



ESTUDIO DE EROSIÓN HÍDRICA PARA LA PRIORIZACIÓN DE UNA MICROCUENCA DE LA SUBCUENCA RÍO DAULE, RESPONSABLE DE LA TURBIEDAD DEL AGUA CRUDA CAPTADA PARA GUAYAQUIL



Autores:

Estudio e Investigación: Carlos Gutiérrez, Hidrólogo

Mapas: Jesua Silva, Geógrafo

ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN.....	4
2.	PREÁMBULO	4
3.	MARCO TEÓRICO Y ESTADO DE LA CUESTIÓN	6
3.1	Que es la erosión del suelo.....	6
3.2	Tipos, fenómenos y factores de la erosión	6
3.2.1	Tipos de erosión	6
3.2.2	Factores de la erosión	7
3.3	EFFECTOS Y CICLO IRREVERSIBLE DE LA EROSIÓN	7
3.3.1	Erosión hídrica, Tipos.....	7
4.	MODELOS MATEMÁTICOS PARA ESTIMAR LA EROSIÓN	8
4.1	Formulas empíricas.....	9
4.2	Modelos paramétricos	9
4.3	Extensión a cuencas hidrográficas	9
4.4	Métodos de estimación directa.....	9
5.	CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO	9
5.1	Ubicación de la cuenca.....	9
5.2	Situación política administrativa de la subcuenca del río Daule	10
5.3	Relieve de la subcuenca del río Daule	11
5.4	Climatología de la subcuenca del río Daule.....	13
5.4.1	Temperatura.....	13
5.4.2	Precipitación.....	14
5.5	Hidrología de la subcuenca del río Daule	15
5.5.1	Sistema hidrográfico de la subcuenca del río Daule	15
5.5.2	Microcuencas que conforman la subcuenca del río Daule.....	16
5.6	Análisis de cobertura de la tierra para diferentes períodos de tiempo (2003, 2013, 2016)..	20
5.6.1	Análisis de cobertura de la tierra subcuenca del río Daule, año 2003	20
5.6.2	Análisis de la cobertura de la tierra subcuenca del río Daule 2013	21
5.6.3	Análisis comparativo de cobertura de la tierra años 2003 y año 2013	22
5.7	Análisis de la cobertura de la tierra subcuenca del río Daule 2016	22
5.7.1	Análisis comparativo de cobertura de la tierra años 2013 y año 2016	22
5.8	Uso actual del suelo 2016 subcuenca del río Daule año 2016.....	23
5.9	Análisis de la deforestación para diferentes períodos (2003, 2013, 2016)	26
5.9.1	Deforestación de la subcuenca del río Daule años 2003 - 2013	26
5.9.2	Deforestación de la subcuenca del río Daule años 2013 - 2016.....	28
5.10	Análisis de la deforestación a nivel de microcuencas de la subcuenca del río Daule, 2003, 2013	
	29	

5.11	Análisis de la deforestación a nivel de microcuencas, subcuenca del río Daule, año: 2016..	34
5.12	Susceptibilidad a la erosión subcuenca del río Daule año 2003	35
5.13	Edafología (Textura del suelo)	37
6.	CARTOGRAFÍA DIGITAL BASE UTILIZADA	38
7.	METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA.....	39
8.	ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO (USLE).....	40
8.1	Características generales de la ecuación.....	40
8.2	Cálculo factor R: Erosividad de la lluvia	40
8.2.1	Estimación de R medio para subcuenca del río Daule	44
8.3	Factor Erodabilidad del suelo (K)	44
8.3.1	Estimación de K medio para subcuenca del río Daule.....	46
8.4	Determinación Factor Topográfico (LS).....	46
8.5	Factor L.....	47
8.6	Factor S	48
8.7	Factor cobertura del suelo - C	51
8.8	Factor prácticas de conservación del suelo - P	53
8.9	Mapa de riesgo de erosión hídrica.....	53
8.9.1	Estimación de A	55
8.9.2	Comprobación y comparación de las consideraciones indicadas	58
8.10	Coeficiente de entrega de sedimentos –CES.....	58
8.10.1	Coeficiente de bifurcación: br	58
9.	MODELO DE F. FOURNIER (1969)	59
9.1	Cálculo de la altura media del relieve de la subcuenca.....	59
9.2	Factor de agresividad del clima	60
9.3	Clasificación climática de Turc.....	60
10.	COMPARACIÓN DE LOS MODELOS.....	61
11.	PRIORIZACIÓN DE UNA MICROCUENCA DE LA SUBCUENCA RÍO DAULE CON MAYORES PROBLEMAS DE EROSIÓN Y RESPONSABLE DE LA TURBIEDAD DEL AGUA	62
12.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
12.1	Conclusiones.....	65
12.2	Recomendaciones.....	66
13.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
14.	ANEXOS.....	68

1. INTRODUCCIÓN

La captación de agua cruda para el sistema de agua potable de la ciudad de Guayaquil se encuentra a pocos kilómetros de la ciudad sobre el río Daule. La producción de agua potable para una población de 2,7 millones de habitantes se ve afectada por la turbiedad del agua cruda, la cual llevó a suspender en algunas ocasiones el servicio y de manera general encarece fuertemente el costo. La empresa de agua potable de Guayaquil, entidad directamente afectada y otros actores están interesados en que la turbiedad del agua cruda baje. La empresa de agua – INTERAGUA estaría dispuesta a invertir para obtener un agua con menos sedimentos en suspensión.

La alta presencia de sedimentos en el agua se debe a la erosión de suelos. Considerando las características de la subcuenca del río Daule, analizada en el recién formulado plan de conservación, se identifica a la deforestación / actividades agropecuarias como la principal causa de erosión en la subcuenca.

Livelihoods Funds ha sido solicitado para encontrar soluciones y encarar el grave problema. Dada la extensión de la subcuenca, Livelihoods Venture e Interagua están coordinando esfuerzos para identificar la oportunidad de diseñar un proyecto que beneficie a pequeños productores agrícolas y disminuya la turbidez del agua en la cuenca.

Siguiendo esta línea, la ONG Central Ecuatoriana de Servicios Agrícolas CESA y su aliado Agronomes et Vétérinaires Sans Frontières AVSF han sido contratados para identificar qué sectores de la subcuenca del río Daule, sobre qué sistemas de producción y que prácticas en especial son los principales aportantes en sedimentos al río Daule y así aportar elementos de priorización para avanzar en la factibilidad de una futura inversión en la cuenca del río Daule.

El estudio contempla dos objetivos específicos:

OE1: Estimar la erosión hídrica de la subcuenca del río Daule, aplicando métodos universales y estandarizados para el efecto.

OE2: Identificar la o las subcuencas que mayormente se encuentren en procesos de erosión y sean las principales aportantes en sedimentos al río Daule.

El presente documento muestra una estructura lógica de un estudio de erosión hídrica, plantea una síntesis de la metodología en curso de aplicación de dos métodos: USLE y Fournier, presenta mapas de diagnóstico actual de la cuenca generado con cartografía existente y mapas finales de los factores **R, K, L, S, LS C Y P**, un mapa final de la erosión potencial de la subcuenca, mapa de orden de los ríos que sirvieron de base para aplicar estos métodos.

Finalmente se presentan los resultados obtenidos por cada uno de los métodos aplicados a nivel de subcuenca y a nivel de microcuenca y la comparación final de los dos métodos.

2. PREÁMBULO

El suelo es un recurso no renovable sobre el cual el hombre realiza gran cantidad de actividades productivas, lo que implica una estrecha dependencia entre ellos (suelo y hombre).

Existen diversos factores que degradan los suelos poniendo en peligro la sostenibilidad de esta relación, entre ellos la erosión del suelo; que constituye al mismo tiempo uno de los problemas medioambientales globales más importantes (Pimentel, D. et al., 1995).

Tradicionalmente se ha asociado el daño a la agricultura, y es importante por sus efectos a largo plazo sobre la productividad y sostenibilidad agrícola. Pero es sin embargo un problema que presenta mayor significación al afectar además a las tierras forestales, al transporte y áreas de esparcimiento (Morgan, 1996).

En el Ecuador según Centro Ecuatoriano de Investigación Geográfica en los Documentos de investigación, No. 6 – 1986, “LA EROSIÓN EN EL ECUADOR”, sin las precipitaciones y el viento, la erosión sería casi insignificante. El factor erosivo creador más agresivo es el agua de las precipitaciones porque actúa en el país con fuertes intensidades e importantes alturas pluviométricas según las regiones, durante casi nueve meses. Durante los tres meses restantes del año, junio - julio - agosto, es el viento el que origina una erosión notable.

Por otra parte, el papel condicionante del hombre es fundamental. Con sus actividades agrícolas, sustituye la vegetación natural con una cobertura vegetal, en la mayoría de los casos menos protectora para los suelos. Este proceso significativo desde hace más de 400 años, está acompañado de una serie de prácticas agrícolas que agudizan la discrepancia entre el objetivo productivo y el ideal conservacionista.

Debido al desequilibrio que presentan estas zonas entre la tasa de formación y pérdida del suelo y a las pérdidas económicas que este fenómeno conlleva, durante las últimas décadas se han impulsado numerosas estrategias y programas de prevención de la erosión con el fin de asegurar un uso sostenible del suelo.

Es en este ámbito donde la cartografía de riesgos de erosión del suelo se está convirtiendo cada vez más en una necesidad a la hora de realizar una planificación sostenible en la ordenación del territorio.

La utilización de las nuevas tecnologías de la información, como son los sistemas de información geográfica y la teledetección, se han consolidado en los últimos años como herramientas muy útiles en la realización de estudios de este tipo, permitiendo el análisis territorial y el seguimiento temporal de este fenómeno, todo esto acompañado con modelos paramétricos: USLE, modelo de Meyer y Wischmeyer, 1969. Fórmulas empíricas: Ecuación de Zing, 1940, Ecuación de Smith y Whitt, 1947-48, Ecuación de Musgrave, 1947. Extensión a cuencas hidrográficas: Modificación de la USLE (MUSLE), Modelo Hymo, Ecuación de transporte de Williams y Métodos de estimación directa: Modelo de Fournier, 1960 y modelo de Djorovic, 1970.

En este documento se presenta un análisis del riesgo de erosión hídrica del suelo en la subcuenca hidrográfica del río Daule (provincia de Guayas - Ecuador) mediante la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) y el modelo de Fournier debido a que se tiene la información adecuada que requieren los modelos. Cabe indicar que no se realiza ninguna medición directa en campo o instalación de parcelas experimentales.

Para obtener resultados confiables se ha utilizado un sistema de información geográfica (Arcgis), con el cual se ha logrado conocer la distribución espacial y el grado de erosión que presentan la subcuenca y sus microcuencas, lo cual han conllevado a determinar las zonas más susceptibles a la erosión y su aportación de sedimentos a los cauces principales, información que servirá de base para la toma de decisiones y la planificación del territorio.

3. MARCO TEÓRICO Y ESTADO DE LA CUESTIÓN

3.1 Que es la erosión del suelo

Concepto: “del latín **erosio**, la erosión es el desgaste que se produce en la **superficie** de un **cuerpo** por la acción de agentes externos (como el viento o el agua) o por la fricción continua de otros cuerpos”.

Entonces de acuerdo a este concepto la erosión es el proceso de sustracción de masa sólida al suelo o a la roca de la superficie llevado a cabo por el viento o por un flujo de agua que circula por la misma. El agua tiene la capacidad de erosionar el sustrato por el que discurre.

Su fuerza erosiva es proporcional a la aceleración que adquiere en las pendientes. Por lo que se produce el desgaste de una superficie rocosa o parte del suelo provocada por el agua.

Este proceso de erosión es lenta, pero cuando el hombre actúa con el mal manejo del suelo, acelera este proceso y éste se hace destructivo.

La causa que más provoca la erosión es la falta de vegetación, lo cual hace que los suelos sean más impermeables y aumente la erosión.

Por otra parte, el clima es otro factor que afecta en gran medida a la erosión hídrica. Cuantas más precipitaciones hay, y cuanto más intensas son, más erosión hay. Esto es más acentuado si los suelos no tienen vegetación, en zonas de agricultura intensiva o regiones semiáridas. Otro factor importante es las gotas de agua; las que tienen más velocidad y son más grandes, tienen más energía cinética, teniendo por tanto más capacidad para afectar a los suelos que las gotas más pequeñas y con menos energía.

3.2 Tipos, fenómenos y factores de la erosión

La erosión es el arrastre de partículas constituyentes del suelo por la acción del agua en movimiento o la por la acción del viento.

3.2.1 Tipos de erosión

Por origen

- Natural
- Antrópica

Por agentes causantes

- Eólica (por viento)

- Hídrica (por agua)

3.2.2 Factores de la erosión

Naturales

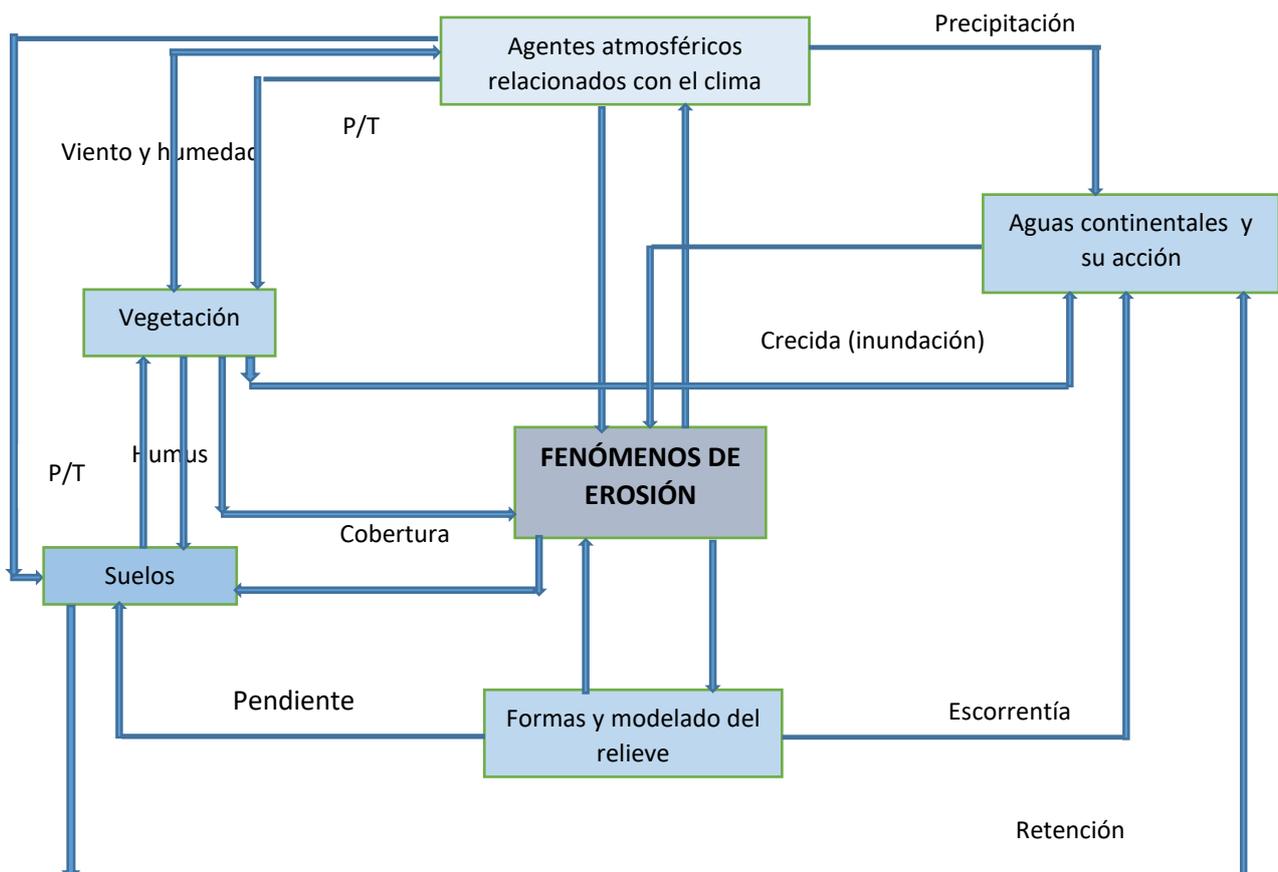
- Clima (viento, humedad, precipitación)
- Relieve (formas y modelado)
- Vegetación (cobertura, humus)
- Suelos (tipos y usos)
- Hidrología (escorrentía, crecidas, aguas continentales y su acción)

Antrópicos

- Uso y manejo
- Tenencia de la tierra: propietario, arrendatario
- Educación
- Falta de consulta técnica.

En la figura 1 se puede observar los fenómenos de erosión del suelo con mayor claridad.

Figura 1. Fenómenos de erosión



Fuente: CEDEX (adaptado y modificado por Fuente: Elaboración C. Gutiérrez)

3.3 EFECTOS Y CICLO IRREVERSIBLE DE LA EROSIÓN

3.3.1 Erosión hídrica, Tipos

- Laminar

- Surcos
- Zanjas o cárcavas.

Se debe a:

- Impacto de la gota de lluvia.
- Percolación.
- Deslizamiento

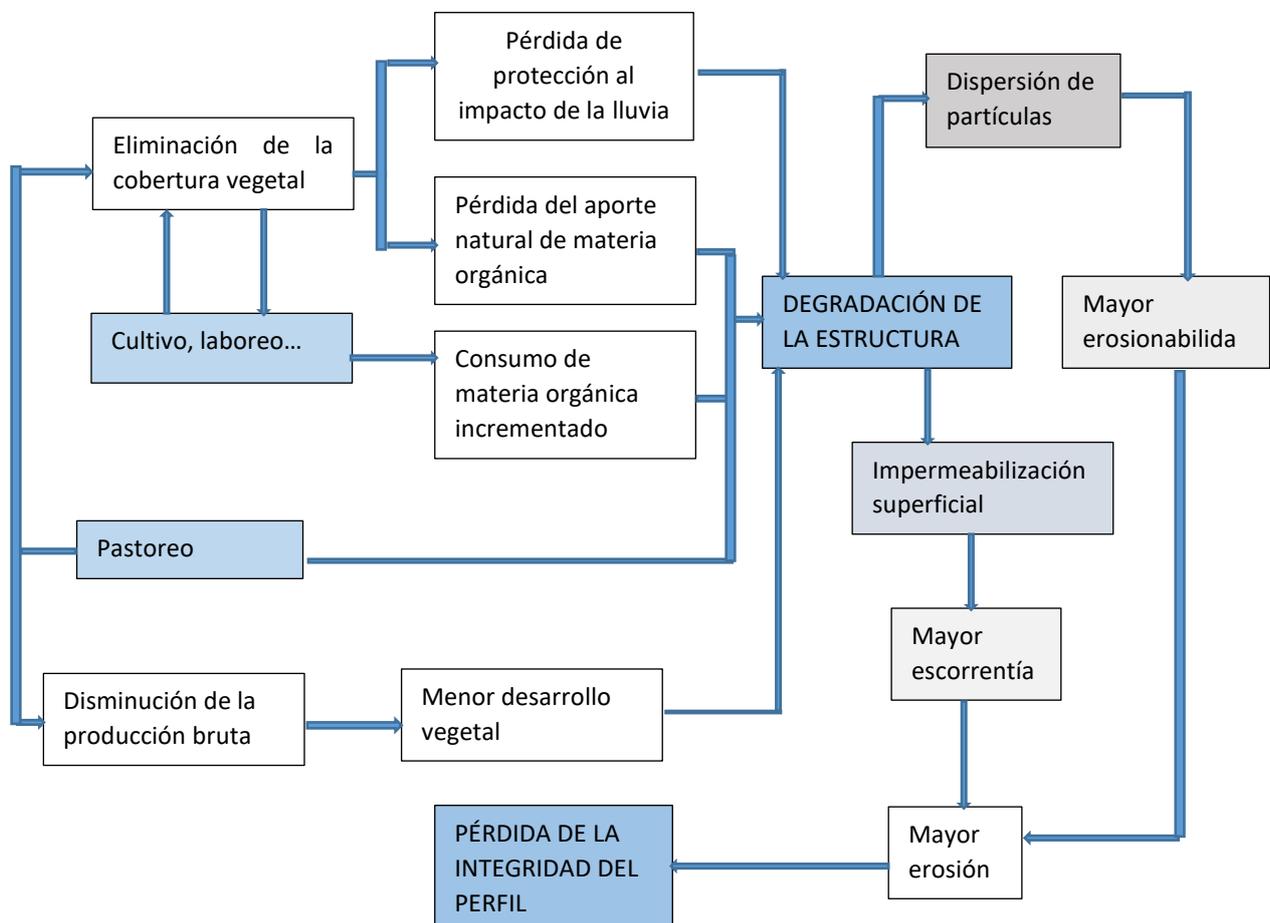
Etapas del proceso de erosión hídrica:

- Desagregación: dispersión del agente cementante, disminuye la cohesión, aumenta la humedad, existe compresión del aire atrapado.
- Transporte
- Deposición

En cuanto a la lluvia se debe considerar: cantidad de lluvia, intensidad y tamaño de gota.

En cuanto al suelo se debe considerar: cobertura vegetal y condiciones de superficie.

Figura 2. Ciclo irreversible de la erosión del suelo



Fuente: CEDEX (adaptado y modificado por Fuente: Elaboración C. Gutiérrez)

4. MODELOS MATEMÁTICOS PARA ESTIMAR LA EROSIÓN

Existen numerosos modelos para la determinación de la erosión hídrica entre ellos tenemos:

4.1 Formulas empíricas

Ecuación de Zingg. 1940
 Ecuación de Smith y Whitt. 1947-48
 Ecuación de Musgrave. 1947

4.2 Modelos paramétricos

Ecuación Universal de Pérdida del Suelo (USLE)
 Modelo de Meyer y Weischmeier. 1969

4.3 Extensión a cuencas hidrográficas

Modificación de la USLE (MUSLE)
 Modelo Hymo
 Ecuación de transporte de Williams

4.4 Métodos de estimación directa

Modelo de Fournier. 1960
 Modelo de Djorovic. 1970

Todos son modelos de parámetros "agrupados" que utilizan información promedio sobre suelos, cultivos, pendiente y manejo para un segmento de pendiente.

Cada uno de los modelos dependen de diferentes parámetros y muchos de ellos son aplicables a zonas exclusivas, áreas y parámetros únicos del sitio donde se realizó la investigación, por lo que para el presente estudio en función de los parámetros y variables que se disponen en la subcuenca se aplicará el modelo paramétrico de la "Ecuación Universal de pérdida de suelo (USLE)" y el método de Estimación Directa denominado el "Modelo de Fournier. 1969" que son aplicables a cuencas grandes, cuyos resultados serán comparados entre sí para determinar su aplicabilidad.

Estos modelos varían en sus requerimientos de información, insumos y en su facultad para predecir otros procesos tales como el ciclo hidrológico, pérdida de nutrientes por lixiviación y escorrentía y otros procesos incluyendo el desarrollo de los cultivos (FAO, 2005).

5. CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

5.1 Ubicación de la cuenca

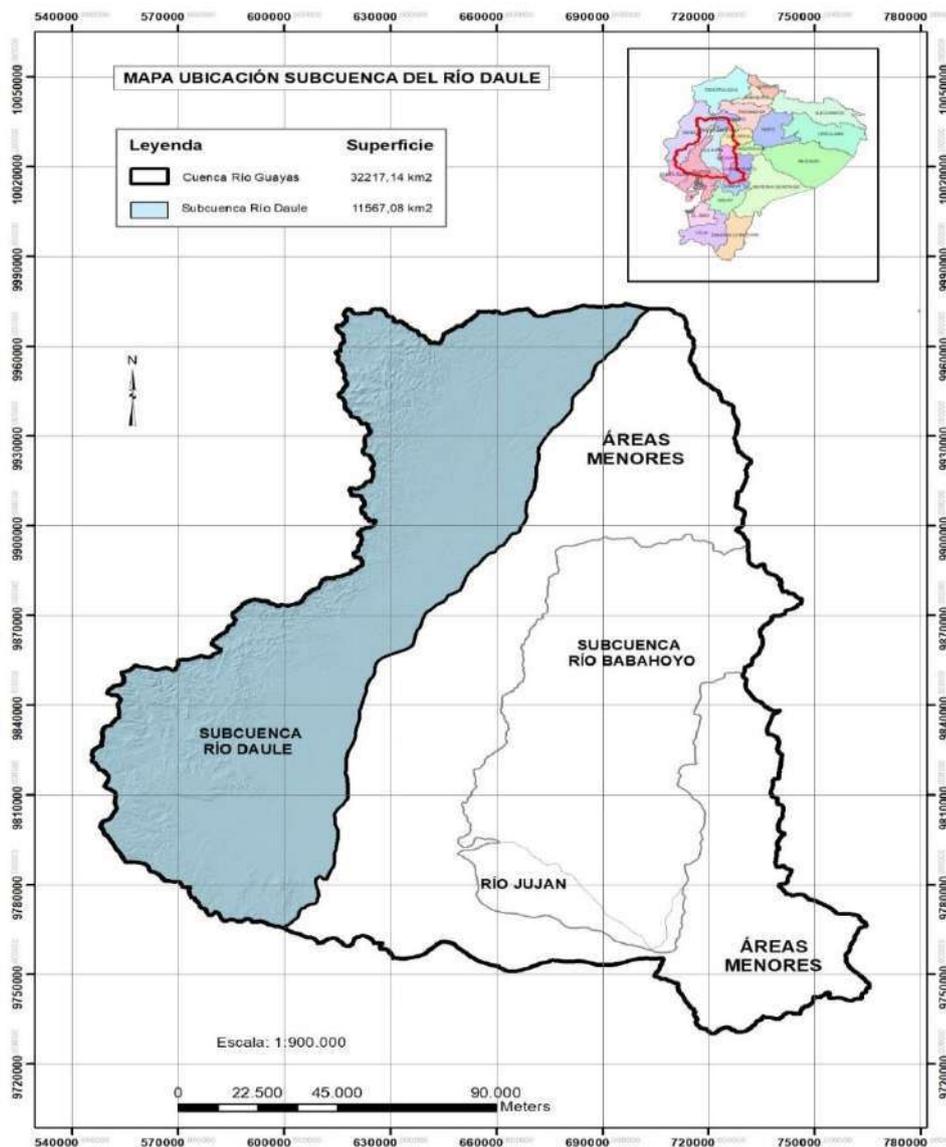
El estudio se desarrolló en la subcuenca del río Daule que forma parte de la cuenca del río Guayas que tiene una superficie de 32.217,14 Km², figura 3. Se encuentra ubicada entre las coordenadas norte: 550150.750 E, 9844878.00 N, sur: 667366.93 E, 9900379.00 N, este: 703261.625 E, 9972496.00 y oeste: 599645.06 E, 9765610.00 N, con una altura de 10 msnm en la parte más baja y de 830 msnm en la parte más alta, cuenta con una superficie total de 11.567,08 Km², de los cuales 295 km² (2.55%), corresponde a la represa "Daule - Peripa" y los 11272.08 restantes (97.45%) están conformadas por terrenos en los cuales se asientan distintos poblados y se cultivan diferentes tipos de cultivos propios de la costa ecuatoriana (fuente: CELEC-EP- Hidronacion).

La represa Daule-Peripa del Proyecto de Propósito Múltiple "Jaime Roldós Aguilera" – figura 4, permite la regulación, aprovechamiento y el control del agua.

Geográficamente está ubicada en el punto de cierre de los ríos Daule y Peripa, este embalse se alimenta en gran parte del 50% de agua que produce la subcuenca del río Daule. Su capacidad de almacenamiento es de 60 veces superior al embalse de Poza Honda.

El embalse inunda aproximadamente 34.000 ha de tierra, perteneciente al territorio de cuatro provincias: Los Ríos, Manabí, Santo Domingo de los Tsáchilas y Guayas. Su capacidad de almacenamiento es de 6000.000.000 m³ de agua (seis mil millones de m³), cuando el nivel del embalse alcanza su cota máxima de 88 m.s.n.m. se estima que el espejo de agua es de 295 Km². El volumen de agua para generación hidroeléctrica es de 3800.000.000 m³, la fluctuación normal del nivel del embalse está entre las cotas 70 y 85.

Figura 3. Ubicación subcuenca del Río Daule

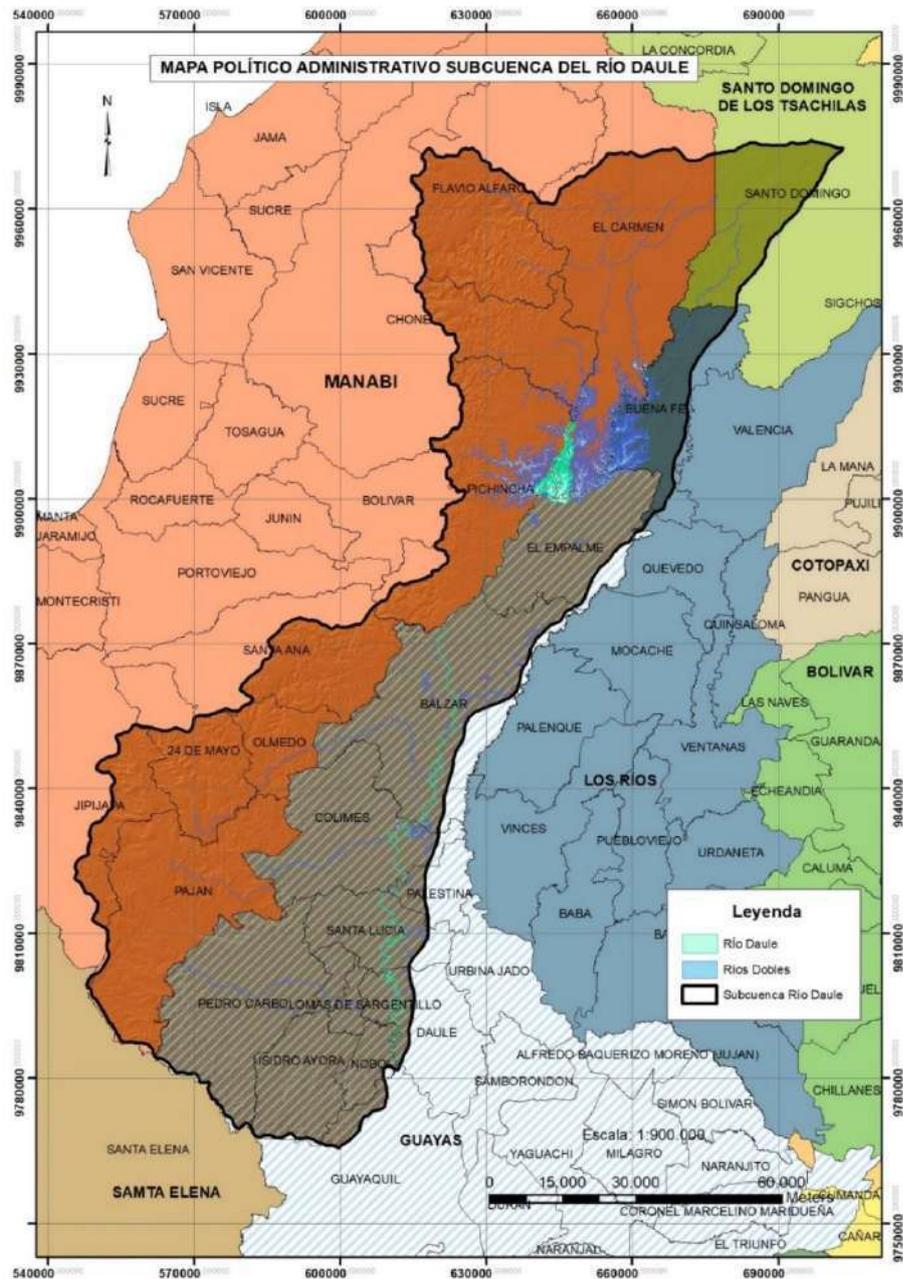


Fuente: CONALIS, 2016, escala 1:100.000; SENAGUA, 2011; escala 1:100.000

5.2 Situación política administrativa de la subcuenca del río Daule

La subcuenca del río Daule cubre parte de las provincias de Los Ríos, Manabí, Santo Domingo de los Tsáchilas y Guayas, resultando un tanto complicado el manejo y control de la misma.

Figura 4. Situación Política Administrativo de subcuenca del Río Daule



Fuente: CONALIS, 2016, escala 1:100.000; SENAGUA, 2011; escala 1:100.000

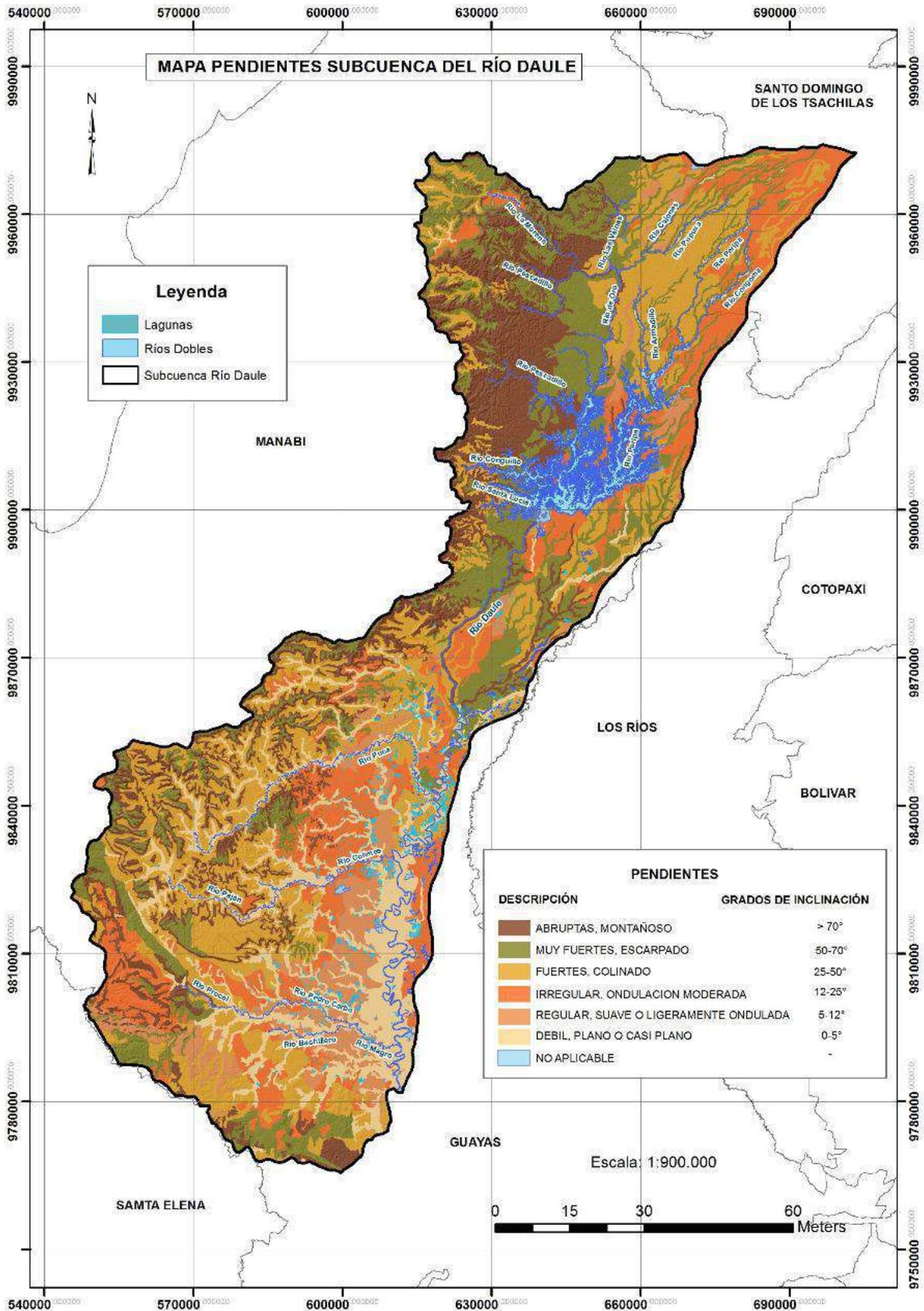
5.3 Relieve de la subcuenca del río Daule

El relieve de la subcuenca del río Daule se caracteriza por tener pendientes abruptas mayores al 70 % localizadas en la parte alta, pendientes muy fuertes a escarpadas entre el 50 y 70% en la parte media y pequeñas zonas de la parte baja de la subcuenca, relieve fuerte, colinado entre 25 y 50% en algunos sectores de la parte alta, media y baja de la subcuenca, también se observa un relieve irregular con ondulación moderada entre el 12 – 25% en el noreste de la subcuenca localizados en parte alta, media y con mayor predominancia en la parte baja de la subcuenca.

También se observa un relieve regular, suave o ligeramente ondulado con pendiente que van entre el 5 – 12%, con predominancia en la parte media y baja de la subcuenca y un relieve débil, plano o casi plano con pendiente entre el 0 - 5% en la parte baja.

El relieve de la cuenca está representado por el mapa de pendientes generado a través de un modelo de elevación del terreno (DTM 30M Resolución) y la capa cartográfica del IGM.

Figura 5. Mapa de pendientes de la subcuenca del río Daule



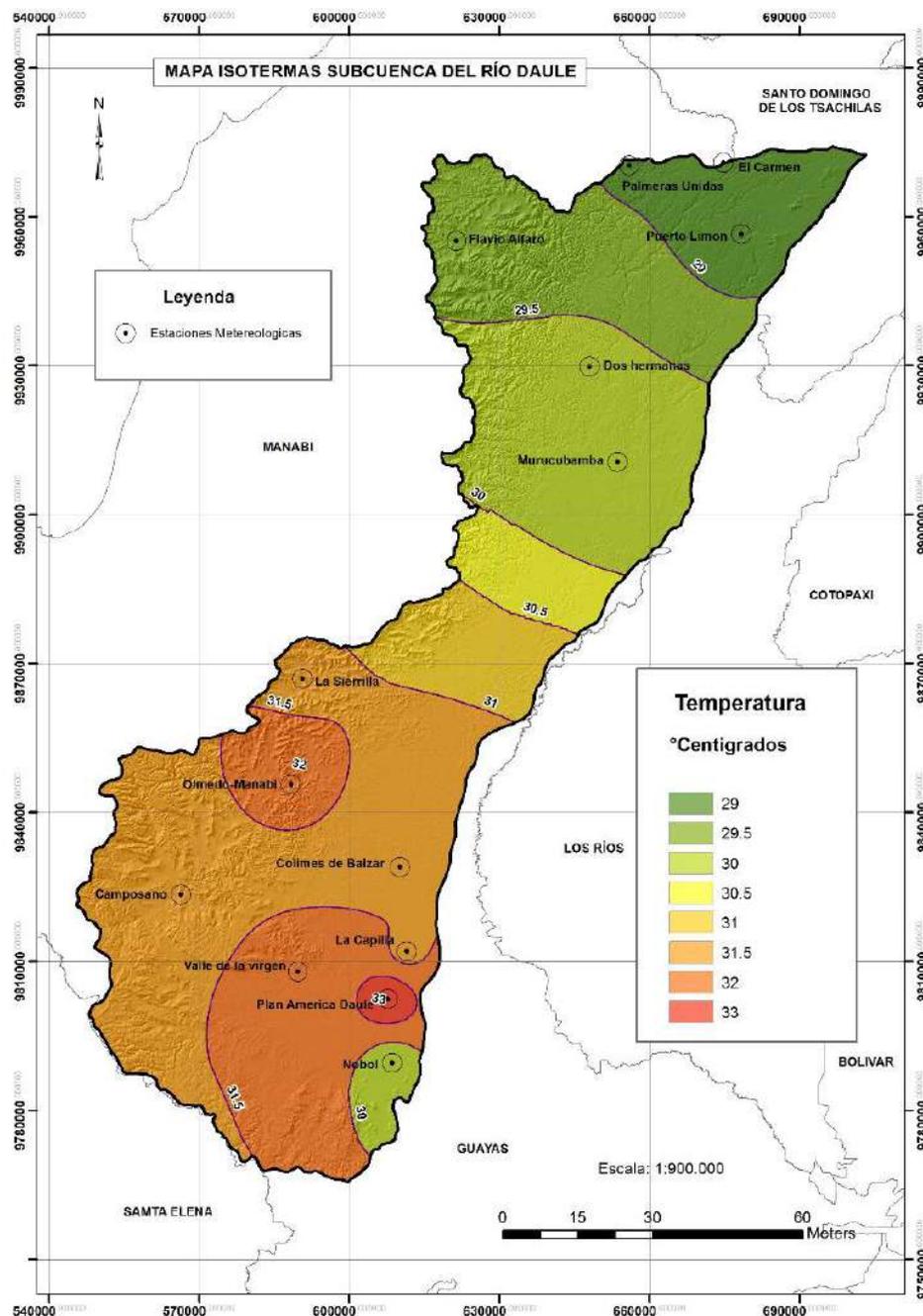
Fuente: IGM (Instituto Geográfico Militar, 2013; escala de trabajo 1:100.000)

5.4 Climatología de la subcuenca del río Daule

5.4.1 Temperatura

La mayor parte de la subcuenca se encuentra compartiendo dos zonas climáticas, una zona de clima Tropical megatérmico Húmedo y una zona tropical Megatérmica Semi-Húmeda, con temperaturas que varían de 29°C en parte alta a 33°C en la parte baja, la temperatura media anual es de 30.57 ° C. En la cuenca se desarrollan actividades productivas como: agricultura de temporal y ganadería vacuna extensiva. En la figura 6 se observa la distribución de la temperatura media anual.

Figura 6. Isotermas anuales de la subcuenca del río Daule (1990-2016)



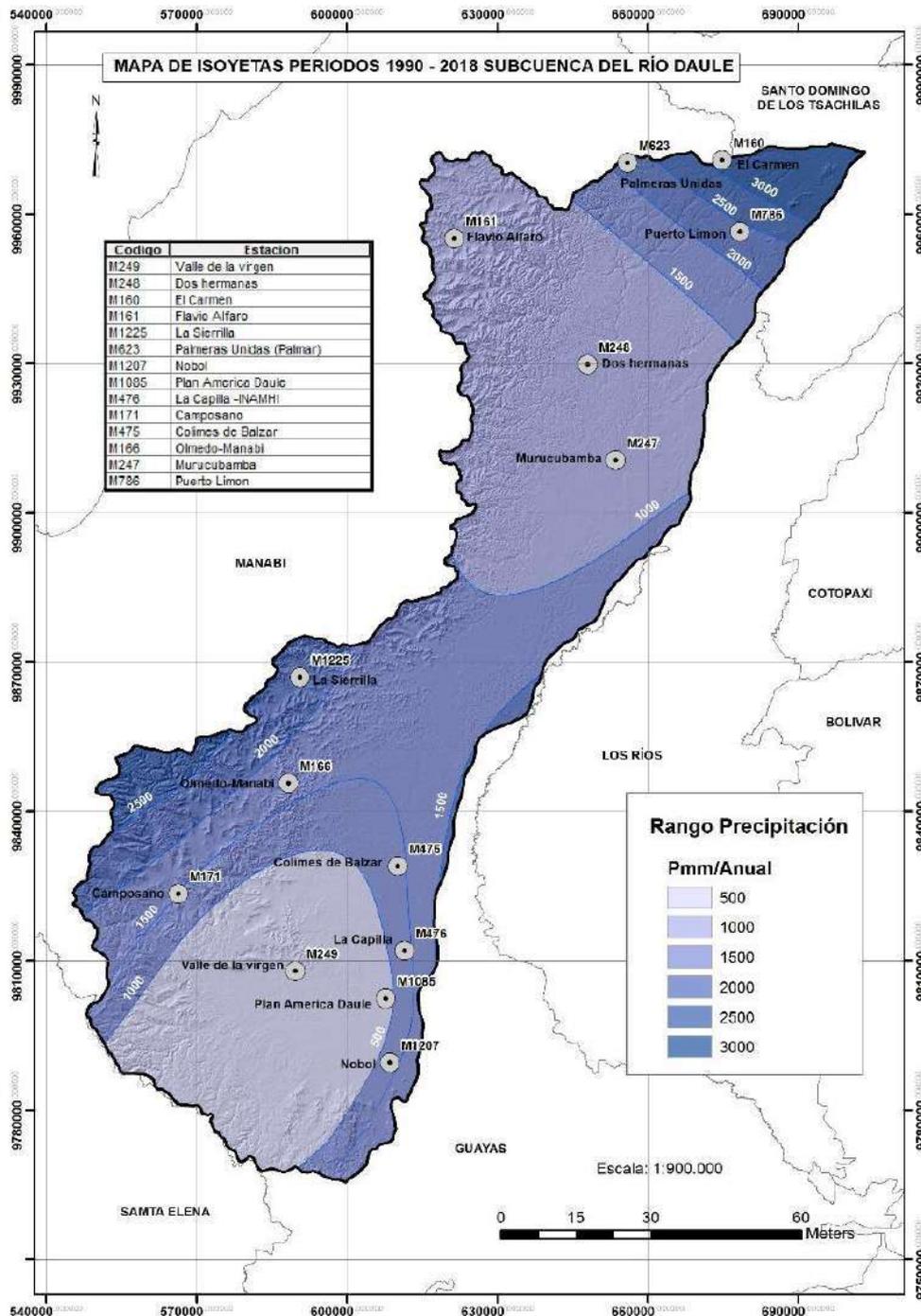
Fuente: Datos meteorológicos – INAMHI, período: 1990-2018, elaboración **Fuente:** Elaboración C. Gutiérrez

5.4.2 Precipitación

Las precipitación media varían en función del relieve y/o altitud, así se encuentran valores superiores a los 4500 mm anuales en las zonas de cabecera mientras que los valores registrados en las llanuras raras veces superan los 3000 mm y en la parte suroeste 1050 mm (figura 7).

Los meses con mayores precipitaciones son marzo y abril, mientras que los meses secos son julio y agosto que se caracterizan por ser calurosos con escasez de lluvia.

Figura 7. Mapa de Isoyetas anuales de la subcuenca del río Daule (1990-2018)



Fuente: Datos meteorológicos – INAMHI, período: 1990-2018, elaboración autor

5.5 Hidrología de la subcuenca del río Daule

5.5.1 Sistema hidrográfico de la subcuenca del río Daule

La subcuenca del río Daule que forma parte de la cuenca del río Guayas tiene alrededor de 88 tributarios entre cauces de 1, 2, 3 y 4 orden.

Dentro de la gran cuenca del río Guayas se encuentra la del río Daule, cuyo origen se inicia en la confluencia del río de Oro, que viene desde el río la Morena, río Las Vainas y el río La Esperanza, en la Provincia de Manabí, se une con el imponente Pupusa que viene escurpando las abruptas pendientes del sistema que separa la gran cuenca del Guayas con las afluentes del Esmeraldas hacia el sector occidental de Santo Domingo de los Tsáchilas, las principales afluentes que desembocan en el río Daule y que corresponden al margen derecho mirando hacia el norte, son escasos y cortos; el Estero el Pintando y Cocopi, para luego presentar la desembocadura del Peripa.

Hacia abajo se tiene varios esteros que bajan del Chonero y por último el estero La Chorrera de donde recorre 200 metros para encontrar la desembocadura del Majagua que viene engrosando las aguas del estero Cápele, siguiendo aguas abajo hasta recibir las aguas del río Congoma, de esta afluencia el río Peripa recibe por su margen izquierdo, mirando al norte las aguas de numerosos esteros y arroyos, siendo los más conocidos los siguientes:

Guayabo Grande (La Tigra), río Armadillo, Pajarito, Las Damas, Gualipe, estero Guayabo, Guayabo Chico, río Damacio Piojo y estero Cherres.

Por la margen derecha recibe las aguas del Chaune que viene de la provincia de Los Ríos, más abajo se encuentra la desembocadura de los ríos Salapi Grande, Salapi Chico a una distancia de 19 km del río Daule se encuentra el río Congo afluente de este.

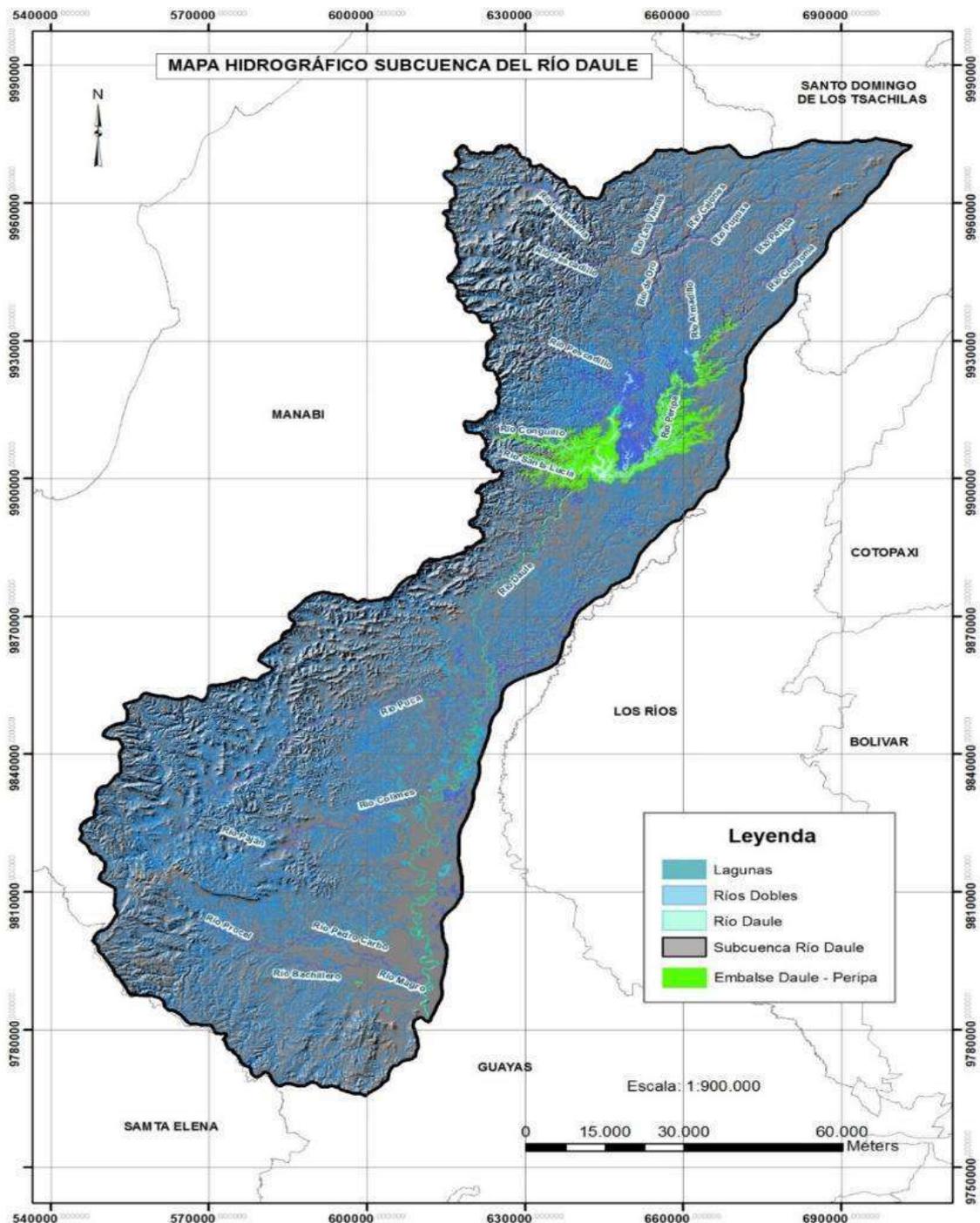
El río Congo recibe por su margen izquierda las aguas de los afluentes Conguillo que sirve de límites con la provincia de Los Ríos, además recibe el Conguito, estero Grande, estero la Mocora, estero la Saiba, estero Chico, estero el Limón y estero Grande.

Por su margen derecho recibe las aguas del estero Agua Blanca que viene de la provincia de Los Ríos y por último el estero Guayabo Chico a 9 Km del río Congo, hacia el este se encuentra el río Macul que sirve de límite con la provincia de Los Ríos, el Río Macul a su vez recibe por su margen izquierdo las aguas del río Corotú.

El estero de las Guaijas, estero Montañuela, estero la parrilla, estero Mancha de Mate y el estero Bravo – Flaco, cuya confluencia sirve de límite con el cantón de Balzar, figura 8.

Para definir el sistema hidrográfico de la subcuenca se realizó a partir de la información cartográfica de la SENAGUA de ríos simples, ríos dobles y cuerpos de agua, de la capa cartográfica, unidades hidrográficas, año de estudio 2011, escala 1:100.000, la cual se observa en la figura 8.

Figura 8. Sistema hidrográfico de la subcuenca del río Daule



Fuente: SENAGUA, 2011; escala de trabajo 1:100.000

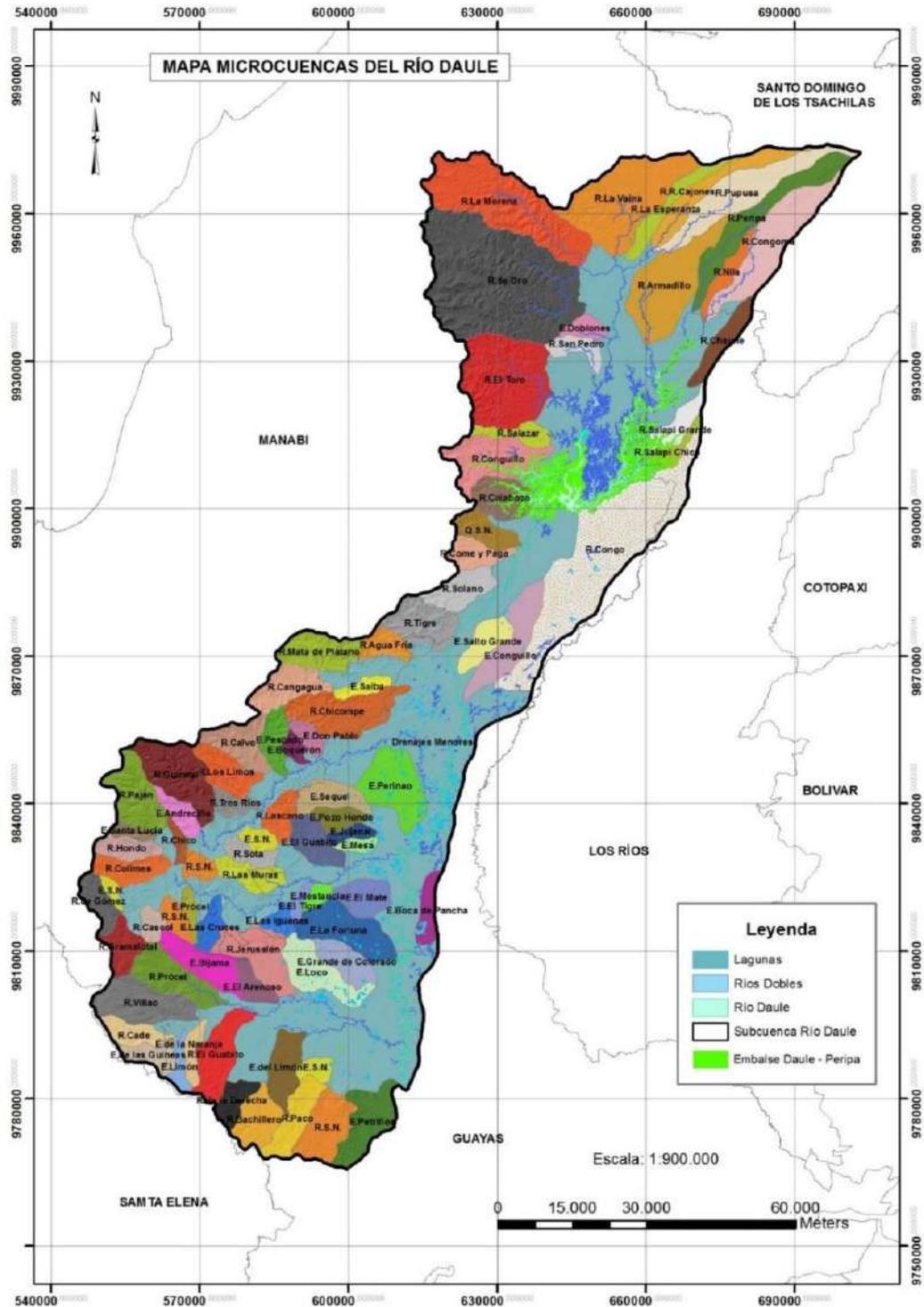
5.5.2 Microcuencas que conforman la subcuenca del río Daule

De acuerdo a la Secretaría Nacional del Agua – SENAGUA en la subcuenca del río Daule existen 87 microcuencas y una de drenajes menores, dando 88 microcuencas, muchos de estos drenajes son intermitentes, es decir tienen agua solo durante la época lluviosa, mientras que durante la época seca son cauces secos.

Para la elaboración del mapa de microcuencas se partió de la capa cartográfica de la SENAGUA (Secretaría Nacional del Agua) y Unidades Hidrográficas escala 1:100.000 año 2011.

Las subcuencas generadas en la figura 9, servirán de base para la priorización de la microcuenca más afectada por la erosión hídrica.

Figura 9. Microcuencas de la subcuenca del río Daule



Fuente: SENAGUA, 2011; escala de trabajo 1:100.000

El nombre de las microcuencas, extensión territorial y porcentaje de territorio respecto a la subcuenca de estudio se observa en el cuadro 1. El área total de la subcuenca del río Daule es de 11567,09 Km².

Cuadro 1. Nombre y extensión areal de las microcuencas de la subcuenca del río Daule

SUPERFICIE MICROCUENCAS RÍO DAULE						
No	CUENCA	SUBCUENCA	MICROCUENCA	ha	Km ²	%
1	Río Guayas	Río Daule	R. Pupusa	19.334,52	193,35	1,67
2	Río Guayas	Río Daule	R. Cajones	10.795,19	107,95	0,93
3	Río Guayas	Río Daule	R. La Esperanza	7.018,99	70,19	0,61
4	Río Guayas	Río Daule	R. De Oro	63.712,65	637,13	5,51
5	Río Guayas	Río Daule	R. La Morena	33.665,77	336,66	2,91
6	Río Guayas	Río Daule	R. La Vaina	29.690,71	296,91	2,57
7	Río Guayas	Río Daule	E. Doblones	3.118,18	31,18	0,27
8	Río Guayas	Río Daule	R. San Pedro	4.452,64	44,53	0,38
9	Río Guayas	Río Daule	R. El Toro	2.8631,77	286,32	2,48
10	Río Guayas	Río Daule	R. Salazar	4.647,02	46,47	0,40
11	Río Guayas	Río Daule	R. Conguil I	1.5257,91	152,58	1,32
12	Río Guayas	Río Daule	R. Calabozo	8.807,62	88,08	0,76
13	Río Guayas	Río Daule	R. Peripa	1.6363,18	163,63	1,41
14	Río Guayas	Río Daule	R. Congoma	2.0582,47	205,82	1,78
15	Río Guayas	Río Daule	R. Nila	4.386,26	43,86	0,38
16	Río Guayas	Río Daule	R. Armadillo	22.388,95	223,89	1,94
17	Río Guayas	Río Daule	R. Chaune	6.430,00	64,30	0,56
18	Río Guayas	Río Daule	R. Salapi Grande	6.090,30	60,90	0,53
19	Río Guayas	Río Daule	R. Salapi Chico	4.511,50	45,12	0,39
20	Río Guayas	Río Daule	Q. S.N.	6.356,85	63,57	0,55
21	Río Guayas	Río Daule	R. Come y Paga	5.544,66	55,45	0,48
22	Río Guayas	Río Daule	R. Solano	8.095,78	80,96	0,70
23	Río Guayas	Río Daule	R. Tigre	11.155,37	111,55	0,96
24	Río Guayas	Río Daule	E. Salto Grande	6.378,02	63,78	0,55
25	Río Guayas	Río Daule	E. Conguillo	12.833,45	128,33	1,11
26	Río Guayas	Río Daule	R. Congo	54.423,48	544,23	4,71
27	Río Guayas	Río Daule	R. Mata de Plátano	10.352,04	103,52	0,89
28	Río Guayas	Río Daule	R. Cangagua	9.149,11	91,49	0,79
29	Río Guayas	Río Daule	E. Saiba	2.975,55	29,76	0,26
30	Río Guayas	Río Daule	R. Agua Fría	4.926,95	49,27	0,43
31	Río Guayas	Río Daule	R. Chicompe	16.138,92	161,39	1,40
32	Río Guayas	Río Daule	R. Guineal	15.731,07	157,31	1,36
33	Río Guayas	Río Daule	E. Andrecillo	4.178,49	41,78	0,36
34	Río Guayas	Río Daule	R.T res Ríos	3.561,42	35,61	0,31
35	Río Guayas	Río Daule	R. Los Limos	7.716,25	77,16	0,67
36	Río Guayas	Río Daule	R. Calvo	9.293,16	92,93	0,80
37	Río Guayas	Río Daule	E. Pescado	5.665,47	56,65	0,49
38	Río Guayas	Río Daule	E. Boquerán	2.184,28	21,84	0,19
39	Río Guayas	Río Daule	E. Don Pablo	3.012,73	30,13	0,26
40	Río Guayas	Río Daule	E. Perinao	14.795,02	147,95	1,28
41	Río Guayas	Río Daule	R. Gramalotal	6.083,87	60,84	0,53
42	Río Guayas	Río Daule	R. de Gamez	5.399,84	54,00	0,47
43	Río Guayas	Río Daule	E.S.N.	1.565,18	15,65	0,14
44	Río Guayas	Río Daule	R. Cascol	2.932,19	29,32	0,25
45	Río Guayas	Río Daule	R.S.N.	3.445,78	34,46	0,30
46	Río Guayas	Río Daule	R. Paján	11.957,83	119,58	1,03
47	Río Guayas	Río Daule	E. Santa Lucía	2.339,09	23,39	0,20

SUPERFICIE MICROCUENCAS RÍO DAULE						
No	CUENCA	SUBCUENCA	MICROCUENCA	ha	Km ²	%
48	Río Guayas	Río Daule	R. Hondo	5.206,45	52,06	0,45
49	Río Guayas	Río Daule	R. Colimes	7.043,96	70,44	0,61
50	Río Guayas	Río Daule	R. Chico	2.168,49	21,68	0,19
51	Río Guayas	Río Daule	R.S.N.	3.177,96	31,78	0,27
52	Río Guayas	Río Daule	E. Pricel	2.255,68	22,56	0,20
53	Río Guayas	Río Daule	E. Las Cruces	4.169,85	41,70	0,36
54	Río Guayas	Río Daule	E. Las Iguanas	2.873,69	28,74	0,25
55	Río Guayas	Río Daule	R. Las Muras	6.338,44	63,38	0,55
56	Río Guayas	Río Daule	E. El Tigre	1.694,70	16,95	0,15
57	Río Guayas	Río Daule	E. Mestancia	2.201,38	22,01	0,19
58	Río Guayas	Río Daule	R. Lascano	5.131,50	51,31	0,44
59	Río Guayas	Río Daule	E.S.N.	2.886,70	28,87	0,25
60	Río Guayas	Río Daule	R. Sota	3.893,18	38,93	0,34
61	Río Guayas	Río Daule	E. El Guabito	7.239,14	72,39	0,63
62	Río Guayas	Río Daule	E. Sequel	7.211,69	72,12	0,62
63	Río Guayas	Río Daule	E. Pozo Hondo	4.185,50	41,86	0,36
64	Río Guayas	Río Daule	E. Jujanal	2.545,92	25,46	0,22
65	Río Guayas	Río Daule	E. Mesa	1.997,91	19,98	0,17
66	Río Guayas	Río Daule	E. El Mate	7.143,88	71,44	0,62
67	Río Guayas	Río Daule	E. Boca de Pancha	4.845,53	48,46	0,42
68	Río Guayas	Río Daule	E. La Fortuna	13.932,59	139,33	1,20
69	Río Guayas	Río Daule	E. Grande de Colorado	6.961,75	69,62	0,60
70	Río Guayas	Río Daule	E. Loco	11.706,76	117,07	1,01
71	Río Guayas	Río Daule	R. Cade	5.328,76	53,29	0,46
72	Río Guayas	Río Daule	E. de las Guineas	4.966,31	49,66	0,43
73	Río Guayas	Río Daule	E. Limón	2.868,75	28,69	0,25
74	Río Guayas	Río Daule	R. Villao	13.984,08	139,84	1,21
75	Río Guayas	Río Daule	E. de la Naranja	3.532,82	35,33	0,31
76	Río Guayas	Río Daule	R. Pricel	11.564,10	115,64	1,00
77	Río Guayas	Río Daule	E. Bijama	9.913,21	99,13	0,86
78	Río Guayas	Río Daule	R. El Guabito	11.499,62	115,00	0,99
79	Río Guayas	Río Daule	E. El Arenoso	4.293,88	42,94	0,37
80	Río Guayas	Río Daule	R. Jerusalén	12.387,04	123,87	1,07
81	Río Guayas	Río Daule	R. Bachillero	8.555,52	85,56	0,74
82	Río Guayas	Río Daule	R. de la Derecha	4.955,16	49,55	0,43
83	Río Guayas	Río Daule	E. del Limón	8.699,10	86,99	0,75
84	Río Guayas	Río Daule	R.S.N.	11.427,61	114,28	0,99
85	Río Guayas	Río Daule	R. Paco	8.922,26	89,22	0,77
86	Río Guayas	Río Daule	E.S.N.	2.910,40	29,10	0,25
87	Río Guayas	Río Daule	E. Petrillos	12.121,51	121,22	1,05
88	Río Guayas	Río Daule	Drenajes Menores	34.388,58	343,89	2,93
	TOTAL			1176708,80	11567,09	100,00

Fuente: Elaboración Fuente: Elaboración C. Gutiérrez

Vegetación de la subcuenca del río Daule

En la cabecera de la subcuenca se observan cultivos de banano, cacao, yuca, café, mango, pastizales y otros productos propios de la zona tropical, la misma tónica de cultivos se observa en la parte media, mientras que en la parte baja se repiten estos cultivos pero en menor escala, predominando los cultivos de arroz en su mayor parte.

5.6 Análisis de cobertura de la tierra para diferentes períodos de tiempo (2003, 2013, 2016)

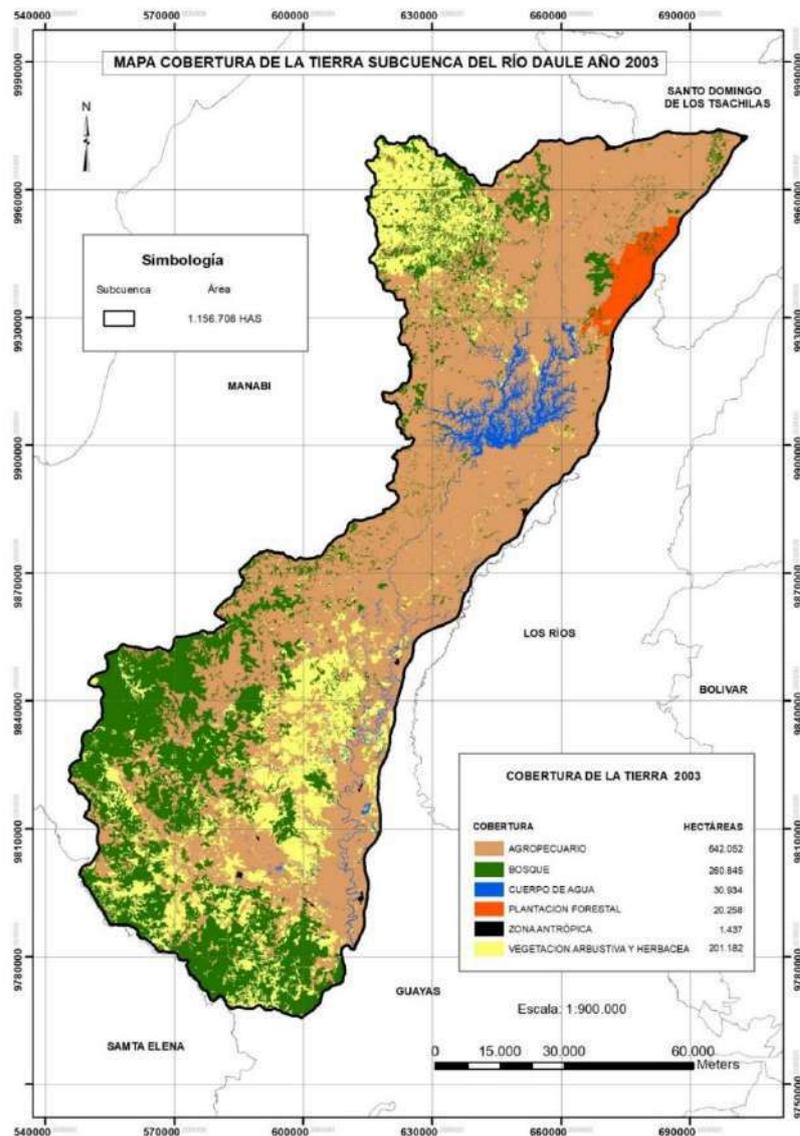
Para el análisis se consideró la información cartográfica más antigua existente en el medio, la misma que permitió analizar las diferentes coberturas de la tierra en el tiempo, y tener una idea clara de la intervención del hombre en la subcuenca.

5.6.1 Análisis de cobertura de la tierra subcuenca del río Daule, año 2003

Hasta el año 2003, el 55.50% (642.052,00 ha) de la subcuenca se encuentra intervenida con uso agropecuario (cultivos de banano, cacao, maíz, yuca, mango, entre otros), el 22.17% (260.845,00 ha) se encuentra cubierta de bosque (bosque terciario, matorrales), el 2.62% (30.934,00 ha) pertenece a cuerpos de agua que pertenece al embalse Daule – Peripa, el 1.72% (20.258,00 ha) de plantación forestal (madera de exportación), el 0.12% se encuentra ocupada por la población (zona urbanizada) y el 17.09 % se encuentra cubierta de vegetación arbustiva y herbácea.

Para la generación del mapa de la Cobertura de la Tierra, se utilizó la cobertura disponible de Uso del Suelo SIGAGRO año 2003, Escala 1:50.000.

Figura 10. Cobertura de la tierra de la subcuenca del río Daule, año 2003

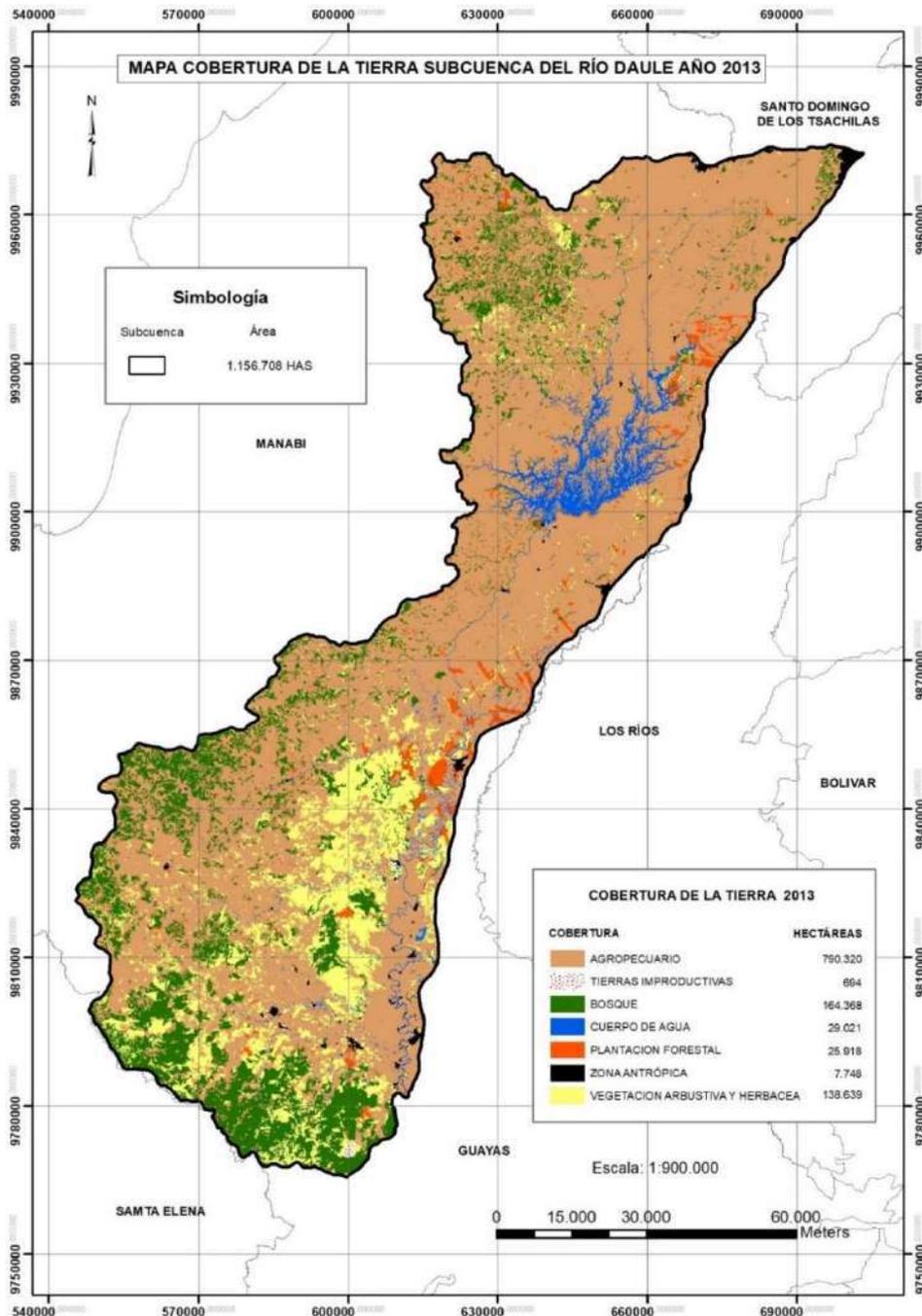


Fuente: SIGAGRO año 2003, Escala 1:50.000

5.6.2 Análisis de la cobertura de la tierra subcuenca del río Daule 2013

Al analizar la cartografía del año 2013, se observa que el 67.16% (790.320,00 ha) de la subcuenca se encuentra intervenida con uso agropecuario (cultivos de banano, cacao, maíz, yuca, limón entre otros), el 0.06% de tierras son improductivas (tierras en proceso de degradación), el 14.21% (164.368,00 ha) se encuentra cubierta de bosque (bosque terciario, matorrales), el 2.51% (29.021,00 ha) pertenece a cuerpos de agua, entre los que se tiene al embalse Daule – Peripa, el 2.24% (25.918,00 ha) de plantación forestal (madera de exportación), el 0.67% se encuentra ocupada por la población (zona urbanizada) y el 11.99 % se encuentra cubierta de vegetación arbustiva y herbácea, figura 11.

Figura 11. Cobertura de la tierra de la subcuenca del río Daule, año 2013



Fuente: IEE (Instituto Espacial Ecuatoriano) Proyecto Nacional. Generación de Geo-Información para el Territorio, temática Uso del Suelo. Escala 1:25.000 año 2010 – 2013

5.6.3 Análisis comparativo de cobertura de la tierra años 2003 y año 2013

Cuadro 2. Análisis comparativo de cobertura de la tierra años 2003 y año 2013 de la subcuenca del río Daule

Año	Porcentaje de cobertura de la tierra de la subcuenca del río Daule - %						
	Agropecuario	Tierras improductivas	Bosque	Cuerpo de agua	Plantación forestal	Zona antrópica	Vegetación arbustiva y herbácea
2003	55.50	0.00	22.17	2.62	1.72	0.12	17.09
2013	67.16	0.06	14.21	2.51	2.24	0.67	11.99
Diferencia (%)	+11.6	+0.06	-7.96	- 0.11	+0.52	+0.55	-5.1

Fuente: Elaboración Fuente: Elaboración C. Gutiérrez

De acuerdo a los resultados del cuadro 2, se concluye que el área agropecuaria ha crecido en un 11.6%, aparecen tierras improductivas en un 0.06%, el bosque ha disminuido en un 7.96%, los cuerpos de agua van desapareciendo y su área de cobertura ha bajado en un 0.11%, la plantación forestal ha aumentado en 0.52%, las urbanizaciones y viviendas han aumentado en un 0.55% y la vegetación arbustiva y herbácea va desapareciendo y su reducción es del 5.1%. Concluyéndose que la subcuenca ha venido sufriendo un deterioro continuo en un período de 10 años.

5.7 Análisis de la cobertura de la tierra subcuenca del río Daule 2016

De igual manera se analiza el año 2016, observándose que el 68.40 % (791.134,00 ha) de la subcuenca se encuentra intervenida con uso agropecuario (cultivos de banano, cacao, maíz, yuca, limón entre otros), el 0.165% de tierras improductivas (tierras en proceso de degradación), el 14.1% (162.856,00 ha) se encuentra cubierta de bosque (bosque terciario, matorrales), el 2.50% (28.936,00 ha) pertenece a cuerpos de agua, entre esos tenemos al embalse Daule – Peripa, el 2.62% (30.850,00 ha) de plantación forestal (madera de exportación), el 0.71% se encuentra ocupada por la población (zona urbanizada) y el 11.28 % (132.727,00) se encuentra cubierta de vegetación arbustiva y herbácea, figura 12.

5.7.1 Análisis comparativo de cobertura de la tierra años 2013 y año 2016

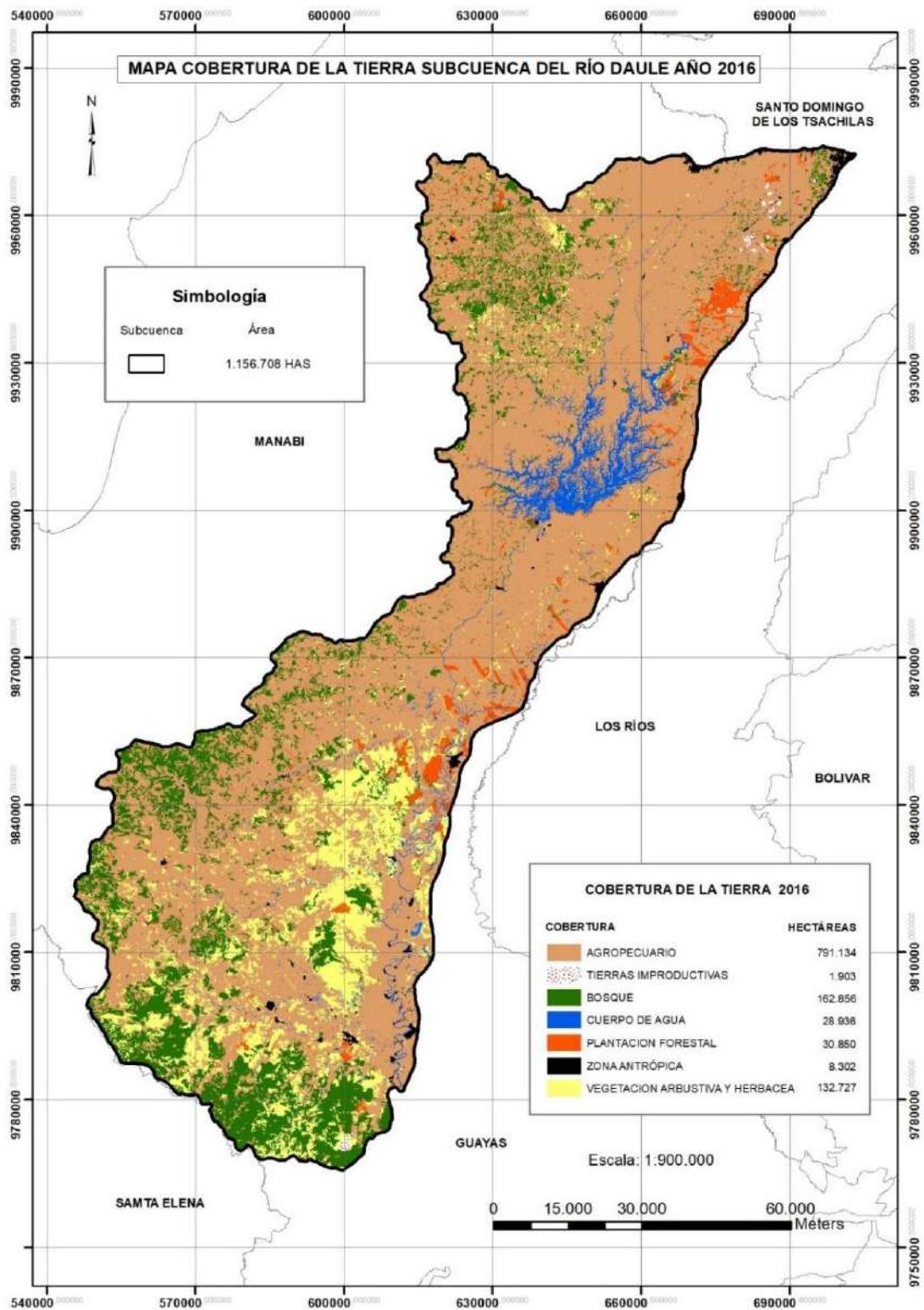
Cuadro 3. Análisis comparativo de cobertura de la tierra años 2013 y año 2016 de la subcuenca del río Daule

Año	Porcentaje de cobertura de la tierra de la subcuenca del río Daule - %						
	Agropecuario	Tierras improductivas	Bosque	Cuerpo de agua	Plantación forestal	Zona antrópica	Vegetación arbustiva y herbácea
2013	67.16	0.06	14.21	2.51	2.24	0.67	11.99
2016	68.40	0.165	14.10	2.50	2.62	0.71	11.28
Diferencia (%)	+1.24	+0.105	-0.11	- 0.01	+0.38	+0.04	-0.71

Fuente: Elaboración Fuente: Elaboración C. Gutiérrez

De acuerdo al cuadro 3, se concluye que el área agropecuaria ha crecido en un 1.24%, las tierras improductivas aumentan un 0.105%, el bosque ha disminuido en un 0.11%, los cuerpos de agua van desapareciendo y su área de cobertura ha bajado en un 0.01%, la plantación forestal sigue aumentando en 0.38%, las urbanizaciones y viviendas igualmente sigue aumentando en un 0.04% y la vegetación arbustiva y herbácea sigue desapareciendo y su reducción es del 0.71%. Concluyéndose que la subcuenca continua deteriorándose en estos últimos tres años analizados.

Figura 12. Cobertura de la tierra de la subcuenca del río Daule, año 2016



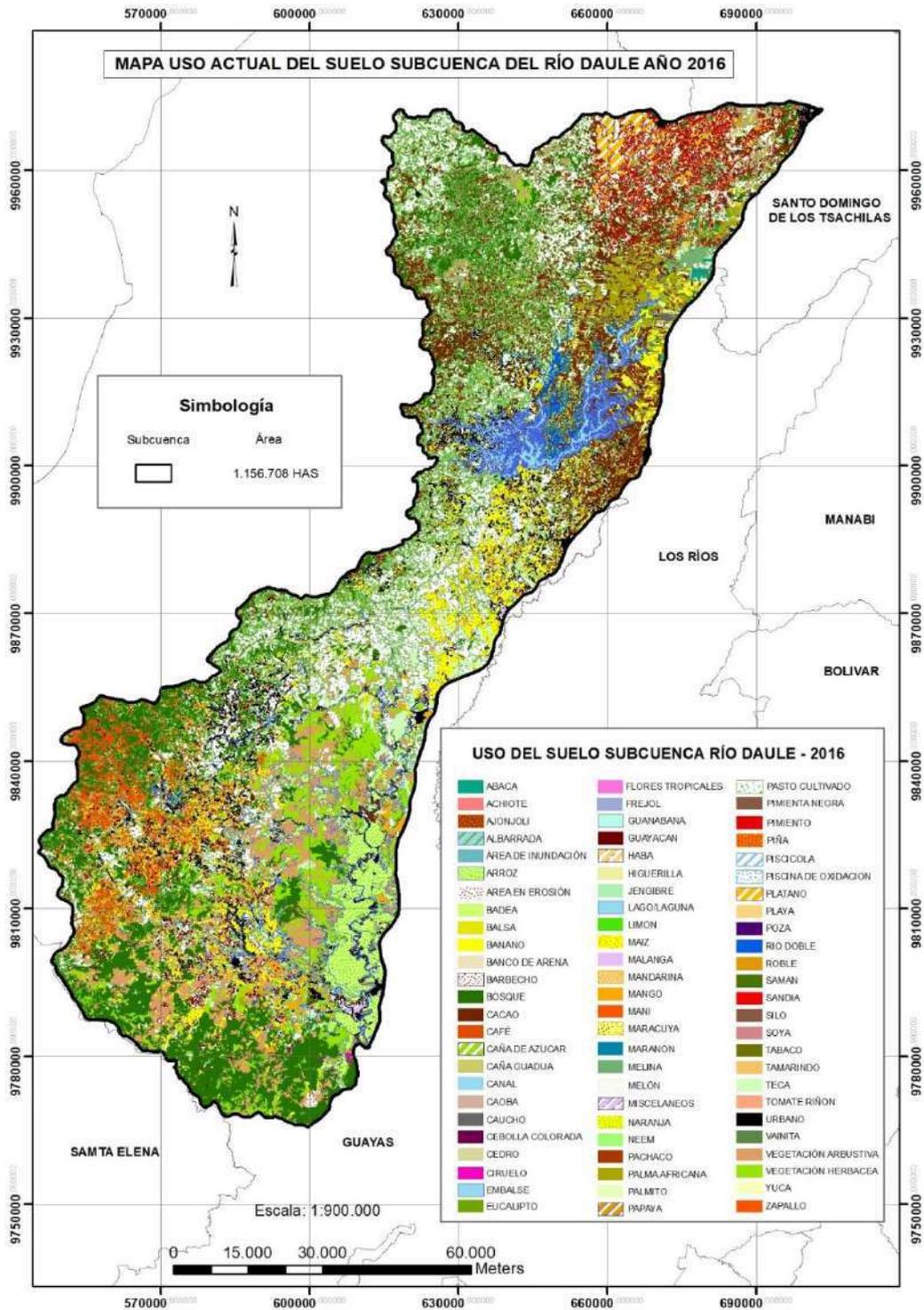
Fuente: SIGTIERRAS, Escala de trabajo 1:25.000, 2014 - 2016.

5.8 Uso actual del suelo 2016 subcuenca del río Daule año 2016

El uso del suelo comprende "las acciones, actividades e intervenciones que realizan las personas sobre un determinado tipo de superficie para producir, modificarla o mantenerla" (FAO, 1997a; FAO/UNEP, 1999).

Para determinar el uso actual del suelo de la subcuenca del río Daule se utilizó la información de SIGTIERRAS y MAGAP, figura 13.

Figura 13. Uso actual del suelo subcuenca del río Daule - 2016



Fuente: SIGTIERRAS y MAGAP, 2016, Escala: 1:25.000.

En el siguiente cuadro se describe el uso actual del suelo, en sus diferentes coberturas.

Cuadro 4. Uso del suelo subcuenca del río Daule año 2016

USO DEL SUELO	COBERTURA	Are Has	USO DEL SUELO	COBERTURA	Are Has
AGRÍCOLA	ABACA	1280,37	CUERPO DE AGUA	ALBARRADA / RESERVORIO	221,71
	ACHIOTE	261,83		AREA DE INUNDACIÓN	118,36
	AJONJOLI	50,68		CANAL	5,26
	ARROZ	67290,69		EMBALSE	16789,63
	BADEA	4,86		LAGO - LAGUNA	123,21
	BANANO	3641,83		POZA	5,84
	BARBECHO	11481,39		RÍO DOBLE	11672,46
	CACAO	102009,63		TOTAL	28936,47
	CAFÉ	37434,08	COBERTURA NATURAL	BOSQUE	162856,31
	CAÑA DE AZUCAR	95,73		VEGETACIÓN ARBUSTIVA	85281,47
	CEBOLLA COLORADA	2,4		VEGETACIÓN HERBACEA	59022,25
	CEDRO	81,46	TOTAL	307160,03	
	CIRUELO	420,23	PLANTACIÓN FORESTAL	BALSA	3885,75
	FLORES TROPICALES	5,48		CAÑA GUADUA	2853,59
	FREJOL	462,87		CAOBA	3,37
	GUANABANA	1,28		CAUCHO	2176,2
	HABA	2,24		CEDRO	81,46
	HIGUERILLA	2,71		EUCALIPTO	1,48
	JENGIBRE	3,39		GUAYACAN	10,59
	LIMÓN	17,17		MELINA	2373,1
	MAÍZ	101043,57		NEEM	45,75
	MALANGA	12,65		PACHACO	207,18
	MANDARINA	397,15		ROBLE	51,46
	MANGO	7505,23		SAMAN	251,56
	MANÍ	19,08	TECA	18908,94	
	MARACUYA	917,75	TOTAL	30850,43	
	MARANON	2,88	ZONA ANTROPICA	CANTERA	103,45
	MELÓN	37,37		CENTRO POBLADO	2273,63
	MISCELANEOS	23026,6		MINA	15,66
	NARANJA	52,46		PISCINA DE OXIDACIÓN	13,31
	PALMA AFRICANA	18906,26		PISTA DE ATERRIAJE	5,54
	PALMITO	901,42		RED VIARIA	671,87
	PAPAYA	711,22		ZONA URBANA	5219,37
PIMIENTA NEGRA	97,3	TOTAL	8302,83		
PIMIENTO	8,93	PECUARIO	PASTO CULTIVADO	338180,93	
PIÑA	1493,95		PASTO CON ÁRBOLES	27071,37	
PLATANO	33593,09		TOTAL	365252,3	
SANDIA	25,15	ACUÍCOLA	ÁREA PISCÍCOLA	4,16	
SILO	18,11		TOTAL	4,16	
SOYA	38,83	TIERRAS IMPRODUCTIVAS	ÁREA EN PROCESO DE EROSIÓN	14,72	
TABACO	45,26		BANCO DE ARENA	102,19	
TAMARINDO	22,99		PLAYA	4,8	
TOMATE RIÑON	14,83		SIN INFORMACIÓN	1781,79	
VAINITA	12,71		TOTAL	1903,5	
YUCA	525,65				
ZAPALLO	2,55				
TOTAL	413983,31				
AVÍCOLA	GRANJA AVÍCOLA	315,69			
	TOTAL	315,69			

Fuente: Elaboración autor

Un resumen de los usos actual del suelo se observar en el cuadro 5.

Cuadro 5. Resumen de uso del suelo subcuenca del río Daule año 2016

USO	Are Has	%
AGRÍCOLA	413983,31	35,79
AVÍCOLA	315,69	0,03
ACUÍCOLA	4,16	0,00
PECUARIO	365252,3	31,58
PLANTACIÓN FORESTAL	30850,43	2,67
COBERTURA NATURAL	307160,03	26,55
CUERPOS DE AGUA	28936,47	2,50
ZONA ANTRÓPICA	8302,83	0,72
TIERRAS IMPRODUCTIVAS	1903,5	0,16
TOTAL	1156708,72	100,00

Fuente: Elaboración autor

En la subcuenca del río Daule predomina el uso agrícola, seguido del pecuario y cobertura natural y en porcentajes menores avícola, acuícola, plantación forestal, cuerpos de agua, antrópica y tierras improductivas.

5.9 Análisis de la deforestación para diferentes períodos (2003, 2013, 2016)

La deforestación es la acción de despojar a un terreno de sus árboles y plantas. La palabra proviene del francés déforestation, y ésta a su vez procede del inglés deforestation.

Es un proceso originado por la acción humana en el medio ambiente, para el aprovechamiento del recurso forestal para la industria maderera, el despeje de importantes porciones de terreno para la agricultura y la ganadería, así como la industria minera.

Las consecuencias de la deforestación son diversas como:

- afectan el equilibrio ecológico del lugar y las formas de vida de las especies que allí habitan,
- provocan la degradación de las tierras como resultado de la erosión de los suelos,
- pueden causar la modificación de los patrones climáticos,
- contribuir con el calentamiento global, entre otras cosas.

5.9.1 Deforestación de la subcuenca del río Daule años 2003 - 2013

La generación del Mapa de Deforestación, se obtiene a partir de la sobre posición del mapa de cobertura vegetal del año 2013 vs la cobertura vegetal del año 2003, fijando nuestro interés especialmente en el porcentaje de residuo de bosque durante los dos años en estudio.

En base al mapa de deforestación generado, se realiza un análisis comparativo de la deforestación durante el período 2003, 2013, cuyos resultados se observan en el cuadro 6.

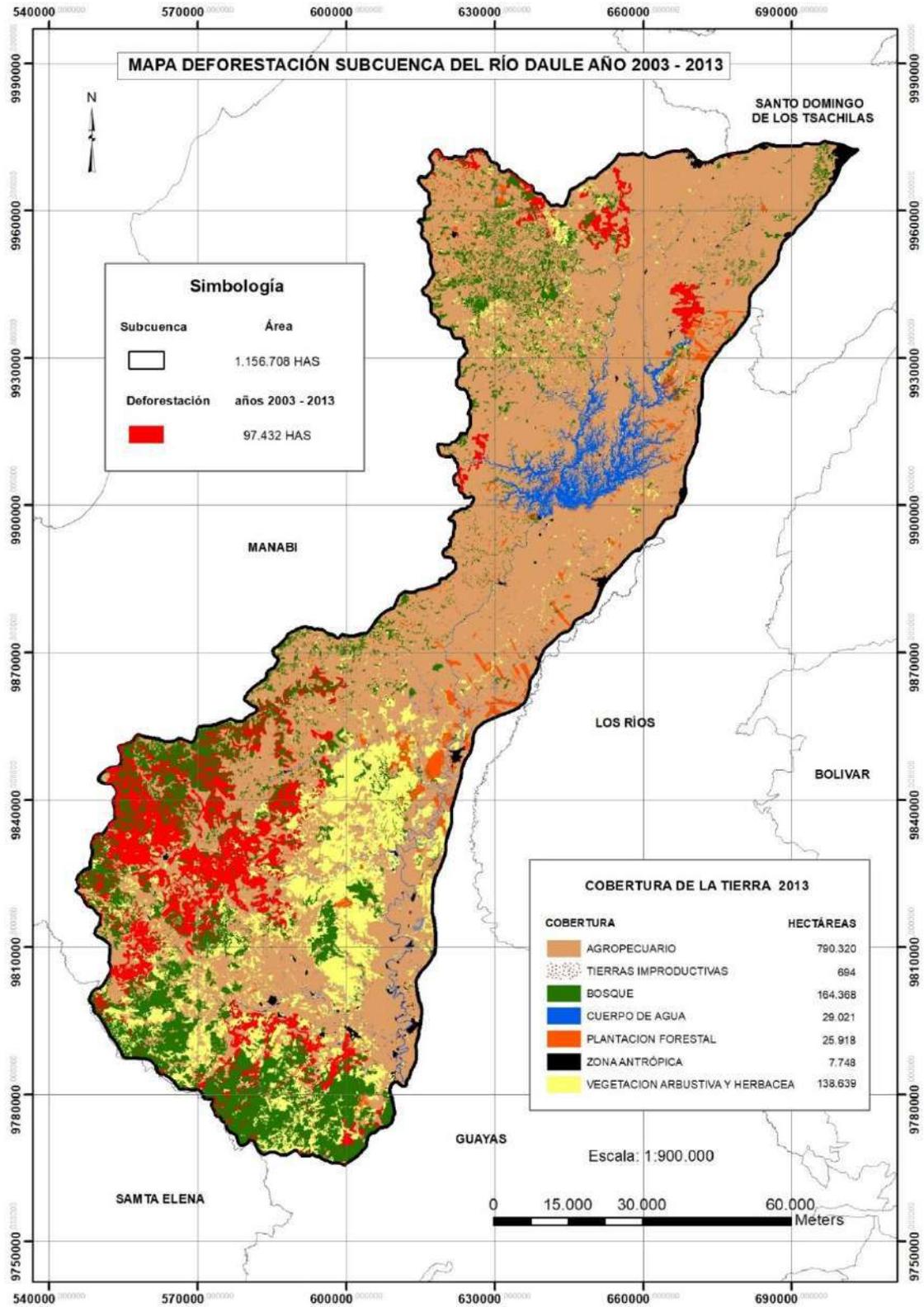
Cuadro 6. Análisis comparativo de la deforestación de bosque en la subcuenca del río Daule años 2003 – 2013

Cobertura subcuenca del río Daule año 2003			Cobertura subcuenca del río Daule año 2013	
Cobertura	ha	%	ha	%
Agropecuario	642052	55,51	790320	68,32
Bosque	260845	22,55	164368	14,21
Plantación forestal	20258	1,75	25918	2,24
Vegetación arbustiva y herbácea	201182	17,39	138639	11,99
Urbano	1437	0,12	7748	0,67
Tierras improductivas	0.00	0.00	694	0,06
Cuerpo de agua	30934	2,67	29021	2,51
Total	1.156.708	100,00	1.156.708	100,00

Fuente: Elaboración Fuente: Elaboración C. Gutiérrez

Analizando el cuadro 6, se puede concluir que la deforestación a partir del año 2003 hasta el 2013 (10 años), la cobertura boscosa de la subcuenca se ha reducido en un 8.34% que corresponden 96.477 has.

Figura 14. Deforestación en la subcuenca del río Daule - 2016

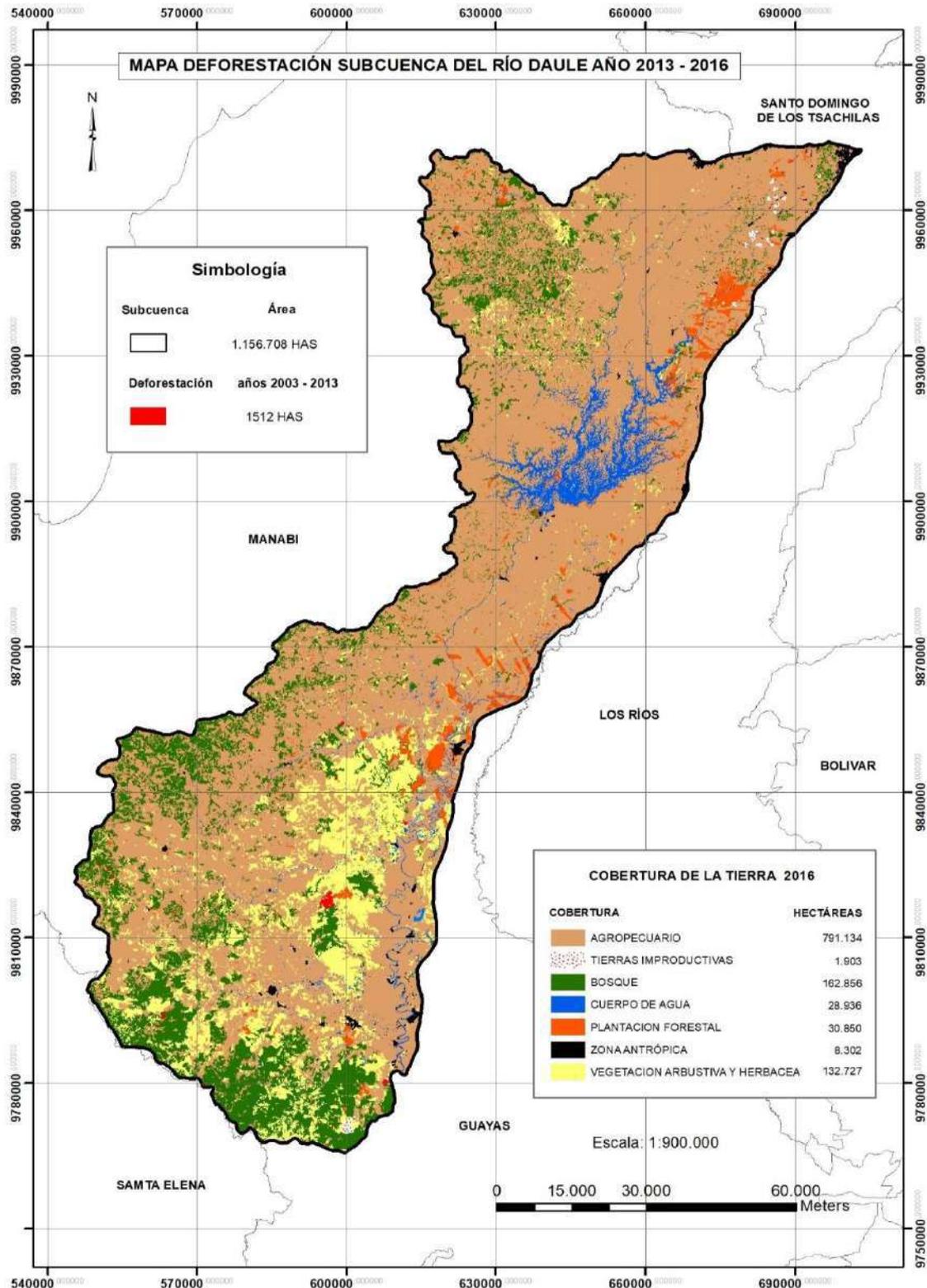


Fuente: IEE (Instituto Espacial Ecuatoriano) Proyecto Nacional. Generación de Geo-Información para el Territorio, Temática Uso del Suelo. Escala 1:25.000 año 2003 – 2013.

5.9.2 Deforestación de la subcuenca del río Daule años 2013 - 2016

De igual forma el resultado del mapa de deforestación de la subcuenca del río Daule para el año 2013-2016 se siguió la misma metodología, observándose resultados menos abruptos por la diferencia de años.

Figura 15. Deforestación en la subcuenca del río Daule, período: 2013-2016



Fuente: IEE (Instituto Espacial Ecuatoriano) Proyecto Nacional. Generación de Geo-Información para el Territorio, Temática Uso del Suelo. Escala 1:25.000 año 2013 – 2013.

Cuadro 7. Análisis comparativo de la deforestación de Bosque en la subcuenca del río Daule años 2013 – 2016

Cobertura subcuenca del río Daule año 2013			Cobertura subcuenca del río Daule año 2016	
Cobertura	ha	%	ha	%
Agropecuario	790320	68,32	791134	68,40
Bosque	164368	14,21	162856	14,08
Plantación forestal	25918	2,24	30850	2,67
Vegetación arbustiva y herbácea	138639	11,99	132727	11,47
Urbano	7748	0,67	8302	0,72
Tierras improductivas	694	0,06	1903	0,16
Cuerpo de agua	29021	2,51	28936	2,50
Total	1.156.708	100,00	1.156.708	100,00

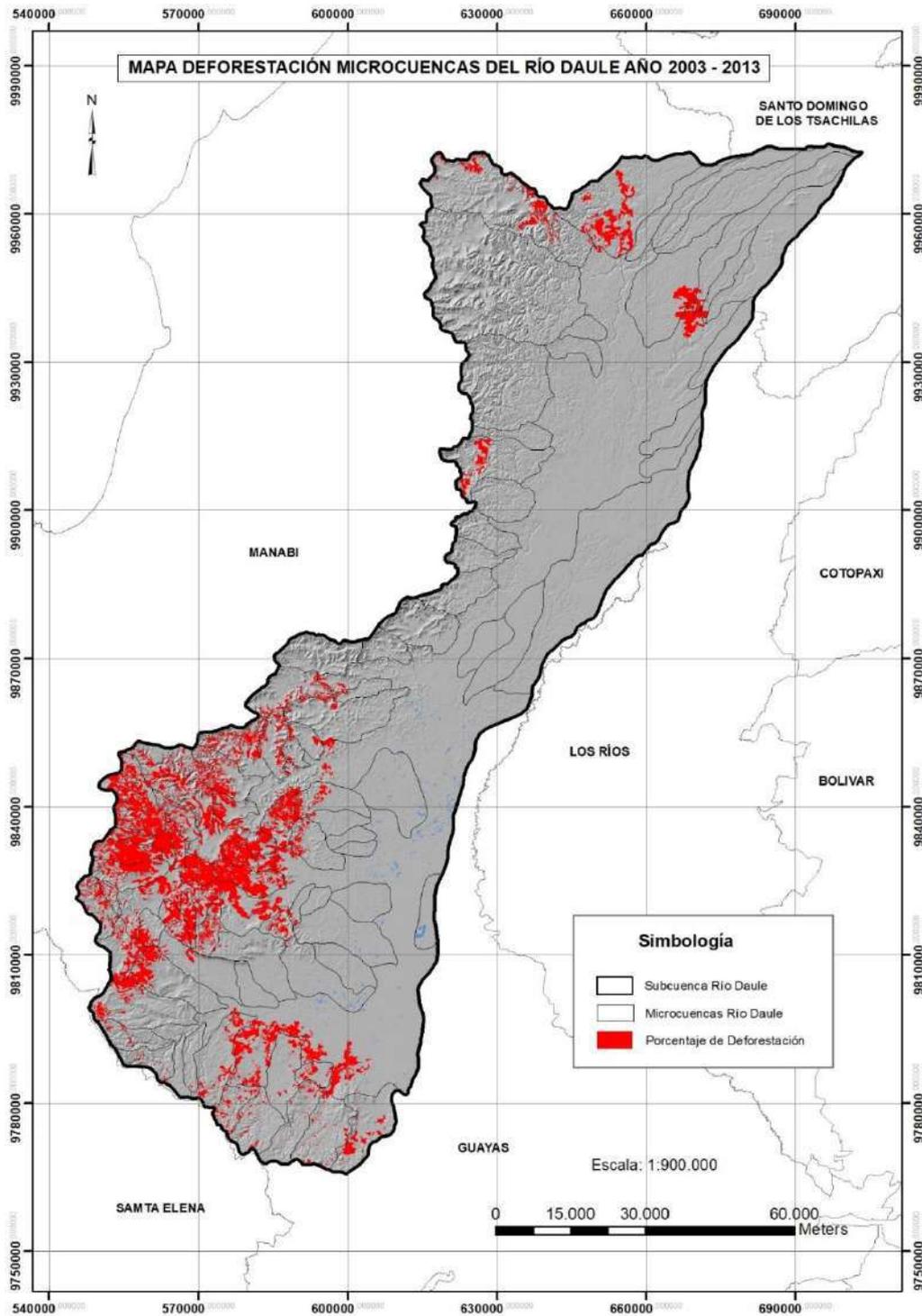
Fuente: Elaboración Fuente: Elaboración C. Gutiérrez

Finalmente se observa que durante tres años a partir del 2013 hasta al 2016 la cobertura boscosa de la subcuenca se redujo en un 0.13% que corresponde a 1.512 ha.

5.10 Análisis de la deforestación a nivel de microcuencas de la subcuenca del río Daule, 2003, 2013

Con la finalidad de determinar los procesos de erosión a nivel de microcuenca que es uno de los propósitos de este estudio, se optó en realizar este análisis mediante la superposición de la capa resultado de deforestación de la cobertura de la tierra año 2013 sobre la capa de microcuencas de la zona de estudio, lo cual está representado en la figura 16.

Figura 16. Deforestación microcuencas de la subcuenca del río Daule, período: 2003-2013



Fuente: IEE (Instituto Espacial Ecuatoriano) Proyecto Nacional. Generación de Geo-Información para el Territorio, temática Uso del Suelo. Escala 1:25.000 año 2003 – 2013

De la figura 16 se han obtenido el porcentaje de deforestación a nivel de microcuena de la subcuenca del río Daule, resultados que se muestran en el cuadro 8.

Cuadro 8. Porcentajes de deforestación en microcuencas río Daule años: 2003 - 2013

No	Cuenca	Subcuenca	Microcuenca	Área ha	Deforestación ha	% Deforestación
1	Río Guayas	Río Daule	R. Pupusa	19334.52	193.35	1.67
2	Río Guayas	Río Daule	R. R.Cajones	10795.19	107.95	0.93
3	Río Guayas	Río Daule	R. La Esperanza	7018.99	70.19	0.61
4	Río Guayas	Río Daule	R. de Oro	63712.65	637.13	5.51
5	Río Guayas	Río Daule	R. La Morena	33665.77	336.66	2.91
6	Río Guayas	Río Daule	R. La Vaina	29690.71	296.91	2.57
7	Río Guayas	Río Daule	E. Doblones	3118.18	31.18	0.27
8	Río Guayas	Río Daule	R. San Pedro	4452.64	44.53	0.38
9	Río Guayas	Río Daule	R. El Toro	28631.77	286.32	2.48
10	Río Guayas	Río Daule	R. Salazar	4647.02	46.47	0.40
11	Río Guayas	Río Daule	R. Conguillo	15257.91	152.58	1.32
12	Río Guayas	Río Daule	R. Calabozo	8807.62	88.08	0.76
13	Río Guayas	Río Daule	R. Peripa	16363.18	163.63	1.41
14	Río Guayas	Río Daule	R.Congoma	20582.47	205.82	1.78
15	Río Guayas	Río Daule	R. Nila	4386.26	43.86	0.38
16	Río Guayas	Río Daule	R. Armadillo	22388.95	223.89	1.94
17	Río Guayas	Río Daule	R. Chaune	6430.00	64.30	0.56
18	Río Guayas	Río Daule	R. Salapi Grande	6090.30	60.90	0.53
19	Río Guayas	Río Daule	R. Salapi Chico	4511.50	45.12	0.39
20	Río Guayas	Río Daule	Q.S.N.	6356.85	63.57	0.55
21	Río Guayas	Río Daule	R. Come y Paga	5544.66	55.45	0.48
22	Río Guayas	Río Daule	R.Solano	8095.78	80.96	0.70
23	Río Guayas	Río Daule	R. Tigre	11155.37	111.55	0.96
24	Río Guayas	Río Daule	E. Salto Grande	6378.02	63.78	0.55
25	Río Guayas	Río Daule	E. Conguillo	12833.45	128.33	1.11
26	Río Guayas	Río Daule	R. Congo	54423.48	544.23	4.71
27	Río Guayas	Río Daule	R. Mata de Plátano	10352.04	103.52	0.89
28	Río Guayas	Río Daule	R. Cangagua	9149.11	91.49	0.79
29	Río Guayas	Río Daule	E. Saiba	2975.55	29.76	0.26

No	Cuenca	Subcuenca	Microcuenca	Área ha	Deforestación ha	% Deforestación
30	Río Guayas	Río Daule	R. Agua Fría	4926.95	49.27	0.43
31	Río Guayas	Río Daule	R. Chicompe	16138.92	161.39	1.40
32	Río Guayas	Río Daule	R. Guineal	15731.07	157.31	1.36
33	Río Guayas	Río Daule	E. Andrecillo	4178.49	41.78	0.36
34	Río Guayas	Río Daule	R. Tres Ríos	3561.42	35.61	0.31
35	Río Guayas	Río Daule	R. Los Limos	7716.25	77.16	0.67
36	Río Guayas	Río Daule	R. Calvo	9293.16	92.93	0.80
37	Río Guayas	Río Daule	E. Pescado	5665.47	56.65	0.49
38	Río Guayas	Río Daule	E. Boquerán	2184.28	21.84	0.19
39	Río Guayas	Río Daule	E. Don Pablo	3012.73	30.13	0.26
40	Río Guayas	Río Daule	E. Perinao	14795.02	147.95	1.28
41	Río Guayas	Río Daule	R. Gramalotal	6083.87	60.84	0.53
42	Río Guayas	Río Daule	R. de Gamez	5399.84	54.00	0.47
43	Río Guayas	Río Daule	E.S.N.	1565.18	15.65	0.14
44	Río Guayas	Río Daule	R. Cascol	2932.19	29.32	0.25
45	Río Guayas	Río Daule	R.S.N.	3445.78	34.46	0.30
46	Río Guayas	Río Daule	R. Paján	11957.83	119.58	1.03
47	Río Guayas	Río Daule	E. Santa Lucía	2339.09	23.39	0.20
48	Río Guayas	Río Daule	R. Hondo	5206.45	52.06	0.45
49	Río Guayas	Río Daule	R. Colimes	7043.96	70.44	0.61
50	Río Guayas	Río Daule	R. Chico	2168.49	21.68	0.19
51	Río Guayas	Río Daule	R.S.N.	3177.96	31.78	0.27
52	Río Guayas	Río Daule	E. Pricel	2255.68	22.56	0.20
53	Río Guayas	Río Daule	E. Las Cruces	4169.85	41.70	0.36
54	Río Guayas	Río Daule	E. Las Iguanas	2873.69	28.74	0.25
55	Río Guayas	Río Daule	R. Las Muras	6338.44	63.38	0.55
56	Río Guayas	Río Daule	E. El Tigre	1694.70	16.95	0.15
57	Río Guayas	Río Daule	E. Mestancia	2201.38	22.01	0.19
58	Río Guayas	Río Daule	R. Lascano	5131.50	51.31	0.44
59	Río Guayas	Río Daule	E.S.N.	2886.70	28.87	0.25

No	Cuenca	Subcuenca	Microcuenca	Área ha	Deforestación ha	% Deforestación
60	Río Guayas	Río Daule	R. Sota	3893.18	38.93	0.34
61	Río Guayas	Río Daule	E. El Guabito	7239.14	72.39	0.63
62	Río Guayas	Río Daule	E. Sequel	7211.69	72.12	0.62
63	Río Guayas	Río Daule	E. Pozo Hondo	4185.50	41.86	0.36
64	Río Guayas	Río Daule	E. Jujanal	2545.92	25.46	0.22
65	Río Guayas	Río Daule	E. Mesa	1997.91	19.98	0.17
66	Río Guayas	Río Daule	E. El Mate	7143.88	71.44	0.62
67	Río Guayas	Río Daule	E. Boca de Pancha	4845.53	48.46	0.42
68	Río Guayas	Río Daule	E. La Fortuna	13932.59	139.33	1.20
69	Río Guayas	Río Daule	E. Grande de Colorado	6961.75	69.62	0.60
70	Río Guayas	Río Daule	E. Loco	11706.76	117.07	1.01
71	Río Guayas	Río Daule	R. Cade	5328.76	53.29	0.46
72	Río Guayas	Río Daule	E. de las Guineas	4966.31	49.66	0.43
73	Río Guayas	Río Daule	E. Limón	2868.75	28.69	0.25
74	Río Guayas	Río Daule	R. Villao	13984.08	139.84	1.21
75	Río Guayas	Río Daule	E. de la Naranja	3532.82	35.33	0.31
76	Río Guayas	Río Daule	R. Pricel	11564.10	115.64	1.00
77	Río Guayas	Río Daule	E. Bijama	9913.21	99.13	0.86
78	Río Guayas	Río Daule	R. El Guabito	11499.62	115.00	0.99
79	Río Guayas	Río Daule	E. El Arenoso	4293.88	42.94	0.37
80	Río Guayas	Río Daule	R. Jerusalén	12387.04	123.87	1.07
81	Río Guayas	Río Daule	R. Bachillero	8555.52	85.56	0.74
82	Río Guayas	Río Daule	R. de la Derecha	4955.16	49.55	0.43
83	Río Guayas	Río Daule	E. del Limón	8699.10	86.99	0.75
84	Río Guayas	Río Daule	R.S.N.	11427.61	114.28	0.99
85	Río Guayas	Río Daule	R. Paco	8922.26	89.22	0.77
86	Río Guayas	Río Daule	E.S.N.	2910.40	29.10	0.25
87	Río Guayas	Río Daule	E. Petrillos	12121.51	121.22	1.05
88	Río Guayas	Río Daule	Drenajes Menores	343888.58	3438.89	29.73
			TOTAL:	1156708.80	11567.09	100.00

Fuente: Elaboración Fuente: Elaboración C. Gutiérrez

Del cuadro 8, se observa que las superficies deforestadas en cada microcuenca desde el año 2003 hasta el año 2013, versus las superficies totales de cada microcuenca del área de estudio, sobresalen tres microcuencas particularmente:

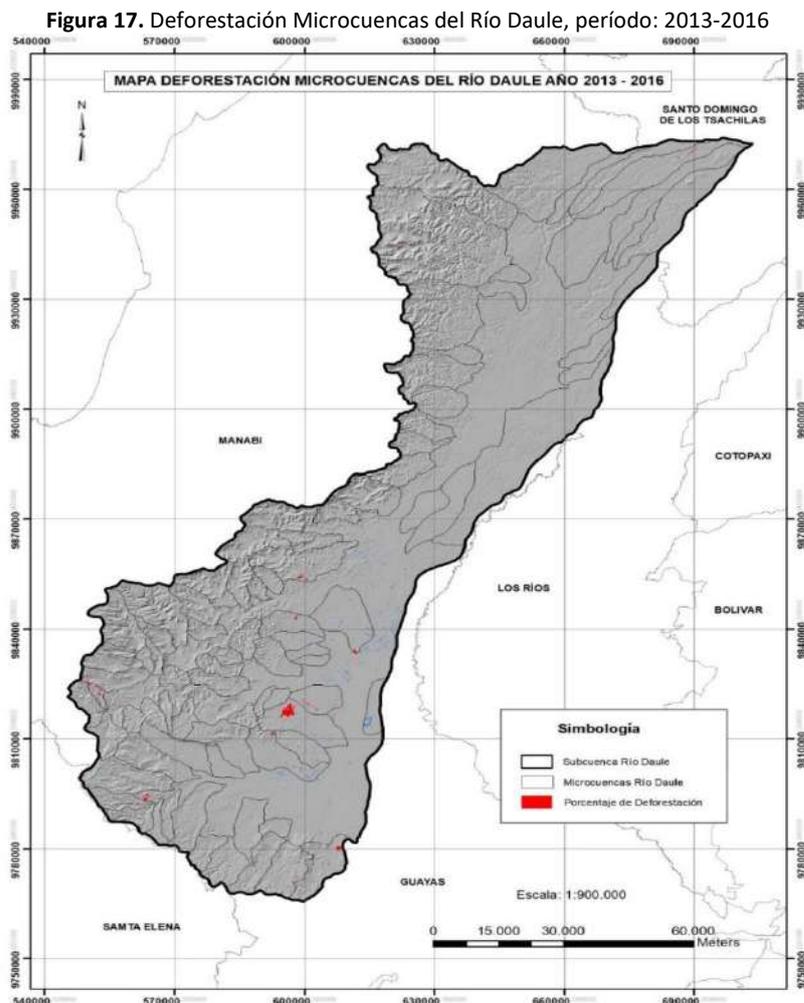
La primera con el porcentaje más alto de deforestación pertenece a **Drenajes Menores**, con un total de 21.475,07 ha deforestadas hasta el año 2013, que corresponde al 23.08% total de la subcuenca.

En segundo lugar se observa la microcuenca del **río Guineal**, la cual ha sufrido una deforestación total de 4.613,38 ha deforestadas que corresponde al 4.96% del total de la subcuenca.

Y en tercer lugar la microcuenca con un porcentaje de deforestación apreciable pertenece al del **río La Vaina** con un total de 4.206,57 ha que corresponde al 4.52% del total de la subcuenca.

5.11 Análisis de la deforestación a nivel de microcuencas, subcuenca del río Daule, año: 2016

De igual forma este mapa es el resultante de la capa de deforestación de la cobertura de la tierra para el año 2016, sobre la capa de las microcuencas de la zona de estudio.



Fuente: IEE (Instituto Espacial Ecuatoriano) Proyecto Nacional. Generación de Geo-Información para el Territorio, temática Uso del Suelo. Escala 1:25.000 año 2016.

Realizando el mismo análisis, los resultados de deforestación se observan en el cuadro 9.

Cuadro 9. Porcentaje de deforestación microcuencas río Daule, período: 2013 – 2016

Microcuenca	Area_has	Uso	Area_has	Residuo	% Deforestación
R.Villao	13984,08	DEFORESTACION	31,74	13952,34	1,09
R.Calvo	92931,56	DEFORESTACION	2,91	92928,65	0,10
R.Cade	53287,58	DEFORESTACION	135,22	53152,36	4,63
Drenajes Menores	3438885,81	DEFORESTACION	366,97	3438518,84	12,57
R.de Gamez	53998,39	DEFORESTACION	132,93	53865,46	4,55
E.S.N.	15651,81	DEFORESTACION	132,93	15518,88	4,55
R.Colimes	70439,56	DEFORESTACION	132,93	70306,63	4,55
R.Chico	21684,90	DEFORESTACION	0,85	21684,05	0,03
E.Andrecillo	41784,87	DEFORESTACION	2,76	41782,11	0,09
R.Paján	119578,29	DEFORESTACION	0,22	119578,06	0,01
R.Chicompe	161389,18	DEFORESTACION	74,22	161314,96	2,54
R.Jerusalén	123870,43	DEFORESTACION	3,69	123866,74	0,13
R.Las Muras	63384,38	DEFORESTACION	0,69	63383,69	0,02
R.Lascano	51314,99	DEFORESTACION	1,44	51313,55	0,05
R.S.N.	114276,14	DEFORESTACION	39,75	114236,39	1,36
E.Petrillos	121215,06	DEFORESTACION	141,32	121073,74	4,84
E.Grande de Colorado	69617,55	DEFORESTACION	703,54	68914,00	24,09
E.Loco	117067,58	DEFORESTACION	1,37	117066,20	0,05
R.Pricel	115640,97	DEFORESTACION	0,67	115640,30	0,02
E.Las Iguanas	28736,93	DEFORESTACION	2,48	28734,45	0,08
E.El Mate	71438,76	DEFORESTACION	63,63	71375,13	2,18
E.La Fortuna	139325,90	DEFORESTACION	695,57	138630,33	23,82
E.Perinao	147950,16	DEFORESTACION	68,83	147881,33	2,36
E.Sequel	72116,92	DEFORESTACION	48,46	72068,46	1,66
R.de Oro	637126,54	DEFORESTACION	22,56	637103,98	0,77
R.El Toro	286317,68	DEFORESTACION	1,05	286316,63	0,04
R.La Morena	336657,67	DEFORESTACION	4,66	336653,00	0,16
R.Congoma	205824,65	DEFORESTACION	1,11	205823,54	0,04
E.Doblones	31181,76	DEFORESTACION	0,31	31181,45	0,01
R.Peripa	163631,85	DEFORESTACION	0,53	163631,32	0,02
R.Nila	43862,63	DEFORESTACION	0,01	43862,62	0,00
R.Pupusa	193345,19	DEFORESTACION	46,26	193298,93	1,58
E.de las Guineas	49663,06	DEFORESTACION	12,52	49650,54	0,43
R.El Guabito	114996,15	DEFORESTACION	22,86	114973,29	0,78
R.Bachillero	85555,19	DEFORESTACION	22,86	85532,34	0,78
TOTAL	7467734,15	DEFORESTACION	2919,88	7464814,27	100,00

Fuente: Elaboración Fuente: Elaboración C. Gutiérrez

Al analizar el cuadro 9 se observa que durante este período, la deforestación es mucho menor, quizá debido a la brecha de tiempo analizada, aun así los valores siguen siendo significativos.

Resaltan principalmente tres microcuencas con porcentajes grandes de deforestación, la primera es la microcuenca del **Río Grande de Colorado**, con un 24,09%, la segunda es la microcuenca del **Estero La Fortuna** con un 23,82% y la tercera es la microcuenca de **Drenajes Menores**, con un 12,57% de deforestación.

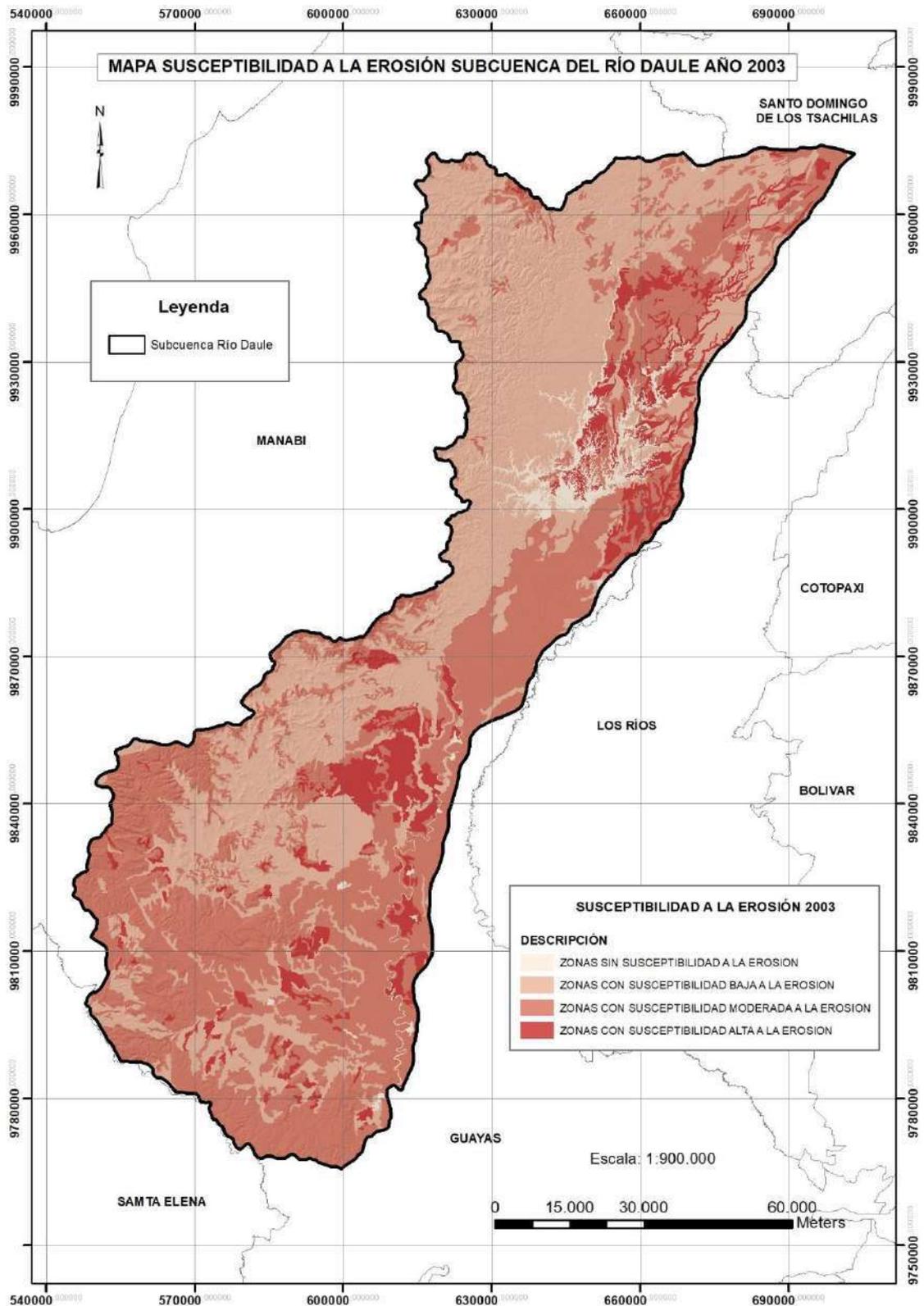
Las tres microcuencas se encuentran ubicadas en la parte baja de la subcuenca, específicamente en el Cantón de Santa Lucía perteneciente a la provincia del Guayas, en la parte sur oeste de la subcuenca.

5.12 Susceptibilidad a la erosión subcuenca del río Daule año 2003

Las características ambientales de los suelos en los agroecosistemas los hacen susceptibles a procesos erosivos generados por la intensidad y duración de las lluvias. Estos efectos se intensifican al disminuir la cobertura vegetal en la etapa de preparación del suelo para el cultivo.

Para poder determinar la susceptibilidad a la erosión de la subcuenca del río Daule, se tomó como base la capa cartográfica del MAGAP – SIGAGRO denominada “Descripción de susceptibilidad de los suelos año 2003”, escala 1:100.000.

Figura 18. Susceptibilidad a la erosión subcuenca río Daule, año: 2003



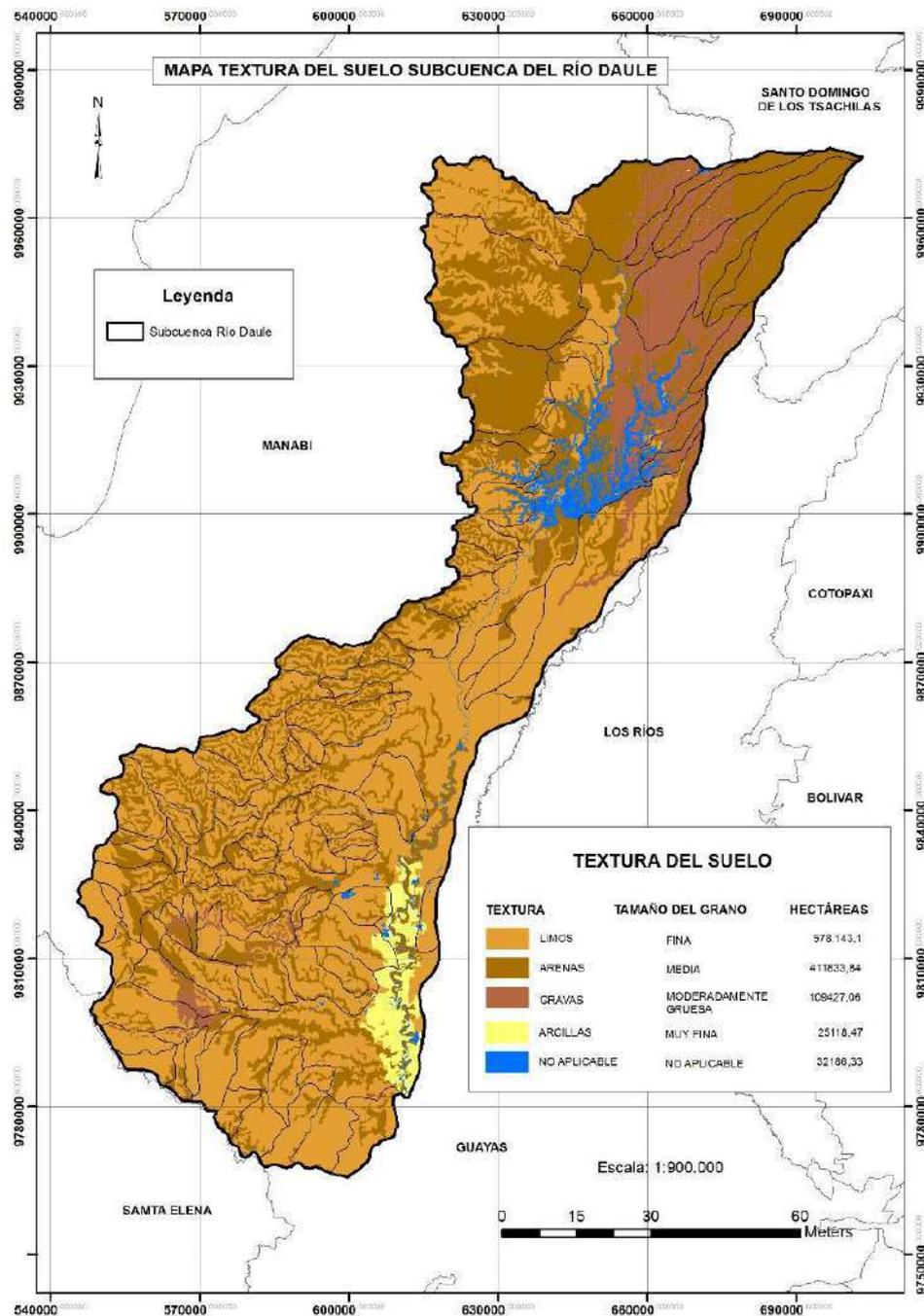
Fuente: MAGAP – SIGAGRO. Descripción de susceptibilidad de los suelos año 2003 Escala 1:100.000

Según la figura 18, se concluye que las zonas con susceptibilidad alta a la erosión son aquellas que se encuentran ubicadas en sitios de alta pendiente, en su mayor parte al este y centro de la subcuenca, mientras que las zonas de moderada susceptibilidad a la erosión están ubicadas mayormente en la parte media y baja de la subcuenca, y las zonas con baja susceptibilidad o ninguna susceptibilidad se encuentran ubicadas al oeste de la parte alta de la subcuenca en su mayor parte.

5.13 Edafología (Textura del suelo)

La edafología es la ciencia que estudia el suelo, su origen y evolución, así como los procesos físicos, químicos y biológicos que los compone. En la siguiente figura se observa el mapa de textura del suelo de la subcuenca de estudio.

Figura 19. Textura del suelo de la subcuenca del río Daule



Fuente: MAGAP – SIGAGRO - 2003 Escala 1:100.000

De acuerdo al mapa de textura del suelo de la subcuenca se observa que el 49.808% (576143.1 ha) está compuesta por suelos de textura fina que cubre un pequeño sector de la parte alta y un gran porcentaje de la parte media y baja, mientras que el 35% (411833.84 ha) corresponde a textura media que cubre en su mayor parte el noreste de su territorio, el 9.46% (109427.06) de textura moderadamente gruesa, cubre específicamente la parte alta, el 2.17 % (25118.47 ha) de textura muy fina, cubre una pequeña porción de subcuenca y cubre la parte sur.

6. CARTOGRAFÍA DIGITAL BASE UTILIZADA

Para la realización del estudio se partió de la información existente de diferentes capas digitales (formato shape), todas ellas han sido posteriormente reproyectadas en el sistema de coordenadas WGS 84-17Sur con el fin de homogeneizar el sistema de proyecciones para poder trabajar. Para el estudio se utilizó la siguiente información cartográfica:

- Modelo Digital del Terreno (tamaño de pixel 30 metros de resolución) **Fuente:** IGM (Instituto Geográfico Militar)
- Capa vectorial de polígonos con información sobre los límites administrativos de las provincias, cantones y parroquias que intervienen en la Subcuenca del Río Daule. **Fuente:** CONALIS (Comité de Límites Internos) año de estudio 2016, escala: 1:100.000
- Capa vectorial de polígonos con información sobre la Cuenca del Río Guayas, Subcuenca del Río Daule y Microcuencas del Río Daule **Fuente:** SENAGUA, (Secretaria del Agua) *capa cartográfica* Unidades Hidrográficas año de estudio 2011 escala: 1:100.000
- Capa vectorial de líneas con información sobre vías de 1er, 2do, 3er orden y capa vectorial de polígonos sobre zonas urbanas de la Subcuenca del Río Daule **Fuente:** IGM (Instituto Geográfico Militar) año de estudio 2013 escala: 1:100.000
- Capa vectorial de líneas con información sobre ríos simples, ríos dobles y capa vectorial de polígonos sobre cuerpos de agua **Fuente:** SENAGUA, (Secretaria del Agua) *capa cartográfica* Unidades Hidrográficas año de estudio 2011 escala: 1:100.000
- Capa vectorial de polígonos con información sobre pendientes **Fuente:** SIGAGRO año de estudio 2003 escala: 1:50.000
- Capa vectorial de polígonos con información sobre la Cobertura de la Tierra año de estudio 2003, escala 1:50.000 **Fuente:** SIGAGRO
- Capa vectorial de polígonos con información sobre la Cobertura de la Tierra año de estudio 2010 – 2013 **Fuente:** IEE (Instituto Espacial Ecuatoriano) Proyecto Nacional. Generación de Geo-Información para el Territorio escala: 1:25.000
- Capa vectorial de polígonos con información sobre la Cobertura de la Tierra año de estudio 2014 - 2016 **Fuente:** SIGTIERRAS
- Capa vectorial de polígonos con información sobre Susceptibilidad a la Erosión año de estudio 2003 escala 1:100.000 **Fuente:** SIGTIERRAS

- Capa vectorial de puntos georeferenciados con información sobre Estaciones Meteorológicas disponible del INAHMI año de estudio 2015 escala 1: 100.000
- Capa vectorial de polígonos con información sobre Geopedología del Territorio Ecuatoriano **Fuente:** SIGTIERRAS año de estudio 2013
- Capa vectorial de polígonos con información sobre Textura del Suelo **Fuente:** SIGAGRO año de estudio 2010 escala: 1: 50.000, *capa geográfica* Clasificación de texturas de suelo.

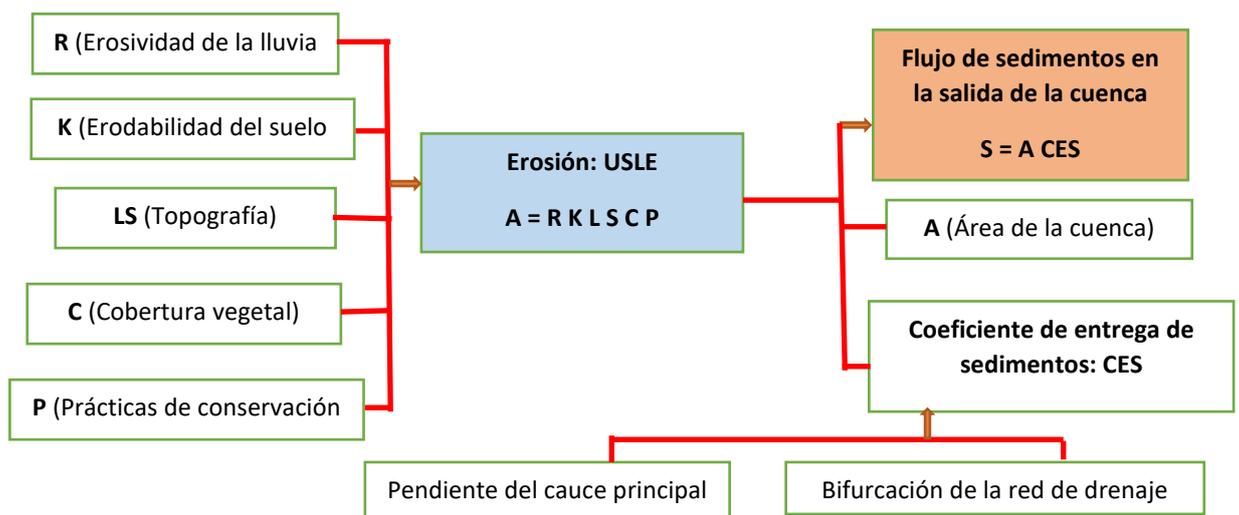
7. METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA

Se describirán las metodologías más utilizadas en la estimación de la erosión y los sedimentos, ya que es un tema que durante los últimos años ha tomado gran importancia por los aspectos ambientales.

En primer lugar se aplicará la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (Universal Soil Loss Equation), Figura 20, que es un modelo de estimación de la erosión del suelo con mayor aceptación y de más amplia aplicación (Almorox, 1994) en el mundo y en América Latina, y luego se aplicará Modelo de F. Fournier (1969), Figura 21; que permitirá comparar y discutir los resultados y, seleccionar la microcuenca con mayor poder erosivo y aportación de sedimentos a los cauces; que es el objetivo del estudio.

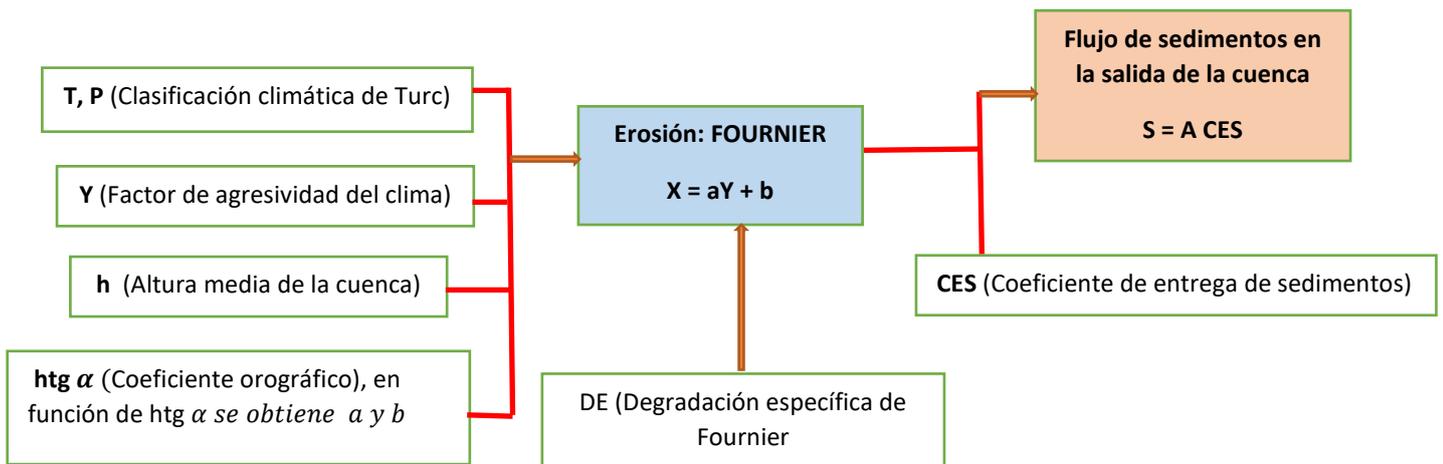
Para implementar la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE) y la ecuación de Fournier se estimará por separado cada uno de los factores que los modelos requieren para el estudio, los cuales se integrarán mediante una serie de operaciones, dando como resultado un valor estimado de cada factor, ayudado con SIG que permitirá generar una capa ráster para cada factor. Esto permitirá a posteriori operar con todas las capas resultantes para obtener la cartografía de riesgo de erosión esperada.

Figura 20. Modelo de la USLE



Fuente: Elaboración **Fuente:** Elaboración C. Gutiérrez

Figura 21. Modelo de Fournier - 1960



Fuente: Elaboración Fuente: Elaboración C. Gutiérrez

8. ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO (USLE)

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelos, USLE, fue desarrollada por Wischmeier (1978), como una metodología para la estimación de la erosión laminar en parcelas pequeñas. Es un método cuantitativo de evaluación indirecta de la pérdida de suelo por procesos de erosión hídrica. La estimación de la erosión se realiza a partir de la modelización de la respuesta del sistema natural suelo frente a la precipitación pluvial.

8.1 Características generales de la ecuación

Actualmente existen gran cantidad de modelos para calcular la erosión del suelo y la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (Universal Soil Loss Equation) es todavía el modelo de estimación de la erosión del suelo con mayor aceptación y de más amplia aplicación (Almorox, 1994).

La ecuación es un modelo paramétrico que atribuye significación a seis factores que responden a las características ambientales determinantes de la erosión, todos ellos considerados independientes (Figura 20). Es una metodología que permite estimar cantidades anuales de suelo erosionado por unidad de área, cuya ecuación es la siguiente:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

Donde:

A= Pérdida de suelo promedio anual (t ha⁻¹ año⁻¹).

R= Factor de erosividad de la lluvia (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹).

K= Factor de erodabilidad del suelo (t ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹).

LS= Longitud de la pendiente y gradiente de la pendiente (adimensional).

C= Factor dependiente de la cobertura (adimensional).

P= Factor de uso y manejo de suelos (adimensional).

8.2 Cálculo factor R: Erosividad de la lluvia

Representa la energía con que las gotas de lluvia impactan en el suelo a determinada intensidad rompiendo los agregados superficiales en partículas de tamaño transportable. Se trata de un factor activo en el proceso de erosión.

Para su cálculo se han diseñado numerosos índices que se han utilizado en modelos de predicción del riesgo de erosión, siendo el más conocido el factor R (Wischmeier, 1959) empleado por el Departamento de Agricultura de los EEUU (Pascual Aguilar, J.A et al 2003).

El factor R se deduce a partir del producto de la energía cinética liberada por la lluvia (E) y la máxima intensidad de precipitación durante un intervalo de 30 minutos (I_{30}) de la tormenta mediante la siguiente ecuación (Eva Colotti Bizzarri, 1999):

$$R = \frac{EI_{30}}{173.6}$$

Para el cálculo del índice de Erosividad de la lluvia propuesto por Wischmeier se necesita contar con información pluviográfica muy específica, muy difícil de obtener por lo que numerosos autores han señalado la gran dificultad que existe para poder aplicar en algunos territorios este índice donde la red de pluviógrafos existentes es escasa y está irregularmente distribuida. En Ecuador la disponibilidad de estaciones meteorológicas con registros continuos de pluviosidad es bastante escasa.

Para poder resolver este problema, se han propuesto algunos índices adicionales que permiten calcular de forma más sencilla el índice de erosividad de la lluvia, como es el índice de agresividad climática de Fournier (1960) que muestra una alta correlación con la cantidad de sedimentos arrastrados por escorrentía. Además es uno de los primeros métodos recomendados por la FAO, los cuales emplean para sus cálculos las precipitaciones totales anuales y mensuales así:

$$IF = \frac{p^2}{P}$$

En donde:

p = precipitación del mes más lluvioso – mm

P = precipitación anual – mm

O bien el índice modificado de Fournier (IMF), elaborado por Arnoldous, 1977, que se especifica como:

$$IFM = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P}$$

Dónde:

IFM = Índice modificado de Fournier

p_i = precipitación mensual del mes " i " en mm, el cual va de enero a diciembre del correspondiente año.

P es la precipitación total anual en mm.

En la subcuenca del río Daule se cuenta con alrededor de 14 estaciones meteorológicas (figura 31 de ANEXO) con datos de precipitaciones mensuales y anuales, las cuales permitieron determinar el factor R, cuyos valores se observan en el siguiente Cuadro.

Cuadro 10. Valores de R en cada estación meteorológica ubicada en la subcuenca del río Daule

No	Código	Estación Meteorológica	Coordenadas		Altitud (msnm)	R (MJ*mm/ha*h*año)
			Latitud	Longitud		
1	M-0249	Valle de La Virgen	1°44' 0"S	80° 11' 30" W	60	175.73
2	M-0248	Dos Hermanas	0°37' 52"S	79° 40' 04" W	45	629.89
3	M-0160	El Carmen	0°15' 35"S	79° 25' 37" W	260	697.51
4	M-0161	Flavio Alfaro	8°24' 8"S	79° 54' 25" W	150	300.06
5	M-1225	La Sierrilla	1°12' 0"S	80° 11' 0" W	200	442.65
6	M-0623	Palmeras Unidas (Palmar)	0°15' 53"S	79° 35' 48" W	240	484.60
7	M-1207	Nobol	1°54' 0"S	80° 01' 20" W	70	462.84
8	M-1085	Plan América-Daule	1°47' 50"S	80° 01' 57" W	20	291.22
9	M-0476	La Capilla-INAMHI	1°41' 46"S	79° 59' 45" W	70	608.60
10	M-0171	Camposano # 2	1°35' 34"S	80° 24' 4" W	156	410.63
11	M0475	Colimes de Balzar-INAMHI	1°32' 34"S	80° 00' 29" W	28	604.06
12	M0166	Olmedo - Manabí	1°23' 41"S	80° 12' 25" W	50	594.96
13	M0247	Murucubamba	0°54' 34"S	79° 38' 35" W	102	872.61
14	M0786	Puerto Limón	0°23' 24"S	79° 25' 28" W	282	490.99

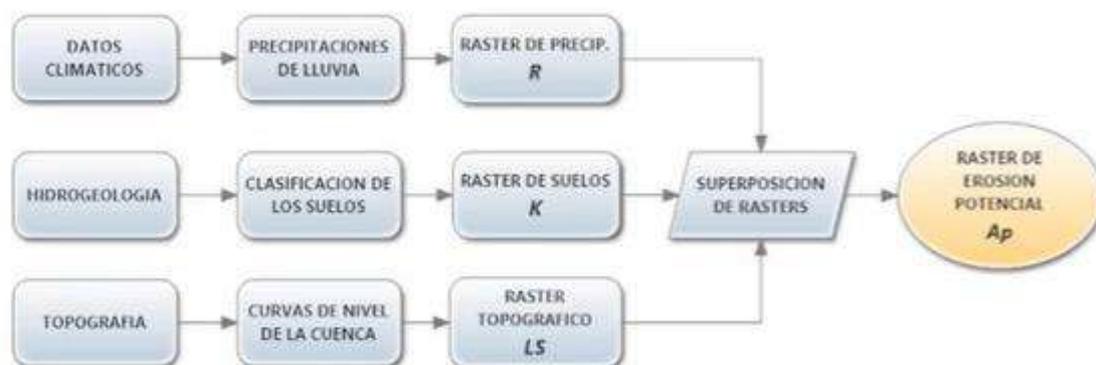
Fuente: Elaboración Fuente: Elaboración C. Gutiérrez

r

Con los valores del cuadro 10, se aplicó el método de interpolación de los valores puntuales del factor R, en este caso un Kriging Linear (Herramienta de análisis geo-espacial en ArcGis). Obteniendo como resultado una capa ráster con los valores de erosividad de la lluvia para la totalidad de la subcuenca de estudio.

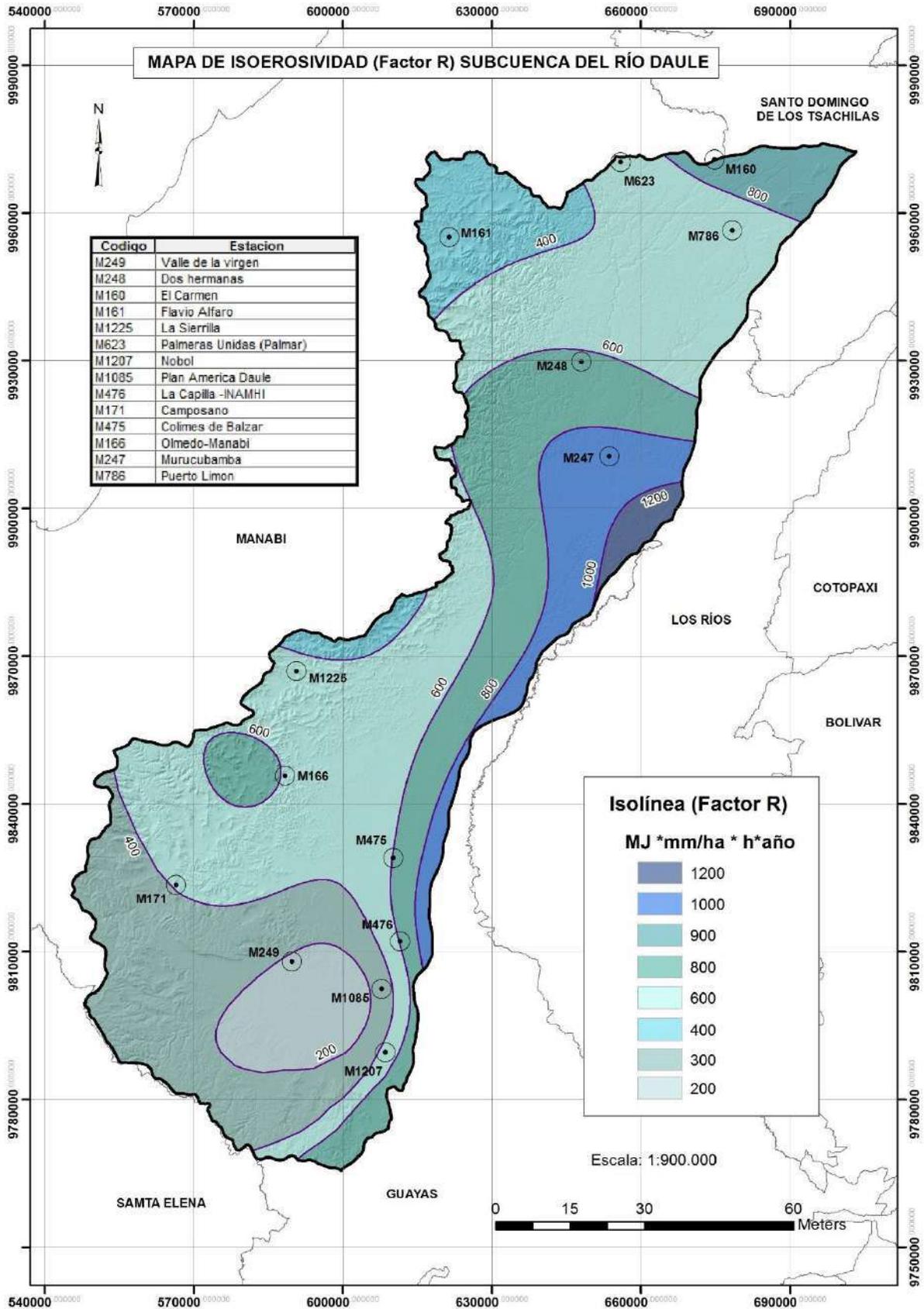
En general para determinar la erosión hídrica de la subcuenca del río Daule se presenta el siguiente flujograma, que permitirá finalmente obtener todos los parámetros solicitados en la fórmula de la USLE.

Flujograma para determinar la erosión hídrica



En este caso, para la determinación del parámetro R se utilizó la base de los datos climáticos (lluvia), para finalmente obtener el mapa mediante la ayuda del ArcGis, figura 22.

Figura 22. Variación espacial del factor R (Isoerosividad) de la subcuenca del río Daule



Fuente: Datos meteorológicos – INAMHI, período: 1990-2018, elaboración C.Gutierrez

8.2.1 Estimación de R medio para subcuenca del río Daule

El valor de R varía entre 200 (MJ*mm/ha*h*año) a 1200 (MJ*mm/ha*h*año) y tomando en cuenta la distribución de las isolíneas de R en la subcuenca se tiene un valor promedio de **561 (MJ*mm/ha*h*año)**.

8.3 Factor Erodabilidad del suelo (K)

Este factor representa la susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica. Su valor depende del contenido de materia orgánica, textura superficial, estructura del suelo y permeabilidad. Para el caso de la subcuenca del río Daule, se utilizó una metodología alternativa que consiste en la determinación de la unidad del suelo de acuerdo a la metodología de la FAO y la textura superficial.

De acuerdo al flujograma para determinar el factor K, se utilizaron los siguientes insumos:

- Modelo digital de elevación de la cuenca
- Shape o forma del área de estudio
- Mapa digital de suelos del mundo (DSMW)

Con los cuales se logra obtener el ráster de clasificación de suelos.

Para la cuantificación del factor K, se aplicaron las fórmulas de Williams que se indica a continuación:

$$K = 0.1317 f_{csand} \cdot f_{cl-si} \cdot f_{orgC} \cdot f_{hisand}$$

$$f_{csand} = \left(0.2 + 0.3 \exp \left[-0.0256 m_s \left(1 - \frac{m_{silt}}{100} \right) \right] \right)$$

$$f_{cl-si} = \left(\frac{m_{silt}}{m_c + m_{silt}} \right)^{0.3}$$

$$f_{orgC} = \left[1 - \frac{0.25 orgC}{orgC + \exp[3.72 - 2.95 orgC]} \right]$$

$$f_{hisand} = \left[1 - \frac{0.70 \left(1 - \frac{m_s}{100} \right)}{\left(1 - \frac{m_s}{100} \right) + \exp \left[-5.51 + 22.9 \left(1 + \frac{m_s}{100} \right) \right]} \right]$$

Donde:

f_{csand} = contenido de arena

f_{cl-si} = contenido de limo – arcilla

f_{orgC} = contenido de carbono orgánico

f_{hisand} = parámetro relacionado con el contenido de arena

En función de estos parámetros se determinó la potencialidad de erosión de los suelos y la cartografía se obtuvo del “Mapa digital de los suelos del mundo” realizado por la FAO (página web FAO).

Con las fórmulas indicadas se calculó los coeficientes correspondientes a cada tipo de suelo existente en la subcuenca del río Daule, facilitando obtener el factor K de la USLE, el cual multiplicado por su coeficiente respectivo (0.1317) permitió obtener el valor final de K, que se muestra en el cuadro 11.

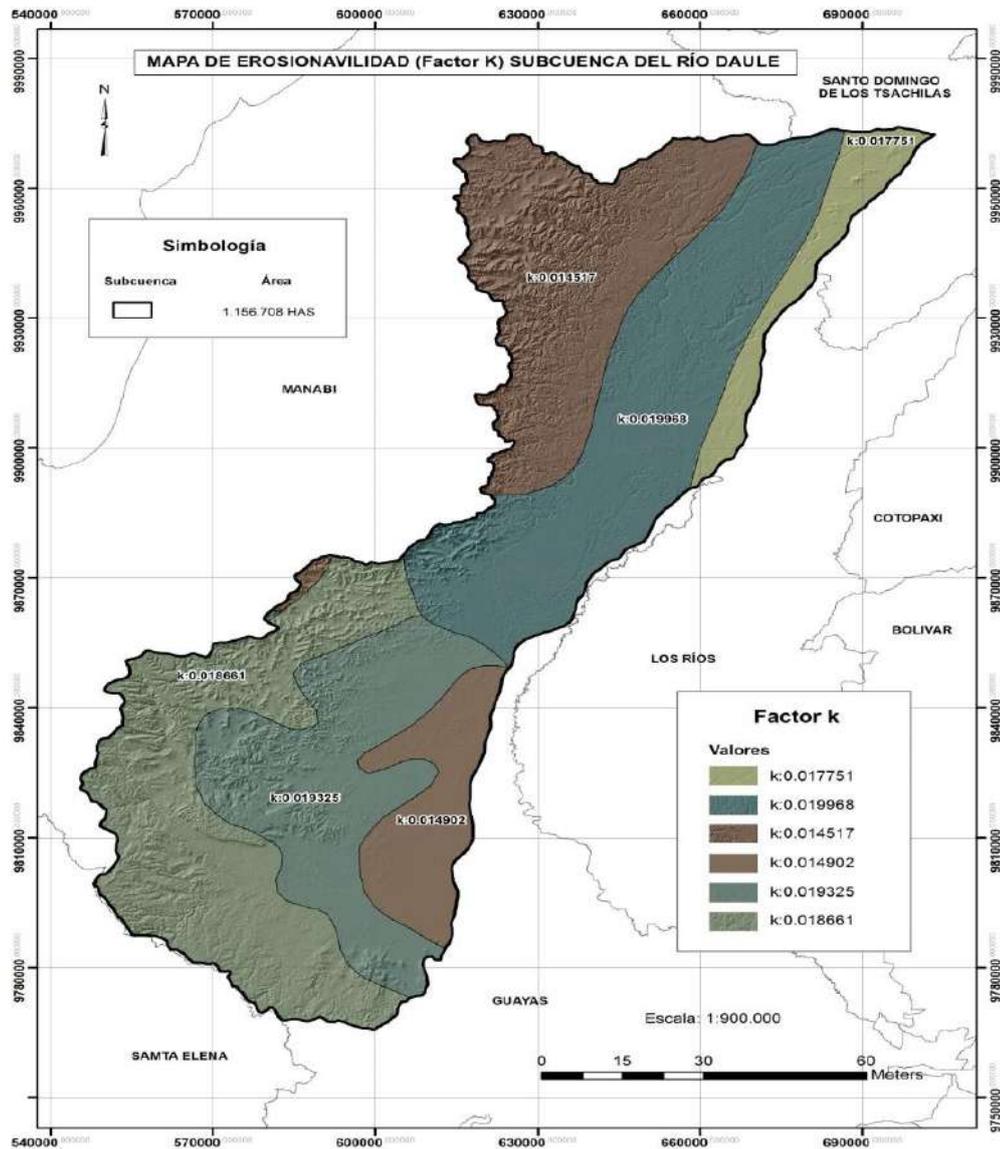
Cuadro 11. Muestras de suelo, porcentajes de arena, limo-arcilla y materia orgánica y valores de K_{USLE} y K, subcuenca del río Daule

Soil Sample	sand % topsoil	silt % topsoil	clay % topsoil	OC % topsoil	Fcuand	F ci-si	F orgc	Fhisand	Kusle	K
BK	81.6	6.8	11.7	0.44	0.2	0.74062975	0.99060501	1.00	0.147	0.01932491
LC	64.3	12.2	23.5	0.63	0.20000002	0.72461527	0.97770189	1.00	0.142	0.01866078
ND	38.9	17.6	43.6	1.57	0.20001485	0.68806327	0.8009555	1.00	0.110	0.01451726
TH	41	41.3	17.7	7.03	0.20000922	0.89852344	0.75	1.00	0.135	0.01775115
TV	64.5	26.2	9.3	1.4	0.20000002	0.91289721	0.83039762	1.00	0.152	0.0199675
VP	25.1	12.2	62.7	0.68	0.20050128	0.58018087	0.97271759	1.00	0.113	0.01490229

Fuente: Elaboración Fuente: Elaboración C. Gutiérrez

En el cuadro 11 se observan los porcentajes de contenido de arena, limo, arcilla y materia orgánica que corresponde a la subcuenca del río Daule; cuyos parámetros fueron de gran utilidad para el cálculo del factor K, con los cuales mediante la ayuda del ArcGis se obtuvo el “Mapa de erosionabilidad del suelo o Factor K de la subcuenca del río Daule”.

Figura 23. Mapa de erosionabilidad del suelo (factor K), aplicando la metodología FAO, subcuenca del río Daule



Fuente: Mapa digital de los suelos del mundo - FAO, elaboración Gutiérrez/Silva

8.3.1 Estimación de K medio para subcuenca del río Daule

El valor de K varía desde 0.014517 hasta 0.019968 y tomando en cuenta la distribución de las isóneas de K en la subcuenca se tiene un valor promedio de $K = 0.0172425$.

8.4 Determinación Factor Topográfico (LS)

El factor topográfico LS es la relación entre el suelo perdido en un terreno cualquiera con pendiente p y longitud λ , y la correspondiente a la parcela piloto (pendiente del 9% y de 22,13 metros de longitud) utilizada en el desarrollo de la USLE. Se refiere entonces al efecto combinado de la pendiente y la longitud de los terrenos expuestos a la erosión laminar y en surcos.

Su valor se obtiene por multiplicación de dos subfactores: longitud (L) y pendiente (S).

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

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.1} \right)^m$$

$$S = 65,41 \text{Sen } 2 \theta + 4,56 \text{Sen } \theta + 0,065$$

Donde:

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

λ : Es la longitud uniforme del terreno (metros).

m: Es el exponente cuyo valor varía entre 0,2 y 0,5 de acuerdo al valor en la inclinación de la pendiente entre < 1 y > 5 %.

S: Es el subfactor inclinación de la pendiente (adimensional).

θ : Es el ángulo de inclinación del terreno uniforme en grados.

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

$$L = (\lambda / 22,1) m$$

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

$$\beta = \{(\text{Sen } \theta - 0,00896) (3,0 \times (\text{Sen } \theta) - 0,8 + 0,56)\} \times r$$

S = 16,8 Sen θ - 0,50 si la pendiente ≥ 9 %.

S = 10,8 Sen θ + 0,03 si la pendiente < 9 %

La expresión original de Wischmeier y Smith, (1978), fue desarrollada experimentalmente con datos de terrenos uniformes, pendientes entre 3 y 18 % y longitudes entre 10 y 100 metros. La aplicación fuera de este rango experimental es de carácter especulativo, tal es el caso de las cuencas hidrográficas en donde las vertientes no son uniformes y frecuentemente tienen 20 %, 30 %, 40 % o más de pendiente. La expresión de McCool et al., (1987), fue realizada teniendo en cuenta lo anterior y por eso es la que se recomienda para cuencas hidrográficas. (Barrios, 1995).

En el presente estudio se optó en calcular separadamente cada uno de los factores L y S, para después unificar y obtener el mapa final de LS.

8.5 Factor L

Foster, 1977 propone una ecuación para calcular el parámetro L, que depende de λ y m, que a su vez dependen de β , siendo este parámetro el que se tiene en el sitio de escorrentía, recordando que el territorio no es plano y tienen muchísimas pendientes.

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^m \quad m = \frac{F}{1+F^n} \quad F = \frac{\sin\beta/0.0896}{3(\sin\beta^{0.8}+0.56)}$$

También L se calcula en función de A, D y X, propuesto por Desmet y Gover, Velásquez, 2008

A acumulación de flujo a nivel del píxel

D = lado del píxel

X = coeficiente de forma

$$L_{(i,j)} = \frac{[AA_{i,j} + D^2]^{(m+1)} - A_{(i,j)}^{m+1}}{x^m D^{m+2} (22.13)^m}$$

Donde:

β = Pendiente a nivel de píxel (debe estar expresada en radianes, grados multiplicar por 0.01745)

A = Acumulación del flujo a nivel de píxel

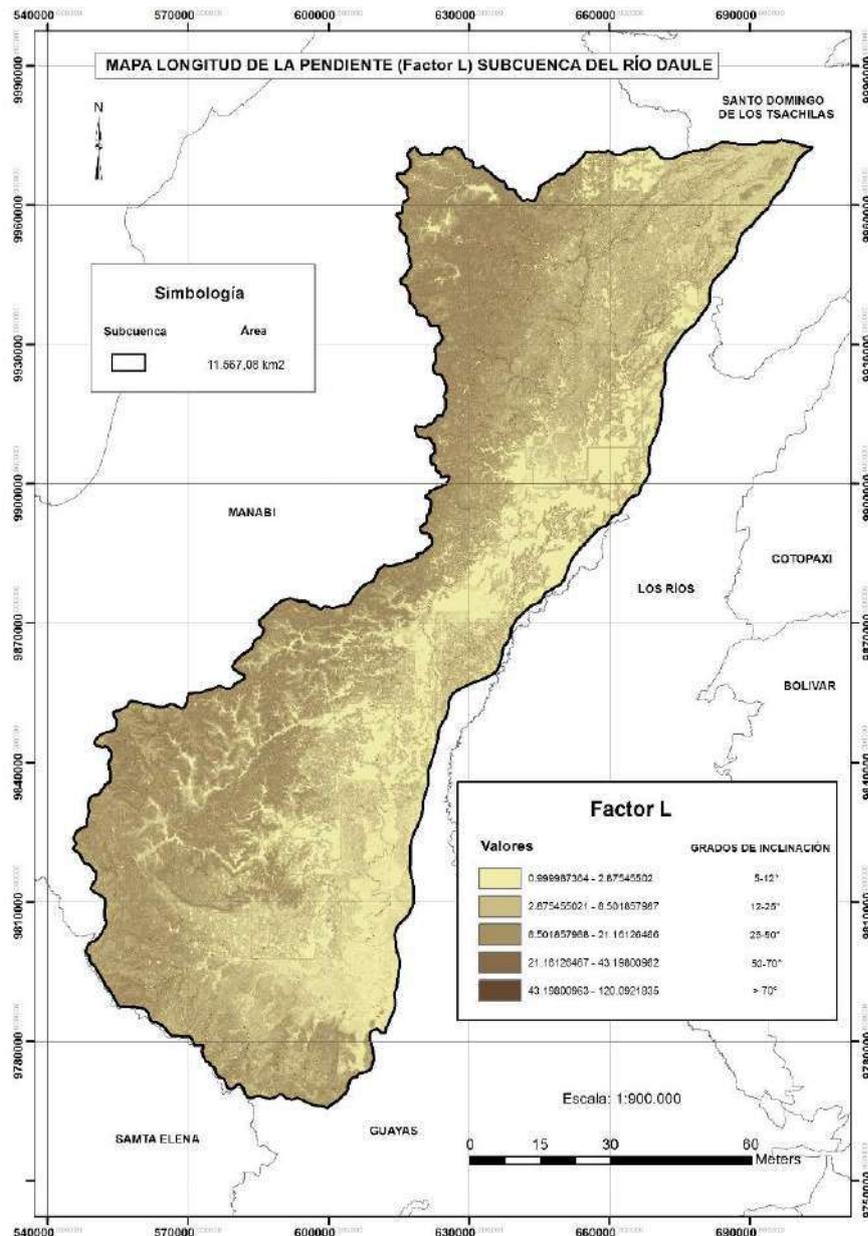
D = Lado del píxel

X = Coeficiente de forma (x=1 para sistemas pixelados)

Con la ayuda del programa Arcgis, aplicando las fórmulas indicadas, y siguiendo los siguientes pasos se obtuvo el mapa de longitud de la pendiente o factor L.

1. Establecer un mapa de pendientes (beta)
2. Calcular F en función de la pendiente
3. Calcular m
4. Aplicamos la fórmula $L(i,j)$
5. Obtenemos el ráster de L

Figura 24. Mapa Longitud de la pendiente (Factor L) de la subcuenca del río Daule



Fuente: Elaboración Gutiérrez/Silva

8.6 Factor S

Para el cálculo de McCool et al., (1987 y 1989), propone dos fórmulas en función de las pendientes así:

$S = 16,8 \text{ Sen } \theta - 0,50$ si la pendiente $\geq 9 \%$.

$S = 10,8 \text{ Sen } \theta + 0,03$ si la pendiente $< 9 \%$

O lo que es lo mismo:

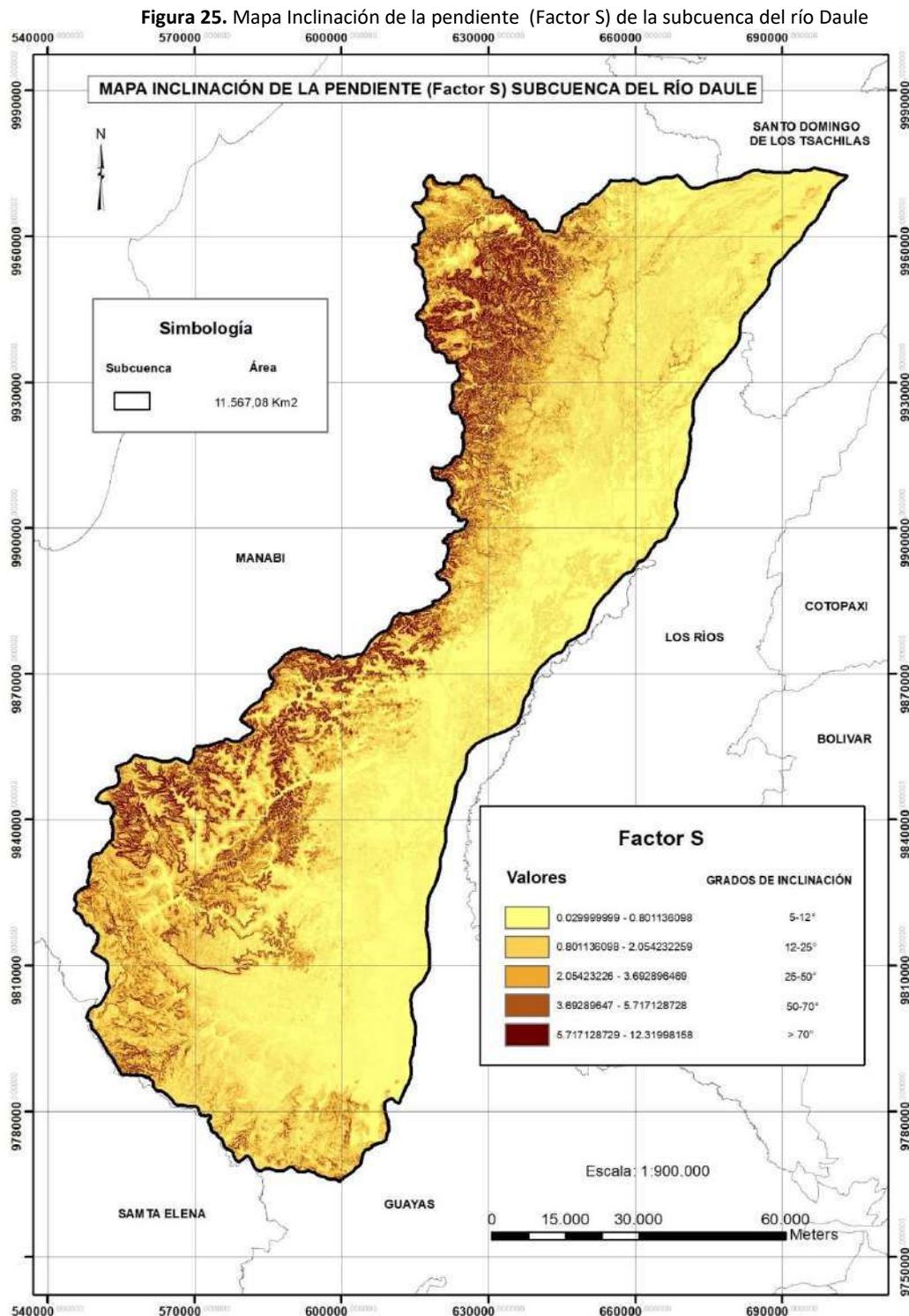
Cuando $\tan \beta (i,j) < 0.09$

$$S(i,j) = 10.8\sin\beta(i,j) + 0.03$$

Cuando $\tan \beta (i,j) \geq 0.09$

$$S(i,j) = 16.8\sin\beta(i,j) - 0.5$$

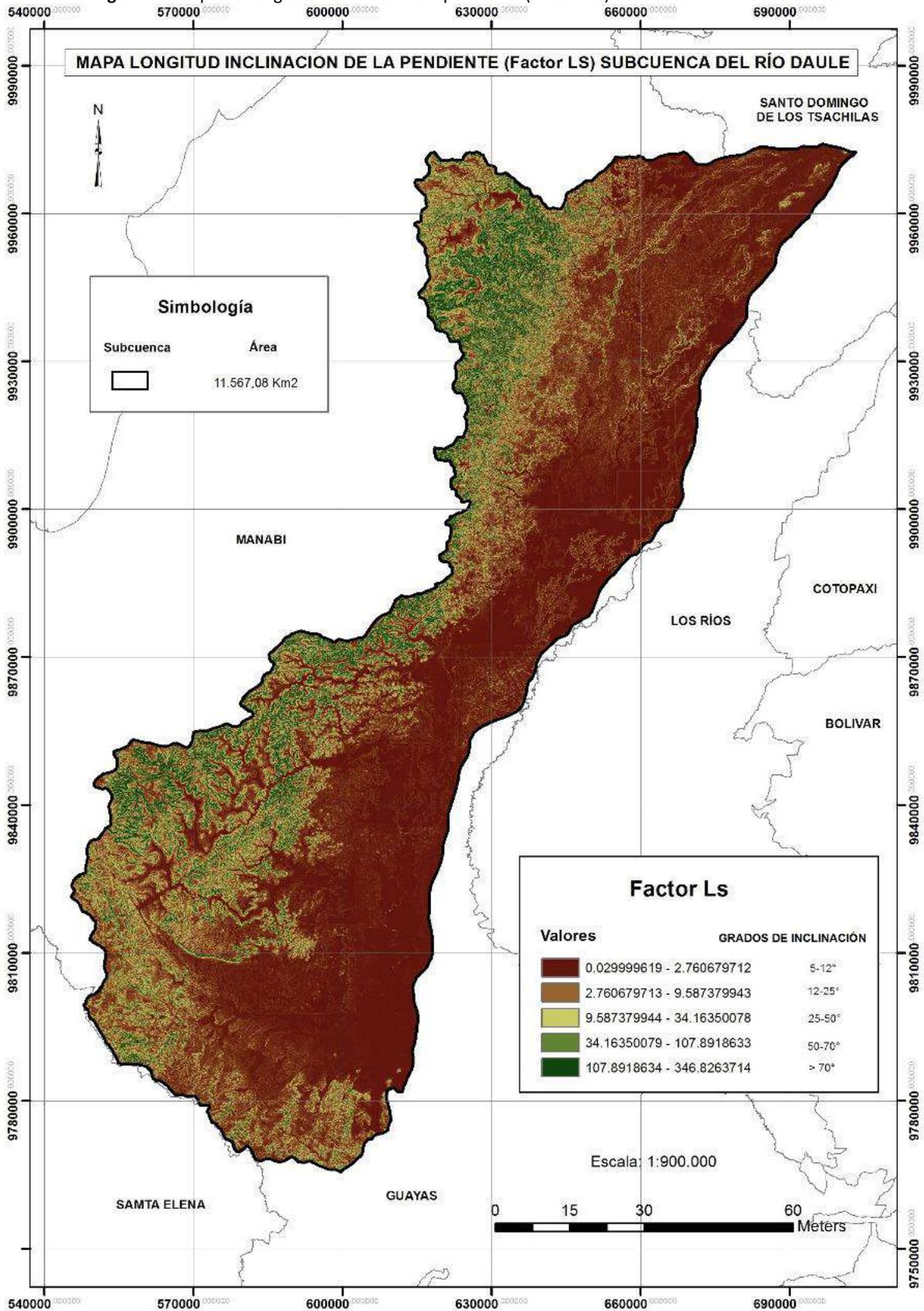
Finalmente aplicando las ecuaciones indicadas y con la ayuda de ArcGis se obtiene el Mapa del Factor S y sus diferentes rangos.



Fuente: Elaboración Gutiérrez/Silva

Finalmente multiplicando los parámetros L y S se obtiene el mapa final de este factor, figura 26.

Figura 26. Mapa de Longitud inclinación de la pendiente (Factor L S) de la subcuenca del río Daule



Fuente: Mapa digital de los suelos del mundo - FAO, elaboración Gutiérrez/Silva

8.7 Factor cobertura del suelo - C

El factor vegetación representa el grado de protección que la cubierta vegetal ofrece al suelo, ya que contribuye a frenar la erosión del suelo. Para el cálculo de este parámetro existen tabulaciones no ecuaciones (Mancilla Escobar, 2008).

Wischmeier y Smith propusieron en su modelo valores entre el 0 y 1 para este parámetro que dependerá del tipo de vegetación existente y de su grado de cobertura.

Supone un factor decisivo en la USLE ya que por muy abrupto que sea el terreno si la vegetación se encuentra bien desarrollada la erosión será leve.

Haciendo un repaso por la literatura existente encontramos diferentes métodos para el cálculo de este factor.

Para el presente estudio se apoyó en visitas de campo que permitieron observar la naturaleza de la cobertura y tras una asociación y clasificación de la misma y se asignan los valores basados en Wischmeier y Smith y por otros autores como Delgado y Vásquez 1997.

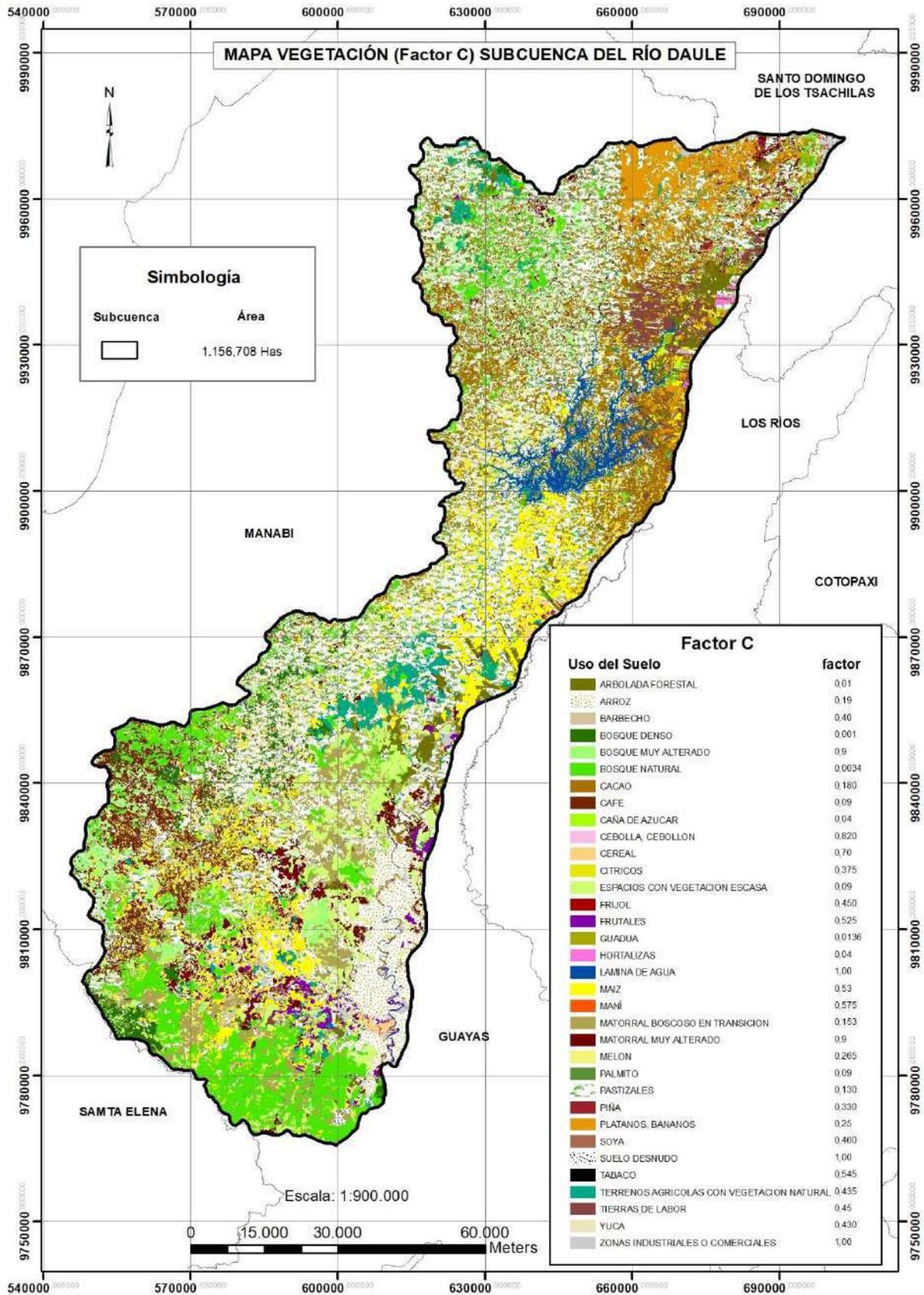
Con estos valores y apoyado con la cobertura del suelo se obtiene los valores de C para cada cobertura y luego obtener el valor C promedio de la subcuenca y posteriormente de las microcuencas.

Cuadro 12. Tabla de valores factor cobertura (factor C) utilizados en el estudio

Usos del suelo	Factor c	Usos del suelo	Factor c
Zonas industriales o comerciales	1,000	Suelo desnudo	1,000
Terrenos principalmente agrícolas con vegetación natural	0,435	Frijol (baja densa)	0,450
Pastizales naturales	0,130	Yuca	0,430
Matorral boscoso en transición	0,153	Zanahoria	0,690
Lámina de agua	1,00	Cacao	0,180
Frutales	0,525	Asociación maíz-frijol	0,210
Espacios con vegetación escasa	0,09	Pasto denso	0,005
Caña de azúcar	0,04	Soya (baja densa)	0,460
Hortalizas	0,04	Tabaco	0,545
Cítricos	0,375	Café (con sombra)	0,09
Viñedo	0,40	Bosque denso	0,001
Arroz	0,19	Plátanos, bananos	0,25
Cereal	0,70	Cebolla, cebollón	0,820
Barbecho	0,40	Maní	0,575
Maíz	0,53	Café(sin sombra)	0,18
Almendras	0,54	melón	0,265
Arbolada forestal	0,01	Bosque natural	0,0034
Tierras de labor	0,45	Guadua	0,0136
Terrenos regados permanentemente	0,507	Piña	0,330
Zona de extracción minera	1.00	Espacios con vegetación escasa	0.900

Fuente: Delgado y Vásquez 1997 y elaboración propia adaptado de Wischmeier

Figura 27. Mapa de factor cobertura del suelo (Factor C) de la subcuenca del río Daule



Fuente: Elaboración: Gutiérrez/Silva

8.8 Factor prácticas de conservación del suelo - P

Representa la relación existente entre las pérdidas de suelo que tienen lugar bajo determinada práctica de conservación de suelo y las pérdidas que ocurren en la misma área sin que existan prácticas de conservación.

Este parámetro toma valores entre 0 y 1. Las prácticas incluidas en este término son: las curvas de nivel, los cultivos en faja (cultivos alternados sobre contornos), y las terrazas (Ferran Conill, 2007).

En numerosas ocasiones los estudios en los que se aplica la USLE no consideran este factor bien por falta de información disponible al respecto o por no existir prácticas de conservación en la zona de estudio.

En el presente estudio, durante la visita de campo se observaron prácticas de cultivos erróneas en toda la subcuenca, surcos de cultivos perpendiculares a las curvas de nivel, lo cual favorecen a la erosión y degradación del suelo como se puede observar en las fotografías 1 y 2.

Fotografía 1. Prácticas de cultivo erróneas



Fotografía 2. Surcos en sentido perpendicular a las curvas de nivel



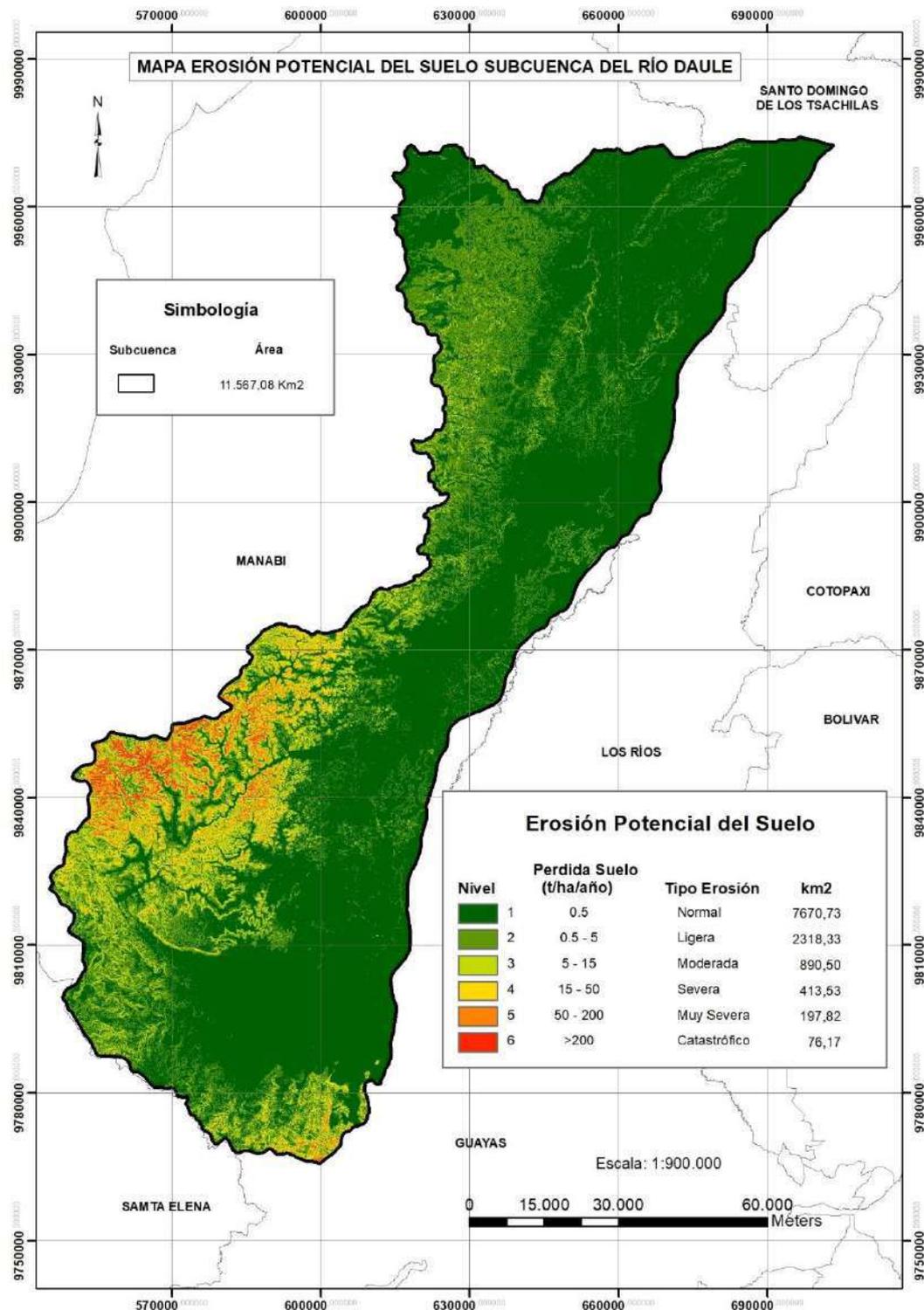
Fuente: Aautor

De acuerdo a lo descrito, por no existir prácticas de cultivos e incluso por realizar prácticas anti técnicas, se considera un **factor P = 1**.

8.9 Mapa de riesgo de erosión hídrica

La estimación de los factores R, K, L, S, C y P sirvió para hacer un pronóstico sobre el riesgo de erosión o erosión potencial en la subcuenca. Este análisis se realizó a través del SIG (Arcgis). Los resultados se presentan en la figura 28 para toda la subcuenca en estudio. Como se puede apreciar, un porcentaje mayor al 3% de la superficie de la subcuenca presenta un riesgo severo a catastrófico de erosión, con índices muy superiores a de 15 a 200 ton/ha/año. Este riesgo se localiza preferentemente en las zonas situadas en la parte sur occidental de la subcuenca que tiene pendientes moderadas a altas. También se observa que el riesgo es importante en la parte noroccidental y sur de la subcuenca (5 a 20 ton/ha/año) en las zonas de transición (pie de monte) e inclusive en algunas partes bajas, sobre todo del sur de la subcuenca.

Figura 28. Mapa de riesgo de erosión generado mediante la multiplicación de los factores **R, K, L, S, C y P** de la USLE para la subcuenca del río Daule.



Fuente: Elaboración autores de estudio Gutiérrez/Silva

Después de la operación multiplicativa de los seis factores que generaron el mapa de riesgo de erosión, el SIG utilizado permitió la cuantificación del área ocupada en cada rango mostrado en la fig. 28. Los resultados se muestran en el cuadro 13 de la cual puede derivarse que alrededor del 66.3% del área total de la cuenca se encuentra en un grado de erosión normal, mientras que del 7.0 al 20.0 % de la superficie de la subcuenca se encuentra entre una erosión ligera a moderada. El 3.6 % del territorio tiene una erosión severa con pérdidas de suelo que van de 15 a 20 t/ha/año, mientras que del 0.7 al 1.7 % del territorio de la subcuenca corresponde a una erosión muy severa a catastrófica

con pérdidas de suelo que van entre 75 a 200 t/ha/año, todo esto está sucediendo en la parte sur occidental de la subcuenca, figura 28.

Es interesante notar que la integración de un modelo de erosión como la USLE con un SIG, permite no solamente la estimación de la magnitud del riesgo de erosión, sino también la localización de las áreas potencialmente más afectadas, de tal manera que las acciones de conservación pueden implementarse en puntos específicos y en una forma jerárquica, la misma que se analiza a nivel de microcuenca más adelante.

Cuadro 13. Niveles de erosión del suelo de acuerdo a la clasificación de la FAO.

Tipo o nivel de erosión	Sin prácticas de conservación			
	Tipo de erosión	Pérdida de suelo (t/ha/año)	Área (Km ²)	Porcentaje (%)
1	Normal	0.5	7670.73	66.3
2	Ligera	0.5 – 5	2318.33	20.0
3	Moderada	5 - 15	890.50	7.7
4	Severa	15 – 20	413.53	3.6
5	Muy severa	50 - 200	197.82	1.7
6	Catastrófico	> 200	76.17	0.7

Fuente: Clasificación de acuerdo criterio de la FAO. Cuadro realizado por autores Gutiérrez/Silva

8.9.1 Estimación de A

El rango de los valores mínimo, máximo y medios de R, K, L, S, C y P de la subcuenca del río Daule varían entre los rangos:

Cuadro 14. Resumen de valores mínimos, medios y máximos para aplicar la ecuación de la USLE

Parámetros calculados	Mínimo	Máximo	Medio
R (MJ*mm/ha*h*año)	200	1200	561.00
K	0.01451	0.01996	0.01793013
L	0.99998	120.092	16.12356
S	0.029999	12.31998	2.4898949
LS	0.02999	348.192	48.9534972
C	0.0034	1	0.3929
P	1	1	1

Fuente: autor C. Gutiérrez

Para la estimación de la erosión hídrica promedio total de la subcuenca se aplicaron dos consideraciones.

a.- Se consideró a la subcuenca del río Daule como un modelo global, estimando cada uno de los parámetros de acuerdo al porcentaje de influencia en la subcuenca, obteniéndose los valores medios indicados en el Cuadro 14, valores con los cuales se obtiene el valor de erosión hídrica media de la cuenca.

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

$$A = 158.661 = 158 \text{ ton/ha/año}$$

El valor de la erosión media es de 158 ton/ha/año.

b) Se consideró a la subcuenca como un modelo distribuido, lo que permitió estimar con mayor precisión la erosión hídrica en la subcuenca, mediante la discretización a nivel de microcuenca,

tomando valores medios de (R, K, L, S, C y P) de cada microcuenca, para luego multiplicar cada uno de ellos y obtener la erosión anual media en t/ha/año de cada microcuenca, como se observa en el cuadro 15.

Con el fin de determinar el tipo de erosión de cada microcuenca, se optó en clasificar en función de la escala de la FAO, tomando en cuenta la tasa de erosión o pérdida de suelo, obteniéndose los niveles deseados para cada microcuenca: Normal, Ligera, Moderada, Severa, Muy Severa y Catastrófica, que describen los principales colores que indica el Mapa de la Figura 28. El valor promedio total de la erosión hídrica de la subcuenca del río Daule es de 130.04 t/ha/año que se indica en el cuadro 15.

Cuadro 15. Valores estimados de erosión hídrica y entrega de sedimentos por microcuenca, con ecuación de la USLE

N o	MICROCUENC A	R	K	L	S	C	P	A (Erosión Anual media	Tipo de erosión	CES
		MJ.mm/ha.h	t.h/ha.MJ.mm	Adim.	Adim	Adim	Adim	t/ha/año		t/ha/año
1	R. Pupusa	900	0.018	15	0.35	0.22	1	18.7110	SEVERA	0.9580
2	R. Cajones	856	0.018	16	1.14	0.18	1	50.5875	MUY SEVERA	2.5901
3	R. La Esperanza	700	0.016	21	0.12	0.46	1	12.9830	MODERADA	0.6647
4	R. De Oro	500	0.014	65	3.49	0.09	1	142.9155	MUY SEVERA	7.3173
5	R. La Morena	450	0.014	62	4.01	0.09	1	140.9675	MUY SEVERA	7.2175
6	R. La Vaina	700	0.014	50	2.23	0.15	1	163.9050	MUY SEVERA	8.3919
7	E. Doblones	500	0.016	73	1.6	0.17	1	158.8480	MUY SEVERA	8.1330
8	R. San Pedro	550	0.016	79	2.12	0.063	1	92.8509	MUY SEVERA	4.7540
9	R. El Toro	450	0.014	65	2.95	0.09	1	108.7223	MUY SEVERA	5.5666
10	R. Salazar	600	0.014	41	3.28	0.09	1	101.6669	MUY SEVERA	5.2053
11	R. Conguil I	800	0.014	85	1.46	0.082	1	113.9734	MUY SEVERA	5.8354
12	R. Calabozo	800	0.014	83	1.08	0.1	1	100.3968	MUY SEVERA	5.1403
13	R. Peripa	800	0.018	10	0.52	0.18	1	13.4784	MODERADA	0.6901
14	R. Congoma	800	0.018	12	0.57	0.19	1	18.7142	SEVERA	0.9582
15	R. Nila	650	0.019	12	0.52	0.15	1	11.5596	MODERADA	0.5919
16	R. Armadillo	650	0.019	22	0.78	0.25	1	52.9815	MUY SEVERA	2.7127
17	R. Chaune	600	0.017	0.999	0.16	0.0034	1	0.0055	NORMAL	0.0003
18	R. Salapi Grande	1000	0.018	0.999	0.03	0.29	1	0.1564	NORMAL	0.0080
19	R. Salapi Chico	800	0.018	0.999	0.03	0.27	1	0.1165	NORMAL	0.0060
20	Q. S.N.	550	0.014	65	1.18	0.09	1	53.1531	MUY SEVERA	2.7214
21	R. Come y Paga	600	0.016	75	1.05	0.1	1	75.6000	MUY SEVERA	3.8707
22	R. Solano	600	0.019	57	1.5	0.1	1	97.4700	MUY SEVERA	4.9905
23	R. Tigre	600	0.019	45	1.5	0.25	1	192.3750	MUY SEVERA	9.8496
24	E. Salto Grande	800	0.019	0.999	0.21	0.33	1	1.0523	LIGERA	0.0539
25	E. Conguillo	800	0.019	1.12	0.68	0.27	1	3.1256	LIGERA	0.1600
26	R. Congo	1200	0.018	1.21	0.38	0.28	1	2.7809	LIGERA	0.1424
27	R. Mata de Plátano	500	0.016	74	2.77	0.1	1	163.9840	MUY SEVERA	8.3960
28	R. Cangagua	500	0.016	79	3.3	0.09	1	187.7040	MUY SEVERA	9.6104
29	E. Saiba	600	0.018	67	1.02	0.065	1	47.9747	SEVERA	2.4563
30	R. Agua Fría	550	0.018	75	1.32	0.34	1	333.2340	CATASTRÓFICO	17.0616
31	R. Chicompe	500	0.018	87	2.35	0.36	1	662.4180	CATASTRÓFICO	33.9158
32	R. Guineal	500	0.018	110	2.28	0.36	1	812.5920	CATASTRÓFICO	41.6047
33	E. Andrecillo	650	0.018	115	4.52	0.11	1	668.9826	CATASTRÓFICO	34.2519
34	R.T res Ríos	800	0.018	105	3.52	0.13	1	691.8912	CATASTRÓFICO	35.4248
35	R. Los Limos	800	0.018	117	3.52	0.09	1	533.7446	CATASTRÓFICO	27.3277
36	R. Calvo	800	0.018	79	3.12	0.23	1	816.3418	CATASTRÓFICO	41.7967

N o	MICROCUENC A	R	K	L	S	C	P	A (Erosión Anual media	Tipo de erosión	CES
		MJ.mm/ha.h	t.h/ha.MJ.mm	Adim.	Adim	Adim	Adim	t/ha/año		t/ha/año
37	E. Pescado	800	0.018	82	3.98	0.13	1	610.9459	CATASTRÓFICO	31.2804
38	E. Boquerán	675	0.018	118	3.97	0.13	1	739.9326	CATASTRÓFICO	37.8845
39	E. Don Pablo	480	0.018	74	1.74	0.28	1	311.4962	CATASTRÓFICO	15.9486
40	E. Perinao	850	0.016	1.1	0.68	0.05	1	0.5086	LIGERA	0.0260
41	R. Gramalotal	300	0.018	53	2.14	0.07	1	42.8728	SEVERA	2.1951
42	R. de Gamez	300	0.018	54	2.54	0.23	1	170.3527	MUY SEVERA	8.7221
43	E.S.N.	250	0.018	57	2.58	0.23	1	152.2071	MUY SEVERA	7.7930
44	R. Cascol	300	0.018	37	2.88	0.22	1	126.5933	MUY SEVERA	6.4816
45	R.S.N.	300	0.018	71	1.21	0.2	1	92.7828	MUY SEVERA	4.7505
46	R. Paján	450	0.018	75	3.32	0.33	1	665.5770	CATASTRÓFICO	34.0775
47	E. Santa Lucía	450	0.018	79	2.53	0.33	1	534.2525	CATASTRÓFICO	27.3537
48	R. Hondo	450	0.018	75	2.68	0.12	1	195.3720	MUY SEVERA	10.0030
49	R. Colimes	450	0.018	71	1.26	0.25	1	181.1565	MUY SEVERA	9.2752
50	R. Chico	600	0.018	63	2.9	0.09	1	177.5844	MUY SEVERA	9.0923
51	R.S.N.	650	0.019	52	2.13	0.09	1	123.1097	MUY SEVERA	6.3032
52	E. Pricel	450	0.018	77	2.83	0.09	1	158.8564	MUY SEVERA	8.1334
53	E. Las Cruces	450	0.018	63	1.79	0.034	1	31.0569	SEVERA	1.5901
54	E. Las Iguanas	375	0.019	50	2.93	0.08	1	83.5050	MUY SEVERA	4.2755
55	R. Las Muras	625	0.019	62	2.8	0.08	1	164.9200	MUY SEVERA	8.4439
56	E. El Tigre	300	0.019	7	0.38	0.05	1	0.7581	LIGERA	0.0388
57	E. Mestancia	350	0.019	6	1.03	0.05	1	2.0549	LIGERA	0.1052
58	R. Lascano	675	0.018	52	3.49	0.07	1	154.3487	MUY SEVERA	7.9027
59	E.S.N.	450	0.019	1.94	3.17	0.07	1	3.6807	LIGERA	0.1884
60	R. Sota	675	0.019	1.51	3.66	0.27	1	19.1372	SEVERA	0.9798
61	E. El Guabito	200	0.019	2	2.35	0.08	1	1.4288	LIGERA	0.0732
62	E. Sequel	600	0.019	1.1	0.5	0.15	1	0.9405	LIGERA	0.0482
63	E. Pozo Hondo	600	0.019	1.59	0.76	0.09	1	1.2398	LIGERA	0.0635
64	E. Jujanal	650	0.019	1.43	0.5	0.09	1	0.7947	LIGERA	0.0407
65	E. Mesa	650	0.019	1.51	0.27	0.09	1	0.4532	NORMAL	0.0232
66	E. El Mate	650	0.019	1.49	0.03	0.05	1	0.0276	NORMAL	0.0014
67	E. Boca de Pancha	1200	0.014	1.25	0.03	0.19	1	0.1197	NORMAL	0.0061
68	E. La Fortuna	450	0.016	1.25	0.45	0.36	1	1.4580	LIGERA	0.0746
69	E. Grande de Colorado	300	0.016	1.27	0.75	0.35	1	1.6002	LIGERA	0.0819
70	E. Loco	255	0.016	1.02	0.68	0.29	1	0.8207	LIGERA	0.0420
71	R. Cade	300	0.018	2.12	3.54	0.08	1	3.2421	LIGERA	0.1660
72	E. de las Guineas	300	0.018	2.21	3.36	0.0034	1	0.1363	NORMAL	0.0070
73	E. Limón	350	0.018	1.65	1.23	0.07	1	0.8950	LIGERA	0.0458
74	R. Villao	350	0.018	1.95	2.11	0.07	1	1.8145	LIGERA	0.0929
75	E. de la Naranja	325	0.018	1.62	1.5	0.09	1	1.2794	LIGERA	0.0655
76	R. Pricel	375	0.018	1.16	1.9	0.39	1	5.8020	MODERADA	0.2971
77	E. Bijama	350	0.018	1.13	1.12	0.18	1	1.4352	LIGERA	0.0735
78	R. El Guabito	350	0.018	1.71	1.67	0.36	1	6.4767	MODERADA	0.3316
79	E. El Arenoso	350	0.018	1.62	0.41	0.35	1	1.4646	LIGERA	0.0750
80	R. Jerusalén	350	0.019	1.11	1.22	0.0034	1	0.0306	NORMAL	0.0016
81	R. Bachillero	300	0.018	1.7	1.25	0.0034	1	0.0390	NORMAL	0.0020
82	R. de la Derecha	325	0.018	2.01	2.8	0.0034	1	0.1119	NORMAL	0.0057
83	E. del Limón	350	0.018	1.6	0.56	0.2	1	1.1290	LIGERA	0.0578
84	R.S.N.	450	0.018	2.07	2.66	0.055	1	2.4530	LIGERA	0.1256

N o	MICROCUENC A	R	K	L	S	C	P	A (Erosión Anual media	Tipo de erosión	CES
		MJ.mm/ha.h	t.h/ha.MJ.mm	Adim.	Adim	Adim	Adim	t/ha/año		t/ha/año
85	R. Paco	550	0.018	1.9	1.92	0.055	1	1.9863	LIGERA	0.1017
86	E.S.N.	250	0.018	1.24	0.51	0.31	1	0.8822	LIGERA	0.0452
87	E. Petrillos	900	0.018	0.999	1.54	0.39	1	9.7200	MODERADA	0.4977
88	Drenajes Menores	1100	0.016	1.15	0.94	0.25	1	4.7564	LIGERA	0.2435
EROSIÓN MEDIA ANUAL SUBCUENCA DAULE EN t/ha/año								130.04	CES t/ha/año	6.66

Fuente: autor C. Gutiérrez

8.9.2 Comprobación y comparación de las consideraciones indicadas

En base a las consideraciones indicadas, respecto a la estimación de la erosión anual media (A), se realiza una comparación de las dos opciones planteadas, observándose que difieren en algunos parámetros y por supuesto en estimación final de la erosión hídrica, esto debido a que al realizar el cálculo a nivel de microcuenca, los parámetros se consideran con mejor precisión y consecuentemente los resultados son más representativos, mientras que al considerar globalmente a la subcuenca ciertos valores se subvaloran o infravaloran, dando resultados altos o bajos respecto a la media, como se puede observar en el cuadro 16.

Cuadro 16. Valores medios de los parámetros de la fórmula de la USLE, erosión anual media y CES, subcuenca río Daule

Consideraciones de la cuenca	R	K	L	S	C	P	A	CES	
	MJ.mm/ha.h	t.h/ha.MJ.mm	Adimensional	Adimensional	Adimensional	Adimensional	t/ha/año	t/ha/año	
Global	561.00	0.01793013	16.12356	2.4898949	0.3929	1.00	158.661	8.089	
Semidistribuido	EROSIÓN MEDIA ANUAL SUBCUENCA DAULE EN t/ha/año							130.04	6.66

Fuente: Elaboración C. Gutiérrez

Al comparar los valores finales del cuadro 16 respecto a la erosión hídrica difieren en un 17% aproximadamente, por lo que el valor más cercano a la realidad será el de 130.04 t/ha/año, pero para fines de toma de decisiones y por el lado de la seguridad se recomienda tomar el valor de 158.661 t/ha/año.

8.10 Coeficiente de entrega de sedimentos –CES

Para determinar el coeficiente de entrega de sedimentos (CES), se ha aplicado la siguiente ecuación (Avenida et al., 1994):

$$CES = 36A^{-0.2} + \frac{2}{\log P} + \log br$$

Donde: CES = % del total de material movilizado en la cuenca que sale de la misma

A = superficie de la cuenca en km²

P= pendiente del curso principal expresada en tanto por uno;

BR = coeficiente de bifurcación de la red hidrográfica

El coeficiente de bifurcación se obtuvo en función del orden de los ríos, figura 32 de ANEXO.

8.10.1 Coeficiente de bifurcación: br

Cuadro 17. Coeficiente de bifurcación para la subcuenca el río Daule

Orden de los ríos	Número de cauces	Relación de bifurcación	Suma de cauces	Producto
-------------------	------------------	-------------------------	----------------	----------

1	106	2.409	150	361.36
2	44	2.444	62	151.56
3	18	3.600	23	82.80
4	5		5	
		suma	240.000	595.719

Fuente: Elaboración C. Gutiérrez

$$br = 595.719/240 = 2.482$$

Para obtener el coeficiente de entrega de sedimentos aplico la ecuación del CES y se obtiene:

$$\text{CES} = 5.12 \%$$

Entonces 8.089 ton/ha/año estaría llegando al cauce principal

9. MODELO DE F. FOURNIER (1969)

Este modelo puede ser aplicado como una primera aproximación para estimar la degradación específica en cuencas superiores a 2000 Km².

Se basa en los datos de 96 cuencas fluviales de más de 10.000 Km² de superficie distribuidas por todo el mundo.

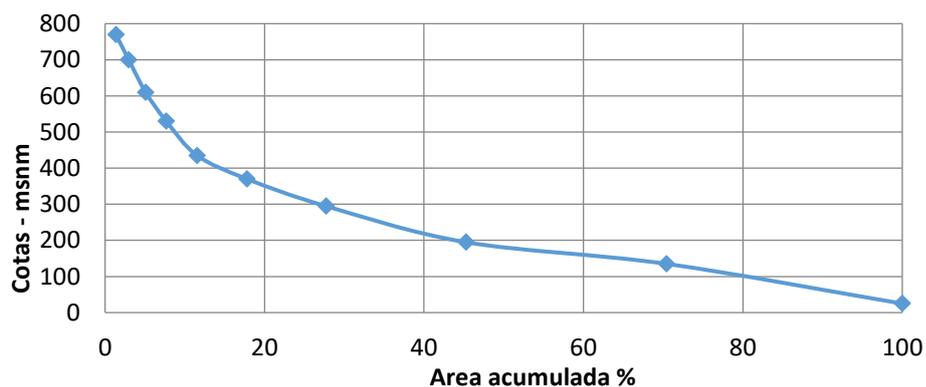
Establece la correlación lineal entre el valor X, degradación específica de la cuenca expresada en t/km².año y el valor de Y, índice de agresividad del clima.

$$X = aY + b$$

9.1 Cálculo de la altura media del relieve de la subcuenca

Curva Hipsométrica.- Esta curva representa las superficies de la cuenca que se encuentran por encima de cada cota de ella, y por ello caracteriza en cierta forma, el relieve de la cuenca.

Figura 29. Curva hipsométrica de la subcuenca del río Daule



OH = desnivel de la cuenca

OS = superficie de la cuenca

HOS = volumen de la cuenca

$$h = \frac{HOS}{OS}$$

$$\mathbf{h = 372.52 \text{ m}}$$

$$\alpha = \arctg \frac{h}{OS}$$

$$\mathbf{\alpha = 1.8446}$$

$$\mathbf{Tg \alpha = 0.032205409}$$

8.2.1 Cálculo del coeficiente orográfico

Coef. Orog. = $htg \alpha$

Donde:

h = altura media del relieve de la cuenca en m.

$tg \alpha$ = coeficiente de masividad de Martone

$$tg \alpha = h/S$$

Donde:

S = superficie de la cuenca en Km^2 .

$$\mathbf{htg \alpha = 12.00}$$

9.2 Factor de agresividad del clima

$$Y = p^2 / P$$

P = precipitación anual en mm

p = precipitación del mes más lluvioso del año en mm.

Este factor Y se tiene calculado en el cuadro 10, valores con los cuales se estimarán el factor R de la cuenca que igualmente se tiene calculado en el mismo cuadro.

$$\mathbf{Y = 561 \text{ MJ*mm/ha*h*año}}$$

9.3 Clasificación climática de Turc

Se basa en dos parámetros

T = temperatura media en $^{\circ}C$ y,

$$\mathbf{Temperatura media = 30.57 \text{ }^{\circ}C}$$

P = precipitación media anual en mm

Precipitación media = 1432.3 mm

$$L = 300 + 25 T + 0.05 T^3$$

$$P1 = 0.636 L$$

$$P2 = 0.316 L$$

$$P1 = 1585.3$$

$$P2 = 787.7$$

$P > P1$ = cuenca húmeda

$P1 > P > P2$ = cuenca semiárida

$P2 > P$ = cuenca árida

Entonces la subcuenca del río Daule está dentro de cuenca semiárida, según este criterio

Condición: htg α = 12.00

Para htg $\alpha < 6$ $p^2/P < 20$, $X = 6.14Y - 49.78$

$p^2/P > 20$, $X = 27.12Y - 475.4$; se cumple $561 > 20$

Para htg $\alpha > 6$ Clima no semiárido o clima árido: no se cumple esta condición, debido a que la cuenca es semiárida.

Por lo que obviando la condición htg α , se opta en aplicar la ecuación que cumple $561 > 20$

Entonces:

$$X = 14738.92 \text{ t/km}^2 \cdot \text{año}$$

$$\underline{X = 147.3892 \text{ t/ha.año (valor aceptable)}}$$

10. COMPARACIÓN DE LOS MODELOS**Modelo o Método de la USLE**

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

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

Modelo o Método de FOURNIER

Este modelo permite aplicar en cuencas superiores a 2000 Km^2 , ya que se basa en los datos de 96 cuencas fluviales de más de 10.000 Km^2 de superficie distribuidas por todo el mundo.

Para la estimación de la erosión hídrica requiere de información de clima, características físicas morfométricas de la cuenca y a través de ecuaciones ya definidas para un tipo de clima y la condición orográfica se estima la erosión hídrica en $\text{t/km}^2 \cdot \text{año}$.

Semejanzas y diferencias:

Los dos métodos utilizan el factor de agresividad del clima (p^2 / P) y ciertos parámetros físicos morfométricos de la cuenca, diferenciándose en que la USLE utiliza información de uso y tipos de suelos, prácticas de cultivo, y Fournier no lo hace.

En función de lo indicado los dos métodos arrojaron resultados parecidos al estimar la erosión hídrica media de la cuenca:

Método de la USLE (modelo global): **158 ton/ha/año**

Método de la USLE (modelo distribuido): **130.04 ton/ha/año**

Método de Fournier: **147.3892 t/ha/año**

El método de la USLE (modelo global) arroja resultados más altos (158 t/ha/año) que el método de Fournier, mientras que aplicando un modelo semidistribuido da resultados más bajos (130.04 t/ha/año), por lo que por seguridad y tomando en cuenta que este método utiliza los usos y tipos de suelos que es de fundamental importancia al tratarse de erosión de suelos y además es avalado y utilizado a nivel universal se toma en cuenta los resultados entregados por el método de la USLE.

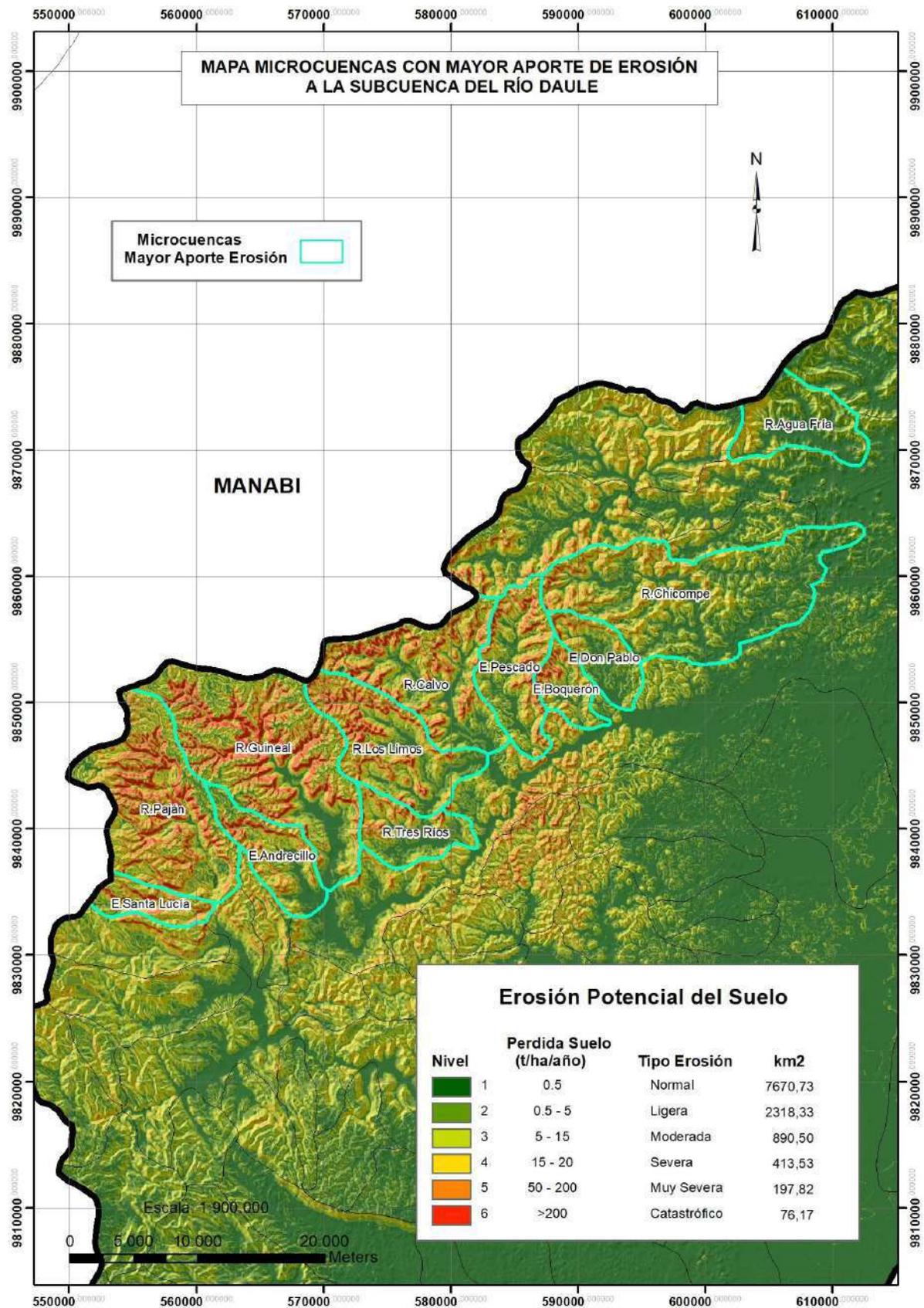
Realizando un promedio entre la tasa de erosión estimada con la USLE y la estimada con Fournier será de: **138.71 t/ha/año**

11. PRIORIZACIÓN DE UNA MICROCUENCA DE LA SUBCUENCA RÍO DAULE CON MAYORES PROBLEMAS DE EROSIÓN Y RESPONSABLE DE LA TURBIEDAD DEL AGUA

De acuerdo a los resultados finales de la erosión hídrica, los cuales se reflejan en “Mapa de riesgo de erosión generado mediante la multiplicación de los factores R, K, L, S, C y P de la USLE para la subcuenca del río Daule”, figura 28, se definen las zonas y microcuencas que actualmente están mayormente afectadas por este fenómeno.

Como se estableció anteriormente, las zonas ubicadas en la parte suroeste de la subcuenca son las más afectadas por la erosión hídrica y por ende son las que actualmente están aportando mayor cantidad de sedimentos al cauce principal, para lo cual se sobrepuso las microcuencas sobre el “**Mapa de riesgo de erosión generado mediante la multiplicación de los factores R, K, L, S, C y P de la USLE para la subcuenca del río Daule**”, para definir exactamente las microcuencas con mayores problemas de erosión hídrica como se observa en la figura 30.

Figura 30. Mapa de priorización de microcuencas según el riesgo de erosión, subcuenca del río Daule.



Fuente: elaboración Gutiérrez/Silva

Las microcuencas en su orden de afectación por la erosión hídrica son las siguientes:

En función del Cuadro 15 se ha procedido a seleccionar las microcuencas con mayor erosión hídrica y aporte de sedimentos al río Daule. Los valores seleccionados son mayores a 200 t/ha/año, y dos microcuencas con tasa de erosión severa que se encuentran aledañas a las seleccionadas que significa que son cuencas que se encuentran en franco deterioro y requieren prioridad en su intervención y manejo.

Las microcuencas seleccionadas se observan en el Cuadro 18.

Cuadro 18. Microcuencas con mayor erosión hídrica y aporte de sedimentos al río Daule

No	MICROCUENCA	R	K	L	S	C	P	A (Erosión Anual media)	Tipo de erosión	CES
		MJ.mm/ha.h	t.h/ha.MJ.mm	Adim.	Adim	Adim	Adim	t/ha/año		t/ha/año
1	R. Calvo	800	0.018	79	3.12	0.23	1	816.3418	CATASTRÓFICO	41.7967
2	R. Guineal	500	0.018	110	2.28	0.36	1	812.5920	CATASTRÓFICO	41.6047
3	E. Boquerán	675	0.018	118	3.97	0.13	1	739.9326	CATASTRÓFICO	37.8845
4	R.T res Ríos	800	0.018	105	3.52	0.13	1	691.8912	CATASTRÓFICO	35.4248
5	E. Andrecillo	650	0.018	115	4.52	0.11	1	668.9826	CATASTRÓFICO	34.2519
6	R. Paján	450	0.018	75	3.32	0.33	1	665.5770	CATASTRÓFICO	34.0775
7	R. Chicompe	500	0.018	87	2.35	0.36	1	662.4180	CATASTRÓFICO	33.9158
8	E. Pescado	800	0.018	82	3.98	0.13	1	610.9459	CATASTRÓFICO	31.2804
9	E. Santa Lucía	450	0.018	79	2.53	0.33	1	534.2525	CATASTRÓFICO	27.3537
10	R. Los Limos	800	0.018	117	3.52	0.09	1	533.7446	CATASTRÓFICO	27.3277
11	R. Agua Fría	550	0.018	75	1.32	0.34	1	333.2340	CATASTRÓFICO	17.0616
12	E. Don Pablo	480	0.018	74	1.74	0.28	1	311.4962	CATASTRÓFICO	15.9486
13	R.Hondo	450	0.018	75	2.68	0.12	1	195.3720	MUY SEVERA	10.003
14	R.Lascano	675	0.018	52	3.49	0.07	1	154.3487	MUY SEVERO	7.9027

Fuente: elaboración C. Gutiérrez

Con el fin de priorizar su intervención se ha procedido a categorizar por colores, en función de los valores de erosión hídrica de cada una de ellas, lo cual se observa en el cuadro 19.

Cuadro 19. Priorización de microcuencas según el grado de erosión hídrica, subcuenca río Daule

Orden	Subcuenca	Nivel de erosión	Sin prácticas de conservación		Estado de deterioro	Intervención
			Tipo de erosión	Pérdida de suelo (t/ha/año)		
1	R. Calvo	6	Catastrófico	>200	Alto	Inmediata
2	R. Guineal	6	Catastrófico	>200	Alto	Inmediata
3	E. Boquerán	6	Catastrófico	>200	Alto	Inmediata
4	R.T res Ríos	6	Catastrófico	>200	Alto	Inmediata
5	E. Andrecillo	6	Catastrófico	>200	Alto	Inmediata
6	R. Paján	6	Catastrófico	>200	Alto	Inmediata
7	R. Chicompe	6	Catastrófico	>200	Alto	Inmediata
8	E. Pescado	6	Catastrófico	>200	Alto	Inmediata
9	E. Santa Lucía	6	Catastrófico	>200	Alto	Inmediata
10	R. Los Limos	6	Catastrófico	>200	Alto	Inmediata
11	R. Agua Fría	6	Catastrófico	>200	Alto	Inmediata
12	E. Don Pablo	5	Muy severa	4 - 5	Medio alto	Mediata
13	R. Hondo	5	Muy severa	4 - 5	Medio alto	mediata

Fuente: Elaboración: C. Gutiérrez

Las microcuencas en color rojo son las más deterioradas y por ende con mayor erosión hídrica y aporte de sedimentos, por lo que se requiere intervenir en forma inmediata (R. Calvo, R. Guineal y E.

Boquerón, R. Tres Ríos, E. Andrecillo, E. Santa Lucía, R. Paján, R. Chicompe, E. Pescado, R. Los Limos, R. Agua Fría, requieren de una intervención inmediata. Las microcuencas de color café claro (E. Don Pablo, y R. Hondo requieren de una intervención mediata.

Se concluye que el riesgo de erosión más latente se localiza preponderantemente en la zona suroccidental y sur de la subcuenca en donde existe una fuerte intervención del hombre y la tasa de erosión en la subcuenca del río Daule es mayor a los 200 ton/ha/año.

Aunque en general se podría decir que todas la microcuencas que se encuentran localizadas en la parte oeste de la subcuenca se encuentran grandemente afectadas por la erosión hídrica, las cuales requieren una rápida intervención para frenar este fenómeno.

12. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

12.1 Conclusiones

- Al realizar el análisis de deforestación en la subcuenca del río Daule resaltan principalmente tres microcuencas con porcentajes grandes de deforestación, la primera es la microcuenca del río Grande de Colorado, con un 24,09%, la segunda es la microcuenca del estero La Fortuna con un 23,82% y la tercera es la microcuenca que corresponde a Drenajes Menores, con un 12,57% de deforestación.
- En cuanto a la textura del suelo de la subcuenca se observa que el 49.808% (576143.1 ha) está compuesta por suelos de textura fina que cubre un pequeño sector de la parte alta y un gran porcentaje de la parte media y baja, mientras que el 35% (411833.84 ha) corresponde a textura media que cubre en su mayor parte el noreste de su territorio, el 9.46% (109427.06 ha) de textura moderadamente gruesa, cubre específicamente la parte alta, el 2.17 % (25118.47 ha) de textura muy fina, cubre una pequeña porción de subcuenca de la parte sur.
- Al aplicar los dos métodos USLE y Fournier, los resultados son parecidos: método de la USLE: 158 ton/ha/año (modelo global) y 130.04 ton/ha/año (modelo distribuido); y el método de Fournier: 147.3892 t/ha/año, concluyéndose que los métodos son aplicables en el medio, y la **tasa media de erosión en la cuenca sería de 138.71 ton/ha/año.**
- Aplicando el método de la USLE, al considerar a la subcuenca como un modelo global se obtiene un valor medio erosión hídrica de 158 t/ha/año, mientras que al considerar como un modelo semidistribuido se obtiene un valor de 130.04 t/ha/año, observándose una diferencia de un 17% aproximadamente en su estimación de la erosión hídrica, esto debido a que los parámetros que influyen en cada una de las microcuencas se estiman con más precisión y proporcionalmente a su área, mientras que al considerar como un modelo global los factores de la USLE pueden sufrir infravaloraciones o subvaloraciones, por lo que se recomienda para estudios posteriores considerar a la subcuenca como un modelo distribuido aunque el trabajo es muy tedioso
- A pesar que el método de la USLE es sencillo a la hora de calcular la tasa de erosión hídrica de la subcuenca, hay que tener en cuenta que el modelo podría generar datos más precisos si se hubiesen realizado ensayos y trabajos de campo, cuyos resultados hubieren sido más acordes con la realidad.

- La pérdida anual de suelo por hectárea en la subcuenca va de 0.50 toneladas a 200 toneladas, con un valor medio de 138.71 toneladas. En las subcuencas con valores menores de 0.5 toneladas casi no hay pérdida de suelo, debido a la cobertura vegetal que presenta, pocas actividades agrícolas y alto contenido de materia orgánica producto de la descomposición del material vegetal.
- Los factores LS y C tienen gran influencia sobre los resultados para pérdida de suelo. El incremento en la gradiente de pendiente tiene mayor efecto en el incremento de pérdida de suelo que un aumento en la misma magnitud de la longitud de la pendiente.
- Cabe señalar que estas superficies que revelan riesgo de erosión considerable (superior a 25 ton/ha/año) no representan en ninguno de los años más de un 3% del territorio total de la subcuenca, por lo que son áreas muy restringidas. Además, esta superficie se vio disminuida en 2006 con la recuperación de las zonas quemadas.
- Las microcuencas en color rojo son las más deterioradas y por ende con mayor erosión hídrica y aporte de sedimentos, por lo que se requiere intervenir en forma inmediata (R. Calvo, R. Guineal y E. Boquerón, R. Tres Ríos, E. Andrecillo, E. Santa Lucía, R. Paján, R. Chicompe, E. Pescado, R. Los Limos, R. Agua Fría, requieren de una intervención inmediata.
- Se concluye que el riesgo de erosión más latente se localiza preponderantemente en la zona suroccidental y sur de la subcuenca del río Daule en donde existe una fuerte intervención del hombre y la tasa de erosión en la subcuenca es mayor a 200 ton/ha/año.
- Las microcuencas de color café claro (E. Don Pablo, y R. Hondo requieren de una intervención mediata, al igual que las otras que se encuentran representadas con este mismo color en el cuadro 15.
- En general se concluye que todas la microcuencas que se encuentran localizadas en la parte oeste de la subcuenca se encuentran grandemente afectadas por la erosión hídrica, las cuales requieren una rápida intervención para frenar este fenómeno.
- La información generada con el presente trabajo contribuye a que se tenga una perspectiva sobre el estado de los suelos de la subcuenca. La conservación de recurso suelo es fundamental en temas de seguridad alimentaria, especialmente para los agricultores de subsistencia.

12.2 Recomendaciones

- Se considera pertinente que se vigile la erosión hídrica en estas zonas y que se ponga en marcha alguna estrategia para controlar la erosión como puede ser en zonas donde la vegetación es escasa practicar reforestaciones con especies resistentes que aumenten la consolidación de los suelos y disminuyan el desprendimiento de materia.
- Involucrar a pequeños productores en futuras investigaciones relacionadas con los estudios de erosión y toma de muestras de suelos, permitiendo despertar su interés en capacitarse en el manejo de los suelos de la subcuenca.

- Se recomienda establecer un método directo de medición de la erosión en la subcuenca, cuyos resultados podrán ser comparados con los del presente trabajo mediante un análisis estadístico.
- Realizar un mapa de suelos más detallado que permita apreciar la variación de los tipos de suelos y coberturas actualizadas, usando sistemas computarizados se pueden realizar estimaciones de erosión de forma más continua y económica.
- Establecer parcelas demostrativas con la aplicación de obras de conservación de suelos para que los pequeños agricultores puedan capacitarse, adoptar y promover el uso de estas prácticas en sus terrenos.
- Es conveniente tomar en cuenta la cartografía de erosión potencial de la cuenca a la hora de llevar a cabo cualquier tipo de planificación territorial evitando implantar usos del suelo agresivos sobre los territorios más vulnerables, ya que estos lo único que producirían mayor erosión hídrica y a largo plazo la improductividad de los suelos.
- Se recomienda la implementación de sistemas agroforestales utilizando cultivos de café que permitan conservar los suelos y garantizar mejores ingresos a los productores.
- Para definir la microcuenca sobre la cual se va a intervenir para su recuperación e investigación, se recomienda realizar un recorrido y reconocimiento de las áreas de mayor erosión hídrica definidas en el estudio.
- De las microcuencas definidas en el estudio, se recomienda priorizar una, para lo cual se deberá tomar en cuenta algunos aspectos como: número de usuarios o beneficiarios de los terrenos, tipos de cultivos, áreas deforestadas y erosionadas, prácticas de cultivo, situación social de los usuarios, pendiente del terreno, entre otras.
- Se recomienda tomar en cuenta un número manejable de hectáreas de la microcuenca que cumpla las características indicadas anteriormente, lo cual debe ser consensuado con los propietarios, y que finalmente estos resultados puedan ser replicados a otra microcuenca de la subcuenca del Daule.

Para determinar si se ha elegido bien o no la microcuenca y el área a ser intervenida debemos hacernos las siguientes preguntas:

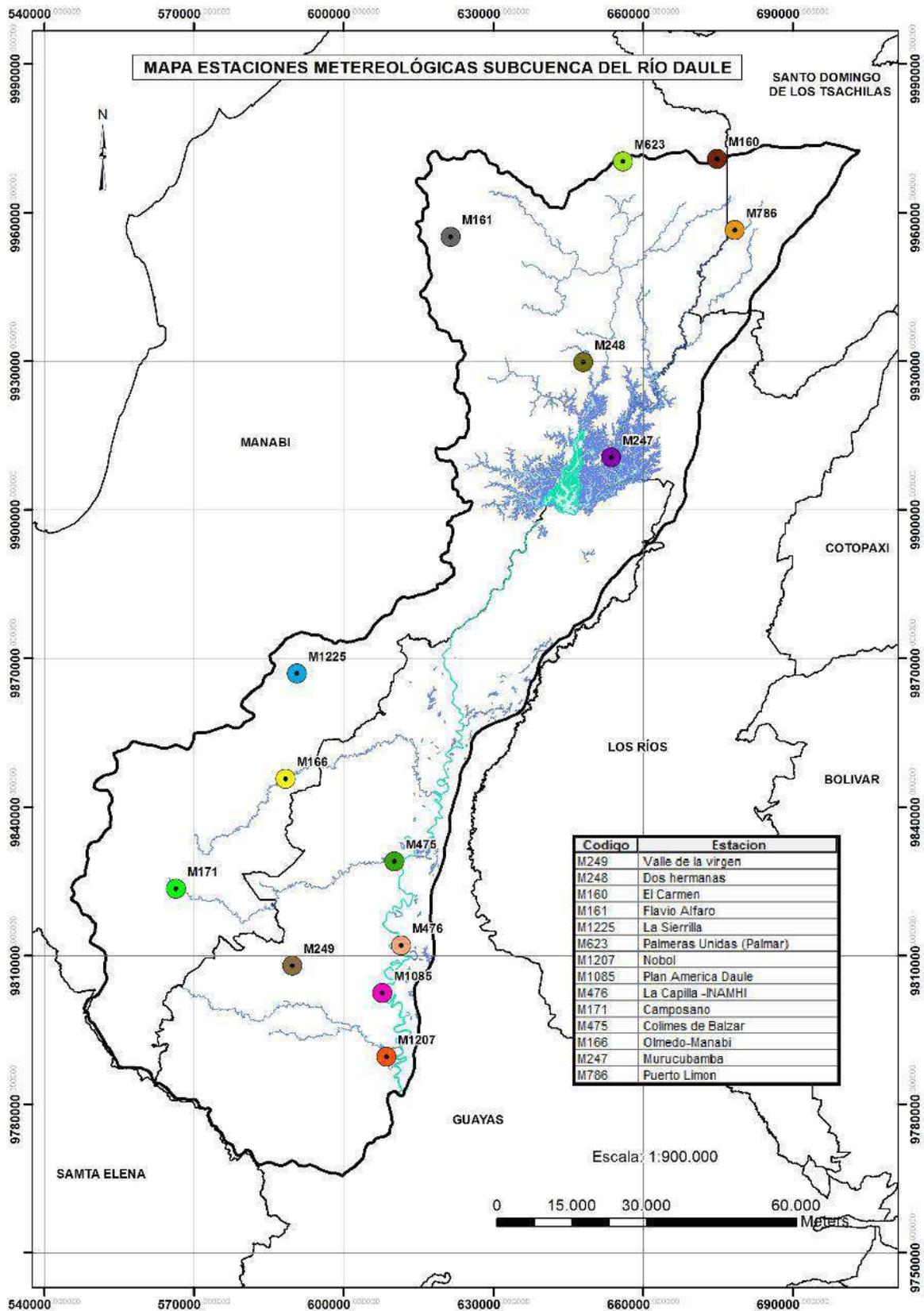
1. ¿La microcuenca cumple con todas las expectativas que requiere el estudio?
 2. ¿Los usuarios de la cuenca están dispuestos a vincularse al proyecto?
 3. ¿El área de la microcuenca seleccionada es manejable para el proyecto?
 4. ¿En el área definida puedo hacer algún tipo de investigación, como la instalación de parcelas experimentales?
 5. ¿Los recursos existentes para la recuperación o manejo del área seleccionada son suficientes?
- Finalmente se recomienda implementar un Plan de Manejo Integrado de Cuenca, en el que deben intervenir todos sus actores.

13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Avendaño, C., Calvo, J.P., Cobo, R. & Sanz, M.E. (1993). La modelización matemática, ajuste y contraste del coeficiente de entrega de sedimentos a los embalses. Aplicación al cálculo de la erosión de cuencas fluviales. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), Madrid, 1, 210 pp.
- Fournier, F. (1960). Climat et Erosion. La relation entre la érosion du sol par leau et les precipitations atmospheriques. Ed. Presses Universitaires de France, Paris, 201 pp.
- ICONA (1988). Agresividad de la lluvia en España: valor del factor R de la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo. MAPA, Madrid, 39 pp.
- Wischmeier, W.H. & Smith, D.D. (1965). Predicting rainfall -erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. Agr. Handbook No. 282, USDA, Washington, D.C.
- María Alejandrina L. Montes León, Miguel Angel Domínguez Cortazar y Eusebio Ventura Ramos: Metodología para la estimación del riesgo de erosión hídrica en cuencas hidrográficas utilizando un SIG, 2012.
- Cortés T. H. (1991). Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando métodos multivariados, Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados, Montecillos, MEX., 168 p.
- Carlos Gutiérrez C. (2014). Hidrología General y Aplicada, ISBN UPS: 978-9978-10-169-8, abril 2014, Quito-Ecuador, 373 pp.
- ALMOROX, J.et al. (1994): “Métodos de estimación de la erosión hídrica.” Editorial Agrícola Española, Madrid.
- García Rodríguez, j.L et al. (2010): “Revisión histórica del factor topográfico, LS, de los modelos de erosión hídrica” Aqua-LAC- Vol.2 – Nº 2-pp.56-61.

14. ANEXOS

Figura 31. Mapa de Estaciones Meteorológicas Subcuenca Río Daule



Fuente: INAHMI, 2015; escala 1.100.000

Figura 32. Mapa de orden de los ríos, subcuencia del río Daule

