

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**ESCUELA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**



**“ESTIMACIÓN CUALITATIVA Y CUANTITATIVA DE LA EROSIÓN  
HÍDRICA VINCULADA AL CAMBIO DE USO DEL SUELO EN LA  
SUBCUENCA CATAMAYO, ECUADOR.”**

**Presentada por:**

**DIANA CAROLINA JUMBO FLORES**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO  
MAGISTER SCIENTIAE EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**Lima - Perú**

**2018**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA  
ESCUELA DE POSGRADO**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS AMBIENTALES**

**“ESTIMACIÓN CUALITATIVA Y CUANTITATIVA DE LA EROSIÓN  
HÍDRICA VINCULADA AL CAMBIO DE USO DEL SUELO EN LA  
SUBCUENCA CATAMAYO, ECUADOR.”**

**TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE  
MAESTRO MAGISTER SCIENTIAE**

**Presentada por:**

**DIANA CAROLINA JUMBO FLORES**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

Mg.Sc. Wilfredo Baldeón Quispe  
**PRESIDENTE**

Mg.Sc. Víctor Miyashiro Kiyari  
**PATROCINADOR**

Mg.Sc. Bruno Arce Medina  
**MIEMBRO**

Lic. rer.reg. Víctor Aguilar Vidangos  
**MIEMBRO**

## **AGRADECIMIENTOS**

La presente investigación se ha realizado gracias a la colaboración de varias personas que se citan a continuación:

Mi patrocinador, el Mg. Sc Víctor Miyashiro Kiyán, cuyo apoyo y dirección fue fundamental junto con las recomendaciones de mi comité consejero conformado por Mg. Sc. Bruno Arce Medina y Lic. rer.reg. Víctor Aguilar Vidangos para el desarrollo y culminación de la investigación.

Al Programa Nacional de Becas (PRONABEC) y Secretaria Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) que me otorgaron la beca especial de reciprocidad “Beca de Amistad Peruano Ecuatoriana”, con la cual fue posible financiar mis estudios de maestría en Ciencias Ambientales.

A mi gran amigo y excelente profesional, PhD. Abraham Mora Polanco, por estar siempre dispuesto a colaborar en mi desarrollo profesional e impulsarme a mejorar cada día.

Al aporte de Mg. Sc. José Antonio Merino Alverca y de Mg. Sc. Christian Contreras Otiniano, que colaboraron y me guiaron en el análisis de cobertura vegetal donde se emplearon herramientas de teledetección.

A Amparito, Edwin y Robert que me brindaron su amistad durante todo el proceso de mis estudios de posgrado.

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de investigación se lo dedico a Dios, por guiarme y permitirme realizar mis metas con éxito y con salud.

A las personas que han estado siempre presentes brindándome su apoyo incondicional como lo son: Mi madre, Jackeline Flores, por creer en mí incluso cuando ni yo lo hacía, por su confianza y por su gran amor hacia mí; mis hermanos, Paola, María y José; y a mi querido sobrino Eduardo porque son mi motor para seguir cumpliendo mis objetivos.

A mis grandes y queridos amigos, Freddy Maza y Fabricio Mendoza porque son mi inspiración para seguir creciendo profesionalmente ya que mis éxitos son los suyos también.

# ÍNDICE GENERAL

<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	4
<b>2.1. Subcuenca hidrográfica</b> .....	4
<b>2.2. Erosión hídrica</b> .....	4
2.2.1. Etapas de la erosión hídrica .....	5
2.2.2. Tipos .....	5
2.2.3. Tasa de erosión .....	7
<b>2.3. Modelos de estimación de la erosión hídrica</b> .....	7
2.3.1. Modelos cualitativos.....	8
2.3.2. Modelos cuantitativos.....	8
<b>2.4. Geomática</b> .....	17
2.4.1. Sistema de información geográfica (SIG) .....	17
2.4.2. Teledetección.....	18
2.4.3. Estadística espacio temporal.....	20
<b>2.5. Estado del arte de la estimación</b> .....	22
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	23
<b>3.1. Área de estudio</b> .....	23
3.1.1. Ubicación.....	23
<b>3.2. Materiales</b> .....	26
3.2.1. Fase de campo .....	26
3.2.2. Fase de gabinete.....	26
<b>3.3. Métodos</b> .....	26
3.3.1. Análisis del cambio de uso de suelo y sus efectos en la erosión hídrica a escala multitemporal en la subcuenca del río Catamayo. ....	28
3.3.2. Identificación de las áreas de la subcuenca del río Catamayo con erosión hídrica mediante el Modelamiento Geoespacial. ....	35
3.3.3. Estimación de la erosión actual y potencial de la subcuenca del río Catamayo en base a la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE). ....	53
3.3.4. Comparación estadística a las metodologías aplicadas en la subcuenca del río Catamayo.....	61
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	63

<b>4.1. Evaluación y análisis del cambio de uso de suelo y sus efectos en la erosión hídrica a escala multi-temporal en la subcuenca del río Catamayo.....</b>	<b>63</b>
4.1.1. Clasificación Supervisada de la Cobertura Vegetal .....	63
4.1.2. Análisis de Cambio.....	66
<b>4.2. Identificación de las áreas de la subcuenca del río Catamayo con erosión hídrica mediante el Modelamiento Geoespacial. ....</b>	<b>70</b>
4.2.1. Submodelo Físico de Erosión Hídrica (SFEH) .....	70
4.2.2. Submodelo Socio-Económico (SS-E) .....	82
4.2.3. Submodelo de Conflicto de Uso (SCU) .....	88
4.2.4. Zonas de Erosión Hídrica Cualitativa en la Subcuenca del Río Catamayo... ..	92
<b>4.3. Estimación de la erosión actual y potencial de la subcuenca del río Catamayo en base a la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE). ....</b>	<b>95</b>
4.3.1. Estimación de la erosión hídrica actual en base a RUSLE.....	95
4.3.2. Estimación de la erosión hídrica potencial .....	107
<b>4.4. Comparación estadística a las metodologías aplicadas en la subcuenca del río Catamayo.....</b>	<b>110</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>112</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>113</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>114</b>
<b>VIII. ANEXOS.....</b>	<b>124</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1:</b> Niveles de erosión.....	7
<b>Cuadro 2:</b> Clasificación del IMF.....	11
<b>Cuadro 3:</b> Códigos de los tipos de estructura del suelo según USLE.....	11
<b>Cuadro 4:</b> Códigos de los tipos de permeabilidad del suelo según USLE.....	12
<b>Cuadro 5:</b> Tipos de cobertura en la zona de estudio.....	15
<b>Cuadro 6:</b> Valores asignados según tipo de práctica de conservación.....	16
<b>Cuadro 7:</b> Valoración del coeficiente kappa.....	21
<b>Cuadro 8:</b> Superficies de cada cantón de la subcuenca del río Catamayo.....	24
<b>Cuadro 9:</b> Características de las imágenes satelitales.....	28
<b>Cuadro 10:</b> Características de la imagen satelital Landsat 5.....	30
<b>Cuadro 11:</b> Características de la imagen satelital de Landsat 8.....	31
<b>Cuadro 12:</b> Escala y año de las variables en análisis.....	35
<b>Cuadro 13:</b> Matriz de comparaciones pareadas de variables físicas.....	37
<b>Cuadro 14:</b> Calificación de las variables físicas.....	37
<b>Cuadro 15:</b> Matriz de comparaciones pareadas de variables socio-económicas.....	40
<b>Cuadro 16:</b> Calificación de las variables socio-económicas.....	40
<b>Cuadro 17:</b> Calificación de la pendiente en la subcuenca del río Catamayo.....	42
<b>Cuadro 18:</b> Estaciones meteorológicas de la subcuenca del río Catamayo.....	42
<b>Cuadro 19:</b> Calificación de la precipitación en la subcuenca del río Catamayo.....	43
<b>Cuadro 20:</b> Calificación de la cobertura vegetal en la subcuenca del río Catamayo.....	45
<b>Cuadro 21:</b> Calificación de la geología en la subcuenca del río Catamayo.....	46
<b>Cuadro 22:</b> Niveles de erosión según las variables físicas.....	47
<b>Cuadro 23:</b> Calificación de los servicios básicos en la subcuenca del río Catamayo.....	48
<b>Cuadro 24:</b> Calificación de la PORA en la subcuenca del río Catamayo.....	49
<b>Cuadro 25:</b> Niveles de erosión según las variables socio-económicas.....	50
<b>Cuadro 26:</b> Calificación del uso actual de la tierra en la subcuenca del río Catamayo.....	50
<b>Cuadro 27:</b> Calificación de la capacidad de uso mayor de la tierra.....	51
<b>Cuadro 28:</b> Rangos de erosión hídrica en la subcuenca del río Catamayo.....	52
<b>Cuadro 29:</b> Rangos de erosión hídrica empleados en la subcuenca del río Catamayo.....	53
<b>Cuadro 30:</b> Estaciones meteorológicas ubicadas en la Provincia de Loja.....	54
<b>Cuadro 31:</b> Sitios de muestreo en la zona de estudio.....	55
<b>Cuadro 32:</b> Mosaicos empleados en la zona de estudio.....	56

<b>Cuadro 33:</b> Tipos de cobertura en la zona de estudio. ....	59
<b>Cuadro 34:</b> Áreas de las coberturas en el año 1997 y 2017. ....	63
<b>Cuadro 35:</b> Tendencia de cambio entre las diferentes coberturas en 1997 y 2017. ....	66
<b>Cuadro 36:</b> Cobertura vegetal para el año 2037. ....	68
<b>Cuadro 37:</b> Rangos de la pendiente en la subcuenca del río Catamayo. ....	70
<b>Cuadro 38:</b> Rangos de la precipitación en la subcuenca del río Catamayo. ....	71
<b>Cuadro 39:</b> Taxonomía de suelos de la subcuenca del río Catamayo. ....	73
<b>Cuadro 40:</b> Tipos de cobertura vegetal presentes en la subcuenca del río Catamayo. ....	75
<b>Cuadro 41:</b> Tipos de geología presente en la subcuenca del río Catamayo. ....	78
<b>Cuadro 42:</b> Erosión hídrica cualitativa en función del submodelo físico. ....	80
<b>Cuadro 43:</b> Cobertura de servicios básicos en la subcuenca del río Catamayo. ....	82
<b>Cuadro 44:</b> PORA de la zona de estudio. ....	84
<b>Cuadro 45:</b> PORA en la subcuenca del río Catamayo. ....	84
<b>Cuadro 46:</b> Erosión hídrica cualitativa en función del submodelo socio-económico. ....	86
<b>Cuadro 47:</b> Uso actual de la tierra en la subcuenca del río Catamayo. ....	88
<b>Cuadro 48:</b> CUM en la subcuenca del río Catamayo. ....	90
<b>Cuadro 49:</b> Conflicto de uso de la tierra en la zona de estudio. ....	92
<b>Cuadro 50:</b> Erosión hídrica cualitativa en la subcuenca del río Catamayo. ....	92
<b>Cuadro 51:</b> IMF y Factor R de las estaciones localizadas en la zona de estudio. ....	96
<b>Cuadro 52:</b> Factor K de la subcuenca del río Catamayo. ....	99
<b>Cuadro 53:</b> Factor LS de la subcuenca del río Catamayo. ....	100
<b>Cuadro 54:</b> Área de las diferentes coberturas en la zona de estudio. ....	101
<b>Cuadro 55:</b> Tasas de erosión hídrica actual en función de RUSLE. ....	105
<b>Cuadro 56:</b> Niveles de erosión hídrica en la zona de estudio. ....	105
<b>Cuadro 57:</b> Niveles de erosión hídrica potencial según el primer escenario. ....	107
<b>Cuadro 58:</b> Niveles de erosión hídrica potencial según el segundo escenario. ....	107



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Tipos de erosión hídrica.....	5
<b>Figura 2:</b> Tipos de modelos de erosión .....	7
<b>Figura 3.</b> Tipos de contigüidad.....	21
<b>Figura 4:</b> Ubicación de la zona de estudio. ....	25
<b>Figura 5:</b> Esquema de la metodología. ....	27
<b>Figura 6:</b> Módulo “Geotiff/Tiff – GeoTiff to Idrisi conversion”. ....	28
<b>Figura 7:</b> Módulo “Radiance”. ....	29
<b>Figura 8:</b> Módulo “Atmosc”......	30
<b>Figura 9:</b> Preprocesamiento de las imágenes satelitales.....	32
<b>Figura 10:</b> Módulo “Segmentation” para los dos grupos raster de 1997 y 2017. ....	33
<b>Figura 11:</b> Módulo “Segtrain” para los dos grupos raster de 1997 y 2017. ....	33
<b>Figura 12:</b> Firmas espectrales de las coberturas de los años 1997 y 2017.....	34
<b>Figura 13:</b> Módulo “Maxlike”......	34
<b>Figura 14:</b> Esquema de la base de datos geoespacial del submodelo físico.....	38
<b>Figura 15:</b> Esquema de la base de datos geoespacial del submodelo socio-económico. ...	39
<b>Figura 16:</b> Esquema de la base de datos geoespacial del submodelo de conflicto de uso. ....	40
<b>Figura 17:</b> Estructura del modelamiento geoespacial para la erosión hídrica. ....	41
<b>Figura 18:</b> Ubicación de las calicatas ubicadas en la Subcuenca del Río Catamayo. ....	44
<b>Figura 19:</b> Model builder de las variables que conforman el submodelo físico. ....	47
<b>Figura 20:</b> Model builder del submodelo socio-económico.....	49
<b>Figura 21:</b> Model builder del submodelo socio-económico.....	52
<b>Figura 22:</b> Model builder para obtener la erosión hídrica cualitativa. ....	52
<b>Figura 23:</b> Módulo Regresss del software Idrisi Selva. ....	61
<b>Figura 24.</b> Módulo Crosstab del software Idrisi Selva. ....	62
<b>Figura 25:</b> Módulo Autocorr del software Idrisi Selva. ....	62
<b>Figura 26:</b> Mapa de cobertura vegetal en 1997. ....	64
<b>Figura 27:</b> Mapa de cobertura vegetal en 2017. ....	65
<b>Figura 28:</b> Mapas de ganancias-pérdidas de las diferentes coberturas.....	67
<b>Figura 29:</b> Cambio neto de las diferentes coberturas según el hectariaje. ....	68
<b>Figura 30:</b> Mapa de cobertura vegetal para el año 2037. ....	69
<b>Figura 31:</b> Mapa de variación de la precipitación media anual en la subcuenca del río Catamayo. ....	72

<b>Figura 32:</b> Mapa de taxonomía de suelos de la subcuenca del río Catamayo.....	74
<b>Figura 33:</b> Mapa de cobertura vegetal de la subcuenca del río Catamayo. ....	76
<b>Figura 34:</b> Mapa de fisiografía de la subcuenca del río Catamayo. ....	77
<b>Figura 35:</b> Mapa de geología de la subcuenca del río Catamayo. ....	79
<b>Figura 36:</b> Mapa de zonas de erosión por las características físicas. ....	81
<b>Figura 37:</b> Mapa de servicios básicos de la subcuenca del río Catamayo.....	83
<b>Figura 38:</b> Mapa de la PORA en la subcuenca del río Catamayo. ....	85
<b>Figura 39:</b> Mapa de aspectos socio-económicos y su influencia en la erosión hídrica.....	87
<b>Figura 40:</b> Mapa de uso actual de la tierra de la subcuenca del río Catamayo. ....	89
<b>Figura 41:</b> Mapa de CUM de la subcuenca del río Catamayo. ....	91
<b>Figura 42:</b> Mapa de conflicto de uso de la tierra de la subcuenca del río Catamayo. ....	93
<b>Figura 43:</b> Mapa de zonas de erosión hídrica cualitativa de la subcuenca del río Catamayo. .....	94
<b>Figura 44:</b> Distribución espacial del factor R.....	97
<b>Figura 45:</b> Distribución espacial del factor K. ....	98
<b>Figura 46:</b> Distribución espacial del factor LS.....	102
<b>Figura 47:</b> Distribución espacial del factor C.....	103
<b>Figura 48:</b> Distribución espacial del factor P. ....	104
<b>Figura 49:</b> Erosión hídrica cuantitativa actual con el método de RUSLE .....	106
<b>Figura 50:</b> Erosión hídrica cuantitativa potencial según el primer escenario de RUSLE.	108
<b>Figura 51:</b> Erosión hídrica cuantitativa potencial según el segundo escenario de RUSLE. .....	109
<b>Figura 52:</b> Regresión lineal de la variable cualitativa y cuantitativa. ....	110
<b>Figura 53:</b> Resultados de los índices Cramer y Kappa.....	111
<b>Figura 54:</b> Resultados del índice Moran. ....	111

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1.</b> RUSLE.....	9
<b>Ecuación 2.</b> Factor R .....	10
<b>Ecuación 3.</b> Índice Modificado de Fournier. ....	10
<b>Ecuación 4.</b> Factor K .....	12
<b>Ecuación 5.</b> Determinación del Factor L .....	13
<b>Ecuación 6.</b> Modificación del Factor L. ....	13
<b>Ecuación 7.</b> Factor S .....	13
<b>Ecuación 8.</b> Gain y offset .....	29
<b>Ecuación 9.</b> Submodelo Físico de Erosión Hídrica. ....	36
<b>Ecuación 10.</b> Submodelo Socio-Económico. ....	39
<b>Ecuación 11.</b> Factor F.....	57
<b>Ecuación 12.</b> Factor M.....	57
<b>Ecuación 13.</b> Factor L.....	57
<b>Ecuación 14.</b> Factor S.....	58
<b>Ecuación 15.</b> Factor LS .....	58
<b>Ecuación 16.</b> Integración de los factores para calcular la erosión hídrica actual. ....	60
<b>Ecuación 17.</b> Primer escenario de erosión hídrica potencial .....	60
<b>Ecuación 18.</b> Segundo escenario de erosión hídrica potencial. ....	60

## RESUMEN

En la región sierra del Ecuador está muy presente el proceso erosivo, en especial, en la provincia de Loja donde las tasas de erosión hídrica son elevadas. Es por ello, que la presente investigación, está orientada a verificar como influye el cambio del uso del suelo en la erosión hídrica y a realizar una estimación cuantitativa, mediante la ecuación universal de pérdida del suelo revisada (RUSLE) y una cualitativa, a través, del modelamiento geoespacial de erosión hídrica. La metodología empleada fue la siguiente; primero, se realizó un análisis multitemporal (1997, 2017, 2037) de la cobertura vegetal mediante el módulo Land Change Modeler del software Idrisi Selva con la finalidad de obtener una proyección de la cobertura para el año 2037. Segundo, el modelamiento geoespacial de erosión hídrica se elaboró mediante la integración de los submodelos físico, socio-económico y de conflicto de uso, cada uno con su grado de participación. Tercero, para la estimación cuantitativa se realizó el cálculo actual y potencial según la ecuación de RUSLE. La erosión hídrica actual se elaboró mediante la integración de los cinco factores: Erosividad (R), erodabilidad (K), cobertura vegetal (C), longitud e inclinación de la pendiente (LS) y las prácticas de conservación (P). La erosión hídrica potencial se diseñó bajo dos escenarios: (a) Los factores R, K, LS, C actual y las diferentes prácticas de conservación contempladas (cultivo en contorno, en franjas y en terrazas). (b) Los factores R, K, LS y C (se empleó la proyección realizada para el año 2037). Cuarto, se analizó la correlación existente entre ambas metodologías, empleando la regresión lineal, el coeficiente kappa (0.82), los índices Cramer (0.74) y Moran (0.98 and 0.99). Los resultados obtenidos con ambas metodologías tuvieron una alta correlación ( $R^2 = 0.84$ ) y se evidenció que la erosión hídrica actual promedio de la subcuenca del río Catamayo es de 407.53 t/ha/año, indicando una erosión del tipo muy fuerte.

**Palabras clave:** Erosión hídrica actual y potencial, estimación, SIG, RUSLE y subcuenca del río Catamayo.

## ABSTRACT

The erosive processes are very important in the Sierra region of Ecuador, especially in the province of Loja (southern Ecuadorian Andes), where water erosion rates are very high. For this reason, this investigation was carried out in order to verify how the land use changes the affect of the water erosion, by performing quantitative and qualitative estimations through the revised universal soil loss equation (RUSLE) and the water erosion geospatial models, respectively. The methodology used is as follows; the water erosion rates were expressed as stipulated by the FAO, UNEP and UNESCO in Rome, 1980. First, the vegetation cover was analyzed multi-temporally (1997, 2017, 2037) using the Land Change Modeler module of the Idrisi Selva software, with the purpose of obtaining a projection of the coverage for the year 2037 according to the change trends. Second, the water erosion geospatial model was developed using GIS, integrating the physical, socio-economical and land-use conflict submodels, each with their degree of participation in the water erosion. In addition, each submodel consisted of different variables that presented a higher incidence in the studied process. Third, for the quantitative estimation, both the actual and potential water erosion were calculated according to RUSLE. The actual water erosion was developed integrating its five factors: Erosivity (R), erodability (K), vegetation cover (C), slope and slope length factor (LS) and conservation practices (P). And for the potential erosion was designed under two scenarios: (a) The factor R, K, LS and C were integrated (the projection for the year 2037 was used). Scenario (b) The factor R, K, LS, actual vegetation cover, and the different conservation practices (contour, strip and terraced cultivation) were integrated. Fourth, the correlation between both methodologies was analyzed using the linear regression equation using the kappa coefficient (0.82), the Cramer (0.74) and Moran indexes (0.98 and 0.99). The results obtained with both methodologies had a high correlation ( $R^2 = 0.84$ ). Moreover, it was evidenced that the actual average of hydraulic erosion of the Catamayo River sub-watershed is 407.53 t/ha/year, indicating a very strong type erosion.

**Keywords:** Actual and potential hydraulic erosion, estimate, SIG, RUSLE and Catamayo River watershed.

## I. INTRODUCCIÓN

La erosión es un proceso natural que consiste en el desprendimiento, transporte y sedimentación de partículas del suelo mediante la acción de elementos modeladores del paisaje como el agua, el viento, los glaciares y la gravedad (Osman, 2013), sin embargo, en la actualidad este fenómeno se ha acelerado por la intervención antropogénica (Angulo, 2013). Se estima que alrededor de 1,960 millones de hectáreas de tierra son propensas a la erosión, lo cual, equivale al 15% de la superficie terrestre total del planeta Tierra, y el 50% de ese porcentaje está severamente erosionado (Osman, 2013). Complementariamente, Ross (1995) afirma que más del 55% de las tierras arables en el mundo se debe a erosión hídrica y un 33% a erosión eólica, además, se ha estimado que la precipitación total anual sobre las masas de tierra es de  $116,500 \pm 5,100 \text{ km}^3 \cdot \text{año}^{-1}$ , de lo cual, regresa a la atmósfera el 60% mediante la evapotranspiración y el 40% a los cursos de agua como escorrentía y agua subterránea.

La erosión hídrica afecta *in situ* sellando y compactando la superficie del suelo, expone las raíces y deforma el terreno, pero principalmente disminuye la cantidad y calidad del suelo, porque produce la pérdida de suelo, de materia orgánica y de nutrientes, es así que, cuando se erosiona 10 mm de la capa superficial del suelo equivale a  $1,000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  potasio (K),  $350 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  nitrógeno (N) y  $90 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$  fósforo (P) (Hicks y Anthony, 2001) pero en términos globales se estima que la erosión hídrica transporta de 23 a 42 millones de toneladas de N y de 15 a 26 millones de toneladas de P fuera de las tierras agrícolas, que necesita ser reemplazada a través de la aplicación anual de fertilizantes que corresponden a 112 millones de toneladas de N y 18 millones de toneladas de P a un costo económico elevado de 33 a 60 billones de dólares para N y de 77 a 140 billones de dólares para el P. Debido a la erosión se pierde en promedio mundial un 0.3 % del rendimiento anual de los cultivos y para el 2050 se considera que puede ser un 10% (FAO-GTIS, 2016). Por otra parte, los efectos *ex situ* que producen son sedimentación de embalses, inundaciones, eutrofización, contaminación de tierras y aguas y disminución de la calidad del agua (Reboratti, 2009 y Osman, 2013).

Las tendencias de erosión son muy variadas, en ciertas partes de Europa, Norteamérica, y sudoeste del Pacífico tienden a mejorar, mientras que, en Asia, Latinoamérica, el Caribe y el norte de África presentan condiciones de erosión pobre o muy pobre y con tendencia al deterioro (FAO - GTIS, 2016). Específicamente, en Ecuador, el 47.9% de su superficie posee problemas erosivos que ha provocado la desaparición de la cobertura vegetal original en un 36% (Ramón y Reyes, 2005) por pastoreo excesivo, pérdida de suelo fértil y vegetación y expansión de la frontera agrícola (FAO – GTIS, 2016).

El callejón interandino (zona sierra del Ecuador) funciona como *divortium acuarium* de las vertientes amazónica y pacífico, que abarcan 80 cuencas hidrográficas a nivel del país. En esta zona se encuentran las cuencas altas donde se asienta más del 50% de la población del país, y en las faldas de las cuencas de montaña se desarrollan los cultivos agropecuarios, abasteciendo de alimentos al 45% de la población del país (FAO, 2002). Esta situación acentúa la erosión en la sierra ecuatoriana debido a múltiples factores como el nivel de pendiente, el cambio de sistemas de producción de cultivos asociados por los monocultivos, las deficientes prácticas de conservación de suelos y la falta de políticas e incentivos para la conservación del ambiente (Monar, 1986).

Particularmente, la provincia de Loja, ubicada en la zona sierra, presenta uno de los índices más altos de erosión en Ecuador, debido a factores físicos y socioeconómicos. Este hecho es ratificado por Rodgers (1994), el cual, sostiene que el 55% del territorio es afectado por erosión hídrica. El presente estudio se realizó en la subcuenca del río Catamayo que se ubica dentro de la citada provincia y teniendo en cuenta los antecedentes mencionados fue necesario estimar cuantitativamente, a través de la ecuación universal de pérdida del suelo revisada (RUSLE) y cualitativamente mediante un modelamiento geoespacial de la erosión hídrica vinculada al cambio del uso de suelo con la finalidad de evaluar el estado actual y potencial de este proceso en la zona de estudio. Hecho que proporciona dos aportes principales, el primero, de ámbito social, la investigación sirve de herramienta para mejorar la planificación, el manejo integral de la subcuenca y la toma de decisiones para las autoridades que la conforman, de esta manera, se podrá asumir nuevas medidas para la mejora integral del territorio; y el segundo es de ámbito académico, donde se integran y confrontan las metodologías empleadas (cualitativa y cuantitativa) para la estimación de la erosión hídrica; y se perfeccionan las ponderaciones aplicadas a las variables que integran el modelamiento geoespacial.

En base a lo expuesto se plantearon los siguientes objetivos:

### **Objetivo principal**

Estimar la erosión hídrica en la subcuenca del río Catamayo por el cambio de uso de suelo, mediante la aplicación de herramientas geomáticas y el modelo de la ecuación universal de pérdida de suelo revisada (RUSLE).

### **Objetivos específicos**

- Evaluar y analizar el cambio de uso de suelo y sus efectos en la erosión hídrica a escala multi-temporal en la subcuenca del río Catamayo.
- Identificar las áreas de la subcuenca del río Catamayo con erosión hídrica mediante el Modelamiento Geoespacial.
- Estimar la erosión actual y potencial de la subcuenca del río Catamayo en base a la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE).
- Comparar estadísticamente las metodologías aplicadas en la subcuenca del río Catamayo.



## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

En este apartado se describen y documentan las bases conceptuales y teóricas sobre las que se enmarca el presente trabajo de investigación.

### **2.1. Subcuenca hidrográfica**

Una cuenca hidrográfica, se define tradicionalmente como un territorio delimitado físicamente en el que se diferencia la distribución de las vertientes de agua con un único sistema de drenaje natural, pero posteriormente, se añadió una visión de ordenamiento territorial y, por tanto, se consideraba que la cuenca era la unidad mínima de gestión que permitía manejar las interacciones entre los factores naturales y sociales (Jiménez, 2008)

En la actualidad, el concepto cuenca tiene una connotación más amplia, es decir, se sigue considerando que es un territorio delimitado por la propia naturaleza, pero también se ha establecido que es un espacio social producido por el conjunto de las relaciones e interacciones sociales de apropiación y uso de los recursos que ella contiene (FAO, 1980).

### **2.2. Erosión hídrica**

La erosión hídrica es un proceso físico definido como el desprendimiento y arrastre de partículas de suelo por acción del agua de escorrentía que es el encargado de realizar el transporte y la sedimentación (FAO, 1967). Este proceso depende de ciertos factores e interrelaciones, como la cantidad e intensidad de las precipitaciones; las propiedades intrínsecas de los suelos; la inclinación del terreno; la vegetación y la aplicación de medidas preventivas para la conservación del suelo (Huerta y Loli, 2014). Es así, que DSCyLcD (1990) considera que la erosión hídrica es directamente proporcional a la cantidad de precipitación y a la longitud de la vertiente y la ladera, pero inversamente proporcional a la capacidad de infiltración del suelo y a la resistencia que opone la superficie, es por ello que cuanto mayor es la pendiente del terreno, mayor es la velocidad de flujo y más intensa es la erosión.

### 2.2.1. Etapas de la erosión hídrica

- *Etapa de desprendimiento*

En esta etapa se produce el desprendimiento de las partículas del suelo por el impacto de las gotas de lluvias en la superficie. Las partículas finas se mantienen en suspensión y las gruesas en rodamiento. Al dispersarse las partículas se sellan los poros superficiales disminuyendo la capacidad de infiltración del agua. Por este motivo, la cobertura vegetal tiene principal importancia en esta primera etapa, ya que los suelos desprovistos de vegetación son susceptibles al desprendimiento (Asturias, 1986).

- *Etapa de arrastres o transporte*

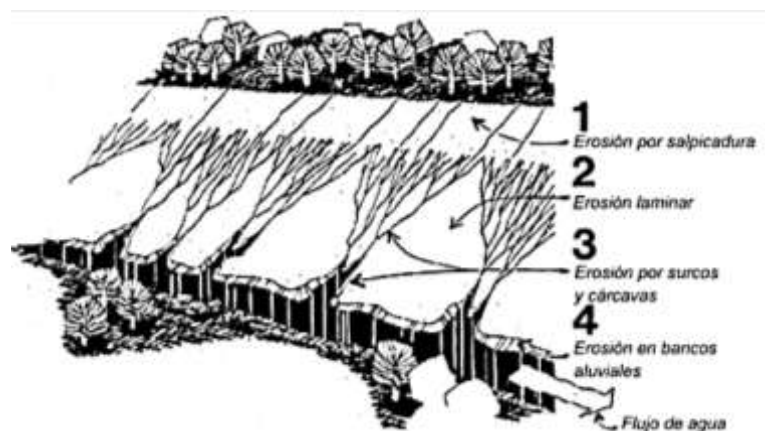
Las partículas son arrastradas cuando el agua no se filtra en el suelo y se produce el escurrimiento superficial. La capacidad erosiva de este último está determinada por la cantidad, intensidad y distribución de las gotas de lluvia (Asturias, 1986).

- *Etapa de deposición o sedimentación*

Se produce cuando la velocidad del flujo transportado disminuye y las partículas en suspensión se sedimentan (Asturias, 1986).

### 2.2.2. Tipos

UNESCO (2009) y el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, 2002) establecen varios tipos de erosión hídrica que se ven en la Figura 1 y se citan a continuación:



**Figura 1.** Tipos de erosión hídrica.

FUENTE: USDA (2002)

- ***Erosión por salpicadura y erosión laminar***

La erosión hídrica por salpicadura se produce cuando las gotas de lluvia impactan contra la superficie con una energía suficiente para desplazar partículas de material sin consolidar (SUDAS, 2006). Dependiendo de la duración, intensidad y frecuencia de las precipitaciones, se origina la remoción de capas delgadas y uniformes de suelo sobre toda el área, dando lugar a la erosión laminar (Favis, 2007). Este tipo de erosión se identifica por la presencia de plantas con el sistema radicular al descubierto y por la invasión de especies vegetales específicas de suelos degradados (García, 2006).

- ***Erosión en surcos o en regueros***

Las diferentes irregularidades de las pendientes del terreno provocan que se concentre la escorrentía en algunos sitios hasta adquirir volúmenes y velocidades suficientes para producir cortes y formar surcos, dando lugar a la erosión en surcos (Farfán, 2002). Estos surcos corresponden a canales miniatura, que son el resultado de la remoción aproximada de 10 a 50 cm de suelo por acción de la escorrentía, que transporta material erosionado hacia canales o riberas. Además, el accionar constante del agua a través de los canales puede producir barrancos o cárcavas (Cairns *et al.*, 2001).

- ***Erosión en barrancos o cárcavas***

La erosión en barrancos o cárcavas es la remoción del suelo por acción del agua formando depresiones que transportan material durante o inmediatamente después de ocurrida la tormenta (Cairns *et al.*, 2001). Al comparar estas depresiones con los cauces permanentes, relativamente llanos y cóncavos en su perfil, las cárcavas se caracterizan por tener cabeceras y saltos a lo largo de su curso. Además, poseen una mayor profundidad, menor anchura que los cauces estables y transportan más cantidad de sedimentos (Morgan, 1997).

- ***Erosión en bancos aluviales***

La erosión en bancos aluviales se produce a partir de los procesos erosivos que se generan en el lecho de los barrancos o cárcavas, haciéndolos más profundos, favoreciendo con esto que el material de las riberas se vuelva inestable y se comience a desprender material desde las zonas altas. Además, provoca que las vías fluviales ondulen, debido a la acumulación de suelo erosionado en el lecho (SUDAS, 2006).

### 2.2.3. Tasa de erosión

Es necesario establecer la tasa de erosión de un sitio para decidir el manejo y las medidas de conservación más adecuadas (Pando *et al.*, 2003). En el Cuadro 1 se observan los niveles de erosión establecidos en la metodología sobre evaluación de la degradación de los suelos descrita por FAO, PNUMA y UNESCO en Roma en 1980.

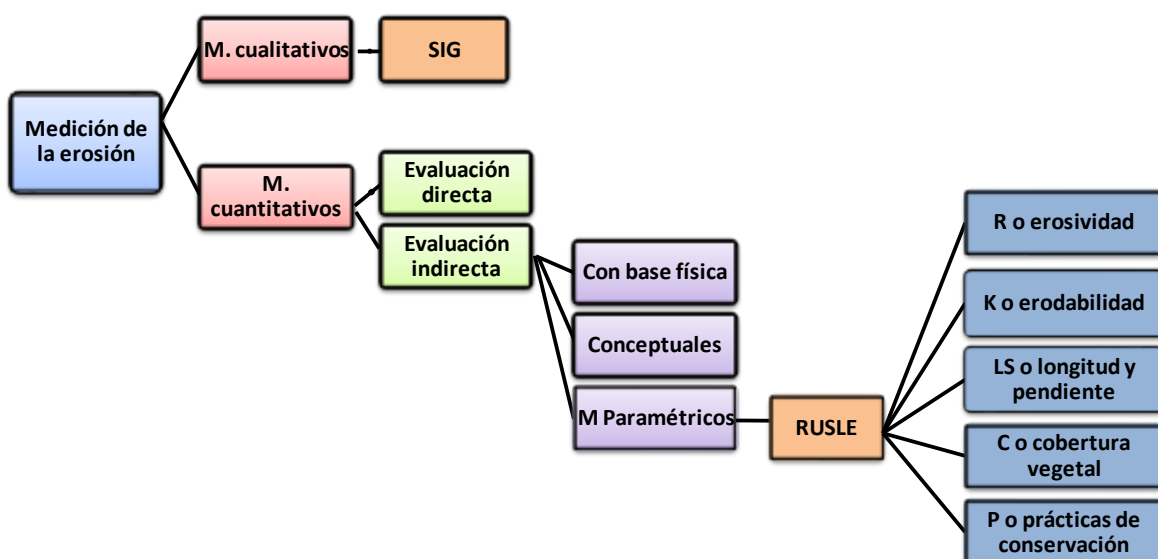
**Cuadro 1:** Niveles de erosión.

NIVEL DE EROSIÓN	RANGO (t/ha/año)
Nula o leve	< 10
Moderada	10 – 50
Fuerte	50 – 200
Muy fuerte	>200

FUENTE: FAO, PNUMA y UNESCO, 1980.

### 2.3. Modelos de estimación de la erosión hídrica

Morgan (1997) afirma que para estimar la erosión hídrica es necesario definir la temporalidad y espacialidad que se usarán para modelar el proceso. El resultado que se obtiene del modelo es una herramienta con la que se puede predecir la pérdida de suelo; para planes de conservación, proyectos e inventarios de erosión; y para la ordenación del recurso (Lal, 1994). Los modelos de medición de erosión hídrica se clasifican según lo establecido por García (2006) como se puede ver en la Figura 2.



**Figura 2:** Tipos de modelos de erosión

FUENTE: García, 2006.

### **2.3.1. Modelos cualitativos**

Los modelos cualitativos se emplean en estudios de diagnóstico (Moreira, 1991) y son muy útiles para expresar cartográficamente el proceso erosivo ya que capturan y analizan toda la información espacio-temporal necesaria para aplicar los modelos (García, 2006 y Gómez *et al.*, 2007).

### **2.3.2. Modelos cuantitativos**

Los modelos cuantitativos permiten estimar la pérdida de suelos en función de la erosión hídrica. Su evaluación se puede realizar de forma indirecta o directa (García, 2006). Sin embargo, para fines de la presente investigación se especificará sobre el modelo indirecto, a continuación, se citan los tipos:

- ***Modelos con base física***

Los modelos con base física incorporan en su análisis leyes de conservación de masa y energía. La mayoría de este tipo de modelos deben su origen al esquema desarrollado por Wischmeyer para comprobar la factibilidad de una aproximación matemática que simule la erosión (De Regoyos, 2003).

- ***Modelos conceptuales***

Los modelos conceptuales se basan en los principios de los modelos con base física, pero se integran con modelos hidrológicos, de erosión y de transporte de sedimentos con la finalidad de adaptarse mejor a la realidad (TRAGSA, 1998).

- ***Modelos paramétricos***

García (2006), afirma que son modelos basados en la lógica inductiva y se destacan por su amplia utilización. Según la FAO (1993), Wischmeier y Smith, en 1978 compilaron los datos de investigación de erosión en 8,250 parcelas/año de 36 localidades de Estados Unidos lo que dio lugar a la formulación de la ecuación universal de pérdida de suelos (USLE). Posteriormente, se hizo una reevaluación de los diversos factores que afectaban la pérdida de suelo, dando como resultado la ecuación universal de pérdida de suelos revisada (RUSLE), la cual es representada por la siguiente ecuación:

## Ecuación 1. RUSLE

$$A = \text{Factor } R * \text{Factor } K * \text{Factor } LS * \text{Factor } C * \text{Factor } P$$

Dónde:

- A:** Promedio anual de pérdida de suelo por unidad de área ( $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ ).
- R:** Factor de erosividad de las lluvias en ( $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ ).
- K:** Factor de erodabilidad del suelo en ( $\text{ton}\cdot\text{ha}\cdot\text{hr}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{MJ}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$ )
- C:** Factor de cobertura vegetal (adimensional).
- LS:** Factor topográfico en función de longitud, inclinación y forma de la pendiente (adimensional).
- P:** Factor de prácticas de conservación (adimensional).

### - Factor R o índice de erosividad de la lluvia

El factor R representa la erosividad o el potencial de las lluvias para erosionar el suelo mediante la relación entre la pérdida de suelo y las lluvias, es así que, el producto de la energía cinética (E) y la intensidad máxima en un periodo de 30 minutos ( $I_{30}$ ), expresa la capacidad de las lluvias de causar erosión. Este producto en ( $\text{J}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{cm}\cdot\text{hora}^{-1}$ ) es el resultado de la sinergia entre la energía y la intensidad en una tormenta, dando como resultado que el  $EI_{30}$  indica cómo el desprendimiento de partículas es combinado con la capacidad de transporte (Renard *et al.*, 1996). Este factor está en función de ciertas características físicas (intensidad, duración, velocidad y tamaño de las gotas) y de la altitud (Pérez, 2001; Ramírez, 2010 y Antezana, 2001).

Inicialmente, Cabrejos (2016) afirma que el factor R corresponde a la sumatoria de los productos de las energías de todos los eventos de lluvias erosivas anuales con sus respectivas intensidades máximas en 30 minutos. El factor R mide el efecto de la precipitación sobre la erosión y está definido por

## Ecuación 2. Factor R según $I_{30}$

$$R = \frac{EI_{30} \text{ J cm}}{100 \text{ m}^2 \text{ h}}$$

Dónde:

**E:** Energía cinética del aguacero ( $\text{Jm}^2$ ).

**I<sub>30</sub>:** Máxima intensidad de lluvia en 30 minutos (cm h).

Sin embargo, en muchos países, los registros de lluvia a partir de pluviogramas, para calcular el índice de erosividad son escasos es por ello que el cálculo se realiza mediante la metodología de Ochoa-Cueva *et al.* (2016) como se ve en la Ecuación 3.

**Ecuación 3.** Factor R

$$R_{(i,j)} = 95.77 - 6.081 F + 0.4770 F^2$$

Dónde:

**R<sub>(i,j)</sub>:** Factor R or celda (i,j) ( $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ ).

**F:** Índice Modificado de Fournier (IMF).

Complementariamente, Echeverri y Obando (2010) y Ramírez *et al.* (2007), manifestaron que Arnoldus en 1980 propuso el IMF (Ecuación 4) donde se emplean datos de precipitación mensual para definir el factor de erosividad de una manera sencilla y aplicable a las condiciones regionales de cada caso.

**Ecuación 4.** Índice Modificado de Fournier.

$$IMF = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P}$$

Dónde:

**IMF:** Índice Modificado de Fournier en mm (Índice de agresividad climática)

**P<sub>i</sub>:** Precipitación media mensual del mes (mm)

**P:** Precipitación media anual (mm)

UNESCO (2006) clasifica el IMF como se presenta en el Cuadro 2.

**Cuadro 2:** Clasificación del IMF.

IMF (mm)	CLASIFICACIÓN
0 - 60	Muy Bajo
60 - 90	Bajo
90 - 120	Moderado
120 - 160	Alto
> 160	Muy Alto

FUENTE: UNESCO, 2006.

- **Factor K o índice de erodabilidad**

Representa la susceptibilidad del suelo a ser erosionado dependiendo de las propiedades intrínsecas del suelo como son: Pendientes, precipitación, cobertura y prácticas de manejo (Velásquez, 2008). Dicho factor se puede estimar de forma directa mediante una ecuación o bien de forma gráfica. Las propiedades que son necesarias para este factor son cuatro: Textura, con la finalidad de conocer las proporciones de arena, limo, arcilla y arenas muy finas. Se realiza esta especificación porque para efectos de la erosión del suelo, la arena muy fina se comporta similar al limo (Mancilla, 2008); materia orgánica; estructura del suelo, que se determina en el primer horizonte del perfil del suelo que se clasifica según las directrices de FAO (2009) como se ve en el Cuadro 3; y permeabilidad del suelo, donde se asignan seis valores diferentes dependiendo el grado de permeabilidad del suelo (Cuadro 4)

**Cuadro 3:** Códigos de los tipos de estructura del suelo según USLE.

CÓDIGO	TIPO DE ESTRUCTURA
1	Granular muy fina
2	Granular fina
3	Granular media a gruesa
4	Bloques
	Laminar
	Masiva

FUENTE: Mancilla, 2008.



**Cuadro 4:** Códigos de los tipos de permeabilidad del suelo según USLE.

CÓDIGO	CATEGORÍA DE PERMEABILIDAD
1	Rápida (más de 12.7 cm·h <sup>-1</sup> )
2	Moderada a rápida (6.3 a 12.7 cm·h <sup>-1</sup> )
3	Moderada (entre 2 y 6.3 cm·h <sup>-1</sup> )
4	Lenta a moderada (entre 0.5 y 2 cm·h <sup>-1</sup> )
5	Lenta (entre 0.13 y 0.5 cm·h <sup>-1</sup> )
6	Muy lenta (menor a 0.13 cm·h <sup>-1</sup> )

FUENTE: Mancilla, 2008

El Factor K se calcula según lo establecido por Renard *et al.* (1996) y Ochoa-Cueva *et al.* (2016) y se transforma al sistema internacional (ton·ha·h·ha<sup>-1</sup>·MJ<sup>-1</sup>·mm<sup>-1</sup>) mediante la Ecuación 5.

**Ecuación 5.** Factor K

$$K = 0.277 * 10^{-6} * M^{1.14}(12 - MO) + 0.0043(s - 2) + 0.0033(p - 3)$$

$$M = (\% \text{ Limo} + \% \text{ Arena más fina}) * (100 - \% \text{ Arcilla})$$

Dónde:

**K:** Factor de erosividad del suelo (ton·ha·h·ha<sup>-1</sup>·MJ<sup>-1</sup>·mm<sup>-1</sup>)

**MO:** Materia orgánica (%)

**s:** Tipo de estructura granular del suelo

**p:** Tipo de permeabilidad

**M:** Índice de textura

- **Factor LS o longitud y gradiente de la pendiente**

Según Ramírez (2010), el factor LS es conocido como factor topográfico y expresa el efecto del relieve sobre la pérdida de suelos mediante el producto de la longitud de la pendiente (L) y la inclinación de dicha pendiente (S). Por tanto, a medida que la escorrentía se acumula en una pendiente alargada, su capacidad de desprender y transportar se incrementa (INETER, 2005). Concretamente, el factor L es la distancia desde el origen de la escorrentía superficial a lo largo de su vía de flujo a la localidad donde se concentra el flujo o donde se deposita el suelo desprendido (Barrios y Quiñonez, 2000) y su determinación está definida mediante la Ecuación 6:

**Ecuación 6.** Determinación del Factor L

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

Dónde:

- $\lambda$** : Longitud de la pendiente.
- $m$** : Exponente de la longitud de la pendiente
- $\beta$** : Ángulo de la pendiente.

Sin embargo, cuando se trabaja con el área de drenaje aportadora se realiza la Ecuación 7.

**Ecuación 7.** Modificación del Factor L.

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

Dónde:

- $A_{(i,j)}$** : Área aportadora unitaria a la entrada de un pixel.
- $m$** : Exponente de la longitud de la pendiente
- $D$** : Tamaño de píxel.
- $x$** : Factor de corrección de forma.

Por otra parte, el factor S representa los efectos de la inclinación en la erosión. La pérdida de suelo se incrementa rápidamente con pendientes muy escarpadas en comparación con el incremento en longitud de la pendiente. La relación entre la pérdida del suelo y la gradiente se ve influenciada por la densidad de la cobertura vegetal y el tamaño de las partículas del suelo (Barrios y Quiñonez, 2000) y, por tanto, se aplica la Ecuación 8.

**Ecuación 8.** Factor S

$$S_{(i,j)} = \begin{cases} 10.8 \sin \beta_{(i,j)} + 0.03 & \tan \beta_{(i,j)} < 0.09 \\ 16.8 \sin \beta_{(i,j)} - 0.5 & \tan \beta_{(i,j)} \geq 0.09 \end{cases}$$

Cuando se aplica esta fórmula en el Raster Calculator de ArcGIS se debe convertir el ángulo a radianes (1 grado sexagesimal = 0.01745 radianes), para que pueda ser multiplicado por todos los componentes de las ecuaciones.

- **Factor C o de cobertura vegetal**

Según el INETER (2005), la cobertura de suelo es la mayor defensa contra la erosión, sin embargo, si existen cultivos influye de gran manera sobre la superficie del suelo. El factor C se utiliza para reflejar el efecto del cultivo y las prácticas de manejo en las tasas de erosión e indica cómo el plan de conservación afectará la pérdida promedio anual y cómo la pérdida potencial de suelo será distribuida en el tiempo durante las actividades de construcción, rotaciones de cultivo u otros esquemas de manejo (Velásquez, 2008). En el Cuadro 5 se observan las ponderaciones que se han asignado en diversos estudios realizados.

**Cuadro 5:** Tipos de cobertura en la zona de estudio.

NIVEL I	NIVEL II	COBERTURA	FAO, 1989	Saborio, 2002	Marcha- malo, 2007	Lianes <i>et al.</i> , 2009	Cayo, 2011
				Gómez, 2002			
				CATIE, 2003			
Bosque	Bosque Nativo	Bosque natural	0.003		0.003	0.003	
	Plantación Forestal	Bosque			0.003		
Tierra Agro-pecuaria	Cultivo Anual	Cultivos anuales	0.495				0.25
	Cultivo Semi-permanente	Cultivos (cobertura media)			0.5		
	Cultivo Permanente	Cultivos permanentes no densos		0.100-0.450			
	Pastizal	Pastizal cultivado (manejado)		0.003-0.040			
	Mosaico Agropecuario	Cultivos permanentes asociados (densos)		0.010-0.300			
Vegetación Arbustiva y Herbácea	Vegetación Arbustiva	Matorral claro, substrato herbáceo degradado		0.030-0.100			
	Vegetación Herbácea	Pastizal natural pastoreado		0.040-0.200			
	Páramo	Páramo		0.003-0.040			
Cuerpos de Agua	Natural	Lagunas y embalses		0	0		
	Artificial						
Zonas Antrópicas	Área Poblada	Áreas urbanas		0.003-0.010	0.015		
	Infraestructura						
Otras Tierras	Glaciar						
	Área sin cobertura	Suelo desnudo		0.900-1.000			1

**- Factor P o de prácticas de conservación de suelos**

El factor P representa las prácticas de control o soporte para disminuir la erosión y depende de la pendiente del terreno como se puede ver en el Cuadro 6 (INETER, 2005; Velásquez, 2008). Los valores del factor P varían de 0 a 1, donde se asigna el valor de cero a una excelente instalación de resistencia a la erosión hecha por el hombre, y uno indica que no existe una instalación de erosión por resistencia artificial (Sheikh *et al.*, 2011).

**Cuadro 6:** Valores asignados según tipo de práctica de conservación.

<b>PENDIENTE</b>	<b>CONTORNO</b>	<b>FRANJAS</b>	<b>TERRAZAS</b>
0.0 – 7.0	0.55	0.27	0.10
7.0 – 11.3	0.60	0.30	0.12
11.3 – 17.6	0.80	0.40	0.16
17.6 – 26.8	0.90	0.45	0.18
>26.8	1.00	0.50	0.20

FUENTE: Shin, 1999.

Según Renard *et al.*, (1996), las prácticas de soporte tienen un efecto local en la reducción del riesgo de erosión del suelo y existen varias, entre las que se detallan: La agricultura de contorno significa que los agricultores aplican ciertas prácticas de campo como arar o plantar a lo largo de contornos, perpendiculares a la dirección de flujo normal de la escorrentía. Reduce la velocidad de escurrimiento al aumentar la rugosidad de la superficie hacia arriba y hacia abajo. Cuando hay mayor rugosidad de la superficie se reduce la velocidad del agua y proporciona más tiempo para la infiltración. Este tipo de práctica depende del gradiente de la pendiente. El cultivo en franjas es una práctica de soporte donde las franjas de los cultivos se alternan con franjas de vegetación de crecimiento cercano, como pastos y leguminosas. Los cultivos generalmente se rotan secuencialmente para que, en algún momento del ciclo de rotación, cada cosecha haya crecido en cada franja. El ancho de las franjas son generalmente las mismas.

Finalmente, las terrazas reducen la erosión al fragmentar la pendiente en longitudes más cortas. Además, la deposición a lo largo de las terrazas atrapa gran parte del sedimento erosionado. El sedimento depositado permanece en el campo y se redistribuye en una porción significativa del campo, reduciendo así el deterioro del suelo causado por la erosión. Además, las terrazas y los canales de salida adecuadamente diseñados recogen la escorrentía superficial y la transportan fuera del campo a velocidades no erosivas. Sin las terrazas y los canales de salida, la escorrentía en cursos de agua naturales en campos sin terraza puede causar una erosión significativa.

## 2.4. Geomática

### 2.4.1. Sistema de información geográfica (SIG)

SIG es el conjunto de métodos, herramientas y datos que están diseñados para actuar de forma coordinada y lógica con la finalidad de capturar, almacenar, analizar, transformar y presentar toda la información geográfica para satisfacer diferentes propósitos (Brenes, 2015). Permite la entrada, almacenamiento, representación y salida eficiente de datos espaciales (mapas) y atributos (descriptivos) de acuerdo con especificaciones y requerimientos concretos (Navarro, 2011).

- **Componentes**

Según Olaya (2014) hay dos formas de clasificar los componentes del SIG, la primera basada en subsistemas y la segunda formada por elementos interrelacionados. En la clasificación por subsistemas se distingue: Datos que es información necesaria con la que se trabaja. Métodos que son las formulaciones y metodologías a aplicar. Software que son las aplicaciones informáticas. Hardware que es el equipo para ejecutar el software, y personas que son las encargadas de diseñar y utilizar el software para el manejo de los datos. Mientras que en la clasificación por elementos se identifica: Datos que son la información con la que se construye y trabaja los SIG. Análisis que engloba los métodos y procesos aplicados. Visualización que son los métodos y fundamentos relacionados con la representación de los datos. Tecnología incluye al software y al hardware, y el factor organizativo que se refiere a la coordinación entre personas, datos y tecnología.

- **Bases de datos (BD)**

Ramos *et al.* (2006) manifiesta la necesidad de reconocer en la colección de datos sus relaciones para estructurarlos y organizarlos de tal manera que expresen la realidad, y Sánchez (2004) considera que una base de datos es una serie de datos relacionados y estructurados lógicamente. A partir de este concepto surgió la base de datos geográfica referido a una colección de datos organizados de tal manera que sirvan para aplicaciones SIG. Esta base de datos comprende la asociación entre datos espaciales y atributos o datos no espaciales (Morales, 2001)

## 2.4.2. Teledetección

Chuvieco (2011), define a la teledetección como la tecnología que permite la observación, adquisición remota, tratamiento y procesamiento de imágenes de la superficie terrestre mediante sensores aéreos y espaciales.

- ***Proyecto Landsat***

Según el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS, por sus siglas en inglés) (2017), las imágenes satelitales pueden obtenerse de la base de datos generada por el programa Landsat que ofrece el registro mundial continuo más largo e importante. Desde 1970 se ha generado y recopilado información espectral de la superficie de la Tierra, creando un archivo histórico sin igual en calidad, detalle, cobertura y duración lo que permite evaluar los cambios en el paisaje de la Tierra (USGS, 2017).

- ***Imágenes satelitales***

Una imagen es una representación en dos dimensiones de un objeto que se define por colores o diferentes niveles de gris (Harald, 1997). Los sensores convierten los valores de reflectividad en valores numéricos también llamados valores radiométricos que se extienden entre 0 y 255 (8 bits). Estos valores son almacenados en matrices numéricas compuestas de píxeles. El valor numérico que codifica cada pixel se denomina nivel digital (ND) y se define a través de su posición (fila/columna) y su valor, 0 (0% de reflectividad) negro y 255 (100% reflectividad) blanco. Los ND de la imagen son almacenados en códigos binarios (0 ó 1), estas imágenes se organizan en una serie de archivos, cada uno de los cuales se descomponen en registros. Normalmente, la imagen cuenta con un archivo de cabecera (*header file*) en donde se almacenan sus metadatos (Chuvieco, 2010).

- ***Restauración de Imágenes***

Según Eastman (2012), existen dos tipos de restauración de imágenes: La restauración radiométrica y la geométrica. La primera restauración se encarga de la fidelidad de las lecturas de energía electromagnética por parte del sensor. Por otro lado, la restauración geométrica se ocupa de la fidelidad espacial de las imágenes. La medición de las características radiométricas se hace cargo de la neblina atmosférica, la calibración del sensor, las influencias topográficas sobre la iluminación, el ruido del sistema, etc., mientras

que la restauración geométrica en la mayoría de los casos ya está realizada por el distribuidor de imágenes.

- ***Clasificación***

Según Weng (2009), las imágenes satelitales se clasifican según la reagrupación de los niveles digitales (ND) de los píxeles. Existen dos tipos de clasificación: No supervisada y supervisada.

- **Clasificación no supervisada.**

Este método define las clases espectrales presentes en las imágenes y no requiere conocimiento del área de estudio (Chuvieco, 2010). Se agrupa los píxeles con valores digitales similares más prevaletentes para todas las bandas y cada una de estas agrupaciones son llamadas clases espectrales, las cuales se supone que corresponden a un tipo de cubierta de terreno (Gutiérrez, 2005). Otros autores como Eastman (2012) manifiestan que es un procedimiento automático en el que se define unidades de acuerdo a la discriminación espectral de cada una de las bandas del sensor y al número de clases que se defina. En conclusión, la clasificación no supervisada categoriza una imagen multibanda y estadísticamente implica cambiar de una variable continua a una categórica.

- **Clasificación supervisada.**

La clasificación supervisada se basa en el conocimiento previo del número de clases y algunos parámetros estadísticos asociados a cada clase espectral presente en una imagen. Se identifican algunos ejemplos de los tipos de cubierta terrestre (sitios de entrenamiento) que existen en la imagen (Espinoza, 2009). Este proceso se ejecuta mediante clasificadores rígidos, blandos e hiperespectrales (Eastman, 2012) y se realiza cálculos estadísticos para cada categoría, a partir de los ND de todos los píxeles incluidos los sitios de entrenamiento, ya que estas áreas son representantes de las distintas categorías (Chuvieco, 2010).

- ***Análisis de Cambio***

El análisis de cambio se puede realizar en Idrisi Selva, a través, del módulo “Markov”. Consiste en un procedimiento de predicción del cambio del uso del suelo que utiliza la combinación de autómatas celulares y de las cadenas de Markov (Eastman, 2012). La cadena



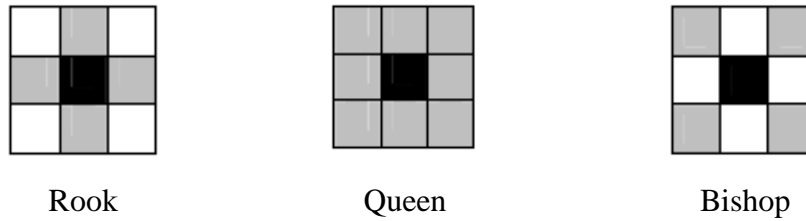
espacio-temporal de Markov se basa en la regla de contigüidad (Pontius y Malanson, 2005) y es utilizada para estimar las probabilidades de que un uso de suelo determinado cambie en un periodo dado a otro uso de suelo (Paegelow *et al.*, 2003). Es una herramienta de utilidad para el estudio de la dinámica que se produce en el territorio, aportando información útil para generar propuestas para el uso adecuado del territorio (Briceño, 2005).

En el módulo “Markov” se analizan dos imágenes cualitativas de la cubierta del terreno de diferentes fechas y produce una matriz de transición con un juego de imágenes de probabilidad condicional. Posteriormente, el módulo “Land Change Modeler” (LCM) analiza los cambios en la cubierta de terreno, proyecta su curso en el futuro y evalúa sus implicaciones en el cambio de hábitat (Eastman, 2012).

### **2.4.3. Estadística espacio temporal**

La estadística espacio temporal surge de la combinación de los SIG con los métodos estadísticos. Permite realizar un análisis exploratorio para el estudio de variables espaciales, sobretodo, aquellos que tiene una influencia consigo misma en zonas próximas o adyacentes. Existen metodologías como la autocorrelación espacial de Moran que con la ayuda de las tecnologías y siguiendo un modelo estadístico-matemático permite simular la naturaleza y movilidad de la variable en diferentes zonas de manera directa. La autocorrelación espacial muestra como una variable está relacionada en una distribución espacial. Esta relación permite asociar patrones de comportamientos en diferentes áreas geográficas, de tal manera que la variación de cualquier fenómeno depende de su ubicación y de las áreas adyacentes (Rivera, 2014).

Según Sánchez (2008), el análisis espacial se encarga de determinar la contigüidad de las unidades espaciales empleando una matriz de interacciones espaciales, compuesta por ceros y unos, de tal forma que si dos unidades espaciales son vecinas se les asigna el valor uno, y si no lo son se les otorga el valor cero. Hay varias formas de definir este proceso (Figura 3), entre las que destacan: La contigüidad tipo “Rook”, en donde, una unidad espacial será vecina de otra si comparte con ésta un lado o borde del cuadrado. La contigüidad tipo “Bishop”, en donde, dos unidades espaciales serán vecinas si comparten un vértice del cuadrado, y, la contigüidad tipo “Queen” que considera vecinas a las unidades espaciales que comparte un borde o un vértice del cuadrado.



**Figura 3.** Tipos de contigüidad.

FUENTE: Baronio *et al.*, 2012.

- **Índices de autocorrelación espacial**

Se emplean para verificar la existencia o ausencia de autocorrelación espacial, como la I de Moran, que es la más conocida y empleada. Trata de contrastar la hipótesis nula de ausencia de autocorrelación espacial (aleatoriedad espacial) frente a la hipótesis alternativa de existencia de autocorrelación espacial (positiva o negativa). Estos índices pueden tener un carácter global o un carácter local. Los índices globales contrastan la hipótesis de autocorrelación espacial en la totalidad del territorio estudiado, y los índices locales se enfocan en un determinado subconjunto de unidades espaciales (Rivera, 2014)

- **El coeficiente Kappa ( $\kappa$ )**

Este coeficiente refleja la concordancia inter-observador y se calcula en tablas de cualquier dimensión, siempre y cuando se contrasten dos observadores. Toma valores entre -1 (mayor grado de concordancia inter-observador) y +1 (mayor grado de discordancia inter-observador). Un valor de  $\kappa = 0$ , refleja que la concordancia observada es la que se espera a causa exclusivamente del azar como se ve en el Cuadro 7 (Cerdea y Villarroel, 2008).

**Cuadro 7:** Valoración del coeficiente kappa.

Coeficiente Kappa	Fuerza de la concordancia
0.00	Pobre
0.01 – 0.20	Leve
0.21 – 0.40	Aceptable
0.41 – 0.60	Moderada
0.61 – 0.80	Considerable
0.81 – 1.00	Casi perfecta

FUENTE: Landis y Koch, 1977.

## 2.5. Estado del arte de la estimación

Existen varios estudios realizados en base a la estimación de la erosión, sin embargo, los abordan solamente desde un tipo de metodología (cualitativa o cuantitativa). Así, por ejemplo, Ganasri y Ramesh (2016) evaluaron la erosión del suelo por el modelo RUSLE empleando la teledetección y SIG en la cuenca Nethravathi en la cual se obtuvo que la pérdida potencial total anual estimada es de  $473.34 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$  y es comparable con el sedimento medido de  $441.87 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$  durante el periodo 2002 - 2003. Otro caso, es la evaluación de los modelos RUSLE y PESERA para predecir la pérdida de suelo por erosión en el primer año después del incendio forestal en el noroeste de España, realizado por Fernández y Vega (2016) donde se obtuvo que comparando las pérdidas de suelo predichas por los modelos y las pérdidas de suelo medidas en el primer año después de los incendios forestales el modelo RUSLE es más eficiente y acercado a la realidad. Por otra parte, Shi *et al.* (2002) evaluaron el riesgo de erosión con el modelo RUSLE y SIG en la zona media y baja del río Hanjiang y se observó que el 13% del área de estudio presenta pérdidas de suelo de 10 a  $30 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$  lo que la sitúa en erosión de tipo moderada.

Castro (2013) estimó la pérdida de suelo por erosión hídrica en la microcuenca Madin (México) e identificó que el 26.94% de la zona de estudio presenta pérdidas de suelo de 50 a  $200 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$  siendo una erosión fuerte. Otro estudio realizado en México es el de Flores *et al.* (2003) en la cuenca hidrográfica de Tepatitlán, Jalisco, donde se integró la ecuación universal de pérdida del suelo (EUPS) a un SIG para estimar la erosión hídrica y se obtuvo que el 17.55% del área de estudio presenta pérdidas de suelo equivalentes a un moderado potencial erosivo ( $12.36 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ ). Finalmente, entre todos los estudios realizados y revisados, cabe destacar el de Aroussi, *et al.* (2013) en el cual se modeló y mapeó la erosión del suelo en la cuenca del Oued El Maleh (Marruecos) mediante la teledetección y el SIG, y se observó que el valor máximo de pérdida del suelo es de  $169.41 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$  señalando que existe un fuerte potencial erosivo en la zona de estudio.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Área de estudio

##### 3.1.1. Ubicación

Según Muñoz (2013), la subcuenca Catamayo junto a las subcuencas Alamor y Macará conforman la Cuenca Catamayo que al unirse a la Cuenca Chira dan lugar a la Cuenca Binacional Catamayo-Chira. Específicamente, en cuanto a la subcuenca del río Catamayo, su cauce principal se forma a partir de la unión de dos importantes afluentes:

- **El Río Guayabal**, conformado por los ríos Gualle y Ari, y el Río Trapecillo, que nacen en la parte norte de la Cuenca en la Cordillera de Fierrouroco, con una altitud máxima de 3,754 msnm.
- **El Río Chinguilamaca**, que aguas arriba se llama Piscobamba, conformado por los aportes de los ríos Chota, Vilcabamba, Masanamaca y Palmira que nacen del río la Tuna y otros que nacen en altitudes de 3,673 msnm.

Agua abajo y después de las poblaciones de Catamayo, en el margen derecho, este río recibe la aportación de otros drenajes como el río Playas, cuyo nacimiento parte de alturas de 2,148 msnm., más abajo hay aportes de quebradas como Quinara y Artones. El río Catamayo termina cuando se une con el río Macará y conforma el Río Chira a una altura de 284 msnm. La configuración topográfica accidentada presenta la conformación de un valle de importancia como es el valle de Catamayo donde se desarrollan importantes actividades agrícolas.

Uno de los principios constitucionales de la República del Ecuador norma la división político-administrativa en tres estratos: Provincia, cantón y parroquia. Es así que en el Cuadro 8 se observa la división para el caso de la subcuenca del río Catamayo.

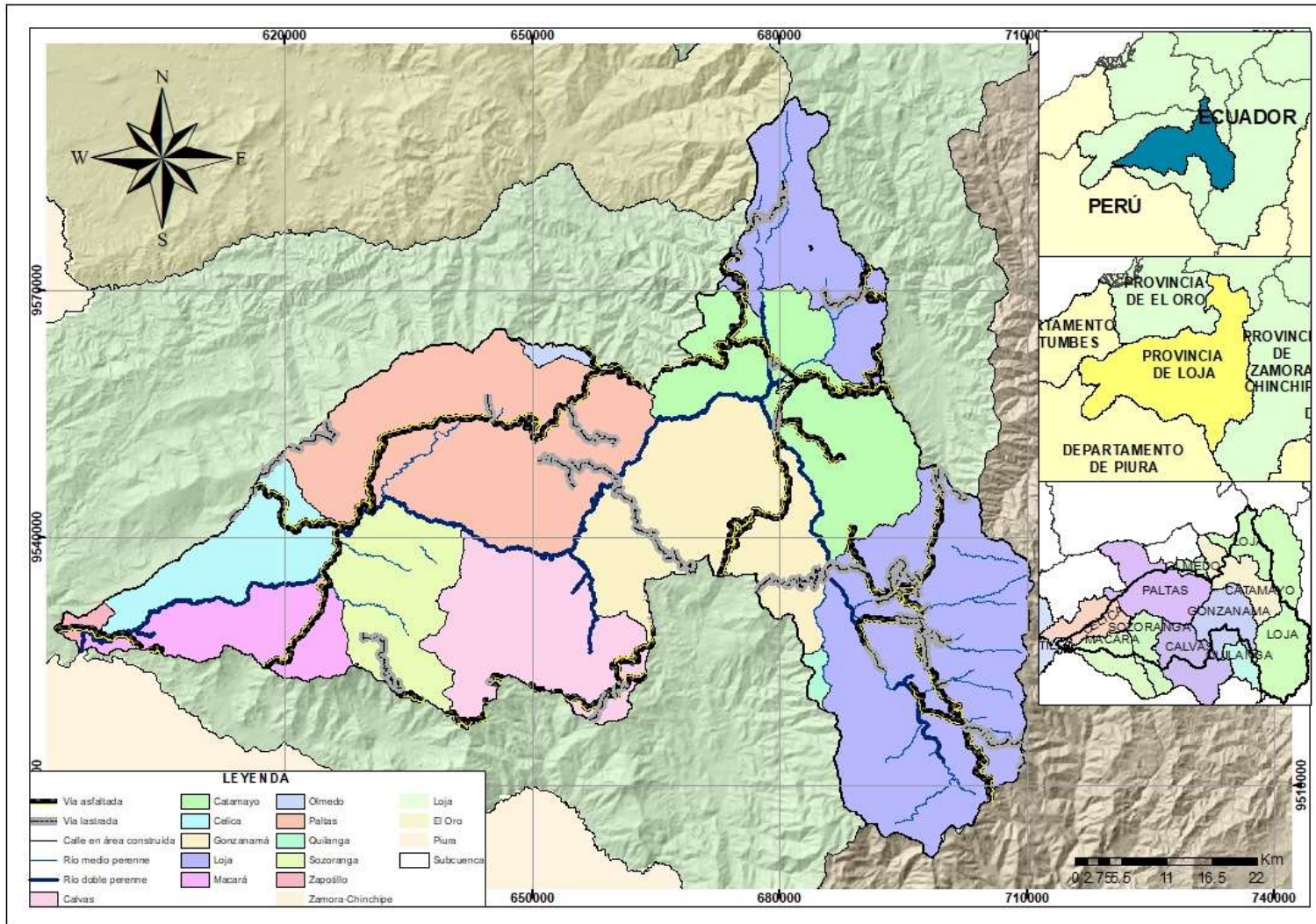
**Cuadro 8:** Superficies de cada cantón de la subcuenca del río Catamayo.

PROVINCIA	CANTÓN	ÁREA	ÁREA	PORCENTAJE
		TOTAL (ha)	SUBCUENCA (ha)	(%)
Loja	Loja	189,550.46	117,592.75	28.10
	Paltas	115,516.54	78,048.12	18.65
	Gonzanamá	69,847.08	56,208.69	13.43
	Catamayo	65,191.04	48,953.6	11.70
	Calvas	84,107.09	39,677.93	9.48
	Sozoranga	41,060.63	27,804.68	6.64
	Celica	52,129.23	23,470.53	5.61
	Macará	57,571.2	21,929.25	5.24
	Olmedo	11,253.53	1,705.71	0.41
	Zapotillo	121,339.19	1,677.94	0.40
	Quilanga	23,668.06	1,384.34	0.33
<b>TOTAL</b>		<b>831,234.05</b>	<b>418,453.54</b>	<b>100.00</b>

FUENTE: INEC, 2017.

La subcuenca Catamayo tiene una superficie es de 418,453.54 ha ocupando el 37.82% de la superficie provincial. En la Figura 4 se observan los límites de la subcuenca del río Catamayo:

- **Norte**, con los cantones Saraguro, Chaguarpamba, Olmedo y provincia de El Oro.
- **Sur**, con los cantones Quilanga, Espíndola y con Perú.
- **Este**, cordillera oriental y hoya de Loja.
- **Oeste**, con los cantones Zapotillo, Pindal y Puyango.



**Figura 4:** Ubicación de la zona de estudio.

FUENTE: IGM, 2013.

## **3.2. Materiales**

### **3.2.1. Fase de campo**

- Sistem Global Position (GPS)
- Cámara fotográfica
- Mapa de la zona de estudio
- Libreta de campo

### **3.2.2. Fase de gabinete**

- Ortofotos
- Imágenes satelitales
- ArcGIS Versión 10.3
- Microsoft Excel Versión 2013
- IDRISI Selva

## **3.3. Métodos**

La metodología que se llevó a cabo para realizar la presente investigación, se detalla en la Figura 5.

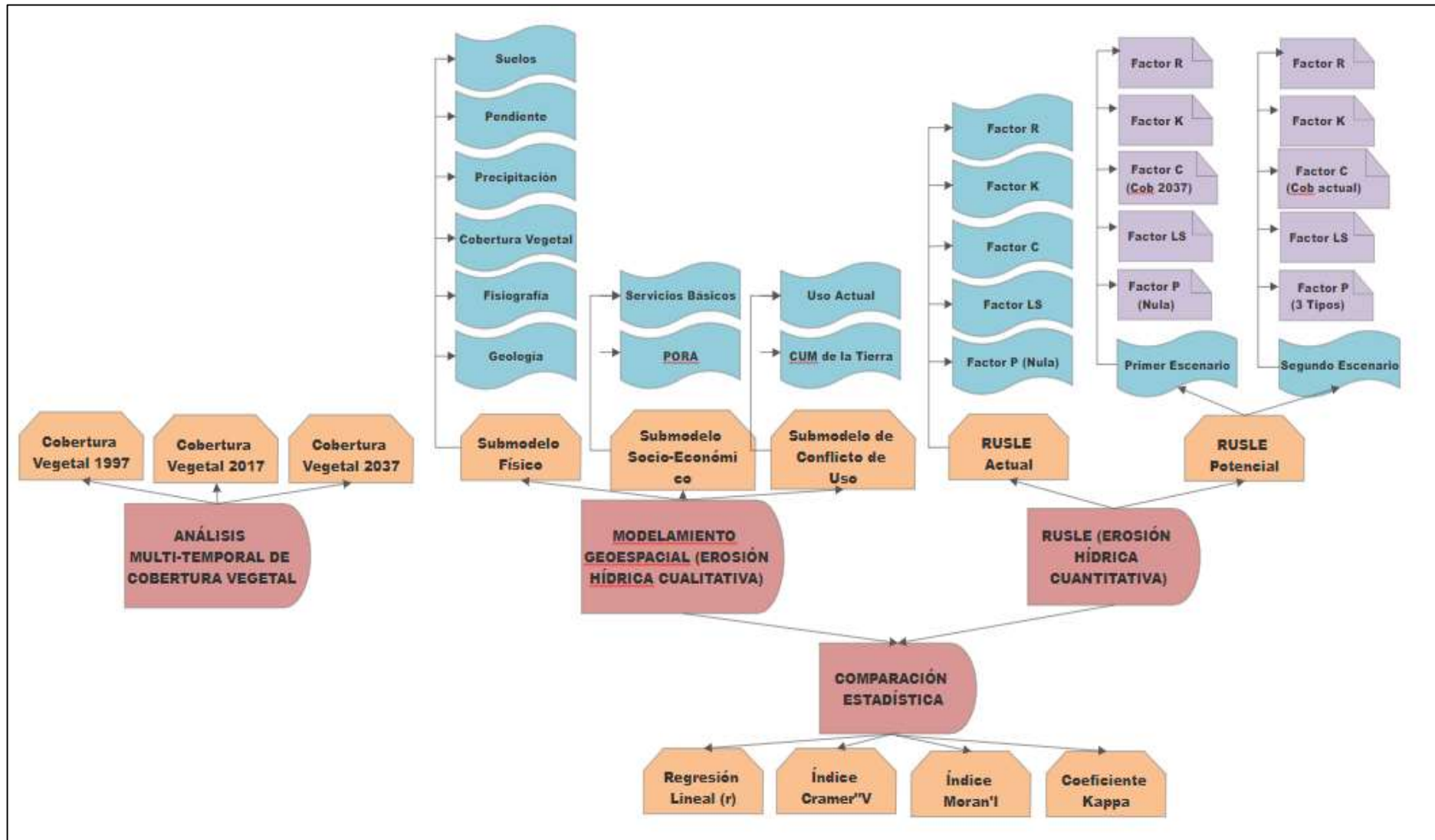


Figura 5: Esquema de la metodología.



### 3.3.1. Análisis del cambio de uso de suelo y sus efectos en la erosión hídrica a escala multitemporal en la subcuenca del río Catamayo.

- *Obtención de las imágenes satelitales.*

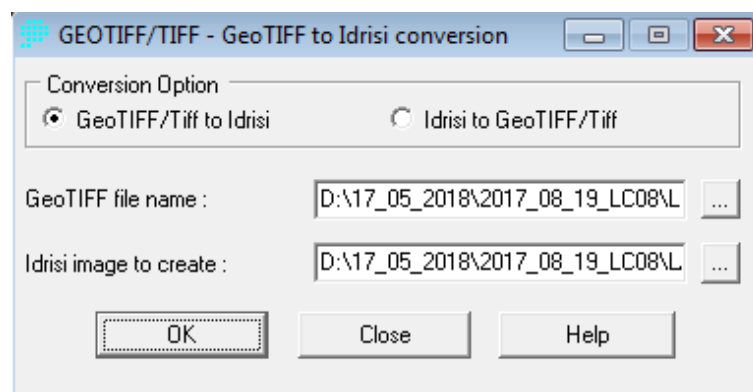
Las imágenes satelitales Landsat se obtuvieron del portal del USGS en formato “.Tiff” (Tagged Image File Format). El path y el row fueron 10 y 63 respectivamente, otros detalles se observan en el Cuadro 9.

**Cuadro 9:** Características de las imágenes satelitales.

DATOS	IMAGEN 1997	IMAGEN 2017
	LT50100631997208AAA01	LC80100632017231LGN00
SENSOR	TM	OLI/TIRS
HORA	14:58:23.19	15:27:34.10
FECHA	27- 07- 1997	19-08-2017
ID	0501612296816_08654	0701708230847_00011
ELEVACIÓN DEL SOL	47.16375478	57.10860422
DISTANCIA DE LA TIERRA AL SOL	1.0154894	1.0119637
ELIPSOIDE	WGS84	WGS84
ZONA	17 SUR	17 SUR

FUENTE: USGS, 2017.

Las bandas de cada imagen satelital se importaron a formato compatible al software Idrisi Selva, mediante el módulo “Geotiff/Tiff – GeoTiff to Idrisi conversion”, como se ve en la Figura 6.

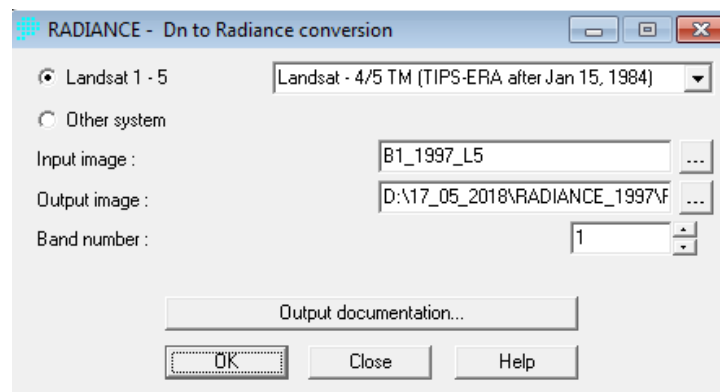


**Figura 6:** Módulo “Geotiff/Tiff – GeoTiff to Idrisi conversion”.

FUENTE: Idrisi Selva

- **Restauración de imágenes satelitales.**

La restauración geométrica se omitió puesto que Landsat ya realiza esta función. La corrección radiométrica y atmosférica se realizó mediante el módulo “Radiance” (Figura 7) y “Atmosc” (Figura 8) respectivamente. Radiance, convierte los valores de la radianza cruda en radiancia calibrada al usar tablas de búsqueda de valores de ganancia y compensación (Eastman, 2012). La calibración atmosférica se ejecutó mediante el modelo Cost con la finalidad de reducir el efecto de neblina y gases. Este modelo combina la corrección radiométrica para utilizar los ND sin formato y convertirlos a valores de reflectancia atmosférico.



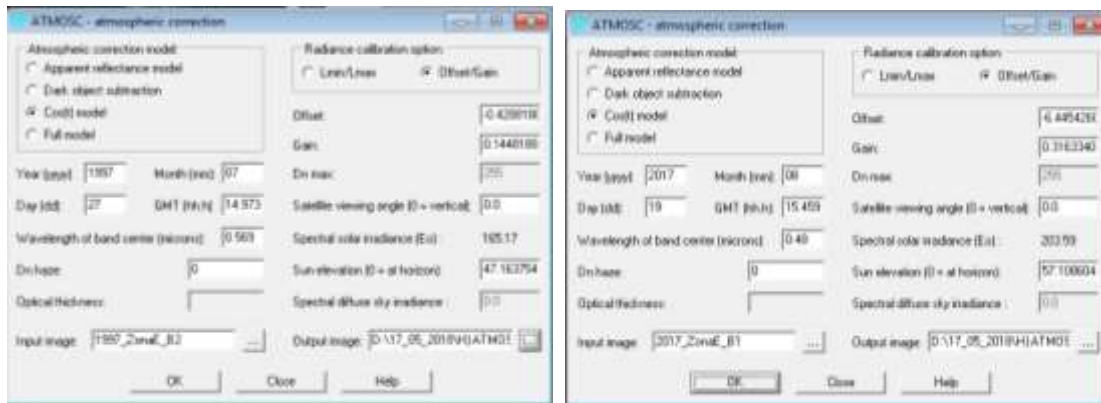
**Figura 7:** Módulo “Radiance”.

FUENTE: Idrisi Selva

Uno de los datos requeridos para ejecutar el módulo “Atmosc” (Figura 7) es el offset/gain, el cual, se generó a partir de la Ecuación 9. Los demás requerimientos se obtuvieron de la metadata de las imágenes satelitales que junto a los valores resultantes se observan en los Cuadros 10 y 11.

**Ecuación 9.** Gain y offset

$$Gain = \frac{(L_{max} - L_{min}) * 0.1}{DN_{max} - DN_{min}} \quad Offset = (L_{min} * 0.1) - (Gain * DN_{min})$$



**Figura 8:** Módulo “Atmosc”.

FUENTE: Idrisi Selva

**Cuadro 10:** Características de la imagen satelital Landsat 5.

BANDA	RANGO ESPECTRAL	LONGITUD DE ONDA CENTRAL	RADIANZA			
			Lmin/Lmax		Gain/Offset	
1	0.452 – 0.518	0.485	Máx	193.000	Gain	0.0766
			Mín	-1.520	Offset	-0.2286
2	0.529 – 0.609	0.569	Máx	365.000	Gain	0.1448
			Mín	-2.840	Offset	-0.4288
3	0.626 – 0.693	0.660	Máx	264.000	Gain	0.1044
			Mín	-1.170	Offset	-0.2214
4	0.776 – 0.904	0.840	Máx	221.000	Gain	0.0876
			Mín	-1.510	Offset	-0.2386
5	1.567 – 1.784	1.676	Máx	30.200	Gain	0.0120
			Mín	-0.370	Offset	-0.0490
6	10.45 – 12.42	11.435	Máx	15.303	Gain	0.0055
			Mín	1.238	Offset	0.1183
7	2.097 – 2.349	2.223	Máx	16.500	Gain	0.0066
			Mín	-0.150	Offset	-0.0216

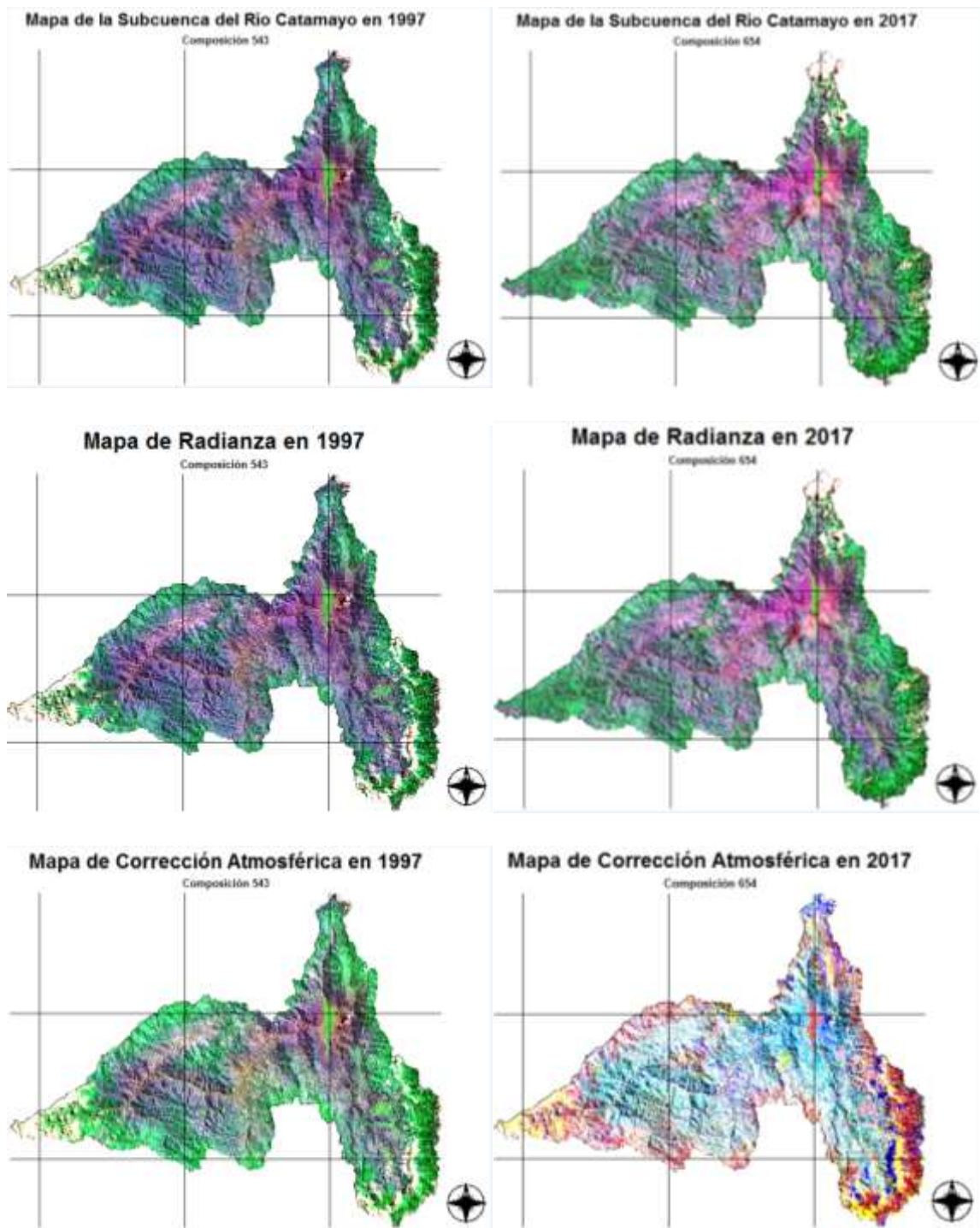
FUENTE: Metadata de la imagen satelital.

**Cuadro 11:** Características de la imagen satelital de Landsat 8.

BANDA	RANGO ESPECTRAL	LONGITUD DE ONDA CENTRAL	RADIANZA			
			Lmin/Lmax		Gain/Offset	
1	0.43 – 0.45	0.44	Máx	742.19757	Gain	0.3163
			Mín	-61.29092	Offset	-6.4454
2	0.45 – 0.51	0.48	Máx	760.01935	Gain	0.3239
			Mín	-62.76265	Offset	-6.6002
3	0.53 – 0.59	0.56	Máx	700.35132	Gain	0.2985
			Mín	-57.83524	Offset	-6.0820
4	0.64 – 0.67	0.655	Máx	590.57568	Gain	0.2517
			Mín	-48.76993	Offset	-5.1287
5	0.85 – 0.88	0.865	Máx	361.40286	Gain	0.1540
			Mín	-29.84477	Offset	-3.1385
6	1.57 – 1.65	1.61	Máx	89.87761	Gain	0.0383
			Mín	-7.42212	Offset	-0.7805
7	2.11 – 2.29	2.20	Máx	30.29357	Gain	0.0129
			Mín	-2.50165	Offset	-0.2631
8	0.50 – 0.68	0.59	Máx	668.36914	Gain	0.2849
			Mín	-55.19414	Offset	-5.8043
9	1.36 – 1.38	1.37	Máx	141.24443	Gain	0.0602
			Mín	-11.66401	Offset	-1.2266
10	10.60 – 11.19	10.895	Máx	22.00180	Gain	0.0086
			Mín	0.10033	Offset	0.0014
11	11.50 – 12.51	12.005	Máx	22.00180	Gain	0.0086
			Mín	0.10033	Offset	0.0014

FUENTE: Metadata de la imagen satelital.

En la Figura 9, se observa la restauración de las imágenes satelitales. En el primer par de imágenes se observa la combinación de bandas “543” para la imagen landsat 5 correspondiente al año 1997 y “654” para la imagen landsat 8 del 2017. Esta combinación es característica e idónea para análisis de cobertura. En el segundo y tercer par de imágenes se aprecia los resultados de la corrección radiométrica, donde se transformaron los niveles digitales a reflectancia para poder trabajar con variables físicas de significa estándar tal como lo realizó Michalijos y Uboldi (2013)

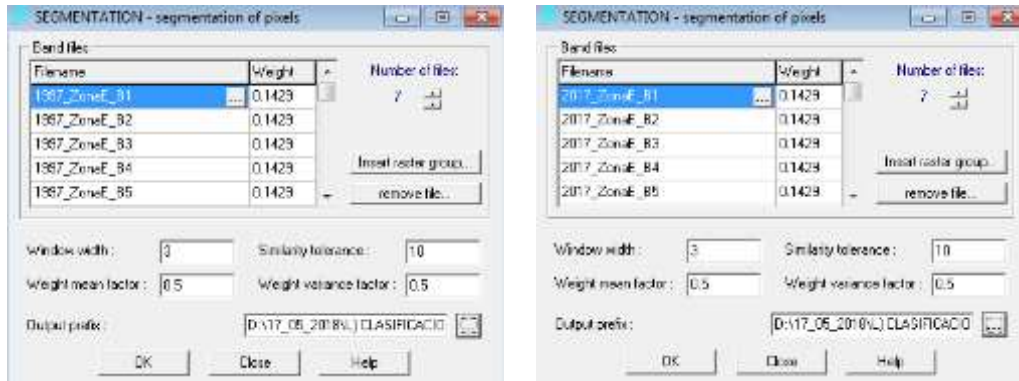


**Figura 9:** Preprocesamiento de las imágenes satelitales.

FUENTE: Idrisi Selva.

- **Clasificación Supervisada de la Cobertura Vegetal**

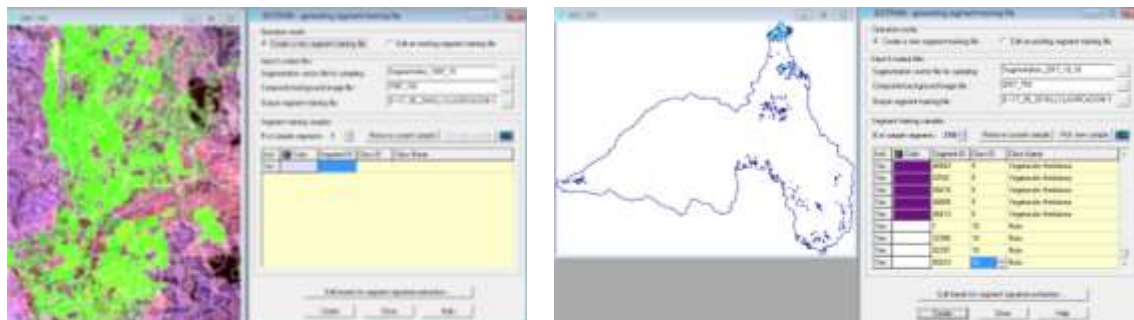
Se realizó la clasificación supervisada de la cobertura vegetal a los dos años en análisis (1997 y 2017), para ello se unieron las bandas en un grupo raster para cada año. Después, se hizo la segmentación de cada grupo con el módulo “Segmentation” (Figura 10).



**Figura 10:** Módulo “Segmentation” para los dos grupos raster de 1997 y 2017.

FUENTE: Idrisi Selva.

Posteriormente, se digitalizaron las áreas de entrenamiento mediante el módulo “Segtrain” para cada grupo raster y empleando la composición “742” para Landsat 5 (1997) y “753” para Landsat 8 (2017), como se ve en la Figura 11. Al realizar este proceso se definieron los diferentes tipos de firmas espectrales (Figura 12) presentes en la zona de estudio, los cuales son: (1) Nubes, (2) Sombras, (3) Páramo, (4) Bosque, (5) Pastizal, (6) Vegetación Arbustiva, (7) Vegetación Herbácea, (8) Zona Antrópica, (9) Cultivos y (10) Nulo. Posteriormente, se eliminaron las nubes, las sombras y las zonas externas a la zona de estudio (nulo), quedando finalmente, siete coberturas. La clasificación de coberturas, se realizó según una adaptación de lo establecido por el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE, 2014) y por el Panel Intergubernamental de Cambio climático (IPCC) para el Ecuador.



**Figura 11:** Módulo “Segtrain” para los dos grupos raster de 1997 y 2017.

FUENTE: Idrisi Selva



unidades detectadas para sitios idénticos entre dos épocas diferentes, contabilizando las áreas de píxel que cambian y registran de qué unidades provienen aquellas que cambiaron. En la segunda etapa, “Transition Potentials”, se estableció el submodelo “Disturbio”, donde se evaluaron las tendencias de cambio que influyen en la erosión hídrica, que para el caso en estudio son: De páramo a pastizal, de páramo a cultivo, de vegetación arbustiva a pastizal, de vegetación arbustiva a cultivo, de vegetación herbácea a pastizal, de vegetación herbácea a cultivo, de bosque a cultivo, de bosque a pastizal y de cultivo a pastizal. Adicionalmente, se incluyeron variables de restricción booleanas (pendientes y drenaje) que influyen en los cambios potenciales que experimentan las coberturas a lo largo del tiempo. En la última etapa, “Change Prediction”, se intrudjo el año para el cual se requiere la predicción, en el caso del estudio, es 2037, donde se obtuvo la matriz de Markov de cambio y el mapa de cobertura propuesto para 2037.

### 3.3.2. Identificación de las áreas de la subcuenca del río Catamayo con erosión hídrica mediante el Modelamiento Geoespacial.

- *Recopilación de información*

En el Cuadro 12, se muestra la información que se requirió, así como la fuente, la escala y el año correspondiente.

**Cuadro 12:** Escala y año de las variables en análisis.

SUBMODELO	VARIABLES	FUENTE	ESCALAS	AÑO
<b>Físico</b>	Suelo	IEE	1:25,000	2011 - 2013
	Pendiente	IGM	1:50,000	2013
	Cobertura Vegetal	MAGAP - MAE	1:100,000	2013 - 2014
	Geología	INFOPLAN	1:1'000,000	2000 - 2002
	Fisiografía	IEE - MAGAP	1:25,000	2011 - 2013
	Precipitación	IEE	1:50,000	2012
<b>Socio-económico</b>	PORA	IEE	1:25,000	2013
	SSBB	IEE	1:25,000	2013
<b>Conflicto de uso</b>	Uso actual	MAGAP - MAE	1:100,000	2013 - 2014
	Capacidad de Uso Mayor de la Tierra	MAGAP - MAE	1:100,000	2013 - 2014



- *Elaboración de la base de datos digital de la subcuenca del río Catamayo*

Se diseñó la base de datos de los submodelos físico, socio-económico y de conflicto de uso para obtener el Modelo Integrado de Erosión Hídrica, empleando el software ArcGIS 10.3.

- **Submodelo Físico de Erosión Hídrica (SFEH)**

Las variables físicas que integran la base de datos para el submodelo físico son las que se pueden observar en la Figura 14.

Después de identificar las variables y diseñar la base de datos, se analizaron las unidades de cada variable y se otorgó una calificación a cada unidad según la influencia que tiene en los procesos de erosión hídrica en la zona de estudio (Ecuación 10). La calificación se realizó según la metodología de Saaty (1980) conjuntamente con el criterio de la autora y otros estudios similares, y verificado mediante una inspección en campo.

**Ecuación 10.** Submodelo Físico de Erosión Hídrica.

$$\text{SFEH} = \mathbf{a} * \text{PEN} + \mathbf{b} * \text{PRE} + \mathbf{c} * \text{SUE} + \mathbf{d} * \text{CV} + \mathbf{e} * \text{GEO} + \mathbf{f} * \text{FIS}$$

Dónde:

**SFEH:** Submodelo Físico de Erosión Hídrica

**PEN:** Variable de Pendiente

**PRE:** Variable de Precipitación

**SUE:** Variable de Suelos

**CV:** Variable de Cobertura Vegetal

**GEO:** Variable Geológica

**FIS:** Variable Fisiográfica

**a, b, c, d, e, f:** Ponderaciones (Sumadas da un total de 1)

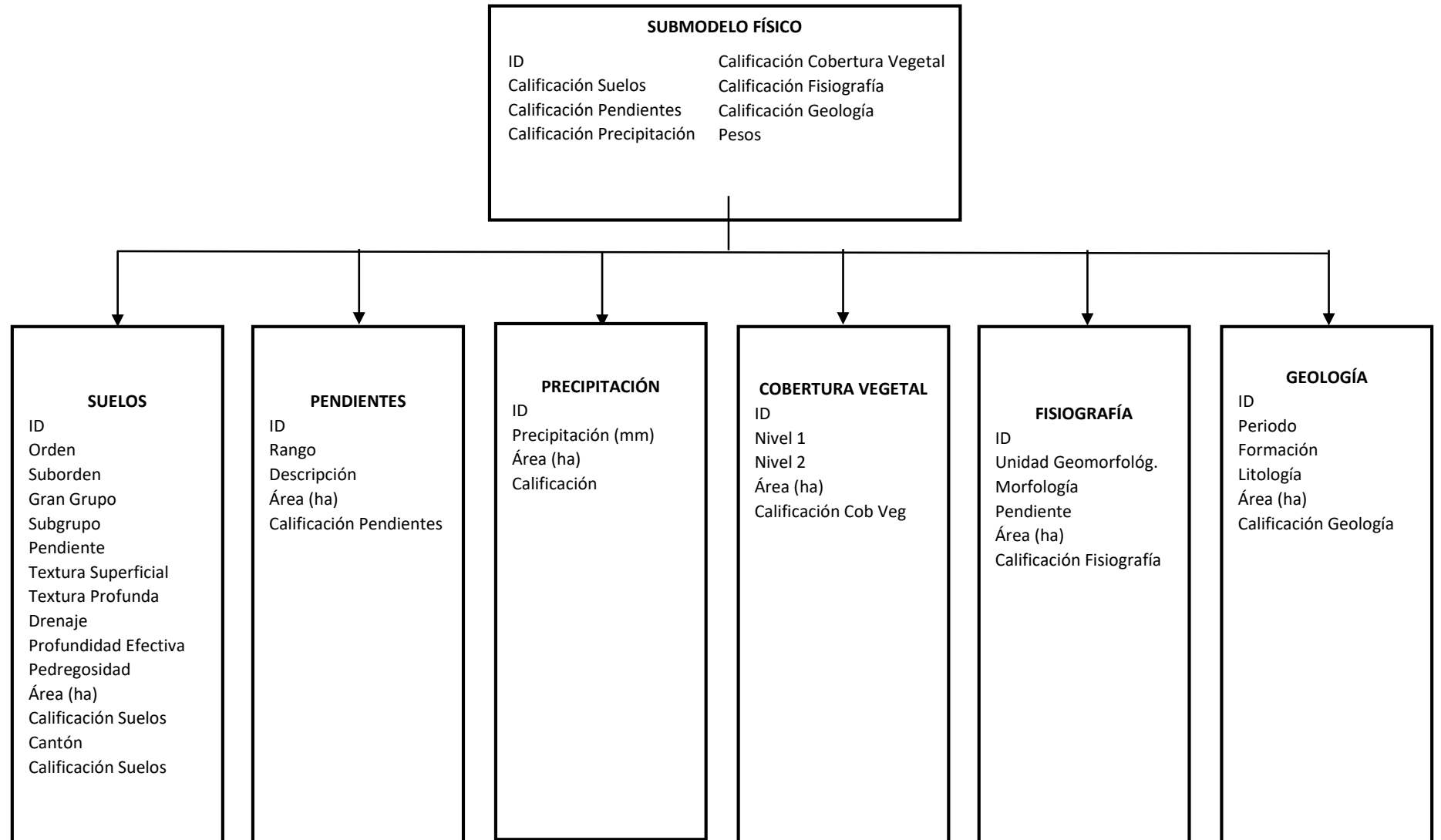
En los Cuadros 13 y 14 se observa la ponderación o calificación de cada una de las variables físicas, según la metodología establecida por Saaty (1980), que consiste en el proceso de comparaciones pareadas y proporciona escalas de razón que capturan la realidad percibida. Además, es diferente de una asignación y normalización arbitraria de números.

**Cuadro 13.** Matriz de comparaciones pareadas de variables físicas.

	<b>PEND</b>	<b>PRECIP</b>	<b>COB. VEG</b>	<b>SUELO</b>	<b>FISIO</b>	<b>GEO</b>
<b>PENDIENTE</b>	<b>1</b>	3	7	5	9	3
<b>PRECIPITACIÓN</b>	1/3	<b>1</b>	9	9	3	3
<b>COB. VEGETAL</b>	1/7	1/9	<b>1</b>	9	3	3
<b>SUELO</b>	1/5	1/9	1/9	<b>1</b>	5	9
<b>FISIOGRAFÍA</b>	1/9	1/3	1/3	1/5	<b>1</b>	3
<b>GEOLOGÍA</b>	1/3	1/3	1/3	1/9	1/3	<b>1</b>
<b>TOTAL</b>	<b>2.12</b>	<b>4.89</b>	<b>17.78</b>	<b>24.31</b>	<b>21.33</b>	<b>22.00</b>

**Cuadro 14.** Calificación de las variables físicas.

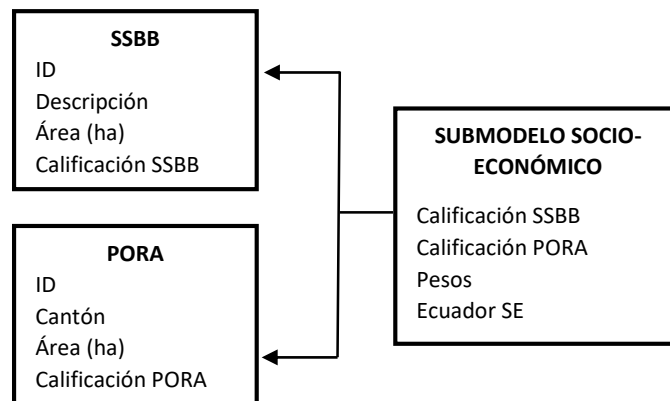
	<b>PEND</b>	<b>PRECIP</b>	<b>COB. VEG</b>	<b>SUELO</b>	<b>FISIO</b>	<b>GEO</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>PENDIENTE</b>	<b>0.47</b>	0.61	0.39	0.21	0.42	0.14	<b>0.37</b>
<b>PRECIPITACIÓN</b>	0.16	<b>0.20</b>	0.51	0.37	0.14	0.14	<b>0.25</b>
<b>COB. VEGETAL</b>	0.07	0.02	<b>0.06</b>	0.37	0.14	0.14	<b>0.13</b>
<b>SUELO</b>	0.09	0.02	0.01	<b>0.04</b>	0.23	0.41	<b>0.13</b>
<b>FISIOGRAFÍA</b>	0.05	0.07	0.02	0.01	<b>0.05</b>	0.14	<b>0.06</b>
<b>GEOLOGÍA</b>	0.16	0.07	0.02	0.00	0.02	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>
<b>TOTAL</b>							<b>1.00</b>



**Figura 14:** Esquema de la base de datos geoespacial del submodelo físico.

- **Submodelo Socio-Económico (SS-E)**

Las variables que se integraron en la base de datos geoespacial fueron: Servicios básicos (SSBB) y población ocupada por rama de actividad (PORA) con la finalidad de determinar el grado de vulnerabilidad de la población frente a la erosión hídrica (Figura 15). Posteriormente, se asignó una calificación a cada variable de acuerdo a la necesidad que presenten.



**Figura 15:** Esquema de la base de datos geoespacial del submodelo socio-económico.

De la misma manera, se realizó la ponderación de las variables de SSBB y PORA según la metodología de Saaty (1980) en conjunto con el criterio de la autora y otros estudios similares, con la finalidad de obtener el desarrollo social (Ecuación 11).

**Ecuación 11.** Submodelo Socio-Económico.

$$\text{SS-E} = \text{a*SSBB} + \text{b*PORA}$$

Dónde:

**SS-E:** Submodelo Socio-Económico.

**SSBB:** Variable de Servicios Básicos.

**PORA:** Variable de Población Ocupada por Rama de Actividad.

**a, b:** Ponderaciones (Sumadas da un total de 1)

En los Cuadros 15 y 16 se observa las matrices de comparaciones pareadas para las variables socio-económicas, según la metodología establecida por Saaty (1980).

**Cuadro 15:** Matriz de comparaciones pareadas de variables socio-económicas.

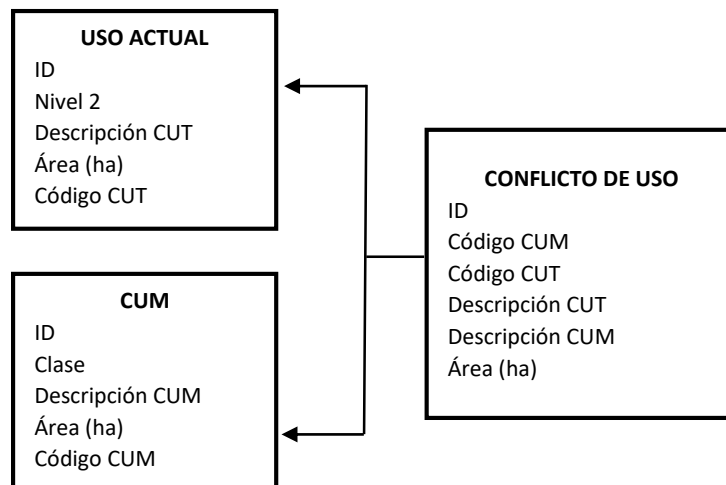
	PORA	SSBB
PORA	1	7
SSBB	1/7	1
TOTAL	1.14	8

**Cuadro 16:** Calificación de las variables socio-económicas.

	PORA	SSBB	PROMEDIO
PORA	0.88	0.88	0.88
SSBB	0.13	0.13	0.12
TOTAL			1.00

- **Submodelo de Conflicto de Uso (SCU)**

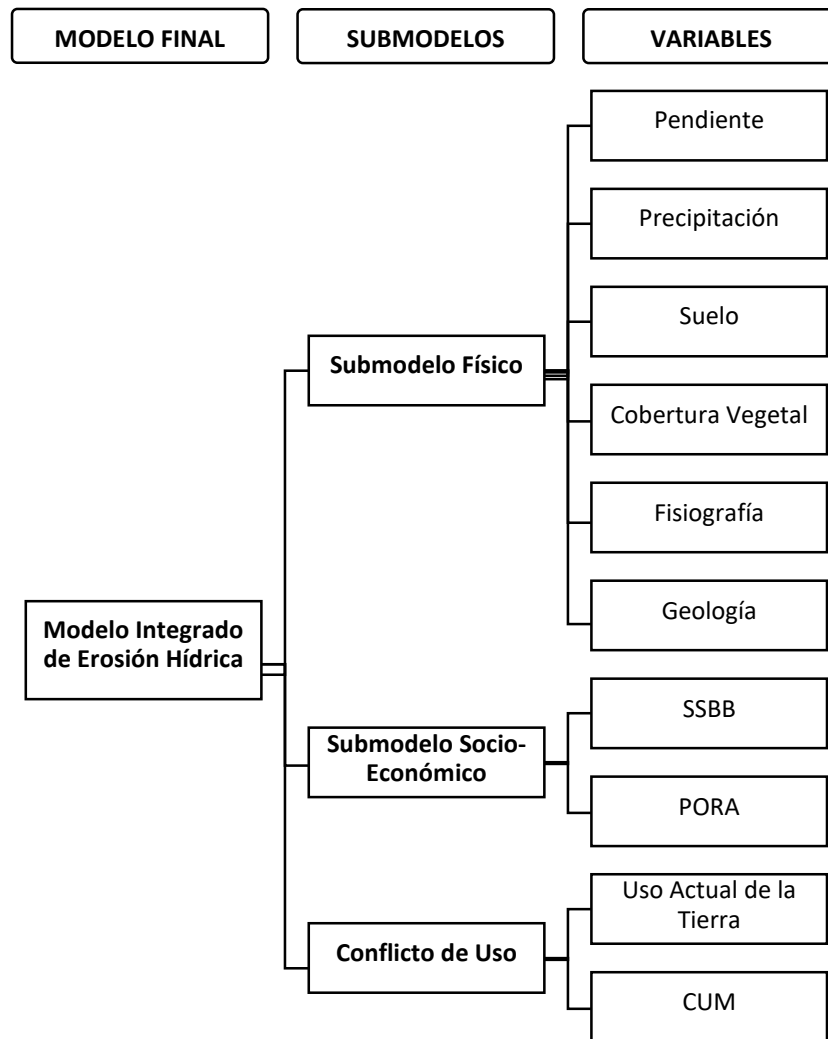
El submodelo representa espacialmente las áreas donde existen conflictos por: Sobre utilización, uso conforme y sub utilización de la tierra. Se generó, a partir del mapa de uso actual (cobertura vegetal) y el de capacidad de uso mayor de la tierra (CUM) (Figura 16). Asimismo, se asignó una calificación según el tipo de uso.



**Figura 16:** Esquema de la base de datos geoespacial del submodelo de conflicto de uso.

Finalmente, se integraron los submodelos: Físico, socio-económico y de conflicto de uso para obtener el modelo integrado de erosión hídrica, mediante la herramienta “Model Builder” del software ArcGIS, donde se incorporaron cada una de las variables. En la Figura 17, se observa la estructura del modelo lógico o cualitativo de erosión.

- **Modelamiento Geoespacial**



**Figura 17:** Estructura del modelamiento geoespacial para la erosión hídrica.

- **Calificación y ponderación de las variables.**

Descritas las variables antes mencionadas se analizaron las unidades de cada variable y se calificaron según la incidencia para producir erosión hídrica en la subcuenca. La calificación se basó en el criterio profesional verificado en campo donde 1 representa una susceptibilidad baja de erosión hídrica y 5 son las condiciones que tienen una alta susceptibilidad.

- **Submodelo Físico de Erosión Hídrica (SFEH)**

- o *Evaluación de la Pendiente*

La pendiente se clasificó según lo establecido por FAO (2009) en la “*Guía para la Descripción de Suelos*” con ayuda del software ArcGis 10.3 como se ve en el Cuadro 17.

**Cuadro 17:** Calificación de la pendiente en la subcuenca del río Catamayo.

RANGO	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN
0 - 0.2 %	Plano	1
0.2 - 0.5 %	Nivel	1
0.5 - 1.0 %	Cercano al nivel	1
1.0 - 2.0 %	Muy ligeramente inclinado	1
2 - 5 %	Ligeramente inclinado	2
5 - 10 %	Inclinado	2
10 - 15 %	Fuertemente inclinado	3
15 - 25 %	Moderadamente escarpado	4
25 - 60 %	Escarpado	5
> 60 %	Muy escarpado	5

FUENTE: FAO, 2009.

○ *Evaluación de la Precipitación*

El mapa de isoyetas se generó con la información del Instituto Ecuatoriano Espacial (IEE) del 2012 con la data histórica de 1985 a 2009 recopiladas de las estaciones meteorológicas ubicadas en la subcuenca del río Catamayo del Cuadro 18. Además, se realizó la calificación basadas en el nivel de la intensidad de precipitación teniendo en cuenta las consecuencias erosivas hídricas que las producirían como se puede ver en el Cuadro 19.

**Cuadro 18:** Estaciones meteorológicas de la subcuenca del río Catamayo.

CÓDIGO	NOMBRE	CÓDIGO	NOMBRE
M149	Gonzanamá	M751	Buenavista
M763	Nambacola	M754	Chaguarpamba
MB88	Nambacola - COLG	M770	Catacocha
M033	La Argelia-Loja	M760	Lauro Guerrero
M143	Malacatos	M515	Orianga
M144	Vilcabamba	M241	Quilanga
M145	Quinara INAMHI	M149	Gonzanamá
M147	Yangana	M433	El Lucero INAMHI
M764	Quinara PREDESUR	M434	Sozoranga INAMHI
M480	Río Pindo (Aj Amarillo)	M768	Sozoranga PREDESUR

FUENTE: IEE, 2012.

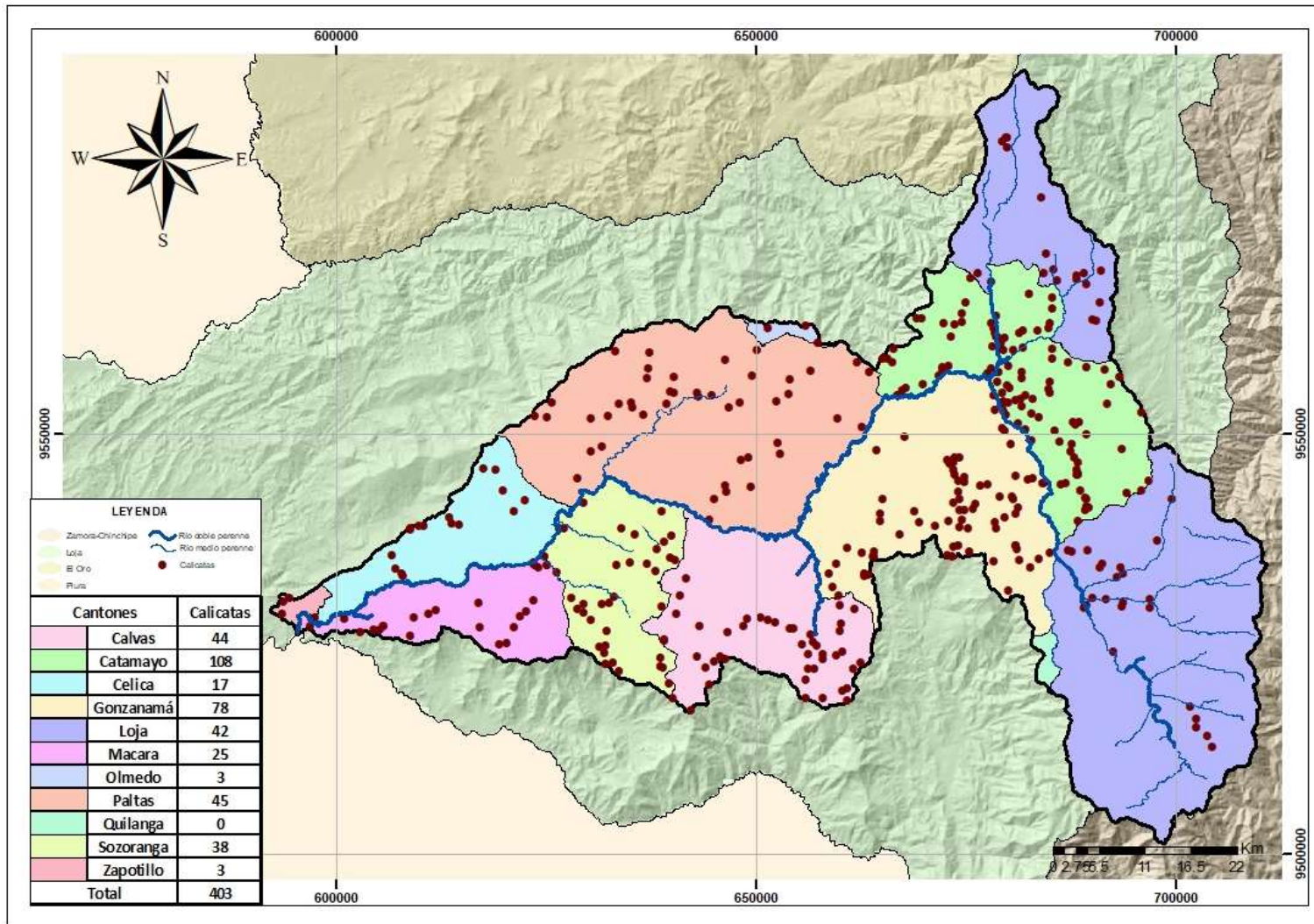
**Cuadro 19:** Calificación de la precipitación en la subcuenca del río Catamayo.

PRECIPITACIÓN (mm)	CALIFICACIÓN
400 - 600	1
600 - 800	2
800 - 1000	3
1,000 - 1,200	4
1,200 - 1,800	5

○ *Evaluación del Suelo*

La información empleada para la calificación de suelos fue tomada de la actualización del proyecto "Generación de geoinformación para la gestión del territorio a nivel nacional" realizado por el IEE (2012) y la ubicación de las calicatas que se encuentran en la subcuenca del río Catamayo se puede ver en la Figura 18. La calificación de las unidades del suelo de la subcuenca del río Catamayo se realizó según las claves para la taxonomía de suelos, de USDA (2014), es decir, según el orden, suborden, gran grupo y subgrupo. Además, se valoró conjuntamente con otras variables como son: Pendiente, textura superficial, textura profunda, drenaje, pedregosidad y profundidad efectiva como se puede ver en el Anexo 1.





**Figura 18:** Ubicación de las calicatas ubicadas en la Subcuenca del Río Catamayo.

FUENTE: IEE, 2012.

○ *Evaluación de la Cobertura Vegetal*

La cobertura vegetal está considerada de forma jerárquica, el nivel 1 corresponde a las clases de cobertura/uso definido por el IPCC adaptado para el Ecuador, y el nivel 2 representa clases de cobertura/uso más detallado que mantiene coherencia con las definiciones de la clase superior (MAE, 2014). Específicamente, se realizó la calificación para el nivel 2, es decir, plantación forestal, bosque nativo, natural, cultivo anual, cultivo permanente, cultivo semipermanente, mosaico agropecuario, pastizal, páramo, vegetación arbustiva, vegetación herbácea, infraestructura, área poblada y áreas sin cobertura vegetal, como se puede observar en el Cuadro 20.

**Cuadro 20:** Calificación de la cobertura vegetal en la subcuenca del río Catamayo.

NIVEL 1	NIVEL 2	CALIFICACIÓN
Bosque	Plantación Forestal	2
	Bosque Nativo	1
Cuerpo de Agua	Natural	0
Tierra Agropecuaria	Cultivo Anual	4
	Cultivo Permanente	5
	Cultivo Semipermanente	4
	Mosaico Agropecuario	5
	Pastizal	4
Vegetación Arbustiva y Herbácea	Páramo	1
	Vegetación Arbustiva	3
	Vegetación Herbácea	2
Zona Antrópica	Infraestructura	0
	Área Poblada	0
Otras Tierras	Área Sin Cobertura Vegetal	0

○ *Evaluación de la Fisiografía*

La fisiografía se analizó conjuntamente con la geomorfología y el análisis se hizo según el origen y la morfología. La calificación se basó según los diferentes tipos de pendiente, como se puede ver en el Anexo 2.

○ *Evaluación de la Geología*

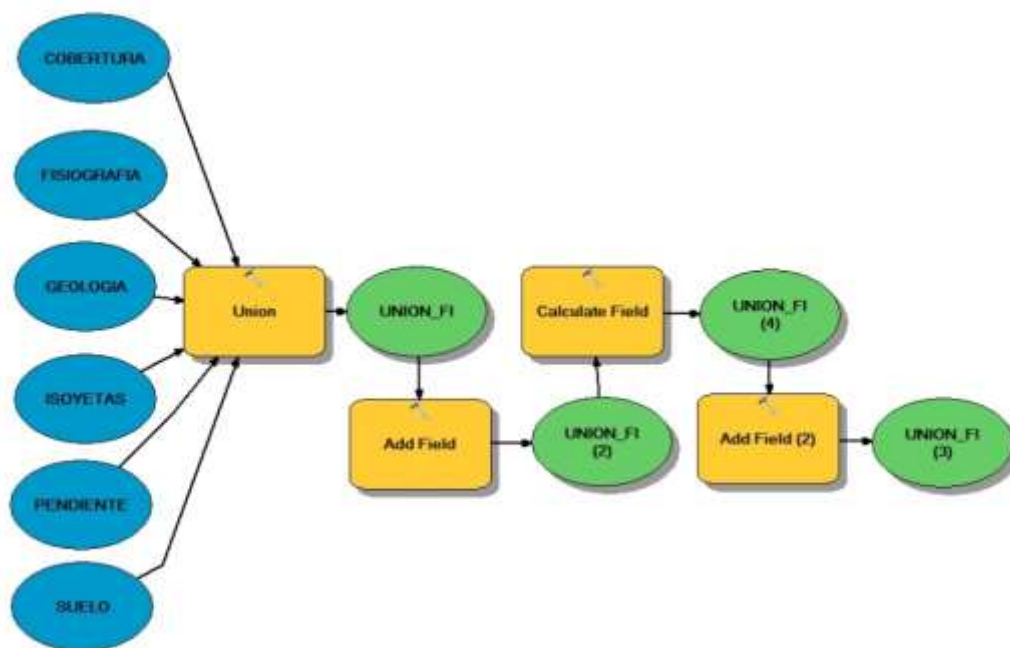
La geología está clasificada según el periodo, la formación y la litología y se asignó una calificación según la incidencia que tienen ante la erosión hídrica de los suelos, como se puede ver en el Cuadro 21.

**Cuadro 21:** Calificación de la geología en la subcuenca del río Catamayo.

<b>FORMACIÓN</b>	<b>LITOLOGÍA</b>	<b>PERIODO</b>	<b>CALIFICACIÓN</b>
	Granodiorita, diorita, pórfido	Cenozoico	4
	Granodiorita	Cretáceo	3
	Complejo de migmatitas	Triásico	1
Celica	Lavas andesíticas y basálticas, piroclastos	Cretáceo	3
Grupos Nabón y Quillollaco	Arcillas, tobas, areniscas, conglomerados	Mioceno/Plioceno	2
Unidad Agoyán	Esquistos y gneises semipelíticos	Paleozoico	1
Unidad Chiguinda	Pizarras, cuarcitas	Paleozoico	1
Unidad El Tigre	Metagrauwacas, pizarras	Paleozoico	5
Volcánicos Pisayambo	Andesitas a riolitas, piroclastos	Mioceno/Plioceno	3
Volcánicos Sacapalca	Lavas andesíticas, piroclastos, lutitas	Paleoceno	4
Volcánicos Saraguro	Lavas andesíticas, a riolíticas, piroclastos	Oligoceno	2
Yunguilla	Lutitas, calizas, volcanoclastos	Cretáceo/Paleoceno	4
Zapotillo-Ciano	Lutitas, grauwacas, piroclastos	Cretáceo	5

○ *Submodelo Físico*

Finalmente, una vez realizada la calificación a cada subvariable, se elaboró un “Model Builder”, en donde se asignaron las ponderaciones del Cuadro 14 al submodelo físico, como se puede ver en la Figura 19.



**Figura 19:** Model builder de las variables que conforman el submodelo físico.

Realizadas las ponderaciones, se obtuvo un valor mínimo (0) y un valor máximo (4.95) y se lo estratificó de forma igualitaria en cuatro rangos, según lo establecido en el Cuadro 1 por FAO, PNUMA y UNESCO (1980), como se puede ver en el Cuadro 22. Este proceso se realizó en ArcGis mediante las herramientas “Select by attributes” y “Field calculator”.

**Cuadro 22:** Niveles de erosión según las variables físicas.

NIVEL DE EROSIÓN	Nula o leve	Moderada	Fuerte	Muy fuerte
RANGO	0 - 1.24	1.25 - 2.48	2.49 - 3.71	3.72 - 4.95

- **Submodelo Socio-Económico (SS-E)**

El análisis del submodelo socio-económico se realizó según la evaluación de los SSBB y de la PORA con la finalidad de determinar el grado de vulnerabilidad e incidencia de las condiciones socio-económicas ante la erosión hídrica en la subcuenca del río Catamayo.

o *Evaluación de los Servicios Básicos (SSBB)*

La disponibilidad de los servicios básicos se obtuvo de los datos estadísticos del Censo de Población y Vivienda del INEC (2017). Se utilizaron los siguientes indicadores: Abastecimiento de agua potable, eliminación de aguas servidas (alcantarillado), eliminación de basura, energía eléctrica, telefonía, internet y celular de las viviendas de la subcuenca del

río Catamayo fueron tomadas. La calificación de los servicios básicos se analizó según la incidencia que tienen frente a la erosión hídrica, como se puede ver en el Cuadro 23.

**Cuadro 23:** Calificación de los servicios básicos en la subcuenca del río Catamayo.

RANGO	CALIFICACIÓN
No Aplicable	0
Muy Baja	5
Baja	4
Media	2
Alta	1

○ *Evaluación de la Población Ocupada por Rama de Actividad (PORA)*

Los datos empleados para la evaluación de la PORA se tomaron del Censo de Población y Vivienda del INEC (2017), los cuales, fueron divididos en tres sectores: Sector primario, dedicado a la agricultura, ganadería, caza y silvicultura, pesca, explotación de minas y canteras. Sector secundario, enfocado a las industrias manufactureras y a la construcción. Sector terciario, orientado al suministro de electricidad, gas y agua; comercio al por mayor y al por menor; hoteles y restaurantes; transporte, almacenamiento y comunicaciones; intermediación financiera; actividades de servicios sociales y de salud. Las clasificaciones de “Trabajador Nuevo” y “No Declarado” no se agrupó a ningún sector económico, por lo que se clasificó como clases diferentes. La calificación del PORA se asignó según el campo urbano y rural para cada uno de los cantones, como se puede observar en el Cuadro 24.

**Cuadro 24:** Calificación de la PORA en la subcuenca del río Catamayo.

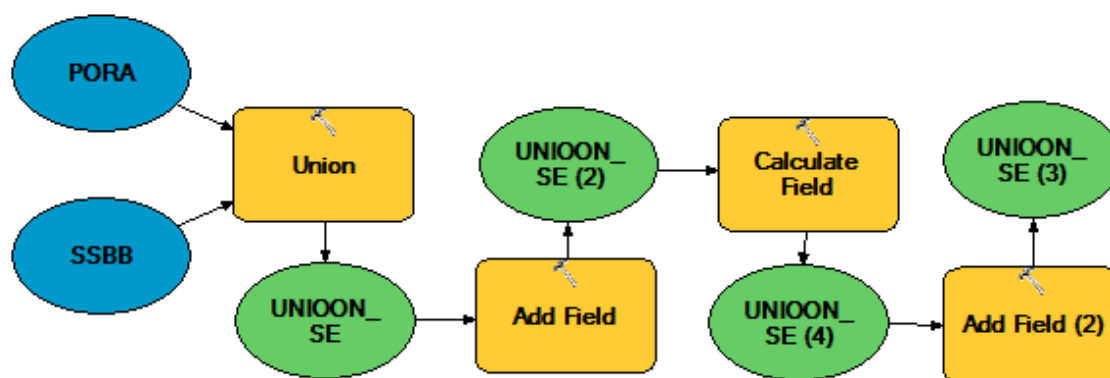
CANTÓN	PORA (%)										VALOR
	PRIMERO		SEGUNDO		TERCERO		NO DECLARADO		TRABAJADOR NUEVO		
	U	R	U	R	U	R	U	R	U	R	
CALVAS	8.4	70.3	13.1	4.7	66.8	10.3	7.2	13.3	4.6	1.4	1
CATAMAYO	17.2	61.5	21.3	6.4	50.6	16.0	6.4	14.6	4.5	1.5	3
CELICA	10.0	75.5	12.8	3.6	67.7	11.4	7.5	8.1	1.9	1.4	1
GONZANAMÁ	13.3	69.5	10.8	3.6	65.2	12.2	6.8	13.5	4.0	1.1	2
LOJA	4.2	48.2	17.7	19.3	69.8	22.5	4.2	8.1	4.0	1.9	1
MACARÁ	16.0	80.8	14.6	2.9	60.7	11.1	4.7	3.9	4.0	1.4	2
OLMEDO	25.0	73.2	8.9	7.5	55.1	10.6	6.8	8.1	4.2	0.7	4
PALTAS	11.5	71.2	13.9	5.6	62.8	9.5	9.1	12.7	2.6	1.1	2
QUILANGA	29.2	76.7	9.7	4.6	44.1	9.4	11.2	4.0	5.7	5.3	5
SOZORANGA	18.0	76.9	9.4	3.7	67.7	7.0	2.5	10.1	2.5	2.4	3
ZAPOTILLO	12.9	74.3	11.9	3.4	61.7	13.6	9.1	7.3	4.5	1.5	2

U: Urbano y R: Rural

FUENTE: IEE, 2012.

○ *Submodelo Socio-Económico*

Realizada la calificación a cada subvariable, se diseñó un “Model Builder”, en donde se asignaron las ponderaciones del Cuadro 15 al submodelo socio-económico, como se puede ver en la Figura 20.



**Figura 20:** Model builder del submodelo socio-económico.

Realizada las ponderaciones, se obtuvo un valor mínimo (0.12) y un valor máximo (5.00) y se lo estratificó de forma igualitaria en cuatro rangos, según lo establecido en el Cuadro 1 por FAO, PNUMA y UNESCO (1980), como se puede ver en el Cuadro 25. Este proceso se realizó en ArcGis mediante las herramientas “Select by attributes” y “Field calculator”.

**Cuadro 25:** Niveles de erosión según las variables socio-económicas.

NIVEL DE EROSIÓN	Nula o Leve	Moderado	Fuerte	Muy Fuerte
RANGO	0.12 - 1.34	1.35 - 2.56	2.57 - 3.78	3.79 - 5.00

- **Submodelo de Conflicto de Uso (SCU)**

El submodelo de conflicto de uso representa espacialmente las áreas donde existe conflictos por: Sobre utilización, sub utilización y uso conforme de la tierra. Se utilizó el mapa de capacidad de uso de la tierra y el mapa de uso actual (cobertura vegetal). Este submodelo se calificó según el uso conforme, sobre uso o sub uso.

o *Evaluación del Uso Actual de la Tierra.*

El uso actual de la tierra se evaluó de igual forma que la variable de cobertura vegetal, es decir, según el nivel 2 de la cobertura vegetal presente en la subcuenca del río Catamayo, como se observa en el Cuadro 26.

**Cuadro 26:** Calificación del uso actual de la tierra en la subcuenca del río Catamayo.

NIVEL 1	NIVEL 2	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN
Bosque	Bosque Nativo	4	Protección
	Plantación Forestal	3	Forestal
Cuerpo de Agua	Natural	5	Zonas Urbanas
Tierra Agropecuaria	Cultivo Anual	1	Agricultura
	Cultivo Permanente	1	Agricultura
	Cultivo Semipermanente	1	Agricultura
	Mosaico Agropecuario	1	Agricultura
	Pastizal	2	Pastizales
Vegetación Arbustiva y Herbácea	Páramo	5	Zonas Urbanas
	Vegetación Arbustiva	3	Forestal
	Vegetación Herbácea	2	Pastizales
Zona Antrópica	Área Poblada	5	Zonas Urbanas
	Infraestructura	5	Zonas Urbanas
Otras Tierras	Área Sin Cobertura Vegetal	5	Zonas Urbanas

○ *Evaluación de la Capacidad de Uso Mayor de la Tierra*

La clasificación de la capacidad de uso mayor de la tierra que se ha empleado es el sistema americano de la USDA-LCC desarrollado por Klingebiel y Montgomery en 1961, determina al uso agrícola de las tierras. Se da especial importancia a los riesgos de erosión y a la necesidad de conservar la potencialidad del suelo. Considera ocho clases de capacidad sobre las bases de usos alternativos de la tierra definidas por el grado de limitación de varios criterios. Conforme aumentan las limitaciones disminuyen las opciones de uso, quedando las cuatro primeras clases (I a IV) reservadas para usos agrícolas y las cuatro clases restantes (V a VIII) para usos no agrícolas (De La Rosa, 2008). Finalmente, la calificación se realizó según la clasificación de: (1) Agricultura, (2) Pastizales, (3) Producción Forestal, (4) Protección y (5) Zonas Urbanas, como se ve en el Cuadro 27.

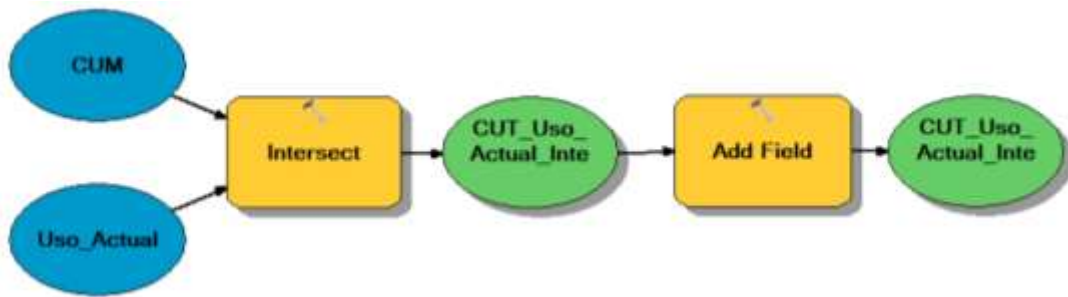
**Cuadro 27:** Calificación de la capacidad de uso mayor de la tierra.

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	CÓDIGO	CUM
II	Muy ligeras limitaciones	1	Agricultura
III	Ligeras limitaciones	2	Pastizales
IV	Moderadas limitaciones	2	Pastizales
V	Limitaciones fuertes a muy fuertes	4	Protección
VI	Tierras aptas para aprovechamiento forestal- limitaciones muy fuertes	3	Producción Forestal
VII	Tierras de proteccion-limitaciones muy fuertes	4	Protección
VIII	Limitaciones muy fuertes-conservacion	4	Protección
BVP	Bosques de Vegetación Protectora	4	Protección
PANE	Patrimonio áreas naturales del Estado	4	Protección
TM	Tierras que no estan caracterizadas como unidades de suelos o unidades taxonómicas	0	No Aplica
NA	No aplicable	0	No Aplica

○ *Submodelo de Conflicto de Uso*

En “Model Builder” se realizó el proceso para obtener el submodelo de conflicto de uso, como se puede ver en la Figura 21.



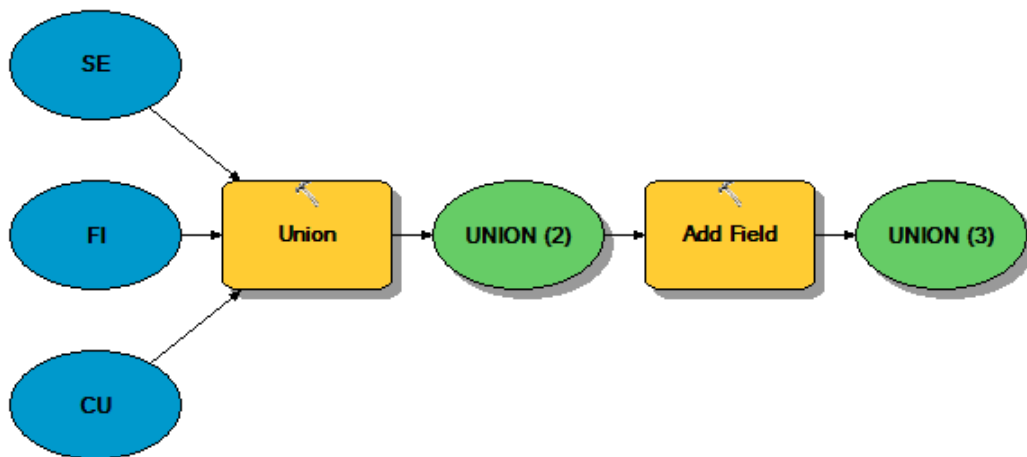


**Figura 21:** Model builder del submodelo socio-económico.

Posteriormente, se verificó si existía o no conflicto entre el uso actual y el uso potencial de las coberturas. Este proceso se realizó en ArcGis mediante las herramientas “Select by attributes” y “Field calculator”.

- *Zonas de Erosión Hídrica Cualitativa en la Subcuenca del Río Catamayo*

Las zonas de erosión hídrica se obtuvieron al integrar los tres submodelos: Físico, socio-económico y de conflicto de uso de la tierra. Se realizó empleando la herramienta “Model Builder” (Figura 22) siguiendo los parámetros establecidos en el Cuadro 28.



**Figura 22:** Model builder para obtener la erosión hídrica cualitativa.

**Cuadro 28:** Rangos de erosión hídrica en la subcuenca del río Catamayo.

SUBMODELO FÍSICO	CONFLICTO DE USO DE LA TIERRA	SUBMODELO SOCIO-ECONÓMICO	TIPO DE EROSIÓN
Muy Fuerte	Sobre Uso	Muy Fuerte	Muy Fuerte
Fuerte	Sobre Uso	Fuerte	Fuerte
Moderado	Uso Conforme	Moderado	Moderado
Nulo o Leve	Sub Uso	Nulo o Leve	Leve o Nula

Realizada la integración de los tres submodelos, la estimación cualitativa de la erosión hídrica se efectuó según la clasificación establecida por FAO, PNUMA y UNESCO (1980), y por FAO (2009) tomada de la “*Guía para la descripción de Suelos*”, mediante las herramientas “Select by attributes” y “Field calculator”. En el Cuadro 29 se pueden observar las equivalencias entre ambos sistemas de clasificación.

**Cuadro 29:** Rangos de erosión hídrica empleados en la subcuenca del río Catamayo.

FAO (2009)		DESCRIPCIÓN	FAO (1980)
S	Ligero	Alguna evidencia de daño a los horizontes superficiales del suelo. Las funciones bióticas originales se encuentran intactas	Nulo o Leve
M	Moderado	Evidencia clara de remoción de los horizontes superficiales del suelo. Las funciones bióticas originales se encuentran parcialmente destruidas.	Moderado
V	Severo	Horizontes superficiales completamente removidos y los horizontes sub-superficiales expuestos. Las funciones bióticas originales ampliamente destruidas.	Fuerte
E	Extremo	Horizontes superficiales completamente removidos y los horizontes sub-superficiales expuestos. Las funciones bióticas originales ampliamente destruidas.	Muy Fuerte

FUENTE: FAO, 2009.

### 3.3.3. Estimación de la erosión actual y potencial de la subcuenca del río Catamayo en base a la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE).

- **Estimación de la erosión hídrica actual en base a RUSLE**

La estimación cuantitativa de la erosión hídrica de la subcuenca del río Catamayo se realizó mediante RUSLE evaluando cada uno de sus factores involucrados para posteriormente ser introducidas a la ecuación general. El proceso se ejecutó con el software ArcGIS.

- **Factor R o índice de erosividad de la lluvia**

El cálculo del Factor R requirió de los registros pluviográficos de las estaciones meteorológicas de la Provincia de Loja del periodo de 1980 a 2014 (periodo de 35 años) al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología del Ecuador (INAMHI) (Cuadro 30). Sin embargo, como algunas estaciones no contenían datos mensuales completos, se aplicó la

metodología para relleno de datos climáticos denominada Regresiones Múltiples desarrollada por Pizarro *et al.* (2009) a partir de lo descrito por UNESCO (2006).

**Cuadro 30:** Estaciones meteorológicas ubicadas en la Provincia de Loja.

ESTACIONES		COORDENADAS		ALTITUD (m.s.n.m.)
CÓDIGO	NOMBRE	X	Y	
M0033	La Argelia	699,711	9°553,630	2,160
M0142	Saraguro	696,167	9°600,576	2,525
M0143	Malacatos	691,894	9°533,772	1,453
M0144	Vilcabamba	697,804	9°528,598	1,566
M0146	Cariamanga	660,414	9°520,874	1,950
M0147	Yangana	702,556	9°516,943	1,835
M0148	Celica	616,393	9°546,313	1,904
M0149	Gonzanamá	674,127	9°532,243	2,042
M0150	Amaluza	674,106	9°493,048	1,672
M0151	Zapotillo	583,709	9°515,550	223
M0432	San Lucas	693,086	9°587,311	2,525
M0433	Lucero	669,587	9°513,515	1,180
M0434	Sozoranga	634,395	9°521,872	1,427
M0435	Alamor	607,925	9°555,751	1,250
M0437	Saucillo (Alamor)	588,930	9°526,784	328
M0438	Jimbura	670,274	9°488,265	2,100
M0439	Sabiango	632,020	9°517,853	700
M0502	Pangui	758,210	9°564,913	820
M0503	San Francisco	714,075	9°561,615	1,620
M0515	Catacocha	650,478	9°551,575	1,808
M0544	Colaisaca	645,033	9°522,745	2,410

FUENTE: INAMHI, 2018.

Se analizó la consistencia de los datos, mediante la regresión lineal de cada una de las estaciones meteorológicas mes a mes para el periodo de 35 años analizado (1980 a 2014). Posteriormente, con la data pluviométrica completa se aplicó la metodología de Ochoa-Cueva *et al.* (2016), con la Ecuación 3, y a continuación, el IMF (Ecuación 4). El IMF, se obtuvo para cada año con los datos de precipitación media mensual y precipitación acumulada anual. Luego se promedió la sumatoria de los IMF estimados sobre el número de años analizados. La elaboración del mapa del Factor R se realizó con la metodología de Ochoa-Cueva *et al.* (2016), es decir, mediante la herramienta “Kriging” del software ArcMap 10.3. Esta herramienta está basada en modelos estadísticos que pueden predecir

valores desconocidos de los datos observados en lugares conocidos y permite interpolar espacialmente los datos pluviométricos en terrenos complejos (Ochoa-Cueva *et al.*, 2016).

- **Factor K o índice de erodabilidad**

La data necesaria para el cálculo del Factor K, es decir, porcentaje de limo, arena, arcilla, arena más fina, materia orgánica, tipo de estructura y de permeabilidad se tomaron de los datos levantados por el IEE en el periodo del 2013 al 2014 y complementados y actualizados por Ruiz (2017), Puglla (2017) y Sanmartín (2017). Posteriormente, el Factor K se calculó según lo establecido por Renard *et al.* (1996) y Ochoa-Cueva *et al.* (2016) y descrita en la Ecuación 5. Adicionalmente, la información requerida fue tomada de 19 sitios muestreados cuya ubicación se detalla en el Cuadro 31.

**Cuadro 31:** Sitios de muestreo en la zona de estudio.

<b>CÓDIGO</b>	<b>SITIO</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Z</b>
PM2-P153	Loja 1	679,364	9'584,941	2,759
PN6-P143	Loja 2	676,497	9'569,134	2,008
PN6-P144	Loja 3	691,179	9'569,476	2,277
PM2-P164	Loja 4	699,600	9'542,296	1,830
PN1-P168	Loja 5	687,268	9'536,203	1,525
PN1-P165	Loja 6	697,015	9'530,276	1,579
PN6-P147	Loja 7	692,659	9'524,012	1,529
PN8-P173	Loja 8	704,464	9'512,771	2,205
CO8-P015	Calvas 1	646,713	9'526,431	2,267
CO9-P007	Calvas 2	644,436	9'520,159	2,565
CO9-P015	Calvas 3	661,015	9'518,197	2,320
PN4-P167	Paltas 1	662,141	9'558,572	1,989
PN2-P170	Paltas 2	662,648	9'550,890	1,096
PN9-P164	Paltas 3	646,470	9'543,110	1,810
PN5-P167	Paltas 4	623,731	9'552,105	2,623
PN4-P163	Paltas 5	646,457	9'558,890	1,121
CL6-P028	Sozoranga 1	629,509	9'541,836	856
CL4-P059	Sozoranga 2	633,153	9'530,676	972
CL4-P038	Sozoranga 3	632,162	9'522,579	1,807

FUENTE: Ruiz, 2017; Puglla, 2017 y Sanmartín, 2017.

La elaboración del mapa del factor K, se realizó según lo establecido por Tamayo (2016), mediante la herramienta “IDW” del software ArcGis 10.3, donde se realiza interpolación de los valores de celda utilizando una combinación ponderada lineal de un conjunto de puntos de muestra y como resultado se obtiene una imagen ráster.

**- Factor LS o longitud y gradiente de la pendiente**

La metodología empleada para el Factor LS fue la establecida por Dias (2013) y Tamayo (2016). Se descargó del portal del USGS el modelo digital de elevación (DEM) de la zona de estudio proveniente de SRTM 1 Arc-Second Global que ofrece una cobertura con resolución de 1 segundo de arco o lo que es lo mismo 30 metros (tamaño de píxel de 30m x 30m). Se requirieron de tres imágenes que cubrieron la zona de estudio, como se puede ver en el Cuadro 32. Posteriormente, se unió en un solo mosaico mediante la herramienta “Mosaic to New Raster” y se recortó el raster en función de la zona de estudio con la herramienta “Extract by Mask”.

**Cuadro 32:** Mosaicos empleados en la zona de estudio.

<b>NOMBRE DEL MOSAICO</b>	<b>FECHA DE ADQUISICIÓN</b>	<b>FECHA DE PUBLICACIÓN</b>	<b>RESOLUCIÓN</b>
SRTM1S04W080V3	11-feb-00	23-sep-14	1-ARC (30m)
SRTM1S05W080V3	11-feb-00	23-sep-14	1-ARC (30m)
SRTM1S05W081V3	11-feb-00	23-sep-14	1-ARC (30m)

FUENTE: USGS, 2017.

Se asignó la proyección adecuada (WGS 84 UTM Zona 17S) con la herramienta “Project Raster” y se observó que el DEM contenía espacios vacíos, por tanto, se procedió al llenado mediante la herramienta “Raster Calculator” donde se introdujo la siguiente fórmula.

$$\text{Vacíos} = \text{IsNull}(\text{"dem\_usgs\_perf"})$$

Posteriormente, se realizó el llenado de valores de celda mediante la media de estadísticas cercanas introduciendo la siguiente fórmula en la herramienta “Raster Calculator”.

$$\text{Valores de celda} = \text{FocalStatistics}(\text{"dem\_usgs\_perf"}, \text{NbrCircle}(30, \text{"CELL"}), \text{"MEAN"})$$

Se trasladaron los resultados mediante la siguiente fórmula en la herramienta “Raster Calculator”, dando como resultado el DEM lleno y sin vacíos.

$$\text{DEM lleno} = \text{Con}(\text{"Vacíos"}=1, \text{"Valores\_celda"}, \text{"dem\_usgs\_perf"})$$

Se creó un raster de pendientes “Slope” el mismo que fue utilizado para crear el factor F. En ArcGis con la herramienta “Raster Calculator” se empleó la Ecuación 12 en función de la Ecuación 6 para obtener el factor F:

**Ecuación 12.** Factor F

$$\text{Factor F} = \frac{((\text{Sin}(\text{"Slope\_D"} * 0.01745) / 0.0896) / (3 * \text{Power}(\text{Sin}(\text{"Slope\_D"} * 0.01745), 0.8) + 0.56))$$

Se calculó el Factor M con la herramienta “Raster Calculator” mediante la Ecuación 13, a partir de la Ecuación 6.

**Ecuación 13.** Factor M

$$\text{Factor M} = \text{"Factor\_F"} / (1 + \text{"Factor\_F"})$$

Las herramientas “Flow Direction” y “Flow Accumulation” permitieron obtener la dirección de flujo y acumulación del flujo respectivamente, a partir del DEM lleno. La herramienta “Raster Calculator” permitió obtener el Factor L empleando la Ecuación 14 en función de la Ecuación 7.

**Ecuación 14.** Factor L

$$\text{Factor L} = (\text{Power}(\text{"Flow\_Acc"} + 900, (\text{"Factor\_M"} + 1)) - (\text{Power}(\text{"Flow\_Acc"}, (\text{"Factor\_M"} + 1)))) / (\text{Power}(30, (\text{"Factor\_M"} + 2)) * \text{Power}(22.13, \text{"Factor\_M"}))$$

De la misma forma, el Factor S se calculó con la Ecuación 15 en función de la Ecuación 8, mediante la herramienta “Raster Calculator”

**Ecuación 15.** Factor S.

$$\text{Factor S} = \text{Con}((\text{Tan}(\text{"Slope\_D"} * 0.01745) < 0.09), (10.08 * \text{Sin}(\text{"Slope\_D"} * 0.01745) + 0.03), (16.8 * \text{Sin}(\text{"Slope\_D"} * 0.01745) ) - 0.5)$$

Finalmente, se calculó el factor LS con la herramienta “Raster Calculator” aplicando la Ecuación 16.

**Ecuación 16.** Factor LS

$$\text{Factor LS} = \text{"Factor\_L"} * \text{"Factor\_S"}$$

- **Factor C o de cobertura vegetal**

El Factor C se realizó mediante el uso de ortofotos obtenidas de Sigtierras del año 2012 y con una resolución de 2.5 x 2.5 en el tamaño de pixel (escala de 1: 5,000). El sistema de clasificación que se siguió fue la establecida por el Ministerio del Ambiente (2014). Tiene un primer nivel que corresponde a las clases de cobertura/uso definidos por el IPCC adaptado para el Ecuador. El segundo nivel se enmarcó dentro del convenio establecido por los ministerios del ambiente (MAE) y de agricultura, acuicultura, ganadería y pesca (MAGAP) y por el centro de levantamientos integrados de recursos naturales por sensores remotos (CLIRSEN) (2013-2014).

En el presente estudio se trabajó con una adaptación del segundo nivel. Se realizó una clasificación supervisada de cada una de las coberturas con la herramienta “Maximum Likelihood Classification” del software ArcGis 10.3. Las áreas de entrenamiento que se asignaron para cada tipo de coberturas se determinaron según lo establecido por MAE (2014) como se puede ver en el Cuadro 33. Adicionalmente, se asignaron los valores del factor C según lo establecido por otros autores como se detalló en la revisión de bibliografía, aunque finalmente se asignaron los que se observar en el Cuadro 33.

**Cuadro 33:** Tipos de cobertura en la zona de estudio.

FACTOR C		FUENTE	NIVEL II	DESCRIPCIÓN
Bosque	0.003	FAO, 1989; Marchamalo, 2007; y Lianes <i>et al.</i> , 2009.	Bosque Nativo	Ecosistema arbóreo primario o secundario.
			Plantación Forestal	Masa arbórea establecida antrópicamente con una o más especies forestales.
Cultivos	0.495	FAO, 1989	Anual	Su ciclo vegetativo es estacional (cosechados una o más veces al año)
			Semipermanente	Su ciclo vegetativo dura entre uno y tres años.
			Permanente	Su ciclo vegetativo es mayor a tres años (varias cosechas)
			Mosaico Agropecuario	Agrupaciones de especies cultivadas que se encuentran mezcladas entre sí y que no pueden ser individualizados.
Pastizal	0.04	Saborio, 2002; Gómez, 2002; y CATIE, 2003	Pastizal	Vegetaciones herbáceas (gramíneas y leguminosas) utilizadas con fines pecuarios, requieren de labores de cultivo y manejo.
Veg. Arbustiva	0.1	Saborio, 2002; Gómez, 2002; y CATIE, 2003	Veg. Arbustiva	Especies leñosas nativas no arbóreas. Incluye áreas degradadas en transición a una cobertura densa del dosel.
Veg. Herbácea	0.2	Saborio, 2002; Gómez, 2002; y CATIE, 2003	Veg. Herbácea	Son nativas con crecimiento espontáneo sin cuidados especiales. Se utilizan con fines de pastoreo esporádico, protección o vida silvestre
Páramo	0.04	Saborio, 2002; Gómez, 2002; y CATIE, 2003	Páramo	Vegetación tropical altoandino, son especies dominantes no arbóreas que incluyen fragmentos de bosque nativo.
Zona Antrópica	0.015	Marchamalo, 2007	Área Poblada	Ocupada por viviendas y edificios destinados a colectividades o servicios públicos.
			Infraestructura	Obra civil de transporte, comunicación, agroindustrial y social.
			Área sin cobertura	Áreas sin vegetación, que por sus limitaciones no son aprovechadas para uso agropecuario o forestal.

FUENTE: MAE, 2014.



- **Factor P o de prácticas de conservación de suelos**

En el presente estudio se siguió la metodología de Sheikh *et al.* (2011), en la que se considera que el valor de P es 1 cuando no se evidencia prácticas de soporte o de conservación en la zona de estudio.

- **Estimación de erosión hídrica cuantitativa actual**

Finalmente, la tasa de erosión hídrica actual, se obtuvo integrando todos los factores en el álgebra de mapas del software ArcGis 10.3, con la herramienta “Raster Calculator” como se ve en la Ecuación 17 en función de la Ecuación 1.

**Ecuación 17.** Integración de los factores para calcular la erosión hídrica actual.

$$A = \text{"Factor\_P.tif"} * \text{"Factor\_R.tif"} * \text{"Factor\_K.tif"} * \text{"Factor\_LS.tif"} * \text{"Factor\_C.tif"}$$

• ***Estimación de la erosión hídrica potencial***

La estimación hídrica potencial se realizó en dos escenarios:

- **Primer escenario o escenario tendencial**

En el segundo escenario o escenario deseado se planteó que se han ejecutado prácticas de conservación (factor P) especificadas en el Cuadro 6, es decir, Shin (1999) establece un grado de ponderación según si existe cultivo en contornos, en franjas o en terrazas dependiente del nivel de la pendiente, pero con la cobertura actual, para lo cual se empleó la siguiente ecuación:

**Ecuación 18.** Primer escenario de erosión hídrica potencial

$$K_1 = \text{Factor } R * \text{Factor } K * \text{Factor } C * \text{Factor } LS * \text{Factor } P$$

- **Segundo escenario**

Se asumió que la tendencia de erosión hídrica continúa sin implementar prácticas de conservación de los suelos (factor P), por lo que la cobertura ha continuado degradándose por alteraciones físicas como deforestación, incendios y sobreexplotación agropecuaria. La

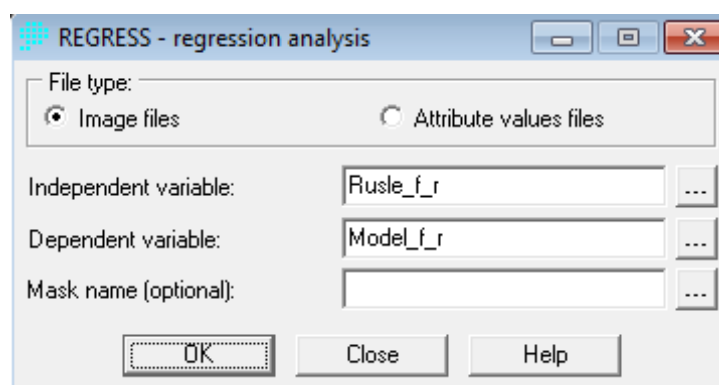
cobertura que se empleó fue la proyección para 2037 obtenida en el primer objetivo. Finalmente, se integró empleando la siguiente ecuación.

**Ecuación 19.** Segundo escenario de erosión hídrica potencial.

$$.K_2 = \text{Factor } R * \text{Factor } K * \text{Factor } C * \text{Factor } LS$$

### 3.3.4. Comparación estadística a las metodologías aplicadas en la subcuenca del río Catamayo.

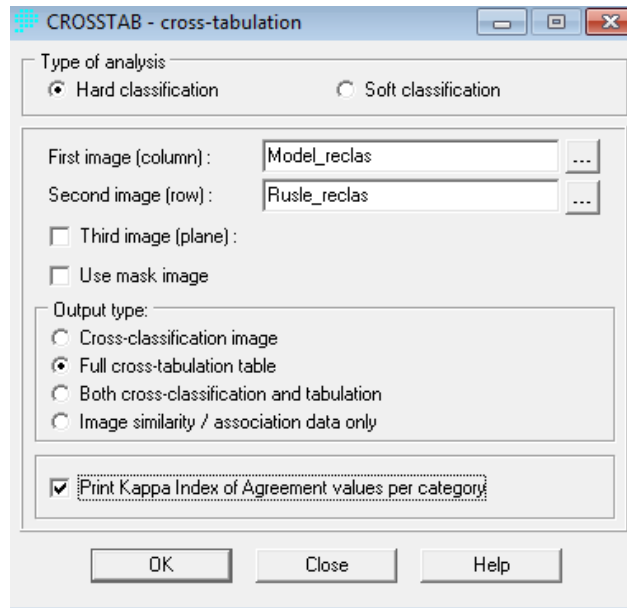
Se realizó la comparación estadística de los resultados (cualitativo y cuantitativo) mediante la herramienta “Regress – regression analysis” que realiza una regresión lineal entre la variable independiente (resultado de RUSLE) y la dependiente (resultado del modelamiento) como se ve en la Figura 23.



**Figura 23:** Módulo Regress del software Idrisi Selva.

FUENTE: FAO, 2009.

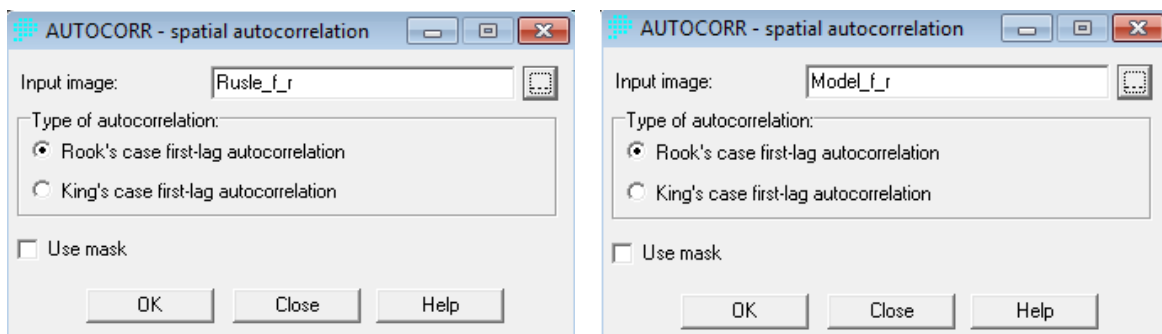
Adicionalmente, se realizó una tabulación cruzada con la herramienta “Crosstab – cross tabulation”, donde se integraron en formato ráster los resultados cualitativos y cuantitativos. En la columna se ubicó el resultado del Modelamiento y en la fila el resultado de RUSLE, con la finalidad de obtener el índice Kappa y de Cramer, como se ve en la Figura 24.



**Figura 24.** Módulo Crosstab del software Idrisi Selva.

FUENTE: FAO, 2009.

Se realizó la autocorrelación para cada una de los resultados obtenidos mediante el módulo “Autocorr – spatial autocorrelation” con la opción de contigüidad tipo Rook, como se observa en la Figura 25.



**Figura 25:** Módulo Autocorr del software Idrisi Selva.

FUENTE: FAO, 2009.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

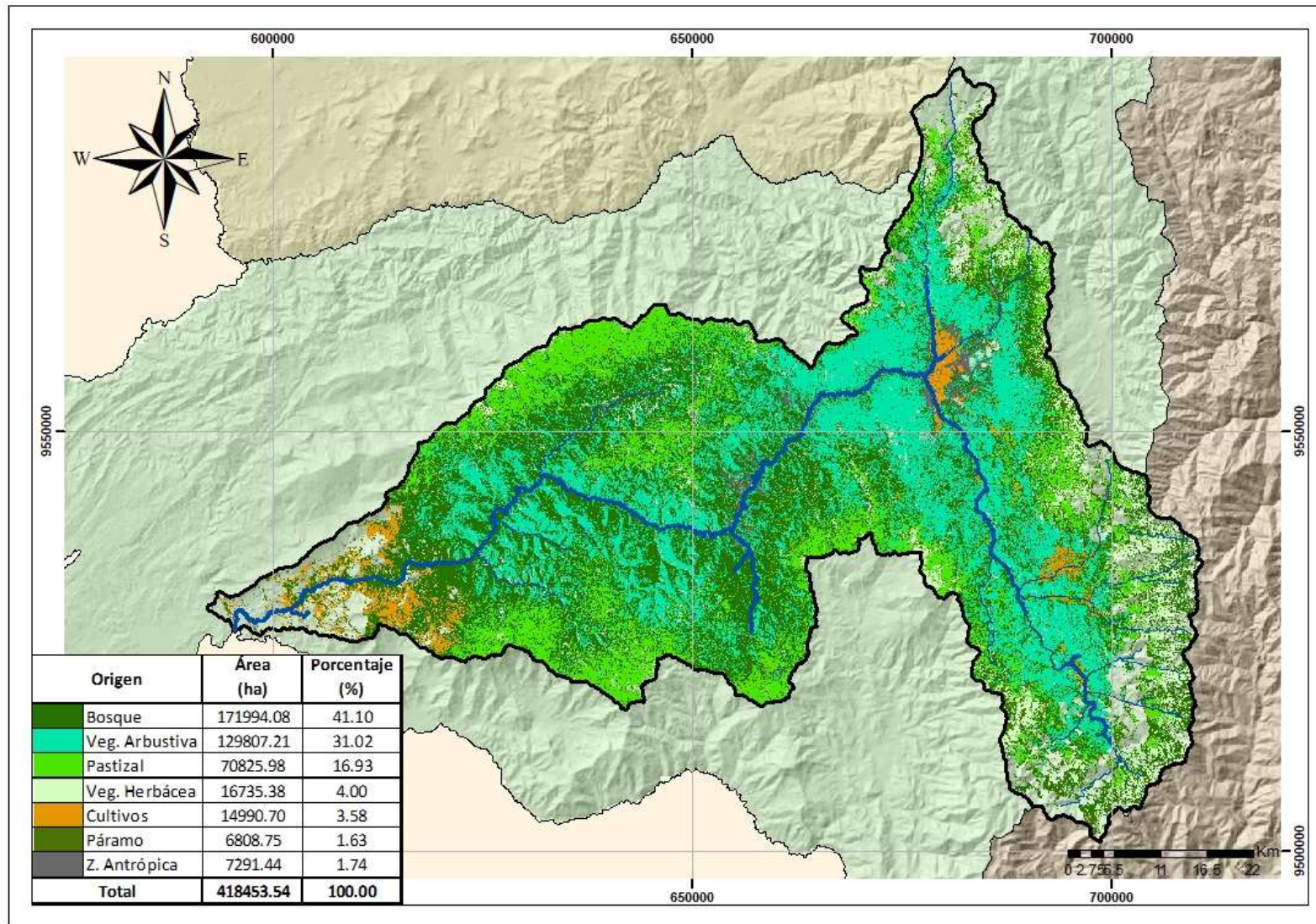
### 4.1. Evaluación y análisis del cambio de uso de suelo y sus efectos en la erosión hídrica a escala multi-temporal en la subcuenca del río Catamayo.

#### 4.1.1. Clasificación Supervisada de la Cobertura Vegetal

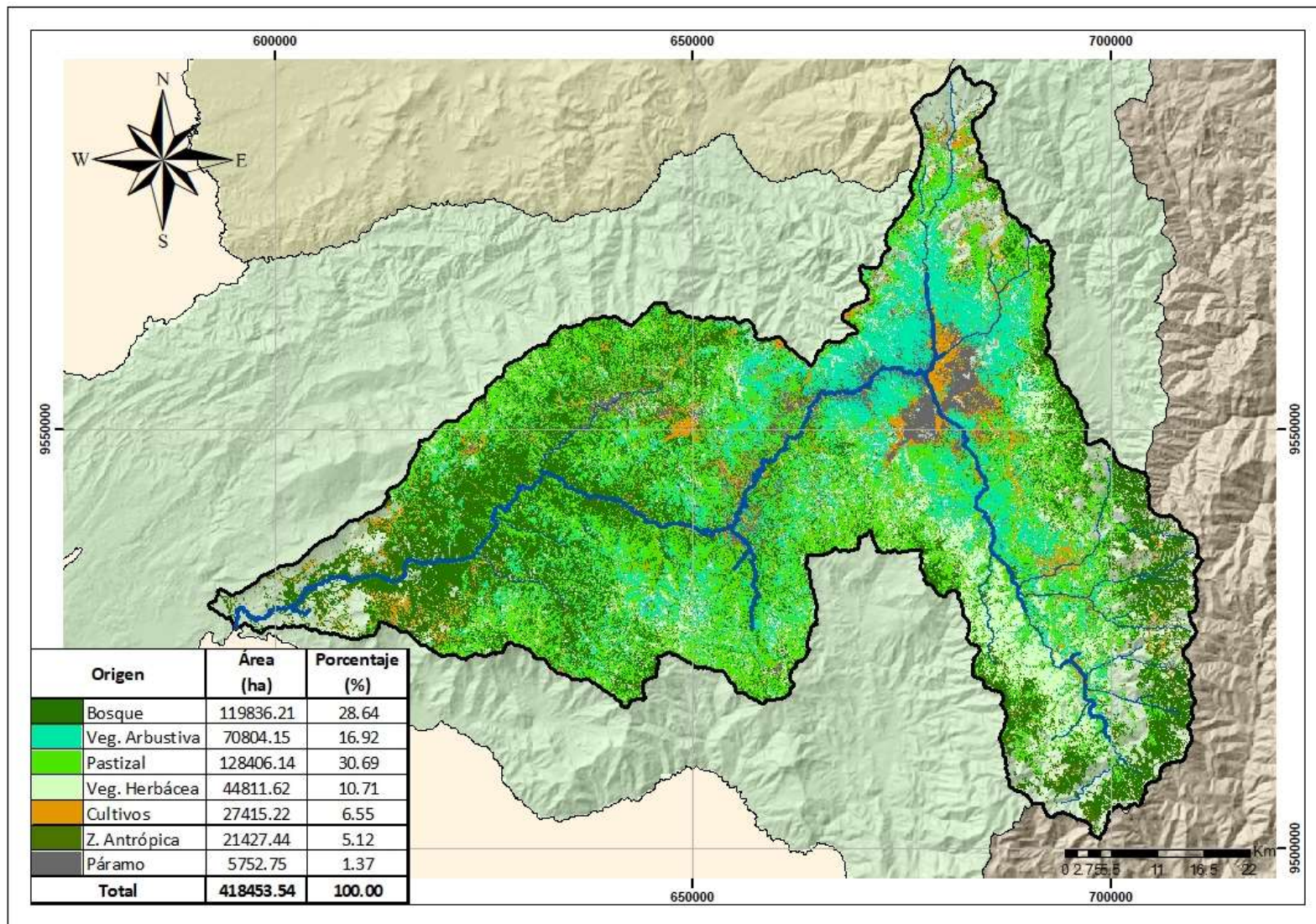
En la Figura 26 y Cuadro 34 se observa los tipos y la distribución de las diferentes coberturas vegetales existentes en la zona de estudio para el año 1997, donde el Bosque sobre el 41.10% y vegetación arbustiva con un 31.02% de. Por el contrario, son porcentajes menores los correspondientes a páramo (1.63%) y zona antrópica con un 1.74%. Resultado similar al obtenido por el ministerio del ambiente del Ecuador (MAE, 2014) en sus archivos digitales disponibles en la página web institucional, donde existe una mayor extensión ocupada por bosque ya que en la zona de estudio se encuentra parte del Parque Nacional Podocarpus y de la Reserva de Biósfera del Bosque Seco. Complementariamente, en la Figura 27 y en el Cuadro 34 se observa las coberturas presentes en la zona de estudio para el año 2017. Las diferentes coberturas han experimentado un notable cambio, es así, que la extensión ocupada por bosque ha disminuido a 28.64% y ese espacio ha sido empleado por la expansión de otras coberturas como es el pastizal que ha aumentado hasta 30.69% junto con el incremento de los cultivos hasta un 6.55%. Estos cambios evidencian el impacto producido por la fuerte y creciente actividad agropecuaria que tiene lugar en la subcuenca del río Catamayo.

**Cuadro 34:** Áreas de las coberturas en el año 1997 y 2017.

COBERTURA		1997		2017	
		ÁREA (ha)	PORCENTAJE (%)	ÁREA (ha)	PORCENTAJE (%)
C1	Páramo	6,808.75	1.63	5,752.75	1.37
C2	Bosque	171,994.08	41.10	119,836.21	28.64
C3	Pastizal	70,825.98	16.93	128,406.14	30.69
C4	Vegetación Arbustiva	129,807.21	31.02	70,804.15	16.92
C5	Vegetación Herbácea	16,735.38	4.00	44,811.62	10.71
C6	Zona Antrópica	7,291.44	1.74	21,427.44	5.12
C7	Cultivos	14,990.70	3.58	27,415.22	6.55



**Figura 26:** Mapa de cobertura vegetal en 1997.



**Figura 27:** Mapa de cobertura vegetal en 2017.

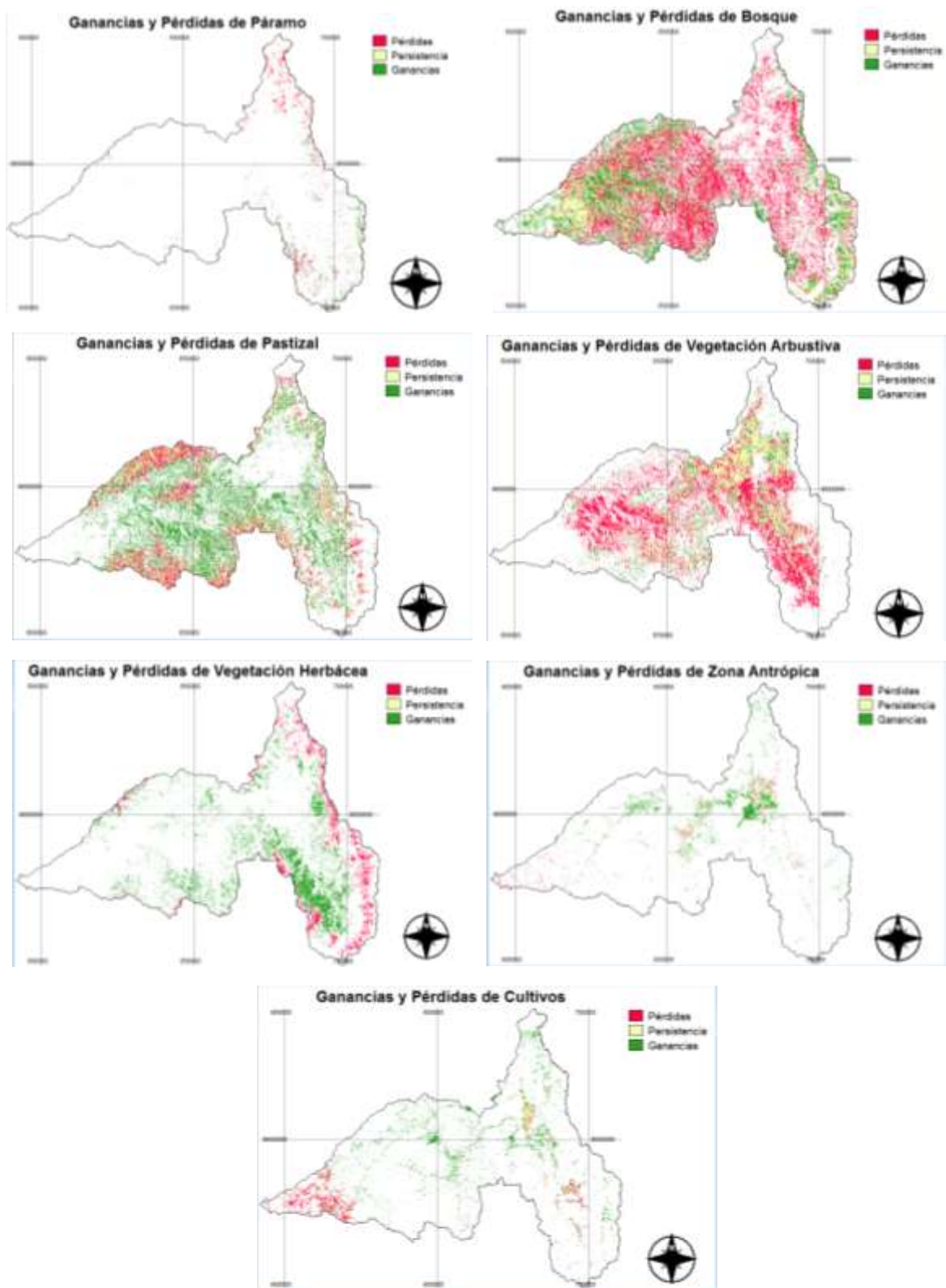
#### 4.1.2. Análisis de Cambio.

En el Cuadro 35 se observa los porcentajes correspondientes a las tendencias de cambio que existen entre las diferentes coberturas, siendo, (C1) páramo, (C2) bosque, (C3) pastizal, (C4) vegetación arbustiva, (C5) vegetación herbácea, (C6) zona antrópica y (C7) cultivos. El páramo ha cambiado principalmente a pastizal y a bosque (30.9% y 24.75%, respectivamente), el bosque ha cambiado a pastizal en aproximadamente el 34.77%, el pastizal ha aumentado en un 51.66%, de igual manera, la vegetación arbustiva ha aumentado en un 37.18%, la vegetación herbácea se ha tornado hacia plantaciones forestales la zona antrópica ha aumentado en un 61.33% y las extensiones de los cultivos también han aumentado en un 40.58%.

**Cuadro 35:** Tendencia de cambio entre las diferentes coberturas en 1997 y 2017.

		2017							TOTAL
		C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	
1997	C1	10.52	24.75	30.90	6.17	14.90	6.81	5.97	100.00
	C2	1.95	32.81	34.77	11.09	8.89	4.69	5.81	100.00
	C3	0.25	30.99	51.66	2.85	7.56	0.88	5.82	100.00
	C4	0.84	17.55	18.82	37.18	17.26	4.95	3.40	100.00
	C5	2.40	65.56	20.69	0.72	1.82	2.21	6.60	100.00
	C6	0.14	9.35	3.57	6.60	1.25	61.33	17.76	100.00
	C7	0.06	35.65	11.81	2.84	2.25	6.81	40.58	100.00

En la Figura 28 se observa las ganancias y pérdidas de cada cobertura durante los últimos 20 años (1997 – 2017), es así, que las coberturas en las que predominan las pérdidas son: El páramo, sobretodo, en la zona norte de la subcuenca, de igual manera, las pérdidas de bosque predominan en el sector centro oeste de la zona de estudio, y la vegetación arbustiva ha disminuido su extensión en varios sectores de la subcuenca. Por el contrario, los pastizales han aumentado su extensión lo que indica la intensa actividad agropecuaria que hay en la zona de estudio. De igual manera, la vegetación herbácea, la zona antrópica y los cultivos han ganado territorio frente a otras coberturas.

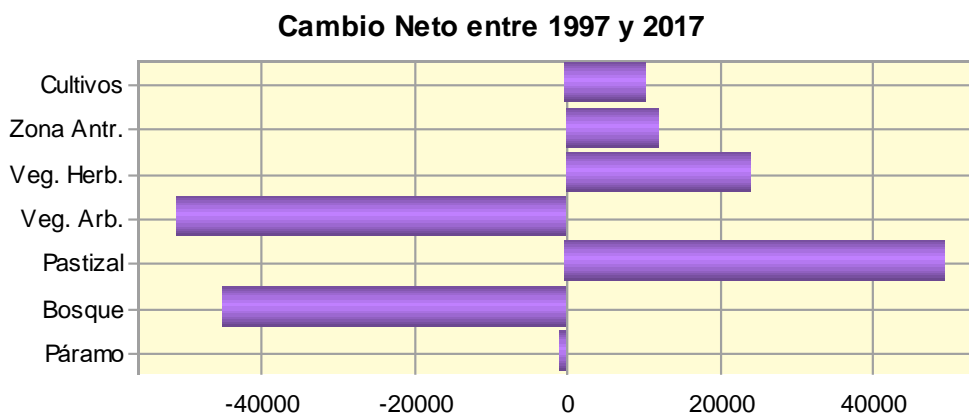


**Figura 28:** Mapas de ganancias-pérdidas de las diferentes coberturas.

A lo largo de los 20 años en análisis (1997 – 2017) las coberturas vegetales han experimentado cambios, tanto ganancias como pérdidas, sin embargo, en la Figura 29 se observa el cambio neto expresado en área (ha) por cada tipo de cobertura. Es así, que han



aumentado en extensión los cultivos, la zona antrópica, la vegetación herbácea y los pastizales ralos o poco densos, mientras que la vegetación arbustiva y los bosques han descendido su hectariaje de forma muy pronunciada a diferencia del páramo cuya disminución es mínima.

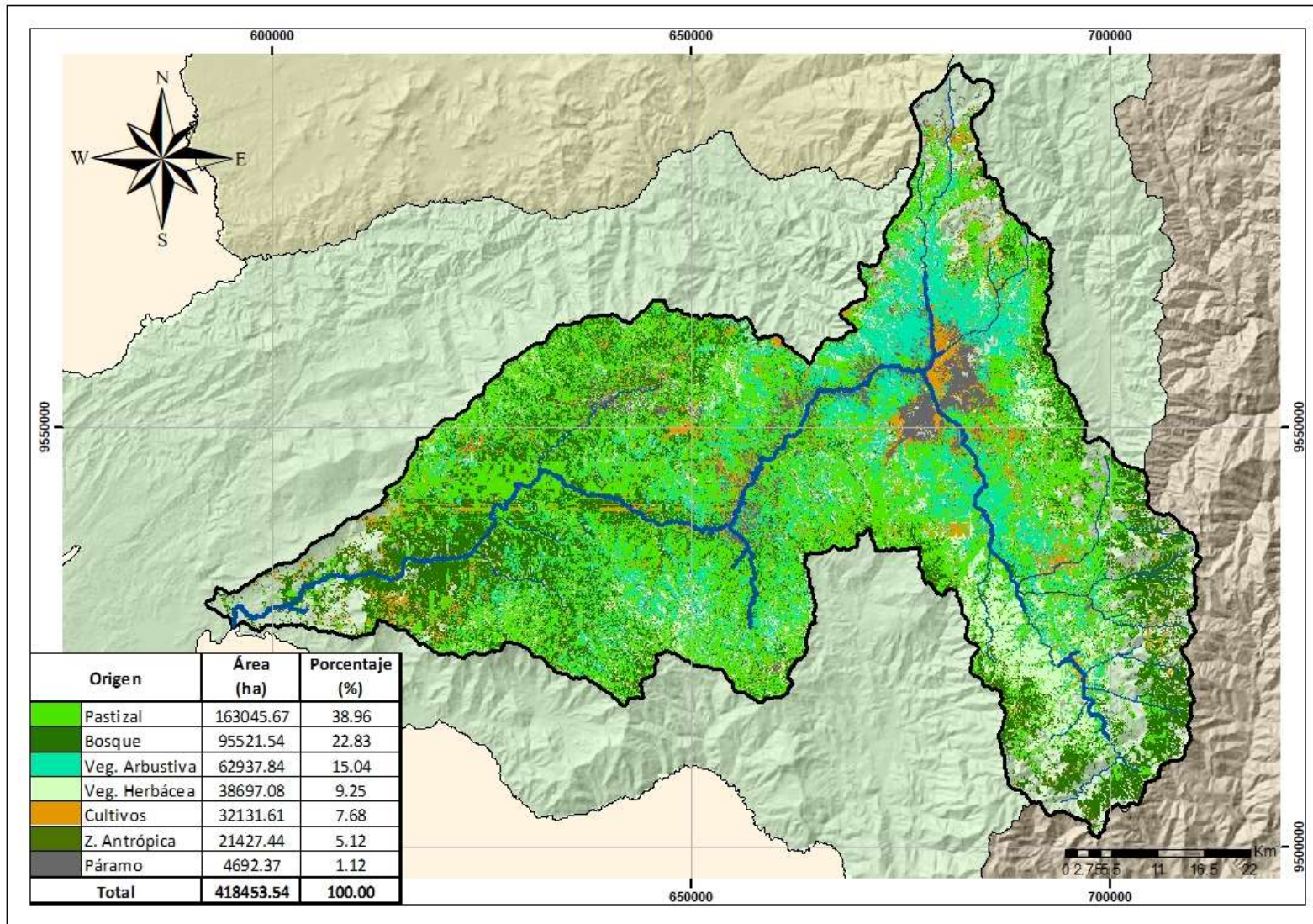


**Figura 29:** Cambio neto de las diferentes coberturas según el hectariaje.

Finalmente, se obtuvo el mapa de cobertura vegetal proyectado para 2037 como se ve en la Figura 30 y Cuadro 36, las probabilidades de transición entre las diferentes coberturas indican que, si las tendencias continúan, los pastizales y cultivos seguirán extendiéndose (frontera agrícola), mientras que las vegetaciones naturales (bosque, páramo, vegetación arbustiva y herbácea) seguirá reduciéndose a favor de las coberturas empleadas con fines productivos. Este hecho resulta perjudicial puesto que este cambio de uso del suelo favorece el aumento de extensiones que sufren erosión hídrica.

**Cuadro 36:** Cobertura vegetal para el año 2037

COBERTURAS	ÁREA (ha)	PORCENTAJE (%)
Páramo	4,692.37	1.12
Bosque	95,521.54	22.83
Pastizal	163,045.67	38.96
Vegetación Arbustiva	62,937.84	15.04
Vegetación Herbácea	38,697.08	9.25
Zona Antrópica	21,427.44	5.12
Cultivos	32,131.61	7.68
<b>TOTAL</b>	<b>418,453.54</b>	<b>100.00</b>



**Figura 30:** Mapa de cobertura vegetal para el año 2037.

## 4.2. Identificación de las áreas de la subcuenca del río Catamayo con erosión hídrica mediante el Modelamiento Geoespacial.

### 4.2.1. Submodelo Físico de Erosión Hídrica (SFEH)

- *Evaluación de la Pendiente*

En el mapa de pendientes generado para la subcuenca del río Catamayo (Figura 33) se observa que las zonas con pendientes más pronunciadas corresponden al divorcio de aguas de la zona sierra, principalmente, el cantón Loja (zona este), y los cantones que presentan una elevación menos inclinada corresponde al punto de aforo de la subcuenca que se localiza en el cantón Zapotillo (zona oeste). Complementariamente, en el Cuadro 37 se evidencia que el 47.51% corresponde al rango de pendiente “Moderadamente escarpado” y el 24.03% pertenece a “Escarpado”, es decir, aproximadamente el 70% del terreno de la subcuenca presenta una pendiente pronunciada, lo cual indica que la zona de estudio es muy propensa a la erosión hídrica.

**Cuadro 37:** Rangos de la pendiente en la subcuenca del río Catamayo.

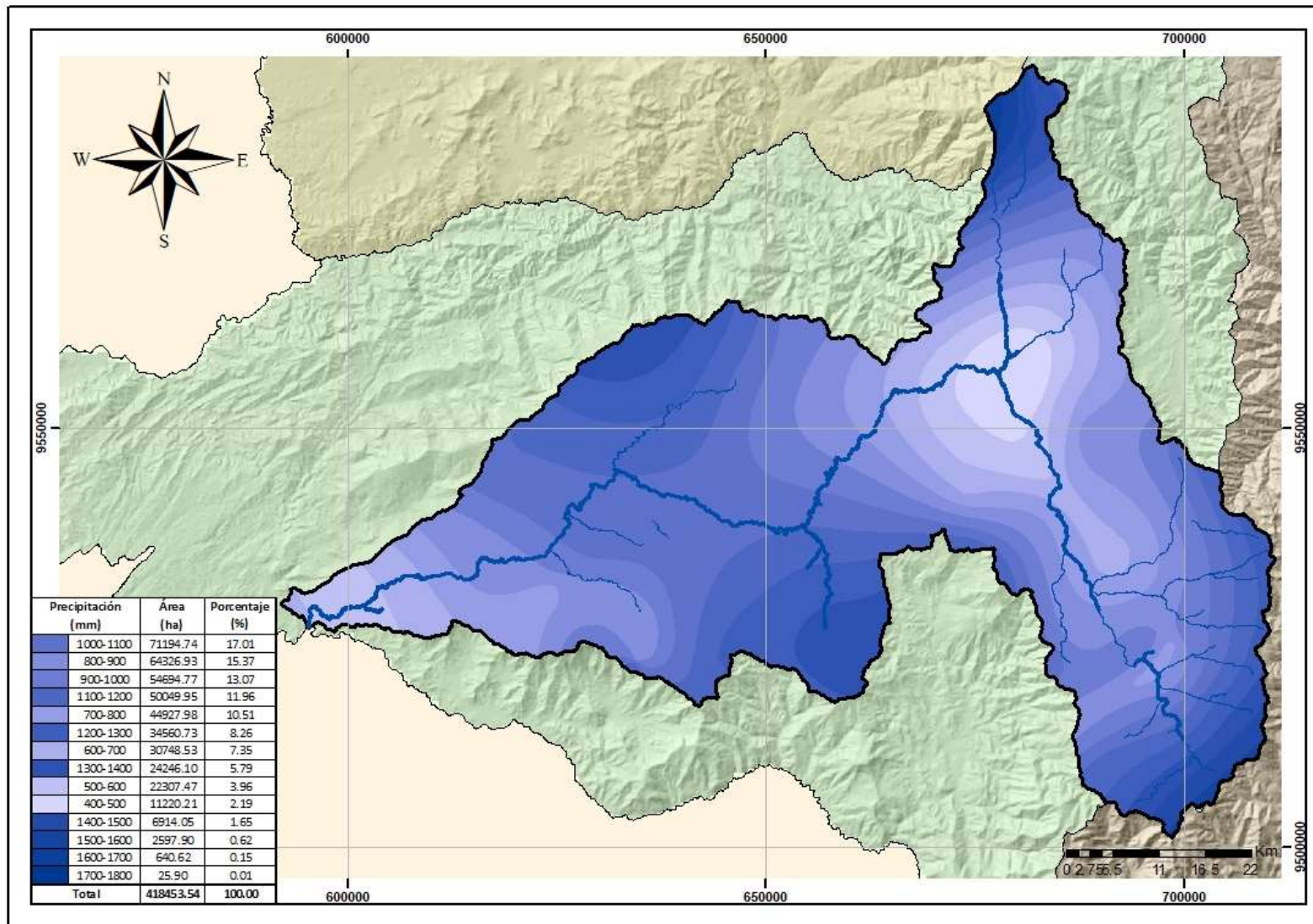
RANGO	DESCRIPCIÓN	ÁREA (ha)	PORCENTAJE (%)
0 - 0.2 %	Plano	136.68	0.03
0.2 - 0.5 %	Nivel	91.12	0.02
0.5 - 1.0 %	Cercano al nivel	518.57	0.12
1.0 - 2.0 %	Muy ligeramente inclinado	1,869.72	0.45
2 - 5 %	Ligeramente inclinado	14,401.61	3.44
5 - 10 %	Inclinado	44,272.71	10.58
10 - 15 %	Fuertemente inclinado	57,656.91	13.78
15 - 25 %	Moderadamente escarpado	198,808.18	47.51
25 - 60 %	Escarpado	100,562.93	24.03
> 60 %	Muy escarpado	135.10	0.03
<b>TOTAL</b>		<b>418,453.54</b>	<b>100.00</b>

- ***Evaluación de la Precipitación***

Como se puede ver en el Cuadro 38 en la subcuenca del río Catamayo existe una fuerte precipitación, es decir, aproximadamente en el 68% del área de la subcuenca la precipitación promedio anual varía de 700 – 1,200 mm. Además, en la Figura 31, se observa gráficamente la distribución de las isoyetas en la zona de estudio, de modo que, los cantones que presentan mayor precipitación corresponden a Loja y Calvas y por el contrario, Catamayo, Zapotillo y Macará se caracterizan por valores bajos de precipitación.

**Cuadro 38:** Rangos de la precipitación en la subcuenca del río Catamayo.

<b>PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL (mm)</b>	<b>ÁREA (ha)</b>	<b>PORCENTAJE (%)</b>
400 - 500	11,220.21	2.19
500 - 600	22,307.47	3.96
600 - 700	30,748.53	7.35
700 - 800	44,927.98	10.51
800 - 900	64,326.93	15.37
900 - 1,000	54,694.77	13.07
1,000 - 1,100	71,194.74	17.01
1,100 - 1,200	50,049.95	11.96
1,200 - 1,300	34,560.73	8.26
1,300 - 1,400	24,246.10	5.79
1,400 - 1,500	6,914.05	1.65
1,500 - 1,600	2,597.90	0.62
1,600 - 1,700	640.62	0.15
1,700 - 1,800	25.90	0.01
<b>TOTAL</b>	<b>418,453.54</b>	<b>100.00</b>



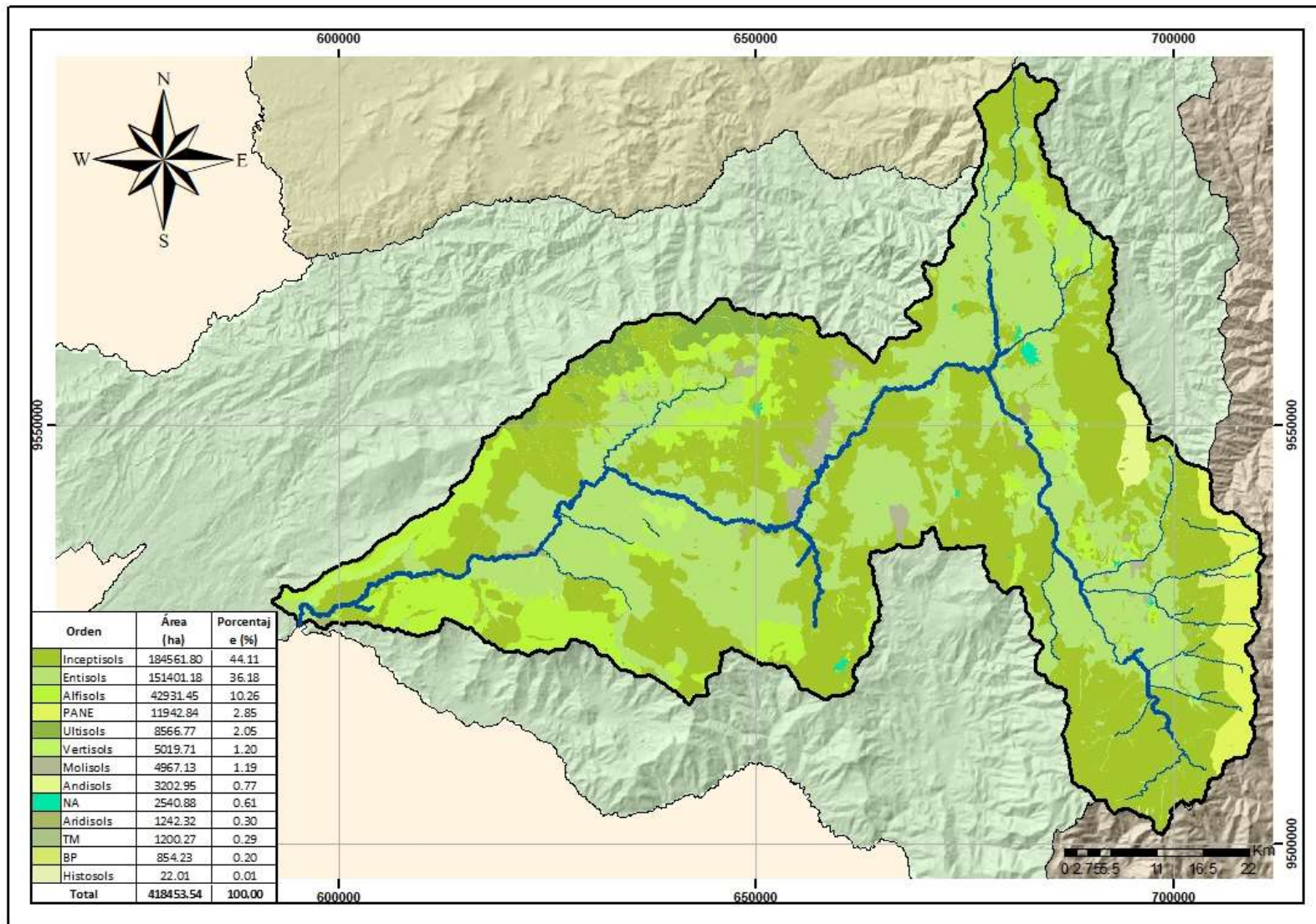
**Figura 31:** Mapa de variación de la precipitación media anual en la subcuenca del río Catamayo.

- **Evaluación del Suelo**

Se realizó una calificación individual para cada cantón y según el subgrupo al que pertenecen (Anexo 3), sin embargo, para realizar el mapa de taxonomía de suelos se ha realizado según el tipo de orden como se puede ver en el Cuadro 39 y en la Figura 32 y se obtiene que el 44.11% corresponde al orden de “Inceptisoles” caracterizados por ser suelos jóvenes con un desarrollo incipiente. Presentan agua disponible para las plantas por más de medio año o por más de tres meses consecutivos durante la estación seca por lo que están presentes en suelos de regiones húmedas y subhúmedas. Además, no tienen un horizonte iluvial enriquecido con arcilla silicatada o con una mezcla amorfa de aluminio y carbono orgánico.

**Cuadro 39:** Taxonomía de suelos de la subcuenca del río Catamayo.

<b>ORDEN</b>	<b>ÁREA (ha)</b>	<b>PORCENTAJE (%)</b>
Alfisols	42,931.45	10.26
Andisols	3,202.95	0.77
Aridisols	1,242.32	0.30
Entisols	151,401.18	36.18
Histosols	22.01	0.01
Inceptisols	184,561.80	44.11
Molisols	4,967.13	1.19
Ultisols	8,566.77	2.05
Vertisols	5,019.71	1.20
Bosque Protector	854.23	0.20
Patrimonio de Áreas Naturales del Estado	11,942.84	2.85
No Aplicable	2,540.88	0.61
Tierras Misceláneas	1,200.27	0.29
<b>TOTAL</b>	<b>418,453.54</b>	<b>100.00</b>



**Figura 32:** Mapa de taxonomía de suelos de la subcuenca del río Catamayo.

- ***Evaluación de la Cobertura Vegetal***

En el Cuadro 40 se puede ver que el 33.24% del terreno de la subcuenca corresponde a “Bosque Nativo” debido a la presencia del Parque Nacional Podocarpus y de la Reserva de Biósfera del Bosque Seco, sin embargo, el 27.28% pertenece a “Pastizal”, lo que indica que hay una notable actividad ganadera en el sector. Esta realidad se puede observar en la Figura 33 donde se evidencia que los cantones Paltas y Gonzanamá se caracterizan por una gran proporción de su territorio ocupado por pastizal.

**Cuadro 40:** Tipos de cobertura vegetal presentes en la subcuenca del río Catamayo.

NIVEL 1	NIVEL 2	ÁREA (ha)	PORCENTAJE (%)
Bosque	Plantación Forestal	4,602.97	1.1
	Bosque Nativo	139,092.24	33.24
Cuerpo de Agua	Natural	1,543.63	0.37
Tierra Agropecuaria	Cultivo Anual	19,233.05	4.6
	Cultivo Permanente	2,303.49	0.55
	Cultivo Semipermanente	4,675.64	1.12
	Mosaico Agropecuario	13,575.42	3.24
	Pastizal	114,147.64	27.28
Vegetación Arbustiva y Herbácea	Páramo	9,790.58	2.34
	Vegetación Arbustiva	79,589.49	19.02
	Vegetación Herbácea	26,841.79	6.41
Zona Antrópica	Infraestructura	68.38	0.02
	Área Poblada	1,769.00	0.42
Otras Tierras	Área Sin Cobertura Vegetal	1,220.19	0.29
<b>TOTAL</b>		<b>418,453.54</b>	<b>100.00</b>

- ***Evaluación de la Fisiografía***

En la Figura 34 se muestra la fisiografía según su origen por fines de presentación y se observa el 88.51% corresponde a “Tectónico Erosivo”, Sin embargo, en el Anexo 4 se muestra de forma detallada la fisiografía de la subcuenca del río Catamayo según su morfología y pendiente, es por ello que se obtiene como resultado que el 56.76% de la zona de estudio pertenece a un “Relieve Montañoso” de origen “Tectónico Erosivo”, lo que evidencia que la subcuenca es propensa a la erosión hídrica porque tiene fuertes pendientes (zona sierra), un pronunciado desnivel y cimas agudas con valles tipo V (SNI, 2012)



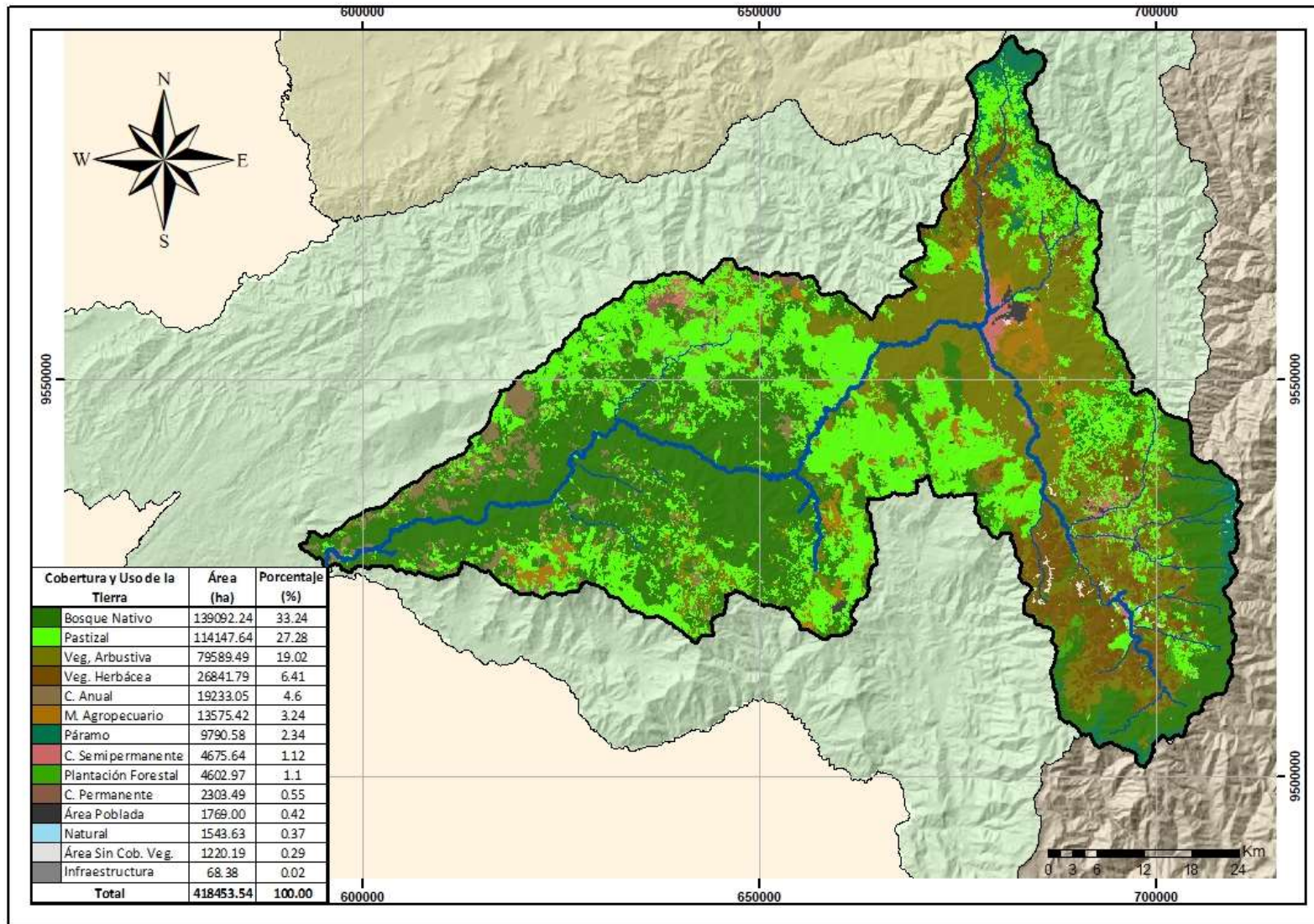
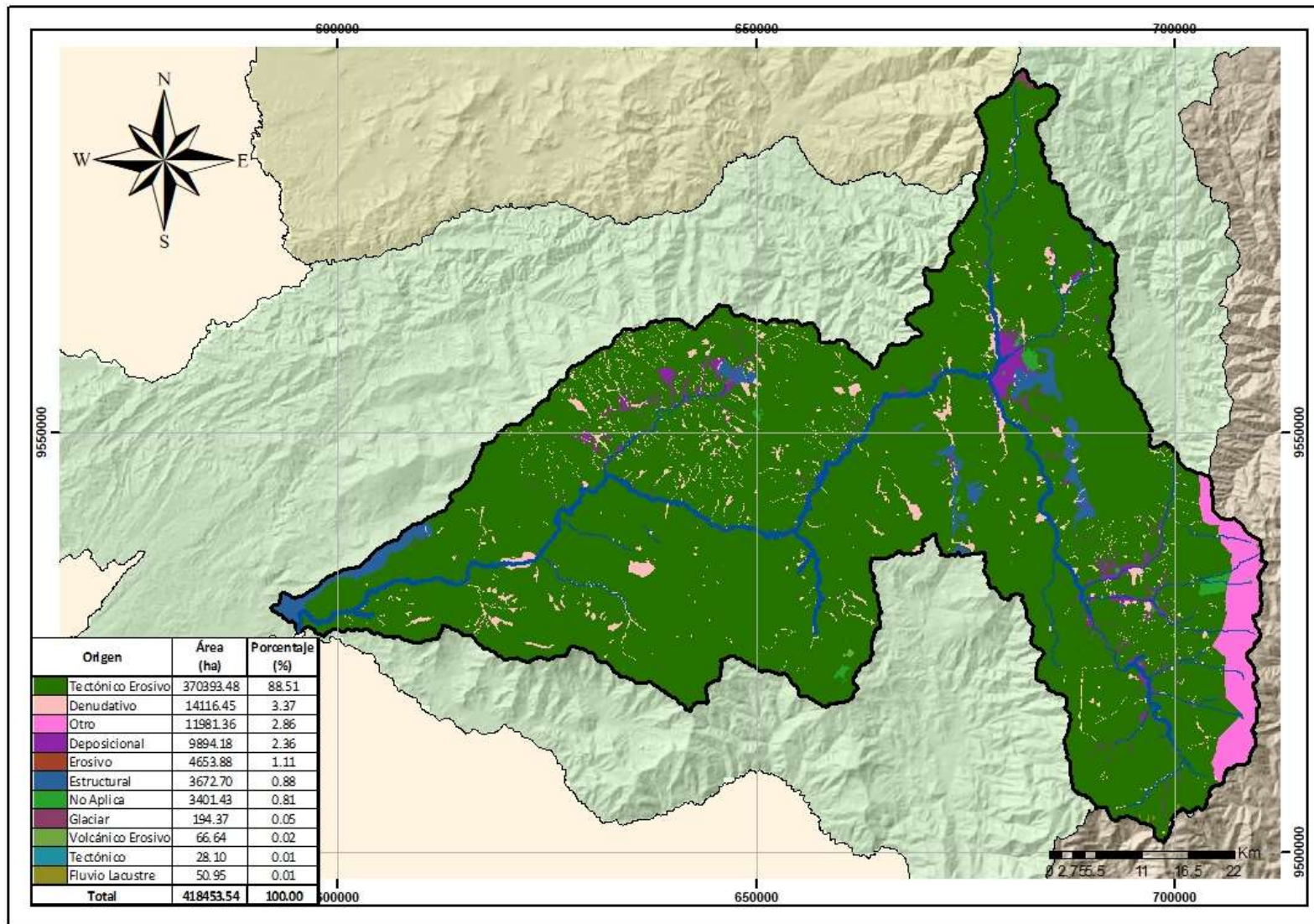


Figura 33: Mapa de cobertura vegetal de la subcuenca del río Catamayo.



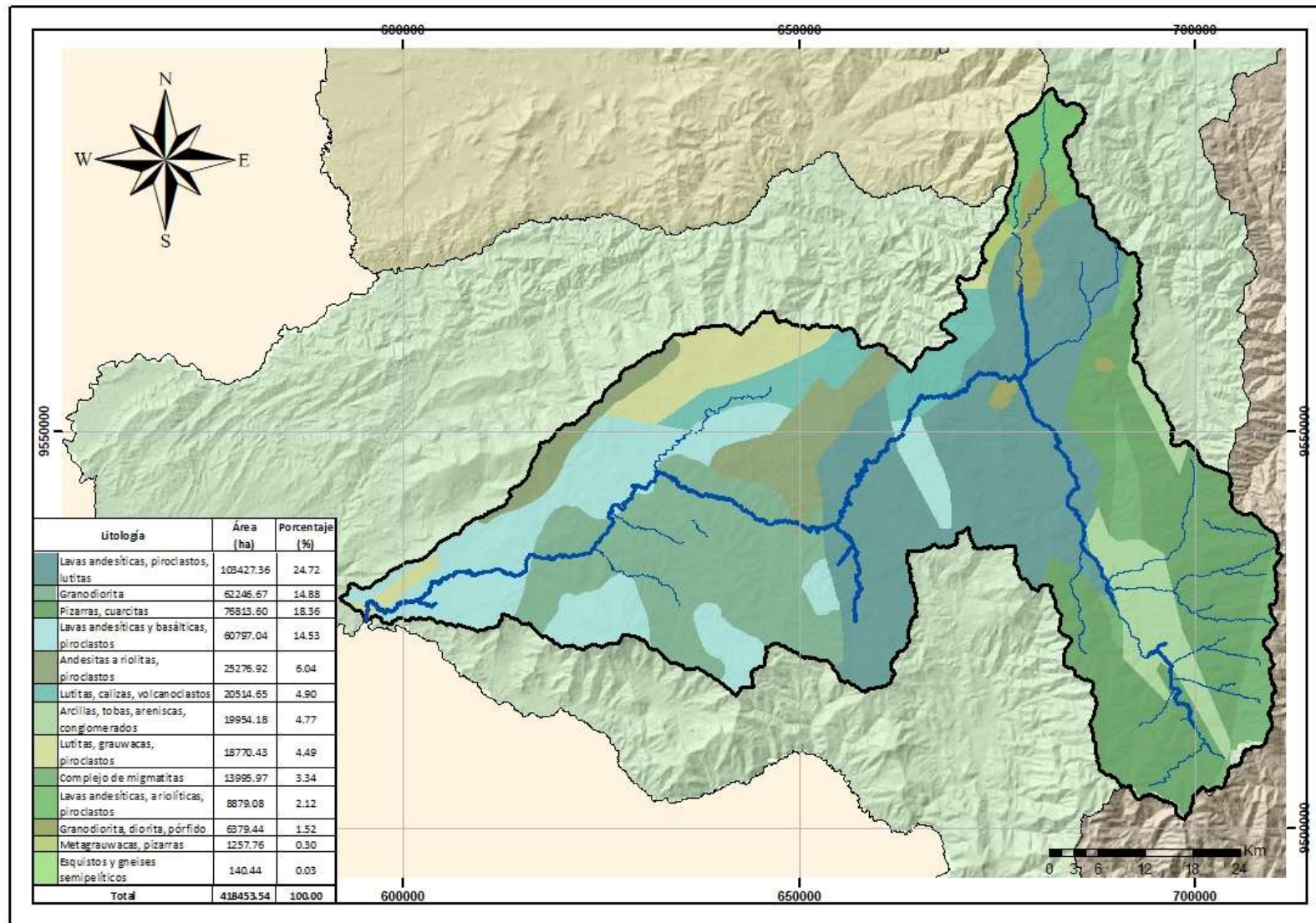
**Figura 34:** Mapa de fisiografía de la subcuenca del río Catamayo.

- **Evaluación de la Geología**

En el Cuadro 41 se muestra que el mayor porcentaje (24.72%) de la subcuenca corresponde a una litología del periodo paleoceno conocido como “Lavas andesíticas, piroclastos, lutitas”, de formación volcánicos Sacapalca, es decir, nos indica que el sustrato rocoso corresponde a rocas ígneas volcánicas como se puede ver en la Figura 35. Además, la formación Sacapalca se caracteriza por presentar lavas (más resistentes a la erosión existen en los terrenos altos) y piroclastos (se forman en las depresiones) en proporciones que varían (SIN, 2013)

**Cuadro 41:** Tipos de geología presente en la subcuenca del río Catamayo.

FORMACIÓN	LITOLOGÍA	PERIODO	ÁREA (ha)	PORCENTAJE (%)
	Granodiorita, diorita, pórfido	Cenozoico	6,379.44	1.52
	Granodiorita	Cretáceo	62,246.67	14.88
	Complejo de migmatitas	Triásico	13,995.97	3.34
Celica	Lavas andesíticas y basálticas, piroclastos	Cretáceo	60,797.04	14.53
Grupos Nabón y Quillollaco	Arcillas, tobas, areniscas, conglomerados	Mioceno/Plioceno	19,954.18	4.77
Unidad Agoyán	Esquistos y gneises semipelíticos	Paleozoico	140.44	0.03
Unidad Chiguinda	Pizarras, cuarcitas	Paleozoico	76,813.60	18.36
Unidad El Tigre	Metagrauwacas, pizarras	Paleozoico	1,257.76	0.30
Volcánicos Pisayambo	Andesitas a riolitas, piroclastos	Mioceno/Plioceno	25,276.92	6.04
Volcánicos Sacapalca	Lavas andesíticas, piroclastos, lutitas	Paleoceno	103,427.36	24.72
Volcánicos Saraguro	Lavas andesíticas, a riolíticas, piroclastos	Oligoceno	8,879.08	2.12
Yunguilla	Lutitas, calizas, volcanoclastos	Cretáceo/Paleoceno	20,514.65	4.90
Zapotillo-Ciano	Lutitas, grauwacas, piroclastos	Cretáceo	18,770.43	4.49
<b>TOTAL</b>			<b>418,453.54</b>	<b>100.00</b>



**Figura 35:** Mapa de geología de la subcuenca del río Catamayo.

- **Submodelo Físico.**

Por la integración de las seis variables con sus correspondientes grados de participación o influencia ante la erosión hídrica se obtuvo que la subcuenca del río Catamayo es vulnerable por sus características físicas como se puede ver en el Cuadro 42 y en la Figura 36, aproximadamente el 91.05% de la extensión de la zona de estudio presenta una erosión hídrica de “Fuerte a Muy Fuerte” y tan solo el 8.95% se encuentra de “Leve o Nula a Moderada”.

Esta situación ocurre por la sinergia entre las seis variables, es decir, la pendiente moderadamente escarpada (47.51%); la precipitación promedio anual varía de 700 – 1200 mm en el 68% del área de la subcuenca; los suelos son predominantemente inceptisoles (44.11%); la cobertura vegetal en un 27.28% es pastizal; la fisiografía más representativa es relieve montañoso en un 56.76%; y una geología de “Lavas andesíticas, piroclastos, lutitas” en un 24.72%, que en conjunto favorece a que la erosión hídrica actúe con gran impacto en la zona de estudio.

**Cuadro 42:** Erosión hídrica cualitativa en función del submodelo físico.

<b>RANGO</b>	<b>ÁREA (ha)</b>	<b>PORCENTAJE (%)</b>
Fuerte	290,831.01	69.50
Muy Fuerte	90,157.82	21.55
Moderada	35,518.79	8.49
Leve o Nula	1,945.92	0.46
<b>TOTAL</b>	<b>418,53.54</b>	<b>100.00</b>

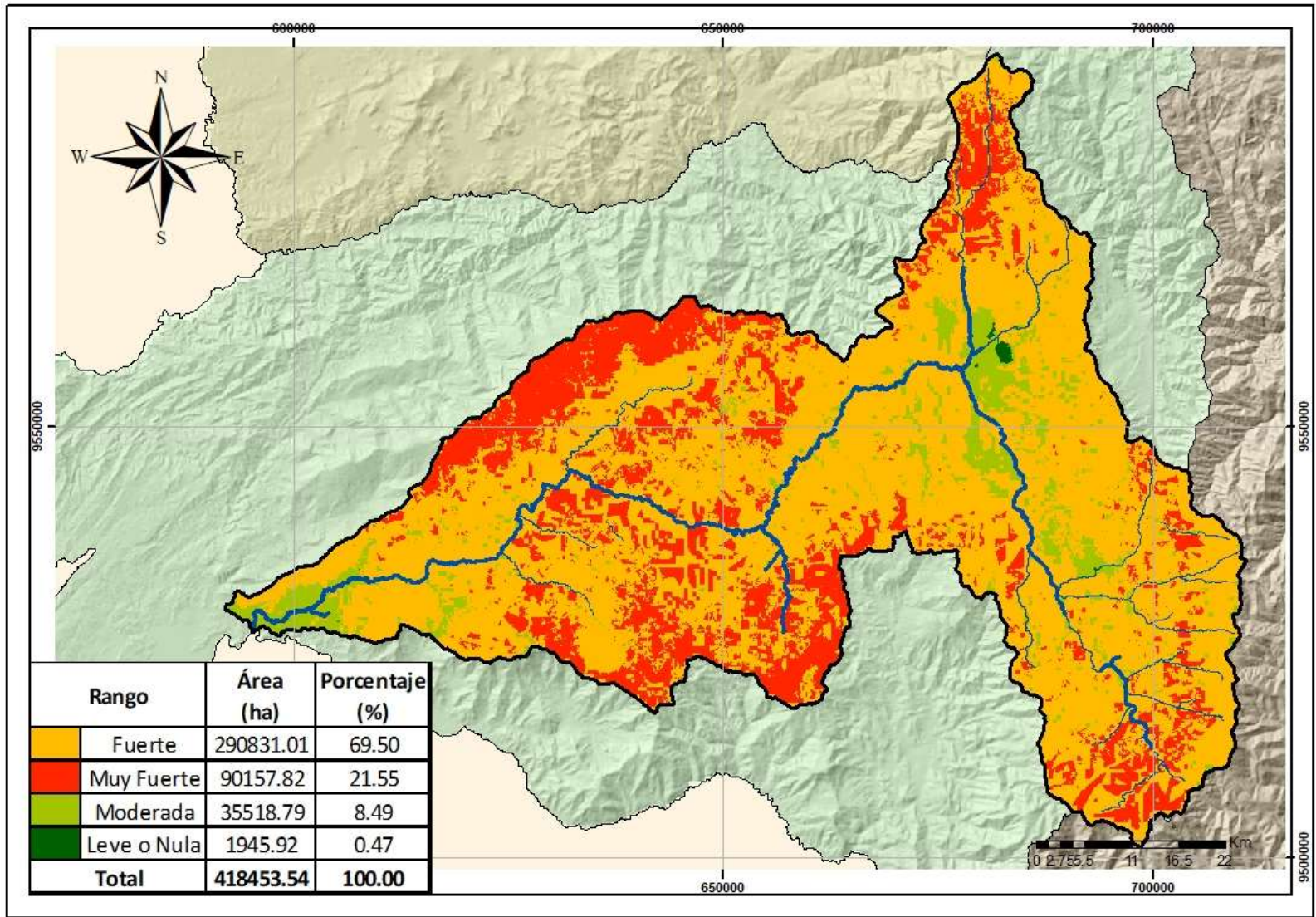


Figura 36: Mapa de zonas de erosión por las características físicas.

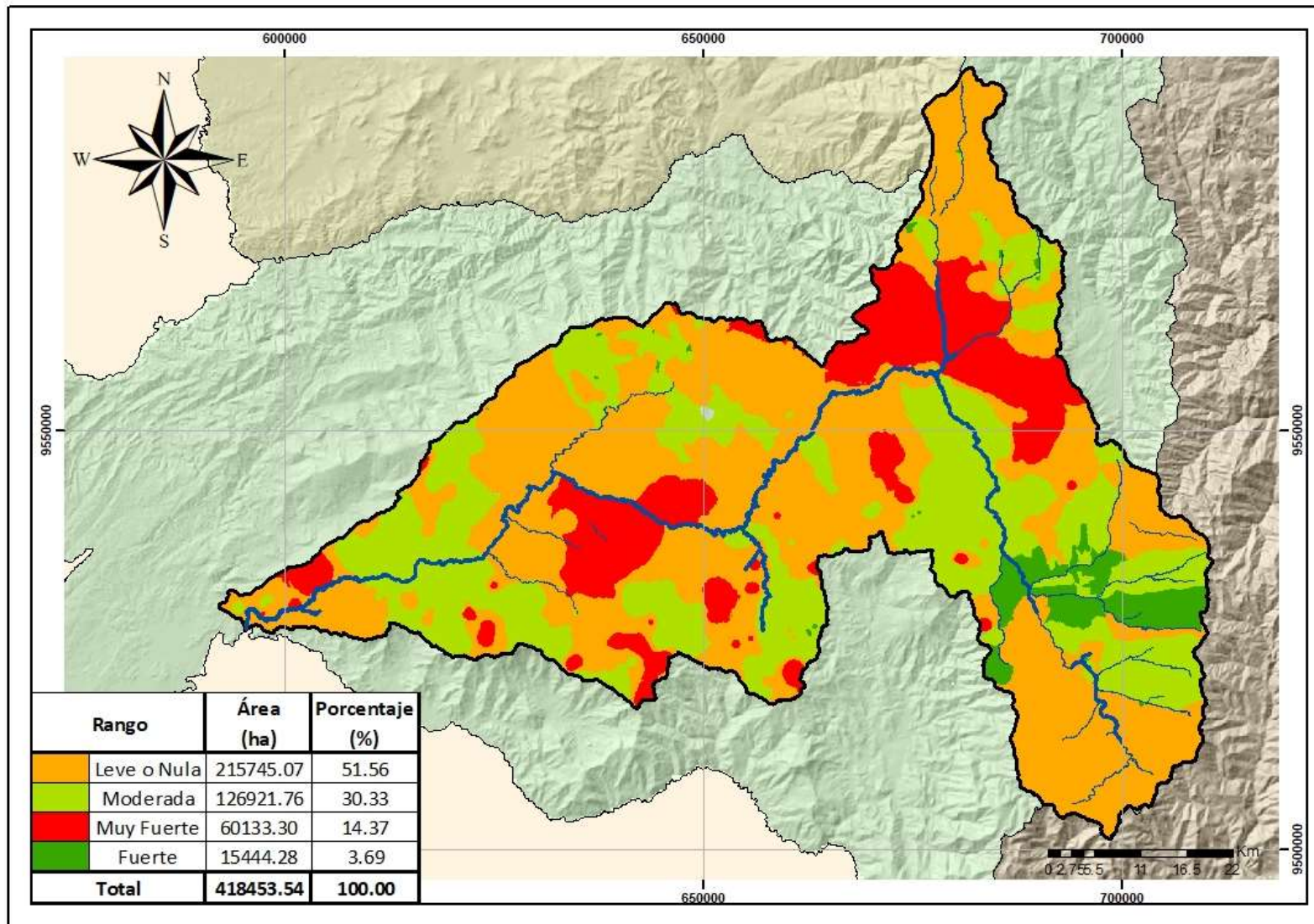
#### 4.2.2. Submodelo Socio-Económico (SS-E)

- *Evaluación de los Servicios Básicos*

Del análisis de la cobertura de servicios básicos en la subcuenca del río Catamayo se obtuvo que el 51.56% (Cuadro 43) cuenta con una disponibilidad “Baja” y tan solo el 3.69% tienen una disponibilidad “Alta” (Figura 37). Esto indica que al no tener las prestaciones básicas de agua, luz y recolección de basura incide de forma tal, que la erosión hídrica que existe en el medio es alta.

**Cuadro 43:** Cobertura de servicios básicos en la subcuenca del río Catamayo.

<b>RANGO</b>	<b>ÁREA (ha)</b>	<b>PORCENTAJE (%)</b>
Muy Baja	60,133.30	14.37
Baja	215,745.07	51.56
Media	126,921.76	30.33
Alta	15,444.28	3.69
<b>TOTAL</b>	<b>418,453.54</b>	<b>100.00</b>



**Figura 37:** Mapa de servicios básicos de la subcuenca del río Catamayo.



- **Evaluación de la Población Ocupada por Rama de Actividad (PORA)**

En el Cuadro 44 se observa el PORA para cada cantón según el área urbana y rural; y en el Cuadro 45 se presenta un PORA promedio para la subcuenca del río Catamayo. En ambos casos, el PORA 1 Rural es el más representativo, lo que indica que los habitantes de la zona de estudio se dedican principalmente al sector agropecuario y tiene una gran incidencia con la erosión hídrica como se puede ver en la Figura 38.

**Cuadro 44:** PORA de la zona de estudio.

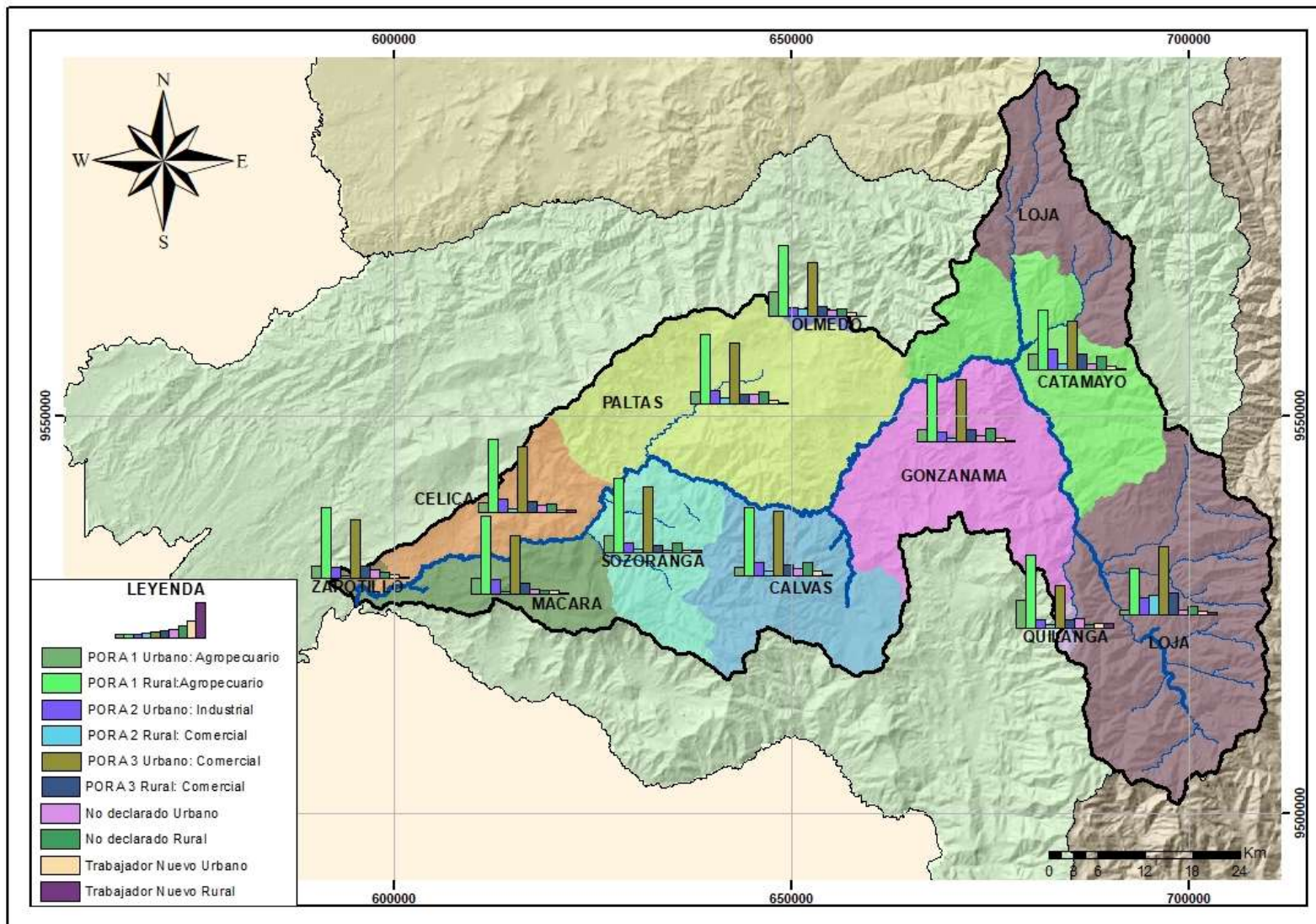
CANTÓN	PORA (%)									
	PORA 1		PORA 2		PORA 3		No declarado		Trabajador nuevo	
	Urbano	Rural	Urbano	Rural	Urbano	Rural	Urbano	Rural	Urbano	Rural
Calvas	8.39	70.33	13.05	4.72	66.75	10.25	7.2	13.33	4.6	1.38
Catamayo	17.15	61.47	21.33	6.41	50.61	16.03	6.37	14.62	4.54	1.48
Celica	9.99	75.48	12.84	3.56	67.72	11.38	7.52	8.14	1.93	1.43
Gonzanamá	13.34	69.53	10.75	3.62	65.16	12.18	6.76	13.54	3.99	1.13
Loja	4.18	48.18	17.73	19.33	69.84	22.47	4.23	8.08	4.02	1.94
Macará	16	80.83	14.57	2.87	60.71	11.05	4.7	3.91	4.03	1.35
Olmedo	25	73.17	8.9	7.48	55.08	10.56	6.78	8.14	4.24	0.66
Paltas	11.54	71.19	13.91	5.57	62.8	9.5	9.14	12.65	2.62	1.09
Quilanga	29.23	76.74	9.74	4.64	44.13	9.36	11.17	4.02	5.73	5.34
Sozoranga	17.96	76.92	9.39	3.67	67.68	6.99	2.49	10.07	2.49	2.35
Zapotillo	12.9	74.29	11.86	3.36	61.67	13.57	9.11	7.3	4.46	1.47

FUENTE: INEC, 2017.

**Cuadro 45:** PORA en la subcuenca del río Catamayo.

PORCENTAJE (%)	PORA 1		PORA 2		PORA 3		No Declarado		Trabajador Nuevo	
	Urbano	Rural	Urbano	Rural	Urbano	Rural	Urbano	Rural	Urbano	Rural
	15.06	70.74	13.10	5.93	61.10	12.12	6.86	9.44	3.88	1.78

FUENTE: INEC, 2017.



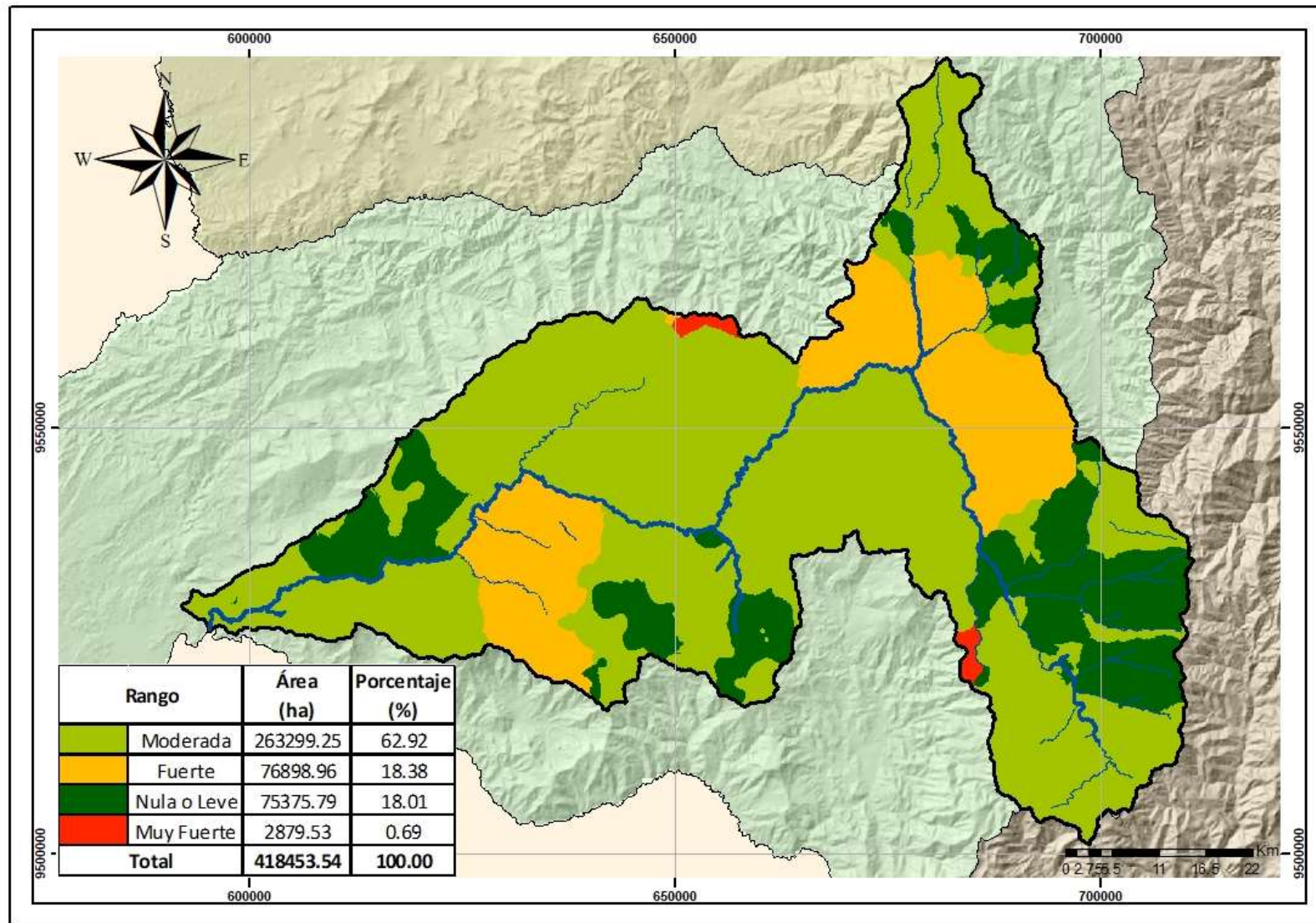
**Figura 38:** Mapa de la PORA en la subcuenca del río Catamayo.

- **Submodelo Socio-Económico.**

En el Cuadro 46 y Figura 39 se observa que el 62.92% de la zona de estudio corresponde a una zona de erosión “Moderada” por los aspectos socio-económicos estudiados, a través, de las variables servicios básicos y población ocupada por rama de actividad. Debido a la integración de las dos variables antes mencionadas donde cabe recalcar que el 51.56% de la subcuenca cuenta con una “Disponibilidad Baja” de servicios básicos y el 70.74% de los habitantes de la subcuenca pertenecen al sector primario (agricultura, ganadería, caza y silvicultura), la zona de estudio presenta una importante predisposición a presentar erosión hídrica.

**Cuadro 46:** Erosión hídrica cualitativa en función del submodelo socio-económico.

<b>RANGO</b>	<b>ÁREA (ha)</b>	<b>PORCENTAJE (%)</b>
Moderada	263299.25	62.92
Fuerte	76898.96	18.38
Nula o Leve	75375.79	18.01
Muy Fuerte	2879.53	0.69
<b>TOTAL</b>	<b>418,53.54</b>	<b>100.00</b>



**Figura 39:** Mapa de aspectos socio-económicos y su influencia en la erosión hídrica.

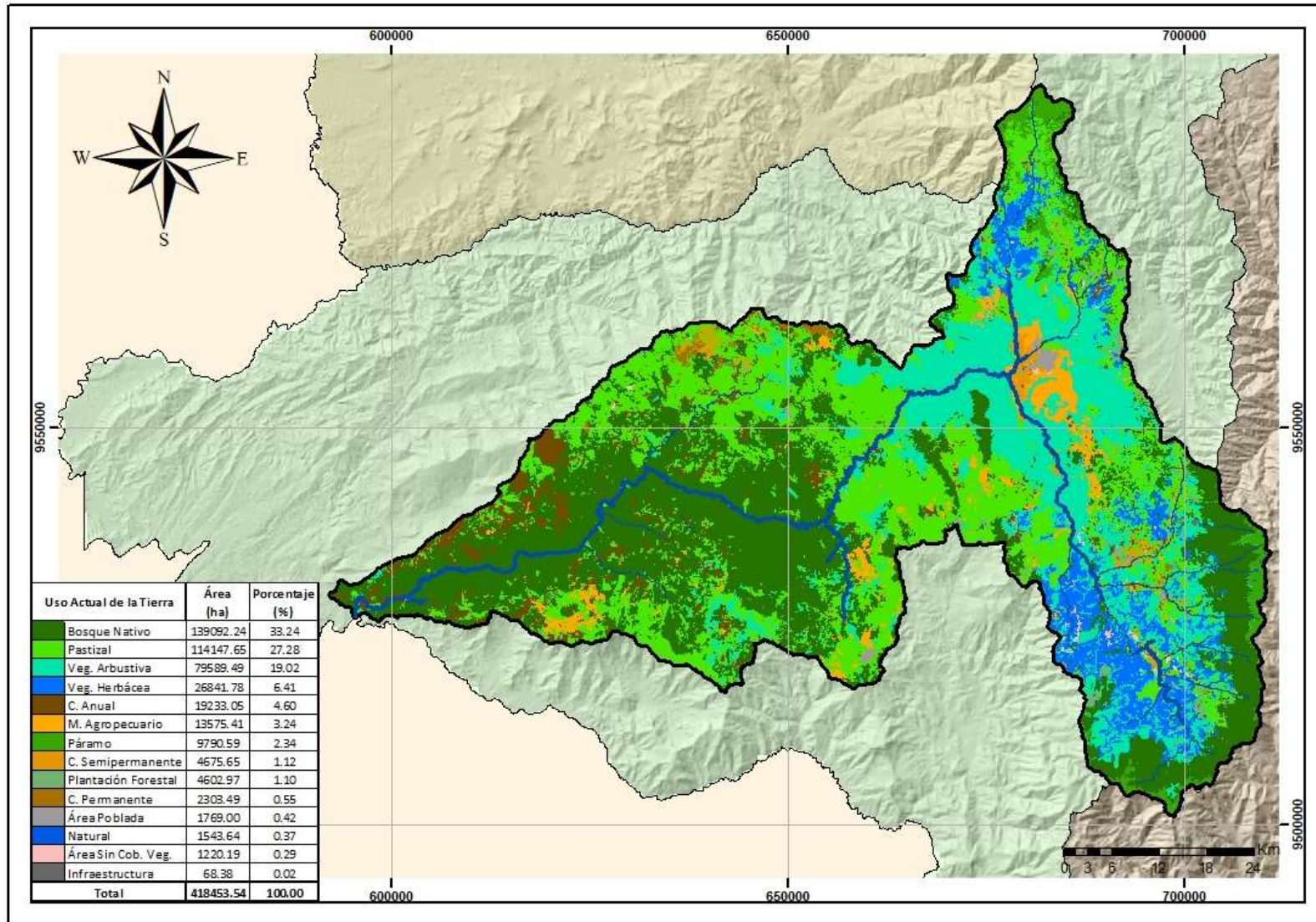
### 4.2.3. Submodelo de Conflicto de Uso (SCU)

- *Evaluación del Uso Actual de la Tierra.*

Del análisis del uso actual de la tierra, al igual que en cobertura vegetal se observa que el mayor porcentaje del terreno es ocupado por “Bosque Nativo” (33.24%), como se ha mencionado anteriormente debido a la presencia del Parque Nacional Podocarpus y de la Reserva de Biósfera del Bosque Seco. Seguido del “Pastizal” (27.28%) por la fuerte actividad agropecuaria, como se observa en el Cuadro 47 y en la Figura 40.

**Cuadro 47:** Uso actual de la tierra en la subcuenca del río Catamayo.

NIVEL 1	NIVEL 2	ÁREA (ha)	PORCENTAJE (%)
Bosque	Bosque Nativo	139,092.24	33.24
	Plantación Forestal	4,602.97	1.10
Cuerpo de Agua	Natural	1,543.64	0.37
Tierra Agropecuaria	Cultivo Anual	19,233.05	4.60
	Cultivo Permanente	2,303.49	0.55
	Cultivo Semipermanente	4,675.65	1.12
	Mosaico Agropecuario	13,575.41	3.24
	Pastizal	114,147.65	27.28
Vegetación	Páramo	9,790.59	2.34
Arbustiva y	Vegetación Arbustiva	79,589.49	19.02
Herbácea	Vegetación Herbácea	26,841.78	6.41
Zona Antrópica	Área Poblada	1,769.00	0.42
	Infraestructura	68.38	0.02
Otras Tierras	Área Sin Cobertura Vegetal	1,220.19	0.29
<b>TOTAL</b>		<b>418,453.54</b>	<b>100.00</b>



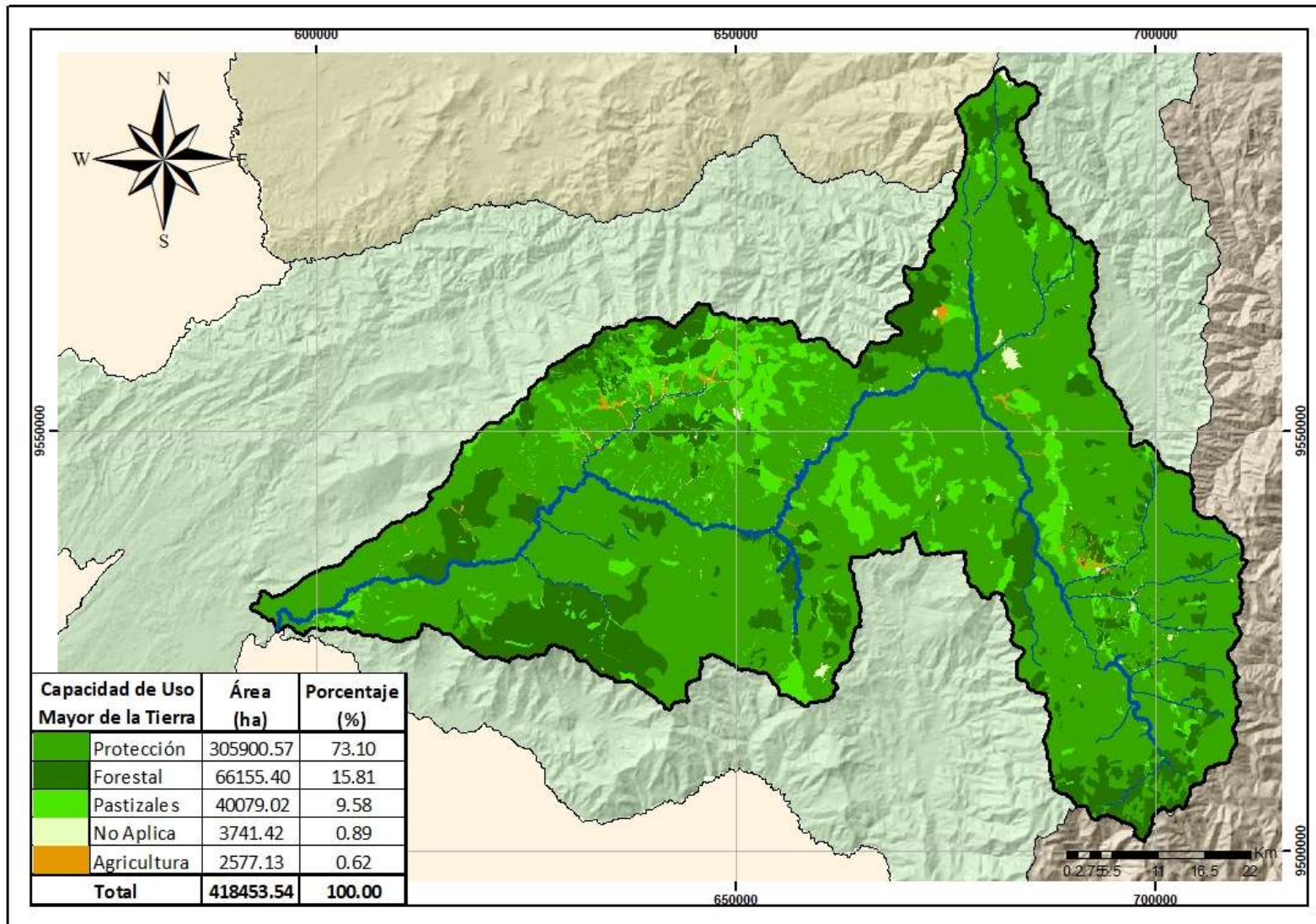
**Figura 40:** Mapa de uso actual de la tierra de la subcuenca del río Catamayo.

- ***Evaluación de la Capacidad de Uso Mayor de la Tierra (CUM)***

En el Cuadro 48 se observa de forma detallada la capacidad de uso mayor de la tierra de la zona de estudio, sin embargo, con fines de presentación, en la Figura 41, se evidencia que el 73.10% de la subcuenca corresponde a tierras aptas para “Protección”, el 15.81% a uso “Forestal”, el 9.58% a “Pastizales” y el 0.62% a “Agricultura”. Esta situación ideal es muy contraria a la que se presenta en la subcuenca, puesto que el mayor uso actual que tiene es “Bosque Nativo” pero tan solo en 33.24%, seguido del “Pastizal” con 27.28%. Esta situación permite ver que existe un fuerte conflicto de uso.

**Cuadro 48:** CUM en la subcuenca del río Catamayo.

<b>CÓDIGO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CUM</b>	<b>ÁREA (ha)</b>	<b>PORCENTAJE (%)</b>
II	Muy ligeras limitaciones	Agricultura	2,577.13	0.62
III	Ligeras limitaciones	Pastizales	18,397.42	4.40
IV	Moderadas limitaciones	Pastizales	21,681.60	5.18
V	Limitaciones fuertes a muy fuertes	Protección	5,174.67	1.24
VI	Tierras aptas para aprovechamiento forestal-limitaciones muy fuertes	Producción Forestal	66,155.40	15.81
VII	Tierras de protección-limitaciones muy fuertes	Protección	184,029.65	43.98
VIII	Limitaciones muy fuertes-conservación	Protección	103,867.99	24.82
BVP	Bosques de Vegetación Protectora	Protección	854.07	0.20
PANE	Patrimonio áreas naturales del Estado	Protección	11,974.18	2.86
TM	Tierras que no están caracterizadas como unidades de suelos o unidades taxonómicas	No Aplica	1,200.05	0.29
NA	No aplicable	No Aplica	2,541.37	0.61
<b>TOTAL</b>			<b>418,453.54</b>	<b>100.00</b>



**Figura 41:** Mapa de CUM de la subcuenca del río Catamayo.



- *Según el conflicto de uso de la tierra*

En la subcuenca del río Catamayo existe el 57.31% en “Sobre Uso”, es decir que el uso actual de la tierra está sobreutilizando el suelo como se puede observar en el Cuadro 50 y en la Figura 42. El conflicto de uso es un indicador fuerte de la grave situación que existe en la zona de estudio, ya que las condiciones físicas ni socio-económicas son las adecuadas por ello desemboca en un conflicto de uso de la tierra. La capacidad de uso más favorable para la mayor extensión de la subcuenca (73.10%) es de “Protección”, sin embargo, el uso actual que se le da es “Pastizal” con 27.28%, esta situación evidencia que existe un fuerte conflicto de uso lo que desemboca en un marcado sobreuso (Cuadro 49)

**Cuadro 49:** Conflicto de uso de la tierra en la zona de estudio.

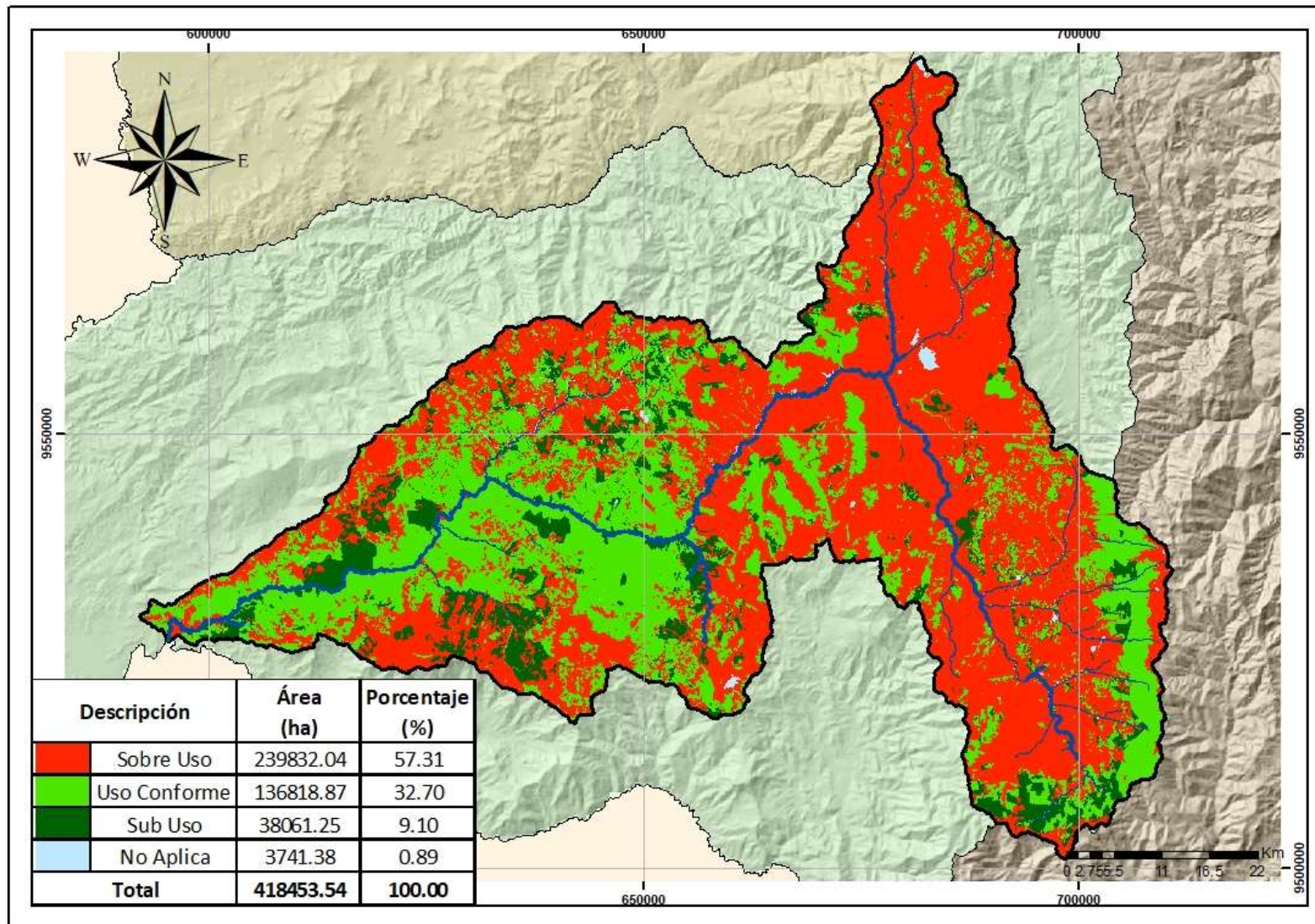
<b>RANGO</b>	<b>ÁREA (ha)</b>	<b>PORCENTAJE (%)</b>
Sobre Uso	239,832.04	57.31
Uso Conforme	136,818.87	32.70
Sub Uso	38,061.25	9.10
No Aplica	3,741.38	0.89
<b>TOTAL</b>	<b>418,53.54</b>	<b>100.00</b>

#### 4.2.4. Zonas de Erosión Hídrica Cualitativa en la Subcuenca del Río Catamayo

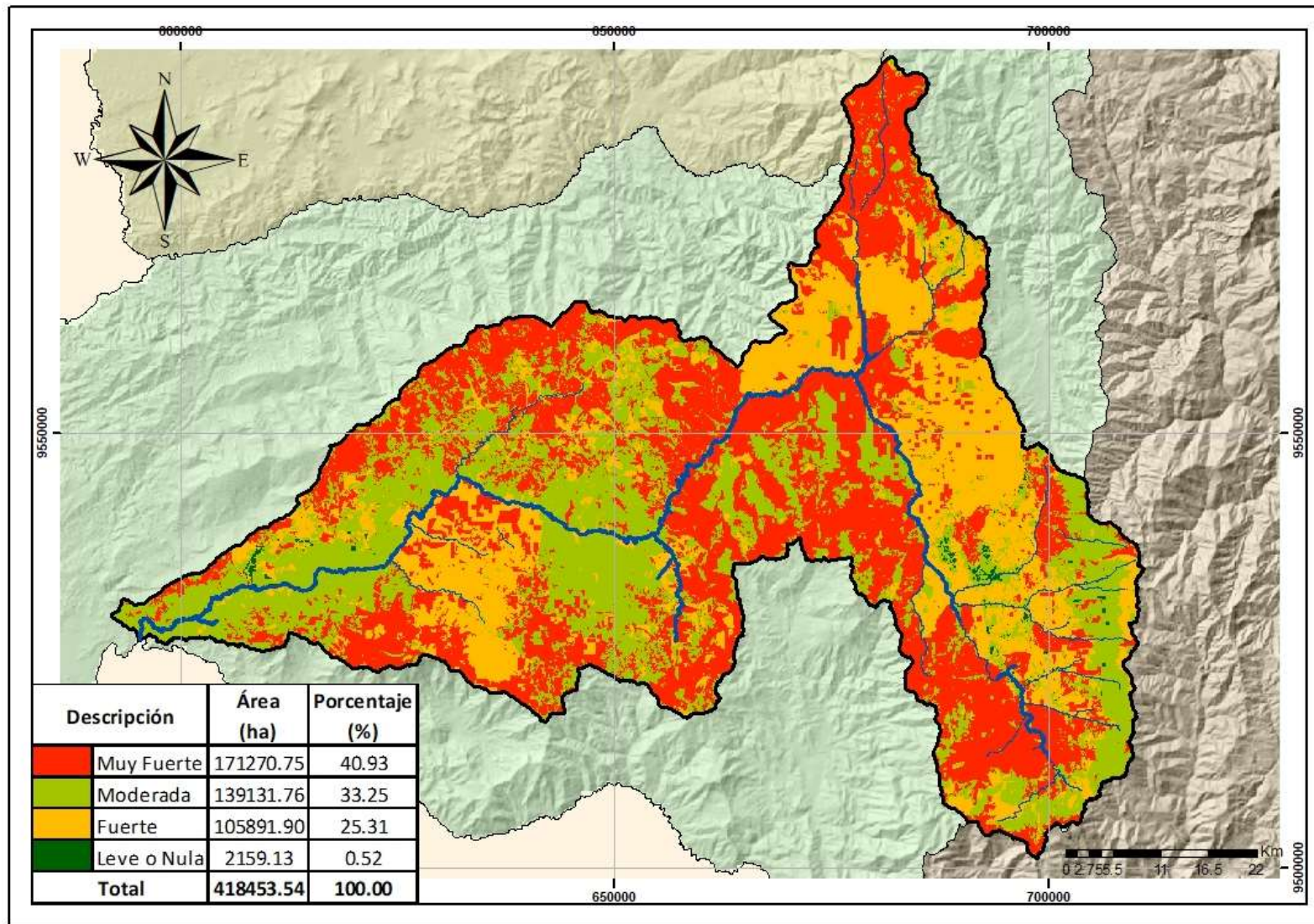
Finalmente, en el Cuadro 50 y en la Figura 43 se muestra la distribución de las diferentes zonas de erosión hídrica cualitativa que presenta la subcuenca del río Catamayo. El 40.93% del área de la zona de estudio tiene erosión hídrica extrema, lo cual, evidencia el fuerte impacto producido por las características físicas, socio-económicas y de conflicto de uso de la tierra., seguido del 33.25% correspondiente a erosión “Moderada” y un 25.31% de erosión “Fuerte”.

**Cuadro 50:** Erosión hídrica cualitativa en la subcuenca del río Catamayo

<b>RANGO</b>	<b>ÁREA (ha)</b>	<b>PORCENTAJE (%)</b>
Muy Fuerte	171,270.75	40.93
Moderada	139,131.76	33.25
Fuerte	105,891.90	25.31
Leve o Nula	2,159.13	0.52
<b>TOTAL</b>	<b>418,53.54</b>	<b>100.00</b>



**Figura 42:** Mapa de conflicto de uso de la tierra de la subcuenca del río Catamayo.



**Figura 43:** Mapa de zonas de erosión hídrica cualitativa de la subcuenca del río Catamayo.

### **4.3. Estimación de la erosión actual y potencial de la subcuenca del río Catamayo en base a la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE).**

La erosión del suelo es un proceso que demanda gestión, tanto para la prevención de excesos de erosión como por la protección de la calidad de los cuerpos de agua dulce, por ello es necesario realizar la cuantificación de la erosión hídrica

#### **4.3.1. Estimación de la erosión hídrica actual en base a RUSLE**

- *Factor R o índice de erosividad de la lluvia*

En el Cuadro 51 se observan los resultados del Factor R de la subcuenca del río Catamayo, donde los valores más elevados se ubican en las estaciones de Cariamanga, Celica, Sozoranga, Saucillo, Sabango y Colaisaca, correspondientes al sur oeste de la subcuenca del río Catamayo. Además, en la Figura 44 se observa mediante isolíneas la distribución del factor R expresado en Mj.mm/ha.h.año. Específicamente, las estaciones Malacatos, Vilcabamba, Cariamanga, Yangana, Celica, Sozoranga, Catacocha y Colaisaca se ubican dentro de la zona de estudio, donde las mayores precipitaciones medias anuales corresponden con los mayores factores R, tal es el caso de Sozoranga, Celica, Colaisaca y Cariamanga (correspondiente a la zona sur oeste de la subcuenca) y por el contrario las estaciones Malacatos y Vilcabamba corresponden a las menores precipitaciones lo que implica un bajo factor R (situados en el noreste y sureste de la subcuenca del río Catamayo).

**Cuadro 51:** IMF y Factor R de las estaciones localizadas en la zona de estudio.

Estaciones		Altitud (m.s.n.m.)	Precipitación Media Anual (mm)	IMF (mm)		FACTOR R (Mj.mm/ ha.h.año)
Código	Nombre					
M0033	La Argelia	2,160	971.69	109.83	Moderado	5,181.66
M0142	Saraguro	2,525	804.02	98.23	Moderado	4,101.34
M0143	Malacatos	1,453	710.61	114.10	Moderado	5,611.77
M0144	Vilcabamba	1,566	852.85	126.06	Alto	6,909.06
M0146	Cariamanga	1,950	1,403.55	259.32	Muy Alto	30,596.31
M0147	Yangana	1,835	1,200.21	149.75	Alto	9,882.38
M0148	Celica	1,904	1,141.52	273.37	Muy Alto	34,079.10
M0149	Gonzanamá	2,042	1,423.61	250.62	Muy Alto	28,533.14
M0150	Amaluza	1,672	1,033.63	203.40	Muy Alto	18,592.56
M0151	Zapotillo	223	862.76	280.88	Muy Alto	36,018.86
M0432	San Lucas	2,525	1,178.90	124.63	Alto	6,746.86
M0433	Lucero	1,180	1,017.05	190.11	Muy Alto	16,179.95
M0434	Sozoranga	1,427	1,245.69	284.07	Muy Alto	36,860.51
M0435	Alamor	1,250	1,337.46	315.14	Muy Alto	45,550.51
M0437	Saucillo (Alamor)	328	832.13	270.13	Muy Alto	33,260.48
M0438	Jimbura	2,100	1,316.96	240.09	Muy Alto	26,130.67
M0439	Sabiango	700	1,177.32	290.96	Muy Alto	38,708.16
M0502	Pangui	820	903.89	185.22	Muy Alto	15,333.62
M0503	San Francisco	1,620	1,206.82	212.09	Muy Alto	20,262.54
M0515	Catacocha	1,808	971.69	196.90	Muy Alto	17,392.34
M0544	Colaisaca	2,410	804.02	256.99	Muy Alto	30,036.28

- **Factor K o índice de erodabilidad**

Los resultados del factor K se observan en el Cuadro 52 y en la Figura 45 donde se evidencia que los niveles más altos de erosión hídrica debido al factor de erodabilidad (0.0507 – 0.0558 ton.ha.hr/ha.MJ.mm) se ubica en el centro sur del cantón Loja (L4 – L5). Estos suelos se caracterizan por la acción conjunta de una baja proporción de arcilla y una elevada tasa de drenaje (1.76 – 3.36), lo que conlleva a una mayor disgregación de las partículas de suelo. Por el contrario, los valores más bajos del factor K corresponden a suelos con poca tendencia a la erodabilidad ya que se caracterizan por presentar una elevada proporción de materia orgánica (5.44 – 11.21%) que favorece la absorción de agua y disminuye la posibilidad de disgregación de las partículas de suelo durante el proceso de escorrentía.

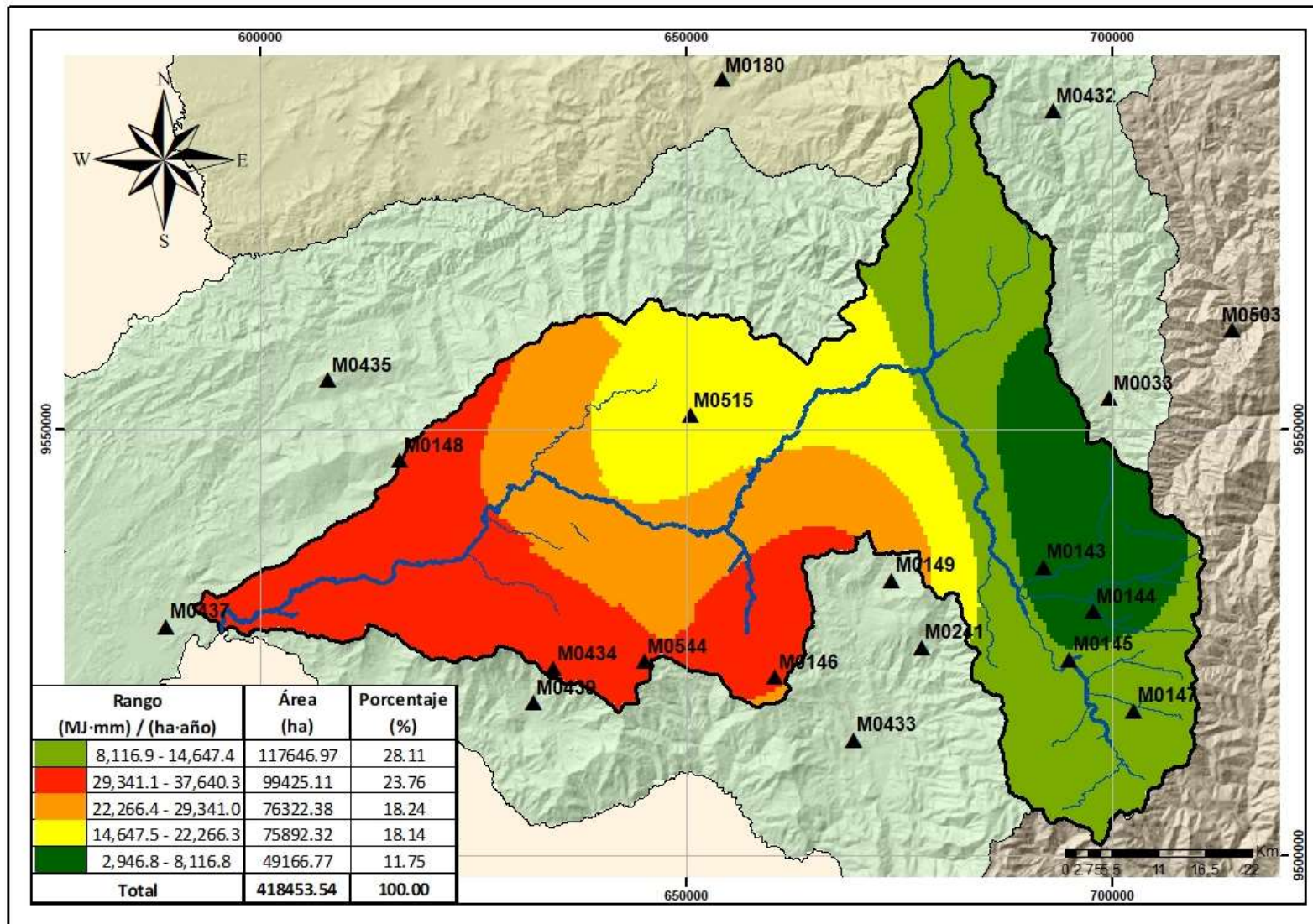


Figura 44: Distribución espacial del factor R.

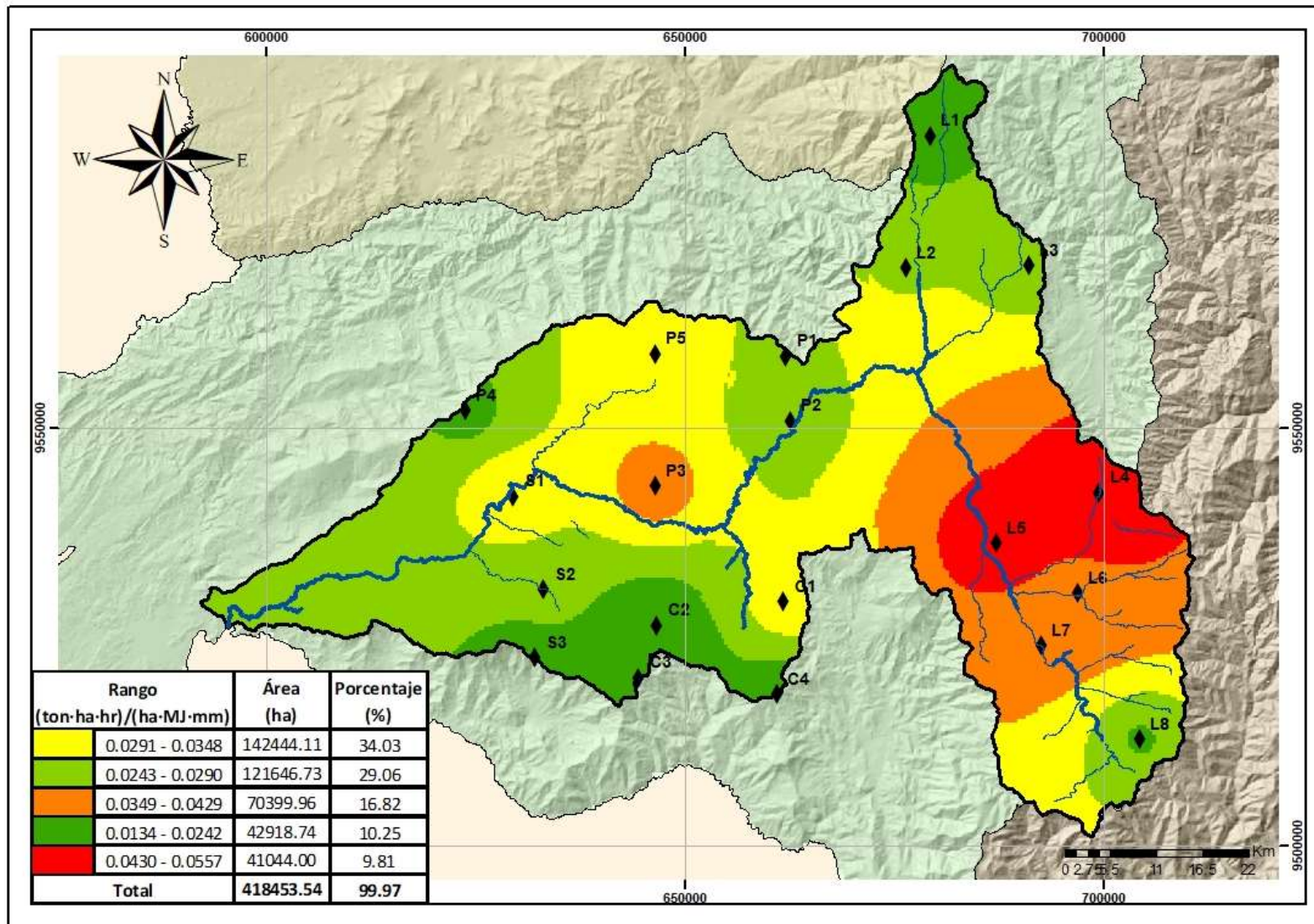


Figura 45: Distribución espacial del factor K.

**Cuadro 52:** Factor K de la subcuenca del río Catamayo.

Punto	M.O (%)	Ao (%)	Lo (%)	Ar (%)	A + fina (%)	Clase textural	Estructura	S	Tasa de drenaje (cm·h <sup>-1</sup> )	P (cm·h <sup>-1</sup> )	M	K (ton.ha.hr/ha.MJ.mm)
L 1	8.28	40	22	38	6.0	Franco arcilloso	Bloques sub-angulares	4	0.20	5	1,736	0.0203
L 2	6.9	38	34	28	9.5	Franco arcilloso	Bloques sub-angulares	4	0.41	5	3,132	0.0289
L 3	3.73	40	32	28	6.5	Franco arcilloso	Granular fina	2	0.40	5	2,772	0.0259
L 4	2.26	36	50	14	7.5	Franco limoso	Bloques sub-angulares	4	1.76	4	4,945	0.0558
L 5	1.50	48	44	8	4.5	Franco	Bloques sub-angulares	4	3.36	3	4,462	0.0507
L 6	3.80	26	40	34	15.5	Franco arcilloso	Bloques sub-angulares	4	0.33	5	3,663	0.0414
L 7	3.73	16	42	42	8.5	Arcillo-limoso	Masiva	4	0.27	5	2,929	0.0357
L 8	7.93	48	28	24	16.5	Franco	Bloques sub-angulares	4	0.52	4	3,382	0.0238
C 1	5.44	62	24	14	10.5	Franco arenoso	Granular fina	2	1.53	4	2,967	0.0198
C 2	11.21	48	28	24	3.0	Franco	Bloques sub-angulares	4	0.52	4	2,356	0.0134
C 3	2.21	50	22	28	4.5	Franco arcillo-arenoso	Granular fina	2	0.35	5	1,908	0.0215
P 1	4.64	36	26	38	10.0	Franco arcilloso	Bloques sub-angulares	4	0.21	5	2,232	0.0286
P 2	2.2	58	26	16	5.0	Franco arenoso	Granular fina	2	1.19	4	2,604	0.0246
P 3	1.75	44	26	30	15.5	Franco arcilloso	Bloques sub-angulares	4	0.32	5	2,905	0.0404
P 4	5.4	22	26	52	3.5	Arcilloso	Bloques sub-angulares	4	0.18	5	1,416	0.0223
P 5	3.33	38	26	36	11.0	Franco arcilloso	Bloques sub-angulares	4	0.23	5	2,368	0.0321
S 1	2.15	60	26	14	4.5	Franco arenoso	Bloques sub-angulares	4	1.54	4	2,623	0.0334
S 2	1.76	62	20	18	14	Franco arenoso	Granular fina	2	0.91	4	2,788	0.0273
S 3	3.08	40	24	36	7	Franco arcilloso	Granular fina	2	0.22	5	1,984	0.0208



- ***Factor LS o longitud y gradiente de la pendiente***

El Factor LS indica la incidencia que produce el relieve, a través, de la longitud y gradiente de la pendiente sobre la pérdida de suelos. Castro (2013), considera que la relación entre erosión y Factor LS es directamente proporcional, es decir, que la erosión hídrica aumenta conforme la pendiente aumenta (factor L) y la inclinación del terreno se hace mayor (factor S). En el Cuadro 53 y Figura 46 se observa que el 77.3% de la zona de estudio se encuentra con un factor LS que fluctúa entre 5.04 y 25.04 en las zonas altas de la subcuenca debido a las altas pendientes y a las montañas pronunciadas. Sin embargo, en los valles el factor LS se encuentra entre 0.03 y 5.03, correspondiente al 22.61% de la zona de estudio.

**Cuadro 53:** Factor LS de la subcuenca del río Catamayo.

<b>RANGO</b>	<b>ÁREA (ha)</b>	<b>PORCENTAJE (%)</b>
0.03 - 5.03	94604.33	22.61
5.04 - 8.78	158974.65	37.99
8.79 - 25.04	164511.69	39.31
25.05 - 126.36	362.29	0.09
126.37 - 318.98	0.57	0.00
<b>TOTAL</b>	<b>418,453.54</b>	<b>100.00</b>

- ***Factor C o de cobertura vegetal***

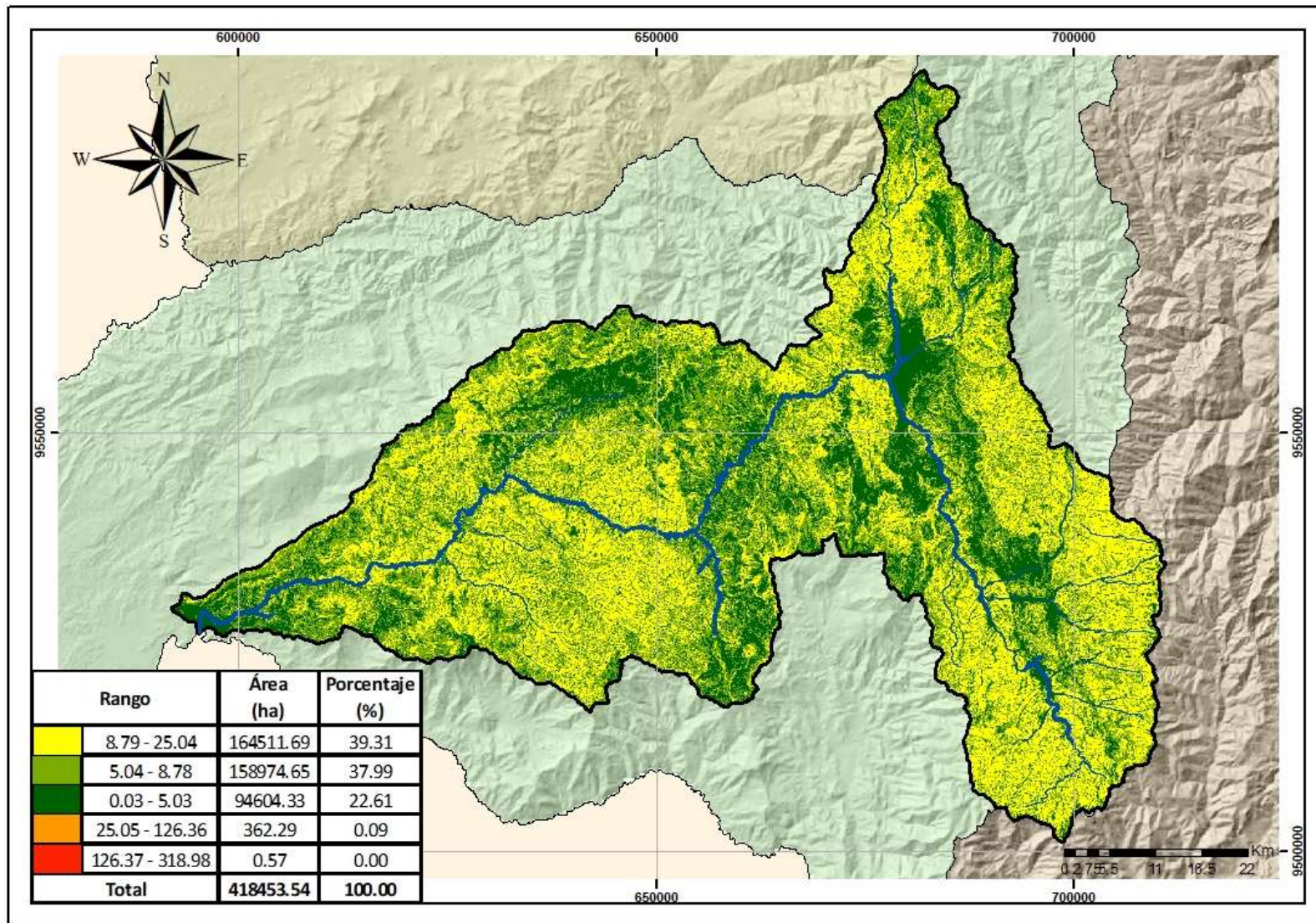
El factor C es de gran importancia ya que es la más variable, es por ello, que en manejo de cuencas este factor puede ser modificado a fin de minimizar las pérdidas de suelo por erosión hídrica. En el Cuadro 54 y en la Figura 47, se puede ver que la mayor extensión de la zona de estudio (34.33%) está cubierta por bosque (primario, secundario y plantación forestal) donde se asignó el valor 0.003 establecido por Marchamalo (2007), esto se explica porque se encuentra el Parque Nacional Podocarpus y la Reserva de Biósfera del Bosque Seco. Complementariamente, el pastizal ocupa el 27.27% de la subcuenca del río Catamayo, a quien se valoró con 0.04 por Saborio (2002), Gómez (2002) y CATIE (2003). La gran proporción de pastizales se debe a que la subcuenca del río Catamayo se dedica a la actividad agropecuaria.

**Cuadro 54:** Área de las diferentes coberturas en la zona de estudio.

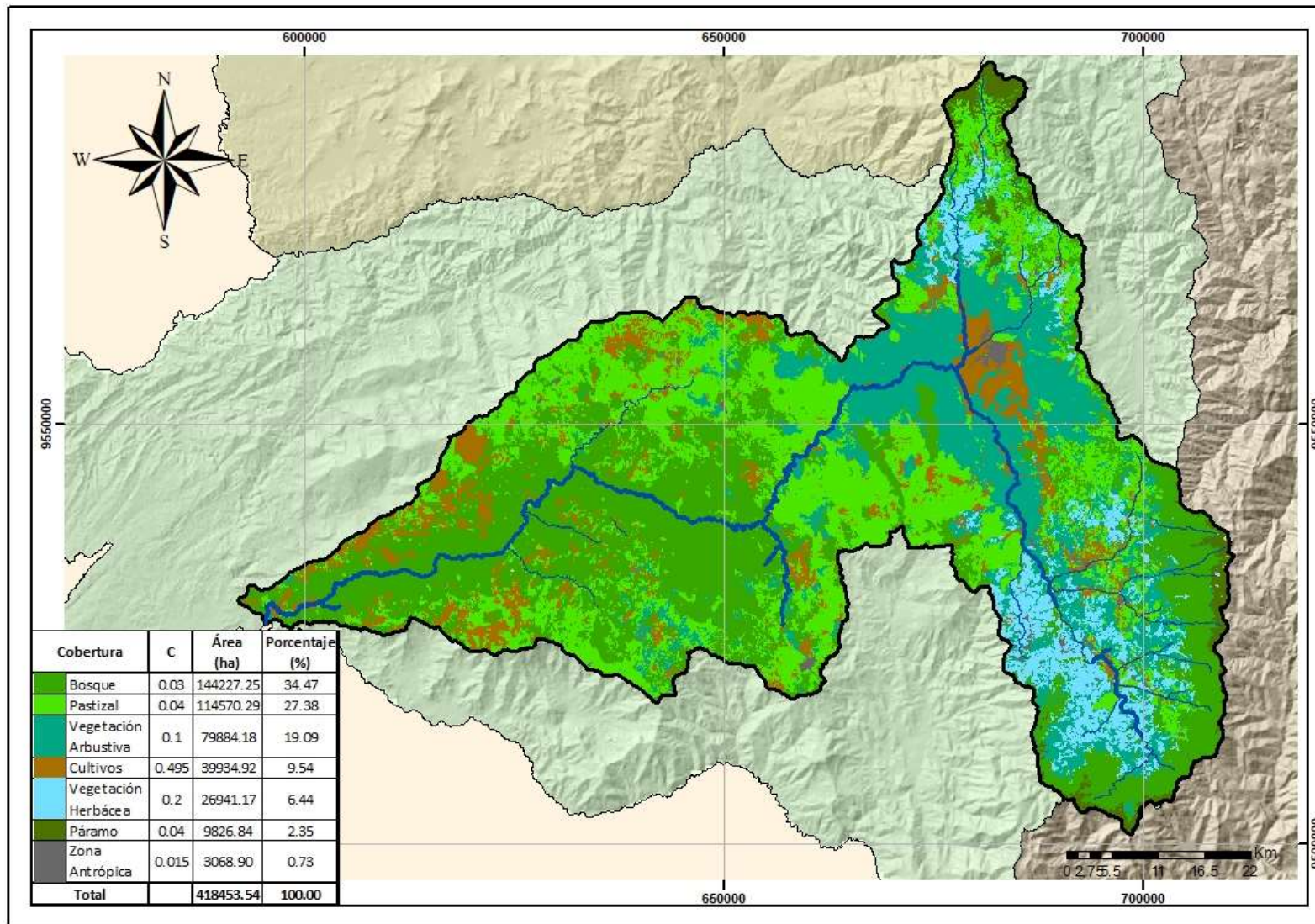
NIVEL I	NIVEL II	ÁREA (ha)	PORCENTAJE (%)	FACTOR C
Bosque	Bosque Nativo	144,227.25	34.47	0.003
	Plantación Forestal			
Cultivos	Cultivo Anual	39,934.92	9.54	0.495
	Cultivo Semipermanente			
	Cultivo Permanente			
	Mosaico Agropecuario			
Pastizal	Pastizal	114,570.29	27.38	0.04
Vegetación Arbustiva	Vegetación Arbustiva	79,884.18	19.09	0.1
Vegetación Herbácea	Vegetación Herbácea	26,941.17	6.44	0.2
Páramo	Páramo	9,826.84	2.35	0.04
Zona Antrópica	Área Poblada	3,068.90	0.73	0.015
	Infraestructura			
	Área sin cobertura			
<b>TOTAL</b>		<b>418,453.54</b>	<b>100.00</b>	<b>-</b>

- **Factor P o de prácticas de conservación de suelos**

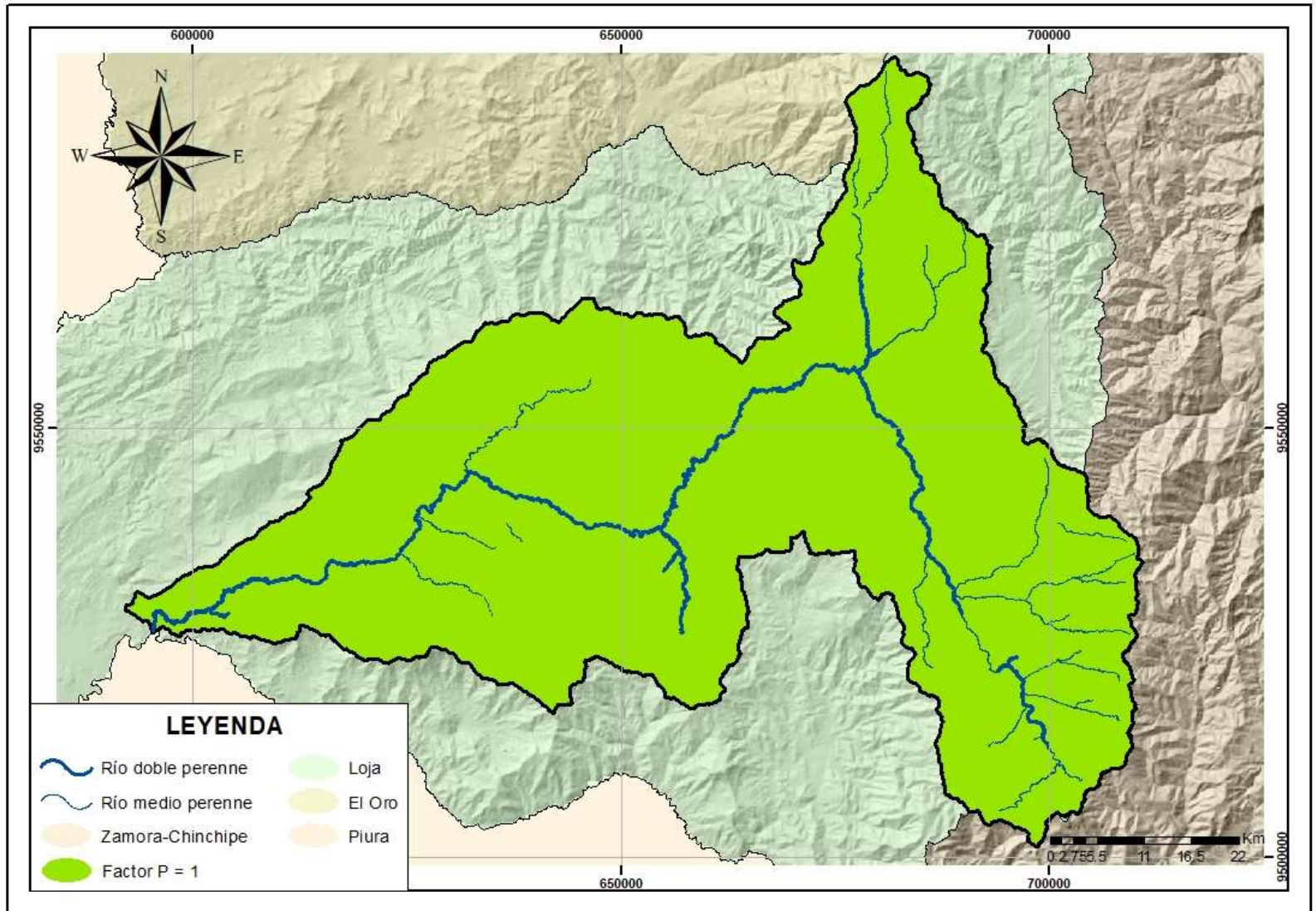
Se considera que en la subcuenca de río Catamayo no se realiza ningún tipo de prácticas de conservación, es por ello que en el mapa (Figura 48) se observa que el factor P tiene un valor uniforme de 1.



**Figura 46:** Distribución espacial del factor LS



**Figura 47:** Distribución espacial del factor C.



**Figura 48:** Distribución espacial del factor P.

- *Estimación de erosión hídrica cuantitativa actual*

En el Cuadro 55 se presenta las tasas de erosión hídrica actual que existe en la subcuenca del río Catamayo según la metodología de RUSLE, donde el 59.98% del territorio tiene un rango de erosión que varía de 0 a 187.91 t/ha/año, ubicándolo como “Fuerte” según lo establecido por FAO, PNUMA y UNESCO (1980).

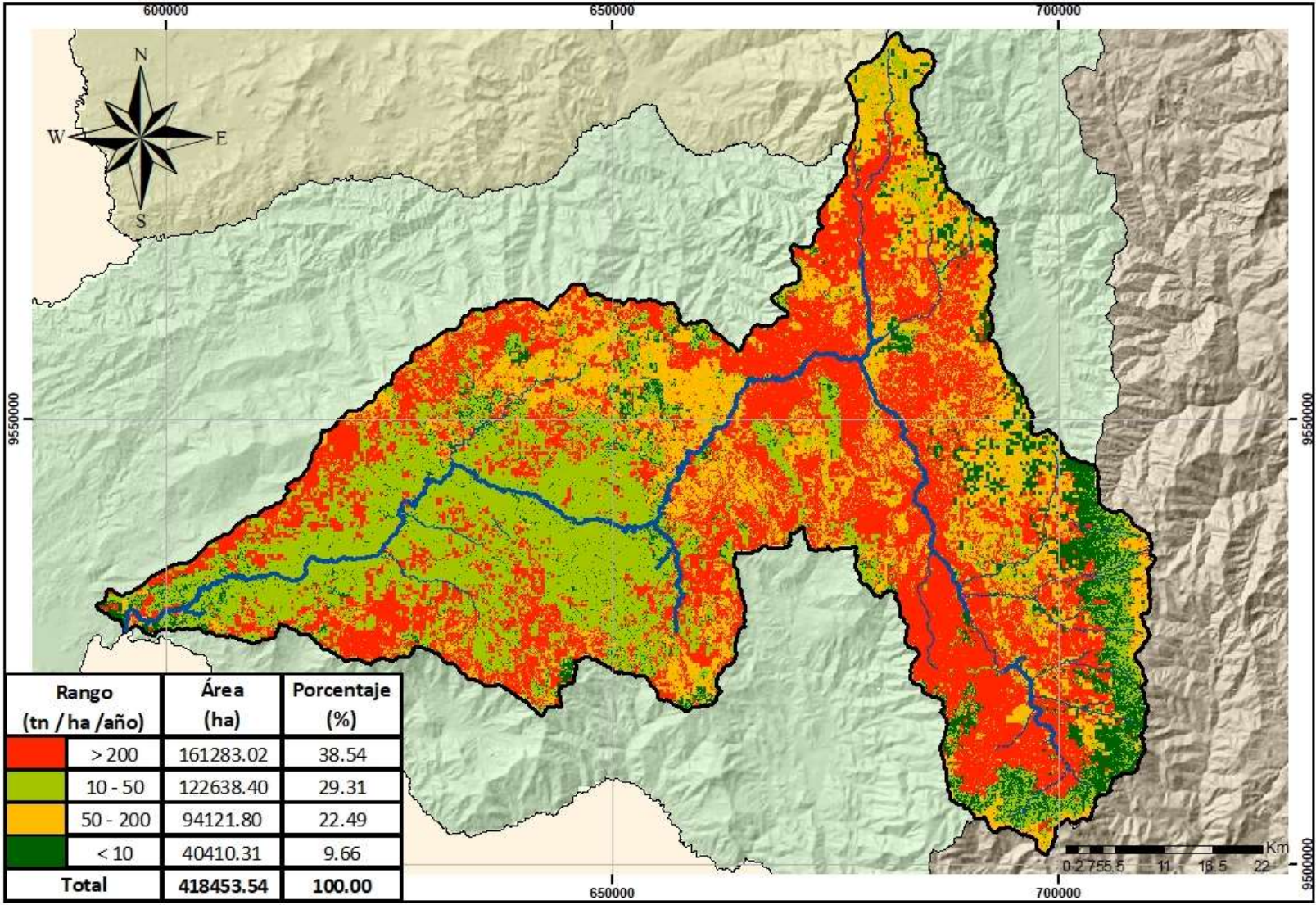
**Cuadro 55:** Tasas de erosión hídrica actual en función de RUSLE.

<b>RANGO DE TASA DE EROSIÓN HÍDRICA</b>	<b>PROMEDIO DE TASA DE EROSIÓN HÍDRICA</b>	<b>ÁREA (ha)</b>	<b>PORCENTAJE (%)</b>	<b>PROMEDIO DE TASA DE EROSIÓN SEGÚN EL PORCENTAJE</b>
0 - 187.91	93.95	250,980.71	59.98	56.35
187.92 - 751.63	469.77	129,528.06	30.95	145.41
751.64 - 1,785.13	1268.38	19,863.28	4.75	60.21
1,785.14 - 3,006.53	2395.83	9,201.43	2.20	52.68
3,006.54 - 4,227.93	3617.23	6,086.37	1.45	52.61
4,227.94 - 7,140.51	5684.22	2,695.56	0.64	36.62
7,140.52 - 23,958.27	15549.39	98.13	0.02	3.65
-	-	<b>418,453.54</b>	<b>100.00</b>	<b>407.53</b>

Adicionalmente, se realizó el mapa de erosión hídrica cuantitativa como se puede ver en el Cuadro 56 y en la Figura 49, es así que, el 9.66% de la zona de estudio presenta una tasa menor a 10 t/ha/año, el 22.49% tiene una tasa de erosión hídrica de 50 a 200 t/ha/año, y aproximadamente el 40% de la subcuenca del río Catamayo tiene una tasa de erosión mayor a 200 t/ha/año. Este hecho se debe a que en la zona de estudio existe una intensa actividad agropecuaria y expansión de la frontera agrícola produciendo un cambio en el uso del suelo.

**Cuadro 56:** Niveles de erosión hídrica en la zona de estudio.

<b>RANGO (t / ha /año)</b>		<b>ÁREA (ha)</b>	<b>PORCENTAJE (%)</b>
Muy Fuerte	> 200	161,283.02	38.54
Moderada	10 - 50	122,638.40	29.31
Fuerte	50 - 200	94,121.80	22.49
Nula o leve	< 10	40,410.31	9.66
<b>TOTAL</b>		<b>418,453.54</b>	<b>100.00</b>



**Figura 49:** Erosión hídrica cuantitativa actual con el método de RUSLE

### 4.3.2. Estimación de la erosión hídrica potencial

La erosión hídrica potencial se planteó en dos escenarios posibles como se describe a continuación:

- *Primer escenario*

El primer escenario, se realizó teniendo en cuenta que la cobertura vegetal se mantenía, pero se implementaban prácticas de conservación (agricultura en contorno, cultivo en franjas y en terrazas) en la subcuenca del río Catamayo. En el Cuadro 57 y en la Figura 50, se evidencia que la jerarquía según la cual se obtienen las menores tasas de erosión hídrica potencial es: Cultivo en terrazas, en franjas y en contorno.

**Cuadro 57:** Niveles de erosión hídrica potencial según el primer escenario.

RANGO		CONTORNO		FRANJA		TERRAZA	
t/ha/año		ha	%	ha	%	ha	%
Nula o leve	0 - 10	49,845.07	11.91	110,527.95	26.41	172,252.29	41.16
Moderada	10 - 50	124,356.62	29.72	101,450.19	24.24	124,246.52	29.69
Fuerte	50 - 200	97,724.09	23.35	133,760.30	31.97	96,543.80	23.07
Muy Fuerte	> 200	146,527.76	35.02	72,715.10	17.38	25,410.93	6.07
<b>TOTAL</b>		<b>418,453.54</b>	<b>100.00</b>	<b>418,453.54</b>	<b>100.00</b>	<b>418,453.54</b>	<b>100.00</b>

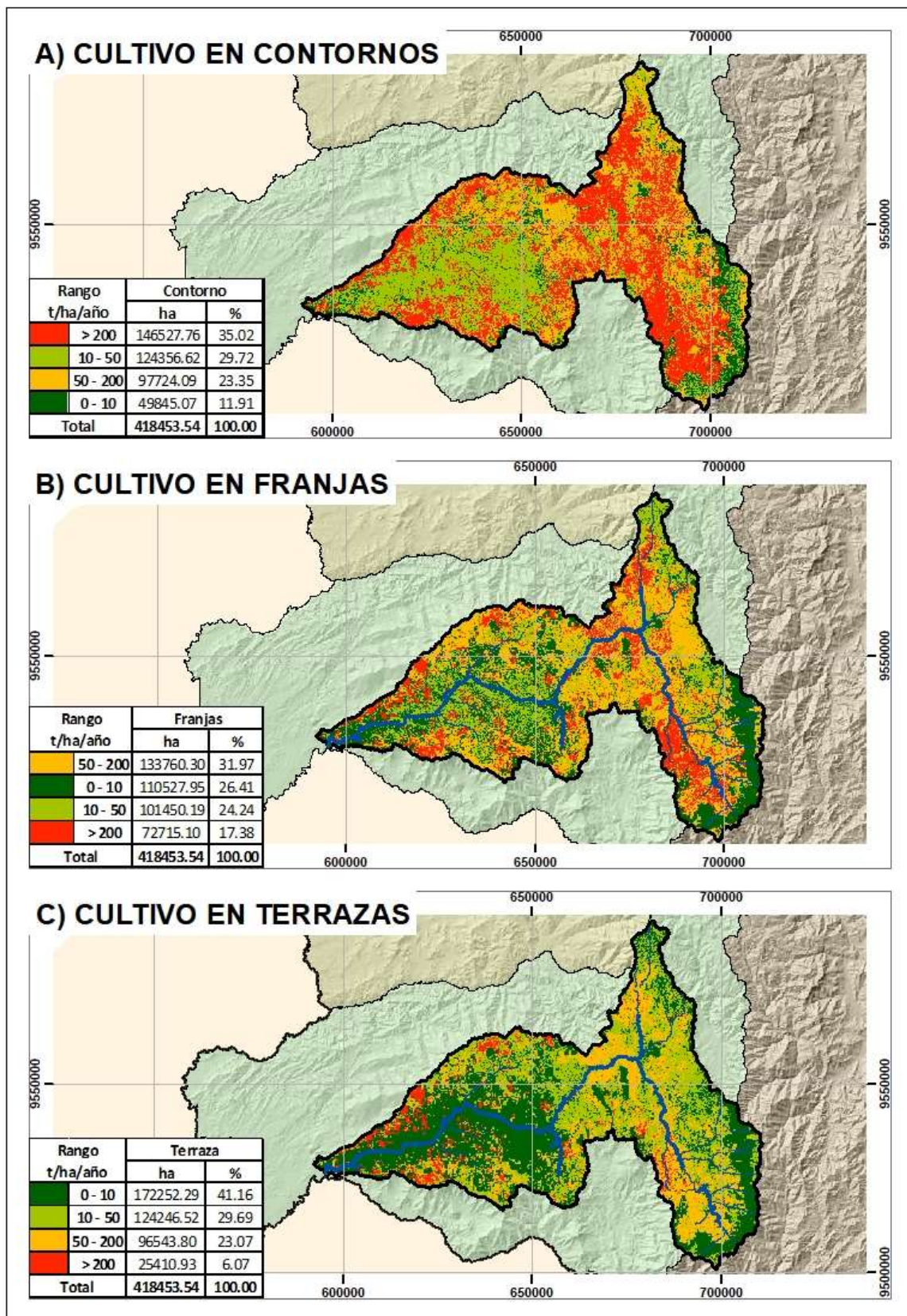
- *Segundo escenario*

El segundo escenario, se planteó cuantificar la erosión hídrica teniendo en cuenta la tendencia de cambio de la cobertura vegetal y sin implementar medidas de protección en la subcuenca del río Catamayo. Es así, que el resultado sigue la misma tendencia que las tasas de erosión hídrica actual, como se puede ver en el Cuadro 58 y en la Figura 51.

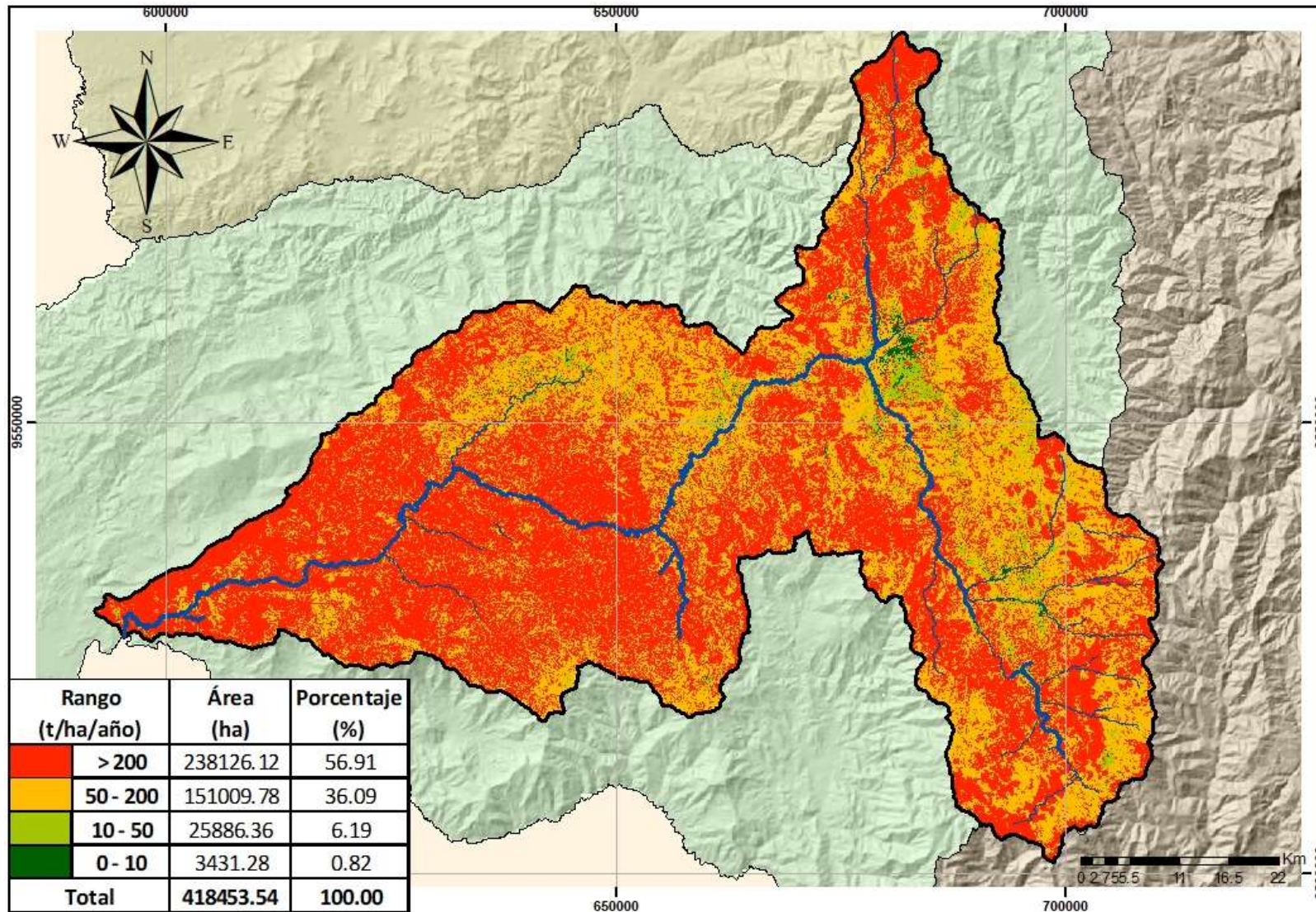
**Cuadro 58:** Niveles de erosión hídrica potencial según el segundo escenario.

Rango (t/ha/año)		Área (ha)	Porcentaje (%)
Muy Fuerte	> 200	238,126.12	56.91
Fuerte	50 - 200	151,009.78	36.09
Moderada	10 - 50	25,886.36	6.19
Nula o leve	0 - 10	3,431.28	0.82
<b>Total</b>		<b>418,453.54</b>	<b>100.00</b>





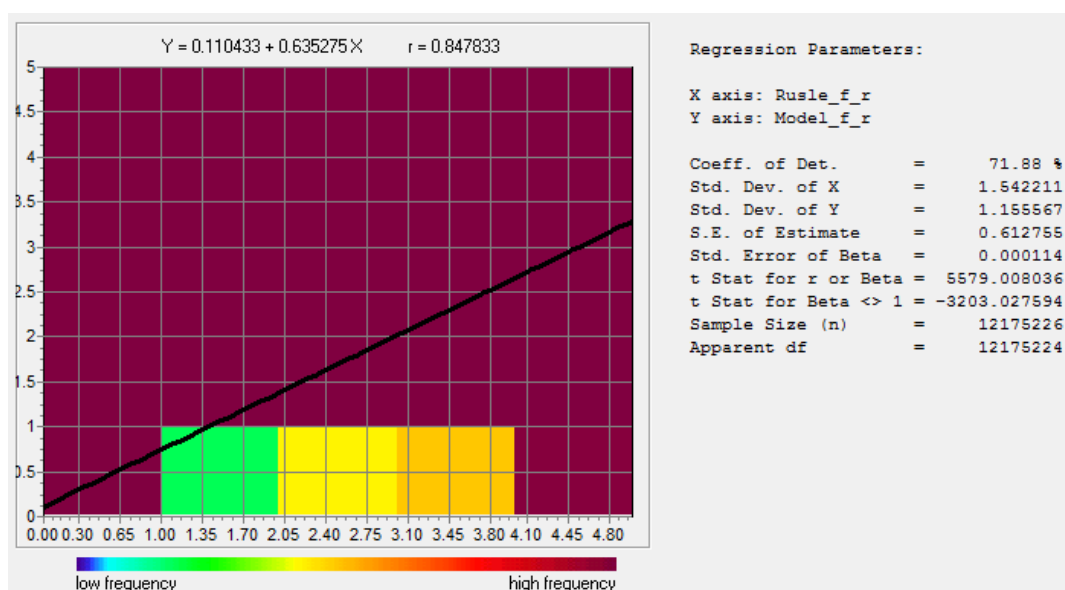
**Figura 50:** Erosión hídrica cuantitativa potencial según el primer escenario de RUSLE.



**Figura 51:** Erosión hídrica cuantitativa potencial según el segundo escenario de RUSLE.

#### 4.4. Comparación estadística a las metodologías aplicadas en la subcuenca del río Catamayo.

Los resultados de la comparación estadística espacio temporal a los resultados obtenidos previamente (erosión hídrica actual y modelamiento geoespacial), se muestran en la Figura 52, donde se observa la regresión lineal existente entre ambas variables y el coeficiente de correlación lineal ( $r$ ) es 0.84, lo que indica que tiene una relación lineal positiva. Además, el coeficiente de determinación es de 71.88% muestra que tiene una alta capacidad explicativa de la recta lineal. Concluyendo, existe una regresión lineal positiva entre las dos variables.



**Figura 52:** Regresión lineal de la variable cualitativa y cuantitativa.

FUENTE: Software Idrisi Selva, 2018.

Teniendo en cuenta el Cuadro 8, sobre los rangos del coeficiente kappa, y observando la Figura 53 se obtiene un valor de 0.8190 que se ubica dentro del rango de “Casi perfecta”. Adicionalmente, se analizó el índice de Cramer, que es un coeficiente usado para ver la asociación de las variables nominales. El resultado que se obtuvo fue de 0.5416, lo cual indica un grado de correlación positiva (con valores de 0.4 o más son consideradas como bueno) al igual que se obtuvo en la regresión lineal.

Cross-tabulation of Model_reclas (columns) against Rusle_reclas (rows)					
	1	2	3	4	Total
1	4788	180328	173456	79157	437729
2	6485	642389	462010	236589	1347473
3	4677	189009	294881	546045	1034612
4	3267	197462	517143	1060604	1778476
Total	19217	1209188	1447490	1922395	4598290
Cramer's V = 0.7416					
Proportional Crosstabulation					
	1	2	3	4	Total
1	0.0010	0.0387	0.0372	0.0170	0.0940
2	0.0013	0.1382	0.0992	0.0508	0.2895
3	0.0008	0.0406	0.0633	0.1173	0.2222
4	0.0042	0.0424	0.1112	0.2280	0.3824
Total	0.0042	0.2599	0.3109	0.4130	0.9880
Kappa Index of Agreement (KIA)			Overall Kappa		0.8190

**Figura 53:** Resultados de los índices Cramer y Kappa.

FUENTE: Módulo Crosstab, Idrisi Selva.

Los resultados obtenidos de la autocorrelación según Rook se observan en la Figura 54, donde se obtiene un índice de Moran para RUSLE de 0.9866 y para el Modelamiento 0.9908, en ambos casos, indican una gran correlación acercándose a una correlación casi perfecta (cercana a uno).

Image : D:\CUARTO OBJETIVOO\IDRISI RECLAS\Rusle_reclas.rst	
Case : Rook's Case	
Number of cells included	= 12175226
Mean of cells included	= 1.0967
Standard Deviation (sigma) of cell values	= 0.0004
Spatial Autocorrelation (Moran's I)	= 0.9866
Image : D:\CUARTO OBJETIVOO\IDRISI RECLAS\Model_reclas.rst	
Case : Rook's Case	
Number of cells included	= 12175226
Mean of cells included	= 1.2008
Standard Deviation (sigma) of cell values	= 0.0005
Spatial Autocorrelation (Moran's I)	= 0.9908

**Figura 54:** Resultados del índice Moran.

FUENTE: Idrisi Selva.

## V. CONCLUSIONES

1. La proyección de cobertura vegetal para el año 2037, según las tendencias actuales que son 407.53 t/ha/año, lo que indica un nivel “Muy Fuerte”, debido principalmente al cambio de uso del suelo, donde hay una pérdida del hectariaje de bosque y una ganancia de la extensión de pastizal.
2. Los aspectos socio-económicos tienen una incidencia moderada sobre el proceso de erosión hídrica, a pesar, de que la mayor población que habita en la subcuenca del río Catamayo se dedica al sector agropecuario, lo cual, indica que para el caso de erosión hídrica principalmente afecta las variables biofísicas.
3. Las dos metodologías analizadas (cualitativa o cuantitativa) presentan una gran correlación positiva, a pesar de que se emplean algunas variables diferentes. Esto es debido a que con el índice de Moran se determinaron sitios focales donde se desarrolla la erosión hídrica del suelo, y esto facilitará plantear medidas correctivas en estas zonas generadoras.
4. El cultivo en terrazas es la práctica de conservación más eficiente para reducir las tasas de erosión hídrica, sin embargo, también representa elevados costos que no pueden cubrir los agricultores del sector es por ello que hay que priorizar las zonas donde implementar cultivo en terrazas, en franjas y en contornos.

## **VI. RECOMENDACIONES**

Se realizaron las siguientes recomendaciones:

- La estimación realizada en el estudio de estimación se podría complementar con metodologías de cuantificación directa en el campo como el método de clavos, el transecto de cárcavas o las trampas de sedimentos.
- Los gobiernos autónomos descentralizados presentes en la subcuenca del río Catamayo deben fomentar la capacitación y financiamiento de proyectos que disminuyan el proceso de erosión hídrica en las zonas más afectadas (en puntos focales) mediante la implementación de cultivos en terrazas, franjas y contornos.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Angulo, M. 2013. Análisis de la erosividad de la lluvia: procesos, índices y fronteras de conocimiento. Cuaternario y Geomorfología, 17 p.

Antezana, J. 2001. Calibración de los factores de erosión utilizando la ecuación universal de pérdida de suelo revisado "RUSLE" en sistemas de producción agrícola de la cuenca Taquiña. Taquiña, Bolivia.

Aroussi, O; El Garouani, A. y Jabrane, R. 2013. Modelling and mapping of soil erosion on the oued el malleh catchment using remote sensing and GIS. Journal of Urban Environmental Engineering. 7(2): 302-307p.

Asturias, R. 1986. Determinación del índice de erosividad de las lluvias para las estaciones pluviográficas de la zona Noroccidental de Guatemala. Tesis Ing. Ag. Guatemala. Universidad de San Carlos. Facultad de Agronomía 48p.

Baronio, A; Vianco, A. y Rabañal, C. 2012. Una introducción a la econometría espacial dependencia heterogeneidad.

Barrios, A. y Quiñonez, E. 2000. Evaluación de la erosión utilizando el modelo RUSLE, con apoyo de SIG. Aplicación en una microcuenca de los andes venezolanos. Revista Forest. Venezuela. 44 (1): 65-71 p.

Brenes, C. 2015. Sistemas de información geográfica. San Salvador, SV, SERIO-PREPAC.

Briceño, F. 2005. Markov chain in the land-use change and assignment analysis Revisit Geographical Venezuelan 46 (1): 35-45 p.

Cabrejos, M. 2016. Modelamiento geoespacial en la determinación del riesgo, vulnerabilidad y de la cuantificación de la erosión hídrica en la microcuenca del río Atuen – Amazonas. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

Cairns, I; Handyside, B; Harris, M. y Lambreschtsen, N. 2001. Soil conservation technical handbook. Wellington, Nueva Zelanda. En línea.

Castro, I. 2013. Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica en microcuenca de presa Madín, México. Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental. 34 (2): 3-15 p.

CATIE (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza). 2003. Caracterización y diagnóstico de las subcuencas tributarias del sistema hidroeléctrico Birrís. Informe de consultoría presentado a la Junta Administrativa del Servicio Eléctrico de Cartago (JASEC). Turrialba, Costa Rica. 33 p.

Cayo, L. 2011. Modelamiento Ambiental para Análisis de Susceptibilidad Erosiva en la cuenca media y alta del Rio Cañete y determinación del Mapa De Erosión. Universidad Nacional Agraria La Molina.

Cerda, J. y Villarroel, L. 2008. Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa. Revista Chilena Pediátrica. 79 (1): 54-58 p.

Chuvieco, E. 2010. Teledetección Ambiental. España: Ariel Planeta S.A.

De La Rosa, D. 2008. Evaluación agro-ecológica de suelos. Madrid, ES. Ediciones Mundi-Prensa.

De Regoyos, M. 2003. Metodología para la evaluación de la erosión hídrica con modelos informáticos. Aplicación del modelo geowepp a dos pequeñas cuencas en Madrid. Tesis Doctoral. España. Universidad Politécnica de Madrid.

DSCyLCD (Dirección de Conservación de Suelos y Lucha Contra la Desertificación). 1990. Erosión. Buenos Aires, Argentina. En línea.

Eastman, J. 2012. IDRISI Selva. Guía para SIG y Procesamiento de imágenes. Clark University.



Echeverri, L. y Obando, F. 2010. Erosividad de las Lluvias en la Región Centro-Sur del Departamento de Caldas, Colombia. Scielo, 12.

Espinoza, G. 2009. Identificación del cilindro nudoso en imágenes TC de trozas podadas de pinus radiata utilizando el clasificador de máxima verosimilitud. Ciencia y tecnología, 117-127 p.

FAO - GTIS (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura y Grupo Técnico Intergubernamental de Suelos). 2016. Estado Mundial del Recurso Suelo. Resumen Técnico. Roma, Italia. 79 p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1967. La erosión del suelo por el agua. Colección FAO: Fomento de tierras y aguas N°7. Roma, 207 p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de suelos. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1989. Evaluación de los estados de erosión hídrica de los suelos y delimitación de áreas críticas por pérdida del horizonte A en la cuenca del Río Reventazón. Gobierno de Costa Rica. Informe Técnico No. 1-E. Roma: FAO. 133 p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2009. Guía para la descripción de suelos. 4 ed. Roma, Italia.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 1993. Erosión de suelos en América Latina. Chile.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2002. Informe sobre la situación del Manejo de Cuencas Hidrográficas en el Ecuador. Elaborado para el tercer Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas en Zonas de Montaña de la REDLACH-FAO. Ambato-Ecuador.

FAO, PNUMA, UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente y Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura). 1980. Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Roma. 86 p.

Farfán, R. 2002. Determinación del índice de erosividad pluvial (R) de la ecuación universal de pérdidas de suelos, para dos estaciones pluviográficas de la VII Región del Maule. Tesis Ing. Forestal. Talca, Chile. Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Forestales. 123 p.

Favis, D. 2007. Soil Erosion Site: Erosion Processes. Irlanda del Norte. En línea.

Fernández, C. y Vega, J. 2016. Evaluation of RUSLE and PESERA models for predicting soil erosion losses in the first year after wildfire in NW Spain. *Geoderma* 273 64–72 p.

Flores, H; Martínez, M; Oropeza, J; Mejía, E. y Carrillo. R. 2003. Integración de la EUPS a un SIG para estimar la erosión hídrica del suelo en una cuenca hidrográfica de Tepatitlán, Jalisco, México. *Terra Latinoamericana*. 21 (2): 233-244 p.

Ganasri, B. y Ramesh, H. 2016. Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers* 7 953-961 p.

García, J. 2006. La erosión: Aspectos conceptuales y modelos. In *Hidrología de superficie y conservación de suelos*. España.

Gómez, F. 2002. Evaluación de la erosión potencial y producción de sedimentos en tres cuencas de Costa Rica. Trabajo de Graduación para obtener el grado de Licenciado en Ingeniería Civil. UCR. San José, Costa Rica. 191 p.

Gómez, I; Romero, R. y Benítez, J. 2007. Consideración de la dinámica espaciotemporal para la definición de actuaciones defensivas contra la erosión. *Geofocus* N° 7: 1-22 p.

Gutiérrez, A. 2005. Clasificación no supervisada de coberturas vegetales sobre imágenes digitales de sensores remotos: “landsat – etm+”. *Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín*.Vol.58, 2611-2634 p.

- Harald, M. 1997. Fundamentos del procesamiento digital de imágenes. México.
- Hicks, D. y Anthony, T. 2001. Soil conservation technical handbook. The Ministry for the Environment, Wellington.
- Huerta, P. y Loli, O. 2014. Erosión hídrica en la cuenca alta del río Moche. *Ecología Aplicada*, 13(1).
- Ibáñez, S; Moreno, H. y Gisbert, J. 2012. El Factor (LS) de la Ecuación de la Pérdida de Suelo RUSLE. Valencia, Valenciano, España: Universidad Politécnica de Valencia.
- INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos). 2017. Disponible en: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/poblacion-y-migracion/>
- INETER (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales). 2005. Erosión Hídrica: Mapa de amenazas. Managua, Nicaragua: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales.
- Jiménez, F. 2008. Introducción al Manejo y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas. Material de referencia del curso de maestría de Manejo y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas I. Turrialba, CR, CATIE. 30 p.
- Lal, R. 1994. Soil erosion by wind and water: problems and prospects. In *Soil erosion research methods*. Estados Unidos. Soil and Water Conservation Society. En línea
- Landis, J. y Koch, G. 1977. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. 33: 159-74 p.
- Lianes, E; Marchamalo, M; y Roldán, M. 2009. Evaluación del factor C de la RUSLE para el manejo de coberturas vegetales en el control de la erosión en la Cuenca del Río Birrís, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 33(2): 217-235 p.
- MAE (Ministerio del Ambiente). 2014. Mapa de cobertura y uso de la tierra del Ecuador continental año 2014.

- Mancilla, G. 2008. Uso y Conservación de Suelos. Uso de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE) en el campo forestal. Universidad de Chile.
- Michalijos, M. y Uboldi, J. 2013. Propuesta metodológica para la evaluación de áreas afectadas por incendios mediante el uso de imágenes satelitales (Sierra de la Ventana, Argentina). *Revista de Geografía Norte Grande*, 56: 223-234 p.
- Monar, R. 1986. Soil erosion and conservation. Longman Ltd. s.n.t.
- Morales, A. 2001. Base de Datos Geográfica para el Soporte de Toma de Decisiones en la Zona del Volcán Popocatepetl. Lic. en Ingeniería en Sistemas Computacionales. MX, Universidad de las Américas Puebla. 126 p. En línea.
- Moreira, J. 1991. Capacidad de uso y erosión de los suelos en el valle central del río Guadalquivir. Andalucía, España. Junta de Andalucía. En línea.
- Morgan, R. 1997. Erosión y conservación del suelo. Madrid, España. En línea.
- Mrchamalo, M. 2007. Cuantificar el potencial de conservación de suelo y agua basado en un análisis territorial de la cuenca. Estudio de caso de la cuenca del río Birrís. Proyecto: Contribución a la política de pago por servicios hidrológicos para el sector hidroeléctrico de Costa Rica. Primer Informe.
- Muñoz, D. 2013. Gestión de la calidad del agua del Río Catamayo (Ecuador) y sus tributarios: propuesta de monitoreo. Tesis previa a la obtención del título en Maestría de Gestión del Agua. Universidad de Buenos Aires. 253 p.
- Navarro, A. 2011. Introducción a los Sistemas de Información Geográfica y Geotelemática. Barcelona: UOC.
- Ochoa-Cueva, P; Fries, A; Mejía, D; Burneo, J; Ruiz-Sinoga, J; y Cerdá, A. 2016. Effects of climate, land cover and topography on soil erosion risk in a semiarid basin of the Andes. *CATENA*. 140. 31-42 p.
- Olaya, V. 2014. Sistemas de información geográfica. 854 p. En línea.

Osman, K. 2013. Soil Erosion by Water. *Soil Degradation, Conservation and Remediation*, 69–101 p.

Paegelow, M; Camacho, M. y Menor, T. 2003. Cadenas de Markov, evaluación multicriterio y evaluación multiobjetivo para la modelización prospectiva del paisaje, *GeoFocus 3*, ISSN: 1578-5157 p.

Pando, M; Gutiérrez, M; Maldonado, A; Palacio, J. y Estrada, E. 2003. Comparación de métodos en la estimación de erosión hídrica. México. En línea

Pérez, L. 2001. Modelo para evaluar la erosión hídrica en Colombia utilizando sistemas de información geográfica. Bogotá, Colombia: Universidad Industrial de Santander.

Pizarro, R; Ausensi, P; Aravena, D; Sangüesa, C; León, L. y Balocchi, F. 2009. Evaluación de métodos hidrológicos para la completación de datos faltantes de precipitación en estaciones de la Región del Maule, Chile. *Aqua-LAC*. 1(2):172-185 p.

Pontius R., y Malanson, J. 2005 Comparison of the structure and accuracy of two land change models, *International Journal of Geographical Information Science*. 19(2):243-265p.

Puglla, W. 2017. Modelación de erosión hídrica en los cantones de Loja y Olmedo mediante sistemas de información geográfica. Tesis Ing. Amb. Loja, EC. Universidad Nacional de Loja.

Ramírez, F., Incapie, E. y Sadeguián, S. 2007. Erosividad de las lluvias en la zona cafetera central y occidental del Departamento de Caldas. Caldas, Colombia: Departamento de Caldas.

Ramírez, L. 2010. Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la cuenca del río Juramento. Salta, Argentina: Universidad Nacional de Salta.

Ramón, C., Reyes, F. 2005. Determinación del grado de erosión actual y potencial de los suelos del cantón Catamayo. Loja, Loja, Ecuador: Universidad Nacional de Loja.

Ramos, M; Ramos, A; Montero, F. 2006. Sistemas gestores de bases de datos. In Grado superior. España, McGraw-Hill. 7-92 p.

Reboratti, C. 2009. Una investigación sobre los efectos negativos de la erosión hídrica en Aldea Santa María, provincia de Entre Ríos. Disponible en línea.

Renard, K., Foster, G., Weesies, G. McCool, D. and Yoder, D. 1996. Predicting soil erosion by wáter: A guide to conservation planning with the revised universal soil los equation (RUSLE). US. Department of Agriculture, Agriculture Handbook. N° 703. 404 p.

Rivera, Y. 2014. Bases de datos geográficas y autocorrelación esacial para identificar patrones de distribuciones espaciales. Universidad Simón Bolívar. Barranquilla, Colombia. Investig. Innov. Ing. 2(3): 18-25 p.

Rodgers, K. 1994. Plan Integral de Desarrollo de los Recursos Hídricos de la Provincia de Loja. Washington, D.C.: Departamento de Desarrollo Regional y Medio Ambiente Organización de los Estados Americanos.

Ross, J. 1995. Necesidades y Recursos. Roma, Italia: FAO.

Ruiz, N. 2017. Modelación de erosión hídrica en los cantones de Sozoranga, Puyango y Paltas, mediante sistemas de información geográfica. Tesis Ing. Amb. Loja, EC. Universidad Nacional de Loja.

Saaty, T. 1980. The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, New York.

Saborio, J. 2002. Informe final: Estudio erosión potencial, cuenca del río Savegre, Costa Rica. Instituto Costarricense de Electricidad, Costa Rica. 41 p.

Sánchez, J. 2004. Diseño conceptual de bases de datos: guía de aprendizaje. (en línea). Disponible en <http://www.jorgesanchez.net/bd/disenoBD.pdf>

Sánchez, M. 2008. Análisis espacial de datos y turismo: Nuevas técnicas para el análisis turístico. Una aplicación al caso extremeño. Revista de Estudios Empresariales. Segunda época. N°2. 48 – 66 p.

Sanmartín, E. 2017. Modelación de erosión hídrica en los cantones de Calvas, Chaguarpamba y Saraguro mediante sistemas de información geográfica y teledetección. Tesis Ing. Amb. Loja, EC. Universidad Nacional de Loja.

Sheikh, A; Palria, S. y Alam, A. 2011. Integration of GIS and universal soil loss equation (USLE) for soil loss estimation in a Himalayan watershed. Recent Research in Science and Technology. 3(3): 51-57 p.

Shi, Z; Cai, C; Ding, S; Li, Z; Wang, T. y Sun. Z. 2002. Assessment of Erosion Risk with the Rusle and Gis in the Middle and Lower Reaches of Hanjiang River.

Shin, G. 1999. The Analysis of Soil Erosion Analysis in Watershed Using GIS. Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, Gang-Won National University, Chuncheon.

SUDAS (Statewide Urban Design and Specifications). 2006. The erosion and sedimentation process. In Iowa Statewide Urban Design Standards Manual. Iowa, Estados Unidos. En línea.

Tamayo, M. 2016. Determinación de zonas susceptibles a erosión hídrica en los cantones de Zapotillo y Pindal de la provincia de Loja, utilizando sistemas de información geográfica y teledetección. Tesis Ing. Amb. Loja, EC. Universidad Nacional de Loja.

TRAGSA. 1998. Restauración hidrológico forestal de cuencas y control de la erosión. Madrid, España. Ediciones Mundiprensa. 902 p.

UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura). 2006. Guía metodológica para la elaboración del mapa de zonas áridas, semi-áridas y sub-húmedas secas de América Latina y el Caribe. CAZALAC. Documentos Técnicos del PHI-LAC, N°3

UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura). 2009. Propuesta de un modelo de estimación de erosión hídrica para la región de Coquimbo, Chile. Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe (PHI-LAC) Oficina Regional de Ciencia para América Latina y el Caribe. Documento técnico N° 18.

USDA (United States Department Of Agriculture). 2002. Water erosion. In National agronomy manual. Estados Unidos. En línea.

USDA (United States Department Of Agriculture). 2014. Claves para la Taxonomía de Suelos. 12 ed.

USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos). 2017. Descripción del proyecto Landsat. Disponible en: <https://landsat.usgs.gov/landsat-project-description>

Velásquez, S. 2008. Erosión de suelos utilizando la EUPSR (RUSLE). Coronado, Costa Rica: Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza.

Weng, Q. 2009. Remote Sensing and GIS Integration: Theories, Methods, and Applications. New York: McGraw-Hil.

Wischmeier, W. y Smith, D. 1978. Predicting rainfall erosion losses a guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537.



## VIII. ANEXOS

**Anexo 1.** Calificación del suelo en la Subcuenca del Río Catamayo.

CANTÓN	ORDEN	SUBORDEN	GRAN GRUPO	SUBGRUPO	PENDIENTE	TEXTURA SUPERFICIAL	TEXTURA PROFUNDA	DRENAJE	PROFUNDIDAD EFECTIVA	PEDRE	CALIF
Calvas	Aridisols	Cambids	Haplocambids	Ustic Haplocambids	Fuerte	Franco Arenoso	Franco	Moderado	Moderadamente Profundo	Frecuente	1
	Alfisols	Ustalfs	Haplustalfs	Typic Haplustalfs	Fuerte	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Bueno	Poco Profundo	Sin	4
	Inceptisols	Ustepts	Haplustepts	Vertic Haplustepts	Fuerte	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso	Moderado	Moderadamente Profundo	Muy Pocas	4
				Typic Haplustepts	Fuerte	Franco Arcillo-Arenoso	Franco Arenoso	Bueno	Moderadamente Profundo	Sin	2
				Lithic Haplustepts	Fuerte	Franco Arenoso	Franco Arcillo-Arenoso	Bueno	Poco Profundo	Frecuente	3
		Udepts	Dystrudepts	Andic Dystrudepts	Fuerte	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Bueno	Poco Profundo	Sin	2
	Entisols	Orthents	Torriorthents	Lithic Torriorthents	Fuerte	Franco Arcillo-Arenoso	Sin Suelo	Bueno	Poco Profundo	Pedregoso o Rocoso	3
			Ustorthents	Lithic Ustorthents	Fuerte	Franco Arenoso	Sin Suelo	Bueno	Superficial	Sin	3
				Typic Ustorthents	Fuerte	Franco Arcillo-Arenoso	Franco Arenoso	Bueno	Moderadamente Profundo	Muy Pocas	4
	Inceptisols	Udepts	Dystrudepts	Typic Dystrudepts	Media a Fuerte	Franco Arenoso	Franco	Bueno	Poco Profundo	Muy Pocas	3
	Entisols	Orthents	Ustorthents	Aquic Ustorthents	Media a Fuerte	Franco Arcillo-Arenoso	Franco Arcilloso	Moderado	Moderadamente Profundo	Frecuente	4
	Alfisols	Udalfs	Hapludalfs	Typic Hapludalfs	Muy Fuerte	Franco Arcilloso	Franco	Moderado	Moderadamente Profundo	Muy Pocas	4

Inceptisols	Ustepts	Dystrustepts	Typic Dystrustepts	Muy Fuerte	Franco	Franco Arcillo-Arenoso	Bueno	Moderadamente Profundo	Sin	5
		Haplustepts	Aridic Haplustepts	Muy Fuerte	Franco Arcillo-Arenoso	Franco Arcillo-Arenoso	Bueno	Poco Profundo	Sin	2
No Aplicable										0
Inceptisols	Ustepts	Haplustepts	Fluventic Haplustepts	Plana	Franco Arcillo-Arenoso	Franco Arenoso	Excesivo	Moderadamente Profundo	Poca	1
Tierras Miscelaneas				Plana	No Aplicable					0
Inceptisols	Ustepts	Dystrustepts	Vertic Dystrustepts	Suave	Franco Arcilloso	Arcilloso	Mal Drenado	Moderadamente Profundo	Sin	4
Entisols	Fluents	Ustifluents	Vertic Ustifluents	Suave	Franco Arcillo-Arenoso	Franco Arcilloso	Bueno	Poco Profundo	Poca	1
			Typic Ustifluents	Suave	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Excesivo	Moderadamente Profundo	Sin	1
Andisols	Udands	Hapludands	Typic Hapludands	Fuerte	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Bueno	Poco Profundo	Sin	2
Inceptisols	Ustepts	Dystrustepts	Typic Dystrustepts	Fuerte	Franco	Arcilla Pesada	Moderado	Moderadamente Profundo	Poca	4
	Udepts	Eutrudepts	Typic Eutrudepts	Fuerte	Franco	Franco Arenoso	Moderado	Moderadamente Profundo	Sin	1
		Dystrudepts	Typic Dystrudepts	Fuerte	Franco	Franco Arenoso	Bueno	Poco Profundo	Sin	1
Entisols	Orthents	Torriorthents	Lithic Torriorthents	Fuerte	Franco Arenoso	Sin Suelo	Bueno	Poco Profundo	Muy Pocas	2
			Lithic Ustorthents	Fuerte	Franco Arcillo-Arenoso	Sin Suelo	Bueno	Superficial	Frecuente	2
		Ustorthents	Vermic Ustorthents	Fuerte	Franco Arcilloso	Franco Arcillo-Arenoso	Bueno	Poco Profundo	Frecuente	4
			Udorthents	Typic Udorthents	Fuerte	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Moderado	Moderadamente Profundo	Sin
Vertisols	Usterts	Haplusterts	Typic Haplusterts	Media	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso	Moderado	Poco Profundo	Sin	3
Inceptisols	Ustepts	Haplustepts	Aridic Haplustepts	Media	Franco	Franco	Bueno	Moderadamente Profundo	Sin	2
Entisols	Psamments	Ustipsamments	Typic Ustipsamments	Media	Franco Arcillo-Arenoso	Franco Arenoso	Moderado	Moderadamente Profundo	Sin	2
	Orthents	Ustorthents	Aridic Ustorthents	Media	Franco Arcillo-Arenoso	Arcilloso	Moderado	MUY Superficial	Abundantes	3
Aridisols	Cambids	Haplocambids	Typic Haplocambids	Media a Fuerte	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Bueno	Poco Profundo	Abundantes	1

Alfisols	Ustalfs	Haplustalfs	Typic Haplustalfs	Media a Fuerte	Arcilloso	Franco Limoso	Bueno	Superficial	Abundantes	3
Inceptisols	Ustepts	Haplustepts	Lithic Haplustepts	Media a Fuerte	Franco	Sin Suelo	Moderado	Poco Profundo	Sin	2
			Vertic Haplustepts	Media a Fuerte	Franco	Franco Arcillo-Arenoso	Moderado	Poco Profundo	Sin	3
Entisols	Orthents	Ustorthents	Typic Ustorthents	Media a Fuerte	Franco Arcillo-Arenoso	Arcillo-Arenoso	Moderado	MUY Superficial	Pedregoso o Rocoso	4
	Arents	Ustarents	Haplic Ustarents	Muy Fuerte	Franco Arenoso	Arena	Moderado	Poco Profundo	Poca	1
	Orthents	Ustorthents	Udic Ustorthents	Muy Fuerte	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso	Bueno	Superficial	Abundantes	4
Inceptisols	Ustepts	Haplustepts	Udic Haplustepts	Muy Suave	Arcilloso	Arcilloso	Moderado	Moderadamente Profundo	Sin	0
			Typic Haplustepts	Muy Suave	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso	Moderado	Poco Profundo	Abundantes	3
Entisols	Fluents	Ustifluents	Typic Ustifluents	Muy Suave	Franco	Franco Arcilloso	Bueno	Moderadamente Profundo	Frecuente	1
		Udifluents	Typic Udifluents	Muy Suave	Franco Arcillo-Arenoso	Franco Arenoso	Moderado	Poco Profundo	Muy Pocas	1
No Aplicable										0
Inceptisols	Ustepts	Haplustepts	Fluentic Haplustepts	Plana	Franco	Franco	Bueno	Moderadamente Profundo	Frecuente	0
Tierras Miscelaneas				Plana	No Aplicable					0
Entisols	Orthents	Ustorthents	Aridic Lithic Ustorthents	Suave	Franco Arenoso	Franco	Bueno	Superficial	Pedregoso o Rocoso	3
Tierras Miscelaneas				Escarpada	No Aplicable					0
Vertisols	Usterts	Haplusterts	Typic Haplusterts	Fuerte	Franco Arcilloso	Arcilloso	Moderado	Poco Profundo	Sin	5
Alfisols	Ustalfs	Haplustalfs	Torrertic Haplustalfs	Fuerte	Franco Arcillo-Limoso	Arcilloso	Moderado	Poco Profundo	Sin	4
			Ultic Haplustalfs	Fuerte	Franco Arcilloso	Arcilloso	Bueno	Moderadamente Profundo	Sin	2
			Typic Haplustalfs	Fuerte	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso	Bueno	Poco Profundo	Sin	4
Inceptisols	Ustepts	Dystrustepts	Vertic Dystrustepts	Fuerte	Franco Arenoso	Franco Arcillo-Arenoso	Bueno	Poco Profundo	Sin	4
		Haplustepts	Vertic Haplustepts	Fuerte	Franco Arcilloso	Arcilloso	Moderado	Moderadamente Profundo	Sin	2

Celica

			Typic Haplustepts	Fuerte	Franco	Franco Arcillo-Arenoso	Moderado	Poco Profundo	Abundantes	1
Entisols	Orthents	Torriorthents	Typic Torriorthents	Fuerte	Franco	Franco Arcilloso	Moderado	Poco Profundo	Sin	2
		Ustorthents	Lithic Ustorthents	Fuerte	Franco Arenoso	Franco Arcilloso	Bueno	Poco Profundo	Frecuente	2
		Ustorthents	Typic Ustorthents	Fuerte	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Bueno	Poco Profundo	Poca	1
Inceptisols	Ustepts	Dystrustepts	Typic Dystrustepts	Media	Arcilloso	Franco Arcillo-Limoso	Bueno	Moderadamente Profundo	Sin	3
Alfisols	Ustalfs	Haplustalfs	Vertic Haplustalfs	Media a Fuerte	Franco	Franco Arcilloso	Bueno	Poco Profundo	Sin	3
Inceptisols	Ustepts	Haplustepts	Lithic Haplustepts	Media a Fuerte	Franco	Sin Suelo	Moderado	Poco Profundo	Sin	4
Aridisols	Cambids	Haplocambids	Ustic Haplocambids	Muy Fuerte	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Bueno	Poco Profundo	Frecuente	4
Entisols	Fluvents	Udifluvents	Typic Udifluvents	Muy Suave	Arcilloso	Franco Arenoso	Moderado	Moderadamente Profundo	Sin	2
No Aplicable										0
Alfisols	Ustalfs	Haplustalfs	Typic Haplustalfs	Fuerte	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Moderado	Poco Profundo	Muy Pocas	2
	Udalfs	Hapludalfs	Typic Hapludalfs	Fuerte	Franco Arenoso	Franco Arcilloso	Bueno	Poco Profundo	Muy Pocas	2
Inceptisols	Ustepts	Haplustepts	Lithic Haplustepts	Fuerte	Franco Arenoso	Franco Arcillo-Arenoso	Bueno	Poco Profundo	Frecuente	3
		Haplustepts	Typic Haplustepts	Fuerte	Franco Arcillo-Arenoso	Franco	Bueno	Poco Profundo	Frecuente	2
	Udepts	Dystrudepts	Humic Dystrudepts	Fuerte	Franco Arcillo-Arenoso	Arcilloso	Moderado	Moderadamente Profundo	Frecuente	3
		Dystrudepts	Typic Dystrudepts	Fuerte	Arcilloso	Arcilloso	Bueno	Moderadamente Profundo	Sin	3
Entisols	Orthents	Torriorthents	Lithic Torriorthents	Fuerte	Franco Arenoso	Sin Suelo	Bueno	Poco Profundo	Muy Pocas	3
		Ustorthents	Lithic Ustorthents	Fuerte	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Bueno	Superficial	Abundantes	3
		Ustorthents	Udic Ustorthents	Fuerte	Franco Arenoso	Arcilloso	Bueno	Poco Profundo	Sin	2
Alfisols	Ustalfs	Haplustalfs	Lithic Haplustalfs	Media	Franco Arcillo-Arenoso	Franco Arcilloso	Bueno	Poco Profundo	Poca	2

Gonzanama

Inceptisols	Aquepts	Epiaquepts	Typic Epiaquepts	Media	Franco Arcillo-Arenoso	Arcilloso	Moderado	Poco Profundo	Muy Pocas	2
	Ustepts	Haplustepts	Vertic Haplustepts	Media	Arcilloso	Arcilloso	Bueno	Superficial	Frecuente	2
	Udepts	Eutrudepts	Typic Eutrudepts	Media	Franco Arcillo-Arenoso	Franco Arcilloso	Moderado	Poco Profundo	Sin	2
Aridisols	Cambids	Haplocambids	Typic Haplocambids	Media a Fuerte	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Bueno	Poco Profundo	Abundantes	2
Inceptisols	Ustepts	Haplustepts	Udic Haplustepts	Media a Fuerte	Franco Arcillo-Arenoso	Franco Arcilloso	Bueno	Moderadamente Profundo	Frecuente	2
	Udepts	Eutrudepts	Lithic Eutrudepts	Media a Fuerte	Franco Arcillo-Arenoso	Franco Arcillo-Arenoso	Bueno	Poco Profundo	Muy Pocas	2
Entisols	Orthents	Ustorthents	Typic Ustorthents	Media a Fuerte	Franco Arcillo-Arenoso	Franco Arenoso	Bueno	Poco Profundo	Sin	2
Molisols	Ustolls	Haplustolls	Typic Haplustolls	Muy Fuerte	Franco Arenoso	Arcillo-Arenoso	Bueno	Moderadamente Profundo	Muy Pocas	3
Inceptisols	Ustepts	Dystrustepts	Typic Dystrustepts	Muy Fuerte	Arcilloso	Franco Arcillo-Arenoso	Moderado	Poco Profundo	Abundantes	4
Entisols	Orthents	Ustorthents	Aridic Ustorthents	Muy Fuerte	Franco	Franco Arenoso	Excesivo	Poco Profundo	Frecuente	1
		Udorthents	Lithic Udorthents	Muy Fuerte	Franco Arenoso	Franco	Bueno	Superficial	Frecuente	3
Vertisols	Usterts	Haplusterts	Typic Haplusterts	Muy Suave	Arcilloso	Arcilloso	Moderado	Poco Profundo	Frecuente	3
Inceptisols	Udepts	Dystrudepts	Vitrandic Dystrudepts	Muy Suave	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Bueno	Moderadamente Profundo	Sin	1
No Aplicable										0
Inceptisols	Ustepts	Haplustepts	Udentic Haplustepts	Plana	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso	Moderado	Moderadamente Profundo	Abundantes	1
			Fluventic Haplustepts	Plana	Franco	Franco	Bueno	Moderadamente Profundo	Frecuente	1
Entisols	Fluvents	Ustifluvents	Typic Ustifluvents	Plana	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Excesivo	Moderadamente Profundo	Sin	0
Tierras Miscelaneas				Plana	No Aplicable					0
Inceptisols	Udepts	Eutrudepts	Fluventic Eutrudepts	Suave	Franco Limoso	Franco Limoso	Mal Drenado	Moderadamente Profundo	Sin	3
Entisols	Psamments	Ustipsamments	Typic Ustipsamments	Suave	Franco Arcillo-Arenoso	Franco Arcillo-Arenoso	Excesivo	Poco Profundo	Sin	1

		Orthents	Ustorthents	Aridic Lithic Ustorthents	Suave	Franco Arenoso	Franco	Bueno	Superficial	Pedregoso o Rocoso	2
	Molisols	Udolls	Argiudolls	Vertic Argiudolls	Fuerte	Franco Arcillo-Arenoso	Arcillo-Arenoso	Moderado	Moderadamente Profundo	Poca	3
	Inceptisols	Aquepts	Cryaquepts	Humic Cryaquepts	Fuerte	Franco Arcilloso	Franco Arenoso	Bueno	Moderadamente Profundo	Sin	1
Ustepts			Dystrustepts	Humic Dystrustepts	Fuerte	Franco Arcilloso	Franco Arenoso	Bueno	Moderadamente Profundo	Sin	2
		Haplustepts	Udic Haplustepts	Fuerte	Franco Arcilloso	Arcilloso	Bueno	Poco Profundo	Sin	3	
			Typic Haplustepts	Fuerte	Franco Arcillo-Arenoso	Franco Arcillo-Arenoso	Bueno	Poco Profundo	Frecuente	3	
Udepts		Eutrudepts	Humic Eutrudepts	Fuerte	Franco	Franco	Bueno	Superficial	Abundantes	2	
			Typic Eutrudepts	Fuerte	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso	Bueno	Poco Profundo	Sin	2	
		Dystrudepts	Oxic Dystrudepts	Fuerte	Franco Arcilloso	Arcilloso	Bueno	Poco Profundo	Sin	3	
			Humic Dystrudepts	Fuerte	Franco Arcilloso	Franco Arenoso	Bueno	Moderadamente Profundo	Sin	2	
Entisols		Orthents	Ustorthents	Udic Ustorthents	Fuerte	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso	Bueno	Poco Profundo	Abundantes	2
				Vermic Ustorthents	Fuerte	Franco Arcilloso	Franco Arcillo-Arenoso	Bueno	Poco Profundo	Frecuente	3
	Typic Ustorthents			Fuerte	Arcillo-Arenoso	Arcillo-Arenoso	Bueno	Poco Profundo	Poca	2	
	Udorthents		Vermic Udorthents	Fuerte	Franco Arcilloso	Franco Arcillo-Arenoso	Bueno	Poco Profundo	Frecuente	2	
			Typic Udorthents	Fuerte	Arcillo-Arenoso	Arcillo-Arenoso	Bueno	Poco Profundo	Sin	5	
Histosols	Hemists	Haplohemists	Typic Haplohemists	Media	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Mal Drenado	Superficial	Sin	4	
Vertisols	Uderts	Hapluderts	Typic Hapluderts	Media	Franco Arcilloso	Arcilloso	Moderado	Moderadamente Profundo	Muy Pocas	3	
Molisols	Udolls	Argiudolls	Typic Argiudolls	Media	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso	Moderado	Moderadamente Profundo	Sin	2	
			Entic Hapludolls	Media	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso	Moderado	Poco Profundo	Frecuente	1	
		Hapludolls	Typic Hapludolls	Media	Arcilloso	Arcilloso	Bueno	Moderadamente Profundo	Sin	3	

Loja

Alfisols	Ustalfs	Haplustalfs	Udertic Haplustalfs	Media	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso	Bueno	Poco Profundo	Poca	2
			Typic Haplustalfs	Media	Franco Arcilloso	Arcilloso	Moderado	Moderadamente Profundo	Sin	2
	Udalfs	Hapludalfs	Vertic Hapludalfs	Media	Arcilloso	Arcilloso	Moderado	Poco Profundo	Sin	4
			Utic Hapludalfs	Media	Franco Arcilloso	Arcilloso	Moderado	Moderadamente Profundo	Sin	3
			Typic Hapludalfs	Media	Franco	Franco Arcilloso	Moderado	Moderadamente Profundo	Poca	3
Inceptisols	Cryepts	Dystrocryepts	Lithic Dystrocryepts	Media	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso	Bueno	Poco Profundo	Sin	1
	Ustepts	Haplustepts	Aridic Haplustepts	Media	Franco Arcillo-Arenoso	Franco Arenoso	Bueno	Poco Profundo	Sin	1
Entisols	Aquents	Endoaquents	Aeric Endoaquents	Media	Franco	Franco Arcillo-Limoso	Mal Drenado	Superficial	Sin	4
Vertisols	Uderts	Hapluderts	Leptic Hapluderts	Media a Fuerte	Franco Arcillo-Arenoso	Arcilloso	Moderado	Moderadamente Profundo	Poca	1
Alfisols	Ustalfs	Haplustalfs	Vertic Haplustalfs	Media a Fuerte	Franco Arcilloso	Arcilloso	Bueno	Poco Profundo	Abundantes	4
			Utic Haplustalfs	Media a Fuerte	Franco Arcilloso	Arcilloso	Moderado	Moderadamente Profundo	Sin	3
Inceptisols	Cryepts	Dystrocryepts	Typic Dystrocryepts	Media a Fuerte	Franco Arcilloso	Arcilloso	Moderado	Moderadamente Profundo	Sin	3
	Ustepts	Haplustepts	Vertic Haplustepts	Media a Fuerte	Franco	Franco	Bueno	Moderadamente Profundo	Sin	2
	Udepts	Dystrudepts	Andic Dystrudepts	Media a Fuerte	Franco	Franco Arcillo-Arenoso	Bueno	Moderadamente Profundo	Sin	3
			Typic Dystrudepts	Media a Fuerte	Franco Arcilloso	Arcilloso	Moderado	Moderadamente Profundo	Sin	3
Tierras Miscelaneas				Media a Fuerte	No Aplicable					0
Molisols	Ustolls	Haplustolls	Lithic Haplustolls	Muy Fuerte	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso	Bueno	Superficial	Poca	2
Alfisols	Ustalfs	Paleustalfs	Vertic Paleustalfs	Muy Fuerte	Arcilloso	Arcilloso	Moderado	Poco Profundo	Frecuente	3
		Haplustalfs	Udic Haplustalfs	Muy Fuerte	Franco	Arcilloso	Moderado	Poco Profundo	Poca	3
Inceptisols	Ustepts	Haplustepts	Lithic Haplustepts	Muy Fuerte	Franco Arcillo-Arenoso	Franco Arcillo-Arenoso	Bueno	Superficial	Frecuente	2

	Udepts	Eutrudepts	Humic Lithic Eutrudepts	Muy Fuerte	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso	Bueno	Superficial	Abundantes	2
Lithic Eutrudepts			Muy Fuerte	Franco Arcillo-Arenoso	Sin Suelo	Bueno	Superficial	Frecuente	3	
Dystrudepts		Lithic Dystrudepts	Muy Fuerte	Franco Arcilloso	Sin Suelo	Bueno	MUY Superficial	Sin	3	
Entisols	Arents	Ustarents	Haplic Ustarents	Muy Fuerte	Franco Arenoso	Arena	Moderado	Poco Profundo	Poca	1
	Orthents	Ustorthents	Lithic Ustorthents	Muy Fuerte	Franco Arcilloso	Arcilloso	Bueno	Superficial	Poca	3
		Udorthents	Lithic Udorthents	Muy Fuerte	Franco Arenoso	Franco Arcilloso	Bueno	MUY Superficial	Abundantes	3
Bosque Protector					No Aplicable					0
No Aplicable										0
PANE					Otro					0
Inceptisols	Ustepts	Haplustepts	Torrifluventic Haplustepts	Suave	Franco	Franco Arcilloso	Bueno	Moderadamente Profundo	Sin	1
	Udepts	Eutrudepts	Fluventic Eutrudepts	Suave	Arcillo-Limoso	Franco	Bueno	Poco Profundo	Sin	5
Entisols	Fluvents	Ustifluvents	Typic Ustifluvents	Suave	Franco	Franco Arenoso	Bueno	Superficial	Frecuente	1
		Udifluvents	Andic Udifluvents	Suave	Arcilloso	Franco Arcillo-Arenoso	Moderado	Poco Profundo	Poca	2
			Typic Udifluvents	Suave	Franco Limoso	Franco Arenoso	Bueno	Superficial	Abundantes	2
Aridisols	Cambids	Haplocambids	Ustic Haplocambids	Fuerte	Franco Arenoso	Franco	Moderado	Moderadamente Profundo	Frecuente	3
Alfisols	Ustalfs	Haplustalfs	Torrertic Haplustalfs	Fuerte	Franco Arcilloso	Arcilloso	Bueno	Moderadamente Profundo	Frecuente	2
			Vertic Haplustalfs	Fuerte	Franco Arcilloso	Arcilloso	Bueno	Poco Profundo	Muy Pocas	3
			Typic Haplustalfs	Fuerte	Franco Arcillo-Arenoso	Franco Arcilloso	Moderado	Moderadamente Profundo	Poca	2
Inceptisols	Ustepts	Dystrustepts	Typic Dystrustepts	Fuerte	Franco Arcilloso	Arcilloso	Moderado	Moderadamente Profundo	Poca	3
		Haplustepts	Typic Haplustepts	Fuerte	Franco Arcilloso	Arcilloso	Moderado	Moderadamente Profundo	Frecuente	2
Entisols	Orthents	Ustorthents	Lithic Ustorthents	Fuerte	Franco Arenoso	Franco Arcilloso	Bueno	Poco Profundo	Frecuente	3
			Aridic Ustorthents	Fuerte	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Bueno	Poco Profundo	Poca	2

Macara



	Aridisols	Argids	Haplargids	Typic Haplargids	Media a Fuerte	Franco Arcillo-Arenoso	Franco Arcilloso	Moderado	Moderadamente Profundo	Poca	3
	Inceptisols	Ustepts	Haplustepts	Vertic Haplustepts	Media a Fuerte	Franco	Franco Arcilloso	Moderado	Poco Profundo	Frecuente	4
	Entisols	Psamments	Ustipsamments	Typic Ustipsamments	Muy Fuerte	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Bueno	Poco Profundo	Frecuente	3
	Vertisols	Usterts	Haplusterts	Typic Haplusterts	Muy Suave	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso	Moderado	Poco Profundo	Muy Pocas	4
	Entisols	Orthents	Torriorthents	Typic Torriorthents	Muy Suave	Franco Arcilloso	Franco Arcillo-Arenoso	Bueno	Poco Profundo	Poca	4
	No Aplicable										0
	Inceptisols	Ustepts	Haplustepts	Aridic Haplustepts	Suave	Franco	Franco	Bueno	Poco Profundo	Poca	1
	Entisols	Orthents	Ustorthents	Typic Ustorthents	Suave	Franco Arenoso	Franco Arcilloso	Bueno	Poco Profundo	Abundantes	2
Olmedo	Ultisols	Udults	Paleudults	Typic Paleudults	Fuerte	Arcilloso	Arcilla Pesada	Moderado	Poco Profundo	Sin	4
	Inceptisols	Udepts	Eutrudepts	Dystric Eutrudepts	Fuerte	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso	Bueno	Poco Profundo	Muy Pocas	5
			Dystrudepts	Oxic Dystrudepts	Fuerte	Arcilla Pesada	Arcilla Pesada	Moderado	Poco Profundo	Muy Pocas	5
				Typic Dystrudepts	Fuerte	Arcilloso	Arcilloso	Moderado	Moderadamente Profundo	Sin	4
	Entisols	Orthents	Udorthents	Typic Udorthents	Media	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Bueno	MUY Superficial	Sin	3
Paltas	Molisol	Ustolls	Haplustolls	Entic Haplustolls	Media a Fuerte	Franco Arenoso	Franco	Bueno	Poco Profundo	Sin	3
	Alfisols	Ustalfs	Haplustalfs	Calcic Haplustalfs	Media	Franco Arenoso	Arcilloso	Bueno	Poco Profundo	Poca	2
		Ustalfs	Haplustalfs	Typic Haplustalfs	Media	Franco Arcilloso	Arcilloso	Bueno	Poco Profundo	Sin	3
	Inceptisols	Ustepts	Calciustepts	Typic Calciustepts	Media	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Bueno	Poco Profundo	Frecuente	2
	Entisols	Orthents	Ustorthents	Lithic Ustorthents	Fuerte	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso	Bueno	Superficial	Pedregoso o Rocoso	4
		Orthents	Udorthents	Typic Udorthents	Media a Fuerte	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Bueno	MUY Superficial	Sin	3
		Fluvents	Ustifluvents	Mollic Ustifluvents	Fuerte	Arcilloso	Franco Arcilloso	Bueno	Moderadamente Profundo	Poca	4
Ultisols	Udults	Paleudults	Typic Paleudults	Muy Fuerte	Arcilloso	Arcilloso	Bueno	Moderadamente Profundo	Muy Pocas	5	

	Udults	Hapludults	Humic Hapludults	Muy Fuerte	Arcilloso	Arcilla Pesada	Moderado	Poco Profundo	Muy Pocas	5
Molisols	Ustolls	Calciustolls	Typic Calciustolls	Media	Franco Arcilloso	Franco	Bueno	Poco Profundo	Frecuente	3
Alfisols	Ustalfs	Haplustalfs	Inceptic Haplustalfs	Fuerte	Franco Arcilloso	Arcilloso	Moderado	Poco Profundo	Frecuente	4
	Udalfs	Paleudalfs	Typic Paleudalfs	Media	Franco	Arcilloso	Bueno	Moderadamente Profundo	Sin	2
Inceptisols	Udepts	Dystrudepts	Typic Dystrudepts	Fuerte	Arcilla Pesada	Arcilla Pesada	Moderado	Poco Profundo	Poca	4
Entisols	Orthents	Ustorthents	Aridic Lithic Ustorthents	Fuerte	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso	Bueno	Superficial	Frecuente	4
			Typic Ustorthents	Media	Franco	Franco Arenoso	Bueno	Superficial	Sin	4
Alfisols	Ustalfs	Haplustalfs	Ultic Haplustalfs	Suave	Franco Arcilloso	Arcilloso	Bueno	Moderadamente Profundo	Sin	3
Inceptisols	Ustepts	Haplustepts	Oxic Haplustepts	Media a Fuerte	Franco Arcilloso	Arcilloso	Bueno	Poco Profundo	Sin	3
			Udic Haplustepts	Media	Franco Arcillo-Arenoso	Franco Arcillo-Arenoso	Bueno	Poco Profundo	Sin	2
			Typic Haplustepts	Muy Fuerte	Franco	Franco Arenoso	Bueno	Poco Profundo	Sin	5
	Udepts	Eutrudepts	Dystric Eutrudepts	Muy Fuerte	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso	Bueno	Poco Profundo	Muy Pocas	5
		Dystrudepts	Oxic Dystrudepts	Media a Fuerte	Franco Arcillo-Limoso	Arcilloso	Bueno	Poco Profundo	Sin	3
Entisols	Orthents	Ustorthents	Aridic Ustorthents	Muy Fuerte	Franco Arcilloso	Arcilloso	Bueno	Poco Profundo	Abundantes	5
		Ustorthents	Udic Ustorthents	Media a Fuerte	Franco Arenoso	Franco Arcillo-Arenoso	Bueno	Poco Profundo	Poca	3
Molisols	Ustolls	Haplustolls	Udic Haplustolls	Media	Franco Arcilloso	Arcillo-Arenoso	Bueno	Moderadamente Profundo	Poca	2
	Udoll	Hapludoll	Entic Hapludoll	Fuerte	Arcilloso	Franco Arcilloso	Bueno	Poco Profundo	Frecuente	4
Inceptisols	Ustepts	Dystrustepts	Typic Dystrustepts	Muy Fuerte	Franco	Franco Arcilloso	Bueno	Poco Profundo	Sin	5
		Haplustepts	Calcic Haplustepts	Fuerte	Franco Arcilloso	Franco Arenoso	Bueno	Superficial	Frecuente	4
	Udepts	Dystrudepts	Humic Dystrudepts	Muy Fuerte	Arcilloso	Arcilloso	Moderado	Poco Profundo	Poca	5
Tierras Miscelaneas					No Aplicable					0

	No Aplicable										0	
Quilanga	Entisols	Orthents	Udorthents	Lithic Udorthents	Muy Fuerte	Franco Arenoso	Franco Arcilloso	Bueno	MUY Superficial	Frecuente	4	
Sozoranga	Vertisols	Usterts	Haplusterts	Typic Haplusterts	Fuerte	Franco Arcillo-Arenoso	Sin Suelo	Moderado	Moderadamente Profundo	Muy Pocas	4	
	Alfisols	Ustalfs	Haplustalfs	Torrertic Haplustalfs	Fuerte	Franco Arcilloso	Arcilloso	Bueno	Moderadamente Profundo	Frecuente	3	
				Vertic Haplustalfs	Fuerte	Franco Arcilloso	ARCILLO-Limoso	Bueno	Poco Profundo	Muy Pocas	2	
				Typic Haplustalfs	Fuerte	Franco Arcillo-Arenoso	Franco Arcilloso	Moderado	Moderadamente Profundo	Poca	5	
	Inceptisols	Ustepts	Dystrustepts	Lithic Dystrustepts	Fuerte	Franco	Franco Arcilloso	Moderado	Moderadamente Profundo	Muy Pocas	4	
				Vertic Haplustepts	Fuerte	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso	Moderado	Moderadamente Profundo	Muy Pocas	1	
			Haplustepts	Typic Haplustepts	Fuerte	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso	Moderado	Moderadamente Profundo	Muy Pocas	5	
	Entisols	Orthents	Torriorthents	Lithic Torriorthents	Fuerte	Franco Arenoso	Sin Suelo	Bueno	Poco Profundo	Abundantes	3	
				Ustorthents	Aridic Lithic Ustorthents	Fuerte	Franco Arcilloso	Franco Arenoso	Bueno	Superficial	Frecuente	2
			Typic Ustorthents		Fuerte	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Bueno	Poco Profundo	Poca	4	
	Inceptisols	Ustepts	Dystrustepts	Typic Dystrustepts	Muy Fuerte	Franco	Franco Arcillo-Arenoso	Bueno	Moderadamente Profundo	Sin	5	
			Haplustepts	Lithic Haplustepts	Muy Fuerte	Franco	Franco	Bueno	Poco Profundo	Poca	5	
	Entisols	Orthents	Ustorthents	Aridic Ustorthents	Muy Fuerte	Franco Arcilloso	Arcilloso	Bueno	Superficial	Abundantes	2	
	No Aplicable											0
		Vertisols	Uderts	Hapluderts	Aquic Hapluderts	Plana	Franco Arcilloso	Arcilla Pesada	Mal Drenado	Poco Profundo	Sin	3
	Entisols	Psamments	Ustipsamments	Typic Ustipsamments	Plana	Franco Arenoso	Franco Arenoso	Bueno	Poco Profundo	Frecuente	1	
		Orthents	Ustorthents	Vertic Ustorthents	Suave	Franco Arenoso	Franco Arcillo-Arenoso	Moderado	Poco Profundo	Muy Pocas	4	
Zapotillo	Vertisols	Usterts	Haplusterts	Typic Haplusterts	Fuerte	Franco Arcilloso	Arcilloso	Moderado	Poco Profundo	Sin	4	
	Alfisols	Ustalfs	Haplustalfs	Vertic Haplustalfs	Fuerte	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso	Bueno	Poco Profundo	Sin	4	

**Anexo 2.** Calificación de la fisiografía en la Subcuenca del Río Catamayo.

ORIGEN	MORFOLOGÍA	PENDIENTE	CALIFICACIÓN
Denudativo	Coluvio Aluvial Antiguo	Plana	1
		Muy Suave	1
		Suave	2
		Media	1
		Media a Fuerte	1
	Coluvio Aluvial Reciente	Plana	1
		Suave	1
		Media	1
		Media a Fuerte	2
	Coluvión Antiguo	Muy Suave	2
		Suave	2
		Media	3
		Media a Fuerte	3
		Fuerte	4
	Coluvión Reciente	Muy Suave	1
		Suave	1
		Media	2
		Media a Fuerte	2
		Fuerte	2
		Muy Fuerte	4
Encañonamiento	Muy Fuerte	5	
Escarpe de Deslizamiento	Fuerte	4	
	Escarpada	5	
Glacis de Erosión	Muy Suave	1	
	Suave	1	
	Media	2	
	Media a Fuerte	3	
Garganta	Muy Fuerte	5	
Deposicional o Acumulativo	Cono de Derrubios	Escarpada	5
	Glacis de Acumulación	Muy Suave	1
	Glacis de Esparcimiento	Plana	1
		Muy Suave	1
		Suave	1
		Media	2
	Superficie de Cono de Deyección Antiguo	Muy Suave	1
		Suave	1
		Media	2
		Media a Fuerte	3
	Superficie de Cono de Deyección Reciente	Muy Suave	1
Suave		1	

		Media	2
	Talud de Derrubios	Suave	3
	Terraza Alta	Plana	1
		Muy Suave	1
		Suave	2
	Terraza Baja y Cauce Actual	Plana	1
		Muy Suave	1
		Suave	1
	Terraza Media	Plana	2
		Muy Suave	2
		Suave	3
	Valle Fluvial	Muy Suave	2
		Suave	2
	Valle Indiferenciado	Suave	3
	Valle Intramontano	Suave	1
		Media	2
	Vertiente de Cono de Deyección Antiguo	Fuerte	3
Erosivo	Barranco	Media a Fuerte	5
		Fuerte	3
Estructural	Colina Estructural Baja	Media	3
	Colinas Monoclinales	Media	4
		Media a Fuerte	5
		Fuerte	5
	Frente de Cuesta	Muy Fuerte	3
		Fuerte	4
	Ondulaciones con Marcas Estructurales Difusas	Media	3
	Superficie de Cuesta	Suave	1
		Media	2
		Media a Fuerte	3
		Fuerte	4
	Superficie de Cuesta Destruída	Media	2
		Media a Fuerte	3
		Fuerte	4
	Superficie Disectada de Cuesta	Media	2
	Testigo de Cuesta	Media	2
	Vertiente de Cuesta	Muy Suave	1
Media		2	
Fuerte		3	
Vertiente de Superficie de Erosión	Media a Fuerte	4	
Vertiente Disectada	Fuerte	4	
Fluvio Lacustre	Depresión Lagunar	Suave	1
		Media	2

Glaciar	Circo Glaciar	Media a Fuerte	4
		Fuerte	5
	Fondo de Valle Glaciar	Media	2
	Morrena de Fondo	Media	2
	Morrena Lateral	Media	2
Media a Fuerte		3	
No Aplicable	No Aplicable	No Aplicable	0
Otro	Otro	Otro	0
Tectónico	Escarpe de Terraza	Muy Fuerte	4
Tectónico Erosivo	Altiplanicie Disectada	Media	5
		Media	4
	Cerro Testigo	Media a Fuerte	4
		Fuerte	5
	Escarpe de Falla	Muy Fuerte	4
	Macizo Rocosos	Media a Fuerte	3
		Escarpada	5
	Picos y Afloramientos Rocosos	Fuerte	4
		Muy Fuerte	5
		Escarpada	5
	Relieve Colinado Alto	Plana	1
		Media	2
		Media a Fuerte	3
		Fuerte	3
		Muy Fuerte	4
		Escarpada	5
	Relieve Colinado Bajo	Muy Suave	1
		Suave	2
		Media	2
		Media a Fuerte	3
		Fuerte	4
	Relieve Colinado Medio	Muy Suave	1
		Suave	2
Media		2	
Media a Fuerte		3	
Fuerte		4	
Muy Fuerte		5	
Escarpada		5	
Tectónico Erosivo	Relieve Colinado Muy Alto	Suave	2
		Media	2
		Fuerte	4
		Escarpada	5
	Relieve Colinado Muy Bajo	Suave	2

		Media	3
Relieve Montañoso		Plana	1
		Media	2
		Media a Fuerte	3
		Fuerte	4
		Muy Fuerte	5
		Escarpada	5
Relieve Ondulado		Muy Suave	1
		Suave	2
		Media	2
Relieves Escalonados		Media	2
		Media a Fuerte	3
		Muy Fuerte	4
Superficie de Erosión		Media	2
Superficie Ondulada		Suave	1
		Media	2
		Media a Fuerte	3
Vertiente Abrupta		Media a Fuerte	3
		Fuerte	4
		Muy Fuerte	5
		Escarpada	5
	Vertiente de Superficie de Erosión	Media	3
Volcánico Erosivo	Neck	Muy Fuerte	4
		Escarpada	5

**Anexo 3. Tipos de suelo en la Subcuenca del Río Catamayo.**

CANTÓN	ORDEN	SUBORDEN	GRAN GRUPO	SUBGRUPO	ÁREA (ha)	PORCENTAJE (%)	
Calvas	Aridisols	Cambids	Haplocambids	Ustic Haplocambids	214.64	0.05	
	Alfisols	Ustalfs	Haplustalfs	Typic Haplustalfs	3,289.74	0.79	
	Inceptisols	Ustepts	Haplustepts	Vertic Haplustepts	1,905.44	0.46	
				Typic Haplustepts	1,617.23	0.39	
				Lithic Haplustepts	2,884.51	0.69	
		Udepts	Dystrudepts	Andic Dystrudepts	804.61	0.19	
	Entisols	Orthents	Torriorthents	Lithic Torriorthents	646.18	0.15	
			Ustorthents	Lithic Ustorthents	13,701.94	3.28	
				Typic Ustorthents	1,439.72	0.34	
	Inceptisols	Udepts	Dystrudepts	Typic Dystrudepts	973.95	0.23	
	Entisols	Orthents	Ustorthents	Aquic Ustorthents	267.28	0.06	
	Alfisols	Udalfs	Hapludalfs	Typic Hapludalfs	377.68	0.09	
	Inceptisols	Ustepts	Dystrustepts	Typic Dystrustepts	9,864.93	2.36	
			Haplustepts	Aridic Haplustepts	875.50	0.21	
	No Aplicable					272.22	0.07
	Inceptisols	Ustepts	Haplustepts	Fluentic Haplustepts	201.99	0.05	
	Tierras Miscelaneas					94.74	0.02
	Inceptisols	Ustepts	Dystrustepts	Vertic Dystrustepts	25.94	0.01	
	Entisols	Fluents	Ustifluents	Vertic Ustifluents	26.17	0.01	
				Typic Ustifluents	148.38	0.04	
Catamayo	Andisols	Udands	Hapludands	Typic Hapludands	3,191.00	0.76	
	Inceptisols	Ustepts	Dystrustepts	Typic Dystrustepts	3,131.19	0.75	
		Udepts	Eutrudepts	Typic Eutrudepts	1,170.38	0.28	
			Dystrudepts	Typic Dystrudepts	9,768.22	2.34	
	Entisols	Orthents	Torriorthents	Lithic Torriorthents	372.37	0.09	
			Ustorthents	Lithic Ustorthents	12,398.45	2.97	
				Vermic Ustorthents	321.62	0.08	
		Udorthents	Typic Udorthents	3,110.54	0.74		
	Vertisols	Usterts	Haplusterts	Typic Haplusterts	906.32	0.22	
	Inceptisols	Ustepts	Haplustepts	Aridic Haplustepts	346.49	0.08	
	Entisols	Psamments	Ustipsamments	Typic Ustipsamments	87.42	0.02	
		Orthents	Ustorthents	Aridic Ustorthents	457.52	0.11	
	Aridisols	Cambids	Haplocambids	Typic Haplocambids	306.16	0.07	
	Alfisols	Ustalfs	Haplustalfs	Typic Haplustalfs	1,401.70	0.34	
	Inceptisols	Ustepts	Haplustepts	Lithic Haplustepts	57.11	0.01	
				Vertic Haplustepts	73.80	0.02	
	Entisols	Orthents	Ustorthents	Typic Ustorthents	5,420.43	1.30	
		Arents	Ustarents	Haplic Ustarents	377.95	0.09	
		Orthents	Ustorthents	Udic Ustorthents	787.56	0.19	
	Inceptisols	Ustepts	Haplustepts	Udic Haplustepts	25.77	0.01	
Typic Haplustepts				2,236.55	0.54		
Entisols	Fluents	Ustifluents	Typic Ustifluents	960.59	0.23		



		Udifluvents	Typic Udifluvents	105.56	0.03	
	No Aplicable			714.17	0.17	
	Inceptisols	Ustepts	Haplustepts	Fluentic Haplustepts	734.21	0.18
	Tierras Miscelaneas			201.30	0.05	
	Entisols	Orthents	Ustorthents	Aridic Lithic Ustorthents	214.13	0.05
	Tierras Miscelaneas			24.23	0.01	
Celica	Vertisols	Usterts	Haplusterts	Typic Haplusterts	1,192.33	0.29
	Alfisols	Ustalfs	Haplustalfs	Torrertic Haplustalfs	434.15	0.10
				Ultic Haplustalfs	234.75	0.06
				Typic Haplustalfs	3,841.60	0.92
	Inceptisols	Ustepts	Dystrustepts	Vertic Dystrustepts	655.65	0.16
				Haplustepts	Vertic Haplustepts	3,447.76
			Haplustepts	Typic Haplustepts	5,308.87	1.27
	Entisols	Orthents	Torriorthents	Typic Torriorthents	3,658.16	0.88
			Ustorthents	Lithic Ustorthents	1,001.63	0.24
			Ustorthents	Typic Ustorthents	941.00	0.23
	Inceptisols	Ustepts	Dystrustepts	Typic Dystrustepts	437.06	0.10
	Alfisols	Ustalfs	Haplustalfs	Vertic Haplustalfs	1,650.41	0.39
	Inceptisols	Ustepts	Haplustepts	Lithic Haplustepts	64.38	0.02
	Aridisols	Cambids	Haplocambids	Ustic Haplocambids	293.51	0.07
	Entisols	Fluvents	Udifluvents	Typic Udifluvents	127.97	0.03
		No Aplicable			133.89	0.03
	Gonzanama	Alfisols	Ustalfs	Haplustalfs	Typic Haplustalfs	80.66
Udalfs			Hapludalfs	Typic Hapludalfs	433.90	0.10
Inceptisols		Ustepts	Haplustepts	Lithic Haplustepts	2,673.36	0.64
			Haplustepts	Typic Haplustepts	12,984.22	3.11
		Udepts	Dystrudepts	Humic Dystrudepts	3,266.92	0.78
			Dystrudepts	Typic Dystrudepts	3,526.08	0.84
Entisols		Orthents	Torriorthents	Lithic Torriorthents	471.80	0.11
			Ustorthents	Lithic Ustorthents	6,965.25	1.67
			Ustorthents	Udic Ustorthents	1,942.77	0.46
Alfisols		Ustalfs	Haplustalfs	Lithic Haplustalfs	415.94	0.10
Inceptisols		Aquepts	Epiaquepts	Typic Epiaquepts	78.65	0.02
		Ustepts	Haplustepts	Vertic Haplustepts	211.26	0.05
		Udepts	Eutrudepts	Typic Eutrudepts	86.84	0.02
Aridisols		Cambids	Haplocambids	Typic Haplocambids	152.63	0.04
Inceptisols		Ustepts	Haplustepts	Udic Haplustepts	4,698.27	1.12
		Udepts	Eutrudepts	Lithic Eutrudepts	462.61	0.11
Entisols		Orthents	Ustorthents	Typic Ustorthents	9,973.38	2.39
Molisols	Ustolls	Haplustolls	Typic Haplustolls	677.23	0.16	
Inceptisols	Ustepts	Dystrustepts	Typic Dystrustepts	3,879.93	0.93	
Entisols	Orthents	Ustorthents	Aridic Ustorthents	928.40	0.22	
		Udorthents	Lithic Udorthents	374.47	0.09	
Vertisols	Usterts	Haplusterts	Typic Haplusterts	489.93	0.12	
Inceptisols	Udepts	Dystrudepts	Vitrandic Dystrudepts	40.36	0.01	

	No Aplicable			312.50	0.07
Inceptisols	Ustepts	Haplustepts	Udertic Haplustepts	90.42	0.02
			Fluventic Haplustepts	133.32	0.03
Entisols	Fluvents	Ustifluvents	Typic Ustifluvents	168.22	0.04
Tierras Miscelaneas				85.57	0.02
Inceptisols	Udepts	Eutrudepts	Fluventic Eutrudepts	142.79	0.03
Entisols	Psamments	Ustipsamments	Typic Ustipsamments	183.74	0.04
	Orthents	Ustorthents	Aridic Lithic Ustorthents	271.67	0.06
Molisols	Udolls	Argiudolls	Vertic Argiudolls	159.16	0.04
Inceptisols	Aquepts	Cryaquepts	Humic Cryaquepts	65.68	0.02
			Dystrustepts	Humic Dystrustepts	176.57
	Ustepts	Haplustepts	Udic Haplustepts	1,144.24	0.27
			Typic Haplustepts	2,066.63	0.49
	Udepts	Eutrudepts	Humic Eutrudepts	14,749.85	3.53
			Typic Eutrudepts	8,155.98	1.95
		Dystrudepts	Oxic Dystrudepts	1,184.45	0.28
			Humic Dystrudepts	12,692.08	3.04
Entisols	Orthents	Ustorthents	Udic Ustorthents	1,601.16	0.38
			Vermic Ustorthents	2,420.57	0.58
			Typic Ustorthents	6,923.78	1.66
		Udorthents	Vermic Udorthents	7,145.25	1.71
			Typic Udorthents	11,686.04	2.80
Histosols	Hemists	Haplohemists	Typic Haplohemists	22.01	0.01
Vertisols	Uderts	Hapluderts	Typic Hapluderts	267.09	0.06
Molisols	Udolls	Argiudolls	Typic Argiudolls	73.61	0.02
			Hapludolls	Entic Hapludolls	438.16
					Typic Hapludolls
Alfisols	Ustalfs	Haplustalfs	Udertic Haplustalfs	91.06	0.02
			Typic Haplustalfs	405.39	0.10
	Udalfs	Hapludalfs	Vertic Hapludalfs	650.91	0.16
			Ultic Hapludalfs	1,078.72	0.26
			Typic Hapludalfs	201.98	0.05
Inceptisols	Cryepts	Dystrocryepts	Lithic Dystrocryepts	39.75	0.01
	Ustepts	Haplustepts	Aridic Haplustepts	30.64	0.01
Entisols	Aquents	Endoaquents	Aeric Endoaquents	34.99	0.01
Vertisols	Uderts	Hapluderts	Leptic Hapluderts	180.54	0.04
Alfisols	Ustalfs	Haplustalfs	Vertic Haplustalfs	320.88	0.08
			Ultic Haplustalfs	376.92	0.09
Inceptisols	Cryepts	Dystrocryepts	Typic Dystrocryepts	2,971.43	0.71
			Ustepts	Haplustepts	Vertic Haplustepts
	Udepts	Dystrudepts	Andic Dystrudepts	142.71	0.03
			Typic Dystrudepts	2,817.77	0.67
Tierras Miscelaneas				371.39	0.09
Molisols	Ustolls	Haplustolls	Lithic Haplustolls	131.66	0.03
Alfisols	Ustalfs	Paleustalfs	Vertic Paleustalfs	22.07	0.01

Loja

		Haplustalfs	Udic Haplustalfs	704.73	0.17	
Inceptisols	Ustepts	Haplustepts	Lithic Haplustepts	668.00	0.16	
	Udepts	Eutrudepts	Humic Lithic Eutrudepts	544.88	0.13	
		Dystrudepts	Lithic Dystrudepts	5,828.95	1.39	
Entisols	Arents	Ustarents	Haplic Ustarents	0.18	0.00	
	Orthents	Ustorthents	Lithic Ustorthents	4,968.26	1.19	
		Udorthents	Lithic Udorthents	3,206.40	0.77	
Bosque Protector				830.77	0.20	
No Aplicable					0.10	
PANE				11,940.59	2.86	
Inceptisols	Ustepts	Haplustepts	Torrifluventic Haplustepts	200.83	0.05	
	Udepts	Eutrudepts	Fluventic Eutrudepts	140.30	0.03	
Entisols	Fluvents	Ustifluvents	Typic Ustifluvents	326.46	0.08	
		Udifluvents	Andic Udifluvents	489.87	0.12	
			Typic Udifluvents	1,562.59	0.37	
Aridisols	Cambids	Haplocambids	Ustic Haplocambids	82.66	0.02	
Alfisols	Ustalfs	Haplustalfs	Torrertic Haplustalfs	2,637.64	0.63	
			Vertic Haplustalfs	4,669.13	1.12	
			Typic Haplustalfs	4,266.56	1.02	
Inceptisols	Ustepts	Dystrustepts	Typic Dystrustepts	1,031.44	0.25	
		Haplustepts	Typic Haplustepts	1,073.36	0.26	
Entisols	Orthents	Ustorthents	Lithic Ustorthents	4,144.71	0.99	
			Aridic Ustorthents	79.34	0.02	
Aridisols	Argids	Haplargids	Typic Haplargids	192.48	0.05	
Inceptisols	Ustepts	Haplustepts	Vertic Haplustepts	2,022.04	0.48	
Entisols	Psamments	Ustipsamments	Typic Ustipsamments	255.43	0.06	
Vertisols	Usterts	Haplusterts	Typic Haplusterts	430.01	0.10	
Entisols	Orthents	Torriorthents	Typic Torriorthents	256.62	0.06	
No Aplicable				155.97	0.04	
Inceptisols	Ustepts	Haplustepts	Aridic Haplustepts	305.94	0.07	
Entisols	Orthents	Ustorthents	Typic Ustorthents	301.89	0.07	
Olmedo	Ultisols	Udults	Paleudults	Typic Paleudults	937.39	0.22
	Inceptisols	Udepts	Eutrudepts	Dystric Eutrudepts	102.75	0.02
			Dystrudepts	Oxic Dystrudepts	443.07	0.11
				Typic Dystrudepts	116.92	0.03
Entisols	Orthents	Udorthents	Typic Udorthents	75.52	0.02	
Paltas	Molisols	Ustolls	Haplustolls	Entic Haplustolls	352.59	0.08
	Alfisols	Ustalfs	Haplustalfs	Calcic Haplustalfs	1,029.77	0.25
		Ustalfs	Haplustalfs	Typic Haplustalfs	267.42	0.06
	Inceptisols	Ustepts	Calciustepts	Typic Calciustepts	816.67	0.20
	Entisols	Orthents	Ustorthents	Lithic Ustorthents	5,277.07	1.26
		Orthents	Udorthents	Typic Udorthents	571.98	0.14
Fluvents		Ustifluvents	Mollic Ustifluvents	133.58	0.03	

Ultisols	Udults	Paleudults	Typic Paleudults	6,845.50	1.64	
	Udults	Hapludults	Humic Hapludults	775.02	0.19	
Molisols	Ustolls	Calcicustolls	Typic Calcicustolls	2,923.42	0.70	
Alfisols	Ustalfs	Haplustalfs	Inceptic Haplustalfs	476.42	0.11	
	Udalfs	Paleudalfs	Typic Paleudalfs	119.02	0.03	
Inceptisols	Udepts	Dystrudepts	Typic Dystrudepts	1,568.19	0.38	
Entisols	Orthents	Ustorthents	Aridic Lithic Ustorthents	3,897.69	0.93	
			Typic Ustorthents	5,554.84	1.33	
Alfisols	Ustalfs	Haplustalfs	Ultic Haplustalfs	8,895.60	2.13	
Inceptisols	Ustepts	Haplustepts	Oxic Haplustepts	534.72	0.13	
			Udic Haplustepts	11,545.94	2.76	
			Typic Haplustepts	11,934.36	2.85	
	Udepts	Eutrudepts	Dystric Eutrudepts	1,293.14	0.31	
Dystrudepts		Oxic Dystrudepts	1,773.80	0.42		
Entisols	Orthents	Ustorthents	Aridic Ustorthents	973.71	0.23	
		Ustorthents	Udic Ustorthents	3,511.62	0.84	
Molisols	Ustolls	Haplustolls	Udic Haplustolls	131.69	0.03	
	Udolls	Hapludolls	Entic Hapludolls	26.01	0.01	
Inceptisols	Ustepts	Dystrustepts	Typic Dystrustepts	1,130.07	0.27	
		Haplustepts	Calcic Haplustepts	1,700.09	0.41	
	Udepts	Dystrudepts	Humic Dystrudepts	3,139.61	0.75	
Tierras Miscelaneas				410.18	0.10	
No Aplicable					0.10	
Quilanga	Entisols	Orthents	Udorthents	Lithic Udorthents	1,328.63	0.32
Sozoranga	Vertisols	Usterts	Haplusterts	Typic Haplusterts	1,034.35	0.25
	Alfisols	Ustalfs	Haplustalfs	Torrertic Haplustalfs	836.17	0.20
				Vertic Haplustalfs	70.85	0.02
				Typic Haplustalfs	3,142.42	0.75
	Inceptisols	Ustepts	Dystrustepts	Lithic Dystrustepts	2,260.52	0.54
			Haplustepts	Vertic Haplustepts	1,475.91	0.35
				Typic Haplustepts	1,654.99	0.40
	Entisols	Orthents	Torriorthents	Lithic Torriorthents	1,294.91	0.31
			Ustorthents	Aridic Lithic Ustorthents	28.12	0.01
				Typic Ustorthents	14,606.00	3.49
	Inceptisols	Ustepts	Dystrustepts	Typic Dystrustepts	899.50	0.22
			Haplustepts	Lithic Haplustepts	109.56	0.03
	Entisols	Orthents	Ustorthents	Aridic Ustorthents	33.49	0.01
No Aplicable				89.12	0.02	
Vertisols	Uderts	Hapluderts	Aquic Hapluderts	28.84	0.01	
Entisols	Psamments	Ustipsamments	Typic Ustipsamments	27.61	0.01	
	Orthents	Ustorthents	Vertic Ustorthents	191.18	0.05	
Zapotillo	Vertisols	Usterts	Haplusterts	Typic Haplusterts	466.27	0.11
	Inceptisols	Ustepts	Haplustepts	Vertic Haplustepts	132.93	0.03
	No Aplicable				21.85	0.01
<b>TOTAL</b>				<b>418,453.54</b>	<b>100.00</b>	

**Anexo 4. Tipos de fisiografía en la Subcuenca del Río Catamayo.**

ORIGEN	MORFOLOGÍA	PENDIENTE	ÁREA (ha)		PORCENTAJE (%)	
Denudativo	Coluvio Aluvial Antiguo	Plana	188.01	5,493.89	0.04	1.31
		Muy Suave	403.69		0.10	
		Suave	2,921.98		0.70	
		Media	1,956.81		0.47	
		Media a Fuerte	23.39		0.01	
	Coluvio Aluvial Reciente	Plana	100.62	459.84	0.02	0.11
		Suave	325.05		0.08	
		Media	30.27		0.01	
		Media a Fuerte	3.90		0.00	
	Coluvión Antiguo	Muy Suave	740.77	6,950.05	0.18	1.66
		Suave	1,193.61		0.29	
		Media	2,816.36		0.67	
		Media a Fuerte	2,013.29		0.48	
		Fuerte	186.02		0.04	
	Coluvión Reciente	Muy Suave	217.69	398.14	0.05	0.10
		Suave	7.85		0.00	
		Media	127.77		0.03	
		Media a Fuerte	38.44		0.01	
		Fuerte	1.33		0.00	
		Muy Fuerte	5.06		0.00	
Encañonamiento	Muy Fuerte	73.36	73.36	0.02	0.02	
Escarpe de Deslizamiento	Fuerte	34.48	36.37	0.01	0.01	
	Escarpada	1.89		0.00		
Glacis de Erosión	Muy Suave	6.85	233.00	0.00	0.06	
	Suave	164.97		0.04		
	Media	56.26		0.01		
	Media a Fuerte	4.92		0.00		
Garganta	Muy Fuerte	495.15	495.15	0.12	0.12	
Deposicional o Acumulativo	Cono de Derrubios	Escarpada	1.16	1.16	0.00	0.00
	Glacis de Acumulación	Muy Suave	848.94	496.31	0.20	0.12
	Glacis de Esparcimiento	Plana	19.45	2,010.02	0.00	0.48
		Muy Suave	870.08		0.21	
		Suave	925.06		0.22	
		Media	195.42		0.05	
	Superficie de Cono de Deyección Antiguo	Muy Suave	66.23	1,002.70	0.02	0.24
		Suave	343.54		0.08	
		Media	494.25		0.12	
		Media a Fuerte	98.68		0.02	
Superficie de Cono de Deyección Reciente	Muy Suave	9.02	283.49	0.00	0.07	
	Suave	91.50		0.02		

		Media	182.97		0.04	
	Talud de Derrubios	Suave	1.45	1.45	0.00	0.00
	Terraza Alta	Plana	15.16	417.52	0.00	0.10
		Muy Suave	81.15		0.02	
		Suave	321.21		0.08	
	Terraza Baja y Cauce Actual	Plana	663.34	772.38	0.16	0.18
		Muy Suave	109.04		0.03	
		Suave	9.22		0.00	
	Terraza Media	Plana	742.68	3,063.20	0.18	0.73
		Muy Suave	1,400.06		0.33	
		Suave	920.46		0.22	
	Valle Fluvial	Muy Suave	291.75	1,321.57	0.07	0.32
		Suave	1,029.81		0.25	
	Valle Indiferenciado	Suave	46.41	46.41	0.01	0.01
	Valle Intramontano	Suave	86.71	165.64	0.02	0.04
		Media	78.93		0.02	
	Vertiente de Cono de Deyección Antiguo	Fuerte	3.92	3.92	0.00	0.00
Erosivo	Barranco	Media a Fuerte	2.31	14.54	0.00	0.00
		Fuerte	12.23		0.00	
Estructural	Colina Estructural Baja	Media	551.05	551.05	0.13	0.13
	Colinas Monoclinales	Media	451.30	978.82	0.11	0.23
		Media a Fuerte	272.06		0.07	
		Fuerte	255.46		0.06	
	Frente de Cuesta	Muy Fuerte	726.34	1,137.32	0.17	0.27
		Fuerte	410.97		0.10	
	Ondulaciones con Marcas Estructurales Difusas	Media	74.50	74.50	0.02	0.02
	Superficie de Cuesta	Suave	94.64	547.67	0.02	0.13
		Media	166.27		0.04	
		Media a Fuerte	108.04		0.03	
		Fuerte	178.72		0.04	
	Superficie de Cuesta Destruída	Media	90.19	1,152.69	0.02	0.28
		Media a Fuerte	283.13		0.07	
Fuerte		779.36	0.19			
Superficie Disectada de Cuesta	Media	209.05	209.05	0.05	0.05	
Testigo de Cuesta	Media	4.23	4.23	0.00	0.00	
Vertiente de Cuesta	Muy Suave	4.87	3,377.80	0.00	0.81	
	Media	1,288.12		0.31		
	Fuerte	2,084.81		0.50		
Vertiente de Superficie de Erosión	Media a Fuerte	32.47	32.47	0.01	0.01	

	Vertiente Disectada	Fuerte	265.10	265.10	0.06	0.06
Fluvio Lacustre	Depresión Lagunar	Suave	6.08	57.00	0.00	0.01
		Media	50.92		0.01	
Glaciar	Circo Glaciar	Media a Fuerte	117.73	172.13	0.03	0.04
		Fuerte	54.40		0.01	
	Fondo de Valle Glaciar	Media	6.18	6.18	0.00	0.00
	Morrena de Fondo	Media	9.69	9.69	0.00	0.00
	Morrena Lateral	Media	22.13	30.07	0.01	0.01
		Media a Fuerte	7.94		0.00	
N.A.	No Aplicable	No Aplicable	3,399.40	3,399.40	0.81	0.81
Otro	Otro	Otro	11,974.19	11,974.19	2.86	2.86
Tectónico	Escarpe de Terraza	Muy Fuerte	28.09	28.09	0.01	0.01
Tectónico Erosivo	Altiplanicie Disectada	Media	32.33	32.33	0.01	0.01
	Cerro Testigo	Media	50.98	54.04	0.01	0.01
		Media a Fuerte	3.06		0.00	
		Fuerte	3.48		0.00	
	Escarpe de Falla	Muy Fuerte	142.86	142.86	0.03	0.03
	Macizo Rocoso	Media a Fuerte	8.06	22.02	0.00	0.01
		Escarpada	13.96		0.00	
	Picos y Afloramientos Rocosos	Fuerte	61.38	753.74	0.01	0.18
		Muy Fuerte	677.23		0.16	
		Escarpada	15.13		0.00	
	Relieve Colinado Alto	Plana	3.25	40,289.16	0.00	9.63
		Media	6,204.68		1.48	
		Media a Fuerte	16,189.28		3.87	
		Fuerte	15,453.02		3.69	
		Muy Fuerte	2,422.29		0.58	
		Escarpada	16.64		0.00	
	Relieve Colinado Bajo	Muy Suave	291.22	2,854.16	0.07	0.68
		Suave	247.85		0.06	
		Media	1,601.17		0.38	
		Media a Fuerte	700.35		0.17	
Fuerte		13.57	0.00			
Relieve Colinado Medio	Muy Suave	96.68	23,956.72	0.02	5.73	
	Suave	111.23		0.03		
	Media	6,897.79		1.65		
	Media a Fuerte	8,234.53		1.97		
	Fuerte	8,134.13		1.94		
	Muy Fuerte	379.25		0.09		
	Escarpada	103.11		0.02		
Tectónico Erosivo	Relieve Colinado Muy Alto	Suave	346.92	60,367.76	0.08	14.43
		Media	3,303.82		0.79	

	Media a Fuerte	13,715.38		3.28	
	Fuerte	33,964.33		8.12	
	Muy Fuerte	8,898.73		2.13	
	Escarpada	138.58		0.03	
Relieve Colinado Muy Bajo	Suave	589.42	1,190.70	0.14	0.28
	Media	601.27		0.14	
Relieve Montañoso	Plana	20.49	237,412.22	0.00	56.76
	Media	1,625.31		0.39	
	Media a Fuerte	20,412.47		4.88	
	Fuerte	171,397.95		40.96	
	Muy Fuerte	41,397.41		9.89	
	Escarpada	2,558.59		0.61	
Relieve Ondulado	Muy Suave	32.38	162.63	0.01	0.04
	Suave	69.55		0.02	
	Media	60.70		0.01	
Relieves Escalonados	Media	158.09	295.18	0.04	0.07
	Media a Fuerte	89.78		0.02	
	Muy Fuerte	47.31		0.01	
Superficie de Erosión	Media	27.55	27.55	0.01	0.01
Superficie Ondulada	Suave	292.53	1,405.95	0.07	0.34
	Media	960.71		0.23	
	Media a Fuerte	152.70		0.04	
Vertiente Abrupta	Media a Fuerte	3.75	1,191.22	0.00	0.28
	Fuerte	396.71		0.09	
	Muy Fuerte	628.72		0.15	
	Escarpada	162.03		0.04	
Vertiente de Superficie de Erosión	Media	111.35	111.35	0.03	0.03
Volcánico Erosivo	Neck	Muy Fuerte	71.04	0.00	0.02
		Escarpada		66.60	
<b>TOTAL</b>		<b>418,453.54</b>	<b>418,453.54</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>