240 | Venecia-Cundinamarca       | 4,081611 | -74,488722 | 1450       |
| La Playa           | 2,12E+08 | Pandi - Cundinamarca       | 4,183333 | -74,5      | 675        |
| El Tulcan          | 21190350 | San Bernardo- Cundinamarca | 4,152472 | -74,35975  | 2700       |
| Batan Automatica   | 21195180 | Pasca- Cundinamarca        | 4,262111 | -74,312167 | 2695       |

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca

La solicitud se realizó para obtener una base de datos de las 5 estaciones establecidas, precipitaciones anuales, mensuales y horarias de las cuales se presenta el siguiente resumen de datos con base en el factor R para el cálculo de susceptibilidad a la erosión.

Ilustración 17, Resumen de datos IDEAM

| Nombre estación de lluvias | Promedio de precipitación anual | Precipitación máxima en 24 horas | Intensidad máxima en 60 minutos |
|----------------------------|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|
|                            | (mm)                            | (mm)                             | (mm)                            |
| Pandi                      | 1249,1                          | 60,3                             | 31,4                            |
| Ospina Perez               | 1550,8                          | 67,9                             | 35,4                            |
| La Playa                   | 1237,7                          | 57,5                             | 30,0                            |
| El Tulcan                  | 792,5                           | 26,3                             | 13,7                            |
| Batan Automatica           | 986,5                           | 47,7                             | 24,9                            |

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca

## 6.7 ENSAYOS DE LABORATORIO NORMA INVIAS

<sup>24</sup> COLOMBIA., CAR. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Incidencias

Los ensayos de laboratorio fueron llevados a cabo en las instalaciones de la Universidad La Gran Colombia la cual cuenta con los equipos necesarios para la realización de los mismos.

### **6.7.1 Determinación del contenido orgánico de un suelo mediante el ensayo de pérdida por ignición**

Con base a la norma I.N.V.E 121-13, determinación del contenido orgánico de un suelo mediante el ensayo de pérdida por ignición, el cual tiene como objetivo establecer el contenido orgánico de materiales con pasto y raíces, este método determina la oxidación cuantitativa. Para este ensayo se utilizó los siguiente equipos: horno, balanza, mufla, crisoles o platos de evaporación, desecador, recipiente.

Ilustración 18, Muestras 100gr contenido orgánico



Fuente: Propia.

### **6.7.2 Determinación en laboratorio del contenido de agua (Humedad) del suelo, roca y mezcla de suelo agregado**

Con base en la norma I.N.V.E 122-13 Determinación en laboratorio del contenido de agua (Humedad) del suelo, roca y mezcla de suelo agregado, para la aplicación de la práctica se separó una muestra significativa de suelo la cual fue pesada, llevada al horno a una temperatura controlada de 110°C durante 24 horas y de nuevo pesada con el fin de establecer el contenido de humedad del suelo en estado natural, los equipos utilizados en el procedimiento fue balanzas, recipiente y horno.

### **6.7.3 Determinación de los tamaños de partículas de los suelos**

Con base en la norma I.N.V.E 123- 13, análisis granulométrico de suelos por tamizado, este laboratorio se realizó con el fin de determinar cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas del suelo.

Las muestras secadas en la práctica anterior se llevaron a la zona de lavado utilizando el tamiz #200, posteriormente el material retenido fue llevado al horno durante 24 horas a una temperatura 110°C, se evaluó de forma visual según el contenido de material retenido en el lavado y el tamaño de las partículas para poder establecer una serie de tamices. El primer tamizado para material granular, el segundo tamizado para suelos finos.

#### 6.7.4 Determinación tamaño de partícula por medio de hidrómetro

Con base en la norma I.N.V.E 124-13 Determinación de tamaño de partícula por medio del hidrómetro, el cual tiene como objetivo la determinación cuantitativa de la distribución de las partículas de las partículas más pequeñas a 75  $\mu\text{m}$ , por proceso de sedimentación, se realizó la práctica a las muestras superficiales tomadas a 20cm, este laboratorio tuvo una duración de 4 días.

Ilustración 19, Mezcla hexametafosfato de sodio y suelo



Fuente: propio

Ilustración 20, Clasificación de suelos por hidrómetro



Fuente: Propia.

#### 6.7.5 Determinación del límite líquido de los suelos

Con base en la norma I.N.V.E. 125-13, determinación del límite líquido de los suelos, el cual tiene como objetivo determinar la humedad en el cual un suelo pasa de consistencia plástica a consistencia fluida, para este laboratorio se necesitó una vasija de evaporación, espátula, ranurador, calibrador, balanza, horno.

Ilustración 21, Procedimiento limite liquido



Fuente: Propia.

#### **6.7.6 Determinación de límite plástico e índice de plasticidad de suelos**

Con base en la norma I.N.V.E 126-13 Límite plástico e índice de plasticidad de suelos el cual tiene como objetivo de manera visual obtener el contenido de agua más bajo con equipos como la espátula, capsula de evaporación, balanza, recipientes, horno, tamiz y agua destilada, para el índice de plasticidad la diferencia numérica entre el límite líquido y el límite plástico.

#### **6.7.7 Gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del llenante mineral, empleando un picnómetro de agua**

Con base en la norma I.N.V.E 128-13 , Gravedad específica de las partículas sólidas de los suelos y del material llenante mineral, empleando un picnómetro de agua que tiene como objetivo establecer la gravedad especifica de los suelos que han pasado el tamiz #4, el método utilizado es el B, ensayo para muestras húmedas, la gravedad especifica es la relación entre la masa a temperatura ambiente y la masa del mismo volumen de agua destilada. Los equipos utilizados para este ensayo son el picnómetro, aparato para extraer el aire atrapado, bomba de vacío, reverbero o mechero, horno, balanzas, pipeta, termómetro, desecador, recipiente aislante, embudo, tubo para llenar el picnómetro, tamiz #4, botella plástica, agua destilada.

#### **6.7.8 Determinación de la resistencia al corte método de corte directo (CD) (Consolidado drenado)**

Con base en la norma I.N.V.E 154-13, Determinación de la resistencia al corte método de corte directo (CD) (Consolidado drenado) la cual tiene como objetivo establecer la resistencia al corte de las muestras de suelos establecidas consolidada y drenada, utilizando una muestra inalterada utilizando equipos como aparato o dispositivo de corte directo, cara de corte, piedras porosas, dispositivo para la aplicación de la fuerza normal, dispositivo para la aplicación de la fuerza de corte, dispositivo para medir la fuerza de corte, recipiente para la caja de corte, cuarto

húmedo, anillos para el tallado de la muestra, balanza, medidores de desplazamiento, horno de secado.

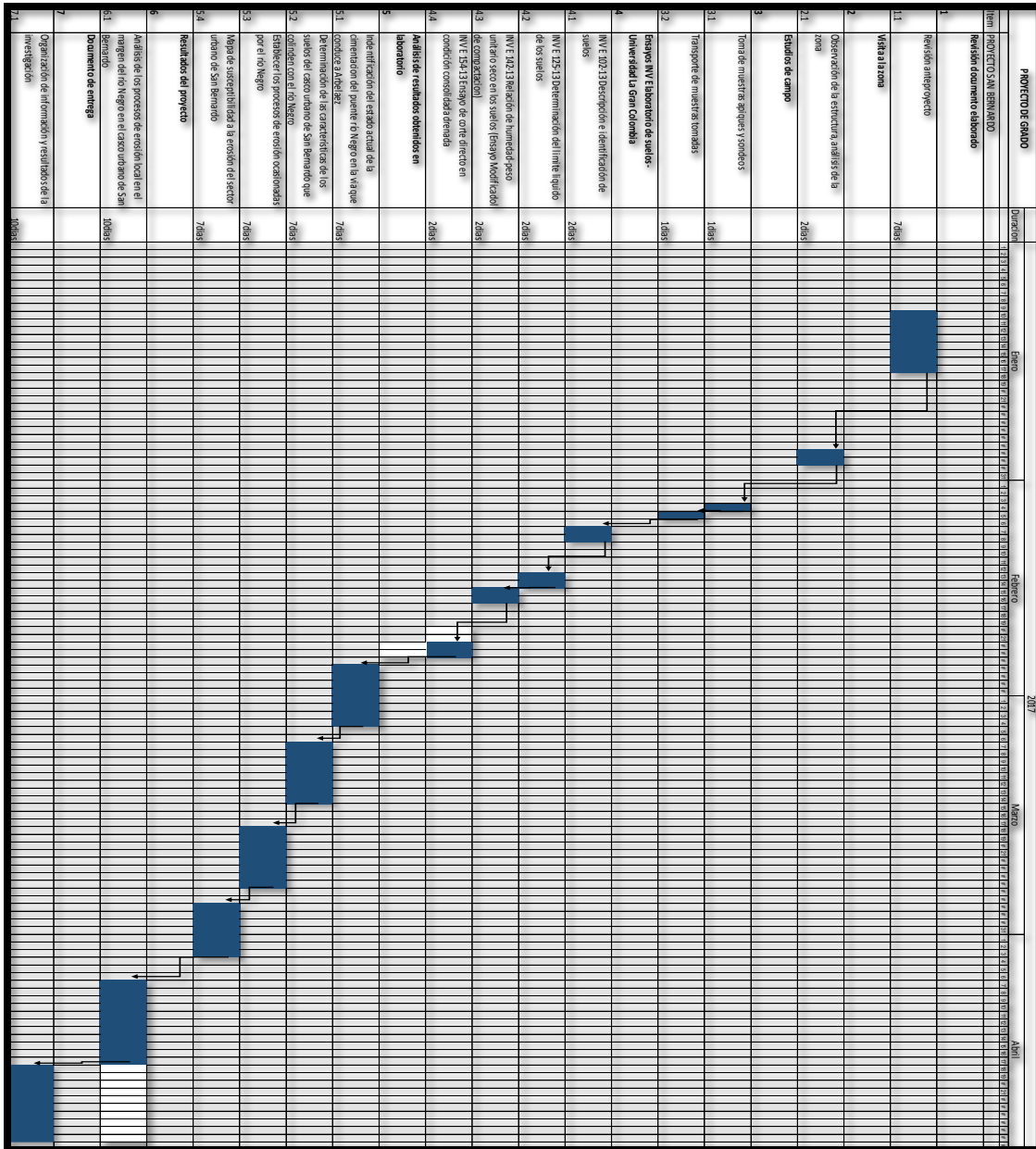
Ilustración 22, Preparación de muestras para corte directo



Fuente: Propia.

## 6.8. CRONOGRAMA

Tabla 6, Cronograma



Fuente: Elaboración Propia.

## 7. ANALISIS DE RESULTADOS

## 7.1 ANALISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN FLUVIAL

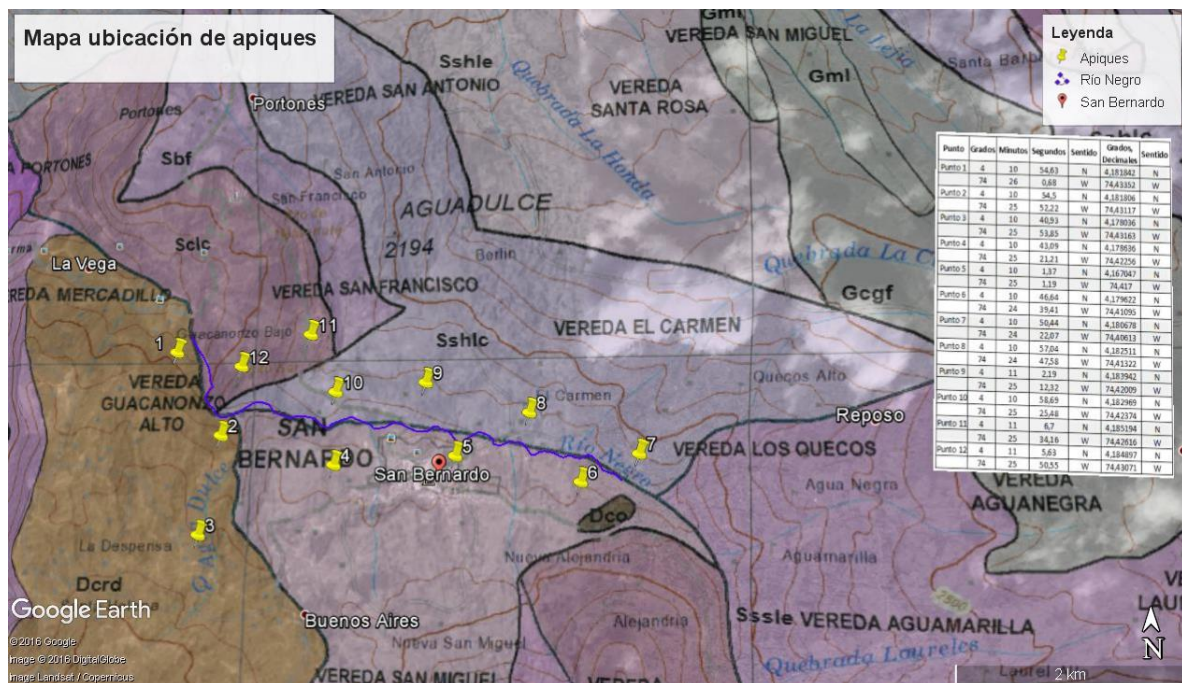
La erosión fluvial se da por la pérdida y arrastre del material, es ocasionada por la fuerza tractiva influida por el agua del río Negro y la resistencia a la fuerza tractiva calculada con las características de los suelos obtenidos del terreno estudiado.

El presente proyecto es de índole experimental por lo que fue necesario una serie de toma de muestras y ensayos de laboratorio que se describen a continuación.

### 7.1.1 Análisis de mapas y ubicación de los apiques

Con base en la información geológica y las geoformas se estableció los puntos de las toma de muestras, para cada geoforma encontrada y dependiendo de su extensión, en el sector estudiado se realizaron dos o tres apiques para dar un total de 12 muestras tomadas a una profundidad de 1m y solamente en los 8 puntos más cercanos a la margen de río Negro se extrajeron 20cm adicionales.

Figura 1, Zonificación y ubicación de apiques



Fuente: Elaboración Propia mediante Google Earth Pro

### 7.1.2 Reconocimiento directo

Se realizó la campaña exploratoria en el municipio de San Bernardo ubicando los apiques dentro de las propiedades privadas y predios del municipio, para el acceso a estas se firmaron los respectivos permisos, continuando con la extracción de las



muestras observando las características de la zona las cuales coinciden con la información recolectada anteriormente.

Tabla 7, Coordenadas de los apiques

| Punto    | Grados | Minutos | Segundos | Sentido | Grados,<br>Decimales | Sentido |
|----------|--------|---------|----------|---------|----------------------|---------|
| Punto 1  | 4      | 10      | 54,63    | N       | 4,181842             | N       |
|          | 74     | 26      | 0,68     | W       | 74,43352             | W       |
| Punto 2  | 4      | 10      | 54,5     | N       | 4,181806             | N       |
|          | 74     | 25      | 52,22    | W       | 74,43117             | W       |
| Punto 3  | 4      | 10      | 40,93    | N       | 4,178036             | N       |
|          | 74     | 25      | 53,85    | W       | 74,43163             | W       |
| Punto 4  | 4      | 10      | 43,09    | N       | 4,178636             | N       |
|          | 74     | 25      | 21,21    | W       | 74,42256             | W       |
| Punto 5  | 4      | 10      | 1,37     | N       | 4,167047             | N       |
|          | 74     | 25      | 1,19     | W       | 74,417               | W       |
| Punto 6  | 4      | 10      | 46,64    | N       | 4,179622             | N       |
|          | 74     | 24      | 39,41    | W       | 74,41095             | W       |
| Punto 7  | 4      | 10      | 50,44    | N       | 4,180678             | N       |
|          | 74     | 24      | 22,07    | W       | 74,40613             | W       |
| Punto 8  | 4      | 10      | 57,04    | N       | 4,182511             | N       |
|          | 74     | 24      | 47,58    | W       | 74,41322             | W       |
| Punto 9  | 4      | 11      | 2,19     | N       | 4,183942             | N       |
|          | 74     | 25      | 12,32    | W       | 74,42009             | W       |
| Punto 10 | 4      | 10      | 58,69    | N       | 4,182969             | N       |
|          | 74     | 25      | 25,48    | W       | 74,42374             | W       |
| Punto 11 | 4      | 11      | 6,7      | N       | 4,185194             | N       |
|          | 74     | 25      | 34,16    | W       | 74,42616             | W       |
| Punto 12 | 4      | 11      | 5,63     | N       | 4,184897             | N       |
|          | 74     | 25      | 50,55    | W       | 74,43071             | W       |

Fuente: Elaboración Propia.

### 7.1.3 Apiques

Los apiques son excavaciones que buscan examinar detalladamente el subsuelo, obteniendo muestras inalteradas para poder realizar los laboratorios necesarios; se da comienzo a la extracción de muestras en cada uno de los 12 puntos establecidos, la extracción de las muestras, el transporte de las mismas hasta el punto de almacenaje se dificulto por las condiciones del terreno y las condiciones de las vías que dan acceso a las fincas.

### 7.1.4 Toma de muestras inalteradas de suelo en superficie

Para la toma de las muestras se procedió a retirar la capa vegetal, excavo una zanja de 100cm x100cm para que el operario pudiera sacarla sin alterarla, se tallo

alrededor de la muestra y con un palin se cortó la cara inferior de la muestra para ser extraída cuidadosamente, estas se llevaron a cabo manualmente mediante herramienta menor como pica, pala, palin y ahoyador.

Ilustración 23, Vereda Agua Dulce



Fuente: Propia.

Ilustración 24, Vereda Quecos



Fuente: Propia.

Las muestras fueron ubicadas con base a las coordenadas establecidas y GPS en campo, para un total de 20 muestras extraídas en el municipio de San Bernardo.

Se extrajeron muestras a 1m de profundidad para todos los puntos establecidos, las ocho muestras extraídas a 20 cm de profundidad fueron tomadas en los puntos 1, 2, 4, 5, 6, 7, 10, 12, los cuales son los más cercanos al margen del río Negro.

Tabla 8, Toma de muestras

| <b>Punto</b> | <b>Muestra</b> | <b>Profundidad<br/>(cm)</b> | <b>Capa<br/>vegetal<br/>(cm)</b> |
|--------------|----------------|-----------------------------|----------------------------------|
| 1            |                |                             |                                  |
|              | 1-1            | 20 cm                       | 32 cm                            |
|              | 1-2            | 100 cm                      |                                  |
| 2            |                |                             |                                  |
|              | 2-1            | 20 cm                       | 18 cm                            |
|              | 2-2            | 100 cm                      |                                  |
| 3            |                |                             |                                  |
|              | 3-1            | 100 cm                      | 20 cm                            |
| 4            |                |                             |                                  |
|              | 4-1            | 20 cm                       | 30 cm                            |
|              | 4-2            | 100 cm                      |                                  |
| 5            |                |                             |                                  |
|              | 5-1            | 20 cm                       | 30 cm                            |
|              | 5-2            | 100 cm                      |                                  |
| 6            |                |                             |                                  |
|              | 6-1            | 20 cm                       | 35 cm                            |
|              | 6-2            | 100 cm                      |                                  |
| 7            |                |                             |                                  |
|              | 7-1            | 20 cm                       | 35 cm                            |
|              | 7-2            | 100 cm                      |                                  |
| 8            |                |                             |                                  |
|              | 8-1            | 100 cm                      | 19 cm                            |
| 9            |                |                             |                                  |
|              | 9-1            | 100 cm                      | 35 cm                            |
| 10           |                |                             |                                  |
|              | 10-1           | 20 cm                       | 25 cm                            |
|              | 10-2           | 100 cm                      |                                  |
| 11           |                |                             |                                  |
|              | 11-1           | 100 cm                      | 20 cm                            |
| 12           |                |                             |                                  |
|              | 12-1           | 20 cm                       | 30 cm                            |
|              | 12-2           | 100 cm                      |                                  |

Fuente: Elaboración Propia.

### 7.1.5 Resultados de laboratorio

- Contenido de materia orgánica

Tabla 9, Contenido de materia orgánica

| <b>Muestra</b> | <b>Profundidad</b> | <b>Contenido de materia</b> |
|----------------|--------------------|-----------------------------|
| 1              | 20 cm              | 6,80 %                      |
| 2              | 20 cm              | 4,05 %                      |
| 4              | 20 cm              | 3,49 %                      |
| 5              | 20 cm              | 1,58 %                      |
| 6              | 20 cm              | 2,88 %                      |
| 7              | 20 cm              | 11,77 %                     |
| 10             | 20 cm              | 3,48 %                      |
| 12             | 20 cm              | 4,75 %                      |

Fuente: Elaboración propia.

El municipio de San Bernardo es un municipio agrícola ubicado en una zona montañosa, los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio arrojaron un suelo con contenido bajo de materia orgánica en las toma de muestras superficiales, esto debido al producto de la descomposición de animales, microorganismos y plantas.

- Caracterización de los suelos tomados a una profundidad de 100cm

Tabla 10, Resultados de laboratorio caracterización por tamizado

| Muestra | Profundidad | Descripcion   | Humedad Natural | Limite Líquido | Limite plástico | Indice de Plasticidad | Clasificación SUCS | Peso Unitario           |
|---------|-------------|---|-----------------|----------------|-----------------|-----------------------|--------------------|-------------------------|
| 1       | 100 cm      | Arcilla limosa de color marrón con presencia de arena fina a media y gravas finas eventuales            | 34,00 %         | 39,70 %        | 23,20 %         | 16,60 %               | CL                 | 1,63 gr/cm <sup>3</sup> |
| 3       | 100 cm      | Arcilla limosa de color marrón con presencia de arena fina a media y gravas finas eventuales            | 27,91 %         | 44,30 %        | 25,60 %         | 18,50 %               | CL                 | 1,66 gr/cm <sup>3</sup> |
| 6       | 100 cm      | Arcilla limosa de color marrón y habano oscuro oxidada, con presencia de arena                          | 33,35 %         | 49,10 %        | 21,70 %         | 27,70 %               | CL                 | 1,65 gr/cm <sup>3</sup> |
| 9       | 100 cm      | Arcilla limosa marrón semi oscura oxidada con presencia con presencia de arena fina a media y gravillas | 20,21 %         | 32,80 %        | 20,30 %         | 12,60 %               | CL                 | 1,63 gr/cm <sup>3</sup> |
| 8       | 100 cm      | Arcilla marrón y habano oxidada con vetas tojizas.  | 38,55 %         | 52,80 %        | 25,40 %         | 27,40 %               | CH                 | 1,69 gr/cm <sup>3</sup> |
| 10      | 100 cm      | Arcilla limosa de color marrón claro oxidado.   | 21,78 %         | 49,40 %        | 19,80 %         | 29,60 %               | CL                 | 1,57 gr/cm <sup>3</sup> |
| 2       | 100 cm      | Arcilla limosa - arenoso habano oscuro oxidado y marrón   | 20,37 %         | 34,60 %        | 22,30 %         | 12,30 %               | CL                 | 1,63 gr/cm <sup>3</sup> |
| 12      | 100 cm      | Arcilla limosa de color marrón  | 21,25 %         | 29,30 %        | 18,70 %         | 10,60 %               | CL                 | 1,58 gr/cm <sup>3</sup> |
| 11      | 100 cm      | Arcilla limosa marrón oxidada.  | 26,78 %         | 33,90 %        | 23,20 %         | 10,70 %               | CL                 | 1,64 gr/cm <sup>3</sup> |
| 4       | 100 cm      | Limo arenoso de color marrón con algunas gravas finas a media eventuales                                | 54,01 %         | 56,00 %        | 31,00 %         | 26,00 %               | MH                 | 2,02 gr/cm <sup>3</sup> |
| 7       | 100 cm      | Arcilla Limosa arenoso marrón con presencia eventual de gravas finas                                    | 18,22 %         | 39,00 %        | 16,00 %         | 23,00 %               | CL                 | 2,05 gr/cm <sup>3</sup> |
| 5       | 100 cm      | Arcilla limosa arcilloso - arenoso de color marrón  | 21,57 %         | 35,00 %        | 16,00 %         | 19,00 %               | CL                 | 1,64 gr/cm <sup>3</sup> |

Fuente: Elaboración propia.

Como primera caracterización se observó en campo suelos de apariencia arcilla blanda, con los resultados de los ensayos de laboratorio se realizó el siguiente análisis de resultados:

Como primer parámetro para la caracterización de los materiales obtenidos de las muestras tomadas en campo se evidencia un contenido de humedad en promedio de 30%, Limite líquidos en promedio 40%, Limite plástico en promedio de 15%, un índice de plasticidad en promedio de 18% y un peso unitario de promedio 1.6 gr/cm<sup>2</sup> lo que es acorde a lo encontrado en campo, muestran suelos plásticos, la clasificación por SUCS evidencia arcillas limosas para la mayor parte de las muestras, con humedades altas inadecuados para las construcciones que se llevan a cabo en el municipio sin los requerimientos necesarios.

- Caracterización de los suelos tomados a una profundidad de 20cm

Tabla 11, Resultados de laboratorio caracterización por hidrómetro

| Muestra | Profundidad | Descripcion   | Humedad Natural | Peso Unitario           | Limite Liquido | Limite plastico | Indice de Plasticidad | Clasificación SUCS |
|---------|-------------|---|-----------------|-------------------------|----------------|-----------------|-----------------------|--------------------|
| 1       | 20 cm       | Limo de color marrón rojizo de apariencia orgánica, con raíces , quebradizo           | 33,27 %         | 1,54 gr/cm <sup>3</sup> | 70,00 %        | 42,00 %         | 28,00 %               | MH                 |
| 2       | 20 cm       | Arcilla limosa de color marrón rojizo de apariencia orgánica, con raíces , quebradizo | 27,82 %         | 1,65 gr/cm <sup>3</sup> | 38,00 %        | 21,00 %         | 17,00 %               | CL                 |
| 4       | 20 cm       | Limo algo arenoso de color marrón semioscuro oxidado con algunas raíces               | 29,65 %         | 1,75 gr/cm <sup>3</sup> | 44,00 %        | 29,00 %         | 15,00 %               | ML                 |
| 5       | 20 cm       | Limo marrón con raíces  | 47,25 %         | 1,57 gr/cm <sup>3</sup> | 60,00 %        | 40,00 %         | 20,00 %               | MH                 |
| 6       | 20 cm       | Limo algo arcilloso de color marrón con algunas raíces                                | 44,14 %         | 1,60 gr/cm <sup>3</sup> | 53,00 %        | 35,00 %         | 18,00 %               | MH                 |
| 7       | 20 cm       | Arcilla limosa negro organico   | 24,92 %         | 1,56 gr/cm <sup>3</sup> | 26,00 %        | 14,00 %         | 12,00 %               | CL                 |
| 10      | 20 cm       | Limo algo arcilloso de color marrón con algunas raíces                                | 30,85 %         | 1,41 gr/cm <sup>3</sup> | 63,00 %        | 38,00 %         | 25,00 %               | MH                 |
| 12      | 20 cm       | Limo algo arcilloso de color marrón con algunas raíces                                | 28,80 %         | 1,97 gr/cm <sup>3</sup> | 64,00 %        | 40,00 %         | 24,00 %               | MH                 |

Fuente: Elaboración propia.

Para las muestras superficiales se observó en campo arcillas oscuras, con los resultados de los ensayos de laboratorio se analizó lo siguiente:

En promedio la humedad natural está en 30% es similar a lo encontrado a 100 cm de profundidad, el peso unitario es de 1,6 gr/cm<sup>2</sup> con gran variación entre muestra y muestra, la media del limite liquido es de 60% mucho más alto que las muestras encontradas a 100cm de profundidad, el limite plástico es de 30%, el índice de plasticidad de 20%, la clasificación por SUCS evidencia arcillas limosas en su mayoría, son suelos plásticos adecuados para el cultivo de frutas y verduras pero no para la construcción, un factor importante que ha influido en los últimos años en el municipio de San Bernardo es la construcción de viviendas cerca al margen del río Negro y el cultivo en predios contiguos a los mismos.

- Ensayo de corte directo

Tabla 12, Resultados Corte Directo

| Muestra | Profundidad | C    | $\phi$ |
|---------|-------------|------|--------|
| MH      | 20 cm       | 0,17 | 23,0   |
| ML      | 20 cm       | 0,34 | 38,05  |
| CL      | 20 cm       | 0,21 | 29,0   |

Fuente: Elaboración propia

El ensayo de corte directo saturado drenado se realizó en las instalaciones de la Universidad La Gran Colombia, se escogió una muestra representativa de los suelos para el análisis de corte directo, los resultados varían dependiendo el material, para las arcillas los el ángulo de fricción diversa según las condiciones de pre consolidación, los valores más bajos fueron para los suelos de clasificación MH, seguido de ML y finalmente CL.

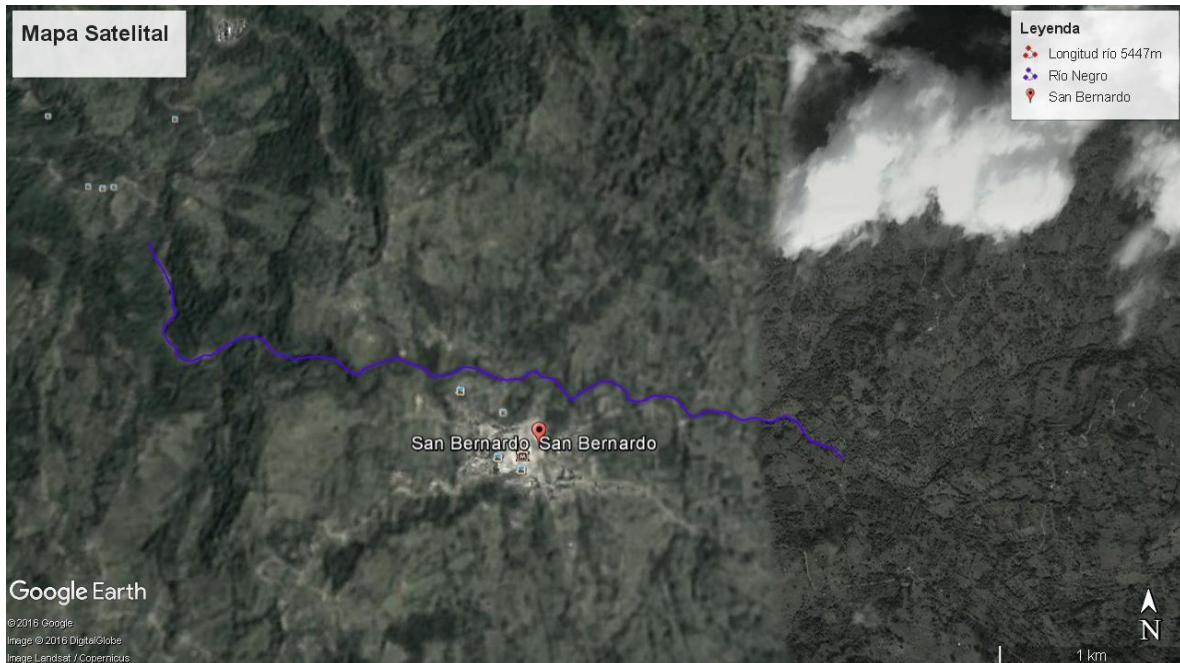
#### **7.1.6 Caracterización morfológicas del margen del río negro**

Para la caracterización morfológica del margen del río Negro se realizó mediante información recopilada como fotos satelitales, además efectuó una visita de campo en la cual se tomaron datos relevantes para el cálculo de las secciones transversales y características físicas del agua

#### **7.1.7 Longitud del río Negro**

La longitud del río Negro la cual determino la delimitación del proyecto es de 5447 metros obtenida mediante imágenes satelitales, esta distancia abarca el casco urbano y parte del sector rural, zona que se puede ver afectada ante un proceso de erosión.

Ilustración 25, Imagen Satelital longitud del río Negro



Fuente: Google Earth Pro

### 7.1.8 Sección transversal del río Negro

La realización de las secciones transversales se llevó a cabo ya que no existe información acerca de las características del río Negro en esta zona.

Se efectuaron 2 toma de datos en campo del río Negro en el municipio de San Bernardo a una distancia promedio en donde se viera un cambio significativo en la sección transversal del río Negro.



Ilustración 26, Ubicación de perfiles transversales



Fuente: Google Earth Pro

La primera sección transversal se encuentra ubicada cerca al coliseo de ferias del municipio de San Bernardo, la segunda sección se encuentra ubicada en la vereda el Carmen.

- Primera medida

4° 10' 54.5" N      74° 25' 52.55" O

Ilustración 27, Ancho río Negro



Fuente: Propia.

- Segunda medida

4° 10' 58.69" N      74° 25' 25.48" O

Ilustración 28, Ancho río Negro

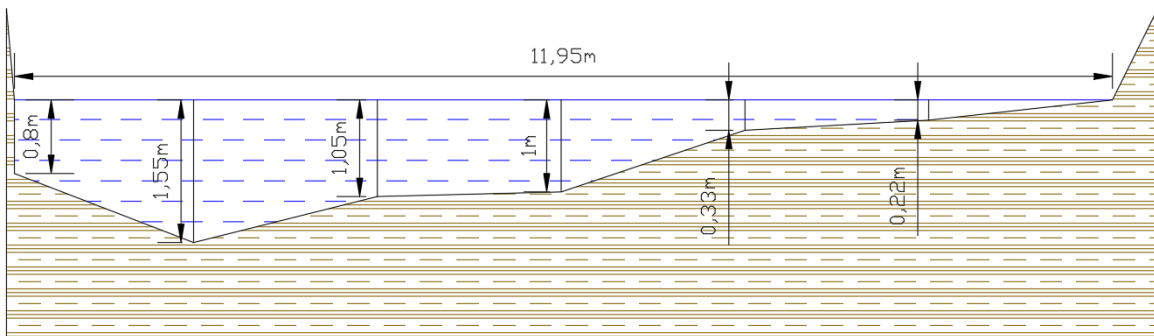


Fuente: Propia

La toma de las medidas se hizo con equipos como decámetro, nivel, varilla aforada.

Para realizar la batimetría del río primero se procedió a colocar dos puntos de apoyo en cada una de las orillas, el cual consistía en una varilla, estos dos puntos estaban conectados por medio de un nailon el cual se calibro su horizontalidad mediante un nivel, con respecto al nailon se tomaron las mediciones que fueron realizados cada 2 metros en la sección transversal del río tomando la altura de lámina de agua.

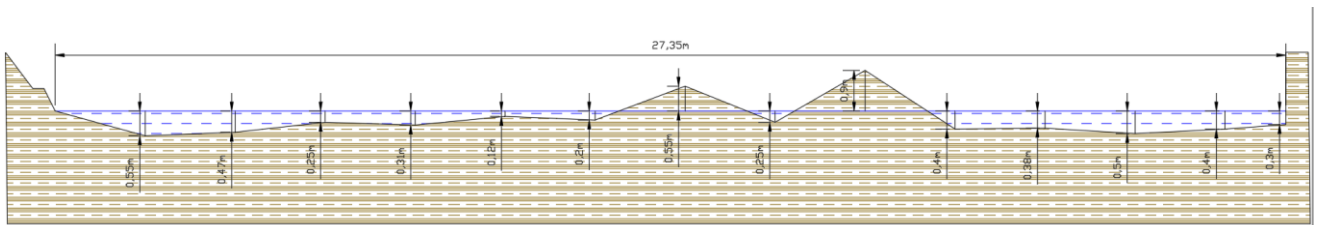
Ilustración 29, Perfil 1 sección transversal



Fuente: Elaboración propia

Para la primera sección se midió una longitud de 11 metros 95 centímetros, en donde se encontró una profundidad máxima de 1.55 metros tomada desde la superficie de la lámina de agua.

Ilustración 30, Perfil 2 sección transversal



Fuente: Elaboración propia.

Para la primera sección se midió una longitud de 27 metros 35 centímetros, en donde se encontró una profundidad máxima de 0.55 metros tomada desde la superficie de la lámina de agua y una zona por encima de la lámina de agua de 0.9 metros de altura.

### 7.1.9 Densidad del agua

Se llevó a cabo la recolección de agua tomada en el río Negro ubicado en el municipio de San Bernardo ya que no existen datos correspondientes a esta zona.

Para dar inicio al laboratorio se tomó el peso de la probeta en la que la que realizaría la toma de pesos, la probeta tuvo un peso de 0.610 kgr, la temperatura del agua destilada con un valor de 18°C y para el agua del río Negro una temperatura de 18°C. El peso registrado para el agua destilada es de 1.599 kgr y el peso registrado para el agua del río Negro es de 1.595 kgr.

Ilustración 31, Densidad del agua

| Densidad del agua |              |             |         |                     |                           |
|-------------------|--------------|-------------|---------|---------------------|---------------------------|
| Muestra           | Peso probeta | Temperatura | Volumen | Peso agua + probeta | Densidad                  |
| Agua destilada    | 0,61 kgr     | 18 °C       | 1000 ml | 1,599 kgr           | 989,0 kgr/m <sup>3</sup>  |
| Agua río Negro    | 0,61 kgr     | 18 °C       | 1000 ml | 1,621 kgr           | 1011,0 kgr/m <sup>3</sup> |

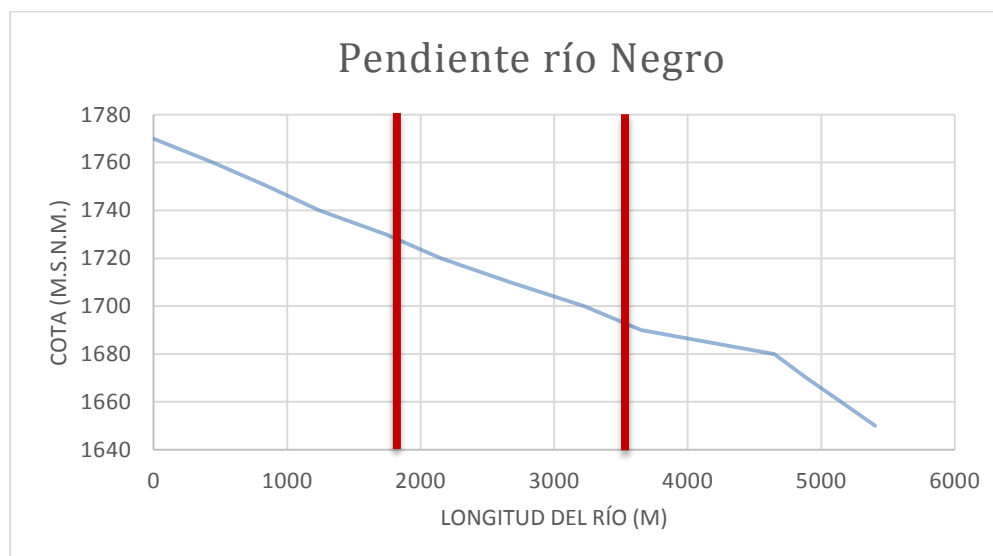
Fuente: Elaboración propia.

Con base en la tabla propiedades del agua en función de su temperatura la densidad para el agua destilada a una temperatura de rango 18°C es de 998,6 kg/m<sup>3</sup> comparado con el resultado del laboratorio se da un error mínimo que pudo ser ocasionado por error humano. La densidad establecida para el agua río Negro es de 1011.0 Kgr/m<sup>3</sup>.

### 7.1.10 Pendiente del río Negro

Se establecieron 3 secciones a estudiar con dos cortes transversales, a continuación se muestra el perfil realizado pasado en el mapa topográfico del IGAC.

Ilustración 32, Pendiente río Negro



Fuente: Elaboración propia.

Las líneas rojas exponen la ubicación de los perfiles transversales realizados, para la primera sección se encuentra una cota máxima de 1770 m.s.n.m. y una altura mínima de 1728 m.s.n.m. con una extensión de 1800 metros, para la segunda sección la altura máxima es de 1728 m.s.n.m. y la altura mínima de 1695 m.s.n.m. con una extensión de 1750 metros, por último la tercera sección tiene una altura máxima de 1728 m.s.n.m. y una altura mínima de 1650m.s.n.m. con una extensión de 1892 metros.

$$P(\%) = (dH/ dV) \times 100$$

En donde:

dV: Distancia vertical

dH: Dsitancia horizontal

Ilustración 33, Pendiente Secciones río Negro

| Seccion | Altura Max    | Altura Min    | dH   | dV     | Pendiente |
|---------|---------------|---------------|------|--------|-----------|
| 1       | 1770 m.s.n.m. | 1728 m.s.n.m. | 42 m | 1800 m | 2,33 %    |
| 2       | 1728 m.s.n.m. | 1695 m.s.n.m. | 33 m | 1750 m | 1,89 %    |
| 3       | 1695 m.s.n.m. | 1650 m.s.n.m. | 45 m | 1892 m | 2,38 %    |

Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 34, Pendiente río Negro

| Seccion | Altura Max    | Altura Min    | dH    | dV     | Pendiente |
|---------|---------------|---------------|-------|--------|-----------|
| Total   | 1770 m.s.n.m. | 1650 m.s.n.m. | 120 m | 5447 m | 2,20 %    |

Fuente: Elaboracion propia.

Se encontró una pendiente máxima en las secciones de 2,38% y una pendiente total de 2,2% a lo largo de todo el casco urbano del municipio de San Bernardo.

#### 7.1.11 Etapas de la corriente de agua

El río Negro ubicado en el municipio de San Bernardo Cundinamarca se encuentra en la etapa de juventud que se caracteriza por montañas medianas con cauces encañonados e inestabilidad lateral, además de una pendiente entre 2% a 10%, el cauce se profundiza muy rápidamente por efectos de la erosión y ocurren procesos de inestabilidad lateral de las laderas por reptación, flujo y erosión, en la planta de la corriente se observa un curso de zig zag, esta clasificación se lleva a cabo mediante las definiciones de corrientes de aguas establecidas en el libro de Jaime Suarez, control de erosión.

La erosión fluvial se da por la pérdida y arrastre del material, es ocasionada por la fuerza tractiva influida por el agua del río Negro y la resistencia a la fuerza tractiva calculada con las características de los suelos obtenidos del terreno estudiado.

### 7.1.12 Determinación de la fuerza tractiva

Para el cálculo de la fuerza tractiva se utilizaron datos obtenidos en campo ya que el municipio de San Bernardo no cuenta con estaciones limigraficas las cuales son importantes para determinar las características del río Negro, la altura máxima y mínima de la lámina de agua se realizó con base en encuestas realizadas a 20 habitantes del municipio de San Bernardo mediante el siguiente formato.

Ilustración 35, Formato encuesta

| Municipio de San Bernardo Cundinamarca  |       |
|---|-------|
| Encuesta #  |       |
| Universidad La Gran Colombia  |       |
| Facultad de Ingenieria Civil  |       |
| Nombre  |       |
| Residencia  |       |
| Con base en la altura actual de la lamina de agua del río Negro ¿Cuál es la altura adicional de la lamina de agua que ha visto en la vereda el Carmen?  |       |
| a   | 20cm  |
| b   | 50 cm |
| c   | 60 cm |
| Con base en la altura actual de la lamina de agua del río Negro ¿Cuál es la altura minima por debajo que ha visto en el río en la vereda el Carmen?     |       |
| a   | 10 cm |
| b   | 30 cm |
| c   | 50 cm |
| Con base en la altura actual de la lamina de agua del río Negro ¿Cuál es la altura adicional de la lamina de agua que ha visto en el coliseo de Ferias? |       |
| a   | 20cm  |
| b   | 50 cm |
| c   | 60 cm |
| Con base en la altura actual de la lamina de agua del río Negro ¿Cuál es la altura minima por debajo que ha visto en el río en el coliseo de Ferias?    |       |
| a   | 10 cm |
| b   | 30 cm |
| c   | 50 cm |

Fuente: Elaboración propia.

La encuesta buscaba dar un valor a la altura máxima y mínima de la lámina de agua en el río Negro en el municipio de San Bernardo ya que no se cuenta con estaciones limigraficas.

Ilustración 36, Respuestas encuestas

| Municipio de San Bernardo Cundinamarca  |       |                 |
|---|-------|-----------------|
| Respuestas a la encuesta  |       |                 |
| Con base en la altura actual de la lamina de agua del río Negro ¿Cuál es la altura adicional de la lamina de agua que ha visto en la vereda el  |       |                 |
|   |       | <b>Personas</b> |
| a   | 20cm  | 2               |
| b   | 50 cm | 12              |
| c   | 60 cm | 6               |
| <b>Promedio lamina de agua</b>  |       | 50 cm           |
| Con base en la altura actual de la lamina de agua del río Negro ¿Cuál es la altura minima por debajo que ha visto en el río en la vereda el     |       |                 |
|   |       | <b>Personas</b> |
| a   | 10 cm | 0               |
| b   | 30 cm | 0               |
| c   | 50 cm | 20              |
| <b>Promedio lamina de agua</b>  |       | 50 cm           |
| Con base en la altura actual de la lamina de agua del río Negro ¿Cuál es la altura adicional de la lamina de agua que ha visto en el coliseo de |       |                 |
|   |       | <b>Personas</b> |
| a   | 20cm  | 17              |
| b   | 50 cm | 2               |
| c   | 60 cm | 1               |
| <b>Promedio lamina de agua</b>  |       | 25 cm           |
| Con base en la altura actual de la lamina de agua del río Negro ¿Cuál es la altura minima por debajo que ha visto en el río en el coliseo de    |       |                 |
|   |       | <b>Personas</b> |
| a   | 10 cm | 5               |
| b   | 30 cm | 15              |
| c   | 50 cm | 0               |
| <b>Promedio lamina de agua</b>  |       | 25 cm           |

Fuente: Elaboración propia.

La toma de datos en las secciones transversales se realizaron en temporada media de lluvias, con base en las respuestas se estableció una lámina de agua en temporada alta de la sección transversal coliseo de ferias de lluvias de 25 cm por encima de la actual, para la temporada baja de lluvias 25 cm por debajo del nivel actual, para la sección transversal vereda el Carmen los resultados dieron una lámina de agua de 50 cm por encima en temporada alta de lluvias y 50cm de lámina de agua por debajo en temporada baja de lluvias. Con los datos obtenidos en campo se realizó un perfil transversal del terreno y se procedió al cálculo del radio hidráulico, áreas y perímetro mojado.

Ilustración 37, Radio hidráulico perfil 1

| Perfil 1                  |                      |                            |                     |                           |                     |
|---------------------------|----------------------|----------------------------|---------------------|---------------------------|---------------------|
| Temporada alta de lluvias |                      | Temporada media de lluvias |                     | Temporada baja de lluvias |                     |
| Perimetro mojado          | 14,136 m             | Perimetro mojado           | 13,076 m            | Perimetro mojado          | 8,026 m             |
| Area                      | 15,09 m <sup>2</sup> | Area                       | 9,04 m <sup>2</sup> | Area                      | 4,34 m <sup>2</sup> |
| Radio Hidraulico          | 1,067 m              | Radio Hidraulico           | 0,691 m             | Radio Hidraulico          | 0,541 m             |

Fuente: Elaboración propia.

Se realizó el promedio de los radios hidráulicos para las temporadas de lluvias altas, medias y bajas obteniendo un valor de 0,767 metros.

La segunda sección corresponde al perfil transversal del río Negro en la parte baja.

Ilustración 38, Radio hidráulico perfil 2

| Perfil 2                  |                      |                            |                     |                           |                     |
|---------------------------|----------------------|----------------------------|---------------------|---------------------------|---------------------|
| Temporada alta de lluvias |                      | Temporada media de lluvias |                     | Temporada baja de lluvias |                     |
| Perimetro mojado          | 24,537 m             | Perimetro mojado           | 22,238 m            | Perimetro mojado          | 16,325 m            |
| Area                      | 11,33 m <sup>2</sup> | Area                       | 6,94 m <sup>2</sup> | Area                      | 2,98 m <sup>2</sup> |
| Radio Hidraulico          | 0,462 m              | Radio Hidraulico           | 0,312 m             | Radio Hidraulico          | 0,183 m             |

Fuente: Elaboración propia

Se realizó el promedio de los radios hidráulicos para las temporadas de lluvias altas, medias y bajas obteniendo un valor de 0,319 metros.

Para canales no muy anchos la fuerza tractiva se calcula con la siguiente ecuación:

$$\tau_o = \gamma \times R_h \times i$$

Donde:

$\gamma$ : Peso específico del agua

$R_h$ : Radio hidráulico

$i$ : Pendiente promedio

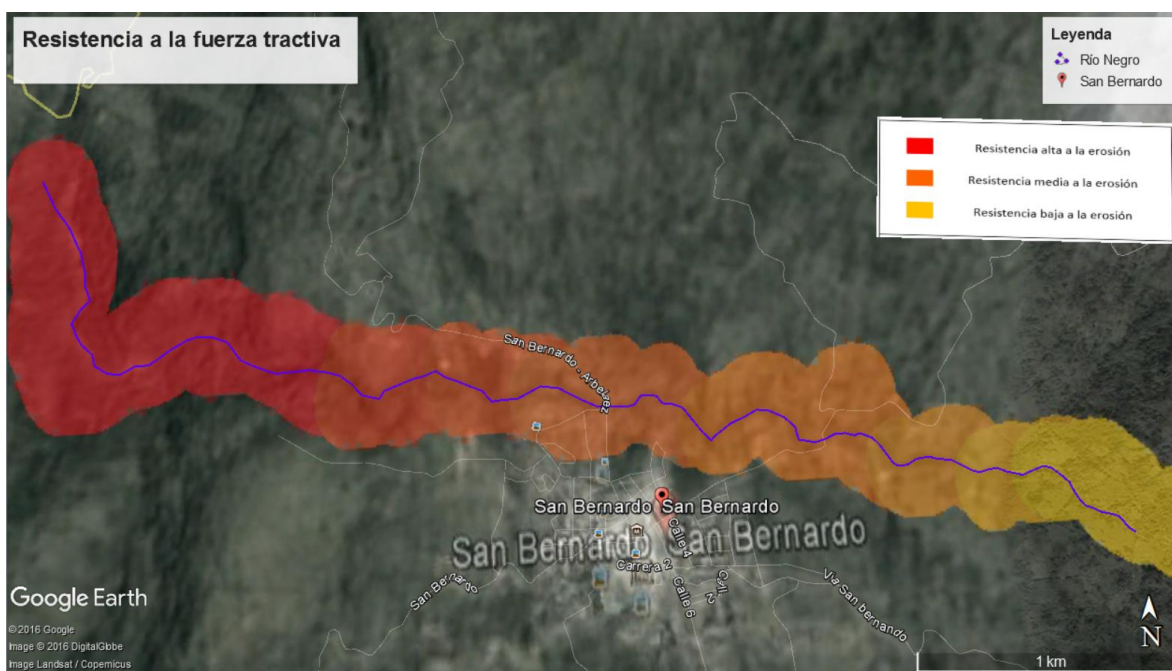
Ilustración 39, Calculo fuerza tractiva

| Sección | Y                        | Rh      | i     | $\tau_o$                |
|---------|--------------------------|---------|-------|-------------------------|
| 1       | 1011,0 kg/m <sup>3</sup> | 0,767 m | 0,022 | 17,06 kg/m <sup>2</sup> |
| 2       | 1011,0 kg/m <sup>3</sup> | 0,319 m | 0,022 | 7,10 kg/m <sup>2</sup>  |

Fuente: Elaboración propia.

La resistencia a la fuerza tractiva se evaluó en el margen del río con una altura máxima de 5 metros la cual es la cota de inundación y es la que se ve afectada a la fuerza tractiva por acción del agua.

Ilustración 40, Resistencia a la fuerza tractiva



Fuente Elaboración propia.

### 7.1.13 Determinación de la resistencia a la fuerza tractiva

Para el análisis de la susceptibilidad del suelo a la erosión se determinó de forma matemática a través de las características del río cual es la tensión crítica máxima o resistencia máxima a la fuerza tractiva, utilizando el criterio de Dunn para suelos cohesivos. Este análisis se realizó a las muestras superficiales tomadas a 20cm las cuales son suelos susceptibles a la erosión.

$$T_c = 10^{-3} (S_v + 0.876) \tan \beta$$

Sv es el esfuerzo cortante admisible del material



$\beta$  es un ángulo en grados

$\beta = 0.6 \times (\% \text{ de material más fino de } 0.06 \text{ mm})$  siempre que este no sea mayor del 90%  $\beta = 30 + 1.73 I_p$ , si el % es mayor del 90 %

$I_p$  = índice plasticidad del material

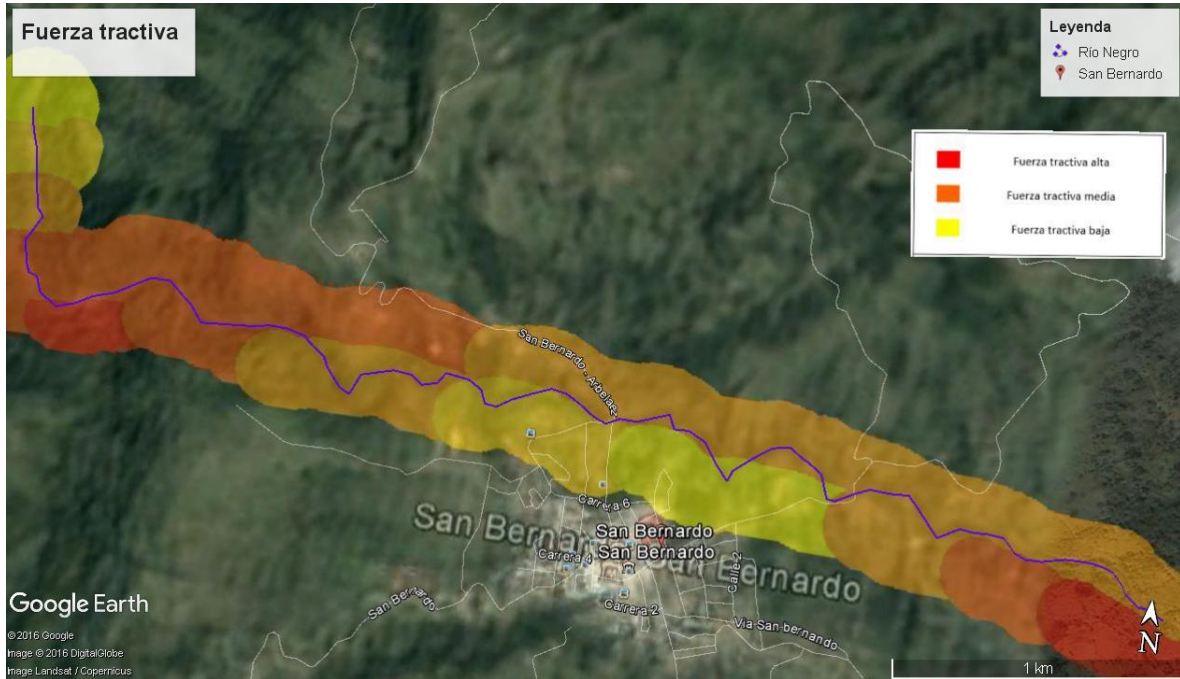
Ilustración 41, Resistencia a la fuerza tractiva

| Muestra | Profundidad<br>( cm) | Sv<br>(kgr/cm <sup>2</sup> ) | Finos<br>(%) | $I_p$<br>(%) | $\beta$<br>(°) | Tc<br>(kgr/m <sup>2</sup> ) |
|---------|----------------------|------------------------------|--------------|--------------|----------------|-----------------------------|
| 1       | 20                   | 0,17                         | 87,4 %       | 28,0 %       | 52,4 °         | 13,5904                     |
| 2       | 20                   | 0,38                         | 88,6 %       | 17,0 %       | 53,2 °         | 16,7795                     |
| 4       | 20                   | 0,38                         | 76,1 %       | 15,0 %       | 45,6 °         | 12,8447                     |
| 5       | 20                   | 0,21                         | 86,8 %       | 20,0 %       | 52,1 °         | 13,9523                     |
| 6       | 20                   | 0,21                         | 92,3 %       | 18,0 %       | 61,1 °         | 19,7054                     |
| 7       | 20                   | 0,38                         | 85,2 %       | 12,0 %       | 51,1 °         | 15,5602                     |
| 10      | 20                   | 0,17                         | 89,4 %       | 25,0 %       | 53,6 °         | 14,2021                     |
| 12      | 20                   | 0,17                         | 88,9 %       | 24,0 %       | 53,3 °         | 14,0567                     |

Fuente: Elaboración propia.

Para el cálculo de la fuerza tractiva se utilizó los resultados obtenidos en los ensayos de corte directo, porcentaje de material fino que pasa el tamiz #200 y el índice de plasticidad de las muestras tomadas en campo.

Ilustración 42, Fuerza tractiva



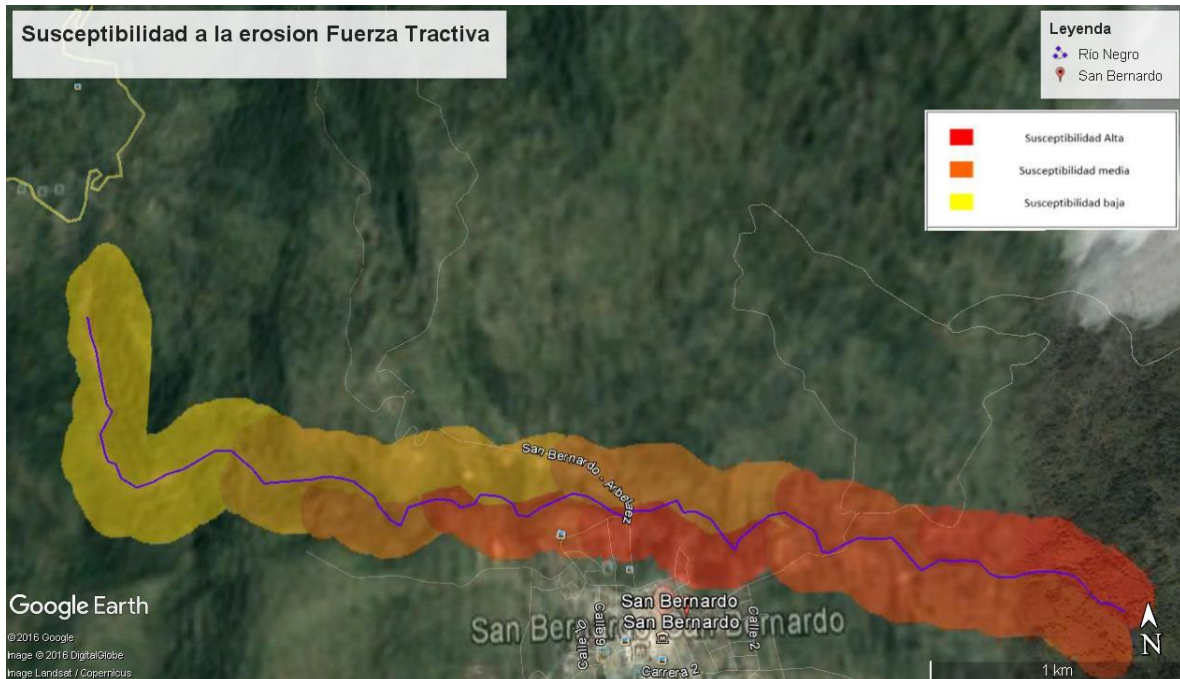
Fuente: Elaboración propia.

La fuerza tractiva fue calculada en el margen del río con una altura máxima de 5 metros la cual es la cota de inundación y es la que se ve afectada a la fuerza tractiva por acción del agua.

#### 7.1.14 Análisis de la erosión por fuerza tractiva

La fuerza tractiva mide la susceptibilidad a la erosión en la margen del río Negro por acción del agua.

Ilustración 43, Susceptibilidad a la erosión análisis de fuerza tractiva



Fuente: Elaboración propia.

Ilustración 44, Susceptibilidad a la fuerza tractiva

| <b>Análisis de erosión por fuerza tractiva</b> |                 |                                  |                     |                 |
|--|-----------------|----------------------------------|---------------------|-----------------|
| Margen superior                                |                 |                                  |                     |                 |
| Muestras                                       | Fuerza tractiva | Resistencia a la fuerza tractiva | Factor de seguridad | Susceptibilidad |
| 12   | 14,0567         | 7,1                              | 0,505               | Baja            |
| 10   | 14,2021         | 7,1                              | 0,500               | Baja            |
| 7  | 15,5602         | 17,06                            | 1,096               | Alta            |
| Margen inferior                                |                 |                                  |                     |                 |
| Muestras                                       | Fuerza tractiva | Resistencia a la fuerza tractiva | Factor de seguridad | Susceptibilidad |
| 1  | 13,5904         | 7,1                              | 0,522               | Baja            |
| 2  | 16,7795         | 7,1                              | 0,423               | Baja            |
| 4  | 12,8447         | 7,1                              | 0,553               | Baja            |
| 5  | 13,9523         | 17,06                            | 1,223               | Alta            |
| 6  | 19,7054         | 17,06                            | 0,866               | Media           |

Fuente: Elaboración propia.

En el margen superior se encuentra ubicado los apiques 12,10 y 7 de las muestras superficiales tomadas a 20 cm, para la margen inferior se encuentran los apiques 1, 2, 4, 5 y 6 de las muestras superficiales.

La susceptibilidad a la erosión por acción de la fuerza tractiva es baja en la parte superior del río Negro, avanza a media y alta en el casco urbano del municipio de San Bernardo esto debido al suelo encontrado en la zona, pendiente y el radio hidráulico en las dos secciones analizadas.

## 7.2 ANALISIS DE SUSCEPTIBILIDAD A LA ERIOSIÓN HIDRICA DE USLE

Con la utilización de la Ecuación Universal de Perdida de Suelo (USLE), se analizaron los factores de erosión en la margen del río Negro en el casco urbano del municipio de San Bernardo, el cual hace parte de las sub cuencas del río Sumapaz, a continuación se presentan los factores estudiados.

### 7.4.1 Factor K

El factor K es la susceptibilidad del suelo a ser desintegrado y arrastrado por la acción del agua, para la estimación del factor K se relacionaron mapas geológicos obtenidos del Servicio Geológico Colombiano, por medio de la herramienta del programa ArcGis 10.1 evaluando la susceptibilidad a la erosión Factor Geologico mediante el procedimiento establecido anteriormente. A continuación se presentaran los tipos de suelo encontrados en los planos geológicos del Servicio Geológico Colombiano Municipio de San Bernardo Cundinamarca.

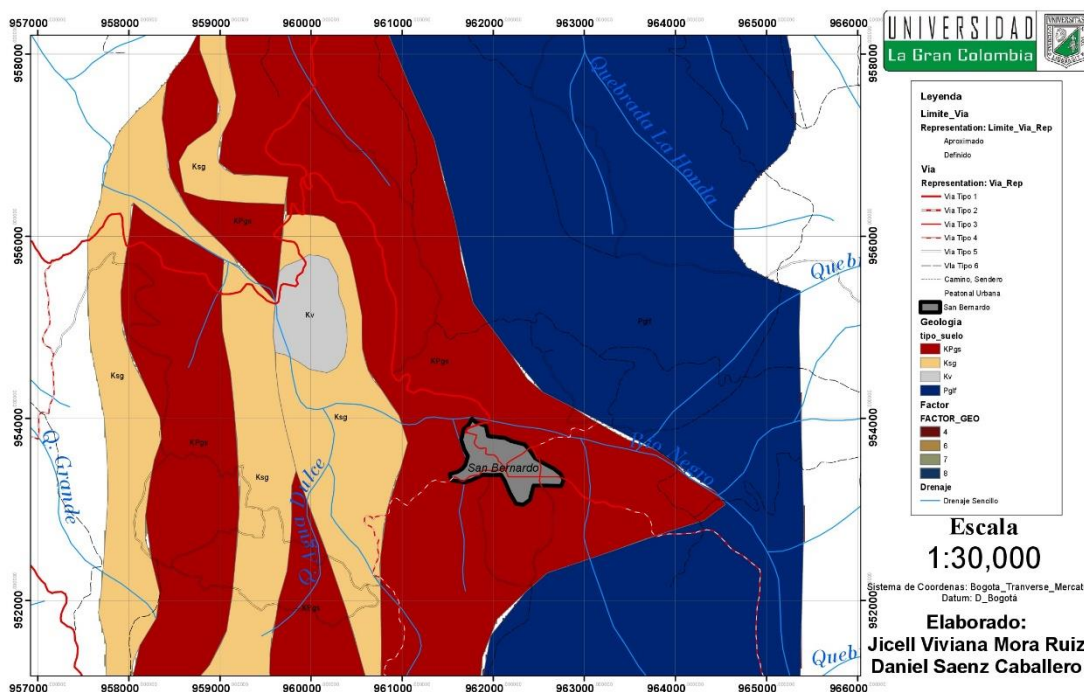
Ilustración 45, Factor K

| Tipo de suelo | Descripción  | Factor K |
|---------------|--|----------|
| Kpgs          | FORMACIÓN SECA: Arcillolitas rojizas abigarradas con niveles de arenitas   | 6        |
| Ksg           | GRUPO GUADALUPE: Arenitas finas a muy finas de cuarzo en capas delgadas a muy gruesas.   | 7        |
| Pglf          | LODOMITAS DE FUSAGASUGA: Lodomitás y limolitas grises rojizas y blancas, intercaladas con arenitas liticas en capas gruesas.                       | 4        |
| Kv            | GRUPO VILLETA: Secuencia monotoná de lodolitas laminadas negras con esporádicas intercalaciones de capas delgadas de arenitas, limolitas y calizas | 8        |

Fuente: Elaboración propia

Ilustración 46, Mapa factor geológico

### Mapa Factor Geología



Fuente: Elaboración propia

Con el mapa de geología elaborada en ArcGis se puede evidenciar la similitud en los suelos entre el mapa de geología del sector de icononzo y las muestras de suelo recolectadas en el margen del río Negro en donde nos muestra en su mayoría arcillas limosas de alta plasticidad. Se enmarca la cabecera del municipio de San Bernardo ya que la por las construcciones en este no se evalúa la susceptibilidad a la erosión en esta zona.

#### 7.4.2 Factor R

El factor R es el potencial erosivo de la lluvia, evaluando la fuerza erosiva de las gotas anualmente para intensidades mayores a 15mm los cuales son considerados aguaceros erosivos utilizando la siguiente ecuación:

$$R = K (A \times B \times C)$$

El coeficiente K calibrado en Colombia para condiciones climatológicas dominantes es de  $35 \times 10^{-5}$ , según la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca.

Con base en los registros históricos de lluvias anuales de cuatro estaciones pluviométricas localizadas en los alrededores del municipio de San Bernardo por el IDEAM en los últimos 10 años, además de datos específicos de la CAR-Cundinamarca.

Tabla 13, Calculo del Factor R

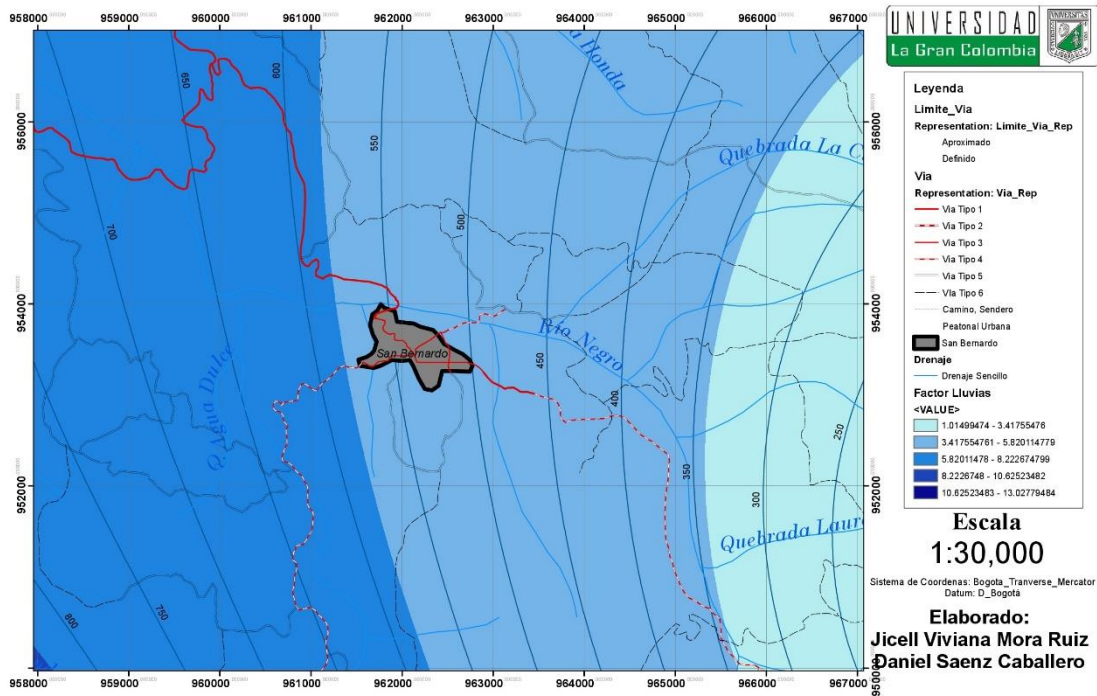
| <b>Nombre<br/>estacion de</b> | <b>A<br/>(mm)</b> | <b>B<br/>(mm)</b> | <b>C<br/>(mm)</b> | <b>R<br/>(ton/km<sup>2</sup>/año)</b> |
|-------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------------------------|
| Pandi                         | 1249,1            | 60,3              | 31,4              | 827,7748227                           |
| Ospina Perez                  | 1550,8            | 67,9              | 35,4              | 1304,658575                           |
| La Playa                      | 1237,7            | 57,5              | 30,0              | 747,261375                            |
| El Tulcan                     | 792,5             | 26,3              | 13,7              | 99,94098625                           |
| Batan Automatico              | 986,5             | 47,7              | 24,9              | 410,0934758                           |

Fuente: IDEAM – Factor R elaboración Propia.

Mediante el programa ArcGis 10.1 se procedió a interpolar los datos de las 5 estaciones aledañas a la zona de estudio, generando un mapa de isoyetas el cual es el factor R por precipitación que se unirá a los demás mapas de susceptibilidad a la erosión, el procedimiento del manejo de ArcGis es relatado anteriormente. El plano de susceptibilidad a la erosión por precipitación se encuentra en anexos (Factor R).

Ilustración 47, Mapa factor precipitación

### Mapa Factor Precipitación



Fuente: Elaboración propia.

Según los datos obtenidos del IDEAM se realizó las isoyectas de precipitaciones, se evidencia un aumento de las precipitaciones en la parte superior del margen del río Negro del municipio de San Bernardo lo que aumenta la susceptibilidad a la erosión.

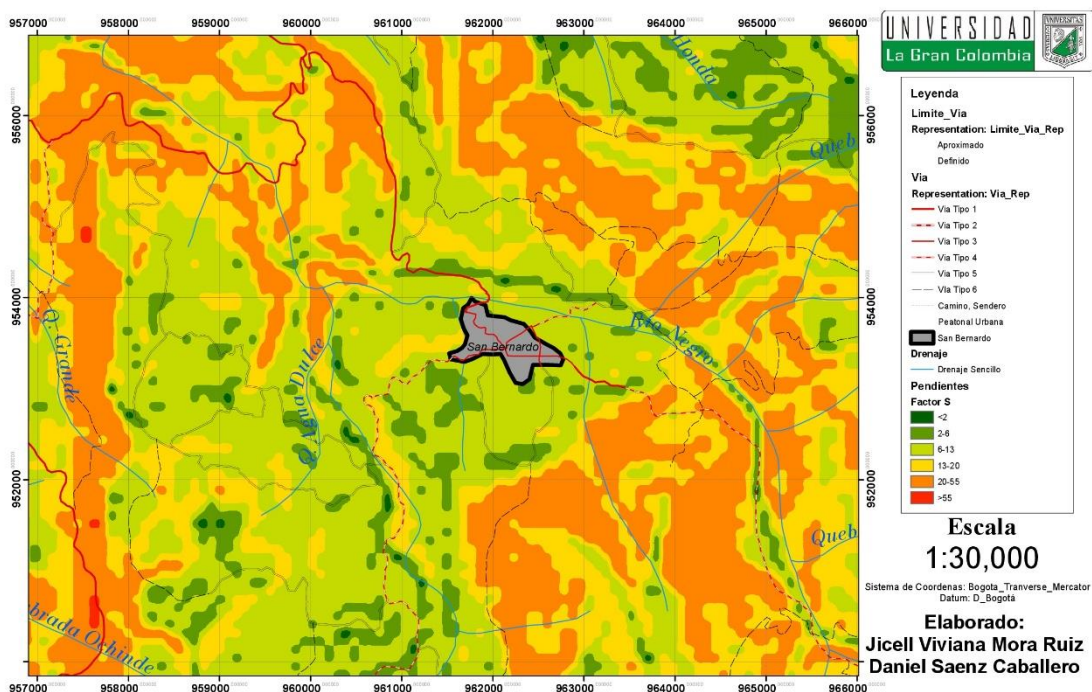
#### 7.4.3 Factor L/S

El factor L/S es la susceptibilidad a la erosión con base en la pendiente del terreno, para la realización se carga el mapa de elevación digital de Colombia en el programa ArcGis 10.1 en el que se realiza el procedimiento anteriormente descrito.

En el municipio de San Bernardo se encuentran altas pendientes lo que es un factor importante en el proceso de susceptibilidad a la erosión. El plano de susceptibilidad a la erosión por pendientes es realizado con la herramienta Arc – Gis 10.1 y se encuentra en los anexos.

Ilustración 48, Mapa factor pendiente

### Mapa Factor Pendiente



Fuente: Elaboración propia.

Con base en el modelo de elevación digital se realizó el mapa de pendientes lo que evidencia en la parte superior del margen del río Negro en el municipio de San Bernardo una pendiente entre 20% -55% aumentando la susceptibilidad a la erosión.

#### 7.4.4 Factor V

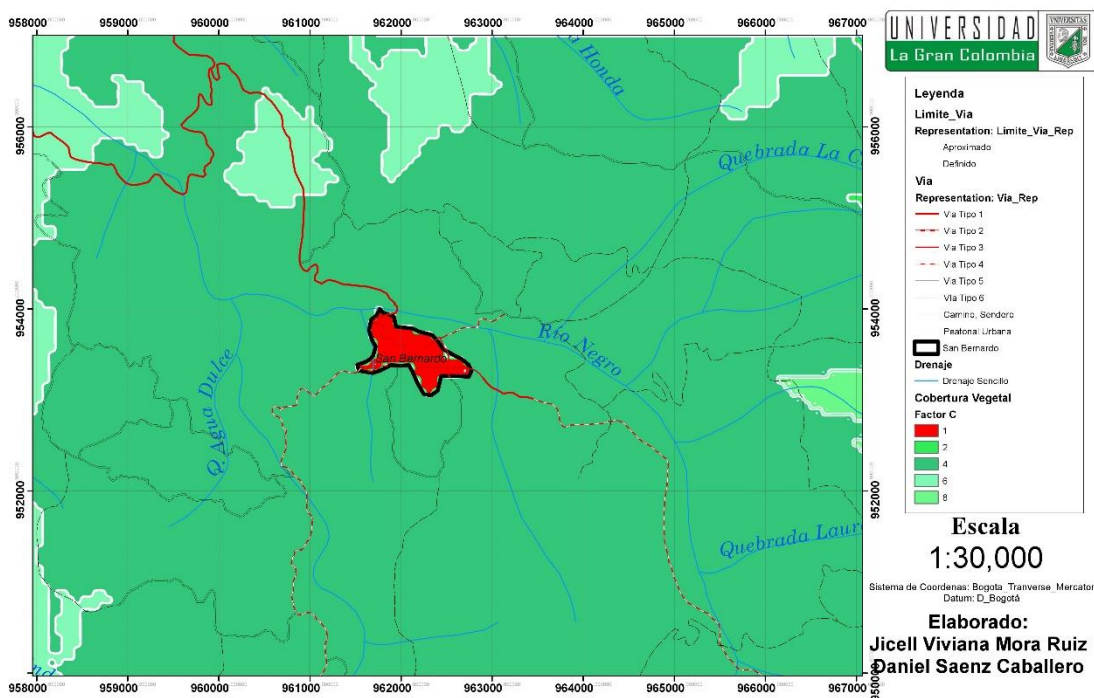
El factor V es el manejo agrícola de la zona, representa la capa vegetal según el uso que se le esté dando, para el factor C se utilizó la base de datos obtenida del IDEAM en donde se encuentra el tipo de cobertura vegetal de todo Colombia en los años, utilizando la herramienta ArcGis se localizó el sector, clasificando la cobertura existente y asignándole valores según de susceptibilidad a la erosión según la tabla, siguiendo el procedimiento anteriormente descrito.

En el municipio de San Bernardo se encontró vegetación como tejido urbano continuo, bosque denso, cultivos, pastos limpios entre otros. El plano realizado para la cobertura vegetal del margen del río Negro en el municipio de San Bernardo se encuentra en anexos.



Ilustración 49, Mapa factor cobertura vegetal

### Mapa Factor Cobertura Vegetal



Fuente: Elaboración propia.

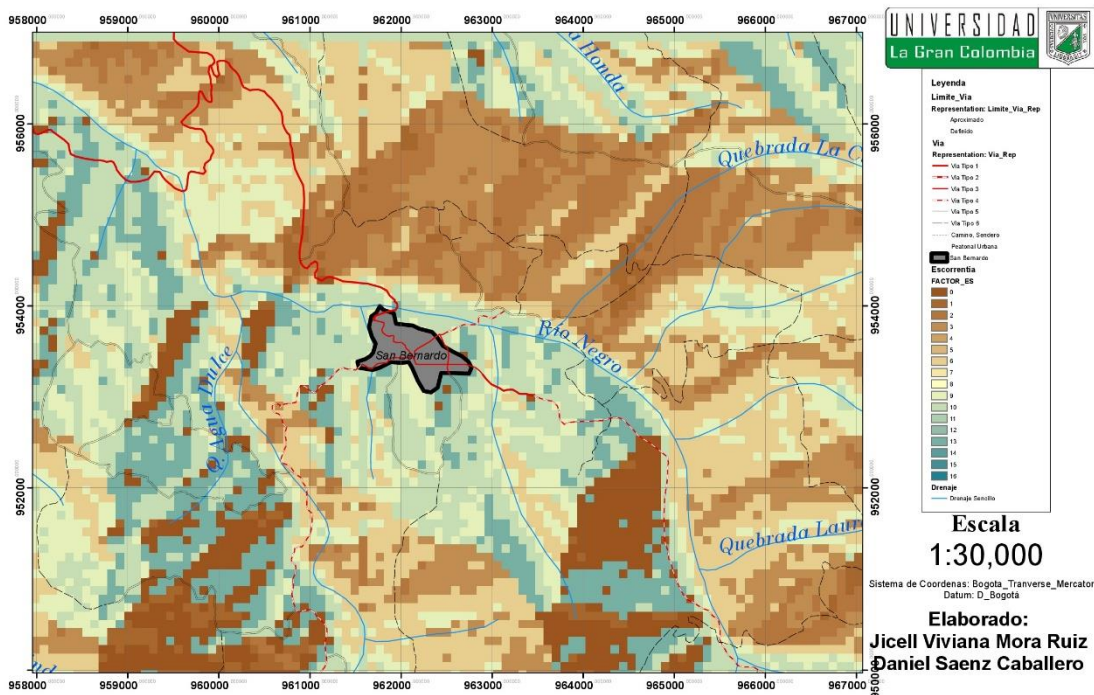
El mapa de cobertura vegetal se elaboró mediante información dada por el SIGOT Sistema de información Geográfica para la planeación y el ordenamiento territorial, se analizó la cobertura vegetal con lo que se evidencia un factor de susceptibilidad a la erosión por cobertura vegetal de 4 para el margen del río Negro en el municipio de San Bernardo.

#### 7.4.5 Factor Es

El factor de susceptibilidad a la erosión por escorrentía se utilizó la caja de herramientas de Spatial Analyst Hydrologic Modeling que posee el ArcGis 10.1, el cual, basándose en el MDE corregido y los drenajes, determina el área acumulada de escorrentía hasta cada celda. El procedimiento a seguir para la elaboración del mapa es relatado anteriormente. El plano de susceptibilidad a la erosión por escorrentía se encuentra en los anexos.

Ilustración 50, Mapa factor escorrentía

### Mapa Factor Escorrentía



Fuente: Elaboración propia.

.El mapa de escorrentía fue elaborado mediante el modelo de elevación digital de Colombia, como resultado se obtiene el anterior mapa en donde se muestra un aumento de la susceptibilidad a erosión sobre el margen del río Negro y en la zona inferior del municipio de San Bernardo, los factores de susceptibilidad a la erosión por escorrentía en esta zona va desde 11 a un máximo de 16 siendo este una susceptibilidad media y alta.

#### 7.4.6 Análisis Ecuación de USLE

Para la formulación de la ecuación la cual acompaña los factores de erosión se crean valores los cuales son multiplicados por cada uno de los mismos, esto se realizó con base en datos obtenidos de DESINVENTAR Sistema de Inventario de Efectos de Desastres, se analizó los eventos ocurridos en los años 2010 -2012 para la zona de San Bernardo y sus alrededores obteniendo los siguientes resultados.

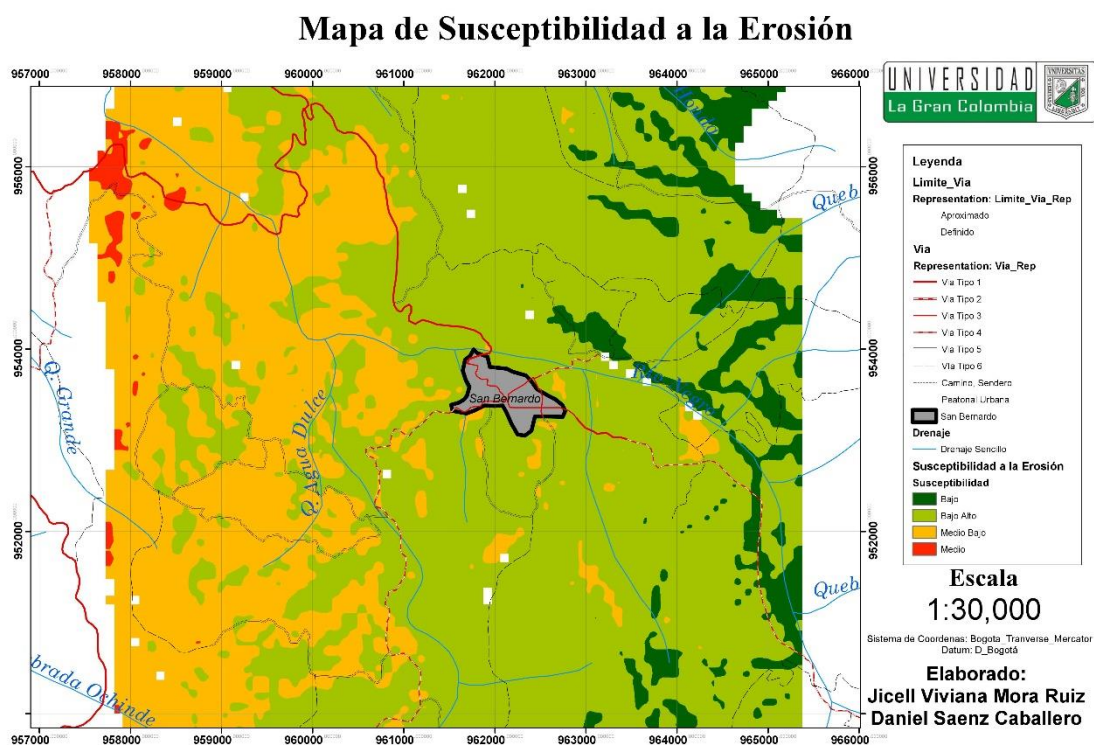
Para el factor geología se tuvieron en cuenta sismos y deslizamientos, para el factor precipitación se tuvieron en cuenta inundaciones, vendaval y lluvias, para el factor escorrentía se tuvieron en cuenta inundación y avenida torrencial, para el factor pendiente se tuvieron en cuenta deslizamientos, para el factor cobertura vegetal se

tuvieron en cuenta Incendio forestal e incendios. Con base en esto se generó un análisis de probabilidad de ocurrencia.

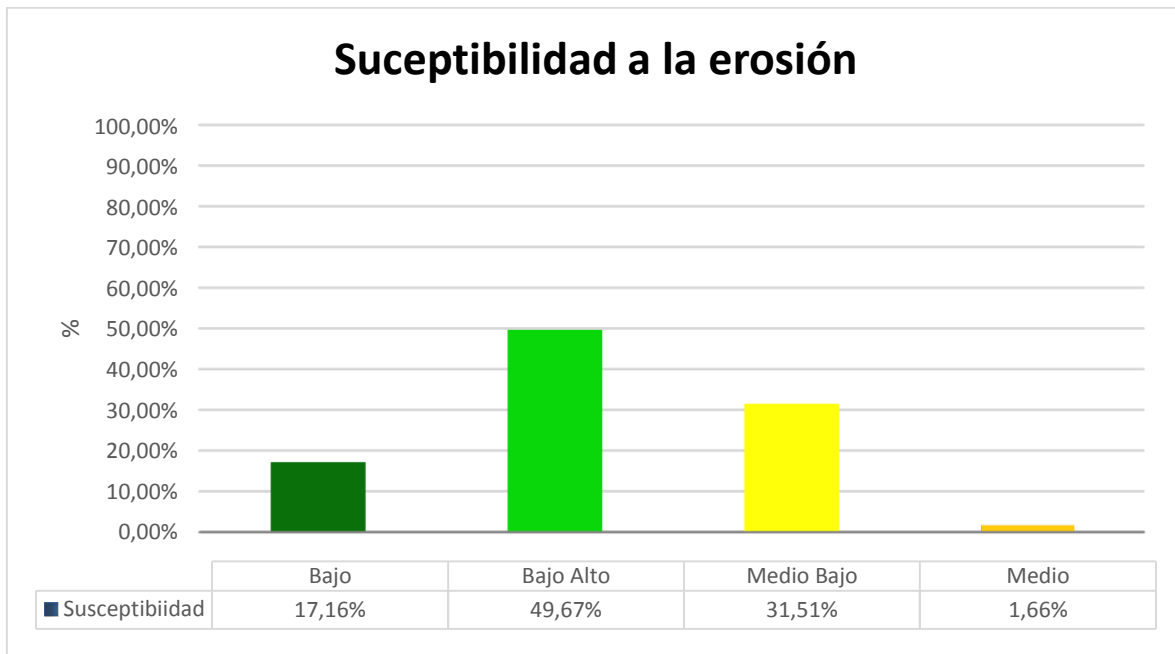
$$A = (0.1775 \times K) + (0.2727 \times R) + (0.1861 \times Es) + (0.1732 \times S) + (0.1905 \times C)$$

Mediante el programa ArcGis 10.1 es generado un mapa final de susceptibilidad a la erosión por medio de la herramienta “Raster Calculator” en el que se utiliza la ecuación y los factores previamente utilizados.

Ilustración 51, Susceptibilidad a la erosión USLE



El mapa final de susceptibilidad a la erosión es elaborado con base en los demás factores, como se podía evidenciar en los factores que influyen los rangos más altos se ubicaban en la zona superior del margen del río Negro, para el mapa final se corrobora esta información, muestra una susceptibilidad a la erosión media en la zona superior al margen del río aumentando hacia las zonas más montañosas en donde se encuentran cultivos de mora y granadilla.



En la gráfica se puede apreciar que la mayor parte del sitio se encuentra en susceptibilidad bajo alto con un porcentaje de 49,67%, posteriormente el 31,51% del área se encuentra en susceptibilidad medio bajo, de esta forma se puede decir que la susceptibilidad a la erosión hídrica laminar esta en rangos bajos, tan solo el 1,66% del área se encuentra en rango medio.

## 8. CONCLUSIONES

El aumento de la susceptibilidad a la erosión es ocasionado por factores climáticos y geológicos, la cobertura vegetal juega un papel importante en la protección de los suelos, en los últimos años los habitantes de San Bernardo han cambiado la cobertura vegetal nativa por cultivos, en otros casos se ve incidencias como la deforestación, incendios y la ganadería viéndose expuestos directamente a las lluvias erosionando el suelo. Al paso de los años las tierras se vuelven infértiles causada por el cultivo intensivo que disminuye los nutrientes del suelo, al abandonarlas se deja un suelo muy degradable y fácilmente erosionable.

El suelo en el margen del río Negro en el municipio de San Bernardo se ve compuesto por arcillas limosas de alta plasticidad que son un factor importante en las características del suelo como la disminución de la permeabilidad, con bajo contenido de materia orgánica debido a la deforestación, incendios, cambio de cobertura vegetal y herbicidas utilizados en cultivos, además son suelos blancos muy cohesionados, estos factores aumentan la susceptibilidad a la erosión, por otra parte, la topografía del suelo en el municipio contiene fuertes pendientes, las prácticas de cultivo a favor de la pendiente disminuyen la permeabilidad y la aireación, esto es producido por también puede ser producido por maquinaria pesada y la pisada del ganado, ocasionando erosión intensa.

El análisis de susceptibilidad a la erosión fluvial muestra un aumento a la erosión en la parte superior del margen del río Negro, esto se analiza con base a los ensayos de laboratorios realizados, batimetría realizada en dos secciones transversales en el margen del río, con esto se analiza la fuerza tractiva y la resistencia a la fuerza tractiva, en donde se encontraron materiales arcillo limosos de alta plasticidad aumentando la susceptibilidad a la erosión.

El mapa de susceptibilidad muestra que aguas arriba del río negro se presenta una menor susceptibilidad a la erosión esto debido a que se encuentran pendientes no muy escarpadas y la cobertura vegetal está compuesta por árboles frondosos, a medida que se acerca al casco urbano del municipio de San Bernardo la susceptibilidad cambia a bajo alto, esto debido a que la presencia de cultivos y las aumento de flujo por parte de las escorrentías. A medida que el río pasa el Casco urbano la susceptibilidad aumenta a medio alto, debido a las fuertes pendientes, poca cobertura vegetal que inciden en el aumento de la susceptibilidad.

El presente documento analizo la susceptibilidad a la erosión por dos metodologías diferentes las cuales arrojaron resultados similares, siendo la zona superior del margen del río Negro la más afectada por los procesos de erosión, este documento será imprescindible para futuros trabajos en el municipio de San Bernardo



## 10. BIBLIOGRAFIA

ALCALDIA DE SAN BERNARDO. Nuestro municipio. [En línea]. San Bernardo: Alcaldía de San Bernardo, Cundinamarca. 2012.

ALCALDIA DE SAN BERNARDO. Plan de desarrollo municipal San Bernardo 2012-2015. Noviembre. 2012.

BAUTISTA AMADO, Yaneth y MATEUS CALDERON, Laura J. Estudio de Socavación localizada en la pila número siete del puente Guillermo Gaviria Correa. Trabajo de grado Profesional en Ingeniería Civil. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería, 2008. 99 p.

BOTIA DIA, Wilmar. Manual de procedimientos de ensayos de suelos y memoria de cálculo. Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Civil.

COLOMBIA. CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA (CAR). Valores medios mensuales de precipitación. 2008.

COLOMBIA. Instituto Nacional de Vías. INV E 102-13. Descripción e identificación de suelos (procedimiento visual y manual). Norma de Ensayo de Materiales para Carreteras. Bogotá D.C. 798 p.

COLOMBIA. Instituto Nacional de Vías. INV E 125-13. Determinación del límite líquido de los suelos. Norma de Ensayo de Materiales para Carreteras. Bogotá D.C. 798 p.

COLOMBIA. Instituto Nacional de Vías. INV E 141-13. Relación de humedad – peso unitario seco en los suelos (ensayo normal de compactación). Norma de Ensayo de Materiales para Carreteras. Bogotá D.C. 798 p.

COLOMBIA. Instituto Nacional de Vías. INV E 142-13. Relación de humedad – peso unitario seco en los suelos (ensayo modificado de compactación). Norma de Ensayo de Materiales para Carreteras. Bogotá D.C. 798 p.

COLOMBIA. Instituto Nacional de Vías. INV E -154 -13. Ensayo de corte directo en condición consolidada drenada (cd). Norma de Ensayo de Materiales para Carreteras. Bogotá D.C. 798 p.

COLOMBIA. Oficina de planeación de San Bernardo Cundinamarca. Riesgos en San Bernardo Cundinamarca.

COLOMBIA. Oficina de planeación de San Bernardo. Gobernación de Cundinamarca. Ecosistemas IGAC-IDEAM.

CORTES, Alberto. Apuntes de clases de geología agrícola. Capítulo VIII. Ica – Peru: . Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica. 2010.

FARFAN, Juan. Determinación del índice de erosión pluvial (R) de la ecuación universal de pérdidas de suelo, para dos estaciones pluviográficas de la VII región del maule. Talca. Chile.2002.

GALLARDO AMAYA, Romel. Mecánica de suelos. Plan de estudios de ingeniería civil. Manejo y seguridad en el laboratorio. Universidad Francisco de Paula Santander. Ocaña.

GARCIA M. (1979), “Socavación de cimentaciones de Puentes”. Universidad Nacional Bogotá.

GONZALES, Marte. Ecuación de pérdidas de suelo. Pasado, presente y futuro. 1991. P13-50

Grupo sistema de información ambiental. Guía rápida temática para el usuarios SIG. Perdida máxima de suelo.

IGNEOMINAS, Instituto Colombiano de Geología y Minería. Sismología Colombia.

Ing CANCHON MENDEZ. Velkis. Plan de contingencia para fenómenos de remoción en masa en temporada de lluvias en el municipio de San Bernardo Cundinamarca. Contrato de consulta N° 257.Diciembre. 2010.

MANCILLA.E, Gabriel. Uso y conservación de suelos. Uso de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE) en el campo forestal. Universidad de Chile, Facultad de ciencias forestales, Departamento de silvicultura. Agosto 2008

Maza J.A. (1967), “Erosión del cauce de un río en el cruce de un puente”. Revista Ingeniería Hidráulica en México. vol. 21 - No. 1-2

MONTAÑEZ, Imelda. Informe Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales. Citado por REVISTA DINERO. El suelo productivo de Colombia sufre de “cáncer” por cuenta de la erosión. [En línea] En: Rev. Dinero. Julio, 2015. Disponible en <http://www.dinero.com/economia/articulo/niveles-erosion-colombia-alcanzan-40-extienden-nuevas-regiones/211722>.

PIZARRO. T. Roberto, FARFAN.Z. Juan, FARIAS. D. Cesar, JORDAN.D. Cristian. Estimación del factor de la U.S.L.E., En un trayecto oeste-este de Chile central. 0473-B2.



REPUBLICA DE COLOMBIA. Departamento de Cundinamarca. Esquema de ordenamiento territorial. Memoria justificada estudios técnicos. Alcaldía municipal. Concejo municipal. Oficina planeación –UMATA. Concejo de planeación. 2.000-2.011

REPUBLICA DE COLOMBIA. Departamento de Cundinamarca. San Bernardo. Propuesta EOT.

REPUBLICA DE COLOMBIA. Departamento de Cundinamarca. San Bernardo. Información turística municipio de San Bernardo Cundinamarca. Oficina de cultura y turismo.

REPUBLICA DE COLOMBIA. IGAC-IDEAM. Mapa de ecosistemas. Shapes Gobernación de Cundinamarca Información cartográfica oficina de planeación de San Bernardo, Uso del suelo municipio de San Bernardo.

REPUBLICA DE PERU. “progreso para todos”. Guía para el muestreo de suelos. Ministerio del ambiente.

RESTREPO, Juan D. Causas naturales y humanas de la erosión en la cuenca del río Magdalena. Abril, 2015.

REYES VENTURA, Miguel. Guía teórica y práctica sobre hidráulica de canales. Trabajo de grado Profesional en Ingeniería Civil. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de ingeniería. Departamento de ingeniería, 1997. Pág. 138.

ROCHA FELICES, Arturo. Erosión en pilares y estribos de puentes. [En línea]. Lima: IV Congreso internacional de la construcción – ICG. Segunda edición. 2008. 30p. Disponible en <http://www.lamolina.edu.pe/postgrado/doctorh/2012/Erosi%C3%B3n.pdf>

RUSLE. Modelo de la ecuación universal de pérdida de suelos. Citado por Miliarium, ingeniería civil y medio ambiente. [En línea] En: Miliarium, 2001, 2004. Disponible en <http://www.miliarium.com/prontuario/medioambiente/suelos/Rusle.htm>

SUAREZ, Jaime. Control de erosión en zonas tropicales. Ecuación universal de la erosión. Primera edición. 20 Bucaramanga: Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos — Ingeniería de Suelos Ltda. 2001.

TRIVIÑO TORRES, Julio A. Una alternativa de recuperación dl río Magdalena sector Barrancabermeja – La Gloria: Conozcamos y entendamos la naturaleza para disfrutar de ella poniéndola al servicio de la humanidad. 1997.

UNITED STATES. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). failures of bridges in the United States (1994). Erosion and scour structures. AASHTO. Washington D.C., 1994.

UNITED STATES. Department of transportation. Bridge inspection manual NYSDOT (2014). This document replaces the Bridge Inspection Manual – 1997 published in 1997 by the New York State Department of Transportation Office of Structures. This manual explains the requirements for general bridge inspections as required by New York State's Uniform Code of Bridge Inspection, NYCRR PART 165. New York State., 2014. 416p.

UNIVERSIDAD DEL CAUCA. Socavación en puentes, conceptos básicos sobre la socavación. Parte IV. Cauca: Universidad del cauca.

UNIVERSIDAD POLITECNICA DE EL SALVADOR. Cultura- Progreso – Libertad. Laboratorio de suelos. [En línea] En: Universidad Politécnica de Salvador. Disponible en <http://www.upes.edu.sv/facultades/laboratorios/civil/suelos-y-materiales.html?showall=1>

WEIGEL, Samantha. Half Moon Bay, county confront coastal erosion: Replacement of Seymour Bridge, recreational trail planned. [En línea]. California: The Daily journal. 2016. Disponible en <http://www.smdailyjournal.com/articles/news/2016-08-08/half-moon-bay-county-confront-coastal-erosion-replacement-of-seymour-bridge-recreational-trail-planned/1776425166310.html>