

**DETERMINACION DEL APOORTE DE SEDIMENTOS AL EMBALSE DE “EL
HATO” EN EL MUNICIPIO DE CARMEN DE CARUPA - CUNDINAMARCA, A
TRAVÉS DE LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO**



LUISA MARIA MORALES GONZALEZ

2074934

JOHANNA ALEXANDRA PORRAS ORTIZ

2074689

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS

INGENIERIA AMBIENTAL

PROYECTO DE GRADO

BOGOTA D.C 2014

DETERMINACION DEL APORTE DE SEDIMENTOS AL EMBALSE DE “EL HATO” EN EL MUNICIPIO DE CARMEN DE CARUPA - CUNDINAMARCA, A TRAVÉS DE LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO



LUISA MARIA MORALES GONZALEZ
2074934
JOHANNA ALEXANDRA PORRAS ORTIZ
2074689

PROYECTO DE GRADO

DIRECTOR:
DARWIN MENA RENTERIA
INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO
ESPECIALISTA EN GESTION AMBIENTAL
MAGISTER EVALUACION DE RECURSOS HIDRICOS

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
INGENIERIA AMBIENTAL
PROYECTO DE GRADO
BOGOTA D.C 2014

Contenido

1. RESUMEN DEL PROYECTO	10
2. INTRODUCCIÓN	12
3. OBJETIVOS	14
3.1. Objetivo General.....	14
3.2. Objetivos Específicos	14
4. MARCO DE REFERENCIA	15
4.1 Marco Contextual	15
4.1.1. Generalidades.....	15
4.1.1.1. Localización.....	16
4.1.2. Descripción de la cuenca	18
4.1.3. Características generales del embalse de El Hato	18
4.2 Marco Teórico	20
4.2.1. Descripción general del Embalse	21
4.2.2. Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.	21
4.2.3. Aplicación del Modelo USLE en Colombia.....	25
4.2.4. Sistemas de Información Geográfica (SIG).	26
4.2.5. Software Ilwis.....	26
4.3 Marco Conceptual	26
• Abastecimiento doméstico.	27
• Afluente.....	27
• Arcilla.....	27
• Batimetría.	27
• Bifurcación.....	27
• Canal abierto.....	27
• Arena.....	27
• Canales artificiales.....	27
• Captación.	28
• Carmen de carupa.	28
• Condiciones climáticas.....	28

• Conservación.....	28
• Corriente de agua.....	28
• Cuenca hidrográfica.....	28
• Distrito de riego.....	28
• Embalse.....	29
• Erosión.....	29
• Estructura de suelo.....	29
• Factor C.....	29
• Factor K.....	30
• Factor L.....	30
• Factor P.....	30
• Factor R.....	30
• Factor S.....	30
• Limo.....	30
• Morfometria.....	30
• Perdida de suelo.....	31
• Permeabilidad del suelo.....	31
• Precipitación.....	31
• Presa.....	31
• Procesos erosivos.....	31
• Rebosadero.....	31
• Recurso hidráulico.....	31
• Sedimentación.....	32
• Sistema lentico.....	32
• Sistema morfoclimático.....	32
• Suelo.....	32
• Textura del suelo.....	32
• Tierras agrícolas.....	33
• Túnel de desviación.....	33

• Usle.	33
• Usos del suelo.	33
4.4 Marco Legal.....	33
4. METODOLOGIA.....	35
5.1. Delimitación.....	35
5.2. Aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo USLE.....	38
5.2.1. Primera Etapa: Recolección y complementación de la información básica.....	39
5.2.2. Segunda etapa: Supervisión de campo.....	39
5.2.3. Tercera etapa: Determinación de los factores de la Ecuación Universal de Pérdida de suelo (USLE)	39
5.2.3.1. <i>Determinación del Factor de Erodabilidad K.</i>	40
5.2.3.2. <i>Determinación del Factor Erosividad de la lluvia o escurrimiento R.</i>	45
5.2.3.3. <i>Determinación del Factor Longitud e Inclinación de Pendiente LS.</i>	49
5.2.3.4. <i>Determinación del Factor Cobertura de Manejo C.</i>	51
5.2.3.5. <i>Determinación del Factor Practica mecánica de apoyo P.</i>	53
5.2.3.6. <i>Determinación del Valor de Perdida de Suelo A.</i>	54
5.3. Identificación de Escenarios Hidroclimatológicos.	56
5.4. Morfometría de la cuenca	60
5.5. Efectos de la sedimentación sobre el embalse El Hato	63
6. ANALISIS DE RESULTADOS.....	64
6.1. Factor de Erodabilidad (K):.....	64
6.2. Factor de Erosividad de la lluvia (R):	66
6.3. Factor de Longitud (L):	68
6.5. Factor de Cobertura de Manejo (C):	71
6.6. Determinación del Valor de Erosión (A):	72
6.7. Determinación del Valor de Erosión Final de Acuerdo a los Rangos (A):.....	73
6.8. Identificación de escenarios Hidroclimatológicos.....	75
6.9. Morfometría de la Cuenca	81
6.10. Generación de erosión a partir del uso y la cobertura del suelo.	82
6.11. Efectos de la sedimentación sobre el Embalse El Hato.....	83
7. CONCLUSIONES.....	86

8. RECOMENDACIONES	88
9. BIBLIOGRAFÍA.....	90

Contenido de Tablas

Tabla 1. Límites del Embalse El Hato.

Tabla 4. Valores de factor K y textura de cada muestra.

Tabla 8. Factor C para los cultivos del área de estudio.

Tabla 9. Rangos para la determinación de la erosión final.

Tabla 10. Descripciones de las estaciones de la cuenca del río El Hato.

Tabla 11. Valores de precipitación de los escenarios para la evaluación del índice de erosividad.

Tabla 12. Precipitaciones máximas, medias y mínimas de cada estación.

Tabla 13. Precipitaciones máximas, mínimas y medias por cada año.

Tabla 14. Número de orden de cada cauce de la cuenca El Hato.

Tabla 15. Longitud total de todos los cauces en Km²

Tabla 16. Valores interpretativos de la densidad de drenaje.

Tabla 17. Característica cualitativa del relieve de una cuenca de acuerdo a su pendiente.

Tabla 18. Promedio precipitaciones medias multianuales

Tabla 19. Precipitación Máxima y Mínima Para Cada Estación.

Tabla 20. Precipitación Máxima (Húmeda) Para Cada Estación/Año.

Tabla 21. Precipitaciones máximas en la cuenca del embalse El Hato.

Tabla 22. Erosión de la cuenca a partir de la precipitación.

Tabla 23. Análisis de los rasgos morfométricos de la Cuenca de estudio.

Tabla 24. Erosión de la cuenca a partir del uso y cobertura.

Tabla 25. Efectos de la sedimentación sobre el embalse.

Contenido de Figuras

Figura 1. Cuenca rio alto Ubaté, Embalse El Hato.

Figura 2. Ejemplo de una red de drenaje.

Figura 3. Ejemplo de curvas de nivel.

Figura 4. Corte convexo y cóncavo de la divisoria de una cuenca.

Figura 5. Delimitación de la Cuenca.

Figura 6. Puntos de muestreo para las zonas de la cuenca El Hato.

Figura 7. Guía Resumen para la determinación al tacto para diferentes clases texturales.

Figura 8. Monograma para el cálculo del factor K.

Figura 9. Precipitaciones Totales Mensuales –CAR–.

Figura 10. Precipitaciones Totales Mensuales –CAR– “Serie Inicial”.

Figura 11. Precipitaciones Totales Mensuales –CAR– “Serie Corregida Completa”.

Figura 12. Interpolación en IDW mes de enero.

Figura 13. Estaciones cuenca El Hato.

Figura 14. Corte del DEM.

Figura 15. Valores de factor C, por cada tipo de cultivo.

Figura 16. Metodología Para Estimación De Sedimentos En El Embalse El Hato.

Figura 17. Precipitaciones máximas, medias y mínimas de cada estación.

Figura 18. Espacialización de Erodabilidad de la Cuenca (factor K).

Figura 19. Espacialización de Erosividad de la Cuenca (factor R).

Figura 20. Espacialización de Longitud Pendiente de la Cuenca (factor L).

Figura 21. Espacialización de Inclinação Pendiente de la Cuenca (factor S).

Figura 22. Espacialización de Cobertura de Manejo de la Cuenca (factor C).

Figura 23. Espacialización de la Erosión de la Cuenca.

Figura 24. Espacialización de la Erosión Final de acuerdo a los Rangos Establecidos.

Figura 25. Promedio de Precipitación media multianual.

Figura 26. Precipitaciones para cada estación.

Figura 27. Año con mayor precipitación por cada estación.

Figura 28. Precipitaciones máximas en la cuenca del embalse El Hato.

Figura 29. Mapa de cobertura de manejo vs erosión.

1. RESUMEN DEL PROYECTO

Según el sistema de información ambiental de Colombia, el uso y aprovechamiento de los recursos naturales en el territorio colombiano ha generado degradación por distintos fenómenos como la erosión y la sedimentación, siendo estos los más notorios y de amplias incidencias económicas, sociales y ecológicas. Las causas de esta degradación principalmente enmarcan factores naturales y antrópicos ligados a la historia geológica y morfoclimática, acentuada por la actividad social desordenada, que cada día se hace más crítica, debido al conflicto entre el uso que el hombre hace de su entorno ambiental y las potencialidades que este le brinde.

Así pues, la generación de sedimentos en una cuenca hidrográfica ha tenido gran incidencia en la vida útil de los embalses, ya que las condiciones de esta generación, pueden incidir en la batimetría del vaso, reduciendo o manteniendo la vida útil del reservorio de agua. Es por esto, que se considera importante estimar el aporte de suelo erosionado de la cuenca Hidrográfica del río Hato, más específicamente en el embalse que lleva el mismo nombre, ubicado en el municipio de Carmen de Carupa en el departamento de Cundinamarca – Colombia, mediante la implementación la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE: Universal Soil Loss Equation).

Actualmente, el método más utilizado para el cálculo de la erosión hídrica es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo mencionada con anterioridad, la cual integra dentro de sus bondades, la cuantificación de la cantidad de sedimentos aportados a cuerpos de agua, sirviendo también como herramienta para la evaluación de la severidad de la erosión.

Este proyecto permitió identificar y evaluar algunos de los factores que representan el proceso de erosión como son: la precipitación, el tipo de suelo, la pendiente y la vegetación con la ayuda del Software Ilwis, para evaluar la erosión generada en la cuenca y el depósito de sedimentos en el embalse El Hato, además, de obtener una estimación de los aportes de sedimentación que llegan al embalse, siendo estos resultados, una representación simplificada de la realidad de cómo se puede llegar a comportar el sistema natural.

Aunque a pesar de utilizar un método desarrollado en condiciones climáticas y edafológicas de los Estados Unidos, cabe resaltar que los factores que considera, son en forma general, los que producen la erosión en cualquier parte del mundo,

pudiendo entonces ser aplicable en nuestro medio para estimar las tasas de pérdida de suelo en la cuenca El Hato.

La cantidad de aportes de sedimentos arrojados por el modelo representa un alto porcentaje en la erosión de la cuenca de estudio. Esta evidencia obtenida puede ser utilizada como herramienta de planificación para nuevas recomendaciones futuras de usos y manejo del suelo.

Los efectos de la sedimentación en el embalse van encaminados hacia un mismo punto y es la colmatación del mismo. La disminución de agua, esta procurada en parte, por la características climatológicas que enmarcan el sistema, pero existe una que potencializa aún más la generación de sedimentos y es la acción humana.

Cabe mencionar que para el desarrollo del proyecto se emplearon herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), que permitieron una mejor interpretación de los datos generados. El uso de SIG permitió obtener estimaciones de pérdida de suelo a través del análisis espacial multiplicativo de los factores de la USLE, al igual que el mayor factor de incidencia en el proceso erosivo y, visualizar y localizar las áreas de mayor riesgo a la erosión.

Es importante tener en cuenta que el modelo USLE, puede tener varias limitaciones en cuanto a su utilización, puesto que al determinar los parámetros de la ecuación, en ocasiones tiene carácter subjetivo, esto, dependiendo de la experiencia de los investigadores y de la información disponible como lo es el caso de la longitud de registro y la calidad de los datos meteorológicos, lo cual conlleva a porcentajes de errores altos en las estimaciones pues dependen netamente de registros históricos.

2. INTRODUCCIÓN

Los sedimentos ocasionan en Colombia serios problemas principalmente debido a las condiciones geológicas, topográficas, meteorológicas, de suelos y vegetación en la mayor parte del país. Éstos tienen una gran influencia sobre la factibilidad técnica y económica y sobre la operación de proyectos de recursos hídricos y estructuras hidráulicas como lo es el caso del embalse El Hato.

Por lo tanto, los sedimentos influyen sobre los embalses en varias formas; la principal es la disminución del volumen útil y obstrucción de tomas, estaciones de bombeo, descargas de fondo, entre otras.

La evaluación precisa de esta influencia se hace difícil porque normalmente existen limitaciones significativas en la información básica disponible. Cualquiera que sea el tamaño de un embalse o el uso final que se le dé al agua, la principal función de éste es la de estabilizar el flujo de agua, para regular el suministro en una corriente natural o bien sea, para satisfacer una variada demanda por parte de los consumidores.

El embalse del Hato fue construido para operar con un volumen útil de 12.8 millones de metros cúbicos [1]; y en la actualidad, dicho embalse tiene un volumen aproximado de 10.8 millones de metros cúbicos, según los levantamientos batimétricos realizados por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) [2]; presentando entonces una reducción aproximada de 2 millones de metros cúbicos en la actualidad.

Los procesos erosivos y la producción de sedimentos tienen una significación especial en la cuenca del río Hato, donde la topografía abrupta, la variabilidad climática, las características de los suelos y la localización del embalse en la parte baja de la cuenca, se conjugan para resaltar la importancia de identificar y cuantificar los procesos erosivos existentes en la cuenca.

Los factores naturales que permiten el desarrollo en forma avanzada y peligrosa del proceso de erosión hídrica y la sedimentación en el país son entre otros: el tipo de material afectado (suelo), los factores climáticos como la precipitación, el gradiente del terreno, las condiciones de drenaje y la ausencia de un adecuado manejo de los suelos o especialmente los de ladera; aunque es fundamental mencionar el papel de protección que ofrece la cobertura vegetal al medio como un factor natural incidente en la protección a la erosión. El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia –IDEAM-, señala que en el

país se están perdiendo entre 170.000 a 200.000 Ha/año, teniendo en cuenta sólo los primeros 20 cm de profundidad [3].

El estado actual del conocimiento sobre la erosión del suelo y sus efectos en el país es esencialmente cualitativo, de tal forma que la información cuantitativa sobre los procesos erosivos, sus efectos en la productividad, en la sedimentación, no están disponibles aún. Esta falta de información, dificulta la identificación y la aplicación de prácticas estratégicas efectivas de conservación y la rehabilitación de las tierras en el país.

Teniendo en cuenta lo anterior, en esta investigación se propuso estimar el aporte de sedimentos en la cuenca hidrográfica del río Hato con base en la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE). Para ello se realizaron toma de muestras del suelo de la cuenca, y se realizaron los análisis de granulometría y permeabilidad en el laboratorio de suelos, empleando métodos de cabeza constante y tamizaje; además se tuvieron en cuenta los registros de los datos históricos de las precipitaciones, la cobertura vegetal, longitud y pendiente de la cuenca y; mediante análisis espacial de los datos a través de un software GIS, que permitieron determinar el valor de la pérdida de suelo “A (pérdida de suelo por unidad de superficie)” en el embalse El Hato.

Para obtener el valor de la pérdida de suelo “A”, la metodología empleada en esta investigación permitió obtener estimaciones de pérdida de suelo, teniendo en cuenta la información de lluvia de más de 10 años, curvas de nivel y mapas de suelo. Los principales resultados permiten priorizar zonas de riesgo para focalizar acciones de conservación de suelos en las zonas que presentan mayor riesgo, teniendo en cuenta la preservación del recurso, como por ejemplo la conservación de la cubierta, estableciendo y manteniendo una cubierta vegetal perdurable para proteger el suelo y los recursos hídricos en las tierras apartadas de la producción agrícola.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Estimar el aporte de sedimentos en la cuenca hidrográfica del río Hato con base en la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE).

3.2. Objetivos Específicos

- Establecer los rasgos morfométricos característicos de la cuenca hidrográfica del río El Hato.
- Identificar los escenarios hidroclimatológicos de la cuenca hidrográfica del río El Hato, a partir de la información existente en los registros históricos.
- Identificar los usos y cobertura de los suelos de la cuenca aferente y su comportamiento frente a la capacidad de almacenamiento del embalse.
- Establecer los efectos de la sedimentación sobre el embalse El Hato, para diferentes escenarios.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1 Marco Contextual

En este apartado se relacionan los elementos de la teoría que constituyen la base del enfoque con el que se abordó el problema.

4.1.1. Generalidades

En Colombia se presentan serios problemas ocasionados por los sedimentos debido a las condiciones geológicas, topográficas, meteorológicas, de suelos y vegetación en la mayor parte del país [4].

Cualquiera que sea el tamaño de un embalse o el uso final que se le dé al agua, la principal función de éste es la de estabilizar el flujo de agua, para regular el suministro en una corriente natural o bien sea, para satisfacer una variada demanda por parte de los consumidores.

Los sedimentos tienen una gran influencia sobre la factibilidad técnica y económica y sobre la operación de proyectos de recursos hídricos y estructuras hidráulicas [5]. La evaluación precisa de esta influencia se hace difícil porque normalmente existen limitaciones significativas en la información básica disponible.

De hecho, los sedimentos influyen sobre los embalses en varias formas, la principal es la disminución del volumen útil y obstrucción de tomas, estaciones de bombeo, descargas de fondo, entre otras.

Como se nombró con anterioridad, según los actuales levantamientos batimétricos realizados por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), el embalse tiene un volumen aproximado de 10.8 millones de metros cúbicos [2], y comparándolo con el volumen de construcción para operar de 12.8 millones de metros cúbicos [1]; se evidencia que actualmente el embalse está presentando una reducción aproximada de 2 millones de metros cúbicos.

Los procesos erosivos y la producción de sedimentos tienen una significación especial en la cuenca del río Hato, donde la topografía abrupta, la variabilidad climática, las características de los suelos y la localización de un embalse en la

parte baja de la cuenca, se conjugan para resaltar la importancia de identificar y cuantificar los procesos erosivos existentes en la cuenca.

4.1.1.1. Localización

El embalse de El Hato y su cuenca hidrográfica aportante se encuentra localizado al norte del departamento de Cundinamarca, en jurisdicción del municipio de Carmen de Carupa, aproximadamente a 10 kilómetros de la zona urbana del municipio de Ubaté, tomando la carretera que conduce a Carmen de Carupa [6]. Éste municipio limita con los municipios de San Cayetano, por el Occidente, con los municipios de Tausa y Sutatausa por el sur, con Ubaté y Susa por el Oriente y con Simijaca y el Departamento de Boyacá (Municipios de Buenavista y Coper) por el Norte [7]. La cuenca del río El Hato hasta el embalse del mismo nombre se extiende entre las coordenadas 1°013.202 m E., 1°067.192 m N. y 1°019.161 m E., 1°078.060 m N., punto correspondiente a la presa del embalse El Hato [8].

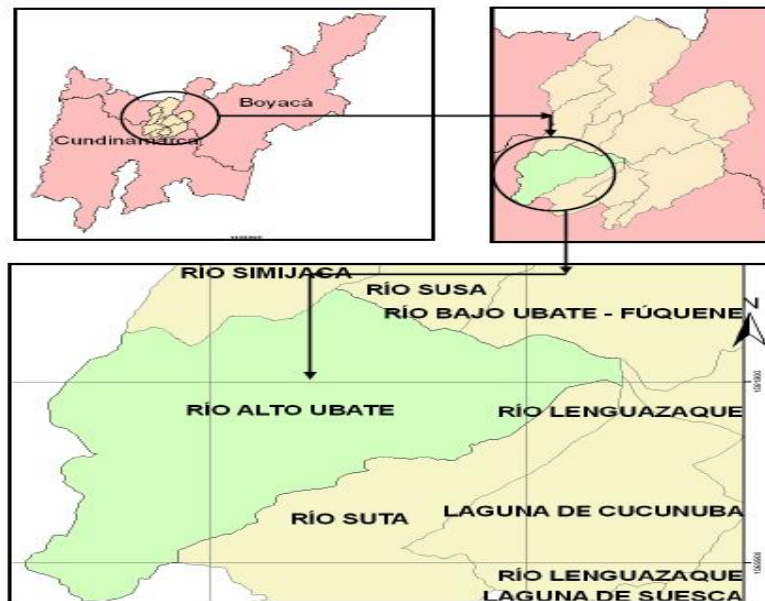
Tabla 1. Límites del Embalse El Hato

PUNTO DE REFERENCIA	LIMITES
Sur	Subcuenca Río Suta
Norte	Subcuencas Río Simijaca y Río Susa
Oriente	Subcuencas Río Suta y Río Bajo Ubaté
Occidente	Municipio de San Cayetano

Fuente: [6].

A continuación se muestra la localización espacial de la cuenca río alto Ubaté y el embalse El Hato como representación gráfica. (Ver Figura 1):

Figura 1. Cuenca Rio alto Ubaté, Embalse El Hato.



Fuente: [6].

4.1.1.2. Situación actual

Según el Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT), el diagnóstico y análisis situacional del Municipio, pone en evidencia que el modelo de ocupación, apropiación, distribución de usos y actividades humanas y desarrollo físico territorial, no está orientado a favor de mejorar la calidad de vida de su población, a la distribución equitativa de los recursos, ni a la promoción de un modelo de desarrollo que sea compatible con las características naturales del Territorio.

De acuerdo con el Análisis de Situación Actual, se estableció para Carmen de Carupa el rol de pequeño asentamiento urbano con estructura agrícola minifundista y distribución dispersa de población, características que comparte con otros municipios de la provincia de Ubaté del Departamento de Cundinamarca, pero con especial localización con respecto a centros regionales principales (Bogotá, Ubaté, Zipaquirá) [9]. La base de la economía en una primera medida del municipio de Carmen de Carupa es el sector agrícola, (con el producto de la papa) y como segundo sector, es el pecuario con la ganadería en la producción de leche [7].

Carmen de Carupa hace parte de un sistema ambiental compartido en el que sobresalen la presencia de ecosistemas estratégicos tales como: La cuenca de la Laguna de Fúquene, las subcuencas de los ríos Ubaté y Suarez, la cuenca del embalse del Hato, el páramo de Guerrero y el sistema de microcuencas regionales sobre el que se asienta la gran mayoría de la población de la región.

Esta estructura ambiental, se encuentra hoy intervenida y afectada de manera importante por la acción antrópica que ha venido degradando sus condiciones naturales que ponen en riesgo la estabilidad de la región [9].

4.1.2. Descripción de la cuenca

El río El Hato hace parte del sistema hídrico de la cuenca del río Ubaté y Suárez; el río Ubaté, es el resultado de la unión de los ríos El Hato y la Playa aguas abajo del embalse de El Hato, posteriormente drena sus aguas hacia la zona plana del valle de Ubaté y Chiquinquirá, recogiendo las aguas de los ríos Suta y Lengua para finalmente desembocar en la laguna de Fúquene, la cual da origen al río Suárez.

La cuenca del río El Hato se localiza en la cordillera oriental, en jurisdicción del municipio de Carmen de Carupa, enmarcada al norte por la meseta de Carmen de Carupa y una serie de serranías que se encuentran sobre los 3000 msnm, por el sur con la cuchilla de tierra negra y Páramo bajo, sobre los 3,600 msnm que las separan de la cuenca del río Bogotá, por el oriente con las cordilleras Peña y Peñas Coloradas que se encuentran sobre los 3,200 msnm y por el occidente con las serranías que forman el Alto Pedregal, y el Cerro Negro, sobre los 3,600 msnm.

El relieve de la cuenca del río El Hato es predominantemente quebrado, con vertientes de alta pendiente, vegetación de páramo en la parte más alta, extensas zonas de cultivos, especialmente de papa y hortalizas y una incipiente actividad ganadera.

El área de drenaje de la cuenca tributaria del río El Hato hasta el sitio de presa en el embalse del mismo nombre es de 52.64 km², con un caudal anual medio de 0.424 m³/seg y una regulación anual de 13.3 millones anuales, aguas abajo del embalse tributan la quebrada el Molino y el río Playa, los cuales conforman el río Ubaté, el cual aguas arriba del municipio de Ubaté presenta un caudal medio anual de 0.768 m³/seg [8].

4.1.3. Características generales del embalse de El Hato

El embalse de El Hato se encuentra localizado en el municipio de Carmen de Carupa, a cuatro km aguas arriba de la confluencia de los ríos Hato y La Playa.

El embalse El Hato fue construido a comienzos de la década de los 90 por Armando Polito Mendoza y Carlos Alberto Gómez Arboleda y puesto en funcionamiento a principios de 1992, financiada por la CAR con el objeto de suministrar agua para los acueductos de los municipios de Carmen de Carupa y Ubaté, al igual que para regular las crecientes del río Hato en su parte alta y complementar los requerimientos de agua existentes en las 26000 has del Distrito de Riego Fúquene – Cucunubá, especialmente en las épocas de verano.

De acuerdo al estudio de batimetría de la CAR, la capacidad de embalse es de 12'727.743 millones de m³, un área máxima de inundación de 103 has y niveles de operación que oscilan entre un mínimo 2838 msnm y un máximo de 2847.57 msnm, con un nivel medio de operación de 2844 msnm [8].

Las obras principales que conforman el embalse de El Hato son las siguientes:

- Presa: Es en tierra de 36 mt de altura, con gran cantidad de rocas y núcleo de arcilla y una longitud de cresta de 47 mt.
- Rebosadero de tipo canal abierto, con una capacidad máxima de descarga de 20 m³/seg, construido en piedra pegada y una cota en la cresta de 2847 msnm.
- Descarga de fondo: Está conformada por una rejilla de 1.5 m de altura, que se localiza aguas arriba del tapón de concreto con una longitud de 5 m
- Tubería de fondo, ubicada a continuación de la rejilla en acero de 1 m de diámetro y 85 m de longitud, en este tramo se encuentran instalados los siguientes accesorios: válvula de mariposa (ubicada a 10.7 m desde el final del tapón de concreto), manhole de 24 " de diámetro (ubicado a 72.6 m desde el final del tapón de concreto), válvula Monovar de regulación de multichorro (ubicada a 74.6 m desde el final del tapón de concreto) y enderezador de flujo tipo " nido de abejas " con longitud de 500 mm y malla de 70 mm localizada inmediatamente aguas abajo de la válvula Monovar. La tubería se encuentra albergada dentro de un túnel revestido en concreto de 65 m de longitud.

4.1.4. Aspectos climatológicos

4.1.4.1. Generalidades

Debido a la localización geográfica de la zona de estudio, ubicada en una zona de bajas latitudes, entre los 4° 15' y 5° 45' al norte del Ecuador, sobre la cordillera Oriental de la zona Andina colombiana, el clima de la región es de carácter

tropical, determinado principalmente por las variaciones altimétricas, la topografía del relieve y la influencia que ejerce el movimiento de la Zona de Confluencia Intertropical (ITC), la cual genera a su paso dos períodos húmedos y dos secos que se presentan intercalados a lo largo del año.

Otros elementos que ejercen influencia en las características climáticas de la cuenca del río Hato, además de la precipitación y la temperatura, son la humedad relativa, el brillo solar y los vientos especialmente.

Los vientos son de gran importancia en el clima de la zona, debido al accidentado relieve de los Andes se producen infinidad de corrientes de circulación local que generan microclimas en la cuenca. Este fenómeno proviene de la circulación de las masas de aire originada por diferencias térmicas locales, luego de la calma matutina, los vientos comienzan a subir desde el fondo del valle hacia las vertientes, en las zonas de ascenso el enfriamiento provoca la condensación de agua, la aparición de nubosidad local en la parte alta de la cordillera y la generación de lluvias, por el contrario, en el centro del valle predomina el tiempo seco. En las horas de la noche la circulación se invierte.

4.2 Marco Teórico

Los embalses son lagos artificiales contenidos mediante una presa o dique, diseñados por el hombre para cumplir con el propósito de almacenar agua en temporada de alta pluviosidad, servir como zona de amortiguamiento de inundaciones aguas arriba, proveer de agua para consumo humano, generación eléctrica y por último y no menos importante como espacio de esparcimiento y recreación al público. Algunos de los lagos artificiales más importantes existentes en el país son la Regadera, conformado por los ríos Muña, Neusa, Sisga y Tominé, así como, el embalse de la laguna de Chingaza, en el páramo de su mismo nombre. En la producción de energía eléctrica, se destacan las represas de Riogrande y Guatapé en Antioquia, las de Calima y Anchicayá, en el Valle del Cauca y La esmeralda por el río Batá (Boyacá), que es la mayor entre todas. También se encuentra la represa del Prado en el Tolima, formada por los ríos Prado y Cunday [5]. No se puede hablar de embalses, sin incluir a Urrá, controvertida obra hidroeléctrica, construida en el alto Sinú en el año 1992.

Los sedimentos juegan un papel importante en la vida útil de los embalses; éstos son conducidos por corrientes de agua y depositados en el fondo de los ríos,

canales artificiales y/o en los mismos embalses, lo que condiciona la duración del reservorio en función de la cantidad y del material.

4.2.1. Descripción general del Embalse

El embalse El Hato se encuentra localizado al sur del municipio de Carmen de Carupa, en la región de Ubaté. Fue construido entre los años de 1990 y 1992, como un embalse multipropósito, destinado al abastecimiento doméstico de distritos de riego y, al control de crecientes del río Ubaté. Este proyecto tiene como obras principales una presa zonificada, un túnel de desviación con estructuras de captación, control y descarga de fondo y un rebosadero de emergencia en el canal abierto [10]. La presa es una estructura de 32 metros de altura, de tipo enroscado con núcleo de arcilla, la cual origina un embalse máximo de 12,8 millones de metros cúbicos [11].

Adicional, el embalse es un sistema léntico, localizado sobre la vertiente occidental de la cordillera oriental, en la cuenca de la laguna de Fúquene (sub-cuenca de Ubaté-Suta, ésta abarca una superficie de 33.210 ha.), con una elevación promedio de 2700 m.s.n.m. Es un elemento de sistema hidrográfico de la cuenca del río Ubaté, y el río Hato es su único efluente, el cual es usado principalmente para regular los caudales para el distrito de riego [10].

La construcción de este embalse se dio debido a que la laguna de Fúquene al ser la principal fuente de abastecimiento para la zona, se encontraba con graves problemas de sedimentación, lo que dificultaba el abastecimiento de agua para las comunidades. Estudios indicaron que a la Laguna de Fúquene llegaban aproximadamente 86.000 Ton/año de sedimentos, y que además entre la Laguna y la estación limnigráfica de Garavito se producían 54.900 Ton/año; se estimó que en la Laguna quedaban retenidos 10.500 Ton/año [1].

4.2.2. Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelos, USLE, fue desarrollada en Estados Unidos por Wischmeier y Smith (1978), como una metodología para la estimación de la erosión laminar en parcelas pequeñas. Luego de varias modificaciones la ecuación se presenta como una metodología de gran utilidad en la planificación de obras de conservación de suelos. Se ha considerado que la USLE, hasta el momento, representa la metodología más idónea para el cálculo de las pérdidas de suelo en tierras agrícolas; por ello, se ha utilizado esta metodología como una

guía para la evaluación de acciones en manejo de cuencas, en especial aquellas que conllevan a un cambio del uso de la tierra y manejo de suelos [12].

Modelo propuesto por Wischmeier y Smith:

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

En donde,

A: Es la pérdida de suelo por unidad de superficie, medida en toneladas o megagramos por unidad de superficie (Mg/ha).

R: Es el factor erosividad de la lluvia; es el producto acumulado para el período de interés (normalmente un año), con cierta probabilidad de ocurrencia (normalmente 50% o promedio), de la energía cinética por la máxima intensidad en 30 minutos de las lluvias. Sus unidades son (MJ/ha. año).(mm/h)/10, pero, por simplicidad, las resumiremos en energía cinética por unidad de superficie (J/ha).

K: Es el factor erodabilidad del suelo; es la cantidad promedio de suelo perdido por unidad del factor erosividad de la lluvia (Mg/J), cuando el suelo en cuestión es mantenido permanentemente desnudo, con laboreo secundario a favor de una pendiente de 9 % de gradiente y 22,1 m de longitud.

Los demás factores son adimensionales:

L: Es el factor longitud de la pendiente; la relación entre la pérdida de suelo con una longitud de pendiente dada y la que ocurre en 22,1 m de longitud, a igualdad de los demás factores.

S: Es el factor gradiente de la pendiente; la relación entre la pérdida de suelo con un determinado gradiente y el estándar de 9 %, a igualdad de los demás factores.

C: Es el uso y manejo; es la relación de pérdidas por erosión entre un suelo con un determinado sistema de uso y manejo (rotación de cultivos, manejo de los mismos, laboreo, productividad, manejo de residuos, etc.) y el mismo suelo puesto en las condiciones en que se definió K, a igualdad de los demás factores.

P: Es el factor práctica mecánica de apoyo; la relación entre la pérdida de suelo con determinada mecánica (laboreo en contorno, en fajas, terrazas, etc.) y la que ocurre con laboreo a favor de la pendiente, a igualdad de los demás factores [13]. Según Wischmeier (1978), la USLE puede utilizarse adecuadamente para:

- Predecir la pérdida anual de suelo de una pendiente en un campo con condiciones específicas, para uso de la tierra determinado.
- Servir como guía en la selección de un sistema de cultivo, manejo y de prácticas de conservación para suelos y pendientes específicos
- Predecir las pérdidas de suelo que resultarían por un cambio en los sistemas de cultivo o en los métodos de conservación sobre un campo específico
- Determinar como puede afectarse o alterarse las prácticas de conservación para permitir un cultivo más intensivo
- Estimar las pérdidas de suelo en áreas con un uso de suelo distinto del agrícola
- Obtener estimación de pérdida de suelo para que los conservacionistas determinen las necesidades de conserva.

El modelo USLE ha tenido muchas modificaciones y revisiones en un proceso continuo de investigación, producto de avances científicos, al igual que por una mayor comprensión de la realidad de los suelos, lo cual ha generado nombres en la ecuación como MUSLE y RUSLE (Onstad y Foster, 1975; Renard *et al.*, 1997).

A pesar de ser un método desarrollado en las condiciones climáticas y edafológicas de los Estados Unidos, los factores que considera son en forma general, los que producen la erosión de cualquier lugar del mundo, pudiendo ser aplicable entonces en nuestro medio para estimar la tasa de pérdida de suelo en una cuenca específica.

En forma adicional, se debe señalar que cada uno de los factores precisados puede ser representado y visualizado en forma georeferenciada mediante el uso de los sistemas de información geográfica (SIG), lo cual permite analizar el comportamiento espacial de los mismos [14].

En suramerica se ha aplicado el modelo con muy buenos resultados, como es el caso de Venezuela, donde se realizaron estudios de parcelas de erosión, con la

finalidad de caracterizar los factores de la erosión hídrica que afectan a un suelo de la cuenca media del río Chama de los Andes. En este estudio se procesó información meteorológica y de estudios agrológicos y se hicieron comparaciones entre mediciones en campo y estimaciones de la pérdida del suelo mediante el modelo USLE.

En Chile también se realizó un estudio en el año 2000, donde se evaluó el modelo USLE en la estimación de la erosión hídrica en un Alfisol ubicado en la comuna San Pedro, Región Metropolitana de Chile, comparando las estimaciones de erosión proporcionadas por el modelo y utilizando dos adaptaciones para la valoración de la erosividad de la lluvia, con las respectivas mediciones de erosión obtenidas en parcelas experimentales en años recientes [15].

Las conclusiones a las que se pudo llegar con este estudio, consistieron en que el modelo USLE fue capaz de establecer aproximaciones con relación a la tendencia de los datos, es decir, los datos estimados fueron consistentes y siguieron el mismo patrón de los datos tomados en campo, a pesar de las ligeras sobreestimaciones y subestimaciones. Las posibles causas del comportamiento del modelo USLE en las estimaciones de la erosión hídrica para la zona de estudio son, la baja erosión observada en esas situaciones de manejo como subsolado, zanjias de infiltración y pradera natural, donde el error puede ser más grande que los datos obtenidos en campo. Así mismo, el empleo de la precipitación mensual en ambas ecuaciones, utilizadas para el cálculo del factor de erosividad de la lluvia que puede ocultar el efecto erosivo de lluvias diarias de gran magnitud [15].

Otra aplicación del modelo se realizó en Uruguay en el año 2001, en dónde se efectuó el estudio “Aplicaciones del modelo USLE/RUSLE para estimar pérdidas de suelo por erosión en Uruguay y la región sur de la cuenca del río de la plata”, el cual fue realizado por Clérico, C y García Préchac. [16]; teniendo como objetivo presentar los avances realizados por el modelo con el fin de adaptarlos a la zona de investigación, lo que arrojó como resultado ejemplificar las aplicaciones que se han realizado en la utilización del modelo USLE/RUSLE en Uruguay y en la región, para ilustrar sus usos potenciales [16].

4.2.3. Aplicación del Modelo USLE en Colombia

En Colombia, se han realizado investigaciones en las que se ha implementado la ecuación universal de la pérdida de suelo, como lo evidencia el estudio de la “Evaluación del Riesgo por Erosión Potencial de la Zona Cafetera Central del Departamento de Caldas” de la facultad de Ingeniería Forestal de la Universidad del Tolima, en el año 2006.

El objetivo de la investigación fue “caracterizar las zonas de acuerdo a la erosión potencial, como una herramienta de planificación y así contribuir con la sostenibilidad de los recursos” [17], implementando la ecuación universal de la pérdida de suelo. Con esta investigación se generó un método que permitió estimar la erosión potencial de los suelos de la zona cafetera central del departamento de Caldas, mediante el uso de modelos de evaluación directa para algunos atributos del suelo e indirecta para otros; utilizando también técnicas de análisis de información geográfica. Esta información permite identificar y evaluar los factores mas importantes que intervienen en el proceso de erosión hídrica a escala de región, así como contribuir al desarrollo de planes de uso y manejo del suelo [17].

Otro estudio realizado en el país, es el “Modelo Para Evaluar La Erosión Hídrica En Colombia Utilizando Sistemas De Información Geográfica” de la Universidad Industrial de Santander, en el año 2001; el cual evaluó la degradación de los suelos por la erosión hídrica en el territorio Colombiano a partir de la elaboración de un modelo utilizando los sistemas de información geográfica a fin de hacerle seguimiento a la pérdida de suelo del país.

En Colombia, a pesar de que se han realizado varias investigaciones para determinar los efectos de la erosión hídrica, a partir de los resultados obtenidos en estos trabajos se han definido las mejores prácticas de conservación para ser aplicadas en diferentes zonas colombianas; sin embargo, no están determinadas las zonas más vulnerables a ser erosionadas, lo cual es un limitante para focalizar los esfuerzos de conservación.

4.2.4. Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Estos sistemas son una tecnología de manejo de información geográfica, que permiten manejar datos espaciales y realizar análisis complejos con éstos; siguiendo los criterios impuestos por el equipo científico [18].

Con los SIG se recopila información relacionada con suelos, pendientes, erosividad, erodabilidad, lluvia, etc; que se almacena para su posterior chequeo, integración, manipulación, análisis y despliegue tanto espacial como temático.

Los SIG son una fuente ilimitada de posibilidades que dependiendo de la habilidad del experto, su creatividad y capacidad de análisis, se usan para manipular, consultar, analizar, editar, resumir, y visualizar una información almacenada en bases de datos computarizados, y a su vez, como una herramienta para revelar patrones que de otra forma son invisibles en la información geográfica, siendo un sistema de apoyo para la toma de decisiones espaciales. Gracias a dicha información se pueden analizar para este caso, resultados obtenidos de caudales de erosión, el estado del suelo, la disponibilidad de sus recursos, y estimar la pérdida del suelo facilitando la toma de decisiones con respecto al manejo de los suelos orientado a una producción sostenible [17].

4.2.5. Software Ilwis

Es una sigla que significa “Sistema de la Información Integrado de Tierra y Agua”. Es un software con capacidad para hacer procesamiento digital de imágenes. ILWIS ha sido desarrollado por el Instituto Internacional de Estudios Aeroespaciales y Ciencias de la Tierra (ITC) de Enschede, Holanda (Países Bajos). Como todo paquete de SIG, ILWIS le permite entrar, manipular, analizar y presentar datos geográficos. A partir de estos datos se puede generar información espacial, modelos espaciales y evaluar diferentes procesos de la superficie de la tierra [19].

4.3 Marco Conceptual

En este apartado se relacionan los conceptos básicos y definiciones requeridas para la comprensión de la investigación.

- **Abastecimiento doméstico.**

Es el conjunto de infraestructura, equipos y servicios destinados al suministro de agua para el consumo humano. El utilizado principalmente para el consumo doméstico; también para uso comercial, industrial y otros usos. El agua suministrada debe ser en calidad suficiente y buena calidad física, química y bacteriológica, es decir, apta para el consumo humano [20].

- **Afluente.**

Curso de agua, río que se une a otro mayor, en el que vierte sus aguas [21].

- **Arcilla.**

Contiene partículas de tamaño coloidal que producen su plasticidad. La plasticidad y resistencia en seco está afectada por la forma y la composición mineral de las partículas [22].

- **Batimetría.**

Es el levantamiento del relieve de Superficies Subacuáticas, ya sea del fondo del mar, como cursos de aguas, lagos, embalses, etc. es decir, la cartografía de los fondos, como si se tratara de un terreno seco [23].

- **Bifurcación.**

Lugar donde un camino, río, etc., se divide en dos ramales o brazos [24].

- **Canal abierto.**

El flujo de canales abiertos tiene lugar cuando los líquidos fluyen por la acción de la gravedad y solo están parcialmente envueltos por un contorno sólido. En el flujo de canales abiertos, el líquido que fluye tiene superficie libre y sobre él no actúa otra presión que la debida a su propio peso y a la presión atmosférica [25].

- **Arena.**

Se compone de partículas minerales con diámetros que se encuentran en un rango entre 0.06 y 2 mm [22].

- **Canales artificiales.**

Los canales artificiales se conocen simplemente como canales. Se diseñan y se construyen para conducir volúmenes determinados de agua desde una fuente de suministro hasta un centro de consumo. Su funcionamiento está controlado y no deben estar sujetos a procesos de erosión y sedimentación. En tramos de muy baja pendiente pueden ser excavados en el terreno natural y no necesitan revestimiento; sin embargo, en la mayoría de los casos los canales son revestidos en arcilla, colchonetas, piedra pegada, losas de concreto, concreto reforzado o elementos prefabricados [26].

- **Captación.**

La práctica de recolectar y almacenar agua de una variedad de fuentes para uso benéfico [27].

- **Carmen de carupa.**

Entidad municipal territorial perteneciente al departamento de Cundinamarca, más exactamente al nororiente de este su cabecera municipal está localizada a los 5° 54' de latitud norte y 73° 54' de longitud al oeste de Greenwich. Se localiza al norte del departamento de Cundinamarca, en límites con el departamento de Boyacá, aproximadamente una hora y media de Bogotá. Limita con los municipios de San Cayetano, por el occidente, con los municipios de Tausa y Sutatausa por el sur, con Ubaté y Susa por el oriente y con Simijaca y el departamento de Boyacá (Municipio de Buenavista y Corpes) por el norte [28].

- **Caudal.**

Cantidad de líquido que circula en determinado tiempo por un punto dado [29].

- **Condiciones climáticas.**

El clima se presenta de diferentes maneras, desde precipitaciones congeladas hasta tormentas eléctricas. Se pueden experimentar diversas condiciones climáticas como son: precipitaciones, niebla, brisa, nieve etc.; es decir que determinan el estado climático dependiendo de las condiciones de una zona determinada. Las condiciones climáticas varían de un día a otro y se ven sumamente afectados por las estaciones [30].

- **Conservación.**

La conservación es el método de utilización de un recurso natural o el ambiente total de un ecosistema particular, para prevenir la explotación, polución, destrucción o abandono y asegurar el futuro uso de ese recurso [31].

- **Corriente de agua.**

Una corriente de agua es la fuerza de desplazamiento de un volumen constante de agua en una dirección determinada. Estas corrientes pueden ser en mar, ríos y lagos. Y puede ser debido a causas naturales, movimientos de la tierra en su movimiento sobre su eje [21].

- **Cuenca hidrográfica.**

Territorio cuyas aguas fluyen todas al mismo mar, delimitado por divisorias de agua [21].

- **Distrito de riego.**

Es el establecido mediante Decreto Presidencial, el cual está conformado por una o varias superficies previamente delimitadas y dentro de cuyo perímetro se ubica la zona de riego, el cual cuenta con las obras de infraestructura hidráulica, aguas

superficiales y del subsuelo, así como con sus vasos de almacenamiento, su zona federal, de protección y demás bienes y obras conexas, pudiendo establecerse también con una o varias unidades de riego [29].

- **Embalse.**

Son volúmenes de agua retenidos en un vaso topográfico natural o artificial gracias a la realización de obras hidráulicas. La cual se puede clasificar según su función (acumulación, distribución y pondajes) y su tamaño (gigantes, muy grandes, grandes medianos, pequeños): [32]. Y cuenta con las siguientes ventajas:

- Mejoramiento en el suministro de agua a núcleos urbanos en épocas de sequía.
- Aumento de las posibilidades y superficie de riegos.
- Desarrollo de la industria pesquera.
- Incremento de las posibilidades de recreación.
- Mantenimiento de reservas de agua para diferentes usos.
- Incremento de vías navegables y disminución de distancias para navegación.
- Control de crecientes de los ríos y daños causados por inundaciones.
- Mejoramiento de condiciones ambientales y paisajísticas.

- **Erosión.**

La erosión es el desprendimiento, transporte y deposición de partículas de suelo o roca, por acción de las fuerzas generadas por el movimiento del agua, produciendo un flujo que puede formar canales produciendo surcos y cárcavas [33].

- **Estructura de suelo.**

Es el ordenamiento de las partículas individuales en partículas secundarias o agregados y el espacio poroso que llevan asociado, todo como resultado de interacciones físico-químicas entre las arcillas y los grupos funcionales de la materia orgánica. Por otro lado, se refiere al tamaño, forma y arreglo de partículas sólidas y poros, continuidad de poros y su capacidad para retener y transmitir fluidos y sustancias orgánicas e inorgánicas, así como la habilidad para garantizar el crecimiento y desarrollo de raíces [34].

- **Factor C.**

Es la relación de pérdidas por erosión entre un suelo con un determinado sistema de uso y manejo (rotación de cultivos, manejo de los mismos, laboreo, productividad, manejo de residuos, etc.) y el mismo suelo puesto en las condiciones en que se definió K, a igualdad de los demás factores [13].

- **Factor K.**

Es el factor erodabilidad del suelo; cantidad promedio de suelo perdido por unidad del factor erosividad de la lluvia (Mg/J), cuando el suelo en cuestión es mantenido permanentemente desnudo, con laboreo secundario a favor de una pendiente de 9 % de gradiente y 22,1 m de longitud [13].

- **Factor L.**

Es el factor longitud de la pendiente; la relación entre la pérdida de suelo con una longitud de pendiente dada y la que ocurre en 22,1 m de longitud, a igualdad de los demás factores [13].

- **Factor P.**

Es el factor práctica mecánica de apoyo; la relación entre la pérdida de suelo con determinada mecánica (laboreo en contorno, en fajas, terrazas, etc.) y la que ocurre con laboreo a favor de la pendiente, a igualdad de los demás factores [13].

- **Factor R.**

Es el factor erosividad de la lluvia; es el producto acumulado para el período de interés (normalmente un año), con cierta probabilidad de ocurrencia (normalmente 50% o promedio), de la energía cinética por la máxima intensidad en 30 minutos de las lluvias. Sus unidades son $(\text{MJ/ha.año}) \cdot (\text{mm/h})/10$, pero, por simplicidad, las resumiremos en energía cinética por unidad de superficie (J/ha) [13].

- **Factor S.**

Es el factor gradiente de la pendiente; la relación entre la pérdida de suelo con un determinado gradiente y el estándar de 9 %, a igualdad de los demás factores [13].

- **Limo.**

Consiste en partículas minerales naturales, más pequeñas con tamaños que oscilan entre 0.002 y 0.06 mm [22].

- **Morfometría.**

Es el estudio cuantitativo de las características físicas de una cuenca hidrográfica, y se utiliza para analizar la red de drenaje, las pendientes y la forma de una cuenca a partir del cálculo de valores numéricos. Dentro de este contexto, es importante señalar que las mediciones deben ser realizadas sobre un mapa con suficiente información hidrográfica y topográfica [35].

- **Perdida de suelo.**

Hace referencia a los procesos de degradación ecológica mediante los cuales la tierra pierde sus propiedades para la producción de alimentos. Es un proceso natural [21].

- **Permeabilidad del suelo.**

Facultad con la que el agua pasa a través de los poros. El tamaño de los poros del suelo reviste gran importancia con respecto a la tasa de filtración (movimiento del agua hacia dentro del suelo) y a la tasa de percolación (movimiento del agua a través del suelo). El tamaño y el número de los poros guardan estrecha relación con la textura y la estructura del suelo y también influyen en su permeabilidad [36].

- **Precipitación.**

Cualquier producto de la condensación del vapor de agua atmosférico que se deposita en la superficie de la Tierra. Ocurre cuando la atmósfera (que es una gran solución gaseosa) se satura con el vapor de agua, y el agua se condensa y cae de la solución (es decir, precipita) [37].

- **Presa.**

Estructuras hidráulicas de contención que permiten conseguir niveles de inundación previstos y el embalsamiento de las aguas. Se clasifican según la función (presa de embalse, presa de derivación), según como permitan el paso del agua (sección sorda, sección vertedora, sección mixta) [32].

- **Procesos erosivos.**

Fenómeno que ocurre como respuesta rápida o lenta de la naturaleza, las características físico-químicas de la roca ante diferentes factores como las altas precipitaciones, la influencia sísmica de la región y la intervención antrópica [33].

- **Rebosadero.**

Conducto o tubería que permite evacuar el exceso de agua para evitar una inundación [38].

- **Recurso hidráulico.**

Toda fuente de agua, corriente o confinada, superficial o subterránea, costera o interna, dulce, salobre o salada, así como los ecosistemas acuáticos y especies que las habitan, temporal o permanentemente [39].

- **Sedimentos.**

Son todas aquellas partículas que una corriente lleva por deslizamiento, rodamiento, o saltación, ya sea en suspensión o sobre el fondo del lecho. Los sedimentos tienen su origen en el lecho, en las laderas del río y en la cuenca hidrográfica. Tres clases de materiales se distinguen en un cauce natural considerando únicamente la resistencia que ofrecen a ser transportados por una corriente: materiales no cohesivos o granulares, materiales cohesivos y rocas [32].

- **Sistema lentic.**

Cualquier cuerpo de agua que permanece en un mismo lugar sin correr ni fluir, ya sea un río, una quebrada, un arroyo, un lago o una laguna. Se caracterizan porque no poseen una entrada ni una salida y son estáticos. Los lagos y lagunas se caracterizan por ser cuerpos de agua relativamente profundos, con bajas tasas de renovación (aguas en movimiento lento, por contraste con los ríos, de aguas corrientes) y que en general tienen un flujo unidireccional de las mismas, a través de una o varias corrientes afluentes y otra efluente; se exceptúan los lagos llamados endorreicos, que carecen de efluente y pierden agua sólo por evaporación. El flujo unidireccional las diferencia de las ciénagas, que en general son menos profundas, ligadas a ríos a través de caños cuyo curso cambia del río hacia la ciénaga y viceversa, según el nivel de las aguas por influencia de las lluvias [40].

- **Sistema morfoclimático.**

Se llama sistema morfoclimático a las formas de relieve por el que se caracteriza un clima; los agentes geológicos externos que actúen en una zona determinada, van a depender del sistema en el que se desarrollen [41].

- **Suelo.**

Cuerpos naturales, compuestos por material orgánico y mineral, que cubren la mayoría de la superficie terrestre, contienen materia viva y que sostienen vegetación en campo abierto y en lugares transformados por la actividad humana. El suelo consiste de los horizontes cercanos a la superficie terrestre los cuales, en contraste con el material rocoso subyacente, han sido alterados por las interacciones, a través del tiempo, entre clima, relieve, material parental y organismos vivos [42].

- **Textura del suelo.**

Proporción de cada elemento en el suelo, representada por el porcentaje arena (AR), arcilla (AC) y limo (L). Se considera que un suelo presenta buena textura

cuando, la proporción de los elementos que lo constituyen, le brindan a la planta la posibilidad de ser un soporte que permita un buen desarrollo radicular y brinde un nivel adecuado de nutrientes [43].

- **Tierras agrícolas.**

Tipo de suelo que es apto para todo tipo de cultivos y plantaciones, es decir, para la actividad agrícola o agricultura. Debe ser en primer lugar un suelo fértil que permita el crecimiento y desarrollo de diferentes tipos de cultivo que sean luego cosechados y utilizados por el hombre, por lo cual también debe ser apto por sus componentes para el ser humano [44].

- **Túnel de desviación**

Obra de desviación se utiliza para dejar en seco la zona donde se construirá la presa. Generalmente consiste en: Túneles de desviación (valles estrechos) o Canales abiertos (valles de gran anchura que permiten el manejo del río). El túnel de desviación puede ser utilizado para ubicar el desagüe de fondo o la estructura de toma de agua [45].

- **Usle.**

Por sus siglas en Inglés (Universal Soil Loss Equation) La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo es un modelo diseñado para estimar la pérdida de suelo promedio de la erosión bajo condiciones especificadas y para un tiempo prolongado, también agrupa numerosas interrelaciones de parámetros físicos y de manejo que influyen en la tasa de erosión en los factores principales cuyos valores pueden ser expresados numéricamente para un sitio específico y que multiplicados entre sí dan por resultado una estimación de la cantidad de suelo perdido por unidad de superficie (ha) y tiempo (año).

- **Usos del suelo.**

Por uso del suelo se entiende la condición favorable o no de desarrollar una actividad socioeconómica en un suelo determinado. Los Usos urbanos son aquellos que requieren de una infraestructura urbana, lograda a través de los debidos procesos de urbanización, que le sirven de soporte físico [46].

4.4 Marco Legal

En este apartado se relaciona la normatividad vigente aplicable para el desarrollo de la investigación.

DECRETO 2811 DE 1974	Conocido como el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de protección al Medio Ambiente, entre su articulado relacionado específicamente con el recurso suelo, se tienen los siguientes artículos: Artículo 8°. Se consideran factores que deterioran el ambiente, entre otros: b) La degradación, la erosión y el revenimiento de suelos c) Las alteraciones nocivas de la topografía Artículo 34°. Relacionado con el manejo de residuos, basuras, desechos y desperdicios. Artículos 178° al 180°. Relacionado con principios para el uso y aprovechamiento de suelos. Artículos 182° al 186°. Relacionado con el uso y conservación de los suelos. Artículos 324° al 326° Relacionados con los distritos de conservación de Suelos.
CONSTITUCION POLITICA DE COLOMBIA 1991	Colombia dispone de un marco jurídico que estable orientaciones sobre las cuales se debe regir la política municipal para la promoción del desarrollo económico y social, al señalar instrumentos de planificación como los planes de ordenamiento territorial y los planes de desarrollo, entre otros aspectos. En este sentido, la competencia directa sobre la planificación y administración del desarrollo social, económico y físico del territorio que corresponde a los municipios, para lo cual se cuenta con una serie de normas y disposiciones legales como marcos para la planificación territorial.
LEY 99 DE 1993	En cuanto a las directivas para la planificación territorial, comprende las otorgadas por la presente ley a los diferentes estamentos Sistema Nacional Ambiental (SINA), en cabeza del Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) y desarrollada por las Corporaciones Autónomas Regionales (CAR) Art. 5 numeral 12, Art. 31 numeral 9. Coordina los procesos para el control, preservación y la defensa del patrimonio ecológico mediante el otorgamiento y seguimiento de licencias ambientales, acorde con el equilibrio económico, social y ambiental.
Ley 388 de 1997	Ordenamiento Territorial: que reglamenta los usos del suelo.
DECRETO NUMERO 1220 DE 2005	Reglamenta el título VIII del a lay 99 de 1993, describiendo la aplicación de las licencias a los ecosistemas susceptibles de impactos ambientales, por aquellos que quieran realizar un proyecto, obra o actividad como a las autoridades encargadas para el otorgamientos de las mismas.
DECRETO 879 DE 1998	De la distribución y uso de los suelos de acuerdo a la función social y ecológica de la propiedad, partiendo de que el interés común prevalece del interés particular y haciendo una distribución equitativa de las cargas y beneficios y como este puede incidir en la susceptibilidad de los suelos.

DECRETO 1729 hygi98DE 2002	Establece el ordenamiento de las cuencas hidrográficas, siguiendo el principio de uso y manejo sostenible de los recursos naturales renovables, de manera que se consiga mantener o restablecer un adecuado equilibrio entre el aprovechamiento económico de tales recursos y la conservación de la estructura físico-biótica de la cuenca y particularmente de sus recursos hídricos. La ordenación así concebida constituye el marco para planificar el uso sostenible de la cuenca y la ejecución de programas y proyectos específicos dirigidos a conservar, preservar, proteger o prevenir el deterioro y/o restaurar la cuenca hidrográfica.
--	---

Fuente: Morales, L. Porras, J; 2014.

5. METODOLOGIA

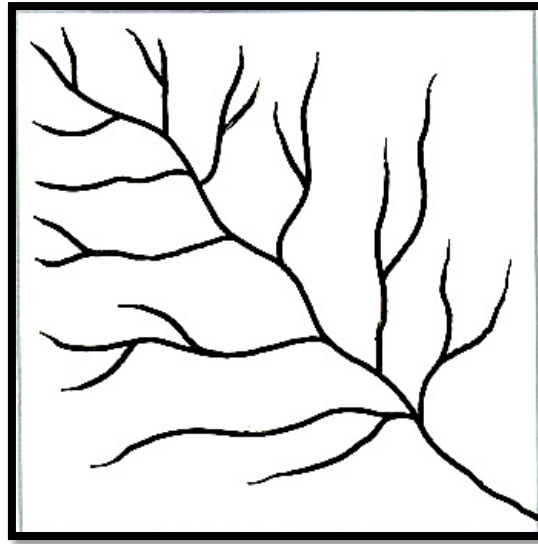
Para el desarrollo del proyecto se tuvo en cuenta la siguiente metodología:

5.1. Delimitación.

La investigación se llevó a cabo en el embalse El Hato, localizado al norte del departamento de Cundinamarca, en jurisdicción del municipio de Carmen de Carupa, aproximadamente a 10 kilómetros de la zona urbana del municipio de Ubaté. De acuerdo con las cartas topográficas suministradas por el IGAC, número 209 IB1 y IB3 de Cundinamarca, se realizó una delimitación del área de estudio teniendo en cuenta:

1. Identificación de la red de drenaje del río El Hato, a la que pertenecen los cuerpos hídricos que convergen en el mismo.

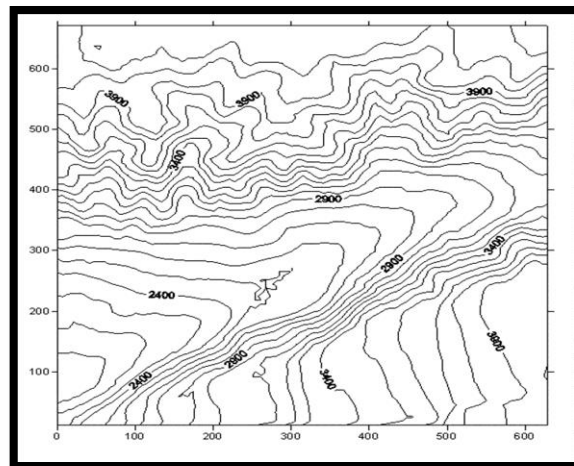
Figura 2. Ejemplo de una red de drenaje.



Fuente: [50].

2. Teniendo en cuenta las curvas de nivel, desde el nacimiento del río El Hato hasta donde termina el embalse, se cortó perpendicularmente de acuerdo a los puntos de mayor nivel topográfico.

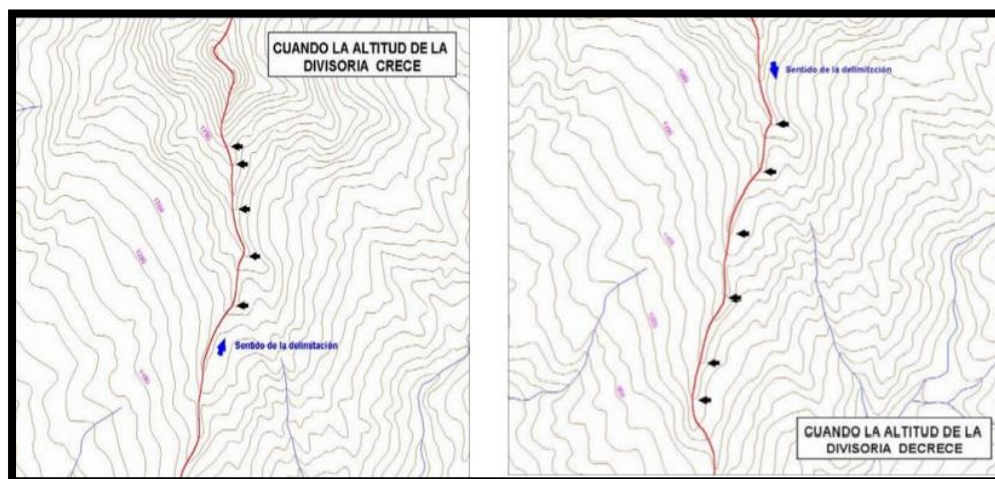
Figura 3. Ejemplo de curvas de nivel.



Fuente: [50].

3. De acuerdo a la divisoria; si esta aumenta su altitud, corta a las curvas de nivel por su parte convexa, y cuando la divisoria va decreciendo corta a las curvas de nivel por la parte cóncava:

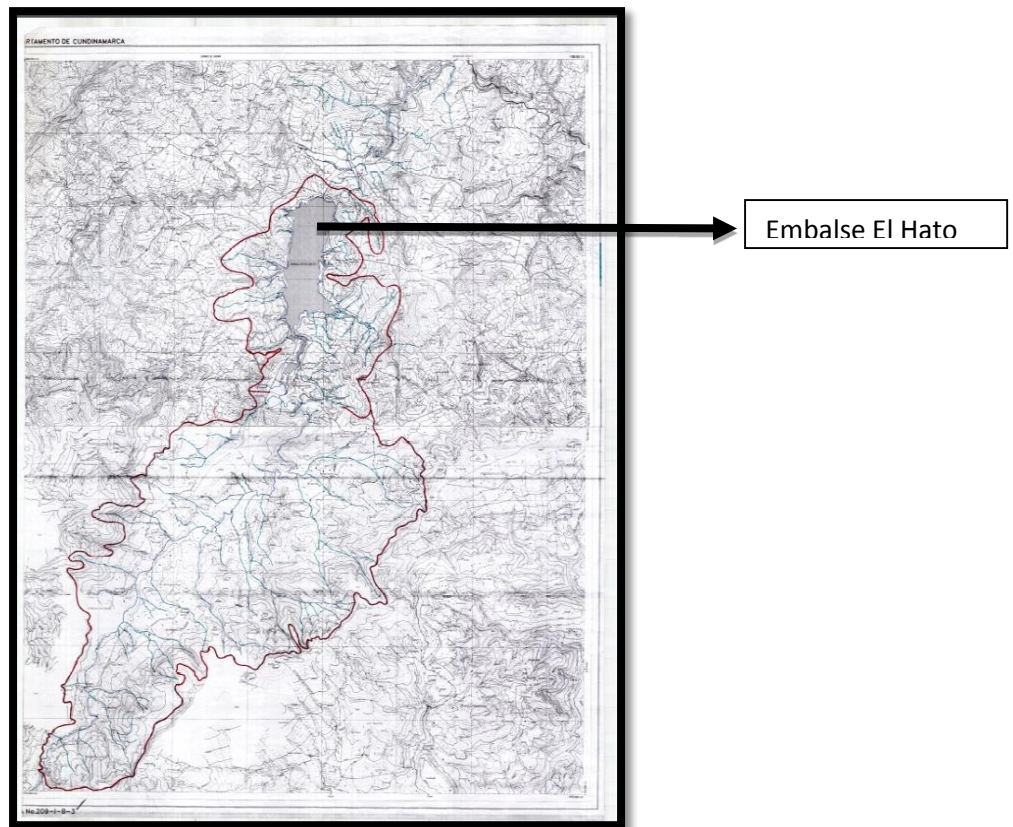
Figura 4. Corte convexo y cóncavo de la divisoria de una cuenca.



Fuente: [50].

Por último se delimitó la cuenca teniendo en cuenta los procedimientos anteriormente nombrados y como comprobación se observa que no hay cortes de quebradas o ríos. Esto indica que la delimitación es correcta. A continuación se encuentra la imagen de la delimitación obtenida a partir de las cartas topográficas suministradas por el IGAC, número 209-I-B-1 y 209-I-B-3 correspondientes a una escala de 1:10.000, de Cundinamarca, (Ver Figura 5).

Figura 5. Delimitación de la Cuenca



Fuente: Morales, L. Porras, J; 2013.

5.2. Aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo USLE

Si bien sabemos que La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo es un modelo desarrollado para estimar la pérdida de suelo promedio de la erosión bajo condiciones especificadas y para un tiempo prolongado, también agrupa numerosas interrelaciones de parámetros físicos y de manejo que influyen en la tasa de erosión en los factores principales cuyos valores pueden ser expresados numéricamente para un sitio específico y que multiplicados entre sí dan por resultado una estimación de la cantidad de suelo perdido por unidad de superficie (ha) y tiempo (año).

5.2.1. Primera Etapa: Recolección y complementación de la información básica

Para esta primera etapa, fue necesaria la recolección y revisión de información de estudios efectuados anteriormente en el área de influencia. Estudios sistematizados y ordenados dieron las pautas para conocer las características climatológicas, sociales, económicas, culturales y técnicas de la zona; así como la selección de los puntos de muestreo, y el lugar dónde se realizó el trabajo. (Mapa 1 y Mapa 4; mapas anexos).

5.2.2. Segunda etapa: Supervisión de campo

La visita de campo tuvo como objetivo conocer la distribución física de la cuenca y el embalse El Hato. Así como también se realizó el muestreo de suelo para cada zona de acuerdo a la delimitación de esta, la cobertura vegetal y el uso de suelos por cada punto de muestreo y posterior análisis en laboratorio.

También se realizaron preguntas a la comunidad que habita cerca de la zona, a fin de saber la variación de clima, el uso que se le da al embalse, el tipo de flora y fauna que allí se encuentra, y las medidas de control para la pérdida de suelo (si lo hay), obteniendo como respuestas significativas el no uso de controles para la pérdida del suelo.

5.2.3. Tercera etapa: Determinación de los factores de la Ecuación Universal de Pérdida de suelo (USLE)

Se tiene la siguiente expresión matemática:

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

En donde,

A: Es la pérdida de suelo por unidad de superficie, medida en toneladas o megagramos por unidad de superficie (Mg/ha).

R: Es el factor erosividad de la lluvia; (MJ/ha. año).(mm/h)/10.

K: Es el factor erodabilidad del suelo; (Mg/J).

L: Es el factor longitud de la pendiente. (Adimensional).

S: Es el factor gradiente de la pendiente. (Adimensional).

C: Cobertura de manejo. (Adimensional).

P: Es el factor práctica mecánica de apoyo; (Adimensional).

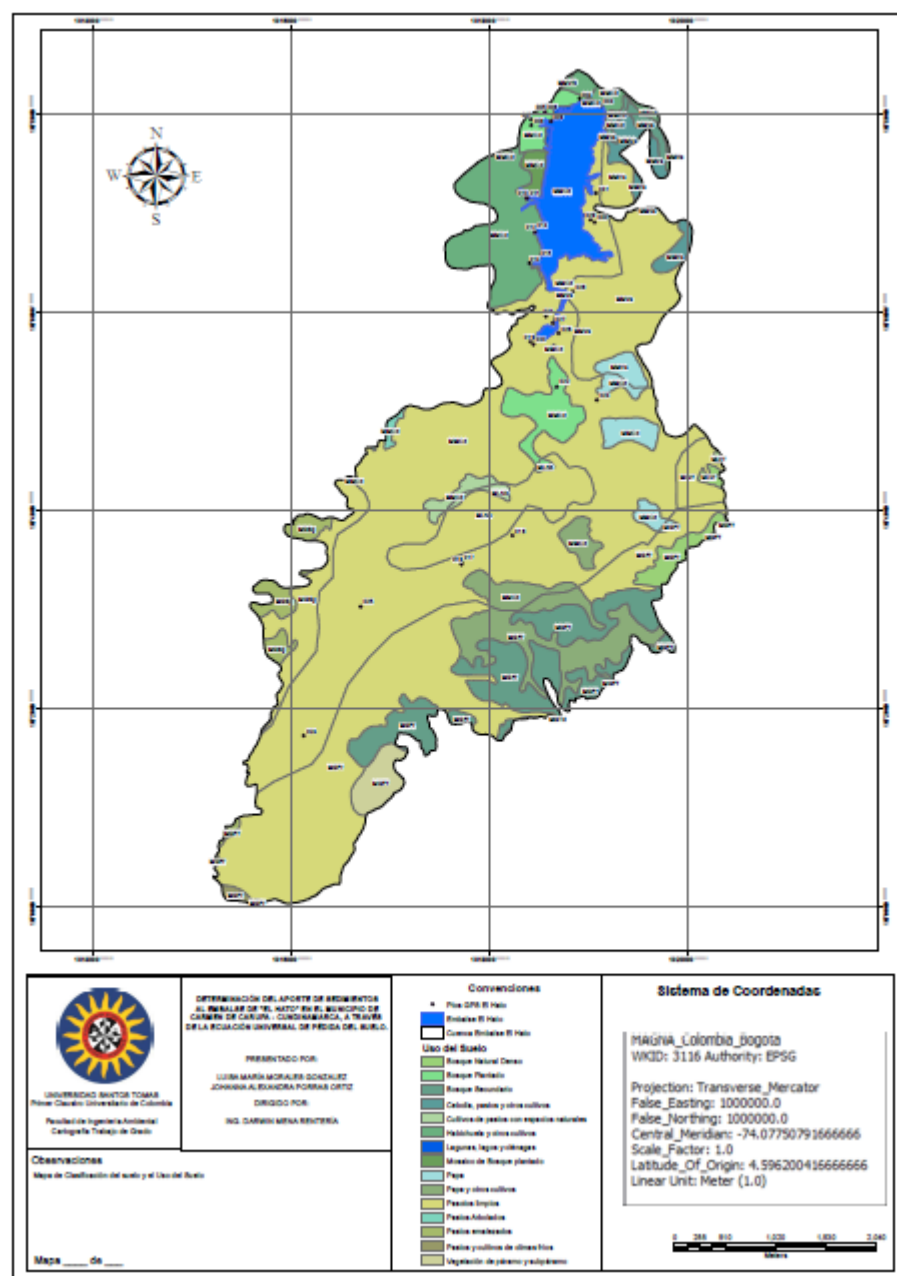
5.2.3.1. Determinación del Factor de Erodabilidad K.

La resistencia del suelo a la erosión o erodabilidad, se determinó como primera instancia de forma directa en condiciones de laboratorio. Para ello, se realizó el siguiente procedimiento:

Se tomó la delimitación de la cuenca (Mapa 1, mapa anexo), el uso de suelo (Mapa 2, mapa anexo) y clasificación de suelo de la zona (Mapa 3, mapa anexo). Los mapas 1 Y 2 fueron trabajados a una escala 1:10.000 y el mapa tres en una escala 1:100.000.

Posteriormente se clasificaron las zonas a tomar las muestras con relación a los mapas anteriormente nombrados, con un total de 15 zonas de muestro (Mapa 4, mapa anexo) trabajando a una escala de 1:10.000. En seguida se tomó la cantidad necesaria de muestras de suelo de acuerdo a la extensión de cada zona de muestreo, en donde se adquirieron los siguientes datos: textura, humedad, hora, vegetación y descripción de la zona (Tabla 2, tabla anexos). A continuación se relaciona el mapa con las zonas de muestreo (ver figura 6).

Figura 6. Puntos de muestreo para las zonas de la cuenca El Hato.



Fuente: Morales, L. Porras, J; 2014.

Estos datos fueron utilizados para el procedimiento en el laboratorio en donde hubo un total de 29 muestras para analizar de la siguiente manera:

- Separación de muestras para secar en el horno. Determinación de la granulometría por el método de tamices y tipo de estructura que se determinó al tacto (Tabla 3, tabla anexos) (registro fotográfico, anexo). A continuación se encuentra la guía utilizada para la determinación de las clases texturales en campo (Ver Figura 7).

Figura 7. Guía Resumen para la determinación al tacto para diferentes clases texturales.

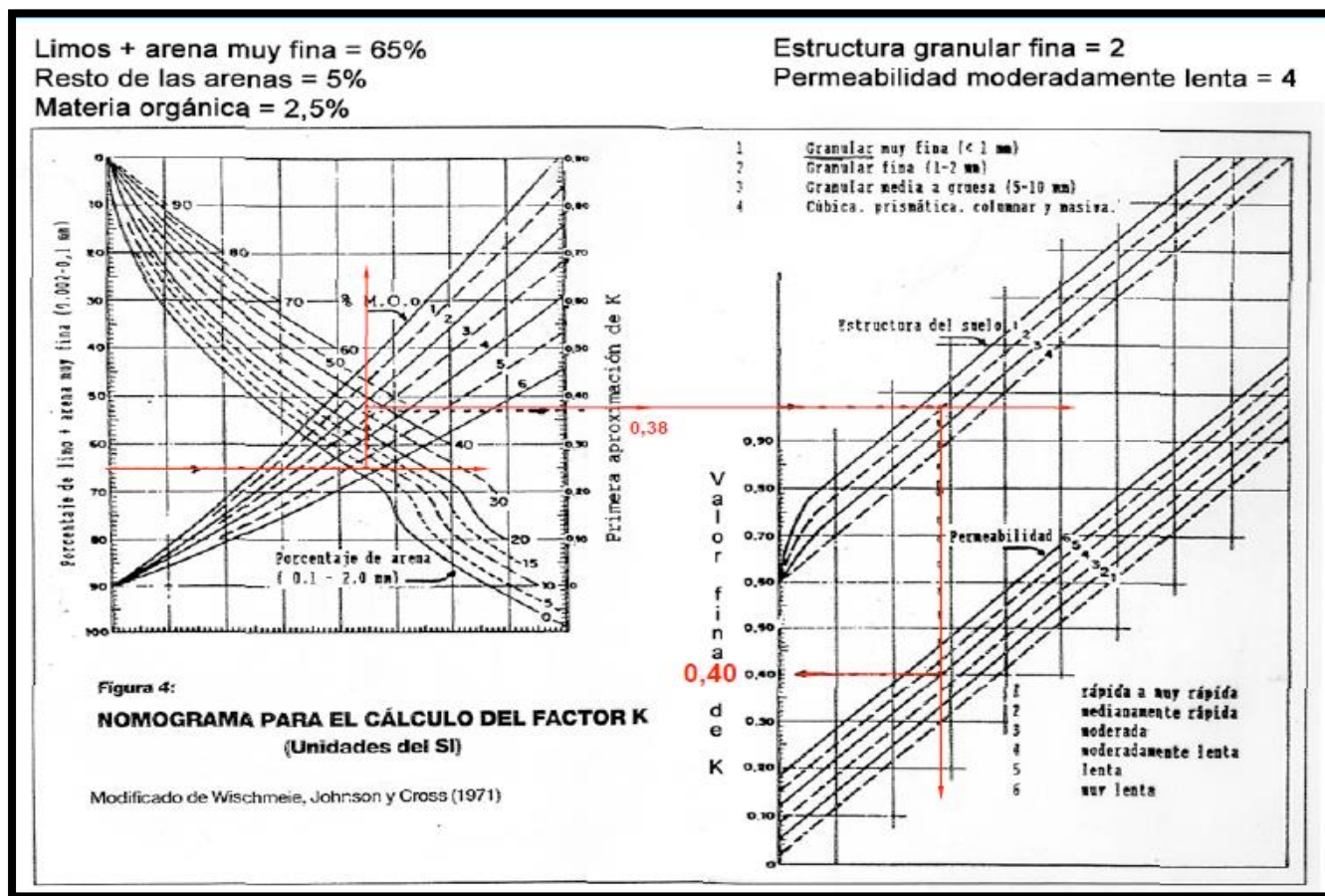
Textura	Apariencia y sensación	
	Suelo seco	Suelo húmedo
Arenosa	Suelta granos simples que se sienten ásperos. Cuando se aprieta el suelo entre los dedos, la masa se desintegra. Semejanza: Arena de construcción	No se puede formar una bola (se disgrega). No forma cinta cuando se pasa entre el dedo pulgar e índice. Sensación al tacto: Muy áspera
Arenosa franca	Al tacto es áspero pero con la sensación de presencia de partículas mas finas. Si se deja caer se dispersan partículas muy finas que las vuela la brisa o el viento. Semejanza: Suelos típicos en médanos y dunas	Forma una bola que se disgrega cuando se toca. No forma cinta cuando se pasa entre el dedo pulgar e índice. Al tacto es áspero. Al secarse el suelo en los dedos se observa un color beige o blanquecino.
Franco arenosa	Se rompe fácilmente. Al principio la textura aparece suave, pero a medida que se frota, empieza a dominar una sensación arenosa. Semejanza: Material de bordos de canales (por efecto de la monda)	Forma una bola que permite una manipulación cuidadosa sin romperse. Forma una cinta de hasta 3 cm de largo. Cuando se frota entre los dedos pulgar e índice es suave al principio pero al frotar domina una sensación mas áspera
Franca	Los agregados se rompen bajo presión moderada. Los terrones pueden ser firmes. Cuando se pulveriza, la sensación al tacto no es ni suave ni áspera que se torna arenosa a medida que se frota.	Forma una bola que puede ser manipulada suavemente sin que se desintegre. Forma una cinta de hasta 3 cm de largo. Al tacto no se percibe ni suave ni áspero.
Franco limosa	Los agregados son muy firmes, pero se pueden romper bajo presión moderada. Los terrones son de firmes a duros. Cuando el suelo es pulverizado, la sensación al tacto es suave similar al talco o la harina.	Forma una bola que puede ser manipulada sin que se rompa. Forma una cinta de hasta 3 cm de largo. Cuando se frota entre el pulgar y el índice la sensación es suave.
Franco arcillosa	Agregados muy firmes y duros, resistentes a dejarse romper con la mano. Cuando se pulveriza, el suelo presenta una sensación áspera al tacto, debido a los pequeños agregados que persisten.	Un molde de este suelo es muy maleable. Se puede formar una cinta de hasta 5 cm de largo Cuando se frota entre el pulgar y el índice, forma una cinta que no se siente ni suave ni áspero.
Franco Arcillo limosa	Agregados firmes y duros, resistentes a dejarse romper con la mano. Cuando se pulveriza, la sensación al tacto es suave	Un molde de este suelo es muy maleable. Se puede formar una cinta de hasta 5 cm de largo Cuando se frota entre el pulgar y el índice, se siente suave.
Arcillo limosa Arcillosa	Agregados de consistencia dura muy resistentes a dejarse romper con la mano. Cuando se pulverizan se perciben muy suaves.	Un molde de este material resiste considerablemente la manipulación. Se pueden formar cintas flexibles de mas de 5 cm de largo sin romperse. Cuando se frota entre el índice la sensación es muy suave al tacto. En los netamente arcillosos la sensación es plástica.

Fuente: [51].

- Determinación de la permeabilidad por el método de cabeza constante, la materia orgánica y el tipo de estructura. (Tabla 4, tabla anexos) (registro fotográfico, anexos).

Al tener los datos de laboratorio el siguiente paso fue calcular el factor K por medio del gráfico **MONOGRAMA PARA EL CALCULO DEL FACTOR K**. En la gráfica de la izquierda se utilizan datos texturales y de materia orgánica para obtener un valor aproximado de K, el cual se afina pasando al gráfico de la derecha en el que se manejan valores de estructura y de permeabilidad (Ver Figura 8).

Figura 8. Monograma para el cálculo del factor K.



Fuente: [52].

Se procedió a unir los mapas de uso de suelo, clasificación de suelos, y así determinar la textura de acuerdo a los perfiles que se encuentran en el mapa de suelos y el documento del IGAC “**DESCRIPCIÓN DE LOS PERFILES MODALES E INCLUSIONES** (Anexo 4)”. Al obtener los datos de textura y los

valores de cada uno, se creó un mapa con los valores de K en cada punto en donde se tomó la muestra (Mapa 6, mapas anexos). A continuación se muestran los resultados arrojados para determinar los valores del factor K, que relacionan la textura, estructura, materia orgánica y permeabilidad. (Ver Tabla 4, tabla anexos):

Tabla 4. Valores de factor K y textura de cada muestra.

Muestra	Textura	Valor Aproximado	Valor K
Muestra 15 - Punto 1	Limo orgánico	0.34	0.39
Muestra 5 - Punto 3	Arenosa franca	0.35	0.40
Muestra 2 - Punto 3	Franco	0.36	0.40
Muestra 13 - Punto 3	Franco arenosa	0.33	0.41
Muestra 13 - Punto 1	Limo orgánico	0.36	0.40
Muestra 11 - Punto 1	Franco arenosa	0.64	0.41
Muestra 10 - Punto 1	Franco arcillosa	0.63	0.66
Muestra 9 - Punto 1	Franco arcillosa	0.31	0.36
Muestra 5 - Punto 4	Franco arcillosa	0.35	0.40
Muestra 7 - Punto 1	Franco arenosa	0.65	0.42
Muestra 8 - Punto 2	Franco arcillosa	0.36	0.58
Muestra 6 - Punto 1	Franco limosa	0.37	0.43
Muestra 13 - Punto 2	Franca	0.34	0.44
Muestra 3 - Punto 4	Arenosa franca	0.35	0.44
Muestra 5 - Punto 1	Limo orgánico	0.31	0.40
Muestra 8 - Punto 1	Franca	0.29	0.33
Muestra 2 - Punto 2	Franco arenosa	0.35	0.41
Muestra 4 - Punto 2	Franco	0.34	0.44
Muestra 3 - Punto 3	Franco arenosa	0.345	0.40
Muestra 1 - Punto 1	Arenosa franca	0.33	0.38
Muestra 13 - Punto 4	Franco arcillosa	0.35	0.50
Muestra 2 - Punto 1	Arenosa	0.37	0.41
Muestra 1 - Punto 2	Franco arenosa	0.33	0.37
Muestra 3 - Punto 2	Franca	0.35	0.43
Muestra 5 - Punto 2	Franco limosa	0.34	0.44
Muestra 3 - Punto 1	Franco arenosa	0.36	0.41
Muestra 4 - Punto 1	Arcillo limosa arcillosa	0.38	0.44
Muestra 6 - Punto 2	Franco limosa	0.37	0.43
Muestra 14 - Punto 1	Franco arenosa	0.34	0.375

Fuente: Morales, L. Porras, J; 2013.

Posteriormente se determinó el valor definitivo del factor K por medio del software Ilwis, teniendo en cuenta los datos de K y la textura, hallados anteriormente.

5.2.3.2. **Determinación del Factor Erosividad de la lluvia o escurrimiento R.**

La erosividad de la lluvia o escurrimiento se determinó con la ayuda de documento obtenido de la CAR (Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca), “**PRECIPITACIONES TOTALES MENSUALES-CAR**” (Tabla 5, tabla anexos). Se identificaron las estaciones meteorológicas que abarcan la cuenca de estudio de acuerdo a las coordenadas de la misma, teniendo en cuenta las estaciones que tenían registros con un mayor porcentaje de datos anuales y estaciones en funcionamiento con registros de 10 años o más. Así pues, se realizó el procedimiento de complementación de series, estimación de los datos faltantes por el método de las proporciones y el análisis de datos de las estaciones seleccionadas para finalmente calcular los valores medios, máximos y mínimos para cada estación. (Tabla 6, tabla anexos). A continuación se muestra un ejemplo para una de las estaciones (Ver Figuras 9 y 10)

Figura 9. Precipitaciones Totales Mensuales –CAR-.

C A R - CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA																	
SICLICA - Sistema de Información Climatológica e Hidrológica																	
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mm)																	
Latitud	0517 N	X=N=1076689		Departamento		CUNDINAMARCA		Corriente		R. EL HATO		Categoría			CO		
Longitud	7354 W	Y=E=1019172		Municipio		CARMEN DE CARUPA		Cuenca		R. SUÁREZ		Fecha Instalación		10/01/1962			
Elevación	2900 m.s.n.m			Oficina Provincial		14 UBATÉ							Fecha Suspensión				

Estimación datos faltantes
por método de las
proporciones.

$$X = X * P_f / P_a - X$$

X: lluvia promedio mes faltante
Pf: toal anual (del mes faltante)
Pa: total anual promedio

Fuente: CAR; 2014.

Figura 10. Precipitaciones Totales Mensuales –CAR- “Serie Inicial”.

SERIE INICIAL													
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL
2002	8,6	9,8	50,4	59,4	42,6	35,4	15,2	10,4	33,4	18,0			283,2
2003		19,4	17,6	3,0									40,0
2006			98,5	177,3	119,4	86,7	26,4	13,4	19,2	98,6	111,4	25,7	776,6
2007	13,7	18,5	82,9	75,9	60,1	40,5	32,1	55,6	13,5	190,4	35,8	59,0	678,0
2008	45,9	33,0	77,4	69,9	148,3	54,2	55,3	54,4	72,1	3,2	128,9	73,4	816,0
2009			105,0	71,8	56,8	46,1	40,3	28,8	33,3	98,1	34,7	16,6	531,5
2010	11,2	14,2	23,1	200,1	158,5	47,8	160,2	21,2	70,6	88,4	263,7	84,9	1143,9
2011	70,6	81,7	147,8	273,1	134,9	44,8	39,1	28,9	30,7	135,4	186,2	90,0	1263,2
2012	78,7	47,2	63,8	223,0	33,5	36,9	66,7	22,1	14,0	128,1	74,0	24,9	812,9
2013	8,0	55,2	56,7	67,7	92,8	21,3	24,5	43,4	28,9				398,5
MEDIOS	33,8	34,9	72,3	122,1	94,1	46,0	51,1	30,9	35,1	95,0	119,2	53,5	674,4
MÁXIMOS	78,7	81,7	147,8	273,1	158,5	86,7	160,2	55,6	72,1	190,4	263,7	90,0	1263,2
MÍNIMOS	8,0	9,8	17,6	3,0	33,5	21,3	15,2	10,4	13,5	3,2	34,7	16,6	40,0

Fuente: Morales, L. Porras, J; 2014.

En la figura anterior, las casillas que se encuentran con color amarillo son aquellas casillas en dónde no se registró ninguna información, por lo que se aplica la fórmula del método de las proporciones para obtener los resultados restantes como se observa en la siguiente figura (Ver Figura 11)

Figura 11. Precipitaciones Totales Mensuales –CAR- “Serie Corregida Completa”.

SERIE CORREGIDA COMPLETA													
PRECIPITACIÓN MULTIANUAL				BRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	VR ANUAL
2002	8,6	9,8	50,4	59,4	42,6	35,4	15,2	10,4	33,4	18,0	60,8	24,4	368,4
2003	2,1	19,4	17,6	3,0	6,5	2,9	3,3	1,9	2,2	6,6	8,6	3,4	77,5
2006	41,0	42,4	98,5	177,3	119,4	86,7	26,4	13,4	19,2	98,6	111,4	25,7	859,9
2007	13,7	18,5	82,9	75,9	60,1	40,5	32,1	55,6	13,5	190,4	35,8	59,0	678,0
2008	45,9	33,0	77,4	69,9	148,3	54,2	55,3	54,4	72,1	3,2	128,9	73,4	816,0
2009	28,1	29,0	105,0	71,8	56,8	46,1	40,3	28,8	33,3	98,1	34,7	16,6	588,5
2010	11,2	14,2	23,1	200,1	158,5	47,8	160,2	21,2	70,6	88,4	263,7	84,9	1143,9
2011	70,6	81,7	147,8	273,1	134,9	44,8	39,1	28,9	30,7	135,4	186,2	90,0	1263,2
2012	78,7	47,2	63,8	223,0	33,5	36,9	66,7	22,1	14,0	128,1	74,0	24,9	812,9
2013	8,0	55,2	56,7	67,7	92,8	21,3	24,5	43,4	28,9	65,4	85,6	34,3	583,8
MEDIOS	30,8	35,0	72,3	122,1	85,3	41,7	46,3	28,0	31,8	83,2	99,0	43,7	719,2
MÁXIMOS	78,7	81,7	147,8	273,1	158,5	86,7	160,2	55,6	72,1	190,4	263,7	90,0	1263,2
MÍNIMOS	2,1	9,8	17,6	3,0	6,5	2,9	3,3	1,9	2,2	3,2	8,6	3,4	77,5

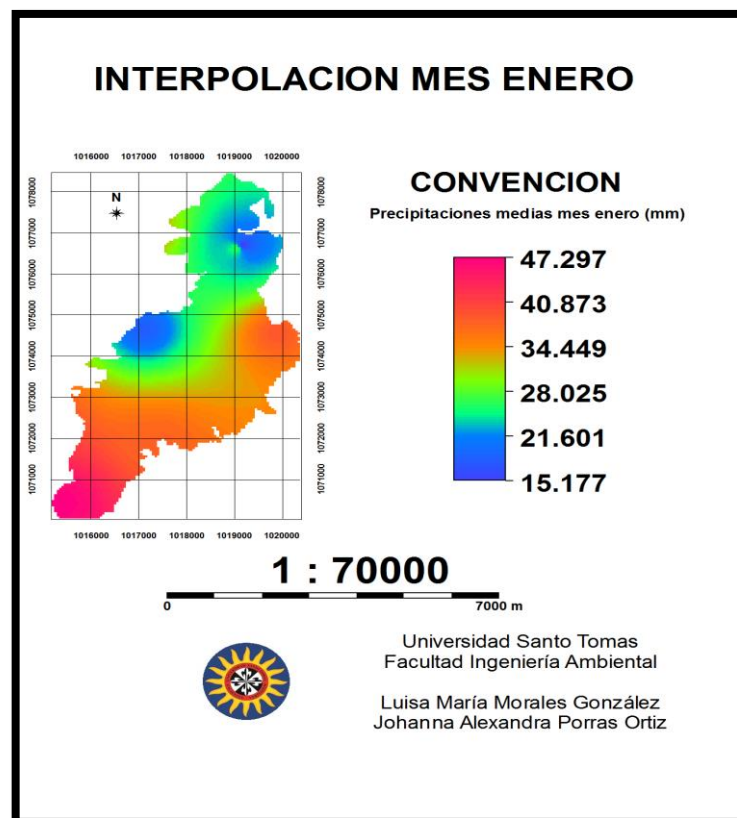
Fuente: Morales, L. Porras, J; 2014.

Al tener las estaciones completas (12 estaciones para el Embalse El Hato), Se tomó la precipitación media de cada estación por meses, y estos datos se introdujeron al programa ArcGIS, en donde junto con el mapa de la delimitación de la cuenca, se realizó una interpolación en IDW y se obtuvieron los datos para cada mes.

Luego en ArcGIS se exportaron los resultados de la interpolación en formato TIF, para después importar los datos vía GDAL en el software ILWIS, seleccionando los archivos TIF. Se nombraron los mapas de la siguiente manera: 01, 02...12 para denominar cada mes (siendo "01" enero y así sucesivamente). Con el fin de obtener los datos restantes (Panual, indx01, index, R) para determinar el factor de erosividad (R).

Estos TIF dan como resultado las interpolaciones de cada mes de acuerdo a la cuenca de estudio y a sus estaciones (12 estaciones), ver figura 12.

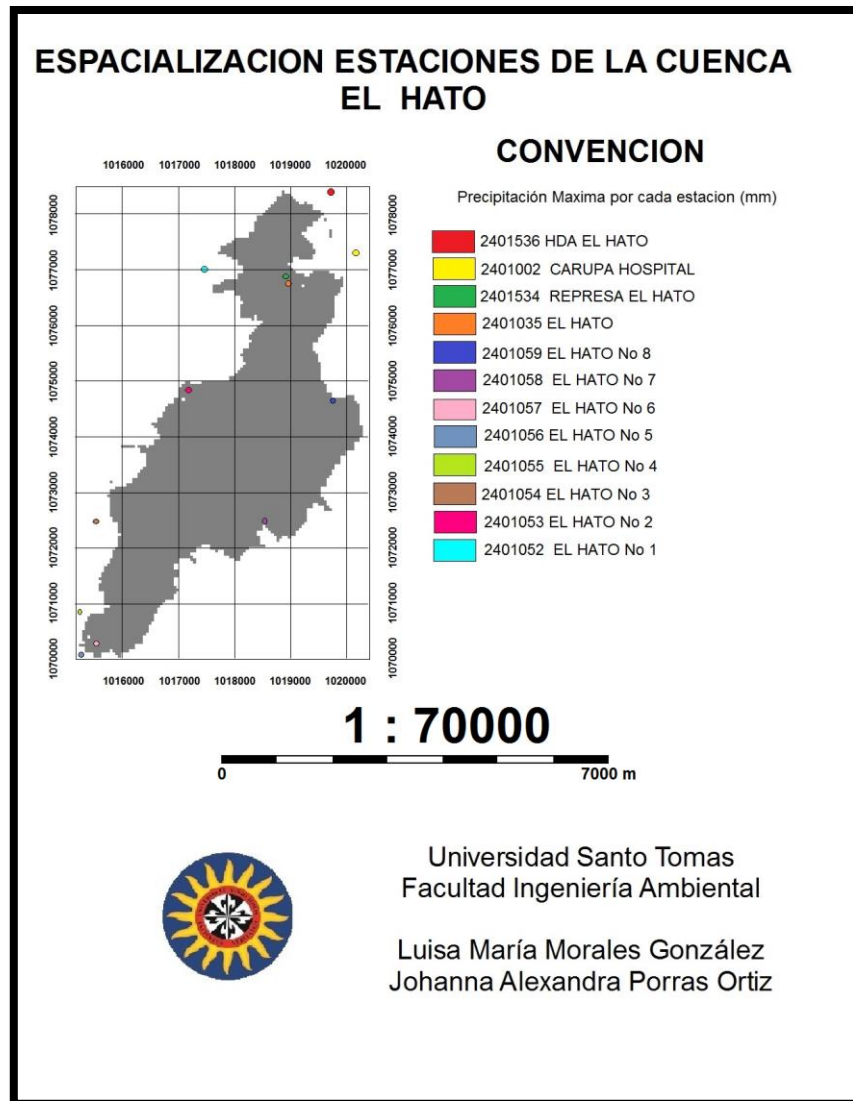
Figura 12. Interpolación en IDW del mes enero.



Fuente: Morales, L. Porras, J; 2014.

Las estaciones anteriormente mencionadas se encuentran localizadas espacialmente como se observa en la Figura 13.

Figura 13. Estaciones cuenca El Hato.



Fuente: Morales, L. Porras, J; 2014.

El último paso a seguir es determinar el valor de R (erosividad de la lluvia) mediante el uso del software Ilwis, teniendo en cuenta los datos mencionados anteriormente para el factor R, e introduciendo las siguientes ecuaciones en el mismo:

- **Panual** = Pn01 + Pn02 + Pn03 + Pn04 Pn12
- **ind01** = ((Pn01 * Pn01) / Panual)
- **index** = Ind01 + Ind02 + Ind03 + Ind04 Ind12
- **R** = 4.17 * index + 152

Dónde:

Pn = Precipitación nula.

Ind = Índices mensuales de precipitación.

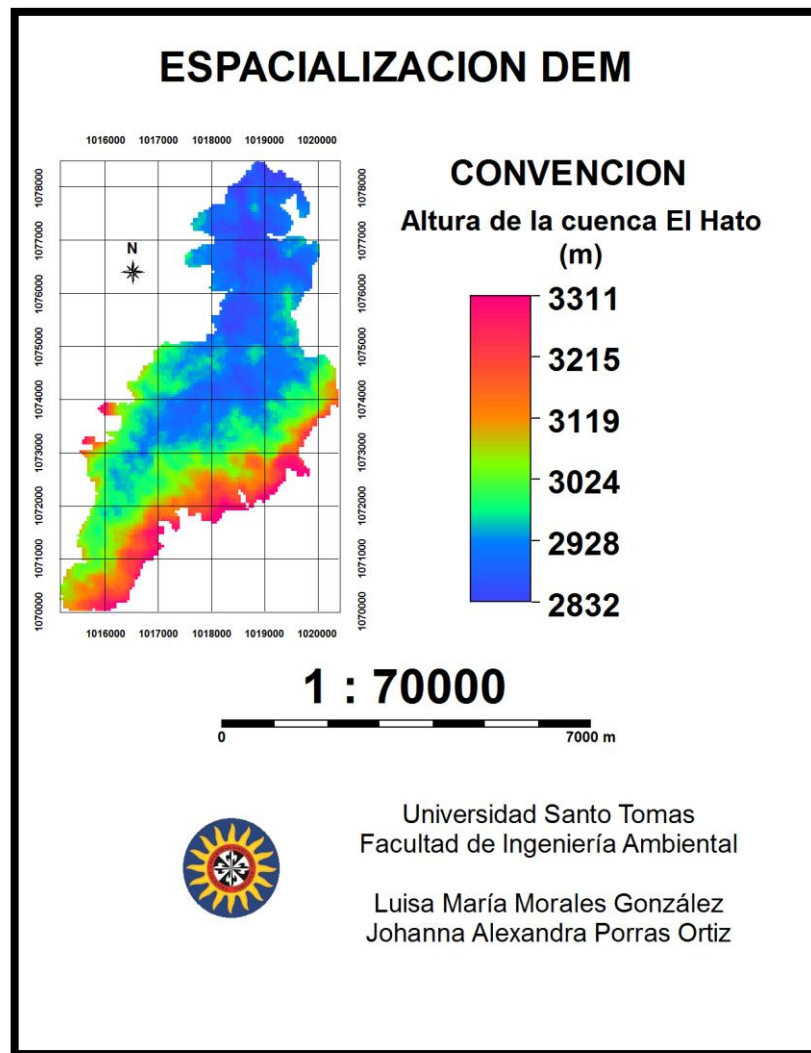
Index = Índice de precipitación total.

5.2.3.3. *Determinación del Factor Longitud e Inclinación de Pendiente LS.*

Para hallar la longitud e inclinación de la pendiente de la cuenca, se utiliza un modelo de elevación digital, y se obtuvo el DEM de la cuenca en ASTER GDEM (<http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/search.jsp>) (Mapa 7, mapas anexos).

Al tenerlo se sobrepuso la delimitación de la cuenca en Arcgis, y se cortó con la finalidad de trabajarlo posteriormente en el software Ilwis, como se observa en la Figura 14. (Mapa 8, Dem con delimitación de la cuenca):

Figura 14. Corte del DEM.



Fuente: Morales, L. Porras, J; 2014.

Teniendo lo anterior en el software Ilwis, para determinar la longitud e inclinación de la pendiente, se tuvo en cuenta la siguiente ecuación:

$$L = (\lambda / 22.1)^m$$

Dónde:

L = Factor longitud pendiente.

λ = Longitud pendiente (m), para nuestro caso es el índice TS.

22.1 = Longitud de la parcela experimental de USLE.
m = exponente que depende del grado de pendiente.

Se generó el mapa de pendiente (Mapa 8, mapa de pendiente) y la longitud de pendiente que fue nombrada *tsf* (Mapa 9, longitud de la pendiente). Posteriormente se obtuvieron los valores de inclinación y longitud de la pendiente con sus respectivos mapas y de acuerdo a las siguientes ecuaciones introducidas en el software Ilwis:

- **Longitud de la pendiente:**

$$L = \text{iff}(\text{pend} < 1, (\text{tsf}/22.1)^{0.2}, \text{iff}(\text{pend} < 3, (\text{tsf}/22.1)^{0.3}, \text{iff}(\text{pend} < 5, (\text{tsf}/22.1)^{0.4}, (\text{tsf}/22.1)^{0.5})))$$

- **Inclinación de la pendiente:**

$$S = \text{iff}(\text{pend} < 9, 10.8 * \sin(\text{pendrad}) + 0.03, 16.8 * \sin(\text{pendrad}) - 0.5)$$

Donde:

Pend = pendiente.

Tsf = Longitud de pendiente (corregido).

Los valores que se dan para las ecuaciones de L y S son valores estándares.

5.2.3.4. Determinación del Factor Cobertura - Manejo C.

Para determinar el valor de cobertura - manejo C, se utilizó el mismo mapa de “valores factor de erodabilidad K”, ya que este mapa contenía la cobertura vegetal y usos del suelo del embalse El Hato.

Para este factor se tuvieron en cuenta los tipos de cultivos producidos y de acuerdo a la tabla obtenida en el documento “Erosión Hídrica. Evaluación de la USLE”.

Figura 15. Valores de factor C, por cada tipo de cultivo.

Tabla 2.9. El factor de cobertura vegetal y técnicas de cultivo (factor C)		
Práctica	Factor C promedio anual	
Suelo desnudo	1	
Bosque o matorral denso, cultivos con capa gruesa de materia orgánica	0.001	
Sabana, pradera en buenas condiciones	0.01	
Sabana o pradera sobrepastoreadas	0.1	
Cubierta de cultivo de desarrollo lento o siembra tardía: primer año	0.3 to 0.8	
Cubierta de cultivo de desarrollo rápido o siembra temprana: primer año	0.01 to 0.1	
Cubierta de cultivo de desarrollo lento o siembra tardía: segundo año	0.01 to 0.1	
Maíz, sorgo, mijo (en función de producción)	0.4 to 0.9	
Arroz (fertilización intensiva)	0.1 to 0.2	
Algodón, tabaco (segundo ciclo)	0.5 to 0.7	
Cacahuete (en función de producción y de fecha de plantación)	0.4 to 0.8	
Primer año de casave y ñame (en función de la fecha de plantación)	0.01	
Palma, café, cacao con cubierta de cultivo	0.1 to 0.3	
Piña en contorno (en función de pendiente)	residuo quemado	0.2 to 0.5
	residuo enterrado	0.1 to 0.3
	residuo superficial	0.2 to 0.8
Piña y siembra de relleno (pendiente del 7 por ciento)	0.1	

Fuente: [53].

Al tener los valores de C para cada zona, se determinó el valor final C de la misma manera en que se generaron los factores anteriores por medio del software Ilwis, que nos arrojó el mapa de resultado. De acuerdo con la imagen anterior se adoptaron los valores de C representados en la siguiente tabla, (Ver tabla 8)

Tabla 8. Factor C para los cultivos del área de estudio.

Cobertura	Cobert	C
Bosque Plantado	Bosque Plantado	0.010
Papa	Papa	0.600
Papa	Papa	0.600
Papa	Papa	0.600
Bosque Plantado	Bosque Plantado	0.010
Pastos Arbolados	Pastos Arbolados	0.010
Pastos emalezados	Pastos emalezados	0.100
Papa y otros cultivo	Papa y otros cultivos	0.500
Papa y otros cultivo	Papa y otros cultivos	0.500
Cultivos de pastos c	Cultivos de pastos con espacios	0.010
Bosque Secundario	Bosque Secundario	0.700
Mosaico de Bosque pl	Mosaico de Bosque plantado	0.010
Lagunas, lagos y cié	Lagunas, lagos y ciénagas	0.300
Lagunas, lagos y cié	Lagunas, lagos y ciénagas	0.300
Cebolla, pastos y ot	Cebolla, pastos y otros cultivo	0.400
Pasotos limpios	Pasotos limpios	0.240
Papa y otros cultivo	Papa y otros cultivos	0.500
Habichuela y otros c	Habichuela y otros cultivos	0.010
Pastos emalezados	Pastos emalezados	0.100
Pasotos limpios	Pasotos limpios	0.240
Pastos y cultivos de	Pastos y cultivos de climas frí	0.200
Papa	Papa	0.600
Papa	Papa	0.600
Bosque Natural Denso	Bosque Natural Denso	0.010
Pastos emalezados	Pastos emalezados	0.100
Papa y otros cultivo	Papa y otros cultivos	0.500
Bosque Secundario	Bosque Secundario	0.700
Vegetación de páramo	Vegetación de páramo y subpáram	0.350
Pastos limpios	Pastos limpios	0.240
Bosque Secundario	Bosque Secundario	0.700
Vegetación de páramo	Vegetación de páramo y subpáram	0.350
Pasotos limpios	Pasotos limpios	0.240
Papa	Papa	0.600

Fuente: Morales, L. Porras, J; 2014.

5.2.3.5. Determinación del Factor Práctica mecánica de apoyo P.

En cuanto al factor **P** (factor práctica mecánica de apoyo.), teniendo en cuenta nuestro proyecto no fue necesario realizarlo ya que dentro de esta zona no se realizan prácticas de suelo de ningún tipo.

5.2.3.6. Determinación del Valor de Perdida de Suelo A.

Al tener todos los valores de cada factor y sus respectivos mapas, el siguiente paso a seguir es la realización de la ecuación universal de la perdida de suelo (USLE), multiplicando cada factor:

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

Se obtuvo el valor de Erosión (A), pero para determinar las áreas más afectadas por erosión dentro de la cuenca se determinó la erosión final de acuerdo a los siguientes rangos (Ver tabla 9):

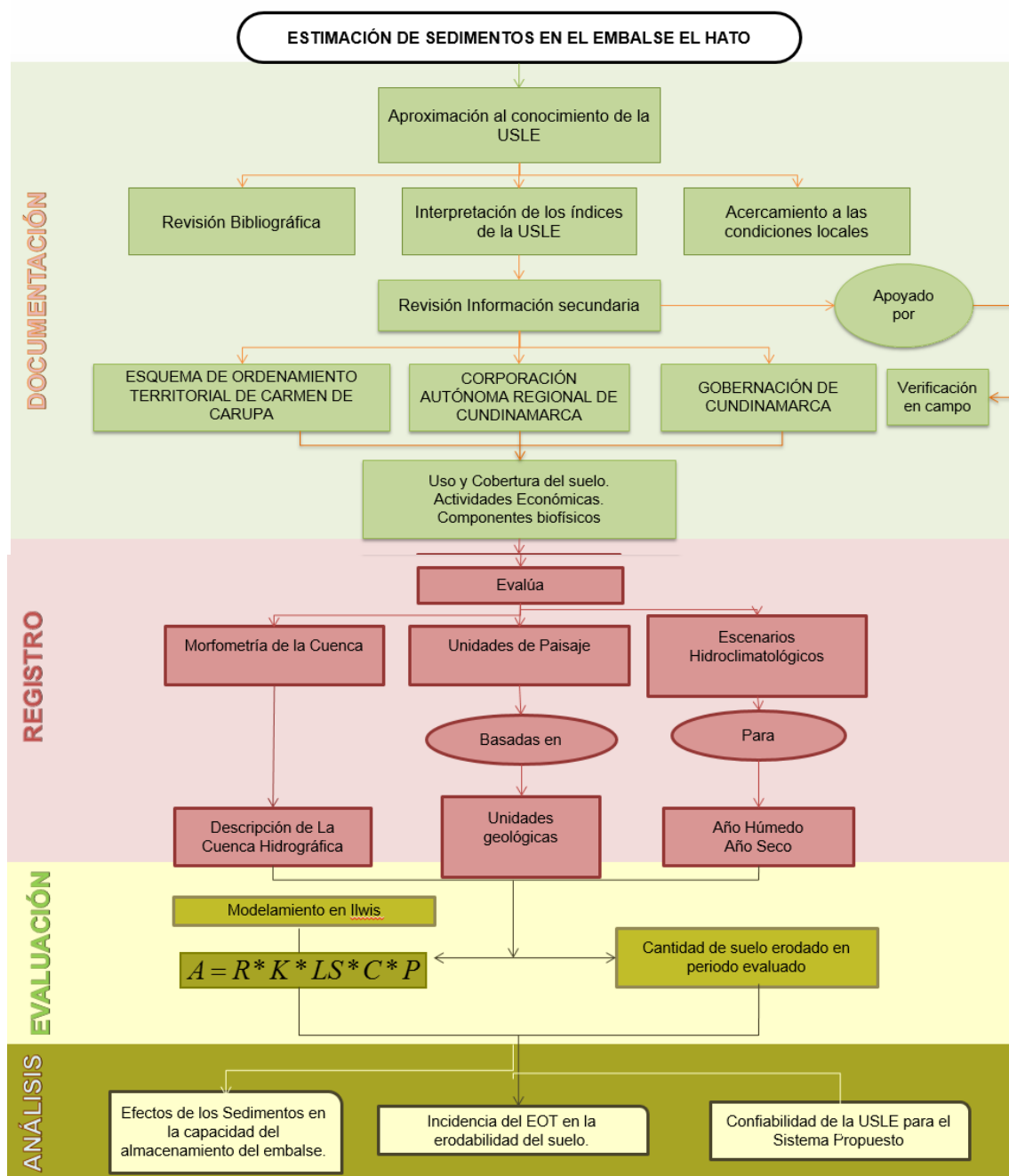
Tabla 9. Rangos para la determinación de la erosión final.

Clases degradación	Erosión t/ha/año	Máximo
Nula	< 10	10
Moderada	10-50	50
Fuerte	>50	10500

Fuente: [52].

A continuación, gráficamente se observa la metodología utilizada durante el desarrollo de la investigación (Ver Figura 14).

Figura 16. Metodología para la estimación del aporte de sedimentos en el embalse El Hato.



Fuente: Morales, L. Porras, J; 2013.

5.3. Identificación de Escenarios Hidroclimatológicos.

Las estaciones que se tuvieron en cuenta para la evaluación de los escenarios hidroclimatológicos se muestran en la tabla 10.

Tabla 10. Descripciones de las estaciones de la cuenca del río El Hato.

Nombre Estación	Tipo de Estación	Municipio	Longitud	Latitud	Altitud	Entidad
					(msnm)	
REPRESA EL HATO	CO	Carupa	1019050	1076620	2900	IDEAM
EL HATO No 8	PM	Carupa	1019888	1074560	2963	IDEAM
EL HATO No 7	PM	Carupa	1017488	1071875	3271	IDEAM
EL HATO No 6	PM	Carupa	1015450	1070440	3105	IDEAM
EL HATO No 5	PM	Carupa	1013862	1068490	3365	IDEAM
EL HATO No 4	PM	Carupa	1012800	1069875	3465	IDEAM
EL HATO No 3	PM	Carupa	1014162	1072825	3398	IDEAM
EL HATO No 2	PM	Carupa	1017138	1074650	2974	IDEAM
EL HATO No 1	PM	Carupa	1017125	1077062	2985	IDEAM
HATO EL HDA.	ST	Carupa	1019172	1076689	2840	IDEAM
HATO EL	PG	Carupa	1019050	1076620	2900	IDEAM
CARUPA HOSPITAL	PG	Carupa	1019840	1083120	2960	IDEAM

Fuente: [54].

Los escenarios hidroclimatológicos utilizados para el cálculo de la pérdida de suelo corresponden al año húmedo y año seco. Es evidente que el año húmedo es aquel durante el cual se registraron los mayores valores de precipitación total anual, comparado con el conjunto de años de registro de cada estación. Por su parte, el año seco es en el que se registró el menor valor de precipitación total anual, comparado con el conjunto de años de registro de cada estación.

Los valores de precipitación de los escenarios para la evaluación del índice de erosividad se muestran en la tabla 11.

Tabla 11. Valores de precipitación de los escenarios para la evaluación del índice de erosividad.

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	TOTAL	
REPRESA EL HATO														
Humedo	2011	70,6	81,7	147,8	273,1	134,9	44,8	39,1	28,9	30,7	135,4	186,2	90,0	1263,2
Seco	2003	2,1	19,4	17,6	3,0	6,5	2,9	3,3	1,9	2,2	6,6	8,6	3,4	77,5
EL HATO No. 8														
Humedo	1973	23,0	12,0	39,0	136,0	75,0	130,0	69,0	146,0	260,0	144,0	224,0	222,0	1480,0
Seco	1998	0,0	55,0	47,5	11,1	22,7	6,5	7,2	10,2	12,9	24,3	22,2	11,6	231,3
EL HATO No. 7														
Humedo	2011	45,0	76,0	214,0	364,0	170,0	79,0	61,0	38,0	59,0	117,0	217,0	73,0	1513,0
Seco	2009	16,2	25,2	48,7	65,0	66,0	54,0	70,0	31,7	47,0	79,0	52,0	11,0	565,8
EL HATO No. 6														
Humedo	1982	106,0	238,0	157,0	325,0	186,0	162,0	198,0	171,0	132,0	282,0	164,0	40,0	2161,0
Seco	2009	0,0	7,0	22,0	50,0	50,0	34,0	26,0	0,0	22,0	34,0	22,0	0,0	743,5
EL HATO No. 5														
Humedo	1985	154,0	271,0	314,0	362,0	388,0	434,0	370,0	323,0	447,0	512,0	390,0	295,0	3129,6
Seco	1998	0,0	0,0	0,0	1,2	1,1	1,3	1,1	1,0	1,1	1,5	1,2	0,0	20,8
EL HATO No. 4														
Humedo	1976	147,0	151,0	169,0	214,0	269,0	270,0	164,0	140,0	212,0	238,0	259,0	158,0	1446,0
Seco	1998	0,0	7,0	23,0	4,8	4,6	3,8	3,3	3,1	3,7	4,7	4,2	0,0	69,3
EL HATO No. 3														
Humedo	1991	187,0	188,0	184,0	205,0	191,0	295,0	176,0	221,0	244,0	304,0	241,0	169,0	1676,0
Seco	1997	0,0	11,0	11,0	4,0	40,0	35,0	34,0	27,0	28,0	32,0	40,0	13,0	709,0
EL HATO No. 2														
Humedo	2011	121,0	129,0	201,0	466,0	250,0	122,0	220,0	112,0	150,0	286,0	293,0	141,0	1573,0
Seco	1992	0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	3,0	5,0	2,0	0,0	0,0	5,0	0,0	244,0
EL HATO No. 1														
Humedo	2011	139,0	123,0	223,0	387,0	222,0	118,0	154,0	146,0	186,0	244,0	294,0	203,0	1898,0
Seco	1998	0,0	0,0	14,8	4,0	20,9	2,6	4,9	7,1	0,0	12,0	9,6	0,0	225,1
EL HATO HDA														
Humedo	2011	45,4	86,3	172,1	324,9	166	109,8	163,6	71,4	163,1	157,7	220	135,6	1194,2
Seco	2009	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
EL HATO														
Humedo	1979	130,8	86,3	208,6	241,2	183,1	165,1	86	122,5	163,1	190	264	153,5	963,4
Seco	1992	0	0,5	5	24,2	22,5	3,9	0,9	5	0,4	15,8	32,6	4	524,4
EL HATO HOSPITAL														
Humedo	2011	96,1	93,4	138,6	258,1	202,7	107,7	119,2	92,6	127,7	192,2	202,7	109,0	1329,1
Seco	2005	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Fuente: IDEAM, 2012.

Los escenarios hidroclimatológicos evaluados para la cuenca aferente fueron: año húmedo, que comprende la máxima precipitación total anual, del récord de lluvias de cada una de las estaciones seleccionadas; año seco, evaluado mediante la sumatoria de las precipitaciones medias mensuales de cada una de las estaciones meteorológicas elegidas en la cuenca, que registre el menor valor total anual; año promedio, evaluado mediante la media aritmética de las precipitaciones mensuales multianuales de los eventos de las estaciones como se observa en la tabla 12.

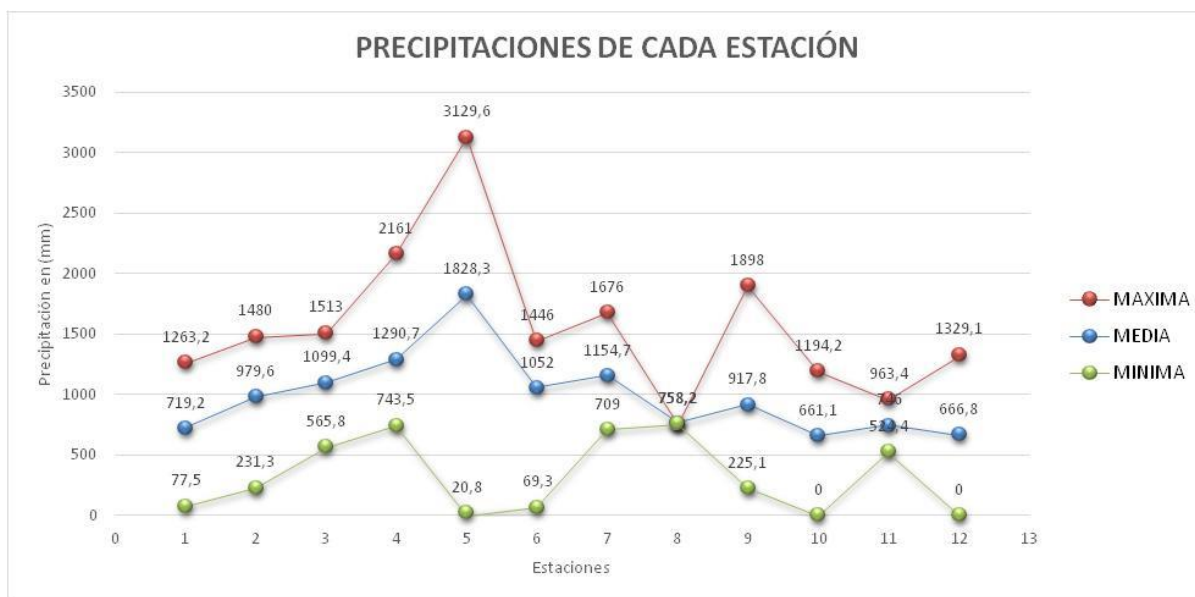
Tabla 12. Precipitaciones máximas, medias y mínimas de cada estación.

ESTACION	PRECIPITACIONES (mm)		
	MEDIA	MAXIMA	MINIMA
1. REPRESA EL HATO	719,2	1263,2	77,5
2. EL HATO No 8	979,6	1480,0	231,3
3. EL HATO No 7	1099,4	1513,0	565,8
4. HATO No 6	1290,7	2161,0	743,5
5. EL HATO No 5	1828,3	3129,6	20,8
6. EL HATO No 4	1052,0	1446,0	69,3
7. ELHATO No 3	1154,7	1676,0	709,0
8. EL HATO No 2	758,2	758,2	758,2
9. EL HATO No 1	917,8	1898,0	225,1
10. EL HATO HDA.	661,1	1194,2	0,0
11. EL HATO	746,0	963,4	524,4
12. CARUPA HOSPITAL	666,8	1329,1	0,0

Fuente: IDEAM, 2012.

Como se observa en la figura 17, las lluvias máximas se presentan con una frecuencia más alta, indicando la relación directamente proporcional que existe con el porcentaje acumulado, como representación gráfica de los escenarios hidroclimatológicos evaluados. En la Tabla 13 se encuentran las precipitaciones máximas, mínimas y medias por cada año.

Figura 17. Precipitaciones máximas, medias y mínimas de cada estación.



Fuente: Morales, L. Porras, J; 2014.

Tabla 13. Precipitaciones máximas, mínimas y medias por cada año.

	AÑO	R (mm)		AÑO	R (mm)
REPRESA EL HATO			EL HATO No 3		
MEDIOS		719,2	MEDIOS		1154,7
HUMEDO	2011	1263,2	HUMEDO	1991	1676,0
SECO	2003	77,5	SECO	1997	709,0
EL HATO No 8			EL HATO No 2		
MEDIOS		979,6	MEDIOS		758,2
HUMEDO	1973	1480,0	HUMEDO	2011	1573,0
SECO	1998	231,3	SECO	1992	244,0
EL HATO No 7			EL HATO No 1		
MEDIOS		1099,4	MEDIOS		917,8
HUMEDO	2011	1513,0	HUMEDO	2011	1898,0
SECO	2009	565,8	SECO	1998	225,1
EL HATO No 6			HDA EL HATO		
MEDIOS		1290,7	MEDIOS		661,10594
HUMEDO	1982	2161,0	HUMEDO	2011	1194,2075
SECO	2009	743,5	SECO	2009	0
EL HATO No 5			EL HATO		
MEDIOS		1828,3	MEDIOS		745,99188
HUMEDO	1985	3129,6	HUMEDO	1979	963,4
SECO	1998	20,8	SECO	1992	524,4
EL HATO No 4			CARUPA HOSPITAL		
MEDIOS		1052,0	MEDIOS		666,8
HUMEDO	1976	1446,0	HUMEDO	2011	1329,1
SECO	1998	69,3	SECO	2005	0,0

Fuente: IDEAM, 2012.

5.4. Morfometría de la cuenca

Con la finalidad de realizar la cuantificación de las características físicas de la cuenca de estudio, para la medición y evaluación de los rasgos morfométricos de la cuenca hidrográfica del río El Hato se utilizó el software para sistemas de información geográfica gvSIG, para determinar el área y perímetro de la cuenca. Al tener estos valores se determinaron los demás rasgos por medio de fórmulas:

a. Forma de cuenca:

El coeficiente de circularidad de Miller se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$Cc = 4\pi \frac{A}{P^2}$$

Dónde: A= Área de la cuenca Km²

P= Perímetro de la cuenca Km

Lo anterior, expresa que el coeficiente de circularidad de Miller varía entre 0 y 1. En este caso, los valores cercanos a 1 indican morfologías ensanchadas, mientras que un coeficiente de circularidad cercano a 0, indica que las cuencas son alargadas.

b. Red de drenaje:

Relación de bifurcación. Horton (1945) sugirió la jerarquización de causas de acuerdo al número de orden un río, como una medida de ramificación del cauce principal en una cuenca hidrográfica, el cual fue modificado por Strahler en el año 1964. A partir de dicha jerarquización de los cauces se puede obtener el valor de la relación expresada así:

$$Rb = \frac{Nu}{Nu + 1}$$

Dónde: Nu = Número de orden de cada cauce.

La Tabla 14 muestra el número de orden de cada cauce de la cuenca El Hato.

Tabla 14. Número de orden de cada cauce de la cuenca El Hato.

Orden	Numero de orden de cada cauce. (Nu)
1	61
2	21
3	17
4	1

Fuente: Morales, L. Porras, J; 2014.

c. Densidad de drenaje:

Relación entre la longitud total de las corrientes de agua de la cuenca y su área total.

$$Dd = \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^N l_{i,u} / A$$

Dónde: D = densidad de drenaje expresada en Km/Km²

$l_{i,u}$ = Longitud total de todos los cauces en Km²

A = área de la cuenca Km²

La tabla 15 muestra la longitud total de todos los cauces en Km²

Tabla 15. Longitud total de todos los cauces en Km²

Orden	Longitud total de los cauces.
1	2.1430
2	1.6627
3	1.0713
4	0.4771

Fuente: [55].

Los valores que permiten interpretar la densidad de drenaje se pueden ver en la tabla 16.

Tabla 16. Valores interpretativos de la densidad de drenaje.

Densidad de Drenaje (Km/Km ²)	Categoría
< 1	Baja
1 a 2	Moderada
2 a 3	Alta
> 3	Muy Alta

Fuente: [55]

d. Longitud promedio del cauce de orden:

Propiedad dimensional que refleja el tamaño característico de los causes y de las superficies de sus cuencas contribuyentes.

Para obtener la longitud promedio del cauce de orden U, se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$\bar{l}_u = \sum_{i=1}^N l_{i,u} / N_u$$

Dónde: $l_{i,u}$ = longitud de los cauces en Km.

N_u = Número de orden.

e. Pendiente media de la cuenca:

Nos muestra la respuesta de la cuenca frente a las precipitaciones. Esta pendiente media controla la velocidad con que se dará la escorrentía superficial en dicha cuenca, es decir que influye en la velocidad con que se da la escorrentía superficial y afecta el tiempo que lleva el agua de lluvia para concentrarse en los lechos fluviales que constituyen la red de drenaje de la cuenca.

En la medida en que los valores de la pendiente media del cauce principal y la pendiente media de la cuenca se incrementan, mayor será la posibilidad de generar crecidas, ya que la capacidad de arrastre de sedimentos y la velocidad del caudal en caso de tormentas se incrementa en aquellas cuencas que presentan valores altos de pendientes [35].

La pendiente media de la cuenca se calcula por el método de Alvord [56], el cual se muestra a continuación:

$$Sc = \left(\frac{\sum Li * eq}{A} \right) * 100$$

Dónde: **Sc**: Pendiente media de la cuenca.

$\sum Li$: Sumatoria de todas las longitudes de las curvas de nivel en Km.

Eq: Equidistancia entre curvas en Km. Por ejemplo en un mapa a escala 1:10.000 la equidistancia será igual a 0.1 Km.

A: Área de la cuenca en Km²

Los valores interpretativos de la pendiente media de una cuenca se pueden ver en la siguiente tabla (Ver tabla 17):

Tabla 17. Característica cualitativa del relieve de una cuenca de acuerdo a su pendiente.

Pendiente media (%)	Terrenos
0-2	Llano
2-5	Suave
5-10	Accidentado medio
10-15	Accidentado
15-25	Fuertemente accidentado
25-50	Escarpado
>50	Muy escarpado

Fuente: [35].

5.5. Efectos de la sedimentación sobre el embalse El Hato

Para determinar la evaluación de las tasas de erosión hídrica y su relación con la producción de sedimentos de la cuenca es necesario hacer la diferencia entre la tasa de erosión in-situ y la tasa de producción de sedimentos, ya que la tasa de erosión relaciona el volumen de suelo perdido por erosión hídrica en un sitio determinado de la cuenca, dada en ton/ha/año, mientras que la tasa de producción de sedimentos representa el volumen total de sedimentos producidos

en la cuenca que son transportados hasta la salida de la cuenca fundamentalmente a través de su red hidrográfica dada también en ton/ha/año. Para lo anterior se realizó un análisis con relación a los valores arrojados en el mapa de la erosión final con la capacidad de almacenamiento y volumen actual del embalse.

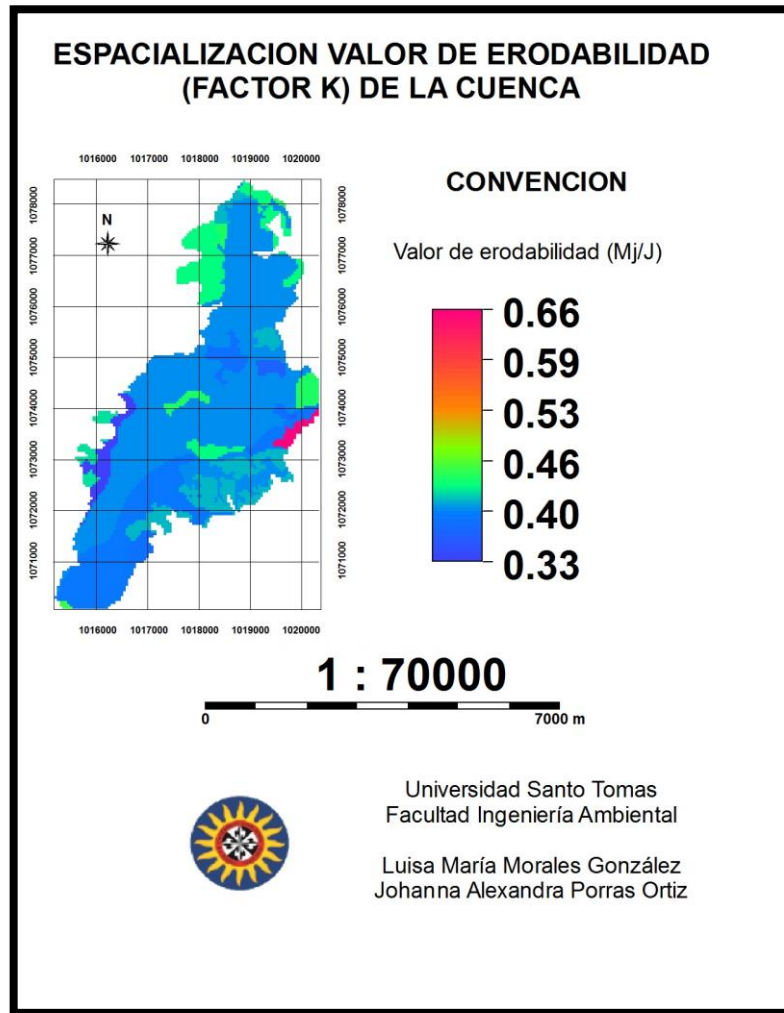
6. ANALISIS DE RESULTADOS

Los mapas a continuación relacionados son el resultado obtenido del procedimiento paso a paso como se describe en la metodología (Numeral 5), en dónde como resultado final se obtiene la generación de los siguientes mapas finales, a partir de los resultados y datos introducidos en el software Ilwis para cada uno de los factores de la ecuación.

6.1. Factor de Erodabilidad (K):

Se obtuvo los valores finales de erodabilidad en el siguiente mapa (Ver Figura 18).

Figura 18. Espacialización de Erodabilidad de la cuenca (factor K).



Fuente: Morales, L. Porras, J; 2014.

Según el resultado obtenido en el mapa, teniendo en cuenta la textura del suelo entre más alto sea el valor de K, mayor susceptibilidad tiene esa área a la erosión; es decir menor es la capacidad de resistencia a la erosión.

El valor de 0.66 corresponde a una zona de suelo franco, de estructura granular fina, permeabilidad muy lenta y niveles de materia orgánica medios, esto quiere decir que es un área ideal de alta productividad agrícola debido a su textura relativamente suelta, aunque según el mapa presenta el mayor grado de susceptibilidad a la erosión de toda la cuenca.

El valor de 0.59 corresponde a un tipo de suelo franco arcilloso, de estructura granular fina, permeabilidad muy lenta y niveles medios de materia orgánica. Esto quiere decir, que es un suelo apropiado para la productividad agrícola y según el mapa presenta un alto grado de susceptibilidad a la erosión aunque no es el mayor.

El valor de 0.53 corresponde a una zona de suelo franco arcillosa, de estructura granular muy fina, permeabilidad muy lenta y niveles de materia orgánica altos, esto quiere decir que es el área ideal de alta productividad agrícola debido a su textura relativamente suelta. Según el mapa presenta un grado medio de susceptibilidad a la erosión de toda la cuenca y no es representativo a comparación de los demás valores arrojados por el modelo.

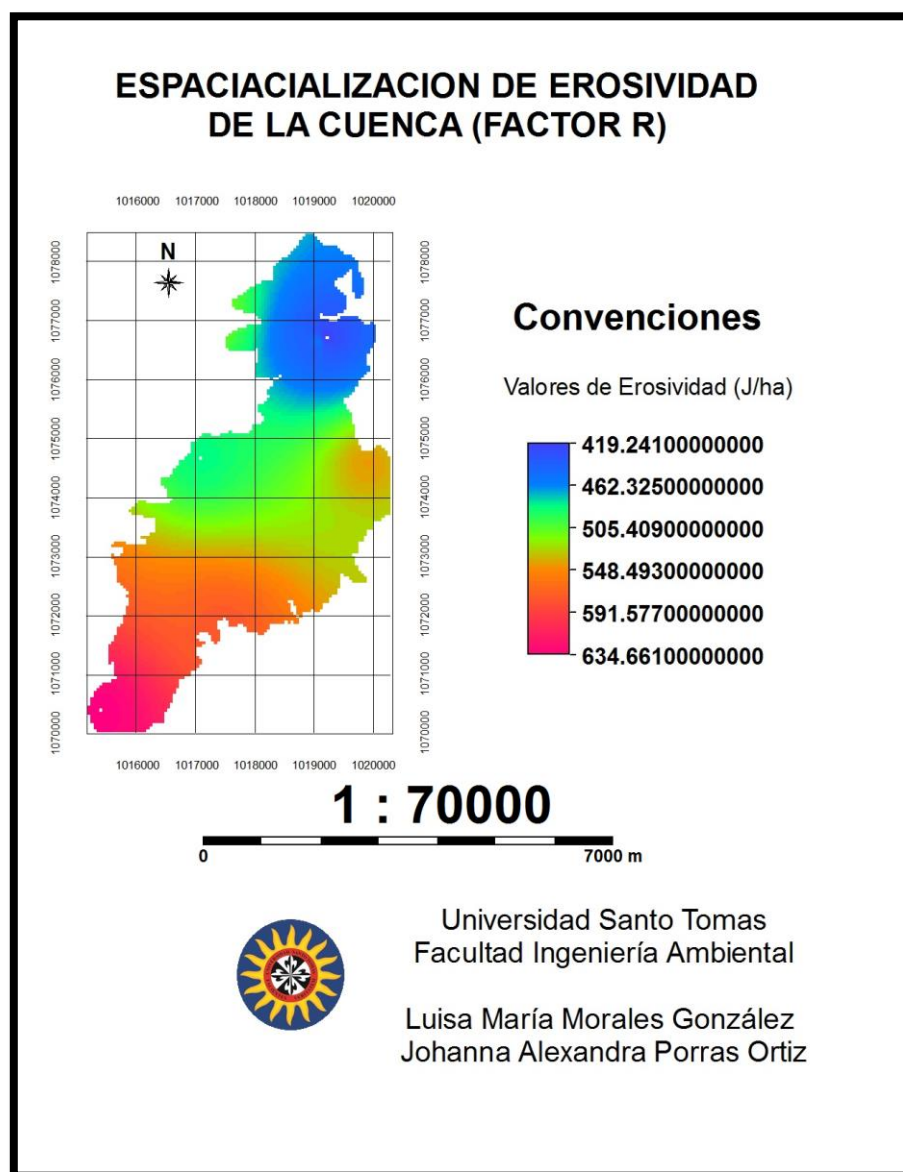
Los valores de 0.46 y 0.40, representan los suelos con mayor superficie ocupada en el área de estudio, corresponde a una zona de suelo arenoso y franco arenoso, de estructura granular muy fina, permeabilidad muy lenta y niveles de materia orgánica altos, esto quiere decir, que tienen una alta tasa de drenaje y a su vez una mayor aireación, pero no mantienen bien los nutrientes del suelo. Esto puede ser causado por el uso de fertilizantes químicos que degradan y erosionan con mayor frecuencia el suelo si son utilizados para cultivos. Según el mapa presenta pocas zonas dentro del área de estudio, con un bajo grado de susceptibilidad a la erosión.

El valor de 0.33 corresponde a una zona de suelo franco, de estructura granular fina, permeabilidad muy lenta y los niveles de materia orgánica más altos. Esto quiere decir que es un área ideal de alta productividad agrícola debido a su textura relativamente suelta. Según el mapa presenta el menor grado de susceptibilidad a la erosión de toda la cuenca.

6.2. Factor de Erosividad de la Lluvia (R):

Se obtuvo el valor de erosividad de la lluvia mediante el siguiente mapa (Ver Figura 19)

Figura 19. Espacialización de Erosividad de la cuenca (factor R).



Fuente: Morales, L. Porras, J; 2014.

Según el resultado obtenido en el mapa R (erosividad), podemos observar que los valores más bajos fueron de 419.24 y 462.325 (J/ha), y se presentaron en la parte baja de la cuenca, lo que nos indica que las lluvias no tienen mayor suceso en esta zona, por lo que la incidencia hídrica es menor.

Ya en la parte medio de la cuenca hay un incremento de la precipitación anual de 505.409 (J/ha) que revela un aumento de incidencia hídrica en esta zona no muy alta con respecto a la parte baja de la cuenca, cabe anotar que hacia la parte occidente el valor de la erosividad es más bajo que el de la parte oriente y centro norte de la cuenca ya que aquí se presenta un valor un poco más alto de 548.493 (J/ha).

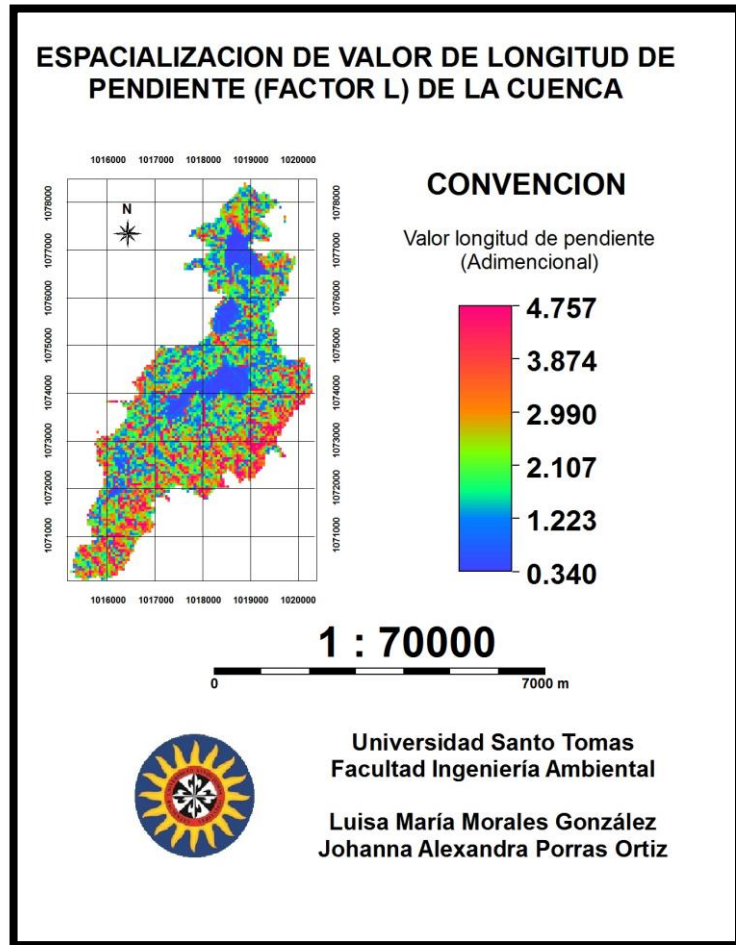
En cuanto a la parte alta de la cuenca encontramos un valor de erosividad mayor de 634.6612 (J/ha), lo que nos indica que las lluvias son altas en esta zona, esto genera una mayor erosividad y por ende mayor erosión.

Se puede observar también que la mayor proporción de los valores de índices R, se encuentra en un rango de 500 a 650 (J/ha), que son los valores más altos de erosividad, lo que genera un gran daño al suelo puesto que abarcan la mayor parte de la cuenca.

6.3. Factor de Longitud (L):

Se obtuvo el valor de Longitud mediante el siguiente mapa (Ver Figura 20)

Figura 20. Espacialización de longitud pendiente de la cuenca (factor L).



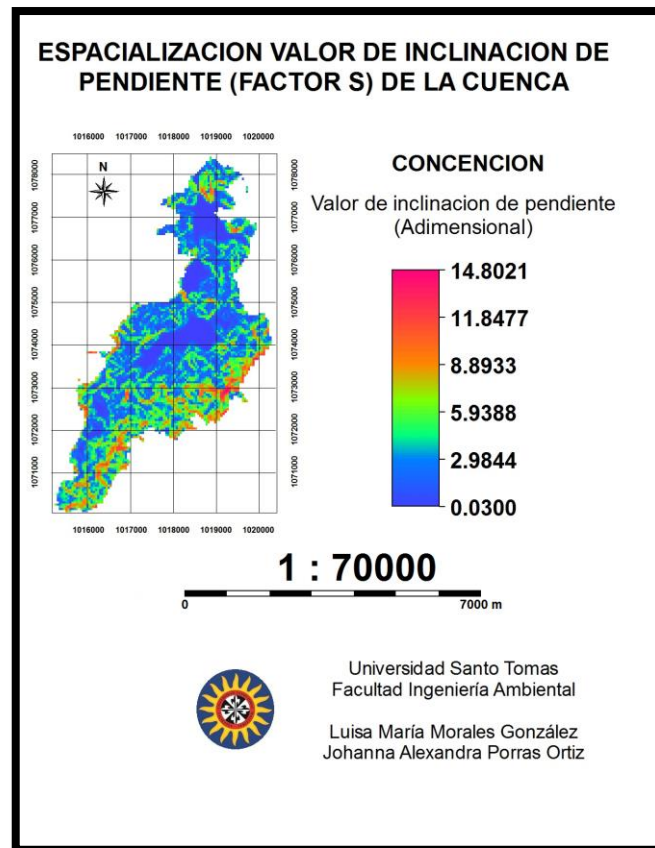
Fuente: Morales, L. Porras, J; 2014.

La longitud de la pendiente determina la distancia horizontal desde el origen del flujo hasta un punto, donde el gradiente de la pendiente se reduce lo suficiente para que la deposición comience y el escurrimiento llegue a ser concentrado en un canal definido, según esto, la figura 20 nos muestra un intervalo que va desde 0.340 a 4.757, indicando que el gradiente de la pendiente se redujo para formar un flujo de agua, la cual genera impactos al suelo y a su vez va ocasionando daños. Las zonas de color rosa son las que menor degradación de suelo presentan ya que la longitud de la pendiente es mayor y no hay un flujo concentrado de agua; mientras que el color azul oscuro nos muestra una concentración fuerte de flujo de agua, porque por estas zonas pasa el río el Hato que se encuentra posteriormente con el embalse, causando afectaciones en el suelo.

6.4. Factor de Inclinação Pendiente (S):

Obtuvimos el valor de pendiente mediante el siguiente mapa (Ver Figura 21)

Figura 21. Espacialización de inclinación pendiente de la cuenca (factor S).



Fuente: Morales, L. Porras, J; 2014.

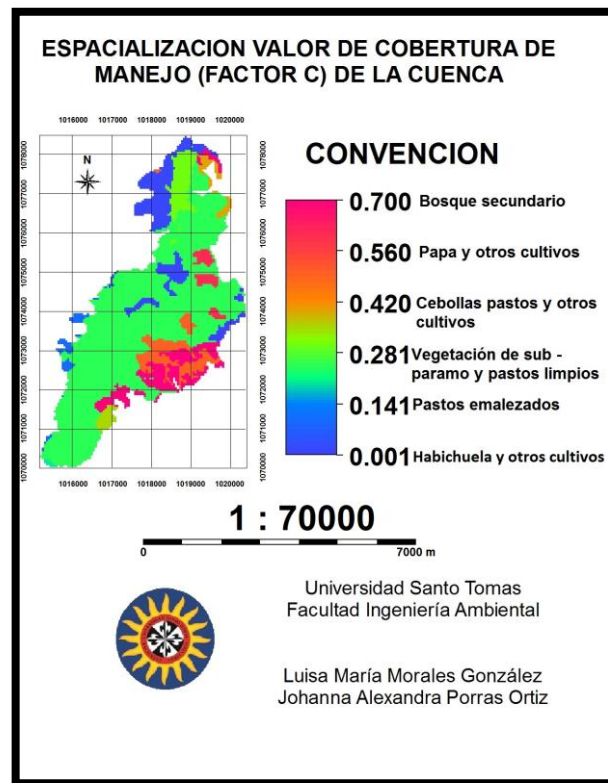
La inclinación de la pendiente refleja la influencia del gradiente de la pendiente en la erosión y el potencial de la erosión se incrementa con la inclinación de la pendiente. De acuerdo al mapa obtenido de S (pendiente), podemos decir que tiene una relación directamente proporcional con la degradación del suelo, puesto que a mayor gradiente de pendiente mayor erosión de suelo. Lo anterior lo vemos reflejado en la figura 21, ya que los valores obtenidos en el mapa con menor pendiente (0.0300), presentarían una degradación de suelo más baja debido a que tienen una relación directa; como se observa en la parte baja y media de la cuenca mientras que va aumentando progresivamente la pendiente.

Además de ser más notoria en la parte oriental de la cuenca con un valor de (5.9388 y 8.8933) y hacia la parte alta se mantiene aunque con algunas zonas que presentan valores más altos de (11.8477 y 14.8021) lo cual indica que la parte alta de la cuenca es la que muestra una mayor degradación del suelo debido a la inclinación de la pendiente, evidenciando también que esta última desplaza los sedimentos hacia el canal que se definió para que pase el flujo de agua generando un gran daño al suelo.

6.5. Factor de Cobertura de Manejo (C):

Se obtuvo el valor de cobertura de manejo mediante el siguiente mapa (Ver Figura 22).

Figura 22. Espacialización de Cobertura de manejo de la cuenca (factor C).



Fuente: Morales, L. Porras, J; 2014.

Este factor refleja el efecto de las prácticas de cultivo y manejo en las tasas de erosión, siendo a menudo el más usado para comparar impactos de distintas opciones de manejo dentro de los planes de conservación, indicando como estos planes afectan el promedio de pérdida de suelo y como la pérdida potencial se

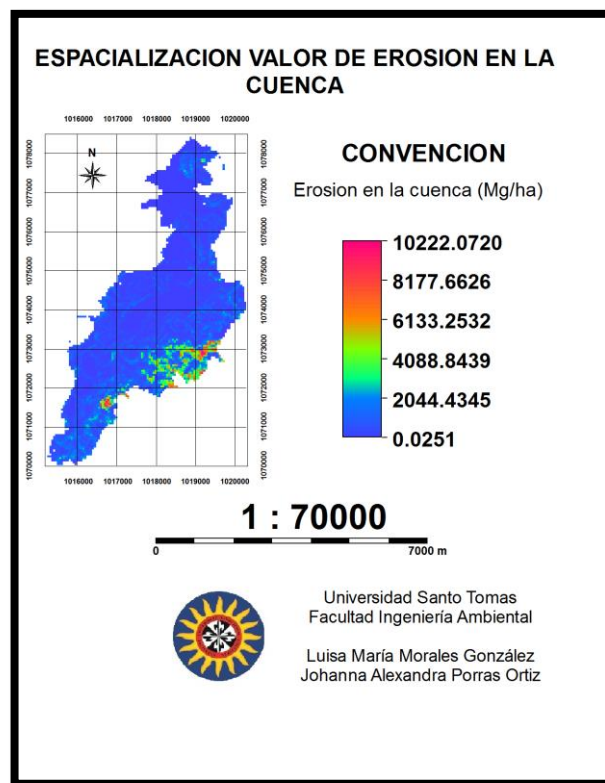
distribuirá en el tiempo durante las actividades de construcción, rotación de cultivos u otro esquema de manejo.

Según el mapa de cobertura de manejo (c), teniendo en cuenta la definición anterior y el rango establecido que comprende desde 0.001 hasta 1.0; se puede analizar que en los cultivos de habichuela, la vegetación de páramo y subpáramo y pastos emalezados, generan grandes problemas de erosión pues su tipo de vegetación herbácea, arbustiva chica; permiten el paso a la gota de agua de manera directa a una altura de 0,5 metros, lo que hace que caiga con mayor intensidad y la erosión sea mayor. Los cultivos de papa al ser el cultivo predominante en el área de estudio, de acuerdo al mapa de cobertura de manejo generan una afectación media según los rangos establecidos, debido a su tipo de vegetación clasificada como arbustos o matorrales que permiten la penetración de la gota de agua a una altura de 2 metros. Los bosques secundarios que se encuentran cerca al embalse El ható y hacia la parte oriental de la cuenca, indican que la erosión es mucho menor pues su vegetación de árboles evita que las gotas de agua caigan con mayor intensidad ya que la altura promedio de caída de las gotas es de 4 metros. La vegetación incluyendo árboles, arbustos, hierbas y pastos representa la mejor protección contra la erosión.

6.6. Determinación del Valor de Erosión (A):

Se obtuvo el valor de erosión mediante el siguiente mapa (Ver Figura 23).

Figura 23. Espacialización de Erosión de la Cuenca.



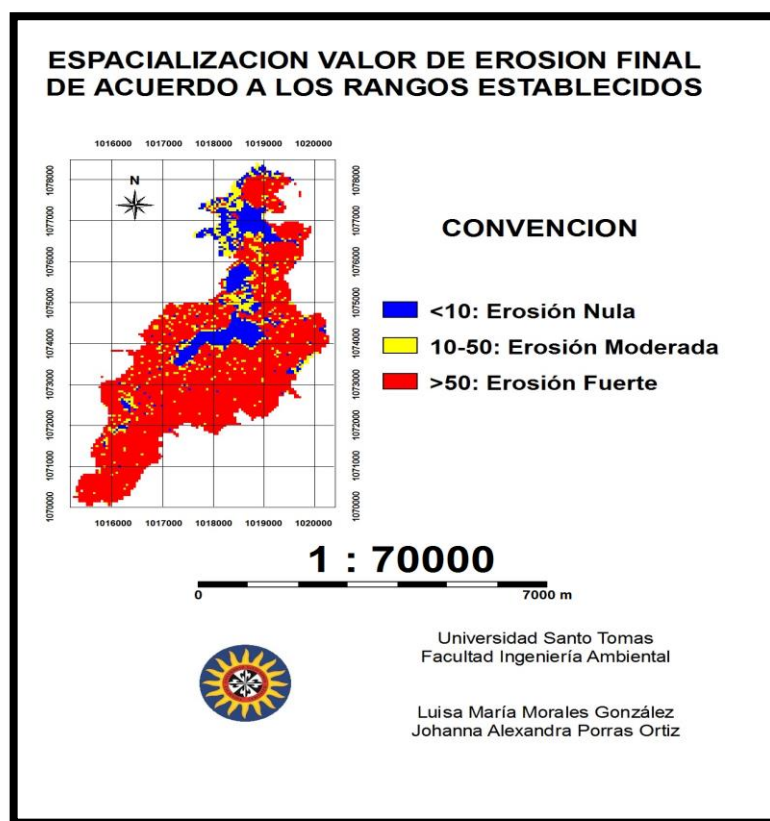
Fuente: Morales, L. Porras, J; 2014.

De acuerdo al resultado arrojado por el mapa anterior, las zonas en las cuales existe un mayor aporte de sedimentos son las que corresponden a los valores de 6.133 a 10222.07 (Mg/ha). Esto indica que esta zona es la más susceptible a la erosión y a su vez aporta la mayor cantidad de sedimentos. Al estar ubicados estos valores en la parte alta y oriental de la cuenca y por ser zonas de mayor aporte de sedimentos, las corrientes y los flujos naturales de agua transportan estas partículas hasta llegar al embalse causando una disminución en la entrada de agua.

6.7. Determinación del Valor de Erosión Final de Acuerdo a los Rangos (A):

Se obtuvo el valor de erosión final el siguiente mapa (Ver Figura 24).

Figura 24. Espacialización de Erosión Final de acuerdo a los rangos establecidos.



Fuente: Morales, L. Porras, J; 2014.

De acuerdo con el mapa final de erosión y los parámetros utilizados en la metodología para hallar la erosión de la cuenca podemos ver que en la mayor parte de la cuenca se presenta un alto porcentaje de erosión, y se evidencia mucho más en la parte alta de esta misma; también podemos ver en la parte donde se encuentra ubicado el embalse (parte baja de la cuenca), que la erosión es nula y hacia el occidente moderada, esto nos muestra que las afectaciones vienen desde el nacimiento del río El Hato. Lo anterior genera sedimentos y a su vez va disminuyendo la cantidad de agua que puede almacenar el embalse El Hato pues como es conocido, este embalse se nutre del río el Hato.

Con relación a lo anterior en la evaluación de la USLE, se evidenció que los valores no solo representan una unidad cuantitativa, sino que son la interacción de los diferentes agentes involucrados en la erosión.

Es por esto que cuando se habla de escenario, no solo se debe remitir a los condicionados por las variables climatológicas, si no todas aquellas propias del terreno que estén afectado la condición misma de la unidad.

En este orden de ideas, los efectos de la sedimentación en el embalse van encaminados hacia un mismo punto y es la colmatación del mismo. La disminución el vaso, esta procurada en parte, por la características climatológicas que enmarcan el sistema.

6.8. Identificación de escenarios Hidroclimatológicos

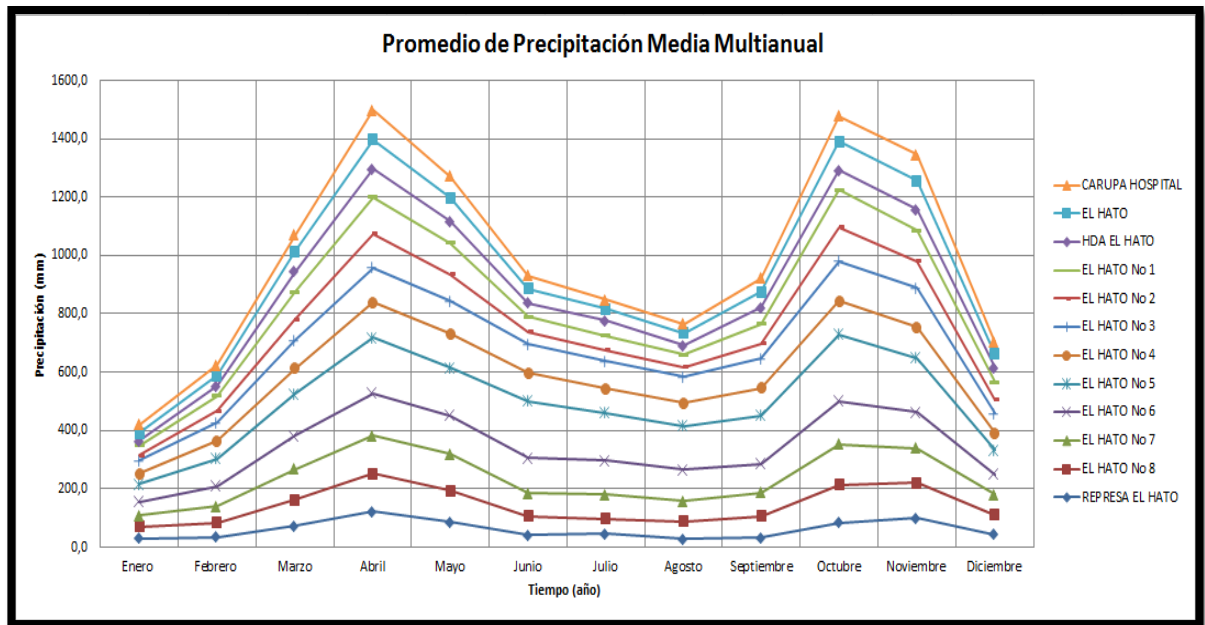
A continuación se evidencian los promedios de las precipitaciones medias multianuales (Ver tabla 18 y Figura 25).

Tabla 18. Promedio precipitaciones medias multianuales.

ESTACION	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
REPRESA EL HATO	30,8	35,0	72,3	122,1	85,3	41,7	46,3	28,0	31,8	83,2	99,0	43,7
EL HATO No 8	38,8	47,5	88,8	129,6	107,4	63,4	51,0	59,8	73,9	130,9	120,8	67,6
EL HATO No 7	37,8	57,7	106,2	130,8	127,2	80,4	82,2	70,7	80,5	139,5	118,6	67,9
EL HATO No 6	47,3	68,7	115,4	145,1	130,6	120,3	116,6	106,4	99,6	146,9	122,9	70,9
EL HATO No 5	61,0	93,8	142,5	190,6	165,2	194,2	164,3	150,8	165,9	228,6	188,0	83,5
EL HATO No 4	36,8	60,3	88,1	121,3	116,3	97,6	83,1	78,2	94,4	114,7	104,5	56,6
EL HATO No 3	43,5	62,9	96,2	119,3	111,8	97,8	94,7	90,2	100,3	135,7	133,6	68,9
EL HATO No 2	18,2	40,0	71,9	116,6	92,2	43,6	36,9	32,6	51,9	116,1	92,4	45,8
EL HATO No 1	34,7	52,2	93,1	124,1	105,9	50,1	49,8	44,0	67,8	129,1	105,6	61,3
HDA EL HATO	14,7	33,1	68,7	97,8	74,6	47,2	51,7	29,6	54,9	66,8	72,7	49,3
EL HATO	27,3	36,1	71,0	99,9	80,7	49,7	40,2	42,9	54,4	98,5	98,1	47,3
CARUPA HOSPITAL	28,3	36,9	56,4	100,9	74,6	45,0	32,1	31,4	46,2	86,7	88,7	39,6

Fuente: IDEAM, 2012.

Figura 25. Promedio de Precipitación media multianual.



Fuente: Morales, L. Porras, J; 2014.

Teniendo en cuenta las estaciones de la cuenca objeto de estudio, y las precipitaciones medias de estas, se hace evidente a lo largo del año una distribución de tipo bimodal, la cual se genera por el paso de la zona de confluencia intertropical (ZITC), que conlleva a su paso dos períodos húmedos y dos secos que se presentan intercalados a lo largo del año.

Adicional se evidencia que hay un aumento de lluvias de Marzo a Mayo, y de Septiembre a Noviembre, siendo Abril y Octubre los meses más húmedos, con valores cercanos de 1470 a 1500 mm en promedio (Anexos tablas, Tabla 8), y un periodo de estiaje de Junio hacia Agosto y también en Diciembre. Observándose que Enero es el mes más seco con un registro no superior a 400 mm. Como se evidencia en la figura 24, la estación de Carupa Hospital presenta mayores precipitaciones.

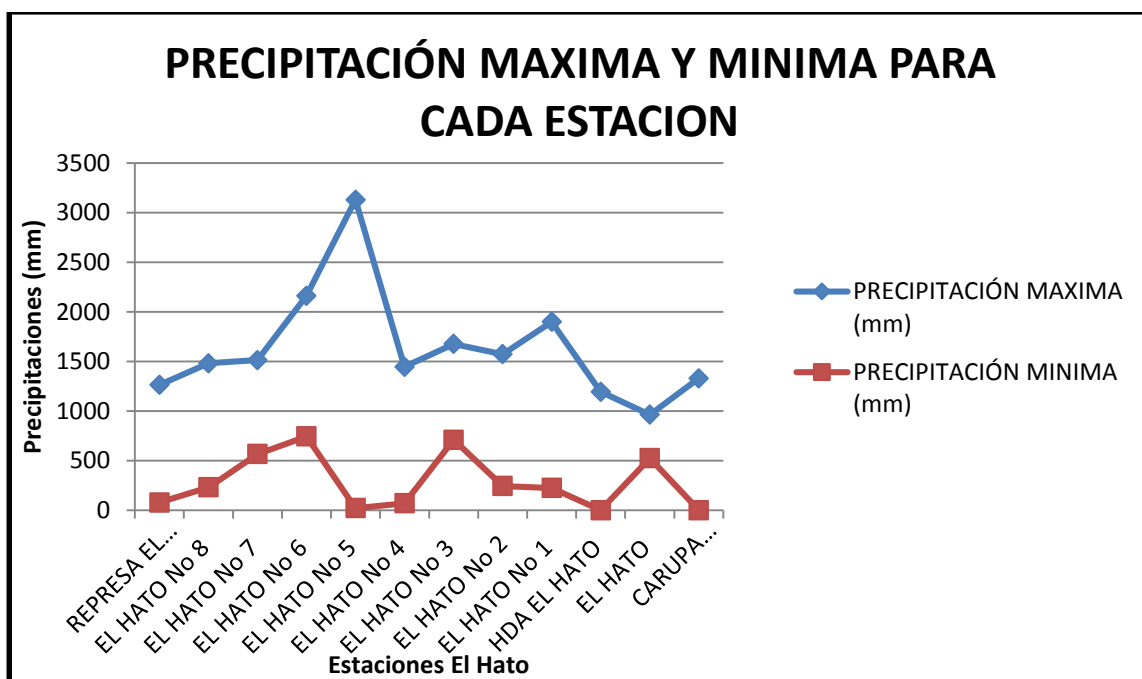
Con lo anterior podemos deducir que los meses que ayudan al aumento de la erosión hídrica de la cuenca, son los meses de abril y octubre ya que son las precipitaciones más altas. (Anexo tablas, Tabla 8). La tabla 19 y a Figura 25 muestran la precipitación máxima y mínima para cada estación.

Tabla 19. Precipitación Máxima y Mínima para Cada Estación.

ESTACIÓN	PRECIPITACIÓN MAXIMA (mm)	PRECIPITACIÓN MINIMA (mm)
REPRESA EL HATO	1263,2	77,5
EL HATO No 8	1480,0	231,3
EL HATO No 7	1513,0	565,8
EL HATO No 6	2161,0	743,5
EL HATO No 5	3129,6	20,8
EL HATO No 4	1446,0	69,3
EL HATO No 3	1676,0	709,0
EL HATO No 2	1573,0	244,0
EL HATO No 1	1898,0	225,1
HDA EL HATO	1194,2	0
EL HATO	963,4	524,4
CARUPA HOSPITAL	1329,1	0,0

Fuente: IDEAM, 2012.

Figura 26. Precipitaciones para cada estación



Fuente: Morales, L. Porras, J; 2014.

Como podemos apreciar en la figura anterior, la estación El Hato No. 5 presenta una precipitación de más 3000 mm, lo cual es muy alta en relación con las demás

estaciones, pues estas presentan un comportamiento no muy variante y se mantienen en un rango que no supera una precipitación de 2000 mm. Indicándonos así, que la estación El Hato No. 5 presenta un mayor efecto de sedimentos a causa de las precipitaciones, aunque cabe anotar, que en relación con las de los datos de precipitación seco, la sedimentación puede ser alta, ya que estas precipitaciones no superan los 1000 mm. En la tabla 20 se evidencia la precipitación máxima (húmeda) para cada estación por año, y en la figura 26 se muestra el año con mayor precipitación por cada estación.

Tabla 20. Precipitación Máxima (Húmeda) Para Cada Estación/Año.

ESTACIÓN/AÑO	MAXIMO (HUMEDO)
REPRESA EL HATO (2011)	1263,2
EL HATO No 8 (1973)	1480,0
EL HATO No 7 (2011)	1513,0
EL HATO No 6 (1982)	2161,0
EL HATO No 5 (1985)	3129,6
EL HATO No 4 (1976)	1446,0
EL HATO No 3 (1991)	1676,0
EL HATO No 2 (2011)	1573,0
EL HATO No 1 (2011)	1898,0
HDA EL HATO (2011)	1194,2
EL HATO (1979)	963,4
CARUPA HOSPITAL (2011)	1329,1

Fuente: IDEAM, 2012.

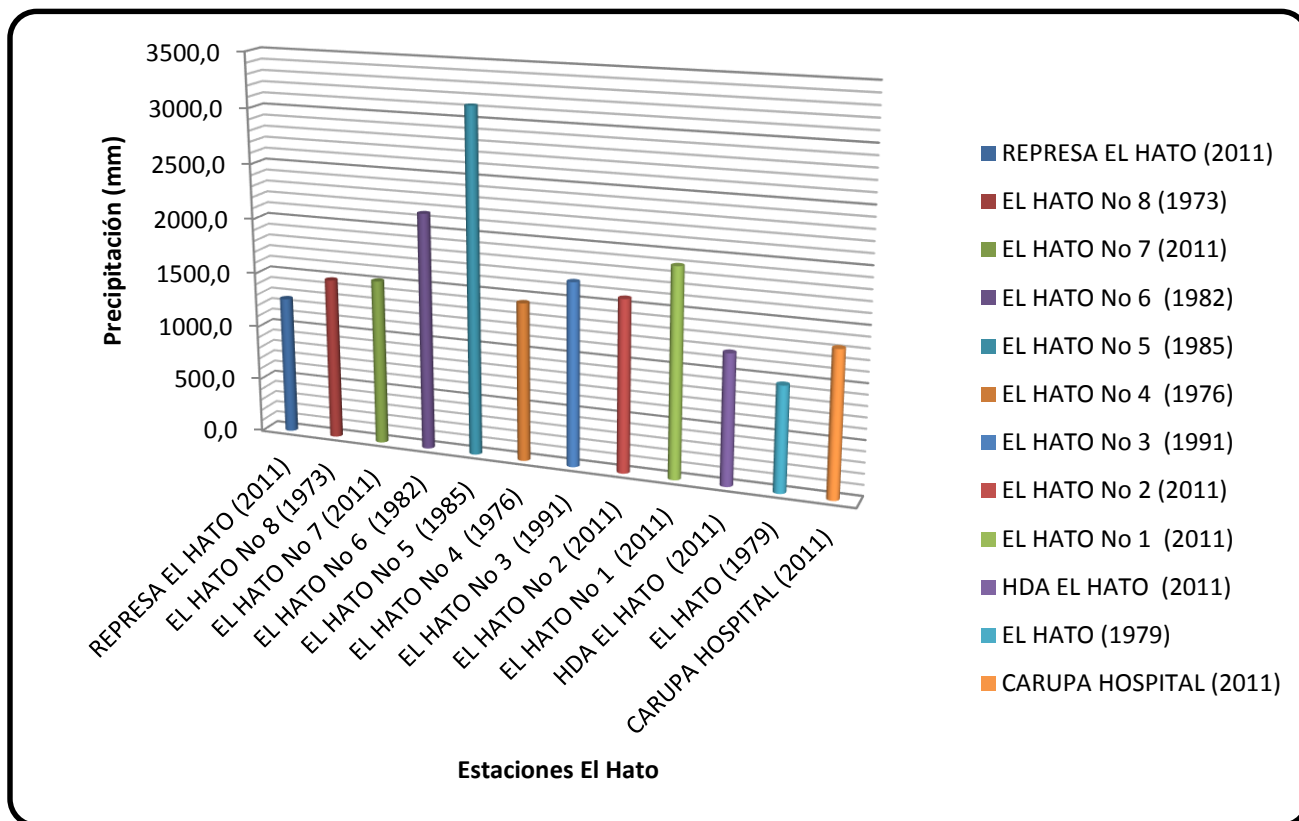
Para realizar esta grafica a continuación, se tomaron los valores máximos de cada estación, así identificamos el año más húmedo para cada una.

Según los datos arrojados por la figura 27, el año donde mayor precipitación se presentó con un valor de 3129,6 mm y fue en el año 1985 en la estación El Hato No. 5, indicando así, que este año fue el que presento mayor cantidad de sedimentos, por las altas precipitaciones dadas. Mientras que la estación El Hato en el año 1979 tuvo una precipitación de 963,4 mm.

Sin embargo la sedimentación tuvo mayor presencia, en los años que muestra la tabla 20, pues fueron los años más húmedos, según los datos tomados del IDEAM, ya que el proceso de erosión comienza por el impacto de la gota de lluvia sobre el suelo desnudo; sus agregados son desintegrados en partículas minúsculas; que tapan los poros formando una selladura superficial; provocando el escurrimiento superficial del agua de lluvia. El agua que escurre carga

partículas de suelo que son depositadas en lugares más bajos, como lo es el embalse El Hato.

Figura 27. Año con mayor precipitación por cada estación.



Fuente: Morales, L. Porras, J; 2014.

Los efectos de la sedimentación sobre el embalse El Hato, se evidencian a continuación en el siguiente escenario (Ver tabla 21):

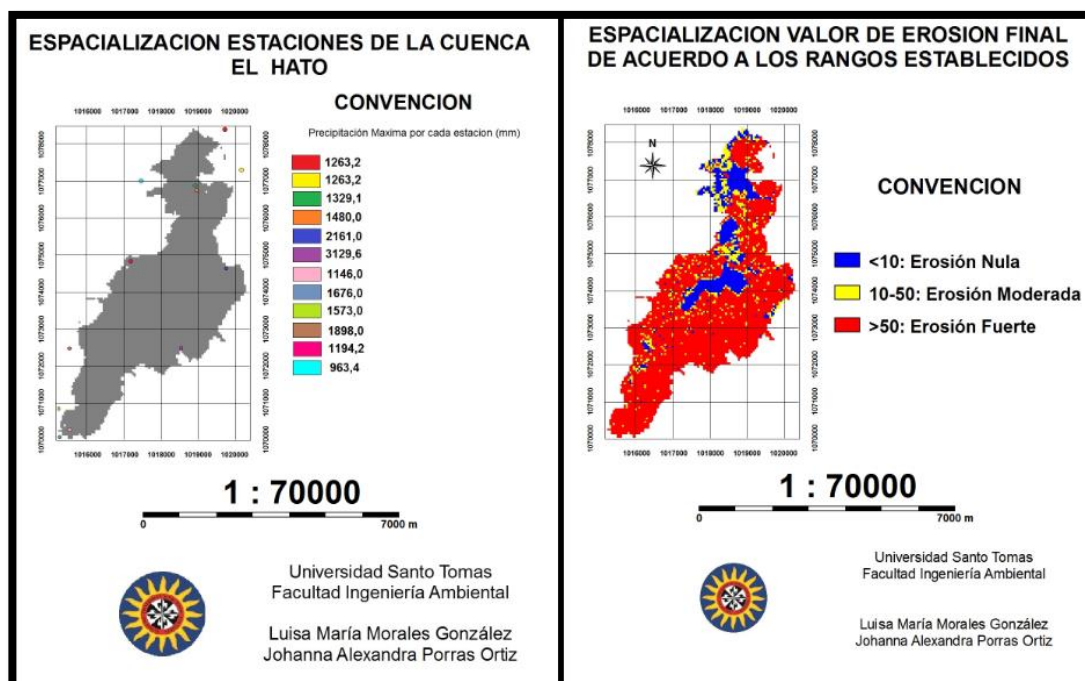
Tabla 21: Precipitaciones máximas en la cuenca del embalse El Hato.

Código Estación	Nombre Estación	Norte	Este	Altitud	Precipitación Máxima
				(msnm)	
2401534	REPRESA EL HATO	1076620	1019050	2900	1263,2
2401059	HATO No 8 EL	1074560	1019888	2963	1480,0
2401058	HATO No 7 EL	1071875	1017488	3271	1513,0
2401057	HATO No 6 EL	1070440	1015450	3105	2161,0
2401056	HATO No 5 EL	1068490	1013862	3365	3129,6
2401055	HATO No 4 EL	1069875	1012800	3465	1446,0
2401054	HATO No 3 EL	1072825	1014162	3398	1676,0
2401053	HATO No 2 EL	1074650	1017138	2974	1573,0
2401052	HATO No 1 EL	1077062	1017125	2985	1898,0
2401536	HATO EL HDA	1076689	1019172	2840	1194,2
2401035	HATO EL	1076620	1019050	2900	963,4
2401002	CARUPA HOSPITAL	1083120	1019840	2960	1329,1

Fuente: IDEAM, 2012.

Los mapas a continuación, son una comparación de la erosión de la cuenca a partir de la precipitación (Ver Figura 28 y Tabla 22):

Figura 28. Precipitaciones máximas en la cuenca del embalse El Hato.



Fuente: Morales, L. Porras, J; 2014.

Tabla 22. Erosión de la cuenca a partir de la precipitación.

PRECIPITACION	EROSIÓN
950 mm a 1480 mm	Como se puede observar en la figura 28, estos valores son los más bajos de precipitación, y de acuerdo al mapa de erosión final, estas se presentan en las partes donde la erosión es nula o moderada, indicando así que la precipitación tiene un factor importante en la degradación del suelo.
1510 mm a 1900 mm	Estos valores se pueden ver en la figura 11 en la parte alta de la cuenca, donde ya se observa una mayor precipitación de moderada a fuerte, indicando así que las afectaciones por erosión hídrica allí son más altas, y esto puede ser generado por los tipos de suelo que allí se presentan, lo que genera sedimentaciones.
2000 mm a 3200 mm	Estos son los valores máximos de precipitación en las estaciones, y se presenta en las zonas de la cuenca donde la erosión es más fuerte, mostrando así que la precipitación tiene relación directa con la erosión y genera grandes afectaciones al suelo. Una de las principales causas de la sedimentación es la precipitación, ya que estas partículas se van quedando en el suelo y van generando disminución en la capacidad de almacenamiento del embalse.

Fuente: Morales, L. Porras, J; 2014.

6.9. Morfometría de la Cuenca

En la tabla 23 se encuentran los análisis para cada uno de los rasgos morfométricos obtenidos:

Tabla 23. Análisis de los rasgos morfométricos de la Cuenca de estudio.

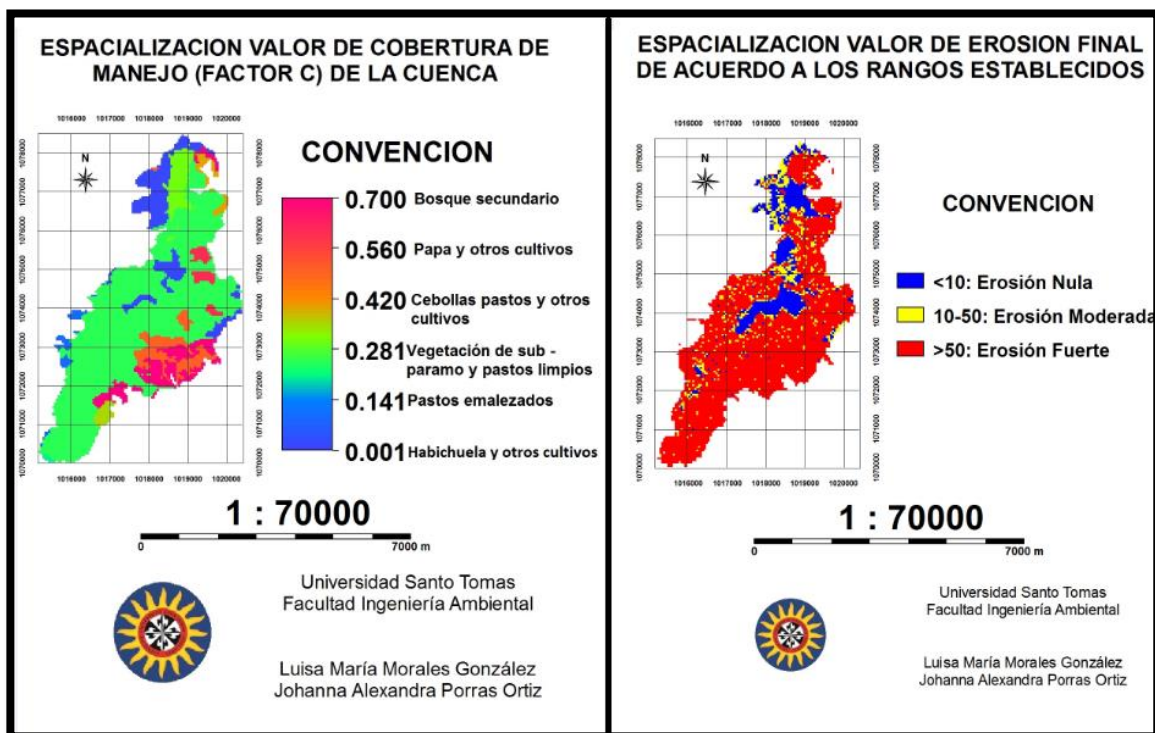
INDICE MORFOMETRICO	SIMBOLO	VALOR ESTIMADO	SIGNIFICADO
Área	A(Km ²)	84,17	
Perimetro	P(Km)	35,24	
Coeficiente de circularidad de Miller	Cc	0,19	se obtuvo un coeficiente de circularidad cercano a 0, lo que nos indica que la cuenca es alargada, es decir, que el tiempo de viaje del agua es mucho mas largo, lo que contribuye a que los picos de crecidas sean menos subitos en caso de lluvias concentradas o tormentas.
Red de drenaje	Rb	3	Al obtener el valor de bifurcacion promedio (evaluado de 1 a 5), podemos decir que no se van a generar crecidas violentas.
Densidad de Drenaje	Dd	0,27	se presenta una red de drenaje baja, puesto que es menor a 1, lo que nos indica que refleja una cuenca pobremente drenada con una respuesta hidrológica muy lenta, igualmente sugiere materiales duros y resistentes desde el punto de vista litológico.
Longitud promedio del cauce de orden	lu	2,8	Este valor representa un tamaño medio característicos de los cauces y de las superficies de sus cuencas contribuyentes ya que los rios largos implican mayor cantidad de afluente y por supuesto el area superficial es mayor, que para aquellos rios de recorrido cortos.
Pendiente media de la Cuenca.	Sc	4,19%	Una pendiente de 4,2% hace referencia a un terreno accidentado medio. Lo anterior quiere decir que el valor contribuye a que los picos en crecidas sean menos violentos generando menores escorrentías y a su vez menor transporte de sedimentos en algunas zonas, aunque la pendiente puede aumetar y generar mayor erosión.

Fuente: Morales, L. Porras, J; 2014.

6.10. Generación de erosión a partir del uso y la cobertura del suelo.

A continuación se muestra un comparativo entre la cobertura de manejo y la erosión final (Ver Figura 28 y Tabla 24).

Figura 29. Mapa de cobertura de manejo vs Mapa de erosión.



Fuente: Morales, L. Porras, J; 2014.

Tabla 24. Erosión de la cuenca a partir del uso y cobertura.

USO Y COBERTURA	VALOR	EROSIÓN
HABICHUELA Y OTROS CULTIVOS, PASTOS EMALEZADOS	0.001	De acuerdo a la figura 29, podemos observar que estos tipos de uso y cobertura son los que más generan erosión, ya que se encuentra en un rango erosivo de <10 hasta 50, indicándonos así que es moderada. Se puede analizar que en los cultivos de habichuela, la vegetación de páramo y subpáramo y pastos emalezados, generan grandes problemas de erosión pues su tipo de vegetación herbácea, arbustiva chica; permiten el paso a la gota de agua de

		manera directa a una altura de 0,5 metros, lo que hace que caiga con mayor intensidad y la erosión sea mayor.
PAPA Y OTROS CULTIVOS	0.560	El uso y cobertura de papa y otros cultivos, es uno de los que genera mayor afectación en la cuenca de estudio como se muestra en la figura 29, ya que en un alto porcentaje de la cuenca se generan estos usos. Las características originales (materia orgánica y estructura) son destruidas gradualmente, generando así que la materia orgánica alcance valores bajos y el suelo pierde estructura. Por el uso intensivo de implementos agrícolas se produce la aparición de una capa compactada que impide la infiltración del agua y la penetración de las raíces. La erosión se vuelve acelerada y el rendimiento de los cultivos se reduce severamente. Los cultivos de papa al ser el cultivo predominante en el área de estudio, de acuerdo al mapa de cobertura de manejo generan una afectación media según los rangos establecidos, debido a su tipo de vegetación clasificada como arbustos o matorrales que permiten la penetración de la gota de agua a una altura de 2 metros.
VEGATACION DE PARAMOS, SUBPARAMOS Y PASTOS LIMPIOS	0.281	Se puede analizar que la vegetación de páramo y subpáramo y pastos emalezados, generan grandes problemas de erosión pues su tipo de vegetación herbácea y arbustiva chica; permiten el paso a la gota de agua de manera directa a una altura de 0,5 metros, lo que hace que caiga con mayor intensidad y la erosión sea mayor. Este tipo de vegetación representa la mayor área de la cuenca de estudio.
BOSQUE SECUNDARIO	0.700	Los bosques secundarios que se encuentran cerca al embalse El Hato y hacia la parte oriental de la cuenca, indican que la erosión es mucho menor pues su vegetación de árboles evita que las gotas de agua caigan con mayor intensidad ya que la altura promedio de caída de las gotas es de 4 metros.
CEBOLLA, PASTOS Y OTROS CULTIVOS	0.420	

Fuente: Morales, L. Porras, J; 2014.

6.11. Efectos de la sedimentación sobre el Embalse El Hato

Cualquiera que sea el tamaño de un embalse o el uso final que se le dé al agua, la principal función de éste es la de estabilizar el flujo de agua para regular el suministro en una corriente natural o bien sea para satisfacer una variada demanda por parte de los consumidores. De acuerdo al estudio de batimetría de la CAR, la capacidad para operar del embalse es de 12'727.743 millones de m³, un área máxima de inundación de 103 has y niveles de operación que oscilan

entre un mínimo 2838 msnm y un máximo de 2847.57 msnm, con un nivel medio de operación de 2844 msnm [60]. En la actualidad, dicho embalse cuenta con un volumen aproximado de 10.8 millones de metros cúbicos según mismo estudio presentando entonces una reducción aproximada de 2 millones de metros cúbicos.

Según el mapa obtenido de erosión final, los valores de erosión más considerables arrojados por la modelación que corresponden a aquellos valores mayores de 50 ton/ha/año catalogados como erosión “fuerte” y según su distribución representan la mayor parte de la cuenca. Para estimar la relación entre los valores arrojados por el mapa de la erosión final con la capacidad de almacenamiento y volumen actual del embalse se tiene:

Tabla 25. Efectos de la sedimentación sobre el embalse.

<i>Clases degradación</i>	<i>Erosión t/ha/año</i>	<i>Máximo</i>	<i>Capacidad del embalse Mm3</i>	<i>Porcentaje</i>	<i>Años de duración</i>	<i>Situación</i>
Nula	< 10	10	12.8	100	50	Ideal
Moderada	10-50	50	10.8	84	36	Actual
Fuerte	>50	10500	9.7	16	14	Futuro

Si hacemos una relación en el peor de los escenarios, para una tasa de erosión del 16% con respecto al área de la cuenca tenemos que:

- $50 \text{ ton/ha/año} \times 8417 \text{ ha} = 420850 \text{ ton/año}$ de concentración de sedimentos.

En la tabla 25 se encuentra la relación de la tasa erosión hídrica con relación a la capacidad del embalse, en dónde para el primer escenario la situación ideal en la cual la erosión sea menor de 10 ton/ha/año (nula) corresponde al volumen total del embalse de 12.8 millones de metros cúbicos para una vida útil de 50 años. Para el segundo escenario la situación actual en la cual la erosión se encuentra dentro de un rango entre 10 a 50 ton/ha/año (Moderada) corresponde al volumen actual del embalse de 10.8 millones de metros cúbicos para una vida

útil desde el año de su construcción a la fecha de 36 años de operación. Y por último para el tercer escenario, a futuro si se continúan con las prácticas actuales dentro del rango mayor a 50 ton/ha/año (Fuerte) corresponde al volumen reducido de 9.7 millones de metros cúbicos para una vida útil de tan solo 14 años de operación.

Por lo anterior y teniendo en cuenta los resultados de la erosión arrojados en esta investigación, los procesos erosivos y la producción de sedimentos tienen una significación especial en la cuenca del río Hato, como ya se ha mencionado donde la topografía abrupta, la variabilidad climática, las características de los suelos y la localización del mismo embalse, se conjugan para resaltar la importancia de identificar y cuantificar los procesos erosivos existentes en la cuenca. Los sedimentos efectivamente tienen una gran influencia sobre la factibilidad operativa del embalse El Hato debido a la disminución del volumen útil y la obstrucción proyectando una reducción constante y considerable en su capacidad si no se toman medidas de control adecuadas.

7. CONCLUSIONES

- 1.** Como se evidencia en el mapa del cálculo de la erosión final, los valores más altos de erosión se concentran en la parte alta de la cuenca; por esta razón, podemos concluir que esto se debe a la pendiente de esta zona, pues los picos en crecidas pueden ser más violentos generando mayores escorrentías y a su vez mayor transporte de sedimentos. También Influye el sentido en que las corrientes de agua transportan los sedimentos.
- 2.** Los sistemas de información geográfica permiten tener estimaciones de la pérdida del suelo a través del análisis multiplicativo de los factores de la USLE, es decir, que gracias a la multiplicación de los diferentes factores de la ecuación, y los resultados obtenidos plasmados en un software, es posible acercarse a una estimación de la pérdida del suelo, el factor de mayor incidencia en el proceso erosivo, entre otros parámetros, además de permitir visualizar y localizar las áreas con mayor riesgo a la erosión.
- 3.** La metodología empleada en esta investigación permite obtener estimaciones de pérdida de suelo, siempre y cuando se cuente con la información de lluvia de más de 10 años, ya que una década nos arroja suficiente información para que los datos de erosividad, curvas de nivel y mapas de suelo sean más exactos. Lo anterior con el fin de poder realizar la complementación de series de los datos de las estaciones, ya que es necesario tener un alto porcentaje de datos verídicos para que los resultados se asemejen a la realidad.
- 4.** Los resultados obtenidos, permiten ser utilizados como herramienta de planificación para nuevas recomendaciones de uso y manejo de suelo en la zona estudiada.
- 5.** Según la información obtenida en el mapa de erosión final, permite priorizar zonas de riesgo para focalizar acciones de conservación de suelos en las zonas que presentan mayor riesgo, con miras a la preservación del recurso. En este sentido, las zonas de mayor atención frente a la generación de sedimentos son las ubicadas en la parte alta de la cuenca pues presentan los valores de erosión más elevados.

6. Una de las variables de mayor peso en la determinación de sedimentos es la textura del suelo (factor K) ya que al homogenizarla con un solo factor altera de manera significativa los valores de salida.
7. Las variables de precipitación, clasificación y formas de pendiente; permiten dar un mayor grado de confiabilidad a los resultados del modelo, puesto que trabajan en función de las características morfométricas de la cuenca.
8. Los valores de sedimentos presentados por el modelo están influenciados directamente por los datos de precipitación, ya que cuando varían repercuten directamente en la zona aumentando o disminuyendo los resultados.
9. Se obtuvo un coeficiente de circularidad cercano a 0, lo cual indica que el tiempo de viaje del agua es mucho más largo que el de las cuencas ensanchadas. Esto contribuye a que los picos de crecidas sean menos súbitos en caso de lluvias concertadas o tormentas y transporten menor cantidad de sedimentos.
10. Según el valor obtenido en la densidad de drenaje de la cuenca, indica que tiene una densidad baja evidenciando una respuesta hidrológica muy lenta. Esto quiere decir que en promedio el suelo es más resistente a la erosión, es muy permeable y de bajo relieve (superficie terrestre sin mayor confluencia de accidentes geográficos), pero las malas prácticas agrícolas o el mal uso del suelo, han logrado perpetuar esta característica natural.
11. Según el resultado de la pendiente promedio se obtuvo un terreno con inclinación suave, aunque se encuentra cercano a un terreno accidentado medio. Esto indica que los picos en crecidas sean menos violentos generando menores escorrentías y a su vez menor transporte de sedimentos en algunas zonas, aunque en otras (Cuenca alta) la pendiente puede aumentar y generar mayor erosión.
12. La vegetación es multifuncional, relativamente económica, se auto repara, es visualmente atractiva y no requiere generalmente, de equipos pesados o complejos para su instalación. Sin embargo, hay ciertas limitaciones como la susceptibilidad a las quemaduras y sequías.

8. RECOMENDACIONES

De acuerdo con el desarrollo la presente investigación y con base en las experiencias antecedentes en la aplicación de la USLE, no solamente en Colombia sino en otras partes del mundo, se recomienda:

- Conseguir, un modelo sencillo y sólido de detección inicial que puedan utilizarse en los países en desarrollo, como Colombia para determinar el potencial de erosión y de pérdida de suelo en el origen (a nivel de las explotaciones). Los modelos deben permitir jugar con alternativas de ordenación de cultivos y tierras. No deben requerir la utilización de datos muy abundantes ni difíciles de conseguir, ni calibración en tiempo real ni resultados agregados a escala estacional o anual.
- Conservar la Cubierta vegetal, en las zonas de la cuenca donde sea posible, estableciendo y manteniendo una cubierta perdurable para proteger el suelo y los recursos hídricos en las tierras apartadas de la producción agrícola.
- De acuerdo con el mapa de S, una buena estrategia es plantar más cultivos en curvas de nivel. Pues la plantación de cultivos y algunas otras prácticas de ordenación se realizan siguiendo las curvas de nivel, con lo que se reduce la erosión y la escorrentía.
- Plantar vegetación, como árboles, arbustos, hierbas o leguminosas, en zonas sometidas a procesos de erosión o muy erosionables, como lo son las que se encuentran en la parte alta de la cuenca del embalse, las cuales serían las zonas más expuestas.
- Diseñar franjas de vegetación herbácea perdurable en el linde de las fincas, que se encuentran alrededor de la cuenca. Con ello se frena la escorrentía y se detienen los sedimentos más gruesos.
- Implementar en los cursos de agua natural o artificial cubierta de vegetación con una sección transversal apropiada para impedir la erosión del cauce. La vegetación servirá también para detener los sedimentos que se filtran de las fincas adyacentes.

- Construir pozas para recoger y almacenar los sedimentos durante los episodios de escorrentía. Pues los sedimentos se depositan por efecto de la escorrentía durante el represamiento en la poza de sedimentación.
- Construir terrazas, que son terraplenes contruidos de tierra, piedra u otros materiales que retrasan la escorrentía y reducen la erosión fragmentando la ladera en numerosas superficies llanas separadas por pendientes protegidas con vegetación permanente. Las terrazas se construyen en tierras con inclinación muy pronunciada; en laderas de pendiente suave, las terrazas son muy anchas.

9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR, Aprovechamiento Hidráulico del Sistema de Cucunubá- Fúquene- Río Suárez, Bogotá, 1993.
- [2] Corporación Autónoma Regional CAR, «INFORME FINAL TOPOGRAFIA, BATIMETRÍA Y CRECIENTES EL HATO,» Bogotá, 2006.
- [3] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales -IDEAM-, Dinámica de los factores de la erosión y sedimentación en el país., Santa Fe de Bogotá: Subdirección de Geomorfología y Suelos. Documento Inédito. , 1997.
- [4] E. Gómez Franco, Procesos erosivos: estrategias para su caracterización e implementación de sus prácticas básicas de control y prevención, Medellín: Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Ciencias Naturales y Ecología, 1999.
- [5] L. E. Pacheco Granados, Teoría de transporte y producción de sedimentos y su aplicación en embalses., Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana, 1989.
- [6] Corporación Autonoma Regional de Cundinamarca, «Elaboración de los Estudios de Diagnostico Prospectiva y formulación Para la Cuenca Hidrografica de los Rios Ubaté y Suarez (Departamento de Cundinamarca),» Union Temporal Audicon Ambiotec, Bogotá, D.C, 2006.
- [7] Alcaldía de Carmen de Carupa-Cundinamarca, «Sitio oficial de Carmen de Carupa en Cundinamarca, Colombia,» [En línea]. Available: http://carmendecarupa-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml. [Último acceso: 13 12 2013].
- [8] Corporacion Autónoma Regional CAR, «Análisis de crecientes, pérdida de suelo, de sedimentación y análisis batimétrico,» Conpañía de Proyectos Ambientales e Ingeniería CPA, Ubaté-Cundinamarca, 2006.
- [9] Alcaldía de Carmen de Carupa, Esquema de Ordenamiento Territorial Carmen de Carupa, Carmen de Carupa, 2010.
- [10] Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR, Humedales de la CAR, Bogotá, 1993.

- [11] J. Perez y M. J. Sandoval, Seguimiento de la desviación del río el Hato para la construcción de la presa El Hato, Bogotá: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 1991.
- [12] Universidad de los Andes Venezuela, «METODOS DE ESTIMACION DE LA EROSION Y SEDIMENTOS,» Mérida, 2013.
- [13] W. H. WISCHMEIER y D. D. SMITH, «A Universal Soil Loss Ecuation To Guide Conservation Farm Planning. In. 7th International Congress of Soil Science,» de A *Universal Soil Loss Ecuation To Guide Conservation Farm Planning. In. 7th International Congress of Soil Science*, Madison, U.S.A., 1978, pp. 418 - 425.
- [14] M. Auza Aramayo, «Degradación de Tierras: "Erosión Hídrica y Modelo USLE",» Bolivia, 2011.
- [15] B. Olivares, D. Lobo, K. Verbist, R. Vargas y O. Silva, «EVALUACIÓN DEL MODELO USLE PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN UN ALFISOL UBICADO EN LA COMUNA,» Chile, 2000.
- [16] C. Clérico y G. Préchac, «Aplicaciones del modelo USLE/RUSLE para estimar perdidas de suelo por erosión en Uruguay y la región sur de la cuenca del río de la plata,» Uruguay, 2001.
- [17] F. Ramirez Ortiz, «Evaluación del Riesgo por Erosión Potencial de la Zona Cafetera Central del Departamento de Caldas,» Universidad del Tolima, Ibagué, 2006.
- [18] G. Ortiz, «Qué son los Sistemas de Información Geográfica,» 31 Marzo 2005. [En línea]. Available: <http://recursos.gabrielortiz.com/>. [Último acceso: 2 Abril 2013].
- [19] UNESCO, «www.itc.nl,» [En línea]. Available: <https://www.itc.nl/external/unesco-rapca/Casos%20de%20estudios%20SIG/01%20Introduccion%20ILWIS/Introduccion%20ILWISl.pdf>. [Último acceso: 17 Mayo 2014].
- [20] Leslieph, «Scribd,» 22 Abril 2011. [En línea]. Available: <http://es.scribd.com/doc/53617183/Abastecimiento-de-Agua-Potable>. [Último acceso: 20 01 2014].
- [21] J. Valera Bernal, «Terminos de Geografia de España,» España, 2001.

- [22] M. Suarez Campos, «slideshare,» 02 Diciembre 2010. [En línea]. Available: <http://www.slideshare.net/mosesic/mecnica-de-suelos-i-2010>. [Último acceso: 20 01 2014].
- [23] Mequetrefe, «detopografia.blogspot.com,» 20 Febrero 2013. [En línea]. Available: <http://detopografia.blogspot.com/2013/02/que-es-una-batimetria.html>. [Último acceso: 17 Mayo 2014].
- [24] Diccionario de la Real Academia Española, «buscon.rae.es,» [En línea]. Available: <http://buscon.rae.es/drae/srv/search?val=bifurcaciones>. [Último acceso: 16 Junio 2014].
- [25] A. Yunuary, A. Guillermo, G. Lenz, M. Yenny, M. Miguel y P. Erik, «Mecanica de Fluidos,» mecanicafluidos7mo, 06 Abril 2008. [En línea]. Available: <http://mecanicafluidos7mo.blogspot.com/2008/04/flujo-en-canales-abiertos.html>. [Último acceso: 20 Enero 2014].
- [26] S. M. Gustavo, «Hidraulica de Canales,» 12 Febrero 2007. [En línea]. Available: <http://www.geocities.com/gsilvam/canales.htm>. [Último acceso: 20 Enero 2014].
- [27] A. Bocek, «INTRODUCCION A LA CAPTACION,» Swingle Hall, Alabama, Estados Unidos.
- [28] Alcaldía Municipal Carmen de Carupa, «Alcaldía de Carmen de Carupa - Cundinamarca,» Internet para la Rendición de Cuentas (IPRC) , 11 Mayo 2012. [En línea]. Available: http://carmendecarupa-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml. [Último acceso: 20 Enero 2014].
- [29] Comision Nacional del Agua CONAGUA, «Distritos de Riego,» Marzo 2013. [En línea]. Available: http://www.cmdrs.gob.mx/prev/sesiones/2013/2a_sesion/5_conagua.pdf. [Último acceso: 20 Enero 2014].
- [30] Ëlemmir, «CONDICIONES CLIMÁTICAS,» *WARHAMMER*, 2006.
- [31] Asociación Española para la Cultura, el Arte y la Educación, «natureduca,» licencia Creative Commons, Febrero 2002. [En línea]. Available: http://www.natureduca.com/conserva_conceptos4.php. [Último acceso: 20 Enero 2014].

- [32] G. A. .. M.E, «Estructuras Hidraulicas Embalses,» 2003.
- [33] Cortolima, «www.cortolima.gov.co,» PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO AMBIENTAL DE LA MICROCUENCA DE LAS QUEBRADAS LAS PANELAS Y LA BALSA, 2012. [En línea]. Available: http://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/estudios/cuenca_panelas/DIAGNOSTICO/2.7PROCESOS_EROSIVOS.pdf. [Último acceso: 17 Mayo 2014].
- [34] V. Lobo y Pulido, «Métodos e índices para evaluar la estabilidad estructural de los suelos,» Universidad Central de Venezuela, Facultad de Agronomía, Instituto de Edafología, Venezuela.
- [35] A. Delgadillo y A. Moreno, «Hidrología,» Bogotá D.C, 2004.
- [36] S. Angelone, M. T. Garibay y M. Cahuapé, «Geología y Geotecnia: "Permeabilidad de Suelos",» Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Provincia de Santa Fe, Argentina, 2006.
- [37] G. Pérez, «CicloHidrologico.com,» Septiembre 2013. [En línea]. Available: <http://www.ciclohidrologico.com/precipitacin>. [Último acceso: 17 Mayo 2014].
- [38] D. d. A. y. Construcción, «www.parro.com.ar,» [En línea]. Available: <http://www.parro.com.ar/definicion-de-rebosadero>. [Último acceso: 17 Mayo 2014].
- [39] C. Rymer, E. Humblet y N. Ndaba, «www.dominicanaonline.org,» Diccionario Enciclopedico Dominicano de Medio Ambiente, [En línea]. Available: <http://www.dominicanaonline.org/diccionariomedioambiente/es/definicionVer.asp?id=681>. [Último acceso: 17 Mayo 2014].
- [40] Universidad Nacional de Colombia, «www.virtual.unal.edu.co,» ECOSISTEMAS ACUÁTICOS CONTINENTALES, [En línea]. Available: http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/IDEA/2010615/lecciones/eco_col/eco_col5.html. [Último acceso: 17 Mayo 2014].
- [41] Geomorphology, «www.geomorphology4.blogspot.com,» 03 Diciembre 2011. [En línea]. Available: <http://geomorphology4.blogspot.com/2011/12/sistemas-morfoclimaticos.html>. [Último acceso: 17 Mayo 2014].

- [42] Sistema de Información Ambiental de Colombia SIAC, «www.siac.gov.co,» Comité para Reconocimiento de Suelos. Departamento de Agricultura de los EE.UU. Claves de Taxonomía de Suelos. , 1994. [En línea]. Available: https://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=744&conID=1118#_ftnref2. [Último acceso: 17 Mayo 2014].
- [43] A. Crosara, *Practica 3: Textura del Suelo*, Bogotá, 1996.
- [44] Definición ABC, «www.definicionabc.com,» Definición de Suelo Agrícola, [En línea]. Available: <http://www.definicionabc.com/medio-ambiente/suelo-agricola.php>. [Último acceso: 17 Mayo 2014].
- [45] Angelfire, Obras de Desviación, 17 Mayo 2014. [En línea]. Available: www.angelfire.com/nc2/misdocumentos/centrales/obras.html.
- [46] ALCALDÍA DE ARMENIA - DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE PLANEACIÓN MUNICIPAL, «PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL 2009-2023 “Armenia Una ciudad de oportunidades para la Vida”,» Noviembre 2009. [En línea]. Available: <file:///C:/Users/X-mena/Downloads/Norma%20Urbana.pdf>. [Último acceso: 17 Mayo 2014].
- [47] Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR, «Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca,» 28 Septiembre 2013. [En línea]. Available: <http://www.car.gov.co/index.php?idcategoria=21764>. [Último acceso: 2013 Diciembre 2013].
- [48] Instituto Geográfico Agustín Codazzi, «INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI - IGAC,» [En línea]. Available: http://www.igac.gov.co/wps/portal/igac/raiz/iniciohome/nuestraentidad!/ut/p/c5/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3hHT3d_JydDRwN3t0BXA0_vUKMwf28PlwNHl30v_aj0nPwkoMpwkF7caj1NIfI GOICjgb6fR35uqn5BdnCQhaOilgDx-NPO/dl3/d3/L3dDb0EvUU5RTGtBISEvWUZSdndBISEvNI9BSUdPQkIx. [Último acceso: 20 Diciembre 2013].
- [49] Universidad Santo Tomás, «Universidad Santo Tomás,» 15 Junio 2012. [En línea]. Available: <http://www.usta.edu.co/index.php/nuestra-institucion/mision-vision>. [Último acceso: 20 Diciembre 2013].

- [50] Datateca UNAD, «www.datateca.unad.edu.co/Hidrología,» [En línea]. Available: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/30172/MODULO%20HIDROLOGIA/leccin_12_patrones_de_drenaje.html. [Último acceso: 16 06 2014].
- [51] M. Liotta y N. Ciancaglini, «Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico,» San Juan, 2009.
- [52] *Erosion Hidrica. Determinacion de la USLE*, Bogotá.
- [53] Roose, *Erosión Hidrica*, C, Cordoba: ORSTOM, 1977.
- [54] Corporación Autonoma Regional de Cundinamarca -CAR-, *Catálogo Red de Estaciones Hidrometeorológicas*, 2011.
- [55] A. Delgadillo y A. Moreno, «Morfometria de Cuencas,» Colombia, 2010.
- [56] C. Guevara y Ruiz, *Morfometría de Cuencas*, 1991.
- [57] E. De la Rosa, «Sondas Batimétricas; Cartografía Submarina,» 2007. [En línea]. Available: http://www.lpi.tel.uva.es/~nacho/docencia/ing_ond_1/trabajos_06_07/107/public_html/bat1.html. [Último acceso: 20 Enero 2014].
- [58] Alcaldía de Ubaté, «Ubaté Turismos.co,» Copyright, 2013. [En línea]. Available: <http://ubate.turismo.co/parque-embalse-el-hato>. [Último acceso: 20 Enero 2014].
- [59] Newsletter de Ecoturismo Colombia, «Una GRan Aventura,» 19 Agosto 2009. [En línea]. Available: http://www.ecoturismo-colombia.com/novedades/novedades_1.php?bit_id=83. [Último acceso: 20 Mayo 2013].
- [60] Corporación Autónoma Regional CAR, «INFORME FINAL TOPOGRAFIA, BATIMETRÍA Y CRECIENTES EL HATO,» Bogotá, 2006)