

**EVALUACION DEL PROCESO EROSIVO POR MEDIO DE LA ECUACIÓN  
UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO EN EL MUNICIPIO DE BUESACO,  
NARIÑO**

**JUAN SEBASTIAN RAMOS RODRIGUEZ**



**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL  
POPAYÁN  
2013**

**EVALUACION DEL PROCESO EROSIVO POR MEDIO DE LA ECUACIÓN  
UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO EN EL MUNICIPIO DE BUESACO,  
NARIÑO**

**JUAN SEBASTIAN RAMOS RODRIGUEZ**

**Trabajo de grado en la modalidad de pasantía para optar al  
título de Ingeniero Ambiental**

**Director**

**Ing. Luis Jorge González Muñoz**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL  
POPAYÁN  
2013**

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

Director de trabajo

---

Jurado

---

Jurado

Popayán, octubre de 2013

*A mi señora madre*

## **AGRADECIMIENTOS**

Al ingeniero Jorge González, por su infinita paciencia.

Al ingeniero Nixon Correa, por su inconmensurable conocimiento.

A Luis Fernando Mora, a quien responsabilizo por involucrarme en este cuento.

A Claudia, Myriam, amigas de mi terruño y quienes me ofrecieron su ayuda para sacar adelante este trabajo.

## CONTENIDO

	pág.
<b>RESUMEN</b>	<b>11</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>11</b>
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>12</b>
<b>2. DESCRIPCIÓN Y DELIMITACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO Y ENTIDAD RECEPTORA</b>	<b>13</b>
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b>	<b>15</b>
<b>4. OBJETIVOS</b>	<b>16</b>
4.1 OBJETIVO GENERAL	16
4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
<b>5. REFERENTE TEORICO</b>	<b>16</b>
5.1 Factor de erosividad de las lluvias (factor R)	21
5.2 Factor de erodabilidad del suelo (factor K)	22
5.3 Factor de topográfico (factor LS)	23
5.4 Factor de cobertura de suelo y prácticas de conservación (factor CP)	24
5.5 Utilización de la USLE	24
5.6 Evaluación multi-criterio	25
5.7 Plan de ordenamiento territorial	25
<b>6. MATERIALES</b>	<b>26</b>
<b>7. METODOLOGÍA</b>	<b>27</b>
7.1 Cálculo del Factor <i>LS</i>	28
7.2 Cálculo del Factor <i>R</i>	31
7.3 Cálculo del Factor <i>K</i>	33
7.4 Cálculo del Factor <i>CP</i>	35
7.5 Mapa de pérdidas de suelo	37
<b>8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>38</b>
8.1 Factor <i>LS</i>	38
8.2 Factor <i>R</i>	40

8.3	Factor <i>K</i>	42
8.4	Factor <i>C</i>	43
8.5	Mapa de pérdidas de suelo	44
8.6	Validación de resultados	46
8.6.1	Evaluación multi-criterio (EMC)	46
8.6.2	Mapa de erosión departamental	48
8.6.3	Estudio general de suelos del departamento de Nariño	50
<b>9.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>52</b>
<b>10.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>53</b>
	<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>54</b>
	<b>ANEXOS</b>	<b>59</b>

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Ubicación geográfica del municipio de Buesaco, Nariño.	14
Figura 2.. Proceso que se llevó a cabo para la determinación de la pérdida de suelo en el municipio de Buesaco, Nariño.	27
Figura 3. Modelo de elevación departamental y municipal.	28
Figura 4. Modelo elevación digital del municipio de Buesaco.	29
Figura 5. Diagrama de flujo para el cálculo del factor <i>LS</i> en el software SIG "SAGA".	30
Figura 6. Estaciones meteorológicas consultadas.	31
Figura 7. Capa de unidades cartográficas del municipio de Buesaco.	33
Figura 8. Capa de coberturas vegetales del municipio de Buesaco.	35
Figura 9. Representación del Factor <i>LS</i> en el municipio de Buesaco, Nariño.	39
Figura 10. Mapa de dispersión del Factor <i>R</i> en el municipio de Buesaco, Nariño.	41
Figura 11. Imagen de distribución del factor <i>K</i> .	42
Figura 12. Distribución del factor <i>C</i> en el municipio de Buesaco.	43
Figura 13. Mapa de pérdidas de suelo al municipio de Buesaco, Nariño.	45
Figura 14. Metodología del proceso de EMC y su resultado.	46
Figura 15. Mapa resultado de la EMC.	47
Figura 16. Mapa de erosión departamental (SIGOT, 2003).	48
Figura 17. Coincidencia USLE vs Mapa de erosión del SIG-OT.	49



## LISTA DE CUADROS

	<b>pág.</b>
Cuadro 1. Fuente e información adquirida.	26
Cuadro 2. Valores del Factor <i>LS</i> obtenidos para el municipio de Buesaco, Nariño.	30
Cuadro 3. Valores del índice de erosividad o factor <i>R</i> , propuestos por Rivera y Gomez (1991a).	32
Cuadro 4. Clasificación del factor de erodabilidad o factor <i>K</i> , para el eje cafetero colombiano.	34
Cuadro 5. Valores propuestos por la FAO para el factor <i>C</i> .	36
Cuadro 6. Clasificación de la erosión en los suelos.	37
Cuadro 7. Rangos del factor <i>LS</i> en el área del municipal.	39
Cuadro 8. Rangos del Factor <i>R</i> en área del municipal.	41
Cuadro 9. Rangos del factor <i>K</i> en el área municipal.	42
Cuadro 10. Rangos de factor <i>C</i> en el área municipal.	43
Cuadro 11. Incidencia de pérdida de suelo en el área de estudio.	45
Cuadro 12. Susceptibilidad a la erosión mediante EMC en el área de estudio.	47
Cuadro 13. Áreas de coincidencias, USLE vs Mapa de erosión oficial SIG-OT.	49
Cuadro 14. Unidades cartográficas y pérdidas de suelo.	50

## LISTA DE ANEXOS

	<b>pág.</b>
Anexo A. Portada de la hoja de calculo de Oscar Silva, 2002.	59
Anexo B. Tabla del Factor <i>K</i> , capa de unidades cartográficas (2011), para importar a la tabla de atributos de la capa “Susceptibilidad_Suelos_Edaficos” en ArcMap.	60
Anexo C. Tablas de precipitaciones mensuales y anuales de 6 estaciones, por un periodo de 12 años.	61
Anexo D. Tabla del Factor <i>R</i> para importar a ArcMap.	67
Anexo E. Tabla del Factor <i>C</i> , para importar a la tabla de atributos de la capa “Susceptibilidad de la cobertura a movimientos en masa” en ArcMap.	68

# **EVALUACION DEL PROCESO EROSIVO POR MEDIO DE LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO EN EL MUNICIPIO DE BUESACO, NARIÑO**

## **RESUMEN**

El propósito del proyecto de pasantía es evaluar la erosión en el espacio geográfico del municipio de Buesaco, a partir de la aplicación de la metodología conocida como USLE, por su aplicación mundial, su relativo fácil manejo y utilizando las herramientas de análisis de los sistemas de información geográfica para evaluar los factores y variables de métodos desarrollados por organismos de investigación, como resultado de este trabajo se obtuvo un mapa de tipo “raster” con valores pertenecientes a cada zona del municipio. En la primera parte del trabajo se relaciona el planteamiento del problema, los objetivos y el marco teórico que justifican la presente investigación; además, se formula la pregunta que constituye el eje de la investigación; en el segundo capítulo, se describe la metodología, los resultados, las conclusiones y recomendaciones; los cuales pueden ser utilizados para la toma de decisiones en la planificación del esquema de ordenamiento territorial del municipio de Buesaco.

Palabras clave: SIG, Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, USLE, Erosión, EOT.

## **INTRODUCCIÓN**

El departamento Nariño es atravesado de Sur a Norte por la cordillera de los Andes, que en territorio colombiano forma el complejo geológico denominado “Nudo de los Pastos”; terrenos geomorfológicamente propensos a procesos erosivos, debido a las formaciones orográficas características de esta zona con grandes elevaciones y pronunciadas pendientes; estos fenómenos se han acelerado por las diferentes prácticas de origen antrópico, como el incremento de las actividades agrícolas o la tala de bosques; estas actividades traen como consecuencia la pérdida nutricional del suelo, su capacidad de recuperación, entre otras. Estos efectos en el recurso natural han estimulado investigaciones sobre la pérdida o erosión de los suelos, así, los primeros estudios para calcular la pérdida de suelo se desarrollaron a mediados del siglo pasado; se creó una metodología, la cual se denomina USLE, Universal Soil Loss Equation (Wischmeier & Smith 1978), por sus siglas en inglés o Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo.

Según la bibliografía consultada, este modelo ha tenido aplicabilidad con resultados muy aceptables alrededor del mundo, un ejemplo es el del sur de Chile (Mancilla, 2008). El modelo relaciona los factores de erosividad (factor R), topográfico (factor LS), cobertura vegetal y uso de suelo (factor CP) y erodabilidad

(factor K), permitiendo un manejo relativamente sencillo de sus componentes y proporcionando un resultado eficaz.

Con el fin de corroborar la aplicación del modelo antes propuesto, se tendrá en cuenta el estudio general de suelos del departamento de Nariño (2004), el mapa nacional de erosión obtenido de la página web del SIG-OT (2003) y una evaluación multi-criterio.

De igual manera, éste trabajo presenta en primer lugar el resumen, el planteamiento del problema, los objetivos a cumplir y el marco teórico; finalmente se formula, la metodología a implementar, los resultados esperados y su respectivo análisis.

Cabe advertir que la aplicación del modelo USLE propuesto inicialmente para definir el proceso erosivo en el área de estudio, no constituyen una explicación completa y definitiva de la realidad del mismo.

Finalmente, la información resultante del modelo se presentará en capas temáticas desarrolladas en el software ArcGis 10, licenciado por la empresa receptora del trabajo de pasantía y cuya elección se basó en la familiarización del realizador del mismo con el software y en la disponibilidad del mismo en los recursos computacionales ofrecidos.

Además, la información presentada sobre la pérdida de suelo en el municipio de Buesaco, puede hacer de éste trabajo un instrumento valioso para quienes tienen en sus manos la responsabilidad de formular el plan de desarrollo municipal.

## **1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Aunque existe la erosión de tipo natural, producida por el viento y el agua, la degradación del suelo como consecuencia de las prácticas agrícolas es el factor de mayor influencia en la erosión del suelo. Los métodos agrícolas empleados para el aprovechamiento del suelo, permiten extraer el máximo rendimiento del mismo a corto plazo, pero a un gran costo, eliminando sus nutrientes, generando impactos ambientales de mayor complejidad.

El trabajo se desarrollará en el municipio de Buesaco, el cual alberga pisos térmicos que varían entre los 1000 msnm y los 3400 msnm; en los accidentes topográficos característicos de la región se pueden encontrar pequeños valles, altos acantilados y montañas escarpadas, cuya morfología ha sido estructurada por la fuerza de los ríos. Además, se presentan innumerables terrenos utilizados para cultivos, siendo el cultivo del café la actividad agrícola de mayor importancia en el municipio.

El Estudio General de Suelos del Departamento de Nariño (2004), propone una clasificación muy superficial del tipo de erosión presente en los suelos del departamento, por lo tanto existe un vacío estructural del estudio en cuanto a la pérdida de suelo; así, el presente trabajo, puede servir de apoyo al Estudio General de Suelos y a estudios posteriores en el departamento y en cualquier área de estudio.

Además, los métodos de cálculo tradicionales del modelo, sugieren un consumo de recursos y tiempo considerables, no disponibles para la realización del presente trabajo, entonces, es así como se propone una nueva metodología de cálculo de los factores requeridos por el modelo USLE, con el fin de reducir como sea posible esas variables.

El municipio de Buesaco se ha caracterizado por ser eminentemente agrícola. Por lo tanto es indiscutible la realización de estudios que permitan elaborar un diagnóstico, asociado a los suelos de cultivo y otras actividades económicas, con el fin de proponer una reorganización de los mismos y además, a nivel municipal, tener la capacidad de sustentar decisiones que servirán como línea base en los futuros planes de ordenamiento territorial.

Hasta el momento de formulación de éste trabajo, no se han realizado estudios exclusivamente sobre pérdidas de suelos a nivel municipal, por lo tanto me permito realizar la siguiente pregunta:

*¿“Mediante la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, como se puede clasificar la pérdida de suelo en el municipio de Buesaco, departamento de Nariño”?*

## **2. DESCRIPCIÓN Y DELIMITACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO Y ENTIDAD RECEPTORA**

El caso de estudio será el área total del municipio de Buesaco, ubicado a 37 kilómetros al noreste de la capital del departamento de Nariño, se constituye en un municipio de paso y se comunica con el interior del país por una vía alterna a la carretera Panamericana; limita por el norte con los municipios de San Lorenzo, Arboleda, Albán y El Tablón; por el oriente con El Tablón y el departamento de Putumayo; por el sur con San Juan de Pasto y el departamento de Putumayo y por el occidente con Chachagüí y San Juan de Pasto. Se ubica a una altitud de 1.959 m.s.n.m. con una temperatura media de 18 grados centígrados. Su área total es de 61470 hectáreas, representando un 2% del área departamental aproximadamente. La hidrografía consta de los ríos Juanambú, Buesaquito, Rundoyaco, Ijagüí, entre otros. El municipio presenta los siguientes accidentes geográficos: el Cañon del Juanambú, el Cerro de Bordoncillo, la depresión del buesaquito, el Alto de Monserrate, la Montaña del Oso. (Diario del Sur, 2012).

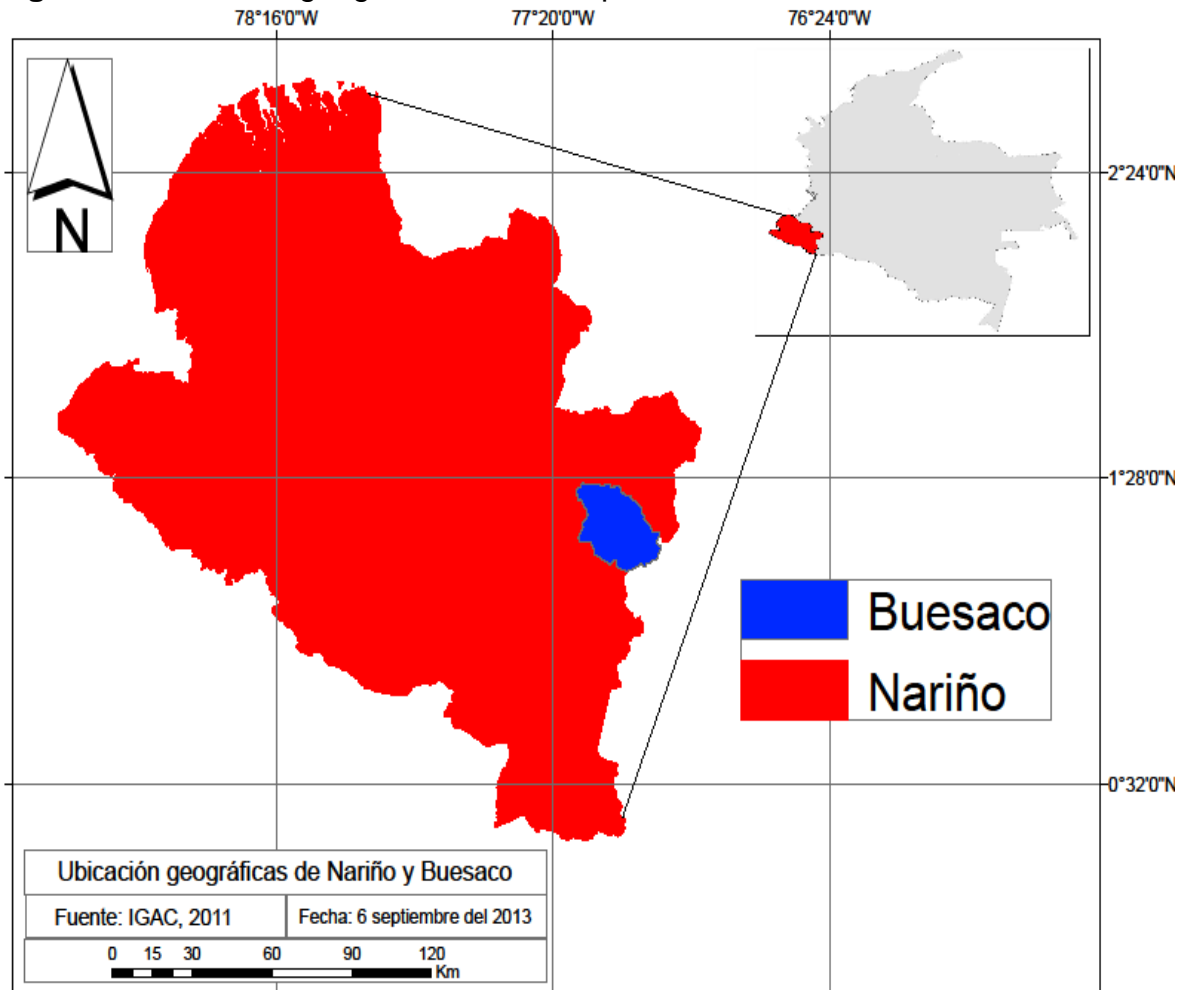
**Entidad Receptora:** Fundación “Impulso Humano”

**Representante Legal:** Ivonne Montenegro Lopez

**Dirección:** Carrera 85ª # 30ª – 35 Chapal, San Juan de Pasto, Nariño

Impulso Humano es una entidad sin ánimo de lucro, legalmente constituida en la Cámara de Comercio en Pasto, Colombia, cuyo objeto social es promover y desarrollar proyectos de vida alternativos fundados en la autogestión, la participación ciudadana, los entornos saludables, la valoración de los recursos locales, el empoderamiento social del territorio, el manejo de sistemas de información geográficos orientados al ordenamiento y planificación territorial, a nivel urbano y rural, la conformación de redes regionales de apoyo mutuo y la acción conjunta en los diferentes asentamientos de la población colombiana y de los lugares donde se establezcan filiales.

**Figura 1.** Ubicación geográfica del municipio de Buesaco, Nariño.



### 3. JUSTIFICACIÓN

Se hace necesario tener un vasto conocimiento sobre la geomorfología del territorio y los usos del suelo a nivel colombiano por la constante expansión urbana y agronómica, implicando talas de árboles, estrategias económicas como la minería y el monocultivo, exigiendo una planeación del recurso. Así, la USLE se convierte en una herramienta de mucha utilidad en el campo agronómico.

El modelo USLE se constituye en una herramienta relativamente fácil de manejar y útil para la planificación y manejo de los suelos. La USLE se ha usado frecuentemente en diferentes lugares del mundo, pero por la complejidad y susceptibilidad de los valores utilizados, diferentes autores han utilizado técnicas estadísticas para facilitar su uso, aplicabilidad e incrementar la confiabilidad de los resultados. Tal es el caso de Mancilla (2008), docente que estudió la aplicabilidad del método USLE planteado por Wischmeier y Smith (1978).

Para fortalecer la validez de los resultados propuestos por la USLE, varios estudios han propuesto el cálculo de los factores presentes en el método, particularmente, en la literatura se encontró un estudio realizado por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) en el sudeste colombiano para determinar el factor R y el K de la USLE. Como recomienda Wischmeier & Smith (1978), en dicho estudio, se utilizaron parcelas con distintas pendientes. “El factor K, fue calculado dividiendo las pérdidas de suelo totales por el factor R y utilizando el nomograma de Wischmeier & Smith (1978). A partir de éste cálculo se obtuvo el factor K, el cual fue clasificado como bajo y varió entre 0,04 y 0,021 t.ha.h/ha/MJ/mm para Quilichao y de 0,003 a 0,013 t.ha.h/ha/MJ/mm para Mondomo.” (Ruppenthal, *et al*, 1996). Estos resultados demostraron que la erosividad de la zona de estudio puede deberse a la alta actividad erosiva de la lluvia por el tipo de suelos encontrados en la zona de estudio, mostrando un gran porcentaje del suelo de arcillas y limos, fomentando así, ampliar el conocimiento del fenómeno y la placabilidad del método.

Aunque la USLE tiene sus limitaciones, los avances tecnológicos y la relativa facilidad actual para acceder a información de mayor complejidad, han propuesto nuevos mecanismos que solventan dichas dificultades metodológicas. Por lo tanto, para el presente trabajo, se proponen alternativas de cálculo, creadas por sus respectivos autores y que, además, se ajustan al área de estudio.

Por otra parte, Ramirez (2006), propone un estudio a nivel departamental sobre la zona cafetera colombiana; estudio que, desde su realización, es tomado como base para la organización, adecuación y mejoramiento de los cultivos cafeteros, por la federación de cafeteros de Colombia.

Un aspecto importante a tener en consideración es el riesgo a la erosión, por lo tanto, la planificación territorial es un pilar fundamental para la organización y

administración de una región o territorio. Los Planes de Ordenamiento Territorial permiten estructurar correctamente los usos del suelo según su tipo, debido a que aproximadamente el 40% del territorio colombiano corresponde a zonas de ladera, donde está ubicada gran parte de la población y se producen cantidades importantes de alimentos y materias primas como café, frijol, maíz, plátano, papa, trigo, cebada y yuca entre otros (DNP, 2005). De ahí la importancia la organización, distribución y planeación de los suelo nacionales.

Finalmente, es fundamental en el desarrollo del trabajo el apoyo tecnológico necesario para suministrar una información precisa y acorde con las necesidades del objeto de estudio. Así, un Sistema de Información Geográfica (SIG) es la herramienta que permitirá realizar cálculos más precisos y espacializar mejor la información, de esta manera los resultados serán observados y analizados desde un punto de vista más dinámico y coherente (MONTES, DOMÍNGUEZ Y VENTURA, 2000).

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el nivel de erosión en el municipio de Buesaco por medio de la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.

### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Revisar el estado actual de la información, relacionada con el modelo seleccionado para realizar la predicción del proceso erosivo.
- Implementar el modelo de predicción USLE en el área de estudio, basado en la evaluación de factores y variables espacializadas con enfoque SIG.
- Corroborar los resultados del modelo trabajado (USLE), mediante evaluación multi-criterio e información existente.

## **5. REFERENTE TEORICO**

En Colombia, el mayor desarrollo económico, social y cultural, ha tenido centro de actividad en la zona andina, por sus condiciones topográficas, geológicas, geotécnicas, ecológicas, demográficas y ambientales; elevando la importancia del suelo para la formulación y ejecución de proyectos. Además, se debe tener en cuenta que cerca del 10% del producto interno bruto (PIB) proviene del sector agrícola incluyendo la generación de más del 20% del empleo del país (PNUD,



2010). La importancia del suelo, su cuidado y buena planificación en un país en desarrollo, se constituyen en el pilar fundamental para lograr una estabilidad económica óptima para sus habitantes. Por lo que el recurso suelo es necesario:

- En la planificación del desarrollo del país y en la formulación de los planes de ordenamiento territorial.
- En la clasificación de tierras para riego, drenaje, fertilidad, capacidad de uso y aptitud de uso.
- Para planificar la agricultura intensiva.
- En el manejo de las cuencas hidrográficas.
- En la reglamentación del uso del suelo a nivel municipal.
- Información básica para el manejo de los parques nacionales y zonificación ambiental.
- Información básica en la selección de sitios para la construcción de infraestructura vial, eléctrica, minera, litoral y marítima.
- En la prevención, atención y mitigación de desastres causados por fenómenos naturales.

Esta información permitiría al administrativo formular e implementar un esquema organizacional acorde con las necesidades del colectivo (MALOKA, 2009).

Por otra parte, la indagación obtenida en la organización de los datos deberá ser representada en mapas para su interpretación y posterior manejo, por lo tanto, es imprescindible el levantamiento del recurso suelo en cartografía automática y posteriormente realizar mapas dinámicos para su mejor comprensión. Actualmente existen varias metodologías para realizar esta actividad por lo cual se nombrarán algunas de ellas (ROSSITER, 2002):

- Levantamiento fisiográfico (FI): La fotointerpretación de geoformas, seguida de un chequeo en campo de la composición de unidades de mapeo, algunas veces solo en áreas de muestreo, es decir no todas las delineaciones son actualmente visitadas. El muestreo es sesgado a través de posiciones “típicas” en el paisaje.

Escalas típicas: 1:50000 a 1:200000. A escalas más pequeñas, sólo los paisajes y geoformas pueden ser delimitadas.

- Levantamiento Libre: Esta es una extensión del levantamiento fisiográfico. Comienza con una fotointerpretación fisiográfica detallada, pero en este caso todos los límites deben ser verificados y posiblemente modificados después del chequeo de campo. El intérprete, recorre la mayoría del paisaje en campo, usualmente a través de transectos, concentrándose en áreas con problemas. En zonas con correlación pobre entre la geomorfología y los suelos, las observaciones de campo son utilizadas para

ubicar los límites. Existen observaciones suficientes, algunas con sesgo, para obtener un buen estimado de la variabilidad interna.

Escalas típicas: 1:12500 a 1:25000.

De igual manera, se han desarrollado diferentes metodologías automatizadas (programas) que permiten representar la información en medio digital, hecho que resulta un avance significativo desde el punto de vista de la manipulación de la información.

Entrando en el tema computacional, para Rossiter (2002), se creó la metodología de los “*transectos*”, con los siguientes pasos: 1) Realizar un muestreo de la zona del mapeo y enumerarlas consecutivamente; 2) Se deben representar dos “*transectos*” ortogonales sin importar la dirección de ellos; 3) Se establecen puntos de muestreo en intervalos regulares; 4) Los puntos son muestreados en campo. Con la ayuda de un programa SIG se asignan las leyendas de cada caracterización; 5) Las observaciones pueden ser resumidas de manera estadística (Distribución binomial, normal).

Igualmente, el Manual de Levantamiento de Suelos propuesto por Rossiter (2002), menciona que “en lugar de una línea (*transecto*), es necesario identificar un área representativa y establecer un esquema de muestreo en cuadrícula”.

Consecuentemente, los avances tecnológicos (satélites, programas SIG, y GPS, entre otros.) permiten desarrollar nuevas metodologías para la manipulación de la información; tal es el caso de los Modelos de Elevación Digital (DEM). Esta metodología permite obtener información de mayor valor en la realidad, convirtiéndola en una entidad de mucha utilidad en los análisis geográficos. Su estructura está compuesta por dos métodos mutuamente excluyentes: Modelo vectorial y raster.

- Vectorial: Esta basado en objetos geométricos definidos por las coordenadas de sus nodos y vértices.
- Raster: Basado en localizaciones espaciales, a cada una de las cuales se les asigna el valor de la variable para la unidad elemental de superficie.

Cada modelo de datos puede expresarse mediante diferentes estructuras de datos; dentro de los dos modelos básicos, la práctica y el tiempo han reducido las potenciales variantes de estructuración a unas pocas. Las más representativas son dos estructuras vectoriales: la basada en *isohipsas* o contornos y la red irregular de triángulos (*TIN, triangulated irregular network*) y dos estructuras raster: las matrices regulares (*URG, uniform regular grids*) y las matrices jerárquicas (*quadtrees*):

- **Estructuras vectoriales**, basadas en entidades/objetos.  
**Contornos**: polilíneas de altitud constante.  
**TIN**: red de triángulos irregulares adosados.
- **Estructuras raster**, basadas en localizaciones.  
**Matrices regulares**: malla de celda cuadrada.  
**Quadrees**: matrices imbricadas en una estructura jerárquica.

Cuya diferencia principal consiste en que la información obtenida en raster pertenece a un solo punto mientras que en un sistema vectorial la información viene dada por “funciones” que forman las polilíneas o la red de triángulos (FELICÍSIMO, 1992).

Con la ayuda sistematizada de elementos como imágenes de satélites y de diferentes programas (ArcGIS, SAGA, entre otros), se puede interpretar de una manera más clara el fenómeno geomorfológico de la erosión, conocida también como “pérdida del material superficial del suelo por acción de algunos agentes que lo deterioran y lo descomponen, y que a su vez cubre otros actos como el transporte del material y la acumulación del mismo”, considerado así por IGAC (1984) y Derruau (1974).

La erosión es uno de los principales problemas agrícolas causados por el mal uso del suelo. A nivel colombiano, el principal causante de los procesos erosivos son las precipitaciones, características de la zona andina (RIVERA, 1997).

Existen varios tipos de erosión hídrica que favorecen la pérdida de suelo, de los cuales solo se nombrarán los de mayor ocurrencia:

- **Por salpicadura**: Originada por las gotas de lluvia impactadas sobre el suelo; depende de el tamaño de la gota y las propiedades físicas del suelo.
- **Laminar**: Es la erosión de mayor eficiencia en los procesos erosivos. La erosión laminar es el efecto combinado de la acción del golpeteo que desprende las partículas de suelo y la escorrentía, la cual arrastra la capa más superficial del suelo.
- **En surcos**: Erosión laminar presente en los surcos de los cultivos, concentrando los caudales en las irregularidades del suelo propuestas por los cultivos.
- **En cárcavas**: Surge, generalmente, de la erosión laminar y en surcos, lo cual aumenta el volumen de erosión y la velocidad de infiltración.
- **Movimientos en masa**: Se origina cuando una determinada cantidad de suelo se desplaza a una cota inferior con respecto a la cota original, muy usualmente, el agua es el agente que desencadena fuerzas que causan los movimientos en masa.

La predicción de la pérdida de suelo, en el mundo se han propuesto diferentes metodologías que, a diferencia del modelo USLE, éstas requieren mayor disponibilidad de tecnologías e información. A continuación se nombran algunas:

- AGNPS (Agricultural Non-point Source Pollution model): Estima la contaminación de fuentes agrícolas no localizadas.
- CREAMS (Chemical Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems): predice la erosión química y escorrentía de los sistemas de ordenación agrícola.
- EPIC (Erosion Productivity Impact Calculator): calcula las pérdidas de rendimiento de los cultivos debido a erosión de suelos y otros factores.
- SWRRB (Simulator for Water Resources in Rural Basins): Simula los procesos hidrológicos en cuencas rurales, bajo un amplio rango de suelos, clima, uso de la tierra y topografía.

Para determinar el proceso erosivo que presenta el municipio de Buesaco se utilizará el método USLE, propuesto por Wischmeier y Smith (1965), como metodología para la estimación de la erosión. Luego de varias modificaciones, la ecuación se presenta como una metodología de gran utilidad en la planificación de obras de conservación de suelos. Se ha considerado que la USLE, hasta el momento, representa una de las metodologías más idóneas para predecir el cálculo de las pérdidas de suelo en tierras agrícolas, además, se ha utilizado esta metodología como un referente en la evaluación del manejo de suelos, en especial aquellos que requieran de una reorganización desde el punto de vista social-ambiental (MANCILLA, 2008).

El modelo USLE es una ecuación empírica diseñada, principalmente, para predecir la erosión presente en suelos de preferencia agrícola pero su aplicación se ha extendido a todo tipo de suelos donde sea necesario un diagnóstico de pérdida de suelos. Se diseñó la ecuación de pérdida de suelos con las siguientes variables:

$$A = R.K.L.S.C.P \quad (7.1)$$

Donde:

$A$ : Pérdida de suelo por unidad de superficie  $\frac{ton}{ha.año}$

$R$ : Factor de erosividad de la lluvia  $\frac{MJ.mm}{ha.año}$

$K$ : Factor de erodabilidad del suelo  $\frac{ton.ha}{MJ.ha.mm}$   $MJ$ : Mega julios

$L$ : Longitud de la pendiente (adimensional).

$S$ : Gradiente de la pendiente (adimensional).

$C$ : Factor de la cubierta vegetal (adimensional).

$P$ : Prácticas de conservación del suelo (adimensional).

Originalmente la USLE se creó en el sistema de medidas Inglés, sin embargo, para la realización del presente trabajo se emplearán unidades de medida del sistema internacional.

Para la aplicación de la USLE, originalmente, se formularon metodologías de cálculo para cada factor, las cuales se nombrarán a continuación.

### 5.1 Factor de erosividad de las lluvias (factor R)

Según Wischmeier (1965), el factor de erosividad de las lluvias se define como el resultado del producto entre: Energía cinética de las precipitaciones y una lluvia tempestiva de al menos 30 minutos. Wischmeier y Smith (1978), desarrolló una ecuación mediante regresión lineal para encontrar la energía cinética de una lluvia con tormenta, la cual se define así:

$$Ec = 210,2 + 89 \log_{10} I_{30} \quad (7.1.1)$$

Donde:

$Ec$ : Energía cinética en  $\frac{Jm^2}{cm}$

$I_{30}$ : Intensidad de la lluvia por 30 minutos en  $\frac{cm}{h}$

Entonces, para todas las tormentas que alcanzan los 30 minutos de duración, el factor de erosividad se calcula como sigue:

$$R = \frac{\sum_{j=1}^n [(210,2 + 89 \log_{10} I_j)(I_j * T_j)]}{100} I_{30} \quad (7.1.2)$$

Donde:

$R$ : Erosividad de la lluvia

$I_j$ : Incremento de intensidad de una precipitación en  $\frac{mm}{h}$

$T_j$ : Periodo de incremento de la precipitación en  $h$

$I_{30}$ : Intensidad de la lluvia por 30 minutos en  $\frac{cm}{h}$

$j$ : Incremento de la tormenta.

$n$ : Número de tormenta.

La metodología para conseguir este factor se ha modificado con el paso del tiempo, debido a la dificultad para conseguir la información (datos pluviográficos de al menos 10 años), así, Arnoldus (1980) propuso una correlación conocida como índice modificado de Fournier; para el cual solo se necesita las

precipitaciones mensuales y anuales por un tiempo no menor a 10 años. Dicha correlación se define así:

$$IFM = \sum_{i=1}^{12} \frac{p^2}{P} \quad (7.1.3)$$

Donde:

$IFM$  = Índice modificado de Fournier

$p$  = Precipitación mensual (mm)

$P$  = Precipitación anual (mm)

El IMF se aplicó en la zona cafetera colombiana con un coeficiente de relación de 0,92, entre los índices de Wischmeier y Fournier (FEDECAFÉ, 1982).

## 5.2 Factor de erodabilidad del suelo (factor K)

El factor de erodabilidad del suelo se define como la capacidad del mismo de retener o desprender y transportar su material, lo cual depende de la textura, composición química y estabilidad estructural (NEARING *et al* 1989).

La correlación que proponen Wischmeier y Smith (1978) se resume así:

$$K = \frac{2,1M^{1,14} \cdot 10^{-4} \cdot 12 - a + 3,25(b - 2) + 2,5(c - 3)}{100} \cdot 1,2928 \quad (7.2.1)$$

Donde:

$M$  = (% limo + % arena muy fina) (100 – % de arcilla)

$a$  = % de materia orgánica

$b$  = Estructura del suelo de 1 a 4, de acuerdo a la siguiente calificación:

- Granular muy fina y grumo fino (< 1 mm).
- Granular fina y grumo fino (1 – 2 mm).
- Granular y grumo medio (2 – 5 mm) y granular gruesa (5 – 10 mm).
- Granular lisa, prismático, columnar y muy gruesa (> 10 mm).

$c$  = Permeabilidad del perfil de 1 a 6 de acuerdo con la calificación del USDA – Soil Survey Manual:

- Rápida a muy rápida (> 25 cm.h<sup>-1</sup>)
- Medianamente rápida (12,5 – 25 cm.h<sup>-1</sup>)
- Moderada (6,5 – 12,5 cm.h<sup>-1</sup>)
- Moderadamente lenta (2 – 6 cm.h<sup>-1</sup>)
- Lenta (0,12 – 2,0 cm.h<sup>-1</sup>)
- Muy lenta (< 0,12 cm.h<sup>-1</sup>)

### 5.3 Factor de topográfico (factor LS)

A la distancia entre el punto origen del flujo y donde el flujo puede llegar a depositarse (disminución de pendiente) o donde el flujo cambie de cauce, según Kirkby y Morgan (1984), se le denomina longitud de pendiente (factor  $L$ ).

Su cálculo se realiza así:

$$L = \left[ \frac{\lambda}{22,1} \right]^m \quad (7.3.1)$$

Donde:  $L$ : Factor longitud de la pendiente  
 $\lambda$ : Longitud de la pendiente  
 $m$ : Exponente de longitud de la pendiente  
22,1: Longitud de parcela unitaria

Para el valor "m", Antezana (2001), propone la siguiente ecuación con el fin de facilitar su cálculo:

$$m = \frac{B}{(1+B)} \quad (7.3.2)$$

Donde:  $m$ : Exponente de longitud de la pendiente  
 $B = \frac{\left( \frac{\text{sen}\theta}{0,0896} \right)}{3 \text{ sen}\theta^{0,5} + 0,56}$  (7.3.3)  
 $\theta$ : Ángulo de la pendiente

Para el caso del factor de inclinación del terreno (factor  $S$ ), Wischmeier y Smith (1978), determinaron la siguiente ecuación:

$$S = \frac{0,43 + 0,3s + 0,043s^2}{6,613} \quad (7.3.4)$$

Donde:  $S$ : Factor inclinación de la pendiente  
 $s$ : Grado de inclinación de la pendiente en %

Aunque para Renard *et al* (1997), en las pendientes mayores a 5 metros, es imperativo usar las siguientes ecuaciones:

$$S = 10,8 * \text{sen}\theta + 0,03 \quad \text{si } s < 9\% \quad (7.3.5)$$

$$S = 16,8 * \text{sen}\theta - 0,5 \quad \text{si } s \geq 9\% \quad (7.3.6)$$

Donde:  $S$ : Factor inclinación de la pendiente  
 $s$ : Grado de inclinación de la pendiente en %  
 $\theta$ : Ángulo de la pendiente

#### **5.4 Factor de cobertura de suelo y prácticas de conservación (factor CP)**

El factor C hace referencia a la cantidad de pérdida de suelo, relacionada con la precipitación y la pendiente, a partir de la cobertura del suelo o las condiciones de cultivo del mismo, según Wischmeier y Smith (1978).

Las prácticas de “control que combaten la erosión, puesto que modifica los patrones de flujo y el grado o dirección de superficie de escurrimiento. Para las prácticas de soporte de tierras cultivadas, generalmente incluye contorno, cultivos en faja, terraceo y drenaje subsuperficial” (ANTEZANA, 2001).

Los valores del factor C se tomaron de la Food and Agriculture Organization (FAO), correspondiente a cada tipo de cobertura.

#### **5.5 Utilización de la USLE**

La Ecuación Universal de Perdidas de Suelo, USLE, se ha aplicado en distintos lugares de la geografía mundial, tal es el caso estudiado por el profesor Gabriel Mancilla (2008) de la Universidad de Chile, quien aplicó el modelo al campo forestal, con resultados de 670 t/ha/año para bastas laderas sin follaje y también de Carlos Saavedra y Chris Mannaerts (2003) en Cochamamba, Bolivia, obteniendo un rango de valores de 1 a 16 t/ha/año, según la cobertura vegetal del lugar de estudio.

En Chile se evaluó el modelo USLE con modificaciones para estimar la erosión en seis localidades, se utilizaron datos experimentales obtenidos por diversos investigadores, para la estimación del factor R o erosividad por la lluvia, se utilizaron datos de precipitaciones diarias y medias mensuales y anuales, aplicando la aproximación de Arnoldus (1980), se obtuvieron buenos resultados al comparar los valores de predicción con datos de campo. El factor K o resistencia del suelo a la erosión, se obtuvo mediante el nomograma de Wischmeier y Smith (1978). Para el cálculo de los factores L y S, se utilizó la longitud y el porcentaje de la pendiente de las parcelas de erosión; el factor C, se calculó mediante la ecuación de Moreira (1991), el factor P fue excluido de la ecuación. Se obtuvieron datos que van desde las 0,35 t/ha/año en suelos con pradera natural, a 47,32 t/ha/año en suelo desnudo. Los valores de predicción se dividieron con los valores de los datos observados y encontraron una relación entre 0,75 y 1,5, en parcelas con suelo desnudo en sitios donde la erosión observada fue superior a 2,5 t/ha (HONORATO *et al*, 2001).



## 5.6 Evaluación multi-criterio

La evaluación multi-criterio, en adelante EMC, se puede definir como un conjunto de técnicas orientadas a asistir en los procesos de toma de decisiones (BARREDO, GÓMEZ, 2005).

De diversas metodologías para aplicar una EMC se tendrá en cuenta, la “Weighted Overlay” o “Superposición ponderada”, por la facilidad de manejo y la disponibilidad de la información. Básicamente el proceso de “Superposición ponderada”, se explica utilizando un conjunto de transparencias (capas), cada una de ellas representando un mapa con un criterio e importancia diferente. Por ejemplo, se quiere conocer la mejor ubicación para una población en determinada área, las transparencias que representen usos de la tierra, serán de color más opaco. Es un proceso que se puede poner en práctica fácilmente, y se hace más riguroso y objetivo en un sistema de información geográfica (ZAPATA-CALDAS, 2009).

## 5.7 Plan de ordenamiento territorial

El modelo de predicción de pérdida de suelo podrá ser utilizado como una herramienta de cumplimiento con la normatividad actual, es decir, en este caso al Esquema de Ordenamiento Territorial el cual se fundamenta en la Ley 388 de 1997, donde uno de sus articulados reza:

***“El establecimiento de los mecanismos que permitan al municipio, en ejercicio de su autonomía, promover el ordenamiento de su territorio, el uso equitativo y racional del suelo, la preservación y defensa del patrimonio ecológico y cultural localizado en su ámbito territorial y la prevención de desastres en asentamientos de alto riesgo, así como la ejecución de acciones urbanísticas eficientes.” (ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ, 1997)***

De acuerdo a la normatividad vigente es indispensable mantener actualizado el Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio, lo cual implica, la realización de estudios específicos en el municipio, que contribuyan a la estructuración y coherencia del EOT; en este sentido, se propone elaborar un modelo que permita predecir los problemas ambientales que se presentan en el suelo ligados a los procesos erosivos, con el fin de formular recomendaciones en el manejo del recurso suelo y así fortalecer el Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio.

## 6. MATERIALES

Para ejecutar el actual trabajo, fue necesario adquirir información de los entes gubernamentales relacionados a continuación.

**Cuadro 1.** Fuente e información adquirida.

Organización	Descripción
Instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales, IDEAM	Registro pluviométrico de 6 estaciones (Ver anexos) en un lapso de 12 años e información básica de cada estación. 2012.
Instituto geográfico Agustín Codazzi, IGAC	- Modelo de elevación digital (DEM) a 30 metros, derivado de curvas de nivel a escala 1:25000, del departamento de Nariño. 2011. (*)  - Cartografía digital, mapa edafológico del municipio de Buesaco, departamento de Nariño. 1:100000. 2011.  - Cartografía digital, mapa de coberturas vegetales del municipio de Buesaco, departamento de Nariño. 1:50000. 2011.  - Cartografía digital, división político administrativa del departamento de Nariño. 1:50000. 2011.

(\*) Se escogió el DEM de mayor precisión que se pudo encontrar (30 metros) para el desarrollo del trabajo.

Además, para la manipulación y modificación de la información antes mencionada, fue necesario contar con:

- Software ArcGis 10 (Licencia para la Fundación Impulso Humano)  
Dirección MAC: "84a6c8a424cd f80f4165f1b9"  
Nombre de host: "FundaciónImpulsoHumano"  
Dirección IP: fe80::10b:4d7:3c32:cb6d  
Dominio: "FundaciónImpulsoHumano".local  
UMN 1: F230C9F5FD372277694CD9F6CD05C3BFAF90005D  
UMN 2: C84B98E4D1BB9C677F51FA284DD486A7936E21B1
- Software SAGA 2.0 (*System for Automated Geoscientific Analyses*)
- Materiales de escritorio

## 7. METODOLOGÍA

El modelo empleado para hacer la predicción de los procesos erosivos a nivel municipal del área de estudio, Buesaco, Nariño, fue propuesto por Wischmeier y Smith (1978), el cual se resume en la siguiente ecuación:

$$A = R.K.L.S.C.P \quad (9.1)$$

Donde:

$A$ : Pérdida de suelo por unidad de superficie  $\frac{ton}{ha.año}$

$R$ : Factor de erosividad de la lluvia  $\frac{MJ.mm}{ha.año}$

$K$ : Factor de erodabilidad del suelo  $\frac{ton.ha}{MJ.ha.mm}$

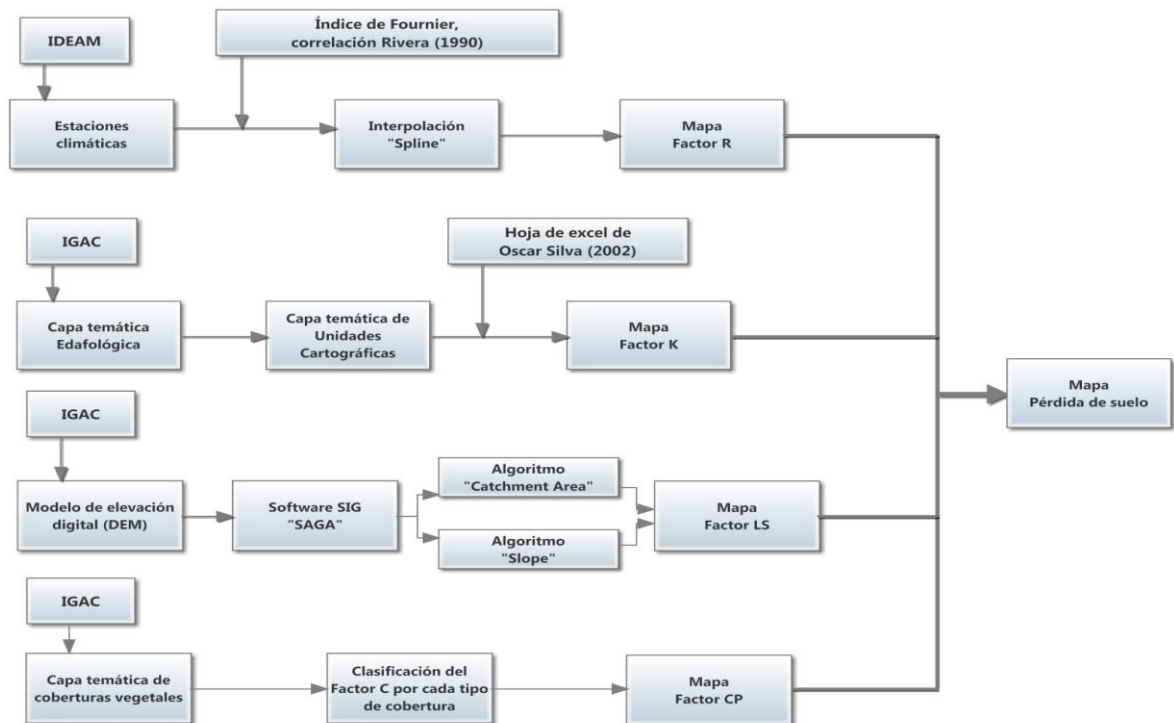
$L$ : Longitud de la pendiente (adimensional).

$S$ : Gradiente de la pendiente (adimensional).

$C$ : Factor de la cubierta vegetal (adimensional).

$P$ : Prácticas de conservación del suelo (adimensional).

**Figura 2..** Proceso que se llevó a cabo para la determinación de la pérdida de suelo en el municipio de Buesaco, Nariño.

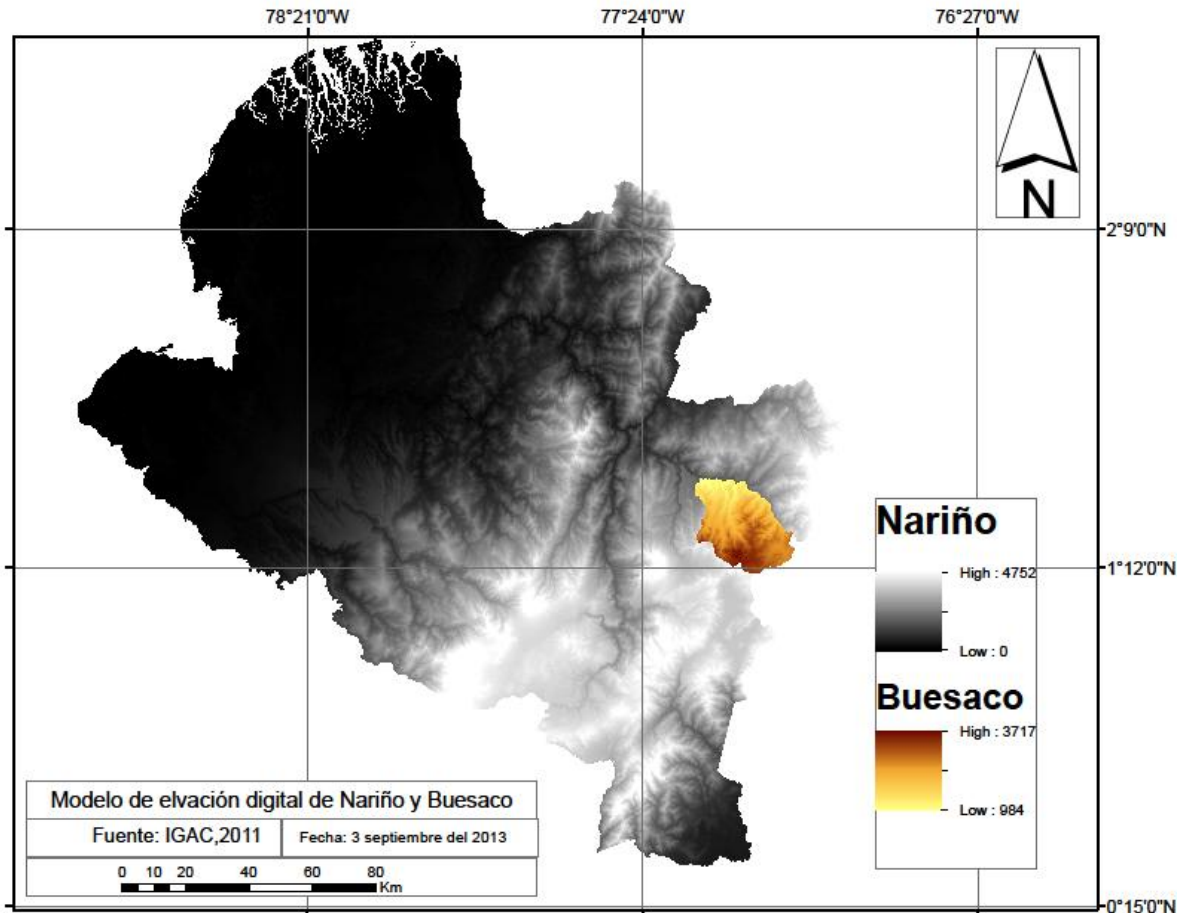


A continuación se presenta la manera como se calculó cada factor y el estado de la información consultada.

## 7.1 Cálculo del Factor *LS*

El modelo de elevación digital utilizado en este trabajo, se muestra a continuación.

**Figura 3.** Modelo de elevación departamental y municipal.



- Una exploración del DEM, a un zoom de escala 1:20000, sugiere que el DEM no requiere correcciones o manipulación previa.

### **Características:**

Layer Name: Modelo\_elevación\_30m

Credits: Modelo digital del Terreno para Colombia. IGAC, Bogotá. 2007

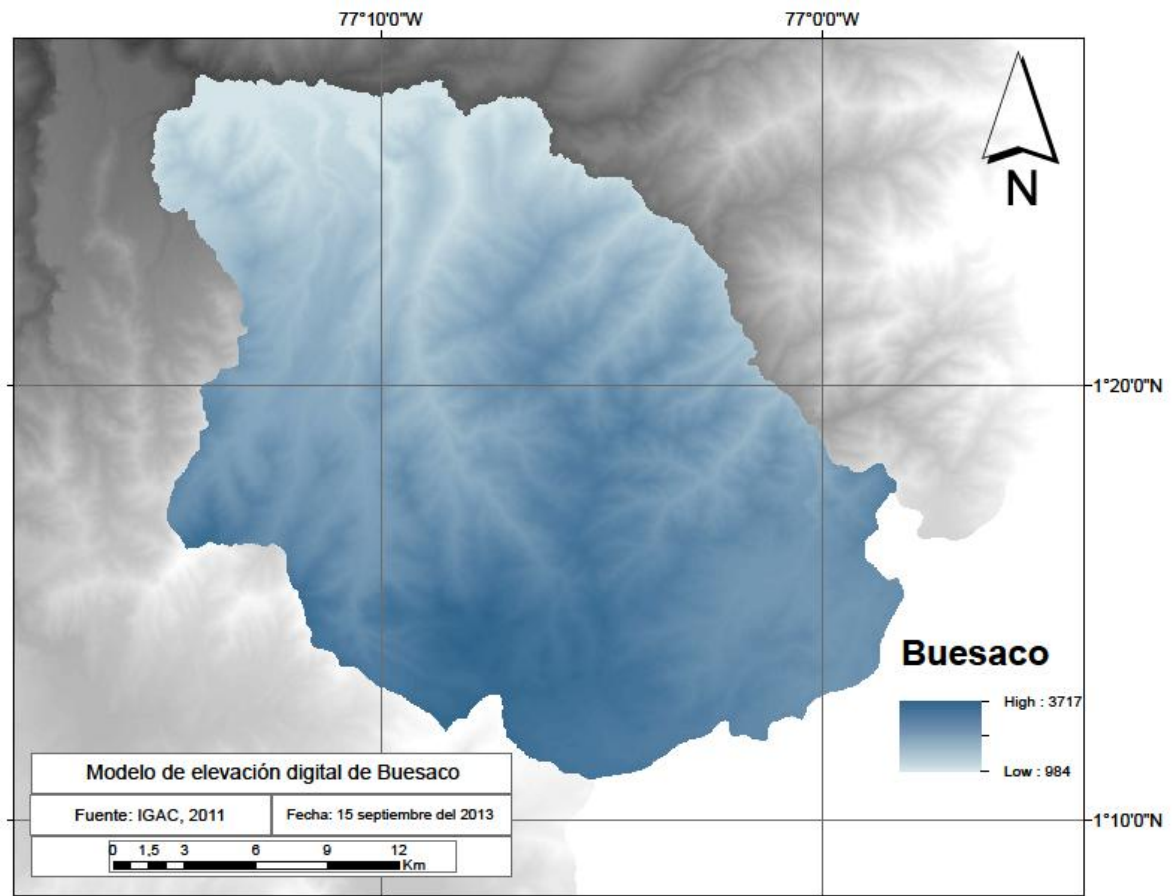
Cellsize (X,Y): 30, 30

Format: FGDBR

Spatial\_Reference: MAGNA\_Colombia\_Oeste

La determinación del factor topográfico del municipio, se realizó a partir del modelo de elevación digital departamental. Con herramientas de extracción de “arctoolbox” y la capa, mapa base del municipio, se extrajo una “máscara” del modelo de elevación departamental, consiguiendo el modelo de elevación digital municipal.

**Figura 4.** Modelo elevación digital del municipio de Buesaco.



Se realizó el cálculo del factor *LS* mediante diversas metodologías propuestas por diferentes autores. Finalmente, se determinó escoger el factor *LS* calculado en el software SIG “SAGA” o “SEXTANTE”, método de cálculo: “Desmet & Govers 1996”.

El procedimiento se realizó a partir del DEM del municipio de Buesaco obtenido y almacenado en la base de datos del actual trabajo.

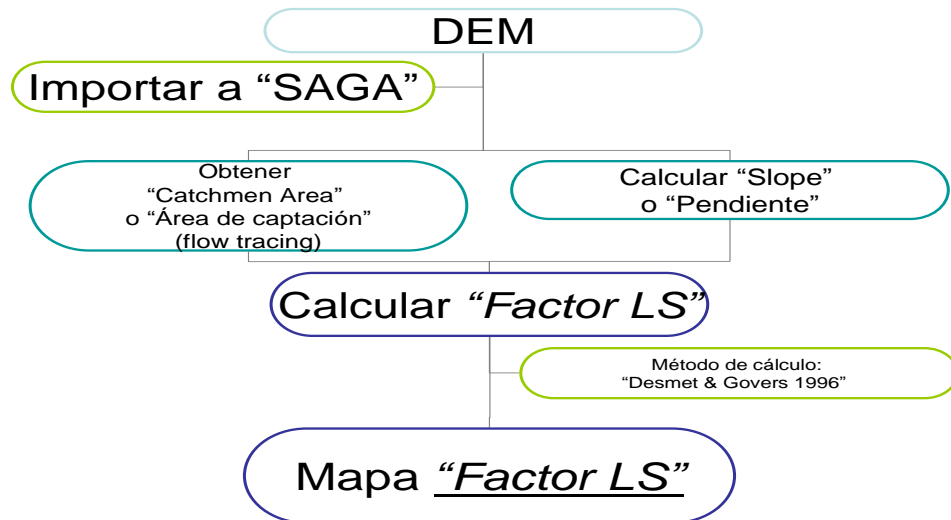
En primer lugar, se abrió el DEM municipal en “SAGA”; de este DEM, se obtuvo la capa “Catchment Area” o “Área de captación”, método de cálculo: “DEMON”.

El paso a seguir consistió en conseguir la capa “Slope” o “Pendiente” a partir del mismo DEM, método de cálculo: “Tarboton, 1997”.

Para Maestro (2005), el algoritmo propuesto por Tarboton (1997) “hasta ahora es, junto con “DEMON”, uno de los métodos más aproximados dado que resuelve los dos grandes problemas que poseen otros métodos (el sesgo en las direcciones del flujo y el modelado de la dispersión en el flujo)”.

Con las dos capas obtenidas en el programa “SAGA”, “Catchment Area” (Área de captación) y “Slope” (Pendiente), se calculó el factor *LS*.

**Figura 5.** Diagrama de flujo para el cálculo del factor *LS* en el software SIG “SAGA”.



Luego, la capa resultante del factor *LS* se exportó a la base de datos del actual trabajo, para poder manipularla con el software SIG “ArcMap”. Una vez cargada la capa “factor *LS*” en “ArcMap”, se notó algunas imperfecciones en el “raster” resultante, creadas por el software SIG “SAGA”, por lo tanto fue necesario emplear la herramienta del catalogo “Spatial Analyst Tools”, “Hydrology”, “Fill”, con el fin de “llenar” dichos vacíos presentes en la nueva capa.

**Cuadro 2.** Valores del Factor *LS* obtenidos para el municipio de Buesaco, Nariño.

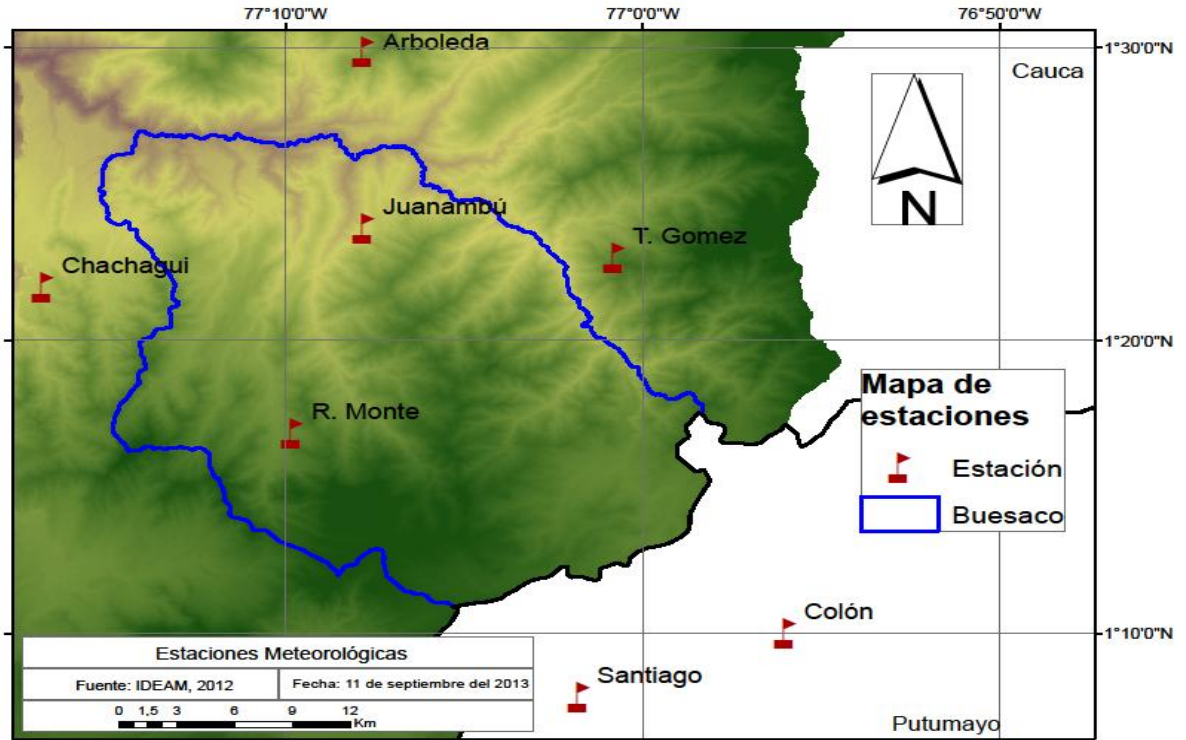
Rango del Factor <i>LS</i>	Clasificación
< 1,5	Muy Baja
1,5 – 3	Baja
3 – 5	Moderada
5 – 7	Alta
7 <	Muy alta

Fuente: Ramirez, 2006

## 7.2 Cálculo del Factor $R$

Para obtener el mapa de distribución del factor  $R$  a nivel municipal se adquirió información de 7 estaciones, tanto municipales, como estaciones que rodean al municipio.

**Figura 6.** Estaciones meteorológicas consultadas.



Con los datos mensuales de 12 años, se calculó el IMF propuesto por Arnoldus (1980), de la siguiente manera:

$$IFM = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P} \quad (9.2.1)$$

Donde:

$IFM$  = Índice modificado de Fournier

$p$  = Precipitación mensual (mm)

$P$  = Precipitación anual (mm)

Con el fin de acoplar el Factor  $R$  al área de estudio, se propone la correlación establecida para el eje cafetero por Rivera (1990), de la siguiente manera:

$$EI_{30} = \sum_{i=1}^{12} 38,4(IFM) + 28,3 \quad (9.2.2)$$

$EI_{30}$  = Erosividad o Factor  $R$ .

$IFM$  = Índice de Fournier Modificado.

La ecuación que presenta Rivera, tiene una correlación  $R=0,92$  entre el  $IMF$  y el  $EI_{30}$ , valor muy aceptable, desde el punto de vista estadístico.

La información adquirida para este factor, fue recibida en hojas de cálculo de Excel, por lo tanto el cálculo del  $IMF$  y el factor  $R$ , se realizó en hojas de cálculo de Excel, para cada estación. Luego, se importó dicha información desde una sola hoja de cálculo de Excel al programa ArcMap. Posteriormente en el catalogo "Spatial Analyst Tools", "Interpolation", se empleó la herramienta "Spline" para crear un "raster" que muestre la dispersión del factor  $R$ . Con este "raster", la capa del mapa base del municipio y la herramienta "Extract by Mask" del catalogo "Spatial Analyst Tools", "Extraction", se consiguió el mapa de dispersión del factor  $R$  del municipio.

El algoritmo utilizado, "Spline", se empleo porque no había suficientes datos para utilizar el algoritmo "Kriging" (se sugiere al menos 10 datos), y porque el algoritmo "IDW" (Inverse Distance Weighting), disipa la información con respecto al origen o estaciones, lo cual, a nivel de precipitaciones, no representa el fenómeno.

La utilización de una herramienta determinística como "Spline", puede incurrir en un error metodológico para el cálculo del factor  $R$ , implicando una limitación en el modelo. Aunque, de Álvarez *et al* (2011), se puede inferir que "los criterios de la validación cruzada o coeficiente de determinación  $R^2$ , error medio cuadrático (EMC), estándar de calidad mínimo e incertidumbre total vertical (TVU), además de comprobar visualmente la superficie interpolada que mas se ajusto a la realidad, establecieron que el método "Spline" cumplió con estos parámetros".

A continuación, se presenta la tabla de rangos del factor  $R$ , para la zona cafetera colombiana.

**Cuadro 3.** Valores del índice de erosividad o factor  $R$ , propuestos por Rivera y Gomez (1991a).

Erosividad, Factor $R$ $\frac{MJ.mm}{ha.año}$	Clasificación del Factor $R$
Menor a 1000	Natural
1000 a 2500	Muy baja
2500 a 5000	Baja
5000 a 7500	Moderada
7500 a 10000	Alta
10000 a 15000	Muy alta
15000 a 20000	Severa
Mayor a 20000	Extremadamente severa

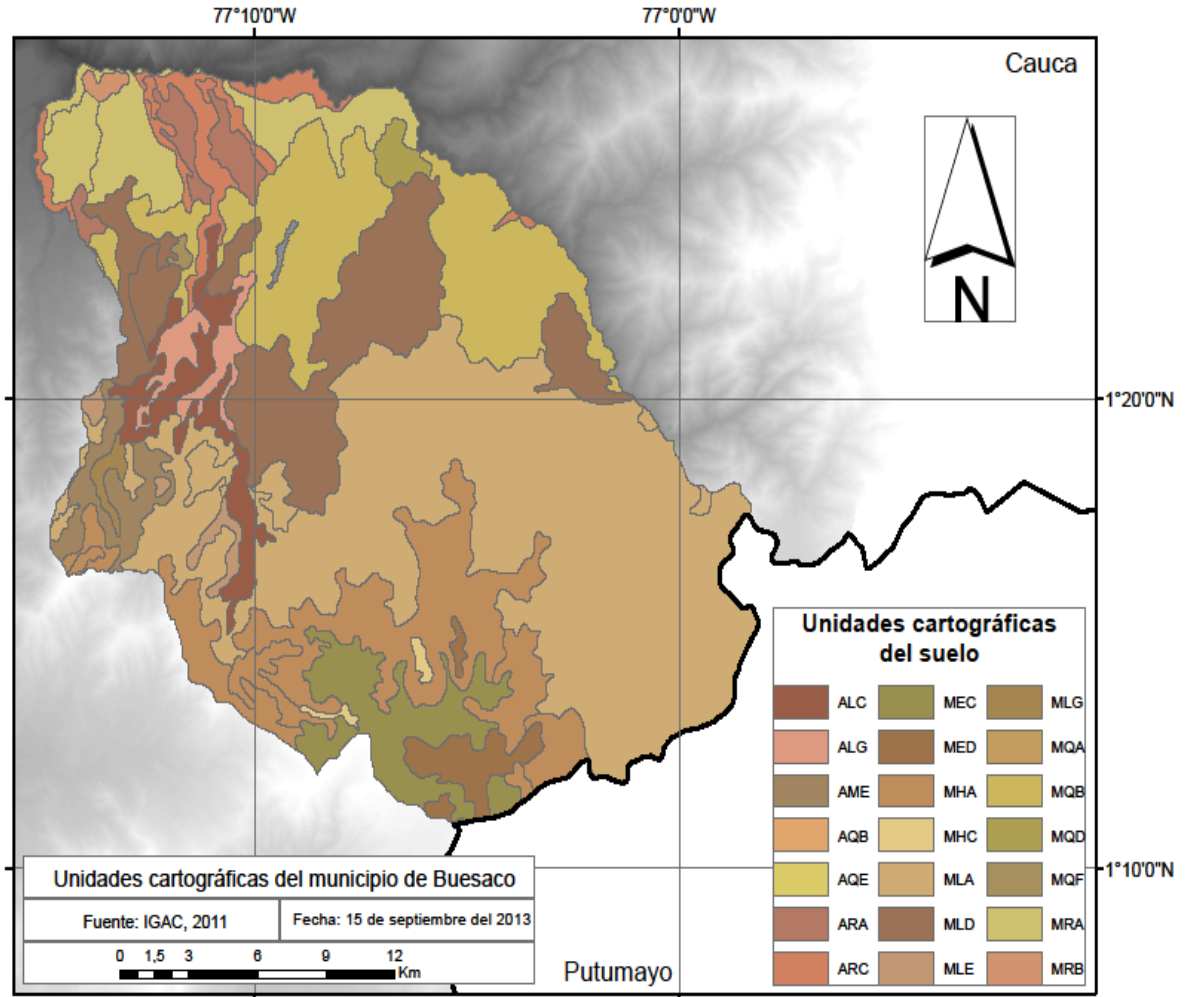
Fuente: Rivera y Gomez, 1991a



### 7.3 Cálculo del Factor *K*

La información necesaria para encontrar el valor de erodabilidad del municipio, se obtuvo de capas temáticas para ArcGis y el Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras para el Departamento de Nariño (2004), por parte del IGAC.

**Figura 7.** Capa de unidades cartográficas del municipio de Buesaco.



#### Características:

Layer Name: Susceptibilidad\_Suelos\_Edaficos

Credits: Estudio general de Suelos y Zonificación de Tierras de Nariño. IGAC, Bogotá D.C, 2007. Análisis de susceptibilidad, generado en el marco del Convenio de Cooperación Técnico-Científica 026 de 2011. FUNDAGUIZA-CORPONARIÑO.

Spatial\_Reference: MAGNA\_Colombia\_Oeste

En primer lugar, la capa temática mostraba, en su tabla de atributos, las unidades cartográficas del municipio con sus respectivos perfiles modales; y en segundo lugar, el Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras para el Departamento de Nariño (2004), muestra información sobre el porcentaje de arcilla, limo, arena y carbono orgánico, de cada unidad cartográfica de los suelos, datos obligatorios en el método propuesto por Wischmeier y Smith (1978).

Para la determinación de la Materia Orgánica presente en el suelo se multiplicó el porcentaje del carbono orgánico por un factor igual a 1,724 (JACKSON, 1964).

El cálculo del factor *K*, se realizó mediante la hoja de calculo propuesta por Silva (2002). Se creó una hoja de cálculo donde se relacionó cada unidad cartográfica con sus correspondientes valores del factor *K*. Luego, esta hoja de cálculo se agregó a la tabla de atributos de la adquirida capa Edafológica del municipio, mediante la herramienta “Joins and Relates” de ArcMap. Con los datos del factor *K*, en la tabla de atributos de la capa Edafológica, se prosiguió a transformar la capa “shape” en “raster”, mediante la herramienta del catalogo “Conversion Tools”, “To Raster”, “Polygon to Raster”.

Los rangos propuestos por Rivera y Gomez (1991b) para la zona cafetera del país, se lo toma como referente para los resultados de este estudio.

**Cuadro 4.** Clasificación del factor de erodabilidad o factor *K*, para el eje cafetero colombiano.

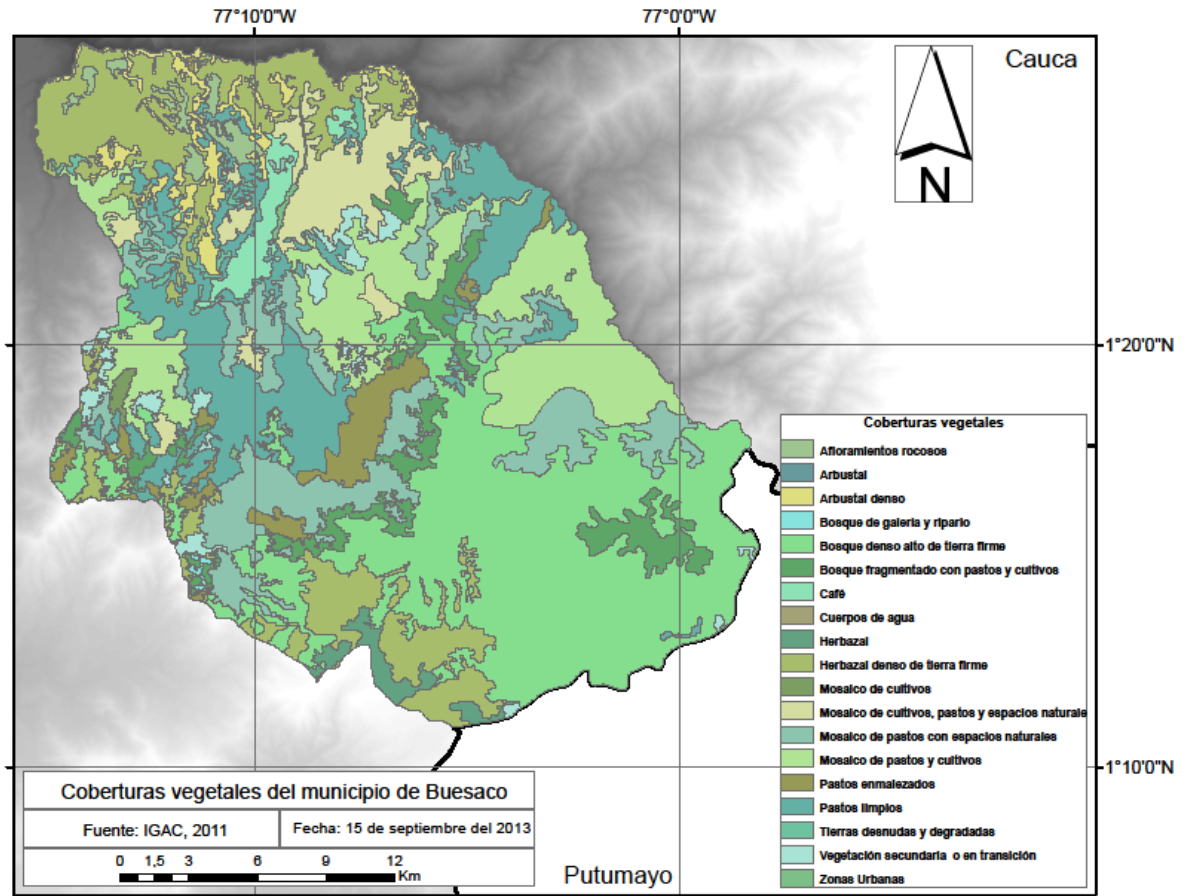
Índice de erodabilidad o Factor <i>K</i> $\frac{t.ha}{ha.MJ.mm}$	Clasificación
Menor de 0.01	Natural
0.01 a 0.02	Muy bajo
0.02 a 0.04	Bajo
0.04 a 0.06	Moderado
0.06 a 0.08	Alto
0.08 a 0.10	Muy alto
0.10 a 0.15	Severo
Mayor de 0.15	Extremadamente severo

Fuente: Rivera y Gomez, 1991b

## 7.4 Cálculo del Factor CP

La información necesaria para crear una capa temática con el factor CP, se obtuvo de la tabla propuesta por la FAO (1989).

**Figura 8.** Capa de coberturas vegetales del municipio de Buesaco.



### Características:

Layer Name: Susceptibilidad de la cobertura a movimientos en masa  
 Credits: Adaptación de Corine LandCover para Colombia. IDEAM-IGAC, Bogotá D. C., 2010. Mapa de ecosistemas continentales, costeros y marinos de Colombia, IDEAM-IGAC-IAvH-IIAP.  
 Spatial\_Reference: MAGNA\_Colombia\_Oeste

Con la capa temática de coberturas vegetales del municipio de Buesaco, se creó una hoja de cálculo con el tipo de cobertura vegetal y su respectivo valor del factor C. Con esta hoja de cálculo, se realizó un "Join" a la tabla de atributos de la capa de cobertura vegetal municipal. Luego, con la herramienta "Polygon to Raster", se creó el "raster" con la información del factor C.

Debido a que en la actualidad, en el municipio no existen mecanismos de conservación de suelo que impidan o reduzcan el proceso erosivo de las precipitaciones, para el factor P, no se realizó ninguna capa y por lo tanto se asumió como valor máximo “1”.

Se escogieron los valores propuestos por la Food and Agriculture Organization (FAO), por la extensa lista de coberturas vegetales.

**Cuadro 5.** Valores propuestos por la FAO para el factor C.

<b>Cobertura</b>	<b>Factor C</b>
<b><i>Bosque natural</i></b>	0,003
Selva virgen	0,0005
Bosque secundario	0,007
<b><i>Pasto</i></b>	0,009
Pasto (natural o mejorado)	0,008
Vegetación natural baja	0,012
<b><i>Cultivos perennes</i></b>	0,079
Café	0,090
Banano	0,062
Cacao	0,050
<b><i>Cultivos anuales</i></b>	0,495
Papa - zanahoria o papa – cebolla	0,615
Maíz	0,519
Tomate	0,502
Caña de azúcar	0,263

Fuente: FAO, 1989

## 7.5 Mapa de pérdidas de suelo

Con la herramienta “Raster Calculator” del catálogo “Spatial Analyst Tools”, “Map Algebra”, se realizó el producto de los 4 “raster” resultantes (Factor *R*, Factor *K*, Factor *LS*, Factor *C*) con el fin de obtener un “raster” final, donde se muestren los resultados de dicha multiplicación.

**Cuadro 6.** Clasificación de la erosión en los suelos.

<b>Clasificación</b>	<b>Rangos</b> $\frac{t}{ha.año}$
<b>Ligera</b>	<100
<b>Moderada</b>	100-500
<b>Fuerte</b>	500-1500
<b>Severa</b>	1500<

Fuente: FAO, 1993

## 8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 8.1 Factor *LS*

La amplia red de drenaje ha formado un municipio con grandes formaciones orográficas, cuyo efecto resulta ser un beneficio para muchos cultivos, pero también, un inconveniente en el desarrollo y en los asentamientos humanos.

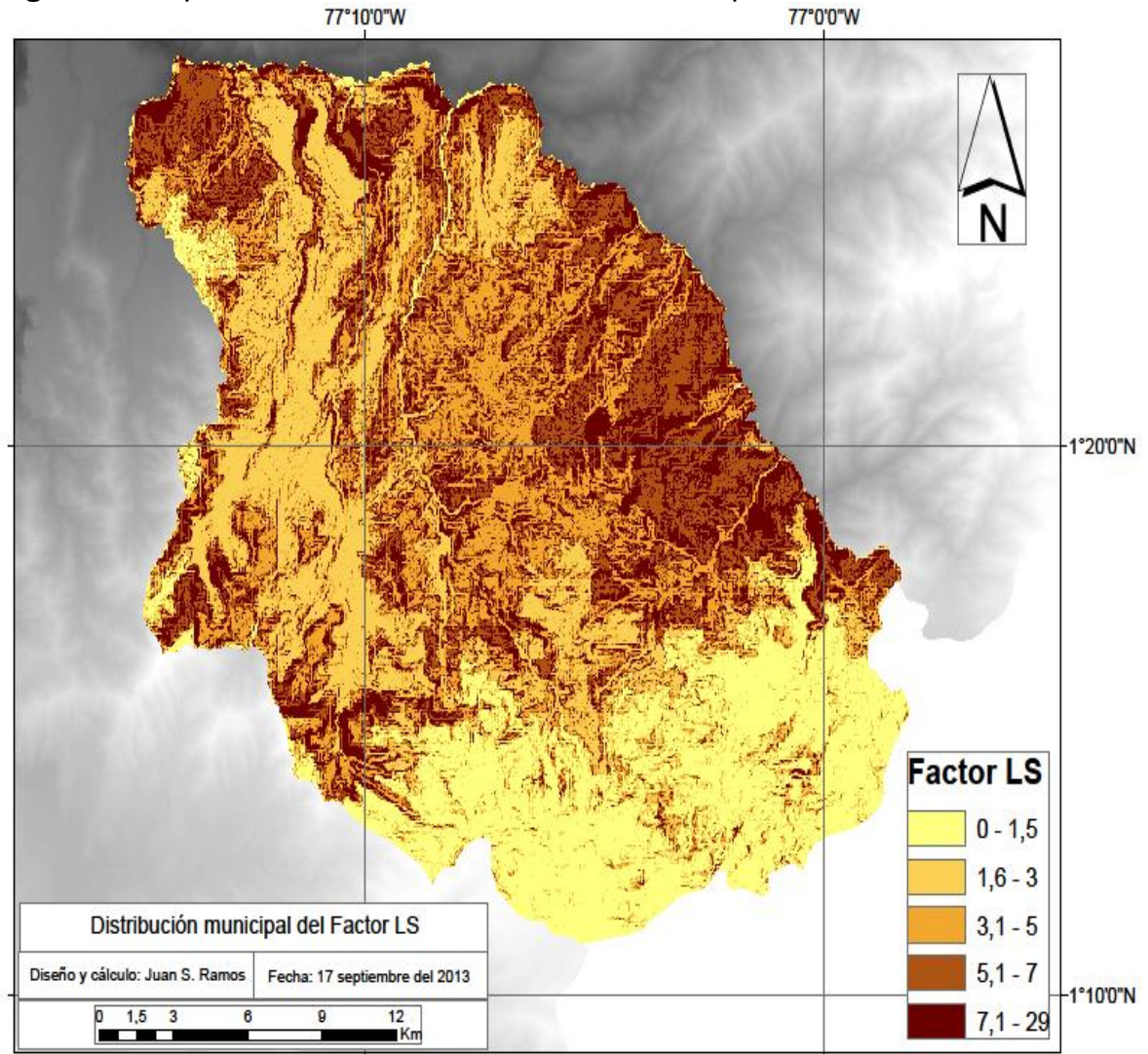
En campo, según Wischmeier y Smith (1965), el incremento de la pendiente y la longitud de la ladera, disminuye la infiltración del agua, aumentando el transporte del material superficial del suelo.

También como lo explica Suárez de Castro (1962), la longitud y la pendiente de las laderas, constituyen un factor determinante en el proceso de escorrentía por las mismas, permitiendo el transporte de partículas en gran cantidad.

Los mayores valores se presentaron en la zona oriental del municipio, territorio característico de los nudos de los pastos, con montañas y pendientes elevadas; hacia el nor-occidente y al occidente del municipio, se encuentra una disminución de los valores por la presencia de mesetas y formaciones orográficas de poca elevación.

El raster del factor *LS* muestra las secciones del municipio donde hay influencia del producto entre la longitud de la pendiente (*L*) y su gradiente (*S*).

**Figura 9.** Representación del Factor *LS* en el municipio de Buesaco, Nariño.



**Cuadro 7.** Rangos del factor *LS* en el área del municipal.

Clasificación	Rango del Factor <i>LS</i>	Área (ha)	Área (%)
Muy Baja	< 1,5	8052,6	13,1
Baja	1,6 – 3	12847,2	20,9
Moderada	3,1 – 5	19916,3	32,4
Alta	5,1 – 7	10941,7	17,8
Muy alta	7,1 <	10572,8	17,2

## 8.2 Factor $R$

Las precipitaciones tuvieron un máximo en la zona sur del municipio, la que colinda con el departamento del Putumayo y el municipio de San Juan de Pasto; por el contrario, en la zona central y nor-occidental del municipio, se observa disminución de los valores. El mapa de tendencia del factor  $R$ , muestra una relación directa con las precipitaciones anuales de cada estación consultada.

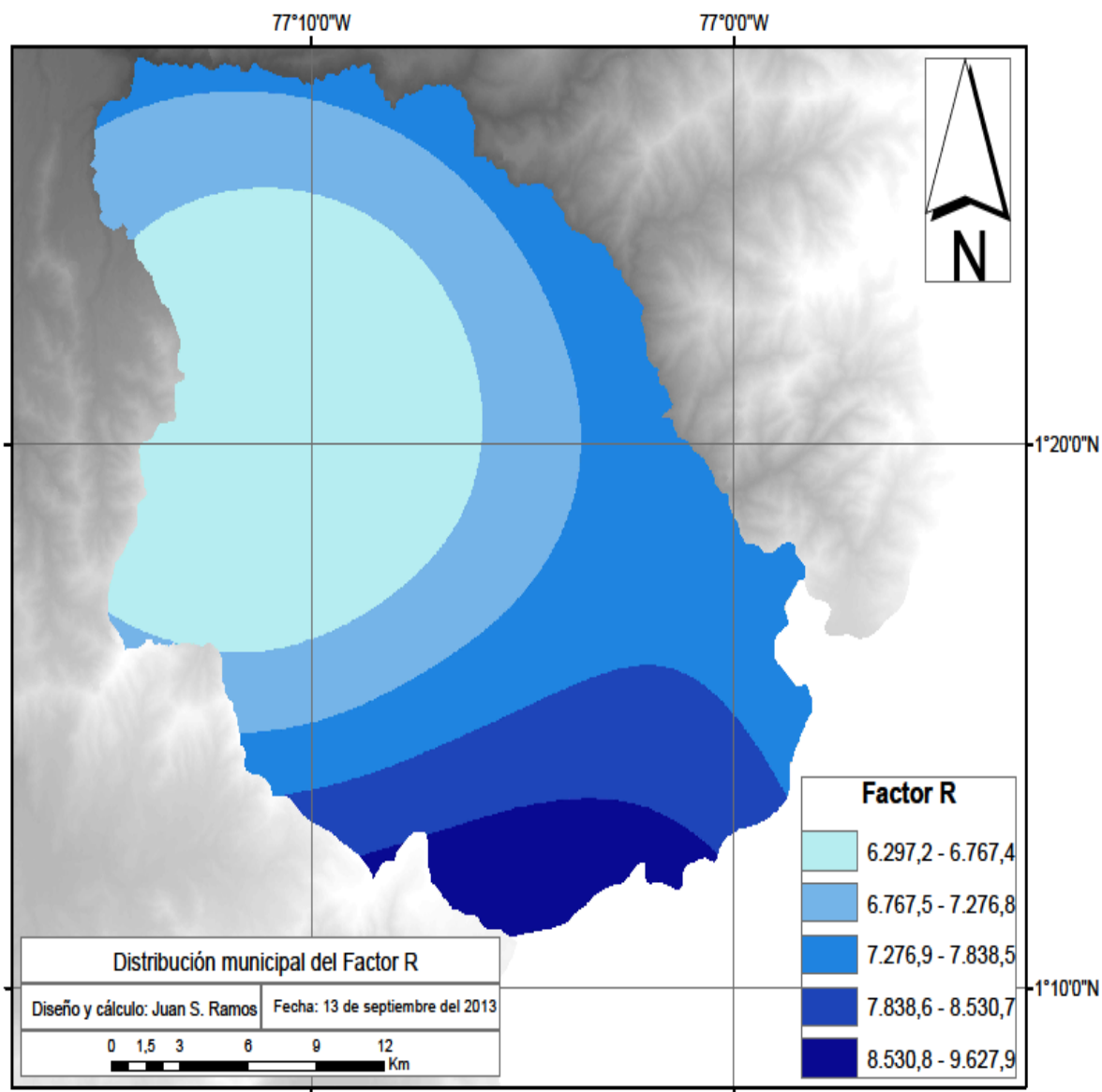
Las precipitaciones tuvieron un comportamiento variable a lo largo del municipio, con valores anuales que se encuentran entre 1301 mm y 2634 mm. Con una tendencia mayor hacia el sur del municipio y menor hacia el nor-occidente del mismo.

Los valores del Índice modificado de Fournier, osciló entre los valores 173 y 277, superando, en todas las estaciones de donde se obtuvo información, el rango máximo para el IMF, propuesto por Lobo *et al* (2005), de 160, calificando todas las zonas que pertenecen a las estaciones de estudio, como áreas de alto potencial erosivo.

El factor  $R$ , por su parte, tuvo valores que variaron entre 6297 y 9627  $\frac{MJ.mm}{ha.año}$ , distribuido a nivel municipal, de la zona de menor altura sobre el nivel del mar a la de mayor altura sobre el nivel del mar, respectivamente, indicando valores correspondientes a los niveles de precipitación en el área de estudio.



**Figura 10.** Mapa de dispersión del Factor *R* en el municipio de Buesaco, Nariño.



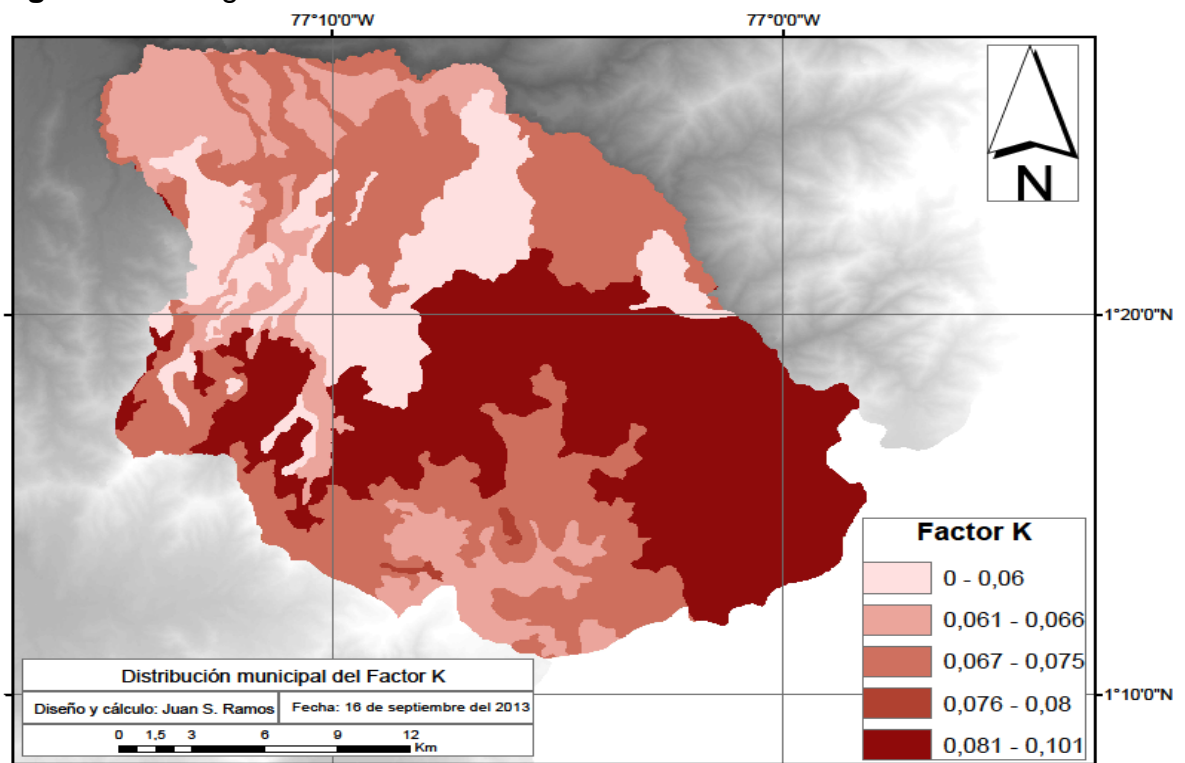
**Cuadro 8.** Rangos del Factor *R* en área del municipal.

Clasificación	Rango Factor R	Área (ha)	Área (%)
Moderada	6.297,2 - 6.558,4	12214,1	19,87
Moderada	6.558,5 - 6.963,3	12343,2	20,08
Moderada	6.963,4 - 7.394,4	12312,4	20,03
Alta	7.394,5 - 7.773,1	12207,9	19,86
Alta	7.773,2 - 9.627,9	12386,2	20,15

### 8.3 Factor K

Se escogió el método para el cálculo del factor de erodabilidad propuesto en la hoja de cálculo de Silva (2002), aunque el cálculo también se hizo de manera manual y su resultado fue similar al encontrado en la hoja de cálculo de Silva (2002). Los datos de erodabilidad variaron entre 0,101 y 0 unidades de erodabilidad ( $\frac{t.ha}{ha.MJ.mm}$ ). Los valores más altos corresponden a lugares con densa vegetación entre bosque primario, secundario y arbustos, suelos característicos de mantos de ceniza volcánica. Por el contrario, las zonas de menor erodabilidad, parten de cultivos o pastizales, en adelante, y cuyo origen también es volcánico. El valor del factor *K* que mayor área cubre es 0,08 con un área de 22089,6 ha o 36% del área total.

**Figura 11.** Imagen de distribución del factor *K*.



**Cuadro 9.** Rangos del factor *K* en el área municipal.

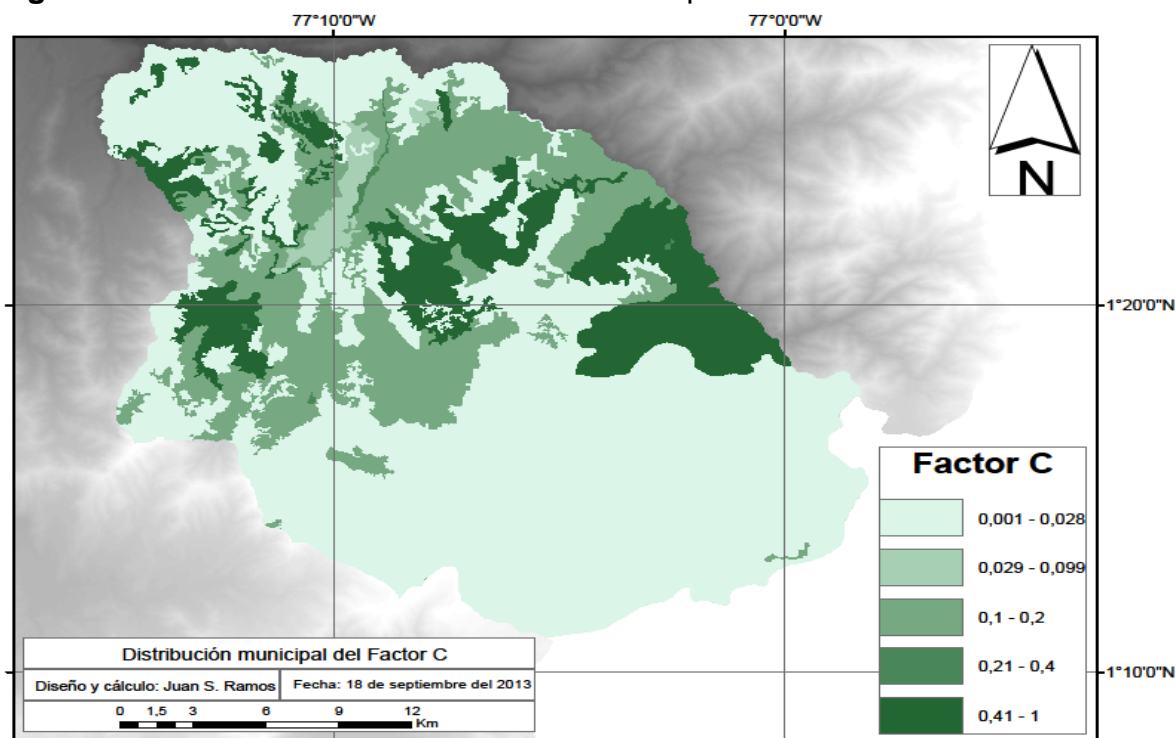
Clasificación	Rango factor K	Área (ha)	Área (%)
Natural - Moderado	0 - 0,06	7437,9	12,1
Alto	0,061 - 0,066	2053,1	3,34
Alto	0,067 - 0,075	20285,1	33
Alto	0,076 - 0,08	9589,3	15,6
Muy Alto	0,081 - 0,101	22006,3	35,8

## 8.4 Factor C

Los valores del factor C variaron de 0.001 a 1, cumpliendo con los rangos propuestos por la FAO (1989). En los cultivos inherentes de la región, se encuentra en gran porcentaje el cultivo del café, el cual abarca un área de 22 mil hectáreas, casi la tercera parte del área total municipal. La cobertura vegetal que más abunda en el municipio es el bosque denso o bosque primario.

Cultivos mixtos, mosaicos de pastos, tierras degradadas y afloramiento rocosos, representan el mayor valor de "C", cubriendo un área de 9262,5 ha o 15,1% del área municipal. El bosque denso alto de tierra firme cubre la mayor cantidad de área del municipio (16564,8 ha o 27%). El mínimo valor del factor C (0,001), cubre un total de 18064 ha, representando el 30% del área municipal

**Figura 12.** Distribución del factor C en el municipio de Buesaco.



**Cuadro 10.** Rangos de factor C en el área municipal.

Rango Factor C	Área (ha)	Área (%)
0,001 – 0,028	38111,4	62
0,029 – 0,099	983,5	1,6
0,1 – 0,2	12970,2	21,1
0,21 – 0,4	135,2	0,22
0,41 - 1	9269,7	15,08

## 8.5 Mapa de pérdidas de suelo

La formación orográfica, características de esta región, son la causa principal de la pérdida de suelos, acompañadas de las prolongadas laderas. Además, el factor detonante (precipitación), contribuye sustancialmente en el proceso erosivo del área de estudio.

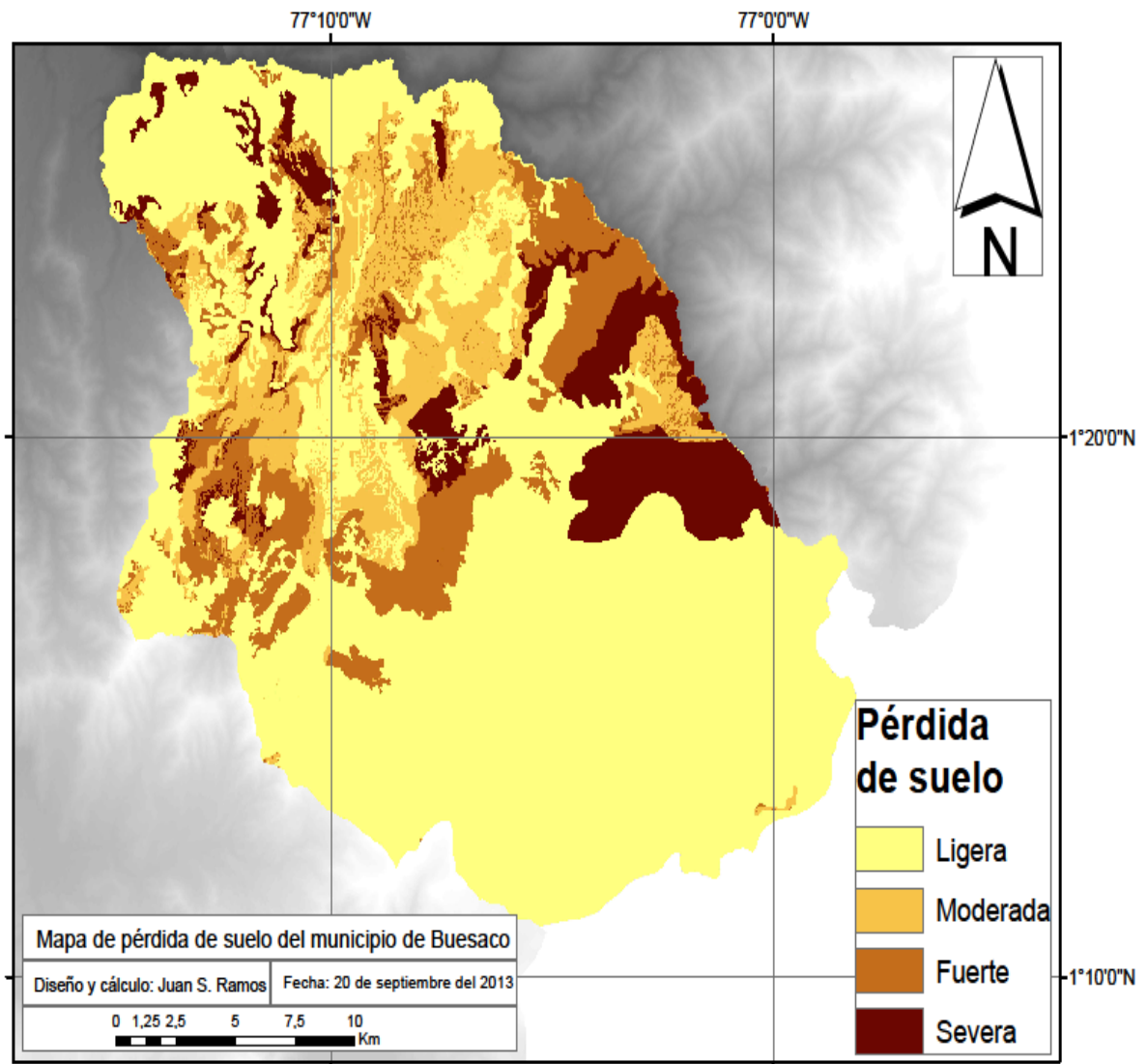
En el mapa resultante de pérdida de suelo, es de fácil reconocimiento los lugares de mayor resistencia a los procesos erosivos, debido a la cobertura vegetal, mostrada en el mapa del Factor C. La información determina que a mayor cantidad de follaje o cobertura vegetal, menor pérdida de suelo superficial.

El mapa resultante muestra, a nivel municipal, que existe pérdida de suelo en “Ligera” intensidad en aproximadamente el 63,4% del territorio municipal. Por otro lado, el municipio sufre pérdidas de magnitud “Severa” en aproximadamente el 9% del territorio estudiado, donde se encontraron valores superiores a  $1500 \frac{t}{ha.año}$ .

Es importante reconocer que en el 63,4% del área municipal se presentan pérdidas de suelo menores a  $100 \frac{t}{ha.año}$ , indicando un proceso erosivo “natural” o poco significativo con respecto a otras áreas municipales.

Además, se debe prestar atención al 9,1% del área municipal donde se generan procesos erosivos mayores a  $1500 \frac{t}{ha.año}$ . Se debe indicar que los suelos en este bajo porcentaje municipal (9,1%), son suelos de cultivos mixtos, tierras degradadas y afloramientos rocosos, incrementando la probabilidad erosiva; además, la capa del factor *LS*, indica valores muy altos hacia el Este del municipio, donde se concentra la mayor parte de este porcentaje.

**Figura 13.** Mapa de pérdidas de suelo al municipio de Buesaco, Nariño.



**Cuadro 11.** Incidencia de pérdida de suelo en el área de estudio.

Clasificación	Rangos $\frac{t}{ha.año}$	Área (ha)	Área (%)
Ligera	<100	40197,14	63,4
Moderada	100-500	8028,2	14,1
Fuerte	500-1500	7614,6	13,4
Severa	1500<	5630,4	9,1

## 8.6 Validación de resultados

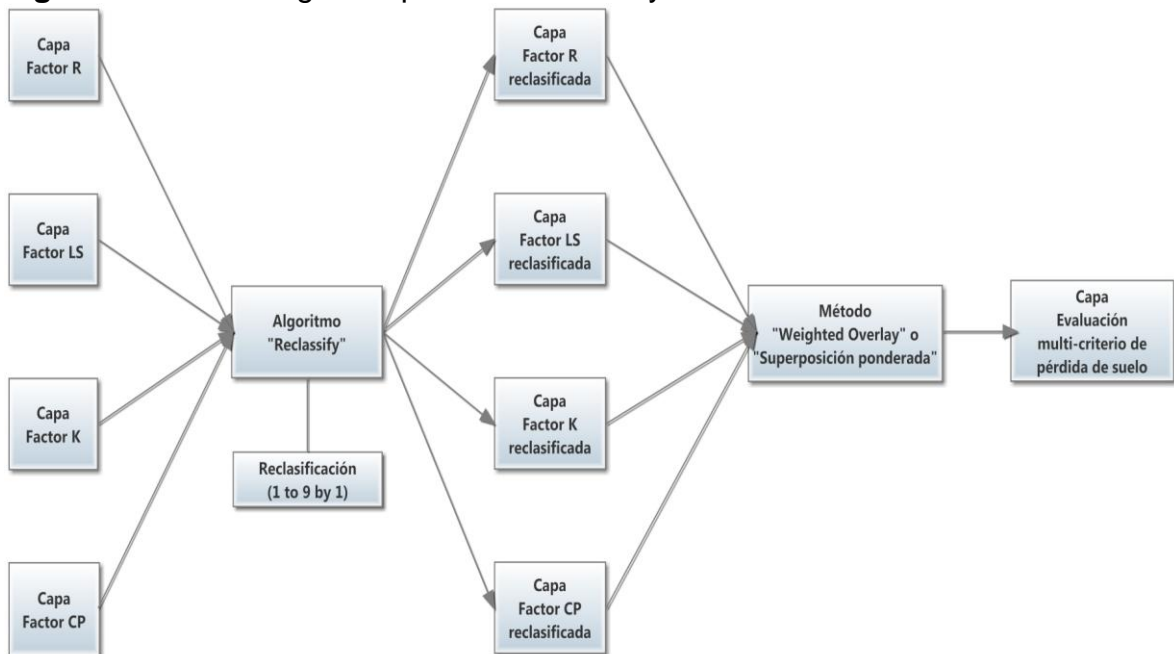
### 8.6.1 Evaluación multi-criterio (EMC)

Para evaluar la susceptibilidad de erosión presente en los suelos del municipio de Buesaco, se utilizaron, como criterios para realizar la EMC, los “factores” del modelo USLE creados en el desarrollo del presente trabajo. Además, para realizar la EMC, se acudió al logaritmo de ArcMap, “Weighted Overlay” o “Superposición ponderada”, del catálogo “Spatial Analyst”.

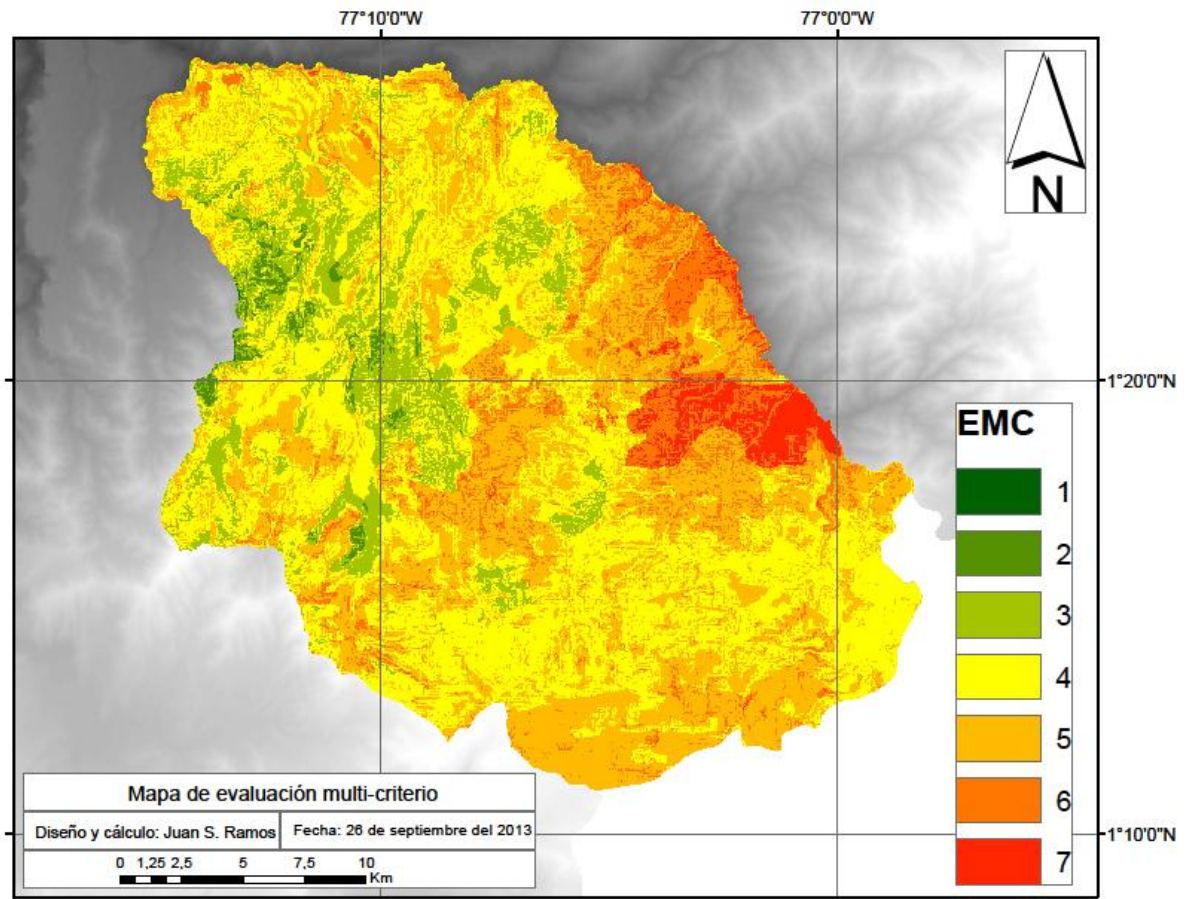
El criterio de selección de esta metodología se basó en que los “raster” del modelo ya creados, facilitaban la intervención de esta herramienta para realizar un análisis multi-criterio y además, el análisis de “Superposición ponderada” o “Weighted Overlay”, es, según Bonis (2011), “uno de los métodos más empleados por su sencillez, en la que el grado de adecuación se calcula sumando el resultado de multiplicar el valor de cada criterio por su peso”.

Fue necesario reclasificar las categorías de cada “raster” a una escala común y de números enteros mediante la herramienta “Reclassify” del catálogo “Spatial Analyst”. Para este trabajo la escala de reclasificación para cada capa temática varió entre 1 a 9, con valores de “1” en “1”. Este criterio de escala no obedece a ningún trabajo o experiencia previa, pero sí a las recomendaciones propuestas en la sección de ayuda de ArcGis. El mapa resultante de la “Superposición ponderada” se clasificó de 1 a 9, de “1” en “1”, donde 1 es menos susceptible y 9 es más susceptible al proceso erosivo.

**Figura 14.** Metodología del proceso de EMC y su resultado.



**Figura 15.** Mapa resultado de la EMC.



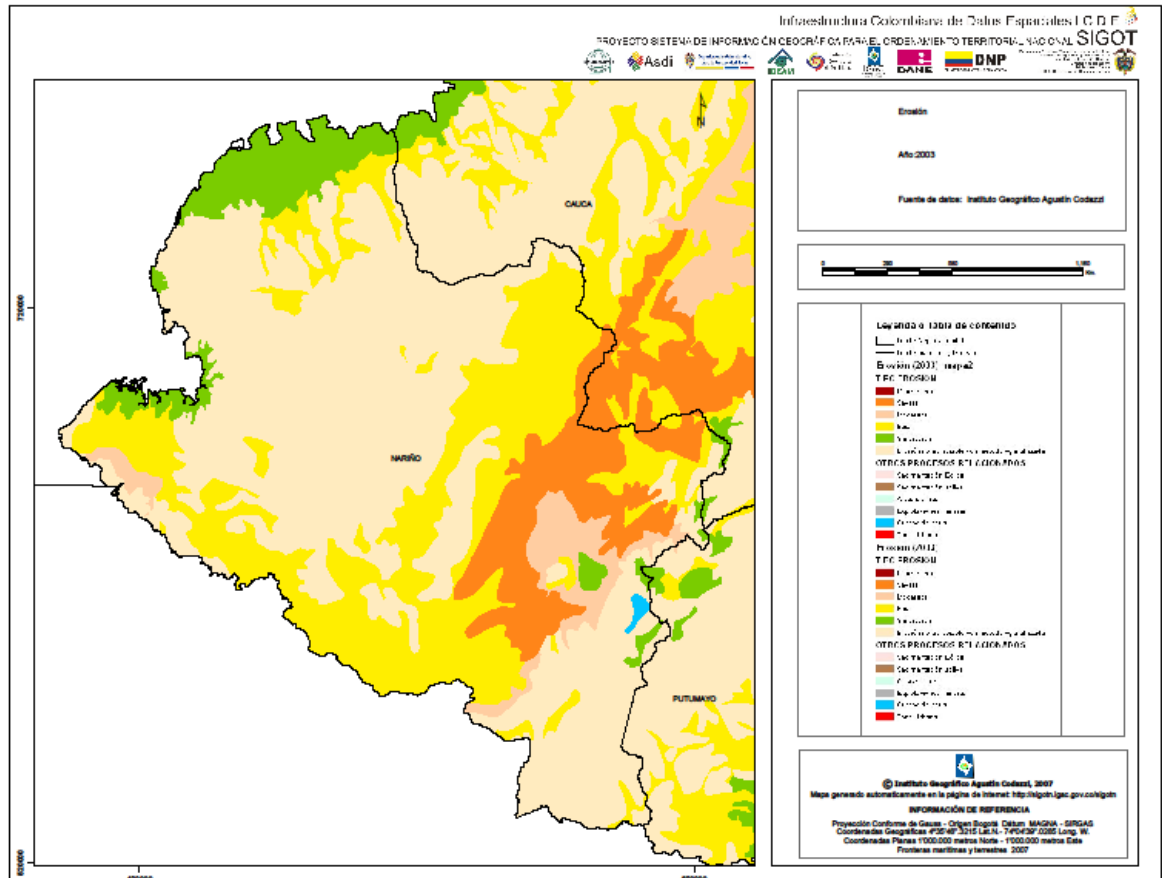
**Cuadro 12.** Susceptibilidad a la erosión mediante EMC en el área de estudio.

Clase	Criterio	Área (ha)	Área (%)
1	Menos susceptible	8,8	0,01
2		715,4	1,16
3		6507,7	10,6
4	Susceptible	24917	40,5
5		22249,7	36,2
6		5506,9	8,9
7	Más susceptible	1560,8	2,5

## 8.6.2 Mapa de erosión departamental

Se obtuvo de la página del sistema de información geográfica para planeación y ordenamiento territorial (SIG-OT), el mapa de erosión departamental propuesto por el IGAC, con el fin de corroborar la información propuesta por el modelo USLE.

**Figura 16.** Mapa de erosión departamental (SIGOT, 2003).



Layer Name: Erosión (2003).

Credits: Sistema de Información Geográfica para la Planeación y el Ordenamiento Territorial.

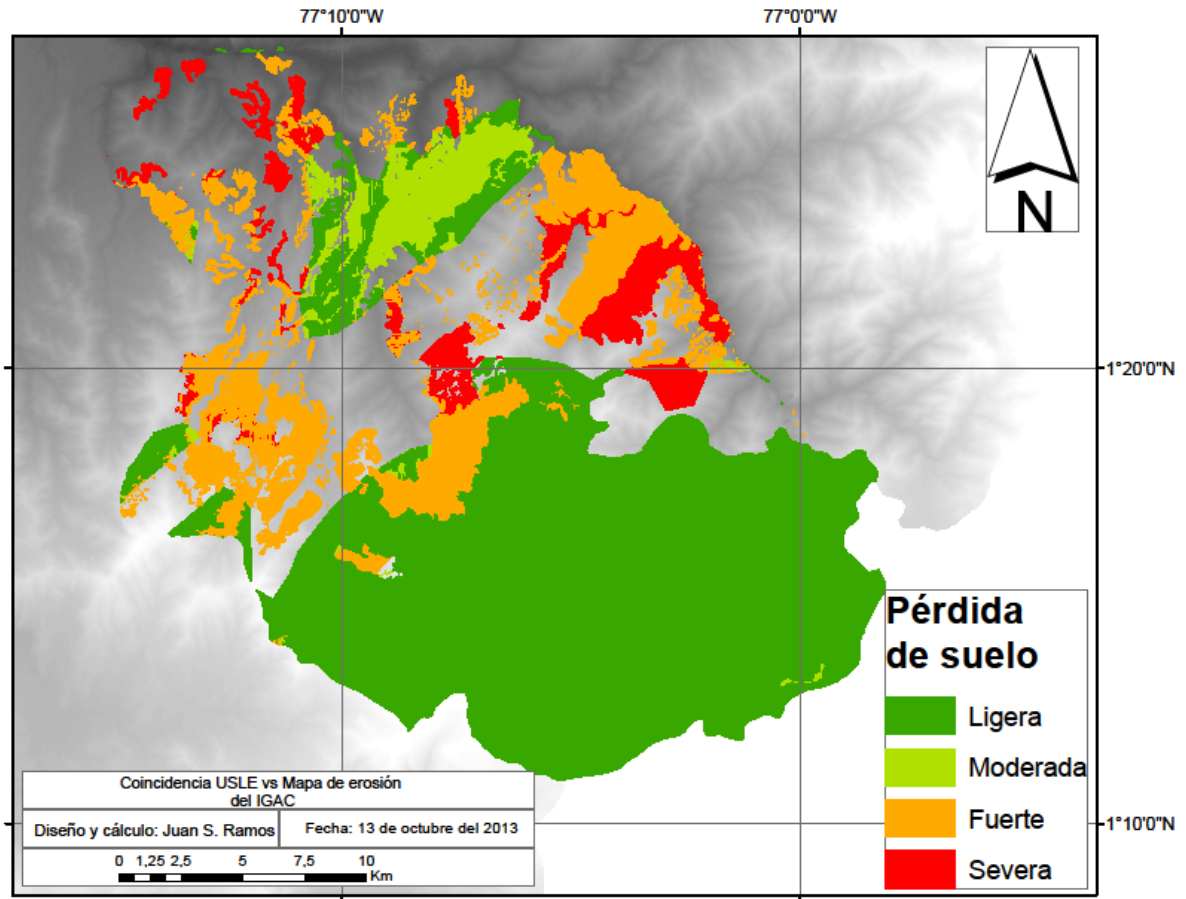
Spatial\_Reference: MAGNA\_Colombia\_Oeste

De la página del SIGOT se descargó el “shape” relacionado con el mapa de erosión del departamento. A continuación mediante la herramienta “clip” se obtuvo la capa correspondiente a la erosión solo del municipio de Buesaco. Luego, se compararon las áreas de los “shape”, del modelo USLE y el de erosión propuesto por el IGAC.

A continuación se muestra el “Shape” resultante señalando las áreas que coinciden entre el “shape” de USLE y el mapa de erosión del IGAC:



**Figura 17.** Coincidencia USLE vs Mapa de erosión del SIG-OT.



**Cuadro 13.** Áreas de coincidencias, USLE vs Mapa de erosión oficial SIG-OT.

Erosión	Área (ha)	Área (%)
<b>Ligera</b>	27172,4	44,2
<b>Moderada</b>	2745,7	4,5
<b>Fuerte</b>	6823,6	11,1
<b>Severa</b>	3356,3	5,4

Como característica principal del mapa de erosión de suelo nacional, se debe tener en cuenta que “este índice se ha obtenido a partir de la interpretación de imágenes de satélite, análisis multitemporales y la utilización de la información departamental correspondiente a los estudios generales de suelos”, como se manifiesta en la metadata del “shape” descargado.

Además, se debe recordar que la información adquirida de la página del SIG-OT, tiene una precisión de escala 1:500000.

### 8.6.3 Estudio general de suelos del departamento de Nariño

A continuación, se compara los resultados del trabajo propuesto con la información existente en el Estudio General de Suelos del Departamento de Nariño del IGAC (2004).

**Cuadro 14. Unidades cartográficas y pérdidas de suelo.**

Unidad Cartográfica	Corregimiento	Pendiente (%)	Área (ha)	Área (%)	Relieve	Pérdida de suelo (IGAC)	Pérdida de suelo (USLE)
ALCd	Villa Moreno – R. del Monte	12-25	1749,5	3,1	Fuertemente inclinado	Poca a nula	Ligera a severa
ALCd2	El Cortijo	12-25	247,3	0,4	Fuertemente inclinado	Surcos, cárcavas; grado moderado	Moderada
ALGf2	Villa Moreno	50-75	938,8	1,6	Moderadamente escarpado	Hídrica de surcos, cárcavas; moderada	Moderada
AMEg2	Chapacual (Yacuanquer)	>75	1311,5	2,2	Fuertemente escarpado	Surcos, cárcavas; grado moderado	Ligera a severa
AQB	Los Llanos (San pablo)	7-12	1	0,0	Moderadamente escarpado	Surcos, cárcavas; grado moderado	Fuerte a severa
AQEd	Vía a Chachagüí	12-25	14,2	0,0	Fuertemente inclinado	Poca o nula	Fuerte a severa
ARAc2	Juanambú	7-12	1051,2	1,8	Moderadamente inclinado	Surcos, cárcavas; grado moderado	Ligera a severa
ARAc2	San Antonio	7-12	109,6	0,2	Moderadamente inclinado	Surcos, cárcavas; grado moderado	Ligera a severa
ARCg2	Las Juntas (Ancuya)	>75	1703,5	2,9	Fuertemente escarpado	Surcos, cárcavas; grado moderado	Ligera a severa
MEC	San Felipe	12-25	2957,9	5,0	Fuertemente inclinado	Poca a nula	Ligera
MEDay	Monopamba	0-3	1145,9	1,9	Plano	Poca a nula	Ligera
MHAc	San Martín (Tangua)	7-12	655,7	1,1	Ligeramente inclinado	Poca a nula	Ligera
MHAf	El Encano (Pasto)	50-75	5352,3	9,0	Moderadamente escarpado	Poca a nula	Ligera
MHAg	Miraflores (San Lorenzo)	>75	773,8	1,3	Fuertemente escarpado	Poca a nula	Ligera
MHCb	El Tambo (Arboleda)	3-7	80,2	0,1	Moderadamente inclinado	Poca a nula	Ligera
MLAg	Monopamba (Puerres)	>75	674	1,1	Fuertemente escarpado	Poca a nula	Ligera a severa
MLAf	Aguapamba (Pasto)	50-75	21345,5	36,1	Moderadamente	Poca a nula	Ligera a severa

					escarpado		
<b>MLDf</b>	R. del Monte	50-75	3050	5,2	Moderadamente escarpado	Poca a nula	Ligera a fuerte
<b>MLDf</b>	Tongosoy	50-75	3050	5,2	Moderadamente Escarpado	Poca a nula	Ligera a fuerte
<b>MLEe</b>	Catambuco (Pasto)	25-50	39,1	0,1	Ligeramente escarpado	Poca a nula	Ligera
<b>MLEd</b>	Santander (Tangua)	12-25	387,5	0,7	Fuertemente inclinado	Poca a nula	Ligera
<b>MLGb</b>	Villa Moreno	3-7	113	0,2	Ligeramente inclinado	Poca a nula	Ligera a moderada
<b>MLGb</b>	Meneces	3-7	113	0,2	Ligeramente inclinado	Poca a nula	Ligera a moderada
<b>MQBf</b>	Bellavista (Linares)	50-75	687,6	1,2	Moderadamente Escarpado	Poca a nula	Ligera a fuerte
<b>MQAf</b>	San Antonio (Alban)	50-75	1,5	0,0	Moderadamente escarpado	Poca a nula	Severa
<b>MQBg2</b>	Santa María	>75	2471,2	4,2	Fuertemente escarpado	Surcos, cárcavas; grado moderado	Moderada a severa
<b>MQBg2</b>	La Enramada	>75	2471,2	4,2	Fuertemente escarpado	Surcos, cárcavas; grado moderado	Moderada a severa
<b>MQBg2</b>	San Martín	>75	2471,2	4,2	Fuertemente escarpado	Surcos, cárcavas; grado moderado	Moderada a severa
<b>MQDe</b>	El Vergel (Sandóná)	25-50	384,9	0,7	Ligeramente escarpado	Laminar, surcos; grado moderado	Moderada
<b>MQFc</b>	El Llano (Ancúya)	7-12	79,9	0,1	Moderadamente inclinado	Poca a nula	Ligera a severa
<b>MRAf2</b>	La Cocha (Ancúya)	50-75	752,1	1,3	Moderadamente Escarpado	Laminar, surcos; grado moderado	Ligera a fuerte
<b>MRAg2</b>	La Curia	>75	2764,5	4,7	Fuertemente escarpado	Laminar, surcos; grado moderado	Ligera a fuerte
<b>MRBe2</b>	Via al Tablón (Taminango)	25-50	153,7	0,3	Ligeramente escarpado	Laminar, surcos; grado moderado	Ligera a severa

## 9. CONCLUSIONES

- Desde su creación, el modelo USLE, ha cambiado su metodología para encontrar cada factor, facilitando el uso del modelo y también coincidiendo con el avance tecnológico.
- Continuamente se está mejorando la metodología de cálculo para cada factor del modelo USLE, incrementando su eficiencia y eficacia.
- Para la creación de cada una de las capas temáticas del modelo USLE y realizar el modelamiento de la información, fueron indispensables los programas SIG (SAGA y ArcGis).
- El índice de erodabilidad o Factor  $K$ , varía entre los valores, 0 (zonas urbanas) hasta  $0,101 \frac{t.ha}{ha.MJ.mm}$ . Estos valores se clasifican, según Rivera y Gomez (1991), entre erodabilidad “Natural” y “Severa”, posiblemente se debe a que el área de estudio pertenece a zonas con suelos arcillosos y limosos.
- El área de estudio se caracteriza por tener diferentes climas, manifestando la incidencia de las precipitaciones, como el detonante de los procesos erosivos. Así, el Factor  $R$ , tiene variación entre los valores 6297 y 9627  $\frac{MJ.mm}{ha.año}$ , considerados por Rivera y Gomez (1991a), entre rangos “Moderado” y “Alto”.
- En aproximadamente el 80,5% del área municipal, la incidencia del Factor  $R$ , es “Moderada”, del orden que varía entre los valores 5000 y 7500  $\frac{MJ.mm}{ha.año}$ .
- Para el modelo, los factores que fomentan el proceso erosivo son el factor topográfico “ $LS$ ” y el factor “detonante” erosividad “ $R$ ”. Por otro lado, el factor erodabilidad “ $K$ ” y el factor de cobertura vegetal “ $C$ ”, tienden a detener dicho proceso.
- Los mayores valores del factor  $LS$  se concentran hacia el Este del municipio, probablemente por la cercanía con el nudo de los pastos.
- Los resultados encontrados en el modelo EMC, la información existente y los mapas oficiales, indican una validez teórica plausible sobre el modelo principal (USLE).

- El modelo USLE y la EMC indican una pérdida de suelo “severa” y una mayor susceptibilidad a la erosión, hacia el oriente del municipio, respectivamente.
- El modelo USLE tiene una confiabilidad con respecto al estudio general de suelos del departamento de Nariño (IGAC, 2004) de un 62%.
- La confiabilidad del modelo con respecto al mapa oficial de erosión, corresponde al 65% del área de estudio.
- Los resultados del modelo propuesto, son un estimativo válido en el contexto de la formulación del plan de ordenamiento territorial o la del plan integral de gestión de riesgos del municipio.

## **10. RECOMENDACIONES**

- Realizar prácticas de recuperación y conservación de suelos como terrazas para cultivo, siembra de barreras vivas, rotación de cultivos, estabilización de taludes, y manejo de escorrentía superficial entre otros métodos.
- Fomentar el cultivo (la siembra) de especies forestales en las zonas de mayor pérdida de suelo.
- En áreas de cultivo, sugerir el cultivo mixto en áreas de mayor proceso erosivo.
- Mantener actualizada la base de datos, con el fin de obtener resultados que se acerquen más a la realidad del momento de estudio.
- Se sugiere conseguir mayores datos de estaciones para que las herramientas de los programas SIG, representen mejor la realidad del fenómeno.
- Sugerir al agricultor implementar diferentes manejos de uso de suelo para evitar el proceso erosivo.
- Recomendar la inclusión de otros estudios que complementen el presente trabajo.
- El SIG esta sujeto a la precisión y a la cantidad de los datos incluidos en la base de datos, por lo tanto es recomendable validar la información resultante en campo.

## BIBLIOGRAFIA

ALCALDIA MAYOR DE BOGOTA, 1997. Ley 388 de 1997. En línea. <<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=339>> [citado en 25 de octubre de 2012]

ÁLVAREZ, D. S, MATIZ, Jhon Y CARDENAS, A. Modelos digitales batimétricos generados por métodos de interpolación idw, kriging, Shepard y Spline en el archipiélago de Islas del Rosario. Bogotá. 2011. Artículo de investigación. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Universidad Distrital “Francisco José de Caldas”.

ANTEZANA J., C. Calibración de los factores de erosión utilizando la ecuación universal de pérdida de suelo, revisado “RUSLE” en sistemas de producción agrícola de la Cuenca Taquiña. Bolivia: Clas, 2001. 77 p.

ARNOLDUS H., M. J. An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil loss Equation. En: BOOT and GABRIELS ed. Assesment of Erosion. England: John Wiley Sons. 1980. p. 125-132.

BARREDO, J., & GÓMEZ DELGADO, M. Sistemas de Información Geográfica y evaluación multi-criterio en la ordenación del territorio. 2ªEd. 2005. p. 2312.

BONIS M., VERÓNICA. Decisión multi-criterio booleana probabilística y posibilística borrosa de la distribución de *abies pinsapo boiss.* 2011. Trabajo de grado (Master en tecnologías de la información geográfica). Universidad complutense de Madrid.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN, DNP. Agricultura en Colombia. Bogotá D. C.: DNP, 2005.

DERRUAU, ax: *Précis de géornorphologie*, Paris, Masson; 6ta edición: 1974, 453 pp.

DESMET, P. J. J., and G. GOVERS (1996), GIS-based simulation of erosion and deposition patterns in an agricultural landscape: A comparison of model results with soil map information, *Catena*, 25, 389 – 401.

DIARIO DEL SUR. Por los caminos de Nariño, Fascículo No. 08. San Juan de Pasto, 14, octubre, 2012. Sec 3, p 29-32.

JACKSON, M.L.. Análisis químico de suelos (Traducido por J. Bertrán). Ediciones Omega, S. A. Barcelona, España. 1964. 662 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. FAO. *Evaluación de los Estados de Erosión Hídrica de los Suelos y Delimitación de Áreas Críticas por Pérdida del Horizonte A en la cuenca del Río Reventazón*. Gobierno de Costa Rica. Informe Técnico No. 1-E. Roma: FAO. 1989. 133 pp.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, FAO. *Guidelines for Land-Use Planning*. Rome, Italy. 1993.

FELICÍSIMO, Angel Manuel, 1992. El modelo digital de elevaciones. En línea. <[http://www6.uniovi.es/~feli/CursoMDT/Tema\\_2.pdf](http://www6.uniovi.es/~feli/CursoMDT/Tema_2.pdf)> [Citado el 18 de noviembre del 2012]

FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. Estudio de zonificación y uso potencial del suelo en la zona cafetera del Departamento de Caldas. Bogotá, Colombia: FEDECAFE, 1982. 309 p.

HONORATO, R.; BARRALES, L.; PEÑA, I. y BARRERA, F. Evaluación del modelo USLE en la estimación de la erosión en seis localidades entre la IV y IX región de Chile. En: *Revista de la Pontificia Universidad Católica de Chile*. Vol 28, No.2 (2001); p. 7-14.

INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI. IGAC. Análisis geográficos. Aspectos geográficos del sector andino nariñense. Bogotá D.C.: Sección imprenta y ediciones IGAC, 1984.

INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI. IGAC. Estudio General de Suelos del Departamento de Nariño. IGAC, Subdirección de Agrología. Bogotá D.C. 2004.

KIRKBY, M., J. y MORGAN, R. P. Erosión de suelos. México: Limusa. 1984. 375 p.

LOBO, D.; GABRIELS, D.; OVALLES, F.; SANTIBAÑEZ, F.; MOYANO, M.; AGUILERA, R.; PIZARRO, R.; SANGÜESA, C. y URRÁ, N. 2005. Guía metodológica para la elaboración el mapa de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas de América latina y el caribe. En línea. <[http://www.cazalac.org/documentos/Guia\\_Mapas\\_ZA\\_ALC.pdf](http://www.cazalac.org/documentos/Guia_Mapas_ZA_ALC.pdf)> [Citado 15/02/13]

MAESTRO, I.C. Impacto del algoritmo de la extracción automática de redes de drenaje a partir de modelos digitales de elevaciones. Valencia, España. 2005.  
MALOKA, 2009. Las ventajas de conocer el suelo. En línea. <<http://maloka.org/suelos/ventajas.html>> [Citado el 21 de noviembre del 2012]

MANCILLA ESCOBAR, Gabriel, 2008. Uso de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE) en el campo forestal. En línea. <[http://captura.uchile.cl/jspui/bitstream/2250/10778/1/Apuntes\\_docentes\\_USLE.pdf](http://captura.uchile.cl/jspui/bitstream/2250/10778/1/Apuntes_docentes_USLE.pdf)> [citado en 10 de noviembre de 2012]

MONTES L, M.; DOMÍNGUEZ M., A. y VENTURA R, E. Utilización de un SIG en la estimación del riesgo de erosión hídrica en la cuenca Santa Catarina, Queretaro. México, 2000. Trabajo de grado (Maestría en Hidráulica). Universidad Autónoma de Queretaro.

MOREIRA, J. M. Capacidad de uso y erosión de suelos. Una aproximación a la evaluación de tierras en Andalucía. Sevilla, España : Junta de Andalucía. Agencia de Medio Ambiente, 1991. 446 p.

NEARING, M. A. PAGE, D. I. SIMANTON, J. R. and LANE, L. J. Determining erodibility parameters from rangeland field data for a process-based erosion model. In : *Transactions American Society of Agricultural Engineers*. Vol 32.1989. p. 919-924.

PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO, PNUD. 2010. Documento de Discusión Nacional acerca de los Asuntos Claves en el Análisis de Sector Agricultura. En línea. <[http://www.pnud.org.co/img\\_upload/61626461626434343535373737353535/CA\\_MBIOTCLIMATICO/3.%20Memorias%20Di%20C3%A1logo%20Nacional%20Interministerial%20sobre%20cambio%20clim%20C3%A1tico%20en%20el%20sector%20agropecuario/2DocdiscusionAgriculturayMitigacionColombia.pdf](http://www.pnud.org.co/img_upload/61626461626434343535373737353535/CA_MBIOTCLIMATICO/3.%20Memorias%20Di%20C3%A1logo%20Nacional%20Interministerial%20sobre%20cambio%20clim%20C3%A1tico%20en%20el%20sector%20agropecuario/2DocdiscusionAgriculturayMitigacionColombia.pdf)> [citado 17 de enero 2013]

RAMIREZ O., F. Evaluación del riesgo por erosión potencial de la zona cafetera central del departamento de Caldas. Ibagué. 2006. pag. 65. Tesis de pregrado. Universidad del Tolima. Facultad de Ingeniería Forestal. Línea de desarrollo sostenible.

RENARD K., G.; FOSTER G., R.; WEESIES G., A.; MCCOOL D., K. y YODER D., C. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). Washington (United States): Department of Agriculture, 1997. 404 p.

RIVERA P., J. H. Determinación de los índices de erosividad, Erodabilidad y erosión potencial en la zona Cafetera Central Colombiana (Caldas, Quindío y Risaralda). Palmira (Colombia). 1990. 310 h. Trabajo de grado. (Máster Science). Universidad Nacional de Colombia.



RIVERA P., J. H. Predicción, prevención y control de diferentes procesos de erosión en suelos de ladera de la zona cafetera de Colombia para lograr un desarrollo sostenible. Chinchiná (Colombia): Cenicafé, 1997. p. 14

RIVERA P., H. y GOMEZ A. Erosividad de las lluvias de la zona cafetera central colombiana (Caldas, Quindío, Risaralda). En: *Cenicafé*. Vol 42, No. 2 (1991a); p. 37-52.

RIVERA P., H. y GOMEZ A. Erodabilidad de los suelos de la zona cafetera central colombiana (Caldas, Quindío y Risaralda). En: *Cenicafé*. Vol 42, No. 3 (1991b); p. 67 – 88.

ROSSITER, David, 2002. Metodología para el levantamiento del recurso suelo. En línea. <[http://www.itc.nl/~rossiter/teach/ssm/SSM\\_LectureNotes2\\_E.pdf](http://www.itc.nl/~rossiter/teach/ssm/SSM_LectureNotes2_E.pdf)> [Citado el 23 de noviembre de 2012]

RUPPENTHAL, M.; LEIHNER, D. E.; HILGER, T. H.; CASTILLO F., J. A. Rainfall Erosivity and erodability of inceptisols in the sothwest Colombian Andes. In: *Experimental Agriculture*. Vol 32, No.1. 1996; p. 91-101.

SAAVEDRA, Carlos, *et al.* Evaluación y monitoreo de modelos de erosión y sedimentación a escala regional usando sensores remotos y SIG. Caso de estudio en la región Andina, Cochabamba, Bolivia. En: 3ra conferencia latinoamericana sobre manejo de cuencas: “Desarrollo sostenible en cuencas”. (9-13 de junio del 2003, Arequipa, Perú). Cochabamba, Bolivia.

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA PLANEACIÓN Y EL ORDENAMIENTO TERRITORIAL, SIG-OT. Mapa departamental de erosión. 2003. En línea. <<http://sigotn.igac.gov.co//sigot/temporal//ExportacionDeShapefile1414266.zip>> [Citado el 13 de octubre del 2013]

SILVA, Oscar. Aplicación de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE). Libro de cálculo para fines docentes. Universidad Central de Venezuela. Hoja de cálculo del programa Excel. 2002.

SUÁREZ DE CASTRO, F y Rodríguez G. A. Investigación sobre la erosión y la conservación en Colombia. Bogotá: Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, 1962. p. 23.

TARBOTON, D.G. 1997. A new method for the determination of flow directions and contributing areas in grid digital elevation models. *Water Resources Research*, 33 (2), 309-319.

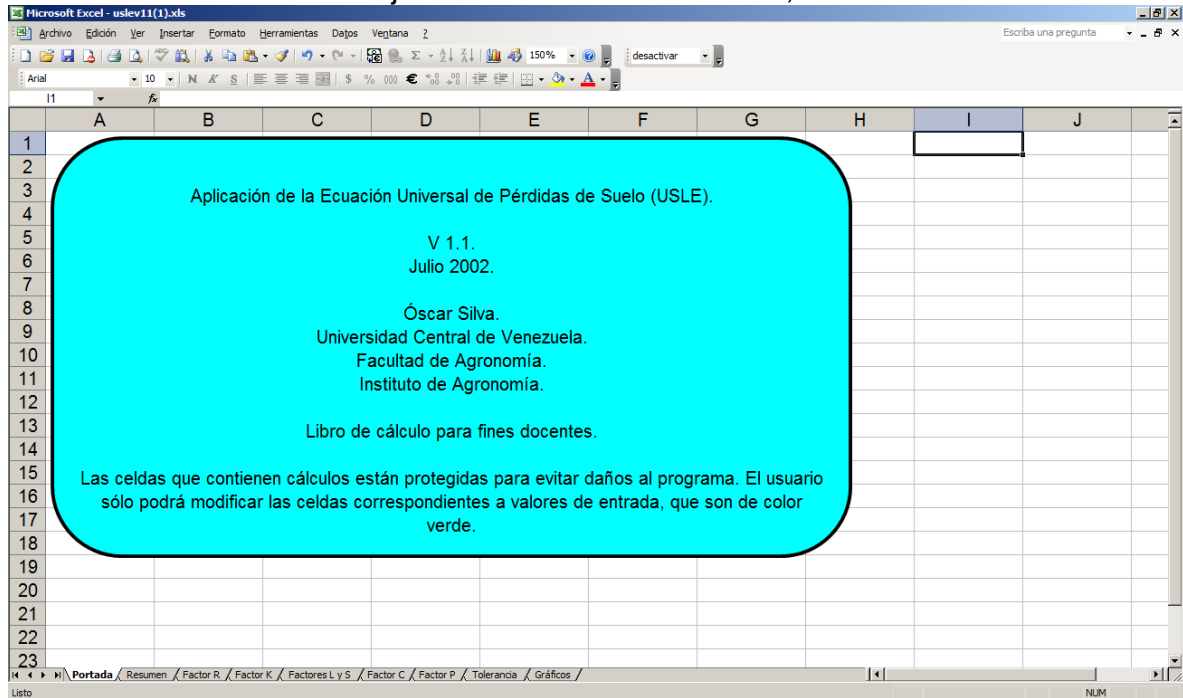
WISCHMEIER, W and SMITH, D. Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the rock mountains. Guide for selection of practices soil and water conservation. In: *Agricultural Handbook*. No. 282, 1965; 47 p.

WISCHMEIER, W. and SMITH, D. Predicting rainfall erosion losses; a guide to conservation planning. Washington D.C. (United States): Department of Agriculture, 1978. 58 p.

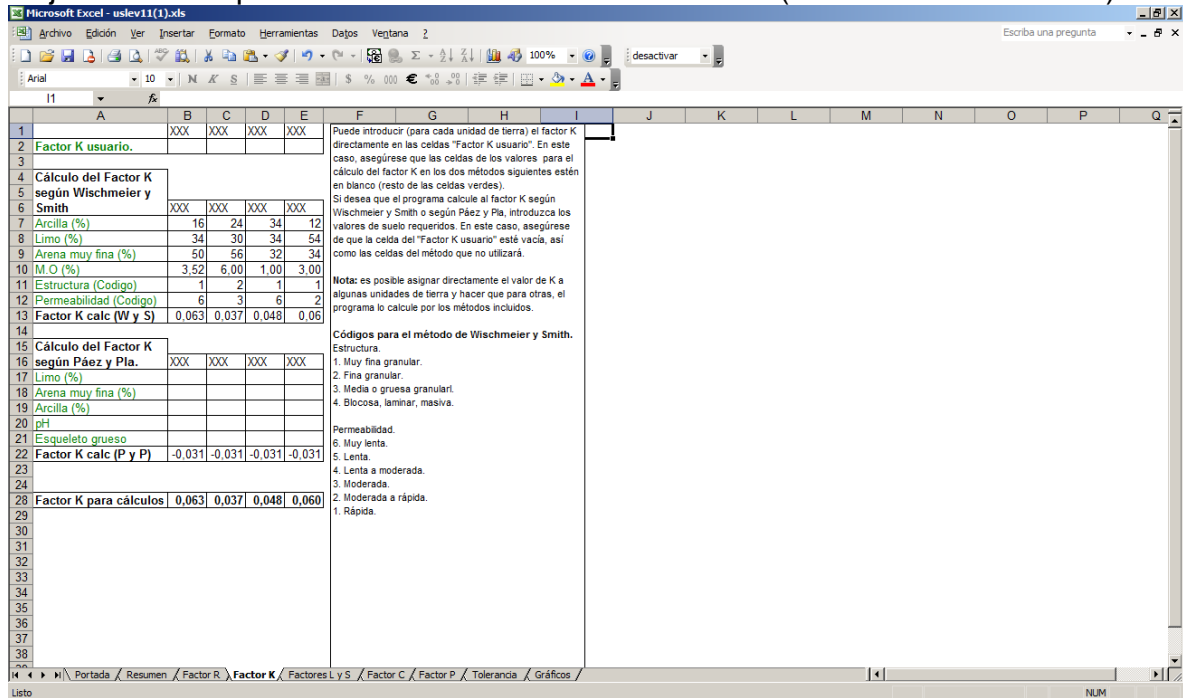
ZAPATA-CALDAS, E., GLENN HYMAN, HELENA PACHON, FREDY MONSERRATE ROJAS, LILIANA VESGA VARELA, "Identifying candidate sites for crop biofortification in Latin America: case studies in Colombia, Nicaragua and Bolivia". En: *Inglaterra International Journal Of Health Geographics* /ISSN: 1476-072X ed: v.8 fasc.N/A p.1 - 18 ,2009.

## ANEXOS

### Anexo A. Portada de la hoja de calculo de Oscar Silva, 2002.



### Hoja de cálculo para el Factor K de Oscar Silva 2002. (Continuación Anexo A)



**Anexo B.** Tabla del Factor *K*, capa de unidades cartográficas (2011), para importar a la tabla de atributos de la capa “Susceptibilidad\_Suelos\_Edaficos” en ArcMap.

ID	UNID_S	P-MODAL	Arcilla	Limos	Arena	C-POR	MO-POR	TEXTURA	COD_ESTRUCUT	PERME_ESTRUCT	Factor K	Factor K (OS)
1	ALC	NA-124 60	16	34	50	2,04	3,52	F	2	5	0,0638	0,0630
2	ALG	NA-45 80	60	14	26	0,71	1,22	Ar	1	6	0,0229	0,0200
3	AME	NA-215 30	26	28	46	0,29	0,50	F	2	5	0,0816	0,0660
4	AQB	NR-53 100	8	14	78	0,34	0,59	FA	2	4	0,1256	0,1010
5	AQE	NR-47 60	8	26	66	1,17	2,02	(FA)	2	3	0,1070	0,0930
6	ARA	NA-08 50	24	28	48	1,21	2,09	F	2	5	0,0753	0,0650
7	ARC	NS-36 30	15	20	62	1,43	2,47	FArA	2	4	0,0852	0,0740
8	MEC	N-16 90	4	28	68	5,9	10,17	FA	2	4	0,0249	0,0630
9	MED	N-15 50	0	0	50	0,79	1,36	FAr	2	6	0,0724	0,0670
10	MHA	N-04 50	10	14	76	3,99	6,88	FA	2	4	0,0555	0,0710
11	MHC	N-14 70	8	36	56	3,39	5,84	FA	2	4	0,0693	0,0750
12	MLA	N-25 50	12	16	72	1,76	3,03	FA	2	4	0,0901	0,0800
13	MLD	NR-07 60	64	12	24	0,76	1,31	Ar	1	6	0,0191	0,0130
14	MLE	NA-51 50	4	40	56	6,56	11,31	(FA)	2	3	0,0082	0,0070
15	MLG	NA-136 100	32	28	40	2,74	4,72	FAr	2	6	0,0490	0,0450
16	MQA	NR-26 60	12	28	60	0,54	0,93	FA	2	4	0,1105	0,0890
17	MQB	NS-01 70	24	20	56	0,33	0,57	FArAGr	3	4	0,0868	0,0660
18	MQD	NA-221 80	44	30	26	0,64	1,10	Ar	1	6	0,0432	0,0360
19	MQF	NS-08 60	24	32	44	1,55	2,67	FGr	2	4	0,0679	0,0600
20	MRA	NR-14 40	26	26	48	0,81	1,40	FArA	2	4	0,0725	0,0600
21	MRB	NA-36 70	26	30	44	0,42	0,72	FGr	2	4	0,0768	0,0620

**Anexo C.** Tablas de precipitaciones mensuales y anuales de 6 estaciones, por un periodo de 12 años.  
**Juanambú, Buesaco, Nariño**

AÑOS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	VALOR ANUAL	IMF	IF	Factor R
2000	65,2	183,9	112,9	145,2	221,2	88,4	18,4	0,0	71,2	109,0	99,0	38,0	1152,4	138,13	42,46	6788,9
2001	52,2	49,9	67,8	40,2	86,8	34,2	3,6	0,0	63,9	22,2	183,6	88,3	692,7	98,49	48,66	
2002	90,6	109,8	94,8	82,8	124,2	75,8	16,7	6,5	10,3	78,6	80,2	72,0	842,3	92,01	18,31	
2003	18,5	84,4	106,73	124,3	6,43	17,7	37,8	3,5	24,8	53,3	123,7	21,0	622,16	92,11	24,83	
2004	54,6	23,8	65,6	128,9	55,4	2,1	15,9	0,0	25,5	199,6	190,5	55,93	817,83	134,14	48,71	
2005	114,9	74,8	192,2	205,2	107,5	20,8	24,0	13,7	58,8	128,9	89,1	343,3	1373,2	188,22	85,83	
2006	167,3	81,2	370,4	277,5	5,3	176,0	25,2	9,9	0,0	240,5	326,03	97,6	1776,93	256,73	77,21	
2007	61,0	28,7	212,9	212,9	169,0	60,0	45,1	24,63	0,0	250,9	258,1	315,0	1638,23	220,24	60,57	
2008	287,2	304,4	171,5	189,8	234,0	47,3	26,0	17,4	30,7	208,0	256,1	268,0	2040,4	236,32	45,41	
2009	220,4	117,4	179,3	110,9	90,5	29,4	9,7	38,9	39,5	140,2	126,7	80,7	1183,6	137,93	41,04	
2010	6,2	99,0	55,6	217,5	218,2	61,6	163,6	5,7	59,3	221,23	375,2	189,1	1672,23	220,93	84,18	
2011	86,9	235,3	137,2	429,9	94,8	78,3	113,4	0,0	24,9	309,1	217,8	242,4	1970,0	253,25	93,81	
2012	225,6	171,0	73,0	331,2	3,93	6,3	0,0	0,0	145,2	176,6	0,0	0,0	1132,83	220,24	96,83	
													Sumatoria	176,06	59,07	

Chachagüí, San Juan de Pasto, Nariño (continuación Anexo C)

AÑOS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	VALOR ANUAL	IMF	IF	Factor R
1990	75,0	234,0	163,7	157,4	54,4	20,4	91,0	5,9	5,8	230,9	111,5	69,3	1219,3	159,29	10,20	6952,8
1991	108,2	53,3	276,5	57,7	232,5	38,5	20,69	7,4	135,6	78,4	309,1	175,7	1493,6	201,73	63,97	
1992	55,3	59,3	19,1	110,4	121,1	3,5	14,2	35,9	124,1	145,2	169,3	205,8	1063,2	134,31	39,84	
1993	136,9	123,1	353,4	270,4	242,4	14,8	43,3	4,0	69,1	182,2	283,7	207,6	1930,9	235,29	64,68	
1994	312,3	165,7	380,6	266,7	122,0	12,0	19,1	8,3	18,0	30,1	37,4	16,5	1388,7	258,76	104,31	
1995	21,7	96,5	76,2	131,6	132,6	160,8	99,0	171,0	16,5	126,3	223,9	139,7	1395,8	144,19	35,92	
1996	198,3	138,2	337,5	138,2	339,5	94,4	47,7	30,1	54,6	196,9	198,1	135,5	1909,0	219,03	60,38	
1997	206,8	80,7	194,1	199,2	41,9	119,7	0,0	0,0	85,9	126,8	236,9	87,9	1379,9	166,70	40,67	
1998	12,0	77,6	106,7	177,9	249,8	61,6	15,2	0,0	25,6	132,6	189,5	94,9	1143,4	156,36	54,57	
1999	253,0	263,1	104,1	151,9	65,9	96,2	2,7	4,7	180,9	147,9	214,0	166,4	1650,8	187,09	41,93	
2000	153,9	201,2	85,3	212,1	204,1	66,1	25,0	60,5	89,1	55,6	98,2	76,6	1327,7	145,58	33,88	
2001	94,3	107,2	147,1	16,2	118,1	37,4	15,8	0,0	111,7	51,0	300,4	214,9	1214,1	172,46	74,33	
2002	107,9	93,5	204,7	264,4	110,8	0,0	0,0	0,0	98,5	111,3	10,7	20,5	1022,3	163,45	68,38	
													Sumatoria	180,33	53,31	

Tablón de Gómez, Nariño (Continuación Anexo C)

AÑOS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	VALOR ANUAL	IMF	IF	Factor R
2000	261,4	261,9	71,5	259,0	153,03	57,9	34,2	16,1	59,6	98,2	108,7	62,6	1444,13	184,36	47,50	7922
2001	174,4	121,5	74,3	81,5	41,8	35,5	8,30	5,9	52,7	36,93	158,9	191,5	983,23	128,67	37,30	
2002	123,6	82,3	84,0	144,8	87,1	102,2	27,63	41,4	40,6	222,0	124,6	180,13	1260,36	134,47	39,10	
2003	25,9	101,73	92,5	71,8	10,9	34,6	36,2	12,9	60,2	167,2	198,2	137,2	949,33	123,47	41,38	
2004	148,6	130,5	64,7	142,1	75,2	11,5	32,7	5,9	37,63	204,23	350,5	183,73	1387,29	194,71	88,55	
2005	236,7	163,3	200,5	256,83	211,4	22,5	22,9	15,23	17,93	181,7	239,8	426,9	1995,69	254,49	91,32	
2006	171,7	122,3	259,2	178,6	33,63	114,2	21,83	16,2	8,3	253,1	318,5	274,0	1771,56	225,27	57,26	
2007	83,6	86,5	107,5	158,5	80,3	38,4	17,53	32,7	7,9	306,3	341,0	335,4	1595,63	240,10	72,87	
2008	194,2	153,53	247,0	205,0	163,7	43,6	21,0	29,6	22,83	249,0	209,5	462,0	2000,96	256,97	106,67	
2009	233,4	160,9	173,7	134,2	81,9	34,7	29,23	21,5	56,13	155,2	169,8	172,9	1423,56	157,17	38,27	
2010	14,0	87,1	38,0	194,3	235,5	66,2	193,8	5,3	90,83	341,7	496,3	307,73	2070,76	294,78	118,95	
2011	140,8	362,9	331,33	449,2	217,1	42,2	120,0	31,93	34,5	288,9	272,7	365,7	2657,26	308,65	75,94	
2012	214,1	181,33	91,8	248,5	22,6	0,0	0,0	12,6	134,7	67,8	123,8	12,5	1109,73	169,22	55,65	
													Sumatoria	205,57	66,98	

Rosal del Monte, Buesaco, Nariño (Continuación Anexo C)

AÑOS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	VALOR ANUAL	IMF	IF	Factor R
2000	231,5	268,1	129,5	164,5	168,2	86	40,9	2,2	68,5	54,4	82,3	82,3	1378,4	165,31	52,15	6685,9
2001	104,9	140,1	60	31,1	33	21,6	10,9	1,2	54,6	42,9	170,6	160,8	831,7	116,22	34,99	
2002	71,1	82,1	98,3	132,2	61,6	95,8	6,2	31,7	64,9	284,4	110,5	86,4	1125,2	140,17	71,88	
2003	40,7	71,9	125,1	124	9,6	37,1	28,6	1,6	70,9	156,4	175,8	146,7	988,4	123,49	31,27	
2004	156,4	28	77,5	158,5	46,9	13,3	28,1	1,5	48	322	198,3	138,43	1216,93	184,08	85,20	
2005	149,4	104,8	129,5	145,7	62,4	32,5	48,2	14,5	40,4	227,8	135,5	231,8	1322,5	154,56	39,24	
2006	126,5	64,8	170,73	260,1	56,8	120,8	34,5	21,5	0,8	180,9	292,6	205	1535,03	193,38	55,77	
2007	86,9	55,1	173,4	180,1	114,7	39,3	36,9	52,3	5,1	271,63	304,2	228,9	1548,53	200,60	59,76	
2008	243,5	223,2	253,7	172,1	192,1	66,7	5,2	9,6	33,9	196,9	239	238,8	1874,7	212,64	34,33	
2009	155,3	125,8	187	121	69,1	23	11,4	19,1	22,6	208,8	153,8	117,8	1214,7	145,71	35,89	
2010	7,2	106,9	24,1	207,6	207,3	43,5	95,9	7,2	43,9	180,7	339,6	144,9	1408,8	198,88	81,86	
2011	87,8	242,8	228,8	395,8	138,7	65,3	121,2	32,9	41,9	271,4	184,1	274,8	2085,5	239,64	75,12	
2012	264,6	147,5	129,1	207,6	2,8	5,6	0	0	9,2	116,5	121,9	0	1004,80	179,23	69,68	
													Sumatoria	173,38	55,93	



Santiago, Putumayo (Continuación Anexo C)

AÑOS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	VALOR ANUAL	IMF	IF	Factor R
2000	236,0	199,0	277,0	412,0	793,0	616,0	242,0	370,0	347,0	127,0	149,0	140,0	3908,0	441,12	160,91	10697,9
2001	114,0	171,0	205,0	614,0	356,0	499,0	512,0	588,0	286,0	169,03	156,0	289,0	3959,03	420,08	95,22	
2002	377,0	215,0	257,0	242,0	392,0	337,0	496,0	302,03	135,0	203,0	196,0	219,0	3371,03	315,41	72,98	
2003	174,0	155,0	325,0	231,0	681,0	317,0	234,0	198,0	133,0	246,0	106,0	192,0	2992,0	333,49	155,00	
2004	39,0	57,0	373,0	279,0	354,0	431,0	434,0	286,0	177,0	112,0	58,0	104,0	2704,00	318,43	69,66	
2005	18,9	214,0	178,0	731,0	428,0	447,0	205,0	138,0	172,0	200,0	205,0	258,0	3194,9	386,38	167,25	
2006	268,0	146,0	311,0	280,0	147,0	163,0	160,0	138,03	165,0	142,0	159,0	202,0	2281,03	208,05	31,49	
2007	141,0	50,0	218,0	174,0	204,0	306,0	206,0	215,0	163,0	200,0	198,0	369,0	2444,0	231,60	55,71	
2008	249,0	223,0	123,0	149,0	219,0	215,0	282,0	131,0	121,0	155,0	114,0	119,0	2100,0	193,22	37,87	
2009	196,0	205,0	155,0	163,0	173,0	267,0	315,0	171,0	143,0	110,0	52,0	97,0	2047,0	198,04	48,47	
2010	55,0	164,0	221,0	249,0	133,0	175,0	136,0	87,0	11,9	136,0	184,0	68,0	1619,9	168,07	38,27	
2011	161,0	97,0	158,0	168,0	211,0	210,0	236,0	95,0	213,0	78,0	79,0	234,0	1940,0	182,63	28,71	
2012	224,0	218,0	309,0	179,0	251,0	217,0	0,0	0,0	88,0	118,0	86,0	0,0	1690,0	215,61	56,50	
													Sumatoria	277,85	78,31	

Arboleda, Nariño (Continuación Anexo C)

AÑOS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	VALOR ANUAL	IMF	IF	Factor R
2000	265,2	322,9	315,1	234,2	200,9	127,6	32,13	7,8	89,3	67,8	207,1	129,2	1999,23	229,40	52,15	8683,4
2001	136,4	144,7	123,1	81,5	45,8	12,8	15,8	0,4	104,2	74,1	221,8	324,2	1284,8	182,52	81,81	
2002	138,7	99,4	158,6	119,3	83,1	105,4	11,33	11,6	17,8	260,9	186,0	179,6	1371,73	161,85	49,62	
2003	65,7	95,5	103,2	131,9	36,7	58,4	40,8	14,6	82,2	137,6	287,6	184,3	1238,5	153,81	14,05	
2004	244,6	83,3	67,3	187,8	115,0	6,1	60,5	2,2	76,5	249,4	297,0	168,8	1558,5	197,79	56,60	
2005	145	189,2	195,6	211,2	78,0	31,5	21,5	17,7	26,1	270,7	217,5	326,03	1730,03	216,82	61,44	
2006	282,8	191,8	255,1	247,2	30,0	155,0	36,0	7,6	9,5	200,3	396,2	351,1	2162,60	272,67	72,59	
2007	107,5	48,6	279,03	273,4	137,4	87,8	47,4	24,8	7,4	337,0	348,1	351,8	2050,23	270,47	60,37	
2008	332,1	264,0	248,5	295,2	229,8	51,0	24,9	44,2	32,8	289,3	320,6	274,7	2407,1	269,98	45,82	
2009	338,8	221,6	219,9	128,7	106,2	41,8	14,9	33,6	24,3	187,7	302,6	260,9	1881,0	233,20	61,02	
2010	36,8	96,2	47,4	231,2	231,4	83,6	144,5	8,1	58,4	143,0	463,0	280,1	1823,7	254,69	117,55	
2011	147,3	295,4	180,0	269,1	153,8	86,5	87,7	16,8	84,3	229,5	284,5	381,0	2215,9	243,13	39,38	
2012	357,3	251,0	182,8	207,1	13,8	22,5	0	0	14,0	172,8	0	0	1221,30	243,78	104,53	

Sumatoria 225,39 62,84

**Anexo D.** Tabla del Factor R para importar a ArcMap.

<b>FID</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>	<b>PRE</b>	<b>IMF</b>	<b>IF</b>	<b>RangoIMF</b>	<b>RangoIF</b>	<b>Lat</b>	<b>Long</b>	<b>Factor R</b>
0	Arboleda	994148	657317	2200	1764,97	225,39	62,84	Muy alto	Muy alto			8683,4
1	Santiago	1005278	616772	2300	2634,7	277,85	78,31	Muy alto	Muy alto			10697,9
2	R. Monte	990438	633359	2576	1348,9	173,38	55,93	Muy alto	Alto			6685,9
3	T. de Gomez	1007132	644417	1800	1588,42	205,57	66,98	Muy alto	Muy alto			7922
4	Chachaguí	977454	642574	2000	1395,3	180,33	53,31	Muy alto	Alto			6952,8
5	Juanambú	994148	646259	2020	1301,14	176,06	59,07	Muy alto	Alto			6788,9
6	Colón			2065	1893,34	196,76	59,79	Muy alto	Alto	1,16666666666667	-76,93333333333333	7583,9

**Anexo E.** Tabla del Factor C, para importar a la tabla de atributos de la capa “Susceptibilidad de la cobertura a movimientos en masa” en ArcMap.

ID	T_COB	FACTOR_C
0	Afloramientos rocosos	0,900
1	Arbustal	0,150
2	Arbustal denso	0,001
3	Bosque de galería y ripario	0,001
4	Bosque denso alto de tierra firme	0,001
5	Bosque fragmentado con pastos y cultivos	0,006
6	Café	0,030
7	Cuerpos de agua	0,010
8	Herbazal	0,010
9	Herbazal denso de tierra firme	0,007
10	Mosaico de cultivos	0,150
11	Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturale	0,100
12	Mosaico de pastos con espacios naturales	0,007
13	Mosaico de pastos y cultivos	0,400
14	Pastos enmalezados	0,150
15	Pastos limpios	0,150
16	Tierras desnudas y degradadas	1,000
17	Vegetación secundaria o en transición	0,010
18	Zonas Urbanas	0,200