

# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

RESTAURACIÓN HIDROLÓGICO-FORESTAL EN UNA CUENCA  
HIDROGRÁFICA. CASO DE ESTUDIO: CUENCA DEL ESTERO  
POTRERILLOS (PROVINCIA DE GUAYAS).

TESIS DEGRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MASTER EN  
RECURSOS HÍDRICOS

NELSON ALEXANDER SALAZAR YÁNEZ

[nelsonsalazaryanez@yahoo.es](mailto:nelsonsalazaryanez@yahoo.es)

DIRECTORA: ZURIÑE HERMOSILLA, Ph.D.

[zuhergo@hotmail.com](mailto:zuhergo@hotmail.com)

CODIRECTOR: LUIS JARAMILLO, MSc.

[luis.jaramillo@epn.edu.ec](mailto:luis.jaramillo@epn.edu.ec)

Quito, Febrero 2016

## DECLARATORIA

Yo, Nelson Alexander Salazar Yáñez, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

**NELSON ALEXANDER SALAZAR YÁÑEZ**

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado bajo nuestra supervisión por Nelson Alexander Salazar Yáñez.

---

**PH.D. ZURIÑE HERMOSILLA**  
**DIRECTORA DEL PROYECTO**

---

**MSC. LUIS JARAMILLO**  
**CODIRECTOR DEL PROYECTO**

## **AGRADECIMIENTOS**

Principalmente a Dios, por darme la fuerza, constancia y sobre todo la oportunidad de poder rodearme de mi familia, amigos y profesores con los cuales este trabajo pudo salir adelante.

A mi padre Nelson Salazar Delgado por su visión y consejo; a mi madre Alicia Yáñez y hermanos Rommel y Marcia por todo ese apoyo incondicional diario que fue la base de todo.

A Noemy Sandoval, Cristian Rosero, Carolina Peñaherrera, Miguel Arteaga, Rubén Calahorrano, otros compañeros de SENAGUA, ARCA y amigos, que apoyaron significativamente en cada etapa de la elaboración del trabajo, con palabras de aliento y valiosos consejos.

Agradezco especialmente a Zuriñé Hermosilla por su templanza, exigencia, objetividad, practicidad y paciencia, quien es una de los principales artífices del cumplimiento de este logro académico. También al Ing. Luis Jaramillo por su apoyo como jefe y luego como facilitador en la ejecución del proyecto.

**Nelson Salazar Yáñez**

## **DEDICATORIA**

Dedicado a Dios, a la memoria de mi padre Nelson Oswaldo Salazar Yáñez que siempre fue la luz y guía de mi vida, a mi madre Alicia del Rosario Yáñez Villagrán base fundamental de mi ser, hermanos Rommel y Marcia por su respaldo incondicional y a mi País Ecuador con la esperanza de poder seguir aportando al mejoramiento del manejo del Recurso Hídrico.

**Nelson Salazar Yáñez**

## CONTENIDO

DECLARATORIA .....	II
CERTIFICACIÓN .....	III
AGRADECIMIENTOS .....	IV
DEDICATORIA.....	V
CONTENIDO.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIV
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	XVII
RESUMEN .....	XVIII
ABSTRACT .....	XIX
CAPÍTULO 1 .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1    EROSIÓN Y PÉRDIDA DE SUELO .....	1
1.1.1    EL SUELO .....	1
1.1.2    LA EROSIÓN.....	1
1.1.3    LA EROSIÓN HÍDRICA.....	2
1.1.4    TIPOS DE EROSIÓN HÍDRICA.....	4
1.1.5    EROSIÓN EN SUPERFICIE.....	4
1.1.6    EROSIÓN POR MOVIMIENTOS DE MASA.....	6
1.2    ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS DE SUELO POR EROSIÓN .....	7
1.2.1    MÉTODO de MEDICIÓN DIRECTA .....	8
1.2.2    MÉTODO DE MODELOS MATEMÁTICOS.....	9
1.2.3    MODELO UTILIZADO POR LA SENPLADES.....	13
1.2.4    METODOLOGÍA ADOPTADA MODELO USLE.....	17

1.2.5 REPRESENTACIÓN DE USLE EN LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA SIG.....	21
1.3 ORDENACIÓN AGROHIDROLÓGICA .....	23
1.4 SITUACIÓN ACTUAL.....	24
CAPÍTULO 2 .....	26
OBJETIVOS .....	26
2.1 OBJETIVOS GENERALES .....	26
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	26
CAPÍTULO 3 .....	27
ÁREA DE ESTUDIO.....	27
3.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	27
3.1.1 UBICACIÓN.....	27
3.2 MEDIO FÍSICO .....	29
3.2.1 PARÁMETROS GENERALES.....	29
3.2.2 PARÁMETROS DE RELIEVE.....	30
3.2.3 PARÁMETROS RELATIVOS A LA RED DE DRENAJE.....	38
3.2.4 RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS RELATIVAS A LA RED HIDROGRÁFICA.....	42
3.3 CLIMATOLOGÍA .....	43
3.3.1 DATOS BASE.....	43
3.3.2 RELLENO DE DATOS FALTANTES .....	44
3.3.3 TEMPERATURA.....	46
3.3.4 ZONAS DE PRECIPITACIÓN.....	48
3.3.5 ZONA CLIMÁTICA.....	50
3.4 VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO.....	51
3.4.1 USOS DEL SUELO .....	51

3.4.2	CLASIFICACIÓN DEL SUELO .....	53
3.5	REVISIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE .....	63
3.5.1	VEGETACIÓN DE BOSQUE NATIVO AÑOS 1990, 2000 Y 2008 .....	63
3.5.2	DEFORESTACIÓN EN LOS PERÍODOS 1990-2000 Y 2000-2008 .....	65
3.5.3	ÁREA A RESTAURAR DENTRO DEL PLAN NACIONAL DE RESTAURACIÓN FORESTAL 2014-2017 .....	67
3.5.4	AMENAZA DE EROSIÓN HÍDRICA EN LOS CANTONES COLIMES, SANTA LUCÍA Y PEDRO CARBO EN LA PROVINCIA DEL GUAYAS .....	68
CAPÍTULO 4	.....	70
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	.....	70
4.1	DETERMINACIÓN DE LA EROSIÓN EN LA CUENCA DE RECEPCIÓN APLICANDO EL MODELO USLE .....	70
4.1.1	USLE .....	70
4.1.2	FACTOR R (EROSIVIDAD DE LA LLUVIA) .....	72
4.1.3	FACTOR K (SUSCEPTIBILIDAD DE EROSIÓN DEL SUELO).....	78
4.1.4	FACTOR LS (TOPOGRÁFICO).....	89
4.1.5	Factor C (cubierta y manejo de cultivos y residuos) .....	94
4.1.6	FACTOR P (PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN).....	98
4.1.7	PÉRDIDA DE SUELO PROMEDIO ANUAL .....	98
4.2	VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	101
4.3	COMPARACIÓN ENTRE LA AMENAZA DE EROSIÓN HÍDRICA Y PÉRDIDA DE SUELO (FACTOR A) .....	103
4.4	ORDENAMIENTO AGROHIDROLÓGICO PROPUESTO PARA LA ORDENACIÓN DE LA CEP .....	106
4.5	PROPUESTA DE ACTUACIONES PARA ÁREAS CON PÉRDIDAS DE SUELO INFERIORES A LO TOLERABLE ( $A < A_t$ ) .....	113



4.5.1 TRATAMIENTOS CULTURALES Y MANTENER LAS PRÁCTICAS DE CULTIVO.....	113
4.6 PROPUESTA DE ACTUACIONES CON PÉRDIDAS DE SUELO SUPERIORES AL TOLERABLE (A>AT) .....	113
4.6.1 REALIZAR CULTIVOS EN FAJAS Y LABOREO POR CURVAS DE NIVEL.....	113
4.6.2 CAMBIAR EL USO A BOSQUES .....	115
4.6.3 CAMBIAR EL USO A PASTIZALES .....	118
4.6.4 CULTIVOS EN TERRAZAS Y/O BANCALES .....	119
4.6.5 MEJORAR LAS CONDICIONES DE PROTECCIÓN DEL ARBOLADO (TRATAMIENTOS SELVÍCOLAS) .....	120
4.6.6 SUPERFICIE ARBOLADA POR MEDIO DE REPOBLACIONES ARTIFICIALES .....	120
4.7 COMPARACIÓN CON LAS ÁREAS DE DEFORESTACIÓN DE LOS AÑOS 1990-2000 Y 2000-2008.....	124
4.8 COMPARACIÓN CON LAS ÁREAS A RESTAURAR DEL PLAN NACIONAL DE RESTAURACIÓN FORESTAL 2014-2017 .....	125
CAPÍTULO 5 .....	128
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	128
5.1 CONCLUSIONES.....	128
5.2 RECOMENDACIONES .....	133
CAPÍTULO 6 .....	135
6.1 referencias bibliográficas.....	135
ANEXOS .....	142
ANEXO N° 1.....	143
Las series de datos de las estaciones hidrológicas.....	143
ANEXO N° 2.....	148

VALORES DEL FACTOR C .....	148
ANEXO N° 3.....	150
COBERTURA NATURAL .....	150

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1 PROCESO DE LA EROSIÓN .....	2
FIGURA 1.2 ACCIONES DE LA EROSIÓN HÍDRICA.....	3
FIGURA 1.3 CLASIFICACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA .....	4
FIGURA 1.4 PROCESO DE EROSIÓN LAMINAR.....	5
FIGURA 1.5 MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE SEDIMENTOS.....	8
FIGURA 1.6 a) REPRESENTACIÓN VECTORIAL;b) REPRESENTACIÓN RÁSTER.....	22
FIGURA 1.7 APLICACIÓN DEL ÁLGEBRA DE MAPAS EN LA USLE .....	22
FIGURA 3.1 MAPA DE UBICACIÓN DE LA CEP .....	28
FIGURA 3.2. CURVA HIPSOMÉTRICA & FRECUENCIA DE ALTITUDES EN LA CEP .....	32
FIGURA 3.3 CURVA HIPSOMÉTRICA, A) VALLES EXTENSOS Y CUMBRES ESCARPADAS, B) VALLES PROFUNDOS Y ANTIPLANOS.....	33
FIGURA 3.4 CURVA HIPSOMÉTRICAS UNITARIA CON 3 TIPOS DE POTENCIALES EVOLUTIVOS .....	34
FIGURA 3.5 CURVA HIPSOMÉTRICA UNITARIA DE LA CEP .....	34
FIGURA 3.6 RELIEVE DE LA CEP .....	35
FIGURA 3.7 MAPA DE CARACTERIZACIÓN DE LAS PENDIENTES .....	36
FIGURA 3.8 RED HÍDRICA DE LA CEP .....	39
FIGURA 3.9 ESQUEMA DE ORDEN DE LA CUENCA SEGÚN STRAHLER .....	40
FIGURA 3.10 ORDEN DE LA CEP .....	40
FIGURA 3.11 MAPA DE UBICACIÓN DE ESTACIONESHIDROGRÁFICAS .....	43

FIGURA 3.12 CORRELACIÓN LINEAL ENTRE LAS ESTACIÓN CAMPOSANTO #2 M171 – DAULE-EN LA CAPILLA M476 .....	45
FIGURA 3.13 CURVA DE DOBLE MASA ESTACIÓN CAMPOSANTO #2 M171 – DAULE-EN LA CAPILLA M476 .....	46
FIGURA 3.14 ISOTERMAS EN CEP .....	47
FIGURA 3.15. VARIACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL .....	49
FIGURA 3.16 VARIACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL .....	51
FIGURA 3.17 MAPA DE LOS DIFERENTES USOS DEL SUELO EN LA CEP .....	52
FIGURA 3.18 UBICACIÓN DE LAS CALICATAS DISPONIBLES EN LA CEP .....	54
FIGURA 3.19 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS EN LA CEP .....	55
FIGURA 3.20 USO Y COBERTURA DEL SUELO EN LA CEP EN LOS AÑOS 1990, 2000 Y 2008 .....	64
FIGURA 3.21 MAPA DE LAS ÁREAS DEFORESTADAS EN LOS AÑOS 1990-2000 Y 2000-2008 EN LA CEP .....	66
FIGURA 3.22 MAPA DE ÁREAS DISPONIBLES PARA REALIZAR RESTAURACIÓN FORESTAL .....	67
FIGURA 3.23 AMENAZA A EROSIÓN HÍDRICA DE LOS CANTONES COLIMES, PEDRO CARBO Y SANTA LUCÍA .....	69
FIGURA 4.1 ESTACIONES PARA EL CÁLCULO DEL FACTOR R.....	75
FIGURA 4.2 DISTRIBUCIÓN DEL FACTOR R EN LA CUENCA DE ESTUDIO.....	76
FIGURA 4.3 CLASIFICACIÓN DE SUELOS Y UBICACIÓN DE CALICATAS .....	79
FIGURA 4.4 REGIONES TEXTURALES EN LAS QUE ES APLICABLE EL MODELO.....	85
FIGURA 4.5 FACTOR K PARA LA CUENCA DE ESTUDIO.....	88
FIGURA 4.6 PROCEDIMIENTO PARA OBTENER EL FACTOR LS .....	900
FIGURA 4.7 FACTOR LS EN LA CUENCA DE ESTUDIO.....	922
FIGURA 4.8 MAPA DE FACTOR C EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	97
FIGURA 4.9 GRADO DE EROSIÓN HÍDRICA DEL FACTOR A - USLE .....	100

FIGURA 4.10 AMENAZA A EROSIÓN HÍDRICA (SENPLADES) EN LA CEP.....	1023
FIGURA 4.11 COMPARACIÓN a) GRADO DE EROSIÓN HÍDRICA FACTOR-A b) AMENAZA A EROSIÓN HÍDRICA. ....	1055
FIGURA 4.12 ÁREAS DE LAS ACTUACIONES DE ORDENAMIENTO AGRO- HIDROLÓGICO.....	1111
FIGURA 4.13 USO DEL SUELO DE ÁREAS DESTINADAS PARA EL CAMBIO DE USO A BOSQUES EN LA CEP.....	1166
FIGURA 4.14 ÁREAS PARA CAMBIO DE USO A PASTIZALES EN CEP .....	1188
FIGURA 4.15 ÁREAS DESTINADAS A REPOBLACIÓN ARTIFICIAL .....	1244

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1 CLASIFICACIÓN DE LA AGRESIVIDAD PLUVIAL .....	14
TABLA 1.2 CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE (ISE) .....	15
TABLA 1.3 MATRIZ DE CALIFICACIÓN ENTRE EL ISE Y LA AGRESIVIDAD PLUVIAL.....	15
TABLA 1.4 CLASES DE AMENAZA A EROSIÓN HÍDRICA.....	16
TABLA 3.1 DISTRIBUCIÓN DE LA CEP EN CANTONES Y PARROQUIAS.....	28
TABLA 3.2 CLASIFICACIÓN DE TAMAÑO PARA CUENCAS HIDROLÓGICAS.....	30
TABLA 3.3 ÁREA ENTRE CADA INTERVALO DE ALTURAS, COTA PROMEDIO Y PORCENTAJE DE ÁREA EN CADA INTERVALO Y ADEMÁS, EL PORCENTAJE DE ÁREA ACUMULADA EN LA CEP .....	31
TABLA 3.4 CATEGORIZACIÓN DE LAS PENDIENTES DE LA CEP.....	37
TABLA 3.5 CLASIFICACIÓN DEL RANGO DE ORDENES EN LA CUENCA.....	41
TABLA 3.6 RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CEP .....	42
TABLA 3.7 ESTACIONES (PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL) .....	44
TABLA 3.8 ESTACIONES SELECCIONADAS PARA CARACTERIZAR LA TEMPERATURA DE LA CEP.....	48
TABLA 3.9 ÁREA Y PORCENTAJE DE LOS USOS Y COBERTURAS EN LA CEP	53
TABLA 3.10 CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS .....	56
TABLA 3.11 CLASIFICACIÓN DEL SUELO POR EL RANGO DE DIÁMETRO DE LAS PARTÍCULAS .....	59
TABLA 3.12 PORCENTAJE DE SEPARADO Y TEXTURA DEL SUELO, EN CALICATAS DENTRO DE LA CEP.....	59
TABLA 3.13 CARACTERIZACIÓN DEL TIPO Y DE LA CLASE DE ESTRUCTURA DEL SUELO .....	60
TABLA 3.14 ESTRUCTURA DE LOS SUELOS, EN CALICATAS DENTRO DE LA CEP.....	61

TABLA 3.15 CLASIFICACIÓN DEL PORCENTAJE DE MATERIA ORGÁNICA EN SUELOS DE LA COSTA .....	62
TABLA 3.16 PORCENTAJE DE MATERIA ORGÁNICA EN CALICATAS DENTRO DE LA CEP .....	63
TABLA 3.17 USO Y COBERTURA DE LOS AÑOS 1990, 2000 Y 2008 EN LA CEP	65
TABLA 3.18 ÁREA Y PORCENTAJE DE DEFORESTADO EN 1990-2000 Y 2000-2008 .....	66
TABLA 3.19 ÁREAS DISPONIBLES A RESTAURAR DE ACUERDO CON EL PLAN NACIONAL DE RESTAURACIÓN FORESTAL 2014-2017 .....	68
TABLA 4.1 DESCRIPCIÓN DE LOS FACTORES IMPLICADOS EN EL MODELO USLE .....	72
TABLA 4.2 FACTOR R DE LA CUENCA DEL ESTERO POTRERILLOS.....	77
TABLA 4.3 FACTOR R EN LA MICROCUENCA DEL RÍO TOACHI.....	77
TABLA 4.4 LISTA DE CALICATAS UTILIZADAS Y SU UBICACIÓN .....	80
TABLA 4.5 CODIFICACIÓN PARA LOS VALORES DEL PARÁMETRO DE ESTRUCTURA (b) .....	81
TABLA 4.6 CÓDIGO DEL PARÁMETRO DE PERMEABILIDAD ( c ).....	822
TABLA 4.7 CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA Y CÁLCULO DE C, PARA CADA CALICATA.....	866
TABLA 4.8 FACTOR K PARA CADA CLASE DE SUELO EN LA CEP .....	87
TABLA 4.9 ÁREAS DE LOS RANGO DEL FACTOR LS.....	933
TABLA 4.10 VALORES DE FACTOR LS SEGÚN RANGO DE PENDIENTE .....	944
TABLA 4.11 VALORES DEL FACTOR C ASIGNADOS A CADA USO Y COBERTURA EN LA CUENCA DE ESTUDIO.....	966
TABLA 4.12 VALORES DEL FACTOR C PARA LA MICROCUENCA DEL RÍO TOACHI.....	98

TABLA 4.13 CLASIFICACIÓN PARA EVALUAR LA PÉRDIDA DE SUELO.....	99
TABLA 4.14 ÁREA Y PORCENTAJE DE LOS GRADOS DE EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DE ESTUDIO .....	101
TABLA 4.15 ÁREAS Y PORCENTAJES DE AMENAZA A EROSIÓN HÍDRICA (SENPLADES) EN LA CEP.....	102
TABLA 4.16 COMPARACIÓN ENTRE LA AMENAZA A EROSIÓN HÍDRICA (SENPLADES) Y USLE PERDIDA DE SUELO (A).....	1044
TABLA 4.17 ACTUACIONES EN EL ORDENAMIENTO AGRO-HIDROLÓGICO.	1100
TABLA 4.18 ÁREAS DE LAS ACTUACIONES DE ORDENAMIENTO AGRO-HIDROLÓGICO EN LA CEP .....	1122
TABLA 4.19 FACTORES ASOCIADOS A LAS PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DEL SUELO (P) .....	1144
TABLA 4.20 COMPARACIÓN DE LAS ÁREAS DE CEP AL APLICAR EL FACTOR P DE CULTIVO EN FAJAS EN USLE .....	1155
TABLA 4.21 USOS DE SUELO Y ACTUACIONES PARA LAS ÁREAS DE CAMBIO DE USO A BOSQUES .....	1177
TABLA 4.22 USOS DE SUELO Y ACTUACIONES PARA LAS ÁREAS DE CAMBIO DE USO A PASTIZALES .....	11919
TABLA 4.23 PROPUESTA DE ACTUACIÓN PARA LAS ÁREAS DESTINADAS A REPOBLACIÓN ARTIFICIAL .....	1211
TABLA 4.24 ACTUACIONES PARA LAS ZONAS DEFORESTADAS DE LOS PERÍODOS 1990-2000 Y 2000-2008.....	1255
TABLA 4.25 ACTUACIONES PARA LAS DIFERENTES ZONAS PRIORIZADAS DESTINADAS A LA RESTAURACIÓN FORESTAL .....	1266



## GLOSARIO DE TÉRMINOS

<b>CEP</b>	Cuenca Estero Potrerillos
<b>USLE</b>	Ecuación Universal de Pérdida de Suelo
<b>RUSLE</b>	Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada
<b>Factor R</b>	Factor de Erosividad de USLE
<b>Factor K</b>	Factor de Erosionabilidad de USLE
<b>Factor LS</b>	Factor Topográfico de USLE
<b>Factor C</b>	Factor de Cultivos de USLE
<b>Factor P</b>	Factor de Prácticas de Conservación del Suelo de USLE
<b>Factor A</b>	Factor de Pérdida de Suelo Promedio Anual de USLE
<b>ISE</b>	Índice de Susceptibilidad a la Erosión Hídrica
<b>AP</b>	Agresividad Pluvial
<b>SIG</b>	Sistema de Información Geográfica
<b>ArcGIS</b>	Software comercial que opera como un SIG
<b>SENPLADES</b>	Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo
<b>MAE</b>	Ministerio del Ambiente
<b>SENAGUA</b>	Secretaría del Agua
<b>LORHUyA</b>	Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamientos del Agua
<b>MAGAP</b>	Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca
<b>SINAGAP</b>	Sistema de Información Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca
<b>IEE</b>	Instituto Ecuatoriano Espacial
<b>CLIRSEN</b>	El Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos
<b>IGM</b>	Instituto Geográfico Militar
<b>FAO</b>	Organización para la Agricultura y la Alimentación
<b>ISE</b>	Índice de Susceptibilidad a la Erosión Hídrica
<b>AEH</b>	Amenaza a Erosión Hídrica

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo principal proponer actuaciones para la restauración hidrológico-forestal y la formulación de propuestas para la planificación de la Cuenca Estero Potrerillos (CEP). Para cumplir con este fin se recopiló, analizó la información disponible y se determinaron las zonas de erosión potencial en la cuenca de recepción aplicando el modelo USLE.

En este trabajo se comparan los resultados de amenaza a erosión hídrica generados por el proyecto de la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES), en la Provincia del Guayas, Ecuador, calculados mediante el método de jerarquías analíticas de Saaty (1980) con los resultados obtenidos utilizando el modelo empírico USLE. Los resultados obtenidos muestran que el modelo USLE sobreestima la pérdida del suelo por erosión hídrica en aquellas zonas de mayor pendiente en comparación con el modelo utilizado por la SENPLADES. Por tanto, la superficie en la que aplicar medidas de protección del suelo es mayor mediante la aplicación del modelo USLE.

Para la protección de la cuenca se propone una ordenación agro-hidrológica que se plantea como una ampliación a la Restauración Hidrológica Forestal debido a que adicionalmente trata las superficies destinadas a usos agrícolas. Las actuaciones propuestas para la protección de la CEP están en porcentajes respecto al área total de la cuenca y son: cambio de uso a bosques 0.62%, cambio de uso a pastizales 1.23%, cambio de cultivos en terrazas y /o bancales 1.58%, protección del arbolado con tratamientos selvícolas 5.37%, cambio de cultivos en fajas y laboreo por curvas de nivel 14.7%, mantenimiento de masas forestales con cuidados culturales 19.20%, mantenimiento de prácticas de cultivo actuales 25.51% y realización de repoblaciones artificiales 34.55%.

**Palabras Clave:** *erosión hídrica, ecuación universal de pérdida de suelo, ordenamiento agro-hidrológico, jerarquías analíticas de Saaty, amenaza a erosión hídrica.*

## ABSTRACT

This degree work presents as the main objective to propose actions for the hydrological-forest restoration making proposals for planning the Basin Estero Potrerillos (BEP). The available information was collected and analyzed. Potential erosion zones were determined in the catchment area applying the USLE model.

In this paper, the results of water erosion threat generated by the project of the National Secretariat of Planning and Development, in the province of Guayas, Ecuador, were calculated by the method of analytical hierarchies Saaty (1980) compared with the results obtained using the empirical model USLE. The results show that the model overestimates USLE soil loss by water erosion in areas of steeper compared to the model used by the SENPLADES. Therefore, the surface on which to implement measures to protect soil is higher by applying USLE model.

For the protection of this agro-hydrological basin and its management is emerging, as an extension to the Forestry Hydrologic Restoration because further treated areas intended for agricultural use. Proposals for the protection of the BEP activities are in percentages of the total area of the basin: change of use to 0.62% forests, pastures use change to 1.23%, shifting cultivation in terraces 1.58% woodland protection for the forest treatments with 5.37% change strip cropping and contour tillage by 14.7%, maintaining tending forests with 19.20%, maintenance of current cropping practices 25.51% and 34.55% realization of artificial reforestation.

**Keywords:** *water erosion, universal soil loss equation USLE, agro-hydrological system, analytic hierarchy Saaty, threat to water erosion.*

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 EROSIÓN Y PÉRDIDA DE SUELO

#### 1.1.1 EL SUELO

El suelo se define como una capa desde pocos centímetros hasta algunos metros de espesor, donde el material terroso no consolidado que fue formado en la interfase de la atmósfera, biosfera y litosfera donde interactúan sobre elementos de la atmósfera e hidrosfera (*aire, agua, temperatura, viento, etc.*), litosfera (*rocas, sedimentos*) y de la biosfera, donde se llevan a cabo intercambios de materiales y energía entre la materia inerte y los seres vivos, produciendo así una enorme complejidad (Jaramillo, 2002).

#### 1.1.2 LA EROSIÓN

Etimológicamente la palabra erosión proviene del latín *erodere* que significa desgaste o destrucción producida en la superficie de un cuerpo por la fricción continua y violenta de otros (Ramírez, 2009).

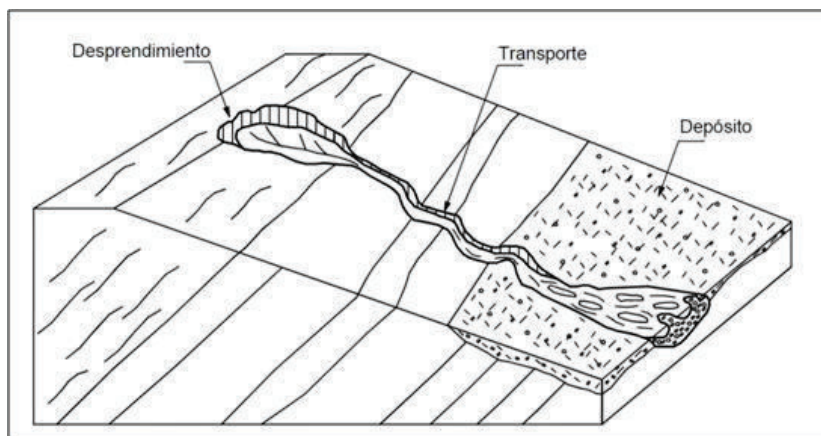
Se define a la erosión como la remoción del suelo superficial que es arrastrado por acción del agua (*erosión hídrica*) o del viento (*erosión eólica*) (FAO, 1983).

El término erosión engloba a la erosión geológica o natural, la cual se produce en condiciones naturales sin la influencia de las actividades humanas. Por tal razón se entiende que los procesos de erosión son generados al existir cualquier perturbación del suelo y que puede ser originada por el agua lluvia, viento, temperatura y la gravedad. Por otro lado está la erosión antrópica que es

generada por el hombre al romper el equilibrio entre suelo, agua y vegetación acelerando los procesos naturales de erosión (FAO, 1983).

La mecánica del proceso de erosión del suelo se lleva a cabo en tres etapas que son descritas a continuación. La primera es el desprendimiento de las partículas por acción de las gotas de lluvia o por la escorrentía; la segunda comienza cuando las partículas desprendidas son transportadas pendiente a bajo por la escorrentía y la tercera etapa ocurre al ser depositadas estas partículas de suelo en nuevas zonas, como se presenta en el esquema de la figura 1.1 (Suárez, 2001).

**FIGURA 1.1 PROCESO DE LA EROSIÓN**



FUENTE: (Suárez, 2001)

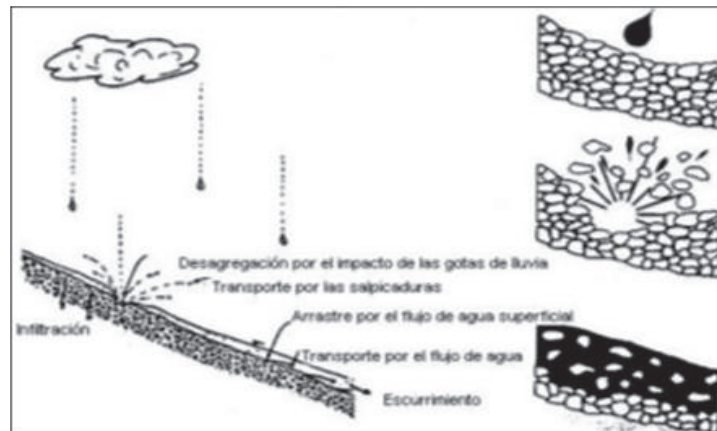
### 1.1.3 LA EROSIÓN HÍDRICA

Es definida como el proceso de disgregación del suelo que es el resultado de la dispersión de sus agregados, los cuales son arrastrados / transportados por la acción del agua, a través de la lluvia y el escurrimiento o escorrentía. La combinación de estos mecanismos dan como resultado la erosión de la superficie (Ramírez, 2009).

En la erosión hídrica hay que distinguir dos componentes que son las acciones de la precipitación y de escurrimiento que se observa en la figura 1.2:

- Acciones de Precipitación: En la erosión hídrica la precipitación actúa de dos formas: directa e indirecta. La directa es referente a la erosión por golpeteo de la lluvia (*Splash erosion*) el cual produce desprendimiento y remoción de delgadas capas de suelo, este impacto rompe la estructura del suelo y lo disgrega en partículas más pequeñas (Suárez, 2001). La acción indirecta ocurre cuando el suelo se mezcla con el agua y las partículas se mueven lateralmente por acción de la pendiente del terreno por efecto de la gravedad. Esto se relaciona con la compactación y la velocidad de infiltración del suelo que disminuye para dar paso al escurrimiento (Ramírez, 2009).
- Acciones del Escurrimiento: La corriente erosiona al suelo debido a dos acciones que son: disgregadora y transportadora. La disgregadora ocurre cuando las fuerzas tractivas del flujo superan a las fuerzas resistentes de las partículas del suelo. La transportadora se produce al saturarse el suelo y el agua empieza a escurrir trasladando los sólidos pendiente abajo (Ramírez, 2009).

**FIGURA 1.2 ACCIONES DE LA EROSIÓN HÍDRICA**



FUENTE: (Rivera Trejo *et al.*, 2006)

## 1.1.4 TIPOS DE EROSIÓN HÍDRICA

En la figura 1.3 se presenta un cuadro sinóptico con la división de los diferentes tipos de erosión hídrica, de los cuales se destaca la división de dos grupos principales que son la erosión en superficie y los movimientos en masa. La subdivisión de estos grupos se explica a continuación.

**FIGURA 1.3** CLASIFICACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA



FUENTE: (Tapia, 2012)

## 1.1.5 EROSIÓN EN SUPERFICIE

La erosión hídrica se clasifica en los siguientes tipos:

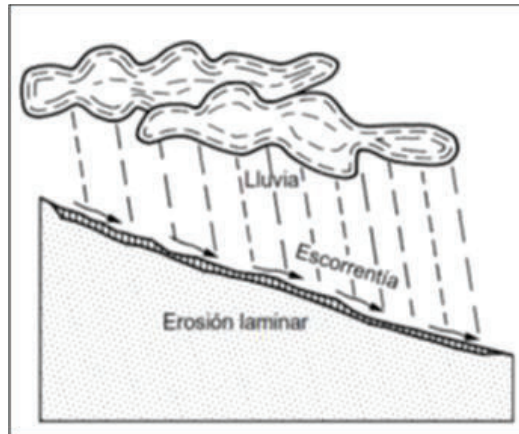
- Erosión laminar;
- Erosión en regueros o riachuelos;
- Erosión en cárcavas o barrancos.

### 1.1.5.1 EROSIÓN LAMINAR

Es el proceso de remoción de delgadas capas de suelo que se extienden en toda la superficie. La erosión laminar es la que aporta la mayor cantidad de partículas a los cauces hídricos de toda las clases de erosión superficial, además causa la

pérdida de nutrientes en los suelos debido a que afecta a las partículas más finas (López Cárdenas, 2003).

#### **FIGURA 1.4 PROCESO DE EROSIÓN LAMINAR**



FUENTE: (Suárez, 2001)

El proceso comienza con el impacto de las gotas de lluvia y por el escurrimiento o escorrentía que forma un flujo que transporta el material erosionado. La remoción de este material es en delgadas capas de suelo que se extienden parcialmente uniformes en toda la superficie como se observa en la ilustración de la figura 1.4 (Vanoni, 1977)

#### **1.1.5.2 EROSIÓN EN REGUEROS O RIACHUELOS**

Los riachuelos son incisiones longitudinales en el suelo, que se forman durante los aguaceros de gran intensidad. Son lo suficientemente pequeños para desaparecer por completo con los métodos de cultivo ordinarios como consecuencia de la concentración local del flujo de agua que es canalizada (Vanoni, 1977).



### 1.1.5.3 EROSIÓN EN CÁRCAVAS Y BARRANCOS

Son incisiones profundas en el terreno debido a una gran concentración de escurrimiento, las cuales no desaparecen con los métodos ordinarios de agricultura. Son cursos de agua, cauces o ríos con circulación permanente o intermitente. (Haan *et al.*, 1982). Además el total de sedimentos que fluye de cárcavas es menor que el producido laminarmente (Vanoni, 1977).

### 1.1.6 EROSIÓN POR MOVIMIENTOS DE MASA

La erosión hídrica de movimientos en masa se clasifica en los siguientes tipos:

- Lentos;
- Rápidos;
- Deslizamientos.

#### 1.1.6.1 MOVIMIENTO EN MASA LENTOS

Dentro de los movimientos en masa lentos se dividen en Reptación y Soliflucción:

- Donde el movimiento lento de **reptación** se da en capas de suelo arcilloso de 50 cm de espesor identificándolos al comparar el suelo con puntos de referencia como por ejemplo árboles o postes.
- El movimiento lento de **soliflucción** ocurre en climas subpolares donde se da el movimiento de material saturado y no confinado que se ve afectado por el hielo y deshielo (Ramírez, 2009).

#### 1.1.6.2 MOVIMIENTO EN MASA RÁPIDOS

Los movimientos en masa rápidos se clasifican en Corrientes de Barros, Corrientes Terrosas y Derrumbamientos:

- Las **corrientes de barro** son propias de regiones áridas con precipitación escasa pero de gran magnitud y que se ubican en causes formados por detritos saturados de agua.

- Los movimientos en masa rápidos en **corrientes terrosas** ocurren en climas húmedos por el desplazamiento de material saturado de agua que no está confinado en un cauce.
- Los movimientos rápidos por **derrumbamientos** ocurren en laderas de pendientes fuertes y angostas, fruto del flujo laminar de detritos rocosos (Ramírez, 2009).

### 1.1.6.3 MOVIMIENTOS EN MASA POR DESPLAZAMIENTOS

Este movimiento en masa se clasifica en cinco tipos de desplazamientos que son: desmoronamientos, desplazamientos de detritos, caída de detritos, deslizamientos de rocas y alud de rocas:

- Los **desmoronamientos** ocurren generalmente por una rotación hacia atrás respecto de la pendiente, esto produce un desplazamiento intermitente de detritos rocosos.
- El **desplazamiento de detritos** es un movimiento rápido, sin rotación hacia atrás y que contiene baja cantidad de agua.
- El movimiento en masa por **caída de detritos** se ubica comúnmente en los márgenes de los ríos y se genera desde una cara vertical del terreno.
- Los **desplazamientos de rocas** son masas que se deslizan por las superficies de estratificación, de diaclasas o de fallas (Tapia, 2012).
- El movimiento de **alud de rocas** es la caída libre de bloques de roca que ocurre comúnmente en zonas montañosas con pendientes de fuerte inclinación y en épocas de congelación, derretimiento sucesivo (Ramírez, 2009).

## 1.2 ESTIMACIÓN DE PÉRDIDAS DE SUELO POR EROSIÓN

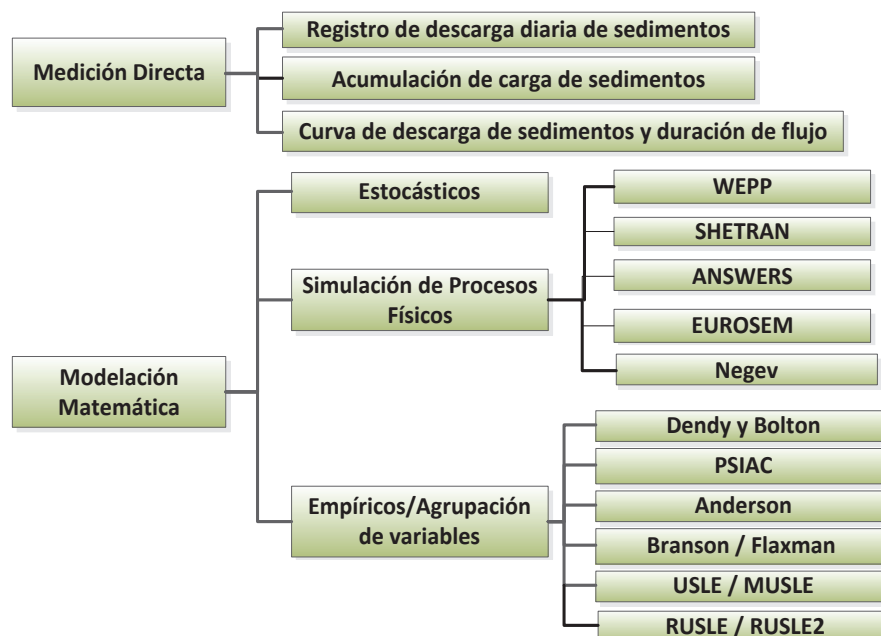
Para determinar la producción de sedimentos en cuencas hidrográficas se han desarrollado diferentes métodos que se pueden clasificar en dos grupos, que son los siguientes:

- Métodos con base en medición directa y;

- Métodos con base en modelación matemática.

A continuación en la figura 1.5 se presenta un cuadro sinóptico de la clasificación de los métodos que se utilizan para evaluar la pérdida de suelo / sedimentación en cuencas hidrográficas y acompañados de algunos ejemplos de cada clase.

**FIGURA 1.5 MÉTODOS PARA LA ESTIMACIÓN DE SEDIMENTOS**



FUENTE: (Ramírez, 2009)

ELABORADO POR: Salazar Nelson

### 1.2.1 MÉTODO DE MEDICIÓN DIRECTA

La medición directa como lo describe su nombre determina la producción de los sedimentos basándose en mediciones directas. Estas se divide en tres grupos, que son los siguientes: muestreo sobre el cauce, sedimentación en embalses y análisis regionales (USACE, 1995). A continuación una descripción de cada uno:

- **Registro de descarga diaria de sedimentos:** El método compara los hidrogramas con los registros de concentración diaria de sedimentos (Ramírez, 2009).

- **Acumulación de carga de sedimentos:** El método cuantifica la suma los promedios de la producción de los sedimentos de descargada, de esta manera se determina los periodos que van desde las horas a años (Ramírez, 2009).
- **Curva de descarga de sedimentos y duración de flujo:** Consiste en la integración de la curva de duración de flujo con una curva de descarga de sedimentos en un punto a la salida de la cuenca (Ramírez, 2009).

## 1.2.2 MÉTODO DE MODELOS MATEMÁTICOS

La función de un modelo es representar de manera simplificada la realidad, obteniendo resultados y evitando la representación experimental del mismo (SENPLADES, 2012). Existe una gran variedad de modelos matemáticos que determinan la producción de sedimentos y constan divididos en tres grupos:

- Empíricos o de agrupación de variables;
- Estocásticos;
- Simulación de procesos físicos.

De esta división los métodos más empleados son los modelos empíricos, pero los que arrojan resultados más acertados son los métodos de procesos físicos (Ramírez, 2009). Una desventaja de algunos modelos es no consideran el medio ambiente como dinámico con respecto al tiempo y al espacio.

### 1.2.2.1 EMPÍRICOS O DE ACUMULACIÓN DE VARIABLES

Los modelos empíricos se basan en las relaciones estadísticas identificadas entre varias variables que se consideraron más importantes cuando previamente fueron analizadas, dentro de una base de datos razonable. Los procesos endógenos se desconocen en los modelos empíricos que basan su funcionamiento en la experiencia o conocimiento del sistema (SENPLADES, 2012).

Dentro de esta clasificación de modelos basados en el conocimiento de los sistemas, se incluyen desde los modelos más simples o cualitativos a los

paramétricos, estadísticos, sistemas expertos, de lógica difusa, en red neuronal y otros (SENPLADES, 2012).

A continuación una descripción de algunos ejemplos de modelos empíricos:

- **Dendy y Bolton:** Estableció una ecuación para cuencas desde 2.5 a 75,000 km<sup>2</sup> de superficie, con precipitaciones inferiores a 2 dos pulgadas en base a datos de aproximadamente 800 embalses en los Estados Unidos de América para determinar la producción de sedimentos en cuencas. La ecuación depende de la superficie y el escurrimiento medio anual (Walling *et al.*, 1985).
- **PSIAC:** Por sus siglas en inglés es el Método del Comité Interinstitucional del Pacífico Suroeste, se fundamenta en el análisis de 9 parámetros, los cuales afectan la producción de sedimentos, los parámetros son: uso del suelo, escurrimientos, erosión transporte depósito, geología, topografía, erosión de las zonas altas, suelo, superficie del suelo y el clima (Ramírez, 2009).
- **Anderson:** El método se desarrolló en las montañas y valles del oeste de Oregon, donde relaciona el promedio anual de la descarga de sedimentos suspendidos con las características de la cuenca hidrográfica por medio de un análisis de multiregresión. Además predice la diferencia entre la erosión actual con la erosión potencial tomando en cuenta las variaciones en el uso del suelo (PSIAC, 1974).
- **Branson:** Investigó los datos de 17 cuencas cercanas a Grand Junction, Colorado, donde relacionó variables geomorfológicas, cobertura de la cuenca y mediciones hidrológicas, de las cuales estimó la producción de sedimentos y estableció su ecuación (PSIAC, 1974).
- **Flaxman:** Realizó un análisis de regresión múltiple para estimar la producción de sedimentos media anual, producto de la erosión laminar. Los parámetros empleados son el factor climático, cobertura vegetal y la pendiente media de la cuenca y dos factores del suelo (PSIAC, 1974).
- **USLE:** La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) es el modelo matemático más usado en la estimación de la pérdida de suelo debido a erosión laminar y toma en cuenta variables como el relieve del terreno, la

forma de la lluvia, el tipo de suelo, la vegetación y las prácticas de conservación (Wishmeier & Smith, 1965).

- **MUSLE:** Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Modificada, por sus siglas en inglés. Este modelo determina la producción de sedimentos basada en tormentas individuales, considera factores como el relieve del terreno, la vegetación, suelo, prácticas de conservación, el volumen de agua escurrido y su gasto pico (Williams & Berndt, 1972).
- **RUSLE:** Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada, por sus siglas en inglés, La **RUSLE** a diferencia de la **USLE** mejoró la metodología para calcular la pérdida de suelo en el terreno añadiendo datos de campo (Renard *et al.*, 1997).

### 1.2.2.2 SIMULACIÓN DE PROCESOS FÍSICOS

De los tres tipos de modelos descritos en este estudio, la simulación de procesos físicos se consideran los mejores, pero debido a la gran cantidad de datos que se requiere, su uso se ha visto limitado (Simons & Sentürk, 1992). Un factor importante en este modelo son las mediciones, porque de existir algún error en los datos pueden producirse resultados incorrectos y poco representativos (Ramírez, 2009).

A continuación una descripción de algunos ejemplos de modelos de simulación de procesos físicos:

- **WEEP:** El Proyecto de Predicción de Erosión Hídrica, determina espacial y temporalmente la pérdida de suelo y el depósito de sedimentos sobre el flujo superficial en cauces pequeños y embalses. Sin embargo, requiere un extenso registro de precipitaciones para modelar estocásticamente, así como de sedimentos sobre el cauce (Flanagan & Nearing, 1995).
- **SHETRAN:** Es un modelo de distribución espacial con fundamento físico que tiene la capacidad de construir y correr modelos para todo o cualquier parte del ciclo hidrológico. Tiene la capacidad de estimar la producción de sedimentos espacialmente e incluye el transporte de sedimentos (Summer & Walling, 2002).

- **ANSWERS:** Es un modelo que fue desarrollado para la planeación y evaluación del efecto del manejo de uso del suelo y de calidad del agua. Determina la producción de sedimentos mediante un modelo hidrológico que toma en cuenta el desprendimiento, transporte y depósito de sedimentos. (Beasley *et al.*, 1980).
- **EUROSEM:** El Modelo Europeo de Erosión de Suelo, es un modelo dinámico con la capacidad de simular el transporte de sedimentos. Los resultados son el escurrimiento total, la pérdida de suelo total, el hidrograma de la tormenta y su sedimentograma. Sin embargo solo puede ser implementado en cuencas con buena cantidad de datos de aforos (Morgan *et al.*, 1998).
- **NEGEV:** Negev propone simular la carga suspendida de sedimentos a partir de datos de lluvia y gasto total. Los datos de lluvia acumulada de forma horaria, es decir de pluviómetro son necesarios (Ramírez, 2009).

### **1.2.2.3 ESTOCÁSTICOS**

Los modelos estocásticos se basan en la generación de series sintéticas de datos a partir de las características estadísticas de datos simples; es útil para generar secuencias de entrada para modelos de base física y empíricas cuando los datos son disponibles solo para pequeños periodos de observación (SENPLADES, 2012).

### **1.2.3 MODELO UTILIZADO POR LA SENPLADES**

Por lo detallado en el documento proyecto: “*Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional Escala 1: 25 000*”, coordinado por la

SENPLADES (2012), se seleccionó para la evaluación de la amenaza a la erosión hídrica, un sistema paramétrico o aritmético que puede considerarse como una fase de transición entre los métodos cualitativos basados íntegramente en criterios subjetivos y los modelos matemáticos avanzados. En este modelo interactúan todos los factores que llevan a la valoración final del Índice de Susceptibilidad a la Erosión (ISE), mediante la suma de los índices de cada uno de los parámetros. Para la obtención de la Amenaza a Erosión Hídrica se basa en un sistema matricial de doble entrada entre Índice de Susceptibilidad a Erosión Hídrica (ISE) y la Agresividad Pluvial (AP) (TRACASA-NIPSA, 2015).

#### **1.2.3.1 AGRESIVIDAD PLUVIAL (AP)**

En el área de estudio existía una baja disponibilidad de registros de datos continuos de pluviosidad, por tal razón se recurrió a la selección del método de Índice Modificado de Fournier (IFM), el cual relaciona la precipitación media mensual y la anual en la siguiente fórmula.



$$IFM = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P_a} \quad (1.1)$$

Donde:

$p_i$  = es la precipitación mensual (mm);

$P_a$  = es la precipitación anual (mm).

Una vez calculado el IMF, se procedió a la clasificación de la agresividad pluvial con los rangos que se presentan en la tabla 1.1.

**TABLA 1.1** CLASIFICACIÓN DE LA AGRESIVIDAD PLUVIAL

Agresividad Pluvial (mm)	Índice	
< 50	Muy baja	1
50-150	Baja	2
150-350	Media	3
>350	Alta	4

FUENTE: (SINAGAP, 2011)

### 1.2.3.2 ÍNDICE DE SUSCEPTIBILIDAD A LA EROSIÓN HÍDRICA (ISE)

La determinación del índice de susceptibilidad a la erosión hídrica se aplicó el método de Jerarquías analíticas de Saaty (1980), en la ponderación de variables con el cual se estableció los respectivos coeficientes de corrección para cada índice y posteriormente, se suma el resultado para obtener el Índice de Susceptibilidad a la Erosión Hídrica (SENPLADES, 2012).

Las variables que se escogieron para la suma del ISE son las siguientes: pendiente, forma de vertiente, longitud de la vertiente, textura, profundidad, materia orgánica, grado de protección vegetal. Además cada una de estas fue calificada con un índice de 1 a 4, dónde 1 representa una susceptibilidad baja de erosión hídrica y 4 alta. A continuación en la tabla 1.2 están los rangos del ISE (SENPLADES, 2012).

**TABLA 1.2** CLASIFICACIÓN DEL ÍNDICE (ISE)

Índice de susceptibilidad a la erosión hídrica (ISE)	Rango
Muy baja	< 12
Baja	13 – 18
Media	19 - 23
Alta	24 - 28

FUENTE: (SENPLADES, 2012)

### 1.2.3.3 AMENAZA A EROSIÓN HÍDRICA (AEH)

La Amenaza de Erosión Hídrica se basa en un sistema matricial lógico de doble entrada entre Índice de Susceptibilidad a Erosión Hídrica (ISE) y la Agresividad Pluvial como se puede observar en la tabla 1.3, en la que se definieron cuatro niveles de erosión hídrica (Muy Baja, Baja, Media y Alta) y su definición se encuentra en la tabla 1.4 (SENPLADES, 2012).

**TABLA 1.3** MATRIZ DE CALIFICACIÓN ENTRE EL ISE Y LA AGRESIVIDAD PLUVIAL

		AGRESIVIDAD PLUVIAL (mm)			
		Muy bajo (< 50)	Bajo (50-150)	Medio (150-350)	Alto (> 350)
ISE	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Muy baja	Baja
	Baja	Baja	Baja	Baja	Media
	Media	Baja	Media	Media	Alta
	Alta	Media	Alta	Alta	Alta

FUENTE: (SINAGAP, 2011)

**TABLA 1.4 CLASES DE AMENAZA A EROSIÓN HÍDRICA**

Etiqueta	Descripción
Sin	Unidades de estudio que se encuentran ubicadas en su gran mayoría dentro de las unidades geomorfológicas que comprenden: niveles planos y ondulados, bancos, basines, meandros y cauces abandonados y su geología corresponde a depósitos aluviales, sitios que durante la época invernal por lo general son propensos a inundaciones por desbordamiento y anegamiento, motivos por los cuales no es posible distinguir amenaza por erosión hídrica, sino más bien colmatación.
Baja	Unidades de estudio que se presentan bajo tres condiciones: 1. El análisis de los factores en estudio califican a la unidad con una susceptibilidad muy baja a la erosión hídrica pero al momento de combinarla con el índice más alto de agresividad pluvial pasa a tener una condición baja; 2. Cuando la combinación de sus características morfométricas (rango de pendiente y longitud de vertiente), morfológicas (forma de vertiente), físico-químicas de suelo (textura superficial, profundidad efectiva y materia orgánica) y su grado de protección vegetal presentan un bajo índice de susceptibilidad a erosión que al ser analizada con los índices intermedios de agresividad pluvial mantiene una amenaza baja a erosión hídrica ; y 3. Al combinar los factores mencionados da una susceptibilidad media que al combinarla con el índice más bajo de agresividad pluvial su calificación de amenaza a erosión hídrica desciende a baja.
Media	Unidades de estudio que se presentan bajo tres condiciones: 1. El análisis de los factores en estudio califican a la unidad con una susceptibilidad baja a la erosión hídrica al momento de combinarla con el índice más alto de agresividad pluvial pasa a tener una condición media; 2. Cuando la combinación de sus características morfométricas (rango de pendiente y longitud de vertiente), morfológicas (forma de vertiente), físico-químicas de suelo (textura superficial, profundidad efectiva y materia orgánica) y su grado de protección vegetal presentan un índice medio de susceptibilidad a erosión que al ser analizada con los índice intermedios de agresividad pluvial mantiene una amenaza media a erosión hídrica; y 3. Al combinar los factores mencionados da una susceptibilidad alta que al combinarla con el índice más bajo de agresividad pluvial su calificación de amenaza a erosión hídrica desciende a media.
Alta	Unidades de estudio que se presentan bajo dos condiciones: 1. El análisis de los factores en estudio califican a la unidad con una susceptibilidad media a la erosión hídrica al momento de combinarla con el índice más alto de agresividad pluvial pasa a tener una calificación alta; y 2. Cuando la combinación de sus características morfométricas (rango de pendiente y longitud de vertiente), morfológicas (forma de vertiente), físico-químicas de suelo (textura superficial, profundidad efectiva y materia orgánica) y su grado de protección vegetal presentan un índice alto de susceptibilidad a erosión y al ser analizada con los tres últimos índices de agresividad pluvial mantiene una alta amenaza a erosión hídrica.
Muy alta	Unidades de estudio que se presentan bajo dos condiciones: 1. El análisis de los factores en estudio califican a la unidad con una susceptibilidad alta a la erosión hídrica al momento de combinarla con el índice más alto de agresividad pluvial pasa a tener una calificación muy alta; y 2. Cuando la combinación de sus características morfométricas (rango de pendiente y longitud de vertiente), morfológicas (forma de vertiente), físico-químicas de suelo (textura superficial, profundidad efectiva y materia orgánica) y su grado de protección vegetal presentan un índice muy alto de susceptibilidad a erosión y al ser analizada con los tres últimos índices de agresividad pluvial mantiene una muy alta amenaza a erosión hídrica.

Etiqueta	Descripción
No aplicable	Para unidades que se las adquieren desde cartografía base (centros poblados y cuerpos de agua) así como aquellas calificadas en el mapa de capacidad de uso de las tierras (CUT) como "No aplicables y Tierras misceláneas" y para aquellas caracterizadas como infraestructura desde la información generada por el Componente 4 de Uso y Cobertura.

FUENTE: (SENPLADES, 2012)

#### 1.2.4 METODOLOGÍA ADOPTADA MODELO USLE

Este estudio establecerá una propuesta de conservación del suelo a través de la restauración hidrológica-forestal de una cuenca hidrográfica, para la protección del suelo ante la erosión hídrica. En el cálculo de la erosión hídrica se utilizará el modelo USLE que se trata de un sistema paramétrico desarrollado a partir de una extensa información experimental sobre suelos de Estados Unidos, destacando su relativa simplicidad y robustez así como su facilidad de uso. (SENPLADES, 2012)

La información climatológica, hidrológica, uso de suelo y geológica que se utilizó para el estudio corresponde a la base de datos de la Secretaría del Agua – SENAGUA y que a su vez es fruto de una recopilación de información de varias instituciones públicas como el proyecto "*Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional, escala 1:25000*", que coordinó la Secretaria Nacional de Planificación y Desarrollo SENPLADES, con la participación del ex CLIRSEN (Actualmente Instituto Ecuatoriano Espacial - IEE) y MAGAP a través del Sistema de Información Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca – SINAGAP e Instituto Geográfico Militar – IGM.

Para poder llevar a cabo el modelo USLE se utilizó como herramienta a los Sistemas de Información Geográficas (SIG) como el ArcGIS. Por otra parte, la ecuación de USLE pronostica la pérdida de suelo anual por erosión hídrica laminar e inter-laminar, a partir de una serie de parámetros físicos directamente involucrados en el proceso erosivo (erosividad, erosionabilidad, relieve, cubierta vegetal, prácticas de conservación) (Wischmeier, 1965 y 1978).

#### 1.2.4.1 MARCO TEÓRICO USLE

El modelo USLE ha sido ampliamente utilizado por investigadores y técnicos para pronosticar el riesgo de erosión de los suelos, considerándose un proceso estándar (SENPLADES, 2012).

USLE es un modelo que combina cinco variables como son los factores K, LS, R, C y P, los cuales pueden ser ingresados en un Sistema de Información Geográfico, SIG. A continuación una descripción de cada factor:

- **Factor R de erosividad de lluvia (R):** Se define como la capacidad de la lluvia para producir erosión. Esta capacidad se cuantifica por la energía necesaria para desagregar el suelo en partículas individuales, que luego serán transportadas por la escorrentía. La energía se calcula en base a la energía cinética de la precipitación y esta a su vez se corresponde a las características físicas de la lluvia como el tamaño de la gota, masa, velocidad de caída (Ibañez, 2012).

Para la estimación de este factor se tomarán los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología de Ecuador, INAMHI. La erosividad de la lluvia (R) se calcula utilizando la ecuación del tipo Fournier, con los datos de precipitación mensual y anual (Silva, 2001)

- **Factor K. Susceptibilidad de erosión del suelo:** Representa la susceptibilidad de un suelo a ser erosionado y está relacionado con la estabilidad estructural del mismo, por el porcentaje de las distintas fracciones granulométricas, materia orgánica y la permeabilidad del suelo. Para calcular el factor K se analizarán los tipos de suelos de acuerdo a la clasificación taxonómica de USDA (2006), debido a que existe esta información en la zona de estudio. Para aquellos tipos de suelo donde se han realizado calicatas dentro del área de estudio, se utiliza la información de la calicata para calcular el Factor K. Para los otros suelos presentes en el área de estudio pero donde no se cuenta con calicatas, se utilizará la información de las calicatas existentes en las zonas más próximas al área de estudio. Los valores del Factor K se calculan utilizando la ecuación planteada por Wischmeier & Smith (1978), para lo que se requiere datos de

porcentajes de limo, arena muy fina, arcilla, materia orgánica, además la estructura del suelo que usan la codificación descrita en Iñiguez (1999) y la permeabilidad parametrizada con la metodología de Rawls *et al* (1982) y las curvas de Saxton *et al* (1986).

- **Factor LS. Factor relieve:** En el Factor LS la pérdida hídrica del suelo está fuertemente influenciada por el relieve ya que el tiempo de permanencia y la capacidad de infiltración del agua dependen del ángulo de la pendiente y de la energía cinética del agua circulante (Ibañez *et al*, 2012). La medición de la pendiente es un proceso sencillo, pero la medición de la longitud de pendiente en un punto es una actividad que presenta dificultad en cuencas hidrográficas. Se seguirá la metodología planteada por (Desmet & Govers, 1996) que establece el cálculo del factor LS introduciendo el concepto del área de contribución aguas arriba, determinando la pérdida promedio de suelo en perfiles complejos, dividiendo a la pendiente irregular en un limitado número de segmentos uniformes.
- **Factor C (cobertura y manejo de cultivos y residuos):** Es un valor adimensional que varía entre 0 y 1, el cual representa la pérdida de suelo que se produce por las diferentes actividades de manejo en un período de tiempo (Ibañez, 2012). Para calcular el factor C se tendrá que elaborar el mapa de uso y cobertura vegetal de la cuenca de estudio y posteriormente se aplican los valores de factor C descritos en (Howeler & Oates, 2000).
- **P. (Prácticas de conservación):** Es aquella que representa la pérdida de suelo generada por una práctica de manejo agrícola determinada, relaciona las actividades de cultivo tanto en pendiente arriba como en pendiente abajo del área de estudio. El factor P es un valor adimensional y su rango varía entre 1 y 0.

A su vez, el cálculo detallado de cada uno de estos factores utiliza procedimientos cualitativos o semicuantitativos en base a características de clima, suelo y manejo agrícola. La aplicación puntual del modelo USLE permite calcular la pérdida de suelo para unas condiciones de manejo determinadas; y también, fijando un nivel tolerable de pérdida de suelo, que suele ser de 10 toneladas por hectárea y año;

se calcula los factores C y P, es decir, se formulan las prácticas de manejo y conservación que serían las más recomendadas (SENPLADES, 2012).

Como se recomienda en el estudio de SENPLADES del 2012, es necesario la identificación de las zonas que sean más susceptibles a la pérdida de suelo en el cantón Santa Lucía y aplicar medidas de recuperación de estas áreas, estableciendo una gestión y ordenación del territorio para un adecuado uso del suelo. Por lo cual USLE es una herramienta que va permitir cumplir con los objetivos del presente estudio ya que estima las pérdidas de suelo, y permite escoger, modelar, tomar decisiones sobre las prácticas agrícolas que servirían como medidas de conservación para cada zona acorde a sus necesidades.

#### **1.2.4.2 USLE EN GUAYAS, ECUADOR**

##### **- ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL DEFINITIVO DEL PROYECTO HIDROELÉCTRICO BABA**

El estudio busca la identificación, caracterización y evaluación de los impactos del proyecto sobre el medio ambiente, y dentro de la línea base se realizó la estimación de la erosión potencial de la cuenca hidrográfica Baba –Toachi, para tal fin se utilizó la Ecuación de Pérdidas de Suelo USLE y se describió el proceso de cálculo de cada uno de sus factores. Las principales diferencias con el presente estudio es que para el cálculo del factor R utiliza las lluvias máximas en 24h y calcula la intensidad de precipitación; para el factor K no realiza calicatas pero tiene información de la clasificación del suelo que son inceptisoles, asigna valores según esta clase e interpola los datos en el área de la cuenca; Efficácitas (2006) tomó en cuenta al factor P de conservación y fue determinado por una distribución de pendientes a diferentes rangos, asignando valores de P a cada una; indicó que a menor pendiente menor capacidad de generar erosión y que la pérdida promedio de suelo en la cuenca del río Baba es de 19.87 ton/ha/año y en el río Toachi es de 32.5 ton/ha/año (Efficácitas, 2006).

- MODELIZACIÓN HIDROLÓGICA DE ÁREA EXPERIMENTAL EN UNA CUENCA DEL GUAYAS EN PRODUCCIÓN CAUDALES Y SEDIMENTOS

El estudio realizó un análisis de la información disponible en toda la cuenca del río Guayas, para luego escoger como área experimental a la cuenca del río Toachi, en el cual desarrolló la modelización matemática con HEC-HMS, con el cual efectuó pruebas de calibración, sensibilidad, validación del modelo y adicionalmente realizó la determinación de la pérdida de suelo utilizando la ecuación universal de pérdida del suelo (USLE) y adicionalmente la tasa de erosión hídrica superficial. Las principales diferencias con el presente estudio en la CEP es que para el cálculo del factor R y factor K toma como referencia los datos de (Efficácitas, 2006); para el factor LS calcula la pendiente de la cuenca en porcentaje y asigna valores de LS según la pendiente; no toma en cuenta al factor P de conservación; el tamaño de la celda de los mapas raster de los factores es de 100x100 y la pérdida promedio de suelo anual oscila entre 0.38 – 93.08 Mg.ha/año (Tapia, 2012).

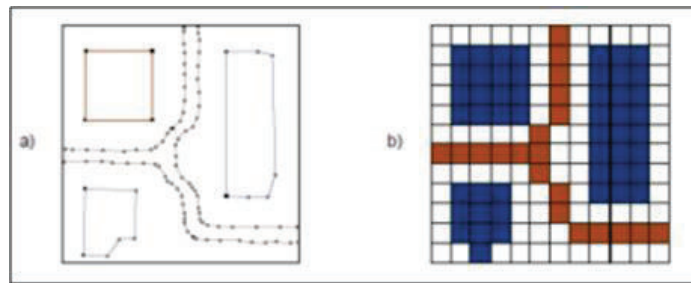
### **1.2.5 REPRESENTACIÓN DE USLE EN LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA SIG**

De aquí en adelante todos los factores que forman parte de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), serán representados en formato raster. Este formato se establece como la división sistemática de todo el espacio (teselación), distribuyéndose en forma de malla como se muestra en la figura 1.6 (sección b) y que tiene como unidad a la celda o pixel con dimensiones de 30x30 para el presente estudio. Una de las ventajas del formato raster es que permite la aplicación de los métodos de interpolación que convierte a los datos puntuales en mallas regulares (Olaya, 2014).

En la figura 4.2 (sección a), se observa la diferencia entre usar al modelo vectorial con elementos geométricos de puntos, líneas que no tienen una disposición sistemática y el formato raster que realiza la división sistemática del espacio (Olaya, 2014)



**FIGURA 1.6** a) REPRESENTACIÓN VECTORIAL; b) REPRESENTACIÓN RÁSTER

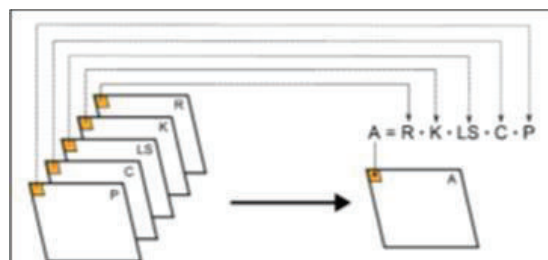


FUENTE: (Olaya, 2014)

Los mapas que se generaron en el presente trabajo son proyectados en el sistema de coordenadas geográficas WGS84, UTM Zona17S y con celdas de igual dimensión  $m \times n$  para que no existan complicaciones al aplicarse el álgebra de mapas y así generar mapas en un mismo marco geográfico.

El álgebra de mapas es un procedimiento que opera sobre varias capas en formato raster, generando como producto información nueva en otra capa raster. Esto es perfectamente aplicable por ejemplo a la USLE, porque es un modelo que combina cinco variables como son los factores  $K$ ,  $LS$ ,  $R$ ,  $C$ ,  $A$ , los cuales pueden ser ingresados en un Sistema de Información Geográfica (SIG) como capas raster y ser operados en una fórmula algebraica simple, como en la ecuación de USLE, para obtener una nueva capa de pérdida de suelo factor  $A$ , como se observa en la figura 1.7 (Olaya, 2014).

**FIGURA 1.7** APLICACIÓN DEL ÁLGEBRA DE MAPAS EN LA USLE



FUENTE: (Olaya, 2014)

### 1.3 ORDENACIÓN AGROHIDROLÓGICA

La definición de la ordenación agro-hidrológica forestal de una cuenca hidrológica se establece como la planificación de los usos del suelo de tal manera que disminuya la erosión por debajo de unos niveles de pérdidas de suelo que sean compensados por la producción o generación de suelo por parte de la cubierta vegetal, en otras palabras que el uso del suelo sea sostenible en cuanto al recurso suelo y la vegetación (García & Mantecas, 2005).

Adicionalmente es importante mencionar que la ordenación agro-hidrológica forestal supone una ampliación de la Restauración Hidrológica Forestal, porque además de intervenir en las superficies de vocación silvo-pastorales, plantea actuaciones para las zonas destinadas a usos agrícolas, detectando las áreas con problemas de erosión y proponiendo medidas correctoras (García & Mantecas, 2005).

En un proyecto convencional de restauración hidrológico-forestal de una cuenca vertiente, su planificación previa implica la ordenación agro-hidrológica de la cuenca en cuestión y ésta incluye las fases siguientes:

- Estudiar el medio físico con criterios comprobados;
- Simular el comportamiento de la cuenca ante distintos eventos;
- Estimar el mejor uso del suelo en la cuenca y las técnicas más para el control de la erosión;
- Proponer las medidas para mejorar el funcionamiento del ciclo del agua en la cuenca y para amortiguar los efectos del geo-dinamismo torrencial en la misma;
- Justificar las propuestas, delimitando el marco de viabilidad de las actuaciones (UNESCO, 2008).

También es preciso resaltar que las actuaciones previstas en una restauración hidrológico-forestal tienen su periodo de ejecución y su periodo de consolidación (como por ejemplo, las cubiertas arboladas). La cuestión es revisar el avance de

las actuaciones previamente al avance de la siguiente etapa. Además, concluidos todos los trabajos de restauración, hay que darle un seguimiento para evaluar su comportamiento y futuro éxito para que cumplan con el objetivo de la protección de la cuenca y su desarrollo sustentable (UNESCO, 2008).

Las propuesta de acciones agrohidrológicas para la preservación de la cuenca ante la potencial erosión del suelo se basan en los estudios realizados por García Nájera (1954 y 1955), recientemente aplicado en la cuenca del río Aguijejo (España) por García y Mantecas (2005), por Mintegui *et al* (2014) en Pejibaye - Costa Rica, Guabalcón - Ecuador y Buena Esperanza - Argentina. Esta propuesta sugiere que los terrenos con pendientes menores al 12 % se pueden cultivar sin limitación alguna. Los comprendidos entre el 12 % y el 18 % solo se pueden cultivar con prácticas de conservación de suelos. Los terrenos por encima de esta pendiente deben de considerarse forestales, pudiéndose dedicar a pastizales aquellos con pendientes inferiores al 30 % y a bosques aquellas zonas por encima de esta pendiente (García & Mantecas, 2005).

#### **1.4 SITUACIÓN ACTUAL**

El aumento de la sedimentación del río Guayas representa un riesgo de inundaciones en Guayaquil y zonas bajas de la provincia, por el desbordamiento de los afluentes según señalan las autoridades de la provincia del Guayas. Por ello se ha considerado urgente el trabajo de dragado de alrededor de 4 millones de m<sup>3</sup> de sedimentos en un tiempo no mayor a dos años y medio. Además advierten que al no cumplirse a tiempo estos trabajos de dragado, se volverían extremadamente inundables zonas como Daule, Santa Lucía, Salitre, la parroquia Las Lojas, que serían las más afectadas (El Comercio, 2015). Los Resultados de los estudios de SENPLADES en el Cantón Santa Lucía, al cual pertenece más de la mitad del área de estudio, detallan que existe un 29,03 % de área que no muestra Amenaza de Erosión Hídrica, mientras que el 68,58 % del área del cantón presenta un grado de Amenaza a Erosión Hídrica (SENPLADES, 2012). Por lo tanto, estas son áreas que están aportando con sedimentos a la cuenca del

río Daule-Guayas y que se deben incrementarse los esfuerzos para proponer acciones para el control de sedimentos y su conservación.

Debido a la importancia y petición de la SENAGUA (Secretaría del Agua), serán comparados los resultados del modelo USLE obtenidos en este estudio, con los resultados obtenidos aplicando la metodología empleada por la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES).

Una vez obtenida las zonas de mayor pérdida de suelo, se plantearán actuaciones agrohidrológicas como actuaciones correctoras ante la erosión hídrica. Esto es de interés para SENAGUA y el Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) del cantón Santa Lucía, porque se establecerían lineamientos técnicos para la restauración hidrológica-forestal de cuencas y parte del ordenamiento territorial, donde se busca ubicar zonas que puedan recuperar el bosque, prácticas adecuadas del uso del suelo y que dichas zonas establezcan a mediano plazo un control sobre la erosión hídrica y escorrentía superficial.

Para este fin se utilizó la información obtenida del levantamiento geopedológico generado en el marco de la ejecución del Proyecto: “Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional, escala 1:25000” que se realizó bajo la coordinación y soporte de SENPLADES.

## **CAPÍTULO 2**

### **OBJETIVOS**

#### **2.1 OBJETIVOS GENERALES**

- Proponer un lineamiento para la elaboración de actuaciones en la restauración hidrológico-forestal y la formulación de una propuesta para la planificación de la Cuenca del Estero Potrerillos.

#### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Recopilar y analizar la información geográfica, física e hidrológica en la zona de estudio.
- Determinar las zonas de erosión potencial en la cuenca de recepción aplicando el modelo U.S.L.E en la Cuenca del Estero Potrerillos.
- Comparar los resultados del estudio con los resultados obtenidos por la SENPLADES Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo.
- Establecer medidas correctoras para el control de la erosión en las prácticas agrícolas y de conservación en la cuenca objeto de estudio.

## **CAPÍTULO 3**

### **ÁREA DE ESTUDIO**

#### **3.1 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

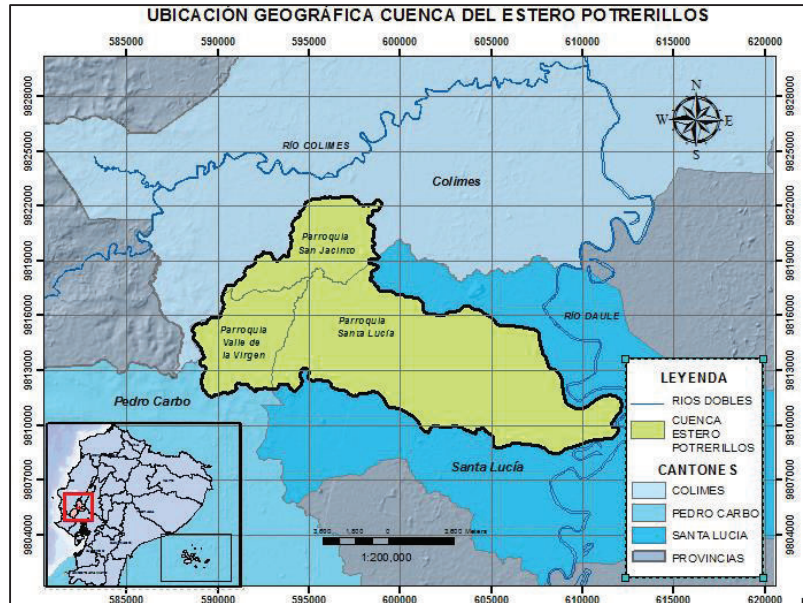
##### **3.1.1 UBICACIÓN**

El área de estudio es la Cuenca del Estero Potrerillos (CEP) como se la denominará en adelante se muestra en la figura 3.1. Está situada al noroeste de la provincia del Guayas, ubicada dentro de la cuenca hidrográfica del río Daule, en el margen derecho y a la altura del poblado de Santa Lucía que también está a orillas del río Daule.

Los límites geográficos de la CEP son: al norte la parroquia de San Jacinto y parte restante de la parroquia de Santa Lucía, al este y sur colinda con la parroquia Santa Lucía. Finalmente al oeste está la parroquia Guale y el Valle de la Virgen.

El área de estudio se distribuye en los cantones Colimes, Pedro Carbo y Santa Lucía y en las respectivas parroquias de San Jacinto, Valle de la Virgen y Santa Lucía, el porcentaje de área se muestra en el tabla 3.1.

**FIGURA 3.1** MAPA DE UBICACIÓN DE LA CEP



FUENTE: SENAGUA, 2014

ELABORADO POR: Salazar Nelson

**TABLA 3.1** DISTRIBUCIÓN DE LA CEP EN CANTONES Y PARROQUIAS

N°	CANTÓN	PARROQUIA	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	%
1	COLIMES	SAN JACINTO	23.560	16.04
2	PEDRO CARBO	VALLE DE LA VIRGEN	23.454	15.97
3	SANTA LUCÍA	SANTA LUCÍA	99.830	67.98
	<b>TOTAL</b>		<b>146.844</b>	<b>100.00</b>

FUENTE:(SENAGUA, 2014)

ELABORADO POR: Salazar Nelson

## 3.2 MEDIO FÍSICO

A continuación se describe la caracterización de la morfología de la CEP, para lo cual se ha llevado a cabo una serie de cálculos para obtener información morfométrica mínima de la cuenca. Los tipos de parámetros a calcular para la determinación de la morfología de la cuenca son los siguientes:

- Parámetros generales;
- Parámetros de relieve;
- Parámetros relativos a la red de drenaje.

### 3.2.1 PARÁMETROS GENERALES

La Secretaría del Agua encargada de realizar la validación de la división hidrográfica del Ecuador ha tomado la metodología Pfafstetter para la delimitación de las unidades hidrográficas.

El método de codificación de unidades hidrográficas se desarrolló en Brasil por Otto Pfafstetter y fue difundido por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) Este método consiste en delimitar, dividir y codificar jerárquicamente las unidades hidrográficas por tipología: cuenca, intercuenca y cuenca interna, desde un punto de vista continental (Nivel 1), hasta 2,3,4 y Nivel 5, asignando un código numérico a cada nivel que representa a la unidad hidrográfica y que es basada en la ubicación dentro del sistema de drenaje (Rosas, 2009).

Para el presente estudio se escogió como área de estudio la división Pfafstetter nivel 5 codificada con el nombre CEP, que se observa en la figura 3.1. Esta es una cuenca de tamaño pequeño según la clasificación generada por (Campos, 1992) y se muestra en la tabla 3.2, con una superficie total de 146.844 km<sup>2</sup>; con un perímetro de 76.728 km; su desnivel altitudinal es de 200 m, ubicando la cota más alta a 220 m y la más baja a 20 m.



**TABLA 3.2** CLASIFICACIÓN DE TAMAÑO PARA CUENCAS HIDROLÓGICAS

Tamaño de la cuenca (Km <sup>2</sup> )	Descripción
<25	Muy Pequeña
25 - 250	Pequeña
250 - 500	Intermedia - pequeña
500 - 2500	Intermedia - grande
2500 - 5000	Grande
>5000	Muy grande

FUENTE: Campos, 1992

### 3.2.2 PARÁMETROS DE RELIEVE

#### 3.2.2.1 CURVA HIPSOMÉTRICA

La curva hipsométrica sirve para definir características fisiográficas de la cuenca y representa el porcentaje de área acumulada, igualada o excedida para una cota determinada (Monsalve, 1995). Es considerable interpretar a esta curva como una especie de perfil de la cuenca y el valor de pendiente media en (m/Km<sup>2</sup>), es un parámetro sintético de comparación del relieve entre varias cuencas (Villodas, 2008).

Adicionalmente el Diagrama de Frecuencia de Altitudes, puede ser trazado para reemplazar a la curva hipsométrica porque indica en un diagrama de barras la forma de las superficies en porcentajes, para diferentes intervalos de alturas constantes (Villodas, 2008).

La curva hipsométrica unitaria es la conversión de la curva hipsométrica en una función adimensional utilizando las alturas y áreas relativas. Esto se realiza dividiendo a las alturas, áreas para sus respectivos máximos. La curva hipsométrica unitaria es útil para estudiar la similitud de dos cuencas cuando tienen variaciones de precipitación y evaporación con la altura (Ibañez, 2011).

Para la determinación de la curva hipsométrica en la CEP se utiliza un Modelo Digital de Terreno (MDT), se clasifica el raster, con el software ArcGis, en 12 secciones divididas en iguales intervalos de alturas en la cuenca y se calcula el área entre cada intervalo de alturas, cota promedio y porcentaje de área en cada intervalo y el porcentaje de área acumulada. Estos valores se muestran en la tabla 3.3.

**TABLA 3.3** ÁREA ENTRE CADA INTERVALO DE ALTURAS, COTA PROMEDIO Y PORCENTAJE DE ÁREA EN CADA INTERVALO Y ADEMÁS, EL PORCENTAJE DE ÁREA ACUMULADA EN LA CEP

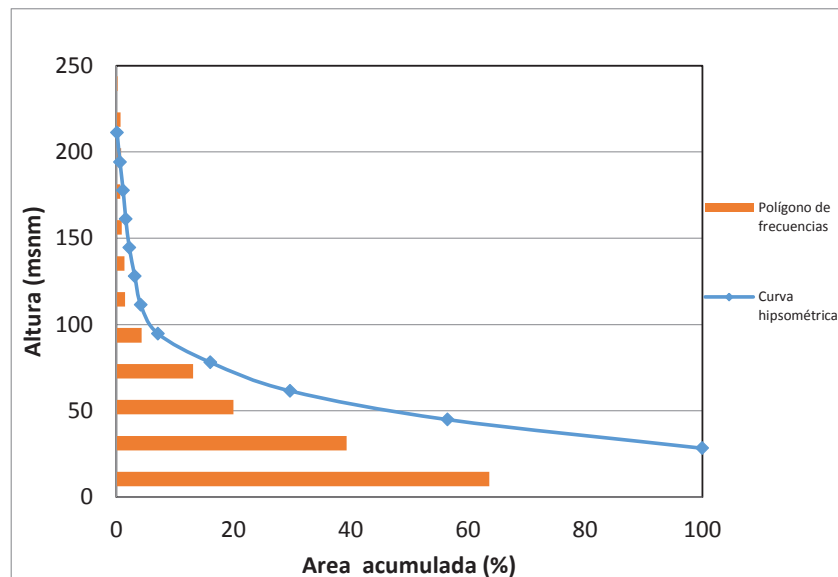
Nro	Cota (msnm)			Área (km <sup>2</sup> )				Cota*Área Parcial
	Mínimo	Máximo	Prom	Intervalo	Acumulado	% Acum	% Intervalo	
1	20.00	36.59	28.29	63.66	146.385	100.00	43.49	1801.30
2	36.59	53.20	44.89	39.27	82.72	56.51	26.83	1763.13
3	53.20	69.80	61.50	19.98	43.45	29.68	13.65	1228.93
4	69.80	86.40	78.10	13.07	23.47	16.03	8.93	1020.51
5	86.40	103.00	94.70	4.29	10.40	7.10	2.93	406.67
6	103.00	119.59	111.29	1.50	6.10	4.17	1.02	166.58
7	119.59	136.20	127.90	1.37	4.61	3.15	0.94	175.69
8	136.20	152.76	144.48	0.89	3.23	2.21	0.61	128.35
9	152.76	169.36	161.06	0.66	2.35	1.60	0.45	105.82
10	169.36	185.99	177.68	0.79	1.69	1.15	0.54	140.86
11	185.99	202.14	194.07	0.72	0.90	0.61	0.49	140.13
12	202.14	220.00	211.07	0.17	0.17	0.12	0.12	36.77

ELABORADO POR: Salazar Nelson

Los valores de porcentaje de área en cada intervalo descritos en la tabla 3.3, se observa que la altitud o cota que tiene mayor área dentro de la CEP se encuentra entre 20 a 36 msnm ocupando el 43%, esto concuerda con el valor de altitud más frecuente que está en la cota 28.29 msnm dentro del rango antes mencionado. Si se suma el área acumulada entre las cotas de 20 a 53 msnm, se contabiliza un total de 70% del área total de la cuenca lo que concuerda ya que en el rango de estas cotas se encuentra el valor de altitud media con 48.60 msnm, que a su vez representa el 50% del área acumulada de la cuenca.

Los valores de la tabla 3.3 fueron utilizados para calcular y determinar: a) la curva hipsométrica y el diagrama de frecuencias de altitudes, que se presentan en la figura 3.2; b) la curva hipsométrica unitaria, que se presenta en la figura 3.5, y c) el mapa de relieves de la CEP, que se observa en la figura 3.6.

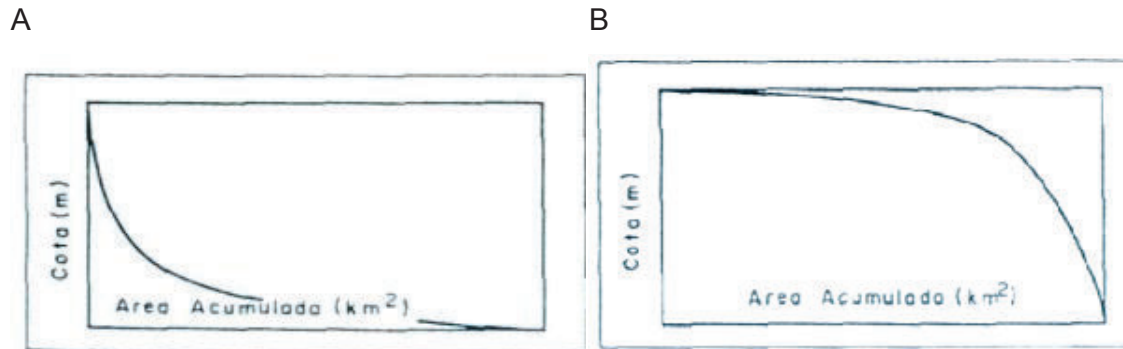
**FIGURA 3.2.** CURVA HIPSONÉTICA & FRECUENCIA DE ALTITUDES EN LA CEP



ELABORADO POR: Salazar Nelson

Respecto a la curva hipsométrica y diagrama de frecuencias de altitudes, figura 3.2, se comparan los resultados obtenidos en la CEP y los descritos por (Monsalve, 1995) en la figura 3.3. En la comparación, se observa como la curva hipsométrica de la CEP presenta una forma similar a las descritas para cuencas de valles extensos y cumbres escarpadas, debido a que el mayor porcentaje de área de la cuenca se concentra en las cotas más bajas. La figura 3.3 representa la curva hipsométrica típica de una cuenca de valles extensos con cumbres escarpadas en el literal A) y en el B) una cuenca de valles profundos con altiplanos.

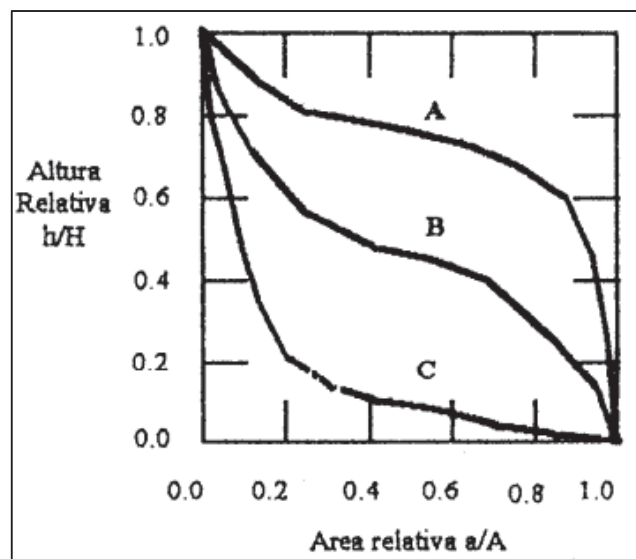
**FIGURA 3.3** CURVA HIPSOMÉTRICA, A) VALLES EXTENSOS Y CUMBRES ESCARPADAS, B) VALLES PROFUNDOS Y ANTIPLANOS



FUENTE: (Monsalve, 1995)

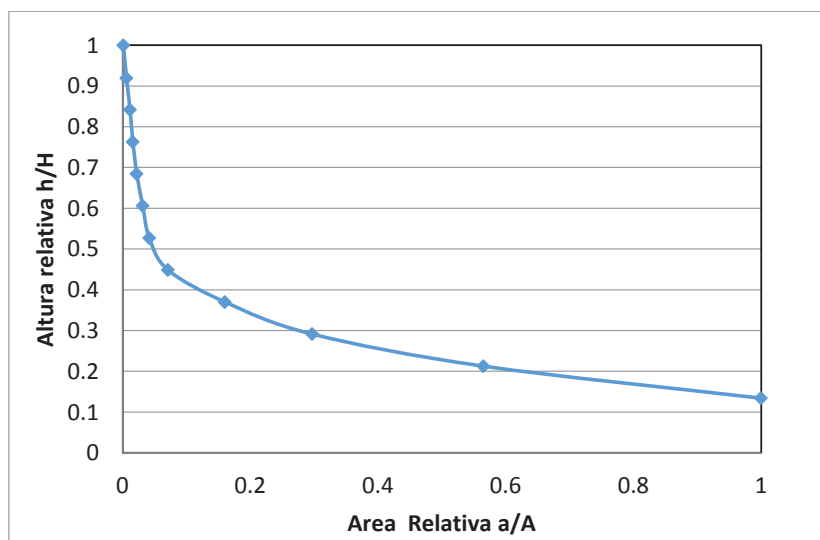
La curva hipsométrica unitaria de la CEP, que se presenta en la figura 3.5, se comparan con las curvas hipsométricas unitarias descritas por (Sau Soto, 2008) en la figura 3.4., el cual describe 3 curvas hipsométricas unitarias que corresponden a cuencas con potenciales evolutivos distintos, de los cuales la curva A presenta una cuenca con gran potencial erosivo, la curva B es característico de una cuenca en equilibrio y la curva C que corresponde a una cuenca sedimentaria (Villodas, 2008) (Sau Soto, 2008).

**FIGURA 3.4** CURVA HIPSOMÉTRICAS UNITARIA CON 3 TIPOS DE POTENCIALES EVOLUTIVOS



FUENTE: (Sau Soto, 2008)

**FIGURA 3.5** CURVA HIPSOMÉTRICA UNITARIA DE LA CEP



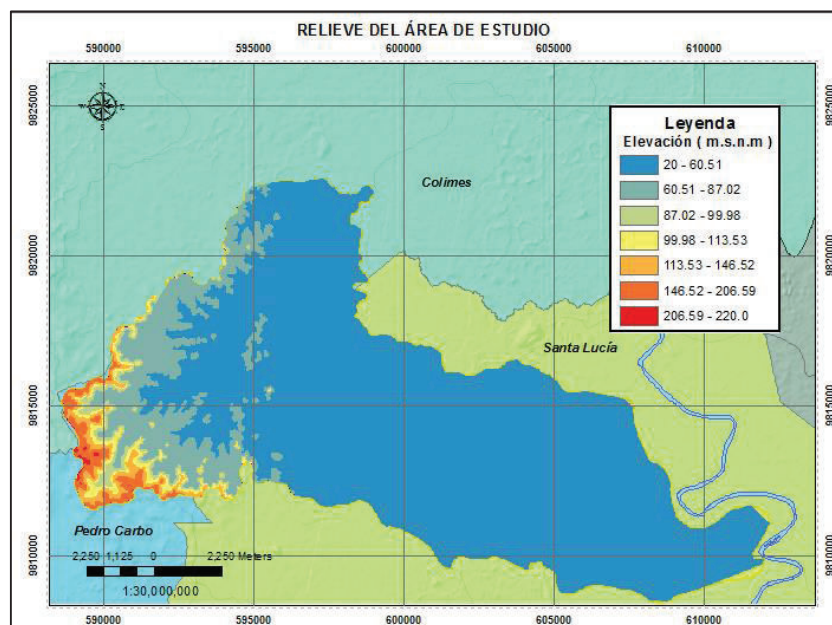
ELABORADO POR: Salazar Nelson

Como se observa en la figura 3.4 y 3.5 de las curvas hipsométricas unitarias, la CEP se asemeja más al estado evolutivo tipo C, que corresponde a una etapa de una cuenca erosionada de valle, sedimentaria, que es característica de zonas

geológicamente viejas, ubicada generalmente en lugares cercanos a las desembocaduras de los ríos (Villodas, 2008) (Sau Soto, 2008).

Respecto al mapa de relieves de la CEP, presente en la figura 3.6 el cual establece 7 rangos de cotas en m.s.n.m. El mapa se realizó a partir del procesamiento de las curvas de nivel en el software ArcGis, observando que la mayor porción de área de la CEP está entre la cota 20 a 60 m.s.n.m. y concuerda con lo detallado en el cuadro 3.3.

**FIGURA 3.6** RELIEVE DE LA CEP



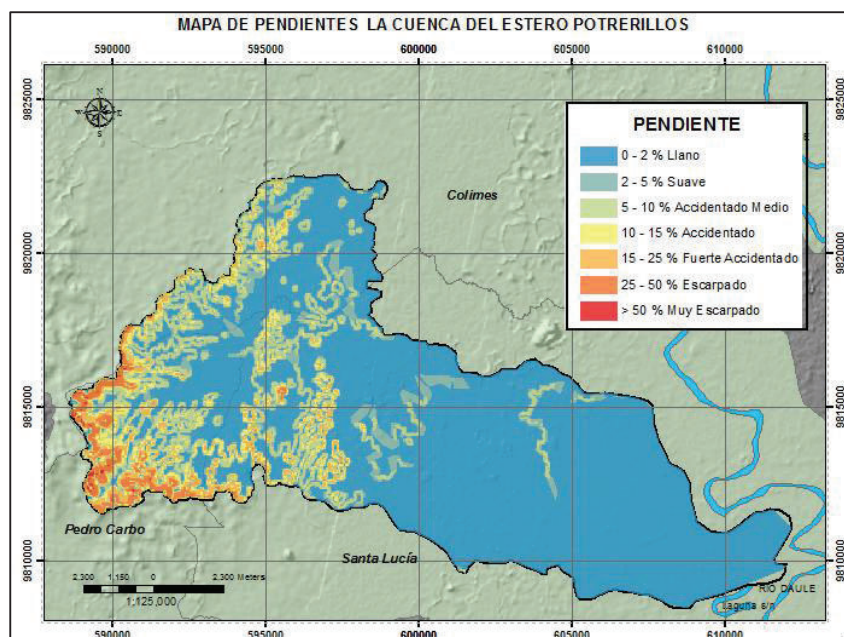
FUENTE: (SENAGUA, 2014)

ELABORADO POR: Salazar Nelson

### 3.2.2.2 CARACTERIZACIÓN DE LA PENDIENTE

Para la caracterización de la pendiente de la CEP, se dividió a la cuenca en varios rangos. Este proceso se realizó a partir del MDT generado para el área de estudio, luego con la herramienta *Slope* de ArcGis, se determina la pendiente y finalmente el archivo raster de pendientes es reclasificado en seis rangos de tipos de pendiente según la clasificación propuesta por (Heras, 1976) presente en la tabla 3.4. La figura 3.7 muestra el mapa de caracterización de la pendiente para la CEP.

**FIGURA 3.7** MAPA DE CARACTERIZACIÓN DE LAS PENDIENTES



FUENTE: (SENAGUA, 2014)

ELABORADO POR: Salazar Nelson

La tabla 3.4 presenta para la CEP, el porcentaje de área para los intervalos de pendiente definidos por (Heras, 1976).

**TABLA 3.4 CATEGORIZACIÓN DE LAS PENDIENTES DE LA CEP**

<b>Categorización (Heras, 1976)</b>	<b>Rango de Pendiente (%)</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcentaje (%)</b>
Llano	0 - 2	101.86	69.37
Suave	2 - 5	12.22	8.33
Accidentado Medio	5 - 10	17.08	11.63
Accidentado	10 - 15	6.73	4.59
Fuerte Accidentado	15 - 25	5.34	3.64
Escarpado	25 - 50	2.99	2.04
Muy Escarpado	> 50	0.134	0.09

FUENTE: (Heras, 1976)

ELABORADO POR: Salazar Nelson

Los resultados en la tabla 3.4 muestran que en la CEP, casi el 70% de la superficie (101.865 km<sup>2</sup>) presenta una pendiente llana. Poco más del 8% presenta pendientes suaves y casi un 12% pendiente accidentada medias. Solo un 10% de la cuenca presenta pendientes muy escarpadas

### **3.2.2.3 PENDIENTE MEDIA O PROMEDIO**

La pendiente media de la cuenca es un índice de la velocidad media de la escorrentía y, por lo tanto, de su poder erosivo. El cálculo se realiza con la media ponderada de las pendientes correspondientes a áreas elementales de la cuenca en las que la línea máxima de pendiente se mantiene constante (Ibañez, 2011).

En el cálculo de la pendiente media de la cuenca, se tomó intervalos cada 10% de pendiente, calculando el área en cada intervalo, se multiplica por el promedio de la pendiente del rango y se divide para su área, como se muestran en la ecuación 3.1. Para tal tarea, se empleó el software ArcGis utilizando como base el MDT, al cual se aplicó la herramienta Slope para el cálculo de la pendiente y el raster resultante fue reclasificado en diez intervalos iguales. Posteriormente se empleó la herramienta de ArcGis Zonal Statistics as Table, que suministró datos de



promedios y áreas para cada rango de pendiente reclasificada que se empleó en la ecuación 3.1.

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n (\text{Promedio } i * \text{Número de Ocurrencias } i)}{\sum_{i=1}^n (\# \text{Ocurrencias}(2) i)} \quad (3.1)$$

En donde:

n = Número de intervalos de clase;

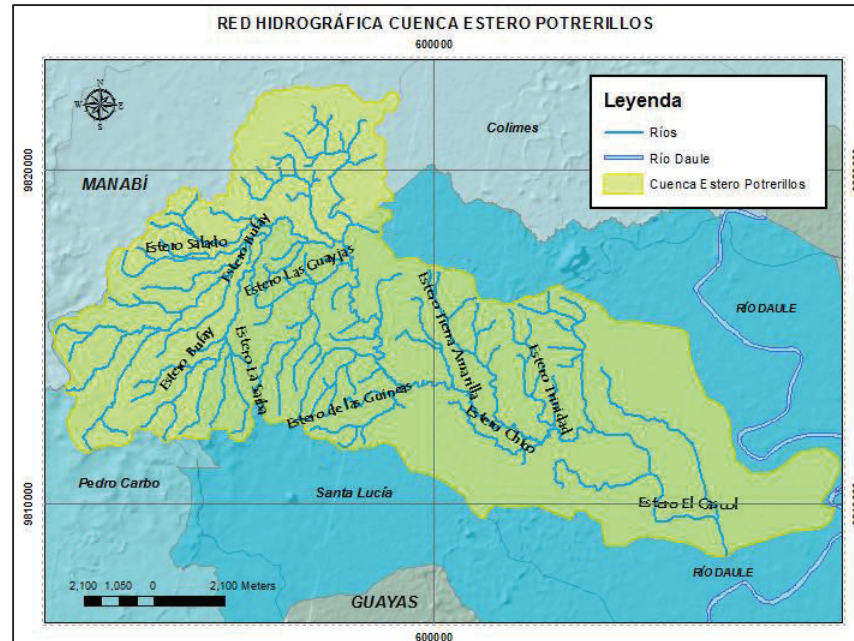
Promedio = El promedio de cada rango de pendiente;

Número de Ocurrencias = Es el número de celdas del raster reclasificado, que se contabilizó en cada rango de pendiente.

Como resultado del cálculo de la pendiente media de la CEP, se obtiene un valor de 8.48%, que se caracteriza como una pendiente accidentada media según la clasificación de pendientes realizada por (Heras, 1976) presente en la tabla 3.4.

### 3.2.3 PARÁMETROS RELATIVOS A LA RED DE DRENAJE

A continuación varias características de la red hídrica dentro de la CEP. Se hace mención que los datos de los ríos fueron tomados de la base de datos de SENAGUA con una escala de 1:50000. La red hidrográfica del área de estudio, se muestra en la figura 3.8, la conforman varios esteros que nacen en la parte alta de la cuenca como son el Estero Bufay, El Cascol, La Fortuna, Chico, Trinidad, Salado, Las Guayjas, Tierra Amarilla. La longitud de la red hídrica suma un total de 219.506 km y como río principal está el Estero Bufay con una longitud de 35.669 Km.

**FIGURA 3.8** RED HÍDRICA DE LA CEP

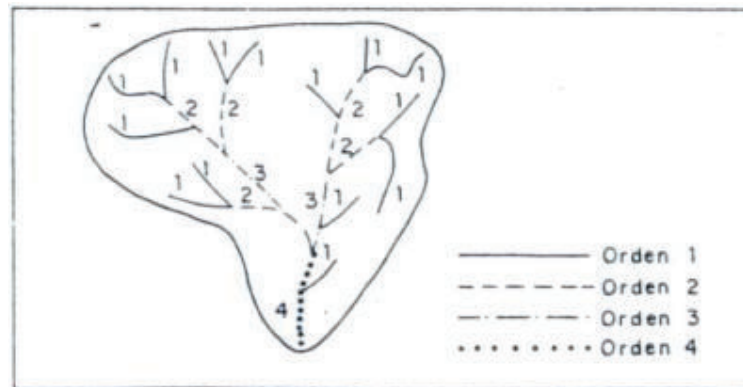
FUENTE: (SENAGUA, 2014)

ELABORADO POR: Salazar Nelson

### 3.2.3.1 ORDEN DE LA CEP

El orden de la cuenca indica el grado estructural de la red de drenaje, esto se interpreta que a mayor sea el grado de las corrientes hídricas, mayor será la red y su estructura definida. Según (Strahler, 1964), el orden de la cuenca va a ser el orden más alto que llegue a identificarse hasta llegar al cauce principal. Para determinar el orden hay que observar las corrientes de agua desde la periferia de la cuenca hasta que llegue a formar el cauce principal, enumerando cada ramificación o bifurcación desde el primer orden hasta el orden  $n+1$ , dentro de los límites de la cuenca y como se representa en la figura 3.9. De tal manera que, las corrientes de primer orden son canales pequeños sin tributarios, las de segundo orden corresponden a la unión de dos corrientes de primer orden y las corrientes de orden  $n+1$  son el resultado de la unión de dos corrientes de orden  $n$ .

**FIGURA 3.9** ESQUEMA DE ORDEN DE LA CUENCA SEGÚN STRAHLER



FUENTE: (Monsalve, 1995)

Para determinar el orden de la CEP se empleó el software ArcGis sobre el shape file de la red hidrográfica de la Cuenca Hidrográfica del Río Guayas que SENAGUA suministro para el presente estudio. La CEP tiene orden cuatro utilizando el método (Strahler, 1964).

**FIGURA 3.10** ORDEN DE LA CEP



FUENTE: (SENAGUA, 2014)

ELABORADO POR: Salazar Nelson

La clasificación según Fuentes (2004) que se presenta en la tabla 3.5, establece que a mayor número de orden, la cuenca presenta una mayor posibilidad de erosión.

**TABLA 3.5** CLASIFICACIÓN DEL RANGO DE ORDENES EN LA CUENCA

Rangos de ordenes	Clases de orden
1-2	Bajo
2.1-4	Medio
4.1-6	Alto

FUENTE: (Fuentes, 2004)

### 3.2.4 RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS RELATIVAS A LA RED HIDROGRÁFICA

**TABLA 3.6 RESUMEN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CEP**

Descripción	Unidad	Valor
<b>De la superficie</b>		
Área	km <sup>2</sup>	146.844
Perímetro	km	76.728
<b>Cotas</b>		
Cota Máxima	msnm	220
Cota Mínima	msnm	20
Desnivel Altitudinal	msnm	200
<b>Centroide</b>		
X	m	599756
Y	m	09815
Z	msnm	91.95
<b>Altitud</b>		
Altitud media	msnm	48.60
Altitud más frecuente	msnm	28.29
<b>Pendiente</b>		
Pendiente media de la cuenca	%	8.48
Pendiente, Llano (0-2%)	% /km <sup>2</sup>	69.37 / 101.86
Pendiente, Suave (2-5%)	% /km <sup>2</sup>	8.33 / 12.22
Pendiente, Accidentado Medio (5-10%)	% /km <sup>2</sup>	11.63 / 17.08
Pendiente, Accidentado Medio (10-15%)	% /km <sup>2</sup>	4.59 / 6.73
Pendiente, Fuerte Accidentado (15-25%)	% /km <sup>2</sup>	3.64 / 5.34
Pendiente, Escarpado (25-50%)	% /km <sup>2</sup>	2.04 / 2.99
Pendiente, Muy Escarpado (>50%)	% /km <sup>2</sup>	0.09 / 0.13
<b>De la red hídrica</b>		
Longitud del cauce principal	km	35.66
Orden de la red hídrica	UND	4
Longitud de la red hídrica	km	219.506

ELABORADO POR: Salazar Nelson

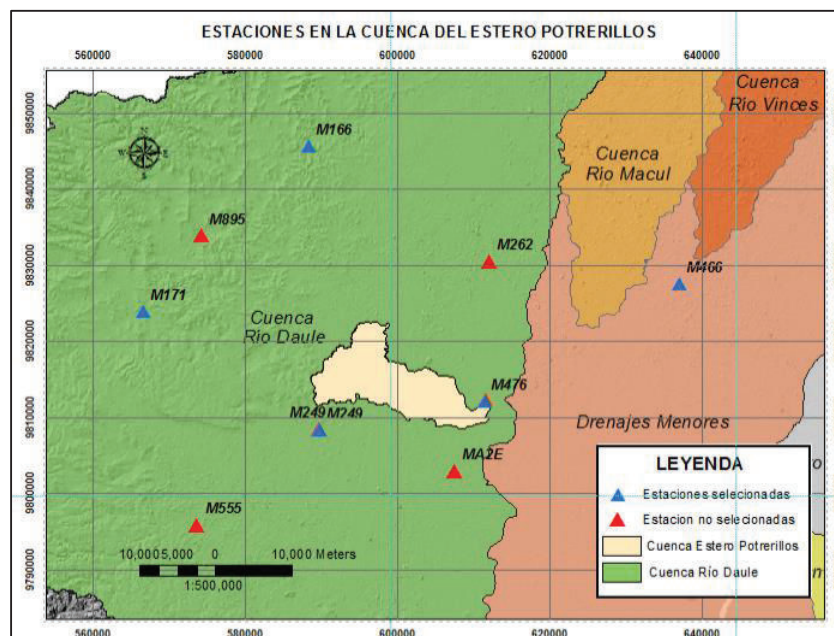
### 3.3 CLIMATOLOGÍA

#### 3.3.1 DATOS BASE

Para realizar el análisis del presente trabajo se han tomado los datos proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

La figura 3.11 muestra todas las estaciones disponibles próximas a la CEP. De las estaciones disponibles se seleccionan aquella que presentan coloración azul y que cumplen con los criterios de selección que son: la proximidad al área de estudio y la cantidad y continuidad de los registros disponibles en cada estación.

**FIGURA 3.11** MAPA DE UBICACIÓN DE ESTACIONESHIDROGRÁFICAS



FUENTE: (SENAGUA, 2014)

ELABORADO POR: Salazar Nelson

La tabla 3.7 detalla la información básica de las estaciones seleccionadas para el presente estudio, las cuales son M166, M171, M466 y M476, que poseen información continua desde 1981 al 2010. Además, se incluyó a la estación M249

que tiene 7 años de datos (1986 a 1991, 1995), con el objetivo de cubrir toda la CEP, con los puntos disponibles de la red de estaciones meteorológicas.

**TABLA 3.7 ESTACIONES (PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL)**

COD	ESTACION	TIPO	COORDENADAS		MSNM
			X (m)	Y (m)	
M166	OLMEDO-MANABI	CO	588224	9845826	50
M171	CAMPOSANO #2	CO	566617	9823940	156
M466	VINCES INAMHI	CO	639054	9828729	14
M476	DAULE-EN LA CAPILLA	PV	611696	9812499	7
M249	VALLE DE LA VIRGEN	CP	589850	9808395	130

FUENTE: (SENAGUA, 2014)

ELABORADO POR: Salazar Nelson

### 3.3.2 RELLENO DE DATOS FALTANTES

El relleno de los datos faltantes se realizó sobre los registros de precipitaciones medias mensuales que estaban incompletas, esto se replicó en todas las estaciones de la tabla 3.7. Para ello, se utilizan modelos de regresión de mínimos cuadrados. En general, se adopta el modelo de correlación si la regresión por mínimos cuadrados presenta coeficientes (R) mayores a 0.7.

La ecuación lineal de correlación es de la forma:

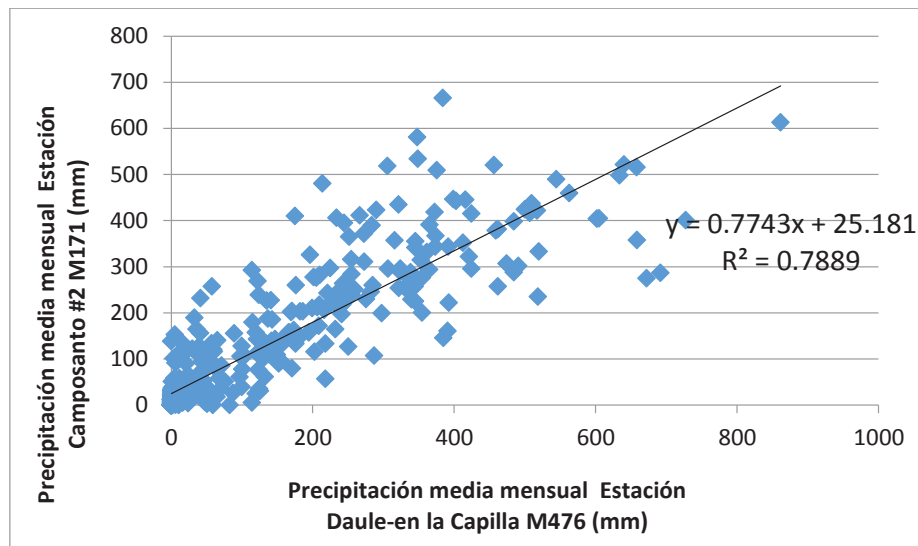
$$\text{Estación}_Y = A(\text{Estación}_X) + B \quad (3.2)$$

En donde:

A y B = Coeficientes de tendencia lineal.

En la figura 3.12 está un ejemplo de la correlación lineal de precipitaciones mensuales (1981-2010) entre las estaciones Camposanto #2 y Daule-en la Capilla.

**FIGURA 3.12** CORRELACIÓN LINEAL ENTRE LAS ESTACIÓN CAMPOSANTO #2 M171 – DAULE-EN LA CAPILLA M476



FUENTE: (INAMHI, 2014)

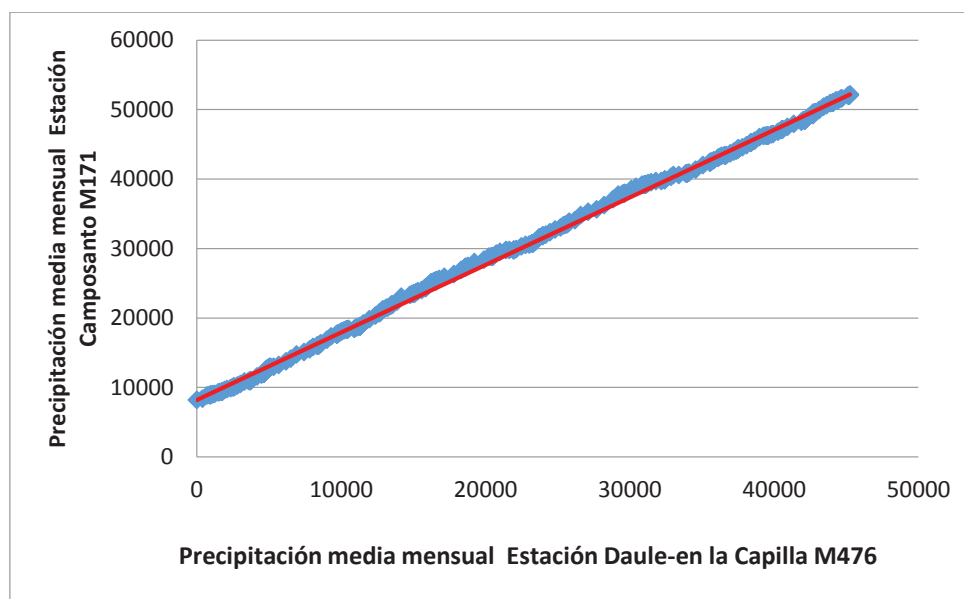
ELABORADO POR: Salazar Nelson

Para establecer la validez de las series climáticas, se hizo un análisis con las curvas de doble masa, que son una metodología que permite demostrar de manera gráfica la relación que existe entre las variables climáticas de estaciones circundantes entre sí. El método asume varias características de los datos, como su homogeneidad y que presentan una tendencia lineal con pendiente constante. Un ejemplo en la figura 3.13, donde se graficó la curva de doble masa de la estaciones Camposanto #2 (M171) y Daule-en la Capilla (M476), para las precipitaciones medias mensuales.

Las series de datos de las estaciones hidrológicas seleccionadas para el presente estudio se encuentran en el ANEXO N°1.



**FIGURA 3.13** CURVA DE DOBLE MASA ESTACIÓN CAMPOSANTO #2 M171 – DAULE-EN LA CAPILLA M476



FUENTE: (INAMHI, 2014)

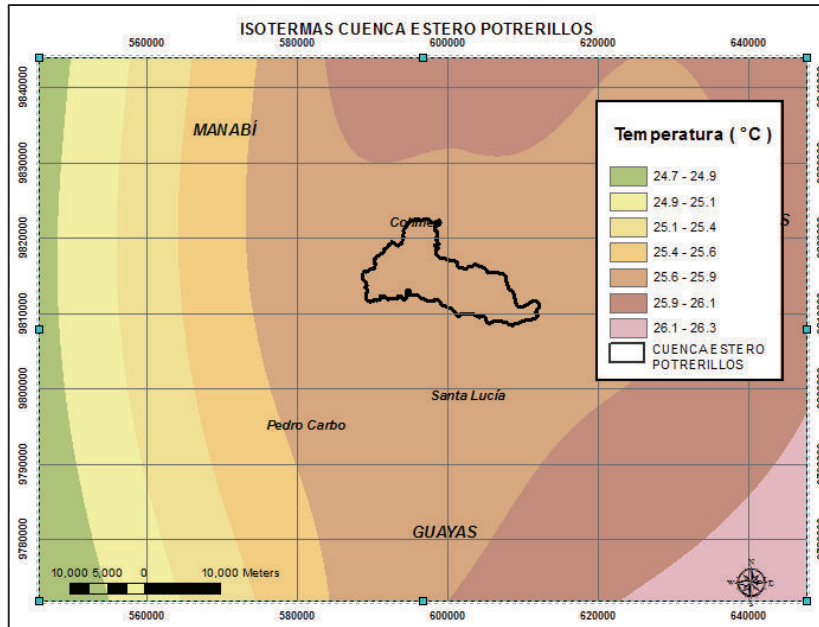
ELABORADO POR: Salazar Nelson

### 3.3.3 TEMPERATURA

En la visualización de la distribución espacial de la temperatura se emplea a la isoterma, que es una isólinea la cual representa en un plano espacial la temperatura en una unidad específica de tiempo, que pueden ser meses o años. En la construcción de las isotermas se consideró a la temperatura media anual de las estaciones más cercanas a la CEP.

El mapa de isotermas fue elaborado con la información del INAMHI de las estaciones meteorológicas características de la cuenca que se presentan en la tabla 3.8. En la figura 3.14 se observa que las isólineas con intervalos de 0.2 a 0.3 °C y que la temperatura media anual del aire en la CEP varía desde los 25.6°C a 25.9°C.

**FIGURA 3.14 ISOTERMAS EN CEP**



FUENTE: (INAMHI, 2014)

ELABORADO POR: Salazar Nelson

El criterio de selección de las estaciones fue la proximidad a la CEP y la longitud temporal de los registros anuales continuos (de 12 a 25 en todas las estaciones). La tabla 3.8 presenta las 6 estaciones seleccionadas para caracterizar la temperatura en la CEP con sus respectivas temperaturas medias mensuales y anuales.

**TABLA 3.8 ESTACIONES SELECCIONADAS PARA CARACTERIZAR LA TEMPERATURA DE LA CEP**

COD		M466	M166	M171	M172	MA2V	M169
ESTACION		VINCES INAMHI	OLMEDO- MANABI	CAMPOSANO #2	PUEBLO VIEJO	GUAYAQUIL- RADIO SONDA	JULCUY
TIPO		CO	CO	CO	CO	CP	CO
COORDENADAS	X (m)	637053	588334	566612	663267	624301	540912
	Y (m)	9827632	9845740	9823937	9828666	9756418	9836044
MSNM		23	62	107	32	6	240
TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C)	Ene	26.5	26.3	25.7	26.6	27.4	25.4
	Feb	26.4	26.2	25.7	26.6	26.8	25.5
	Mar	27.0	26.6	25.9	27.2	27.3	25.8
	Abr	26.9	26.6	25.9	27.2	27.5	25.9
	May	26.4	26.3	25.7	26.7	27.0	25.3
	Jun	25.0	25.5	25.3	25.8	25.6	24.4
	Jul	24.4	25.1	25.1	25.3	24.9	23.9
	Ago	24.5	25.3	25.1	25.2	24.9	23.9
	Sep	25.3	25.8	25.3	25.5	25.3	23.8
	Oct	25.5	26.0	25.3	25.9	25.6	23.9
	Nov	25.8	26.2	25.3	26.1	25.9	24.2
	Dic	26.6	26.5	25.6	26.7	27.0	24.8
Anual	(°C)	<b>25.9</b>	<b>26.0</b>	<b>25.5</b>	<b>26.3</b>	<b>26.3</b>	<b>24.7</b>
Años de Datos	N°	<b>12</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>19</b>	<b>15</b>	<b>25</b>

FUENTE: (INAMHI, 2014)

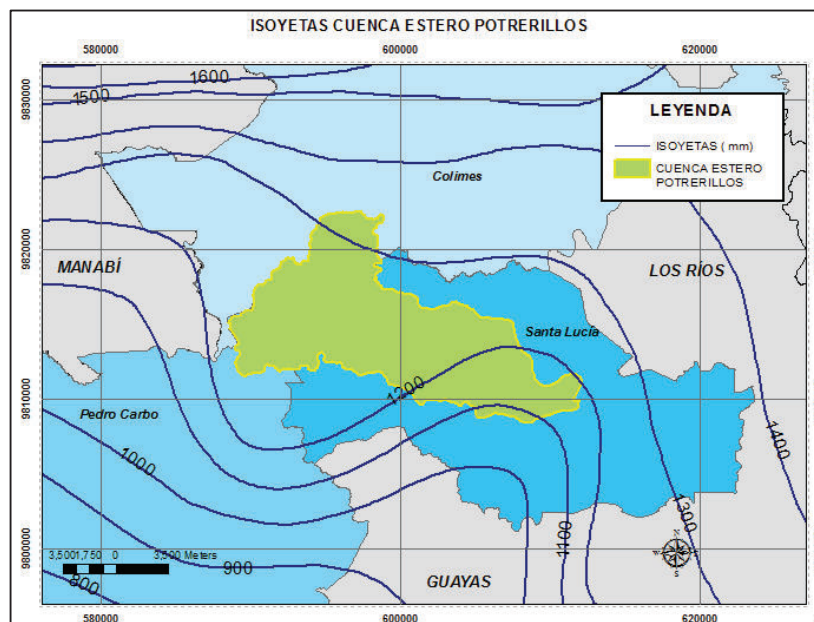
### 3.3.4 ZONAS DE PRECIPITACIÓN

La isoyeta es una isolínea que en un plano espacial dado, presenta la misma precipitación en una unidad específica de tiempo, que por lo general pueden ser meses o años. Para la determinación de las zonas de precipitación con las isoyetas se considera a la precipitación media anual de las estaciones cercanas a la CEP.

El presente análisis, se realizó en función del mapa de isoyetas propuesto por (SENPLADES, 2009) que se muestra en la figura 3.15. El mapa fue elaborado con la información del INAMHI de las estaciones meteorológicas características de la

cuenca del río Guayas, donde la variación de la precipitación se encuentra desde 500 mm en el extremo sur oriental, hasta los 3000 mm al nororiente. Sin embargo en la CEP, la variación de la precipitación es desde los 1100 -1200mm en el extremo sur, hasta los 1300-1400 mm al norte como se puede ver en la figura 3.15.

**FIGURA 3.15.** VARIACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL



FUENTE: (INAMHI, 2014)

ELABORADO POR: Salazar Nelson

### 3.3.5 ZONA CLIMÁTICA

Para determinar la clasificación climática propuesta por (Pourrut, 1995), la cual se basa en parámetros como precipitación total anual con sus regímenes y datos de temperatura media anual, los mismos que combinándolos dan como resultado los diferentes tipos de clima.

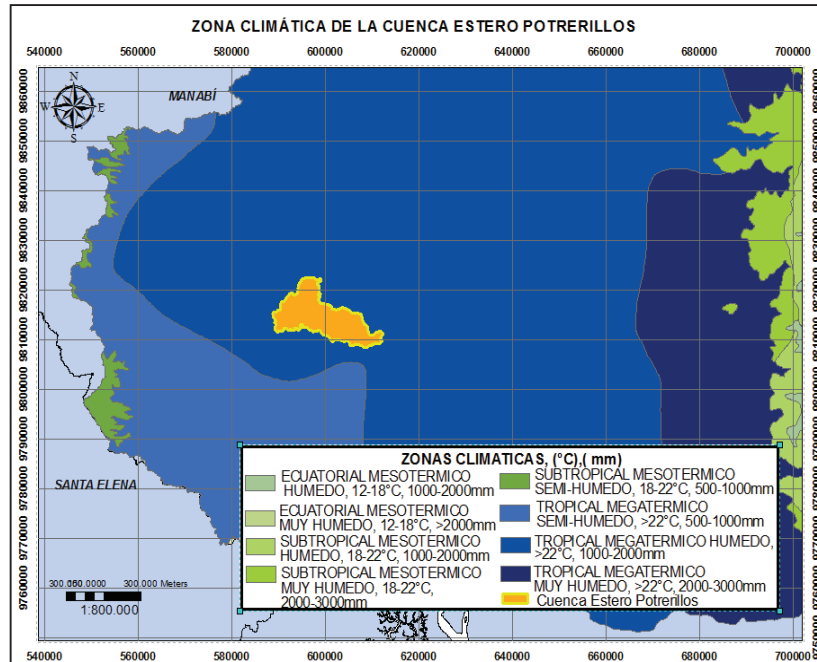
La CEP está ubicada en la región Costa, por lo que es dominante el Clima Tropical, con sus diferentes variaciones (Pourrut, 1995). Basándose en la información climática disponible, se caracterizó el clima de la cuenca que se muestra en la figura 3.16.

Analizando la figura 3.16 se observa como toda el área de la CEP está dentro de un área clasificada como Zona Tropical Megatérmica Húmeda, con un rango de precipitación de 1000 – 2000 mm y temperatura mayor a 22°C. El clima Tropical Megatérmico Húmedo, se encuentra dentro de la distribución geográfica del Clima de la Región Costa y marca la transición entre los climas ecuatoriales andinos y los climas de la zona litoral y amazónica (Pourrut, 1995).

Según la clasificación de (Pourrut, 1995) se define:

- "Tropical" cuando el número y distribución de los máximos pluviométricos corresponde a un solo máximo lluvioso y una estación seca marcada;
- "Húmedo" cuando la altura de las precipitaciones anuales total alcanzan valores entre 1000 y 2000 mm;
- "Megatérmico" cuando la temperatura media anual es superior a 22°C.

**FIGURA 3.16 VARIACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL**



FUENTE: (SENPLADES, 2009)

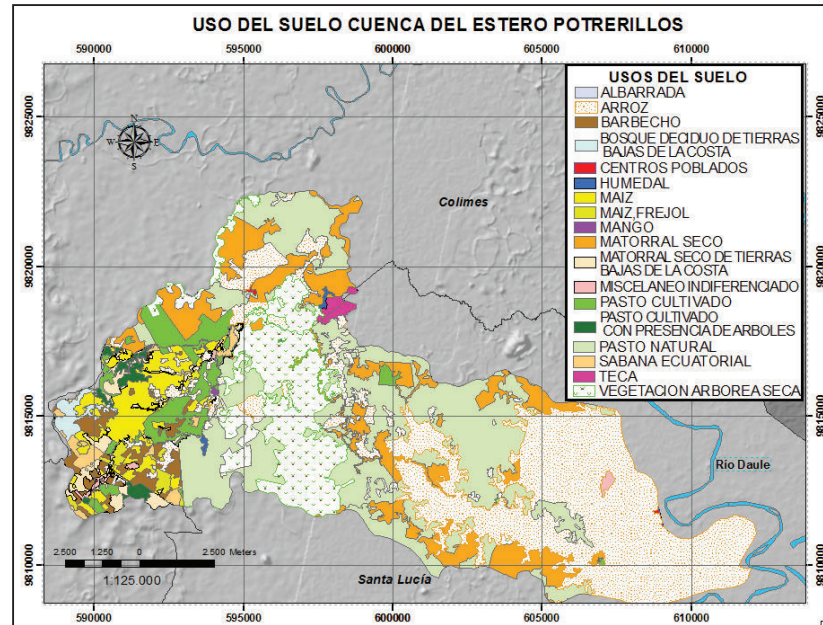
### 3.4 VEGETACIÓN Y USO DEL SUELO

#### 3.4.1 USOS DEL SUELO

Respecto del uso del suelo de la CEP, se efectuó una clasificación para poder identificar al área que ocupa cada uso y el porcentaje respecto a la superficie total.

Como se puede observar en la figura 3.17 la parte baja de la CEP, más próxima al río Daule, el cultivo de arroz se encuentra en mayor proporción junto con pequeños claros de matorral seco y pasto Natural. La zona media de la CEP está cubierta en su gran mayoría por Vegetación Arbórea Seca y Pasto Cultivado. La parte más alta de la CEP que forma parte de los cantones Colimes y Pedro Carbo se identifica cultivos como maíz, frejol, pasto cultivado acompañado de vegetación como matorral seco, pasto natural, vegetación arbórea y zonas de barbecho.

**FIGURA 3.17** MAPA DE LOS DIFERENTES USOS DEL SUELO EN LA CEP



FUENTE:(SENPLADES & IEE, 2009)

ELABORADO POR: Salazar Nelson

En cuanto al uso y cobertura en la CEP, es apreciable que los usos de suelo más significativos en cuanto a extensión son: el cultivo de arroz que es el más desarrollado en la CEP, cubriendo un 31.75% del área total; el pasto natural con 26.33% y en tercer lugar la vegetación arbórea seca y el matorral seco con el 12% cada uno. El resto de catorce usos del suelo se encuentran por debajo del 4.6% del área total de la CEP, como se observa en la tabla 3.9.

**TABLA 3.9** ÁREA Y PORCENTAJE DE LOS USOS Y COBERTURAS EN LA CEP

N°	USO DEL SUELO	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	%
1	ALBARRADA	0.018	0.012
2	ARROZ	46.633	31.758
3	BARBECHO	3.111	2.119
4	BOSQUE DECIDUO DE TIERRAS BAJAS DE LA COSTA	1.075	0.732
5	CENTROS POBLADOS	0.089	0.061
6	HUMEDAL	0.225	0.153
7	MAIZ	6.678	4.548
8	MAIZ,FREJOL	0.878	0.598
9	MANGO	0.075	0.051
10	MATORRAL SECO	17.718	12.067
11	MATORRAL SECO DE TIERRAS BAJAS DE LA COSTA	2.752	1.874
12	MISCELANEO INDIFERENCIADO	0.628	0.428
13	PASTO CULTIVADO	6.192	4.217
14	PASTO CULTIVADO CON PRESENCIA DE ARBOLES	1.329	0.905
15	PASTO NATURAL	38.668	26.334
16	SABANA ECUATORIAL	1.514	1.031
17	TECA	0.716	0.488
18	VEGETACION ARBOREA SECA	18.535	12.623
	<b>TOTAL</b>	<b>146.837</b>	<b>100.00</b>

FUENTE:(SENPLADES, 2009)

ELABORADO POR: Salazar Nelson

### 3.4.2 CLASIFICACIÓN DEL SUELO

#### 3.4.2.1 INFORMACIÓN DISPONIBLE

El presente estudio tuvo la necesidad de buscar información más detallada sobre las características de los suelos de la CEP, debido a los requerimientos de información para el cálculo del factor K que son más específicos. Por tal motivo, se indagó información sobre calicatas realizadas tanto dentro como fuera de la CEP, las cuales fueron levantadas por (SENPLADES, 2009) como parte del



proyecto “Generación de Geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1:25000” de los cantones Santa Lucía, Colimes y Pedro Carbo. A continuación en la figura 3.18 se muestra la distribución de las calicatas que se encuentran nombradas con el subgrupo de la clasificación Soil Taxonomy USDA 2006.

**FIGURA 3.18 UBICACIÓN DE LAS CALICATAS DISPONIBLES EN LA CEP**



FUENTE:(SENPLADES, 2009)

ELABORADO POR: Salazar Nelson

### 3.4.2.2 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DEL SUELO DE LA CEP

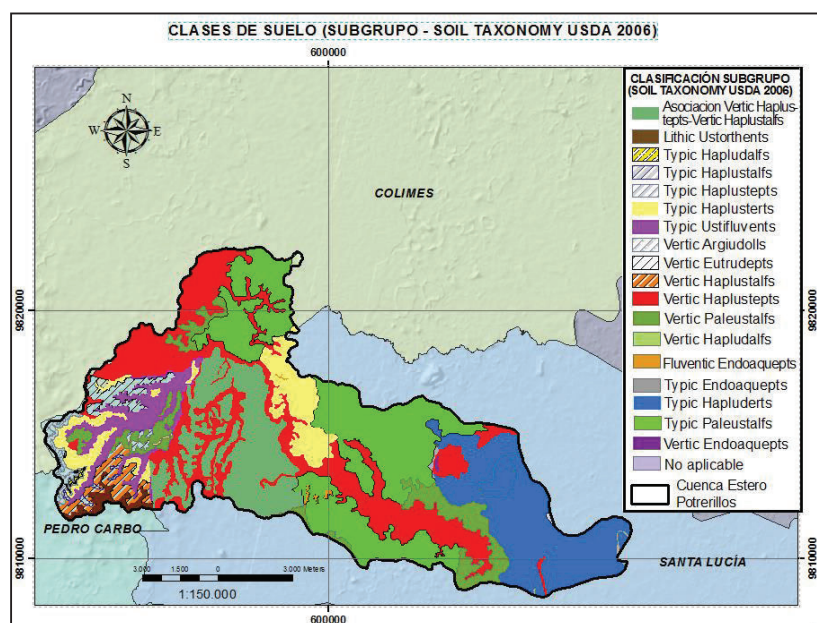
La información recabada utilizada para el estudio, detalla la clasificación del suelo a nivel de subgrupo del Soil Taxonomy USDA 2006.

Las claves en taxonomía en general están diseñadas para que los usuarios puedan determinar la clasificación correcta en este caso de un suelo y que pueda ser utilizada fácilmente en campo, usando sistemáticamente la clave. Se debe comenzar seleccionando primeramente la (Clave para Órdenes de Suelo), eliminando una por una los criterios hasta que cumplan todos, luego dentro de los órdenes se ubican las características del suelo que determine la (Clave para

Subórdenes), y de la misma manera se continúa con (Clave para Grandes Grupos) y finalmente (Clave para Subgrupos) que es nivel taxonómico que se utilizó en este estudio.

En la figura 3.19 está la ubicación geográfica de los Subgrupos de suelos encontrados en la CEP y la distribución de las áreas tanto en kilómetros cuadrados como en porcentajes como lo muestra la tabla 3.10.

**FIGURA 3.19** CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS EN LA CEP



FUENTE:(SENPLADES, 2009)

ELABORADO POR: Salazar Nelson

**TABLA 3.10** CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS

CLASIFICACIÓN (SOIL TAXONOMY USDA 2006)		ÁREA	ÁREA
CLAVE	SUBGRUPO	(Km <sup>2</sup> )	(%)
FEEP	Typic Haplusterts	10.315	7.02
FFBG	Typic Hapluderts	22.950	15.62
IHDF	Vertic Argiudolls	0.566	0.38
JCFD	Vertic Paleustalfs	10.006	6.81
JCFU	Typic Paleustalfs	34.047	23.18
JCHF	Vertic Haplustalfs	3.175	2.16
JCHX	Typic Haplustalfs	0.452	0.30
JEJF	Vertic Hapludalfs	0.220	0.15
JEJZ	Typic Hapludalfs	0.144	0.09
KAJC	Vertic Endoaquepts	0.086	0.05
KAJE	Fluventic Endoaquepts	0.189	0.12
KAJK	Typic Endoaquepts	0.308	0.20
KEDE	Vertic Haplustepts	33.217	22.62
KEDE- JCHF	Asociacion Vertic Haplustepts-Vertic Haplustalfs	19.089	12.99
KEDW	Typic Haplustepts	1.105	0.75
KGDD	Vertic Eutrudepts	2.846	1.93
LDDJ	Typic Ustifluvents	6.585	4.48
LEEB	Lithic Ustorthents	1.460	0.99
No Aplicable	No applicable	0.085	0.05

FUENTE:(SENPLADES, 2009)

ELABORADO POR: Salazar Nelson

Las características de la clasificación taxonómica de Subgrupos descritos en la CEP son los siguientes:

- FEEP–Typic Haplusterts: Suelos arcillosos en la superficie y a profundidad, drenaje moderado, moderadamente profundos, pH ligeramente Ácidos, fertilidad alta.
- FFBG–Typic Hapluderts: Suelos arcillosos en la superficie, arcillosos en la profundidad, drenaje moderado, poco profundo, pH prácticamente neutro y de alta fertilidad.

- IHDF–Vertic Argiudolls: Suelos franco arcillo-arenosos en superficie, franco arcillosos en profundidad, drenaje moderado, poco profundos, frecuente pedregosidad, pH ligeramente ácido y alta fertilidad
- JCFD–Vertic Paleustalfs: Suelos de textura franco limosa a superficie y arcillosa a profundidad, drenaje moderado, poco profundos, pH prácticamente neutro y fertilidad alta.
- JCFU–Typic Paleustalfs: Suelos franco – arenoso en la superficie, arcilloso en la profundidad, drenaje moderado, poco profundo, medianamente ácido y con baja fertilidad.
- JCHF–Vertic Haplustalfs: Suelos de textura franca en superficie y franco arcillosa a profundidad, bien drenados, poco profundos, pH prácticamente neutro y fertilidad alta.
- JCHX–Typic Haplustalfs: Suelos de textura franca, bien drenados, moderadamente profundos, pH ligeramente ácido y fertilidad alta.
- JEJF–Vertic Hapludalfs: Suelos de textura franco en la superficie y franco en la profundidad, con drenaje bueno, moderadamente profundos, pH ligeramente ácido y alta fertilidad.
- JEJZd–Typic Hapludalfs: Suelos de textura franco arcillo-arenosos en superficie y franco arcillosos a profundidad, bien drenados, poco profundos, pH ligeramente ácido y fertilidad alta
- KAJC–Vertic Endoaquepts: Suelos franco arcillosos, agrietados, buen drenaje, poco profundos, pH ligeramente ácido y mediana fertilidad.
- KAJE–Fluventic Endoaquepts: Suelo franco-arcilloso en la superficie y franco – arcilloso a profundidad, mal drenado, poco profundo, con pH prácticamente neutro y fertilidad media.
- KAJK–Typic Endoaquepts: Suelo es franco arcilloso en la superficie y franco – arcilloso a lo profundidad, mal drenado, poco profundo, con pH ligeramente ácido y con fertilidad media.
- KEDE–Vertic Haplustepts: Suelos de textura franca en superficie y franco arcillosa a profundidad, bien drenados, poco profundos, pH neutro y fertilidad alta.

- KEDE-JCHF Asociacion Vertic Haplustepts-Vertic Haplustalfs: Suelos franco arcilloso en la superficie y franco arenoso a profundidad, mal drenado, moderadamente profundo, con pH ligeramente ácido con fertilidad media.
- KEDW–Typic Haplustepts: Suelos franco arenosos, bien drenados, poco profundos, pH prácticamente neutro, alta fertilidad.
- KGDD –Vertic Eutrudepts: Suelo franco – arcilloso en la superficie y franco arcilloso a profundidad, bien drenado, poco profundo, con pH ligeramente ácido con fertilidad media.
- LDDJ–Typic Ustifluvents: Suelos de textura franco arcillosa y franco limosa a profundidad, drenaje moderado, moderadamente profundo, pH ligeramente ácido y fertilidad alta.
- LEEB–Lithic Ustorthents: Suelos de textura franca en superficie y franco arcillo-arenosa a profundidad, bien drenado, poco profundo, poca pedregosidad, pH medianamente ácido y fertilidad mediana.

### 3.4.2.3 TEXTURA

La textura es una propiedad física del suelo y exclusiva de la fase sólida, siendo más específico de la fracción inorgánica. Además es aquella propiedad que establece las cantidades relativas que se encuentran en partículas menores a 2 mm de diámetro, también llamadas separados; estas se agrupan en 3 clases de tamaños, según Jaramillo (2002), se muestran en la tabla 3.11 y son: arena, limo y arcilla.

**TABLA 3.11** CLASIFICACIÓN DEL SUELO POR EL RANGO DE DIÁMETRO DE LAS PARTÍCULAS

SEPARADO	RANGO DE DIÁMETRO DE PARTÍCULA (mm)
	USDA
ARENA	2 - 0.05
LIMO	0.05 - 0.002
ARCILLA	< 0.002

FUENTE: (Jaramillo, 2002)

La clasificación de la textura es determinada según las clases del triángulo de texturas de suelos. Esta variable está en función de la proporción que exista de los separados de arcilla, limo y arena. La tabla 3.12, muestra para las calicatas que están dentro de la CEP, la proporción de arenas, limos y arcillas y su respectiva clase textural.

**TABLA 3.12** PORCENTAJE DE SEPARADO Y TEXTURA DEL SUELO, EN CALICATAS DENTRO DE LA CEP

SOIL TAXONOMY 2006 - CLAVE	CÓDIGO CALICATA	SEPARADO			TEXTURA
		ARENA %	LIMO %	ARCILLA %	
KEDE	CG4-P029	17	26	57	Arcilloso
KEDE	CG4-P031	59	22	19	Franco arenoso
JCFU	CG4-P033	54	30	16	Franco arenoso
FEEP	CG4-P034	34	26	40	Franco arcilloso

FUENTE: (SENPLADES, 2009)

### 3.4.2.4 ESTRUCTURA DEL SUELO

La estructura del suelo es un arreglo de las partículas primarias en unidades secundarias denominadas agregados, unidades estructurales o pedos de diferente tamaño y forma.

Los agregados se clasifican según su forma o tipo, tamaño o clase y la resistencia a ser destruidas, que se traduce como el grado de desarrollo del suelo. Las diferentes variaciones de tipo, forma y clase que determinan la estructura del suelo se presentan en la tabla 3.13; para los suelos que no presentan estructura donde, las partículas estén todas unidas formando una fase continua, o están completamente separadas unas de otras respectivamente, se utiliza los términos como masiva o suelta.

**TABLA 3.13** CARACTERIZACIÓN DEL TIPO Y DE LA CLASE DE ESTRUCTURA DEL SUELO

TIPO (Forma y disposición de los agregados)								
CLASE	Laminiforme (Orientación en un plano horizontal)	PRISMAS Orientación alrededor de un eje vertical bien definidas		POLIEDROS Orientación alrededor de un punto		ESFEROIDE Orientación alrededor de un punto		
		Sin redondeamiento en partes superiores	Con redondeamiento en partes superiores	Vértices angulosos	Vértices redondeados	Muy poco poroso	Porosos	
Tamaño de los agregados	(mm)	Laminar	Prismática	Columnar	Bloques angulares	Bloques subangulares	Granular	Migajosa
MUY FINA	<1	<10	<10	<5	<5	<1	<1	
FINA	1 a 2	10 a 20	10 a 20	5 a 10	5 a 10	1 a 2	1 a 2	
MEDIA	2 a 5	20 a 50	20 a 50	10 a 20	10 a 20	2 a 5	2 a 5	
GRUESA	5 a 10	50 a 100	50 a 100	20 a 50	20 a 50	5 a 10		
MUY GRUESA	>10	>100	>100	>50	>50	>10		

FUENTE: (Jaramillo, 2002)

En la tabla 3.14 se describe la estructura del suelo de las calicatas ubicadas dentro de la CEP y se observa que las tres primeras tienen estructura en bloques angulares y la cuarta no posee estructura.

**TABLA 3.14** ESTRUCTURA DE LOS SUELOS, EN CALICATAS DENTRO DE LA CEP

SOIL TAXONOMY 2006 - CLAVE	CÓDIGO DE CALICATA	ESTRUCTURA	PROFUNDIDAD (cm)
		Características	
KEDE	CG4-P029	Estructura en bloques angulares, de tamaño grueso y grado fuerte	0 - 35
KEDE	CG4-P031	Estructura en bloques angulares, de tamaño medio y grado fuerte	0 - 14
JCFU	CG4-P033	Estructura en bloques sub angulares, de tamaño medio y grado moderado	0 - 8
FEEP	CG4-P034	Sin estructura, masiva, tamaño grueso	0 - 9

FUENTE:(SENPLADES, 2009)

En lo que respecta a la estructura del suelo, relacionado con el tipo y la clase, se observó cierta frecuencia que los patrones estructurales en bloques presentan horizontes con altos contenidos de arcilla (argílicos en Alfisoles), contenidos de óxidos de hierro y aluminio (Ultisoles, horizontes óxicos) (Jaramillo, 2002).

Cuando existe falta de estructura, puede estar relacionada con un bajo grado de evolución del suelo, con la presencia de materiales parentales con las siguientes características: son materiales muy recientes, pobres en minerales meteorizables, ubicados bajo unas condiciones ambientales desfavorables como por ejemplo en zonas de inundaciones prolongadas (Jaramillo, 2002).



### 3.4.2.5 MATERIA ORGÁNICA

La Materia orgánica presente en el suelo lo conforman los residuos de plantas, animales, que se encuentran en varios estados de descomposición y su contenido varía según la tasa de mineralización. En la tabla 3.15 está la clasificación para los suelos de la costa definidos por (INIAP, 2006), en función del porcentaje de materia orgánica presente en el suelo.

**TABLA 3.15** CLASIFICACIÓN DEL PORCENTAJE DE MATERIA ORGÁNICA EN SUELOS DE LA COSTA

MATERIA ORGÁNICA		SUELO/REGIÓN
NIVEL	PORCENTAJE (%)	
Bajo	< 1,1%	Suelo de la Costa
Medio	1,0 % - 2,1%	Suelo de la Costa
Alto	> 2,1%	Suelo de la Costa

FUENTE: (INIAP, 2006)

El parámetro de materia orgánica se expresa en porcentaje, que es el resultado del análisis de laboratorio al cuantificar el contenido de materia orgánica fácilmente oxidable, por medio de la oxidación incompleta en frío del carbono en un medio ácido y en presencia de dicromato de potasio (INIAP, 2006).

En cuanto en la relación con el suelo, se menciona que la materia orgánica en porcentajes, entre medio y bajo pueden estar ligados a procesos de lavado y/o erosión como resultado del mal uso y manejo de los suelos (INIAP, 2006). En la tabla 3.16 están las calicatas que se encuentran dentro de la CEP con su respectivo porcentaje y nivel de materia orgánica; observando que para las tres primeras registran niveles entre bajos y medios.

**TABLA 3.16** PORCENTAJE DE MATERIA ORGÁNICA EN CALICATAS DENTRO DE LA CEP

SOIL TAXONOMY 2006 - CLAVE	CÓDIGO DE C/ALICATA	MATERIA ORGÁNICA	
		%	NIVEL
KEDE	CG4-P029	0.90	Bajo
KEDE	CG4-P031	1.30	Medio
JCFU	CG4-P033	1.20	Medio
FEEP	CG4-P034	5.80	Alto

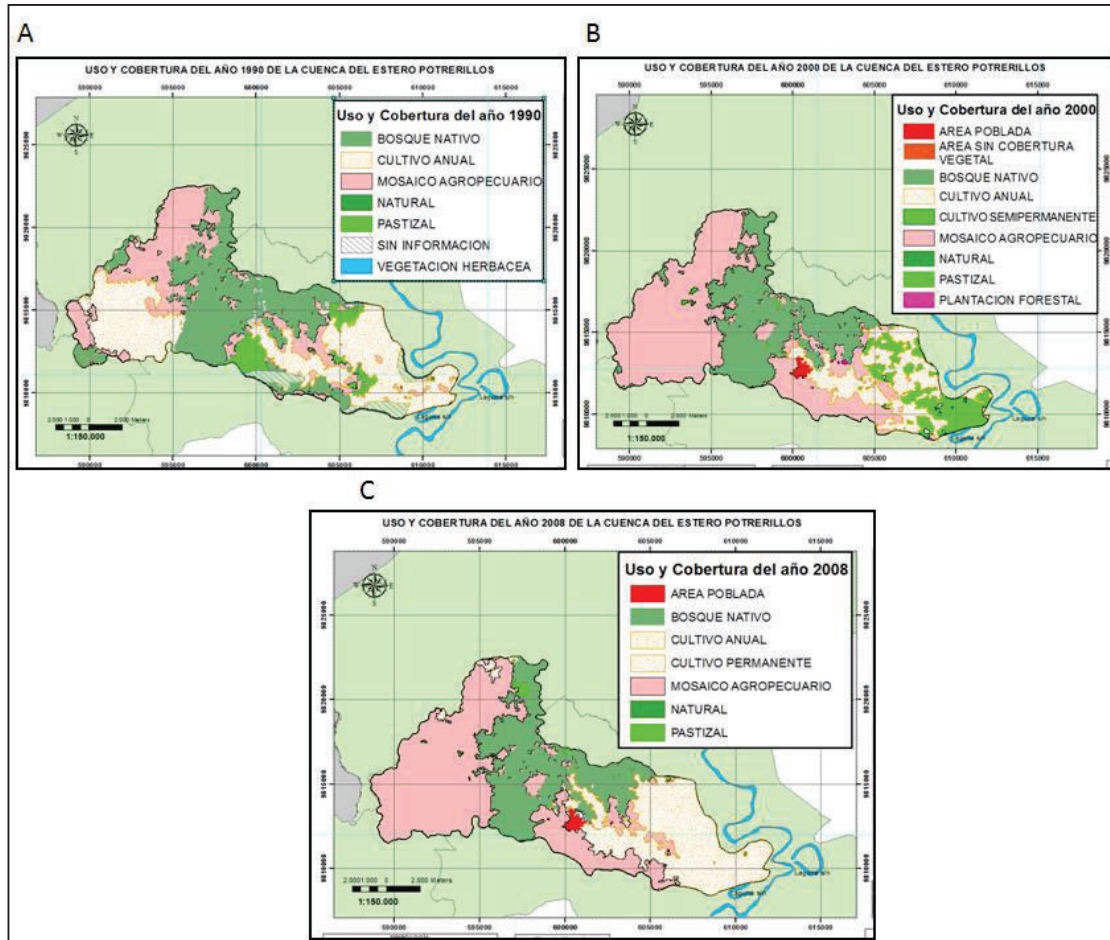
FUENTE:(SENPLADES, 2009)

### 3.5 REVISIÓN DE INFORMACIÓN EXISTENTE

#### 3.5.1 VEGETACIÓN DE BOSQUE NATIVO AÑOS 1990, 2000 Y 2008

En la figura 3.20 se observa la evolución de la distribución tanto del bosque nativo como la de los cultivos en un período de 20 años aproximadamente. Detallando que las áreas para cultivos se ubican en la parte baja y alta hacia el oeste de la CEP, ganando terreno poco a poco con los años al bosque nativo, que se encuentra en la parte media de la CEP.

**FIGURA 3.20** USO Y COBERTURA DEL SUELO EN LA CEP EN LOS AÑOS 1990, 2000 Y 2008



FUENTE: MAE

ELABORADO POR: Salazar Nelson

Con referencia a la tabla 3.17, en el cual presenta las diferencias entre el área cubierta por los cultivos y la vegetación natural en la cuenca de estudio a lo largo de aproximadamente de 20 años, notando que en los tres períodos 1990, 2000 y 2008 existe una pérdida paulatina de bosque nativo y un aumento en el área que cubren los cultivos en la CEP.

**TABLA 3.17 USO Y COBERTURA DE LOS AÑOS 1990, 2000 Y 2008 EN LA CEP**

USO Y COBERTURA	1990		2000		2008	
	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	%	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	%	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	%
AREA POBLADA	0.000	0.000	0.905	0.617	0.905	0.617
AREA SIN COBERTURA VEGETAL	0.000	0.000	0.045	0.031	0.000	0.000
BOSQUE NATIVO	45.888	31.249	40.345	27.475	38.018	25.890
CULTIVO ANUAL	50.526	34.408	21.770	14.825	39.316	26.774
CULTIVO SEMIPERMANENTE	0.000	0.000	13.326	9.075	0.325	0.221
MOSAICO AGROPECUARIO	36.562	24.898	69.619	47.410	67.073	45.676
NATURAL	0.122	0.083	0.122	0.083	0.122	0.083
PASTIZAL	6.984	4.756	0.604	0.411	1.085	0.739
PLANTACION FORESTAL	0.000	0.000	0.108	0.074	0.000	0.000
VEGETACION HERBÁCEA	0.0003	0.0002	0.000	0.000	0.000	0.000
SIN INFORMACION	6.762	4.605	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>TOTAL</b>	<b>146.845</b>	<b>100</b>	<b>146.845</b>	<b>100</b>	<b>146.845</b>	<b>100</b>

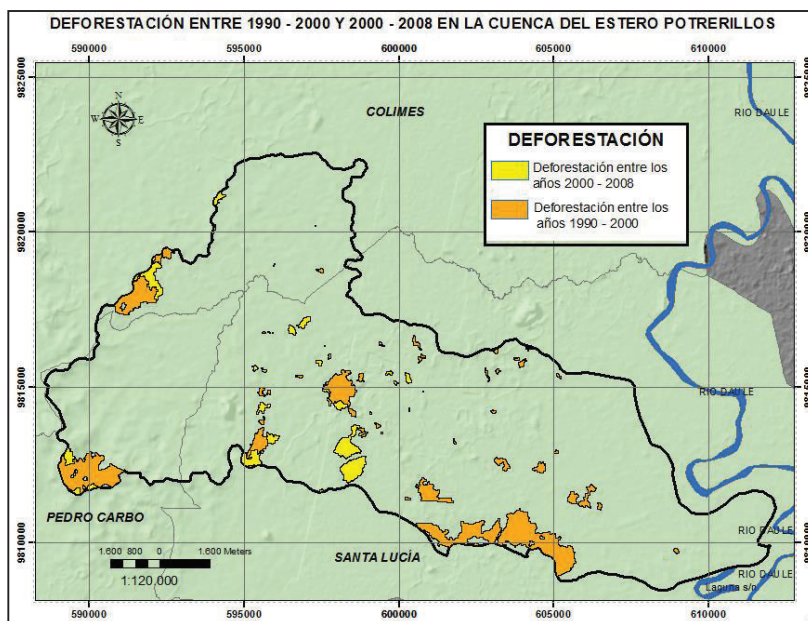
FUENTE: (MAE, 2014)

ELABORADO POR: Salazar Nelson

### 3.5.2 DEFORESTACIÓN EN LOS PERÍODOS 1990-2000 Y 2000-2008

En la figura 3.21 la cual presenta las áreas deforestadas en los períodos 1990 - 2000 y 2000 – 2008. Es importante resaltar que estas áreas no se superponen la una sobre la otra; con esta aclaración se observa que en el período 1990 – 2000 se deforestó una mayor área de vegetación y que esta se distribuye a lo largo de la zona baja, media y alta de la CEP. Por otra parte la deforestación entre los años 2000 – 2008 se ubica en la zona media y alta de la CEP.

**FIGURA 3.21** MAPA DE LAS ÁREAS DEFORESTADAS EN LOS AÑOS 1990-2000 Y 2000-2008 EN LA CEP



FUENTE: (MAE, 2014)

ELABORADO POR: Salazar Nelson

El área total deforestada es de 10.271 Km<sup>2</sup> y que representa el 7.01 % del total de la CEP, además existió una mayor área deforestada en el período del año 1990 al 2000 como se puede observar en la tabla 3.18.

**TABLA 3.18** ÁREA Y PORCENTAJE DE DEFORESTADO EN 1990-2000 Y 2000-2008

DEFORESTACIÓN	AREA (km <sup>2</sup> )	% EN RELACIÓN AL ÁREA TOTAL (CEP)
PERÍODO 1990 - 2000	7.936	5.419
PERÍODO 2000 - 2008	2.335	1.594
<b>TOTAL</b>	<b>10.271</b>	<b>7.013</b>

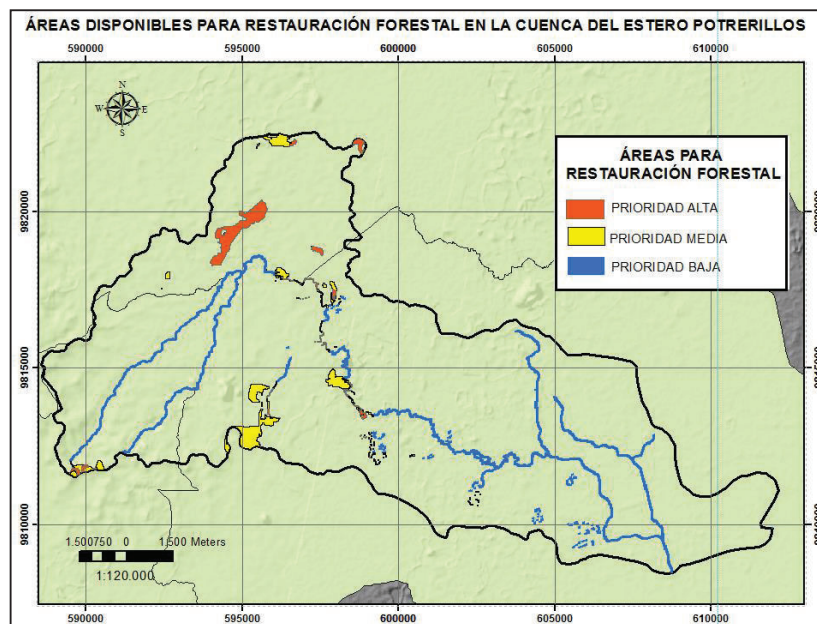
FUENTE: (MAE, 2014)

ELABORADO POR: Salazar Nelson

### 3.5.3 ÁREA A RESTAURAR DENTRO DEL PLAN NACIONAL DE RESTAURACIÓN FORESTAL 2014-2017

Las áreas disponibles a una restauración forestal se encuentran clasificadas como de alta, media y baja prioridad como se puede observar en la figura 3.22. Las áreas de prioridad alta se encuentran ubicadas en la parte alta de la CEP en la porción perteneciente al cantón Colimes; las de prioridad media en la parte alta, media y las de prioridad baja a lo largo de toda la CEP bordeando al cauce principal.

**FIGURA 3.22** MAPA DE ÁREAS DISPONIBLES PARA REALIZAR RESTAURACIÓN FORESTAL



FUENTE: (MAE, 2014)

ELABORADO POR: Salazar Nelson

El área total disponible para restauración forestal es de 5.08 km<sup>2</sup>, representando un 3.47% de la extensión total de la CEP, como se observa en la tabla 3.19, la mayor extensión disponible a restaurar es el área de prioridad media con 1.89 km<sup>2</sup>, que significa el 1.29% del área total.

**TABLA 3.19** ÁREAS DISPONIBLES A RESTAURAR EN (CEP) DE ACUERDO CON EL PLAN NACIONAL DE RESTAURACIÓN FORESTAL 2014-2017

ÁREAS PARA RESTURACIÓN FORESTAL	AREA (km <sup>2</sup> )	% EN RELACIÓN AL ÁREA TOTAL (CEP)
PRIORIDAD ALTA	1.42	0.97
PRIORIDAD BAJA	1.77	1.21
PRIORIDAD MEDIA	1.89	1.29
<b>TOTAL</b>	<b>5.08</b>	<b>3.47</b>

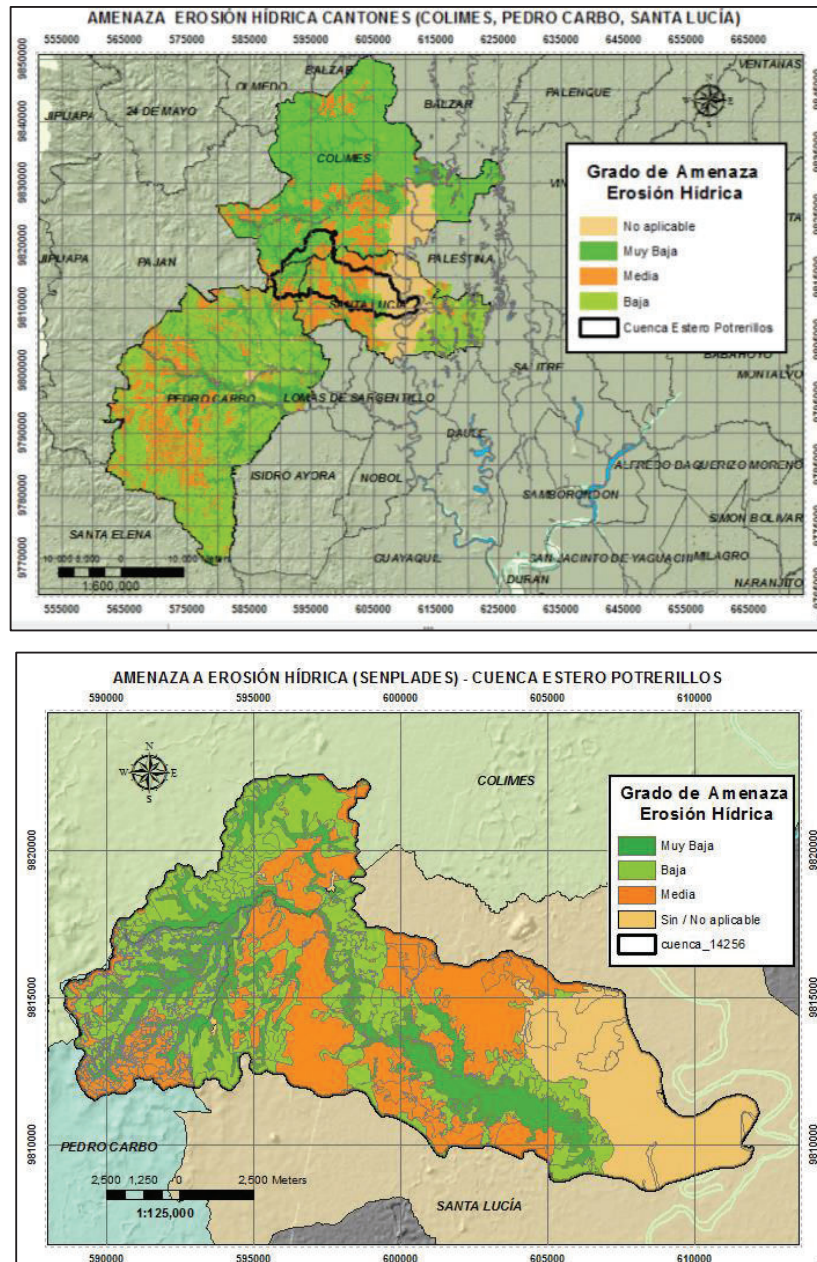
FUENTE: (MAE, 2014)

ELABORADO POR: Salazar Nelson

### 3.5.4 AMENAZA DE EROSIÓN HÍDRICA EN LOS CANTONES COLIMES, SANTA LUCÍA Y PEDRO CARBO EN LA PROVINCIA DEL GUAYAS

Son 3 estudios que fueron desarrollados para cada cantón entre los años 2009 y 2012 por (SENPLADES) como parte del proyecto “Generación de Geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1:25000”, mediante la metodología de aplicación del método de jerarquías analíticas (Saaty, 1980). Para la aplicación de este modelo se calcula el Índice de Susceptibilidad a la Erosión Hídrica (ISE) mediante la ponderación de los valores obtenidos como: pendiente, grado de protección vegetal, textura, materia orgánica, profundidad, longitud de la vertiente y forma de la vertiente. Posteriormente se calcula la agresividad pluvial (AP) en cuatro niveles. Para la obtención de la Amenaza a Erosión Hídrica se utiliza un sistema matricial lógico de doble entrada entre el ISE y la AP en el que se definieron cuatro niveles de erosión hídrica (Muy Baja, Baja, Media y Alta), que se puede observar tanto a nivel cantonal como a nivel del área de estudio en la figura 3.23.

**FIGURA 3.23 AMENAZA A EROSIÓN HÍDRICA DE LOS CANTONES COLIMES, PEDRO CARBO Y SANTA LUCÍA**



FUENTE: (MAE, 2014)

ELABORADO POR: Salazar Nelson



## **CAPÍTULO 4**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1 DETERMINACIÓN DE LA EROSIÓN EN LA CUENCA DE RECEPCIÓN APLICANDO EL MODELO USLE**

##### **4.1.1 USLE**

Dentro de los procesos de erosión superficial existe la erosión laminar, la cual será evaluada en el presente estudio, con métodos desarrollados que estiman la pérdida de suelo a través de un modelo paramétrico llamado Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) (Tapia, 2012).

USLE es un modelo matemático empírico que se basa en datos de más de 10000 parcelas año, desarrollado por W.H. Wischmeier y D.D Smith, que permite estimar la pérdida promedio anual de suelos y que se entiende como la tasa de erosión hídrica en toneladas por hectárea de superficie durante un año (Tapia, 2012).

La ecuación establecida por Wischmeier & Smith (1965, 1978) permite predecir a largo plazo la pérdida de suelo media anual más probable, que es el promedio de un periodo representativo de años, que se produce en áreas pequeñas, como laderas o parcelas aisladas, debido a la erosión superficial, laminar.

La expresión es la siguiente:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (4.1)$$

Donde:

A = Pérdida de suelo promedio anual, ( $t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$ );

R = Factor de erosividad de la lluvia, ( $MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1}$ );

K = Factor de erosionabilidad del suelo, ( $t \cdot ha \cdot h \cdot ha^{-1} \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$ );

L = Factor de longitud de ladera, (adimensional);

S = Factor de pendiente, (adimensional);

C = Factor de manejo de la cubierta vegetal, (adimensional);

P = Factor de prácticas de conservación de suelos, (adimensional).

Estos parámetros no tienen realidad física, su evaluación es experimental; se trata de una formulación empírica que es resultado de relacionar los efectos de los procesos erosivos con sus causas. Los valores estimados de los factores se obtienen a partir de algoritmos, gráficos y tablas; fuera del ámbito de los datos originales, estos gráficos y tablas resultarán incompletos y, quizá, inexactos, por lo que la posibilidad de ser extrapolados a condiciones ambientales diferentes está limitada.

La ecuación de USLE solo puede ser aplicable para los fines en los que fue establecida. Así, por ejemplo, no es válida para estimar la producción de sedimentos en cuencas hidrográficas, ni predecir la erosión en cárcavas o barrancos, ni las pérdidas de suelo en una tormenta aislada. Con estas limitaciones de aplicación del modelo, es interesante emplear la USLE para tratar de cuantificar con exactitud las pérdidas de suelo en la zona, como una guía que permita tomar decisiones y seleccionar las prácticas agrícolas y medidas de conservación adecuadas, a través del análisis de la influencia de cada uno de los parámetros. A continuación en la tabla 4.1 una rápida descripción de los factores del modelo USLE.

**TABLA 4.1** DESCRIPCIÓN DE LOS FACTORES IMPLICADOS EN EL MODELO USLE

<b>MODELO U.S.L.E.</b>		
<b>FACTOR</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDADES</b>
<b>R</b> Factor Erosividad	Potencialidad del aguacero para erosionar superficialmente el suelo	(MJ.mm.ha <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup> )
<b>K</b> Factor Erosionabilidad del Suelo	Susceptibilidad del suelo a ser erosionado	(t.ha.h.ha <sup>-1</sup> .MJ <sup>-1</sup> .mm <sup>-1</sup> )
<b>LS</b> Factor Topográfico	Combinación del factor L, longitud de pendiente, y el factor de pendiente S	adimensional
<b>C</b> Factor Cultivo	Influencia del tipo de cubierta de vegetación	adimensional
<b>P</b> Factor de Prácticas de Conservación del Suelo	Influencia de las prácticas de conservación del suelo	adimensional
<b>A</b> Factor Pérdida de Suelo Promedio Anual	Estima la tasa de erosión hídrica	(t.ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup> )

FUENTE: (Folgueiras, 2013)

#### 4.1.2 FACTOR R (EROSIVIDAD DE LA LLUVIA)

Como se presenta en la ecuación 4.2 existe una relación lineal entre la erosividad que produce una tormenta con el producto de la energía cinética y su respectiva intensidad de precipitación. Al factor R como se expresa en la ecuación 4.3, es el resultado de la sumatoria de los valores de erosividad en un período de tiempo (Ibañez *et al.*, 2012).

La intensidad de precipitación se encuentra relacionada con las características físicas de la lluvia o tormenta que dure 30 minutos, porque cuando el tamaño de

una gota de lluvia es más grande, está tendrá mayor masa y velocidad de caída, a mayor masa y velocidad de caída mayor energía cinética de impacto, y cuando es mayor la energía cinética de impacto, la gota de lluvia tiene mayor desagregación y como resultado mayor pérdida de suelo que es transportada por la escorrentía. (Ibañez *et al.*, 2012).

$$R_i = EI_{30} \quad (4.2)$$

$$R = \sum R_i \quad (4.3)$$

Donde:

R = Factor de erosividad de la lluvia, (MJ \*mm \*ha<sup>-1</sup>\*h<sup>-1</sup>);

i = Número de tormentas ocurridas en un año;

E = Energía cinética de la tormenta;

I<sub>30</sub> = Intensidad máxima registrada durante un intervalo de lluvia de una duración de 30min;

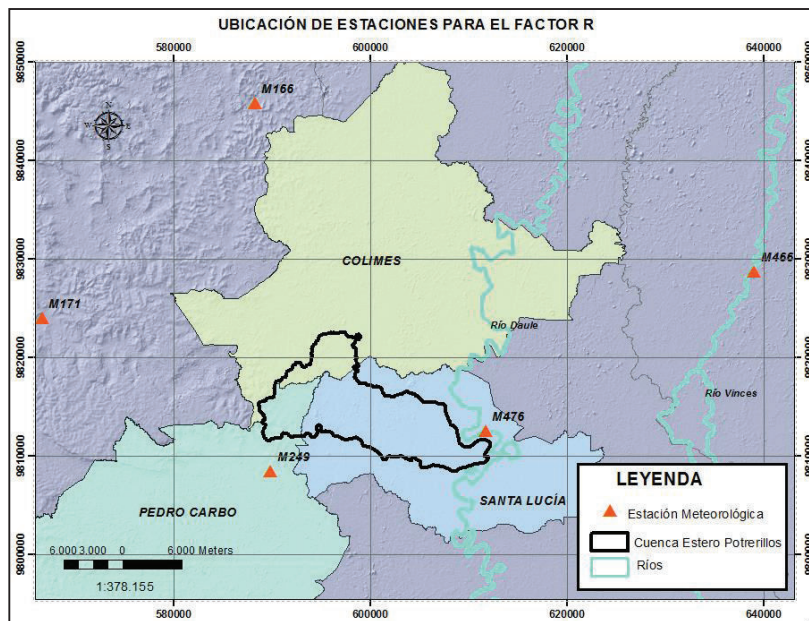
La intensidad es variable porque es poco probable que se mantenga constante en el transcurso de la tormenta, razón por la cual es necesario conseguir los datos de las bandas de pluviógrafos y elaborar los hietogramas para poder calcular correctamente el factor R (Ibañez *et al.*, 2012). Sin embargo no existe siempre la disponibilidad de suficiente información meteorológica para llevar a cabo un adecuado cálculo del factor R, para los casos que no exista toda la información requerida para el cálculo de la erosividad, es necesario buscar alguna metodología que puedan ayudar a resolver el problema. Se debe aclarar que en estas circunstancias, los resultados que se van a obtener hay que utilizarlos con la reserva del caso (Rojas, 2009).

Están disponibles algunas metodologías que pueden ser utilizadas en la determinación de R, con la particularidad que exista poca información, por ejemplo en la CEP, se realizaron estimaciones basadas en la lluvia mensual que utiliza una ecuación de tipo Fournier, la cual requiere datos de precipitación mensuales y anuales. Esta metodología fue desarrollada por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y Cultura (UNESCO) en el Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO para América Latina y el Caribe en el año 2010, mismo que se observa en la ecuación 4.4.

Esta metodología fue aplicada para el estudio de la cuenca hidrográfica del río Pípiripau en Brasil a 45 km de la ciudad de Brasilia con una precipitación media anual de 1304 mm basándose en registros de 37 años y con las lluvias concentradas entre los meses de noviembre a abril con temperatura promedio anual de 21.5°C (UNESCO, 2010). Para la CEP se cuenta con datos de precipitación media anual de 1450 mm basándose en registros de 30 años en la mayoría de las estaciones, con una temperatura media anual mayor a 22°C.

En el cálculo del factor de erosividad de la lluvia (R) en la CEP, se seleccionan las estaciones meteorológicas más próximas que permiten cubrir en su totalidad al área de estudio. Estas estaciones son M476, M466, M166, M171, M249 y su ubicación se muestra en la figura 4.1.

**FIGURA 4.1 ESTACIONES PARA EL CÁLCULO DEL FACTOR R**



FUENTE: (SENAGUA, 2014)

ELABORADO POR: Salazar Nelson

Para cada estación seleccionada se calculan los valores de precipitación media mensual y precipitación media anual, datos que son necesarios para aplicar la ecuación 4.4 que permite obtener el factor R.

$$R = 125,59 \sum (M_i^2 / P_a)^{0,603} \quad (4.4)$$

Donde:

R= Factor de erosividad R, (MJ.mm.ha<sup>-1</sup> .h<sup>-1</sup>);

M<sub>i</sub>= Precipitación mensual, (mm);

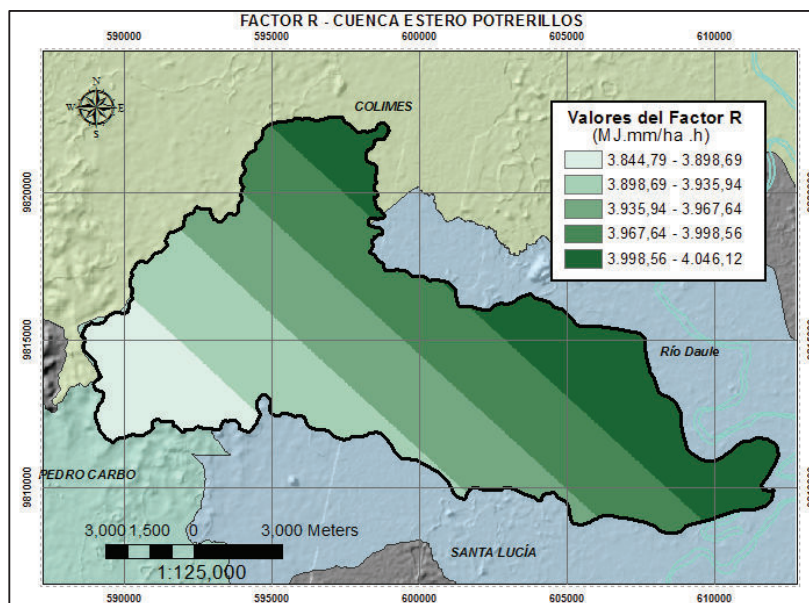
P<sub>a</sub>= Precipitación anual, (mm).

La distribución espacial de la erosividad de lluvia se realizó con el software ArcGis, ubicando los valores de R calculados de cada estación. Posteriormente se escoge la herramienta *Spline* que permite estimar la interpolación de valores a partir de una cantidad limitada de puntos o datos conocidos. *Spline* emplea un método que usa una función matemática que suaviza la curvatura de la superficie generada. La interpolación por *Spline* establece dos condiciones: la primera es

que la superficie tiene que pasar exactamente por los puntos de referencia y la segunda es que la superficie debe tener una curvatura mínima. La mayor ventaja es que los valores interpolados no pueden ser mayores ni menores a los datos utilizados (ESRI, 2012) (Alonso, 2006).

Estudios realizados en la cuenca del Guayas por Efficácitas (2006) y Tapia (2012), los cuales describen que obtuvieron buenos resultados a la hora de distribuir los valores del factor R sobre la zona de estudio, utilizando la interpolación *Spline* en ArcGis, lo que concuerda con lo que se realizó en la CEP. Una vez realizada la interpolación, se corta el archivo tipo raster con el perfil del área de estudio con la herramienta *Extract by Mask* de ArcGis. Lo que permite obtener la distribución espacial de los valores del factor R en cada punto del área de estudio presentado en la figura 4.2. El tamaño de celda es de 30 x 30 en la figura 4.2, para tener al mapa en un mismo marco geográfico.

**FIGURA 4.2** DISTRIBUCIÓN DEL FACTOR R EN LA CUENCA DE ESTUDIO



FUENTE: (SENAGUA, 2014)

ELABORADO POR: Salazar Nelson

La tabla 4.2 presenta valores de R para cada estación meteorológica. El factor R se calcula con una ecuación de tipo Fourier, que solo requiere valores de precipitación anual y precipitación mensual. Se observa como los valores de R en la CEP varía entre 4226.58 y 3792.09 (MJ.mm/ha.h.año), ubicando los valores mayores al norte este de la cuenca.

**TABLA 4.2 FACTOR R DE LA CEP**

CÓDIGO ESTACIÓN	NOMBRE DE ESTACIÓN	Factor R (MJ.mm/ha.h.año)
M166	OLMEDO-MANABI	4170.20
M171	CAMPOSANO #2	3792.09
M466	VINCES INAMHI	4226.58
M476	DAULE-EN LA CAPILLA	4053.16
M249	VALLE DE LA VIRGEN	3816.38

FUENTE: (SENAGUA, 2014)

ELABORADO POR: Salazar Nelson

La tabla 4.3 presenta datos de erosividad en la cuenca del río Guayas del estudio realizado por Efficácitas (2006), estos valores oscilan desde 7635 a 2197 (MJ.mm/ha.h.año) y fueron obtenidos con una ecuación de Brown & Foster (1987) la cual cuantifica la energía que produce el impacto de una gota de lluvia típica, la intensidad de lluvia máxima en 30min y los datos se modelaron en el programa TR-20.

**TABLA 4.3 FACTOR R EN LA MICROCUENCA DEL RÍO TOACHI**

N°	NOMBRE DE ESTACIÓN	Factor R (MJ.mm/ha.h.año)
1	PUERTO ILA	2836.46
2	SALGANA	2197.93
3	PACAYACU	7635.81
4	SANTO DOMINGO	2980.32

FUENTE: (Efficácitas, 2006)



Los datos de ambos estudios se encuentran en el mismo rango de valores de R, excepto en la estación meteorológica Pacayacu, donde el valor R es mayor. Esto es debido a que esta estación meteorológica está ubicada en la parte alta de la cuenca del río Guayas sobre las estribaciones de la cordillera Occidental y que la zona donde está la estación es clasificada por Pourrut (1995), como una zona climática Tropical Megatérmica Muy Húmeda, resultando en una zona de mayor precipitación que la CEP.

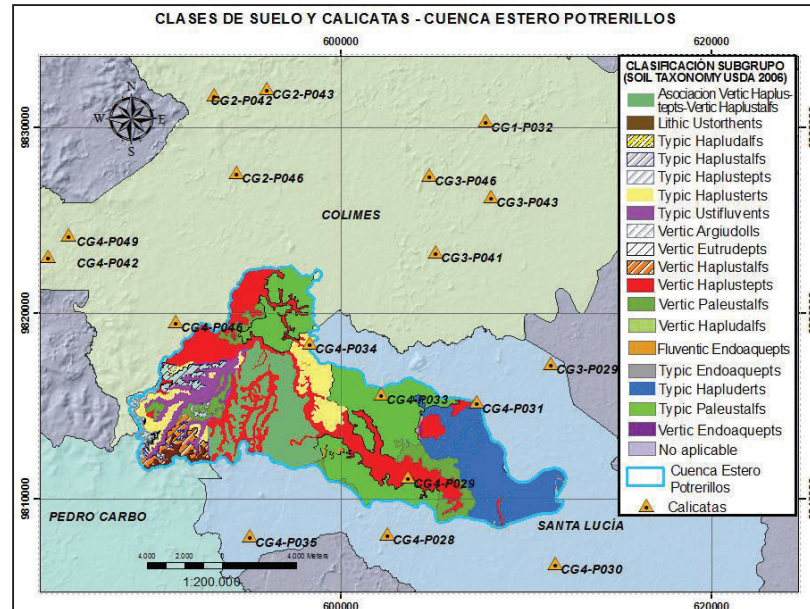
#### **4.1.3 FACTOR K (SUSCEPTIBILIDAD DE EROSIÓN DEL SUELO)**

El factor K es parte de la ecuación desarrollada por Wischemeier & Smith (1978). Representa la susceptibilidad del suelo a ser erosionado y está a su vez se relaciona con la estabilidad estructural, el porcentaje de las distintas fracciones granulométricas, materia orgánica y la permeabilidad del suelo (Tapia, 2012).

En la CEP para calcular el factor K, se analiza la clasificación de los suelos de acuerdo a la Soil Taxonomy (USDA, 2006). Para las clases de suelo dentro del área de estudio, se utiliza la información de calicatas para calcular el Factor K; para las clases de suelos que no tienen este tipo de información dentro de la CEP, se utiliza los datos de calicatas que tengan la misma clasificación de suelo y que están en los alrededores del área de estudio en el cálculo de K.

La figura 4.3 presenta la ubicación de las calicatas, tanto dentro de la CEP como en los alrededores, que corresponde a los cantones Santa lucia, Colimes y Pedro Carbo. La tabla 4.4 enlista las calicatas realizadas con su respectiva clasificación taxonómica del suelo y la ubicación en los 3 cantones.

**FIGURA 4.3 CLASIFICACIÓN DE SUELOS Y UBICACIÓN DE CALICATAS**



FUENTE: (SENPLADES, 2009)

ELABORADO POR: Salazar Nelson

**TABLA 4.4 LISTA DE CALICATAS UTILIZADAS Y SU UBICACIÓN**

CÓDIGO DE CALICATA	CASIFICACIÓN SOIL TAXONOMY 2006		UBICACIÓN DE LA CALICATA	CANTONES
	CLAVE	SUBGRUPO		
CG1-P032	JCFD	Vertic_Paleustalfs	fuera de la cuenca	Colimes
CG2-P042	JCFD	Vertic_Paleustalfs	fuera de la cuenca	Colimes
CG2-P043	JCFD	Vertic_Paleustalfs	fuera de la cuenca	Colimes
CG2-P046	KGDD	Vertic_Eutrudepts	fuera de la cuenca	Colimes
CG3-P029	FFBG	Typic_Hapluderts	fuera de la cuenca	Santa Lucía
CG3-P041	JCHF	Vertic_Hapludalfs	fuera de la cuenca	Colimes
CG3-P043	KGDD	Vertic_Eutrudepts	fuera de la cuenca	Colimes
CG3-P046	KGDD	Vertic_Eutrudepts	fuera de la cuenca	Colimes
CG4-P028	JCFU	Typic_Paleustalfs	fuera de la cuenca	Santa Lucía
CG4-P029	KEDE	Vertic_Haplustepts	dentro de la cuenca	Santa Lucía
CG4-P030	FFBG	Typic_Hapluderts	fuera de la cuenca	Santa Lucía
CG4-P031	KEDE	Vertic_Haplustepts	dentro de la cuenca	Santa Lucía
CG4-P033	JCFU	Typic_Paleustalfs	dentro de la cuenca	Santa Lucía
CG4-P034	FEFP	Typic_Haplusterts	dentro de la cuenca	Santa Lucía
CG4-P035	KEDE - JCHF	Asociacion_Vertic_Hapl ustepts	fuera de la cuenca	Santa Lucía
CG4-P041	JEJF	Vertic_Hapludalfs	fuera de la cuenca	Colimes
CG4-P042	JCFD	Vertic_Eutrudepts	fuera de la cuenca	Colimes
CG4-P046	KEDE	Vertic_Haplustepts	fuera de la cuenca	Colimes
CG4-P049	JEJF	Vertic_Hapludalfs	fuera de la cuenca	Colimes

FUENTE: (SENPLADES, 2009)

ELABORADO POR: Salazar Nelson

El cálculo del factor K se realiza con la ecuación 4.5 planteada por Wischmeier & Smith (1978).

$$100 \cdot K = [10^{-4} \cdot 2.71 \cdot M^{1.14} \cdot (12 - a)] + 4.2 \cdot (b - 2) + 3.2 \cdot (c - 3) \quad (4.5)$$

Donde:

K = Factor de erosionabilidad, (t .ha .h.ha<sup>-1</sup> . MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>);

M = Parámetro representativo de la textura en los 15 cm superficiales.

Para el cálculo del factor M con la ecuación 4.6:

$$M = (100 - Ac) \cdot (L + Armf) \quad (4.6)$$

Donde:

L + Armf = Porcentaje de limo más arena muy fina (Porcentaje de partículas de suelo con diámetro entre 0.002 y 0.1 mm);

Ac = arcilla (Porcentaje de partículas de suelo con diámetro menor a 0.002 mm);

a = El porcentaje de materia orgánica de los 15 - 20 cm superficiales;

b = Parámetro de estructura para los 15 – 18 cm superficiales del suelo, se realiza con la codificación que se muestra en la tabla 4.5.

**TABLA 4.5** CODIFICACIÓN PARA LOS VALORES DEL PARÁMETRO DE ESTRUCTURA (b)

VALOR DEL PARÁMETRO (b)	DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA
1	Granular muy fina (< 1 mm)
2	Granular fina (1 – 2 mm)
3	Granular media (2 – 5 mm) a gruesa (5 – 10 mm)
4	Laminar, maciza y cúbica

FUENTE: (Rawls et al., 1982)

c = Parámetro de permeabilidad, referido a todo el perfil. Se establece como clases de permeabilidad, los intervalos de conductividad hidráulica saturada que se proponen en la tabla 4.6 (Rawls *et al.*, 1982).

**TABLA 4.6** CÓDIGO DEL PARÁMETRO DE PERMEABILIDAD ( c )

CÓDIGO DE PERMEABILIDAD	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA SATURADA
( c )	(cm/h)
6	< 0,1016
5	0,1016 – 0,2032
4	0,2032 – 0,508
3	0,508 – 2,032
2	2,032 – 6,096
1	> 6,096

FUENTE:(Rawls et al, 1982)

Es importante mencionar que la erosionabilidad del suelo es una propiedad que varía a lo largo del año según su humedad, temperatura, etc.; en los suelos agrícolas las operaciones de laboreo modifican la densidad aparente y la conductividad hidráulica de los suelos, por lo que el factor K se verá modificado en el tiempo. El modelo Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo Revisada (RUSLE) variante de la USLE, introduce el estudio de la variabilidad temporal del factor K, pero su abordaje supera las expectativas de este trabajo; además, los mayores cambios se producen en zonas con problemas de congelación del suelo, lo que no se produce en el caso del Ecuador.

### **Adaptación del factor K a la zona de estudio**

Se describe a continuación las adaptaciones que se realizaron para solucionar los problemas encontrados para poder aplicar las ecuaciones 4.5 y 4.6:

- El análisis granulométrico que aparece descrito en la información de las calicatas contempla las fracciones de arena gruesa, arena fina, limo y arcilla. No hay diferenciación entre arena gruesa y arena fina, por lo que se procedió, como única solución viable, a utilizar como dato de referencia el 50% de la proporción de arena para incluirla como arena fina, tal cual se ha realizado en otros estudios previos en otras zonas como lo menciona la Junta de Andalucía (2015). Debido a que el análisis textural que usualmente se emplea en las descripciones de suelos que se efectúan en España no incluye una separación entre arena fina (0.25 -0.1 mm) y arena muy fina (0.1-0.05 mm), que es la fracción utilizada por la USLE para evaluar el factor K, se ha estimado en estudios previos que este hecho hará que el factor K sea evaluado algo por encima del resultado que se obtendría si se dispusiera de los datos de contenido de arena muy fina, puesto que, los suelos con mayor contenido de arena muy fina más limo eran los que poseían valores más elevados de erosionabilidad (González, 2009).
- Se diferencia entre permeabilidad, propiedad intrínseca de la matriz del suelo, y conductividad hidráulica, que incluye las propiedades del fluido. Actualmente las clases de permeabilidad han pasado a definirse como clases de conductividad hidráulica.
- Para obtener el valor de la conductividad hidráulica se recurre a una evaluación indirecta a través de variables relacionadas, dada la complejidad de los métodos directos. Dentro de estas variables, la textura es uno de los factores dominantes en las características hídricas del suelo.

En este sentido, en el estudio realizado por Rawls *et al.* (1982) se establecieron curvas para obtener la conductividad hidráulica a partir del contenido de humedad para 10 clases texturales. En función de estas curvas Saxton *et al.* (1986) desarrolló la ecuación 4.7 que permite estimar la conductividad hidráulica en función de la textura y del contenido en agua del suelo.

$$Kh = e \left\{ 12,012 - 7,55 \cdot 10^{-2} (\%Arena) + \frac{1}{\theta} \left[ -3,8950 + 3,671 \cdot 10^{-2} (\%Arena) - 0,1103 (\%Arcilla) + 8,7546 \cdot 10^{-4} (\%Arcilla)^2 \right] \right\} \quad (4.7)$$

Donde:

$\theta$  = Contenido volumétrico de agua, ( $m^3$  agua/ $m^3$  suelo (tierra fina));

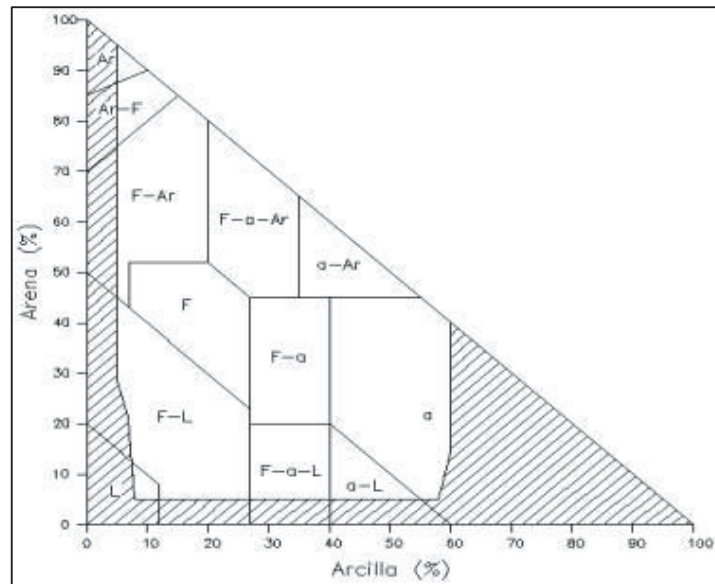
$Kh$  = Conductividad hidráulica, (cm/h).

En la ecuación 4.7,  $\theta$  es un parámetro que debe ser elegido porque representa el contenido de agua en saturación y además marca el límite de validez de la ecuación, pero a su vez debe resultar lo más cercano a una situación de lluvia, con lámina de agua formándose sobre el suelo. Este valor también fue estimado en el estudio realizado por Saxton *et al.* (1986) a través de la ecuación 4.8:

$$\theta = 0,33, -7,251 \cdot 10^{-4} \cdot (\%Arena) + 0,1276 \cdot \text{Log}_{10}(\%Arcilla) \quad (4.8)$$

Es importante resaltar que las ecuaciones 4.7 y 4.8 son aplicables a un cierto rango de texturas como se muestra en el figura 4.4, pero hay intervalos que carecen de validez al sobrepasar el rango de los datos originales utilizados en el análisis estadístico por Rawls *et al.* (1982), como por ejemplo cuando la fracción arcillosa del horizonte es inferior al 1%. Las muestras del presente estudio se encuentran en el rango de textura donde son aplicables las ecuaciones antes mencionadas.

**FIGURA 4.4** REGIONES TEXTURALES EN LAS QUE ES APLICABLE EL MODELO



FUENTE: (Saxton et al., 1986)

Con las consideraciones antes descritas, se procedió al cálculo de la conductividad hidráulica para las calicatas que están dentro de la cuenca de estudio, cuyos resultados se muestran en la tabla 4.7 y que servirán de insumo para la determinación del factor K (erosionabilidad del suelo)-

En la tabla 4.7 está la lista de calicatas con su respectiva clasificación taxonómica del suelo, que fueron empleadas para calcular los valores de conductividad hidráulica que están entre 0.17 a 3.47 (cm/h). A estos valores de conductividad hidráulica se le asignan un código de permeabilidad c como se observa en la tabla 4.7. Estos valores de C serán utilizados en el cálculo del factor K.



**TABLA 4.7** CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA Y CÁLCULO DE C, PARA CADA CALICATA

SOIL TAXONOMY 2006 - CLAVE	CÓDIGO DE CALICATA	CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA (Kh)	CÓDIGO DE PERMEABILIDAD
		( cm / h )	( C )
JCFD	CG1-P032	0.38	4
JCFD	CG2-P042	0.4	4
JCFD	CG2-P043	0.31	4
KGDD	CG2-P046	1	3
FFBG	CG3-P029	0.2	5
JCHF	CG3-P041	0.87	3
KGDD	CG3-P043	0.23	4
KGDD	CG3-P046	0.17	5
JCFU	CG4-P028	3.47	2
KEDE	CG4-P029	0.2	5
FFBG	CG4-P030	0.22	5
KEDE	CG4-P031	0.82	3
JCFU	CG4-P033	1.22	3
FEED	CG4-P034	0.2	5
KEDE - JCHF	CG4-P035	0.46	4
JEJF	CG4-P041	2.02	3
JCFD	CG4-P042	0.21	5
KEDE	CG4-P046	0.63	3
JEJF	CG4-P049	0.56	3

FUENTE: (SENPLADES, 2009)

ELABORADO POR: Salazar Nelson

Con la información que proporcionan las calicatas se calcula el factor K para las clases de suelo que tienen esta información dentro de la CEP. Para los tipos de suelo restantes sin calicatas en la zona de estudio, se promedió los valores K obtenidos de cada clasificación de suelo y de esta manera se generaron los valores de K para todas clases de suelos de la CEP, como se presenta en la tabla 4.8.

**TABLA 4.8** FACTOR K PARA CADA CLASE DE SUELO EN LA CEP

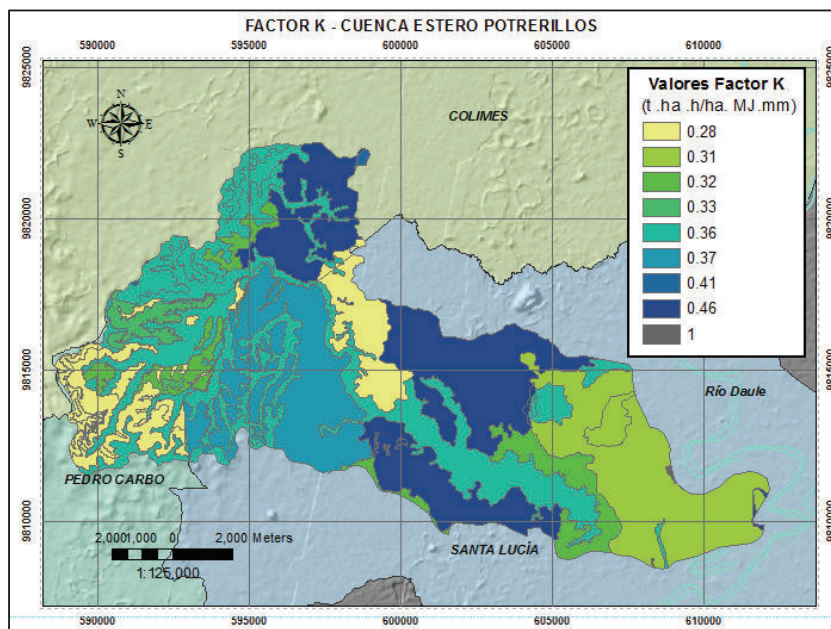
CASIFICACIÓN SOIL TAXONOMY 2006		K (t .ha .h.ha <sup>-1</sup> . MJ <sup>-1</sup> .mm <sup>-1</sup> )
CLAVE	SUBGRUPO	
KEDE - JCHF	Asociacion_Vertic_Haplustepts	0.37
FFBG	Typic_Hapluderts	0.31
FEEP	Typic_Haplusterts	0.28
JCFU	Typic_Paleustalfs	0.46
KGDD	Vertic_Eutrudepts	0.33
JCHF - JEJF	Vertic_Hapludalfs	0.41
KEDE	Vertic_Haplustepts	0.36
JCFD	Vertic_Paleustalfs	0.32

FUENTE: (SENPLADES, 2009)

ELABORADO POR: Salazar Nelson

Para representar la información gráficamente, se utilizó la herramienta ArcGis, donde se asignaron los valores promedios de K de la tabla 4.8 a un mapa en formato shape. Una vez asignado los datos de K se convirtió de shape a raster con un tamaño de celda de 30 x 30, con el objetivo de poder operar la capa en el Álgebra de Mapas. El mapa de factor K para cada clase de suelo de la CEP se muestra en la figura 4.5

**FIGURA 4.5** FACTOR K PARA LA CUENCA DE ESTUDIO



FUENTE: (SENPLADES, 2009)

ELABORADO POR: Salazar Nelson

Existen numerosa bibliografía donde se correlaciona el factor K con la naturaleza litológica del terreno o con la cartografía de K a gran escala; esto se fundamenta en el hecho de que la roca madre es uno de los factores formadores del suelo y que de esta se deriven características de textura, estructura, color, etc. Este recurso se utiliza cuando no se han realizado calicatas, que deriva en no poseer información como textura, estructura y permeabilidad. Por lo tanto, se comparará los valores K en la cuenca de estudio, con los citados en la bibliografía para analizar si las consideraciones adoptadas y los valores obtenidos están dentro de lo esperable para cada tipo de suelo.

En los estudios de Tapia (2012) y Efficácitas (2006) en la micro cuenca del río Toachi, la parte alta de la cuenca del río Guayas, reportaron valores de K entre 0.031 y 0.035 ( $t \cdot ha \cdot h \cdot ha^{-1} \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$ ), esto es debido a que el suelo predominante en la zona es del Orden de los Inceptisoles y los valores de K son bajos porque existe una buena cantidad de materia orgánica; además la arena y limo están en una baja porción según se menciona en el estudio. En el trabajo

citado por Tapia (2012) hay que mencionar que no disponían de información de calicatas para el cálculo de K. Solucionaron el problema tomando valores del mapa de Eficácitas para luego interpolarlos y sacar el factor K. Sin embargo los valores del factor K en la CEP oscilan desde 0.28 a 0.46 ( $t \cdot ha \cdot h \cdot ha^{-1} \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$ ), estos datos entre 9 y 12 veces mayores que los obtenidos en el trabajo de Tapia (2012), donde utiliza una variante simplificada de la ecuación 4.3, en la cual desprecia los valores de b (Estructura Granular) y c (clase de permeabilidad) obteniendo valores más pequeños de K.

#### 4.1.4 FACTOR LS (TOPOGRÁFICO)

En los trabajos realizados por Wischemeier & Smith (1978) determinaron al factor topográfico LS como parte de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE). Esto implica que la longitud y el grado de inclinación de la pendiente afectan la tasa de erosión producida por efecto de la lluvia. LS viene a ser la relación de pérdida de suelo en una superficie de 22.13m y con una pendiente uniforme de 9% (Cruz, 2008) (Eficácitas, 2006).

$$L = \left( \frac{\lambda}{22.13} \right)^m \quad (4.9)$$

$$S = (65,41 \text{sen}^2\theta + 4,56 \text{sen}\theta + 0,065)$$

Donde:

L= Factor L;

S= Factor S;

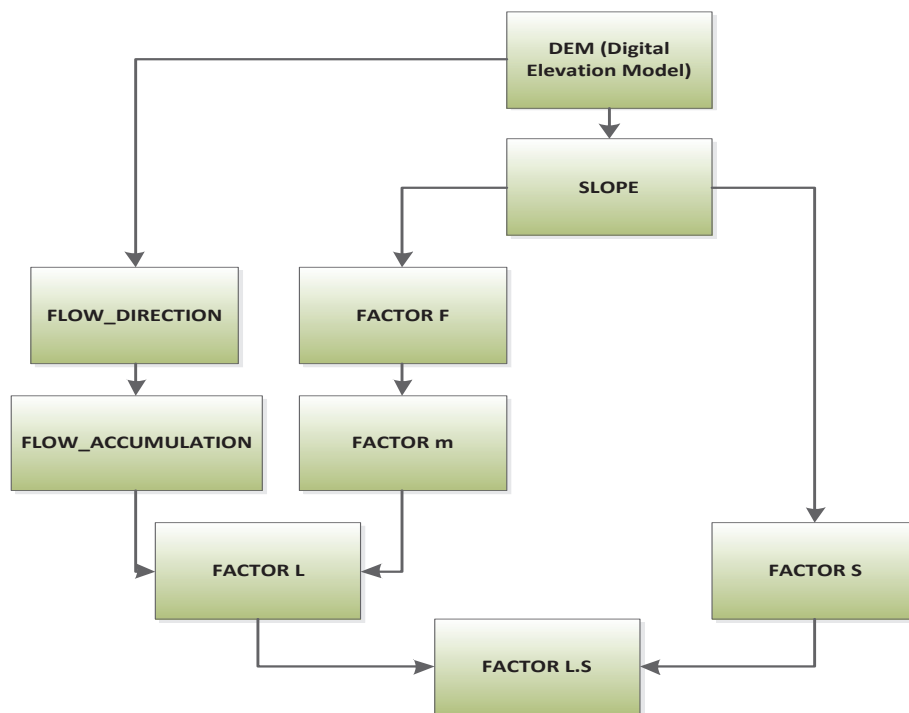
$\theta$ = Ángulo de la pendiente en radianes;

m= Pendiente;

$\lambda$  = Longitud de la pendiente.

En la figura 4.6 se resume el procedimiento utilizado para el cálculo en la CEP del factor LS a partir de un Modelo de Elevación Digital (DEM), utilizando las herramientas de *Algebra de Mapas / Raster Calculator* del software ArcGis. Los mapas empleados están en formato raster y con el tamaño de celda de 30x30.

**FIGURA 4.6** PROCEDIMIENTO PARA OBTENER EL FACTOR LS



ELABORADO POR: Salazar Nelson

El problema en la determinación del factor LS de la ecuación 4.9, es que asume a la escorrentía como uniforme y el modelo no puede diferenciar entre las áreas de erosión neta con las áreas de deposición. Para solucionar este problema, Desmet & Goversen (1996) establecen el cálculo del factor LS introduciendo el concepto de Área de Contribución Aguas Arriba ( $A_{(i,j)}$ ), con un procedimiento que calcula la pérdida promedio de suelo en perfiles complejos, dividiendo a la pendiente irregular en un limitado número de segmentos uniformes.

La determinación de la pendiente  $m$ , es un proceso sencillo, pero la medición de la longitud de pendiente, factor  $L$ , es una actividad que presenta mayor dificultad en el campo según Cruz (2008), debido a esto se utilizó un Sistema de Información Geográfico (SIG) -ArcGis, que es una herramienta que permite el manejo de Modelos de Elevación Digital (DEM), los cuales facilitan la estimación del Área de Contribución Aguas Arriba ( $A_{(i,j)}$ ) y este a su vez al cálculo de la longitud del factor  $L$ , a través de la ecuación 4.10.

Seguindo la metodología, para calcular el factor L en la ecuación 4.10, se determinó el valor del área aportadora unitaria o área de contribución aguas arriba ( $A_{(i,j)}$ ), con la herramienta *FlowDirection* y *FlowAccumulation*. La ecuación 4.10 considera las superficies en 2D, por tanto, el factor L en una celda con coordenadas (i,j) puede escribirse como:

$$L_{(i,j)} = \frac{(A_{(i,j)} + D^2)^{m+1} - A_{(i,j)}^{m+1}}{x^m \cdot D^{m+2} \cdot (22,13)^m} \quad (4.10)$$

Donde:

L=Factor L;

$A_{(i,j)}$ =Área de contribución aguas arriba en la celda (i,j) (m);

x=El factor de corrección de forma;

D=Tamaño del pixel o celda;

m=Pendiente.

Para el cálculo de la pendiente m, es necesario calcular el factor F utilizando la ecuación 4.11 y ecuación 4.12.

$$m = \frac{F}{(1 + F)} \quad (4.11)$$

$$F = \frac{\text{Sin}\beta / 0,0896}{3(\text{Sin}\beta)^{0,8} + 0,56} \quad (4.12)$$

Donde:

F=Factor F;

$\beta$  = Ángulo de la pendiente (radianes).

Para el cálculo del factor S se utilizó el valor del ángulo de la pendiente previamente expresada en radianes y se aplica cualquiera de las dos ecuaciones 4.13 o 4.14 según sea el caso.

$$\tan\beta_{(i,j)} < 0,09; \quad S_{(i,j)} = 10,8 \cdot \sin\beta_{(i,j)} + 0,03 \quad (4.13)$$

$$\tan\beta_{(i,j)} \geq 0,09; \quad S_{(i,j)} = 16,8 \cdot \sin\beta_{(i,j)} - 0,5 \quad (4.14)$$

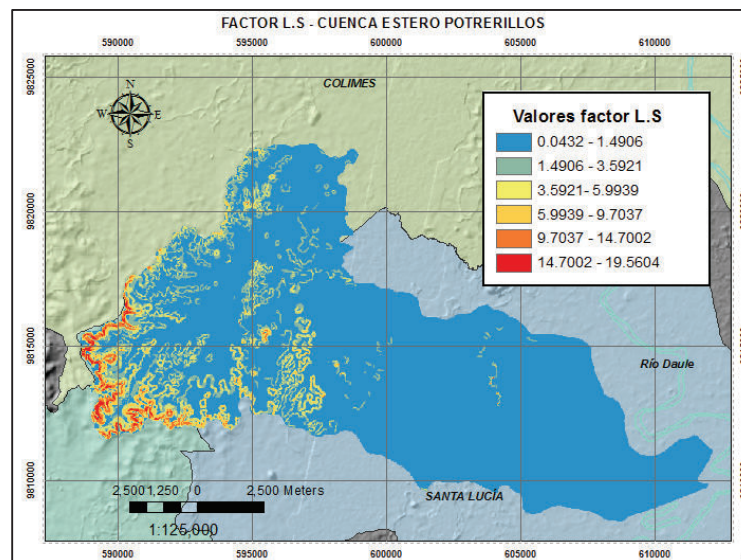
Donde:

S=Factor S;

$\beta$  = Ángulo de la pendiente (radianes).

Posteriormente con la herramienta de ArcGis, Álgebra de mapas se multiplican los factores L y S para dar lugar el factor topográfico LS.

**FIGURA 4.7** FACTOR LS EN LA CUENCA DE ESTUDIO



FUENTE: (SENAGUA, 2014)

ELABORADO POR: Salazar Nelson

Como se puede observar en la figura 4.7 y en la tabla 4.9 los valores de LS varían desde 0.043 hasta 19.5604, a pesar de esta amplitud en los valores de LS, el 83.10% del área presenta datos que oscila entre 0.043 – 1.4906 y están distribuidos a la largo de toda la cuenca. Los valores superiores del factor en el rango de 14.0700 – 19.5604 ocupan una superficie del 0.40% de toda la cuenca y se distribuye en la zona norte oeste hacia el cantón de Pedro Carbo.

**TABLA 4.9** ÁREAS DE LOS RANGO DEL FACTOR LS

FACTOR LS		
RANGO	ÁREA	% DE ÁREA
	(Km <sup>2</sup> )	
0.0432-1.4906	121.6866	83.10
1.4906-3.5921	12.3634	8.44
3.5921-5.9939	6.8002	4.64
5.9939-9.7037	3.3575	2.29
9.7037-14.0700	1.6518	1.13
14.0700-19.5604	0.5791	0.40

ELABORADO POR: Salazar Nelson

Los estudios desarrollados en la cuenca alta del río Guayas, se observa que en el caso de Efficácitas se utilizó la ecuación desarrollada por Foster & McCool (1989) para determinar el factor LS. Donde la diferencia es el cálculo del factor L, el cual utiliza el software ArView, ubicando áreas de depósito y flujo concentrado con la herramienta *FlowAccumulation*; luego determina la longitud de pendiente L con la herramienta *FlowLength*.

De la misma manera en la cuenca del río Guayas el trabajo realizado por Tapia (2012), hace referencia al estudio de Mintegui (1988) que relaciona los rangos del porcentaje de la pendiente con los valores de LS, como se muestra en la tabla 4.10. La diferencia que existen con la CEP es que la cuenca del río Toachi donde Tapia (2012) realizó su estudio tiene valores promedios ponderados del factor LS de 9.63, lo que indica que las cuencas se ubican en zonas de fuertes pendientes por estar en las estribaciones de la Cordillera Occidental, y en la CEP el promedio del factor LS es de 0.93 por ser zonas de pendiente baja, como por ejemplo con valores de pendiente promedio de 8.48%.



**TABLA 4.10** VALORES DE FACTOR LS SEGÚN RANGO DE PENDIENTE

PENDIENTE	LS
(%)	
0-3	0,3
3-12	1,5
12-18	3,4
18-24	5,6
24-30	8,7
>30	14,6

FUENTE: (Mintegui, 1988)

#### 4.1.5 FACTOR C (CUBIERTA Y MANEJO DE CULTIVOS Y RESIDUOS)

El factor C también conocido como factor de cobertura del suelo, es un valor adimensional que varía entre 0 y 1, el cual representa la pérdida de suelo que se produce por las diferentes actividades de manejo de cultivos en un período determinado. Para la ecuación de pérdida de suelo (USLE) este valor es un promedio representativo de todo el año Efficácitas (2006). El factor C representa la efectividad de la vegetación como cubierta protectora, cuando se ve expuesta a la energía cinética de las gotas de lluvia y a la fuerza del flujo superficial. También se define como el porcentaje de pérdida media anual de suelo de una parcela que tiene una vegetación determinada, en relación a las pérdidas de la misma parcela como si estuviese expuesta a condiciones de laboreo o barbecho (suelo desnudo). Designando a este último un valor de 1 cuando la parcela posee un cultivo y el factor C será la fracción de la misma proporción de pérdida de suelo en comparación con la parcela en barbecho (Ibañez *et al.*, 2012).

Hay que tomar en cuenta que al tratarse de cultivos anuales es necesario mencionar que la protección de la vegetación sobre la parcela es variable a lo largo del tiempo, debido al cambio anual de los cultivos que es el caso de las rotaciones y al ciclo fenológico, el cual varía el porcentaje de cobertura, cambiando así la efectividad de protección contra la lluvia (Ibañez *et al.*, 2012). Adicionalmente los cultivos leñosos y en algunos casos herbáceos, es común utilizar el mismo valor de factor C durante todo el año, a pesar que la protección

contra la lluvia varíe debido a cambios que se dan durante el desarrollo y manejo de estas especies, como por ejemplo el laboreo, podas, floración, cambio de hojas, etc. (Ibañez *et al.*, 2012).

En la publicación de la FAO & IFAD (2001) con título “Una evaluación del impacto de la Yuca, Producción y Procesamiento de Medio Ambiente y Biodiversidad” desarrolla un cuadro resumen de cuatro fuentes bibliográficas de valores del factor C para cultivos anuales, plantaciones frutales perennes, praderas naturales, bosques naturales y plantados, que se presenta en el ANEXO N°2. El documento describe la vegetación de bosques naturales, bosques plantados y praderas que ofrecen una mayor protección al suelo contra la erosión, en comparación con los cultivos anuales. Además poseen similar protección contra la erosión los cultivos de plantaciones árboles frutales perennes y cultivos anuales como el arroz de secano. Sin embargo cultivos anuales como maíz sorgo, cacahuate, soja, algodón y tabaco generan mayor erosión que la piña pero menos que la yuca debido a que este último cultivo permite más erosión.

La distribución espacial del factor C, se realizó asignando los valores de la tabla 4.11 a un mapa formato shape de usos y cobertura del suelo. Una vez asignados los valores de C en el shape file, se empleó la herramienta de ArcGis *Polygon to Raster* para convertir al shape en raster con un tamaño de celda de 30x30. El resultado del Factor C en el área de estudio se muestra en la figura 4.8

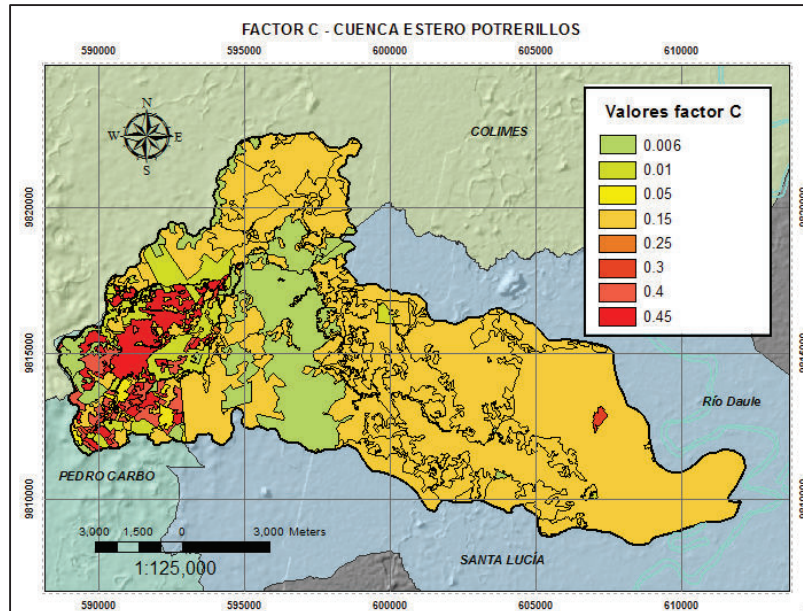
**TABLA 4.11** VALORES DEL FACTOR C ASIGNADOS A CADA USO Y COBERTURA EN LA CUENCA DE ESTUDIO

COBERTURA VEGETAL - CULTIVO	FACTOR C
Centros poblados	No aplica
Maíz	0.45
Barbecho	0.4
Misceláneo indiferenciado	0.3
Mango	0.25
Arroz	0.15
Matorral seco	0.15
Matorral seco de tierras bajas	0.15
Pasto natural	0.15
Frejol	0.05
Pasto cultivado	0.01
Pasto cultivado con presencia de árboles	0.01
Bosque Deciduo de tierras bajas de la costa	0.006
Sabana ecuatorial	0.006
Teca	0.006
Vegetación arbórea seca	0.006
Albarrada (humedal artificial)	0.00
Humedal	0.00

FUENTE: (FAO & IFAD, 2001).

ELABORADO POR: Salazar Nelson

**FIGURA 4.8** MAPA DE FACTOR C EN EL ÁREA DE ESTUDIO



FUENTE: (SENPLADES, 2012)

ELABORADO POR: Salazar Nelson

Un estudio similar que utilizó la ecuación universal de pérdidas de suelo USLE y que se llevó a cabo por Tapia (2012) en la microcuenca del río Toachi, detalla que el factor C presenta valores entre 0.01 y 0.03, que corresponden a formaciones arbóreas, arboricultura y cultivos de cacao, café, pastos como se observa en el tabla 4.12 y que difiere con los datos consultados para la CEP, porque el factor C va desde 0.006 hasta 0.45, designando valores a cultivos entre 0.15 y 0.45 ver tabla 4.11. Esto es debido a que la información de usos y coberturas que se utilizó como insumo para CEP, tiene mayor detalle que las áreas donde existen los diferentes usos y coberturas que en el estudio de Tapia (2012) y que estos valores corresponden a cultivos de ciclo corto que producirán mayor erosión que se traduce en factores C mayores, como se puede observar al comparar la tabla 4.11 con la 4.12.

**TABLA 4.12** VALORES DEL FACTOR C PARA LA MICROCUENCA DEL RÍO TOACHI

USO DEL SUELO	FACTOR C
Café y cacao, pastos	0,02
Monte y fruticultura	0,02
Bosque con claros de pastos, cultivos y arboricultura	0,03
Arboricultura	0,02
Pastos y cultivos, restos de bosque	0,03
Formación arbórea, densa, siempre verde; variante de las vertientes exteriores de Los Andes	0,01

FUENTE: (Tapia, 2012)

#### 4.1.6 FACTOR P (PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN)

El factor P es aquel que representa la pérdida de suelo generada por una práctica de manejo agrícola determinada, relaciona las actividades de cultivo tanto en pendiente arriba como en pendiente abajo. El factor P es un valor adimensional y su rango varía entre 1 y 0. Para poder usar este factor es necesario poseer información detallada sobre las prácticas agrícolas que se llevan a cabo en la zona (Efficácitas, 2006). No se tomó en cuenta al Factor P debido a que en la zona de estudio no hay indicios ni registros de haber realizado prácticas de conservación del suelo en la CEP.

#### 4.1.7 PÉRDIDA DE SUELO PROMEDIO ANUAL

El factor A representa las pérdidas por erosión promedio anual en la cuenca aplicando el modelo USLE. El factor A se calcula aplicando el software ArcGis, donde se multiplicó los mapas de los factores en formato raster antes ya calculados y se describen en la ecuación 4.15:

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \quad (4.15)$$

Donde:

A = Pérdida de suelo promedio anual, ( $t \cdot ha^{-1} \cdot año^{-1}$ );

R = Factor de erosividad de la lluvia, ( $MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1}$ );

K = Factor de erosionabilidad del suelo, ( $t \cdot ha \cdot h \cdot ha^{-1} \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$ );

LS = Factor de longitud (adimensional);

C = Factor de cultivo (adimensional).

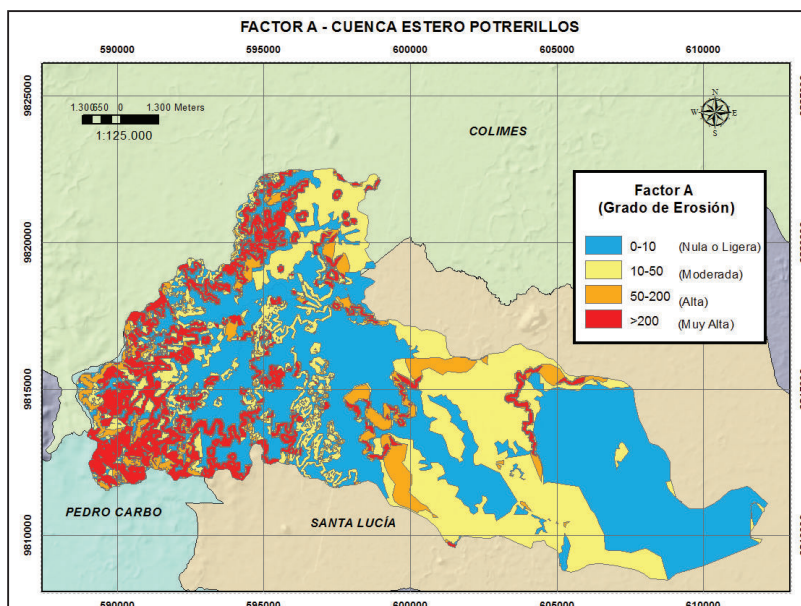
Para evaluar la tolerancia de las pérdidas de suelo en la CEP, se utiliza la Clasificación Provisional para la Evaluación de la Degradación de los Suelos, la cual se presentó por (FAO *et al.*, 1981). Esta clasificación se presenta en la tabla 4.13 y categoriza los valores del factor A con el grado de erosión hídrica

**TABLA 4.13** CLASIFICACIÓN PARA EVALUAR LA PÉRDIDA DE SUELO

<b>A = PÉRDIDAS DE SUELO (t. ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>)</b>	<b>GRADO DE EROSIÓN HÍDRICA</b>
<10	Nula o ligera
10 – 50	Moderada
50 – 200	Alta
>200	Muy alta

FUENTE: (FAO *et al.*, 1981)

Con los resultados de USLE reportados como el factor A de la CEP, se realizó la clasificación del grado de erosión hídrica según los rangos que son detallados en la tabla 4.13, de esta manera se obtuvo la estratificación del grado de erosión hídrica en la CEP.

**FIGURA 4.9** GRADO DE EROSIÓN HÍDRICA DEL FACTOR A - USLE

ELABORADO POR: Salazar Nelson

En la figura 4.9 muestra que existe un grado alto y muy alto de erosión, (color naranja y rojo), en la parte noroeste de la cuenca, hacia la zona de los cantones Pedro Carbo y Colimes; moderado grado de erosión hídrica en color (amarillo) distribuido entre la zona del cantón Colimes al norte de la CEP y en la sección media de la cuenca; grado nulo o ligero de erosión color (celeste) ubicado en la parte baja de la cuenca y en la sección norte del cantón Santa Lucía.

La tabla 4.14 presenta el área en  $\text{km}^2$  y en porcentaje del grado de erosión hídrica con 44.65% erosión nula o ligera y como menor porcentaje al grado alto de erosión con 8.96%. Los resultados para el factor A de la aplicación del método USLE se reflejan en la figura 4.9 y en la tabla 4.14, se observa que la mitad de la superficie  $65.561 \text{ Km}^2$ , de un total de  $146.832 \text{ km}^2$ , es decir un 44,48 % presenta un nivel de erosión por debajo del admisible por lo tanto, en esta superficie se consigue la sostenibilidad del medio. El resto de la superficie,  $80.84 \text{ km}^2$ , presenta una erosión por encima de lo admisible, el 55% de toda esta superficie está dentro del nivel superior a  $10 \text{ t/ha}\cdot\text{año}$  lo que se considera, según la clasificación de la FAO (1981) de erosión moderada alta o muy alta.

**TABLA 4.14** ÁREA Y PORCENTAJE DE LOS GRADOS DE EROSIÓN HÍDRICA EN LA CUENCA DE ESTUDIO

<b>GRADO DE EROSIÓN HÍDRICA (A)</b>	<b>ÁREA (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>% DE ÁREA</b>
No aplicable	0,437	0,30
Nula o Ligera	65,561	44,65
Moderada	47,520	32,36
Alta	13,157	8,96
Muy Alta	20,162	13,73
<b>TOTAL</b>	<b>146,837</b>	<b>100,00</b>

ELABORADO POR: Salazar Nelson

#### **4.2 VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS**

Para validar los resultados obtenidos en la CEP (Factor A), se comparó con la amenaza a erosión hídrica generada por la SENPLADES.

Para la determinación de los factores de USLE se utilizó procedimientos cualitativos o semicualitativos que permitieron estimar la pérdida de suelo y son expresados como áreas de la CEP según estos rangos de pérdida de suelo descritos por la FAO. Por otro lado, en la determinación de la amenaza a la erosión hídrica realizada por SENPLADES, se evaluó los efectos numéricos que fueron inferidos en varias características del suelo, lluvia y que se presentan como índices relacionados en una matriz de doble entrada. Razón por la cual, la validación del presente estudio es de carácter cualitativo debido a que en el método de SENPLADES selecciona variables a los cuales se les da una valoración como índices y que luego se expresan como áreas que es el medio de comparación con los resultados de USLE.

A continuación una descripción del método utilizado por SENPLADES, el cual utilizó para evaluar la amenaza a erosión hídrica un sistema matricial de doble entrada entre el Índice de Susceptibilidad a Erosión Hídrica (ISE) y la Agresividad



Pluvial. El ISE se evaluó por el método de jerarquías analíticas de Saaty (1980), con la suma ponderada de factores como: pendiente, forma de vertiente, longitud de la vertiente, textura, profundidad, materia orgánica y el grado de protección vegetal. Cada factor se analizó y calificó de forma parametrizada mediante un índice de rango 1 al 4 donde 1 representa una susceptibilidad baja a la erosión hídrica y 4 indica una alta susceptibilidad a la erosión hídrica. La amenaza a erosión hídrica se estratificó en rangos, como se observa en la tabla 4.15.

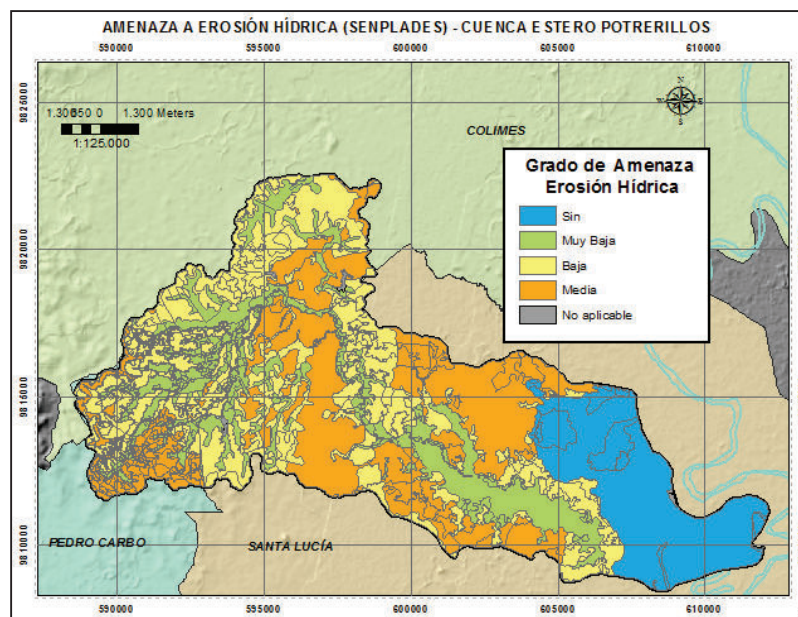
**TABLA 4.15** ÁREAS Y PORCENTAJES DE AMENAZA A EROSIÓN HÍDRICA (SENPLADES) EN LA CEP

AMENAZA A EROSIÓN HÍDRICA	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	% DE ÁREA
No aplicable	0.354	0.24
Sin	25.518	17.38
Baja	46.327	31.55
Muy Baja	28.573	19.46
Media	46.065	31.37
<b>TOTAL</b>	<b>146.837</b>	<b>100.00</b>

FUENTE: (SENPLADES, 2012)

ELABORADO POR: Salazar Nelson

En la tabla 4.15 se observa que el mayor porcentaje de área corresponden al grado de amenaza a erosión hídrica media con 31.37% y baja 31.55%; el menor valor corresponde a 17.38 % de que tiene un grado amenaza de erosión (sin amenaza). De igual manera en la figura 4.10 la amenaza a erosión hídrica de grado medio de (color naranja) y grado bajo (color amarillo) en la sección media y norte de la cuenca CEP; grado muy bajo (color verde) a lo largo de la cuenca y el grado sin amenaza de erosión (azul) ubicada en la parte baja de la zona de estudio.

**FIGURA 4.10 AMENAZA A EROSIÓN HÍDRICA (SENPLADES) EN LA CEP**

FUENTE: (SENPLADES, 2012)

ELABORADO POR: Salazar Nelson

### 4.3 COMPARACIÓN ENTRE LA AMENAZA DE EROSIÓN HÍDRICA Y PÉRDIDA DE SUELO (FACTOR A)

Se comparó el método USLE (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo) que tiene como resultado al factor A clasificado en grados de erosión hídrica y al estudio realizado por (SENPLADES, 2012) donde utilizó un sistema matricial lógico de doble entrada entre el Índice de Susceptibilidad a la Erosión Hídrica (ISE) y la agresividad pluvial (AP).

En la tabla 4.16 se compara las áreas y el grado de erosión para cada metodología analizada. Observando que las áreas que tienen similares valores son: las zonas que no aplican los métodos con valores de 0.437 km<sup>2</sup> y 0.354 km<sup>2</sup> porque son sitios donde se asienta la población.

**TABLA 4.16** COMPARACIÓN ENTRE LA AMENAZA A EROSIÓN HÍDRICA (SENPLADES) Y USLE PERDIDA DE SUELO (A)

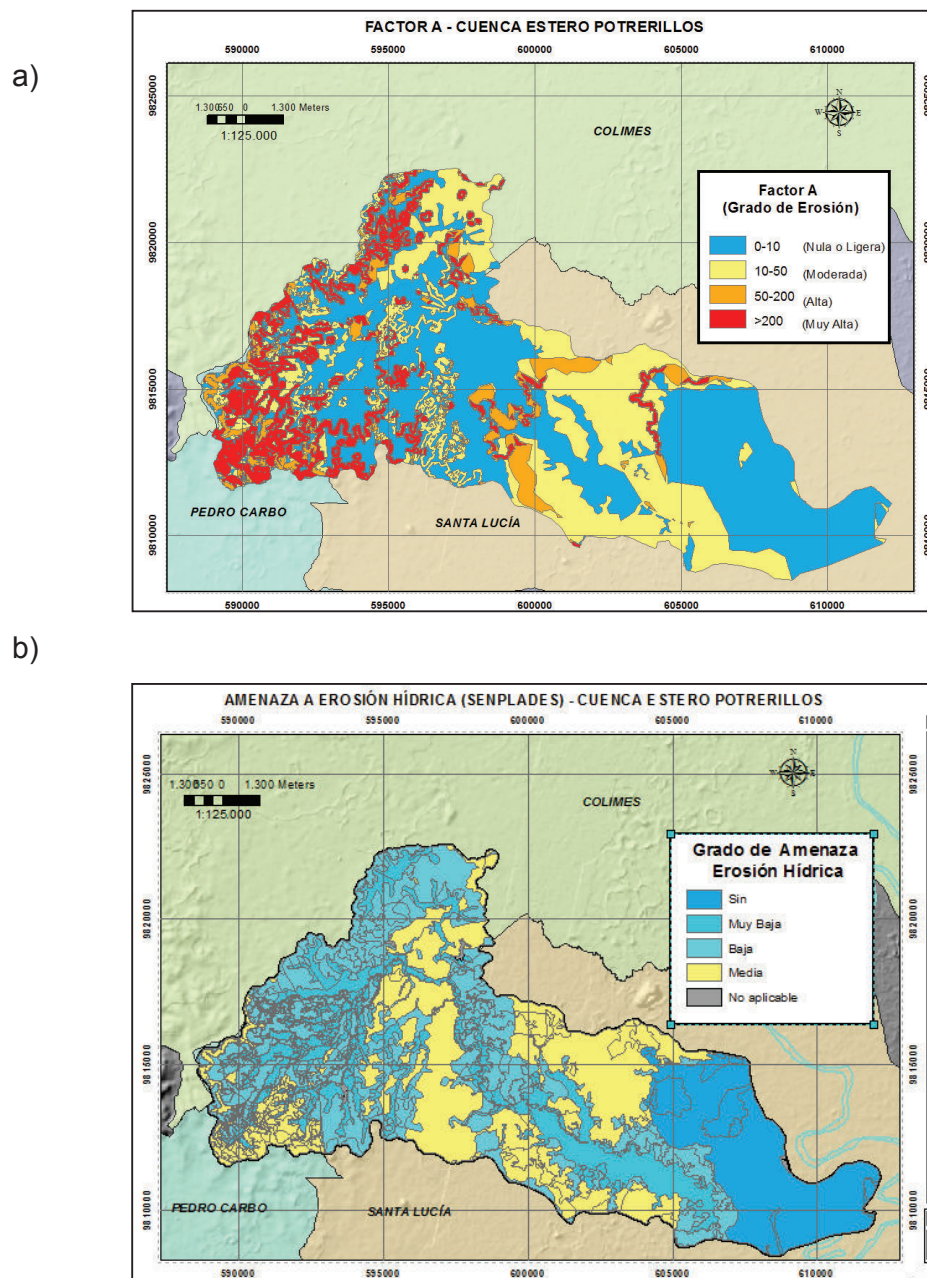
U.S.L.E. FACTOR A			AMENAZA A EROSIÓN HÍDRICA (SENPLADES)		
GRADO DE EROSIÓN HÍDRICA (A)	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	% DE ÁREA	GRADO AMENAZA A EROSIÓN HÍDRICA	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	% DE ÁREA
No aplicable	0,437	0,30	No aplicable	0,354	0,24
Nula o Ligera	<b>65,561</b>	<b>44,65</b>	Sin	25,518	17,38
			Baja	46,327	31,55
			Muy Baja	28,573	19,46
			<b>SUBTOTAL</b>	<b>100,418</b>	<b>68,39</b>
Moderada	47,520	32,36	Media	46,065	31,37
Alta	13,157	8,96			
Muy Alta	20,162	13,73			
<b>TOTAL</b>	<b>146,837</b>	<b>100,00</b>	<b>TOTAL</b>	<b>146,837</b>	<b>100,00</b>

FUENTE: (SENPLADES, 2012)

ELABORADO POR: Salazar Nelson

Las zonas de grado Moderado - Media con valores de 47.520 km<sup>2</sup> y 46.065 km<sup>2</sup> tabla 4.16 distribuidas en la zona media de la CEP figura 4.11 a) y b) en color (amarillo) que presentan cierto nivel de erosión, pero estas se encuentra dentro de los valores admisibles y como resultado en estas áreas se consigue cierto grado sostenibilidad del medio.

**FIGURA 4.11** COMPARACIÓN a) GRADO DE EROSIÓN HÍDRICA FACTOR-A b) AMENAZA A EROSIÓN HÍDRICA.



FUENTE: (SENPLADES, 2012)

ELABORADO POR: Salazar Nelson

Sin embargo como se presenta en la tabla 4.16 se ha encontrado diferencias para el grado Nulo o ligero del factor A, el cual engloba a los grados (Sin, baja y muy baja) de amenaza a erosión hídrica SENPLADES, en cuanto a los valores de

estos 3 grados suman un área de 100.418 km<sup>2</sup> que es mayor a USLE factor A con 65.561 km<sup>2</sup> representando una diferencia de 34.857 km<sup>2</sup>.

Al realizar una comparación de la distribución espacial de los dos métodos refleja la misma diferencia ubicada en la zona norte-oeste de la CEP, donde las zonas del método de SENPLADES son marcadas como grados (Sin, baja, muy bajo) figura 4.11 b), pero para el factor A (USLE) estas son zonas grado de erosión hídrica alto y muy alto color (anaranjado y rojo) como se observa en la figura 4.11 a).

Después del análisis de los mapas, la principal diferencia entre los resultados de ambos modelos se encuentra en la zona norte-oeste, donde el modelo USLE presenta una sobrestimación respecto a los resultados obtenidos por el método empleado por la SENPLADES. Esta zona corresponde a zonas de mayor altitud dentro de la cuenca, indicando que el modelo USLE sobreestima los valores, y por tanto la protección en la planificación hidrológica para aquellas zonas de pendiente mayor, de tal manera se recomienda el uso de los resultados de este modelo para la clasificación del grado de erosión hídrica.

#### **4.4 ORDENAMIENTO AGROHIDROLÓGICO PROPUESTO PARA LA ORDENACIÓN DE LA CEP**

La ordenación agrohidrológica de la CEP tiene como propósito el conseguir una disminución de la erosión y mantener la sostenibilidad, mediante cambios de uso del suelo y/o mejoras en los mismos.

Se define a la Ordenación agrohidrológico-forestal correspondiente a una cuenca hidrológica como la planificación de los usos del suelo, con el objetivo de producir una disminución de la erosión por debajo de los niveles de pérdidas de suelos y que a su vez sea retribuido por la producción o por el uso de su cubierta vegetal, en otras palabras que el uso del suelo sea sostenible en cuanto a los recursos suelo y vegetación.

La ordenación agrohidrológico plantea una ampliación a la Restauración Hidrológica Forestal debido a que adicionalmente trata las superficies destinadas a usos agrícolas, identificando las zonas con erosión significativa y proponiendo acciones destinadas a revertir su estado actual a lo largo de toda la cuenca (García & Mantecas, 2005).

Como producto de la aplicación de USLE está el mapa del factor A de pérdidas de suelo, el cual delimita las zonas con erosión haciendo referencia al valor tolerable ( $A_t$ ) que es igual a 10 t/ha·año según la clasificación de la FAO *et al.* (1981) y estos valores del mapa factor A pueden ser superiores ( $A > A_t$ ) o inferiores ( $A < A_t$ ).

Posteriormente se reclasificó las capas de usos de suelo y pendientes de la CEP clasificándola según los estudios de García (1954) en las siguientes: pendientes menores al 12% que pueden ser cultivadas sin limitación alguna; entre el 12% y 18% cultivadas con prácticas de conservación de suelos; las áreas entre el 18% y 30% deben considerarse para usos forestales dando una opción el emplear el cultivo de pastizales; pendientes mayores a 30% destinados netamente a bosques.

Para poder superponer las tres capas (Uso y cobertura del suelo, pendientes y factor A) en el software ArcGis, se asignó a cada valor reclasificado de las tres capas un número primo, y previamente se generó una tabla con todas las combinaciones posibles para la multiplicación de los tres números primos de cada capa. Debido a la singularidad de los números primos, el producto de estos tres va a dar siempre un número diferente. De esta manera se multiplican las tres capas dando como resultado una combinación diferente para el producto de los tres números primos. De esta manera, conociendo el resultado y comparándolo con la tabla de combinaciones, se puede saber las características de uso de suelo, pendiente y pérdida de suelo para esa zona en particular.

Una vez conocidas las características del área de estudio, se clasificó el uso y cobertura del suelo en dos grupos que son áreas forestales y agrícolas. Para estos dos se tomaron las siguientes acciones:

#### **Áreas forestales:**

- Los pastizales que presentan una pendiente superior al 30%, se procede al cambio de uso realizando en estas zonas repoblaciones forestales.
- Las áreas que se encuentren cubiertas de matorrales que tengan pérdidas de suelo por encima del valor tolerable, serán destinadas como superficies arboladas por medio de repoblaciones artificiales.
- Las zonas pobladas por arbolado que tenga una pérdida de suelo por encima del valor tolerable, deberán mejorar las condiciones de protección del arbolado manteniendo el uso del suelo, es decir, un arbolado con tratamientos selvícolas enfocados en mejorar el dosel protector de los árboles, en el presente caso se ha decidido realizar cortas de regeneración.

#### **Áreas Agrícolas:**

- En las áreas donde las pérdidas de suelo son menores a  $10 \text{ tn/ha}\cdot\text{año}$ , ( $A < A_t$ ), no es preciso realizar actuaciones y se mantiene el cultivo.
- Las zonas donde existe una pérdida de suelo por encima del valor tolerable y con pendiente inferior a 12 %, se debe proceder a realizar cultivos en fajas y laboreo por curvas de nivel.
- Las áreas con pérdidas mayores a la tolerable y con pendientes comprendidas entre el 12 y el 18 % se realizarán cultivos en terrazas y/o bancales.
- Las zonas en las cuales la pendiente se encuentra entre el 18% y el 30 %, las áreas agrícolas deberán ser cambiadas al uso de pastizales y las zonas con pendientes mayores al 30 %, deberán cambiar su uso a bosques.

En la tabla 4.17 están las actuaciones para el ordenamiento agrohidrológico de la CEP, la cual presenta como se vincula la información de vocación y uso de suelo, pérdida de suelo (factor A) y la pendiente en porcentaje para cuatro estratos, a los cuales según sus características se los designa una actuación específica para el desarrollo del ordenamiento agrohidrológico.



TABLA 4.17 ACTUACIONES EN EL ORDENAMIENTO AGRO-HIDROLÓGICO

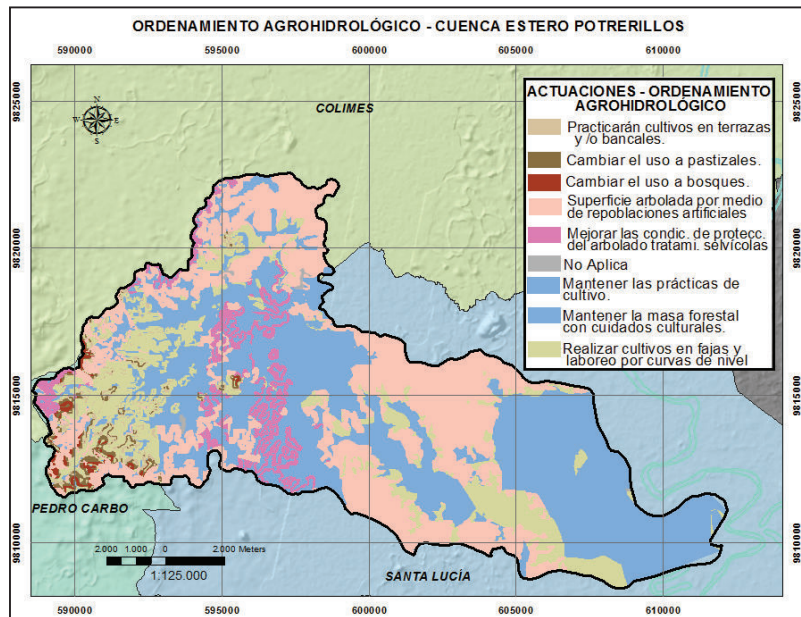
USO		A	PENDIENTE			
			0-12%	12%-18%	18%-30%	>30%
AGRICOLA	Maíz	A<At	Mantener las prácticas de cultivo 25,51%; 37.336 km <sup>2</sup>			
	Barbecho					
	Misceláneo indiferenciado					
	Mango					
	Arroz					
	Pasto cultivado					
	Maíz, frejol					
FORESTAL	Matorral seco	A<At	Mantener la masa forestal con cuidados culturales 19,20%; 28.103 km <sup>2</sup>			
	Matorral seco de tierras bajas					
	Pasto natural					
	Pasto cultivado con árboles					
	Sabana ecuatorial					
	Teca					
	Vegetación arbórea seca					
	Bosque deciduo de tierras bajas					
AGRICOLA	Maíz	A>At	Cultivos en fajas y laboreo por curvas de nivel 14,70%; 21.51 km <sup>2</sup>	Cultivos en terrazas y /o bancales 1,58%; 2.307 km <sup>2</sup>	Cambiar el uso a pastizales 1,23%; 1.803 km <sup>2</sup>	Cambiar el uso a bosques 0,62%; 0.912 km <sup>2</sup>
	Barbecho	A>At				
	Misceláneo indiferenciado	A>At				
	Mango	A>At				
	Arroz	A>At				
	Pasto cultivado	A>At				
	Maíz, frejol	A>At				
FORESTAL	Matorral seco	A>At	Superficie arbolada por medio de replantaciones artificiales 31,55%; 46.171 km <sup>2</sup>			Replanta ciones forestales
	Pasto natural	A>At				
	Pasto cultivado con arboles	A>At				
	Sabana ecuatorial	A>At				
	Teca	A>At				
	Vegetación arbórea seca	A>At	Mejorar las condiciones de protección del arbolado 5,37%; 7.859 km <sup>2</sup>			
	Bosque deciduo	A>At				

FUENTE: (García &amp; Mantecas, 2005)

ELABORADO POR: Salazar Nelson

En la figura 4.12 y tabla 4.17 se observa que la vocación del suelo es agrícola y forestal para el mantenimiento de prácticas de cultivo y de masa forestal (color celeste); las actuaciones para el cambio de uso a pastizales / bosque, de cultivos a fajas / laboreo y cultivos en terrazas / bancales de color (café oscuro a café claro); los suelos con vocación forestal donde se tenga que realizar actuaciones como repoblaciones artificiales, tratamientos selvícolas (fucsia oscuro a fucsia claro).

**FIGURA 4.12** ÁREAS DE LAS ACTUACIONES DE ORDENAMIENTO AGRO-HIDROLÓGICO



ELABORADO POR: Salazar Nelson

**TABLA 4.18** ÁREAS DE LAS ACTUACIONES DE ORDENAMIENTO AGRO-HIDROLÓGICO EN LA CEP

ACTUACIÓN	ÁREA (Km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)
No aplica	0,331	0,23
Cambiar el uso a bosques	0,912	0,62
Cambiar el uso a pastizales	1,803	1,23
Practicarán cultivos en terrazas y /o bancales	2,307	1,58
Mejorar las condiciones de protección del arbolado (tratamientos selvícolas)	7,859	5,37
Realizar cultivos en fajas y laboreo por curvas de nivel	21,515	14,70
Mantener la masa forestal con cuidados culturales	28,103	19,20
Mantener las prácticas de cultivo	37,336	25,51
Superficie arbolada por medio de repoblaciones artificiales	46,171	31,55

ELABORADO POR: Salazar Nelson

En la tabla 4.18 presenta al área más grande donde hay que intervenir con actuaciones para el ordenamiento agrohidrológico dentro de la CEP, con la realización de repoblaciones artificiales en 46.171 Km<sup>2</sup> que significa el 31.55% del área de la cueca; la menor área a intervenir con las actuaciones es el cambio de usos a bosques con 0.912 Km<sup>2</sup> que representa el 0.62%. La actuación descrita como no aplica, corresponde a las áreas pobladas de la cuenca donde no se realizará ninguna actuación. Las áreas propuestas a realizar actuaciones como: mantener la masa forestal con cuidados culturales y mantener las prácticas de cultivo que suman 65.439 km<sup>2</sup>, presentan un nivel de erosión por debajo del admisible ( $A < A_t$ ) y mantienen la sostenibilidad del medio.

#### **4.5 PROPUESTA DE ACTUACIONES PARA ÁREAS CON PÉRDIDAS DE SUELO INFERIORES A LO TOLERABLE (A < AT)**

##### **4.5.1 TRATAMIENTOS CULTURALES Y MANTENER LAS PRÁCTICAS DE CULTIVO**

Se refieren a los tratamientos culturales cuando se habla de los cuidados de las masas forestales para poder mejorar su calidad y favorecer la resistencia de los individuos frente a los agentes externos e incrementar su vigor. Estos tratamientos se aplicados a zonas Matorral seco, Matorral seco de tierras bajas, Pasto natural, Pasto cultivado con árboles, Sabana ecuatorial, Teca, Vegetación arbórea seca, Bosque deciduo de tierras bajas cuando las pérdidas son menores a 10 t/ha·año.

La actuación de mantenimiento de prácticas de cultivo se aplica de igual manera cuando las pérdidas son menores a 10 t/ha·año sobre los cultivos de maíz, barbecho, misceláneo indiferenciado, mango, arroz, pasto cultivado, frejol.

#### **4.6 PROPUESTA DE ACTUACIONES CON PÉRDIDAS DE SUELO SUPERIORES AL TOLERABLE (A>AT)**

##### **4.6.1 REALIZAR CULTIVOS EN FAJAS Y LABOREO POR CURVAS DE NIVEL**

En la tabla 4.17 se detalla que los cultivos en fajas están destinados a emplearse en 21.515 km<sup>2</sup>, para lo cual se aplicó la tabla 4.19 la cual presenta valores del factor P que antes no fueron tomados en cuenta en la ecuación de USLE (A = R.K.LS.C.P).

De la tabla 4.19 se tomaron los valores de cultivos en fajas (con bandas alternas de pradera) y que corresponden factor P de valor 0.3, y se aplica a las zona destinada a realizar actuaciones de cultivos en fajas y laboreo por curvas de nivel, al resto del mapa se le designó un valor de 1, y se procedió a la aplicar la fórmula de USLE en el Álgebra de mapas.

**TABLA 4.19** FACTORES ASOCIADOS A LAS PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DEL SUELO (P)

VALORES DEL FACTOR P (PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN)		
PORCENTAJE DE PENDIENTE	CULTIVO EN FAJAS (CON BANDAS ALTERNAS DE PRADERA)	CULTIVO EN FAJAS (CON BANDAS ALTERNAS DE CEREALES)
1.1 – 2.0	0.30	0.45
2.1 – 7.0	0.25	0.4
7.1 – 12.0	0.30	0.45
12.1 – 18.0	0.40	0.6
18.1 – 24.0	0.45	0.7

FUENTE: (Wischmeler & Smith, 1965)

Al introducir el factor P en la ecuación de USLE e implementar de cultivos en fajas con bandas alternas de pradera en los 21.515 km<sup>2</sup> de la CEP, se produjo un aumento de 10 km<sup>2</sup> de área que está bajo el límite tolerable de erosión hídrica ( $A < A_t$ ), lo que consigue la sostenibilidad del 50.98 % del área de la CEP con grado de erosión nula o ligera, como se observa en la tabla 4.20.

**TABLA 4.20** COMPARACIÓN DE LAS ÁREAS DE CEP AL APLICAR EL FACTOR P DE CULTIVO EN FAJAS EN USLE

USLE (FACTOR A) + FACTOR P			USLE (FACTOR A)	
GRADO DE EROSIÓN HÍDRICA (A)	ÁREA	% DE ÁREA	ÁREA	% DE ÁREA
	(Km <sup>2</sup> )		(Km <sup>2</sup> )	
No aplicable	0.437	0.30	0.437	0.30
Nula o Ligera	74.857	50.98	65.561	44.65
Moderada	40.404	27.52	47.52	32.36
Alta	13.339	9.08	13.157	8.96
Muy Alta	17.728	12.07	20.162	13.73
<b>TOTAL</b>	<b>146.837</b>	<b>100</b>	<b>146.837</b>	<b>100</b>

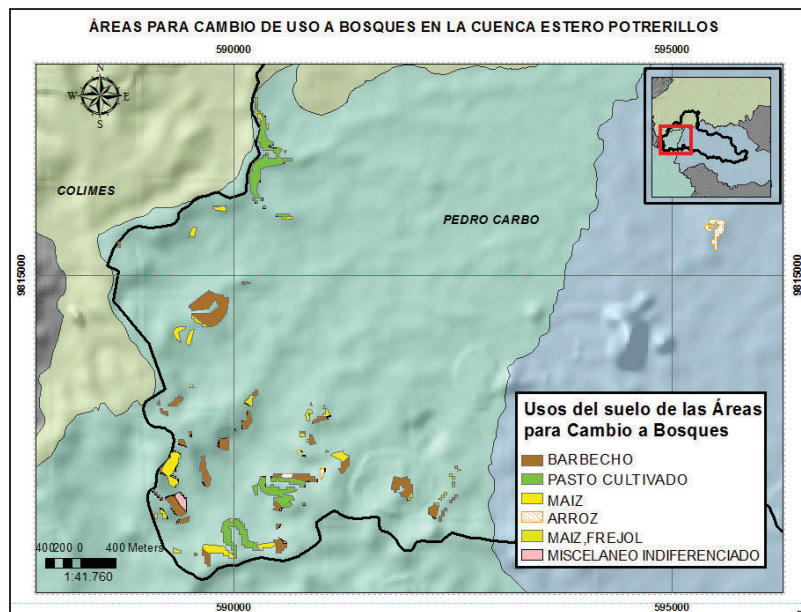
ELABORADO POR: Salazar Nelson

#### 4.6.2 CAMBIAR EL USO A BOSQUES

Esta actuación es una de las actuaciones prioritarias porque implica el cambio de uso de suelo de vocación agrícola a bosque, debido a que se encuentra en condiciones de pérdida de suelo como mayor al tolerable ( $A > A_t$ ) y con pendiente mayor a 30%. El objetivo de este cambio de uso del suelo es el ayudar a frenar la pérdida de suelo con el establecimiento de masas forestales.

En la figura 4.13 se observa que las áreas destinadas al cambio a bosques se encuentran en la parte más sur oeste de la CEP sobre la porción que pertenece al cantón Pedro Carbo. Además se identifica a los usos de suelo que están dentro de las zonas de cambio a bosque como barbecho, pasto cultivado, maíz, maíz frejol, misceláneo indiferenciado, etc. y que también se observa en la tabla 4.21.

**FIGURA 4.13** USO DEL SUELO DE ÁREAS DESTINADAS PARA EL CAMBIO DE USO A BOSQUES EN LA CUENCA ESTERO POTRERILLOS DE USO A BOSQUES EN LA CEP



ELABORADO POR: Salazar Nelson

**TABLA 4.21** USOS DE SUELO Y ACTUACIONES PARA LAS ÁREAS DE CAMBIO DE USO A BOSQUES

USOS DEL SUELO	ACTUACIÓN (Cambio de Uso a Bosque)		ÁREA	ÁREA
	Especie Principal	Especie acompañante	(km <sup>2</sup> )	(Ha)
Barbecho	Nativas	Maderables	0,364	36,364
Pasto cultivado	Nativas	Pasto	0,283	28,330
Maíz	Nativas	Maderables	0,166	16,575
Arroz	Nativas	Maderables	0,044	4,421
Frejol	Nativas	Maderables	0,038	3,821
Misceláneo indiferenciado	Nativas	Árboles frutales + cultivos agrícolas	0,016	1,648
<b>TOTAL FINAL</b>			<b>0,9116</b>	<b>91,061</b>

ELABORADO POR: Salazar Nelson

En la tabla 4.21 está que la mayor área a cambiar a bosque es el barbecho con 36.36 Ha. Además se establece que en el uso de suelo Pasto cultivado se encuentre como especie acompañante al pasto cultivado. Esta combinación se llama silvopastura la cual combina al bosque nativo con pastos, en un área de 28.33 Ha. Adicionalmente se tiene que para el uso de suelo Misceláneo indiferenciado se aplicara un sistema llamado Agro-Fruti-Forestal que es la combinación de árboles maderables asociados con cítricos y cultivos agrícolas, a un área de 1.648 Ha.

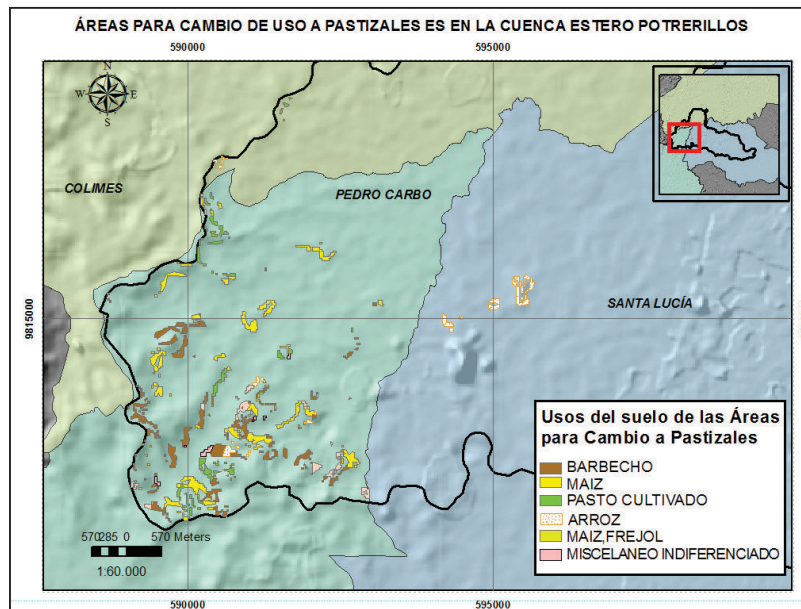


### 4.6.3 CAMBIAR EL USO A PASTIZALES

Esta actuación es una de las actuaciones prioritarias debido a que implica el cambio de uso de suelo de vocación agrícola a pastizales, debido a que se encuentra en condiciones de pérdida de suelo mayor al tolerable ( $A > At$ ) y con pendiente entre 18% y 30%. El objetivo de este cambio de uso del suelo es que ayude a frenar la pérdida de suelo lo más rápido posible con la cobertura de pastizales, comparando con el tiempo que llevaría hacerlo con bosques.

En la figura 4.14 se observa que las áreas destinadas al cambio a pastizales se encuentran en la parte más suroeste de la CEP sobre la porción que pertenece al cantón Pedro Carbo y parte Santa Lucía. Además se identifica a los usos de suelo que están dentro de las zonas de cambio a pastizales como barbecho, pasto cultivado, maíz, maíz frejol, misceláneo indiferenciado, etc. y que también se observa en la tabla 4.22.

**FIGURA 4.14** ÁREAS PARA CAMBIO DE USO A PASTIZALES EN CEP



ELABORADO POR: Salazar Nelson

En la tabla 4.22 está que la actuación es el cambio de uso a pastizales, sin embargo este cambio puede ser paulatino dejando en opción la integración de cultivos en fajas, alternando al pastizal cultivable con los respectivos cultivos del uso del suelo.

**TABLA 4.22** USOS DE SUELO Y ACTUACIONES PARA LAS ÁREAS DE CAMBIO DE USO A PASTIZALES

USOS DEL SUELO	ACTUACIÓN	ÁREA (km <sup>2</sup> )	ÁREA (Ha)
Barbecho	Cambio de Uso a Pastizal Cultivable	0,612	61,168
Maíz	Cambio de Uso a Pastizal Cultivable y/o Cultivo (Fajas)	0,600	60,008
Arroz	Cambio de Uso a Pastizal Cultivable y/o Cultivo (Fajas)	0,190	19,006
Maíz, frejol	Cambio de Uso a Pastizal Cultivable y/o Cultivo (Fajas)	0,142	14,249
Misceláneo indiferenciado	Cambio de Uso a Pastizal Cultivable y/o Cultivo (Fajas)	0,035	3,490
Pasto cultivado	Ninguno	0,224	22,371
<b>TOTAL</b>		<b>1,803</b>	<b>180,293</b>

ELABORADO POR: Salazar Nelson

#### 4.6.4 CULTIVOS EN TERRAZAS Y/O BANCALES

Las terrazas son escalones anchos, contruidos por el ser humano usando la misma tierra del lugar. Las terrazas son hechas con el objeto de que suelos inclinados puedan usarse con cultivos agrícolas o plantaciones forestales, sin que la tierra sea arrastrada por el agua, de esta manera el agua no escurre, sino que se infiltra en el suelo. En la CEP debe practicarse esta actuación en un área de 2.307 km<sup>2</sup> con vocación agrícola donde existe cobertura de cultivos como maíz, barbecho, misceláneo indiferenciado, mango, arroz, pasto cultivado, frejol.

#### **4.6.5 MEJORAR LAS CONDICIONES DE PROTECCIÓN DEL ARBOLADO (TRATAMIENTOS SELVÍCOLAS)**

Los tratamientos selvícolas son efectuados para favorecer la regeneración forestal y disminuir el riesgo de incendios. Esta labor se lleva a cabo mediante las acciones de desbroce, poda, roza y clareo. Deben practicarse en 7.859 km<sup>2</sup> de área de la CEP sobre vegetación con vocación forestal y que tienen cobertura de vegetación arbórea seca y bosque deciduo.

#### **4.6.6 SUPERFICIE ARBOLADA POR MEDIO DE REPOBLACIONES ARTIFICIALES**

En la CEP la elección de las especies óptimas para repoblaciones artificiales no es un objetivo del presente estudio, sin embargo hay que tomar en cuenta dos factores para realizar estas repoblaciones:

- El objetivo de la repoblación artificial puede ser para producción o protectora. Producción es priorizar la obtención de productos directos como madera, resina, frutos, etc. Protectora cuando es priorizada la mejora, la protección del suelo, fauna, paisaje, lucha contra erosión hídrica o eólica, etc. (Calderón *et al.*, 2014).
- Las características de las especies forestales son el porte y enraizamiento, longevidad, reproducción, estación, temperamento, etc., que a su vez están relacionados a los factores condicionantes y/o limitantes de la estación que son: precipitación, humedad ambiental, temperatura (Tmax, Tmin, heladas, etc.), factores fisiográficos de la zona y características del suelo como pH, profundidad, estructura, etc. (Calderón *et al.*, 2014).

El objetivo de la repoblación artificial o reforestación en la CEP será generar una masa forestal para la conservación del suelo frente a fenómenos erosivos, y se tomó como referencia a dos características del suelo que son la profundidad y la fertilidad. De esta manera se da prioridad a las especies nativas en suelos más profundos y de mayor fertilidad. Para los suelos con menor profundidad y fertilidad, serán destinadas como prioridad especies de rápido crecimiento y/o

maderables de raíces fuertes para mejorar las condiciones del suelo como se observa en la tabla 4.23.

**TABLA 4.23** PROPUESTA DE ACTUACIÓN PARA LAS ÁREAS DESTINADAS A REPOBLACIÓN ARTIFICIAL

Profundidad del suelo	Fertilidad del suelo	USO	ACTUACIÓN (Repoblación Artificial)		ÁREA	ÁREA
			Especie Principal	Especie acompañante	(km <sup>2</sup> )	(Ha)
Moderadamente Profundo	Alto	Matorral seco, Matorral seco de tierras bajas de la costa, Pasto cultivado, Pasto con presencia de árboles, Pasto Natural, Sabana ecuatorial, Teca	Nativas	Maderables	1,578	157,768
	Medio	Matorral seco, Matorral seco de tierras bajas de la costa, Pasto con presencia de árboles, Pasto Natural	Nativas	Rápido crecimiento	8,635	863,471
Poco Profundo	Alto	Matorral seco, Matorral seco de tierras bajas de la costa, Pasto Natural, Pasto con presencia de árboles, Sabana ecuatorial	Nativas	Maderables	2,306	230,610
	Medio	Matorral seco, Matorral seco de tierras bajas de la costa, Pasto Natural, Pasto con presencia de árboles, Sabana ecuatorial	Rápido crecimiento	Nativas	3,661	366,090
	Bajo	Matorral seco, Pasto Natural, Teca	Rápido crecimiento	Maderables	27,902	2790,229
Superficial	Alto	Matorral seco, Pasto Natural	Rápido crecimiento	Nativas	0,230	22,991
	Medio	Matorral seco, Pasto Natural, Teca	Rápido crecimiento	Maderables	1,409	140,860
	Bajo	Matorral seco, Pasto Natural	Rápido crecimiento	Rápido crecimiento	0,381	38,082
<b>TOTAL</b>					<b>46,101</b>	<b>4610,101</b>

ELABORADO POR: Salazar Nelson

La profundidad del suelo es una característica que fue determinada en caracterización del suelo con las calicatas por SENPLADES (2012) y la define como profundidad efectiva del suelo que se mide en centímetros de manera perpendicular a la superficie hasta la cual pueden desarrollarse las raíces,

siempre que el agua no sea un factor limitante. Dentro del área de estudio se ubicaron tres niveles de profundidad que se describen en la tabla 4.23 y son los siguientes:

- Moderadamente profundo: La profundidad efectiva del suelo entre 51 y 100 cm de profundidad.
- Poco profundo: La profundidad efectiva del suelo entre 21 y 50 cm de profundidad.
- Superficial: La profundidad efectiva del suelo entre 0 y 20 cm de profundidad (SENPLADES, 2012).

La fertilidad del suelo se define como la capacidad del suelo de proporcionar elementos nutritivos para las plantas, está clasificada en función del potencial de hidrógeno, capacidad de intercambio catiónico y saturación de bases (SENPLADES, 2012). Dentro del área de estudio se ubicaron tres niveles de fertilidad que de igual manera se observan en la tabla 4.23 y son los siguientes:

- Alta: Capacidad alta de intercambio catiónico, alta saturación de bases y óptima disponibilidad de nutrientes.
- Media: Moderada capacidad de intercambio catiónico, buena disponibilidad de nutrientes, y una mediana saturación de bases.
- Baja: Escasa capacidad de intercambio de elementos, baja disponibilidad de nutrientes y baja saturación de bases (SENPLADES, 2012).

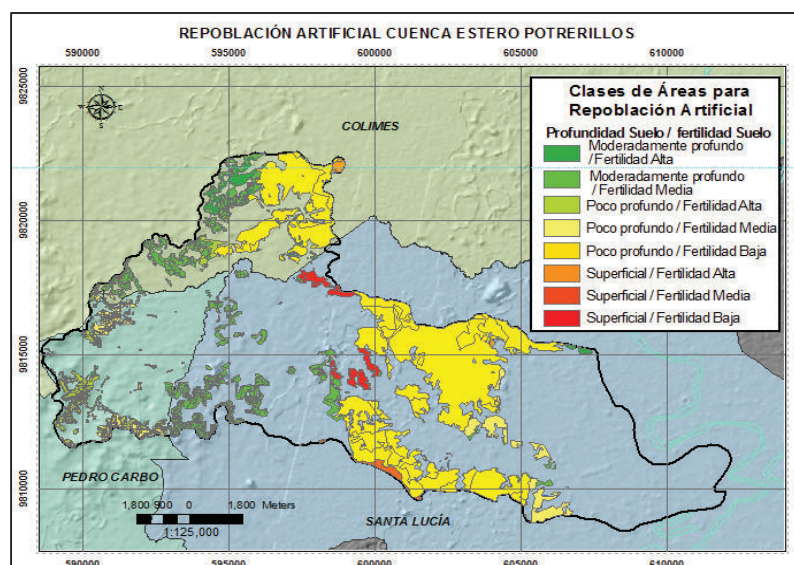
En la tabla 4.23 las Especies Principales serán el resultado de una preselección de especies, obteniendo una lista de Especies Principales Posibles ecológicamente, luego se descarta las especies con menos posibilidades y se llega a una lista de Especies Principales Aconsejables, finalmente de esta última lista se selecciona una o dos especies que tengan mayor posibilidad de éxito de adaptación al medio. Adicionalmente las Especies Accesorias ocuparán un papel secundario en la repoblación acompañando a las especies principales (Calderón *et al.*, 2014).

Se observa en la tabla 4.23 que sin tomar en cuenta a las tres clases de profundidad, cuando se presente un suelo con fertilidad alta, se procura colocar

Especies Nativas ya sea como Especie Principal o Acompañante según sea el caso. Además cuando la especie principal sea una especie nativa se procurará realizar la repoblación con labores de densificación de la especie escogida. La densificación comprende acciones para aumentar la masa forestal con cubierta escasa (Calderón *et al.*, 2014).

En la figura 4.15 está la clasificación de las áreas a realizar repoblación artificial según los criterios de profundidad y fertilidad del suelo. Es notable que los suelos poco profundos en tonos amarillos se ubican en la parte media y alta de la CEP, en menor proporción los suelos moderadamente profundos en tonalidades verdes en la parte más distal hacia el oeste de la CEP y los suelos superficiales en tonos rojos en menor proporción que los dos anteriores en la sección media de la CEP. En el ANEXO N°3 algunas especies nativas opinadas para la repoblación.

**FIGURA 4.15** ÁREAS DESTINADAS A REPOBLACIÓN ARTIFICIAL



ELABORADO POR: Salazar Nelson

#### 4.7 COMPARACIÓN CON LAS ÁREAS DE DEFORESTACIÓN DE LOS AÑOS 1990-2000 Y 2000-2008

Para las zonas deforestadas entre 1990-2008 se establecen las diferentes actuaciones que se determinaron en el presente estudio y que deben ser llevadas a cabo para evitar mayores procesos de erosión del suelo.

Como se presenta en la tabla 4.24 el valor más importante en cuanto a extensión es la repoblación artificial con 507.8 Hectáreas y como zonas con mayor prioridad están las 29.11 Hectáreas para cambio de uso a bosques y 33.51 Hectáreas a pastizales. Sin embargo las 232.04 Hectáreas destinadas a mantener la masa forestal en las cuales estaban deforestadas y que posiblemente existieron procesos de regeneración natural, forestación o simplemente la información actual es más detallada que la disponible entre 1990-2008.

En zonas con vocación agrícola se propone el Manejo de cultivos en terrazas, bancales y en fajas, laboreo que suma un total de 151.77 Hectáreas. Además se

observa que solamente es sostenible 46.72 Hectáreas de cultivos al tener como actuación el mantener las prácticas de cultivo.

**TABLA 4.24** ACTUACIONES PARA LAS ZONAS DEFORESTADAS DE LOS PERÍODOS 1990-2000 Y 2000-2008

ACTUACIÓN	Deforestación 1990-2000		Deforestación 2000-2008		TOTAL	
	ÁREA (km <sup>2</sup> )	ÁREA (Ha)	ÁREA (km <sup>2</sup> )	ÁREA (Ha)	ÁREA (km <sup>2</sup> )	ÁREA (Ha)
Cambiar el uso a bosques	0,232	23,236	0,059	5,876	<b>0,291</b>	<b>29,112</b>
Cambiar el uso a pastizales	0,307	30,749	0,028	2,769	<b>0,335</b>	<b>33,517</b>
Mantener la masa forestal con cuidados culturales	1,200	120,019	1,120	112,023	<b>2,320</b>	<b>232,041</b>
Mantener las prácticas de cultivo	0,420	42,036	0,047	4,688	<b>0,467</b>	<b>46,724</b>
Mejorar las condiciones de protección del arbolado (tratamientos selvícolas)	0,077	7,656	0,133	13,281	<b>0,209</b>	<b>20,937</b>
Practicarán cultivos en terrazas y /o bancales	0,205	20,470	0,043	4,267	<b>0,247</b>	<b>24,737</b>
Realizar cultivos en fajas y laboreo por curvas de nivel	1,142	114,177	0,129	12,859	<b>1,270</b>	<b>127,036</b>
Superficie arbolada por medio de repoblaciones artificiales	4,315	431,450	0,764	76,350	<b>5,078</b>	<b>507,800</b>

FUENTE: (MAE, 2014)

ELABORADO POR: Salazar Nelson

#### **4.8 COMPARACIÓN CON LAS ÁREAS A RESTAURAR DEL PLAN NACIONAL DE RESTAURACIÓN FORESTAL 2014-2017**

En la Restauración Forestal se consideran criterios que no sólo son densidad de árboles por hectárea y número de especies como en la plantación comercial, sino también se toma en cuenta la conectividad ecológica, diversidad de especies, funcionalidad de los ecosistemas, microclimas, flujos de especies. Esta es la razón por la cual no se deben aplicar los mismos criterios técnicos de evaluación de las plantaciones con fines comerciales y la Restauración Forestal con fines de conservación, porque este es un proceso de restauración de paisajes, de funcionalidad ecológica, de restauración de servicios ambientales (MAE, 2014).



**TABLA 4.25** ACTUACIONES PARA LAS DIFERENTES ZONAS PRIORIZADAS DESTINADAS A LA RESTAURACIÓN FORESTAL

ACTUACIÓN	Restauración Prioridad Alta		Restauración Prioridad Media		Restauración Prioridad Baja		TOTAL	
	ÁREA (km <sup>2</sup> )	ÁREA (Ha)	ÁREA (km <sup>2</sup> )	ÁREA (Ha)	ÁREA (km <sup>2</sup> )	ÁREA (Ha)	ÁREA (km <sup>2</sup> )	ÁREA (Ha)
No Aplica	0,006	0,609	0,000	0,000	0,000	0,000	<b>0,006</b>	<b>0,609</b>
Cambiar el uso a bosques	0,020	1,951	0,041	4,056	0,000	0,000	<b>0,060</b>	<b>6,007</b>
Cambiar el uso a pastizales	0,020	2,011	0,031	3,113	0,000	0,000	<b>0,051</b>	<b>5,125</b>
Mantener la masa forestal con cuidados culturales	0,203	20,284	0,776	77,569	0,511	51,087	<b>1,489</b>	<b>148,940</b>
Mantener las prácticas de cultivo	0,148	14,798	0,119	11,874	0,748	74,844	<b>1,015</b>	<b>101,515</b>
Mejorar las condiciones de protección del arbolado (tratamientos selvícolas)	0,008	0,824	0,017	1,663	0,001	0,089	<b>0,026</b>	<b>2,576</b>
Practicarán cultivos en terrazas y /o bancales	0,057	5,656	0,013	1,335	0,004	0,362	<b>0,074</b>	<b>7,352</b>
Realizar cultivos en fajas y laboreo por curvas de nivel	0,452	45,205	0,220	22,002	0,327	32,712	<b>0,999</b>	<b>99,920</b>
Superficie arbolada por medio de repoblaciones artificiales	0,505	50,527	0,656	65,641	0,175	17,483	<b>1,337</b>	<b>133,651</b>

FUENTE: (MAE, 2014)

ELABORADO POR: Salazar Nelson

Para las áreas de los niveles de prioridad de restauración forestal, se establecen diferentes actuaciones que fueron determinadas en la CEP. Como se presenta en la tabla 4.25 el valor más importante en cuanto área total es la actuación de *Mantener la Masa Forestal* con cuidados culturales con 148.9 Hectáreas, las cuales estaban deforestadas y que posiblemente existieron procesos de regeneración natural, forestación o simplemente la información actual utilizada en este estudio es más detallada, como zonas con mayor prioridad para las actuaciones están las 5.12 Hectárea para cambio de uso a pastizales y 6.0 Hectárea cambio a bosques, además las 133.62 Hectárea destinadas a superficies arboladas por repoblación artificial o que se realizará la restauración forestal 2014 - 2017 como se señala en el presente capítulo.

En zonas con vocación agrícola se propone el manejo de cultivos en terrazas y/o bancales, cultivos en fajas y laboreo por curvas de nivel que suman un total de 107.27 Hectáreas. Además se observa que solamente es sostenible las 101.51 Hectáreas de cultivos al tener como actuación el Mantener las Prácticas de Cultivo.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- La información disponible en la Cuenca Estero Potrerillos permitió aplicar el modelo USLE utilizando como herramienta los Sistemas de Información Geográfica GIS, con el cual se generó cartografía georeferenciada que fue utilizada en la simulación del modelo para estimar la pérdida de suelo promedio anual.
- La aplicación del modelo USLE por medio de GIS supone un método óptimo para el estudio de la erosión en una cuenca hidrográfica utilizándolo más como una guía que permite tomar decisiones que para tratar de cuantificar con exactitud la pérdida de suelo en la zona.
- En el cálculo del factor R, la aplicación de la ecuación de *Fournier* se adaptó satisfactoriamente con la información meteorológica disponible (precipitaciones mensuales y anuales) en la CEP, debido a que genero resultados homogéneos de erosividad para todas las estaciones incluyendo a la que tenía pocos años de registros.
- *El factor R presenta valores que aumentan paulatinamente de menor a mayor magnitud hacia el noreste de la CEP, con valores máximos de 4226.58 (MJ.mm/ha.h.año), que corresponden con las zonas de mayor precipitación.*

- La información disponible en las calicatas para el cálculo del factor K permitió una estimación más real de la erosionabilidad del suelo, al tomar en cuenta en su ecuación de cálculo a los factores de porcentaje de materia orgánica, la estructura del suelo y la permeabilidad. Tomando en cuenta que otros estudios desestimaron uno o más parámetros por falta de información en el cálculo de K.
- Es posible que en el cálculo del factor K, exista una ligera sobreestimación, debido a que en el análisis granulométrico de las calicatas no hay diferencia entre arena gruesa y arena fina, y en el presente trabajo se adaptó como dato de referencia de otros estudios, que señalaban como aceptable asumir el 50% de la proporción de arena como arena fina.
- Los valores del factor K en la CEP oscilan entre 0.28 a 0.46 ( $t \cdot ha \cdot h \cdot ha^{-1} \cdot MJ^{-1} \cdot mm^{-1}$ ). Son valores altos, que favorecen resultados elevados en el cálculo de la erosión hídrica, al presentar en la mayoría suelos con una textura arcillosa o franco arcillosos en la superficie.
- Los valores del factor LS en la CEP varían desde 0.043 hasta 19.560:
  - El 0.40% de área de la cuenca presenta valores entre 14.070 a 19.560. Corresponde a la zona de mayor pendiente y se ubica al extremo noroeste de la cuenca hacia el cantón Pedro Carbo.
  - El 83.10% del área de toda la CEP, presenta valores entre 0.043 y 1.4906, significando que la pendiente es muy suave.
- Los valores del factor C de la CEP son sensiblemente mayores que otros estudios realizados dentro de la cuenca del río Guayas. Los valores observados en la CEP corresponden en su mayoría a cultivos intensivos que producirán mayor grado de erosión hídrica y que se traduce en factores C mayores, mientras que los obtenidos en la cuenca del Guayas se corresponden con zonas arbóreas, con arboricultura, con pastos que representan factores C más pequeños.

- No se considera al factor P en el cálculo de USLE, ya que en la CEP no se han identificado zonas con prácticas de conservación del suelo. Esto aumenta los valores de pérdida del suelo.
- La aplicación del modelo USLE en la CEP, ha permitido ubicar las zonas con potencial riesgo frente a la erosión hídrica.
- En la aplicación del modelo USLE en la CEP se concluye que la cuenca se encuentra en un estado no aceptable frente a la erosión, produciéndose una erosión moderada (entre 10 y 50 tn/ha·año) en un 32.36% de la superficie total, una erosión alta (entre 50 y 200 tn/ha·año) en un 8.96% y una erosión muy alta (superior a 200 tn/ha·año) en un 13.73%. En estas zonas es necesario aplicar medidas de protección frente la erosión hídrica del suelo.
- La comparación de los resultados obtenidos con el modelo USLE y los resultados obtenidos con el modelo utilizado por la SENPLADES, concluyen que el modelo USLE sobreestima la pérdida del suelo por erosión hídrica y por tanto las áreas a proteger en aquellas zonas de mayor pendiente.
- La elección de las actuaciones correctoras en la ordenación agrohidrológica se basa en las pendientes máximas admisibles para distintos usos del suelo desarrollado por García Nájera en 1954. A pesar de su antigüedad, es un criterio válido para garantizar la sostenibilidad del suelo, y sigue siendo aplicado por varios autores, en trabajos recientes en otras cuencas en Sudamérica.
- De la aplicación de las medidas propuestas en la cuenca del Estero Potrerillos se concluye que:
  - Para los usos agrícolas se debe:
    1. Mantener las prácticas de cultivo en 37,336 km<sup>2</sup>;

2. Realizar cultivos en fajas y laboreo por curvas de nivel en 21,515 km<sup>2</sup>;
  3. Practicar cultivos en terrazas y /o bancales en 2,307 km<sup>2</sup>;
  4. Cambiar el uso a pastizales en 1,803 km<sup>2</sup>;
  5. Cambiar el uso a bosques en 0,912 km<sup>2</sup>;
- En usos forestales se propone:
    6. Incrementar la superficie arbolada a través de repoblaciones artificiales en 46,171 km<sup>2</sup>;
    7. Mantener la masa forestal con cuidados culturales en 28,103 Km<sup>2</sup>;
    8. Mejorar las condiciones protectoras del arbolado (tratamientos selvícolas) en 7,859 km<sup>2</sup>.
- Si de las ocho actuaciones de conservación del suelo propuestas, se llegarían a implementar solamente las siguientes tres: [(2) Cultivos en fajas con laboreo por curvas de nivel, (7) mantenimiento de la masa forestal con cuidados culturales y (8) tratamientos selvícolas del arbolado], se podría cubrir 39.7% del área total de la cuenca, que representa 57.477 km<sup>2</sup>. No se han incluido las repoblaciones artificiales forestales ya que requieren mayor cantidad de recursos económicos.
  - Al recalcular la pérdida del suelo por erosión hídrica introduciendo al factor P en la ecuación de USLE, con la medida correctora del cultivos en fajas sobre los 21.515 km<sup>2</sup> como se describe en la propuesta de ordenación agrohidrológica, se produjo un aumento de 10 km<sup>2</sup> en la zona que se ubicó bajo el límite tolerable de erosión hídrica ( $A < A_t$ ), pasando del 44.65% al 50.98% del área que puede cumplir con la sostenibilidad del suelo y la vegetación en la cuenca.
  - Para la propuesta de actuación de repoblación artificial se tomó como referencia los criterios de profundidad y fertilidad del suelo, tal que se propone el uso de:

- Especies nativas en suelos más profundos de mayor fertilidad
  - Especies de rápido crecimiento y/o maderables de raíces fuertes para los suelos con menor profundidad y fertilidad, con la finalidad de mejorar las condiciones del suelo.
- 
- Dentro de la cuenca CEP se encuentra áreas que fueron deforestadas entre los años 1990-2008 y que fueron delimitadas por el MAE. Estas áreas deforestadas del MAE se superpusieron a la capa ordenamiento agrohidrológico propuesta en este estudio, con la finalidad identificar las actuaciones para la conservación de la cuenca en estas zonas antiguamente deforestadas y son las siguientes:
    - Repoblación artificial en 507.8 hectáreas;
    - Cambio de uso a pastizales en 33.51 hectáreas;
    - Cambio de uso a bosques en 29.11 hectáreas;
    - Manejo de cultivos en terrazas o bancales, cultivos en fajas y laboreo por curvas de nivel, en un área que suma un total de 151.77 hectáreas en zonas con vocación agrícola.
- 
- En la CEP se ubican áreas definidas por el MAE en El Plan Nacional de Restauración Forestal 2014 – 2017, que están destinadas a la restauración forestal. De igual manera se superpuso la capa de ordenamiento agrohidrológico para proponer varias actuaciones generadas en este estudio sobre estas zonas destinadas inicialmente solo a restauración forestal y son las siguientes:
    - Mantener la masa forestal con cuidados culturales en 148.9 hectáreas;
    - Repoblación artificial en 133.62 hectáreas destinadas a superficies arboladas;
    - Cambio a bosques en 6.0 hectáreas;
    - Cambio de uso a pastizales en 5.12 hectáreas;

- En zonas con vocación agrícola el manejo de cultivos en terrazas o bancales, cultivos en fajas y laboreo por curvas de nivel, en un área que suma un total de 107.27 hectáreas.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Para la distribución del factor R por interpolación con Spline, se recomienda previamente identificar la ubicación de cada estación de tal manera que encierre o englobe al área de estudio, para garantizar que la interpolación cubra toda la zona de estudio.
- Respecto al factor K, evaluar la posibilidad de solicitar a SENPLADES – IEE quienes realizaron las calicatas, el disponer de las muestras respaldo de cada calicata que levantaron en el área de estudio para poder tamizar estas muestras y así poder diferenciar las porciones de arena gruesa y fina.
- Para futuros estudios del suelo, sería conveniente considerar el análisis granulométrico del suelo para determinar la diferencia entre arena gruesa y arena fina y el cálculo de la conductividad hidráulica para poder aplicar el modelo USLE como herramienta para la toma de decisiones frente a la amenaza de erosión hídrica.
- Es importante es mencionar que los valores del factor C van a variar en el transcurso del año debido a la naturaleza de los cultivos que se tiene en la Cuenca Estero Potrerillos. En este trabajo se simplifica tomando un valor anual obtenido de referencias bibliográficas avaladas por la FAO.



- Resaltar que la metodología USLE está considerada una buena herramienta, más para la toma de decisiones respecto al manejo del suelo para la remediación o prevención de pérdidas potenciales de suelo por erosión hídrica que para el cálculo exacto de la cantidad de suelo perdido por erosión hídrica.

## CAPÍTULO 6

### 6.1 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, M. (2010). INSTRUCTIVOS DE PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA. Quito, Pichincha, Ecuador.

Alonso, F. (2006). Sistemas de Información Geográfica. Murcia, España.

Aparicio, F. (1992). Fundamentos de Hidrología de Superficie. México: Limusa Grupo Noriega Editores.

Beasley, D., Huggins, L. y Monke, E.J. (1980). Answers: A Model for Watershed Planning. Transactions of the ASAE Vol. 23, No. 4, p 938-944.

Calderón, C., García, J., Giménez, M., Ramos, B., & Ortega, E. (2014). Operaciones Auxiliares en repoblaciones e infraestructura forestal. Parainfo. S.A.

CHOW, V. (1964). Handbook of applied hydrology. New York: Mc. Graw - Hill.

Chow, V. (1994). Hidrología Aplicada.

Cruz, M. (2008). Metodología de cálculo del factor topográfico, LS, integrado en los modelos RUSLE y USPED. Aplicación al arroyo del Lugar, Guadalajara (España). España.

Eficácitas. (2006). Estudio de Impacto Ambiental Definitivo Proyecto Multipropósito BABA.

ESRI. (2012). ArcGis Resource Center. Recuperado el 6 de Agosto de 2015, de <http://help.arcgis.com/es/arcgisdesktop/10.0/help/index.html#//009z0000006w000000>

FAO, & IFAD. (2001). An Assessment of The Impact of Cassava Production and Processing on their Environment and Biodiversity. Roma.

Flanagan, D. & Nearing, M. (1985). USDA - Water Erosion Prediction Project, Hillslope Profile And Watershed Model Documentation. NSERL Report No. 10, USDA-ARS National Soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, Indiana 47907.

Folgueiras, R. (2013). Proyecto de restauración hidrológico-forestal de la cuenca del Arroyo de la Vega, desde su nacimiento hasta la confluencia con el Tajuña . Madrid, España: Universidad Politécnica De Madrid.

Fuentes, J. (2004). Análisis morfométrico de cuencas: Caso de estudio del Parque Nacional pico de Tancítaro. México

García, R., & Mantecas, C. (2005). Ordenación Agro-hidrológica de la cuenca del Río Aguijejo (Segovia). Por medio de la aplicación de GIS (Geographical Information Systems). Madrid.

Gisbert Blanquer, J., Ibáñez Asensio, S., & Moreno Ramón, H. ( 2012). El factor K de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE). Valencia: Universitat Politècnica de Valencia.

Haan. C., Johnson, H., Brakensiek, D. (1982) Hydrologic Modeling of Small Watersheds. ASAE, pp.297-370.

HERAS, R. (1976). *Hidrología y Recursos Hidráulicos* . Madrid: Centro de Estudios Hidrográficos.

Howeler R., Oates C., Costa, A. (2000). An assessment of the impact of smallholder cassava production and processing on the environment and biodiversity. In IFAD/FAO (2000).

Huey, S. (2011). Soil erosion modeling using rusle and gis on Cameron Highlands, Malaysia for hydropower development.

IEE. (2012). Amenaza a Erosión Hídrica. Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional escala 1:25000, Componente Geopedología y Amenazas Geológicas .

Ibañez, A., Moreno, H., & Gisbert, J. (2012). El factor C, R, de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE). España.

INAMHI. (1999). Estudio de Lluvias Intensas. Quito: INAMHI.

INIAP. (2006). Física de Suelos. Estación Experimental Santa Catalina Departamento de Manejo de Suelos y Aguas. *Instituto Autónomos Nacional de Investigaciones Agropecuarias*. Quito, Pichincha, Ecuador.

Iñiguez M. Manejo y conservación de suelos y aguas. Grafica Cosmos. Loja, Ecuador. (1999).

Junta de Andalucía. (2015). Informe técnico Junta Andalucía. [http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/documentos\\_tecnicos/uso\\_suelo/evaluacion7.pdf](http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/documentos_tecnicos/uso_suelo/evaluacion7.pdf). P262. (Consulta en julio de 2015).

Jaramillo, D. (2002). *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias.

López, A. (2001). Consideraciones acerca de los límites de aplicación del método del número de curva del Soil Conservation Service.

MATEI, D. (2012). Runoff modeling using GIS. Application in torrential basins in the Apuseni Mountains. Cluj-Napoca, Romania.

Mintegui, J. (1988). Análisis de la influencia del relieve en la erosión hídrica. Hipótesis de estudio para correlacionar la pendiente con la longitud del declive en un terreno. . Madrid: V Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica.

Mintegui, J., & López, F. (1990). La ordenación agrohidrológica en la planificación.

Mitasova, H., Brown, W., Johnston, D., & Mitas, L. (1996). GIS Tools for Erosion/Deposition Modeling and Multidimensional Visualization. Part II: Unit Stream Power-Based Erosion / Deposition Modeling and Enhanced Dynamic Visualization .

Monsalve, G. (1995). Hidrología en la Ingeniería. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Morgan, R., Torri, D., Smith, R., Govers, G., Poesen, J., Styczen, M., Quinton, J., Chisci, G. & Auerswald, K. (1998). The European Soil Erosion Model (EUROSEM): A Dynamic Approach For Predicting Sediment Transport From Fields And Small Catchments. Earth Surface Processes & Landforms; Vol. 23 Issue 6, p527. Jun. 1998.

Olaya, V. (2014). Sistemas de Información Geográfica.

Pourrut, P. (1995). Los Climas del Ecuador - Fundamentos explicativos. Quito.

PSIAC. (1974). Report of water management subcommittee, erosion and sediment yield methods.

Rawls W., Saxton K., Brakensiek D. (1982). Estimation of soil water properties. Trans. ASAE. 25 (1982) 1316-1320.

Renard, K., Foster, G., Weesies, G., McCool, D. & Yoder, D. (1997) Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation.(RUSLE). USDA-ARS, Agriculture Handbook No. 703. 1997.

Rojas, R. (2009). Hidrología Aplicada al Menejo de Cuencas.

Saxton K., Rawls W., Romberger J., Papendick R. (1986) Estimating generalized soil-water characteristics from texture. Soil Science Society of America Journal. Vol. 50 (1986) 1031-1036. Soil Erosion by Water. (1997). A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). USDA-ARS, Agriculture Handbook No. 703. 1997.

Saaty, T. (1980). The Analytic Hierarchy Process. Ed. McGrawHill

SENPLADES. (2009). "Proyecto de geoinformación para la gestión del territorio y valoración de tierras rurales de la cuenca del río Guayas escala 1:25000". Módulo Suelos Cantones Colimes, Pedro Carbo y Santa Lucía . Quito.

SENPLADES. (2012). "Proyecto de geoinformación para la gestión del territorio y valoración de tierras rurales de la cuenca del río Guayas escala 1:25000". Módulo Erosión Hídrica Cantones Colimes, Santa Lucía y Pedro Carbo.

Silva A. (2001) Rainfall erosivity map of Brazil. Catena 57 (2001) 251-259.

Simons, D. & Sentürk, F. (1992). Sediment Transport Technology: Water and Sediment Dynamics. Water Resources Publications, LLC. August 20, 1992.

Summer, W & Walling, D. (2002). Modelling Erosion, Sediment Transport And Sediment Yield. International Hydrological Programme, Technical Documents in Hydrology No. 60. UNESCO, Paris.

Tapia, C. (2012). Modelización Hidrológica de un Área Experimental en la Cuenca del Río Guayas en la Producción de Caudales y Sedimentos.

Témez, J. (1978). Cálculo Hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales. Madrid.

TRACASA-NIPSA. (2015). Levantamiento de Cartografía Temática a Escala 1:25000, lotes 1 y 2, Amenaza a Erosión Hídrica, Quito, 2015.

UNESCO. (2010). Procesos de erosión - sedimentación en cauces y cuencas. (D. Brea, & F. Balocchi, Edits.)

USACE. (1995). Sedimentation Investigations of Rivers and Reservoirs, Engineer Manual 1110-2-4000. U.S Army Corps of Engineers. Washington, DC 20314-1000.

Valdivieso, P. (Agosto de 2011). Incidencia del Cambio en el uso del suelo en los caudales; casos de estudio: cuencas de los Ríos Alambi, Intag y Quijos. Quito, Ecuador.

Valencia, R. (2014). Análisis de la disponibilidad de los recursos hídricos en la microcuenca del río blanco (Nevado Cayambe), utilizando el modelo oferta-demanda en ArcGis. Quito.

Valverde, O., Segarra, G., & Yáñez, D. (2009). Pedogénesis de la cuenca baja del río Guayas y su relación con el relieve, clima y geología. Quito.

Villa, S. (Junio de 2012). Modelación de la erosión hídrica a escala de cuenca en la zona alta de la quebrada La García, Municipio de Bello, Antioquía. Medellín, Colombia.

Vanoni, V. (1977). Sedimentation Engineering. Manuals and reports on engineering practice, No. 54. ASCE. pp.1-15, 1977.

Villodas, R. (2008). Hidrología Guía de Estudio para las Cátedras: Hidrología I Hidrología II. Mendoza, Argentina.

Walling, D., Hadley, R., Lal, R., Onstand, C., Yair, A. (1985). Recent developments in erosion and sediment yield studies. UNESCO, Paris, 1985.

Williams, J. & Berndt, H. (1972). Sediment yield computed with universal equation. Journal of Hydraulics Division, ASCE, Vol. 98 (12). 1972

Wischmeier, W. & Smith, D. (1965). Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the rocky mountains, guide for selection of practices for soil and water conservation. Agriculture Handbook No. 282. USDA –ARS, 1965.



## **ANEXOS**

**ANEXO N° 1**

**LAS SERIES DE DATOS DE LAS ESTACIONES**

**METEOROLÓGICAS**

COD	ESTACIÓN	TIPO	COORDENADAS		MSNM
			X (m)	Y (m)	
M476	DAULE-EN LA CAPILLA	PV	611696	9812499	7

codigo	año	v01	v02	v03	v04	v05	v06	v07	v08	v09	v10	v11	v12
M0476	1981	132,2	517,2	254,4	142,4	0,7	0	0,8	0	1,7	0,7	0	119,7
M0476	1982	384,7	155,4	100,2	124,1	26	5	0	0	2	7,5	32,9	251,7
M0476	1983	544,2	373,4	601,7	375,4	365,3	339,6	205,3	9,4	6,4	23,7	68,825	217,7
M0476	1984	96,5	499,9	484,4	233,7	31,6	25	0	33,5	1	0	0	124
M0476	1985	138,2	130	230,2	49,3	5,7	7,725	0,2	0,7	1	0,7	0	47,5
M0476	1986	195,225	202,7	59,7	121,2	1,7	0	0	0	0	10,5	0	23,7
M0476	1987	392,5	605	506,8	339,2	46	0,7	0,7	64,2	0,7	7	0,7	43,2
M0476	1988	390,7	224,4	60,8	246,9	110	22,6	10,2	5,85862069	13,1034483	4,14137931	12,4	61,5
M0476	1989	424,3	691,5	275,3	126,5	20,7	6,7	3,7	0,7	0,7	5,7	8	6,7
M0476	1990	152	182,3	176	247,2	125,7	15,7	0,7	0	0,7	0,7	0,7	34,9
M0476	1991	170,7	518,3	136,7	23,7	17,7	2,7	2,7	4,2	0,7	0,7	0,7	124,1
M0476	1992	142,7	315,9	383,9	633,9	337,7	43,2	0,7	0,7	0	0,7	0,7	4,7
M0476	1993	169,7	562,7	354,7	420,8	189,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0	0	75,5
M0476	1994	354,7	259,2	266,5	0	0	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	119,7
M0476	1995	373,7	209,8	57,2	182,2	4,2	0	6,5	0	0	0	0	0
M0476	1996	194,4	671,9	206,3	168,025	0	0,3	2	0	0	0	0	16
M0476	1997	170,7	323,9	412,3	283,6	297,6	64,4	60,5	43	286,7	53,2	244,4	727,2
M0476	1998	456,2	347,7	640,3	861,5	658,5	113,9	16,5	5	8,5	0	1,3	18,4
M0476	1999	87,3	509,6	345,1	290	271,5	2,5	0	0,6	53,5	0	1,6	50,2
M0476	2000	103,9	141	196	208,625	135	10	0	0	0,5	0	1,7	5,2
M0476	2001	424,5	272,5	334,975	213,5	43	0	0,5	0	0	0	0	2,5
M0476	2002	99,6	415,9	657,9	398,8	27,6	0	0,7	0	0	8	0	70
M0476	2003	208,6	323,6	149,4	156,1	41,4	12,175	1,8	5,5	0	0	3,5	50,8
M0476	2004	154,1	243	284,8	89,1	250,3	5,5	0	0	2,5	1	0	8,5
M0476	2005	114	122	306,5	364,8	0	0	0	0	0	0	0	31,1
M0476	2006	234,5	519,7	201,4	8,5	5	0	0	1	0	0	0	13,6
M0476	2007	186,1	37,7	345,3	242,1	27,9	2,5	0	0	0	0	0	67,6
M0476	2008	352,9	402,6	305,5	217,7	5,8	3	0,75	0	12	0	0	12,8
M0476	2009	461,6	272,7	224,5	123	29,7	11,7	0	0	0	0	0	7
M0476	2010	321,9	490,8	199,2	330,1	35,5	4	2,7	0	0	0	3,7	344,8

COD	ESTACIÓN	TIPO	COORDENADAS		MISNM
			X (m)	Y (m)	
M466	VINCES INAMIHI	CO	639054	9828729	14

codigo	año	v01	v02	v03	v04	v05	v06	v07	v08	v09	v10	v11	v12
M0466	1981	205,1	340,8	304,2	258,8	0	0	0,4	0	0	0,3	0	77,6
M0466	1982	181	229,5	74,9	210,6	15,5	0,3	0	0	0	3,4	62,2	433,7
M0466	1983	517	407,7	501,1	263,9	564,8	233,2	259,8	22,6	0	162,8	36,7	7,8
M0466	1984	65,1	282,1	364,8	167,5	2,1	23,5	0	0	0	40,7	0	10,4
M0466	1985	171,2	194,275	237,9	73,3	32	5,7	5,7	0,2	0	0	0	44
M0466	1986	366,9	85,9	32,1	205,5	0	3,9	3,9	0	0	0	34,8	5,9
M0466	1987	390,8	517,9	245,35	321,5	108,3	0	1,7	3,6	0	0	10,2	0
M0466	1988	240,6	408,1	109,9	248,9	213,3	4,7	0	0	0	3,7	0	12
M0466	1989	442,1	612,7	235,4	418,1	13,5	0	0,1	1	0	0	9,6	0,6
M0466	1990	77,2	125,6	79,7	32,4	25,8	0	0	0	0	24,5	13,8	0
M0466	1991	37,5	662,8	426,48	251	55,2	0	0	0	0	0	0	172,3
M0466	1992	280,5	652,9	637,4	110,4	713,9	117,6	16,7	0	0	0	8,1	0,4
M0466	1993	294,6	619,9	411,4	284,4	86,6	24,5758621	16,7	4,8	0	24,5	101	35
M0466	1994	404,2	198,8	355,3	375,7	62,1	2,8	0	0	0	0	4,1	0,3
M0466	1995	440,8	283	137,5	241,1	19,9	3,5	11,4	1,1	0	0,1	0,5	16,3
M0466	1996	406,9	376,3	143	96,5	1,5	0	8,1	0	0	0	0	73,3
M0466	1997	288,1	311,7	372,4	393,3	205,4	118,8	146,5	80,3	516,4	105,9	395	891,2
M0466	1998	656,1	689,3	523,6	806,2	710,4	129,3	41,6	4,1	2,5	0	0	3
M0466	1999	93,8	259,2	376,6	479,7	228,3	3,1	3,2	0	1,875	3,3	6	217
M0466	2000	110,6	283,3	412,2	186,4	41,5	9,8	0	0	1,7	0	0	29,9
M0466	2001	514,2	320,8	404,5	312,5	40,9	0	3,1	0	0	0	0	5,8
M0466	2002	157,8	647	848,6	435,2	109,8	2,8	1,6	0	0	0	4,7	1,8
M0466	2003	206,4	282,8	236,2	113,9	27,3	11,8	4,7	18,6	0	0	1,6	139,7
M0466	2004	136,4	368,9	422	135,9	125,9	3,7	2,2	4,8	24,5	15,8	35	133,6
M0466	2005	53,5	116,3	385,6	414,7	0	0	0	0	0	0	0	197,3
M0466	2006	425	524,7	258,5	54,1	20,6	10,6	0	1,5	0	0	0	5
M0466	2007	200,1	123	379,2	246	32,3	4,8	3,4	0	0	0	0	7,6
M0466	2008	563,6	444,9	371,1	329,8	93,2	1,7	0	0	0	0	0	54,8
M0466	2009	391,8	238,7	180,7	45,1	51,8	12	0	0	0	0	4,7	0
M0466	2010	190,8	436,8	329,7	309,3	40,9	9,1	8,6	0,5	1,2	0	0	1,8

COD	ESTACIÓN	TIPO	COORDENADAS		MSNIM
			X (m)	Y (m)	
M166	OLMEDO-MANABI	CO	588224	9845826	50

codigo	año	v01	v02	v03	v04	v05	v06	v07	v08	v09	v10	v11	v12
M0166	1981	83	347,1	256,7	126,1	3,8	1,7	22,8	0	4,1	0	0	102
M0166	1982	143,6	117,5	83,9	139,6	54,5	2	5,1	0	10	75,6	250,1	249,1
M0166	1983	641,1	394,6	509,9	409,8	376,4	188,2	301,5	6,2	121,3	13,6	10,3	152
M0166	1984	74	512,3	363,7	331,8	36,6	11,2	2,6	0	21,6	2,4	0	133,8
M0166	1985	285,1655172	223,8	409,9	110,9	29,4	13	0	2,5	0	0	25,1241379	109,6
M0166	1986	500,1	376,175862	106,1	165,1	60,1	1	0,5	2,3	9,3	23,5	2	93,2
M0166	1987	438,9	500,9	531,4	497,6	55,6	17,6	0	11	0	45,5	0	2
M0166	1988	279,9	281,3	129,9	184,3	188,5	10,2	34	1,6	0	0	19,4	82,2
M0166	1989	380,2	507,8	301,7	372,2	54,4	47,2	7	0	27,3	5,8	0	36
M0166	1990	122,4	242	67,9	314	11	17	2,8	0	0	25	2	73,6
M0166	1991	132,8	374	378	235,9	77,3	7,8	0	0	0	0	9,2	197,9
M0166	1992	411	426,6	548,9	658,8	347,6	43,6	21	0	0	69,8	0	30
M0166	1993	271,2	534,7	365,8	303,7	102,7	29,3	7,1	0	21,4	114,4	0	74,5
M0166	1994	439,7	127,2	346,1	201,7	243,4	13,5	0	0	2	14,8	38,8	246,6
M0166	1995	339,3	286,7	168,4	369,8	36,8	1,8	2,6	4	0	0	0	2,6
M0166	1996	117,4	268	264,8	63,6	2,6	1	1,2	1,2	0	0	0	22
M0166	1997	271,4	250	341	546,7	189,2	132,2	53,2	201	157	86,4	254,6	597,5
M0166	1998	475	466	763,4	713,4	383	210,6	34,6	19,6	0	0	11,6	58
M0166	1999	134,2	780	316,6	308	133,2	3	2,8	0	48,8	21,737931	5,8	95
M0166	2000	93,6	287,1	289,8	235,4	191,2	14,2	0	0	0	0	12,4	8,6
M0166	2001	574,2	496,1	446,4	452,4	109,8	0	0	0	1,8	0	4	5,9
M0166	2002	222,2	450	556,7	477,2	179,7	1	0	0	0	4	9,4	205,6
M0166	2003	290,5	443	204,1	182	102,2	0	9	0	0	16	0	27,4
M0166	2004	143,1	331,4	374,4	142,7	134,6	11,8	2,2	0	25,3	45,4	0	4
M0166	2005	21,2	340,4	383,4	426,4	3	0	0	0	0	0	1	0
M0166	2006	233,5	440,9	423,9	50	72,2	3	50,4	4	3,2	56	39,8	68,4
M0166	2007	178,6	140,6	326	389,6	43,1	23	4,2	1	5	2	1,2	15,4
M0166	2008	447,3	529,2	347,6	179,7	122,2	9	0	14,8	11,4	24,6	46,6	0,6
M0166	2009	504,3	321,8	394,4	91,2	78,1	4,8	3,8	0	24,4	4,6	0	120,8
M0166	2010	306,1	488,1	467,6	431,4	185,3	11,2	14	2,7	4,7	0	9,2	316

COD	ESTACIÓN	TIPO	COORDENADAS		MISNM
			X (m)	Y (m)	
M171	CAMPOSAN O #2	CO	566617	9823940	156

codigo	anio	v01	v02	v03	v04	v05	v06	v07	v08	v09	v10	v11	v12	
M0171	1981	61	421,5	315,9	115,2	31,8	0,5	5	0	0	0,4	0	1,3	24,9
M0171	1982	145,1	303,6344483	77,2	116,8	43,6	0	0	0	0	18,1	49,2	189,4	365
M0171	1983	489,3	343,3	404,1	508,8	390,6	228,8	276,2	51,9	40,2	31,5	3,5	59,1	56,7
M0171	1984	60,8	423,9	287,8	405,6	122,875862	31,7678571	0	0	0	0	0	0	108
M0171	1985	109,6	101,3	138,9	157,3	41,6	34	0	0	0	0	0	0	77,4
M0171	1986	397,9	115,1	119,8	142,8	28,2	0	2,3	0	0	1,2	0	0	5,3
M0171	1987	221,6	404,2	416,3	250,9	52,6	19	0	0	0	0	6,2	0	49,6
M0171	1988	160,3	211,2	133	162,4	85,3	0,3	2,9	0	0	6,6	0	5,4	79,4
M0171	1989	295,5	286,5	607,7	145	89,9	39	4,6	0	0	4,2	0,4	0	23,3
M0171	1990	89,7	148,9	259,7	237,9	30,6	44,5	0	0	0	0	0,4	0	27,2
M0171	1991	79,3	234,7	186,9	65,6	52,6	26,4	0	0	0	0	0	3,2	34,9
M0171	1992	185,4	356,6	665,7	497,5	272,4	15,7	9,3	0	0	0	0	1,7	16
M0171	1993	156,7	459,6	667,3	321,5	142,7	50,8	1,7	0	0	13,7	51,8	0	50,5
M0171	1994	200,4	250,5	411,1	245	287,5	6,1	1,3	0	0	0	7,8	0,8	157,3
M0171	1995	366,6	281,8	256,7	202,8	6,5	6,9	9,3	0	0	0	0	41,4	0
M0171	1996	156,9	274,7	212	22	0	0,6	0,6	0	0,6	0	0	0,5	5,2
M0171	1997	203,2	295,5	351,7	389,8	198,7	77,6	116,2	68,8	107	34,1	394,4	400,7	0
M0171	1998	520	580,6	521,4	612,4	357,2	292,3	132,8	6,6	0	0	0	0	0
M0171	1999	25,7	437,4	340,9	422,7	157	1,2	11,6	3	98,2	6,2	0	0	20,7
M0171	2000	106,9	226,9	325,4	378,6	226,5	10,4	0	0	0	0	0	3,4	2,5
M0171	2001	414,8	172,7	380,8	480,3	93,6	0	0	0	6	6	0	1,2	2,3
M0171	2002	127,5	444,8	515,2	446,3	50,8	12,2	0	0	0	1,2	2,1	23,6	35,9
M0171	2003	171,4	289,8	109	141	231,7	0	0	1,6	0	0	1,6	0	2,3
M0171	2004	105,4	263,2	259,5	155	126,6	13	0	0	0	9,6	5,5	0	0
M0171	2005	5,3	268,7	295,6	293,8	3,2	0	0	0	0	0	0	0	19,3
M0171	2006	243,2	333	277,4	108	152,5	0	7,5	0	0	12,4	0	5,8	52,2
M0171	2007	202,5	125	354,9	217,6	32,1	10,2	3,3	0	0	0	0	2,3	57,9
M0171	2008	314,3	442,4	517,9	133	91,4	0	19,7	2,1	0	0	0	0	0
M0171	2009	256,7	310,2	331,717241	263,093103	121,9	0	12,5	0	0	2	0	0	32,7
M0171	2010	253,9	301,4	210	254,1	164,3	4,5	0	0	0	0	0	6,2	225,2

**ANEXO N° 2**  
**VALORES DEL FACTOR C**

Vegetative Cover/Crop	C-value			
	1	2	3	4
<b>Forest</b>				
Primary forest (with dense undergrowth)	0.001	0.001		
Second-growth forest with good undergrowth and high mulch cover	0.003			
Second-growth forest with patches of shrubs and plantation crops of five years or more	0.006			
<b>Industrial Tree Plantations</b>				
Benguet pine with high mulch cover	0.007			
Mahogany, Narra, eight years or more with good undergrowth	0.01-0.05			
Mixed stand of industrial tree plantation species, eight years or more	0.07			
<b>Agroforestry Tree Species</b>				
Mixed stand of agroforestry species, five years or more with good cover	0.15			
Coconuts, with annual crops as intercrop	0.1-0.3			
Leucaena leucocephala, newly cut for leaf meal or charcoal	0.3			
Cashew, mango and jackfruit, less than three years, without intercrop and with ring weeding	0.25			
Oil palm, coffee, cacao with cover crops		0.1-0.3		
<b>Grasslands</b>				
Imperata or Themeda grassland, well established and undisturbed, with shrub	0.007			
Shrubs with patches or open, disturbed grasslands	0.15			
Well-managed rangeland, cover of fast development, ungrazed two years or more	0.01-0.05			
Savannah or pasture without grazing		0.01		
Grassland, moderately grazed, burned occasionally	0.2-0.4			
Overgrazed grasslands, burned regularly	0.4-0.9			
Guinea grass ( <i>Panicum maximum</i> )			0.01	
<b>Covercrops/green manures</b>				
Rapidly growing cover crop		0.1		
Velvet bean ( <i>Mucuna</i> sp)			0.05	
<b>Annual Cash Crops</b>				
Maize, sorghum	0.3-0.6	0.3-0.9	0.05	
Rice	0.1-0.2	0.1-0.2		
Peanut, mungbean, soybean	0.3-0.5	0.4-0.8		
Cotton, tobacco	0.4-0.8	0.5	0.14	
Pineapple	0.2-0.5			
Bananas	0.1-0.3			
Diversified crops	0.2-0.4			
New kaingin areas, diversified crops	0.3			
Old kaingin areas, diversified crops	0.8			
Cassava monoculture		0.2-0.8	0.18	
Cassava with well-established leguminous ground cover				0.01-0.02
Crops with thick layer of mulch		0.001		
<b>Other</b>				
Built-up rural areas, with home gardens	0.2			
Bare soil	1.0	1.0	1.0	1.0

(FAO &amp; IFAD, 2001)



**ANEXO N° 3**  
**COBERTURA NATURAL**

COBERTURA NATURAL CANTÓN PALESTINA		CODIGO	CATALOGO DE OBJETOS
TIPO	SUBTIPO		
<b>BOSQUE</b>	Bosque Seco de <i>Cochlospermum</i> , <i>Machaerium</i> , <i>Guazuma</i> , <i>Pradosia</i> y <i>Tabebuia</i>	BsCo/Ma	EB065-A
	Bosque seco de <i>Guazuma</i> , <i>Tabebuia</i> , <i>Clitoria</i> y <i>Albizia</i>	BsGu/Ta	EB065-G
	Bosque seco de <i>Gliricidia</i> , <i>Gustavia</i> y <i>Gloespermum</i>	BsGl/Gu	EB065-J
	Bosque seco de <i>Albizia</i> y <i>Xilosma</i>	BsAl/Xi	EB065-H
<b>HIERBAS</b>	Herbazal lacustre de <i>Eichornia azurea</i> / <i>Ludwidjia erecta</i> y <i>Salvinia</i>	HIEi/Lu	EB015-B

Fuente CLIRSEN, 2009