2.12 PERDIDA DE SUELOS

2.12.1 Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE – MUSLE)

El objetivo del presente capítulo es calcular la erosión hídrica, tanto actual como potencial, en la Cuenca Mayor del Río Totare, a través de la Ecuación Universal de Perdida de Suelos (USLE).

La erosión es un fenómeno ligado a la evolución fisiográfica de la corteza terrestre, que a través de su acción lenta y efectiva ha contribuido a esculpir el relieve terrestre, desde antes de que las civilizaciones humanas iniciasen su actividad. (López, 1988). Jackson, (1989), la considera como un problema ambiental crítico.

La remoción de la capa superficial del suelo debido a la erosión provoca efectos en las características físicas y químicas del suelo, produciendo reducción en la infiltración del agua y disminución de almacenaje de la misma. La introducción de tecnologías para la conservación de los suelos, normalmente causa costos adicionales a los agricultores, tanto en dinero como en trabajo, además de que los resultados no son inmediatos. (Müller-Sämann,1996).

Cuando la tierra no se usa de acuerdo a su vocación ni se trata de acuerdo a sus necesidades de conservación ocurre que su funcionamiento hidrológico no es el deseable. Hernández, (1990), también agrega que esto trae aparejado un efecto económico-social bien definido como es la pérdida de productividad.

Existen diversos enfoques para determinar la erosión hídrica en cuencas hidrográficas, los cuales generan información que puede ser utilizada con fines de restauración, producción agrícola, desarrollos urbanísticos, actividades recreativas y/o de protección. Estos han evolucionado a medida que ha incrementado la actividad productiva y la degradación de los suelos por el hombre. En los tiempos contemporáneos, el hombre en su afán de colonizar tierras, expande las fronteras agrícolas, degradando el medio ambiente.

Dichos enfoques se han desarrollado con base en los factores antrópicos y naturales que intervienen en la erosión hídrica y analizan en su gran mayoría componentes tales como: suelos, topografía, clima, cobertura y uso de la tierra y prácticas culturales.

Dentro de los enfoques para la determinación de la erosión hídrica se destacan: USLE y sus modificaciones MUSLE (USLE modificada) y RUSLE (USLE revisada), ANSWERS (Areal Non-point Source Watershed Enviromental Response Simulation), AGNPS (Agricultural Non-point Source), CREAMS (Chemicals, Runoff and Erosion

PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA MAYOR DEL RÍO TOTARE CONVENIO CORTOLIMA - CORPOICA - SENA - UNIVERSIDAD DEL TOLIMA

from Agricultural Management Systems), IRE, Fournier y Filiberto López Cadenas del Llano entre otras; además existen mezclas, en su totalidad o en parte, de los enfoques anteriores.

La USLE es un modelo diseñado para predecir la cantidad de pérdida de suelo por escurrimiento en áreas específicas bajo determinados sistemas de manejo y cultivos. (Wischmeier y Smith, 1978).

La USLE se expresa, en el sistema métrico internacional, como:

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

Donde:

- **A,** es la pérdida de suelo en t/ha.año.
- **R,** es el factor erosividad de la lluvia en Mjmm/ha.año.
- **K,** es el factor erosionabilidadd el suelo en (t/ha)/(Mj.mm/ha.h)
- **L,** es el factor longitud del terreno (adimensional).
- **S**, es el factor pendiente del terreno (adimensional).
- **C,** es el factor cobertura y manejo de la vegetación (adimencional).
- **P**, es el factor prácticas de conservación (adimensional).

El cálculo de la erosión actual se obtiene a través de la USLE, efectuando la multiplicación de todos los factores que la conforman: R* K * LS * C * P. En cuanto a la erosión potencial se puede obtener a través de las dos metodologías; a partir de la USLE se obtiene multiplicando sólo tres de sus factores R * K * LS.

La estimación de la erosión hídrica requiere de información temática como suelos, clima, pendiente y cobertura y uso de la tierra, la cual, se automatiza a través del sistema de información geográfico y mediante análisis espacial (superposición) se obtiene un mapa resultante que indica los rangos de erosión.

En la figura 2.178 se observa el modelamiento para determinar la pérdida de suelo a través de un SIG, mediante los métodos USLE.

2.12.1.1 Factor R

El factor erosividad de la lluvia es un índice numérico que expresa la capacidad de la lluvia para erosionar el suelo, se define como la suma del producto de la energía total de la precipitación por su máxima intensidad en treinta minutos para todos los eventos importantes de precipitación en un área durante un año promedio. (Wischmeier y Smith, 1978).

PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA MAYOR DEL RÍO TOTARE CONVENIO CORTOLIMA - CORPOICA - SENA - UNIVERSIDAD DEL TOLIMA

Wischmeier y Smith, (1978), consideran que el término de R en forma de producto, es el mejor parámetro de la precipitación que refleja la interacción entre el potencial combinado del impacto de lluvias y la turbulencia del escurrimiento para transportar las partículas desprendidas. La estimación de R se puede hacer a través de métodos directos y métodos indirectos.

2.12.1.1.1 Método Directo

Este método se basa en la lectura de bandas pluviográficas y se estima R, según Barrios, (1995), de la siguiente manera:

El factor R se refiere a un valor anual promedio del índice de erosividad de las lluvias EI, el cual se puede expresar como:

$$R = \frac{1}{na} \sum_{k=1}^{na} \left(\sum_{i=1}^{ne} (E * I30)_i \right) \qquad (1)$$

Donde:

E, es la energía cinética de un evento de lluvia.
I30, es la máxima intensidad en 30 minutos durante un evento i de lluvia.
ne, es el número de eventos de lluvia ocurridos en el año.
na, es el número de años.

CORPOCOLIMA
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL TOLIMA

El procedimiento para el cálculo de EI30 es:

- Calcular la energía cinética unitaria para cada segmento de lluvia con intensidad constante, usando la siguiente expresión básica:

$$e = \begin{cases} 0{,}283 & \text{si } I > 76 \text{ mm/h.} \\ 0{,}119 + 0{,}0873 \log_{10} I & \text{si } I \leq 76 \text{ mm/h .} \end{cases} \qquad (2)$$

Donde:

e, es la energía cinética unitaria del aguacero en Mj/ha/mm
I, es la intensidad de lluvia en mm/h.

La energía cinética total de un evento se calcula aplicando la ecuación anterior a segmentos o intervalos de lluvia de intensidad constante y sumando luego los valores de todos los intervalos.

PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA MAYOR DEL RÍO TOTARE CONVENIO CORTOLIMA - CORPOICA - SENA - UNIVERSIDAD DEL TOLIMA

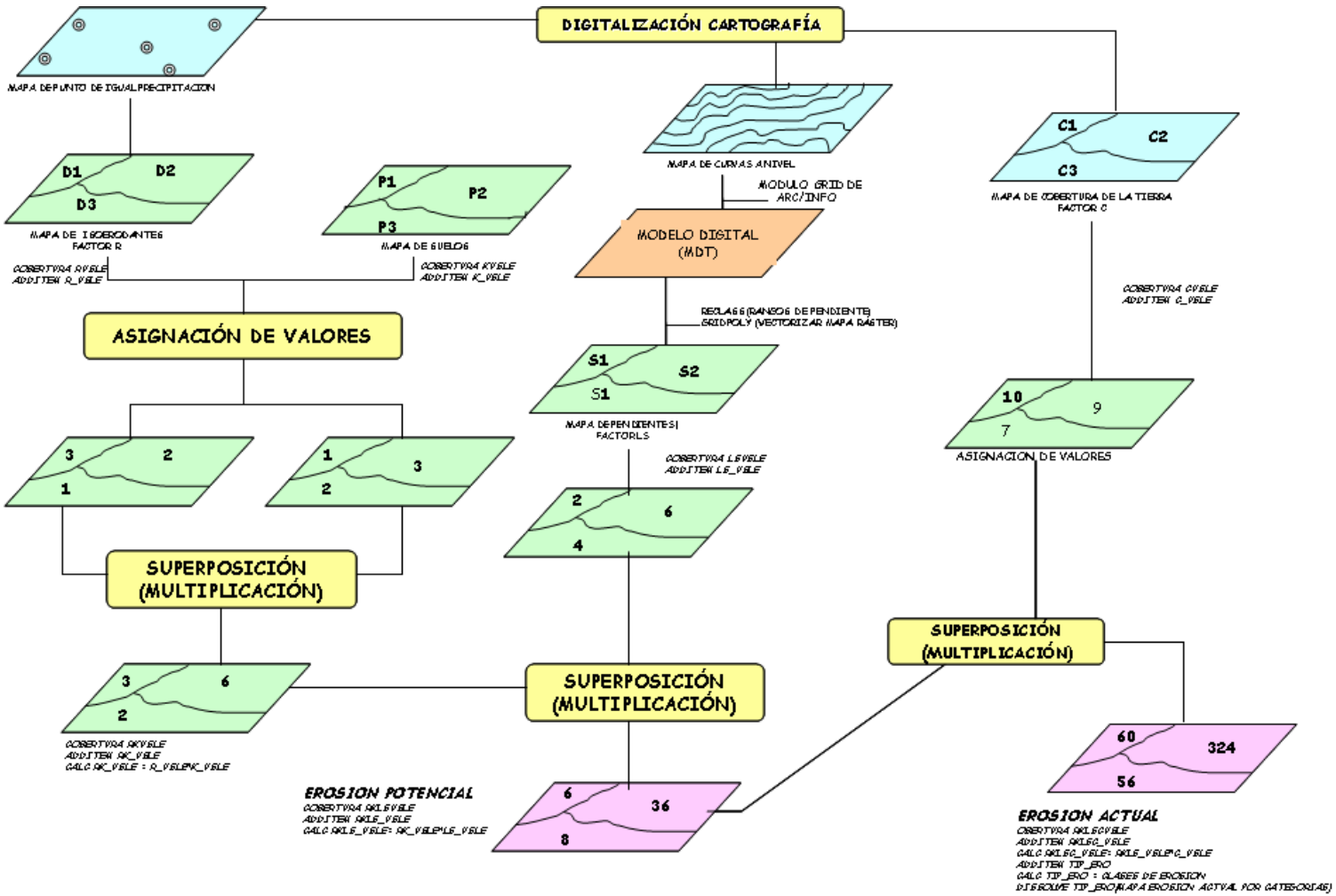


Figura 2.178 Modelamiento para la determinación de la Erosión actual y potencial a través de la metodología USLE mediante un SIG en la Cuenca Mayor del Río Totare.

La energía unitaria tiene un máximo de 0,283 debido a que a intensidades mayores de 76 mm/h el diámetro de la gota de agua que precipita no incrementa más y la velocidad final es constante. (Barrios, 1995).

- Calcular la energía total del segmento lluvia.

$$Es = e * p \qquad (3)$$

Donde:

Es, es la energía cinética del segmento de lluvia, en MJ/ha.
p, es la lámina total de lluvia para el segmento en mm.

- Calcular la energía de la lluvia total

$$E = \sum_{k=1}^{ns} (Es)k \qquad (4)$$

Donde:

E, es la energía cinética de la lluvia total, en MJ/ha
ns, es el número de segmentos en que fue dividida la lluvia.

- Identificar la máxima lluvia caída en 30 minutos y calcular la intensidad I30.

$$I30 = \min [(2 * Pmax30') ; 63,5] \qquad (5)$$

Donde:

I30, es la máxima intensidad de lluvia de 30 minutos de duración, en mm/h.
Pmax 30', es la máxima lluvia caída en un intervalo de tiempo de 30 minutos, en mm.

- Cálculo del índice EI de la lluvia.

$$EI = (E) *(I30). \qquad (6)$$

Donde:

EI, es el índice de erosividad de la lluvia, en (MJ mm) / (ha h).

El factor R se estima para cada año por simple adición del índice EI de todos los eventos del año, el procedimiento se repite para todos los años disponibles y se obtiene un valor promedio anual, el cual constituye el llamado R de la USLE. (Barrios, 1995).

PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA MAYOR DEL RÍO TOTARE CONVENIO CORTOLIMA - CORPOICA - SENA - UNIVERSIDAD DEL TOLIMA

2.12.1.1.2 Métodos Indirectos

Estos métodos son muy útiles cuando no se puede contar con bandas pluviográficas en las estaciones de precipitación. Se trata de relaciones empíricas entre el valor de R y la lluvia total: diaria, mensual, o de eventos extremos.

Para estimar R a partir de lluvias diarias, Elsenbeer (1994), presenta la ecuación de Richardson; dicha relación es válida en una región de los Estados Unidos:

$$EI_t = 0{,}34\ R_t^{1{,}81} \qquad (7)$$

Donde:

EI_t, es el índice de erosividad de la lluvia del dia t, en Mj.mm/ha.h.
R_t, es la lluvia del día t, en mm.

La Figura 2.179 se ilustra el cálculo de EI para un evento.

La estimación de R a partir de datos mensuales, presentada por Páez, et al., (1985), se puede observar en la ecuación:

$$EI_{30} = -\ 190{,}5 + 8{,}8\ P \qquad (8)$$

Donde:

EI_{30}, es la erosividad de la lluvia; se expresa en Mj.mm/ha.h
P, es la precipitación mensual promedio, en mm.

La erosividad anual promedio resulta de la sumatoria de los de los doce meses del año.

Wischmeier y Smith, (1978), señalan que la estimación de los valores de EI_{30} en la parte occidental de los Estados Unidos, dada la carencia de suficiente información para el cómputo de R, se realizó utilizando información sobre lluvias extremas con la siguiente ecuación:

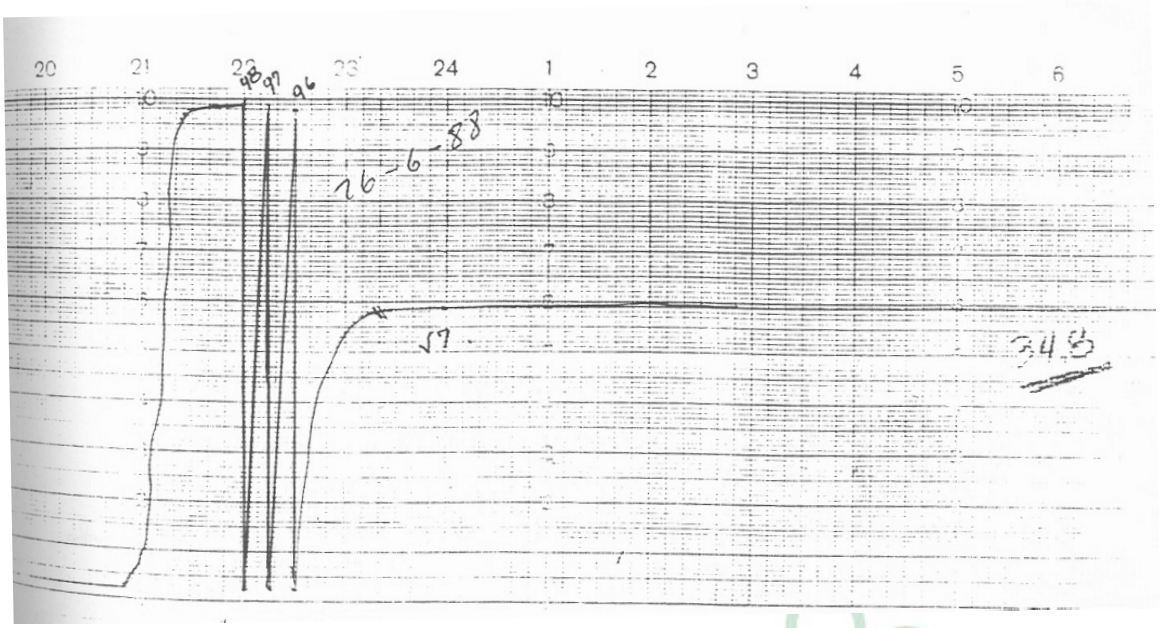
$$R = 0{,}147\ (P_{2,6})^{3,17} \qquad (9)$$

Donde:

R, es la erosividad de la lluvia expresada en Mj.mm./ha.h.año
$(P_{2,6})$, es la precipitación de 6 horas de duración y frecuencia de 2 años, expresada en mm.

CORTOLIMA
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL TOLIMA
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA MAYOR DEL RÍO TOTARE CONVENIO CORTOLIMA - CORPOICA - SENA - UNIVERSIDAD DEL TOLIMA

Figura 2.179 Ejemplo del cálculo de un EI Para un evento.



26/06/1988						
Hora	**Lluvia Lámina (mm)**	**Duración (min.)**	**Lámina (mm.)**	**Intensidad (mm/h)**	**Ei (Mj/ha.mm)**	**Es (Mj/ha)**
08:55	0					
09:25	9,6	30	9,6	19,20	0,231	2,218
10:00	9,8	35	0,2	0,34	0,078	0,016
10:15	19,5	15 *	9,7 *	38,80	0,258	2,500
10:30	29,1	15 *	9,6 *	38,40	0,257	2,470
11:20	34,8	50	5,7	6,84	0,192	1,094
Totales		145	34,8			E = 8,297
* 30 minutos donde más llovió						
I_{30} = (9,7 mm + 9,6 mm) / (15 min + 15 min) = 19,3 mm / 30 min = 0,64 mm/ min * 60 min / 1 h = I_{30} = 38,6 mm / h						
$EI_{30} = I_{30}$ * E = 38,6 mm / h * 8,297 Mj/ha = 320,26 Mj.mm/ha.h						

2.12.1.1.3 Estimación del Factor R en la Cuenca Mayor del Río Totare

Una vez el factor "R" o de erosividad de la lluvia, se ha determinado a través del método directo para una o mas estación de influencia o con características similares a la zona de estudio, se establece una relación estadística la cual se convierte en la ecuación del método indirecto.

Este factor se determinó a través del método directo para la Estación Cajamarca (Cuenca Mayor del Río Coello, Subcuenca del Anaime), en la cual se encuentra información pluviográfica; y para el resto de las estaciones influyentes, donde no se

PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA MAYOR DEL RÍO TOTARE CONVENIO CORTOLIMA - CORPOICA - SENA - UNIVERSIDAD DEL TOLIMA

cuenta con tal información, se calculó a través de una ecuación generada mediante análisis de regresión, obtenida a partir de los datos de erosividad (y) y lámina de lluvia (X) de la Estación Cajamarca. El análisis de regresión se efectuó utilizando datos mensuales. Se realizo un análisis de regresión con los datos diarios para generar una ecuación que sirva de herramienta en trabajos futuros.

Este tipo de cálculos, ya había sido parte de un estudio similar por parte de la ingeniería Elsa López, 2000, en el estudio denominado "*Aplicación de las Metodológicas USLE e IRE a través de un SIG para estimar la erosión hídrica en la cuenca del rió Anaime, Departamento del Tolima, Colombia*."

Los resultados de dicho análisis de regresión, generaron diversos modelos, los cuales se presentan en la Tabla 2.106 donde se muestran las diferentes ecuaciones, coeficientes de correlación (r), coeficiente de determinación (R^2), intercepto (a) y pendiente (b).

En la Tabla 2.168 se observa que la variación entre los valores del coeficiente de determinación (R^2) no es mucha entre los modelos aplicados, por lo tanto se escogió como ecuación para la determinación de la erosividad de la lluvia, en las estaciones influyentes, el modelo que mejor ajuste dio y además el más conocido, es decir, el modelo lineal.

Tabla 2.168 Modelos alternativos de comparación para el cálculo de R en las estaciones influyentes, a través del método indirecto.

Modelo	Fórmula	r	R^2 (%)	a	b
Lineal	y = a + b * X	0,86	74,4	-10,3	3,2
Potencial	$y = a * X^b$	0,85	73,1	0,2	1,2
Logarítmica	y = a + b * ln (X)	0,80	63,3	-515,6	183
Exponencial	y = e (a + b * X)	0,79	62,7	3,7	0,02

En la Tabla 2.169 se muestran los valores totales por mes del Factor "R", en el periodo de estudio (16 años) para las estaciones influyentes en la Cuenca Mayor del Río Totare, así mismo en la figura 2.180 se observa la distribución de la erosividad a lo largo del año para la Cuenca del Río Totare.

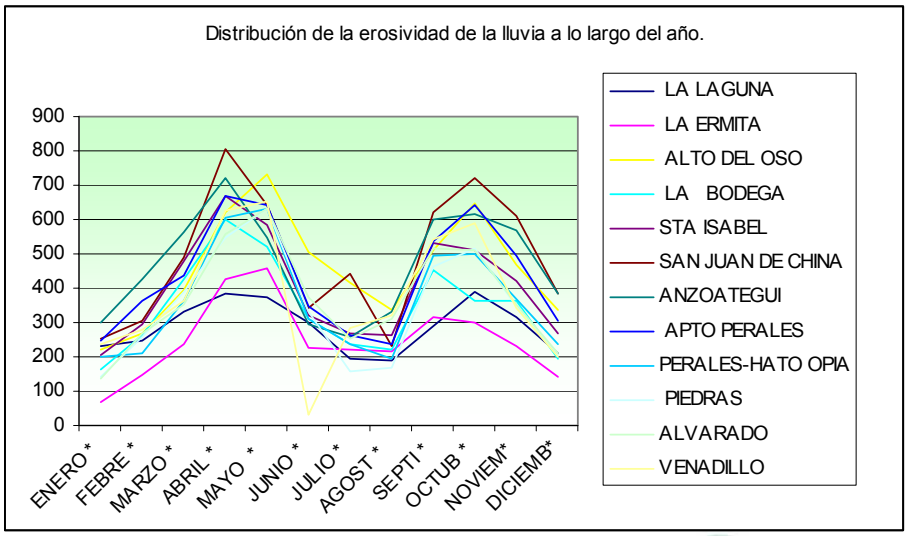
El Apéndice 2.20, muestra los datos pluviométricos de cada estación y además se presentan en él los resultados obtenidos de la aplicación de la ecuación lineal:

$$Y = -10{,}3 + 3{,}2X$$

Donde: Y : Erosividad
X : Lámina de lluvia

PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA MAYOR DEL RÍO TOTARE CONVENIO CORTOLIMA - CORPOICA - SENA - UNIVERSIDAD DEL TOLIMA

Figura 2.180 Distribución de la erosividad de la lluvia a lo largo del año para las estaciones de la Cuenca Mayor del Río Totare.



En la Tabla 2.170 se observan los valores de "R" en porcentaje por mes para el periodo de estudio en la Cuenca Mayor del Río Totare, y la figura 2.181, muestra la distribución de la erosividad de la lluvia a lo largo del año en la Cuenca Mayor del Río Totare.

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL TOLIMA

Tabla 2.170 Valores de erosividad de la lluvia en porcentaje en el periodo de estudio la Cuenca Mayor del Río Totare, Cuenca del Río Totare.

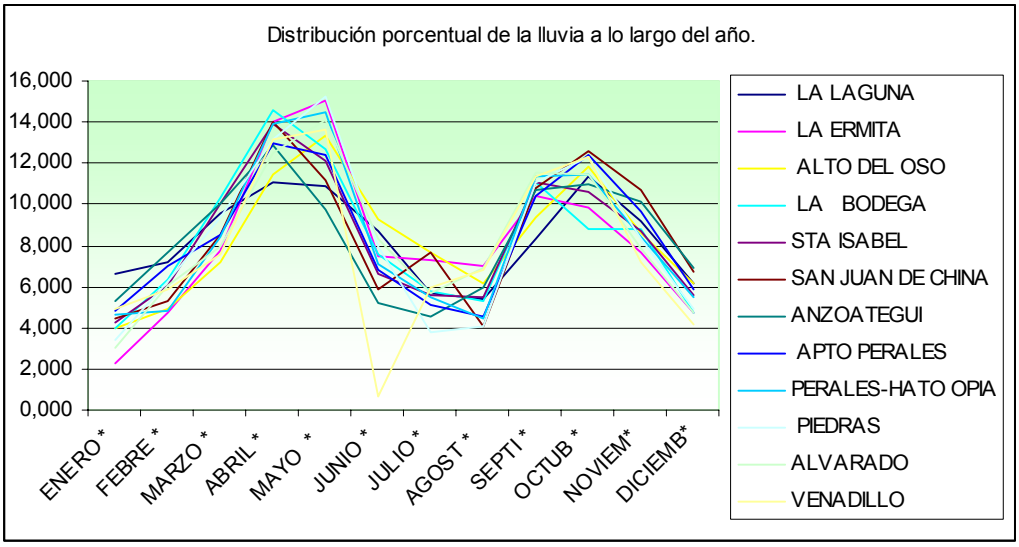
ESTACIONES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
LA LAGUNA	6,658	7,167	9,602	11,039	10,865	8,672	5,634	5,424	8,307	11,316	9,180	6,156
LA ERMITA	2,301	4,759	7,774	14,034	15,077	7,466	7,255	7,003	10,426	9,868	7,673	4,727
ALTO DEL OSO	4,011	4,924	7,215	11,425	13,395	9,288	7,632	6,179	9,375	11,843	8,582	6,131
LA BODEGA	4,011	6,349	10,364	14,578	12,650	7,567	5,784	5,316	11,041	8,834	8,768	4,737
STA ISABEL	4,258	6,098	9,988	13,927	12,102	6,627	5,543	5,523	11,053	10,592	8,717	5,571
SAN JUAN DE CHINA	4,408	5,310	8,511	13,993	11,142	5,906	7,693	4,059	10,803	12,566	10,656	6,692
ANZOATEGUI	5,327	7,627	9,989	12,866	9,797	5,237	4,568	5,927	10,656	10,995	10,135	6,876
APTO PERALES	4,836	7,012	8,504	12,940	12,436	6,777	5,137	4,580	10,402	12,418	9,629	5,910
PERALES-HATO OPIA	4,596	4,799	8,397	13,890	14,526	7,115	5,473	4,455	11,357	11,477	8,441	5,469
PIEDRAS	3,450	6,261	9,328	13,199	15,222	7,949	3,768	4,107	11,101	12,348	8,369	4,881
ALVARADO	3,038	6,025	7,924	12,491	14,098	8,361	5,663	6,934	11,509	11,422	7,811	4,723
VENADILLO	4,969	5,884	7,592	13,117	13,675	0,695	5,959	6,772	11,327	12,339	7,202	4,149

PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA MAYOR DEL RÍO TOTARE CONVENIO CORTOLIMA - CORPOICA - SENA - UNIVERSIDAD DEL TOLIMA

Tabla 2.169 Valores de “R” (Mjmm/ha-año) por estación para todos los meses del periodo de estudio en la Cuenca Mayor del Río Totare (Cuenca Totare).

ESTACIONES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
LA LAGUNA	230,29	247,89	332,1	381,79	375,8	299,93	194,87	187,6	287,3	391,39	317,52	212,92	3458,71
LA ERMITA	70,2	145,18	237,16	428,14	459,96	227,76	221,32	213,66	318,06	301,04	234,08	144,22	3050,78
ALTO DEL OSO	218,64	268,44	393,32	622,8	730,22	506,34	416,04	336,86	511,08	645,62	467,86	334,22	5451,44
LA BODEGA	165,22	261,54	426,9	600,5	521,06	311,7	238,26	218,96	454,78	363,9	361,16	195,14	4119,1
STA ISABEL	204,64	293,1	480,06	669,36	581,66	318,52	266,42	265,46	531,22	509,08	418,96	267,74	4806,22
SAN JUAN DE LA CHINA	253,42	305,32	489,32	804,52	640,64	339,56	442,34	233,36	621,11	722,5	612,7	384,78	5749,56
ANZOATEGUI	298,98	428,1	560,66	722,1	549,9	293,92	256,38	332,69	598,1	617,1	568,85	385,9	5612,68
APTO PERALES	249,62	361,92	438,98	667,92	641,92	349,8	265,18	236,4	536,94	641	497	305,06	5161,74
PERALES HATO - OPIA	200,02	208,84	365,42	604,44	632,1	309,62	238,18	193,86	494,22	499,44	367,3	237,98	4351,6
PIEDRAS	143,4	260,22	387,7	548,6	632,68	330,4	156,62	170,72	461,4	513,22	347,86	202,88	4156,4
ALVARADO	136,22	270,14	355,26	560,02	632,1	374,88	253,9	310,88	516	512,12	350,2	211,76	4483,48
VENADILLO	237,38	281,1	362,7	626,7	653,32	33,22	284,72	323,52	541,18	589,5	344,06	198,2	4777,6

Figura 2.181 Distribución de la erosividad de la lluvia a lo largo del año en la Cuenca Mayor del Río Totare.



A partir de los valores de R calculados para cada estación de la Cuenca Mayor del Río Totare (Tabla 2.171), se genera el mapa de isolíneas de igual valor de R (Isoerosividad) para dicha cuenca hidrográfica, información que se presenta en la Figura No 2.182 Mapa Factor R para la Cuenca del Río Totare.

CORTOLIMA
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL TOLIMA

Tabla 2.171 Valores de "R" para la Cuenca Mayor del Río Totare.

Nº	ESTACIÓN	CÓDIGO	X	Y	R
1	LA LAGUNA	2613514	853646	1018676	3458,71
2	LA ERMITA	2124509	870282	1013115	3050,78
3	ALTO DEL OSO	2125005	870307	1027863	5451,44
4	LA BODEGA	2124513	881379	1013098	4119,1
5	STA ISABEL	2125511	883226	1011251	4806,22
6	SAN JUAN DE CHINA	2124003	888751	994653	5749,56
7	ANZOATEGUI	2124007	886914	1003873	5612,68
8	APTO PERALES	2124504	881332	981761	5161,74
9	PERALES-HATO OPIA	2124501	890583	981748	4351,6
10	PIEDRAS	2122004	910949	994626	4156,4
11	ALVARADO	2124008	903552	996477	4483,48
12	VENADILLO	2125046	907266	1009376	4777,6

PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA MAYOR DEL RÍO TOTARE CONVENIO CORTOLIMA - CORPOICA - SENA - UNIVERSIDAD DEL TOLIMA

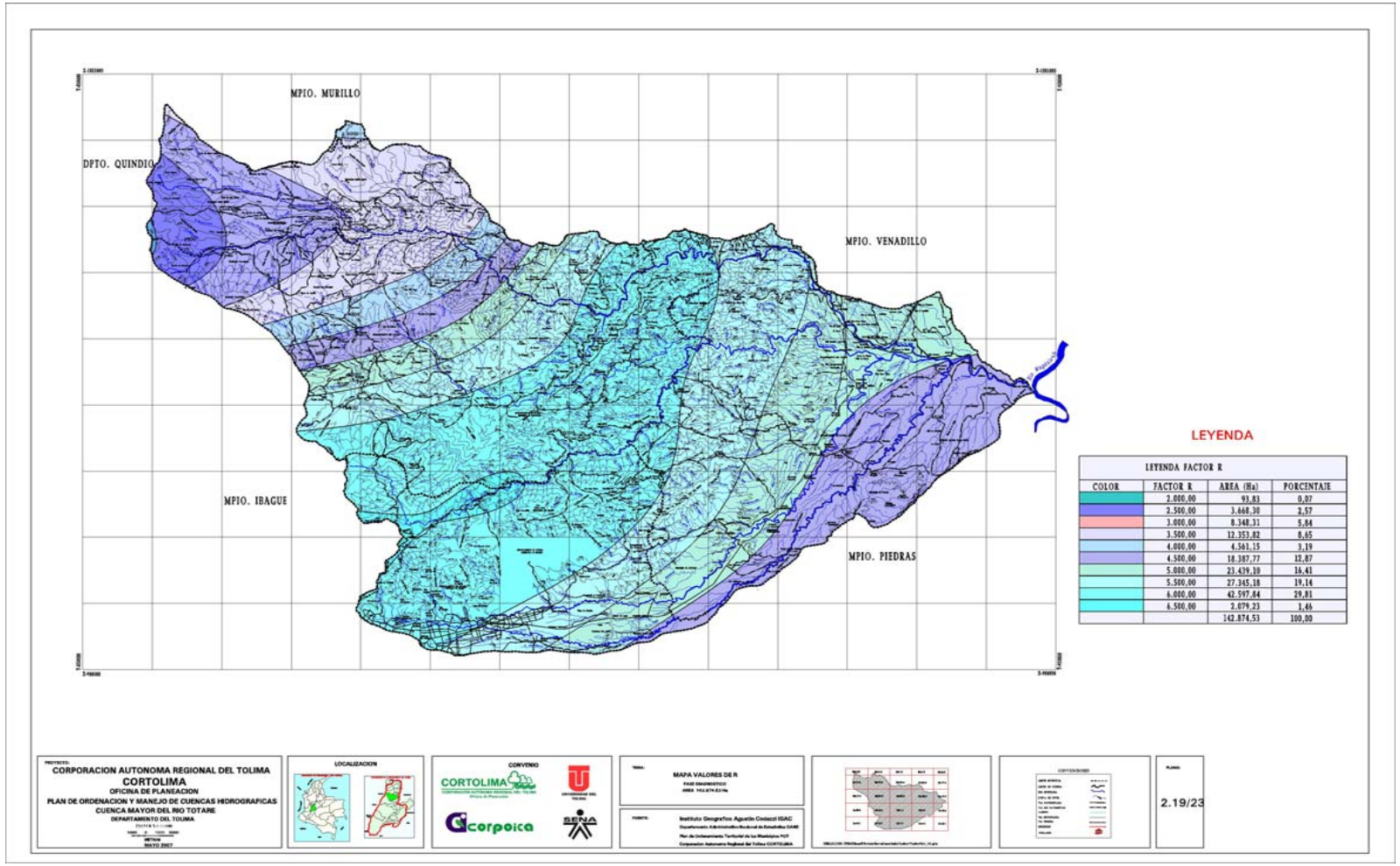


Figura No 2.182 Mapa con el Factor R para la Cuenca del Río Totare.

Los mayores valores de “R” se encuentran en la vereda China Alta, Ancón Tesorito, Ambalá Parte Alta, básicamente en los sectores comprendidos entre Alto la Esperanza, Loma sacrificio, Guayabal (vereda China Alta) que presentó valores de R de 6500.

Los segundos mayores valores de R (erosividad de las lluvias) con valores de 6000 Mjmm/Ha*año se presentó bastante en los sectores de las veredas Malabar, Agrado, Buenavista, la Rica, La Pava, La Castellana, La Congoja, Santa Bárbara, Buenos Aires, Betulia, San Carlos, Totalito Alto, Cuminá, Cuminá Alto, Palomar, China Alta, El Hatillo, El Manantial, El Fierro, Juntas, La Unión, La Palmera, La Camelia, Montegrande, La Esmeralda, Verdun, Río Frío Pueblo nuevo, Santa Rita Alta, La Alejandría, La Bandera, Fonda Colombia, La Pitala, Puerto Colombia, La Tigrera, Lisboa, El Brillante, Santa Helena, Guarumal, China Media, La Isabela sector San Juan de La China, La Pluma, La Violeta, San Juan de la China, La Beta, El Rubí, Aures, San Antonio, San Cayetano, San Cayetano Alto, EL Ecuador, Yatay, Santa Rita, San Cayetano Bajo, Carrizales, La Belleza, Rodeito, Ambalá Parte Alta, Ancón Tesorito parte Baja, Chembe, La Flor (I), El Colegio, Bellavista, Calambeo, La Pedregoza, La Parcela, La Esperanza, El Jaguo, San Antonio Ambalá, Ambalá Sector El Triunfo, La María Parte Baja, Calambeo, el sitio donde menor valor R se presenta es en la vereda Totarito y Hoyo Frío básicamente en los sectores Mesetas de Balcones, Alto de Portones, Cuchillo de San Carlos, Cuchillo del Placer y Penas de Caracolí.

CORTOLIMA
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL TOLIMA

2.12.1.2 Factor K

El factor K representa la erosionabilidad del suelo, es decir, muestra su vulnerabilidad a la acción del agua; es una característica inherente a los suelos, que es función de la acción individual y/o combinada de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, así como también del manejo que de ellos se haga. (Barrios, 1995). El método más completo para estimar K es el Nomograma de Wischmeier y Smith, (1978), el cual requiere datos sobre porcentaje de limo, porcentaje de arena muy fina, porcentaje de arena, porcentaje de contenido de materia orgánica, estructura y permeabilidad. En el caso de no contar con información tan detallada se pueden usar valores tabulados por Kirkby y Morgan, (1980). Estos valores tabulados pueden observarse en la Tabla 2.172.

El método más completo para estimar K es el nomograma de Wischmeier y Smith (1978), el cual requiere datos muy pormenorizados. Al existir diferentes métodos para calcular el factor K y teniendo en cuenta que en algunos de estos se requiere mayor información y de forma más detallada, se ha empleado el método de Kirkby y Morgan (1980), en el cual se utilizan valores obtenidos asociando la textura del suelo y contenido de materia orgánica, los cuales han sido tabulados y se pueden ver en la Tabla 2.172.

PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA MAYOR DEL RÍO TOTARE CONVENIO CORTOLIMA - CORPOICA - SENA - UNIVERSIDAD DEL TOLIMA

Tabla 2.172 Valores de K asociados a la textura y al contenido de materia orgánica, método de Kirkby y Morgan (1980).

TEXTURA DEL SUELO	< 0.5%	2%	>4%
Arcilla	0.017	0.038	-------
Arcilla arenosa	0.018	0.017	0.016
Arcilla limosa	0.033	0.030	0.025
Arena	0.007	0.004	0.003
Arena fina	0.0021	0.018	0.013
Arena fina franca	0.032	0.026	0.021
Arena franca	0.016	0.013	0.011
Arena muy fina	0.055	0.047	0.037
Arena muy fina franca	0.058	0.050	0.040
Franco (grada)	0.050	0.045	0.038
Franco arcillolimoso	0.049	0.042	0.034
Franco arcilloso	0.037	0.033	0.028
Franco arenoarcilloso	0.036	0.033	0.028
Franco arenoso	0.036	0.032	0.025
Franco arenoso fino	0.046	0.040	0.032
Franco arenoso muy fino	0.062	0.054	0.043
Limo	0.079	0.068	0.055
Limo franco	0.063	0.055	0.043

Fuente: Kirkby y Morgan, 1980

2.12.1.2.1 Procedimiento para estimar K en Cuenca Mayor del Río Totare

En este caso al contar solo con información de profundidad y clase textural, se procedió a calcular el porcentaje de materia orgánica para cada una de las unidades de suelos. Para conocer la cantidad en porcentaje de la materia orgánica del suelo se pueden emplear diferentes formulas en las cuales se utilizan algunos elementos que se encuentran en el suelo, como por ejemplo a partir del azufre (S), nitrógeno (N), carbono (C) y otros, en esta ocasión se empleará el método de Walkley y Black (dicromato de potasio) que analiza el carbono principal componente de la materia orgánica, ya que el 58% de la materia orgánica es carbono.

M.O. % = %C * 1.724 (factor de Von Bemmelen).

PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA MAYOR DEL RÍO TOTARE CONVENIO CORTOLIMA - CORPOICA - SENA - UNIVERSIDAD DEL TOLIMA

Sin embargo hay investigaciones que concluyen que se debe variar el factor entre 1.724, 1.9 y 2.5 dependiendo del Ph, temperatura del suelo y otras características propias del sitio como del suelo.

La Tabla 2.173 se presenta de forma sucinta los resultados arrojados por el método utilizado para el calculo de M.O., al seleccionar los valores del factor de Von Bemmelen para el desarrollo de la formula se tuvieron en cuenta características de los perfiles del suelo como profundidad, relieve o pendiente y altura, puesto que solo por el hecho de hallarse un valor por medio de formulas los resultados son mas representativos o empíricos que reales, por tal razón se tuvieron en cuenta estas variables para que los resultados fueran lo más acertados y completos dentro de lo posible.

Al encontrar que debido a la escala del estudio de suelos (1:100.000), el nivel de detalle en el que se halla la información requerida para calcular los valores de K, es menor, estos valores se obtienen empleando los porcentajes de las unidades cartográficas en cada perfil, para que de esta forma se pueda totalizar y dar un único valor de K en cada unidad de suelo.

Para los perfiles que no tenían información sobre materia orgánica y si de textura se estimo su valor teniendo en cuenta su descripción y principales características, los cuales se obtuvieron del estudio de suelos respectivo.

En la Tabla 2.174 se muestra los valores de K, para las diferentes unidades cartograficas de suelos (Tonelada por hectárea que se pierde de suelos cada vez que se aplica un milijulios por hectárea por año) según el método de Kirkby y Morgan (1980).

A partir de esta Tabla, se genera la figura 2.183 Mapa que presenta los diferentes valores de K para las unidades cartográficas de suelos encontrados en la Cuenca mayor del Río Totare.

2.12.1.3 Factor "LS"

El factor topográfico LS es la relación entre el suelo perdido en un terreno cualquiera con pendiente p y longitud λ, y la correspondiente a la parcela piloto utilizada en el desarrollo de la USLE. Se refiere entonces al efecto combinado de la pendiente y la longitud de los terrenos expuestos a la erosión laminar y en surcos. Su valor se obtiene por multiplicación de dos subfactores: longitud (L) y pendiente (S).

PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA MAYOR DEL RÍO TOTARE CONVENIO CORTOLIMA - CORPOICA - SENA - UNIVERSIDAD DEL TOLIMA

Tabla 2.173 Cálculo de la materia orgánica por el factor de Von Bemmelen.

UNIDAD	PERFIL	FACTOR	CARBONO%	MAT. ORG. (%C*FACTOR)
LWA	P-7	1,724	0,61	1,0516
	A-45	1,724	1,77	3,0515
MAA	------	------	------	------
MDA	PT-1	2,5	5,18	12,95
	PT-3	2,5	7,61	19,025
	PT-4	2,5	38,61	96,525
MGA	PTC-1	2,5	25,65	64,125
	PTC-26	2,5	50,55	126,375
MGB	TS-11	1,9	18,46	35,074
	TS-1	2,5	15,24	38,1
	TS-13	2,5	18,09	45,225
MGC	PT-6	2,5	5,11	12,775
MKB	BT-62	2,5	16,87	42,175
	L-4	2,5	3,23	8,075
MKD	PT-27	1,9	5,58	10,602
MKG	PT-7	2,5	6,95	17,375
MQB	TL-5	2,5	4,1	10,25
MQD	PTC-6	1,9	1,09	2,071
	PTS-9	1,724	1,21	2,086
	BT-63	1,724	1,68	2,896
MQO	P-25	1,724	2,8	4,827
	BT-82	1,724	0,25	0,431
MWB	TS-52	1,724	1,56	2,689
	PA-5	1,724	0,93	1,603
MWE	PT-16	1,724	1,84	3,1722
	PT-15	1,724	1,82	3,1377
MWF	PT-18	1,724	3,33	5,7409
	PT-20	1,724	1,72	2,9653
NP	------	------	------	------
PWD	PH-1	1,724	1,22	2,103
PWF	PT-30	1,724	0,82	1,414
	PT-29	1,724	0,94	1,62
	PA-7	1,724	0,63	1,086
PWL	G-10	1,724	1,6	2,758
	G-8	1,724	1,9	3,276
	A-38	1,724	1,47	2,534
VWA	L-8	1,724	0,87	1,499
	L-5	1,724	1,21	2,086
C.P	------	------	------	------
Z.U	------	------	------	------

Fuente: CORTOLIMA, 2007

CORTOLIMA
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL TOLIMA
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA MAYOR DEL RÍO TOTARE CONVENIO CORTOLIMA - CORPOICA - SENA - UNIVERSIDAD DEL TOLIMA

Tabla 2.174 Cálculo de K para la Cuenca Hidrográfica Mayor del Río Totare, según Kirkby y Morgan (1980)

UNIDAD CARTOGRÁFICA	PERFIL	% PERFIL	PROFUNDIDAD	CLASE TEXTURAL	MAT. ORG	K (t/ha) (Mjmm/ha.a)	K TOTAL
LWA	P-7	40	00-12	AFGr	1,0516	0,013	0,015
	A-45	35	00-35	FArGr	3,0515	0,028	
MAA		100				0,007	0,007
MDA	PT-1	50	00-23	FA	12,95	0,025	0,027
	PT-3	30	00-22	AF	19,025	0,011	
	PT-4	20	00-28	ORGÁNICO	96,525	0,055	
MGA	PTC-1	70	00-18	FA	64,125	0,025	0,034
	PTC-26	30	00-18	ORGÁNICO	126,375	0,055	
MGB	TS-11	60	00-05	FA	35,074	0,025	0,031
	TS-1	20	00-30	FA	38,1	0,025	
	TS-13	20	00-49	ORGÁNICO	45,225	0,055	
MGC	PT-6	100	00-30	FA	12,775	0,025	0,025
MKB	BT-62	70	00-20	FA	42,175	0,025	0,025
	L-4	30	00-53	FA	8,075	0,025	
MKD	PT-27	100	00-17	FA	10,602	0,025	0,025
MKG	PT-7	100	00-25	FA	17,375	0,025	0,025
MQB	TL-5	80	00-25	FA	10,25	0,025	0,02
MQD	PTC-6	40	00-17	F	2,071	0,045	0,031
	PTS-9	30	00-17	AF	2,086	0,013	
	BT-63	30	00-20	FA	2,896	0,032	
MQO	P-25	50	00-20	FA	4,827	0,025	0,021
	BT-82	50	00-18	Ar	0,431	0,017	
MWB	TS-52	60	00-11	FA	2,689	0,032	0,032
	PA-5	40	00-16	FArA	1,603	0,033	
MWE	PT-16	60	00-26	F	3,1722	0,045	0,04
	PT-15	40	00-16/24	FAGr	3,1377	0,032	
MWF	PT-18	50	00-08	FArGr	5,7409	0,028	0,032
	PT-20	40	00-08	F	2,9653	0,045	
NP		100				0,007	0,007
PWD	PH-1	80	00-22	FA	2,103	0,032	0,026
PWF	PT-30	50	00-22	FA	1,414	0,032	0,035
	PT-29	30	00-15	FA	1,62	0,032	
	PA-7	20	00-17	F	1,086	0,045	
PWL	G-10	50	00-34	FArA	2,758	0,033	0,036
	G-8	30	00-20	F	3,276	0,045	
	A-38	20	00-20	FA	2,534	0,032	
VWA	L-8	60	00-15	Ar	1,499	0,038	0,041
	L-5	40	00-16	F	2,086	0,045	
C.P							
Z.U							

Fuente: CORTOLIMA, 2007

CORTOLIMA
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL TOLIMA
PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA MAYOR DEL RÍO TOTARE CONVENIO CORTOLIMA - CORPOICA - SENA - UNIVERSIDAD DEL TOLIMA

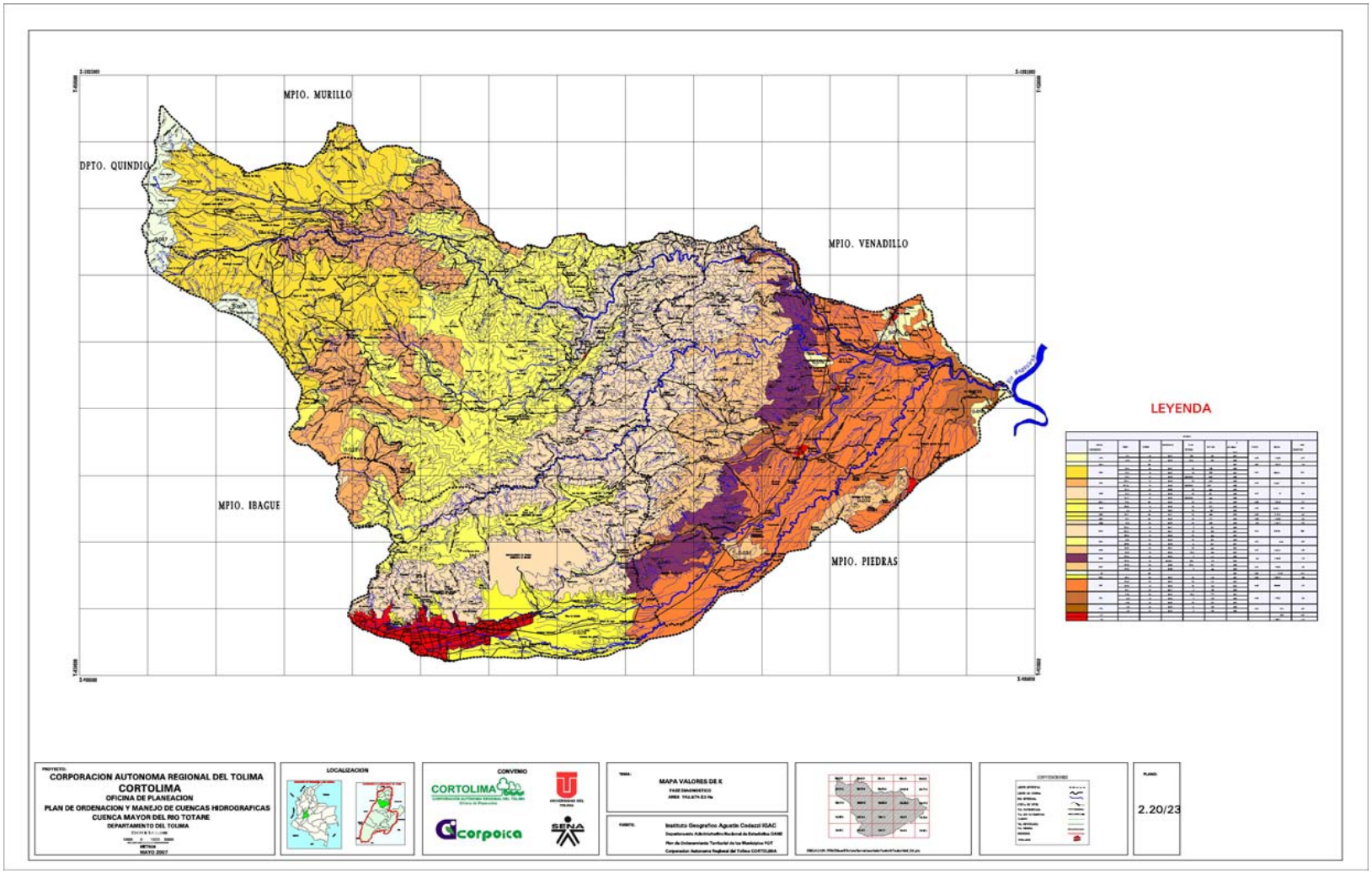


Figura No 2.183 Mapa del factor K para la Cuenca del Río Totare.

Para el cálculo de LS Wischmeier y Smith, (1978), propusieron las siguientes ecuaciones:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22{,}1}\right)^m \qquad (10)$$

$$S = 65{,}41\,\mathrm{Sen}^2\theta + 4{,}56\,\mathrm{Sen}\,\theta + 0{,}065 \qquad (11)$$

Donde:

L: Es el factor longitud de la pendiente (adimensional).
λ: Es la longitud uniforme del terreno (metros).
m: Es el exponente cuyo valor varía entre 0,2 y 0,5 de acuerdo al valor en la inclinación de la pendiente entre $<$ 1 y $>$ 5 %.
S: Es el subfactor inclinación de la pendiente (adimensional).
θ: Es el ángulo de inclinación del terreno uniforme en grados.

Basándose en el trabajo de McCool et al., (1987 y 1989), proponen para la MUSLE la siguiente actualización:

$$L = (\lambda / \ 22{,}1)^m \qquad (12)$$

$$m = \beta/(1+\beta) \qquad (13)$$

$$\beta = \{(Sen\theta/0.00896)/(3{,}0 \times (Sen\theta)^{0.8} + 0{,}56)\} \times r \qquad (14)$$

$$S = 16{,}8\ \mathrm{Sen}\ \theta - 0{,}50 \quad \text{si la pendiente} \geq 9\ \%. \qquad (15)$$

$$S = 10{,}8\ \mathrm{Sen}\ \theta + 0{,}03 \quad \text{si la pendiente} < 9\ \% \qquad (16)$$

Donde:

L: Es el factor longitud del terreno (adimensional).
λ: Longitud del terreno (m)
m: exponente variable según β
β: Relación erosión en surco a erosión en entresurco
θ: Ángulo de inclinación del terreno
r: Coeficiente igual a: 0,5 en tierras forestales o pastizales; 1,0 en terrenos agrícolas y 2,0 en sitios en construcción.
S: Es el factor pendiente del terreno (adimensional)

La expresión original de Wischmeier y Smith, (1978), fue desarrollada experimentalmente con datos de terrenos uniformes, pendientes entre 3 y 18 % y longitudes entre 10 y 100 metros. La aplicación fuera de este rango experimental es de carácter especulativo, tal es el caso de las cuencas hidrográficas en donde las vertientes no son uniformes y frecuentemente tienen 20 %, 30 %, 40 % o más de pendiente. La expresión de McCool et al., (1987), fue realizada teniendo en cuenta lo

PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA MAYOR DEL RÍO TOTARE CONVENIO CORTOLIMA - CORPOICA - SENA - UNIVERSIDAD DEL TOLIMA

anterior y por eso es la que se recomienda para cuencas hidrográficas. (Barrios, 1995).

2.12.1.3.1 Pendiente en la Cuenca Mayor del Río Totare

Como se precisó anteriormente, la pendiente es uno de los dos subfactores necesarios para el cálculo del Factor "LS". No obstante es preciso aclarar que se utilizó el mapa de pendientes. Este mapa se realizó a través del software ARC/INFO de la casa ESRI, trabajando bajo plataforma UNIX.

Para la realización del mapa de pendientes, se procedió a generar una red irregular de triángulos con el módulo TIN a partir de la cobertura de curvas de nivel, una vez realizada la red de triángulos este fue rasterizado a través del módulo GRID, posteriormente se procedió a reclasificar cada celda (pixeles) según unos rangos preestablecidos (Tabla 2.175), muestra los rangos, área y porcentaje de pendientes encontradas). Una vez se han obtenidos áreas de igual clase, se procede a vectorizar (dejar únicamente el perímetro de cada área).

Tabla 2.175 Rangos de Pendientes y Áreas encontradas en la Cuenca mayor del Río Totare (Cuenca Totare).

RANGO	CLASIFICACION	AREA (Ha.)	AREA (%)
0 - 3	Muy plano	47.570,33	33,14
3 - 7	Plano	4.584,73	3,19
7 - 12	Casi plano	7.172,37	5,00
12 - 25	Ondulado	14.328,04	9,98
25 - 50	Muy ondulado	34.278,77	23,88
50 - 75	Escarpado	24.822,93	17,29
> 75	Muy escarpado	10.701,63	7,46
Z.U		71,05	0,05
TOTAL		143.529,85	100,00

2.12.1.3.2 Longitud del Terreno en la Cuenca Mayor del Río Totare

Para el cálculo del Subfactor "S", en primera instancia fue necesaria la clasificación de las coberturas vegetales o ausencias de ellas, según criterios de protección preestablecidos, una vez realizada esta clasificación se procedió a la aplicación de las ecuaciones 12, 13 y 14 sucesivamente. Como se muestra en la Tabla 2.176, obteniendo los valores de L para cada rango de pendiente respectivo.

PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA MAYOR DEL RÍO TOTARE CONVENIO CORTOLIMA - CORPOICA - SENA - UNIVERSIDAD DEL TOLIMA

2.12.1.3.3 Calculo del Factor LS la Cuenca Mayor del Río Totare

El factor S, se obtuvo aplicando las ecuaciones 14 y 15. Estos valores se crearon a partir de los temas de cobertura vegetal y de pendientes. Seguidamente se sobrepusieron dichas coberturas a través del comando unión del subsistema arcedit del ARC/INFO, la Tabla 2.177 presenta los valores de L y la tabla 2.178 presenta los valores de LS para la Cuenca mayor del Río Totare, así mismo la Figura 2.184 presenta especialmente la ubicación del factor LS para la cuenca citada.

Tabla 2.176 Valor de "r" para cada Cobertura y Uso de la Tierra en la Cuenca mayor del Río Totare.

TIPO DE COBERTURA	COBERTURA	SÍMBOLO	R	CLASIFICACIÓN
Coberturas Arbóreas y Pastizales	Bosque natural	Bn	0,5	A
	Bosque plantado	Bp	0,5	A
	Bosque secundario	Bs	0,5	A
	Café	Cc	0,5	A
	Pasto manejado	Pm	0,5	A
	Pasto natural	Pn	0,5	A
	Pasto con rastrojo	Pr	0,5	A
	Rastrojo	Ra	0,5	A
	Vegetación de Páramo	Vp	0,5	A
Coberturas de cultivos y suelos expuestos	Afloramientos Rocoso	Af	1,0	B
	Arroz	Az	1,0	B
	Hortalizas	Ht	1,0	B
	Tierras eriales	Te	1,0	B
Coberturas que no aplican	Lagunas	Lg	-	C
	Zona urbana	Zu	-	C

Tabla 2.177 Valor de "L" para cada Rango de pendiente.

Pendiente (%)		θ	B	m	L
0	3	0,8594	0,1384	0,1215	1,1041
3	7	2,8624	0,3926	0,2819	1,2583
7	12	5,4268	0,6255	0,3848	1,3684
12	25	10,4812	0,9181	0,4787	1,4772
25	50	20,5560	1,2145	0,5484	1,5636
50	75	32,0054	1,3756	0,5791	1,6032
> 75		41,1859	1,4493	0,5917	1,6198

PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA MAYOR DEL RÍO TOTARE CONVENIO CORTOLIMA - CORPOICA - SENA - UNIVERSIDAD DEL TOLIMA

Tabla 2.178 Valor de “LS” para los diferentes rangos de pendiente en la Cuenca Mayor del Río Totare y sus cuencas.

Cobertura Tierra	Pendiente (%)		Θ	β	m	L	S	LS
A	0	3	0,8594	0,1384	0,1215	1,1041	0,1920	0,2120
	3	7	2,8624	0,3926	0,2819	1,2583	0,5693	0,7164
	7	12	5,4268	0,6255	0,3848	1,3684	1,5588	2,1331
	12	25	10,4812	0,9181	0,4787	1,4772	3,0261	4,4701
	25	50	20,5560	1,2145	0,5484	1,5636	5,8689	9,1769
	50	75	32,0054	1,3756	0,5791	1,6032	8,8740	14,2265
	> 75		41,1859	1,4493	0,5917	1,6198	11,0329	17,8711
B	0	3	0,8594	0,2520	0,2013	1,1783	0,1920	0,2262
	3	7	2,8624	0,6692	0,4009	1,3865	0,5693	0,7893
	7	12	5,4268	1,0402	0,5099	1,5152	1,5588	2,3620
	12	25	10,4812	1,5295	0,6047	1,6370	3,0261	4,9537
	25	50	20,5560	2,1084	0,6783	1,7382	5,8689	10,2015
	50	75	32,0054	2,5008	0,7144	1,7901	8,8740	15,8852
	> 75		41,1859	2,7143	0,7308	1,8142	11,0329	20,0158

CORTOLIMA
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL TOLIMA

PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA MAYOR DEL RÍO TOTARE CONVENIO CORTOLIMA - CORPOICA - SENA - UNIVERSIDAD DEL TOLIMA

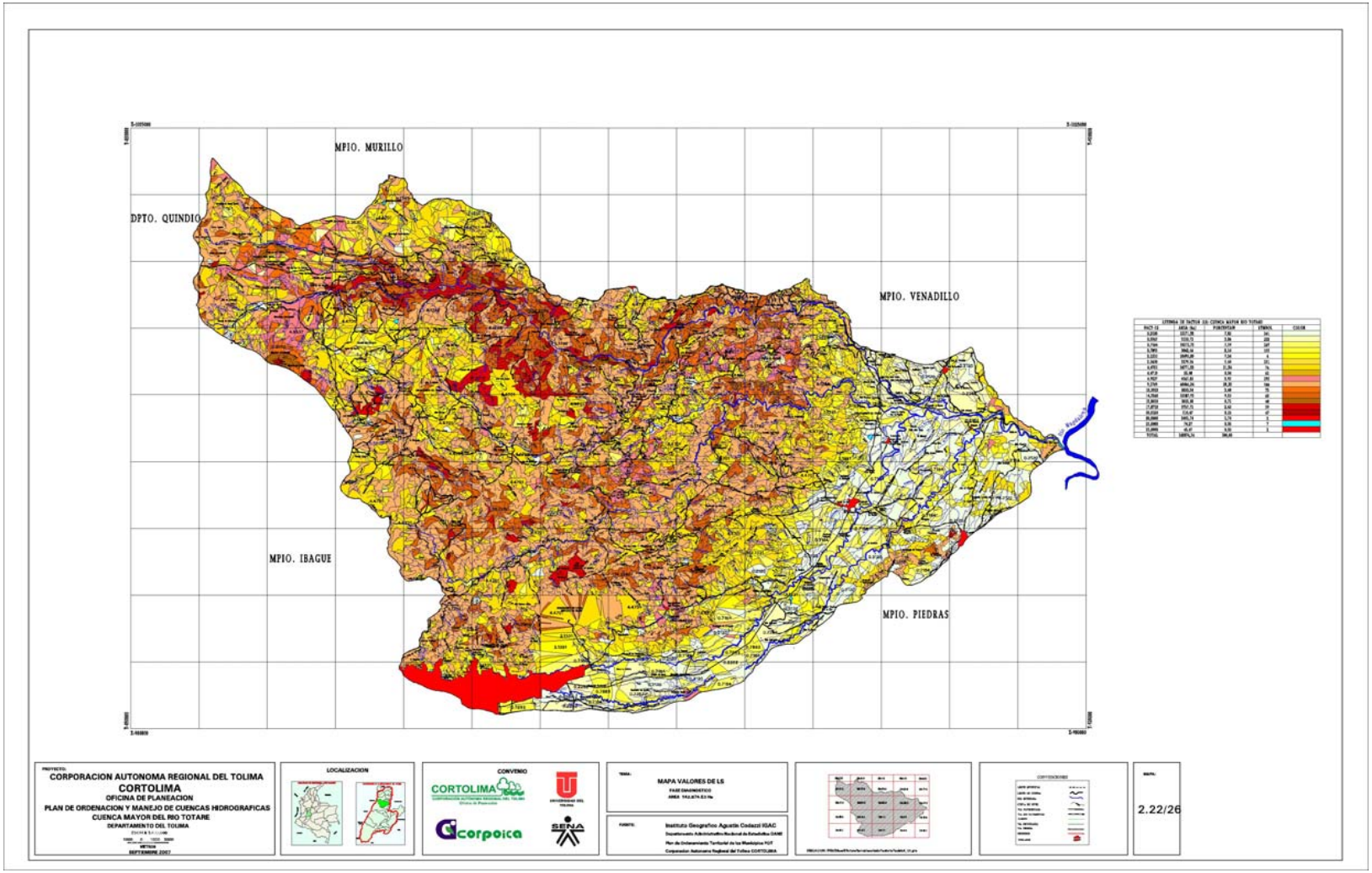


Figura No 2.184 Mapa del factor LS para la Cuenca Hidrográfica Mayor del Río Totare.

2.12.1.4 Determinación del factor C

Este factor indica el efecto de la cubierta vegetal en la pérdida de suelo. Se expresa como la relación entre la pérdida de suelo de un área o parcela con una vegetación dada y sistemas de manejo específicos, y la pérdida de suelo en una parcela en barbecho continuo, limpia y arada, en el sentido de la pendiente, a intervalos regulares. Los valores de C son pequeños cuando el suelo está protegido del impacto del agua de lluvia y de la acción de la escorrentía superficial, y viceversa; es decir, a mayor valor de C, menor es la cobertura del suelo, es decir, hay menor protección.

La determinación de C se hace a partir de valores tabulados según se trate de cultivos agrícolas o vegetación forestal. Wischmeier y Smith, (1978), publicaron numerosas tablas del factor C por tipos de cultivos, etapa de desarrollo y sistemas de manejo. Así como también una tabla para vegetación de gramínea-arbustal y otra para bosque. (Barrios, 1995).

Dissmeyer y Foster, (1982), presentan un procedimiento paramétrico para estimar el factor C en tierras forestales basado en subfactores como: porcentaje de suelo desnudo, porcentaje de suelo desnudo con matriz densa de raíces finas, cobertura y altura del dosel y contenido de materia orgánica.

- Porcentaje de suelo desnudo: El suelo desnudo es de importancia para la erosión, porque ésta es función de la cantidad de suelo expuesto. Para la correcta interpretación del suelo desnudo hay que tener en cuenta que se considera como cubierta de los terrenos a las ramas, troncos, restos de talas o a materiales rocosos sobre la superficie del suelo. El dato necesario a estimar es el porcentaje del área ocupada por el suelo desnudo.

- Porcentaje de suelo desnudo con matriz de raíces finas: Una matriz densa de raíces finas está usualmente presente en las primeras dos pulgadas de los suelos forestales. Aunque después de que los árboles son removidos la matriz de raíces residuales continúan protegiendo al suelo de las fuerzas erosivas de la lluvia y escorrentía. Este subfactor sólo se aplica al suelo desnudo.

- Cobertura del dosel: Este subfactor se aplica a la cubierta vegetal sobre el suelo desnudo. El subfactor se evalúa estimando el porcentaje de suelo desnudo que

- tiene cobertura del dosel sobre si. Las áreas abiertas del dosel donde la lluvia puede pasar no forma parte del subfactor.

- Contenido de materia orgánica: Bajo bosques permanentes el suelo superficial acumula un alto contenido de materia orgánica, éste hace al suelo menos

PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA MAYOR DEL RÍO TOTARE CONVENIO CORTOLIMA - CORPOICA - SENA - UNIVERSIDAD DEL TOLIMA

erodable. Este subfactor es de 0,70 cuando el suelo superficial tiene 2,5 cm. de espesor de materia orgánica.

Para los terrenos de uso agrícola se determina un valor de C promedio anual tomando en cuenta la superficie neta bajo cultivo, rotación de cultivos y distribución de la erosividad de la lluvia a lo largo del año, por tanto el valor medio del factor C para los terrenos con cultivos anuales dependerá de las rotaciones existentes y del tiempo que pasa en barbecho. (Barrios, 1995).

2.12.1.4.1 Procedimiento para estimar C en la subcuenca del Río Totare

2.12.1.4.1.1 Determinación del factor C en coberturas permanentes

Conocidos los valores de los subfactores y haciendo uso de las tablas propuestas por Dissmeyer y Foster, (1982), se calculan los valores de C para las coberturas permanentes. Las Tablas 2.179 y 2.180 muestran los diferentes valores de C.

Para obtener el valor de C se multiplica el valor obtenido de los sub-factores al utilizar las Tablas 2.179 y 2.180; si el suelo tiene cobertura de bosque se multiplica por 0,70. Para tener una visión al respecto se presenta en forma de ecuación:

$C = C1 * C2$ si es el caso de coberturas permanentes. (25)
$C^* = C1 * C2 * 0,70$ si es el caso de coberturas con bosques. (26)

PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA MAYOR DEL RÍO TOTARE CONVENIO CORTOLIMA - CORPOICA - SENA - UNIVERSIDAD DEL TOLIMA

Tabla 2.179 Efecto de: suelo desnudo, matriz de raíces finas de los Árboles y reconsolidación del suelo, en suelos no labrados.

Porcentaje de suelo desnudo	porcentaje de suelo desnudo con una matriz densa de raíces finas en los primeros 3 cm de suelo										
	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
0	0.0000										
1	0.0004	0.0004	0.0005	0.0007	0.0007	0.0008	0.0010	0.0012	0.0014	0.0016	0.0018
2	0.0008	0.0008	0.0010	0.0012	0.0014	0.0017	0.0020	0.0023	0.0027	0.0031	0.0036
3	0.0030	0.0030	0.0030	0.0030	0.0050	0.0060	0.0070	0.0080	0.0090	0.0111	0.0120
10	0.0050	0.0050	0.0060	0.0300	0.0090	0.0110	0.0130	0.0150	0.0170	0.2000	0.0230
20	0.0110	0.0120	0.0140	0.0170	0.2000	0.2400	0.0280	0.0330	0.0380	0.0440	0.0500
30	0.0170	0.0180	0.0200	0.0250	0.2900	0.0360	0.0420	0.0500	0.0500	0.0680	0.0770
40	0.0230	0.0240	0.2700	0.0340	0.4200	0.0490	0.0580	0.0680	0.0700	0.0920	0.1040
50	0.0300	0.0320	0.0380	0.0450	0.5400	0.0640	0.0740	0.0860	0.1030	0.1180	0.1350
60	0.1370	0.0380	0.0430	0.0550	0.6700	0.0790	0.0920	0.1020	0.1270	0.1470	0.1670
70	0.0470	0.0490	0.0540	0.6800	0.8300	0.0980	0.1170	0.1380	0.1680	0.1870	0.2120
80	0.0550	0.0580	0.0660	0.0810	0.9800	0.1180	0.1410	0.1640	0.1920	0.2210	0.2520
85	0.0560	0.0690	0.0780	0.0950	0.1150	0.1380	0.1650	0.1950	0.2260	0.2640	0.3000
90	0.0750	0.0800	0.0890	0.1110	0.1330	0.1570	0.1870	0.2220	0.2680	0.3010	0.3420
95	0.0860	0.0900	0.1020	0.1250	0.1550	0.1820	0.2170	0.2550	0.2980	0.3450	0.3920
100	0.0990	0.1040	0.1170	0.1440	0.1800	0.2070	0.24810	0.2930	0.3420	0.3960	0.4500

Fuente: Dissmeyer y Foster, (1982).

CORTOLIMA
CORPORACION AUTONOMA REGIONAL DEL TOLIMA

Tabla 2.180 Subfactor Cobertura del Dosel

ALTURA DEL DOSEL METROS (PIES)	PORCENTAJE DEL SUELO DESNUDO CON COBERTURA DEL DOSEL										
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0.5 - (1.5)	1	0.91	0.83	0.74	0.66	0.58	0.49	0.41	0.32	0.24	0.16
1 - (3.2)	1	0.93	0.86	0.79	0.72	0.65	0.58	0.51	0.44	0.37	0.30
2 - (6.5)	1	0.95	0.90	0.85	0.80	0.75	0.70	0.65	0.60	0.55	0.50
4 - (13.0)	1	0.97	0.95	0.92	0.90	0.97	0.84	0.82	0.79	0.76	0.74
6 - (19.5)	1	0.98	0.97	0.96	0.94	0.98	0.92	0.90	0.89	0.87	0.85
8 - (26.0)	1	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.95	0.94	0.93	0.93	0.92
16 - (52.0)	1	1	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.97	0.97	0.96	0.96
20 - (65.0)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fuente: Dissmeyer y Foster, (1982).

PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA MAYOR DEL RÍO TOTARE CONVENIO CORTOLIMA - CORPOICA - SENA - UNIVERSIDAD DEL TOLIMA

Donde:

C, es el valor de C para tierras con coberturas de cultivos – permanentes.
C1, es el valor obtenido de la Tabla 2.179 (% de suelo desnudo vs. % de suelo desnudo con matriz de raíces finas).
C2, es el valor obtenido de la Tabla 2.180 (Altura del dosel vs. % de suelo desnudo con cobertura).
C*, es el valor de C para tierras con cobertura de bosques.

Para una mejor interpretación de lo anteriormente expuesto se presentan los resultados obtenidos para el factor C, en las coberturas permanentes que se encuentran en la Cuenca Mayor del Río Totare, en la siguiente tabla.

2.12.1.4.1.2 Determinación del factor C en tierras agrícolas

El valor anual promedio de C para las tierras agrícolas, según cada rotación, se determina teniendo en cuenta la distribución anual de la erosividad de la lluvia. Para la subcuenca del río Totare, se hace una distribución de erosividad de la lluvia a lo largo del año para cada estación. Esta distribución se realiza tomando todos los valores de R por mes de cada estación en porcentaje los cuales se ubican en el eje de las "X"; en el eje de las "Y" se ubican los meses del año. Para que la curva sea ascendente debe ser acumulativa, es decir, en enero va el primer valor del eje del las "X", en febrero va el primer valor más el segundo valor, y así sucesivamente hasta haber sumado todos los valores, correspondiéndole a diciembre un valor del 100 %.

Tabla 2.181 Valores del factor C para tierras forestales de la Cuenca Hidrográfica Mayor del Río Totare.

Tipo de Cobertura	% Suelo Desnudo	%Suelo Desnudo con Raíces Finas	Altura del Dosel (mt)	%Suelo Desnudo con Cobertura	Alto Contenido Orgánico	Valor de C
Bosque natural	10	90	16	90	0.70	0.0034
Bosque plantado	20	80	16	70	0.70	0.0095
Bosque secundario	30	70	16	80	0.70	0.0170
Guadua	30	80	20	70	0.70	0.0136
Rastrojo	30	40	4	50	0.70	0.0259
Vegetación de páramo	50	30	1	10	0.70	0.0574

Fuente: Elsa Rocío López 1999; revisado CORTOLIMA 2007.

PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA MAYOR DEL RÍO TOTARE CONVENIO CORTOLIMA - CORPOICA - SENA - UNIVERSIDAD DEL TOLIMA

En la Tabla 2.182 se presentan algunos valores de C para diferentes cultivos según Delgado y Vásquez, (1997) y revisados por CORTOLIMA, estos valores son los empleados para calcular el factor C definitivo de las tierras de la Cuenca Mayor del Río Totare.

El factor C para cada área de influencia de las estaciones se obtiene ponderando los valores de C, asignados a las diferentes formaciones vegetales según el uso actual presente en el área y de acuerdo a la superficie relativa que ocupa cada tipo de vegetación. El valor de C para los cultivos transitorios es el resultado del promedio de los valores de C hallados para cada área de influencia.

Tabla 2.182 Valores de C para diferentes cultivos

Cultivo	Factor C	Cultivo	Factor C	Cultivo	Factor C
Suelo desnudo	1,000	Maíz (baja dens.)	0,620	Maíz (Mod. dens)	0,530
Maíz (alta dens.)	0,415	Sorgo (baja dens)	0,555	Sorgo (alta dens)	0,405
Frijol (baja dens)	0,450	Frijol (alta dens)	0,400	Maní	0,575
Yuca	0,430	Ñame	0,525	Tomate(solanáceas)	0,625
Arroz	0,190	Papa	0,610	Trigo (baja dens)	0,675
Trigo(alta dens)	0,580	Soya (baja dens)	0,460	Soya (alta dens)	0,415
Algodón	0,520	Tabaco	0,545	Piña	0,330
Lech. Repo. Colif.	0,545	Ajo	0,820	Cebolla, cebollón	0,820
Zanahoria	0,690	Remolacha	0,670	Plátanos, bananos	0,250
Cacao	0,180	Café (con sombra)	0,090	Café(sin sombra)	0,180
Asociación maíz-frijol	0,210	Asociación maíz-yuca	0,235	Asoc.maíz-yuca-frijol	0,105
Cítricos	0,375	Patilla, melón	0,265	Auyama	0,010
Pasto denso	0,005	Bosque denso	0,001		

Fuente: Delgado y Vásquez 1997; revisado Cortolima 2005.

El factor C para cada área de influencia de las estaciones se obtiene ponderando los valores de C asignados a las diferentes formaciones vegetales según el uso actual presente en el área y de acuerdo a la superficie relativa que ocupa cada tipo de vegetación. El valor de C para los cultivos transitorios es el resultado del promedio de los valores de C hallados para cada área de influencia.

Ya contando con los valores de para medir el efecto de la cubierta vegetal en la perdida de suelo, por cobertura, se procede a calcularla para cada una de la combinaciones existentes dentro del área de la Cuenca Mayor del Río Totare, este procedimiento es el mismo tanto para coberturas permanentes como para tierras agrícolas.

PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA MAYOR DEL RÍO TOTARE CONVENIO CORTOLIMA - CORPOICA - SENA - UNIVERSIDAD DEL TOLIMA

Finalmente para obtener los valores de C para cada una de las combinaciones de coberturas presentes, se calcularon teniendo en cuenta el porcentaje de consociaciones (70/30) y para asociaciones (60-40) Ver Figura No 2.185.

En la cobertura afloramiento rocoso, se considero conveniente tomar como definitivo el mayor valor de C ya que las combinaciones encontradas en la cobertura semidetallada tomaban un mínimo porcentaje. Algo similar se presento en la cobertura de tierras eriales en esta se tomo una relación 80/20, como forma de sancionar este tipo de cobertura.

CORTOLIMA
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL TOLIMA

PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA MAYOR DEL RÍO TOTARE CONVENIO CORTOLIMA - CORPOICA - SENA - UNIVERSIDAD DEL TOLIMA

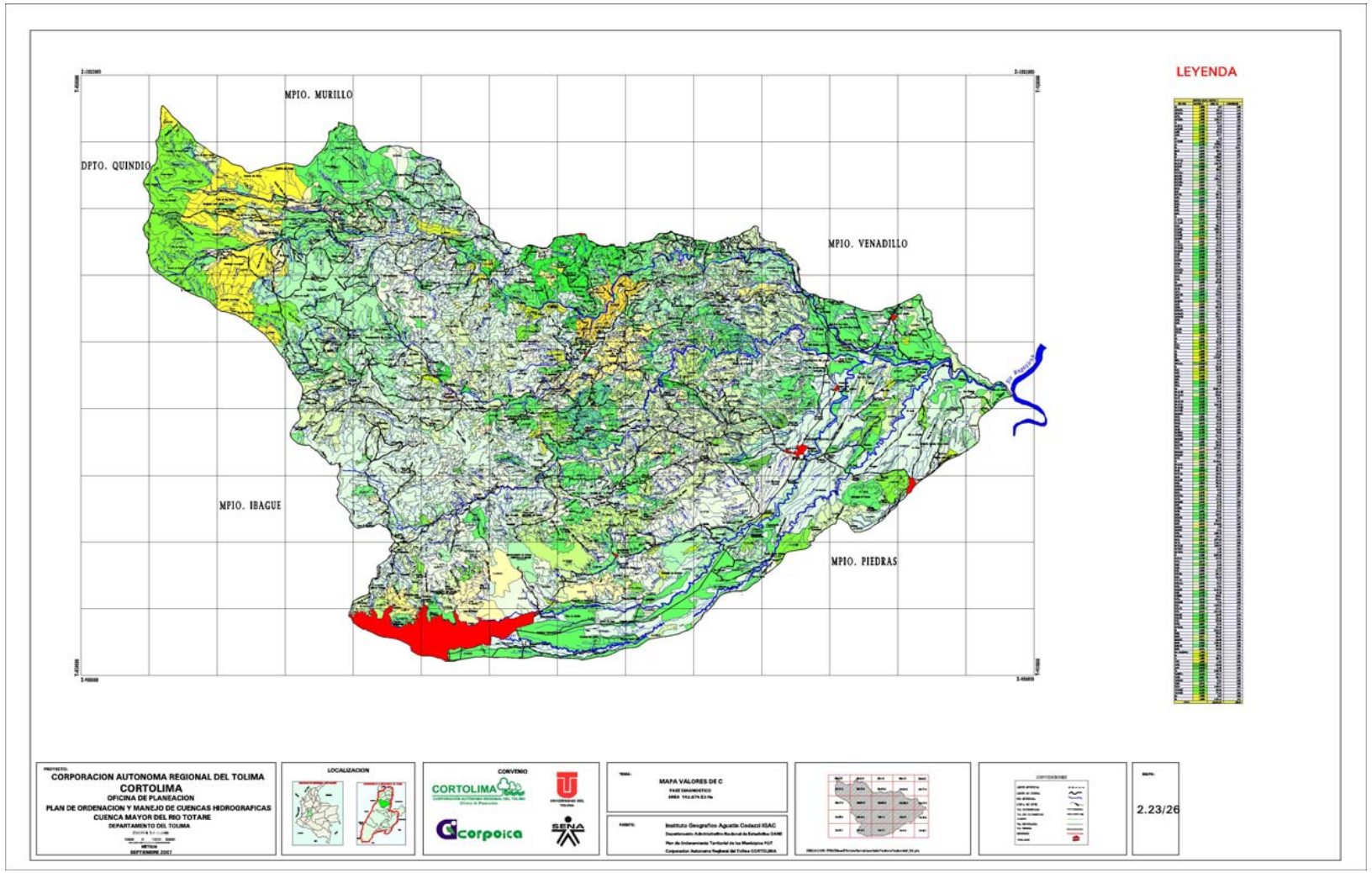


Figura No 2.185 Mapa del factor C para la Cuenca Hidrográfica Mayor del Río Totare.

Tabla 2.183 Factor C para la Cobertura y Uso de la tierra en la Cuenca Mayor del Río Totare.

COMBINACIÓN DE COBERTURAS	FACTOR C
Af	1.0000
Af/Pn/Vp	1.0000
Af/Te/Vp	1.0000
Af/Vp	1.0000
Af/Vp/Pn	1.0000
Ar	0,4500
Ar/Cp/Ht	0,3660
Ar/Ht	0,4650
Ar/Pa	0,4980
Ar-Ht-Pa	0,4920
Av	0.5800
Av/Pn/Ht	0.4630
Az	0,1900
Bn	0,0034
Bn/Pr	0,0039
Bp	0,0095
Bs	0,0170
Bs/Ca/Ft	0,0854
Bs/Cc	0,0389
Bs/Cc/Cp	0,0304
Bs/Cc/Ft	0,0674
Bs/Cc/Pl	0,0549
Bs/Cc/Pm	0,0304
Bs/Cc/Pr	0,0304
Bs/Cp	0,0134
Bs/Ft	0,1244
Bs/Ft/Ca	0,1049
Bs/Gu	0,0160
Bs/Pl	0,0869
Bs/Pn	0,0224
Bs/Pr	0,0134
Bs/Ra	0,0197
Bs/Te	0,3119
Bs-Cc-Cp	0,0292
Bs-Cc-Pl	0,0782
Cc	0,1800
Cc/Bs	0,0681
Cc/Bs/Cp	0,0669
Cc/Bs/Ft	0,1039
Cc/Bs/Ht	0,1164
Cc/Bs/Pl	0,0914
Cc/Cp	0,0141
Cc/Cp/Bs	0,0657
Cc/Cp/Gu	0,1284
Cc/Cp/Pl	0,0890

COMBINACIÓN DE COBERTURAS	FACTOR C
Cc/Pn/Cp	0,1335
Cc/Pn/Pl	0,0950
Cc/Pr	0,1275
Cc/Ra	0,1338
Cc-Bs-Pn	0,0644
Cc-Cp-Pl	0,1050
Cp	0,0050
Cp/Cc	0,0575
Cp/Cc/Ht	0,0895
Cp/Ht	0,1535
Cp/Ht/Cc	0,1215
Cp/Pl	0,0785
Cp/Pm	0,0050
Cp/Pm/Bs	0,0062
Cp/Pm/Cc	0,0225
Cp/Pm/Ht	0,0545
Cp/Pn	0,0140
Cp/Pr	0,0050
Cp-Bs/Pn	0.0198
Cp-Pn	0,0170
Ft	0,3750
Ft/Cc/Pl	0,3055
Ft/Pl/Cc	0,3215
Gl	1.0000
Gu	0,0136
Ht	0,5000
Ht/Av	0.5240
Ht/Ra	0,3578
Lg	1.0000
Ma	0,5300
Ni	1.0000
Ni/Te	1.0000
Ni/Vp/Te	0,8115
Pa	0,6100
Pa/Ar	0,5620
Pa/Ht	0,5770
Pa/Pm	0,4285
Pa/Pr	0,4285
Pl/Cc	0,2020
Pl/Cp	0,1765
Pm	0,0050
Pm/Ar/Pa	0,1545
Pm/Bs	0,0086
Pm/Cc	0,0575
Pm/Cp	0,0050

COMBINACIÓN DE COBERTURAS	FACTOR C

COMBINACIÓN DE COBERTURAS	FACTOR C

PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA MAYOR DEL RÍO TOTARE CONVENIO CORTOLIMA - CORPOICA - SENA - UNIVERSIDAD DEL TOLIMA

Cc/Ht	0,2760
Cc/Pl	0,1380
Cc/Pl/Bs	0,1147
Cc/Pm	0,1275
Cc/Pn	0,1365
Pm/Pr	0,0050
Pm/Pr/Ht	0,0545
Pm/Ra	0,0113
Pm/Ra/Ar	0,0733
Pm/Ra/Ht	0,0587
Pm/Te	0,3035
Pm-Ar-Ht	0,1930
Pm-Cp-Cc	0,0400
Pm-Ht	0,2030
Pm-Ht-Cp	0,1040
Pm-Ht-Pa	0,2250
Pm-Pn-Ht	0,1100
Pm-Pr-Ht	0,1040
Pn	0,0350
Pn/Af	0,3245
Pn/Ar/Ht	0,1645
Pn/Bs	0,0296
Pn/Bs/Cc	0,0369
Pn/Bs/Te	0,1279
Pn/Cc	0,0785
Pn/Cc/Cp	0,0610
Pn/Cp	0,0260
Pn/Cp/Ht	0,0755
Pn/Ft	0,1370
Pn/Ft/Ra	0,1021
Pn/Gu	0,0286
Pn/Ht	0,1745
Pn/Pa/Ht	0,1965
Pn/Pm	0,0260
Pn/Pr	0,0260
Pn/Pr/Ht	0,0755
Pn/Pr/Te	0,1255
Pn/Ra	0,0323
Pn/Ra/Bs	0,0314
Pn/Te	0,3245
Pn/Vp	0,0417
Pn/Vp/Af	0,1360
Pn/Vp/Pr	0,0365
Pn/Vp/Te	0,1360
Pn-Bs-Cc	0,0424
Pn-Cp-Bs	0,0254
Pn-Ht	0,2210
Pn-Pl-Cp	0,0720
Pr	0,0050
Pr/Af	0,3035

Pr/Bn	0,0045
Pr/Bs	0,0086
Pr/Bs/Ra	0,0095
Pr/Cc	0,0575
Pm/Ft	0,1160
Pm/Ht	0,1535
Pm/Ht/Ar	0,1485
Pm/Ht/Pa	0,1645
Pm/Pn/Af	0,1105
Pr/Cc/Bs	0,0232
Pr/Cc/Cp	0,0400
Pr/Cp	0,0050
Pr/Cp/Ft	0,0420
Pr/Ht	0,1535
Pr/Ht/Pa	0,1645
Pr/Pm	0,0050
Pr/Pm/Ht	0,0545
Pr/Pn	0,0140
Pr/Pn-Te	0.1298
Pr/Ra	0,0113
Pr/Ra/Af	0,1087
Pr/Ra/Te	0,1087
Pr/Te	0,3035
Pr/Vp	0,0207
Pr/Vp/Pn	0,1848
Pr-Ht-Ar	0,1930
Pr-Pn	0,0170
Ra	0,0259
Ra/Bs	0,0232
Ra/Cc	0,0721
Ra/Cc/Pl	0,0611
Ra/Pn	0,0286
Ra/Pn/Te	0,1251
Ra/Pr	0,0196
Rio Magdalena	1.0000
So	0,5550
Te	1.0000
Te/Ni	1.0000
Te/Pn	0,8100
Te/Pr	0,8010
Vp	0,0574
Vp/Ni/Te	0,3402
Vp/Pn	0,0507
Vp/Pn/Af	0,1472
Vp/Pr	0,0416
Vp/Te	0,3402
Vp/Te/Af	0,3402
Vp/Te/Ni	0,3402
Zm	1.0000
Zu	1.0000

CORTOLIMA
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL TOLIMA

2.12.1.5 Determinación del factor P

El factor P es la relación de pérdida de suelo entre una parcela donde se han aplicado prácticas mecánicas de conservación de suelos (contornos, terrazas, cultivos en fajas, etc) para el control de la erosión, y las pérdidas que se producen en una parcela si tales prácticas no se utilizan y el laboreo se efectúa en el sentido de la pendiente. Cuando las prácticas de conservación no se aplican o son muy pocas el valor de P es igual a 1.

Teniendo en cuenta las Tablas 2.184 y 2.185, donde se presentan rangos para la clasificación de la erosión actual y potencial, respectivamente, se estima la pérdida de suelos.

Tabla 2.184 Clasificación de la erosión actual

Clasificación de la erosión	Rango de erosión (tn/ha.año)
Ligera	< 20
Moderada	20 – 100
Fuerte	100 – 300
Severa	> 300

CORTOLIMA
CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL TOLIMA

Tabla 2.185 Clasificación de la erosión potencial (USLE)

Clasificación de erosión potencial	Rango (tn/ha.año)
Ligera	< 100
Moderada	100 – 500
Fuerte	500 – 1500
Severa	> 1500

Fuente: Páez, (1989)

PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA MAYOR DEL RÍO TOTARE CONVENIO CORTOLIMA - CORPOICA - SENA - UNIVERSIDAD DEL TOLIMA

CORTOLIMA

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL TOLIMA