

2015

Simulación de la pérdida de suelo de la parte baja de la microcuenca Quebrada Cune utilizando el modelo Usle

Claudia Natalia Bautista Güiza
Universidad de La Salle, Bogotá

Follow this and additional works at: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria



Part of the [Environmental Engineering Commons](#)

Citación recomendada

Bautista Güiza, C. N. (2015). Simulación de la pérdida de suelo de la parte baja de la microcuenca Quebrada Cune utilizando el modelo Usle. Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/308

This Trabajo de grado - Pregrado is brought to you for free and open access by the Facultad de Ingeniería at Ciencia Unisalle. It has been accepted for inclusion in Ingeniería Ambiental y Sanitaria by an authorized administrator of Ciencia Unisalle. For more information, please contact ciencia@lasalle.edu.co.

**SIMULACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELO DE LA PARTE BAJA DE LA
MICROCUENCA QUEBRADA CUNE UTILIZANDO EL MODELO USLE**

CLAUDIA NATALIA BAUTISTA GÜIZA

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

BOGOTÁ D.C

2015

**SIMULACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELO DE LA PARTE BAJA DE LA
MICROCUENCA QUEBRADA CUNE UTILIZANDO EL MODELO USLE**

CLAUDIA NATALIA BAUTISTA GÜIZA

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniera Ambiental y Sanitaria

Director y Coautor

RUBÉN DARÍO LONDOÑO PÉREZ

Ingeniero Geógrafo MSc Ambiental

UNIVERSIDAD DE LA SALLE

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

BOGOTÁ D.C

2015

Nota de aceptación

DIRECTOR

Rubén Darío Londoño Pérez

Ingeniero Geógrafo Especialista en Levantamientos Rurales

Magister en Ingeniería Ambiental

JURADO

Ricardo Campos

JURADO

Camilo Vargas

Fecha: Agosto 06 de 2015.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios porque me dio la sabiduría, la constancia y la fuerza suficientes, para poder culminar mis estudios y realizar este proyecto.

Quiero expresar mi agradecimiento infinito a mis padres quienes fueron mi apoyo incondicional en todo este proceso, por su amor y colaboración. Ellos han sido mi ejemplo a seguir y han sido quienes me han ayudado a prosperar en mis proyectos.

Al ingeniero Rubén Darío Londoño por su gran colaboración y asesoría para la culminación de este trabajo, por sus sugerencias, por brindarme su conocimiento y darme grandes enseñanzas no solo académicas sino personales. A mis amigos y familiares por su voz de aliento y ayuda incondicional.

Contenido

Resumen	12
Abstract.....	13
Introducción.....	14
1. Objetivos.....	15
1.1 Objetivo General	15
1.2 Objetivos específicos.....	15
2. Marco de referencia	16
2.1 Marco conceptual	16
2.2 Marco Teórico	25
2.3 Marco espacial.....	53
3. Metodología.....	69
3.1 Estructuración Metodológica	71
3.2 Determinación de los Factores	72
3.3 Implementación.....	78
3.4 Análisis.....	79
4. Resultados.....	79
4.1 Factor R.....	79
4.2 Factor K.....	88

4.3 Factor LS	90
4.4 Factor C	97
4.5 Factor P	99
4.6 Tasa de Pérdida de Suelo (A)	101
5. Análisis de resultados	107
6. Conclusiones.....	118
7. Recomendaciones	121
Bibliografía.....	123
Anexos	132

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Clasificación fisiográfica del terreno CIAF.	17
Ilustración 2. Factores implicados en la USLE	35
Ilustración 3. Nomograma para determinar el factor k de erodabilidad del suelo.....	42
Ilustración 4. Nomograma para determinar el factor LS.....	46
Ilustración 5. Ubicación parte baja, microcuenca quebrada Cune	53
Ilustración 6. Perfil topográfico microcuenca Cune.....	55
Ilustración 7. Microcuenca Quebrada Cune	59
Ilustración 8. Subcuencas quebrada Cune	60
Ilustración 9. Unidades de Subpaisaje parte baja, microcuenca quebrada Cune.....	62
Ilustración 10. Unidades de Uso y cobertura parte baja, Microcuenca quebrada Cune	62
Ilustración 11. Unidades de tierra parte baja de la microcuenca Quebrada Cune	64
Ilustración 12. Generalidades de la cuenca	72
Ilustración 13. Metodología unidades de tierra	73
Ilustración 14. Metodología Factor erosividad de la lluvia.....	74
Ilustración 15. Metodología factor se susceptibilidad del suelo.....	75
Ilustración 16. Metodología factor topográfico.....	76
Ilustración 17. Metodología Uso y cobertura	77
Ilustración 18. Metodología práctica de manejo y conservación	78

Índice de tablas

Tabla 1. Indicaciones de la magnitud general del factor K de erodabilidad del suelo	43
Tabla 2. Valores del factor C para la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.....	48
Tabla 3. Valores del factor P para la ecuación universal de pérdida de suelo.....	50
Tabla 4. Prácticas de conservación.....	51
Tabla 4. Rango del índice de Gravelius.....	56
Tabla 5. Clasificación José de Caldas	57
Tabla 6. Clasificación Richard Lang	57
Tabla 7. Clima clasificación Caldas-Lang Microcuenca Cune	58
Tabla 8. Caracterización unidades de Subpaisaje.....	64
Tabla 9. Descripción tipo de suelo	66
Tabla 10. Caracterización edafológica unidades de subpaisaje.....	68
Tabla 11. Ejemplo de aplicación índice modificado de Fournier.....	81
Tabla 12. Resultados factor R.....	81
Tabla 13. Resultados factor R - variabilidad climática	86
Tabla 14. Resultados factor K	88
Tabla 15. Rangos de pendientes IGAC	90
Tabla 16. Valores de inclinación de la pendiente en porcentaje	91
Tabla 17. Valores de longitud de la pendiente en metros.....	94
Tabla 18. Ejemplo de la aplicación de la ecuación de LS	96
Tabla 19. Resultados del factor C.....	97
Tabla 20. Resultados Encuestas Practicas de manejo.....	99
Tabla 21. Prácticas de conservación.....	100

Tabla 22. Grado de erosión en función de la pérdida anual de suelo	101
Tabla 23. Resultados de la tasa de pérdida de suelo (A)	102
Tabla 24. Resultados de la tasa de pérdida de suelo (A) mensual.....	104
Tabla 25. Resultados de la tasa de pérdida de suelo (A) para escenarios de variabilidad Climática.....	105
Tabla 26. Resultados de la tasa de pérdida de suelo (A) para escenarios de uso y cobertura del suelo.....	106
Tabla 27. Resultados de la tasa de pérdida de suelo (A) para escenarios de prácticas de manejo y conservación	107
Tabla 28. Erosión para las unidades de tierra.....	109

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Ecuación Universal de Pérdida de suelo.....	34
Ecuación 2. Índice de erosividad por precipitación pluvial.....	38
Ecuación 3. Índice de Fournier.....	39
Ecuación 4. Índice Modificado de Fournier	40
Ecuación 5. Ecuación empírica Factor K	42
Ecuación 6. Factor topográfico.....	45
Ecuación 7. Índice de Gravelius	56

Índice de gráficas

Gráfica 1. Precipitación mensual (mm) por cada Estación	80
Gráfica 2. Tasa de perdida de suelo por unidad de tierra	108
Gráfica 3. Usle por mes	113
Gráfica 4. Simulación escenarios hidroclimatológicos	114
Gráfica 5. Escenarios de Uso y Cobertura.....	115
Gráfica 6. Escenarios de Practicas de manejo	116

Resumen

El estudio tiene como objetivo simular la pérdida de suelo en la parte baja de la microcuenca Quebrada Cune, mediante el uso del modelo USLE (Universal Soil Loss Equation) considerado como uno de los métodos más empleados para calcular y/o estimar cuantitativamente la pérdida de suelo en un área bajo condiciones medioambientales específicas actuales y con diferentes escenarios de uso y cobertura de la tierra y de variabilidad climática. Para el desarrollo de este se empleó un Sistema de Información Geográfica soportado en ArcGIS para la el procesamiento y generación de información cartográfica y alfanumérica.

La unidad espacial de referencia fue la unidad de tierra sirviendo esta de base para el cálculo de los factores de la USLE. Se identificó una tasa de pérdida de suelo en condiciones actuales de 5,02 T/Ha*año siendo esta una pérdida alta de suelo, según la clasificación del grado de erosión en función de la pérdida anual de suelo propuesta por CENICAFE. Para los escenarios simulados se observa una variación en la tasa de erosión, identificando así los factores más influyentes de la ecuación. Se concluyó que el factor con más influencia en la pérdida de suelo es el de uso y cobertura del mismo. En las simulaciones y con el coeficiente de correlación de Pearson se obtuvo dicho resultado.

Abstract

The study aims to simulate soil loss in the lower part of the watershed ravine Cune, using the USLE model (Universal Soil Loss Equation) as one of the methods used to calculate and / or quantitatively estimate the loss ground in a specific area under current environmental conditions and different scenarios of use and land cover and climate variability. To develop this we use a supported Geographic Information System in ArcGIS for processing and generation of cartographic and alphanumeric information.

The spatial reference unit was the unit of land, serving this as a basis for calculating the USLE factors. A rate of soil loss was identified in current conditions of 5.02 t / ha-year, this being a high soil loss, by classification degree of erosion according to the annual soil loss by CENICAFE proposal. For simulated scenarios a variation is observed in the rate of erosion, identifying the most influential factors in the equation. It was concluded that the most influential factor in the loss of soil is to use and coverage of it. In the simulations and with the Pearson correlation coefficient it was obtained such a result.

Introducción

El presente estudio se desarrolló en la microcuenca Quebrada Cune, ubicada en el municipio de Villeta, departamento de Cundinamarca. Esta zona de estudio pertenece al proyecto investigativo desarrollado por el grupo de investigación en tecnología ambiental y cuencas hidrográficas (ITACH) de la Universidad de la Salle, dirigido por el ingeniero Rubén Darío Londoño Pérez.

El propósito del estudio es simular el proceso erosivo para cuantificar la pérdida de suelo producida en la microcuenca Quebrada Cune, por medio de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), para lo cual se delimitó la microcuenca dividiéndola en partes alta, media y baja; al igual que se subdividió en unidades de tierra, para estimar cada uno de los factores de la ecuación.

El documento tiene cuatro fases metodológicas las cuales son utilizadas para el desarrollo del estudio. La primera fase es de estructuración metodológica, se hizo un acercamiento al modelo y se definieron los métodos analíticos para su posterior evaluación. La segunda fase consistió en determinar los factores del modelo USLE para implementarlos en el área de estudio. La tercera fase permitió la estimación de pérdida de suelo en condiciones actuales y en cada uno de los escenarios a desarrollar, y en la cuarta fase se analizaron los resultados obtenidos.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Simular la pérdida de suelo de la parte baja de la Microcuenca Quebrada Cune bajo diferentes escenarios de uso y cobertura de la tierra y de variabilidad climática, empleando el modelo USLE.

1.2 Objetivos específicos

- Determinar cada factor de la Ecuación Universal de Perdida de Suelo bajo diferentes escenarios de uso y cobertura, clima, pendiente y suelo.
- Simular diferentes escenarios de uso y cobertura de la tierra y de variabilidad climática de la parte baja de la Microcuenca Quebrada Cune con el fin de cuantificar la pérdida de suelo en cada uno de estos.
- Comparar espacial y temporalmente los resultados obtenidos para cada escenario estudiado.

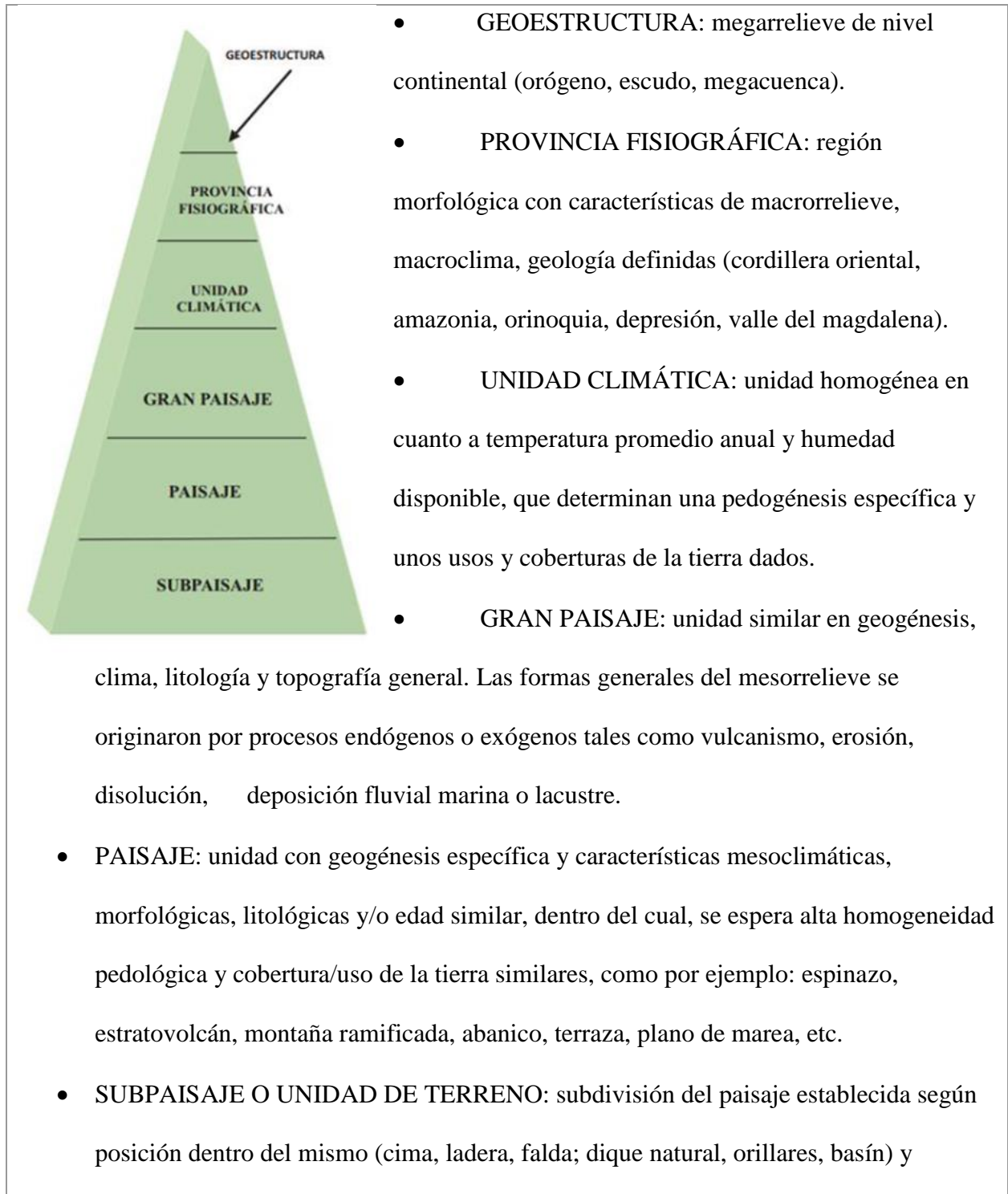
2. Marco de referencia

2.1 Marco conceptual

Existe una gran pérdida de suelo causada por la erosión, generada por el uso frecuente de terrenos no aptos para cultivos, o por cambios en su uso; como consecuencia se presenta una degradación acelerada, tanto física, química y biológica del recurso edáfico e hídrico.

- **Amenaza natural:** fenómeno natural que por su intensidad en un espacio y tiempo específicos puede causar graves daños (IDEAM, et al., 2010).
- **Cambio climático:** es un cambio significativo y duradero de los patrones locales o globales del clima. (Green peace , 2010)
- **Ciclo hidrológico:** sucesión de etapas que atraviesa el agua al pasar de la tierra a la atmósfera y volver a la tierra: evaporación desde el suelo, mar o aguas continentales, condensación de nubes, precipitación, acumulación en el suelo o masas de agua y reevaporación. (Ordoñez, 2001)
- **Clasificación fisiográfica del terreno:** Es un sistema de clasificación y subdivisión de la superficie terrestre basado en las formas de relieve (fisiografía) (Villota, 1997). Este sistema posibilita estudiar cualquier zona rural desde el punto de vista biofísico, de manera jerárquica, de lo general a lo particular; la clasificación se utiliza en el análisis fisiográfico de imágenes de sensores remotos a diferente escala y para múltiples niveles de detalle de los levantamientos en los que se utilice.

Ilustración 1. Clasificación fisiográfica del terreno CIAF.



caracterizada por uno o más atributos morfométricos como p.ej. forma y grado de la pendiente, tipo y grado de erosión, grado de disección y clase de condición de drenaje.

Fuente: (Villota, 1997).

- **Cobertura vegetal:** proporción del suelo ocupada por la proyección perpendicular de las partes aéreas de las plantas sobre el suelo. Por ejemplo, si se iluminara la vegetación desde arriba y verticalmente, la cobertura sería la proporción del suelo que está sombreado. La cobertura vegetal se expresa generalmente como un porcentaje (UNESCO, 2014).
- **Coefficiente de Pearson:** Índice que mide el grado de covariación entre distintas variables relacionadas linealmente. (Unesco, 2008)
- **Cuenca Hidrográfica:** Es una porción de terreno delimitado geográficamente por divisorias de aguas, que corresponden a las cimas de las colinas o las montañas que rodean los terrenos. La cuenca afecta el volumen de escorrentía, por las siguientes características: Forma, tamaño, orientación, topografía y porcentaje de humedad del suelo. (IDEAM et al., 2010).
- **Cuenca sedimentaria:** es una acumulación importante de sedimentos producto de la erosión de la superficie de la tierra (Vergara, 2010).
- **Ecuación Fournier modificada (1978):** Fournier desarrollo un índice para estimar el factor de erosividad de la lluvia, sin embargo al tener algunas deficiencias, Arnoldus (1980) modifico el índice IF, considerando las cantidades de lluvia de todos los meses del año y no solo la del mes más húmedo. El IMF está dado por la

relación entre la suma del cuadrado de las precipitaciones mensuales para un año, respecto de la precipitación media anual (Servicio Agrícola Y Ganadero, 2007).

- **Energía cinética de lluvia:** La energía cinética de una lluvia se estima con parámetros de lluvia como la intensidad que es función del tamaño y velocidad de la gota. Es considerada también, como una propiedad de la lluvia y fuente de entrada de energía en los procesos de erosión hídrica y por tanto, de la pérdida de suelo, siendo esta la que interviene en el cálculo del factor pluviométrico (R) de la USLE (Roldán, 2006). Ya que su relación con la pérdida de suelo es la que es aportada por las gotas de lluvia.
- **Erodabilidad:** La erodabilidad del suelo o factor K, es una descripción cuantitativa que indica la susceptibilidad del suelo a ser erosionado, es considerado como el factor más importante para la predicción de la erosión y refleja el hecho de que diferentes suelos se erosionan a diferente tasa cuando los demás factores que afectan la erosión son los mismos (Ramírez, 2009).
- **Erosión:** Es el proceso de desgaste y transporte de sólidos (sedimentos, suelos, rocas y otras partículas) desde el medio natural a otro lugar (Núñez, 2001).
- **Erosión antrópica:** Esta clase de erosión es causada por la actividad humana, es decir la ganadería, los cultivos, la construcción, entre otras. Los efectos de estas actividades causan desequilibrios en los ecosistemas, favoreciendo los procesos de erosión al talar y quemar los bosques, causando la ruptura de ciclos hidrológicos naturales. Otro efecto es la pérdida de la capa superficial de los suelos (Núñez, 2001).

-
- **Erosión en cárcavas:** Es el proceso que sigue a la erosión en surcos, el cual se produce por la fuerte concentración del agua de escurrimiento, en los sectores depresionales de las laderas (Núñez, 2001).
 - **Erosión en surcos:** Este proceso erosivo se debe al escurrimiento o flujo concentrado del agua. Al escurrir el agua por la superficie transporta las partículas, concentrándose en zonas bajas planas (Núñez, 2001).
 - **Erosión Eólica:** Esta clase de erosión es producida por los efectos de dirección y velocidad del viento. Esta erosión se presenta en las regiones que tienen un régimen pluvial estacionalmente seco, y se producen por vientos fuertes. Es importante destacar que solo ocurre con vientos con una velocidad específica, es decir mayor a 40 Km/h (Núñez, 2001).
 - **Erosión geológica o natural:** Se define como el desgaste de rocas y sedimentos provenientes de la fractura de materiales rocosos, producida por: Energía proveniente de la radiación solar, por la gravedad, calor interno a través de gradientes geotérmicos o gradientes de calor, y otros factores como el viento, la lluvia, procesos fluviales y marítimos. Esta erosión a lo largo del tiempo produce el desgaste de las superficies rocosas, la modificación del paisaje y la acumulación de sedimentos en las áreas más bajas (Núñez, 2001).
 - **Erosión hídrica:** Esta clase de erosión es causada por el impacto de la lluvia, típico de regiones tropicales, debido a la intensidad, duración y frecuencia asociada a efectos pluviales. Los efectos de esta erosión se presentan cuando se encuentra la pendiente abrupta y escarpada, la ausencia de cobertura vegetal y el pobre desarrollo estructural de los suelos (Núñez, 2001).

-
- **Erosión laminar:** Es el arrastre de partículas de suelo, suspendida en el agua lluvia que se desplaza por la pendiente (Núñez, 2001).
 - **Erosión pluvial:** Esta clase de erosión es consecuencia directa del impacto de las gotas de lluvia en el suelo sin cobertura vegetal. Las gotas de lluvia desprenden las partículas del suelo gracias a la energía cinética. La identificación de este tipo de erosión se da por las hojas bajas de los cultivos, las cuales tienen adheridas pequeñas partículas de suelo (Núñez, 2001).
 - **Erosión en terracetos:** Es causado por el ganado vacuno que camina en terrenos de ladera. Esta erosión se genera en forma trapezoidal invertida, y degenera posteriormente en formas erosivas de surcos y cárcavas (Núñez, 2001).
 - **Erosión por salpicadura:** Es originada por la caída de las gotas de lluvia sobre el suelo; su impacto está en función de la forma y tamaño de las gotas (erosividad), y de la resistencia del suelo a su poder erosivo (erodabilidad). (Diego, s.f.)
 - **Erosividad:** Es un fenómeno resultado de la lluvia, el cual causa erosión de los suelos, por el efecto de sus características, de duración, intensidad y frecuencia (Núñez, 2001).
 - **Escenario:** Representación de una situación posible que puede darse bajo una condición predeterminada (Ruiz, 2005).
 - **Escorrentía:** Es la cantidad de agua lluvia que excede la capacidad de infiltración del suelo (Núñez, 2001).
 - **Estación climatológica Ordinaria:** Este tipo de estaciones posee obligatoriamente un pluviómetro, pluviógrafo y psicrómetro. Es decir, mide lluvias y temperaturas extremas e instantáneas (IDEAM et al., 2010).

-
- **Estación climatológica Principal:** Es aquella en la cual se hacen observaciones de visibilidad, tiempo atmosférico presente, cantidad, tipo y altura de las nubes, estado del suelo, precipitación, temperatura del aire, humedad, viento, radiación solar, brillo solar, evaporación y fenómenos especiales (IDEAM et al., 2010).
 - **Estación pluviográfica:** Registra en forma mecánica y continua la precipitación, en una gráfica que permite conocer la cantidad, duración, intensidad y periodo en que ha ocurrido la lluvia. Actualmente, se utilizan los pluviógrafos de registro diario (IDEAM et al., 2010).
 - **Hidrogeología:** ciencia que estudia el origen y la formación de las aguas subterráneas, las formas de almacenamiento, su difusión, movimiento, régimen y reservas, su interacción con los suelos y rocas, su estado (líquido, sólido y gaseoso) y sus propiedades (físicas, químicas, bacteriológicas y radiactivas); así como las condiciones que determinan las medidas de su aprovechamiento, regulación y evacuación. (Sánchez San Román, 2005)
 - **Iluviación:** Se refiere a la entrada de algún material a una porción del suelo; esta porción del suelo representa un enriquecimiento en el material que recibe, con respecto al contenido que presenta el resto del suelo en él (Jaramillo, 2002).
 - **Isoterma:** línea curva que une los puntos, en un mapa, que presentan las mismas temperaturas en la unidad de tiempo considerada. Así, para una misma área, se pueden diseñar un gran número de mapas con isotermas, por ejemplo: isotermas de la temperatura media del mes de enero, de febrero, etc., o las isotermas de las temperaturas medias anuales, etc. (Jerez, 2011).

-
- **Isoyeta:** línea curva que une los puntos en un mapa, que presentan las mismas precipitaciones en la unidad de tiempo considerada. Así, para una misma área, se pueden diseñar un gran número de mapas con isoyetas, por ejemplo: isoyetas de la precipitación media del mes de enero, de febrero, etc., o las isoyetas de las precipitaciones medias anuales, etc. (Jerez, 2011).
 - **Nomograma:** Es una forma para calcular la evaporación diaria, E_o , en mm. a partir de una superficie libre de agua. Fue propuesta por Penman en 1948 (Diaz, 2014).
 - **Provincia:** Nombre genérico aplicado a algunas subdivisiones interinas de los departamentos (más de carácter histórico que jurídico) que reciben las denominaciones de provincias, distritos, regiones y subregiones, dependiendo de la entidad a la cual pertenecen (Serna, 2014).
 - **Provincias hidrogeológicas:** corresponden a unidades mayores referidas a escalas menores (entre 1:10.000.000 y 1:500.000), definidas con base en unidades tectonoestratigráficas separadas entre sí por rasgos estructurales regionales, que coinciden con límites de cuencas geológicas mayores y que, desde el punto de vista hidrogeológico, corresponden a barreras impermeables representadas por fallas regionales y altos estructurales (Rodríguez, Vargas, Jaramillo, Piñeros & Cañas, 2010).
 - **Precipitación:** Es 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). El aire se satura a través de dos procesos: por enfriamiento y añadiendo humedad (Pérez, 2014).

-
- **Recurso hídrico:** Los recursos hídricos son los cuerpos de agua que existen en el planeta, desde los océanos hasta los ríos pasando por los lagos, los arroyos y las lagunas. Estos recursos deben preservarse y utilizarse de forma racional ya que son indispensables para la existencia de la vida (Núñez, 2001).
 - **Remoción en masa:** Es una serie de procesos erosivos relacionados con el agua. Estos procesos están ligados a la saturación de una masa de suelo por agua lluvia, y en más baja proporción por otras fuentes. El agua ingresa por los poros del suelo, lo satura y causa que el volumen de suelo que recibió el agua por infiltración se desplace por la pendiente (Núñez, 2001).
 - **Riesgo:** Es la probabilidad de pérdidas en un punto geográfico definido y dentro de un tiempo específico por causas o impactos externos. Está en línea directa con amenaza y la vulnerabilidad (IDEAM et al., 2010).
 - **Simulación:** Simulación es una técnica numérica para conducir experimentos en una computadora digital. Estos experimentos comprenden ciertos tipos de relaciones matemáticas y lógicas, las cuales son necesarias para describir el comportamiento y la estructura de sistemas complejos del mundo real a través de largos periodos de tiempo. (Bermón , 2011)
 - **Unidad de Paisaje:** Las Unidades de Paisaje (UP) son divisiones espaciales que cubren un territorio a estudiar. Una UP debiera ser lo más homogénea posible en relación a su valor de paisaje (calidad visual) y valor de fragilidad. Las unidades de paisaje se establecen con base en los aspectos visuales o de carácter de los factores considerados como definatorios del paisaje. Por medio de un Análisis Fisiográfico se subdivide de manera sistemática el espacio geográfico, considerando las

relaciones genéticas y espaciales que existen entre los paisajes, los suelos y el uso de la tierra (Martin, 2008).

- **Unidad de tierra:** Es una porción de la superficie terrestre que incluye el suelo, el subsuelo, los organismos y la atmósfera cercana, así como los procesos naturales e inducidos y los resultados de las actividades humanas pasadas y presentes que tienen influencia sobre el potencial de uso de las tierras (FAO, 1997). En este contexto, la tierra es considerada como el producto de la transformación del suelo (elemento natural) a un recurso natural denominado tierra.
- **Usos del suelo:** La condición favorable o no de desarrollar una actividad socioeconómica en un suelo determinado (Núñez, 2001).
- **Variabilidad climática:** La variabilidad climática es una medida del rango en que los elementos climáticos, como temperatura o lluvia, varían de un año a otro. Incluso puede incluir las variaciones en la actividad de condiciones extremas, como las variaciones del número de aguaceros de un verano a otro. La variabilidad climática es mayor a nivel regional o local que al nivel hemisférico o global. (CIIFEN, s.f.)
- **Vulnerabilidad:** Condiciones que son el resultado de aspectos físicos, sociales económicos y ambientales que aumentan la susceptibilidad y probabilidad de que la comunidad sufra gravemente los impactos de las amenazas (Núñez, 2001).

2.2 Marco Teórico

La erosión del suelo es el proceso de desprendimiento, arrastre y deposición de partículas del suelo causado por diferentes factores climáticos como la precipitación, el

viento y los cambios en la temperatura; se considera como uno de los principales actores del ciclo geológico que se prolonga por millones de años (Kappelle, 2009) e implica la existencia de dos elementos que participan en el proceso: uno pasivo que es el suelo, y uno activo que es el agua, el viento, o su participación alterna (Diego, s.f.).

El cambio de las propiedades del suelo se conoce como degradación del suelo, la cual se puede dar por medio de procesos físicos, químicos y/o biológicos (Veiga, 1992); según la FAO disminuye la capacidad actual y el potencial natural del suelo cuando el mismo no puede proporcionar los bienes y servicios normales en su ecosistema (Veiga, 1992). La pérdida del suelo como consecuencia de la erosión se define como el proceso de desgaste y transporte de sólidos (sedimentos, suelos, rocas y otras partículas) desde el medio natural a otro lugar, por la acción de agentes erosivos como el agua, el viento y el hielo. La remoción de la capa superficial del suelo debido a la erosión provoca efectos en las características físicas y químicas del suelo, produciendo reducción en la infiltración del agua y disminución de almacenaje de la misma (CORTOLIMA, 2013), además, elimina una alta proporción de materia orgánica y fracciones minerales finas que proporcionan agua y elementos nutritivos para el crecimiento de las plantas (Kirkby & Morgan, 1980).

El suelo como recurso natural ofrece servicios al ecosistema de provisión como los alimentos, de regulación a nivel climático y alimentario, y culturalmente en la parte estética y paisajista. El papel del suelo es indispensable para el soporte en el que se basan la agricultura y la seguridad alimentaria en donde se considera que más del 90% de los alimentos para el ser humano se obtienen del suelo (IDEAM, 2012). Es evidente la relación

de dependencia entre el hombre y el suelo, el primero se encarga de darle un uso específico dependiendo las necesidades del mismo y el segundo es el que ofrece los servicios dependiendo su estado y aptitud de uso, por lo tanto es importante que el suelo sea manejado correctamente para disminuir los impactos que se generen por darle un mal uso al mismo.

Como el suelo requiere un tiempo de restablecimiento de larga duración la cual tarda cientos de miles de años en formarse y su extensión es limitada se considera como un recurso no renovable (Torres, 2006); sin embargo, desde otro punto de vista, si bien los problemas de degradación de suelos y pérdida de productividad son conocidos desde la antigüedad, se sigue pensando a los suelos como un recurso renovable ya que sólo algunos procesos de los suelos pueden ser considerados reversibles. Por ejemplo, hasta cierto punto, las pérdidas de fertilidad química asociadas a la extracción de nutrientes (Taboada, 2013). Según el proyecto internacional "Global Assessment of Soil Degradation", 1991, (GLASOD), el estado de degradación en el que se encuentran los suelos de todo el mundo es grave.

Kirkby (1980), en su libro *Erosión del Suelo* afirma que existen tres tipos de perspectivas que examinan la erosión del suelo. La primera, demuestra la importancia de las tasas de erosión del suelo dentro de una escala de tiempo cronológico y plantea la pregunta de cuales tasas pueden tolerarse a largo plazo; la segunda, es una perspectiva que examina la erosión del suelo con relación a los controles climáticos y vegetales discutiendo el nivel de eficiencia en el que estos procesos intervienen con el impacto de las gotas de

lluvia causantes de la erosión, y la tercera incluye un análisis de la erosión del suelo por medio de modelos generales en el tiempo y en el espacio.

De acuerdo con el agente físico causante (agua, viento y hielo), pueden definirse tres tipos de erosión: hídrica, eólica y glacial (Pelaez, 2001).

➤ **Erosión hídrica:** es el tipo de erosión en la cual los procesos de remoción del suelo y transporte son realizados por el agua. La precipitación es la que genera la escorrentía, siendo esta la que alimenta las corrientes superficiales, continuas o intermitentes, de una cuenca (Pelaez, 2001). Dependiendo de la procedencia de la escorrentía se dan diferentes tipos:

- ❖ *Escorrentía Superficial o Directa:* Es la precipitación que no se infiltra en ningún momento y llega a la red de drenaje moviéndose sobre la superficie del terreno por la acción de la gravedad (Coruña).
- ❖ *Escorrentía Hipodérmica o Subsuperficial:* Es el agua de precipitación que, habiéndose infiltrado en el suelo, se mueve subhorizontalmente por los horizontes superiores para reaparecer súbitamente al aire libre como manantial e incorporarse a microsurcos superficiales que la conducirán a la red de drenaje (Coruña).
- ❖ *Escorrentía Subterránea:* precipitación que se infiltra hasta el nivel freático, desde donde circula hasta alcanzar la red de drenaje. La Escorrentía Superficial es la más rápida de todas y la Escorrentía Subterránea la más lenta (Coruña)

La erosión hídrica se da de diferentes maneras:

- ✓ La primera es la erosión laminar, esta ocurre cuando las gotas de lluvia actúan en forma uniforme sobre la superficie del suelo y remueven de esta manera la delgada capa del suelo superficial que es transportada por la corriente producida, dejando la superficie del suelo expuesta a la acción de sucesivas gotas de lluvia. (Thompson & Troeh, 1998) Es la forma más peligrosa de erosión hídrica porque al comienzo la pérdida de suelo es imperceptible, solo se refleja cuando ha pasado el tiempo y ha aumentado su intensidad. Este proceso de erosión es el que da paso a la erosión en surcos y posteriormente en cárcavas (Pelaez, 2001).

- ✓ La segunda es la erosión en surcos, esta se da por la concentración del agua de escorrentía en algunos lugares y arrastra el suelo formando canales poco profundos a lo largo de la pendiente del terreno, formando una micro red de drenaje dando paso a la formación de cárcavas (Pelaez, 2001).

- ✓ La tercera es la erosión en cárcavas, que es originada por la erosión laminar y en surcos, al aumentar la velocidad o el volumen de la escorrentía, esta trae como consecuencia la pérdida de suelo, pérdida en la calidad del relieve, cambio en el régimen térmico y perdido en la capacidad de reservar agua (Hudson, 2006).

- ✓ El cuarto son los movimientos en masa, estos ocurren a lo largo de una o varias superficies por la gravedad, cuando una parte de la masa del terreno se desajusta del

conjunto y se desplaza una cota inferior a la original, el agua es un agente desencadenante en este proceso, ya que con la saturación del suelo se reduce la fricción entre las partículas de roca, facilitando así su movimiento (Pelaez, 2001). Los movimientos en masa en algunos casos son la forma dominante en los procesos erosivos, ya que estos movimientos son los precursores de otros procesos, puesto que los procesos erosivos se benefician de la generación de superficies altamente susceptibles a su intervención. Las masas de suelos cuando se desplazan pierden usualmente la cubierta vegetal protectora dando paso así a la erosión laminar que puede ser seguida de la erosión en surcos y terminando en cárcavas (Thompson & Troeh, 1998).

- **Erosión eólica:** es la remoción y deposición de material edáfico por el viento. El viento es un factor importante desde el punto de vista agroclimático. Este tipo de erosión es común en regiones secas que no tienen vegetación y en donde se presentan fuertes vientos quienes arrastran con las partículas más finas del suelo a otras, desprendiéndolas también del suelo (Pelaez, 2001).

- ✓ La erosión del suelo por el viento depende de la fuerza con la que el mismo actúe sobre las partículas del suelo, en donde es importante tener en cuenta aspectos como la capacidad de transporte del aire, por ejemplo, si se tiene el caso de una superficie que contenga plantas o rocas muy grandes (áspera), la velocidad del viento cerca de la superficie sería baja y por lo tanto presentaría poca erosión (Kirkby & Morgan, 1980). Cabe resaltar que cualquier superficie lisa es susceptible a la erosión eólica.

Es importante identificar que la erosión de suelos, la pérdida de suelos y la acumulación de sedimentos son términos que tienen diferente significado, en donde el primero de ellos se refiere a la cantidad bruta del suelo retirado por la acción dispersante de las gotas de lluvia o por escorrentía, en cuanto a la pérdida de suelos se refiere al suelo desprendido de un campo o pendiente determinados y por último la producción de sedimentos es la pérdida de suelo depositada en un punto determinado (Kirkby & Morgan, 1980).

En Colombia la erosión es considerada como uno de los procesos más importantes a nivel de degradación de suelos y tierra, debido a que más del 50% del territorio nacional presenta algún grado de erosión en su superficie (IDEAM, 2012). Para hacerle frente a esta problemática, entidades como el INDERENA (1978), el IGAC (1987 y 1998) y el IDEAM (2001) han realizado estudios de erosión, salinización y desertificación a nivel nacional, obteniendo resultados en información como el proyecto en desarrollo de “Plan de Seguimiento y Monitoreo de los procesos de degradación de suelos y tierras de Colombia en el marco de la gestión ambiental nacional y el cambio climático”, estudiando y desarrollando métodos y protocolos para la identificación y evaluación de los procesos de degradación de suelos y tierras por erosión, salinización y desertificación actuales y potenciales a nivel nacional, regional y local (IGAC, 2010).

Por otro lado, está la propuesta para la gestión integral ambiental del recurso suelo (GIARS) en donde se diseña un Programa Nacional de Monitoreo y Seguimiento de la

Degradación de Suelos y Tierras en Colombia: Diseño y Estructura de estrategias para su implementación por parte del Convenio Interadministrativo de Asociación entre El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM & MAVDT, 2012).

El territorio Colombiano por sus condiciones geomorfológicas y climáticas, presenta una degradación por movimientos masales de 19.137.239 ha, equivalente al 16,18% del área del país, y por erosión hídrica superficial de 73.000.000 ha, equivalentes al 64% del área del país (IDEAM, 2000).

Durante el transcurso del tiempo se han desarrollado diferentes metodologías o técnicas para estimar la pérdida de suelo en una superficie determinada, en donde los modelos empleados para predecir la erosión del suelo pueden ser: La Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (Universal Soil Loss Equation) (Wischmeier & Smith, 1978); el Método OnstadFoster (AOF), (Onstad & Foster, 1975), y la Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelos (Revised Universal Soil Loss Equation - RUSLE) (Jones et al., 1994).

De éstas, se destaca la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) por su fácil aplicación y universalidad, ya que desarrolla una estimación de la pérdida de suelo incluyendo en sus componentes de análisis factores como: condiciones hidro-climatológicas, suelos, topografía, uso y cobertura de la tierra y prácticas de manejo en los suelos, según el Protocolo de degradación de suelos y tierra por erosión del IGAC; IDEAM; MAVDT en el 2010. Para predecir el comportamiento de la degradación por

erosión se deben tener en cuenta las variables biofísicas y socioeconómicas de afectación como la precipitación, suelos, cobertura, relieve, pendiente y población (IDEAM , 2012) ajustándose esta ecuación como método para el estudio.

Como los estudios anteriores han sido a nivel nacional, es necesario identificar una metodología que se ajuste al proyecto, debido a que el área de estudio es considerada pequeña en comparación a las zonas estudiadas por las entidades anteriores; por lo tanto, la USLE es un método empleado para evaluar las pérdidas de suelo en áreas pequeñas.

El presente estudio se enfoca en la simulación de la pérdida de suelo en la microcuenca en condiciones actuales y con diferentes escenarios climatológicos y de uso y cobertura mediante la Ecuación universal de pérdida de suelo. Es importante identificar la necesidad e importancia de conocer las pérdidas de suelo en un territorio donde se llevan a cabo diferentes actividades agrícolas que influyen en el estado y formación del suelo, además de los costos económicos que lleva consigo, por ejemplo, reducción de las cosechas e incrementos en costos enfocados a prácticas de manejo que disminuyan el impacto de la erosión.

◆ **Ecuación universal de pérdida de suelo**

La ecuación universal de pérdida de suelo estima la cantidad de pérdida de suelo producida por los diferentes tipos de erosión que se presentan en una determinada parte de la superficie terrestre (Jones, Griggs, Williams, & Srinivasan, 1994).

La ecuación USLE se expresa de la siguiente manera:

Ecuación 1. Ecuación Universal de Pérdida de suelo

$$A = R * K * LS * C * P$$

Donde:

A: Tasa de pérdida de suelo (T/ha*año)

R: Factor de erosividad de la lluvia (T*mha⁻¹/ cm*año)

K: Factor de erodabilidad del suelo (susceptibilidad del suelo a la erosión) (T/ha)

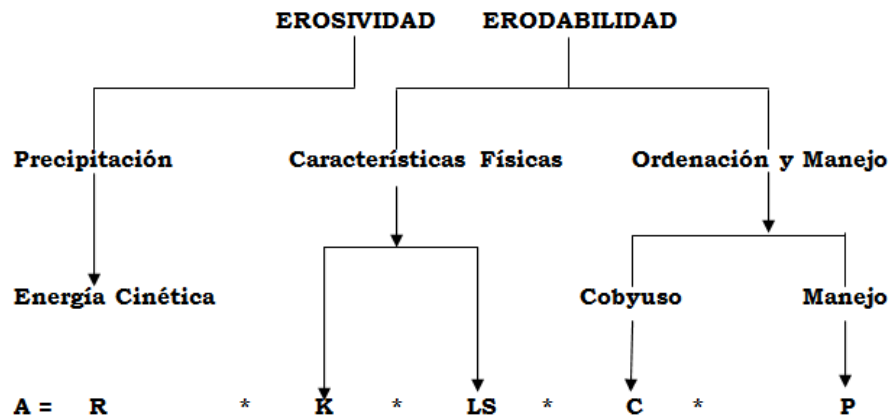
LS: Factor de pendiente. L =longitud (m) y S= inclinación (%) - (adimensional)

C: Factor asociado a la cobertura y uso de la tierra (adimensional)

P: Factor de prácticas de manejo y conservación (adimensional) (Moreno et al., 2012).

A continuación se identifican los factores de la ecuación USLE donde la erosividad indica la cantidad del suelo retirado por la acción dispersante de las gotas de lluvia y la erodabilidad a susceptibilidad del suelo a ser erosionado, es decir a mayor erodabilidad del suelo mayor es su porcentaje de erosión en donde influyen los componentes de cobertura vegetal, pendiente, prácticas de apoyo y el tipo de suelo (Ilustración 2).

Ilustración 2. Factores implicados en la USLE



Fuente: (Moreno, Ibañez, & Gisbert, 2012).

La USLE por su fácil aplicación y universalidad en las condiciones ambientales de uso, sigue siendo aún hoy día el modelo de mayor aplicación. Este es uno de los métodos más empleados para calcular y/o estimar cuantitativamente la pérdida de suelo en un área, bajo condiciones medioambientales específicas (Moreno et al., 2012). También es una importante herramienta para predecir buena parte del proceso de degradación de las cuencas hidrográficas, esta es una ecuación empírica de tipo paramétrico, que fue desarrollada por Wischmeier y Smith (1978) en EEUU a partir de los resultados obtenidos, durante los años 50, de un número muy elevado de parcelas de campo instaladas en diferentes localidades del país, con condiciones climáticas, edáficas, topográficas y de uso muy variadas (Galvis, 2008).

Como todo modelo de simulación, los datos obtenidos al aplicar la ecuación serán más exactos en la medida que la ecuación recoja las características reales del territorio,

siendo fundamental que el valor asignado a los parámetros reproduzcan lo más fielmente posible las condiciones ambientales del territorio (Moreno et al., 2012).

En este modelo las precipitaciones son el principal factor erosivo en una cuenca hidrográfica, sin embargo, teniendo en cuenta las características de los suelos (estructura, textura, contenido de materia orgánica y permeabilidad) se pueden generar distintas erosiones bajo la misma influencia de las lluvias (Mintegui & Robredo, 1994). También es importante tener en cuenta que la acción de la lluvia sobre un suelo puede producir condiciones diferentes de erosión dependiendo de su intensidad y ubicación, ya sea en la parte alta, media o baja de una ladera. La erosión también puede cambiar dependiendo del tipo de cubierta vegetal que se encuentre en la zona, la pendiente que tenga el terreno y las prácticas agrícolas (Gonzalez, 1991).

Las aplicaciones de la USLE son:

- Predecir la pérdida anual de suelo de una pendiente en un campo con condiciones específicas para uso de la tierra.
- Estimar la producción de sedimentos de una cuenca hidrográfica.
- Estimar las pérdidas de suelo en áreas con un uso de suelo distinto del agrícola.
- Obtener estimaciones de pérdida de suelo para que los conservacionistas determinen las necesidades de conservación.

-
- Orientar la selección de prácticas agrícolas sirviendo como guía de selección de sistemas de sistemas de cultivo y manejo y prácticas de conservación para suelos (Kirkby & Morgan, 1980).

➤ *Componentes de la ecuación*

- **Tasa de pérdida de suelos (A)**

Es la tasa de pérdida de suelos calculada por unidad de superficie, expresada en las unidades seleccionadas para K y el período seleccionado para R, generalmente toneladas (T) hectárea (ha)⁻¹ año⁻¹ (Moreno et al., 2012).

- **Factor R**

Es el factor de erosividad de la lluvia y escurrimiento, es un indicador de la capacidad de la lluvia para producir erosión. Este factor es importante conocerlo ya que la precipitación tiene una energía cinética, la cual es la energía capaz de desagregar el suelo en sus partículas constitutivas.

Esta acción genera un desprendimiento del material, el cual queda expuesto al agua y al viento para su transporte y posterior depositación (Moreno et al., 2012).

El factor R depende de las características físicas de la lluvia, a mayor tamaño de la gota, mayor energía cinética o sea mayor desagregación lo cual trae consigo mayor pérdida de suelo. Este factor explica la erosividad como resultado de la precipitación pluvial que

incluye la influencia de la energía cinética de la lluvia y la intensidad máxima durante 30 minutos (Kirkby & Morgan, 1980).

Durante el transcurso del tiempo, desde la propuesta de Wischmeier y Smith en 1958 se han realizado modificaciones a este factor por diferentes autores, sin embargo la base fundamental de las ecuaciones propuestas establece que la erosión se determina por el potencial erosivo que tienen las gotas de lluvia al caer; a continuación se identifican las modificaciones del factor R:

a) Wischmeier y Smith – 1958

Considera las precipitaciones como el principal agente de erosión del suelo, en donde relaciona la energía cinética de la lluvia o aguacero y su intensidad máxima durante 30 minutos, para calcular R se define de la siguiente manera:

Ecuación 2. Índice de erosividad por precipitación pluvial

$$R = \frac{[\sum_{j=1}^n (1.213 + 0.890 \log_{10} I_j)(I_j T_j)] I_{30}}{(173.6)}$$

Donde:

R= índice de erosividad por precipitación pluvial

I_j= intensidad de la precipitación pluvial para un incremento específico de la intensidad (mm/hr)

T_j = periodo del incremento de tempestad específica (hr)

I_{30} = intensidad máxima de precipitación pluvial durante 30 minutos para la tormenta
(mm/hr)

j = incremento de la tempestad específica

n = número de incrementos de la tempestad (Kirkby & Morgan, 1980).

b) Fourinier – 1975

Fournier propone el índice de agresividad climática (IF) el cual muestra una alta correlación con la cantidad de sedimentos arrastrados por escorrentía (Pizarro, et al., s.f.).

Ecuación 3. Índice de Fournier

$$IF = \frac{P_{max}^2}{P_m}$$

Donde:

IF: es el índice de Fournier

P_{max} : es la precipitación correspondiente al mes más lluvioso del año i (mm)

P_m : es la precipitación media anual (mm).

El IF sólo considera el mes de mayor precipitación descartando los valores del resto de los meses, y al aplicarlo en zonas donde el régimen pluvial presenta más de un pico mensual de precipitación o en donde los valores pluviométricos son en general elevados

(Echeverri & Obando , 2010) no tendría en cuenta la producción de erosión en los demás meses y la precipitación de estos así sea menor también produce erosión.

c) Fourinier Modificado – 1978

Arnoldus (1977), modifico el índice IF y propuso el índice modificado de Fournier (IMF) como factor de erosividad (R), considerando las cantidades de lluvia de todos los meses del año y no solo la del mes más húmedo, indicando que hay meses con menores cantidades de precipitación que también producen erosión, quedando la modificación del índice de tal forma:

El IMF está dado por la relación entre la suma del cuadrado de las precipitaciones mensuales para un año, respecto de la precipitación media anual (Servicio Agrícola Y Ganadero, 2007).

Ecuación 4. Índice Modificado de Fournier

$$IFM_j = \frac{\sum_{i=1}^{12} (p_{ij})^2}{P_m}$$

Donde:

IFM_j = Índice Modificado de Fournier, para el año j.

P_{ij} = Precipitación mensual del mes i del año j (mm).

P_m = Precipitación media anual (mm).

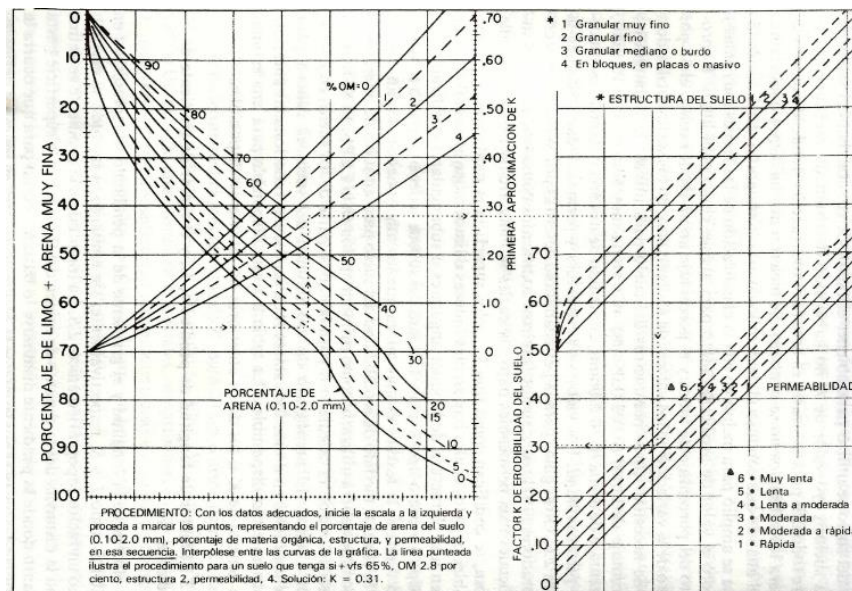
- **Factor K**

Es el factor de susceptibilidad de erosión o factor de erodabilidad del suelo, por medio de este factor se puede hacer una cuantificación en el suelo acerca de la susceptibilidad que tiene este a sufrir pérdidas por la erosión. Este factor está relacionado con el factor R de erosividad en donde a mayor erodabilidad del suelo mayor es su porcentaje de erosión.

El factor K está en función de características físicas del suelo, tales como textura, estructura, materia orgánica y permeabilidad. Cuando la lluvia cae sobre el suelo, su energía cinética afecta la capacidad del suelo para mantener su estructura previa y su capacidad para almacenar y transmitir agua, lo cual aumenta la erodabilidad del suelo (Moreno et al., 2012).

Kirkby (1980) comenta que para determinar el valor de K se realizaron mediciones directas del mismo factor para 23 tipos de principales suelos en los Estados Unidos, luego de estas mediciones se aproximaron los valores de K para otros suelos considerando las características del suelo en comparación con los suelos medidos. Se puede medir el factor K directamente, sin embargo estos procedimientos requieren demasiado tiempo y son demasiados costosos, por ende, para el cálculo del factor K Wischmeier y Smith en 1978 desarrollan un nomograma sobre erodabilidad del suelo (Ilustración 3).

Ilustración 3. Nomograma para determinar el factor k de erodabilidad del suelo



Fuente: (Kirkby & Morgan, 1980)

Por otro lado, el factor K se puede determinar a partir de una ecuación empírica a partir de las propiedades del suelo obtenidas en campo y en laboratorio:

Ecuación 5. Ecuación empírica Factor K

$$100 * K = [10^{-4} * 2,71 * M^{1,14} * (12 - a) + 4,2 * (b - 2) + 3,2 * (c - 3)]$$

Donde:

M: factor representativo de la textura

$$M = [(100\% - \%arcilla) * (\%limo + \%arena muy fina)]$$

a: % de materia orgánica

b: nº correspondiente a la estructura (del nomograma)

c: clase de permeabilidad del perfil (del nomograma) (Gisbert, Ibáñez, & Moreno, s.f.)

Cuando la obtención de los datos resulta compleja o no se tienen los valores requeridos (textura en porcentajes, la estructura y la permeabilidad) por las metodologías anteriores, se puede realizar una estimación general del valor de K (Kirkby & Morgan, 1980) a partir de la siguiente tabla:

Tabla 1. Indicaciones de la magnitud general del factor K de erodabilidad del suelo

Clase de textura	Contenido de materia orgánica		
	0,50%	2%	4%
	K	K	K
Arena	0,05	0,03	0,02
Arena fina	0,16	0,14	0,1
Arena muy fina	0,42	0,36	0,28
Arena migajosa	0,12	0,1	0,08
Arena fina migajosa	0,24	0,2	0,16
Arena muy fina migajosa	0,44	0,38	0,3
Migajón arenoso	0,27	0,24	0,19
Migajón arenoso fino	0,35	0,3	0,24
Migajón arenoso muy fino	0,47	0,41	0,33
Migajón	0,38	0,34	0,29
Migajón limoso	0,48	0,42	0,33
Limo	0,6	0,52	0,42

Migajón arcilloso arenoso	0,27	0,25	0,21
Migajón arcilloso	0,28	0,25	0,21
Migajón arcilloso limoso	0,37	0,32	0,26
Arcilla arenosa	0,14	0,13	0,12
Arcilla limosa	0,25	0,23	0,19
Arcilla	-	0,13-0,29	-

Fuente: (Kirkby & Morgan, 1980) - Pág. 55.

Por lo tanto, el factor K se puede determinar por diferentes métodos en los que se incluye: los nomogramas de erodabilidad del suelo, ecuaciones y tablas estándar de suelos.

- **Factor LS**

Es el factor que expresa la longitud que tiene la pendiente del suelo y el ángulo de inclinación de las laderas, este factor es útil para estimar las pérdidas de suelo que se dan en un terreno con pendiente comparativamente a las perdidas por unidad de área que se producirán si una misma lluvia cayera sobre una parcela de 22 m de longitud y 9% de ángulo de inclinación, con las mismas condiciones de cultivo, tipo de suelo y manejo (unidad de paisaje) (Moreno et al., 2012).

Con respecto a la lluvia, el ángulo de la pendiente es importante puesto que este es el que modifica el tiempo de permanencia de la lámina de agua que transita por la superficie del terreno, si se tiene un terreno plano o con poca pendiente el agua se infiltra, cosa que no sucede en las zonas inclinadas, en las cuales la escorrentía circula más rápido

hacia las zonas de menor cota. Cuando el factor LS es grande, aumenta el poder erosivo del agua, porque la energía cinética de esta, circula por la superficie desagregando en mayor proporción el suelo (Galvis, 2008).

Los efectos de la longitud y el gradiente de la pendiente se representan en la USLE como L y S, cuando se evalúan como un único factor se conoce como el factor topográfico (LS) (Kirkby & Morgan, 1980) cuya ecuación esta expresada de la siguiente manera:

Ecuación 6. Factor topográfico

$$LS = \left(\frac{x}{22,13} \right)^m (0,065 + 0,045s + 0,0065s^2)$$

Donde:

x= longitud de la pendiente en metros.

m= exponente

s= factor de gradiente de la pendiente en %

El desarrollo de la USLE se basó en la longitud de una parcela estándar de 22.13 metros según Wischmeier y Smith, por lo tanto se toma ese valor para aplicarlo en la ecuación para determinar el LS. Según Wischmeier y Smith, las recomendaciones actuales para el exponente m son:

m= Exponente que depende del grado de pendiente:

m= 0,5 para pendiente $\geq 5\%$

m= 0,4 para pendiente entre $< 5\%$ y $> 3\%$

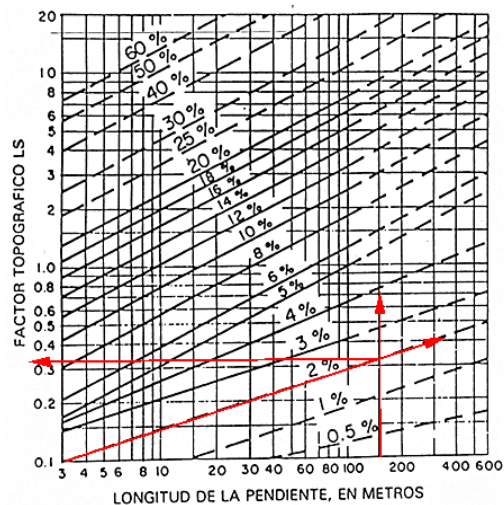
$m = 0,3$ para pendiente entre $\leq 3\%$ y $\geq 1\%$

$m = 0,2$ para pendiente $< 1\%$

La longitud de la pendiente es la distancia desde el punto de origen del flujo sobre la superficie hasta el punto donde la pendiente disminuye lo bastante como para que ocurra la deposición (Kirkby & Morgan, 1980). En cuanto al gradiente es la inclinación o grado de la pendiente expresado con porcentaje.

Existe otro método para calcular el factor LS y es por medio del nomograma de factor de longitud y grado de la pendiente para usarse con la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo que se identifica a continuación: (ilustración 4)

Ilustración 4. Nomograma para determinar el factor LS.



Fuente: (Kirkby & Morgan, 1980) – pág.56.

- **Factor C**

Es el factor que cuantifica la efectividad de las plantas como cubierta protectora del suelo, frente a la energía cinética que impacta el suelo por medio de las gotas de lluvia y frente a la fuerza del flujo superficial. Este factor expresa la relación existente entre las

pérdidas de suelo medias anuales de una parcela con una determinada vegetación y las pérdidas que esa misma parcela tendría en condiciones de labranza y barbecho continuo para el mismo suelo, precipitación pluvial y pendiente (Moreno et al., 2012).

Como las pérdidas de suelo varían con la erosividad y la morfología de la cubierta vegetal, se deben tener en cuenta los cambios que se producen en estas a lo largo del año para obtener un valor anual (Morgan, R., 1997) se debe tener en cuenta que para los cultivos anuales existen etapas de desarrollo de un cultivo como:

- I. **Barbecho:** desde que se da la labor de alzar para el establecimiento de la cama de siembra.
- II. **Siembra:** desde el laboreo secundario para la formación de la cama de siembra hasta conseguir el 10% de cobertura vegetal.
- III. **Establecimiento:** desde que la cubierta vegetal cubre el 10% del suelo hasta que llegue al 50%.
- IV. **Desarrollo:** desde el 50 al 75% de cobertura vegetal.
- V. **Madurez:** desde el 75% de cobertura hasta la recolección.
- VI. **Residuos o rastrojos:** desde la recolección hasta la nueva labor de alzar o la nueva siembra (Morgan, R., 1997).

Entre más información se tenga sobre el uso del suelo que tiene la zona de estudio y su manejo, el factor de cubierta vegetal se ajustara más a la función real que tienen las plantas como cubierta protectora frente a la capacidad erosiva de la lluvia.

En la siguiente tabla (Tabla No. 2) se identifican los valores típicos del factor C propuestos por Wischmeier y Smith y otros autores para diferentes cultivos y distintos sistemas de manejo.

Tabla 2. Valores del factor C para la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.

Cultivo y práctica	Media anual del factor C
Suelo desnudo	1
Bosque o matorral denso, cultivos con alto porcentaje de mulch	0,001
Sabana o pradera herbácea en buenas condiciones	0,01
Sabana o pradera herbácea sobrepastada	0,1
Maíz, sorgo o mijo: alto rendimiento con laboreo convencional	0,20 - 0,55
Maíz, sorgo o mijo: alto rendimiento sin laboreo convencional	0,50 – 0,90
Maíz, sorgo o mijo: bajo rendimiento con laboreo mínimo o no laboreo	0,02 – 0,10
Maíz, sorgo o mijo: alto rendimiento, laboreo con chisel entre residuo	0,12 – 0,20

Maíz, sorgo o mijo: bajo rendimiento, laboreo con chisel entre residuo	0,30 – 0,45
Algodón	0,40 – 0,70
Pradera Herbácea	0,01 – 0,025
Soja	0,20 – 0,50
Trigo	0,10 – 0,40
Arroz	0,10 – 0,20
Cacahuete	0,30 – 0,80
Palmera, cafeto, cocotero, con cobertura vegetal	0,10 – 0,30
Piña cultivada a nivel, con retirada de residuos	0,10 – 0,40
Piña cultivada a nivel, con residuos en superficie	0,01
Patata, surcos según la pendiente	0,20 – 0,50
Patata, surcos transversales a la pendiente	0,10 – 0,40
Caupí (judía de vaca)	0,30 – 0,40
Fresa con cobertura de malas hierbas	0,27
Granado con cobertura de malas hierbas	0,08
Granado limpio de malas hierbas	0,56
Tef (Eragrosis tef)	0,25
Caña de Azúcar	0,13 – 0,40
Ñame	0,40 – 0,50
Guisante de Angola	0,60 – 0,70

Judía mungo	0,04
Pimiento	0,33
Cafeto: Después de la primera recolección	0,05
Plátano: después de su establecimiento	0,05 – 0,10
Papaya	0,21

Fuente: (Morgan, R., 1997)

- **Factor P**

Los valores para el factor de practicas de control de erosion o factor P, se obtiene de tablas que realcionan las perdidas de suelo en parcelas donde se aplican las practicas con las producidas sin ellas (Morgan, R., 1997) a contnuacion se observa la siguiente tabla de valores de factor P para la USLE:

Tabla 3. Valores del factor P para la ecuación universal de pérdida de suelo.

Practica de control de la erosión	Valor del factor P
Cultivo a nivel: pendiente 0 – 1°	0,60
Cultivo a nivel: pendiente 2 – 5°	0,50
Cultivo a nivel: pendiente 6 – 7°	0,60
Cultivo a nivel: pendiente 8 – 9°	0,70
Cultivo a nivel: pendiente 10 – 11°	0,80
Cultivo a nivel: pendiente 12 – 14°	0,90
Bancales a nivel	0,14
Bancales a contra pendiente	0,05

Bancales con desagüe siguiendo la pendiente	0,35
Bancales a nivel con retención de agua	0,01
Caballones enlazados	0,10 – 0,20

Fuente: (Morgan, R., 1997). Pág.134.

El factor de prácticas de apoyo de conservación, muestra la eficacia de usar la práctica de apoyo como cultivo en contorno, barreras vivas, o cultivo en terrazas, como medida de conservación. Las técnicas consideradas con el cultivo en fajas alternantes, el terrazo y el laboreo a nivel (Galvis, 2008).

Sin prácticas de control de erosión, el valor de P se toma igual a 1,0 (Morgan, R., 1997).

A continuación se muestran las prácticas mecánicas de conservación de la erosión (Tabla 20)

Tabla 44. Prácticas de conservación

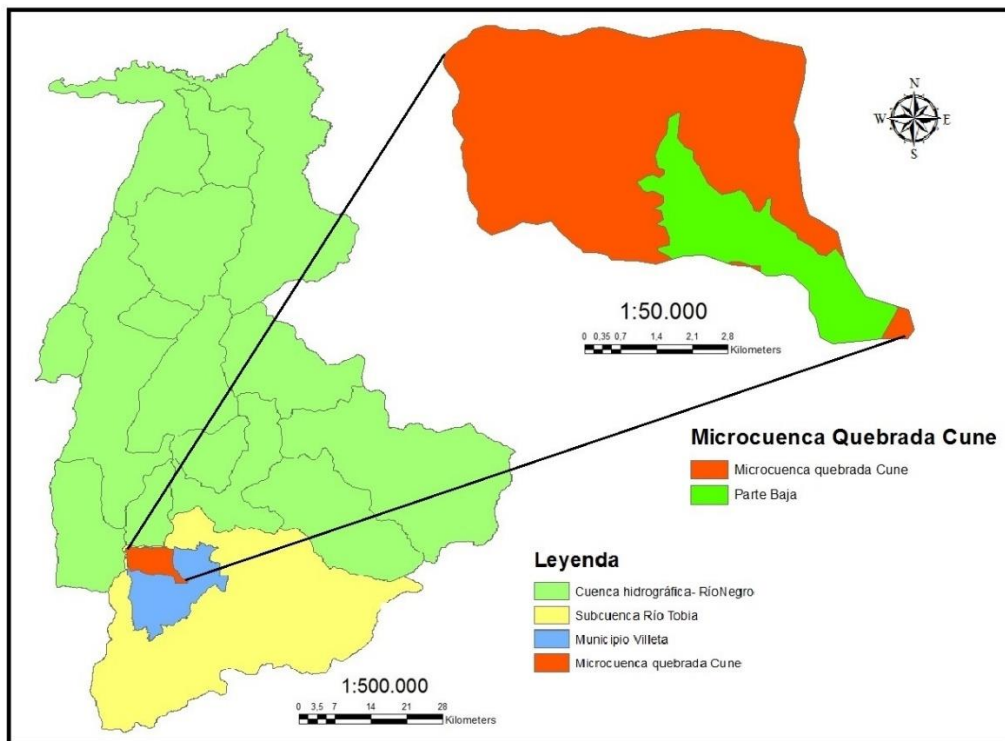
Práctica	Descripción	Propósito
Surcos en Contorno	Es el trazo de surcos perpendiculares a la pendiente, siguiendo las curvas de nivel. Esto implica que el barbecho, los surcados y las siembras se realicen de la misma manera.	Reducir el escurrimiento superficial y favorece la infiltración de agua en el perfil del suelo (Secretaría de Agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación)

Terrazas	Es la construcción de refuerzos de suelo, formando una terraza o grada para el control del desprendimiento del suelo en el momento que llueve.	Controlar el escurrimiento de agua y desprendimiento del suelo superficial en los cultivos (CENAGRO, 2014).
Rotación de cultivos	Se alternan plantas de diferentes especies con una duración agrícola de diferentes ciclos entre ellas, en un mismo sitio.	Evita que el suelo se agote, debido a que lo reestructura al evitar las actividades de laboreo (Vilalta , 2012)
Trinchos	Son barreras pequeñas en tramos cortos, en las cuales por medio de palos, sacos o costales llenos de arena o tierra se colocan a lo ancho de la zanja.	Recupera zonas afectadas por la erosión (ICPROC, 1998).

Fuente: ((CENAGRO, 2014) (ICPROC, 1998) (Secretaria de Agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación)

2.3 Marco espacial

Ilustración 5. Ubicación parte baja, microcuenca quebrada Cune



Fuente: Autores, 2015.

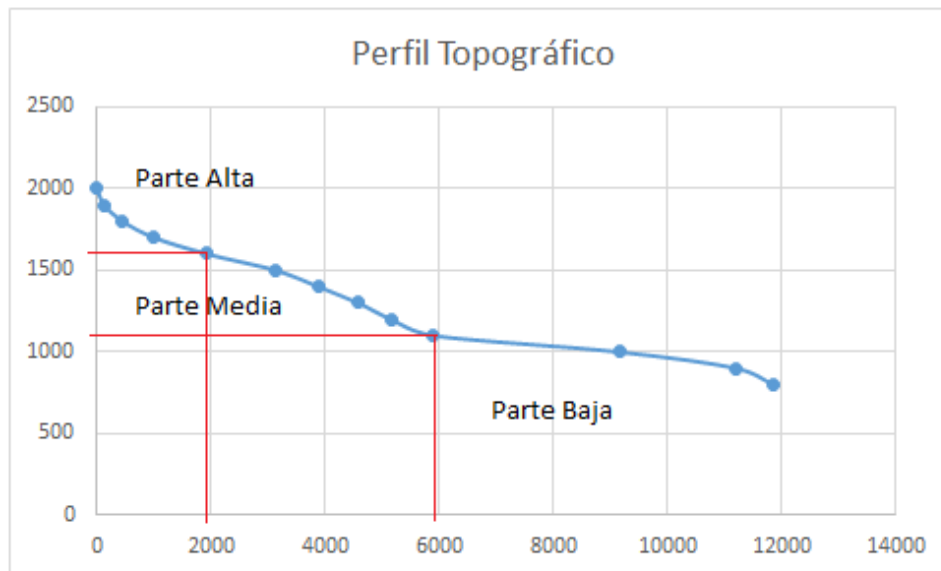
El estudio se llevó a cabo en la microcuenca quebrada Cune, localizada al nor-occidente del municipio de Villeta (Cundinamarca). La microcuenca quebrada cune se encuentra dentro de la subcuenca del río Villeta, la cual hace parte de la cuenca hidrográfica del río Tobia, que pertenece a la cuenca del río negro, quien es tributario del río Magdalena (Ilustración 7)

2.3.1 Morfometría de la cuenca

Para el cálculo de los parámetros morfométricos de la microcuenca se utilizó el software para Sistemas de Información Geográfica ArcGIS a través del cual se realizaron los cálculos para la obtención de algunas de las características de esta, tales como:

2.3.1.1 Perfil topográfico

El perfil topográfico es utilizado para realizar una subdivisión de una microcuenca. En este estudio se empleó debido a que este solo se desarrolló en la parte baja de la microcuenca. Se realizó una gráfica en la cual se tomaron los valores de las alturas en el eje Y, y en el eje X las abscisas cuando cambia la elevación del terreno; estos ejes se tomaron con el fin de graficar el perfil topográfico del lugar de manera real. A continuación por medio del siguiente gráfico se muestra el perfil topográfico de la microcuenca quebrada Cune:

Ilustración 6. Perfil topográfico microcuenca Cune

Fuente: Autores,2015.

Empleado ArcGIS se determinaron los valores del área y del perímetro de la microcuenca. El área total es de 2969 Ha representado el 20,43% del área municipal, cuya parte baja ocupa un área total de 615 Ha representado a su vez el 20.72% del territorio de la microcuenca. El perímetro de la parte baja de la microcuenca es de 17.5 km.

2.3.1.2 Forma de la cuenca

Teniendo la información del área y perímetro de la microcuenca, se procedió a realizar el cálculo del índice de Gravelius con el fin de conocer la forma de la cuenca, la cual es importante porque se relaciona con el tiempo de concentración, el cual es el tiempo necesario, desde el inicio de la precipitación, para que toda la cuenca contribuya al cauce principal en estudio.

Ecuación 7. Índice de Gravelius

$$G = \frac{P}{2 * \sqrt[2]{\pi * A}} \longrightarrow G = \frac{17.5 \text{ km}}{2 * \sqrt[2]{\pi * 6.15 \text{ Km}^2}} = 1.9$$

Aplicando la ecuación tenemos que la parte baja de la microcuenca es alargada.

Tabla 5. Rango del índice de Gravelius

GRAVELIUS	FORMA
1.00 - 1.25	Redonda
1.25 - 1.50	Ovalada
1.50 - 1.75	Alargada (oblonga)

Fuente:(Gaspari, y otros, 2012)

2.3.1.3 Tipo de Clima:

Es importante determinar el tipo de clima que se encuentra en el área de estudio, por lo tanto se empleó la clasificación propuesta por Caldas– Lang, debido a que esta es la más comúnmente aplicada en Colombia para la determinación climática.

La clasificación propuesta por Francisco José de Caldas considera la variación de la temperatura con la altura (tabla 5).

Tabla 6. Clasificación José de Caldas

PISO TÉRMICO	SÍMBOLO	RANGO DE ALTURA (m)	TEMPERATURA (°C)	VARIACIÓN DE LA ALTURA POR CONDICIONES LOCALES
Cálido	C	0 – 1000	$T \geq 24$	Límite superior ± 400
Templado	T	1001-2000	$24 > T \geq 17.5$	Límite superior ± 500 Límite inferior ± 500
Frío	F	2001-3000	$17.5 > T \geq 12$	Límite superior ± 400 Límite inferior ± 400
Páramo bajo	Pb	3001-3700	$12 > T \geq 7$	
Páramo alto	Pa	3701-4200	$T < 7$	

Fuente: (UNAL Palmira, 2012)

La clasificación propuesta por Richard Lang considera la precipitación anual y la temperatura media anual (Tabla 6).

Tabla 7. Clasificación Richard Lang

FACTOR LANG PRECIPITACIÓN/TEMPERATURA	CLASE DE CLIMA	SÍMBOLO
0-20	Desértico	D

20.1-40	Árido	A
40.1-60	Semiárido	sa
60.1-100	Semihúmedo	sh
100.1-160	Húmedo	H
>160	Superhúmedo	SH

Fuente: (Valencia , 2005)

Teniendo en cuenta ambas clasificaciones, se determinó un piso térmico cálido y templado, debido a que la altura de la parte baja de la microcuenca se encuentra en un rango de 800 a 1100 m.s.n.m. al dividir la precipitación y la temperatura anteriormente mencionadas. También se determinó que el clima encontrado es calido-semihumedo y templado–semihumedo.

Tabla 8. Clima clasificación Caldas-Lang Microcuenca Cune

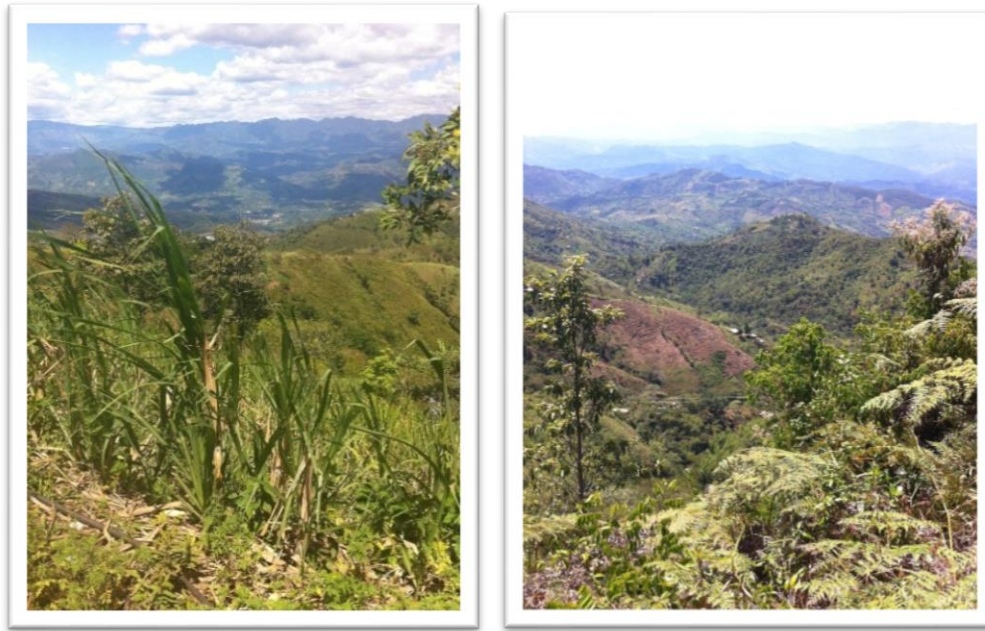
TIPO CLIMÁTICO	SÍMBOLO
Cálido- Semihúmedo	Csh
Templado-Semihúmedo	Tsh

Fuente: Autores, 2015.

Se realizó un acercamiento al área de estudio con el fin de conocer las prácticas de manejo implementadas por la población de la microcuenca, conocer el uso y la cobertura

existentes en la zona y tener un acercamiento directo con la microcuenca. Dicho acercamiento se realizó a través de la elaboración de encuestas aplicadas a la población estudiada.

Ilustración 7. Microcuenca Quebrada Cune



Fuente: Autores, 2015

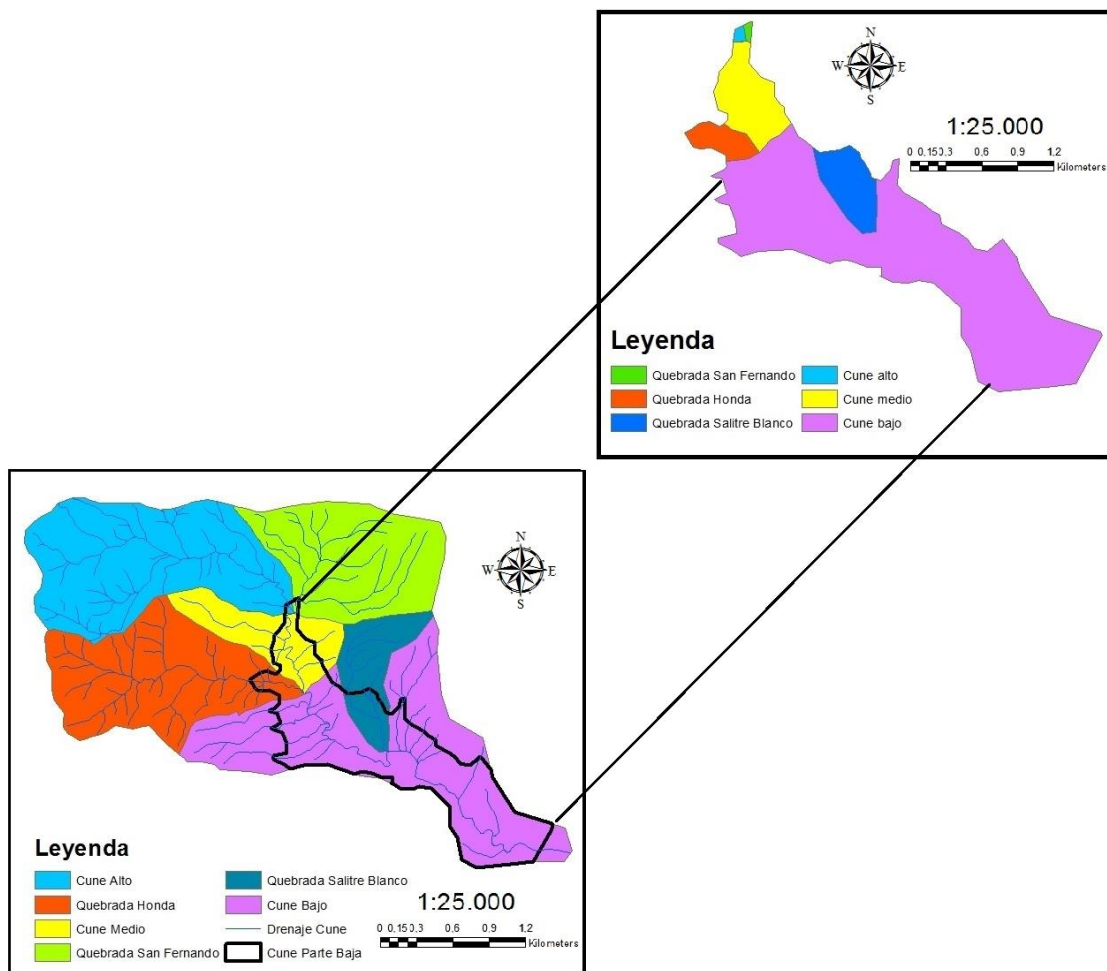
Para realizar dichas encuestas se hizo un mapa de localización y distribución de los puntos a encuestar por unidad de tierra (Anexo 1). Se empleó un cálculo estadístico que garantizó la validez estadística y la racionalidad espacial. Se realizaron en total 60 encuestas en toda la microcuenca en conjunto con otros tesis de la misma zona de estudio.

2.3.2. Generalidades de la zona de estudio

El área de estudio está conformada desde el punto de vista político administrativo por las veredas Cune, parte sur, vereda San Isidro, parte sur, vereda Quebrada Honda, parte

sur, vereda Salitre Blanco, vereda salitre blanco bajo y vereda la Masata (PBOT Villeta, 2000). A nivel hidrológico, la parte baja de la microcuenca está comprendida por 6 Subcuencas: Cune alto, Quebrada Honda, Quebrada San Fernando, Cune Medio, Quebrada Salitre Blanco y Cune Bajo (Ilustración 8).

Ilustración 8. Subcuencas quebrada Cune



Fuente: Autores, 2015

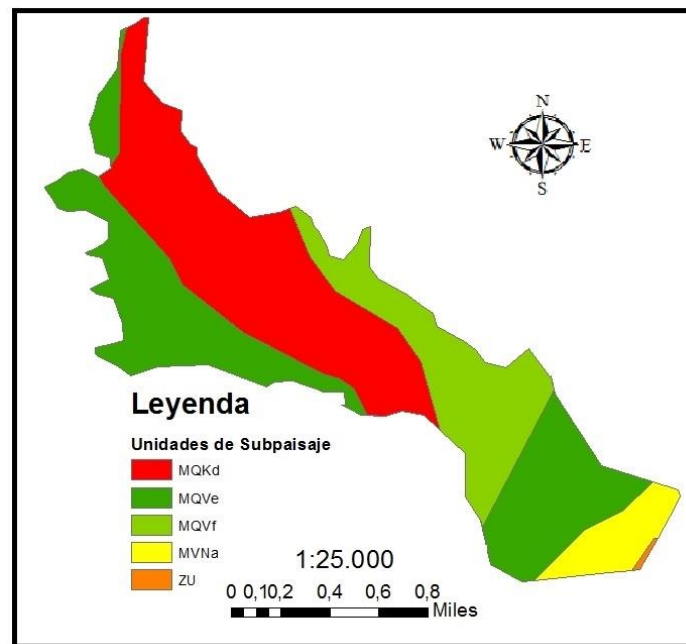
Para simular la pérdida de suelo en la parte baja de la microcuenca Quebrada Cune, se realizó una subdivisión de la zona de estudio a partir de Unidades de Paisaje, ya que

estas representan espacios geográficos en un territorio o cuenca hidrográfica con características similares desde el punto de vista biofísico (geomorfología, cobertura vegetal, red de drenaje, etc.) y socioeconómico (Galvis, 2008); sin embargo, es necesario identificar la categoría a la que pertenece el área de estudio ya que una Unidad de Paisaje comprende diferentes características fisiográficas, para esto se utiliza la metodología de Clasificación fisiográfica del terreno propuesta por Hugo Villota en 1997, quien describe de forma piramidal la fisiografía del terreno en donde corresponde a nuestro estudio las unidades de Sub-paisaje o Unidad de Terreno.

El nivel de detalle de la zona de estudio se realizó a una escala: 1:25.000, es decir, que es detallado según el Diagrama de Bartkowski (Colin & Muñoz, 2006) y por lo tanto hace apropiada la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE-Universal Soil Loss Equation) debido a que este modelo requiere para su aplicación condiciones similares desde el punto de vista climático, cobertura vegetal, uso de la tierra, pendiente, etc. Esto se debe a que originalmente fue propuesto y aplicado a nivel de parcelas homogéneas, pero en este estudio se aplicó en unidades de tierra, entendiéndose este término como la unión las unidades de terreno o sub-paisaje con el de uso y cobertura de la misma superficie.

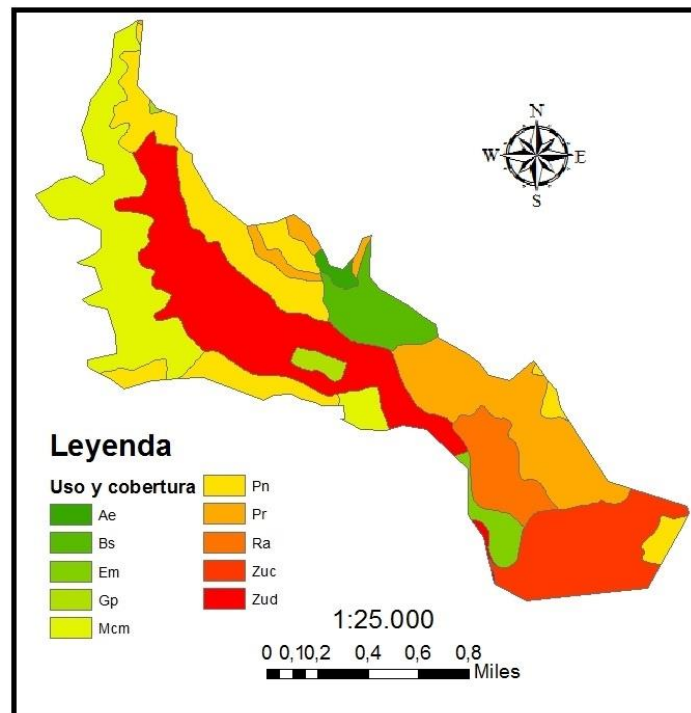
Para determinar las unidades de tierra, se realizó una superposición del shapefile de unidades de sub-paisaje o unidad de terreno (Ilustración 9) con el de Uso y Cobertura del suelo (Ilustración 10) otorgados por la Alcaldía de Villeta – (Plan Básico de Ordenamiento Territorial del municipio de Villeta (Cundinamarca).

Ilustración 9. Unidades de Subpaisaje parte baja, microcuenca quebrada Cune



Fuente: Autores, 2015

Ilustración 10. Unidades de Uso y cobertura parte baja, Microcuenca quebrada Cune



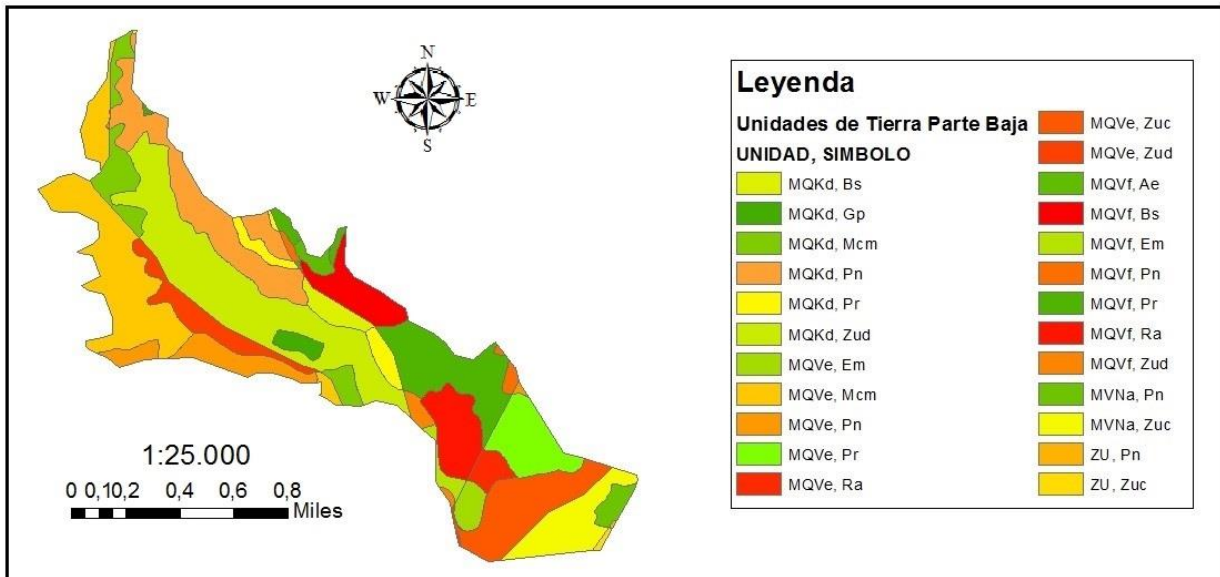
Fuente: Autores, 2015

En el mapa de Unidades de Subpaisaje parte baja (Ilustración 9) se identificaron las siguientes unidades de sub-paisaje o unidades de terreno: MQVe, MQKd, MQVf y MVNa y ZU, obteniendo un total de 5 unidades en todo el territorio de la parte baja de la microcuenca. Se caracterizaron a través de la información recolectada del Plan Básico de ordenamiento territorial de Villeta (Cundinamarca), del Instituto geográfico Agustín Codazzi, y de la Corporación autónoma regional de Cundinamarca, obteniendo así la información necesaria para realizar el estudio correspondiente al factor de erodabilidad del suelo (K).

Los usos actuales y coberturas del suelo (Ilustración 10) son: Bosque secundario (Bs), Explotación minera (Em), Galpones (Gp), Mosaico de pastos y cultivos de clima medio. (Mcm), Pastos naturales (Pn), Pastos naturales y rastrojos (Pr), Rastrojos altos (Ra), Tierras desnudas (Ae), Zonas urbanas continuas (Zuc) y Zonas urbanas discontinuas (Zud). Obteniendo un total de 10 unidades usos y coberturas en todo el territorio de la parte Baja de la microcuenca.

Las unidades de tierra obtenidas son 24, están distribuidas en 32 polígonos como se observa en el siguiente mapa (Ilustración 11).

Ilustración 11. Unidades de tierra parte baja de la microcuenca Quebrada Cune



Fuente: Autores, 2015

A continuación se muestra una caracterización que se realizó de las unidades de subpaisaje ubicadas en la parte baja de la microcuenca quebrada Cune (Tabla 8).

Tabla 9. Caracterización unidades de Subpaisaje

Unidad Subpaisaje	Pendiente		Tipo de suelo	Paisaje	Origen
MQVe	25 a 75%	Topografía fuertemente quebrada – topografía escarpada	Typic Udorthents 50%, Lithic Hapludolls 20%, Humic Eutrudepts 20%, Andic Dystrudepts 5%, Humic Dystrudepts 5 %	Crestones, espinazos, lomas y filas-vigas	Rocas clasticas limoarcillosas y químicas carbonatadas

MQKd	7 a 25 %	Topografía ondulada, inclinada – topografía fuertemente ondulada e inclinada	Humic Eutrudepts 50 %, Typic Eutrudepts 35%, Typic Udipsamments 15%.	Cuestas, glacis coluviales y lomas.	Depositos clasticos hidrogravigenico
MQVf	25 a 75%	Topografía fuertemente quebrada – topografía escarpada	typic Udorthents 50%, Lithic Hapludolls 20%, Humic Eutrudepts 20%, Andic Dystrudepts 5%, Humic Dystrudepts 5%.	Crestones, espinazos, lomas y filas-vigas	Rocas clasticas limoarcillosas y químicas carbonatadas
MVNa	1 a 7%	Topografía plana, plano cóncava y ligeramente plana – topografía ligeramente inclinada y ondulada	Typic Udifluvents 60%, Typic Udorthents 40%.	Terrazas, planos de inundación y vallecitos	Depósitos clasticos hidrogravigenicos

Fuente: (CAR, 2009) y modificado por autores, 2015.

Las tres primeras unidades de subpaisaje, se encuentran ubicadas en climas ambientales medios y húmedos, están en un rango de altura de 1.000 a 2.000 m, su temperatura oscila entre los 18°C y 24°C y sus precipitaciones promedio anuales son de 1.000 a 2.000 mm. La última unidad de subpaisaje (MVNa) se encuentra en clima cálido y

húmedo, alturas menores a los 1.000 m, sus temperaturas son mayores 24°C y se encuentra en precipitaciones promedio anuales entre 2.000 y 4.000 mm (CAR, 2009).

Después de realizar la caracterización de las unidades de paisaje se realizó una breve explicación de los tipos de suelos que conforman las unidades de subpaisaje (Tabla 9)

Tabla 10. Descripción tipo de suelo

Tipo de suelo	Descripción
Humic Eutrudepts	<p>Suelos bien drenados, tienen una textura moderadamente fina y son moderadamente profundos. Tienen alta saturación de bases, niveles medios a altos de Calcio, magnesio y potasio. Suelos con alta fertilidad.</p> <p>Limitante para uso del suelo: pedregosidad superficial y retención de humedad del suelo.</p>
Typic Eutrudepts	<p>Suelos profundos, moderadamente bien drenados y de texturas medias a moderadamente gruesas. Se han originado a partir de depósitos clásticos hidrogravigenicos, tienen alta saturación de bases y alta capacidad de intercambio catiónico, altos contenidos de calcio, magnesio y medios a bajos de potasio. Suelos con alta fertilidad.</p>
Typic Udipsammments	<p>Suelos profundos, bien a excesivamente drenados, tienen una textura moderadamente gruesa a gruesa. Presentan alta saturación de bases, baja capacidad de intercambio catiónico y su fertilidad es moderada a baja.</p>
Typic Udorthents	<p>Suelos desarrollados a partir de rocas clasticas limoarcillosas, son excesivamente drenados, muy superficiales, y tienen textura moderadamente fina a moderadamente gruesa. Presentan niveles</p>

	<p>bajos de fosforo y medios a altos de calcio, magnesio y potasio. Suelos con fertilidad moderada.</p> <p>Limitantes de uso: pendientes fuertes y la susceptibilidad a la degradación (fenómenos erosivos y de remoción en masa)</p>
Lithic Hapludolls	<p>Suelos bien drenados, originados a partir de rocas clásticas limoarcillosas calcáreas, tienen texturas finas y superficiales por causa del contacto lítico. Alta capacidad de intercambio catiónico y saturación de bases, niveles medios a altos de calcio y magnesio y bajos de fosforo y potasio. Suelos con fertilidad moderada.</p>
Andic Dystrudepts	<p>Suelos profundos, bien drenados, texturas medias. Contenido de nutrientes de calcio, magnesio, potasio y fosforo medios a bajos. Media a alta capacidad de intercambio catiónico y media a baja saturación de bases.</p>
Humic Dystrudepts	<p>Suelos profundos, bien drenados, texturas finas a medias, media a alta capacidad de intercambio catiónico, bajos contenidos de calcio, magnesio, fosforo y potasio. Suelos con baja fertilidad.</p>
Typic Udfluvents	<p>Suelos profundos y bien drenados, texturas medias a moderadamente finas. Contenidos altos de calcio y medios a bajos de magnesio, potasio y fosforo. Mediana capacidad de intercambio catiónico. Suelos con fertilidad moderada.</p>

Fuente: (CAR, 2009) Y Autores, 2015

Posterior a esto se muestra una caracterización edafológica de las unidades de Subpaisaje que se realizó en base a la información de la CAR y del POMCA del río negro:

Tabla 11. Caracterización edafológica unidades de subpaisaje

Unidad de subpaisaje	Textura	Profundidad	Drenaje natural	% Materia orgánica	Permeabilidad	Estructura
MQVe	Arcilloso	Profundos a superficiales	Bien drenados	2	Moderadamente lenta	Granular media a granular gruesa
MQKd	Franco arcillo arenoso	Profundos a moderadamente profundos	Bien a excesivamente drenados	1	Lenta	Granular fino
MQVf	Arcilloso	Profundos a superficiales	Bien drenados	2	Moderadamente lenta	Granular media a granular gruesa
MVNa	Franco	Profundos a superficiales	Bien drenados	1	Moderada	Granular fino

Fuente: (CAR, 2009)

- **Identificación de escenarios hidroclimatológicos:**

Los escenarios hidroclimatológicos utilizados para identificar la variabilidad de la tasa de pérdida de suelo en la parte alta y media de la microcuenca Quebrada Cune corresponden a tres análisis temporales: año húmedo se caracteriza por ser el año en el que se registraron los mayores valores de precipitación total anual; año medio es donde no predominan ni los periodos húmedos ni secos, y por ultimo año seco caracterizado por ser año en el cual se registraron los menores valores de precipitación total anual. Para definir

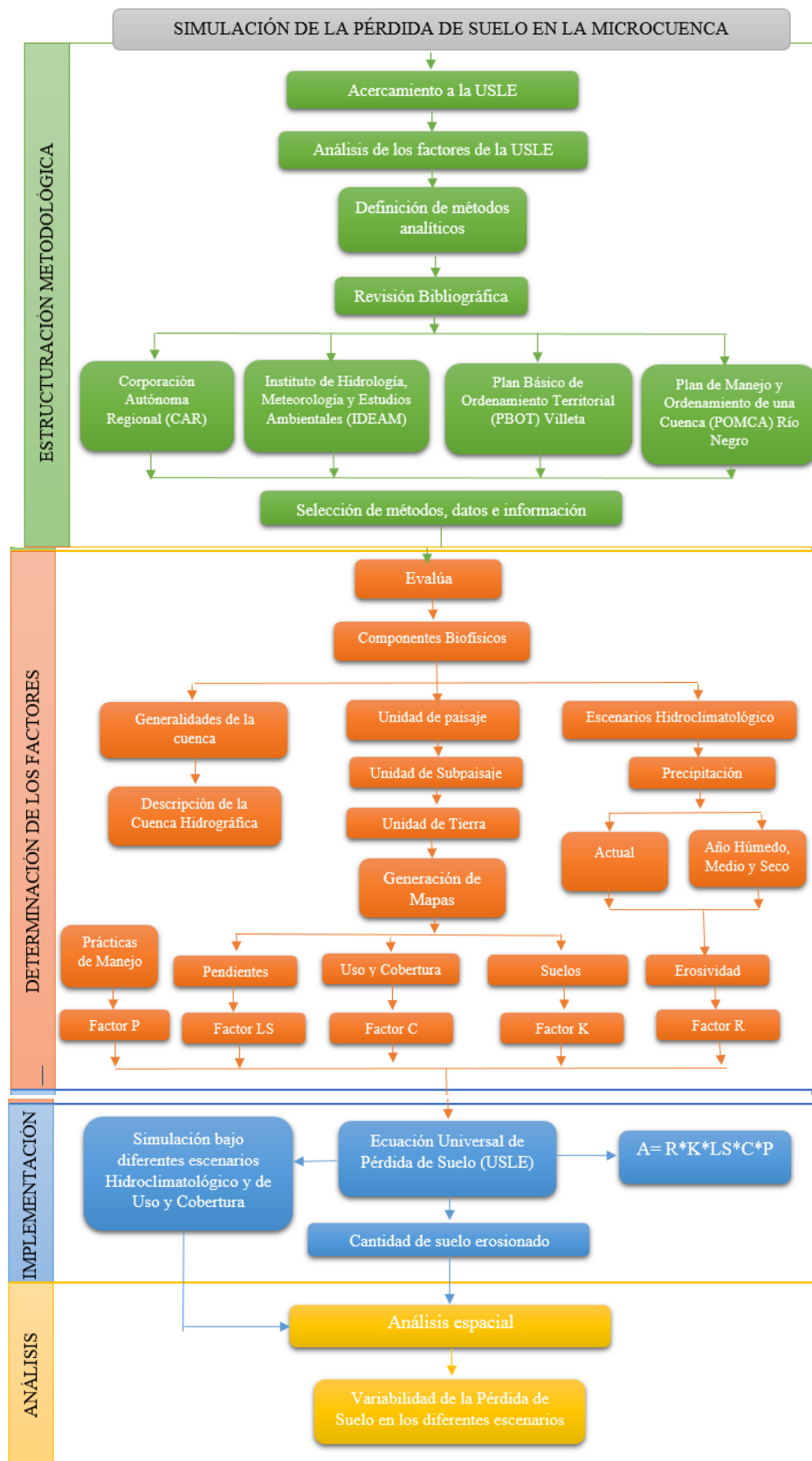
estos tres análisis temporales se tuvo en cuenta el conjunto de años de registro de cada estación (Galvis, 2008). Se identifican los valores y el año tomados para cada escenario (Anexo 2).

3. Metodología

A continuación por medio de un mapa conceptual se muestra la metodología empleada en el desarrollo del proyecto. Esta cuenta con cuatro fases principales que son:

- Estructuración metodológica
- Determinación de los factores
- Implementación
- Análisis

En cada fase se muestra cual fue la metodología que se empleó para llevar a cabo el proyecto.



El cálculo de la pérdida de Suelo se realizó empleando el modelo USLE previamente explicado. Para la aplicación de este modelo se adaptaron algunas ecuaciones y métodos, debido a que no se encontró toda la información que se requería para aplicarlo como se planteó originalmente.

3.1 Estructuración Metodológica

Inicialmente se hizo un acercamiento a la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), en la cual se obtuvieron los conocimientos básicos de esta, principalmente se revisó a Wischmeier y Smith 1978, respondiendo a las preguntas ¿Para qué sirve? ¿Cómo se realiza? ¿Porque se realiza? Después de tener los conocimientos básicos de la ecuación, se indago sobre los factores y los posibles métodos que se podían usar para la implementación de estos.

Para eso se realizó una revisión bibliográfica en diferentes fuentes como lo son la Corporación Autónoma Regional (CAR), el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Plan Básico de Ordenamiento territorial (PBOT) de Villeta y Plan de Manejo y Ordenamiento de una Cuenca (POMCA) del rio Negro, con el fin de seleccionar y clasificar la información, para determinar si se podía implementar la ecuación como se planteó originalmente o si era necesario implementar las modificaciones que se le han realizado a la ecuación debido a la falta de información.

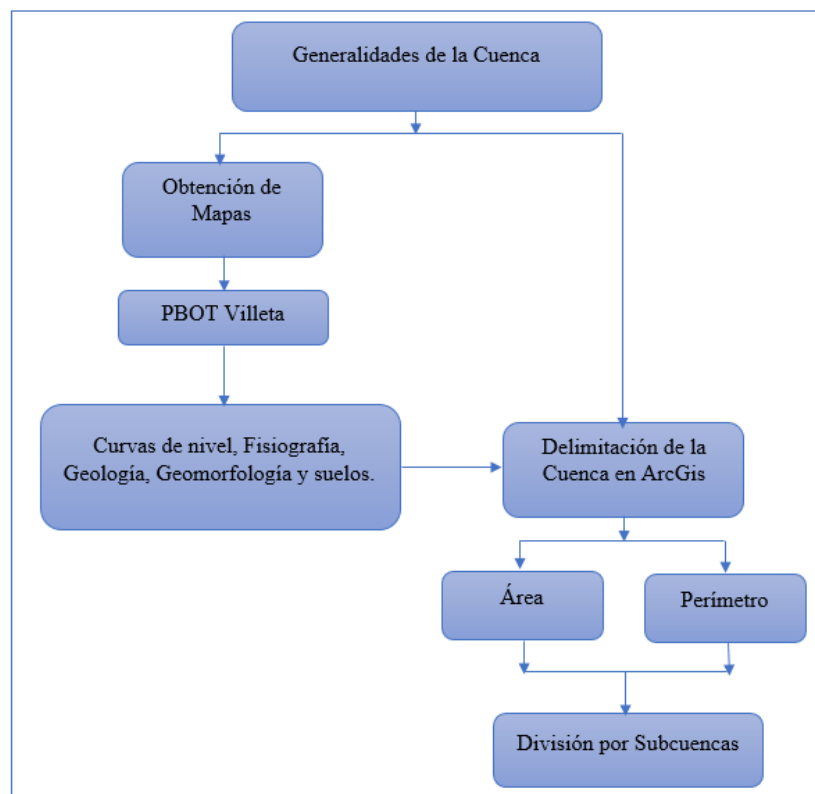
3.2 Determinación de los Factores

Después de seleccionar los métodos, datos e información necesarios se evaluaron los componentes Biofísicos (geomorfología, cobertura vegetal, red de drenaje, etc.), como se muestra a continuación:

3.2.1 Generalidades de la Cuenca

Se realizó una revisión de la información y se obtuvieron los mapas necesarios, se procedió a delimitar la cuenca en ArcGIS y luego se midieron los parámetros como área y perímetro de a Microcuenca Quebrada Cune, finalmente se realizó la división por Subcuencas de la microcuenca (Ilustración 12).

Ilustración 12. Generalidades de la cuenca

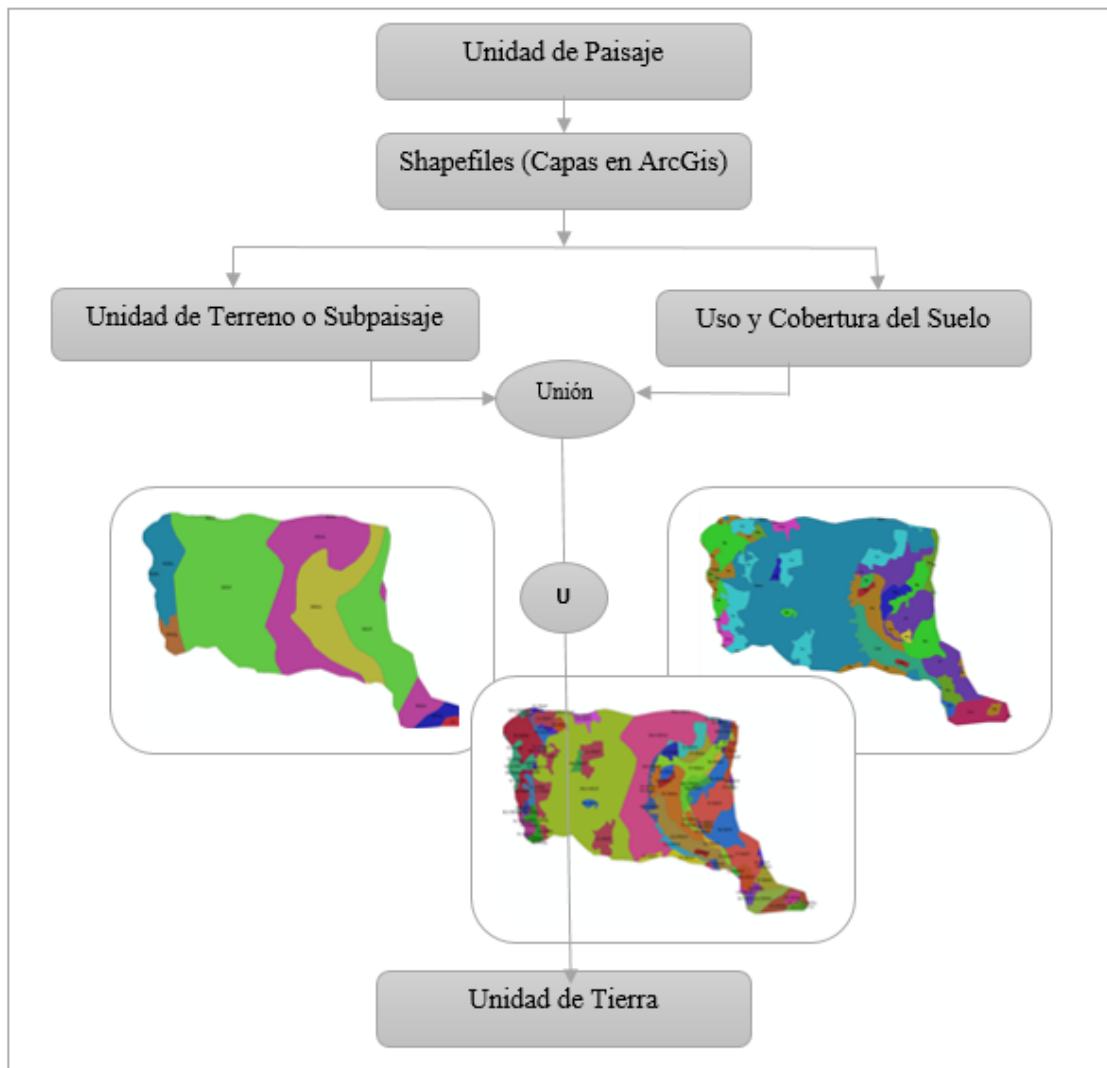


Fuente: Autores, 2015

3.2.2 Unidad de Paisaje

Como se mencionó antes, las características de una unidad de Paisaje son bastante grandes para ser aplicadas en el área de estudio, por lo tanto se realizó en unidades de tierra. A continuación se muestra la metodología usada para la obtención de las Unidades de Tierra por medio del programa ArcGIS (Ilustración 13).

Ilustración 13. Metodología unidades de tierra

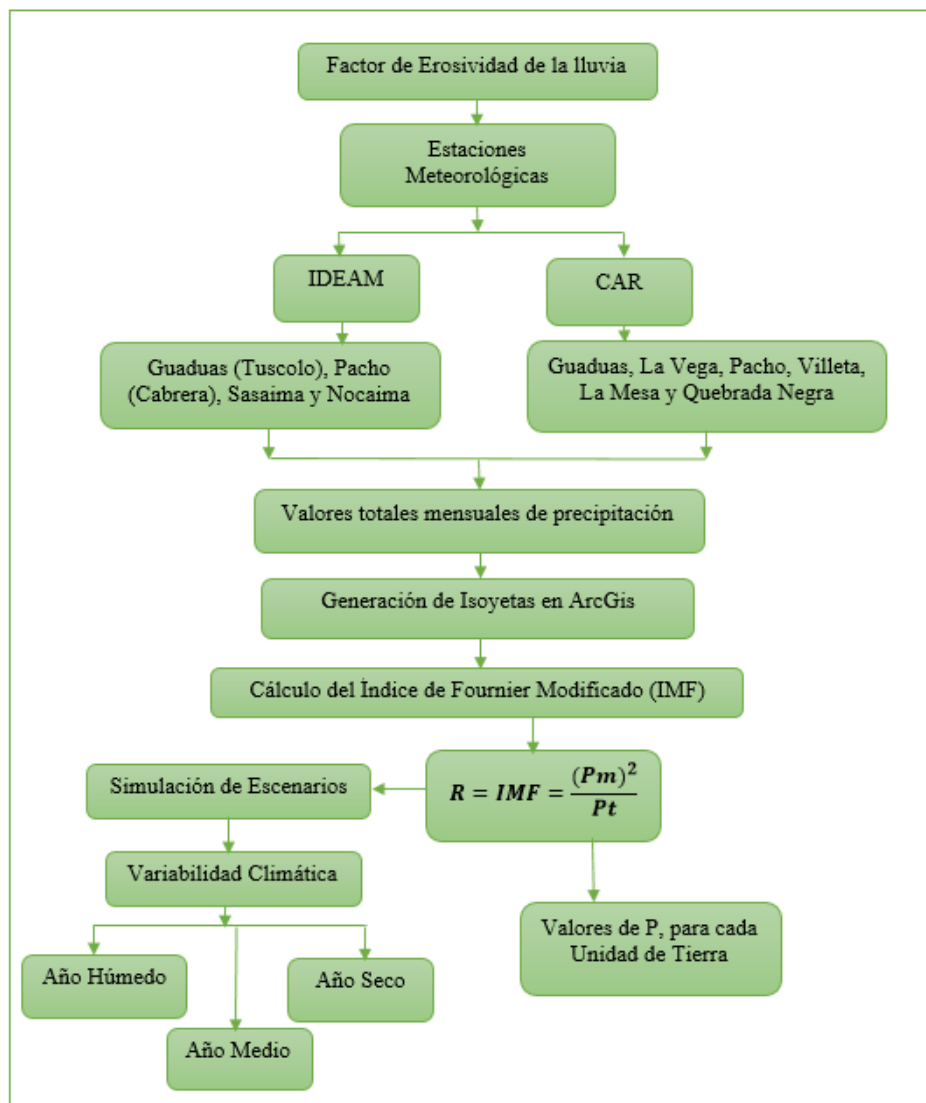


Fuente: Autores, 2015

3.2.3 Factor R

En el planteamiento original del factor de Erosividad, la lluvia (Factor R) se calcula por medio de la energía cinética de esta con intensidad de 30 minutos. Esta información no se tiene para el presente estudio, por lo cual se realizó el cálculo por medio del Índice de Fournier Modificado (IMF). A continuación se describe el proceso para la obtención del factor R (Ilustración 14).

Ilustración 14. Metodología Factor erosividad de la lluvia

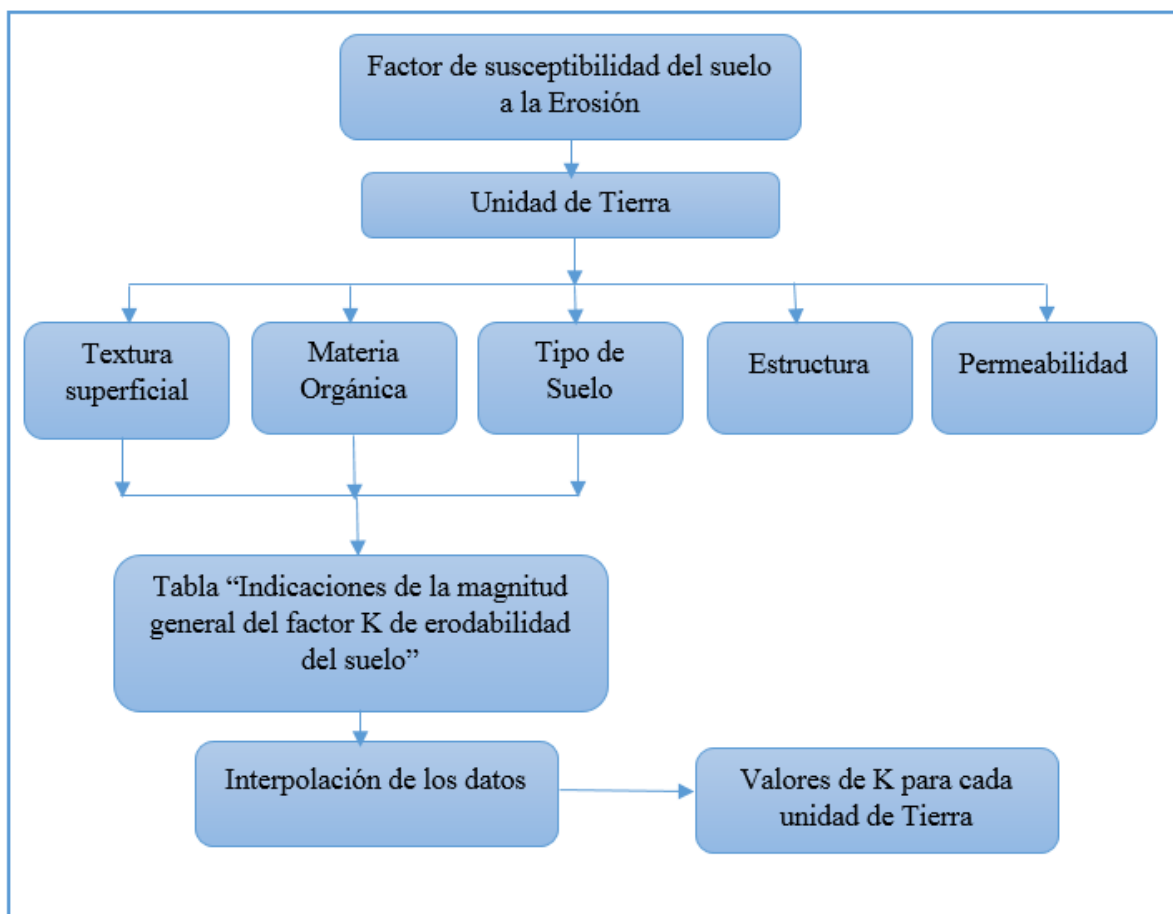


Fuente: Autores, 2015

3.2.4 Factor K

Es el Factor de susceptibilidad del suelo a la erosión, involucra principalmente las propiedades de este. Estas propiedades del suelo afectan la tasa de infiltración y otros factores como lo son la permeabilidad, textura superficial, contenido de Materia Orgánica, tipo y estructura del suelo (Kirkby & Morgan, 1980). Existen varios métodos para determinar este factor. Uno de ellos es por medio del uso del nomograma propuesto por Wischmeier y Smith originalmente, pero por falta de información en este estudio se utilizó la tabla de estimación general del valor de K propuesta por Kirby & Morgan en 1980.

Ilustración 15. Metodología factor se susceptibilidad del suelo

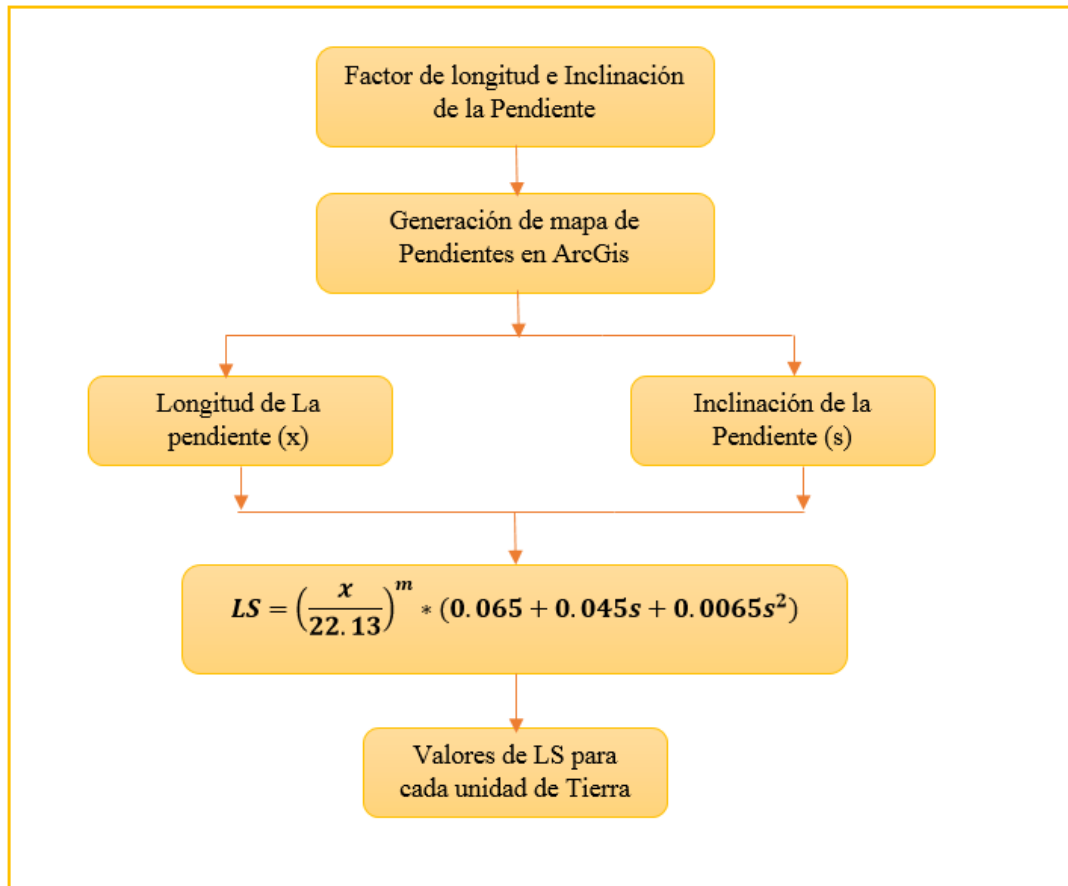


Fuente: Autores, 2015

3.2.5 Factor LS

A continuación se describe el proceso para la determinación del factor de Longitud e Inclinación de la Pendiente (Ilustración 16).

Ilustración 16. Metodología factor topográfico



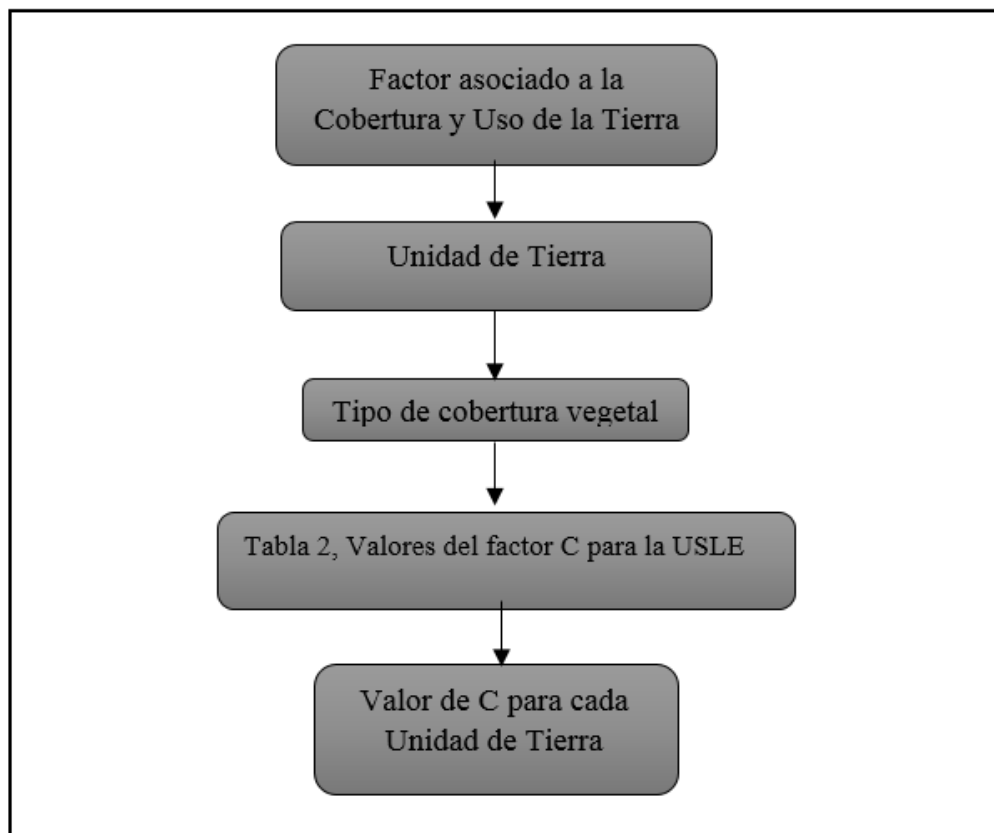
Fuente: Autores, 2015

3.2.6 Factor C

El factor asociado a la Cobertura y Uso de la Tierra se determinó por medio de tablas. Con la información que se tenía del tipo de uso y cobertura actual de la zona se buscó el valor correspondiente a ese tipo de cobertura, en un rango de 0.001 a 1. Se

emplearon las tablas propuestas por Wischmeier y Smith y por Kirkby & Morgan. A continuación se describe el proceso (Ilustración 17).

Ilustración 17. Metodología Uso y cobertura



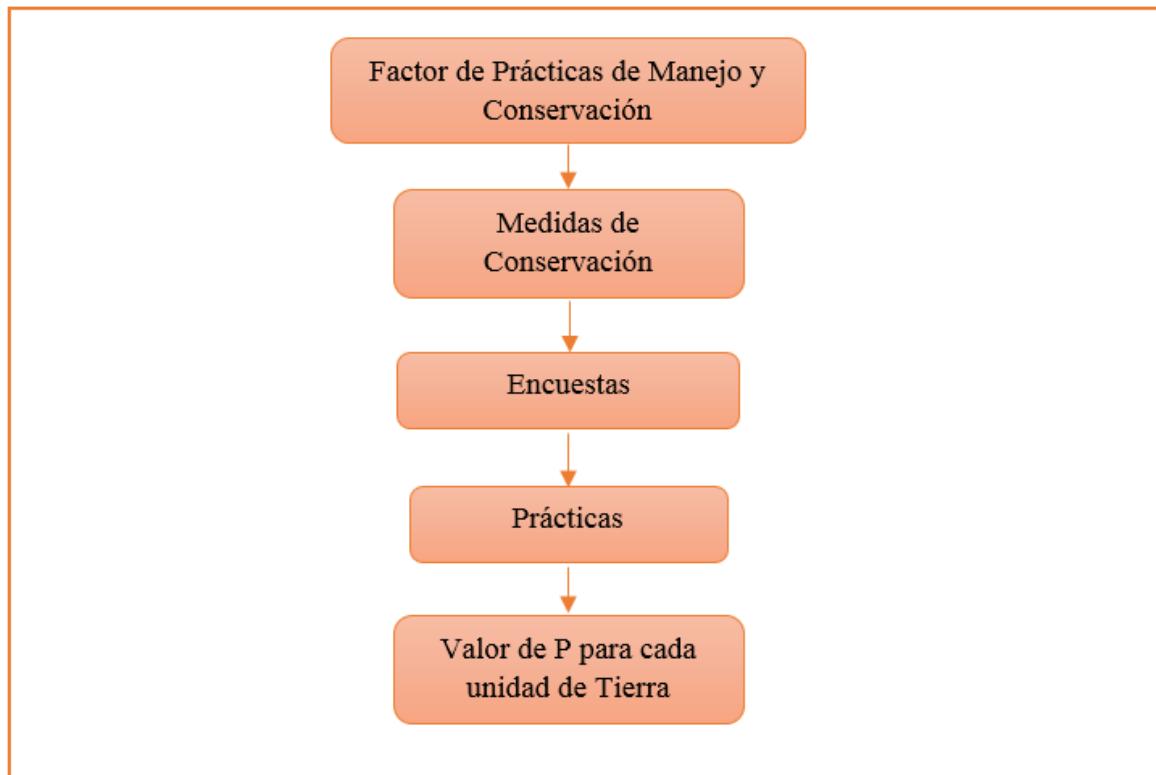
Fuente: Autores, 2015

3.2.7 Factor P

Para la determinación del factor de Prácticas de Manejo y Conservación, se realizaron unas encuestas a los habitantes de la zona sobre la implementación de prácticas de manejo y conservación por parte de ellos, pero la mayoría de encuestados no realiza ninguna práctica de control de la erosión en la microcuenca, por lo tanto se asigna un valor

del factor P igual a 1 (Kirkby & Morgan, 1980). A continuación se describe proceso (Ilustración 18).

Ilustración 18. Metodología práctica de manejo y conservación



Fuente: Autores, 2015

3.3 Implementación

Con los resultados obtenidos para cada unidad de tierra, de cada uno de los factores que componen la ecuación: Factor R (Erosividad de la lluvia), Factor K (Susceptibilidad del suelo a la erosión), Factor LS (Longitud e inclinación de la pendiente) Factor C (Cobertura y Uso de la tierra) y el Factor P (Prácticas de apoyo), se aplicó la ecuación universal de

pérdida de suelo, se multiplico cada factor, y se obtuvo la tasa de pérdida de suelo en la parte baja de la microcuenca Quebrada Cune.

Uno de los objetivos propuestos para el estudio, fue simular la ecuación bajo diferentes escenarios Hidroclimatológicos y de uso y cobertura, para lo cual se realizó el mismo procedimiento anterior, con la diferencia de que los datos para los escenarios se variaron. Para el primer factor (R), se evaluó en los periodos de año húmedo, medio y seco, sin alterar los valores de los otros factores; Y para la variabilidad de Uso y Cobertura se asignaron otras condiciones de tipo de vegetación, las cuales no se presentan en el área de estudio, sin alterar los valores de los otros factores. También se hizo una simulación en un escenario que empleara prácticas de manejo para poder evaluar la relevancia de dicho factor.

3.4 Análisis

La última fase consistió en realizar el análisis de los valores obtenidos en la ecuación bajo los diferentes escenarios que se mencionaron previamente, para poder determinar así, cuál de estos genera una mayor pérdida de suelo.

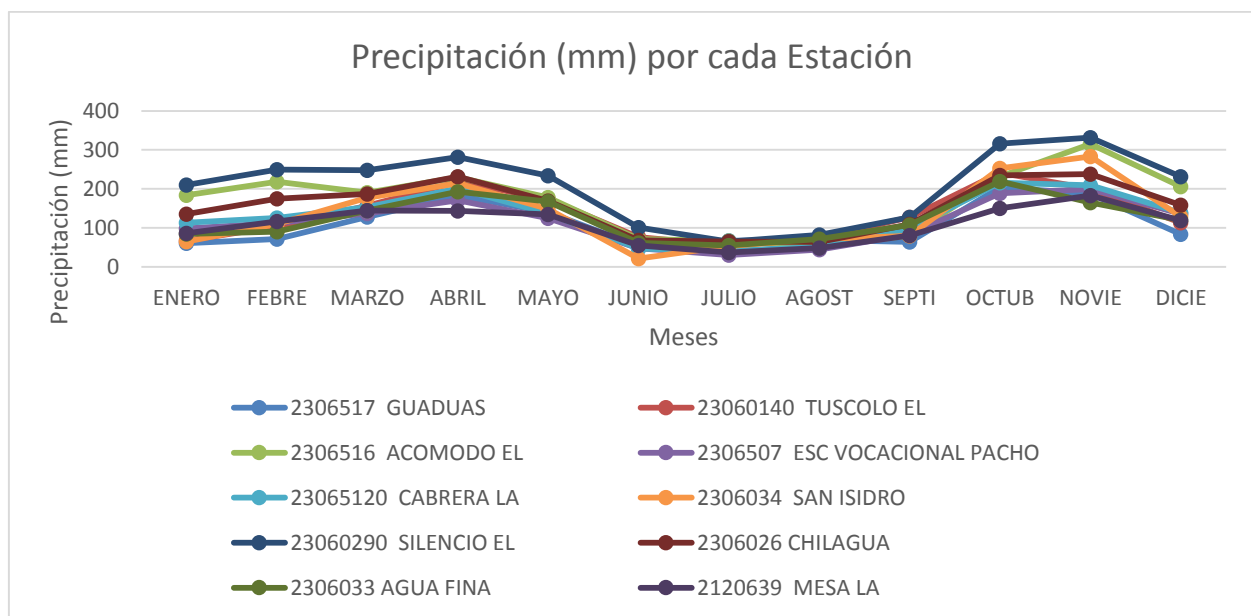
4. Resultados

4.1 Factor R

Las estaciones climatológicas se seleccionaron según dos criterios, el primero fue según la cercanía a la cuenca y el segundo fue según las alturas donde están ubicadas las estaciones, entre los 2000 y 800 m.s.n.m (Ver anexo 3 a 11). El régimen de precipitaciones

en la microcuenca es bimodal (Gráfica 1). Después de tener la información de las estaciones (Anexo 12) se ingresaron los datos en el programa ArcGis, generando así los mapas de Isoyetas de cada mes y un mapa total (Anexo 14), para obtener los valores medios de las Isoyetas. El mapa genero treinta y tres polígonos, los cuales representan las veinticuatro unidades de tierra de la parte baja de la microcuenca (Anexo 13).

Gráfica 1. Precipitación mensual (mm) por cada Estación



Fuente: Autores, 2015

Los datos se agruparon por unidades de Tierra, a las cuales se les aplico la ecuación para el cálculo del Índice de Fournier Modificado, a continuación se muestra por medio de un ejemplo dicho cálculo:

Tabla 12. Ejemplo de aplicación índice modificado de Fournier

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
80.4	131.6	192.0	226.8	157.0	26.4	54.3	73.0	84.0	267.0	303.7	143.6	1740.0

Fuente: Autores, 2015

$$R = IMF = \frac{(80.4)^2}{1740}$$

$$R = 3.7$$

- **Condiciones actuales**

Los resultados de las condiciones actuales obtenidos del factor de Erosividad de la lluvia por unidad de tierra se muestran a continuación por medio de la siguiente tabla:

Tabla 13. Resultados factor R

No.	Unidad de Tierra	R
1	MQVf - ae	194.31
2	MQVe - em	206.42
3	MQVf - em	204.60
4	MQKd - gp	191.34
5	MQVe - zuc	207.19
6	MVNa - zuc	208.46

7	ZU - zuc	209.63
8	MQKd - mcm	189.26
9	MQVe - mcm	190.58
10	MQKd - pr	196.09
11	MQVf - pr	196.80
12	MQVe - pr	204.53
13	MQKd - bs	196.62
14	MQVf - bs	196.18
15	MQKd - pn	191.10
16	MQVe - pn	194.59
17	MQVf - pn	196.48
18	MVNa - pn	208.28
19	ZU - pn	209.11
20	MQKd - pr	181.19
21	MQVe - ra	205.23
22	MQVf - ra	203.14

23	MQKd - zud	194.04
24	MQVe - zud	198.75
PROMEDIO		198.91

Fuente: Autores, 2015.

- **Condiciones prevalentes**

Los resultados de las condiciones prevalentes obtenidos del factor de Erosividad de la lluvia mensual por unidad de tierra se muestran a continuación por medio de la siguiente tabla:

Tabla 3. Resultados factor R mensual

<i>Unidad De Tierra</i>	<i>Enero</i>	<i>Feb.</i>	<i>Marzo</i>	<i>Abril</i>	<i>Mayo</i>	<i>Junio</i>	<i>Julio</i>	<i>Agosto</i>	<i>Sept.</i>	<i>Oct.</i>	<i>Nov.</i>	<i>Diciembre</i>
<i>MQVf - ae</i>	3.76	10.05	21.26	29.62	14.19	0.40	1.69	3.06	4.04	41.05	53.30	11.90
<i>MQVe - em</i>	5.77	13.01	22.64	30.51	15.49	0.79	1.66	3.01	4.36	41.78	53.68	13.71
<i>MQVf - em</i>	5.41	12.52	22.45	30.38	15.25	0.71	1.67	3.02	4.30	41.70	53.79	13.41
<i>MQKd - gp</i>	3.35	9.28	20.80	29.32	13.95	0.35	1.72	3.09	3.87	40.91	53.28	11.41
<i>MQVe - zuc</i>	6.18	13.48	22.75	30.59	15.77	0.89	1.66	3.00	4.54	41.62	52.69	14.01
<i>MVNa - zuc</i>	6.62	14.01	22.89	30.70	16.06	1.00	1.66	2.99	4.69	41.55	51.99	14.33
<i>ZU - zuc</i>	6.97	14.42	23.01	30.78	16.28	1.09	1.66	2.98	4.78	41.52	51.55	14.58
<i>MQKd - mcm</i>	3.09	8.80	20.50	29.14	13.79	0.31	1.74	3.11	3.78	40.77	53.15	11.09
<i>MQVe - mcm</i>	3.01	8.77	20.58	29.20	13.65	0.28	1.76	3.12	3.59	41.04	54.58	11.01
<i>MQKd - pr</i>	3.98	10.40	21.45	29.74	14.32	0.44	1.69	3.06	4.03	41.21	53.68	12.10
<i>MQVf - pr</i>	4.30	10.82	21.58	29.83	14.55	0.51	1.69	3.04	4.19	41.09	52.84	12.37

<i>MQVe - pr</i>	5.86	13.02	22.50	30.44	15.57	0.83	1.66	3.00	4.57	41.34	52.02	13.71
<i>MQKd - bs</i>	4.03	10.51	21.53	29.79	14.35	0.44	1.69	3.05	4.04	41.25	53.77	12.17
<i>MQVf - bs</i>	4.09	10.57	21.51	29.78	14.41	0.46	1.69	3.05	4.13	41.12	53.18	12.21
<i>MQKd - pn</i>	3.28	9.21	20.80	29.32	13.88	0.33	1.72	3.09	3.88	40.89	53.34	11.37
<i>MQVe - pn</i>	3.94	10.16	21.19	29.59	14.31	0.46	1.72	3.07	3.99	41.03	53.20	11.92
<i>MQVf - pn</i>	4.23	10.72	21.53	29.80	14.50	0.50	1.69	3.04	4.17	41.08	52.91	12.30
<i>MVNa - pn</i>	6.85	14.24	22.89	30.71	16.21	1.07	1.66	2.97	4.83	41.33	51.06	14.46
<i>ZU - pn</i>	6.96	14.39	22.96	30.76	16.28	1.09	1.66	2.98	4.82	41.42	51.24	14.56
<i>MQKd - pr</i>	2.65	7.67	19.54	28.54	13.74	0.30	1.76	3.15	4.01	39.82	49.54	10.48
<i>MQVe - ra</i>	5.73	12.91	22.54	30.45	15.47	0.79	1.66	3.01	4.44	41.58	53.00	13.65
<i>MQVf - ra</i>	5.28	12.32	22.31	30.30	15.18	0.69	1.67	3.02	4.34	41.50	53.23	13.29
<i>MQKd - zud</i>	3.53	9.70	21.13	29.53	14.00	0.36	1.71	3.08	3.83	41.20	54.32	11.65
<i>MQVe - zud</i>	4.27	10.86	21.71	29.90	14.48	0.49	1.70	3.06	3.98	41.48	54.47	12.36
PROM	4.71	11.33	21.75	29.95	14.82	0.61	1.69	3.04	4.22	41.22	52.91	12.67

Fuente: Autores, 2015.

- **Condiciones de variabilidad climática**

Los resultados de las condiciones de variabilidad climática (año húmedo, medio y seco) obtenidos del factor de Erosividad de la lluvia por unidad de tierra se muestran a continuación:

Tabla 14. Resultados factor R - variabilidad climática

Unidades de Tierra	R - Año Húmedo	R - Año Medio	R - Año Seco
MQVf - ae	342.59	312.51	139.77
MQVe - em	333.81	307.07	132.31
MQVf - Em	335.06	302.18	132.82
MQKd - gp	342.53	319.67	141.80
MQVe - zuc	332.75	305.63	131.77
MVNa - zuc	331.67	297.93	131.70
ZU - zuc	330.93	292.96	131.96
MQKd - mcm	341.31	320.00	140.85
MQVe - mcm	341.38	316.64	140.65
MQKd - pr	341.32	307.10	138.70
MQVf - pr	340.17	308.19	137.08

MQVe - pr	333.91	287.94	131.65
MQKd - bs	341.17	313.80	138.07
MQVf - bs	341.07	309.81	137.63
MQKd - pn	343.60	316.00	142.43
MQVe - pn	339.61	314.51	138.21
MQVf - pn	340.53	304.06	137.70
MVNa - pn	331.16	283.42	131.51
ZU - pn	330.94	283.46	131.77
MQKd - pr	341.43	302.49	143.75
MQVe - ra	334.19	294.17	132.17
MQVf - ra	335.76	301.15	132.93
MQKd - zud	341.77	314.12	139.93
MQVe - zud	338.97	317.89	136.69
PROMEDIO	337.82	305.53	136.41

Fuente: Autores, 2015.

Se realizaron los mapas correspondientes a las precipitaciones totales de cada escenario climatológico (Anexo 15, anexo 16 y anexo 17).

4.2 Factor K

El factor de erodabilidad (K) se evaluó a través de las características físicas que se tenían de las unidades de subpaisaje. Conociendo la textura y contenido de materia orgánica de la unidad de tierra, se empleó la tabla de indicaciones de la magnitud general del factor K de erodabilidad del suelo (Tabla 1) para obtener los valores del factor K. La tabla tiene valores para contenido de materia orgánica 0,5%, 2% y 4%, al no tener todos los valores de contenido de materia orgánica que presentan las unidades de tierra, se realizó una interpolación por medio de una regresión lineal, obteniendo así los valores requeridos.

Tabla 15. Resultados factor K

No.	Unidad de tierra	TEXTURA	% M.O.	RANGO K
1	MQVf - ae	Arcilloso	2	0,19
2	MQVe - em	Arcilloso	2	0,19
3	MQVf - em	Arcilloso	2	0,19
4	MQKd - gp	Franco arcillo arenoso	1	0,26
5	MQVe - zuc	Arcilloso	2	0,19
6	MVNa - zuc	Franco	1	0,37

7	ZU - zuc	Zona Urbana	0	-
8	MQKd - mcm	Franco arcillo arenoso	1	0,26
9	MQVe - mcm	Arcilloso	2	0,19
10	MQVf - pr	Arcilloso	2	0,19
11	MQKd - pr	Franco arcillo arenoso	1	0,26
12	MQVe - pr	Arcilloso	2	0,19
13	MQKd - bs	Franco arcillo arenoso	1	0,26
14	MQVf - bs	Arcilloso	2	0,19
15	MQKd - pn	Franco arcillo arenoso	1	0,26
16	MQVf - pn	Arcilloso	2	0,19
17	MQVe - pn	Arcilloso	2	0,19
18	MVNa - pn	Franco	1	0,37
19	ZU - pn	Zona Urbana	0	-

20	MQKd - pr	Franco arcillo arenoso	1	0,26
21	MQVe - ra	Arcilloso	2	0,19
22	MQVf - ra	Arcilloso	2	0,19
23	MQKd - zud	Franco arcillo arenoso	1	0,26
24	MQVe - zud	Arcilloso	2	0,19

Fuente: Autores, 2015.

4.3 Factor LS

Para determinar el factor topográfico de la USLE, se generó un modelo digital de elevación (MED). Este permite identificar los valores de altura con respecto al nivel medio del mar caracterizando las formas del relieve del área de estudio. El MED se realizó con el software ArcGIS (Anexo 18)

Con el MED establecido, se generó el mapa de pendientes para las parte baja (Anexo 19) en el cual se reclasificaron los valores para las pendientes en porcentajes según los rangos establecidos por el IGAC (Tabla 15).

Tabla 16. Rangos de pendientes IGAC

Gradiente %	Descripción
0 – 3	Plano

3 – 7	Ligeramente inclinado
7 – 12	Moderadamente inclinado
12 – 25	Fuertemente inclinado
25 – 50	Ligeramente escarpado
50 – 75	Moderadamente escarpado
>75	Fuertemente escarpado

Fuente: IGAC, 2013.

Los valores de inclinación de la pendiente en porcentaje de cada unidad de tierra para la parte baja de la microcuenca se obtuvieron por medio de la reclasificación que se realizó con los rangos establecidos por el IGAC a través de los mapas de pendientes. Los resultados se muestran a continuación (Tabla 20).

Nota:

Para este caso el mapa de pendientes se trabajó con los valores del número de polígonos (33) que representan las 24 unidades de tierra para la parte baja, por lo tanto los resultados se expresan de la siguiente manera:

Tabla 17. Valores de inclinación de la pendiente en porcentaje

No.	Unidad de Tierra	S (%)
0	MQVf-ae	37,5
1	MQVe-em	18,5

2	MQVf-em	37,5
3	MQKd-gp	1,5
4	MQKd-gp	5
5	MQV-zuc	18,5
6	MVNa-zuc	5
7	ZU-zuc	1,5
8	MQKd-mcm	5
9	MQVe-mcm	9,5
10	MQKd-pr	9,5
11	MQVf-pr	9,5
12	MQKd-pr	5
13	MQVe-pr	37,5
14	MQVf-pr	37,5
15	MQKd-bs	18,5
16	MQVf-bs	18,5
17	MQKd-pn	5
18	MQVe-pn	18,5
19	MQVf-pn	1,5
20	MQKd-pn	9,5
21	MQVf-pn	18,5

22	MQVe-pn	37,5
23	MQVf-pn	18,5
24	MQVe-pn	18,5
25	MVNa-pn	1,5
26	ZU-pn	1,5
27	MQKd-pr	5
28	MQVe-ra	18,5
29	MQVf-ra	37,5
30	MQKd-zud	5
31	MQVe-zud	9,5
32	MQVe-zud	18,5

Fuente: Autores, 2015

Teniendo el mapa de pendientes se determina la longitud de cada unidad de tierra a través del software ArcGis empleando la herramienta de medición. Las longitudes obtenidas fueron (Tabla 17):

Tabla 18. Valores de longitud de la pendiente en metros

No.	Unidad de Tierra	x(m)
0	MQVf-ae	242,395865
1	MQVe-em	234,73859
2	MQVf-em	234,43
3	MQKd-gp	394,6723
4	MQKd-gp	75,159282
5	MQV-zuc	588,537542
6	MVNa-zuc	496,363144
7	ZU-zuc	79,69864
8	MQKd-mcm	213,346643

9	MQVe-mcm	371,3619333
10	MQKd-pr	308,118
11	MQVf-pr	129,000626
12	MQKd-pr	134,926079
13	MQVe-pr	727,99502
14	MQVf-pr	800,195345
15	MQKd-bs	315,00145
16	MQVf-bs	312,78888
17	MQKd-pn	560,94
18	MQVe-pn	18,35317
19	MQVf-pn	15,8448
20	MQKd-pn	527,300624
21	MQVf-pn	72,865866
22	MQVe-pn	80,34076
23	MQVf-pn	151,772091
24	MQVe-pn	310,55235

25	MVNa-pn	194,2515
26	ZU-pn	24,758167
27	MQKd-pr	37,385527
28	MQVe-ra	320,505701
29	MQVf-ra	666,008732
30	MQKd-zud	385,9858
31	MQVe-zud	79,534973
32	MQVe-zud	212,056003

Fuente: Autores, 2015

Luego de obtener los valores de longitud y porcentaje, se calculó cada uno de los componentes del factor topográfico (LS) de la USLE, obteniendo los resultados del factor L y el factor S (Anexo 20) a partir de las ecuaciones.

Tabla 19. Ejemplo de la aplicación de la ecuación de LS

$LS = \left(\frac{x}{22.13}\right)^m$	ò	$LS = \left(\frac{x}{22.13}\right)^m * (0.065 + 0.045s + 0.0065s^2)$
$S = (0.065 + 0.045s + 0.0065s^2)$		

Fuente: (Kirkby & Morgan, 1980)

Donde x es la longitud de la pendiente en metros, s es el factor de la pendiente en porcentaje y m depende del grado de la pendiente, los rango esta expresados en el marco teórico.

Al identificar cada polígono perteneciente a una unidad de tierra específica, se realizó un promedio de los resultados de los polígonos que conforman la misma unidad de tierra para obtener un valor único en esa unidad, obteniendo así los valores del factor LS (Anexo 21).

4.4 Factor C

Los resultados obtenidos se presentan a continuación en las siguientes tablas:

Tabla 20. Resultados del factor C

No.	Unidad de Tierra	LEYENDA	Factor C
1	MQVf - ae	Tierras desnudas	1
2	MQVe - em	explotación minera	1
3	MQVf - em	explotación minera	1
4	MQKd - gp	Galpones	1

5	MQVe - zuc	Zona urbana continuas	1
6	MVNa - zuc	Zona urbana continuas	1
7	ZU - zuc	Zona urbana continuas	1
8	MQKd - mcm	Mosaico de pastos y cultivos de clima medio	0,354
9	MQVe - mcm	Mosaico de pastos y cultivos de clima medio	0,354
10	MQKd - pr	Pastos naturales y rastrojos	0,116
11	MQVe - pr	Pastos naturales y rastrojos	0,116
12	MQVf - pr	Pastos naturales y rastrojos	0,116
13	MQKd - bs	Bosque secundario	0,007
14	MQVf - bs	Bosque secundario	0,007
15	MQKd - pn	Pastos naturales	0,13
16	MQVf - pn	Pastos naturales	0,13
17	MQVe - pn	Pastos naturales	0,13
18	MVNa - pn	Pastos naturales	0,13
19	ZU - pn	Pastos naturales	0,13
20	MQKd - pr	Pastos naturales y rastrojos	0,116

21	MQVe - ra	Rastrojos altos	0,006
22	MQVf - ra	Rastrojos altos	0,006
23	MQKd - zud	Zonas Urbanas Discontinuas	1
24	MQVe - zud	Zonas Urbanas Discontinuas	1

Fuente: Autores, 2015.

4.5 Factor P

Los resultados obtenidos por medio de la encuesta para las prácticas de manejo (tabla 20) nos muestran que la mayor parte de los habitantes de la zona, no implementan ninguna práctica de apoyo de conservación.

Tabla 21. Resultados Encuestas Practicas de manejo

Encuestas	¿Emplean alguna práctica de conservación?	Si es así ¿cuál?
47	no	-
13	si	Siembra contra pendiente, bancales contra pendiente, barreras vivas.

Fuente: autores, 2015

Según la teoría, si las prácticas no son implementadas o son mínimas el valor de P es igual a 1 (Kirkby & Morgan, 1980). Este valor es el más alto y se debe a que al no realizar ninguna práctica, la cual ayuda en el control de la erosión, este se encuentra mucho más expuesto.

A continuación se muestran las prácticas mecánicas de conservación de la erosión (Tabla 21)

Tabla 22. Prácticas de conservación

Práctica	Descripción	Propósito
Surcos en Contorno	Es el trazo de surcos perpendiculares a la pendiente, siguiendo las curvas de nivel. Esto implica que el barbecho, los surcados y las siembras se realicen de la misma manera.	Reducir el escurrimiento superficial y favorece la infiltración de agua en el perfil del suelo (Secretaría de Agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación)
Terrazas	Es la construcción de refuerzos de suelo, formando una terraza o grada para el control del desprendimiento del suelo en el momento que llueve.	Controlar el escurrimiento de agua y desprendimiento del suelo superficial en los cultivos (CENAGRO, 2014).
Rotación de cultivos	Se alternan plantas de diferentes especies con una duración agrícola de diferentes ciclos entre ellas, en un mismo sitio.	Evita que el suelo se agote, debido a que lo reestructura al evitar las actividades de laboreo (Vilalta , 2012)

Trinchos	Son barreras pequeñas en tramos cortos, en las cuales por medio de palos, sacos o costales llenos de arena o tierra se colocan a lo ancho de la zanja.	Recupera zonas afectadas por la erosión (ICPROC, 1998).
----------	--	---

Fuente: ((CENAGRO, 2014) (ICPROC, 1998) (Secretaría de Agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación)

4.6 Tasa de Pérdida de Suelo (A)

Para evaluar la pérdida de suelo total de la parte baja, se tuvo en cuenta la clasificación del grado de erosión en función de la pérdida anual de suelo propuesta por CENICAFE, 1975.

Tabla 23. Grado de erosión en función de la pérdida anual de suelo

Grado de erosión	Pérdida de suelo (Ton/Ha)
Natural	< 1,0
Baja	1,0 – 3,0
Media	3,0 – 5,0
Alta	5,0 – 10,0
Muy alta	10,0 – 20,0
Severa	20,0 – 30,0

Muy severa	>30,0
------------	-------

Fuente: CENICAFE, 1975

4.6.1 Condiciones actuales

Los resultados obtenidos para la tasa de pérdida de suelo (A) en condiciones actuales son presentados a continuación:

Tabla 24. Resultados de la tasa de pérdida de suelo (A)

Unidades de Tierra	Factor R	Factor K	Factor LS	Factor C	Factor P	A (Ton/Ha*año)
MQVf - ae	194.31	0.19	36.05	1	1	1.3310
MQVe - em	206.42	0.19	10.17	1	1	0.3989
MQVf - em	204.60	0.19	37.15	1	1	1.4442
MQKd - gp	191.34	0.26	0.59	1	1	0.0294
MQVe - zuc	207.19	0.19	16.10	1	1	0.6338
MVNa - zuc	208.46	0.37	2.14	1	1	0.1653
ZU - zuc	209.63	-	0.22	1	1	0.0000

MQKd - mcm	189.26	0.26	1.40	0.354	1	0.0245
MQVe - mcm	190.58	0.19	4.42	0.354	1	0.0567
MQKd - pr	196.09	0.19	2.57	0.116	1	0.0111
MQVf - pr	196.80	0.26	34.05	0.116	1	0.2021
MQVe - pr	204.53	0.19	62.48	0.116	1	0.2816
MQKd - bs	196.62	0.26	11.78	0.007	1	0.0042
MQVf - bs	196.18	0.19	11.74	0.007	1	0.0031
MQKd - pn	191.10	0.26	3.77	0.13	1	0.0244
MQVe - pn	194.59	0.19	10.19	0.13	1	0.0490
MQVf - pn	196.48	0.19	4.66	0.13	1	0.0226
MVNa - pn	208.28	0.37	0.28	0.13	1	0.0028
ZU - pn	209.11	-	0.15	0.13	1	0.0000
MQKd - pr	181.19	0.26	0.59	0.116	1	0.0032
MQVe - ra	205.23	0.19	11.88	0.006	1	0.0028
MQVf - ra	203.14	0.19	59.76	0.006	1	0.0138

MQKd - zud	194.04	0.26	1.89	1	1	0.0953
MQVe - zud	198.75	0.19	5.86	1	1	0.2213
TOTAL						5.0210

Fuente: Autores, 2015.

4.6.2 Condiciones Prevalentes

Las condiciones prevalentes se tomaron mensualmente sin variar los valores de los otros factores, para lo cual se obtuvo como resultado:

Tabla 25. Resultados de la tasa de pérdida de suelo (A) mensual

MES	A (Ton/ha*año) Parte Baja
Enero	0.123
Febrero	0.293
Marzo	0.550
Abril	0.752
Mayo	0.373
Junio	0.016
Julio	0.042

Agosto	0.076
Septiembre	0.106
Octubre	1.035
Noviembre	1.333
Diciembre	0.323
TOTAL	5.021

Fuente: Autores, 2015.

4.6.3 Escenarios de variabilidad climática, uso y cobertura del suelo y prácticas de manejo y conservación.

4.6.3.1 Escenarios de variabilidad Climática:

Los datos obtenidos de la tasa de pérdida de suelo (A) para año húmedo, medio y seco, se presentan a continuación:

Tabla 26. Resultados de la tasa de pérdida de suelo (A) para escenarios de variabilidad Climática

VARIABILIDAD CLIMATICA

	Año Húmedo	Año Medio	Año Seco
A (Ton/Ha*año)	8.43	7.66	3.38

Fuente: Autores, 2015.

4.6.3.2 Escenarios de uso y cobertura del suelo.

Los datos obtenidos de la tasa de pérdida de suelo (A) para bosque secundario y suelo desnudo, se presentan a continuación:

Tabla 27. Resultados de la tasa de pérdida de suelo (A) para escenarios de uso y cobertura del suelo

VARIABILIDAD DE USO Y COBERTURA		
	Bosque Secundario	Suelo desnudo
A (Ton/Ha*año)	0.094	13.41

Fuente: Autores, 2015.

4.6.3.3 Escenario de prácticas de manejo y conservación

Los datos obtenidos de la tasa de pérdida de suelo (A) para año húmedo, medio y seco, se presentan a continuación:

Tabla 28. Resultados de la tasa de pérdida de suelo (A) para escenarios de prácticas de manejo y conservación

ESCENARIOS DE PRÁCTICA DE MANEJO Y CONSERVACIÓN	
A (Ton/Ha*año)	0.67

Fuente: Autores, 2015.

5. Análisis de resultados

La tasa de pérdida de suelo de la parte baja de la microcuenca quebrada cune fue de 5,02 ton/ha-año, siendo este un grado de erosión alto, según la clasificación propuesta por CENICAFE (Tabla 21). Para las 24 unidades de tierra de la parte baja de la microcuenca, esta tasa varía entre 0,0028 y 1,44 ton/ha*año (Gráfica 2).

Gráfica 2. Tasa de pérdida de suelo por unidad de tierra



Fuente: Autores, 2015.

La USLE se aplicó en las 24 unidades de tierra de la parte baja, para calcular la pérdida de suelo en cada una de estas y posteriormente poder obtener la pérdida de suelo total de toda la parte baja de la microcuenca con el fin de ver el grado de erosión de la misma y sus posibles causas y consecuencias. Representando dicha parte baja el 20.72% del territorio total de la microcuenca.

Para las unidades de tierra del estudio, se propuso la siguiente clasificación:

Tabla 29. Erosión para las unidades de tierra

Erosión	Pérdida de suelo (ton/Ha*año)	Unidades de tierra
Menor erosión	< 1	MQKd – Gp, MQVe – Zuc, MVNa – Zuc, ZU – Zuc, MQKd – Mcm, MQVe – Mcm, MQKd – Pr, MQVf – Pr, MQVe – Pr, MQKd – Bs, MQVf – Bs, MQKd – Pn, MQVe – Pn, MQVf – Pn, MVNa – Pn, ZU – Pn, MQKd – Pr, MQVe – Ra, MQVf – Ra, MQKd – Zud, MQVe – Zud.
Mayor erosión	≥ 1	MQVf – Ae, MQVf – Em

Fuente: Autores, 2015.

Las unidades de tierra que presentan mayor erosión generalmente tienen una textura de suelo arcillosa, siendo esta la que genera mayor escorrentía superficial. El suelo arcilloso está formado por partículas pequeñas, las cuales hacen que este sea más compacto, por ende menos poroso. Al ser menos poroso hay menos espacio entre sus partículas, por lo cual tiende a retener mayor cantidad de agua. Se genera escorrentía superficial. El factor de erosividad en las unidades de tierra con mayor erosión tiende a ser elevado, según la clasificación del Índice de Fournier Modificado.

La susceptibilidad del suelo a la erosión depende principalmente de las propiedades físicas y químicas de este. Sin embargo la tasa de erosión del suelo se puede ver más influenciada por otros factores como son: la frecuencia de las lluvias, la humedad, la longitud e inclinación del terreno y los sistemas de cobertura y manejo del suelo.

Esto quiere decir que los suelos que se encuentren en pendientes largas e inclinadas, o en sitios con alta intensidad de lluvias, independientemente de que presenten un factor alto o bajo de erodabilidad (k), se puede dar una erosión alta. De la misma manera, un suelo con alta susceptibilidad y con un buen sistema de uso y cobertura del suelo, presentara bajos índices de erosión.

En el estudio realizado, las unidades de tierra que presentan mayor erodabilidad tienen un tipo de suelo Typic Udorthents. Suelo con fertilidad moderada, pendientes fuertes y con alta susceptibilidad a ser degradado.

El factor topográfico es grande frecuentemente en las zonas en las cuales se genera una mayor pérdida de suelo. En este caso efectivamente las unidades de tierra que presentan mayor erosión, tienen sus pendientes en el rango de 25 – 50% indicando que tienen una topografía fuertemente quebrada según la clasificación del IGAC. Dichos valores al dar elevados indican que hay una mayor susceptibilidad a la erosión, puesto que sus pendientes al ser grandes, tienen mayor escorrentía superficial.

Los factores de cobertura vegetal y prácticas de manejo presentan en los casos donde hay mayor erosión, los valores más altos que pueden tener, correspondiendo estos a los peores escenarios posibles. Unidades que tienen como uso y cobertura, actividades de explotación minera, o tienen un suelo desnudo, están totalmente expuestos a ser erosionados. Las gotas de lluvia caen con toda la fuerza en el suelo por lo cual desprende las partículas de este con mayor facilidad. Se da una erosión por salpicadura en mayor grado.

En la parte baja de la microcuenca no se cuenta con prácticas de manejo, por lo tanto se genera un incremento en las tasas de erosión de las unidades de tierra del estudio.

Para las unidades de tierra que presentan un grado menor de erosión, se puede observar que los factores de la USLE generalmente presentan menores valores, ya sea en los factores de cobertura vegetal, como de pendiente o de tipo de suelo. En la microcuenca del cune parte baja, los valores del factor de uso y cobertura del suelo son menores en las zonas que presentan menor erosión, respecto a las unidades con mayor erosión.

Las coberturas de Bosque secundario (Bs) o de Rastrojo alto (Ra) son las que presentan menor pérdida de suelo porque son las que mejor lo protegen. Por ejemplo, cuando hay un bosque, la escorrentía disminuye en los suelos porque el agua que va a generar la escorrentía es absorbida por las raíces de las plantas. Usualmente la superficie tiene hojas o hierbas que representen una cobertura vegetal significativa, la cual hace que la humedad que se da en el suelo se evapore antes de que esta se pueda infiltrar. Los rastrojos

evitan el impacto directo de la salpicadura de lluvia, reducen la escorrentía y aumentan el contenido de materia orgánica siendo agentes controladores de la erosión.

El factor LS la mayor parte de los casos es menor en las unidades de tierra que presentan un menor grado de erosión, esto trae como consecuencia una menor pérdida de suelo, ya que disminuye la escorrentía superficial, respecto a las unidades de mayor erosión.

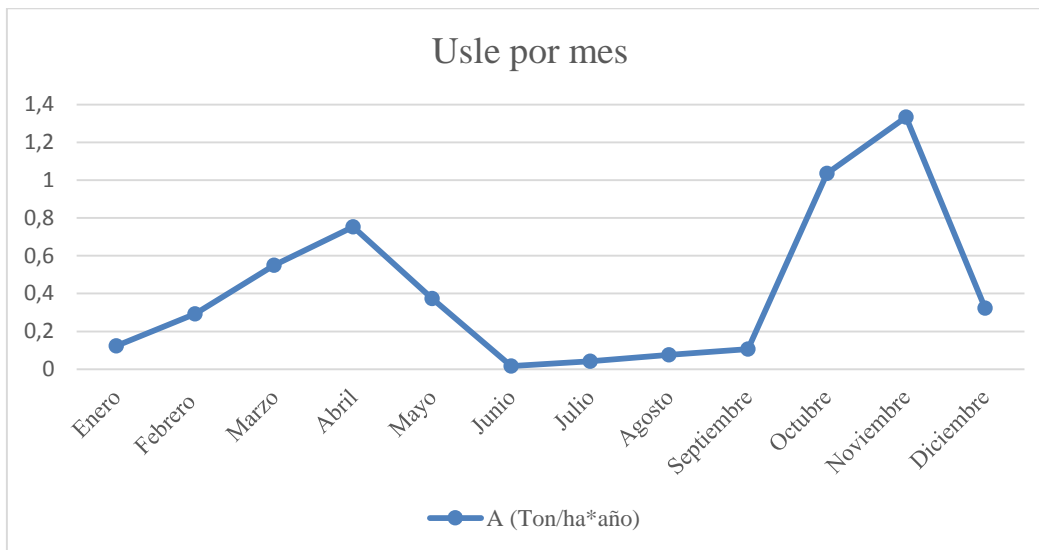
Las unidades de tierra que pertenecen a la zona urbana, no se tuvieron en cuenta para la cuantificación de la pérdida de suelo, porque la ecuación no está planteada para esta zona.

El Esquema de Bartkowski expresa la densidad de información y el nivel de planeación con respecto a la escala. El estudio realizado tiene un nivel de detalle de 1:25.000, correspondiendo este a un nivel de estudio detallado. Se estableció evaluar el comportamiento de A (ton/ha-año) mes a mes para cada parte de la microcuenca con el fin de obtener resultados más reales.

La tasa de pérdida de suelo se analizó bajo condiciones prevalentes de erosividad de la lluvia por meses. La mayor pérdida de suelo se ubicó en los meses de marzo – abril y octubre – noviembre, coincidiendo dicha pérdida con el periodo bimodal de la microcuenca (Gráfica 1). Los meses con menor pérdida de suelo presentada son de junio a septiembre y de diciembre a febrero (Gráfica 3).

Se pudo observar que a medida que aumentan las precipitaciones aumenta la pérdida de suelo de la zona, demostrando de esta manera que el factor de erosividad (R) de la lluvia ejerce un papel importante en el proceso de erosión de un suelo, ya que dicha precipitación es la causante del desprendimiento de las partículas del suelo y de su posterior arrastre.

Gráfica 3. Usle por mes



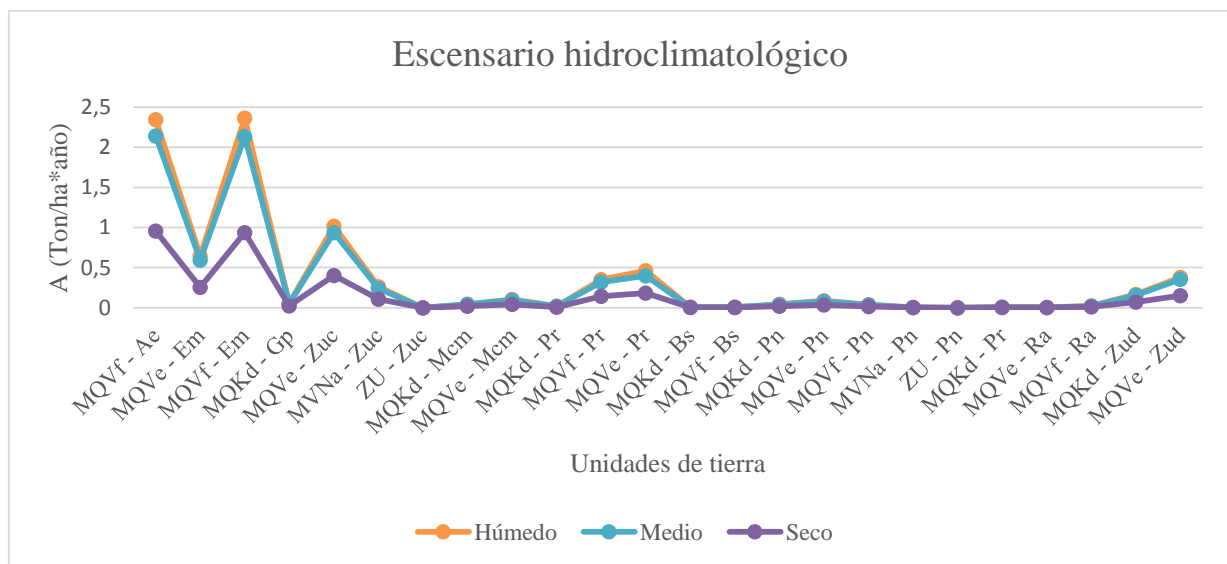
Fuente: Autores, 2015.

El primer análisis de la primera simulación que se realizó fue temporal, en esta se emplearon tres escenarios hidroclimatológicos (año húmedo, medio y seco), identificando que la mayor pérdida de suelo se evidencia en el año húmedo. Dicho resultado concuerda con la afirmación presentada anteriormente frente a que la mayor tasa de pérdida de suelo se produce en los periodos donde la intensidad de la lluvia es mayor. Este resultado

demuestra que al haber una mayor precipitación en la zona va a haber mayor erosión del suelo.

Comparando el escenario en situación actual versus el escenario simulado en año húmedo, se puede observar el incremento por más del doble de la tasa de pérdida de suelo en el año húmedo, demostrando así la gravedad de poder tener dicho escenario. El escenario con año medio también presenta una tasa mayor de perdida de suelo respecto a la tasa de perdida que se presenta en situaciones actuales, por lo tanto se puede concluir que en las zonas donde la precipitación no es tan fuerte la erosión puede ser menor.

Gráfica 4. Simulación escenarios hidroclimatológicos

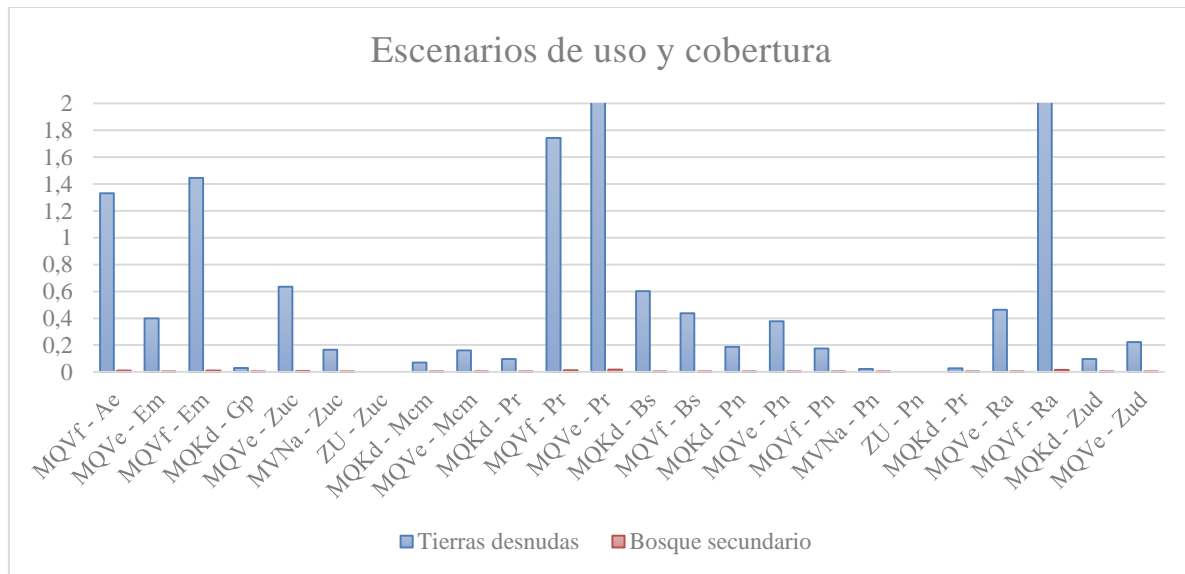


Fuente: Autores, 2015.

El segundo análisis que se realizó fue espacial, empleando diferentes escenarios de uso y cobertura y de prácticas de manejo. Para uso y cobertura el mejor escenario que se propuso fue el de Bs (bosques secundarios) y como peor escenario (Em) explotación

minera. Para el escenario de prácticas de apoyo se realizó la simulación empleando bancales a contra pendiente.

Gráfica 5. Escenarios de Uso y Cobertura



Fuente: Autores, 2015.

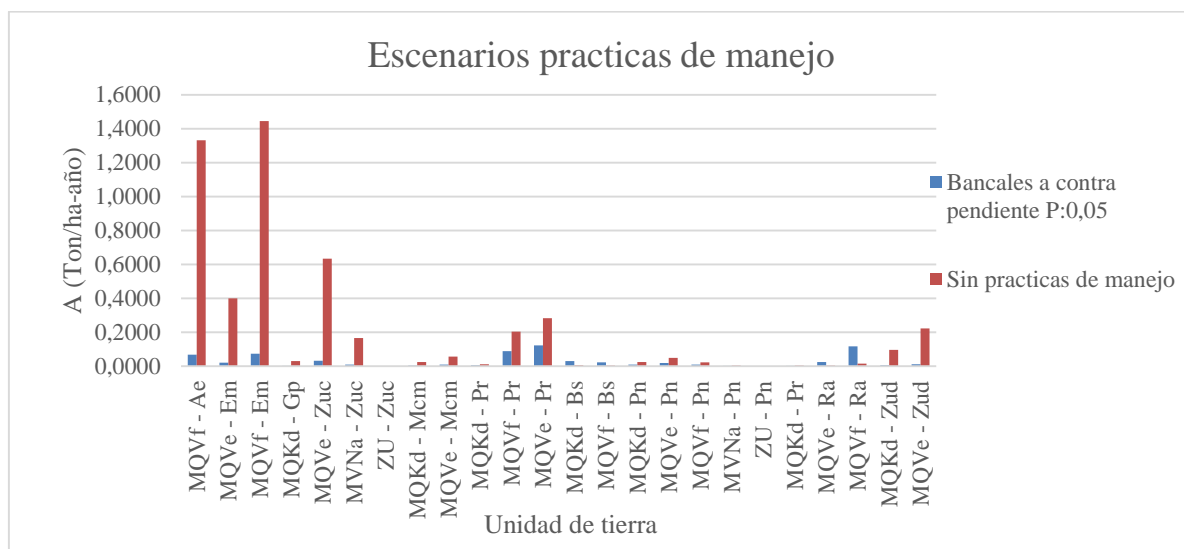
La mayor pérdida de suelo se dio cuando el valor del factor de uso y cobertura estuvo en su peor escenario, lo cual era de esperarse ya que al no estar protegido el suelo, la precipitación va a causar un mayor efecto en la erosión del suelo, desprendiendo así mayor parte de él. A su vez se genera un aumento en la escorrentía superficial, en comparación a una zona en la cual se cuente con una cobertura vegetal alta.

El factor de cobertura vegetal es más influyente en los resultados de la tasa de pérdida de suelo respecto al factor de erosividad (R). Esto se puede concluir observando los resultados de pérdida de suelo obtenidos en ambas simulaciones. El factor C es el que

presenta mejores y peores escenarios, genera la mayor pérdida de suelo y la menor, dependiendo el tipo de cobertura que se emplee.

El último escenario simulado fue el de prácticas de manejo, este también evidencio una reducción alta en la perdida de suelo cuando se emplea alguna practica de manejo, en este caso fue la de bancales a contra pendiente. Dichas prácticas logran reducir la velocidad de las precipitaciones, almacenan temporalmente la escorrentía y desvían el flujo del agua.

Gráfica 6. Escenarios de Practicas de manejo



Fuente: Autores, 2015.

Las prácticas de apoyo favorecen los recursos del suelo permitiendo que estos disminuyan a una tasa más lenta, ayudando así a una renovación más rápida del suelo.

El coeficiente de correlación de Pearson permite medir el grado de relación de dos variables. En este estudio se midió la relación entre la tasa de pérdida de suelo y cada factor que compone la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) utilizando dicho coeficiente, con el fin de poder determinar cuál de estos factores es el que tiene mayor relación con la pérdida de suelo (Anexo18). Observando que el factor C y LS son los que presentan mayor relación directa. Obteniendo así el mismo resultado que se obtuvo con las simulaciones.

6. Conclusiones

- Al determinar cada factor de la ecuación en condiciones reales, se cuantifico una pérdida de suelo de 5,02 Ton/ha-año, significando esto que la erosión de la parte baja de la microcuena es alta, según la clasificación propuesta por CENICAFE.
- La unidad de estudio fue la unidad de tierra, para la parte baja de la microcuena se cuenta con 24 unidades de tierra. Para cada unidad de tierra se realizó el cálculo de la tasa de pérdida de suelo, obteniendo así el mayor nivel de detalle posible en el área de estudio para tener la mayor cercanía a la pérdida real que se ocasiona allí.
- Al realizar las simulaciones en los diferentes escenarios planteados, se observó que el factor con mayor influencia en la tasa de pérdida de suelo es el factor de uso y cobertura del suelo (C). Cuando se realizó la simulación con el mejor escenario (Bosque secundario) se obtuvo el mínimo valor de pérdida de suelo en la microcuena. Con el peor escenario (tierras desnudas) se obtuvo el mayor valor de pérdida de suelo en la microcuena. Demostrando así la importancia de tener una buena cobertura vegetal para evitar la erosión del suelo.
- Al realizar el análisis de correlación con el coeficiente de Pearson, se obtuvo que el factor que presenta mayor correlación con la tasa de pérdida de suelo es el factor de uso y cobertura del mismo. Dicho resultado corrobora que el resultado obtenido en las simulaciones realizadas, es correcto. El factor C es el más importante en la evaluación de la pérdida de suelo.

-
- Al comparar la tasa de pérdida de suelo del escenario en condiciones actuales y los escenarios simulados, se observó que, las simulaciones realizadas con año húmedo, año medio, y tierra desnuda como variable de cobertura del suelo, generan mayores pérdidas de suelo, respecto a las condiciones reales. Al emplear los escenarios de año seco, suelo de cobertura vegetal con bosque secundario y empleando una práctica de manejo, dichos resultados mejoran respecto a la pérdida de suelo actual.
 - La mayor pérdida de suelo generada en la cuenca, se registra en los mismos meses donde las precipitaciones presentan los mayores valores del periodo bimodal. Mostrando así una relación directa de la pérdida de suelo con la cantidad de precipitación de la zona.
 - Al realizar la simulación de prácticas de manejo, se evidenció una notoria disminución en la tasa de pérdida de suelo, demostrando así la importancia de este factor. Es necesario implementar prácticas de manejo y conservación en la microcuenca para tener una reducción de la tasa de erosión.
 - Realizar la evaluación exacta de la pérdida de sedimentos generados en la microcuenca es una acción compleja debido a que no se tiene una precisión en los datos con los cuales se trabaja, ni una confiabilidad absoluta, debido a que la información usada para calcular la ecuación, es información secundaria puesto que los datos no se tomaron directamente en campo.

-
- Es importante saber que no todo el suelo desprendido es transportado hasta el sitio de medición, la erosión y sedimentación se puede dar en cualquier parte de la microcuenca. Hacer la evaluación de la relación de pérdida de suelo y aporte de sedimentos totales a la microcuenca es complejo.
 - En la microcuenca no se han realizado estudios de evaluación de pérdida de suelo anteriormente. Esto dificulta la identificación de una tendencia de pérdida de suelo en dicho lugar y de esta manera impide realizar un análisis de la posible evolución del daño.

7. Recomendaciones

- Implementar alguna estrategia de reforestación, o de uso de prácticas de manejo para disminuir la pérdida de suelo de la zona. La reforestación ayudaría a disminuir la susceptibilidad del suelo a ser erosionado y el uso de prácticas de manejo ayudaría a la disminución de la pérdida de suelo.
- Es importante conocer el tipo de población que habita la microcuenca. Se puede realizar un estudio socio-económico para poder implementar estrategias en pro de la recuperación de la microcuenca.
- Con la información obtenida en el estudio, se puede formular un programa para la revegetalización y/o reforestación de la micro cuenca, con el fin de recuperar y mejorar las condiciones de la misma.
- Se recomienda hacer previamente a la implementación de la ecuación universal de pérdida de suelo, una estandarización de conceptos, debido a que existe una gran variedad de formas para determinar los factores y emplear el sistema de información geográfica.
- Implementar un Sistema de Información Geográfico –SIG- en los estudios geográficos es muy útil ya que estos ayudan a realizar un procesamiento, análisis, obtención de mapas y de informes. Esto con el fin de presentar los resultados de

manera ágil y oportuna. Además, los SIG ayudan a que se pueda realizar un seguimiento del estudio a futuro y así ver avances.

Bibliografía

Bermón , L. (2011). *Universidad Nacional de Colombia*. Obtenido de Dirección nacional de innovación académica:

<http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4060010/lecciones/Capitulo1/simulacion.htm>

CAR. (2009). *Informe POMCA. Descripción y caracterización del medio físico, subcuenca Río Tobia*.

CENAGRO. (2014). *Prácticas Agrícolas*.

CIIFEN. (s.f.). Obtenido de

http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=article&id=573%3Avariabilidad-climatica-y-extremos&catid=98%3Acontenido-1&Itemid=131&lang=es

COEFICIENTE DE CORRELACIÓN LINEAL DE PEARSON. (2008). Obtenido de

<http://personal.us.es/vararey/adatos2/correlacion.pdf>

Colin, J., & Muñoz, E. (2006). *Análisis espacial de la riqueza de especies*.

CORTOLIMA. (Agosto de 2013). *POM - Plan de ordenación y manejo de la cuenca del*

Río Totare. Obtenido de

http://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/pom_totare/diagnostico/m_212perdida_de_suelos_totare.pdf

Coruña, U. d. (s.f.). *Hidrología, ciclo hidrológico*. Obtenido de

http://caminos.udc.es/info/asignaturas/grado_itop/415/pdfs/Capitulo%205.pdf

Díaz, L. (2014). *Informe evaporacion* . Obtenido de Facultad de Ingeniería Civil -

Universidad César Vallejo: <http://es.slideshare.net/luisanthonydiazcisneros/informe-evaporacion-corregido>

Diego, J. (s.f.). *Planificación de cuencas - libro erosión* . Obtenido de

http://www.unalmed.edu.co/~poboyca/documentos/documentos1/documentos-Juan%20Diego/Plnaifi_Cuencas_Pregrado/cap%201%20y%202%20libro%20erosion.pdf

Echeverri & Obando . (Febrero de 2010). *EROSIVIDAD DE LAS LLUVIAS EN LA REGIÓN CENTRO-SUR DEL DEPARTAMENTO DE CALDAS, COLOMBIA*.

Obtenido de

<http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/24951/36985>

FAO. (1997). *Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos*.

Galvis, X. (2008). *ESTIMACIÓN DE LA GENERACIÓN DE SEDIMENTOS EN LA*

CUENCA. Recuperado el 15 de Enero de 2015, de

<http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14543/T41.09%20G139e.pdf?sequence=1>

Gisbert, J., Ibáñez, S., & Moreno, H. (s.f.). Obtenido de EL FACTOR K DE LA

ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDAS DE SUELO (USLE):

<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16850/AD%20%20K%20USLE.pdf?sequence=1>

Gonzalez, M. (1991). *LA ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDAS DE SUELO*. Obtenido de

de http://www.magrama.gob.es/es/parques-nacionales-oapn/publicaciones/ecologia_05_02_tcm7-46004.pdf

Green peace . (2010). Obtenido de

<http://www.greenpeace.org/colombia/es/campanas/cambio-climatico/>

Hudson, N. (2006). *Conservación del suelo*. España: Reverte.

ICPROC. (1998). *Área de técnicas agropecuarias sostenibles* . Obtenido de

http://www.agronet.gov.co/www/docs_si2/200671991630_Manejo%20y%20conservacion%20de%20suelos.pdf

IDEAM . (10 de diciembre de 2012). *Programa de monitoreo y seguimiento de la*

degradacion de suelos y Tierras. Obtenido de

http://www.ideam.gov.co/documents/11769/153422/20121210_Socializacion_avance_erosion.pdf/110fe407-5b10-42a5-913a-43400ed9ae6d

IDEAM & MAVDT. (Noviembre de 2012). *Propuesta para la gestión integral ambiental*

del recurso suelo (GIARS). Obtenido de

http://www.ideam.gov.co/documents/11769/153422/20121210_Propuesta_Programa_de_M%26SDS_Nov_23_12_v6.pdf/04ac8b73-303d-4d09-b2f5-9dc8b81b4f54

IDEAM. (2000). *Terrenos afectados por movimientos en masa en Colombia*. Obtenido de

<http://www.ideam.gov.co>

IDEAM. (2010). *Estudio Nacional del Agua 2010*. Instituto de Hidrología, Meteorología y

Estudios Ambientales. Obtenido de

https://www.siac.gov.co/contenido/contenido_imprimir.aspx?conID=1374&catID=815

IDEAM, et al. (2010). *Documentación IDEAM. Informe del estado del medio Ambiente y los recursos naturales renovables*. Obtenido de

<http://documentación.ideam.gov.co/openbiblio/Bvirtual/022166/PARTE7.pdf>

IGAC. (Junio de 2010). *Segundo Taller Nacional sobre Degradación de Suelos y tierras - Salinización, erosión y desertificación*. Obtenido de

<http://www.igac.gov.co/wps/wcm/connect/71a75c80430e5003bbf4fbb9840dbe54/El+Ministerio+de+Ambiente+TALLER.pdf?MOD=AJPERES>

Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la ciencia del Suelo - Procesos pedogenéticos -*

Capítulo 2. Pág 85. Obtenido de

http://unvirtual.medellin.unal.edu.co/pluginfile.php/1935/mod_resource/content/0/PROCESOS_PEDOGENETICOS.pdf

Jerez, O. (2011). *Vocabulario de Términos Geográficos*. Obtenido de

<http://vocabulariogeografico.blogspot.com/2011/09/isoyeta.html>

Jones, C. A., Griggs, R. H., Williams, J. R., & Srinivasan, R. (1994). *Deposito de documentos de la FAO*. Obtenido de Predicción de la erosión de suelos.

Kappelle, M. (2009). *Erosión de Suelos*. Obtenido de

<http://www.diccionariomedioambiente.org/DiccionarioMedioAmbiente/es/pdf/erosion.pdf>

Kirkby, M., & Morgan, R. (1980). *Erosion del suelo*. John Wiley and Sons Ltd.

-
- Martin, X. G. (2008). *ESTIMACIÓN DE LA GENERACIÓN DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SISGA CON BASE EN LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO*. Universidad De La Salle. Bogotá: Trabajo de Grado.
- Mintegui, J. A., & Robredo, J. C. (1994). *CARACTERIZACION DE LAS CUENCAS*. Obtenido de Universidad politecnica de madrid:
<https://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/4190/1/article4.pdf>
- Moreno, R. H., Ibañez, A. S., & Gisbert, B. J. (2012). *La Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE)*. Obtenido de Universidad politecnica de valencia:
<http://hdl.handle.net/10251/16850>
- Morgan, R. (1997). *Erosión y conservación del suelo*. Madrid: Ediciones Mundi Prensa.
- Navarro, A. (s.f.). *Conceptos basicos de Hidrogeología - Instituto Tecnológico Geominero de España*. Obtenido de
http://aguas.igme.es/igme/publica/pdfjor_aguas_mine/1_conceptos.pdf
- Núñez, J. (2001). *Manejo y conservación de suelos*. Costa Rica: Univerrrsidad Estatal a Distancia.
- Ordoñez, J. (2001). *Ciclo hidrológico - cartilla tecnica*. Obtenido de
http://www.gwp.org/Global/GWP-SAm_Files/Publicaciones/Varios/Ciclo_Hidrologico.pdf
- (2000). *PBOT Villeta*.

Pelaez, J. D. (2001). *Estudio y control de la erosión hídrica*. Obtenido de Biblioteca digital

Universidad Nacional de Colombia. sede Medellin.

Pérez, G. (2014). *Ciclo Hidrológico. Precipitación*. Obtenido de

<http://www.ciclohidrologico.com/precipitacin>

Pizarro, R., Farfán, J., Farías, C., & Jordán, C. (s.f.). *ESTIMACIÓN DEL FACTOR R DE LA U.S.L.E., EN UN TRANSECTO OESTE-ESTE DE CHILE CENTRAL*. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/ARTICLE/WFC/XII/0473-B2.HTM>

Ramírez, A. H. (2009). *Erodabilidad de los suelos de la zona central cafetera del departamento de Caldas. Cenicafé*. Obtenido de

[http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/157/1/arc060\(01\)58-71.pdf](http://biblioteca.cenicafe.org/bitstream/10778/157/1/arc060(01)58-71.pdf)

Rivera, J. H. (1999). *Susceptibilidad y predicción de la erosión en Suelos de Ladera de la zona Cafetera Colombiana*. Recuperado el 15 de Enero de 2015, de

http://www.oocities.org/biotropico_andino/cap8.pdf

Rodriguez, C. O., Vargas, N. O., Jaramillo, O., Piñeros Andre, & Cañas, H. (2010). *Estudio nacional del agua 2010*. Obtenido de IDEAM:

https://www.siac.gov.co/documentos/DOC_Portal/DOC_Agua/20120928_Ofert_uso_agua_sub_ENA_2010.pdf

Rodriguez, Vargas, Jaramillo, Piñeros & Cañas. (2010). *Oferta y Uso de Agua Subterranea en Colombia - Capitulo 4*. Obtenido de

https://www.siac.gov.co/documentos/DOC_Portal/DOC_Agua/20120928_Ofert_uso_agua_sub_ENA_2010.pdf

-
- Roldán, M. (2006). *Nueva Formulación Para La Obtención de la Energía Cinética de la Lluvia. Analisis Comparativo con Ecuaciones Empíricas*. Obtenido de http://oa.upm.es/15363/1/INVE_MEN_2006_126228.pdf
- Ruiz, F. S. (2005). Obtenido de Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial: http://www.pnud.org.co/img_upload/61626461626434343535373737353535/CAM_BIOCLIMATICO/1.%20Productos%20del%20Proyecto%20de%20Transversalizaci%C3%B3n%20del%20Cambio%20Clim%C3%A1tico/1.3%20Escenarios%20CC%20IDEAM.%20Franklin%20R/3.%20Escenarios%20CC%20IDEAM.%2
- Sánchez San Román, F. J. (2005). *Aguas con el agua*. Obtenido de http://www.infoiarna.org.gt/guateagua/subtemas/3/9_Hidrogeologia.pdf
- Secretaria de Agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. (s.f.). *Surcado al contorno*. Mexico.
- Serna, A. (Abril de 2014). *Provincias de Colombia*. Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/29914159/provincias-de-Colombia#scribd>
- Servicio Agrícola Y Ganadero. (2007). *Estudio Mapa de Zonas de Agresividad del Clima. (Estudio Climático 2)*. Obtenido de http://www.sag.cl/sites/default/files/ESTUDIO_CLIMATICO2.pdf
- Taboada, M. A. (17 de diciembre de 2013). *El suelo como recurso natural. ¿En qué marco se inserta la bioremediación?* Obtenido de Facultad de Agronomía UBA: <http://inta.gob.ar/documentos/el-suelo-como-recurso-natural-en-que-marco-se-inserta-la-biorremediacion/>

Thompson, L. M., & Troeh, F. R. (1998). *Los suelos y su fertilidad*. España: Reverte.

Torres, D. (2006). *Importancia de la degradación del suelo y estado actual*. Obtenido de <http://ddtorres.webs.ull.es/Docencia/Impacto/Temario/t24%20suelo/perdida%20mat%20organ.htm>

UNAL Palmira. (2012). Obtenido de <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/palmira/5000134/contenido/cap9/lec1.htm>

Unesco. (2008). Obtenido de <http://www.unesco.org/webworld/portal/idams/html/spanish/S1pearso.htm>

UNESCO. (2014). *Glosario de la UNESCO*. Obtenido de <http://www.unesco.org/mab/doc/ekocd/spanish/glossary.html>

Valencia, S. (2005). *Universidad politecnica de Catalunya*. Obtenido de http://www-cpsv.upc.es/tesines/presentaciosig_svalencia.pdf

Veiga, L. d. (1 de agosto de 1992). *EROSION Y PERDIDA DE FERTILIDAD DEL SUELO*. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/t2351s/t2351s06.htm>

Vergara, M. F. (2010). *Cuencas Sedimentarias en Colombia*. (U. I. Santander, Productor) Obtenido de <http://es.scribd.com/doc/27311861/Cuencas-sedimentarias-en-Colombia#scribd>

Vilalta, C. (23 de Octubre de 2012). *Granja escuela la ilusión. Las rotaciones del cultivo en beneficio del suelo*. Obtenido de

<https://granjaescuelalailusion.wordpress.com/2012/10/23/las-rotaciones-de-cultivos-en-beneficio-del-suelo/>

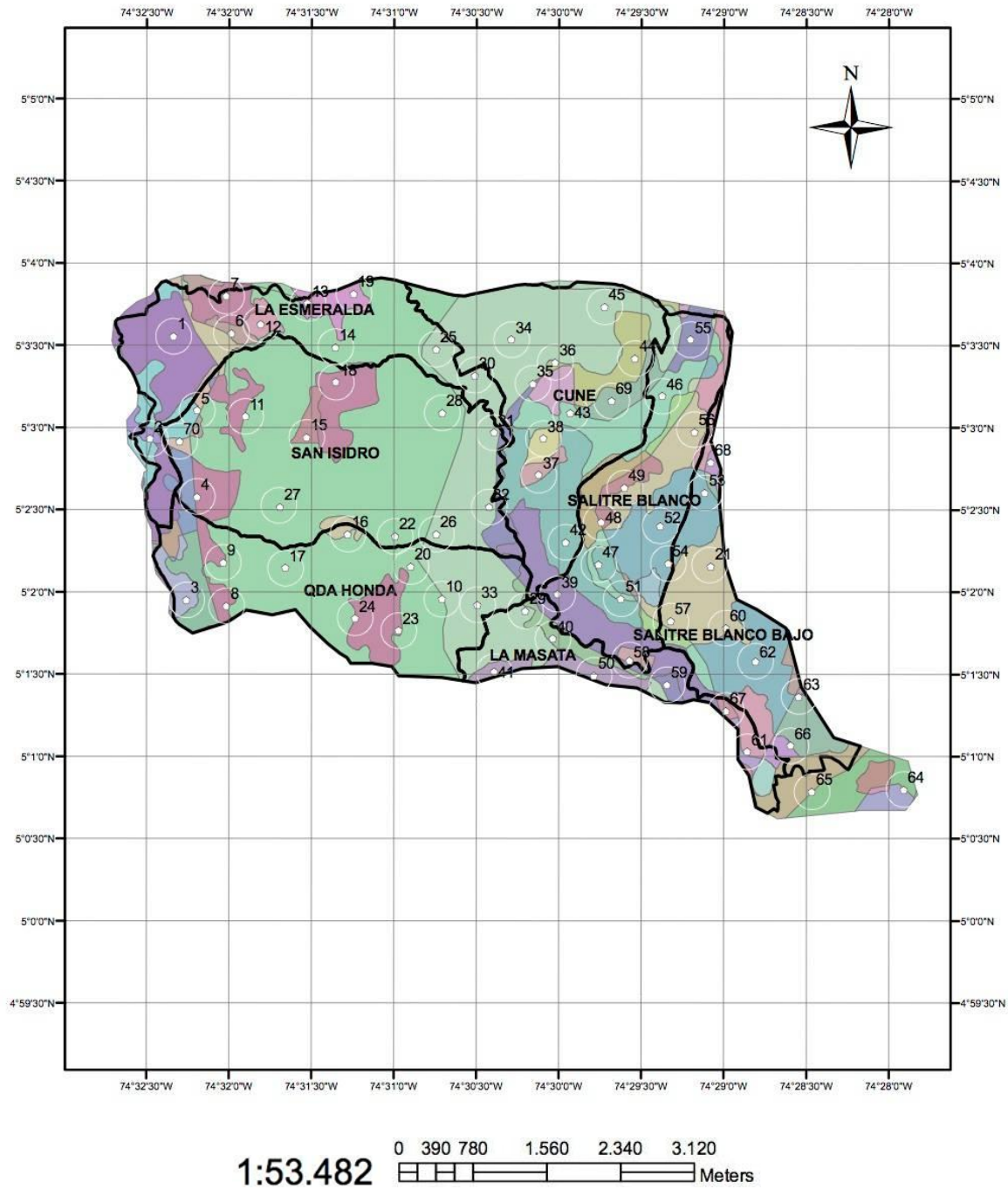
Villota, H. (1997). *Una nueva aproximación a la clasificación fisiográfica del terreno*.

IGAC.

Anexos

Anexo 1. Ubicación de las encuestas realizadas en campo Microcuenca Quebrada

Cune



Fuente: Autores & Bautista, 2015

Anexo 2. Datos estaciones escenarios hidroclimatológicos

Precipitación mensual (mm)														
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total	
Estación Vocacional Pacho														
Húmedo	1989	147,6	200,2	172,2	447,1	190,8	95,9	54,5	57,3	43,5	225,5	376,5	348,4	2359,5
Medio	2009	168	86,4	143,4	264,4	60	27,1	18,7	16,4	75	181	276	46,8	1363,2
Seco	2001	173,7	31,5	82,7	71,9	36,3	70,5	2,7	3,8	36,2	53	117,5	23,4	703,2
Estación Acomodo El														
Húmedo	1989	132,1	92,2	290,6	540,8	300,9	98,7	53,3	26	22,6	261,3	696,4	432,1	2947
Medio	2009	238,8	139,1	88,5	280,5	68,2	111,3	84,6	19,4	160,7	299,4	367,6	114,4	1972,5
Seco	2001	24,5	74,9	50,7	146,7	159,7	69,5	68,8	2	20,5	90	42,2	259,1	1008,6
Estación Agua fría														
Húmedo	1989	65,3	163,5	214,3	467	173,7	96,6	76	51,1	66,8	263,1	208,9	142,2	1988,5
Medio	2009	67,8	51,1	101,2	151,8	163,1	13,9	75,1	78,1	153,7	313	138,4	121,5	1428,7
Seco	2001	72,3	47,1	67,9	111,8	108,2	16,4	17	28,5	20,5	281,5	94	76,6	941,8

Estación Chilagua														
Humedo	1989	115,1	356,1	324,9	598,8	209,3	72,5	48,2	89,8	62,4	249,3	431,9	178,2	2736,5
Medio	2009	127,4	240,6	288,6	146	175,9	25,3	95	93	33,9	318,5	173,4	105,8	1823,4
Seco	2001	64,8	72	99,7	162,2	201,5	67,4	6,3	33,6	125,7	52,4	208,8	144,3	1238,7
Estación Cabrera														
Humedo	1989	183,2	233,7	207,3	499,6	187,7	100,2	63	70,6	50	268,7	312,3	275,9	2452,2
Medio	2009	96,5	118,2	176,9	373,3	42,3	47,6	56,2	31,2	113,1	229,9	160,1	92,4	1537,7
Seco	2001	71,9	150,4	195,1	100,7	40	25,6	7,4	10,6	30,8	138,9	137	67,4	26276,9
Estación Silencio El														
Humedo	1989	378,9	559,4	294,5	310,8	178,5	290,9	31,9	86,1	253,1	391,2	250,1	347,6	3373
Medio	2009	126,4	302,7	127,3	273,4	433,2	30,8	41,7	106,5	84,1	354,3	350,4	225,9	2456,7
Seco	2001	218,3	37,1	149,1	164,6	81,1	173,1	13	8	66,8	196,5	269,2	134,8	19471,4
Estación San Isidro														
Humedo	1989	73	298	384	631	317	57	105	137	91	226	296	195	2810
Medio	2009	43,6	1,6	254,8	5,5	62,1	38,7	33,2	2,3	95,4	413,1	565,4	69	1584,7

Seco	2001	42,5	102,4	33,2	259,8	49,6	4,5	22,7	10,6	2,2	110,7	27,9	12	13565,1
Estación Tuscolo El														
Humedo	1989	141	6	241	184	81	198	106	129	188	229	435	109	2047
Medio	2009	51	142	209	296	38	257	25	73,5	94	202	107	61	1555,5
Seco	2001	55	51	51	164	140	28	32	69	91	58	313	98	1150
Estación Guaduas														
Humedo	1989	77,7	195,8	123,3	403,1	125,4	89,7	73	21,6	57	183	447,6	90,2	1887,4
Medio	2009	11	73	137,3	193,8	201,7	22,4	10,2	153,2	86,4	196,6	138,1	100,2	1323,9
Seco	2001	61,4	47,2	212,2	26,7	176,3	46,9	7,6	14	137,9	44,7	104,8	108,4	988,1
Estación La mesa														
Humedo	1989	185	217,1	256,9	55,7	214,3	42,6	28,8	73,4	138,2	280,6	182,3	159,8	1834,7
Medio	2009	77,4	117,6	324,2	65,9	118,2	64,5	60,5	56,9	81,6	97,3	138,9	92,5	1295,5
Seco	2001	16,5	67,7	102,9	41,3	103,4	0,4	9,4	11,3	108,3	102,4	105,7	135,6	804,9

Fuente: Autores, 2015

Anexo 3. Valores medios mensuales de precipitación en la Estación Vocacional de Pacho, Cundinamarca.

VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mm)												
ESTACIÓN : 2306507 ESC VOCACIONAL PACHO												
Latitud	0510 N	Coord X - N	10616 00	Departamento	CUNDINAMAR CA		Corriente	R. PATASÍ A	Categoría	CP		
Longitud	7412 W	Coord Y- E	98870 0	Municipio	PACHO		Cuenca	R. NEGRO	Fecha Instalación	06/01/1966		
Elevación	1940 m.s.n.m			Oficina Provincial	8 RIONEGRO				Fecha Suspensión			
AÑO	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
1966						136.1	32.9	58.1	46.1	224.1	281.4	244.2
1967	40.4	134.9	142.1	118.1	184.8	109	46.2	19.8	78.2	141.4	207.8	98
1968	110.3	88.9	115.3	232.8	147	149.5	14.1	31.7	120.4	185.4	206.9	122.8
1969	82.1	110.7	42.8	246.1	141.1	84.5	5	27.9	98	221.2	176.1	51.3
1970	101.1	143.1	33.1	100.7	123.8	24.4	34.2	23.7	75.9	357.4	232.7	60.3
1971	229.1	218.1	151.7	164	284.8	16.9	10.9	50	82.7	207.3	194.9	98.5
1972	169.6	49.1	131.4	294.5	116.2	60.3	32.1	89.5	10.4	65.4	172.1	58.7
1973	68.6	33.3	89.6	122.7	77.1	75.9	48.3	56.1	170.1	132.9	311.9	238.6

1974	62.7	236.2	146.7	186.2	52.1	27.1	7.1	60.9	102.4	185.8	338.8	81.1
1975	16.4	195.8	129	180.6	149.2	22.9	104.9	57	55.5	226	143.2	323.5
1976	83.2	149.6	220	161.2	49.4	21.7	6.7	25.2	62.6	246.6	152.4	77
1977	46.8	55.3	136.8	171.1	48.9	63.7	12	28.9	58.3	121	110.4	80.9
1978	33	68.6	186.5	227.2	148.5	18.2	8.5	40.9	34	112.1	170.3	177.5
1979	75.7	36.6	187.6	169.2	82.1	57.3	66.3	121.9	97.8	349.4	194.5	43.4
1980	98	189	76.9	110.9	111.4	52.3	7.3	53.8	56.7	84.1	84.5	90.9
1981	26.1	71.4	83.1	187.9	213.7	69.6	12.4	77.3	11.9	145.8	214.6	110.7
1982	125.2	127.2	154.3	268.3	144.9	33.6	3.2	1.1	71.1	263.3	183.3	161.4
1983	66	110	126.4	187.2	145	23	10.2	6.3	2.9	135.1	119.4	162.4
1984	165.5	77.5	78.1	115.4	125.9	30.3	17.1	69.4	104.1	122.1	243.1	149.7
1985	99.7	9.6	127.1	198.3	138.2	16.4	36	27.2	104.3	256.3	194.6	115.9
1986	198.8	110.6	97.3	140.5	121.5	29	4	11.4	48.8	331.7	145.6	33.1
1987	137.1	53.3	78	203	172	7	13.2	10.3	110.5	221.6	189.7	56.1
1988	91.2	155.2	46.8	207.8	95	141	49.6	100.1	145	184	211.9	197.8
1989	165.8	174.3	309.9	81.9	176.3	16.6	71.8	27.7	163.2	139.5	193.4	111.9
1990	54.7	111.2	175.4	187	84.2	3.5	24	11.4	60.4	264.4	264.9	228
1991	81	114	269.6	238	113	10.2	23.7	15.2	50.7	94.7	228.9	137
1992	55	65	94	98	49.6	11.9	7	30	94.9	24.9	195.5	138.2

1993	109	147	133.1	60	151	7.5	10	6	201	101.1	230.4	173.5
1994	168	86.4	143.4	264.4	60	27.1	18.7	16.4	75	181	276	46.8
1995	16.5	101.4	114.7	26.5	151	68.3	33.6	136.4	141.6	187	181.7	192.9
1996	119.8	79.3	329.1	132.9	158.2	66.1	63.7	54.3	53.5	286.5	100.9	75.6
1997	173.7	31.5	82.7	71.9	36.3	70.5	2.7	3.8	36.2	53	117.5	23.4
1998	12.9	129.6	120.9	112.9	161.2	43.5	23.2	70.2	129.6	131.5	145.3	163.9
1999	212.6	254.3	113.3	159.2	58.9	135.7	9.1	70.4	154.1	252.8	214	210.5
2000	106	207	179.2	73.8	57.3	51.9	54.7	3	165.3	123.1	110.7	57.3
2001	42	51.2	113.9	25.1	73.1	29.4	21.7	4	131.1	191.7	74.2	38.2
2002	37.4	83.6	169	303.2	296.1	27.6	12.3	46.9	24	166.6	53.9	211.4
2003	39.6	113.9	78.8	208	16.9	67.8	30.2	28.2	70.2	208.2	123.9	80.1
2004	86.8	114.2	78.7	146.6	110.1	5.1	31.7	4.269	127.3	236.7	284.1	114.4
2005	115.7	147.5	192.9	170	138.3	59.7	55.9	70.2	154.5	260.8	183.9	236.7
2006	156.6	50.8	162.7	165.6	183.6	49.7	17.5	37	11.1	176.1	321.7	116.3
2007	35.8	40.7	170.4	195.2	91.7	6.9	32.6	56	20.9	344.1	172.5	209
2008	125.6	67.9	127.2	188.3	267.6	57.5	39.4	187.4	97.5	180.6	274.4	100.2
2009	81.9	128	136.7	81.9	24.3	33.7	7.1	17.4	28.9	130.5	18.9	87.5
2010	27.2	33.2	16.8	270.3	169.1	47.6	200.4	60.9	100.9	125.6	414.6	281
2011	147.6	200.2	172.2	447.1	190.8	95.9	54.5	57.3	43.5	225.5	376.5	348.4

2012	184.7	93.5	189.4	170.1	49.8	33.5	55.4	27.5	66.9	283.3	169.9	107
2013	72.5	192.3	135.4	170.5	109.3	22.2	2.7	52.7	36.4	156	348	203.1
2014	149.7	164.4	173	135.1	118.8	6	5.1	7.1				
PROMEDIO S	98.0	112.6	136.7	170.4	124.4	47.5	30.4	43.9	83.1	188.4	199.1	136.0

Fuente: Autores, 2015.

Anexo 4. Valores medios mensuales de precipitación en la Estación La Mesa, Cundinamarca.

CAR- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL												
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mm)												
ESTACIÓN : 2120639 MESA LA												
Latitud	0438 N	Coord X - N	1003360	Departamento	CUNDINAMARCA		Corriente	R. APULO	Categoría	CP		
Longitud	7426 W	Coord Y- E	957190	Municipio	LA MESA		Cuenca	R. APULO	Fecha Instalación	09/01/1985		
Elevación	1300 m.s.n.m	Oficina Provincial	13 TEQUENDAMA		Fecha Suspensión							
AÑO	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
1986	85	185	156	138	135.5	70.5	19	11	75	246.9	206.8	33.1
1987	59.1	32.3	101.7	89.4	186.7	9	71.9	22.4	124.5	248.5	186	81.7
1988	43.7	89.5	37.9	90.7	65	178.4	44.9	273.2	44.2	203.7	378.5	190.2
1989	185	217.1	256.9	55.7	214.3	42.6	28.8	73.4	138.2	280.6	182.3	159.8
1990	57.9	294	216.1	59.7	178.4	40.9	18.3	15.4	28.3	198.3	178.5	168.7
1991	85.5	39.3	156.3	125.5	52.8	45.5	22.7	47.6	160.1	65	216.2	109.9
1992	64	65.8	46.6	35.8	57.6	48.3	25	21	49.8	46.2	209.1	155.2

1993	189	170	55.1	150.3	90.2	22	28.2	20.3	128.8	48.2	238.7	54
1994	101.5	120.7	191.6	232.6	124.9	23.2	21.8	56	45.3	180.1	204.2	35
1995	3.6	73.7	136.9	215.4	109.4	84.4	64.4	178.7	88.6	106	182.2	154.1
1996	150.9	80.6	192.1	77.5	187.7	142.2	83	77.6	64.8	130.2	128.9	141.3
1997	162.4	51.2	186.1	230.6	67.2	43.1	5.9	5.3	95.9	136.1	135.9	57
1998	68.1	140.7	155.2	140.9	138.9	28.9	31.7	49.2	93.5	168.4	120	121.3
1999	181.8	317.5	168	165.4	42.2	82.3	15.9	36.6	91.9	208.1	172.1	145.3
2000	53.9	133.7	198.3	42.2	180.5	68.2	47.9	26.1	147	89.9	98.6	53.8
2001	16.5	67.7	102.9	41.3	106.4	0.4	9.4	11.3	108.3	102.4	105.7	135.6
2002	18.6	76.4	173.4	257	106.7	82.9	31.3	17.8	50.6	207.2	66.4	151.5
2003	16	102.4	135.6	168	10.3	98.2	24.8	15.3	67.9	135.1	172.1	35.2
2004	47.2	78	113.2	209.2	166.1	19.4	37.3	31.6	110.4	157.2	236.5	108.3
2005	101.6	48.7	101.8	61.6	229.6	33.7	35.1	35.6	79.9	104.4	147.2	53.3
2006	82.8	81.1	168.7	207.5	151.5	40.6	9	14.2	39.2	165.3	173.4	135.1
2007	12	12	127.3	122.6	87	51.2	37.1	54.8	61.5	255.7	162.1	162
2008	193.9	128.5	199.6	78	215.5	70.1	50.3	35.5	60	110.4	192.6	151
2009	77.4	117.6	324.2	65.9	118.2	64.5	60.5	56.9	81.6	97.3	138.9	92.5
2010	25.2	6	55.4	355.7	249.3	81.2	128.2	28	62	29.7	331.6	262.3
2011	59.6	192.5	177.2	278.2	197.8	43.1	33.1	44.6	86.7	256.3	212.8	197.3

2012	140.1	132	99.3	226.3	43.8	32.6	60.3	40.8	23.2	165.6	123.5	76.7
2013	83.9	136.5	74.4	158	199.4	24.4	13.9	104.7	31.2	60.7	216.5	114.2
2014	135.7	189.8	85.5	81	189.3	23.8	9.2	8.4				
PROM.	86.3	116.6	144.6	143.4	134.6	55.0	36.9	48.7	79.9	150.1	182.8	119.1

Fuente: Autores, 2015.

Anexo 5. Valores medios mensuales de precipitación en la Estación la Vega, Cundinamarca.

CAR- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL												
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mm)												
ESTACIÓN : 2306516 ACOMODO EL												
Latitud	0501 N	Coord X - N	1046310	Departamento	CUNDINAMARCA		Corriente	R. TABACAL	Categoría	CP		
Longitud	7420 W	Coord Y- E	971945	Municipio	LA VEGA		Cuenca	R. NEGRO	Fecha Instalación	06/01/2000		
Elevación	1150 m.s.n.m			Oficina Provincial	6 GUALIVÁ				Fecha Suspensión			
AÑO	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOS.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.
2000	117.9	289.9	205.6	132.3	183.4	66.4	103.1	43.5	44.9	144.9	126.6	124.5
2001	204.5	187.3	214.1	38.8	150.1	137	77.1	10.9	69	107.1	117.6	89.8
2002	24.5	74.9	50.7	146.7	159.7	69.5	68.8	2	20.5	90	42.2	259.1
2003	238.8	139.1	88.5	280.5	68.2	111.3	84.6	19.4	160.7	299.4	367.6	114.4
2004	182.7	233.6	175.3	300.8	314.1	21.1	85.5	12.7	122.3	269.4	274.7	253.1
2005	291.3	483.7	126.9	133.4	31.2	3.8	12.7	131.5	120.7	333.5	303	255.6
2006	19.9	117.2	242.8	240.3	97.3	120.2	40.2	43	55.1	185.5	474.3	180.3
2007	132.5	61	227.8	225.4	243.1	47.8	40.4	73.5	83.6	249.1	115.9	198

2008	233.1	322.9	227	283	131.3	55.7	83.4	163.2	113.9	304	471.8	293
2009	150.4	197	246.1	207.8	122	68.9	30	35.1	35	231.2	257.2	136.5
2010	36.9	210.8	41.3	249.2	279.6	96	237.5	70.8	192.8	250.2	480.1	248.5
2011	132.1	92.2	290.6	540.8	300.9	98.7	53.3	26	22.6	261.3	696.4	432.1
2012	454.8	257	111.5	361.4	116.5	84.4	52.8	35.5	29.4	230.5	321.1	148.6
2013	259	348.9	253.5	223.4	244.5	54.4	7.9	90.9	47.5	277.2	357.7	151.5
2014	277	263.3	347	88.4	227.6	38.8	21.8	8.9				
PROMEDIO	183.7	218.6	189.9	230.1	178.0	71.6	66.6	51.1	79.9	231.0	314.7	206.1

Fuente: Autores, 2015.

Anexo 6. Valores medios mensuales de precipitación en la Estación de San Isidro, Villeta, Cundinamarca.

CAR- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL												
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mm)												
ESTACIÓN : 2306034 SAN ISIDRO												
Latitud	0503 N	Coord X - N	---	Departamento	CUNDINAMARCA		Corriente	R. CUNE	Categoría	PM		
Longitud	7430 W	Coord Y- E	---	Municipio	VILLETA		Cuenca	R. NEGR O	Fecha Instalación	07/01/1999		
Elevación	1160 m.s.n.m			Oficina Provincial	6 GUALIVÁ				Fecha Suspensión			
AÑO	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOS.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
2003	37.9	96.2	104.9	236.2	48.2	32.7	61.6	25.9	123.5	76.8	150.5	104.7
2004	42.5	102.4	33.2	259.8	49.6	4.5	22.7	10.6	2.2	110.7	27.9	12
2005	58.3	96.6	152.5	237.1	302.2	2.5	37	1.6	7.4	113.8	170.3	23.2
2006	43.6	1.6	254.8	5.5	62.1	38.7	33.2	2.3	95.4	413.1	565.4	69
2007	10.5	36	209	233.3	91.1	13	108	87.8	59.1	474.7	272.4	262.1
2008	119.3	129.3	68.6	170.6	50.3	4.8	36.1	180.6	27.9	43.8	428.2	38.1
2009	87.9	121	387	319	205	44	19	137	52	387	93.1	143.5
2010	20.9	109.7	69	108.3	41.5	19.4	184	176	334	493	767	240

2011	73	298	384	631	317	57	105	137	91	226	296	195
2012	163	94	131	128	63	8	5	11	28	272	169	85
2013	28	121	164	166	348	22	9.3	70	53	170	169.5	248
2014	89.3	117	163.4	71.3	199.1	10.3	18.8	13.9				
PROMEDIO	64.5	110.2	176.8	213.8	148.1	21.4	53.3	71.1	79.4	252.8	282.7	129.1

Fuente: Autores, 2015.

Anexo 7. Valores medios mensuales de precipitación en la Estación Agua fría, Quebrada negra.

CAR- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL												
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mm)												
ESTACIÓN : 2306033 AGUA FRÍA												
Latitud	0506 N	Coord X - N	1056980	Departamento	CUNDINAMARCA		Corriente	R. CHARCÓN	Categoría	PM		
Longitud	7428 W	Coord Y- E	957820	Municipio	QUEBRADANEGRA		Cuenca	R. TOBIA	Fecha Instalación	01/05/1995		
Elevación	750 m.s.n.m	Oficina Provincial	6 GUALIVÁ		Fecha Suspensión							
AÑO	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCT.	NOV.	DIC.
1995	13.3	49.5	118.4	212.9	33.6	78.7	89.5	145.2	149	270.7	82.7	150.7
1997	165.3	73.8	74.5	257.2	101.1	60.3	82.1	5.7	26.4	197.6	230.7	22.6
1998	73.9	87.2	163.4	124.4	181.9	20.7	38.6	72	119.2	142.2	192.1	136
1999	77.2	236.5	105.8	132.1	218.9	89.3	49.1	80.8	175.1	279	195.2	145.1
2000	59.9	102.9	151.5	171.5	185.5	96.7	42.1	58.5	289.5	94.1	107.8	68.5
2001	170.1	66.3	205	64.4	189.9	83.2	30	26.5	208	132.5	232.4	125.2
2002	41	81.2	61	240.8	127.3	24.9	113.9	71.3	112.3	125.9	53.9	187.2
2003	28.7	60.8	89.7	139.4	22.8	106.7	59.6	54.1	129	215	142.1	54

2005	67.8	51.1	101.2	151.8	163.1	13.9	75.1	78.1	153.7	313	138.4	121.5
2006	45.5	91.2	297.4	194.6	119.4	103	11.3	46.5	56.5	174.2	281.5	197.3
2007	43.9	8	188.8	350.1	178.1	41.1	88	86.4	68.9	460.3	181.8	161.9
2008	139.1	112.6	153.2	114.2	298.4	63.5	98.2	225.4	63.9	132.6	218.8	85
2009	175.9	69.9	187.8	167.3	138.6	57.9	16.5	118.5	29.1	163	108.2	133.6
2010	53	155.5	139.2	169.1	312.2	41.2	78.3	86.1	86.9	202.9	259.3	90.5
2011	65.3	163.5	214.3	467	173.7	96.6	76	51.1	66.8	263.1	208.9	142.2
2012	72.3	47.1	67.9	111.8	108.2	16.4	17	28.5	20.5	281.5	94	76.6
2013	29.6	86.8	110	259.2	251.8	14.6	9.2	43.2	74.5	275.9	81.3	142.2
2014	193.3	83.2	171.6	140.6	210.6	95.1	16.5	11.2				
PROMEDIO	84.2	90.4	144.5	192.7	167.5	61.3	55.1	71.6	107.6	219.0	165.2	120.0

Fuente: Autores, 2015.

Anexo 8. Valores medios mensuales de precipitación en la Estación de Tuscolo, Guaduas, Cundinamarca.

IDEAM - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES												
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mm)												
ESTACION : 23060140 TUSCOLO EL												
Latitud	0503 N	Coord X - N	---	Departamento	CUNDINAMARCA		Corriente	R. NEGR O	Categoría	PM		
Longitud	7436 W	Coord Y - E	---	Municipio	GUASCA		Cuenca	R. NEGR O	Fecha Instalación	01/02/1971		
Elevación	975 m.s.n.m	Oficina Provincial	11 BOGOTÁ		Fecha Suspensión							
AÑO	ENERO	FEBR.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
1971			257	155	252	99	70	83	194	300	138	112
1972	71	99	257	251	178	78	83	122	50	147	290	89
1973	141	6	241	184	81	198	106	129	188	229	435	109
1974	153	100	106	273	116	112	37	66	146	333	257	53
1975	13	155	190	128	267	47	230	88	174	213	215	131
1976	52	109	181	294	123	56	6	20	88	326	121	54
1977	45	39	52	122	63	88	40	40	146	300	196	39
1978	54	126	240	302	341	57	57	34	140	164	225	181

1979	59	71	146	259	277	89	60	217	112	173	184	42
1980	38	63	33	195	109	49	16	44	217	185	143	114
1981	55	111	66	239	244	119	89	79	41	260	231	89
1982	51	142	209	296	38	257	25		94	202	107	61
1983	18	32	147	321	181	23	31	9	26	208	113	245
1984	35	161	116	272	268	110	112	82	238	194	309	47
1985	12	18	218	162	94	29.4	6	103	198	336	86	80.4
1986	256.8	120.6	133	100.7	163.4	57.7	16.7	31.8	182.2	350.9	194.8	70.6
1987	66.7	210	105.1	177.2	191.5	4.3	132.7	22.7	129.9	344.5	185.2	85.6
1988	55.3	195.1	77	155	120	140	79	212.1	134.8	170.6	355.6	168.9
1989	64.3	197	274.4	100.1	203	98	30	90	230	260	115	50
1990	60	180	275	270	190	60	25	40	147	427.6	86	50
1991	25	90	169	160	248	122	23	45	131	248	179	95
1992	55	51	51	164	140	28	32	69	91	58	313	98
1993	106	84	230	284	219	22	4	10	218.2	112.7	172.2	75.7
1994	26	135.8	263.8	170.7	184.7	71.4	14.1	8.3	39.6	243.8	190	50.3
1995	13.7	36.7	87.8	204.4	205.8	85.4	54	186	130.5	209	132.4	160.4
1996	37.3	125.1	257.8	173.6	241.4	68.3	51	104.4	48.4	311.5	108.3	115.6
1997	173.6	120.9	26.5	323.2	120.7	83.7	9.2	1.3	129.9	253.1	154.9	63.4

1998	37.4	51.8	131.1	235.4	210.1	10.2	54.3	75.3	142.3	193.8	330.4	239.7
1999	120.1	187	144.2	243.5	91.9	159.1	10.6	113.5	342.4	259.1	183.7	73.1
2000	37	220.2	172.4	137.7	124.5	73.5	36.9	43.4	140.7	240.4	28.7	175.2
2001	71.8	53.3	275	72	141.3	28.5	19.7	12.7	72	80.3	277.1	181.6
2002	24.1	32.4	153.1	230.2	208.7	71.7	51	21.9	113.7	76.6	50.7	242.9
2003	52.3	59.4	109.8	338.7	33.9	144	51	65	127.6	206.8	175.1	47.3
2004	36.6	87.1	71.3	337.7	262.2	9.2	72.4	12.8	158.1	352.1	260.5	115.6
2005	51.7	70.2	111.2	153.7	200.1	16	73.3	61.7	135.8	391.5	177	142.4
2006	82.9	45.1	252.3	198.9	106.9	135.2	19.5	53.1	53.4	203.1	282.7	247.2
2007	62	13.6	196.8	215.7	81.9	17.3	173.6	53.1	44.8	470.8	100	135.1
2008	142.4	148.6	35.1	183.3	271.1	29.4	143.5	237.6	53	210.9	302.4	107.6
2009	123.3	156.3	166.4	90.8	124.3	42.1	21.5	106.6	11.6	274.5	169.7	85.7
2010	9.2	81	118.6	362.6	276	111.3	180.7	70.9	123.7	147	241.1	147
2011	72.4	129.9	169.2	491	104.7	118.6	51.2	45.8	79.7	216.2	464.3	93.9
2012	158.7	129.1	91.6	268.5	101.7	33.6	6.7	17.5	31.4	289.1	167.8	48.8
2013	18.9	75.5	157.3	153.2	247.5	48.1	8.1	225.1	160.5	188.1	146.4	240.9
2014	45	125.2	118.8	139.6	218.7	36.3	14.4	9.1				
PROM.	67.0	103.3	156.4	217.9	174.2	75.8	55.2	73.5	126.9	240.9	199.9	112.9

Fuente: Autores, 2015.

Anexo 9. Valores medios mensuales de precipitación en la Estación de Cabrera, Pacho, Cundinamarca.

IDEAM - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES												
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mm)												
ESTACION : 23065120 CABRERA LA												
Latitud	0508 N	Coord X - N	---	Departamento	CUNDINAMARC A		Corriente	R. NEGR O	Categoría	CO		
Longitud	7408 W	Coord Y- E	---	Municipio	PACHO		Cuenca	R. NEGR O	Fecha Instalación	01/09/1974		
Elevación	2000 m.s.n.m			Oficina Provincial	11 BOGOTÁ				Fecha Suspensión			
AÑO	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOS.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
1974	163.4	190.2	139.6	231.2	74.8	46.8	18.8	57.3	142.3	121.6	327.9	98.8
1975	30.6	176.6	110.3	188.4	158.6	21	165.8	62.7	90.1	164.1	203.6	320.5
1976	75.2	193	219.1	219.1	55.1	29.5	9.7	14.2	84.5	193.1	161.2	118.8
1977	98.4	23	150.3	178.8	66.2	79.5	15.2	50.3	130.6	161.6	156.3	67.2
1978	28.1	40.6	134.7	238.3	167.2	49.9	22.1	44.3	52.7	245.5	254.9	170
1979	81.7	55.5	267.6	216.5	116.7	84.9	74.1	150	123.5	431.1	247.8	128.3
1980	59.9	223.2	126.5	111.5	79.8	50.4	17.5	79.5	107.5	144.8	107.5	115.9

1981	63.6	72.8	142.3	205.7	262.7	76.4	20.4	71.4	23.4	197.6	232.5	136
1982	126.5	174.7	210.2	173	95.1	3.3	11.9	1.5	68.7	325.1	217.3	140.9
1983	91.3	88.4	195.3	220.1	311	26.5	7	10.9	2.1	171.2	145.7	160.5
1984	244.5	184.1	81.4	181.5	253.2	37.6	35.4	128.1	133.1	129.3	213.1	197.2
1985	124.3	11.4	120.2	262	171.8	18.9	45.1	40.8	128.6	325.7	207.8	139.6
1986	139.6	163.6	93.2	246.7	95.9	56.3	8	4.8	89.5	359.2	174	29.7
1987	127.3	37.2	85.3	191.7	208.6	8.8	33.4	16.9	128.2	302.5	201.7	85.2
1988	86.1	183.4	42.8	213	82.8	118.8	52.5	117.6	126.8	263.9	238.9	256.7
1989	174	188.2	187.4	96.4	220.9	38.1	89.6	18.6	120.5	189.5	148.7	147.7
1990	113.5	106.4	170.4	208.5	77.6	4.7	21.7	11.3	71.6	293.8	62.5	12.9
1991	88.9	60.7	186.4	228.1	94.3	24.5	23.9	19.6	60.9	112.6	209.7	149.6
1992	99.3	116.4	67.6	175.6	70.8	11.5	26.4	32.7	60.5	37.2	241.7	140.8
1993	113.4	149.9	117.1	120.7	191.1	8.3	20.4	10.7	148.8	130.7	284.5	157.4
1994	158.4	89.2	167.8	206.8	65.4	49.3	19.4	13.1	64.6	197.8	297.2	87.1
1995	30.7	212.7	189.8	185.6	127.8	56.5	65	165	148.7	182.9	175.4	149
1996	209.8	143.6	304.5	150.3	202.5	98.5	76.6	72.5	55.6	339.3	108.1	105
1997	289.5	60.6	111.1	189.5	99.2	146.7	6.8	3.7	73.6	91.6	242.3	31.3
1998	15.6	146.6	160.7	128.7	249.8	30.3	35.2	118.3	127.9	172.1	309.7	198.5
1999	218.7	208.2	126.2	175.4	49.3	109.7	19.4	82.1	197	227.6	199.1	146

2000	91.1	170.8	238.7	78.2	148.8	57	75	11.7	176.7	138.5	102.2	71.7
2001	66.6	122	101.5	30.2	123.8	43.3	25	9.6	131	268.3	156	128.8
2002	19	70.9	145.3	324.1	188	62	30.3	38.5	116.2	179.6	110.1	189.9
2003	96.5	118.2	176.9	373.3	42.3	47.6	56.2	31.2	113.1	229.9	160.1	92.4
2004	101.9	59.2	180.4	164.1	109	5.4	40.8	3.4	178	267.1	284.4	83.3
2005	53.4	58.9	97	123.1	99.5	3	20.2	18.8	101.1	329	135.3	153.1
2006	207.8	51.6	244.5	254	149.4	49.4	11.1	24.4	25.6	176.4	280.1	155.4
2007	73.5	33.5	142	238.7	87.9	38.7	60.6	74.3	26.5	315	198.6	174.8
2008	159.8	210.8	158.5	170.7	227.9	38.5	65.1	191.3	94.9	193	243.1	125.7
2009	71.9	150.4	195.1	100.7	40	25.6	7.4	10.6	30.8	138.9	137	67.4
2010	49.5	57.6	29	320.5	184.2	75.7	231.2	88.2	180	163.5	431	209.6
2011	183.2	233.7	207.3	499.6	187.7	100.2	63	70.6	50	268.7	312.3	275.9
2012	223.7	156.4	188.6	229.4	64.2	25.1	50.3	29.6	71.5	294.4	161.4	95.6
2013	91.6	238.6	116.5	178	173.3	16.1	5.3	44.6	46.3	165.2	274.5	212.6
PROM.	113.5	125.8	153.2	200.7	136.9	46.9	42.1	51.1	97.6	216.0	208.9	138.2

Fuente: Autores, 2015.

Anexo 10. Valores medios mensuales de precipitación en la Estación El Silencio, Sasaima, Cundinamarca.

IDEAM - INSTITUTO DE HIDROLOGIA, METEOROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES												
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mm)												
23060290 SILENCIO EL												
Latitud	0458 N	Coord X - N	---	Departamento	CUNDINAMAR CA		Corriente	R. NEGRO	Categoría	PM		
Longitud	7424 W	Coord Y- E	---	Municipio	SASAIMA		Cuenca	R. NEGRO	Fecha Instalación	01/03/198 6		
Elevación	1425 m.s.n.m			Oficina Provincial	11 BOGOTÁ				Fecha Suspensión			
AÑO	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
1986	278.2	311.4	162.7	444.7	247.1	88.3	9.3	49.7	191.8	269.4	314.2	123
1987	187.7	29.8	85.5	249.2	296.6	22.4	112.9	53.4	232.9	601.8	276.9	191.8
1988	231.9	352	48	337.5	163.4	170.9	95.6	210.9	148.4	325.6	518.5	249.6
1989	218.1	268.9	325.7	202.5	257.2	81.8	37.1	87.2	130.6	294.2	159.8	156
1990	242.5	203	459.5	359.7	218.9	36.9	71.9	90.4	179.4	303.7	341.3	279.6
1991	169.5	219.9	423.9	315.6	263.3	121.7	27.1	36.8	257	228.3	342.6	360
1992	231.8	128.3	80.8	136.3	268.1	32	44.9	52.3	151.8	106.7	305.9	269.8
1993	104.8	448.8	233.8	215.9	218.8	15.3	38.7	28.2	156	205.6	417.5	272.9

1994	457.7	291	233.1	299.7	119.1	75.4	22.8	11.4	88.5	481.2	597.2	106.2
1995	134.3	264.4	200.1	418.1	101.4	140.3	119.3	270.9	145.8	261.7	191.3	417.3
1996	115.1	334.3	253.1	178.6	214	133.2	64.8	87.5	59.7	389.8	140.7	137.9
1997	218.3	37.1	149.1	164.6	81.1	173.1	13	8	66.8	196.5	269.2	134.8
1998	147.3	345	283.2	250	172.5	36.1	60.1	69	226.4	367.5	225.4	105.6
1999	378.9	559.4	294.5	310.8	178.5	290.9	31.9	86.1	253.1	391.2	250.1	347.6
2000	174.7	221.7	355.3	244.8	179.1	77.4	98	55.2	223.8	246.4	172.4	109.9
2001	306.1	149.9	115.2	97	214.2	124.9	60.6	12	140.7	293.9	318.1	221.3
2002	41.2	272	303.7	346.8	159.2	54.2	64.7	140.1	72.2	137.1	96.1	294
2003	174.2	103.6	143.1	254.9	30.2	217.2	42.9	28	101	244.8	415.4	90.2
2004	159.8	247.1	94.2	288.7	315.2	11.5	62.5	8.5	105.2	340.3	401.5	119
2005	210	388.9	261.7	245.8	471.2	30.7	55.8	148.3	105	527.1	369.5	241.7
2006	232.3	119.2	372.9	485.9	254.8	189.3	39.8	18.5	39.9	241.8	527	296.2
2007	135.8	132.3	250.4	474.1	230.3	51.5	127.8	154.3	39.7	430.7	405.5	481.5
2008	250.9	247.9	242.6	245.5	410.8	208.6	93.9	281.5	139.5	300	416.5	222.8
2009	332.3	317.2	492.5	347.9	345.5	161.9	79.1	104.7	21.5	407.4	236.2	234
2010	79.9	185.4	139.6	297.8	259.3	159	205.1	67.5	173.7	395.7	440	303
2011	131.3	228.8	409.4	273.9	239.4	90.6	106.5	59	51.7	273.1	610.6	461.8
2012	300.8	188.8	231.7	268.3	131.4	25.9	17.8	30	29.7	174	177	29

2013	126.4	302.7	127.3	273.4	433.2	30.8	41.7	106.5	84.1	354.3	350.4	225.9
2014	324	333.8	418.4	129.2	296.5	75	22.8	15.5	74.9	358.6		
PROMEDIO	210.2	249.4	248.0	281.3	233.5	100.9	64.4	81.8	127.3	315.5	331.7	231.5

Fuente: Autores, 2015.

Anexo 11. Valores medios mensuales de precipitación en la Estación de Guaduas, Cundinamarca.

CAR- CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL												
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mm)												
ESTACIÓN : 2306517 GUADUAS												
Latitud	0403 N	Coord X - N	1015420	Departamento		CUNDINAMARCA		Corriente	R. GUADERO	Categoría		CP
Longitud	7436 W	Coord Y- E	942300	Municipio		GUADUAS		Cuenca	R. NEGRO	Fecha Instalación		12/01/1999
Elevación	1000 m.s.n.m			Oficina Provincial		4 BAJO MAGDALENA				Fecha Suspensión		
AÑO	ENERO	FEB.	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST.	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.
2000	42.7	118.1	152.4	119.4	159.4	49.1	64.6	57.6	30.7	153.5	48.6	80.8
2001	61.4	47.2	212.2	26.7	176.3	46.9	7.6	14	137.9	44.7	104.8	108.4
2002	14.4	37.1	141.1	244.2	151.2	62.2	65.2	17.7	84.3	114.3	56	143
2003	31.5	46.8	80.7	245.8	23.4	86.7	77.9	23.2	94.3	164.8	203.7	93.4
2004	43.3	70	66.7	342.9	222.1	150.1	28.8	5.6	94.8	246.1	202.7	63.5
2005	61	44.8	92	30.9	232.4	53.6	170.3	203.8	3.8	86.2	41.7	1.2
2006	15.4	47.9	199.4	91.3	76.4	7.5	30.2	67.1	69.1	111.8	314.5	98
2007	101.4	8.2	196.4	212.3	91.7	17.5	156.8	80.5	55	602.6	95.4	97.7

2008	152.6	109.4	62.5	139.8	35.3	25.8	132.6	186.8	61.5	217.5	382.8	56.1
2009	77.3	43	167.4	100.6	138.2	55.3	21.1	96.7	14.5	230.7	139	98.3
2010	8.5	104.4	119.6	299.7	239.4	64	142.4	57.1	78.8	168.2	307.1	118.4
2011	77.7	195.8	123.3	403.1	125.4	89.7	73	21.6	57	183	447.6	90.2
2012	150.8	103.6	83.2	176.2	63.7	32.9	7.6	35.2	30.1	327.6	148.9	23.4
2013	11	73	137.3	193.8	201.7	22.4	10.2	153.2	86.4	196.6	138.1	100.2
2014	64.3	23.2	85.2	120	166.5	27.9	19	11.4				
PROMEDIO	60.9	71.5	128.0	183.1	140.2	52.8	67.2	68.8	64.2	203.4	187.9	83.8

Fuente; Autores, 2015.

Anexo 12. Valores medios de las precipitaciones medias mensuales de las Estaciones.

Estación	Mpio	Elevación	Longitud (w)	Latitud (N)	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY	JUN.	JUL.	AGO	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	TOT.
2306517 GUADUAS	GUADUAS	1000	-74.59797222	5.0565	60.9	71.5	128.0	183.1	140.2	52.8	67.2	68.8	64.2	203.4	187.9	83.8	1311.6
23060140 TUSCOLO EL	GUADUAS	975	-74	5	67.0	103.3	156.4	217.9	174.2	75.8	55.2	73.5	126.9	240.9	199.9	112.9	1604.0
2306516 ACOMODO EL	LA VEGA	1150	-74.30966667	5.017666667	183.7	218.6	189.9	230.1	178.0	71.6	66.6	51.1	79.9	231.0	314.7	206.1	2021.2
2306507 ESC VOCACION AL PACHO	PACHO	1940	-74.12888889	5.158638889	98.0	112.6	136.7	170.4	124.4	47.5	30.4	43.9	83.1	188.4	199.1	136.0	1370.4
23065120 CABRERA LA	PACHO	2000	-74	5	113.5	125.8	153.2	200.7	136.9	46.9	42.1	51.1	97.6	216.0	208.9	138.2	1530.8
2306034 SAN ISIDRO	VILLETA	1160	-74.50636111	5.049555556	64.5	110.2	176.8	213.8	148.1	21.4	53.3	71.1	79.4	252.8	282.7	129.1	1603.4
23060290 SILENCIO EL	SASAIMA	1425	-74	4	210.2	249.4	248.0	281.3	233.5	100.9	64.4	81.8	127.3	315.5	331.7	231.5	2475.3
2306026 CHILAGUA	NOCAIMA	1500	-74	5	135.1	174.5	187.1	231.4	168.9	67.7	65.1	64.1	108.9	234.8	237.5	157.9	1833.1
2306033 AGUA FINA	QUEBRADA NEGRA	750	-74.52166667	5.102222222	84.2	90.4	144.5	192.7	167.5	61.3	55.1	71.6	107.6	219.0	165.2	120.0	1479.1

2120639 MESA LA	LA MESA	1300	- 74.48177 778	4.624611 111	86.3	116.6	144.6	143.4	134.6	55.0	36.9	48.7	79.9	150.1	182.8	119.1	1298.0
----------------------------------	------------	------	----------------------	-----------------	------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	-------	-------	-------	--------

Fuente: Autores, 2015.

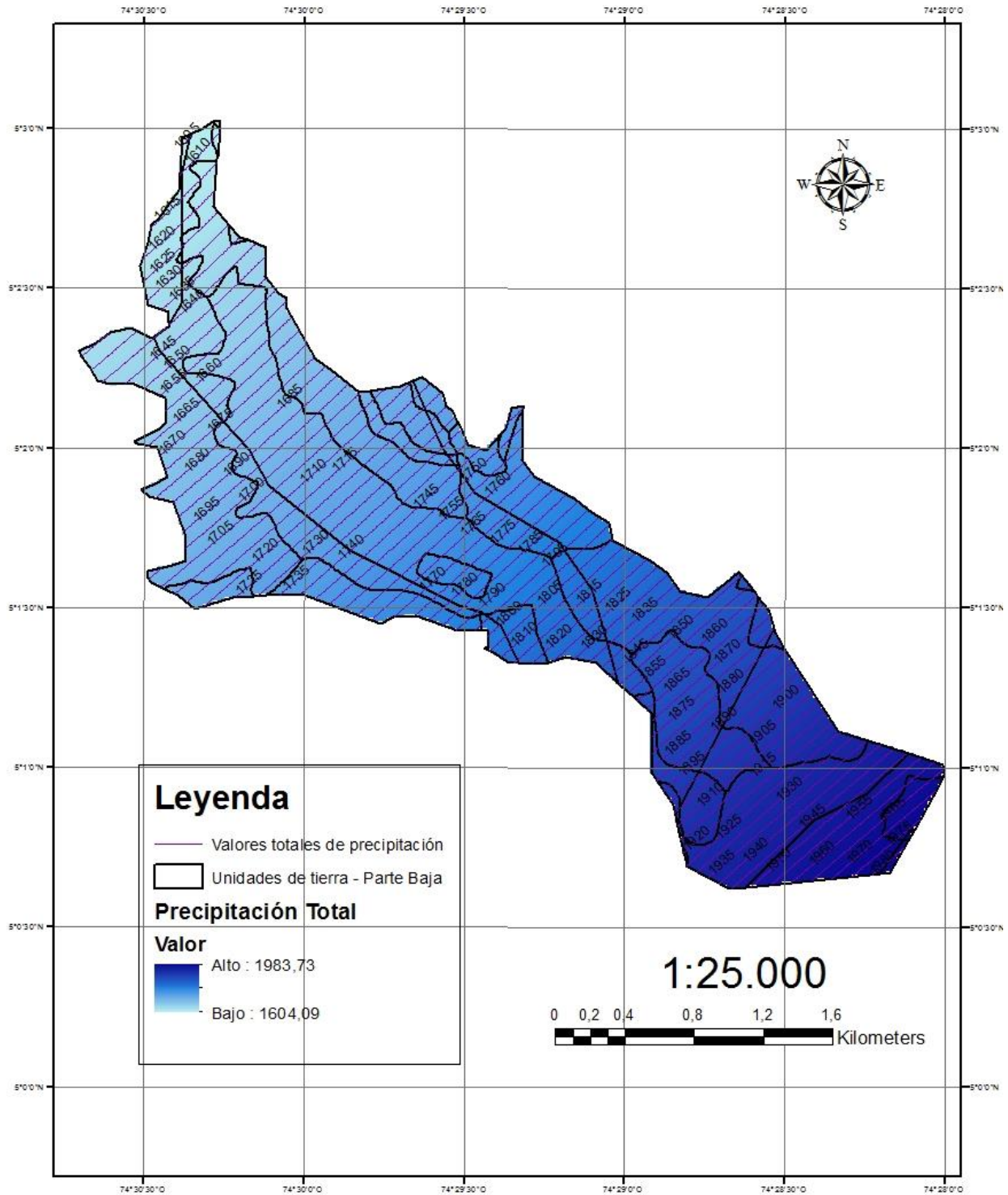
Anexo 13. Valores de precipitación por polígonos de la parte baja de la microcuenca.

Unidades de Tierra	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPT.	OCT.	NOV.	DIC.	TOT.
MQVf - ae	81.0	132.5	192.7	227.4	157.4	26.5	54.4	73.1	84.0	267.7	305.0	144.1	1746.0
MQVe - em	105.0	157.7	208.0	241.5	172.1	38.8	56.4	75.9	91.3	282.6	320.3	161.9	1911.7
MQVf - em	101.0	153.6	205.7	239.3	169.6	36.6	56.1	75.4	90.0	280.4	318.4	159.0	1885.1
MQKd - gp	83.9	136.3	195.6	229.9	159.1	27.4	54.8	73.7	83.4	271.1	311.5	146.7	1773.6
MQKd - gp	66.9	115.0	180.9	217.1	149.2	21.0	53.5	71.5	79.1	256.8	291.1	132.2	1634.4
MQVe - zuc	109.3	161.5	209.8	243.3	174.7	41.5	56.7	76.2	93.7	283.7	319.2	164.6	1934.2
MVNa - zuc	113.9	165.7	211.8	245.3	177.4	44.3	57.0	76.5	95.8	285.4	319.2	167.6	1960.0
ZU - zuc	117.5	169.0	213.5	246.9	179.6	46.5	57.3	76.8	97.4	286.8	319.6	170.0	1980.7
MQKd - mcm	72.0	121.5	185.4	221.1	152.1	22.8	54.0	72.2	79.6	261.5	298.6	136.4	1677.4
MQVe - mcm	71.1	121.3	185.8	221.3	151.3	21.8	54.3	72.3	77.6	262.4	302.6	135.9	1678.0
MQKd - pr	77.1	128.3	190.2	225.1	155.0	24.5	54.2	72.7	81.9	265.7	304.0	141.2	1720.1
MQVf - pr	79.2	130.3	191.2	226.1	156.3	25.8	54.2	72.9	83.6	266.2	302.9	142.6	1731.4
MQKd - pr	90.4	142.7	199.1	233.2	163.0	31.1	55.2	74.2	86.8	273.8	311.8	151.2	1812.7
MQVe - pr	105.6	157.5	207.1	240.9	172.3	39.8	56.3	75.6	93.4	280.7	314.9	161.7	1905.7
MQVf - pr	95.7	147.7	201.6	235.7	166.2	34.3	55.5	74.6	89.6	275.7	311.6	154.7	1843.0
MQKd - bs	84.5	136.5	195.4	229.8	159.5	28.1	54.7	73.6	84.7	270.4	308.8	146.9	1773.0

MQVf - bs	85.2	136.9	195.4	229.9	159.9	28.7	54.7	73.5	85.6	270.1	307.2	147.2	1774.3
MQKd - pn	72.3	122.2	186.1	221.5	152.2	22.7	53.9	72.2	80.2	261.9	299.1	137.0	1681.5
MQVe - pn	65.8	113.7	180.1	216.4	148.5	20.5	53.6	71.5	77.9	256.4	291.6	131.1	1627.2
MQVf - pn	80.6	132.1	192.6	227.3	157.1	26.2	54.4	73.1	83.4	267.8	305.9	143.9	1744.5
MQKd - pn	77.0	128.0	190.0	224.9	154.9	24.5	54.1	72.7	82.1	265.4	303.2	141.0	1718.0
MQVf - pn	78.9	130.2	191.3	226.1	156.1	25.5	54.3	72.9	83.0	266.5	304.2	142.5	1731.6
MQVe - pn	102.0	153.6	204.6	238.6	169.9	38.1	56.0	75.1	92.7	278.0	311.5	158.8	1878.9
MQVf - pn	100.3	152.0	203.6	237.7	168.9	37.2	55.9	74.9	92.1	277.1	310.7	157.6	1868.0
MQVe - pn	79.7	132.0	193.2	227.8	156.5	25.1	54.8	73.4	80.3	269.5	312.1	143.4	1748.0
MVNa - pn	116.1	167.4	212.3	245.9	178.6	45.9	57.2	76.5	97.5	285.2	317.0	168.7	1968.4
ZU - pn	117.3	168.7	213.1	246.6	179.4	46.5	57.3	76.7	97.6	286.2	318.3	169.7	1977.4
MQKd - pr	65.3	111.1	177.3	214.2	148.6	21.8	53.2	71.1	80.3	253.1	282.3	129.8	1608.3
MQVe - ra	104.4	156.7	207.1	240.8	171.6	38.7	56.3	75.7	91.9	281.3	317.6	161.2	1903.5
MQVf - ra	99.5	151.8	204.4	238.2	168.6	36.0	55.9	75.1	90.2	278.7	315.6	157.7	1871.7
MQKd - zud	78.1	129.6	191.2	226.0	155.6	24.9	54.4	73.0	81.4	267.0	306.5	141.9	1729.8
MQVe - zud	77.8	129.6	191.5	226.3	155.3	24.4	54.6	73.1	80.1	267.7	309.2	141.8	1731.5
MQVe - zud	96.9	149.4	203.2	237.0	167.0	34.4	55.7	74.9	88.8	277.8	315.8	156.0	1857.2

Fuente: Autores, 2015.

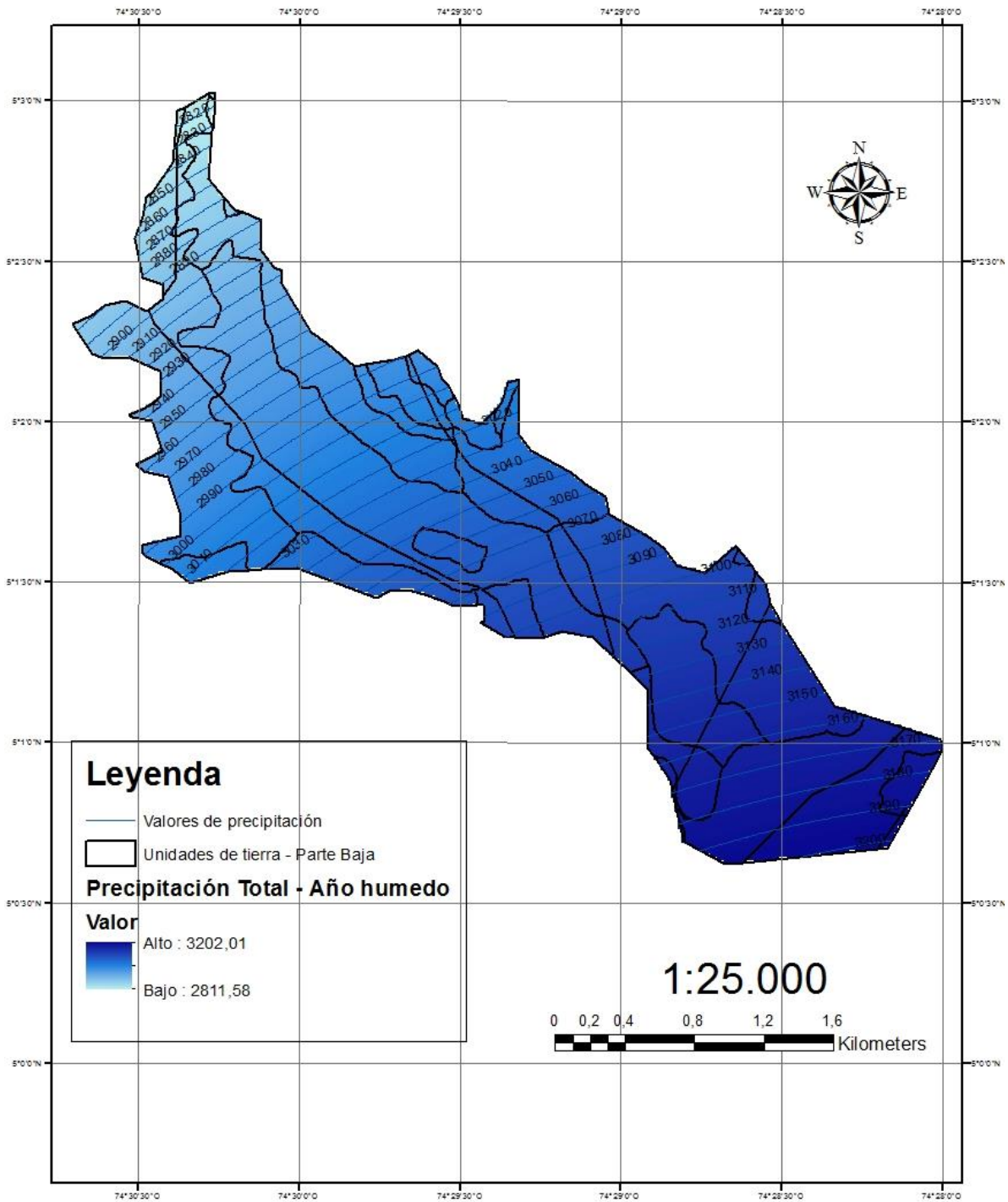
Anexo 14. Precipitaciones totales – Parte Baja de la microcuenca Quebrada Cune.



Fuente: Autores, 2015

Anexo 15. Precipitaciones totales para Año Húmedo – Parte Baja de la microcuenca

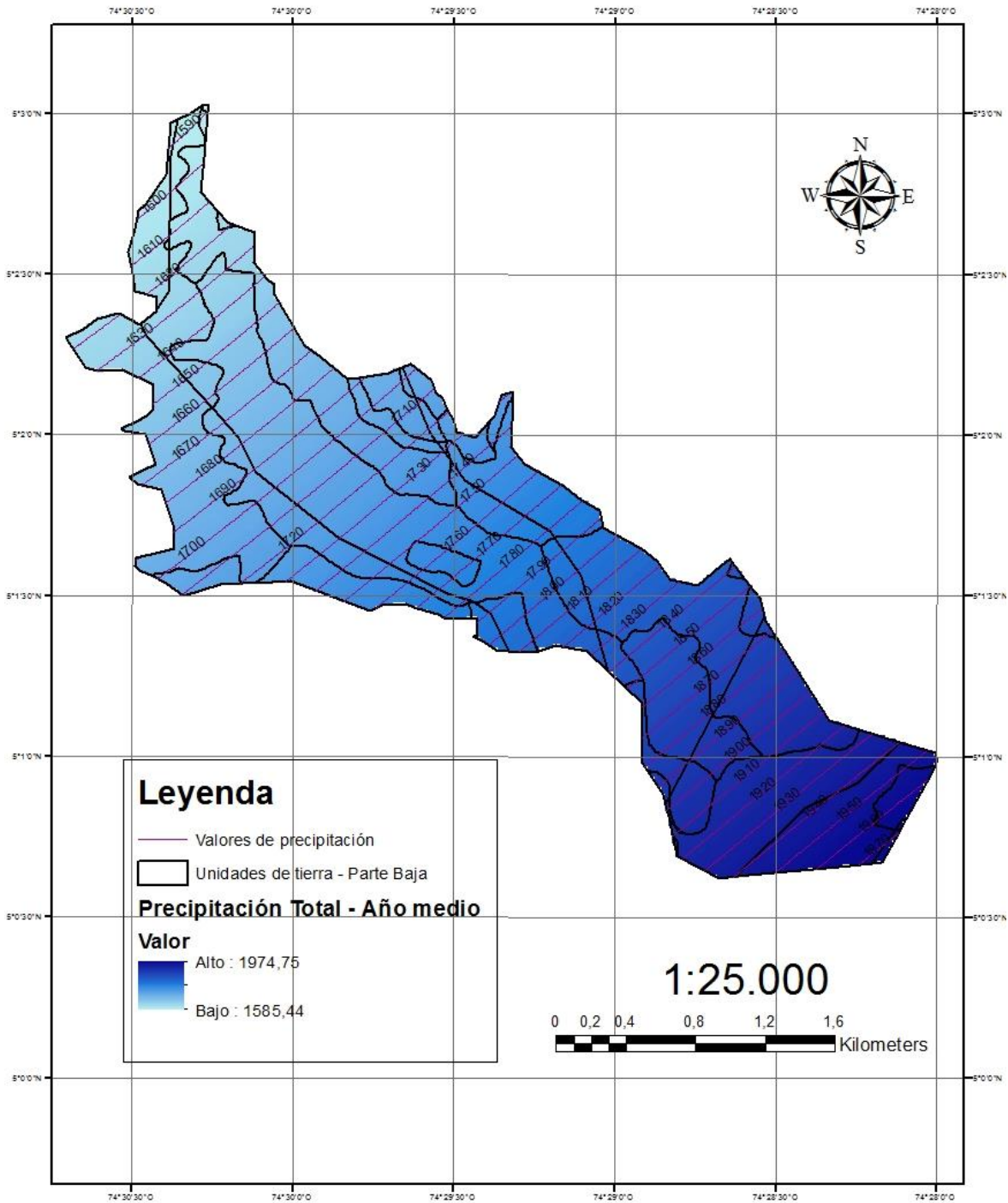
Quebrada Cune.



Fuente: Autores, 2015

Anexo 16. Precipitaciones totales para Año Medio – Parte Baja de la microcuenca

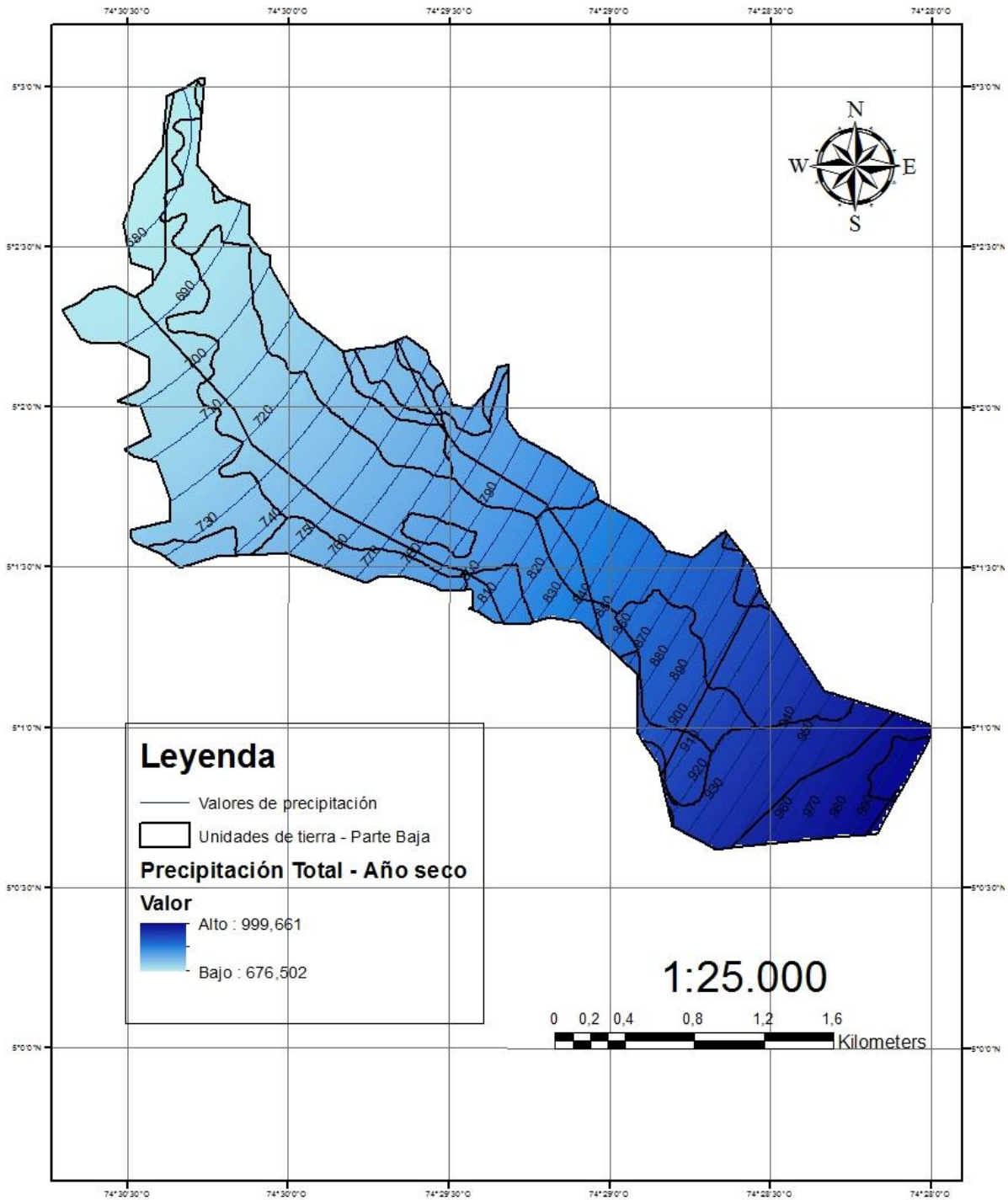
Quebrada Cune.



Fuente: Autores, 2015

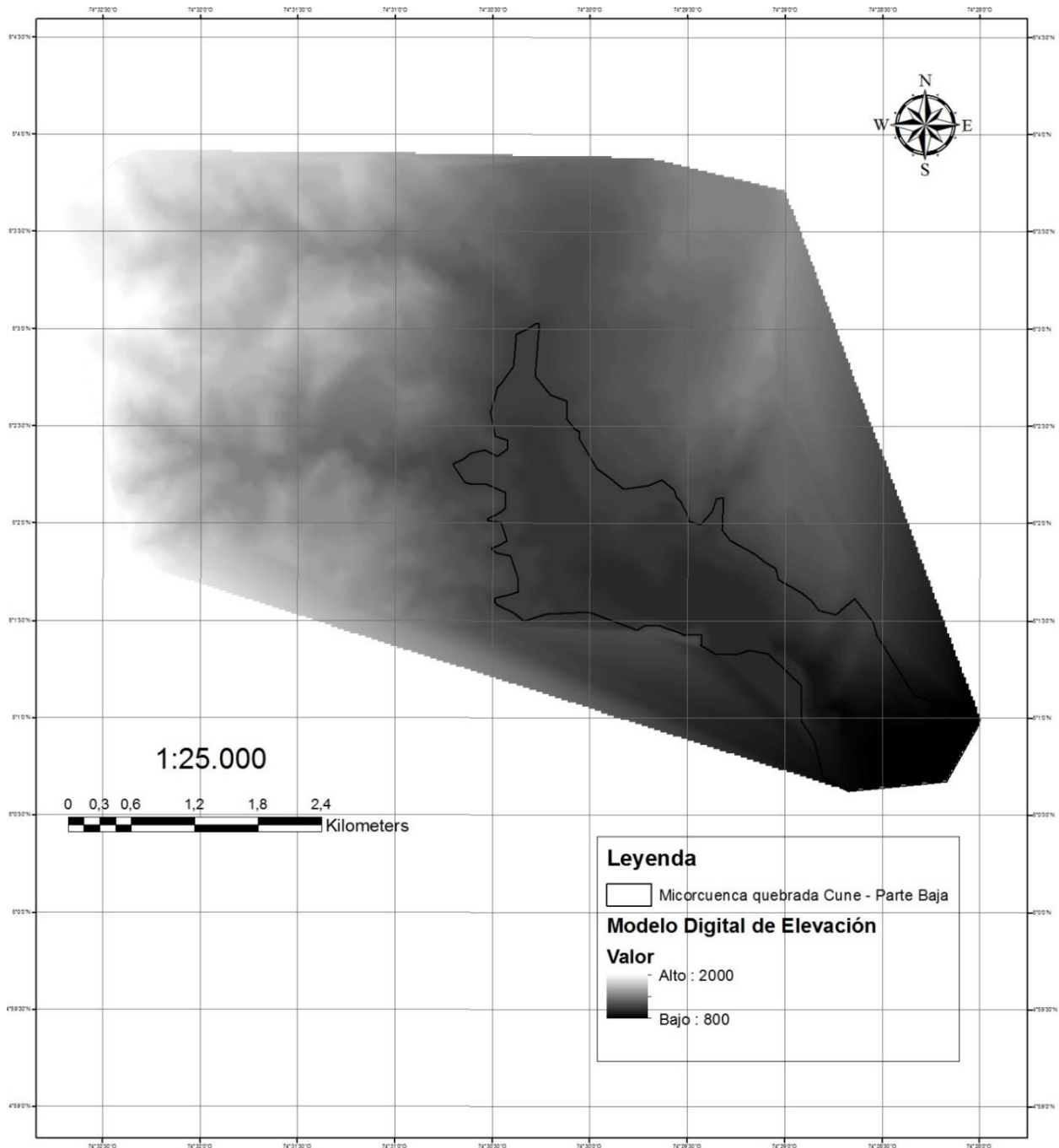
Anexo 17. Precipitaciones totales para Año Seco – Parte Baja de la microcuenca

Quebrada Cune.



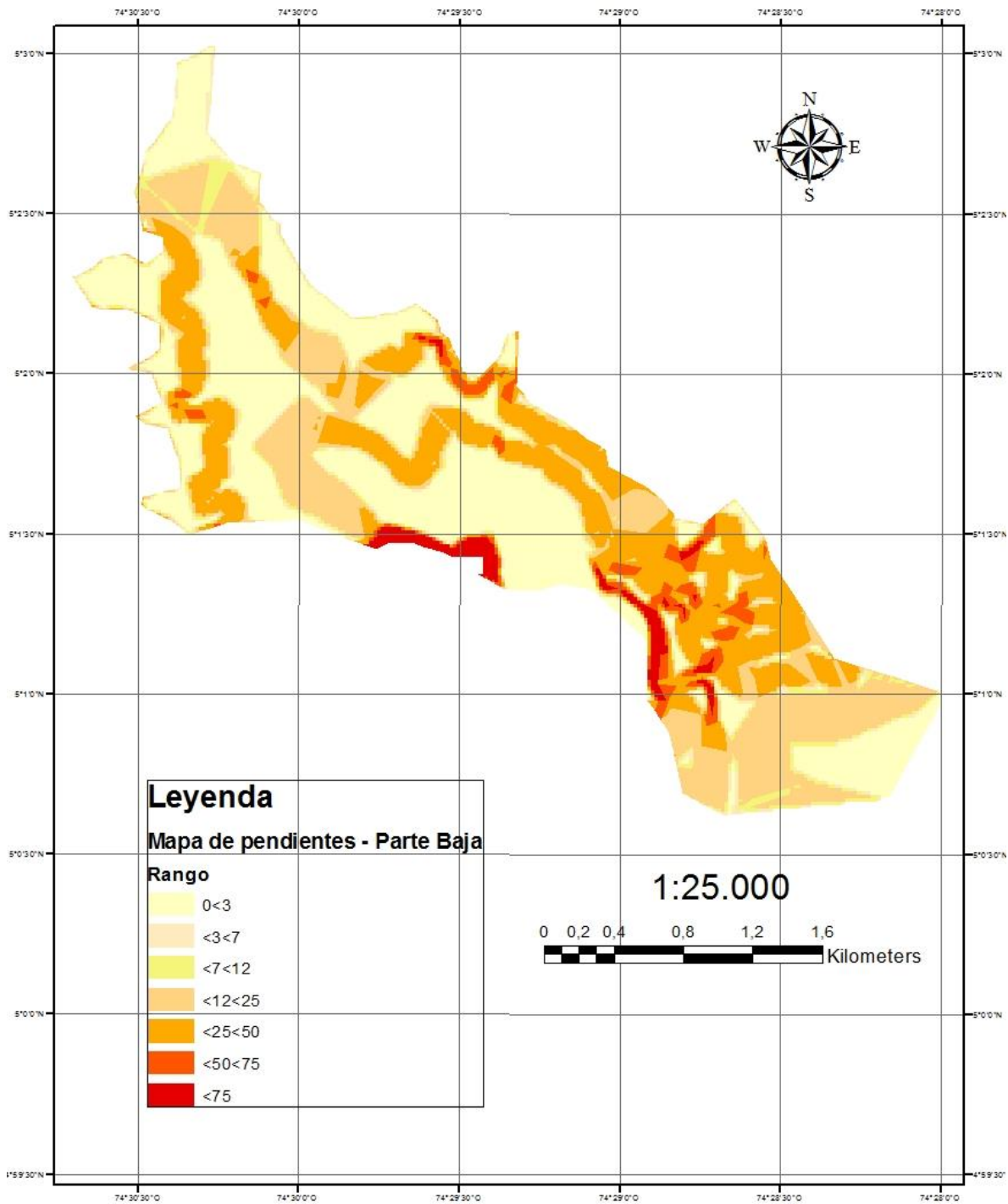
Fuente: Autores, 2015

Anexo 18. Modelo Digital de Elevación. Parte Baja de la microcuenca quebrada Cune.



Fuente: Autores, 2015.

Anexo 19. Mapa de pendientes. Parte Baja de la microcuenca quebrada Cune.



Fuente: Autores, 2015.

**Anexo 20. Factor L y factor S para el cálculo del factor topográfico (LS) - Parte Baja
de la microcuenca quebrada Cune.**

No.	Unidad de Tierra	x(m)	S (%)	m (pendiente)	Factor L	Factor S	Factor LS
0	MQVf-ae	242,395865	37,5	0,5	3,309572479	10,893125	36,05
1	MQVe-em	234,73859	18,5	0,5	3,256878362	3,122125	10,17
2	MQVf-em	234,43	37,5	0,5	3,254736893	10,893125	35,45
3	MQKd-gp	394,6723	1,5	0,3	2,373430778	0,147125	0,35
4	MQKd-gp	75,159282	5	0,5	1,842895053	0,4525	0,83
5	MQV-zuc	588,537542	18,5	0,5	5,156991061	3,122125	16,10
6	MVNa-zuc	496,363144	5	0,5	4,73597124	0,4525	2,14
7	ZU-zuc	79,69864	1,5	0,3	1,468726223	0,147125	0,22
8	MQKd-mcm	213,346643	5	0,5	3,104932762	0,4525	1,40
9	MQVe-mcm	371,3619333	9,5	0,5	4,096453082	1,079125	4,42
10	MQKd-pr	308,118	9,5	0,5	3,731365813	1,079125	4,03
11	MQVf-pr	129,000626	9,5	0,5	2,414377649	1,079125	2,61
12	MQKd-pr	134,926079	5	0,5	2,469205541	0,4525	1,12

13	MQVe-pr	727,99502	37,5	0,5	5,735529228	10,893125	62,48
14	MQVf-pr	800,195345	37,5	0,5	6,013222909	10,893125	65,50
15	MQKd-bs	315,00145	18,5	0,5	3,772815516	3,122125	11,78
16	MQVf-bs	312,78888	18,5	0,5	3,75954204	3,122125	11,74
17	MQKd-pn	560,94	5	0,5	5,034649837	0,4525	2,28
18	MQVe-pn	18,35317	18,5	0,5	0,910677982	3,122125	2,84
19	MQVf-pn	15,8448	1,5	0,3	0,904631288	0,147125	0,13
20	MQKd-pn	527,300624	9,5	0,5	4,881332998	1,079125	5,27
21	MQVf-pn	72,865866	18,5	0,5	1,814560106	3,122125	5,67
22	MQVe-pn	80,34076	37,5	0,3	1,47226625	10,893125	16,04
23	MQVf-pn	151,772091	18,5	0,5	2,618817605	3,122125	8,18
24	MQVe-pn	310,55235	18,5	0,5	3,746077026	3,122125	11,70
25	MVNa-pn	194,2515	1,5	0,3	1,918734525	0,147125	0,28
26	ZU-pn	24,758167	1,5	0,3	1,034239504	0,147125	0,15
27	MQKd-pr	37,385527	5	0,5	1,299753652	0,4525	0,59
28	MQVe-ra	320,505701	18,5	0,5	3,80563535	3,122125	11,88

29	MQVf-ra	666,008732	37,5	0,5	5,485917279	10,893125	59,76
30	MQKd-zud	385,9858	5	0,5	4,176331433	0,4525	1,89
31	MQVe-zud	79,534973	9,5	0,5	1,895781854	1,079125	2,05
32	MQVe-zud	212,056003	18,5	0,5	3,095526873	3,122125	9,66

Fuente: Autores, 2015.

Anexo 21. Factor topográfico LS (USLE). Parte Baja de la microcuenca quebrada**Cune.**

No.	Unidad de Tierra	Factor LS
0	MQVf-ae	36,05
1	MQVe-em	10,17
2	MQVf-em	37,15
3	MQKd-gp	0,59
4	MQKd-gp	16,10
5	MQV-zuc	2,14
6	MVNa-zuc	0,22
7	ZU-zuc	1,40
8	MQKd-mcm	4,42
9	MQVe-mcm	2,57
10	MQKd-pr	34,05
11	MQVf-pr	62,48
12	MQKd-pr	11,78
13	MQVe-pr	11,74

14	MQVf-pr	3,77
15	MQKd-bs	10,19
16	MQVf-bs	4,66
17	MQKd-pn	0,28
18	MQVe-pn	0,15
19	MQVf-pn	0,59
20	MQKd-pn	11,88
21	MQVf-pn	59,76
22	MQVe-pn	1,89
23	MQVf-pn	5,86

Fuente: Autores, 2015.

Unidad de tierra	A	R	K	LS	C	P
MQVf - ae	1,3310	194,3134	0,19	36,0515867	1	1
MQVe - em	0,3989	206,420894	0,19	10,17	1	1
MQVf - em	1,4442	204,599559	0,19	37,15	1	1
MQKd - gp	0,0294	191,341391	0,26	0,59	1	1
MQVe - zuc	0,6338	207,186069	0,19	16,1007707	1	1
MVNa - zuc	0,1653	208,463545	0,37	2,14302699	1	1
ZU - zuc	0,0000	0	0	0	0	0
MQKd - mcm	0,0245	189,261673	0,26	1,40498207	0,354	1
MQVe - mcm	0,0567	190,577617	0,19	4,42058493	0,354	1
MQKd - pr	0,0111	196,092116	0,19	2,57	0,116	1
MQVf - pr	0,2021	196,804861	0,26	34,05	0,116	1
MQVe - pr	0,2816	204,52707	0,19	62,4778368	0,116	1
MQKd - bs	0,0042	196,623236	0,26	11,7792016	0,007	1

MQVf - bs	0,0031	196,184578	0,19	11,7377602	0,007	1
MQKd - pn	0,0244	191,103545	0,26	3,77	0,13	1
MQVe - pn	0,0490	194,589456	0,19	10,19	0,13	1
MQVf - pn	0,0226	196,481005	0,19	4,66	0,13	1
MVNa - pn	0,0028	208,278669	0,37	0,28	0,13	1
ZU - pn	0,0000	0	0	0	0	0
MQKd - pr	0,0032	181,18784	0,26	0,58813853	0,116	1
MQVe - ra	0,0028	205,230387	0,19	11,8816693	0,006	1
MQVf - ra	0,0138	203,140693	0,19	59,7587827	0,006	1
MQKd - zud	0,0953	194,037737	0,26	1,88978997	1	1
MQVe - zud	0,2213	198,749438	0,19	5,86	1	1
	COEFICIENTE DE PEARSON	0,19323383	-0,05414449	0,45071703	0,598392691	0,163283833

Anexo 22. Coeficiente Pearson

Fuente: Autores, 2015

$R = -1$	Correlación inversa perfecta
$-1 < r < 0$	Correlación inversa
$R=0$	No hay correlación
$0 < r < 1$	Correlación directa
$R=1$	Correlación directa perfecta