

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**“MODELAMIENTO GEOESPACIAL EN LA DETERMINACIÓN DEL
RIESGO, VULNERABILIDAD Y DE LA CUANTIFICACIÓN DE LA
EROSIÓN HÍDRICA EN LA MICROCUENCA DEL RIO ATUEN –
AMAZONAS”**

PRESENTADO POR:
MIRELLA NANCY CABREJOS VALDIVIA

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÍCOLA

Lima - Perú,
2016

DEDICATORIA

Dedicado a mi familia, amigos y a todos aquellos que me acompañaron durante esta etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la fortaleza para afrontar las adversidades.

A mi madre por apoyarme y confiar en mí en todo momento.

A mi familia y amigos por acompañarme y brindarme su apoyo.

Al Ing. Fernando Paz por los consejos e incentivos para seguir adelante.

A la Oficina Amiga por el apoyo y el compañerismo.

A los ingenieros y técnicos de mi querida facultad Ingeniería Agrícola que en algún momento me apoyaron con los procedimientos.

A mi querida UNALM, por darme la oportunidad de formar parte de su hermosa comunidad.

A la Municipalidad de Leimebamba por permitirnos realizar estos estudios.

GRACIAS

INDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	2
2.1.	CUENCA HIDROGRÁFICA.....	2
2.2.	EROSIÓN	2
2.3.	EROSIÓN HÍDRICA	3
2.4.	TIPOS DE EROSIÓN HÍDRICA.....	3
2.4.1.	Erosión Laminar	3
2.4.2.	Erosión por Surcos.....	4
2.4.3.	Erosión por Cárcavas.....	4
2.5.	FACTORES QUE DETERMINAN LA EROSIÓN HÍDRICA.....	5
2.6.	ETAPAS DE LA EROSIÓN HÍDRICA	6
2.7.	METODOLOGÍAS PARA CUANTIFICAR LA EROSIÓN HÍDRICA.....	7
2.7.1	Método de Clavos.....	7
2.7.2	Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE).....	8
2.7.3	Ecuación Universal Modificada de Pérdida de Suelo	20
2.8.	LÍMITE DE TOLERANCIA DE PÉRDIDA DE SUELO.....	21
2.9.	SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA.....	22
2.9.1.	Componentes de un Sistema de Información Geográfica	23
2.9.2.	Teledetección.....	26
2.9.3.	Análisis de Imágenes satelitales	28
2.10.	MODELAMIENTO GEOESPACIAL	28
2.10.1.	Realidad Perceptible.....	29
2.10.2.	Modelo Conceptual	29
2.10.3.	Modelo Lógico	29
2.11.	PRACTICAS CONSERVACIONISTAS.....	30
2.11.1.	Prácticas Mecánico - Estructurales	30

2.11.2.	Prácticas Agronómicas	35
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	36
3.1.	UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	36
3.2.	PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO	37
3.2.1.	Vías de acceso	37
3.2.2.	Clima	38
3.2.3.	Demografía	38
3.3.	MATERIALES	40
3.3.1.	Imágenes de Satélite, en formato Raster	40
3.3.2.	Información Temática, en formato Vectorial.	40
3.3.3.	Materiales de campo, gabinete y software.....	41
3.4.	METODOLOGIA.....	42
3.4.1.	FASE PRE-CAMPO.....	42
3.4.2.	FASE DE CAMPO	44
3.4.3.	FASE DE GABINETE	44
IV.	RESULTADOS Y DISCUSION	86
4.1.	MODELAMIENTO GEOESPACIAL PARA DETERMINAR LAS ZONAS DE EROSION.....	86
4.1.1.	Mapa de Pendientes	86
4.1.2.	Mapa de Suelos.....	88
4.1.3.	Mapa de Cobertura Vegetal.....	90
4.1.4.	Mapa de Precipitaciones	92
4.1.5.	Mapa de Fisiografía	95
4.1.6.	Mapa Geológico	97
4.1.7.	Mapa de Capacidad de Uso Mayor.....	99
4.1.8.	Mapa de Conflicto de Uso	101
4.2.	CUANTIFICACION DE LA EROISION HIDRICA.....	103

4.2.1. Factor R	103
4.2.2. Factor K.....	105
4.2.3. Factor LS	107
4.2.4. Factor C	109
4.3. ZONAS DE EROSIÓN EN LA MICROCUENCA.....	111
4.4. ASPECTOS SOCIOECONOMICOS EN RELACION A LAS ZONAS DE EROSION EN LA MICROCUENCA.....	113
4.5. CUANTIFICACION DE LA EROSIÓN HIDRICA.....	115
IV. CONCLUSIONES.....	117
V. RECOMENDACIONES	119
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFIAS	120
VII. ANEXOS	124

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Códigos USLE de estructura de suelo.....	11
Tabla 2: Códigos USLE de permeabilidad de suelos.....	12
Tabla 3: Factor LS según grupos de pendientes.....	16
Tabla 4: Valores de cobertura vegetal Factor C.....	18
Tabla 5: Factor P de prácticas de conservación de Wischmeier y Smith, 1978.....	19
Tabla 6: Clasificación de Pérdidas de suelo.....	22
Tabla 7: Conexiones viales Leimebamba.....	38
Tabla 8: Localización de Estaciones.....	46
Tabla 9: Localización de Estaciones.....	46
Tabla 10: Precipitaciones Máximas anuales.....	47
Tabla 11: Precipitaciones Máximas anuales acumuladas.....	48
Tabla 12: Calificación de la pendiente.....	52
Tabla 13: Calificación de la precipitación.....	53
Tabla 14: Clasificación Taxonómica de Suelos.....	53
Tabla 15: Calificación de Suelos.....	57
Tabla 16: Calificación de Cobertura Vegetal.....	61
Tabla 17: Clasificación Geomorfológica.....	64
Tabla 18: Calificación de Fisiografía.....	64
Tabla 19: Clasificación Geológica.....	67
Tabla 20: Calificación de Geología.....	67
Tabla 21: Calificación de las necesidades básicas.....	69
Tabla 22: Cantidad de afiliados a Programa Social.....	70
Tabla 23: Calificación Según Afiliación Programa Social.....	70
Tabla 24: Calificación Conflicto de Uso.....	71
Tabla 25: Ubicación de los puntos de muestreo de suelo.....	77
Tabla 26: Datos en la prueba de Bouyoucos.....	78

Tabla 27: Porcentaje de arena fina.	79
Tabla 28: Codificación según estructura de suelo.	79
Tabla 29: Infiltración según textura de suelo.	81
Tabla 30: Codificación según permeabilidad de suelo.	81
Tabla 31: Valores del Factor K.	81
Tabla 32: Valores del Factor C.	83
Tabla 33: Resultados Mapa de Pendiente.	86
Tabla 34: Resultados Mapa de Suelos.	88
Tabla 35: Resultados Mapa de Cobertura Vegetal.	90
Tabla 36: Resultados de Consistencia T de Student.	92
Tabla 37: Resultados de Consistencia Fisher.	92
Tabla 38: Resultados Mapa de Precipitaciones.	93
Tabla 39: Resultados Mapa de Fisiografía.	95
Tabla 40: Resultados Mapa Geológico.	97
Tabla 41: Resultados Mapa Capacidad de Uso Mayor.	99
Tabla 42: Resultados Mapa Conflicto de Uso.	101
Tabla 43: Resultados Mapa Factor R.	103
Tabla 44: Resultados Mapa Factor K.	105
Tabla 45: Resultados Mapa Factor LS.	107
Tabla 46: Resultados Mapa Factor C.	109
Tabla 47: Resultados Mapa Físico de Erosión.	111
Tabla 48: Resultados Mapa Físico - Social de Erosión.	113
Tabla 49: Resultados Mapa Cuantificado de Erosión.	115
Tabla 49: Precipitaciones Máximas Estación Leimebamba.	124
Tabla 50: Precipitaciones Máximas Estación Chachapoyas.	124
Tabla 51: Precipitaciones Máximas Estación Alao.	125
Tabla 52: Precipitaciones Máximas Estación Saposoa.	125

Tabla 53: Precipitaciones Máximas Estación Rioja.	126
Tabla 54: Precipitaciones Máximas Estación Soritor.	126
Tabla 55: Precipitaciones Máximas Estación Pachiza.	127
Tabla 56: Precipitaciones Máximas Estación Celendín.	127

INDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Nomograma para la determinación de Erodabilidad del suelo (adaptado desde Wischmeier y Smith, 1978).....	13
Figura N° 2: Nomograma de determinación del factor combinado LS (adaptado desde Wischmeier y Smith, 1978).....	14
Figura N° 3: Elementos básicos que componen el SIG.....	24
Figura N° 4: Una división distinta del sistema SIG.	25
Figura N° 5: Microcuenca del Río Atué.....	36
Figura N° 6: Población del Distrito de Leimebamba – Microcuenca Atué.....	39
Figura N° 7: Distribución porcentual de la población del Distrito de Leimebamba- Microcuenca Atué.....	39
Figura N° 8: Distribución porcentual de la población según género Leimebamba- Microcuenca Atué.....	40
Figura N° 9: Esquema metodológico del estudio.	42
Figura N° 10: Modelo Digital de Elevacion.....	43
Figura N° 11: Procedimiento para la delimitación de la microcuenca.	45
Figura N° 12: Análisis de Doble Masa.....	48
Figura N° 13: Esquema lógico de la BDG del submodelo físico.....	51
Figura N° 14: Esquema lógico de la BDG del submodelo socioeconómico.....	51
Figura N° 15: Unidad de Suelo Leimebamba.....	54
Figura N° 16: Unidad de Suelo Pajonal.	55
Figura N° 17: Unidad de Suelo Pericos Rojos – Áreas Misceláneas.	56
Figura N° 18: Unidad de Suelo Totora.....	56
Figura N° 19: Unidad de Bosque Perennifolio.....	58
Figura N° 20: Unidad de Bosque Secundario.....	59
Figura N° 21: Unidad Cultivos Agropecuarios y Vegetación Secundaria de Cobertura Vegetal.....	59
Figura N° 22: Unidad Matorrales de Cobertura Vegetal.....	60

Figura N° 23: Unidad Pajonales de Cobertura Vegetal.....	60
Figura N° 24: Unidad Sector Urbano de Cobertura Vegetal.....	61
Figura N° 25: Modelo Conceptual de la Erosión del suelo en la microcuenca Atué 72	72
Figura N° 26: Model Builder Submodelo Físico.....	73
Figura N° 27: Model Builder Submodelo Socioeconómico.....	75
Figura N° 28: Modelo Conceptual de la Cuantificación de la Erosión del suelo en la microcuenca Atué.....	76
Figura N° 29: Model Builder Modelo Cuantificado.....	85
Figura N° 30: Mapa de Pendientes.....	87
Figura N° 31: Mapa de Suelos.....	89
Figura N° 32: Mapa de Cobertura Vegetal.....	91
Figura N° 33: Mapa de Precipitaciones.....	94
Figura N° 34: Mapa Fisiográfico.....	96
Figura N° 35: Mapa Geológico.....	98
Figura N° 36: Mapa Capacidad de Uso Mayor.....	100
Figura N° 37: Mapa Coneflicto de Uso.....	102
Figura N° 38: Mapa Factor R.....	104
Figura N° 39: Mapa Factor K.....	106
Figura N° 40: Mapa Factor LS.....	108
Figura N° 41: Mapa Factor C.....	110
Figura N° 42: Mapa de Zonas de Erosión.....	112
Figura N° 43: Mapa Físico - Social de Erosión.....	114
Figura N° 44: Mapa Cuantificado de Erosión Hídrica.....	116

ANEXO

Anexo 1: Datos de precipitaciones de las Estaciones.....	124
Anexo 2: Tabla de Distribución de T de Student y Fisher	128
Anexo 3: Resultado del Análisis de Textura para el Factor K	130

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en la Microcuenca del Río Atuéen perteneciente a la Cuenca del Río Utcubamba en la Región Amazonas, a fin de conocer los problemas erosivos de la microcuenca. El trabajo se realizó mediante un modelo geoespacial, con la utilización de las bondades del SIG (Sistema de Información Geográfica), para la identificación de zonas erosionadas y/o vulnerables, según el grado de intensidad dentro del ámbito de estudio; luego se cuantificó utilizando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE, por sus siglas en inglés, *Universal Soil Loss Equation*), (Wischmeier y Smith 1968), Finalmente se propusieron posibles alternativas de protección y/o conservación para las zonas afectadas por la erosión hídrica. El estudio consistió en la recopilación de información, tanto digital como física, se requirió de información temática como cobertura vegetal, suelos, precipitaciones, fisiografía, geología, pendiente clasificada e información socioeconómica, para lo cual se realizó un trabajo de campo en la zona de estudio para obtener información sobre necesidades básicas insatisfechas, actividades económicas que se realizan y un reconocimiento in-situ de la zona. Con la información obtenida y con la ayuda del SIG, en primer lugar se realizó el procesamiento digital de imágenes satelitales y el modelamiento geoespacial consistiendo en la interrelación de la parte física, biótica y social, otorgándole una calificación y ponderación a cada unidad de las variables según el grado de incidencia que presenten para el estudio; en segundo lugar, se procedió a la realización del modelo cuantificado, con cada una de las variables involucradas al modelo de la ecuación USLE. Culminando el procedimiento; se pudo observar, que las zonas que presentan mayores incidencias erosivas son las que se encuentran en las zonas más altas del territorio y en las riberas de los ríos; las cuales a su vez, presentan bajos niveles socioeconómicos.

Palabras clave: Erosión, Ecuación Universal de Pérdida de Suelos, Sistema de Información Geográfica.

ABSTRACT

The next research was completed on the microwatershed of the Atuen river belonging to the watershed of the Utcubamba River on the Amazon region, to know erosion problems the microwatershed. The work was done using a geospatial model with the use of the benefits of GIS (Geographic Information System) for the identification of vulnerable areas, according the degree of intensity within the field of study; then was quantified using the Universal Soil Loss Equation (USLE), (Wischmeier and Smith 1968).

Finally, possible alternatives of protection and conservation to areas affected by water erosion were proposed. The study consisted in the gathering of information, digital as well as physical, were required thematic information such as land cover, soil, rainfall, physiography, geology, slope classified and socioeconomic information, so a visit to the area of study was conducted to obtain information on unmet basic needs, economic activities performed and an on-site recognition of the area. With the information obtained and with the help of the GIS, first, the digital processing of satellite images was performed and geospatial modeling consisting of the interrelationship of physical, biotic and social part, giving it a rating and weighting to each unit of the variables according to the degree of incidence presented for study; secondly, we proceeded to the realization of the quantized model, with each of the variables involved to model USLE equation. Culminating the procedure; it was observed, that the erosive areas with higher incidences are found in the highest areas of the territory and the riverbanks; it in turn, have low socioeconomic levels.

Keywords: Erosion, Universal Soil Loss Equation, Geographic Information System.

I. INTRODUCCIÓN

El Perú se caracteriza por tener tres regiones diferentes, la costa, sierra y selva, la costa que abarca un estrecho y alargado territorio entre el océano Pacífico y las estribaciones de los Andes peruanos, considerando que se extiende desde 0 hasta 500 msnm, árida y con pocos recursos hídricos, la sierra conformando la parte central de toda la Cordillera de Los Andes considerándose desde los 500 a poco más de 6000 msnm, presentando temperaturas bajas, climas lluviosos, y finalmente la selva, un gran llano amazónico con temperaturas más elevadas y una mayor cantidad de recursos hídricos.

Así mismo el Perú presenta una distribución espacialmente inadecuada de los recursos hídricos, en la cuenca del Pacífico alrededor de 2% de este recurso y en la cuenca del Amazonas un 98% aproximadamente, complementado a esta situación se tiene el crecimiento demográfico con una situación socioeconómica que va de extrema pobreza a zonas económicamente viables, por lo tanto es importante desarrollar trabajos de investigación sobre cada uno de estos escenarios; uno de ellos, sobre los efectos de la erosión en las diferentes zonas de nuestro país en esta oportunidad para el norte como es el caso de la Región Amazonas específicamente en la microcuenca del río Atuén, en la Cuenca del Utcubamba.

La zona de estudio presenta un alto nivel de precipitación, el cual es un factor fundamental que origina problemas de erosión de los suelos a niveles considerables, complementado con las actividades antrópicas que ocasionan una situación desfavorable para la conservación de los suelos.

Existen diversos métodos para cuantificar la erosión hídrica de los suelos, uno de ellos es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE, por sus siglas en inglés, *Universal Soil Loss Equation*), que es un modelo matemático que permite estimar y cuantificar la erosión hídrica mediante diferentes factores que se analizan para determinadas condiciones físicas de una zona en estudio como la precipitación, suelo, relieve, cultivo y prácticas de manejo. Se han realizado estudios sobre la cuantificación de la erosión hídrica de los suelos en muchas partes del mundo uno de ellos podemos citar al estudio realizado por el Instituto para

la Mitigación de Efectos por Fenómeno del Niño (IMEFEN), “Metodología de Análisis de Erosión Laminar en Cuencas Alto andinas”, otro estudio realizado en Haití titulado “Estimación de la erosión laminar y sedimentación con modelos hidrológicos para la selección de prácticas de conservación de suelos y cambios de cobertura en la Unidad Hidrográfica de Aquin/Saint-Louis Du Sud- Haití”.

Es de gran importancia identificar las zonas vulnerables y conocer el grado de erosión para poder planificar y ejecutar proyectos sostenibles en la microcuenca, por lo cual se realizó la presente investigación cuantificando la erosión hídrica en la Microcuenca del Río Atuén, a fin de preservar y/o restaurar el suelo, utilizando para ello el modelamiento geoespacial y la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE), mediante el Sistema de Información Geográfica (SIG), ya que estos métodos suelen ser comunes en estudios a nivel de reconocimiento o diagnóstico, constituyendo una opción bastante ágil para una futura toma de decisiones respecto a problemas de erosión (MOREIRA, 1991).

En base a lo expuesto se tiene como objetivo general:

Cuantificar la erosión hídrica de la Microcuenca del río Atuén, utilizando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos, mediante el uso de SISTEMAS DE INFORMACION GEOGRAFICA (SIG).

Objetivos específicos:

- Identificar las variables y construir la base de datos Geoespacial para el Modelamiento de la erosión hídrica.
- Identificar las zonas críticas de erosión mediante el Modelamiento Geoespacial.
- Estimar la pérdida de suelos por erosión hídrica en la Microcuenca del Río Atuén.
- Proponer alternativas de protección y/o conservación para las zonas afectadas por la erosión hídrica.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. CUENCA HIDROGRÁFICA

Se define como un territorio y un área geográfica (suelo, agua, clima, precipitación pluvial, escorrentía subterránea, etc.) delimitados por la colección del agua que se deriva en una fuente de agua. Una cuenca contiene determinados recursos naturales que otorgan posibilidades a la vida humana y animal. Su hilo conductor es el ciclo hidrológico y la cultura de población que ocupa y se relaciona con la naturaleza. Este hilo se encuentra constantemente generando, regenerándose o degradándose, con la intervención del hombre y la sociedad, los cuales forman juntos un todo indivisible con la naturaleza, interrelacionándose en forma sistemática y deviniendo así en una determinada dinámica en la cuenca que fomenta su preservación o deterioro, (VÁSQUEZ, 2000).

2.2. EROSIÓN

Pidwirny (2006) define a la erosión como la degradación de los suelos, los sedimentos, el regolito, los fragmentos de roca y el paisaje, a través de distintos medios externos como el viento, el hielo y el agua.

Añó y Peris (2003), definen a la erosión, no como un proceso en sí mismo, sino como la manifestación fenomenológica de una multitud de procesos que dan lugar a la pérdida del recurso suelo. Asimismo, Pidwirny (2006) menciona que dichos procesos llegan a su fin cuando las partículas transportadas caen y se depositan en la superficie, generando procesos de sedimentación.

Vásquez (2000), nos dice que la erosión es un fenómeno que comprende el desprendimiento y traslado o arrastre de las partículas del suelo por acción del agua, del viento, o de la actividad biológica. Puede ser natural (normal o geológica) cuando se produce por los cambios naturales en el ambiente y en largos periodos geológicos contribuyendo a la formación de los suelos y del relieve terrestre; o acelerada siendo uno de los problemas más serios que tiene que enfrentar cualquier acción encaminada a lograr el desarrollo

agropecuario, ya que además de ser la causa de bajos rendimientos de los cultivos, acorta la vida útil de las obras de regulación por la cantidad de sedimentos que acarrea el agua que se almacena colmatando el lecho de los ríos y favoreciendo, en muchos casos las inundaciones, problemas de drenaje y salinización de las tierras. Existen dos tipos de erosión, eólica e hídrica.

2.3. EROSIÓN HÍDRICA

Hudson (1981) y Paulet (1974) nos dicen que la erosión hídrica es un proceso físico definido como el desprendimiento y arrastre de partículas de suelo por acción del agua. Las gotas de lluvia desprenden el suelo y el agua de escorrentía es la encargada de realizar el transporte y la sedimentación.

La Erosión Hídrica es un proceso de disgregación y transporte de las partículas del suelo por acción del agua. Se trata de un fenómeno natural y lento, sin embargo, debido al uso intensivo de las tierras agrícolas y al manejo inadecuado, ha sido acelerado como consecuencia de tales actividades (FAO, 1990).

La erosión hídrica genera la pérdida del suelo que contiene la mayor parte de la fertilidad. Por lo tanto es necesario controlarla adoptando prácticas de cultivo y producción que mantengan el buen estado del suelo y que eviten el impacto de las gotas de lluvia los cuales originan la degradación, transporte y sedimentación de las partículas del suelo.

2.4. TIPOS DE EROSIÓN HÍDRICA

2.4.1. Erosión Laminar

La erosión laminar está directamente relacionada con la salpicadura de la lluvia, a lo que se puede agregar, que en laderas más de la mitad de la salpicadura desciende por la misma. Si esta corriente se mantiene como una delgada lámina, el tipo de erosión que produce se conoce como erosión laminar. La erosión laminar y en surcos pequeños es la forma de erosión que más afecta la agricultura por degradación y pérdida del horizonte A de los suelos, y a la vez afecta más significativamente a la producción de sedimentos en los ríos. (VAHRSON, 1991)

El impacto de las gotas de lluvia contra la superficie descubierta del suelo produce el desprendimiento de sus partículas, las que al encontrarse sueltas y al ser trasladadas, “sellan” los poros del suelo, formando una delgada capa o costra poco permeable, cuando la cantidad de lluvia que cae excede a la tasa de infiltración del suelo, el agua empieza a fluir (correr), como escorrentía en el suelo de la pendiente, transportando las partículas finales del suelo que inicialmente ya fueron desprendidas, (VÁSQUEZ, 2000).

2.4.2. Erosión por Surcos

La erosión en surcos es la forma de erosión más fácilmente perceptible, tiene su origen a causa del escurrimiento superficial del agua que se concentra en sitios irregulares o depresiones superficiales del suelo desprotegido o trabajado inadecuadamente, (FAO, 2000).

En las pequeñas ondulaciones de la superficie del terreno se concentra el agua de escorrentía y luego por efecto de la pendiente, el suelo y el estado de la cubierta vegetal, se produce el movimiento del agua en el sentido de la pendiente y, en consecuencia, el arrastre y transporte de las partículas del suelo, originan pequeñas zanjas o surcos, (VÁSQUEZ, 2000).

2.4.3. Erosión por Cárcavas

Se denomina cárcava al estado más avanzado de la erosión en surcos. En función de la pendiente y de la longitud de la ladera del terreno, el flujo concentrado de agua provoca el aumento de las dimensiones de los surcos formados inicialmente, hasta transformarse en grandes zanjas llamadas cárcavas, (FAO, 2000).

Una vez formados los pequeños surcos o zanjas, estos se van agrandando por efecto de la escorrentía ya que continúa el arrastre de suelo en el lecho de los surcos o zanjas y el consecuente desprendimiento en los taludes, con lo cual se van agrandando los surcos hasta que se convierten en verdaderos zanjones o cárcavas.

2.5. FACTORES QUE DETERMINAN LA EROSIÓN HÍDRICA

Según Vásquez (2000), los factores determinantes para los sucesos de erosión hídrica son los siguientes:

- **El suelo:** Las características físicas del suelo (estructura, textura, contenido de materia orgánica, etc.) determinan el grado de resistencia de las partículas del suelo al desprendimiento y transporte por efecto del impacto del agua sobre el suelo, de la escorrentía y la capacidad de infiltración del suelo.
- **La topografía:** Las características topográficas que inciden en la erosión hídrica son la pendiente y la longitud de la ladera, así como la forma y tamaño del área de drenaje.
- **El clima:** Entre los factores climáticos que más inciden en la erosión hídrica están la precipitación, el viento y la temperatura. Existe una estrecha relación entre las características de la precipitación y la escorrentía, el viento en muchos casos cambia la velocidad de la lluvia y su ángulo de impacto sobre el suelo, afectando sobre su fuerza erosiva.
- **La vegetación:** La vegetación protege a la superficie del suelo del impacto directo del agua, sea esta proveniente de la lluvia o escorrentía. La vegetación protege al suelo mediante:
 - La intercepción y disminución o anulación de la energía con la que caen las gotas de lluvia ya sea mediante las hojas, tallos o los residuos de las plantas.
 - La reducción de la velocidad del agua de escorrentía por efecto de la resistencia hidráulica debido al “colchón” que forman los residuos vegetales o cubierta vegetal.
 - El aumento de la capacidad de infiltración y almacenamiento del agua debido al mejoramiento de la estructura y porosidad del suelo por efecto de las raíces, los residuos vegetales y la actividad microbiana.
 - El aumento de la resistencia del suelo a la erosión debido al “amarre” de las partículas que ocasionan las raíces de las plantas.

- **El hombre:** El hombre es el agente principal y decisorio en todo proceso erosivo, debido fundamentalmente a su rol y participación en el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, agua, suelo y cubierta vegetal.

2.6. ETAPAS DE LA EROSIÓN HÍDRICA

Según Wischmeier (1959), el proceso de erosión hídrica comienza primeramente por el desprendimiento de las partículas de suelo, de las partes elevadas de un terreno. El desprendimiento de estas partículas puede ser llevado a cabo por la lluvia y por el escurrimiento superficial, ya que ambos pueden llegar a poseer la suficiente energía para desprender partículas del suelo. La lluvia y el escurrimiento además de llevar a cabo la función de desprendimiento, también realizan la función de transporte de suelo.

Asturias (1986), indica que la mecánica del proceso de erosión hídrica consta de tres etapas:

- **Desprendimiento:** Consiste en el desprendimiento de las partículas del suelo por la acción del impacto de las gotas de lluvias en la superficie, y por el constante choque de las mismas, que mantienen en suspensión las partículas finas y en rodamiento las gruesas. La dispersión de las partículas sella los poros superficiales, lo que disminuye la capacidad de infiltración del agua. En esta etapa tiene importancia la cubierta vegetal, ya que suelos desprovistos de vegetación son susceptibles al desprendimiento.
- **Arrastre o transporte:** El arrastre de partículas, sucede cuando el agua no se filtra en el suelo y se produce el escurrimiento superficial. La capacidad erosiva de este último está determinado por la cantidad, intensidad y distribución de las gotas de lluvia.
- **Deposición o sedimentación:** Ocurre cuando la velocidad del flujo disminuye y las partículas en suspensión se sedimentan en la superficie del suelo.

2.7. METODOLOGÍAS PARA CUANTIFICAR LA EROSIÓN HÍDRICA

2.7.1 Método de Clavos

Vásquez y Tapia (2011) nos mencionan que uno de los métodos más sencillos es el de los clavos. Haig (1977) menciona que una varilla de erosión básicamente es un *benchmark*, y que para tal efecto pueden utilizarse, varillas de soldadura o alambre grueso; aunque también pueden usarse estacas de madera u otro material que cumpla tal fin. Este es el método que más aceptación y aplicación práctica ha logrado en la medición de la erosión.

Llerena (1987) sostiene que el método de clavos o varillas de erosión es un método útil y promisorio. Resalta como sus ventajas las siguientes:

- Medición directa y simple.
- Bajo costo, fácil disponibilidad de materiales y durabilidad aceptable,
- Bajo riesgo de pérdida, y
- Puede también usarse para medir erosión eólica, fluvial, etc.

Entre las desventajas del método, sobresalen:

- La varilla altera el microambiente a su alrededor.
- Genera un peligro potencial de alteración del suelo, por parte del operador durante la instalación de las varillas y la medición.
- La fauna o animales domésticos podrían causar alteraciones.
- Riesgo que en la zona de la varilla se genere una alteración del suelo debido a la variación del contenido de humedad.

El tamaño adecuado de las varillas de erosión debe ser entre 25 a 50 cm de largo y de 4 a 8 mm de espesor. La disposición de las varillas en el área experimental dependerá de las condiciones del terreno y del tipo de erosión predominante en el área.

2.7.2 Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE)

La USLE corresponde al resultado de múltiples esfuerzos teóricos y de campo incentivados por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (*U.S. Department of Agriculture USDA*), en la primera mitad del siglo 20. Los estudios fueron compilados por los investigadores Walter Wischmeier y Dwight Smith, quienes presentaron el modelo elaborado de USLE en 1954. (MANCILLA, 2008).

Wischmeier y Smith (1978) condujeron a la formulación del modelo de predicción de pérdida de suelo. Esta investigación para la predicción de erosión de suelos se consolidó en un esfuerzo cooperativo que tenía por objeto superar muchas de las desventajas inherentes a los proyectos de investigación local o regional. Se compilaron datos de investigación de la erosión en las 8250 parcelas-año de 36 localidades de EEUU. Se hizo una reevaluación de los diversos factores que afectan la pérdida de suelo, en la denominada ecuación universal de pérdida de suelo. La cual es representada por:

$$A=R * K * L * S * C *P \quad (2.1)$$

Dónde:

A: Pérdida media anual de suelo expresado en [t/ha/año].

R: Erosividad de la lluvia medido en MJ*cm/ha*h

K: Erodabilidad del suelo expresado en ton*ha*h/MJ*ha*cm

L: Longitud de la pendiente en metros.

S: Pendiente en m/m

C: Cubierta vegetal y manejo del recurso, sin unidades de medida.

P: Prácticas de conservación aplicada, sin unidades de medida.

a. Determinación del Factor R

El factor R de Erosividad 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, lo cual da una idea de la agresividad con que la precipitación influye en el proceso de degradación de los suelos.

Wischmeier y Smith (1959) presentaron un índice de erosividad o factor R basado en esta relación directa: la energía cinética (E) y la intensidad de la lluvia (I).

- Energía Cinética (E): La energía cinética representa el trabajo por golpeo y salpicadura de la gota de lluvia caídas sobre la superficie del suelo, obtuvieron una alta correlación entre la intensidad de las lluvias y su energía.
- Máxima intensidad en 30 minutos: Indican que cuando el valor de energía de la lluvia, es multiplicada por la máxima intensidad de las lluvias con duración de 30 minutos, se obtienen altas correlaciones con las pérdidas de suelo.

Una vez conocida la energía cinética total y la máxima intensidad en 30 minutos de la lluvia se calcula el índice EI₃₀ de acuerdo a la siguiente expresión.

$$EI_{30} = Ec * I_{30} \quad (2.2)$$

Donde:

Ec: Energía cinética de la lluvia en Kg/m²

I₃₀: Máxima intensidad en 30 minutos e mm/hr

Al producto de ambos se le denomina índice de erosividad lo cual resulta el potencial erosivo de la lluvia y está en función de la misma y de su máxima velocidad de caída sobre la superficie del suelo. Representa los efectos totales del impacto de las gotas de lluvia.

Otro de los métodos para la determinación de la erosividad R es el propuesto por (Morgan, 1974 citado por Cayo Ramos) usado para lugares con precipitaciones altas.

$$R = I_{30} * \frac{9.28P - 8.393}{1000} \quad (2.3)$$

Donde:

I_{30} : 75 mm/h (valor recomendado por Weischmeier)

P: Precipitación media anual.

Finalmente el propuesto por Foster usando las mismas variables.







$$R = 0.276P * I_{30}/100 \quad (2.4)$$

b. Determinación del Factor K

El valor del factor de Erodabilidad del suelo se puede determinar de dos maneras, de manera directa a través de la ecuación de Erodabilidad o bien de manera gráfica. Para lo cual es necesario obtener para ambas maneras ciertas propiedades del suelo.

- **Textura:** el análisis textural del suelo es para obtener los porcentajes de arena, limo, arcilla y arenas finas. De acuerdo a los manuales originales de USLE, para efectos de la erosión del suelo la arena muy fina se comporta similar al limo.
- **Materia Orgánica:** Se estima su proporción porcentual dentro del suelo, para lo cual se efectúa un análisis de las muestras obtenidas en campo. Según USLE, el porcentaje de materia orgánica oscila entre 0 y 4 %, con valores de números enteros, si el contenido fijado es más que el rango especificado, se asume un 4 %.
- **Estructura del suelo:** se determinación se efectúa mediante la observación visual y tacto. para lo cual es recomendable emplear algún manual de comparación, de acuerdo a la USLE, las categorías y códigos empleados son solo cuatro.

Tabla 1: Códigos USLE de estructura de suelo.

Código USLE	Tipo de estructura	
1	Granular muy fina	
2	Granular fina	
3	Granular media a gruesa	
4	Bloques	
	Laminar	
	Masiva	

FUENTE: (Mancilla, 2008)

- Permeabilidad del suelo: Para la permeabilidad se le asignan valores o códigos de acuerdo a la velocidad de infiltración de cada suelo determinado. Estos códigos son asignados por la USLE.

Tabla 2: Códigos USLE de permeabilidad de suelos.

Código USLE	Categoría de Permeabilidad
1	Rápida (más de 12,7 cm-h ⁻¹)
2	Moderada a rápida (6,3 a 12,7 cm-h ⁻¹)
3	Moderada (entre 2 y 6,3 cm-h ⁻¹)
4	Lenta a moderada (entre 0,5 y 2 cm-h ⁻¹)
5	Lenta (entre 0,13 y 0,5 cm-h ⁻¹)
6	Muy lenta (menor a 0,13 cm-h ⁻¹)

FUENTE: (Mancilla, 2008)

El factor K en el Sistema Internacional de Unidades está expresado en ton-ha-h/ha-MJ-cm, que expresa la resistencia del suelo en superficie y tiempo, respecto a la energía de la lluvia.

i. Método de la Ecuación:

Después de obtener el análisis completo de textura de las muestras y determinar los códigos de estructura y permeabilidad, se procede a utilizar la siguiente ecuación que establece la USLE, señalando que es válida solo para suelos con presencia de 70% o menos de fracción limosa.

$$K = 1.313 * [2.1 * 10^{-4} * (12 - MO) * M^{1.14} + 3.25 * (s - 2) + 2.5 * (p - 3)]/100 \quad (2.5)$$

Donde:

MO: Porcentaje de materia orgánica de las muestras

s: Código de estructura del suelo.

p: Código de permeabilidad.

M: Factor dado por el producto de la suma de los porcentajes de limo y arena muy fina con la suma de los porcentajes de arena y limos. Es decir (% limo + arena muy fina)*(100 - % arcilla).

ii. Método Gráfico:

Para este método se utiliza el monograma de Erodabilidad de Wischmeier y Smith, a pesar de representar la misma ecuación del método anterior, es menos exacto, debido al sesgo visual en el que puede incurrir el interesado. En este caso es recomendable apoyarse de una regla u otro objeto recto con el que ayudarse. La determinación gráfica del factor de Erodabilidad se efectúa proyectando siempre líneas rectas en el interior del monograma. Se comienza ingresando el porcentaje de limo más arena muy fina en el gráfico izquierdo. Partir de este valor, se proyecta una línea recta hasta interceptar la correspondiente curva representativa del porcentaje de arena del suelo en cuestión. Desde ese punto se proyecta verticalmente la línea hasta topar con la curva que representa el porcentaje de materia orgánica del suelo. Desde allí se continua hacia la derecha, cruzando la primera aproximación del valor K, la cual es útil si no se dispone de los antecedentes de estructura o permeabilidad. De esta manera, se ingresa al gráfico derecho, continuando la proyección realizada, hasta interceptar la línea correspondiente al código de estructura del suelo en cuestión. Desde ese punto, se desciende por el gráfico hasta topar la línea que representa el código de permeabilidad adecuado al suelo en estudio. Finalmente desde ese punto se traza la línea recta hacia la izquierda del gráfico, hasta encontrar el factor correspondiente de Erodabilidad del suelo (K).

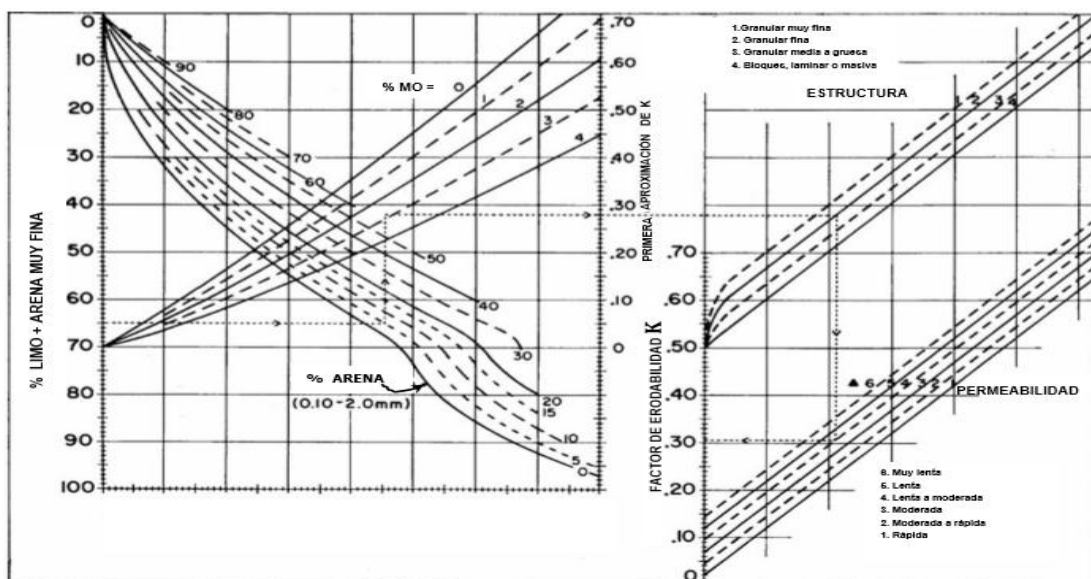


Figura N° 1: Nomograma para la determinación de Erodabilidad del suelo (adaptado desde Wischmeier y Smith, 1978).

FUENTE: (Mancilla, 2008)

c. Determinación del Factor L S

Es el efecto de la topografía en la erosión, el factor L que viene a ser la longitud promedio del declive del terreno y el factor S que viene a ser la pendiente. (Wischmeier y Smith, 1978)

Originalmente ambos factores fueron determinados en conjunto como:

$$LS = (\lambda/72.6)^m * (65.41 * \sin^2\alpha + 4.56 * \sin\alpha + 0.065) \quad (2.6)$$

Donde:

λ : Longitud de la pendiente en pies

α : Ángulo de pendiente

m: un coeficiente que toma valores de: 0.5 (pendiente es mayor a 5%), 0.4 (pendiente esta entre 3.5 y 4.5%), 0.3 (pendiente está entre 1 y 3%) y 0.2 (pendiente es menos a 1%).

Esta fórmula también fue esquematizada en un gráfico que permite su estimación directa.

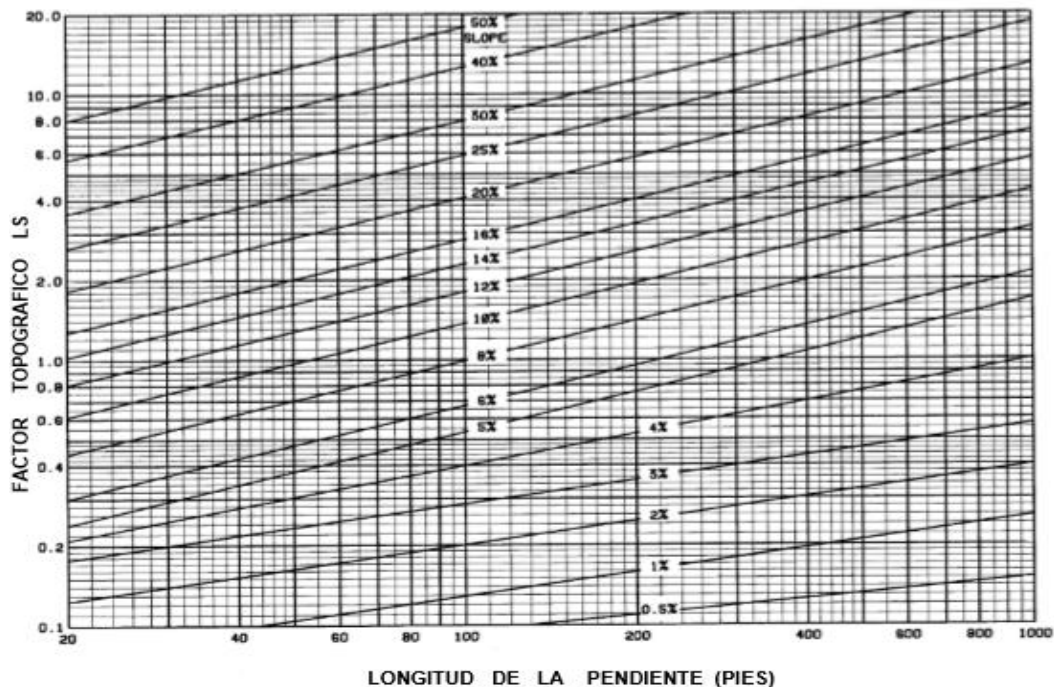


Figura N° 2: Nomograma de determinación del factor combinado LS (adaptado desde Wischmeier y Smith, 1978).

FUENTE: (Mancilla, 2008)

Debido al sistema de unidades que se emplea en este país se consideran utilizar las siguientes fórmulas:

- **Longitud de la pendiente**

Según (Wischmeier y Smith en 1978, citado por Tragsa, 1998), el factor L, que viene a ser la longitud del declive se define de la siguiente manera:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^m \quad (2.7)$$

Donde:

L = Factor de longitud de pendiente

λ = Longitud de la pendiente [m]

m = Exponente de la longitud de la pendiente

22.13 = Longitud de parcela unitaria RUSLE

Donde λ es la longitud del declive en metros y “m” un exponente influenciado principalmente por la interacción entre la longitud del declive y la pendiente. La longitud se define como la distancia desde el origen de la escorrentía superficial hasta el inicio del depósito de sedimentos, o que la escorrentía se concentre en un cauce.

El exponente de longitud de pendiente “m”, determina la relación entre erosión en surcos (causada por flujo) y erosión entre surcos (causado por impacto de gotas de lluvia), puede ser calculado con la siguiente ecuación:

$$m = 0.1342 * (\ln(\theta)) + 0.192 \quad (2.8)$$

Dónde:

m = Exponente de la longitud de la pendiente

θ = Ángulo de pendiente [%]

- **Inclinación de la Pendiente**

Wischmeier (1982), citado por el grupo Tragsa (1998) obtuvo el factor topográfico en base a las siguientes ecuaciones:

$$S = 10.8 * \sin \theta + 0.03 \quad \text{Sí: } s < 9\% \quad (2.9)$$

$$S = 16.8 * \sin \theta - 0.5 \quad \text{Si: } s \geq 9\% \quad (2.10)$$

Donde:

S = Factor de inclinación de pendiente

s = Inclinación de pendiente [%]

Θ = Ángulo de pendiente [o]

También existe un procedimiento sencillo de cálculo utilizando una tabla que permite asignar directamente a una ladera el valor del factor LS en función de la pendiente. El cálculo es el utilizado por la Facultad de Hidráulica e Hidrología de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes (Madrid). Este estudio ha permitido la elaboración de esta tabla que permite asignar directamente a una ladera el valor del factor L.S en función de la pendiente.

Tabla 3: Factor LS según grupos de pendientes

Grupos de Pendientes en %	Factor LS
0 - 3	0,3
3 - 12	1,5
12 - 18	3,4
18 - 24	5,6
24 - 30	8,
30 - 60	14,6
60 - 70	20,2
70 - 100	25,2
> 100	28,5

FUENTE: (Cayo, 2011)

d. Determinación del Factor C

La vegetación actúa como una capa protectora o amortiguadora entre la atmósfera y el suelo. Los componentes aéreos, como hojas y tallos, absorben parte de la energía de las gotas de lluvia, del agua en movimiento y del viento, de modo que su efecto es menor que si actuaran directamente sobre el suelo, mientras que los componentes subterráneos, como los sistemas radicales, contribuyen a la resistencia mecánica del suelo (Morgan, 1997).

De acuerdo a Kirkby y Morgan (1980), el factor de cultivo (C) es un factor combinado que refleja la influencia de:

- las secuencias en la cubierta vegetal (en el caso de cultivos);
- los tipos de cubierta vegetal, y
- la cantidad de aguaceros caídos durante los períodos en que las prácticas agrícolas dejan desprotegido el suelo.

El factor C es la relación entre la pérdida de suelo en un terreno cultivado en condiciones específicas y la pérdida correspondiente del suelo en barbecho continuo. Esta comparación se hace suponiendo que son semejantes las condiciones de suelo, pendiente y lluvia.

El factor C ya se ha definido como la relación entre las pérdidas de suelo que se producen bajo una alternativa y con unas determinadas técnicas de cultivo, y las pérdidas correspondientes al barbecho continuo. (Grupo TRAGSA, 1998).

Para la determinación de este factor se estudian las diferentes coberturas que cuenta la zona de estudio, para lo cual se tiene una tabla publicada por Wischmeier, (1978), donde se definen los valores de C para los tipos más comunes de cultivos y coberturas.

Tabla 4: Valores de cobertura vegetal Factor C

Cultivo y Práctica	Media anual del factor C
Suelo desnudo	1
Bosque o matorral denso	0.001
Pradera herbácea en buenas condiciones	0.01
Pradera sobre pastoreada	0.1
Maíz, sorgo, alto rendto., laboreo convencional	0.20 - 0.55
Maíz, sorgo, alto rendto., sin laboreo convencional	0.50 - 0.90
Maíz, sorgo, bajo rendto., laboreo mínimo	0.02 - 0.10
Maíz, sorgo, alto rendto., laboreo con chisel	0.12 - 0.20
Maíz, sorgo, bajo rendto., laboreo con chisel	0.30 - 0.45
Algodón	0.40 - 0.70
Pradera herbácea	0.01 - 0.025
Soya	0.20 - 0.50
Trigo	0.10 - 0.40
Arroz	0.10 - 0.20
Cacahuate	0.30 - 0.80
Frutales con cobertura vegetal	0.01 - 0.80
Caña de azúcar	0.56
Arbolado denso	0.001 - 0.003
Arbolado forestal clareado	0.003 - 0.009
Arbolado muy clareado (25 - 60%)	0.041
Matorral con buena cobertura	0.003 - 0.013
Matorral ralo y eriales	0.20 - 0.013
Cultivos anuales y herbáceos	0.25
Pasturas	0.15
Plantas herbáceas y matojos (100%)	0.003
Plantas herbáceas y matojos (60%)	0.035
Cubierta escasa (60%)	0.15 - 0.09
Cubierta inapreciable	0.45

FUENTE: (Cayo, 2011).

e. Determinación del Factor P

Muchas veces la presencia de vegetación no evita la producción de escurrimiento superficial. En este sentido, el empleo de prácticas de conservación en el suelo minimiza el efecto del flujo de agua. Al respecto, USLE incluye el factor P de prácticas de conservación para tres situaciones:

- El empleo de labranza siguiendo las curvas de nivel (cultivo en contorno)
- El empleo de fajas de cultivo en contorno
- El empleo de terrazas

Tabla 5: Factor P de prácticas de conservación de Wischmeier y Smith, 1978.

Pendiente (%)	Cultivo en contornos o curvas de nivel		P para cultivos en terrazas
	P*	Longitud máxima de ladera (m)	
1 - 2	0,60	122	0,12
3 - 5	0,50	91	0,10
6 - 8	0,50	61	0,10
9 - 12	0,60	37	0,12
13 - 16	0,70	24	0,14
17 - 20	0,80	18	0,16
21 - 25	0,90	15	0,18

* Se pondrá por 0,8 si considera contornos realizados con pilas de residuos.

FUENTE: (Mancilla, 2008)

El empleo de fajas de cultivos en contorno consiste en el establecimiento de fajas de cultivo de interés intercaladas con otras de residuos o pastos. El uso de terrazas es también efectuado de manera preferente en los cultivos agrícolas.

2.7.3 Ecuación Universal Modificada de Pérdida de Suelo

USLE predice el promedio de la erosión total anual, como una función de la energía de lluvia. En MUSLE, el factor de energía de lluvia se reemplaza con un factor de escorrentía. Esto mejora la predicción de producción de sedimento, elimina la necesidad para proporciones de entrega, y permite que la ecuación sea aplicada a eventos individuales de tormenta. La predicción de producción del sedimento se mejora porque las escorrentías son una función de condición previa a la humedad, así como a la energía de lluvia. (NEITSCH, 2005, citado por Morales C.)

Williams (1975) desarrolló la Ecuación Universal Modificada de Pérdida de Suelo (MUSLE). Esta es un modelo de parámetros "agrupados" que estima el rendimiento de sedimento de cuencas para un evento pluvioso único. Utiliza un factor de escurrimiento para reemplazar el factor de energía pluviosa del USLE.

La ecuación universal de pérdida de suelo (USLE), desarrollada por Wichmeier y Smith (1962) ha sido modificada por MUSLE (*Modified Universal Soil Loss Equation*), reemplazando el factor R, índice de erosión pluvial, por los factores escorrentía y caudal, con vistas a predecir los sedimentos emitidos por la cuenca. (Grupo TRAGSA, 1995).

Neitsch (2005), explica que el modelo MUSLE queda definido por:

$$Y = 11.8(Q * q_p)^{0.56} * K * LS * C * P \quad (2.11)$$

Donde:

Y: Sedimentos aportados a una sección del cauce por un aguacero determinado sobre la cuenca vertiente (toneladas métricas)

Q: Escorrentía correspondiente a ese aguacero (m3)

q_p : Caudal punta del hidrograma (m3 * seg-1)

Los factores K, LS, C y P se definieron en los anteriores subíndices.

Las unidades de Y se convierten en t*ha-1 cuando Q es en mm y qp es en mm*ha-1. El factor de escurrimiento (Q x qp) proporciona una fuente de energía y, como la tasa de escurrimiento por unidad de superficie disminuye a medida que aumenta la superficie de drenaje, el modelo contiene una tasa de desplazamiento implícita. MUSLE es útil en cuencas con superficies de alrededor de 100 km² (FAO, 1993).

MUSLE puede ser una herramienta útil para predecir la producción de sedimentos de los pastizales también en cuencas de uso de suelo mixto (que contienen tanto los pastizales y tierras de cultivo). En consecuencia, MUSLE puede tener aplicación en múltiples tipos de cuencas (SMITH, 1984).

2.8. LÍMITE DE TOLERANCIA DE PÉRDIDA DE SUELO.

El límite de pérdida de suelo es la tasa máxima de erosión de suelo que permite que sostenga un alto nivel de productividad y la actualidad no existe una base satisfactoria para determinar los valores adecuados de la tolerancia a la pérdida de suelos (KIRBY y MORGAN, 1984).

La tolerancia a la pérdida de suelo para un suelo específico se utiliza como una guía para la planificación en la conservación de suelos. La ecuación universal de pérdida de suelos se utiliza para estimar la pérdida de suelo real y para evaluar cómo los cambios en las prácticas pueden aplicarse para reducir la pérdida de suelo por debajo del nivel de tolerancia (KIRBY y MORGAN, 1984).

De acuerdo a lo descrito por el Grupo Tragsa (1998), la evaluación de tolerancias de pérdidas de suelos en un terreno, factor básico para la utilización del modelo en la ordenación, depende de diversos factores tales como profundidad del suelo, sus propiedades físicas, desarrollo de los sistemas radicales de la vegetación, reducción de la materia orgánica, pérdidas de nutrientes y sementeras, etc.

Tabla 6: Clasificación de Pérdidas de suelo

Pérdida de suelo (Tn/ha-año)	Grado de Erosión Hídrica
< 10	Ninguna o ligera
10 - 50	Moderada
50 - 200	Alta
> 200	Muy Alta

FUENTE: (FAO, 1981)

2.9. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Para justificar la importancia de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el papel que estos juegan hoy en día, es habitual citar el hecho de que aproximadamente un 70 % de la información que manejamos en cualquier tipo de disciplina está georreferenciada. Es decir, que se trata de información a la cual puede asignarse una posición geográfica, y es por tanto información que viene acompañada de otra información adicional relativa a su localización. Si bien es probable que este porcentaje no haya variado desde que comenzó a mencionarse en los libros sobre SIG, la situación es en la actualidad más favorable que nunca para el desarrollo de herramientas que permitan la utilización de toda esa información al tiempo que se consideran los datos relativos a su posición en el espacio. Esto es así no solo porque trabajamos con gran cantidad de información referenciada geográficamente, sino porque somos cada día más conscientes de la importancia que esa componente geográfica tiene. La geografía ha pasado de ser un ámbito particular con cierta relación con otros campos a ser un elemento fundamental incorporado a la mayor parte de las disciplinas. Y no solo en el terreno científico, sino en el terreno mismo de la vida diaria, donde toda esta información juega un papel de gran importancia. La utilización de cartografía ha dado un vuelco radical en el plazo de unas décadas, permitiendo nuevas posibilidades y acercando la información cartográfica como herramienta de primer orden a un público amplio y diverso. La elaboración misma de cartografía ha pasado de ser terreno exclusivo de profesionales del sector a ser una labor abierta donde las nuevas tecnologías, especialmente las de corte colaborativo, han permitido que otro tipo de usuarios desarrollen y compartan información cartográfica. En este sentido, los SIG no son solo herramientas dentro de ese contexto de gran importancia de la información geográfica, sino en gran medida responsables de que esa situación sea tal, pues su contribución dentro del panorama relativo a la geografía ha sido

vital para impulsar esta y hacerla llegar hasta su lugar actual. En una sociedad donde la información y la tecnología son dos de los pilares fundamentales, los SIG son, sin lugar a dudas, la tecnología estandarte para el manejo de información geográfica, y los elementos básicos que canalizan la gestión de todo aquello que, de un modo u otro, presente una componente geográfica susceptible de ser aprovechada. Así, un SIG es fundamentalmente una herramienta para trabajar con información georreferenciada, una definición en la que pueden entrar un gran número de tecnologías y de otros elementos no tecnológicos. (OLAYA, 2011).

Básicamente, un SIG ha de permitir la realización las siguientes operaciones:

- Lectura, edición, almacenamiento y, en términos generales, gestión de datos espaciales.
- Análisis de dichos datos. Esto puede incluir desde consultas sencillas a la elaboración de complejos modelos, y puede llevarse a cabo tanto sobre la componente espacial de los datos (la localización de cada valor o elemento) o la componente temática (el valor o el elemento en sí).
- Generación de resultados tales como mapas, informes, gráficos, etc.

2.9.1. Componentes de un Sistema de Información Geográfica

Según Olaya (2011) una forma de ver el sistema SIG es atendiendo a los elementos básicos que lo componen, cinco son los elementos principales que se contemplan tradicionalmente en este aspecto:

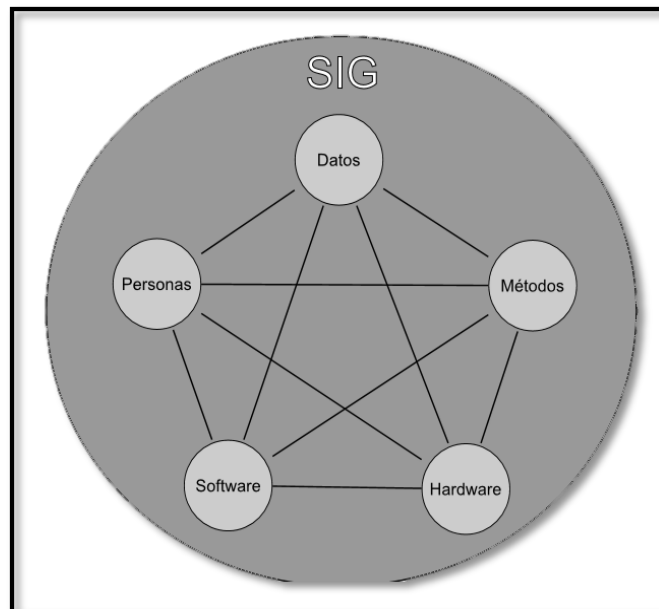


Figura N° 3: Elementos básicos que componen el SIG.

FUENTE: (Olaya, 2011)

- **Datos:** Los datos son la materia prima necesaria para el trabajo en un SIG, y los que contienen la información geográfica vital para la propia existencia de los SIG.
- **Métodos:** Un conjunto de formulaciones y metodologías a aplicar sobre los datos.
- **Software:** Es necesaria una aplicación informática que pueda trabajar con los datos e implemente los métodos anteriores.
- **Hardware:** El equipo necesario para ejecutar el software.
- **Personas:** Las personas son las encargadas de diseñar y utilizar el software, siendo el motor del sistema SIG

Cada uno de los elementos anteriormente mencionado tiene características propias que deben estudiarse. No obstante, el hardware no es un elemento especialmente particular de un SIG, y las aplicaciones SIG que encontramos actualmente se ejecutan en su mayoría sobre computadoras personales sin requerimientos altamente específicos. Más aún, la expansión de las tecnologías SIG ha alcanzado hoy en día otros ámbitos como las plataformas móviles, haciendo de estas unas tecnologías poco específicas en lo que a hardware se refiere. Por esta razón, no es necesario tratar en detalle este elemento del sistema SIG, siendo más adecuado tratar el resto de elementos, más característicos e importantes para el aprendizaje de los conceptos SIG y la descripción de estos.

Por su parte, las personas tienen importancia tanto de forma individual como en su conjunto, siendo diferentes las necesidades que plantean como usuarios y beneficiarios de un SIG. En la sociedad actual, las tecnologías y planteamientos han calado hondo en el ámbito del SIG, y la información geográfica es, por su propia naturaleza, propensa a ser compartida y utilizada por diferentes personas con fines muy distintos. Es por ello que el aspecto de mayor relevancia respecto a las personas como partes del sistema SIG es el de sus relaciones y su organización, siendo además en este campo donde se han producido en mayor medida los últimos avances, y donde ha tenido lugar un cambio más profundo, no ya sólo dentro de los SIG, sino también en otras tecnologías de similar índole. Puede entenderse esto como un nuevo subsistema: el subsistema de gestión, que es responsable de gestionar la interacción de los restantes y definir y controlar el marco en que esta tiene lugar. Las personas a su vez dan forma a los distintos ámbitos de trabajo, definiendo estos en función de sus necesidades.

Puede tratarse el conjunto de campos de especialización como un nuevo elemento del sistema SIG, en lugar de incorporarlo dentro de otro. Algunos autores proponen modificar el esquema clásico de cinco elementos para reflejar más correctamente la nueva realidad de los SIG. Por ejemplo, propone un esquema como el mostrado: (Olaya, 2011)

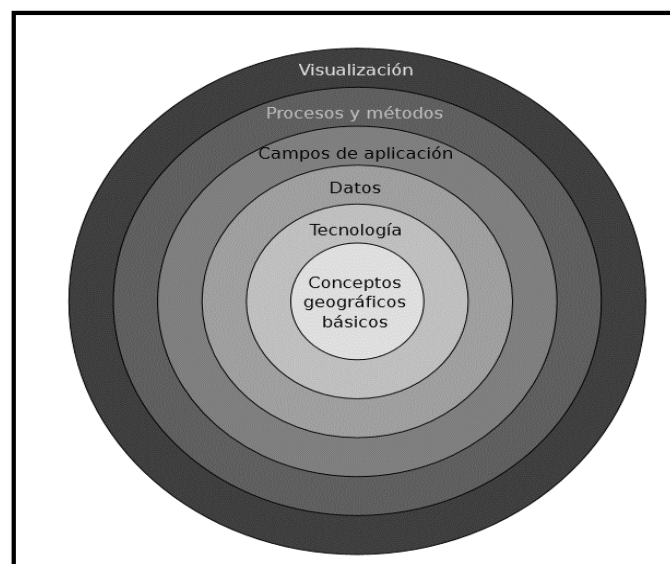


Figura N° 4: Una división distinta del sistema SIG.

FUENTE: (Olaya, 2011)

La incorporación de la visualización es una diferencia notable con respecto al esquema clásico. En realidad, y si volvemos a ese enfoque basado en subsistemas, el subsistema de visualización resulta de enorme importancia en un SIG, siendo pese a ello habitual que no sea tratado con la suficiente profundidad en textos dedicados a los SIG desde un punto de vista genérico. Precisamente por no ser considerado un elemento independiente, no se le concede la necesaria atención como parte que debe estudiarse al tratar la disciplina de los SIG. Esto contrasta con el hecho de que, a pesar de que las capacidades de los SIG son mucho más amplias que las relacionadas con la visualización, muchos usuarios usan estas por encima de las restantes, desconociendo incluso en muchos casos gran parte de las otras capacidades que un SIG puede brindarles, (OLAYA, 2011)

Correcto o no, desde el punto de vista del usuario medio, las capacidades de visualización están en primera línea del conjunto de funcionalidades de un SIG. Abordar el estudio de un SIG acudiendo al esquema clásico de cinco elementos deja de lado la visualización, en cuanto que la engloba como una funcionalidad derivada de dichos elementos en su conjunto pese a que esta tiene unas características peculiares en el entorno de un SIG y una vital importancia en la concepción actual de este. Es decir, el esquema de partes de un SIG no resulta el más adecuado para estructurar el estudio de los SIG, al menos en lo que respecta a la visualización como parte fundamental de estos. (OLAYA, 2011)

- Datos.
- Procesos: Métodos enfocados al análisis de los datos.
- Visualización: Métodos y fundamentos relacionados con la representación de los datos.
- Tecnología: Software y hardware SIG
- Factor organizativo: Engloba los elementos relativos a la coordinación entre personas, datos y tecnología, o la comunicación entre ellos, entre otros aspectos.

2.9.2. Teledetección

Según estudios de la Universidad de Murcia España (2006) se define a la detección como la técnica que permite obtener información a distancia de objetos sin que exista un contacto material. Para que ello sea posible es necesario que, aunque sin contacto material, exista algún tipo de interacción entre los objetos observados; situados sobre la superficie terrestre,

marina o en la atmósfera; y un sensor situado en una plataforma (satélite, avión, etc.). En el caso la teledetección la interacción que se produce va a ser un flujo de radiación que parte de los objetos y se dirige hacia el sensor. Este flujo puede ser, en cuanto a su origen, de tres tipos:

- Radiación solar reflejada por los objetos (luz visible e infrarrojo reflejado)
- Radiación terrestre emitida por los objetos (infrarrojo térmico)
- Radiación emitida por el sensor y reflejada por los objetos (radar)

Las técnicas basadas en los dos primeros tipos se conocen como teledetección pasiva y la última como teledetección activa.

Según Rodríguez y Arredondo (2005), un sistema de teledetección espacial está constituido por los siguientes elementos:

Fuente de energía: supone un creador de la energía que el sensor está detectando, puede tratarse de un actor externo en cuyo caso se habla de teledetección pasiva, o si es emitida por el sensor se habla de teledetección activa, la fuente más importante de la energía es el sol.

Cubierta terrestre: formada por la vegetación, agua, construcciones, suelo, las cuales reflejan la energía generada por la fuente, cada una dependiendo de sus características propias.

Sistema sensor: compuesto por el sensor en sí y la plataforma que lo conforma. Tiene el trabajo de captar la energía procedente de la cubierta terrestre y enviarla al centro o base de recepción.

Sistema de recepción – comercialización: donde se recibe la información enviada por el sensor, se graba en un formato adecuado y luego se distribuye a los usuarios.

Interprete: es el encargado de analizar la información, comúnmente en forma de imágenes digitales para determinar su clave temática para la solución de la situación en estudio.

Usuario final: es el encargado de analizar el documento fruto de la interpretación anterior.

2.9.3. Análisis de Imágenes satelitales

Según estudios de la Universidad de Murcia – España (2006), una imagen de satélite consiste en un conjunto de matrices, una por cada canal de sensor, en la que aparecen números del 0 al 225, el cero indica que no llega nada de radiación desde ese punto y el 225 que llega el valor más alto de radiación. Estos valores se denominan niveles digitales y será necesario transformarlos en algún tipo de variable física.

El tratamiento de una imagen satelital previo a su análisis incluye:

- Georreferenciación: paso de un sistema de filas y columnas a un sistema de coordenadas, para ello debe obtenerse una muestra de puntos de control de los que conozcamos tanto sus coordenadas reales como sus coordenadas en la imagen, deben ser por tanto objetos de un tamaño adecuado para resultar identificables tanto en la imagen como sobre el terreno, el tamaño dependerá lógicamente de la resolución de la imagen.
- Paso de nivel digital a radiación recibida por el sensor: normalmente a través de una ecuación lineal cuyos parámetros se suministran junto con la imagen.
- Corrección atmosférica: para eliminar las interferencias producidas por la absorción, dispersión y refracción en la radiación recibida.
- Corrección de luminosidad
- Visualización y composiciones de color
- Obtención de variables físicas a partir de los valores de reflectividad
- Clasificación de la imagen

2.10. MODELAMIENTO GEOESPACIAL

Sigmur (2005) menciona que la función de cualquier programa informático es ejecutar un conjunto de instrucciones, escritas en un lenguaje formal capaces de manipular símbolos que representan algún tipo de situación del mundo real; en el caso de un SIG objetos y variables espaciales. El ser humano es capaz de desenvolverse sin mayores problemas a pesar de que su conocimiento del mundo es ambiguo e incompleto; no ocurre lo mismo con las computadoras, las descripciones de la realidad que manejan no deben contener ambigüedad alguna. Por tanto los lenguajes formales siguen estrictas reglas lógicas y asumen un conocimiento preciso de las situaciones del mundo real que se simbolizan. Un buen ejemplo de esto es el de las curvas de nivel cortadas para insertar el texto que describe su altitud. Esta opción es adecuada para un mapa en papel que debe interpretar un usuario humano, pero un

ordenador interpreta que las curvas se han cortado y que existen otras curvas pequeñas que generan patrones extraños.

Por otra parte para que el ordenador procese adecuadamente estas curvas, su altitud debe integrarse como una variable enlazada al objeto y no como un rótulo escrito al lado. En SIG, al margen de asignar a cada punto de la superficie un par de coordenadas siguiendo unos sistemas de proyección, debemos definir, formalmente, estructuras de datos (conjunto finito de datos discretos y fácilmente manipulables con un ordenador) que representen entidades y variables y las instrucciones que utilizará el ordenador para manipular estas estructuras de datos. Se trata en definitiva de un problema de lenguaje. En este tema se tratará la base teórica de la codificación de los diferentes elementos y atributos de la superficie terrestre en formato digital para su tratamiento con un programa SIG.

Según Sigmur (2005) existen los siguientes tipos de modelos:

2.10.1. Realidad Perceptible

Montañas, lagos, campos de cultivo, etc. Nivel propio de los gestores preocupados por problemas de gestión y planificación del espacio.

2.10.2. Modelo Conceptual

A nivel de científicos (geógrafos, geólogos, ecólogos, etc.) que desarrollan, verifican o aplican teorías e hipótesis sobre variables y procesos que tienen lugar en el espacio. Estos consideran la existencia de dos tipos fundamentales de elementos sobre la superficie terrestre: entidades y variables. Deben ser capaces de tomar un problema abstracto del nivel anterior y determinar las variables implicadas en su resolución.

2.10.3. Modelo Lógico

A nivel de los técnicos en SIG que utilizan las herramientas del sistema para llevar a cabo, en la computadora, las tareas requeridas por gestores o científicos. En lugar de trabajar con la realidad trabajan con representaciones de la misma que suelen ser de dos tipos: Raster y vectorial. Deben decidir cuál es la más adecuada para representar las variables obtenidas en el desarrollo del modelo conceptual y cuáles son los procedimientos más adecuados para obtenerla con los datos de partida disponibles.

2.11. PRACTICAS CONSERVACIONISTAS

La FAO (2016) lo define como las actividades a nivel local que mantienen o aumentan la capacidad productiva de la tierra en áreas afectadas por o propensas a la degradación.

Según Vásquez (2000), las principales prácticas de conservación de suelos y aguas pueden reunirse en tres grandes grupos: mecánicas - estructurales, agronómicas y forestales.

2.11.1. Prácticas Mecánico - Estructurales

Entre las principales prácticas mecánicas estructurales se pueden mencionar las siguientes:

- Zanjas o acequias de infiltración
- Espejos de agua o “cochas”
- Terrazas de absorción, de formación lenta, etc.
- Andenes
- Muros de contención, enrocados o gaviones para defensa ribereña y obras de encauzamiento.
- Diques para el control de cárcavas
- Represas o reservorios de agua

a. Zanjas o Acequias de Infiltración

Son pequeños canales de sección rectangular o trapezoidal, generalmente asimétricos. Se construyen transversalmente a la máxima pendiente del terreno. El fondo de estos canales debe estar a nivel salvo que se trate de acequias o canales de desviación, en los que la pendiente recomendable es de 1 a 3% y su desembocadura debe efectuarse en una zona protegida a fin de evitar la formación de una gran cárcava.

Los objetivos principales de estas prácticas son:

- Interceptar el agua de escorrentía que proviene de la parte alta de la ladera, anulando su velocidad y permitiendo una mayor infiltración.
- Aumentar la producción de pastos, árboles y cultivos.
- Reducir la erosión hídrica del suelo

- Aumentar el número de manantiales y el caudal del agua de estos en las partes más bajas.
- Disminuir los riesgos de inundación y deslizamientos.

b. Terrazas de Absorción

Las terrazas de absorción, presentan sus plataformas con una ligera inclinación hacia adentro o contrapendiente, de tal modo que no se produzcan desbordes de agua fuera de la plataforma, y permita que el agua de lluvia se infiltre, de allí su nombre de terrazas de absorción. Se presentan con muro de piedra y con talud de tierra. (MINAGRI, 2014)

Según Vásquez (2000) la inclinación del terraplén hacia adentro evita el rebose del agua de lluvia durante los aguaceros fuertes o lluvias prolongadas. La nivelación de los bordes impide que el agua escurra hacia un lado u otro, de este modo el agua de lluvia que cae en las terrazas se infiltra total y uniformemente en estas, evitando totalmente la erosión. Cuando se construyen estas prácticas en zonas de alta precipitación (mayores de 1000 mm/año), se debe contemplar un sistema de drenaje superficial.

Se pueden distinguir y cumplir en las terrazas los siguientes elementos y requisitos:

- El borde interno de la terraza, pie o borde inferior del talud (debe estar a nivel)
- El borde externo de la terraza o borde superior del talud (debe estar a nivel)
- La profundidad del borde interno o desnivel (debe permitir almacenar el agua de lluvia que recibe)
- El suelo del terraplén o terraza propiamente dicha, debe ser removido o “preparado” para que pueda absorber el agua de lluvia.
- El talud debe ser sembrado con plantas perennes y su altura preferentemente no debe ser mayor de 1.50 m.

A fin de mantener la capa superior del suelo en la parte de arriba (horizonte A o capa arable), se debe efectuar la remoción lateral del suelo durante la construcción de la terraza.

La siembra del cultivo principal se hace en el terraplén, en el talud se debe instalar otras plantas de tipo permanente, principalmente pastos o plantas aromáticas, con la finalidad de estabilizar y aprovecharlo económicamente.

En las zonas de secano, el borde interno del terraplén puede tener una profundidad de 15cm, a fin de asegurar una máxima captación y aprovechamiento del agua de lluvia.

En terrenos bajo riego, el terraplén debe tener una pendiente longitudinal de uno a dos por mil en el sentido en que va a correr el agua; esto mismo se recomienda para zonas muy lluviosas y en terrenos poco permeables. Asimismo, en terrenos bajo riego las terrazas no deben tener contrapendiente, pero si un camellón o borde pequeño a lo largo del borde externo para evitar que el agua se desborde y desestabilice el talud.

c. Diques para el control de cárcavas

Cárcava es una zanja causada por la erosión hídrica del suelo. Sigue generalmente la pendiente del terreno y constituye un cauce natural en donde se concentra y corre el agua proveniente de las lluvias. El agua que corre por la cárcava arrastra gran cantidad de partículas de suelo, producto de la erosión.

Normalmente cuando el agricultor va a utilizar nuevos terrenos para cultivo, corta toda la vegetación arbórea, arbustiva y herbácea existente, es decir, limpia el terreno, quedando este consecuentemente expuesto a la acción directa de las lluvias y de la escorrentía superficial. Cuando se trata de suelos inclinados o laderas, automáticamente se inicia la remoción y el arrastre de las partículas del suelo por capas delgadas (erosión laminar).

El agua a medida que desciende por la ladera y debido a las irregularidades en el relieve del terreno se va concentrando, formando pequeños canales, los que a su vez se juntan y forman un canal mayor. Con una masa de agua más abundante y una velocidad que va en aumento, la erosión se acentúa, formando inicialmente pequeños surcos, los que se van agrandando horizontal y verticalmente hasta que se forman las cárcavas llamadas también zanjas, barrancos o torrentes. (VASQUEZ, 2000)

d. Andenes

Los andenes son estructuras construidas en forma de escaleras con la finalidad de cortar la pendiente de las laderas, transformándolas en plataformas de terreno horizontal, sostenidas por muros de piedras ligeramente inclinados hacia adentro.

Un sistema de andenerías es la expresión de una cultura caracterizada por el trabajo organizado, para la conservación de las aguas y los suelos y para la producción agropecuaria eficiente. La andenería incaica fue construida por un pueblo con vocación eminentemente agrícola, guiado por el padre inca bajo una disciplina místico-militar y una organización comunal eficiente para el trabajo.

Los principales objetivos que se logran con la construcción de un sistema de andenería son:

- Reducción de la pendiente de la ladera
- Mejor aprovechamiento de la ladera con fines productivos
- Disminución de la velocidad del flujo de agua que escurre
- Mejor aprovechamiento del agua ya sea de lluvia o de riego
- Protección de los suelos contra la erosión hídrica
- Mejora de las condiciones ambientales de la ladera
- Mejora de la capacidad productiva de los suelos de la ladera
- Mejor aprovechamiento de los abonos y otros insumos

e. Barreras Vivas

- Se recomienda el establecimiento de barreras vivas como práctica adecuada en terrenos con pendiente menor a 10%.
- En terrenos con pendiente mayores a 10%, el establecimiento de las barreras vivas debe estar acompañado con otras prácticas conservacionistas, tales como cultivo en fajas, surco en contornos acequias o zanjas de infiltración, terrazas, etc.
- Las plantas que se van a establecer como barrera viva deben sembrarse en doble hilera distanciadas entre sí 15 a 20 cm aproximadamente.
- En zanjas o acequias de infiltración, la barrera viva debe sembrarse entre 10 a 20 cm por encima del lado o borde superior.
- El distanciamiento entre barreras vivas dependerá del tipo de cultivo y del grado de pendiente del terreno.
- Se debe practicar un mantenimiento frecuente de las barreras vivas a fin de asegurar un buen funcionamiento.

f. Surcos en Contorno

- Los surcos en contorno son prácticas conservacionistas que se construyen en dirección transversal a la máxima pendiente del terreno. El objeto de esta práctica es reducir la velocidad del escurrimiento superficial, favorecer una mayor infiltración del agua, disminuir la erosión del suelo y aumentar la producción y productividad de los cultivos.
- Los surcos en contorno pueden ser a nivel o con una ligera pendiente.
- Esta práctica se recomienda para suelos con pendiente no muy pronunciadas (menores de 20%), en pendientes mayores pueden ocurrir daños por erosión sobre todo durante los aguaceros fuertes. Los surcos en contorno son recomendables principalmente para terrenos dedicados a la instalación de cultivos de hilera o en limpio; aunque también pueden surcarse a nivel los terrenos que van a ser dedicados a cultivos densos. El surcado en contorno es una práctica que puede ser fácilmente aplicada en lugares donde se usa la yunta, tracción equina o maquinaria agrícola para el surcado del terreno.

2.11.2. Prácticas Agronómicas

Entre las principales prácticas agronómicas se puede mencionar las siguientes:

- Surcos en contorno
- Cultivo en fajas
- Ordenación territorial de cultivos
- Cobertura vegetal
- Labranza conservacionista o mínima labranza
- Rotación de cultivos
- Incorporación de materia orgánica
- Aplicación de fertilizantes y enmiendas químicas al suelo
- Manejo de pastos

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La Microcuenca del Río Atuén, respecto a Perú se ubica al Norte del país, al Sur de la provincia de Chachapoyas y de la Región de Amazonas, el Río Atuén es un afluente importante para el nacimiento del río Utcubamba, pertenece a la Unidad Hidrográfica Utcubamba. Se encuentra localizada en las coordenadas UTM 9257658N, 190019E, a una altura de 2203 msnm (distrito de Leimebamba), con un área de 37565 Ha y un perímetro de 105 Km. Coincidiendo en gran parte con los límites del distrito de Leimebamba.

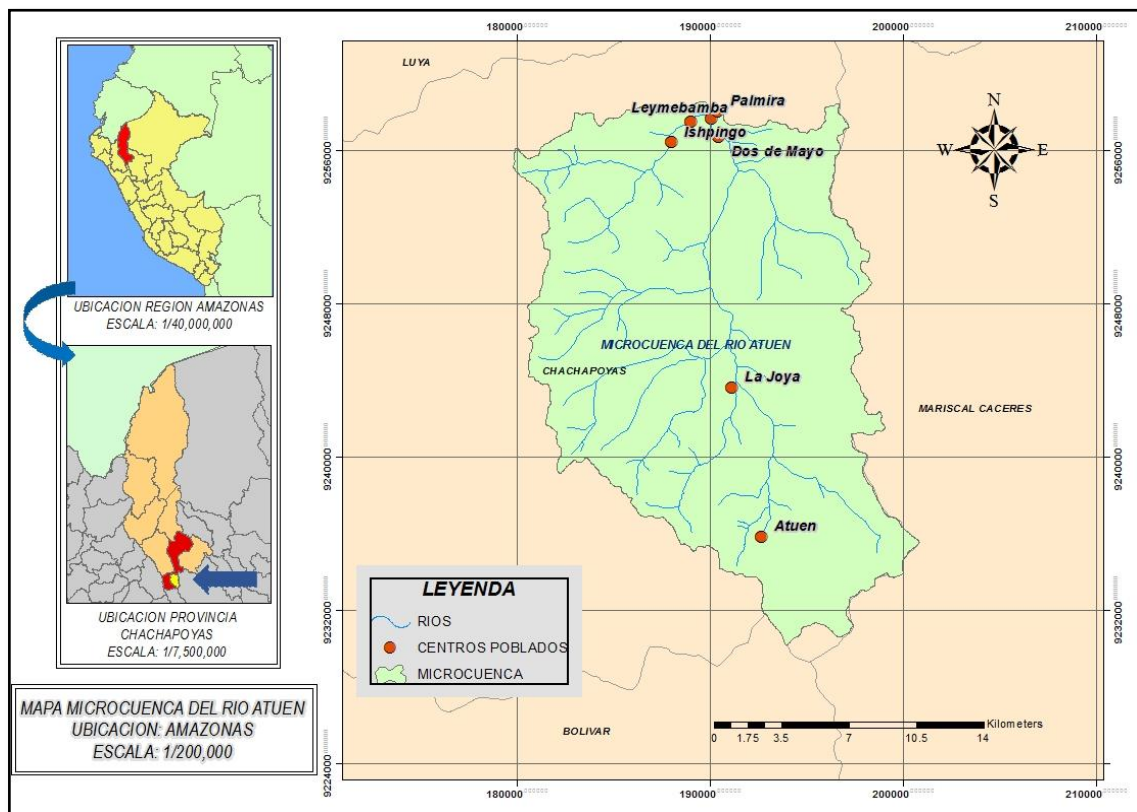


Figura N° 5: Microcuenca del Río Atuén

3.2. PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO

3.2.1. Vías de acceso

Red vial asfaltada

Es una vía rodable que significa menos tiempo de viaje, menor desgaste de las unidades móviles de transporte y por lo tanto mejor comodidad para los pasajeros. El ámbito recorrido presenta dos sectores de carretera asfaltada, el primero es el que se encuentra entre el punto de desvío hacia Leimebamba – Pedro Ruiz y Chachapoyas, la carretera cubre aproximadamente 10 a 12 kilómetros lineales de recorrido, el tiempo aproximado para el recorrido desde la ciudad de Chachapoyas hasta este punto, es de 10 a 15 minutos en automóvil. El segundo sector es el que se dirige desde el punto de desvío hacia la ciudad de Leimebamba la que presenta una longitud aproximada de 68 Km, en este trayecto la carretera es más angosta que la anterior por lo que se toman más precauciones al momento de conducir por estas vías, el tiempo aproximado de viaje por esta vía es de 2 horas en automóvil teniendo como llegada a la ciudad de Leimebamba.

Red vial afirmada

Las carreteras afirmadas son las que cuyas superficies de rodadura están constituidas por una o más capas de afirmado, estas carreteras a diferencia de la asfaltada, demanda mayor desgaste de las máquinas, de las unidades móviles, con incomodidad para sus usuarios debido al mal estado de las carreteras; sin embargo facilita el traslado de mayor cantidad de carga y de pasajeros por unidad de servicio.

Estas vías se ven afectadas por las constantes precipitaciones que se dan en la zona durante las épocas lluviosas, produciendo deslizamientos y derrumbes a lo largo de la vía, esto debido a la elevada pendiente y el tipo de suelo en algunos casos, lo que ocasiona la interrupción de la vía, es por este motivo que se requiere de constante mantenimiento en estas vías más aún en las épocas de lluvias.

La vía afirmada en la microcuenca comienza en la ciudad de Leimebamba hasta el Centro Poblado de Atuén teniendo una longitud aproximada de 25 Km. El tiempo aproximado de este trayecto es de dos horas en camionetas.

Tabla 7: Conexiones viales Leimebamba

RECORRIDO	TIEMPO	TIPO DE VÍA
Leimebamba - Atuéñ	2 horas	Afirmado
Leimebamba - La Joya	2 horas	Afirmado y herradura
Leimebamba - Cajamarca	8 horas	Asfaltado
Leimebamba - Chachapoyas	2 horas	Asfaltado

3.2.2. Clima

El factor más importante para determinar el clima de la Microcuenca del Río Atuéñ, es la ubicación que presenta, en el extremo nororiental del Perú, lo constituyen las cordilleras Calla Calla y Yasgolga. En esta zona predomina el clima frío en las partes altas, el cual va cambiando a templado y cálido hacia el valle del Utcubamba. En las punas de Atuéñ la temperatura media anual oscila entre 7° C a 10° C y las máximas son superiores a 20° C, la gradiente térmica es notable. En esta parte ocurren las heladas durante los meses de invierno, y se producen frecuentemente vientos asociados con tempestades eléctricas y lluvias persistentes. Las precipitaciones en esta zona del país son elevadas y sobretodo muy marcadas en los meses de verano, épocas de lluvias, que van desde diciembre hasta marzo. Presenta precipitaciones anuales desde 800 a 1500 mm aproximadamente.

3.2.3. Demografía

La red de asentamientos de población tiene características heterogéneas en todo el territorio de Chachapoyas, sin embargo en el aspecto histórico tiene un nexo común, que es la presencia de abundantes sitios arqueológicos, lo que supone una intensa ocupación ancestral del territorio.

Revisando un poco la historia se sabe que según el Inca Garcilaso de la Vega, Leimebamba posee orígenes pre-incaicos y constituía la región norte de Los Sachapuyos. El nombre de Leimebamba deriva de Raymipampa, denominación adjudicada cuando Túpac Yupanqui celebró allí la fiesta del sol o Inti Raymi mientras realizaba sus conquistas en la zona, el conquistador Alonso de Alvarado incluyó a Leimebamba en sus dominios y delegó al curaca Guamán sus responsabilidades de encomienda.

Volviendo a la actualidad según el censo del año 2007, evidencia que mil ochocientos cincuenta y siete (1857) pobladores viven y desarrollan sus actividades durante todo el año en el área rural, mientras que dos mil sesenta y uno (2061) los desarrollan en el área urbana, dando un total de 3918 habitantes.

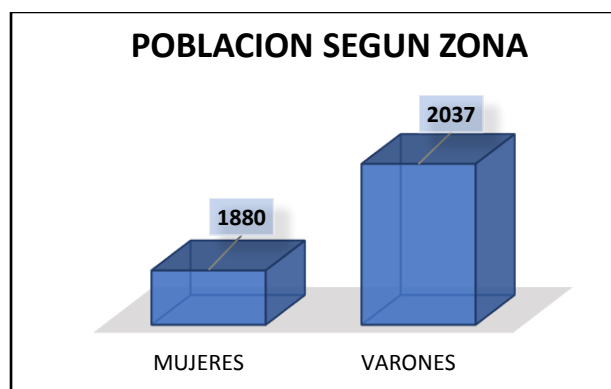
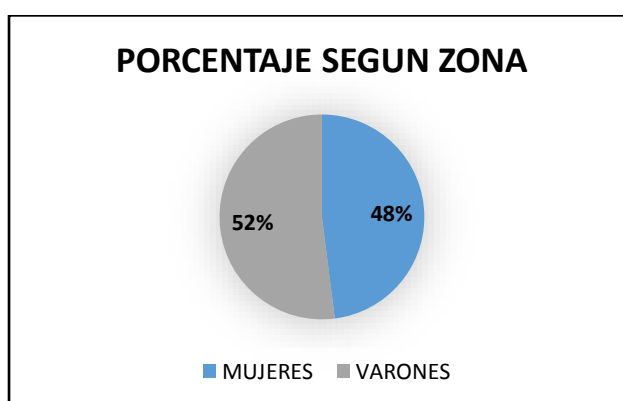


Figura N° 6: Población del Distrito de Leimebamba – Microcuenca Atuén.

FUENTE: INEI, 2007

Teniendo una distribución poblacional de 53% en zona rural y el 47% en la zona urbana; siendo este un caso típico de la región de selva donde la población predominantemente se ubica en las áreas rurales.



**Figura N° 7: Distribución porcentual de la población del Distrito de Leimebamba-
Microcuenca Atuén.**

FUENTE: INEI, 2007

La distribución poblacional del Distrito de Leimebamba llevado a cabo en el censo del año 2007, de acuerdo al género da como resultado que un 48% de la población son mujeres y el 52% de la población son hombres.

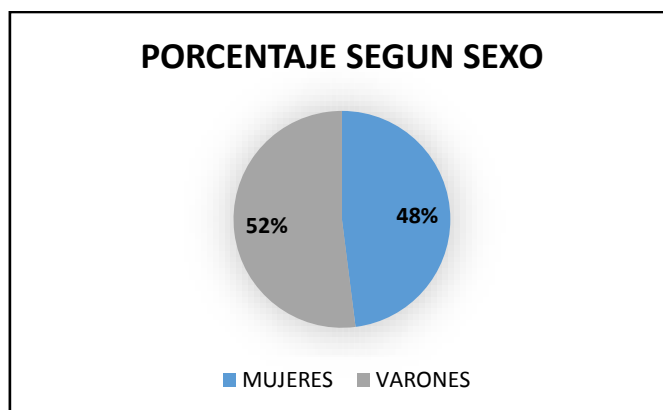


Figura N° 8: Distribución porcentual de la población según género Leimebamba-Microcuenca Atuén.

FUENTE: INEI, 2007

3.3. MATERIALES

3.3.1. Imágenes de Satélite, en formato Raster

- a. ASTER GDEM (*Global Digital Elevation Model*-Modelo Global Digital de Elevación) de la Unidad Hidrográfica del río Atuén. Obtenido gratuitamente del Geoservidor USGS (*Science For a Changing World*- Ciencia para un mundo cambiante), producido por el Ministerio de Economía, Comercio e Industria de Japón (METI) y la Administración Nacional Aeronáutica y Espacial (NASA).
- b. Imágenes de Sensores Remotos: Landsat 8

3.3.2. Información Temática, en formato Vectorial.

- c. Mapa de suelos de la microcuenca del río Atuén que contiene información base de la textura, estructura y permeabilidad del suelo según sus unidades, obtenido del estudio de "Mesozonificación Ecológica Económica de la Región Amazonas" realizado por el INADE en el año 2006 y la Región Amazonas.

- d. Mapa de Estaciones meteorológicas que se encuentren dentro o cercana a la delimitación de la microcuenca, este mapa debe contener información de las precipitaciones máximas de cada una de las estaciones así como las coordenadas de su ubicación, elaboración propia a partir de información solicitada a SENAMHI.
- e. Mapa de Cobertura Vegetal de la microcuenca el cual contenga la descripción de cada una de las áreas de uso de la zona estudiada, actualizada a partir del mapa obtenido del estudio de “Mesozonificación Ecológica Económica de la Región Amazonas” realizado por el INADE en el año 2006 y la Región Amazonas.
- f. Mapa Fisiográfico de la microcuenca, obtenido del estudio de “Mesozonificación Ecológica Económica de la Región Amazonas” realizado por el INADE en el año 2006 y la Región Amazonas.
- g. Mapa Geológico de la microcuenca, obtenido del estudio de “Mesozonificación Ecológica Económica de la Región Amazonas” realizado por el INADE en el año 2006 y la Región Amazonas.
- h. Mapa socioeconómico de la zona estudiada, el cual contenga información acerca de las Necesidades Básicas Insatisfechas y Actividades Económicas realizadas, obtenido del estudio de “Mesozonificación Ecológica Económica de la Región Amazonas” realizado por el INADE en el año 2006 y la Región Amazonas.

3.3.3. Materiales de campo, gabinete y software

- GPS Navegador
- Bolsas para muestras de suelos
- Regla, libreta de campo, lápiz
- Laptop, impresora
- ArcGIS Versión 10.1
- AutoCAD Civil 3D Versión 2014
- ENVI Versión 5.0
- Microsoft Word Versión 2013
- Microsoft Excel Versión 2013
- Google Earth

3.4. METODOLOGIA

La metodología consistió en el desarrollo de tres fases como se muestra en el siguiente esquema.

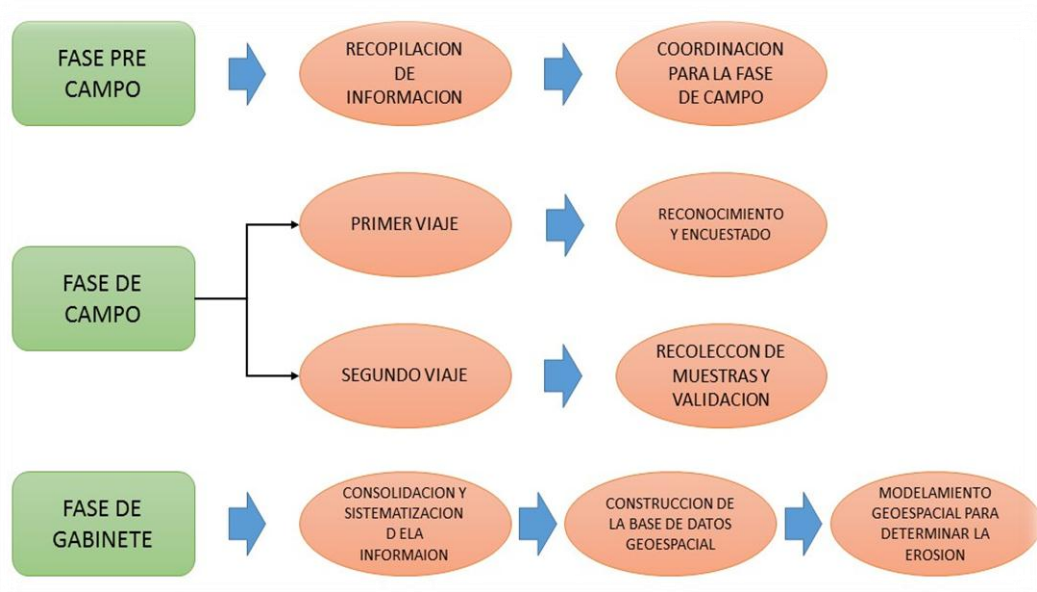


Figura N° 9: Esquema metodológico del estudio.

3.4.1. FASE PRE-CAMPO

Fue la primera fase de todo el estudio consistiendo en la recopilación de información necesaria con el fin de conocer las características físicas y socioeconómicas de la zona de estudio, se obtuvo información en formato Raster y Vectorial como el Modelo Digital de Elevación, geología, fisiografía, suelos, cobertura vegetal, así como también información acerca del empleo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE).

En primer lugar se descargó el DEM de la zona de estudio, del geoservidor USGS - *Science For a Changing World*. Los mapas temáticos de suelos, geología, fisiografía y cobertura vegetal que se utilizaron para la investigación fueron seleccionados de una base de datos del estudio Mesozonificación Ecológica Económica de la Región Amazonas, los mismos que fueron consolidados y ajustados para la elaboración de este trabajo de tesis.

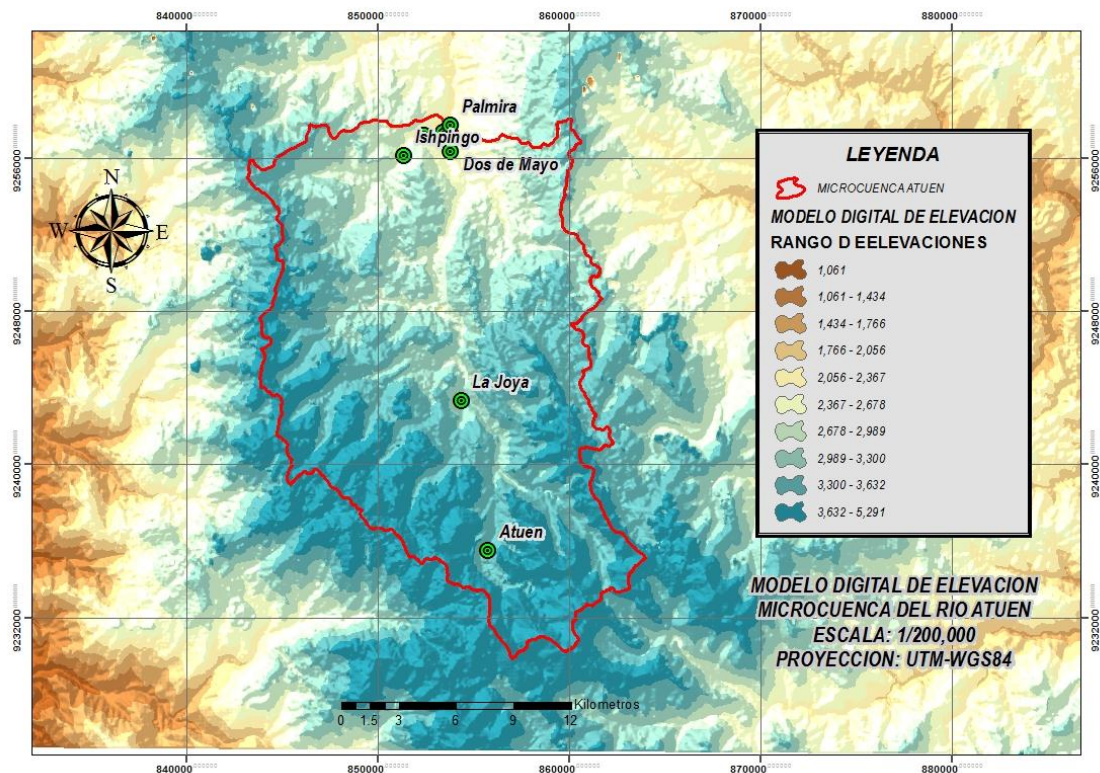


Figura N° 10: Modelo Digital de Elevacion.

FUENTE: Geoservidor USGS

Se recopiló información histórica de la base de datos de los servidores como SENAMHI e INEI, con el fin de obtener datos históricos de precipitación de las estaciones de Leimebamba, Chachapoyas, Alao, Saposoa, Rioja, Soritor, Pachiza y Celendín. Se adquirió información hidrográfica y topográfica (curvas de nivel cada 50 metros) de la zona con ayuda del geoservidor del Ministerio de Educación.

Se elaboraron las fichas (revisar ONCIS, 1991), para realizar las encuestas socioeconómicas y se hicieron las coordinaciones necesarias con la Municipalidad del Distrito de Leimebamba para realizar la fase de campo y para obtener el apoyo de los pobladores, mediante un acuerdo de cooperación entre la Facultad de Ingeniería Agrícola y la Municipalidad Distrital de Leimebamba.

3.4.2. FASE DE CAMPO

Esta fase consistió en dos viajes, el primero que tuvo una duración de aproximadamente 24 días donde se realizó el reconocimiento in situ de la zona de estudio, se llevó a cabo la realización de encuestas en los centros poblados para complementar y actualizar la información obtenida durante la fase de pre campo, se recopiló información acerca de las actividades productivas que se desarrollan en la zona, situación actual de la sociedad en cada centro poblado, necesidades básicas insatisfechas, afiliaciones a seguros sociales y seguros médicos, tipo de infraestructura con que contaba la población como electricidad, sanitarios, red vial, red de telecomunicaciones, centros educativos, etc.

El segundo viaje consistió en aproximadamente 7 días, se realizó después de procesar la información recopilada durante la primera visita, se tuvo un primer modelo ya procesado lo cual sirvió como base para realizar una validación de campo. Se levantaron datos nuevos de infraestructura rural como nuevas vías de transporte, centros de salud mejorados, centros educativos nuevos, etc. los cuales sirvieron para ajustar los pesos de las variables para la elaboración de los modelos. También se extrajeron muestras de suelo de diferentes puntos con el fin de realizar estudios de textura y materia orgánica para procesar la cuantificación de la erosión.

3.4.3. FASE DE GABINETE

En la fase de gabinete se procesó toda la información recopilada durante las fases de pre-campo y campo para así poder obtener los modelos de erosión. La determinación de la erosión del suelo de la microcuenca se obtuvo mediante dos métodos, en primer lugar el modelamiento geoespacial, donde se determinaron las áreas vulnerables a erosión integrando las variables que influyen en el modelo para la determinación de la erosión del suelo, en segundo lugar se realizó el modelamiento cuantitativo de la erosión utilizando la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo (USLE), calculando cada uno de los factores necesarios para su determinación, esta fase se dividió en tres etapas:

a. Consolidación y sistematización de la información primaria y secundaria

i. Elaboración del mapa base de la cuenca

El mapa base de la cuenca fue elaborado a partir del Modelo Digital de Elevación que fue descargado del Geoservidor y procesado mediante el software ArcGIS, con la herramienta Archidro teniendo en cuenta el siguiente procedimiento, delimitando la microcuenca con la que se trabajó el resto de la investigación.

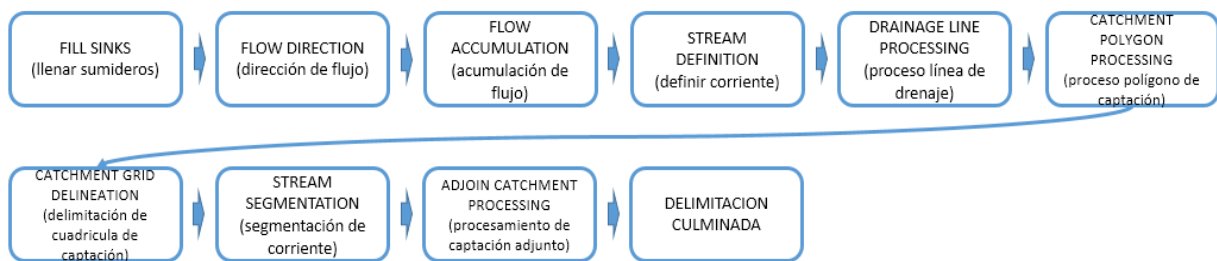


Figura N° 11: Procedimiento para la delimitación de la microcuenca.

ii. Elaboración del mapa de pendientes

La pendiente es una de las principales variables para la ocurrencia de eventos de erosión, dependiendo del grado que presente. A medida que aumenta el grado y el largo de la pendiente, aumenta la velocidad y el volumen del agua de escorrentía y por ende su poder erosivo.

El mapa de pendientes se realizó a partir del *shape* de curvas de nivel de cada 10 metros, se procedió a la creación del TIN, luego este se convirtió en Raster, posteriormente con la herramienta *Slope* se convirtió a pendientes en porcentaje y finalmente se hizo una clasificación con la herramienta *Reclass* clasificándolo en rangos según lo define el Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor (2009).

Tabla 8: Localización de Estaciones.

Rango de Pendiente para laderas cortas	Rango de Pendiente para laderas cortas
0 - 4 %	0 – 2 %
4 - 8 %	2 – 4 %
8 - 15 %	4 – 8 %
15 - 25 %	8 – 15 %
25 - 50 %	15 – 25 %
50 - 75 %	25 – 50 %
> 75 %	50 – 75 %
	> 75 %

FUENTE: Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor, 2009

iii. Procesamiento de la información de precipitación

Para el modelo se trabajó con el método de curvas de interpolación *Spline*, esta consiste en varios polinomios, cada uno definido en un intervalo y que se unen entre sí bajo ciertas condiciones de continuidad para formar la interpolación. Se generó el mapa de Isoyetas con ayuda del software ArcGIS a partir de la información de precipitación de las estaciones meteorológicas que se muestran a continuación.

Tabla 9: Localización de Estaciones.

Estación	Periodo	Coordenadas Geográficas	
		Latitud	Longitud
Leimebamba	2005 – 2014	06°33'01"	77°48'01"
Chachapoyas	2005 – 2014	06°12'31"	77°52'52"
Alao	2005 – 2014	06°32'00"	76°44'00"
Saposa	2005 – 2014	06°54'54"	76°46'46"
Rioja	2005 – 2014	06°02'48"	77°10'01"
Soritor	2005 – 2014	06°06'01"	77°06'04"
Pachiza	2005 – 2014	07°16'52"	76°47'39"
Celendín	2005 – 2014	06°51'11"	78°08'42"

FUENTE: SENAMHI

Se trabajó con datos de precipitaciones totales mensuales de SENAMHI debido a la escases de data de las estaciones localizadas en el área de estudio, se procedió a generar los datos de precipitaciones máximas tomando como base a las precipitaciones totales mensuales, las cuales fueron divididas por un periodo de 30 días y a su vez multiplicadas por un factor de 0.6 teniendo en cuenta la constancia de lluvias en la localidad; obteniendo así la información requerida de precipitaciones máximas mensuales y teniendo en cuenta que se está trabajando con una serie de datos no homogéneo se procedió a realizar los ajustes necesarios de manera que se pueda obtener estimaciones estadísticas válidas. Para lo cual se realizó el análisis de consistencia de los datos mediante los métodos de Doble Masa, T de Student y Fisher, para la información de precipitaciones máximas obtenidas de Senamhi, (anexo)

- **Análisis de Doble Masa**

Para verificar la consistencia de la información de precipitación, uno de los métodos que se usa es el de la curva de doble masa, basado en el hecho de que un gráfico de una cantidad acumulada ploteada contra otra cantidad acumulada durante el mismo período, debe ser una línea recta siempre que las cantidades sean proporcionales, la inclinación de la recta representa la constante de proporcionalidad. Una alteración en la pendiente de la recta, indicará que ocurrió un cambio en la constante de proporcionalidad entre las dos variables o que tal vez la proporcionalidad no es constante en todos los niveles de acumulación.

Tabla 10: Precipitaciones Máximas anuales.

AÑO	CHACHA	ALAO	SAPOSOA	RIOJA	SORITOR	PACHIZA	CELENDIN	LEYME	PROM
2005	7.91	18.22	15.78	11.81	13.69	24.16	13.91	9.22	14.34
2006	14.95	12.41	11.88	14.45	15.94	15.88	19.43	8.62	14.19
2007	13.31	15.22	14.23	13.38	13.63	14.03	15.32	8.33	13.43
2008	7.17	18.26	14.26	13.11	17.85	17.57	10.01	8.78	13.38
2009	9.99	15.54	13.66	17.91	14.63	10.69	12.42	12.38	13.40
2010	6.09	16.72	11.24	10.59	17.53	12.87	11.13	9.67	11.98
2011	11.43	12.90	14.21	13.54	20.32	17.99	10.74	7.19	13.54
2012	13.63	18.32	13.35	15.79	22.04	18.91	12.12	13.32	15.93
2013	10.20	10.55	20.99	19.86	17.05	20.06	9.28	14.70	15.34
2014	14.73	16.06	12.58	15.34	17.37	14.46	8.71	11.12	13.80
MAX	14.95	18.32	20.99	19.86	22.04	24.16	19.43	14.70	19.31

FUENTE: SENAMHI

Tabla 11: Precipitaciones Máximas anuales acumuladas.

AÑO	CHACH	ALAO	SAPOSO	RIOJA	SORITO	PACHIZ	CELENDI	LEYME	PA
2005	7.91	18.22	15.78	11.81	13.69	24.16	13.91	9.22	14.34
2006	22.86	30.62	27.66	26.26	29.63	40.04	33.34	17.83	28.53
2007	36.17	45.84	41.89	39.64	43.27	54.07	48.66	26.16	41.96
2008	43.34	64.10	56.14	52.75	61.12	71.64	58.67	34.94	55.34
2009	53.33	79.64	69.81	70.66	75.75	82.34	71.09	47.32	68.74
2010	59.42	96.36	81.05	81.26	93.28	95.21	82.22	56.99	80.72
2011	70.85	109.26	95.26	94.80	113.59	113.20	92.96	64.18	94.26
2012	84.48	127.57	108.61	110.59	135.64	132.11	105.08	77.50	110.20
2013	94.68	138.12	129.61	130.44	152.69	152.17	114.36	92.20	125.53
2014	109.41	154.18	142.18	145.79	170.06	166.62	123.07	103.32	139.33

FUENTE: SENAMHI

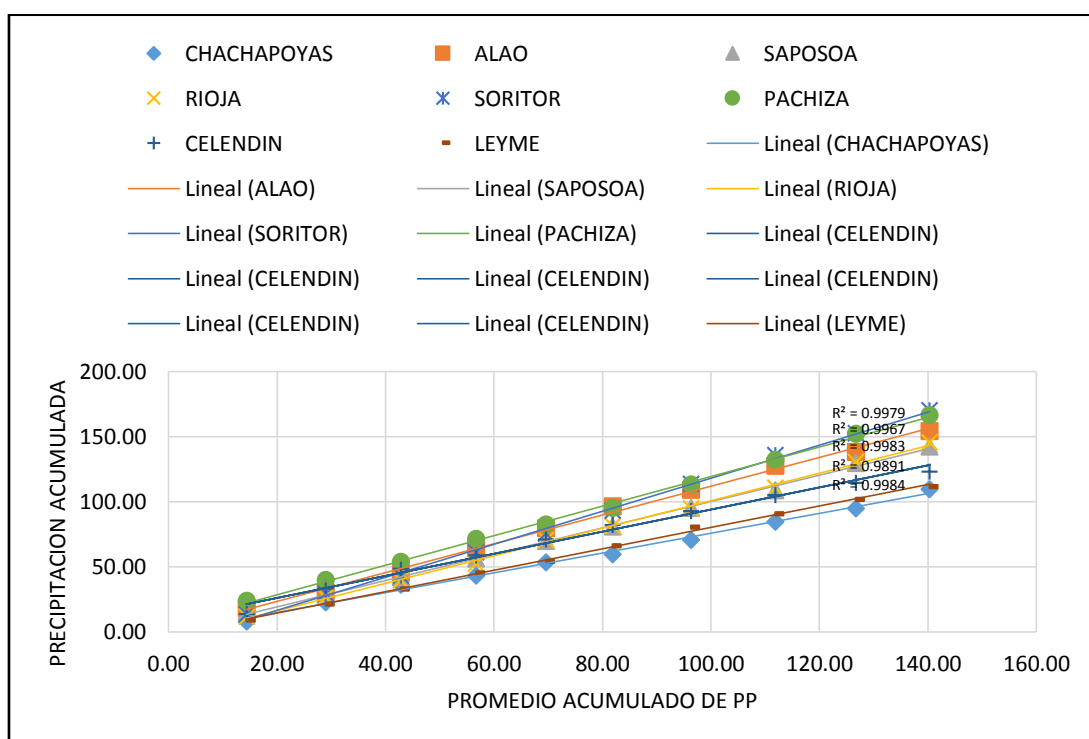


Figura N° 12: Análisis de Doble Masa.

- Método de T de Student

Cuando la pérdida de homogeneidad es un abrupto cambio en la media, esta prueba es muy útil y poderosa para detectar este tipo de inconsistencias. Para obtener mejores resultados,

se recomienda que la muestra total se divida en dos partes con tamaños iguales para que las medias sean muy similares. Se considera que una muestra es homogénea si el valor del estadístico t_d de la prueba t de Student que se calcula con la siguiente ecuación, resulta menor o igual al estadístico t_c de la distribución t de Student de dos colas de la tabla 20 y con n_1+n_2-2 grados de libertad.

$$t_d = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\left[\frac{n_1 S_1^2 + n_2 S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right) \right]^{1/2}}$$

Donde:

X_1 : Media de la muestra uno

X_2 : Media de la muestra dos

n_1 : Número de registros de la muestra uno

n_2 : Número de registros de la muestra dos

S_1^2 : Varianza de la muestra uno

S_2^2 : Varianza de la muestra dos

- Método de Fisher

La prueba F de Fisher se utiliza para probar la consistencia u homogeneidad en la variancia de una muestra con respecto a otra.

La prueba consiste en determinar en primer lugar los valores de S_1^2 y S_2^2

Los estadísticos serán:

$$F_{cal} = S_1^2 / S_2^2 \quad , \text{ si } S_1^2 > S_2^2$$

ó

$$F_{cal} = S_2^2 / S_1^2 \quad , \text{ si } S_2^2 > S_1^2$$

El valor de F en la tabla se obtiene con:

$$\alpha = 0.05$$

Grados de libertad del numerador = $n_1 - 1$

Grados de libertad del denominador = $n_2 - 1$

Los criterios de decisión serán:

Si: $F_{cal} \leq F_{tabla}$, $S_1 \cong S_2$ (Existe consistencia en la variancia)

$F_{cal} > F_{tabla}$, $S_1 < > S_2$ (No existe consistencia en la variancia)

iv. Actualización del Mapa de Cobertura Vegetal

Un aspecto importante para que se produzca erosión en los suelos es la cobertura que este presenta, bien se sabe que cuando un suelo está desnudo se encuentra más expuesto a sufrir estos eventos que cuando un suelo se encuentra cubierto por un manto de algún tipo de vegetal, ya sean cultivos agrícolas o no, de alguna forma son estas coberturas las que protegen a los deslizamientos de suelos.

Para el análisis de la cobertura vegetal en los suelos de la microcuenca se realizó una actualización del mapa que ya se tenía anteriormente con el estudio de la Mesozonificación de la Región de Amazonas. La actualización se realizó con ayuda de imágenes satelitales obtenidas del servidor *Google Earth* de años más actuales, las cuales fueron capturadas de forma tal que se pueda distinguir las diferentes coberturas en el suelo, posteriormente mediante la elaboración de un mosaico con ayuda del software ERDAS, las imágenes fueron unidas formándose una sola, con la que se realizó una clasificación supervisada con el método *Maximum Likelihood*, basándose en las características de cada tipo de cobertura que presentaba nuestro ámbito según la clasificación de Uso Actual del Suelo de Sistema de Clasificación propuesto por la Unión Geográfica Internacional (UGI), todo adaptado a nuestra realidad y al nivel de detalle del estudio. La calificación se basó en el tipo de cobertura que presenta la microcuenca, obteniéndose como resultado las unidades: Pajonal, Bofedal, Bosque perennifolio, Bosque secundario, Matorral, Vegetación secundaria y cultivos agropecuarios.

b. Construcción de la base de datos geoespacial

Con la ayuda del software ArcGIS se procedió a la construcción de la base de datos de cada una de las variables para el modelo de erosión, se diseñó una proyección del esquema lógico

de las variables mencionadas. En primer lugar para las variables del submodelo físico y seguidamente para las variables del submodelo socioeconómico.

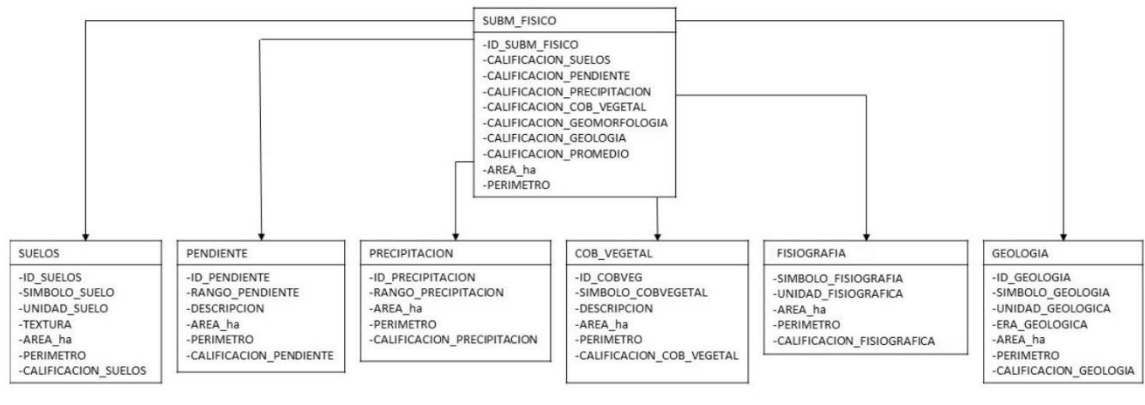


Figura N° 13: Esquema lógico de la BDG del submodelo físico.

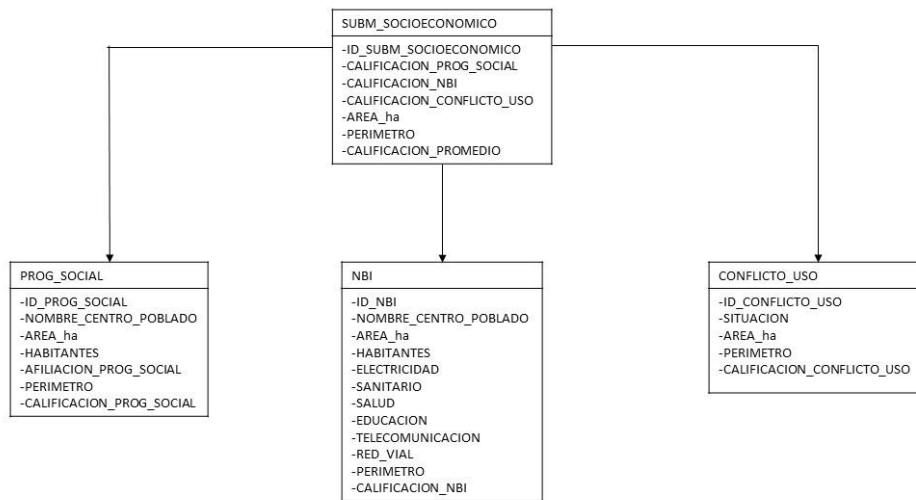


Figura N° 14: Esquema lógico de la BDG del submodelo socioeconómico.

c. Modelamiento geoespacial para la determinación de la erosión hídrica

i. Identificación de las variables

La actualización e integración de la base de datos fue realizada para luego proceder al modelamiento geoespacial de estas, lo cual se realizó por dos métodos; la integración de las variables físicas conformada por las siguientes: cobertura vegetal, precipitaciones, características de suelos, valores de pendientes, características geológicas, fisiografía

relacionada con la geomorfología, y la parte socioeconómica donde se desarrollan las necesidades básicas insatisfechas, los programas sociales y el conflicto de uso.

Y posteriormente para el desarrollo de la cuantificación se identificó los factores a desarrollarse los cuales fueron el factor R relacionado a las precipitaciones, el factor K relacionado a la clase textural de los suelos, el factor LS relacionado con la longitud e inclinación de la pendiente y el factor C que se relaciona con los tipos de coberturas vegetales, para el factor P se tomó en cuenta el valor unitario ya que en la zona de estudio no se encontraron practicas conservacionistas.

ii. Calificación y ponderación de las variables

Para poder realizar el modelamiento geoespacial con las variables anteriormente mencionadas, primero se tuvo que analizar las unidades que presenta cada variable, luego se le otorgo una calificación a cada unidad según la incidencia que presente para que se produzca un evento de erosión en esa zona, dicha calificación se basó en estudios similares anteriormente realizados y principalmente en criterio profesional.

- **Evaluación de la Pendiente**

Para el desarrollo se realizó el mapa de pendientes con ayuda del software ArcGIS, generado a partir del ASTER GDEM, clasificándolos en diferentes rangos según el *Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor (2009)*, para laderas cortas.

Tabla 12: Calificación de la pendiente

Rango (%)	Área (ha)	Calificación
0 – 4	7393.59	1
4 – 8	12682.50	2
8 – 15	10485.54	3
15 – 25	5495.46	4
25 – 50	1261.48	4
50 – 75	183.94	5
> 75	62.52	5

- **Evaluación de la Precipitación**

Después de elaborar el mapa de Isoyetas de las precipitaciones se procedió a darle una calificación con respecto al nivel de intensidad que presenta teniendo en cuenta las consecuencias erosivas que estas provocarían.

Tabla 13: Calificación de la precipitación

Rango (mm)	Área (ha)	Calificación
15 - 15.5	5211.4	2.5
15.5 - 16	9918.1	3
16 - 16.5	9169.3	3.5
16.5 - 17	8601.1	4
17 - 17.5	4387.6	4.5
17.5 - 18	360.3	5

- **Evaluación del Suelo**

Teniendo en cuenta que el tipo de textura que presenta el suelo es un factor importante para la ocurrencia de estos eventos de erosión, se analizaron las unidades que presentan la microcuenca del río Atuén y después de realizar un riguroso trabajo de campo mediante la extracción de muestras y posteriormente analizarlas en el laboratorio, se obtuvieron los resultados de textura de estas muestras pertenecientes a cada una de las unidades, para luego ser calificadas según su incidencia para la ocurrencia de la erosión. Las unidades de suelo pertenecientes a la microcuenca del río Atuén son las que se detallan a continuación, teniendo en cuenta la clasificación de *Soil Taxonomy* (2003) identificaron las siguientes:

Tabla 14: Clasificación Taxonómica de Suelos

Suelo	Sub-Grupo	Gran Grupo	Sub-Orden	Orden
Leimebamba	Lithic Ustorthents	Ustorthents	Orthents	Entisols
Pajonal	Humic Dystrustepts	Dystrustepts	Ustepts	Inceptisols
Tотора	Typic Dystrustepts			
Pericos Rojos	Typic Haplustepts	Haplustepts		

FUENTE: *Soil Taxonomy* (2014)

– Leimebamba (*Lithic Ustorthents*)

Pertenece al subgrupo *Lithic Ustorthents* y agrupa suelos desarrollados a partir de materiales residuales de naturaleza sedimentaria (calizas) localizados en ladera de montaña y colinas altas con pendiente de 15 a más de 70%.

Son suelos superficiales, con presencia de un contacto lítico a menos de 30 cm el cual limita con material rocoso consolidado. Presenta un perfil de tipo ACR, con epipedón ócrico franco arenosos y de color gris muy oscuro, La presencia de grava gruesa en todo el perfil es evidente. El drenaje es bueno.

Sus características químicas están expresados por una reacción ligeramente alcalina, con una alta saturación de bases y una fertilidad natural media a baja.



Figura N° 15: Unidad de Suelo Leimebamba.

– Pajonal (*Humic Dystrustepts*)

Agrupa suelos desarrollados a partir de materiales de naturaleza sedimentaria (arcillas) localizados en cimas y laderas de montaña con pendientes de 15-70%, foto 4.7.4.

Son suelos moderadamente profundos a profundos, con presencia de un epipedón úmbrico de color negro y de textura franco, el cual descansa sobre un horizonte cámbrico franco arenoso, de color pardo amarillento. El drenaje es bueno.

Sus características químicas están expresados en una reacción muy fuertemente ácida, con presencia de aluminio cambiante en porcentajes superiores al 80% de las posiciones de

cambio. Los valores de materia orgánica, fósforo disponible y potasio disponible indican baja fertilidad natural para estos suelos.



Figura N° 16: Unidad de Suelo Pajonal.

– Pericos Rojos (*Typic Haplustepts*)

Agrupación de suelos desarrollados sobre materiales residuales de naturaleza metamórfica (cuarcitas), localizados en cimas y laderas de montaña con pendientes de 15 % a más de 70%.

Son suelos superficiales a moderadamente profundos, con epipedón ócrico negro de 15 cm. de espesor y textura franco arenoso y un horizonte cámbrico pardo oscuro de textura franca. Este perfil descansa sobre un estrato gravoso-guijarroso a 60 cm. de profundidad. El drenaje es bueno.

Sus características químicas están indicadas por una reacción neutra a ligeramente ácida con una saturación de base alta y fertilidad natural media a baja.



Figura N° 17: Unidad de Suelo Pericos Rojos – Áreas Misceláneas.

– Totorá (*Typic Dystrustepts*)

Agrupación de suelos desarrollados a partir de materiales de naturaleza residual (areniscas) localizados en laderas de montaña con pendientes de 30 a más de 70%.

Son suelos moderadamente profundos a profundos con epipedón ócrico pardo amarillento oscuro y de textura franco arenoso, debajo de él se encuentra un horizonte cámbrico rojo, arenoso franco. El drenaje es bueno.

Sus características químicas lo indican una reacción muy fuertemente ácida a fuertemente ácida con presencia de aluminio intercambiable en los horizontes inferiores, en porcentajes que alcanzan el 70%. La saturación de bases es alta en el primer horizonte pero baja en los otros horizontes. Sus valores de materia orgánica, fósforo disponible y potasio disponible indican una fertilidad natural media a baja para estos suelos.



Figura N° 18: Unidad de Suelo Totorá.

– Áreas Misceláneas

Están constituido por afloramientos rocosos donde la presencia de suelo es efímera o no evidente. Generalmente, se le encuentra asociado, en zonas de fuerte pendiente, se encuentra en algunos suelos del subgrupo Leimebamba (*Lithic Ustorthents*) y Pericos Rojos (*Typic Haplustepts*).

Tabla 15: Calificación de Suelos.

Unidad de suelo	Textura	Área (ha)	Calificación
Leimebamba	franco arenoso	1379	3
Leimebamba - Área Miscelánea	franco arcillo arenoso	13171	4
Pajonal	franco arenoso	16404	3
Pericos Rojos - Área Miscelánea	franco arenoso	9	3
Tоторa	franco arenoso	6555	3

• **Evaluación de la Cobertura Vegetal**

La clasificación de Cobertura Vegetal fue basada en el Sistema de Clasificación propuesto por la Unión Geográfica Internacional (UGI), adaptada a nuestra realidad, y al nivel de detalle del estudio. Las unidades que se analizaron para el modelamiento de la erosión fueron Bofedal, Bosques Perennifolios, Bosques Secundarios, Cultivos Agropecuarios y Vegetación Secundaria, Matorrales, Pajonales, Sector Urbano las siguientes:

– Bofedal

Estas tierras ocupan una superficie aproximada de 3,289 ha de la totalidad de la microcuenca el cual viene a ser 8.8 % de la superficie total. Estos ecosistemas son de mucha importancia para la humanidad ya que cumplen muchas funciones relacionadas a los recursos hídricos, como ser fuentes naturales de agua, reguladores del ciclo hidrológico y el clima, zonas de descarga y recarga de acuíferos, se encuentran en las cabeceras de cuencas en las zonas alto andinas. Es por ello que es muy importante su preservación ya que cumplen papeles importantes para nuestro desarrollo.

Los bofedales en la microcuenca, como ya se mencionó anteriormente, se encuentran en la cabecera de cuencas cercanas a la cordillera del Calla Calla.

– Bosques Perennifolios

Estas tierras ocupan una superficie aproximada de 9,162 ha de la totalidad de la microcuenca el cual viene a ser 24.4 % de la superficie total.

Se encuentran localizadas en la mayor parte del territorio Este de la microcuenca, comprende los bosques siempre verdes y densos, existentes desde el nivel de los grandes ríos hasta aproximadamente los 3,880 msnm. El bosque es dominado por comunidades arbóreas, las cuales conviven con otras formas de vida vegetal, tales como, arbustos, herbáceas, palmeras, cañas, helechos, lianas o trepadoras, parásitas, etc.



Figura N° 19: Unidad de Bosque Perennifolio.

– Bosques Secundarios

Estas tierras ocupan una superficie aproximada de 1,668 ha de la totalidad de la microcuenca el cual viene a ser 4.4 % de la superficie total.

Comprende aquellas áreas donde existieron bosques primarios y que fueron talados para convertirlos en áreas con cultivos agropecuarios. Estas áreas luego de su uso por algunos años, han sido conservadas para su regeneración natural, cuyo destino puede ser nuevamente para convertirlas en chacras o en bosque natural.



Figura N° 20: Unidad de Bosque Secundario.

– Cultivos Agropecuarios y Vegetación Secundaria

Estas tierras ocupan una superficie aproximada de 4,138 ha de la totalidad de la microcuenca el cual viene a ser 11 % de la superficie total.

Estas áreas se encuentran por la parte céntrica de la microcuenca, en la zona predomina la actividad pecuaria, crianza de vacunos y equinos, la actividad agrícola se da de manera esporádica es decir por épocas y en menor magnitud, los cultivos como papa, hortalizas y maíz.



Figura N° 21: Unidad Cultivos Agropecuarios y Vegetación Secundaria de Cobertura Vegetal.

– Matorrales

Estas tierras ocupan una superficie aproximada de 899 ha de la totalidad de la microcuenca el cual viene a ser 2.4 % de la superficie total. Se encuentran en la parte central de la microcuenca cerca a las riberas de los ríos, son de naturaleza esclerófila, siempre verdes, a base de arbustos o árboles enanos menores de 5 m de altura y debido a su gran densidad y conformación resulta casi impenetrable.

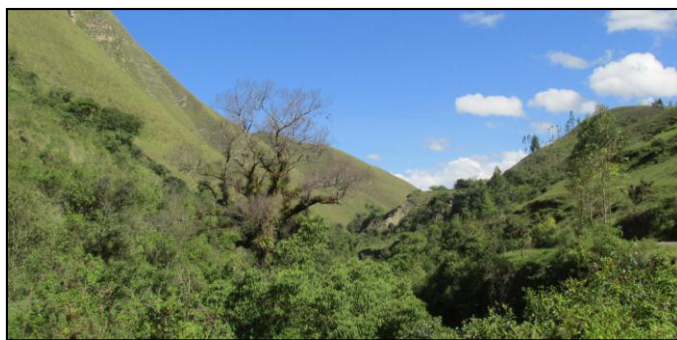


Figura N° 22: Unidad Matorrales de Cobertura Vegetal.

– Pajonales

Estas tierras ocupan una superficie aproximada de 18,311 ha de la totalidad de la microcuenca el cual viene a ser 48.7 % de la superficie total. Se encuentran localizadas mayormente en las zonas altas de la microcuenca, cubriendo la mayor parte de toda su extensión.



Figura N° 23: Unidad Pajonales de Cobertura Vegetal.

– Sector Urbano

Estas tierras ocupan una superficie aproximada de 99 ha de la totalidad de la microcuenca el cual viene a ser 0.3 % de la superficie total. En estos sectores se encuentran los Centros Poblados del Distrito de Leimebamba, tales como Atuén, Dos de Mayo, Ishpingo, Leimebamba, La Joya, Pajarillo – Aumuch, Palmira.



Figura N° 24: Unidad Sector Urbano de Cobertura Vegetal.

Tabla 16: Calificación de Cobertura Vegetal.

Unidad	Área (ha)	Calificación
Bofedal (Herbazal)	3289	2
Bosques perennifolios	9162	1
Bosques secundarios	1668	1
Cultivos agropecuarios y vegetación secundaria	4138	3
Matorrales	899	2
Pajonal (Herbazal)	18311	4
Sector urbano	99	3

- **Evaluación Fisiográfica**

La evaluación de la Geomorfología se analizó conjuntamente con la Fisiografía ya que esta última le da las características físicas a las unidades analizadas y de esa manera, teniendo una unión de ambas se pudo calificar de acuerdo con nuestro requerimiento. Las unidades geomorfológicas son las siguientes:

- Piedemonte

Ambiente de agradación, es decir acumulación de sedimentos en los ríos, constituye una transición entre los relieves montañosos, accidentados y las áreas bajas circundantes; en este

ambiente predominan los depósitos continentales coluviales y las acumulaciones forzadas, las cuales están relacionadas con el repentino cambio de los perfiles longitudinales.

Esta unidad en la microcuenca ocupa un área de 1358 ha aproximadamente, viniendo a ser un 3.61 % del total del territorio.

– Colina Alta Moderadamente Disectada

Corresponde a zonas cuya topografía presentan ondulaciones, debido a procesos ocasionados por escorrentía superficial; su potencial es reducido debido a las limitaciones topográficas y edáficas, que hacen de éstos medios ecológicamente frágiles y de alta susceptibilidad erosiva. Ocupa una extensión de aproximadamente 1696 ha, que viene a ser un 4.51 % de la superficie total de la microcuenca.

– Cima de Montaña

Presentan formas onduladas semiredondeadas cubiertas mayormente por pajonales; se ubican por encima de los 3 000 m.s.n.m. y han sido originadas por procesos erosivos que han actuado en forma homogénea sobre rocas fuertemente intemperizadas del complejo del Marañón. Estas geoformas son muy estables y tienen un alto potencial de recurso suelo, el clima frío y semihúmedo favorece las condiciones para el desarrollo de la ganadería en pequeña escala.

Ocupa una extensión de aproximadamente 7914 ha, que viene a ser un 21.07 % de la superficie total de la microcuenca.

– Ladera de Montaña Fuertemente Empinada

Son sectores de topografía muy accidentada conformada por laderas de montaña medianamente ramificadas y estructuralmente plegadas; pero con procesos ocasionados por el actuar de los agentes geomorfológicos como la escorrentía superficial que aunado a la gravedad produce deslizamientos, asentamientos, reptación de suelos y desplomes.

Ocupa una extensión de aproximadamente 7968 ha, que viene a ser un 21.21 % de la superficie total de la microcuenca.

– Ladera de Montaña Moderadamente Empinada

Ocupa una extensión de aproximadamente 3975 ha, que viene a ser un 10.58 % de la superficie total de la microcuenca.

Corresponde a zonas de topografía poco accidentada conformada por laderas de montaña moderadamente ramificadas y estructuralmente plegadas; los procesos geomorfológicos también corresponden a los de escorrentía superficial, cuya agua a su paso produce erosión en las laderas.

– Vertiente Montañosa Fuertemente Empinada

Ocupa una extensión de aproximadamente 8 ha, que viene a ser un 0.02 % de la superficie total de la microcuenca.

Formas de tierra de topografía fuertemente accidentada con pendientes predominantes de 50 a más de 75 %. Están constituidas por relieves accidentados de vertientes montañosas que sobrepasan los 1 000 m. de altura entre la cima y el nivel de base local. Por su origen corresponden esencialmente a un gran episodio geológico regional, determinado por el levantamiento Plio-pleistocénico del flanco oriental de los andes, que al aumentar bruscamente las pendientes generó un intenso período de disección fluvial originando amplios valles encañonados que actualmente dominan el paisaje.

– Vertiente Montañosa Moderadamente Empinada

Estas unidades corresponden a elevaciones marginales del flanco oriental de la Cordillera de los Andes, la topografía es abrupta y su rango de pendientes por lo general varía entre 50 y 75 %, comprenden cimas montañosas por encima de los 800 m. sobre el nivel de base local y se encuentran conformadas por rocas sedimentarias y mayormente metamórficas correspondientes al complejo del Marañón. La erosión es intensa debido a la moderada resistencia de las rocas, mostrando disecciones profundas de gran longitud.

Ocupa una extensión de aproximadamente 14601 ha, que viene a ser un 38.87 % de la superficie total de la microcuenca.

Tabla 17: Clasificación Geomorfológica.

UNIDAD FISIAGRÁFICAS	AREA (ha)
Cima de montaña	7917.94
Colina alta moderadamente disectada	1697.18
Ladera de montaña fuertemente empinada	7972.50
Ladera de montaña moderadamente empinada	3978.25
Piedemonte	1358.65
Vertiente montañosa fuertemente empinada	8.00
Vertiente montañosa moderadamente empinada	14613.07
Laguna	46.29

Tabla 18: Calificación de Fisiografía

Unidad Fisiográfica	Pendiente (%)	Calificación
piedemonte	15 – 30	2
Colina alta moderadamente disectada	50 – 75	4
Cima de montaña	30 – 50	3
Ladera de montaña fuertemente empinada	50 – 75	4.5
Ladera de montaña fuertemente empinada	> 75	5
Ladera de montaña moderadamente empinada	15 – 30	2.5
Ladera de montaña moderadamente empinada	50 – 75	3.5
Vertiente montañosa fuertemente empinada	> 75	4.5
Vertiente montañosa moderadamente empinada	30 – 50	3
Vertiente montañosa fuertemente empinada	50 -75	3.5

- **Evaluación de la Geología**

La variable Geológica presenta cinco unidades las cuales fueron calificadas de manera similar a las anteriores dependiendo el riego que presenta para producirse estos eventos de erosión de los suelos, estas unidades serán explicadas a continuación.

- Grupo Oriente

Está conformado de areniscas cuarzosas blancas de grano grueso en estratos gruesos bastante resistentes que generan escarpas muy empinadas; se encuentran algunas intercalaciones de limoarcillitas y limolitas grises en partes gris verdosas con grosores hasta 1.5 m. Sobre las areniscas cuarzosas se encuentran areniscas grises a gris claras, intercaladas con limoarcillitas, limolitas y areniscas de grano fino de color gris a gris oscuro en estratos medios a delgados de 10 a 40 cm. de grosor; ocasionalmente se encuentran capas de areniscas cuarzosas gris claras a blancas de grano fino que alcanzan grosores hasta de 4 m. En esta unidad destaca el contenido de material carbonoso como laminillas y concentraciones pequeñas que le otorgan al conjunto una coloración gris con florescencias amarillentas.

Está representada por 16098 Ha en toda la microcuenca, que viene a ser un 42.85 % de todo el territorio siendo la unidad con mayor cobertura.

- Formación Chonta

Está representada por 2903 Ha en toda la microcuenca, que viene a ser un 7.73 % de todo el territorio.

Conformada por una secuencia de calizas, areniscas y limoarcillitas gris a pardo verdosas. Genera relieves abruptos en su parte inferior y un relieve suave en su porción superior, especialmente en los afloramientos más occidentales de tal unidad. Se le distingue porque da lugar a suelos arcillosos y fangosos con algunos niveles calcáreos, que superficialmente presentan coloraciones cremas. En cortes frescos expuestos por derrumbes o deslizamientos, las limoarcillitas son grises.

– Complejo Marañón

El complejo del Marañón tiene diversas unidades litológicas, cuyos contactos son confusos y poco diferenciables a la escala estudiada. Predominan mayormente rocas metamórficas conformadas por esquistos, gneises, esquistos micáceos y metasedimentitas (pizarras, cuarcitas, filitas y areniscas cuarcíticas).

Los esquistos y gneises tienen mayormente texturas foliadas y en menor volumen texturas controladas por la dirección de los componentes mineralógicos. Los esquistos son verdes, grises, gris oscuros y están asociados con abundantes vetas de cuarzo y algunos cuerpos de diques de andesitas y diabasas, las rocas más comunes son esquistos cuarzosos, esquistos de cuarzo sericita y esquistos graníticos.

Las Metasedimentitas, constituyen un conjunto de rocas metamórficas de bajo grado, muestran aún remanentes de la estratificación original donde se intercalan pizarras, esquistos micáceos, filitas, cuarcitas, areniscas cuarcíticas y mármoles.

Está representada por 7747 Ha en toda la microcuenca, que viene a ser un 20.62 % de todo el territorio.

– Grupo Mitu

Está representada por 1392 Ha en toda la microcuenca, que viene a ser un 3.71 % de todo el territorio.

Son sedimentos continentales con muy marcadas variaciones laterales de litología, cuya composición se encuentra conformada por aglomerados, areniscas y limo arcillitas intercaladas con vulcanitas (lavas andesíticas) y piroclastos de color verde violáceo, cuyos espesores varían rápidamente de un lugar a otro.

– Formación Sarayaquillo

La característica principal de esta formación es la coloración rojiza y un relieve más suave con respecto a las unidades adyacentes. Consiste principalmente de lodolitas, limolitas y areniscas rojas intercaladas en estratos medios. En la parte superior se intercalan areniscas gris claras a marrón claro en estratos de grosores variables desde algunos centímetros hasta un metro. Las rocas de la formación Sarayaquillo presentan abundantes estructuras

sedimentarias, en algunos casos las areniscas gris verdosas, incluyen restos de troncos y tallos de plantas con láminas delgadas de carbón.

También se observan algunas brechas con fragmentos de calizas y areniscas rojizas, rodeados por una matriz calcárea areniscosa de color rojo, intercaladas con areniscas y limolitas rojas que contienen cuerpos lenticulares de conglomerados. Sin embargo, las más abundantes son las lodolitas rojas y las areniscas tipo grawacas y arcosas líticas.

Está representada por 9378 Ha en toda la microcuenca, que viene a ser un 24.97 % de todo el territorio.

Tabla 19: Clasificación Geológica.

Unidad Estratigráfica	Serie	Sistema	Era
Grupo Oriente	Inferior	Cretáceo	Mesozoico
Grupo Chonta	Medio	Cretáceo	Mesozoico
Complejo del Marañón	Neo - Proterozoico		
Grupo Mitu	Paleo - Zoico Superior		
Formación Sarayaquillo	Superior	Jurásico	Mesozoico

Tabla 20: Calificación de Geología.

Unidad	Área (ha)	Calificación
Grupo Oriente	16098	2
Formación Chonta	2903	5
Complejo del Marañón	7747	3
Grupo Mitu	1392	4
Formación Sarayaquillo	9378	3

- **Evaluación Socioeconómica**

Para la evaluación del submodelo socioeconómico se enfocó en relacionar los aspectos necesarios básicos para determinar el grado de bienestar en una comunidad. Dentro de esta evaluación se incorporan tres variables, la primera que relaciona en un solo mapa las Necesidades Básicas Insatisfechas de cada Centro Poblado, se le proporciono un peso de acuerdo a la necesidad que presenten. La segunda que está relacionada exclusivamente a la existencia y afiliación de seguros sociales en la zona, la cual también presenta un peso por cada Centro Poblado. Para obtener la información social se realizaron encuestas in situ a los

habitantes de cada Centro Poblado, donde se detallaron específicamente aspectos sociales como necesidades insatisfechas, grado de instrucción, afiliaciones a seguros médicos o a programas sociales. Ambas partes fueron ponderadas con un peso del 60% para NBI y 40% para Programa Social, finalmente fueron ponderados con el mapa de Conflicto de Uso de la Tierra.

– Variable de Necesidades Básicas Insatisfechas

Dentro de esta variable se analizan los aspectos de electricidad, sanitarios, salud, educación, telecomunicaciones y red vial.

Para el aspecto de electricidad fueron analizados en primer lugar la existencia de esta y luego la calidad de servicio que es brindada al Centro Poblado analizado, con respecto al sanitario se tuvo semejante análisis según su presencia y servicio brindado, dentro de esto se encuentra la red de alcantarillado y agua potable. Con respecto a educación se analizó la existencia de Instituciones Educativas teniendo en cuenta el grado de instrucción que brindan, en algunos centros poblados como es el caso de Atuén y La Joya solo se cuenta con Instituciones a nivel Inicial. Con respecto a la red vial esta fue analizada de modo que se cuente con carreteras a nivel asfaltado, afirmado o trochas. Finalmente con respecto a salud se analizó viendo la cantidad de afiliados a seguros de salud y la existencia de Centros de Salud con las que contaban los Centros Poblados, en algunos casos solo se cuentan con postas medicas como es en la zona de Atuén y La Joya, en otros como en Leimebamba se cuenta con un hospital correctamente implementado. Finalmente se trabajó con pesos para cada uno de los aspectos analizados teniendo en cuenta su importancia para el desarrollo de las comunidades.

Tabla 21: Calificación de las necesidades básicas.

Centro Poblado	Área (ha)	Habitantes	Electricidad	Sanitario	Salud	Educación	Telecomunicación	Red Vial
Palmira	9	58	4	3	3	4	3	4
Leimebamba	64	516	4	4	4	4	4	4
Pajarillo-Aumuch	38	116	3	3	3	3	3	4
Ishpingo	33	0	3	3	2	3	3	4
Atuén	32	37	1	1	3	2	1	3
Joya	10	33	1	1	3	2	1	2
Dos de Mayo	55	279	4	3	1	3	3	4

– Variable de Programa Social

dentro de esta variable se analizaron la presencia de Programas Sociales brindados por el estado en apoyo a la comunidad, se determinó el porcentaje de habitantes pertenecientes a determinado Programa Social para luego tener un porcentaje total de afiliados, luego se procedió a determinar un peso para cada uno según esta cantidad de afiliados. Los Programas Sociales en análisis fueron: JUN (Juntos), VL (Vaso de Leche), P65 (Pensión 65).

Tabla 22: Cantidad de afiliados a Programa Social.

Centro Poblado	Total de habitantes	Numero de Afiliaciones				Afiliados
		JUN	VL	P65	NP	
Parajillo-Aumuch	116	19	19	7	73	38.8 %
Atuén	37	3	0	0	34	8.1 %
Palmira	310	58	13	9	232	25.8 %
Dos Mayo	279	26	12	12	229	17.9 %
Leimebamba	516	33	17	6	465	10.9 %
La Joya	33	3	0	0	30	9.1 %
Ishpingo	79	17	6	1	55	30.4 %

Tabla 23: Calificación Según Afiliación Programa Social.

Centro Poblado	Habitantes	Afiliados (%)	Calificación
Palmira	310	9.7	2
Leimebamba	516	4.1	1
Pajarillo-Aumuch	116	14.3	3
Ishpingo	0	11.9	2
Atuén	37	3.2	1
Joya	33	3.6	1
Dos de Mayo	279	6.3	2

– Variable con Conflicto de Uso de la Tierra

El submodelo de Conflicto de Uso es la representación espacial que permite identificar áreas donde existe conflictos por: sobre utilización, por subutilización así como por uso conforme de la tierra. Para la realización de este submodelo se utilizó el mapa de Capacidad de Uso de la Tierra y el mapa de Uso Actual (Cobertura Vegetal). Este submodelo también fue sometido a una calificación según el uso conforme, sobre uso o sub uso.

Tabla 24: Calificación Conflicto de Uso.

Situación	Área (ha)	Calificación
CONFORME	27888.1	1
SOBRE USO	9358.5	5
SUB USO	272.1	3

iii. Modelamiento Geoespacial

MODELO GEOESPACIAL PARA IDENTIFICAR LAS ZONAS DE EROSION

Para realizar este modelo se procedió a analizar y evaluar las unidades que presentan las variables involucradas otorgando una calificación teniendo en consideración el nivel de aportación que presenta para la ocurrencia del evento, en este caso la erosión del suelo, es decir si la unidad presenta una alta vulnerabilidad y se encuentra propenso a la ocurrencia de este evento (ser erosionado) entonces presentará una puntuación mayor a las que se encuentran más estables o menos propensos a ser erosionadas.

A Continuación se presenta el modelo conceptual demostrando la estructura y las variables consideradas para la realización del modelo lógico o cualitativo de erosión.

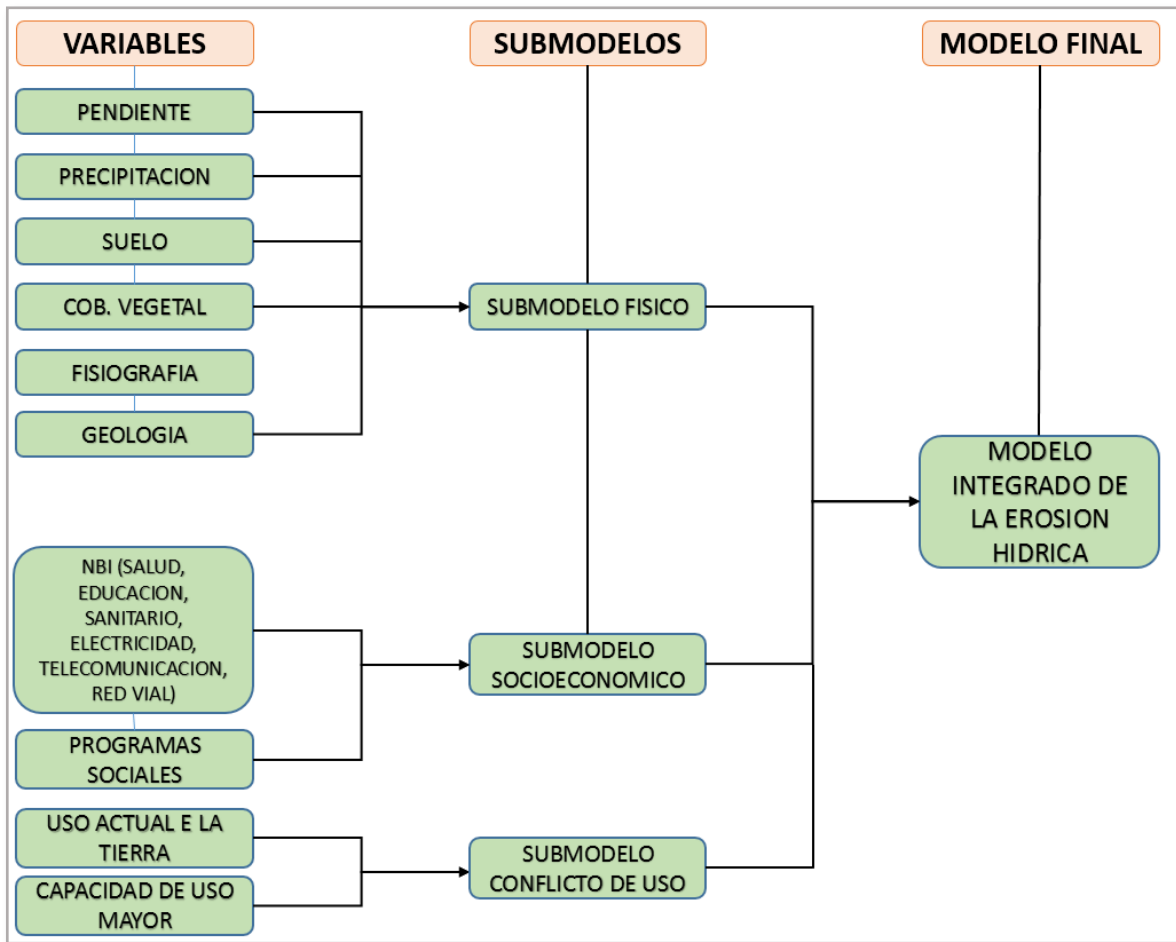


Figura N° 25: Modelo Conceptual de la Erosión del suelo en la microcuenca Atuén

Después de analizar cada una de las variables y de otorgarles las calificaciones adecuadamente se procedió a construir el modelo el cual se realizó con ayuda del ArcGIS y la herramienta *Model Builder*, en el cual se van incorporando cada una de las variables así como también las herramientas que facilitan el procedimiento geoespacial y matemático de modelo.

- **Submodelo Físico de Erosión Hídrica**

Para el Submodelo Físico de erosión se otorgó una calificación a cada una de las variables ponderándolos de la siguiente manera:

$$\text{SMEH} = + 0.2*\text{PEN} + 0.2*\text{PRE} + 0.15*\text{SUE} + 0.2*\text{CV} + 0.1*\text{GEO} + 0.15*\text{GEM}$$

Donde:

- **SMEH:** Submodelo de Erosión Hídrica
- **PEN:** Variable de Pendiente
- **PRE:** Variable de Precipitación
- **SUE:** Variable de Suelos
- **CV:** Variable de Cobertura Vegetal
- **GEO:** Variable Geológica
- **GEM:** Variable Geomorfológica y Fisiográfica

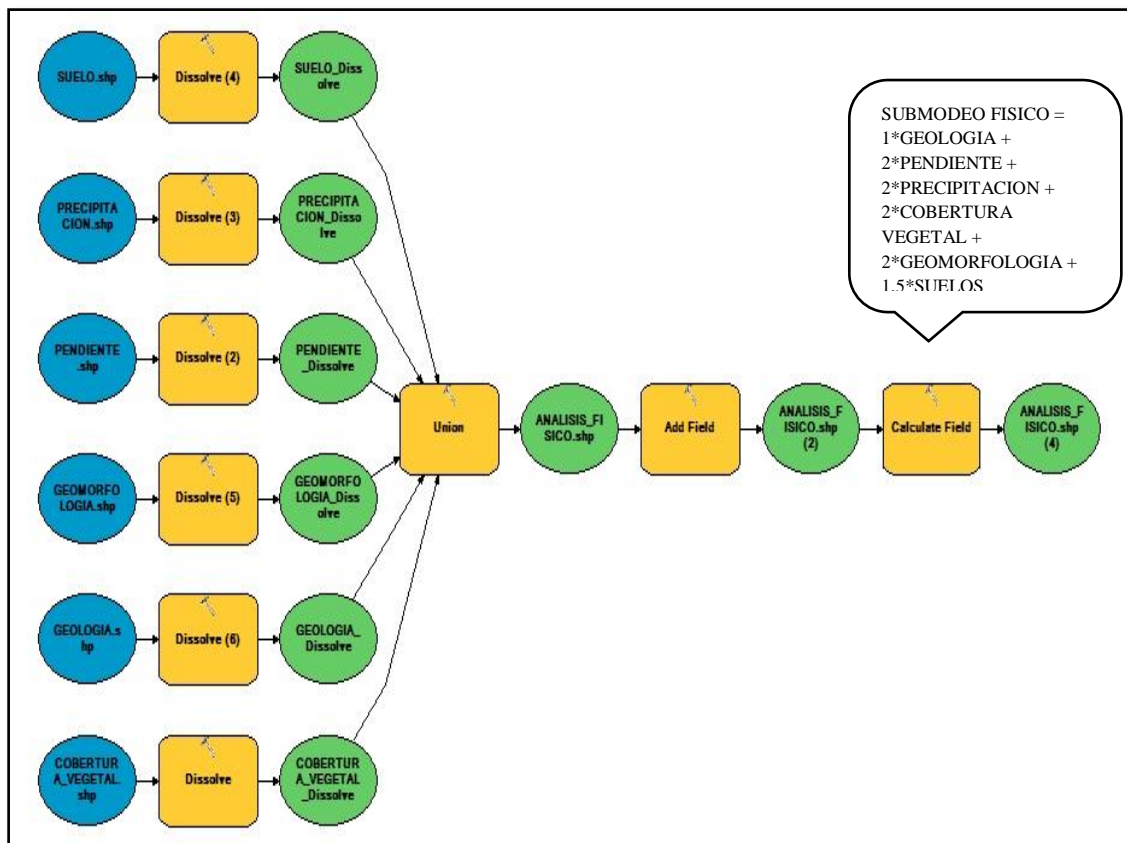


Figura N° 26: Model Builder Submodelo Físico.

- **Submodelo Socioeconómico**

El submodelo Socioeconómico fue analizado ponderando las variables de Necesidades Básicas Insatisfechas con Programas sociales obteniendo un submodelo de Desarrollo Social, quien fue unido con el submodelo de Conflicto de Uso, de la siguiente manera:

$$\mathbf{NBI = 0.2*SA + 0.15*ED + 0.05*SAN + 0.1*EL + 0.2*TE + 0.3*RV}$$

Donde:

- **NBI:** Variable de necesidades Básicas Insatisfechas
- **SA:** Salud
- **ED:** Educación
- **SAN:** Sanitario
- **EL:** Electricidad
- **TE:** Telecomunicaciones
- **RV:** Red Vial

$$\mathbf{Desarrollo Social = 0.6*NBI + 0.4*PS}$$

Donde:

- **NBI:** Variable de necesidades Básicas Insatisfechas
- **PS:** Variable de Programa Social

$$\mathbf{SSE = Desarrollo Social + Conflicto De Uso}$$

Donde:

- **SSE:** Submodelo Socioeconómico

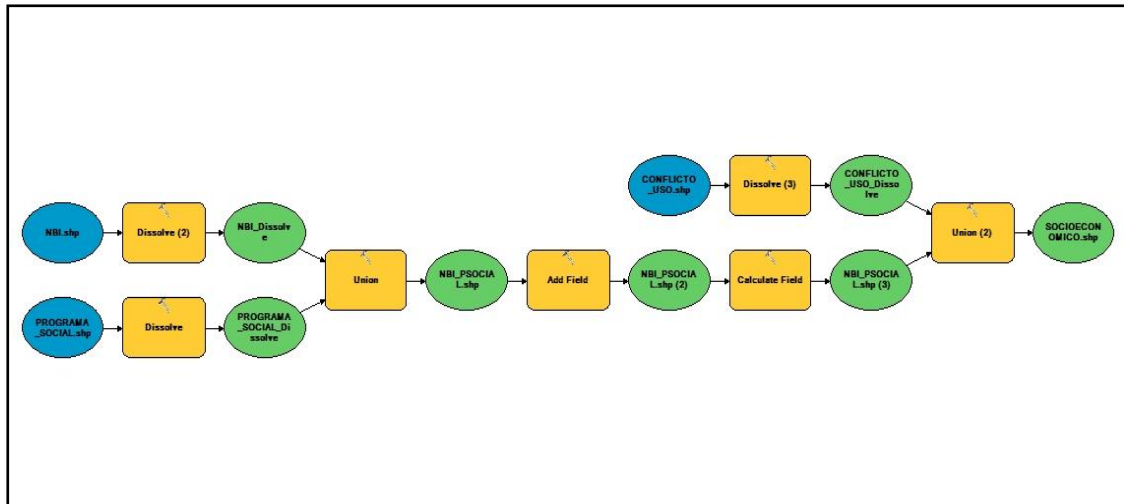


Figura N° 27: Model Builder Submodelo Socioeconómico.

CUANTIFICACION DE LA EROSION HIDRICA

Para el proceso de la cuantificación se utilizó la Ecuación Universal de Perdida de Suelos (USLE), con lo cual se identificó cada uno de los factores evaluando su valor independientemente para luego ser introducidas a la ecuación general, la cual fue mostrada anteriormente.

El proceso fue realizado con ayuda del software ArcGIS específicamente utilizando la herramienta *Model Builder* para la automatización de los geoprocursos. Los factores fueron procesados en formato Raster con ayuda de la herramienta *Raster Calculator*.

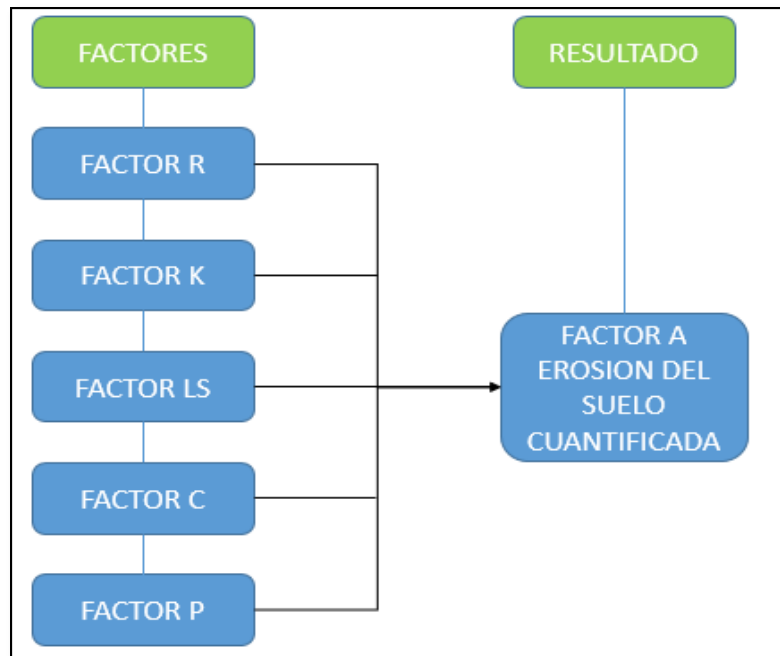


Figura N° 28: Modelo Conceptual de la Cuantificación de la Erosión del suelo en la microcuenca Atuén

- **Factor R**

Es el factor de la precipitación, un dato importante en la evaluación de la pérdida de suelo, para su determinación se utilizó información de precipitaciones procedentes de Senamhi, de las mismas estaciones anteriormente trabajadas.

Después de analizadas las consistencias de los valores máximos de la precipitación se procedió a la interpolación de cada estación elaborando el mapa de líneas *Isoyetas* donde se obtuvo un rango para cada unidad, el cual fue convertido al formato Raster y con ayuda de la herramienta *Raster Calculator* se determinó el valor del factor R utilizando la ecuación (2.3).

$$R = I_{30} * \frac{9.28P - 8.393}{1000}$$

Donde:

I_{30} : 75 mm/h (valor recomendado por Weischmeier)

P: Precipitación media anual.

- **Factor K**

Para el cálculo del factor K se realizaron estudios de suelo, para lo cual se necesitó extraer muestras de las diferentes unidades que presenta la microcuenca, las cuales son Leimebamba, Leimebamba - Área Miscelánea, Pajonal, Pericos Rojos - Área Miscelánea, Totorá.

Tabla 25: Ubicación de los puntos de muestreo de suelo.

Unidad de Suelo	NORTE	ESTE	ALTURA
Totorá	9238672	192861	3329
Leimebamba - Áreas Misceláneas	9240848	193142	3169
Pajonal	9248774	189655	2711
Pericos Rojos - Áreas Misceláneas	9254295	180375	3560
Leimebamba - Áreas Misceláneas	9256435	188074	2740
Leimebamba	9257855	189465	2287

Las muestras fueron analizadas en el laboratorio con el fin de obtener la textura, materia orgánica y seguidamente determinar los códigos de estructura y permeabilidad según lo indican las tablas N° 1 y 2; después de obtener los resultados, estos fueron introducidos a la ecuación (2.5).

$$K = 1.313 * [2.1 * 10^{-4} * (12 - MO) * M^{1.14} + 3.25 * (s - 2) + 2.5 * (p - 3)]/100$$

Donde:

MO: Porcentaje de materia orgánica de las muestras

s: Código de estructura del suelo.

p: Código de permeabilidad.

M: Factor dado por el producto de la suma de los porcentajes de limo y arena muy fina con la suma de los porcentajes de arena y limos. Es decir (% limo + arena muy fina)*(100 - % arcilla).

Para la determinación del porcentaje de limo y arcilla se realizó el ensayo de Bouyoucos o Hidrómetro, el cual consistió en pesar 50 gr de suelo tamizado, colocar la muestra en el vaso

de dispersión, luego se agregó agua destilada hasta los 2/3 del volumen del vaso de dispersión, 10 ml de dispersante (Calgón) y al dispersador eléctrico por cinco minutos. Se trasvasó la suspensión a la probeta, se colocó con mucho cuidado el hidrómetro en la suspensión y se enrasó con agua destilada hasta la marca de 1130 cc. Se retiró el hidrómetro y agitó con el agitador de madera, y se dejó en reposo la muestra. La primera lectura con el hidrómetro se realizó a los 40 segundos, después de dejar de agitar la suspensión. Es recomendable repetir tres veces la lectura y leer la temperatura eso dio la medida de la cantidad de limos más arcillas. Después de estar en reposo la muestra, la segunda lectura se realizó a las dos horas de sedimentación, se tomó la temperatura, y nos dio la medida de la cantidad de arcillas.

Tabla 26: Datos en la prueba de Bouyoucos.

Profundidad (cm)	Hidrómetro (gr/L)	Temperatura (°C)	Temperatura (°F)	Hidrómetro (gr/L)	Temperatura (°C)	Temperatura (°F)
	40 seg	40 seg	40 seg	2 horas	2horas	2horas
30	20	25.0	77.0	7	25.8	78.4
30	25	25.5	77.9	13	25.7	78.3
30	8	25.0	77.0	2	25.5	77.9
30	21	25.0	77.0	3	26.0	78.8
30	7	25.0	77.0	1	26.2	79.2
30	25	25.5	77.9	11	26.5	79.7



Para la determinación de la materia orgánica las muestras fueron analizadas en el laboratorio y para el porcentaje de arena fina se realizaron las tamizadas necesarias con los tamices # 200 y # 40 siendo arena fina el material que pasa por la malla # 40 y que queda retenido en la malla # 200 como se puede observar en el siguiente cuadro.

Tabla 27: Porcentaje de arena fina.

Peso Total (gr)	Peso Retenido (gr)		Arena Fina (gr)	Arena Fina (%)
	Malla 200	Malla 40		
30	7.03	2.33	4.7	15.67
32.68	8.61	4.96	3.65	11.17
25.56	2	0.97	1.03	4.03
33.46	3.65	0.95	2.7	8.07
22.28	0.96	0.15	0.81	3.64

Para la determinación de la estructura y permeabilidad se utilizaron los códigos establecidos por la USLE, para lo cual se analizaron las imágenes correspondientes a cada tipo de suelo y así determinar dicho código.

Tabla 28: Codificación según estructura de suelo.

Unidad de Suelo	Código de Estructura
 <p>Totora</p>	<p>3 (granular media a gruesa)</p>
 <p>Leimebamba – Áreas Misceláneas</p>	<p>1 (granular muy fina)</p>



3
(granular media a gruesa)

Leimebamba



2
(granular fina)

Pajonal



1
(granular muy fina)

Pericos Rojos

Con respecto al código de permeabilidad se trabajó con datos de las velocidades de infiltración correspondientes a las clases texturales que se tienen.

Tabla 29: Infiltración según textura de suelo.

Textura	Infiltración (mm/h)
Arcilloso	< 5
Franco arcilloso	5 – 10
Franco	10 – 20
Franco arenoso	20 – 30
Arenoso	> 30

Tabla 30: Codificación según permeabilidad de suelo.

Unidad de Suelo	Clase Textural	Código Permeabilidad
Totora	Franco arenoso	3
Pajonal	Franco arenoso	3
Pericos Rojos - Áreas Misceláneas	Franco arenoso	3
Leimebamba - Áreas Misceláneas	Franco arcillo arenoso	4
Leimebamba	Franco arenoso	3

Tabla 31: Valores del Factor K.

Unidad de Suelo	Textura	Factor K
Totora	Franco arenoso	0.193
Pajonal	Franco arenoso	0.117
Pericos Rojos - Áreas Misceláneas	Franco arenoso	0.071
Leimebamba - Áreas Misceláneas	Franco arcillo arenoso	0.098
Leimebamba	Franco arenoso	0.230

- **Factor LS**

Como el factor LS es el producto de la longitud de la pendiente y la inclinación de dicha, en primer lugar se determinó el factor L.

Para determinar el factor L se trabajó con la ecuación (2.7).

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

Donde λ es la longitud de declive y “m” un exponente influenciado principalmente por la interacción entre la longitud del declive y la pendiente. Para lo cual a partir de Modelo Digital de Elevación se calculó las pendientes con la herramienta SLOPE, tanto en grados como en porcentaje, se procedió al cálculo del Exponente “m” con la ecuación (2.8)

$$m = 0.1342 * (Ln(\theta)) + 0.192$$

Con ayuda de la herramienta *Raster Calculator* se introdujo la siguiente ecuación.

$$((0.1342 * \ln("%slope (2)%")) + 0.192)$$

Se calculó la dirección de flujo y la acumulación del flujo con las herramientas “*Flow Direction*” y *Flow Accumulation*” respectivamente, finalmente integrando a la formula se obtuvo el factor L.

Introduciendo la siguiente ecuación en la herramienta *Raster Calculator*.

$$\text{Con}(\text{Tan}("%SLOPE (2)%") * 0.01745) < 0.09, (10.8 * \text{Sin}("%SLOPE (2)%") * 0.1745) + 0.03), (16.8 * \text{Sin}("%SLOPE (2)%") * 0.01745) - 0.5))$$

Para determinar el factor S el cual es la inclinación de la pendiente se utilizó la ecuación (2.9 y 2.10).

$$S = 10.8 * \sin \theta + 0.03 \quad \text{Sí: } s < 9\%$$

$$S = 16.8 * \sin \theta - 0.5 \quad \text{Si: } s \geq 9\%$$

Donde “s” es la inclinación de la pendiente y “ θ ” el ángulo de la pendiente, para lo cual se utilizó la condicional en el proceso de cálculo con la herramienta *Raster Calculator* en el software, introduciendo la siguiente ecuación.

$$\left(\text{power} (\text{"\%facumulation\%"} + 13225), (\text{"\%factor_m\%"} + 1) \right) - \text{power} (\text{"\%facumulation\%"}, (\text{"\%factor_m\%"} + 1)) / (\text{power} (115, (\text{"\%factor_m\%"} + 2)) * \text{power} (22.13, \text{"\%factor_m\%"}))$$

Finalmente el factor LS es el producto de ambos factores que al igual que los anteriores fueron trabajados con la herramienta *Raster Calculator*.

- **Factor C**

Para la determinación del factor C se utilizó la tabla de valores de cobertura vegetal detallada en la tabla N° 4 de las unidades que presenta nuestro mapa de cobertura vegetal se tomaron los factores a los que pertenecen.

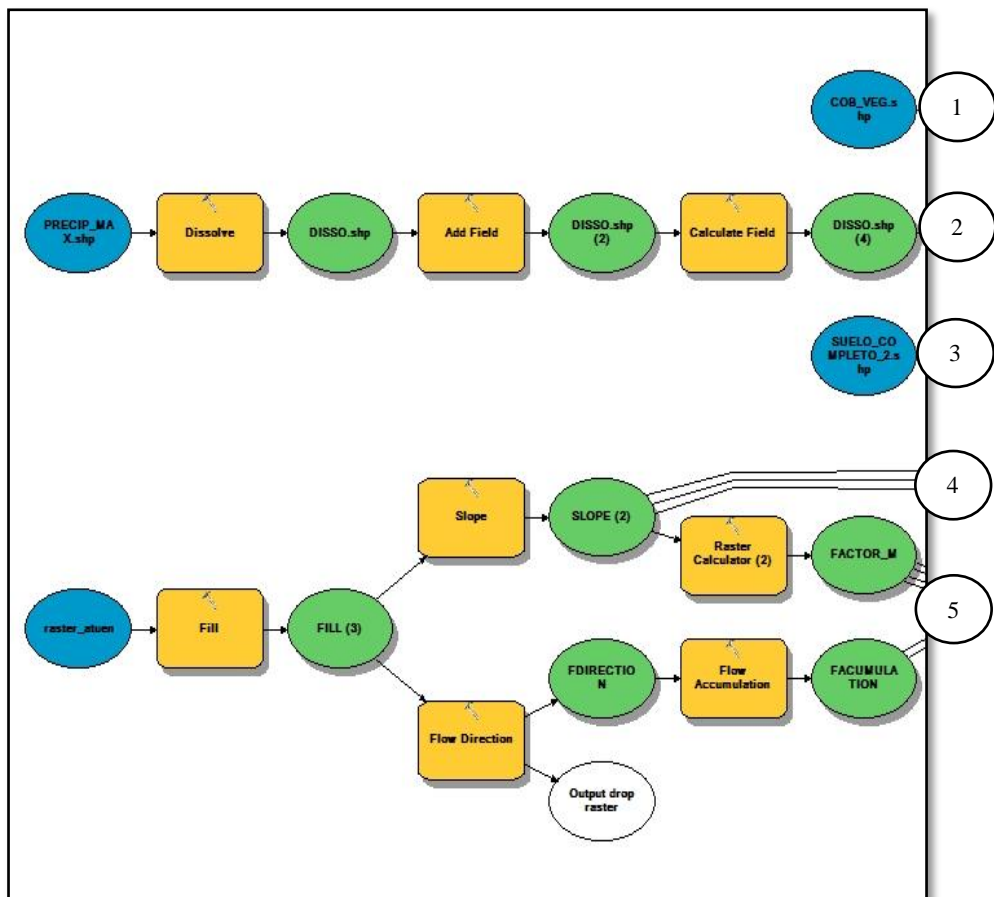
Tabla 32: Valores del Factor C.

Cobertura Vegetal de la Microcuencia	Cobertura según Tabla	Factor C
Bosque Perennifolio	Bosque denso	0.001
Bosque Secundario	Arboleado muy clareado	0.041
Matorrales	Matorral con buena cobertura	0.008
Cultivos Agropecuarios y Vegetación Secundaria	Cultivos anuales herbáceos	0.25
Pajonal	Pasturas	0.15
Bofedal	Pasturas	0.15
Sector Urbano	Urbano	0.2

- **Factor P**

Como el análisis del Factor P corresponde a las prácticas de conservación que se presenten en una zona determinada y teniendo en cuenta que en la microcuenca Atuén no se presentan dichas prácticas conservacionistas ya que por lo general su actividad de producción es la ganadería, se optó por considerar el valor de la unidad.

Finalmente después de analizar y evaluar todos los factores para obtener una aproximación cuantificada de la erosión hídrica en la microcuenca se optó por realizar el modelo con ayuda de la herramienta *Model Builder* del ArcGIS.



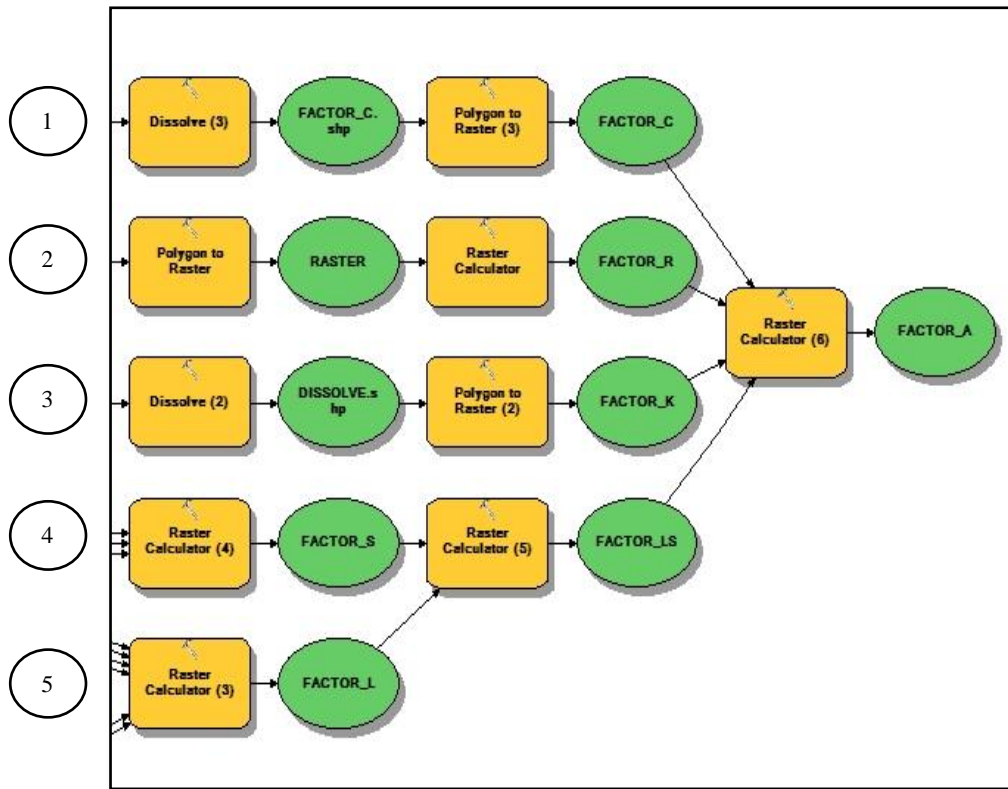


Figura N° 29: *Model Builder* Modelo Cuantificado

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. MODELAMIENTO GEOESPACIAL PARA DETERMINAR LAS ZONAS DE EROSION

4.1.1. Mapa de Pendientes

Fue generado el mapa de Pendientes según la metodología anteriormente mencionada clasificándolo en 7 rangos según el *Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor (2009)*, obteniéndose sus áreas y sus valores porcentuales. Después de otorgarle la calificación correspondiente a cada rango se obtuvo el mapa de la variable de pendientes, tal y como se muestra en la tabla 33. Se tiene que un 19.7 % del territorio (7,393.59 ha) presenta una pendiente entre 0 y 4 %, un 33.8 % del territorio (12,682.50 ha) una pendiente entre 4 y 8 % a lo cual podríamos denominarlas como ligeramente empinadas, mientras que un 27.9 % del territorio (10,485.54 ha) una pendiente entre 8 y 15 %, un 14.6 % (5,495.46 ha) presentan una pendiente entre 15 y 25 %, y un 3.4 % (1,261.48 ha) una pendiente entre 25 y 50 %, a lo cual podríamos denominarlo como moderadamente empinadas, y se tiene un 0.7 % (246.46 ha) del territorio con una pendiente entre 50 a más de 75 % a la cual la podríamos denominar como fuertemente empinadas.

Tabla 33: Resultados Mapa de Pendiente.

Rango de Pendiente	Área (ha)	Área (%)
0 – 4 %	7,393.59	19.70
4 – 8 %	12,682.50	33.80
8 – 15 %	10,485.54	27.90
15 – 25 %	5,495.46	14.60
25 – 50 %	1,261.48	3.40
50 – 75 %	183.94	0.50
> 75 %	62.52	0.20
Total	37,565.00	100.00

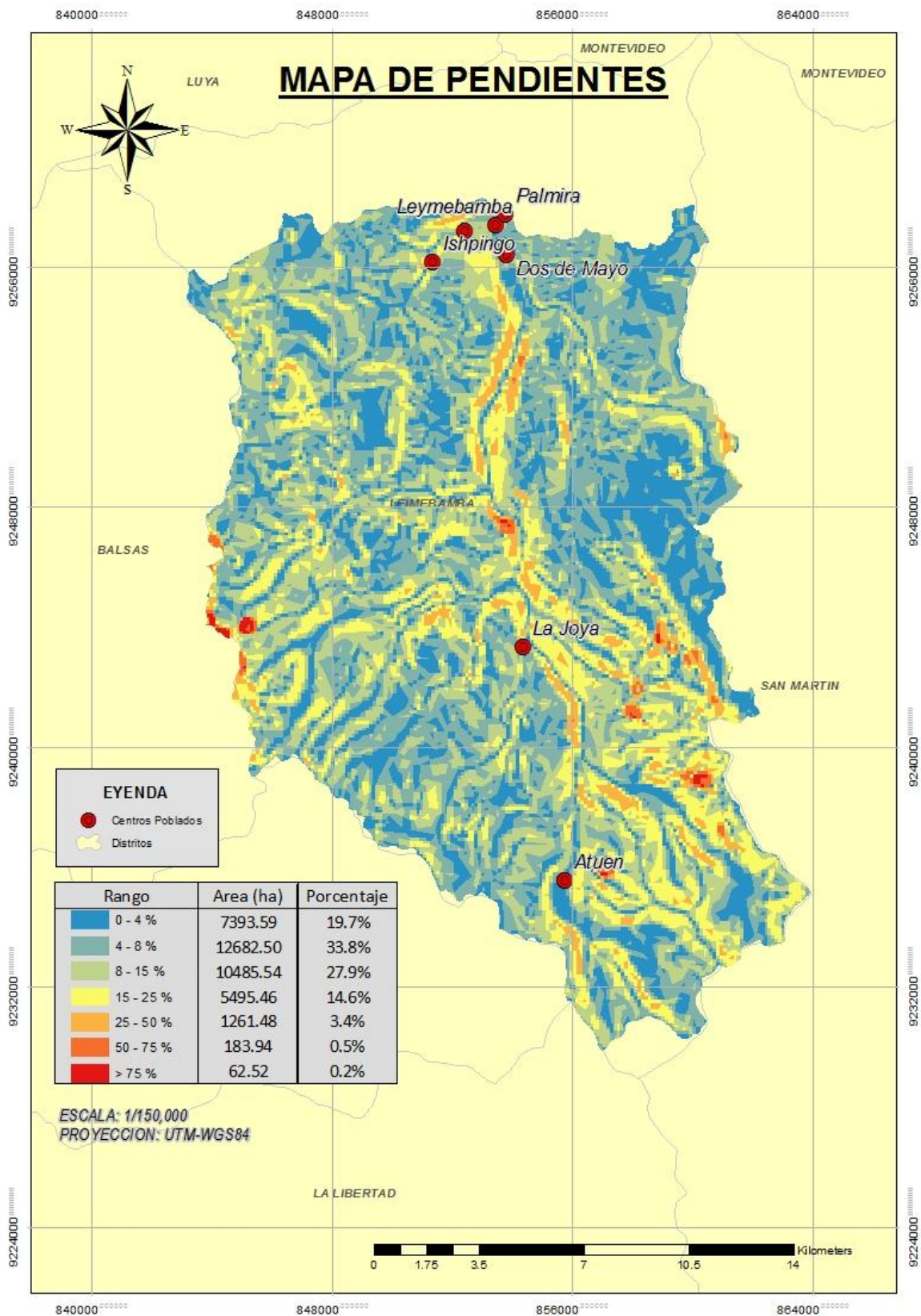


Figura N° 30: Mapa de Pendientes.

4.1.2. Mapa de Suelos

Con respecto al mapa de suelos, después seguir la metodología se obtuvo un total de cuatro unidades de suelos, de lo cual se puede decir que la gran mayoría, un 64.9 % (24,338 ha), del territorio de la microcuenca presenta una textura de suelo tipo Franco Arenoso, mientras que un 35.1 % (13,171 ha) presenta una textura tipo Franco Arcillo Arenoso encontrándose en la parte más boscosa y baja de la microcuenca. La unidad Pajonal de la microcuenca ocupa la mayor cantidad del territorio con un 43.7 % (16,404 ha).

Tabla 34: Resultados Mapa de Suelos.

Unidad de Suelo	Textura	Área (ha)	Área (%)
Leimebamba	franco arenoso	1,379	3.70
Leimebamba - Área Miscelánea	franco arcillo arenoso	13,171	35.10
Pajonal	franco arenoso	16,404	43.70
Totora	franco arenoso	6,555	17.50
Total		37,565.00	100.00

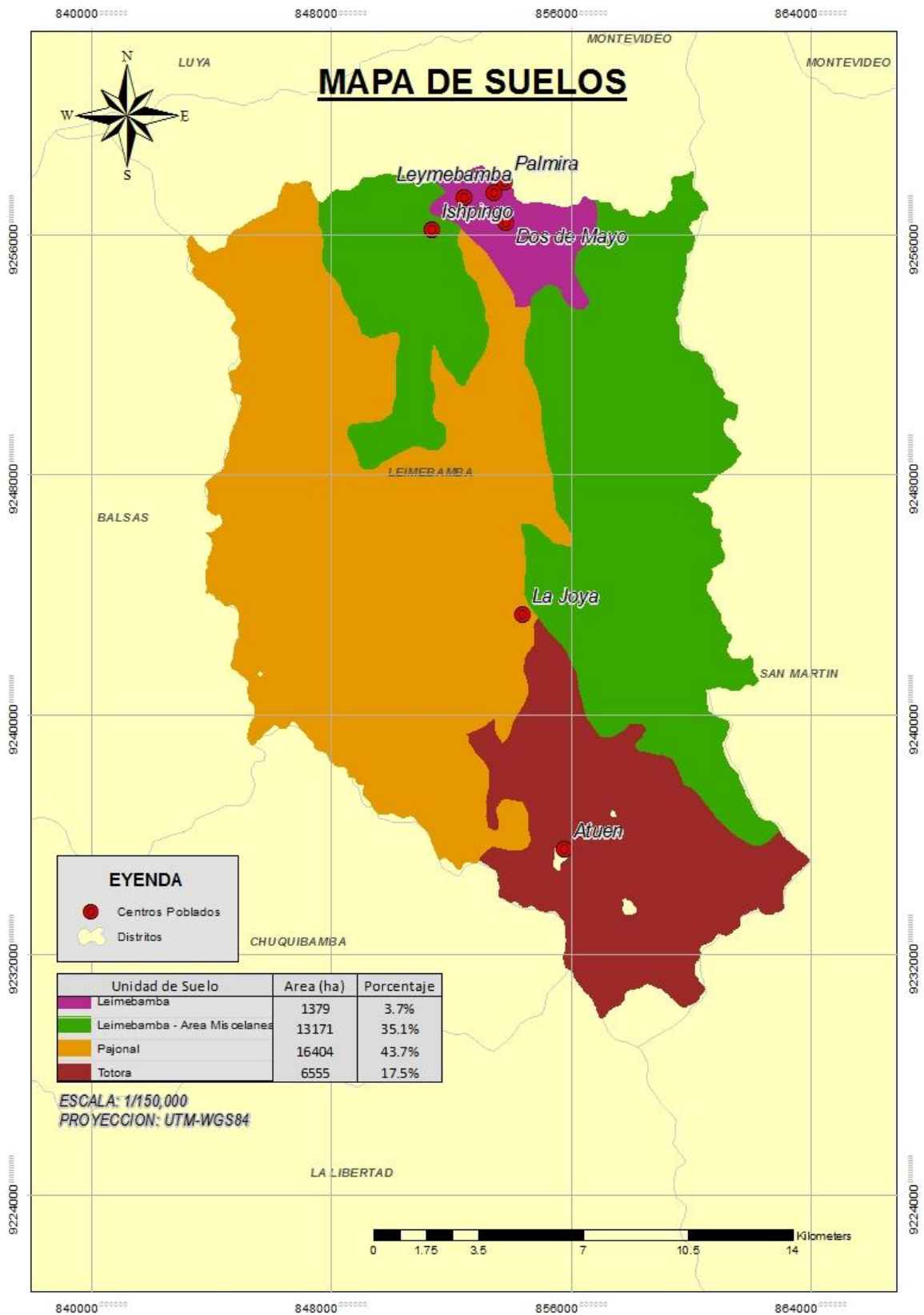


Figura N° 31: Mapa de Suelos.

4.1.3. Mapa de Cobertura Vegetal

Después de obtener los resultados con respecto al mapa de Cobertura Vegetal y clasificándolos según el *Sistema de Clasificación propuesto por la Unión Geográfica Internacional (UGI)*, adaptándolo a nuestra realidad, se observa que la mayor parte del territorio, con un 48.7 % (18,311 ha), se encuentra cubierto por Pajonales (herbazales) ubicándose en la zona más alta de la microcuenca, las zonas boscosas como son los Bosques perennifolios con un 24.4 % (9,762 ha) del territorio y los Bosques secundarios con un 4.4 % (1,668 ha) del territorio, encontrándose en la zona más baja de la microcuenca. La zonas de Cultivos agropecuarios y Vegetación secundaria con un 11 % (4,138 ha) del territorio, donde se pueden encontrar los centros poblados de la microcuenca. Finalmente los Bofedales y Matorrales con un 8.8 y 2.4 % del territorio ocupante una pequeña parte de la microcuenca.

Tabla 35: Resultados Mapa de Cobertura Vegetal.

Unidad de Cobertura	Área (ha)	Área (%)
Bofedal (Herbazal)	3,289	8.80
Bosques perennifolios	9,162	24.40
Bosques secundarios	1,668	4.40
Cultivos agropecuarios y vegetación secundaria	4,138	11.00
Matorrales	899	2.40
Pajonal (Herbazal)	18,311	48.70
Total	37,565.00	100.00

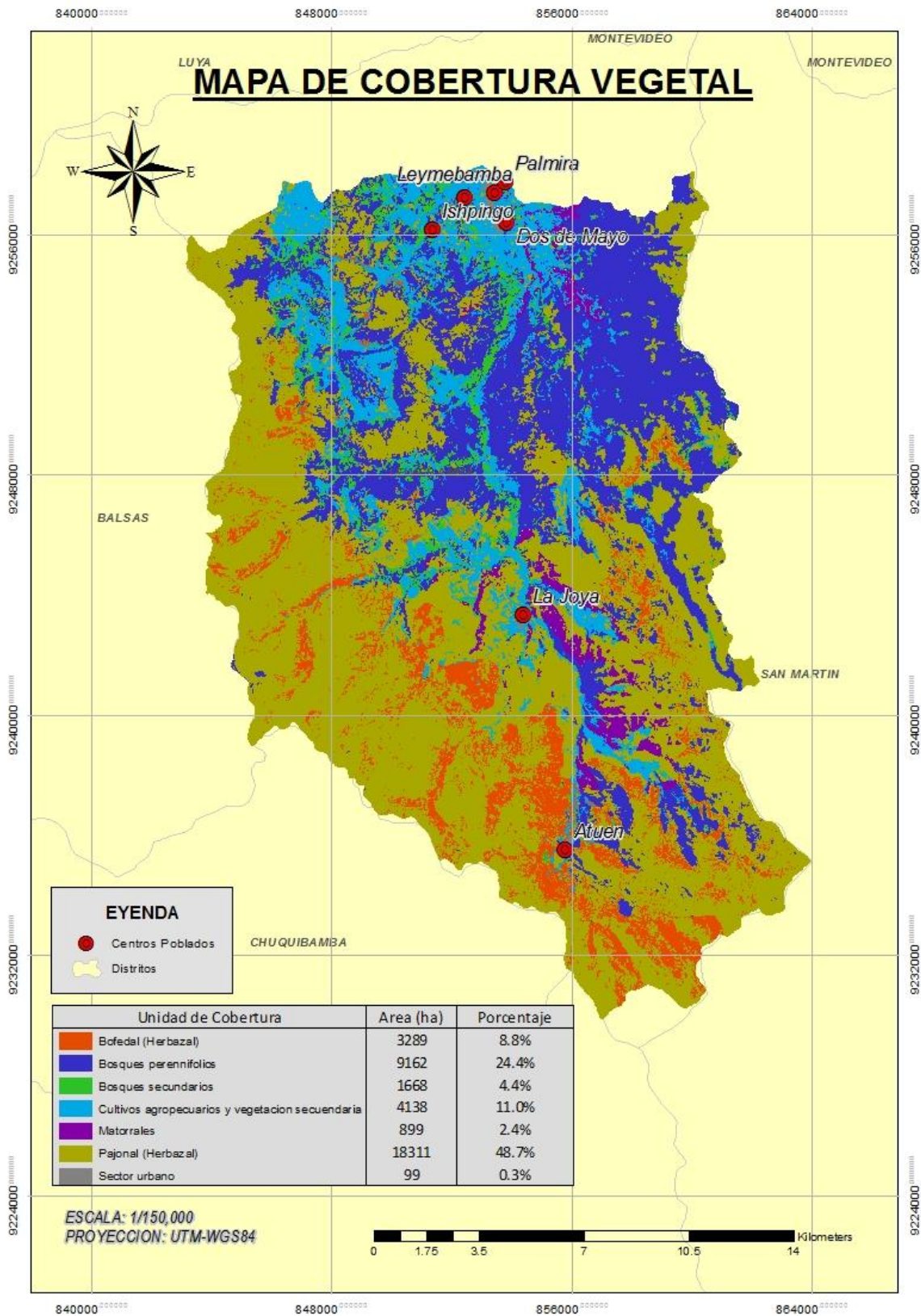


Figura N° 32: Mapa de Cobertura Vegetal.

4.1.4. Mapa de Precipitaciones

Después de evaluar la información brindada por SENAMHI para cada Estación Meteorológica, comprobando las consistencias con los métodos de T de Student y Fisher, se prosiguió con los procedimientos para generación del mapa de precipitaciones.

Tabla 36: Resultados de Consistencia T de Student

Estación	Tdcal	Ttab	Situación
Leimebamba	0.0451	3.306	Tdcal \leq Ttab (Consistente)
Chachapoyas	0.1074	3.306	Tdcal \leq Ttab (Consistente)
Alao	0.0647	3.306	Tdcal \leq Ttab (Consistente)
Saposoá	0.0072	3.306	Tdcal \leq Ttab (Consistente)
Rioja	0.163	3.306	Tdcal \leq Ttab (Consistente)
Soritor	0.2911	3.306	Tdcal \leq Ttab (Consistente)
Pachiza	0.0664	3.306	Tdcal \leq Ttab (Consistente)
Celendín	0.2027	3.306	Tdcal \leq Ttab (Consistente)

Tabla 37: Resultados de Consistencia Fisher.

Estación	Fcal	Ftab	Situación
Leimebamba	0.791	6.39	Fcal \leq Ftab (Consistente)
Chachapoyas	1.079	6.39	Fcal \leq Ftab (Consistente)
Alao	1.381	6.39	Fcal \leq Ftab (Consistente)
Saposoá	0.902	6.39	Fcal \leq Ftab (Consistente)
Rioja	0.895	6.39	Fcal \leq Ftab (Consistente)
Soritor	0.816	6.39	Fcal \leq Ftab (Consistente)
Pachiza	1.02	6.39	Fcal \leq Ftab (Consistente)
Celendín	1.683	6.39	Fcal \leq Ftab (Consistente)

Teniendo en cuenta que la microcuenca se encuentra en una zona de selva alta con características lluviosas, se determinó el mapa de precipitaciones, clasificándolo en seis rangos según la precipitación máxima en un día. Se observa que las precipitaciones presentan un incremento hacia el sur y a su vez más alta de la microcuenca, ascendiendo hasta los 18 mm por día.

Tabla 38: Resultados Mapa de Precipitaciones.

Rango (mm/día)	Área (ha)	Área (%)
15 - 15.5	5,211.4	13.90
15.5 - 16	9,918.1	26.40
16 - 16.5	9,169.3	24.40
16.5 - 17	8,601.1	22.90
17 - 17.5	4,387.6	11.70
17.5 - 18	360.3	1.00
Total	37,565.00	100.00

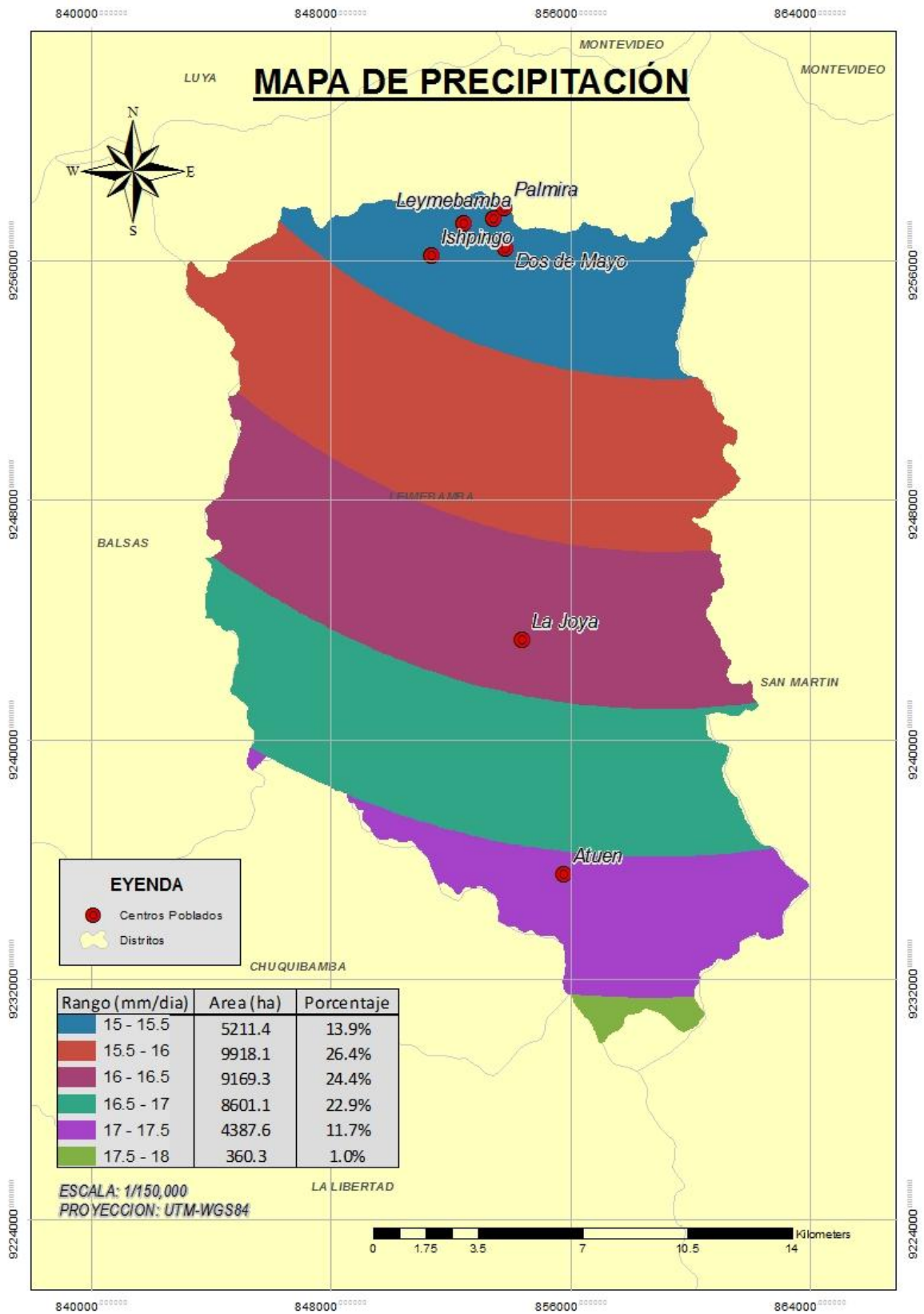


Figura N° 33: Mapa de Precipitaciones.

4.1.5. Mapa de Fisiografía

Después de analizar el mapa fisiográfico de la microcuenca para otorgarles la calificación correspondiente y tomando como base la clasificación fisiográfica, se obtuvo lo siguiente: se observa que un territorio del 39 % (14,613.07 ha) se encuentra dentro de la unidad de la Vertiente montañosa moderadamente empinada y un 11 % (3,978.25 ha) dentro de Ladera de montaña moderadamente empinada, lo cual concuerda con el territorio analizado en el mapa de pendientes donde se tiene casi un 50 % del territorio con pendientes moderadamente empinadas. Por otro lado un 21 % (7,972.50 ha) del territorio perteneciente a Ladera de montaña fuertemente empinada, debido a lo accidentado de la topografía en algunas zonas de la microcuenca.

Tabla 39: Resultados Mapa de Fisiografía.

Unidad Fisiográfica	Área (ha)	Área (%)
Cima de montaña	7,917.94	21.00
Colina alta moderadamente disectada	1,697.18	5.00
Ladera de montaña fuertemente empinada	7,972.50	21.00
Ladera de montaña moderadamente empinada	3,978.25	11.00
Piedemonte	1,358.65	4.00
Vertiente montañosa moderadamente empinada	14,613.07	39.00
Total	37,565.00	100.00

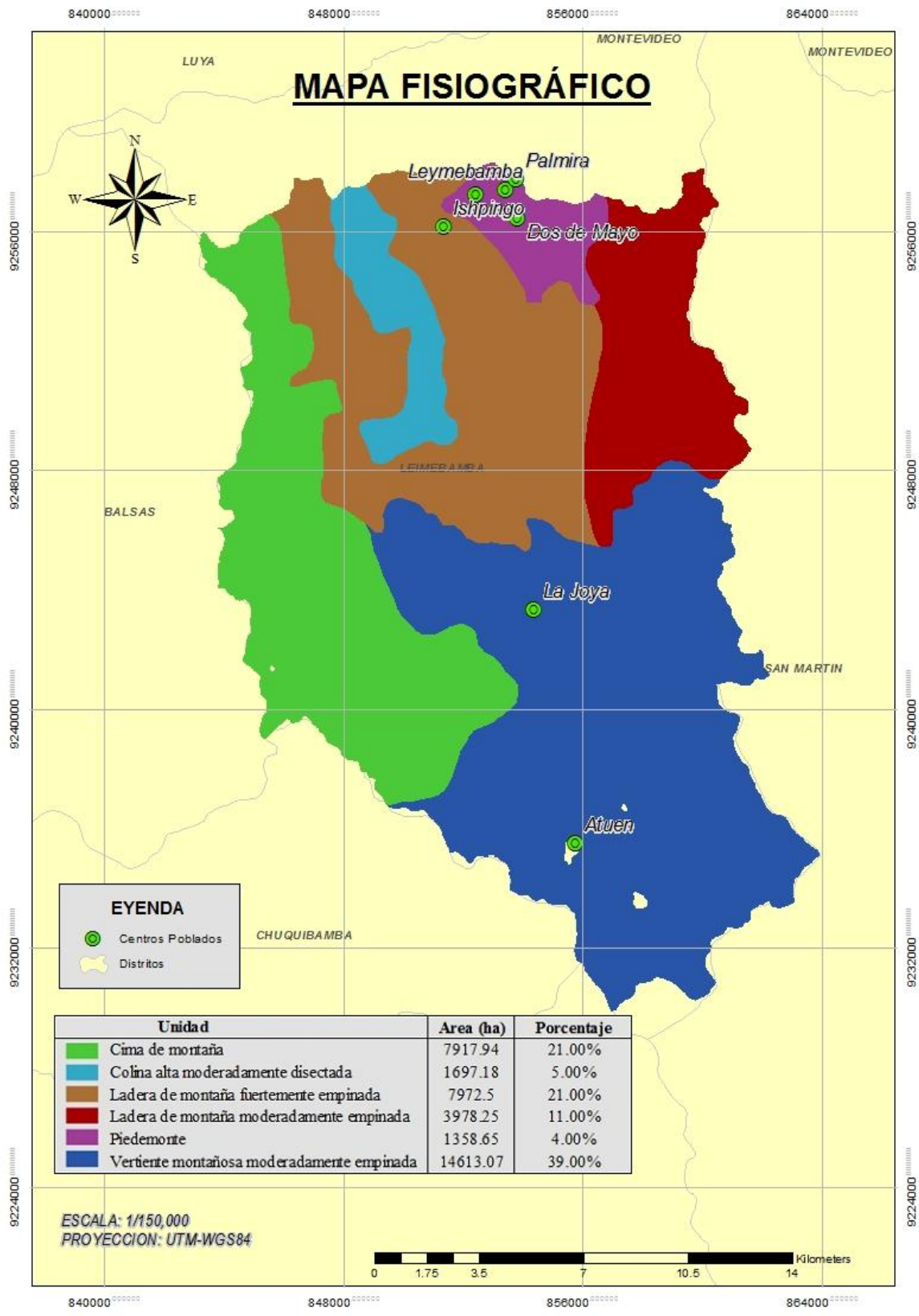


Figura N° 34: Mapa Fisiográfico.

4.1.6. Mapa Geológico

En los siguientes resultados Geológicos se observa que predomina la Unidad Geológica del Grupo Oriente con un territorio de 42.8 % (16,098 ha) perteneciente a la Era Geológica del Mesozoico y caracterizado por estar conformado por cuarzosas blancas que generan escarpas muy empinadas. La Formación Sarayaquillo que presenta un territorio ocupado del 25 % (9,378 ha) perteneciente a la era del Mesozoico y caracterizado por presentar principalmente lodolitas, limolitas y areniscas rojas intercaladas en estratos medios. El Complejo del Marañón con un territorio del 20.60 % (7,747 ha) perteneciente a la era del Paleozoico y caracterizado por predominar las pizarras, cuarcitas filitas y areniscas. Finalmente la Formación Chonta y Grupo Mitu con un 7.7 y 3.7 %, ocupando una menor cantidad del territorio.

Tabla 40: Resultados Mapa Geológico.

Unidad Geológica	Era Geológica	Área (ha)	Área (%)
Grupo Oriente	Mesozoico	16,098	42.80
Formación Chonta	Mesozoico	2,903	7.70
Complejo del Marañón	Paleozoico	7,747	20.60
Grupo Mitu	Paleozoico	1,392	3.70
Formación Sarayaquillo	Mesozoico	9,378	25.00
Total		37,565.00	100.00

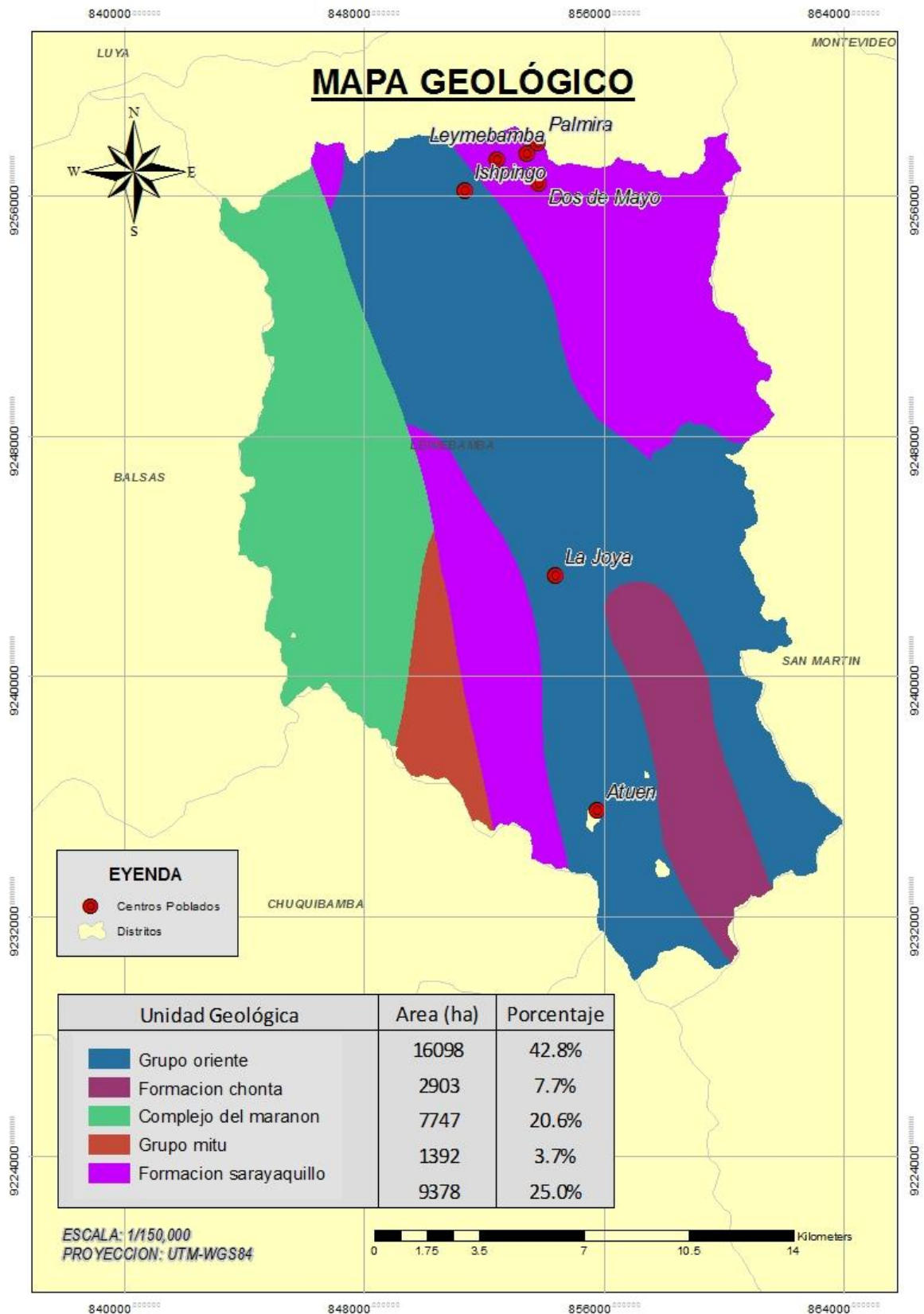


Figura N° 35: Mapa Geológico.

4.1.7. Mapa de Capacidad de Uso Mayor

El mapa de Capacidad de Uso Mayor del Suelo se extrajo del estudio de Mesozonificación de la Región Amazonas y fue adaptado a la microcuenca Atuén. La capacidad de uso mayor se define como el uso potencial que presenta una determinada zona para desarrollarse en sus distintas capacidades; en la microcuenca Atuén podemos encontrar las siguientes unidades: pastos nativos o adaptados, producción forestal y/o regeneración forestal y protección, que según el Reglamento de Clasificación de Tierras (2009) pertenecen a los grupos, Tierras aptas para pastoreo (P), Tierras aptas para producción forestal (F) y Tierras de protección (X) respectivamente.

Según el mapa de la Capacidad de Uso Mayor de la microcuenca, esta presenta un 48.7 % del territorio destinado a tierras de protección, un 29.7 % con potencialidades para producción forestal y un 21.5 % con potencialidades para la producción de pastos.

Tabla 41: Resultados Mapa Capacidad de Uso Mayor.

Unidad	Área (ha)	Porcentaje (%)
Pastos nativos o adaptados	8,069	21.50%
Producción forestal y/o regeneración forestal	11,149	29.70%
Protección	18,301	48.70%
Total	37,565.00	100.00

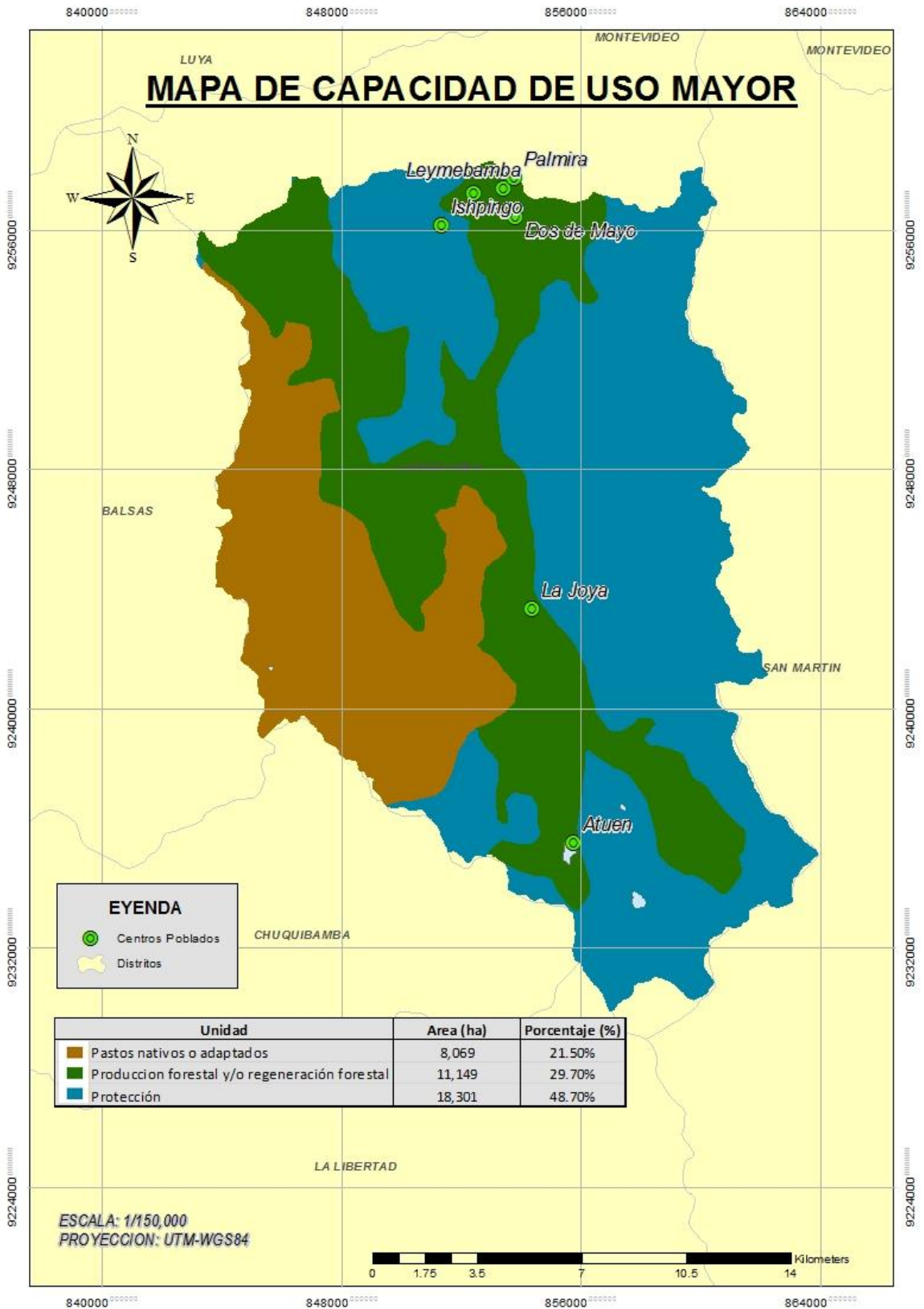


Figura N° 36: Mapa Capacidad de Uso Mayor.

4.1.8. Mapa de Conflicto de Uso

En el Mapa de Conflicto de Uso se aprecia las zonas que están siendo sobre utilizadas, sub utilizadas y las que presentan una conformidad entre su uso actual y su capacidad de uso mayor del suelo. Se identifica que gran parte del territorio, con un 74.2 % (27,888.1 ha), presenta un uso conforme del suelo, es decir que en la actualidad está conformada por áreas a las que se encuentra destinada incluyendo bosques y zonas de pastizales. Por otro lado se observa un 24.9 % (9,358.5 ha) del territorio en un estado de sobre uso, esto causado por actividades agropecuarias o de deforestación sobre estas zonas. Finalmente una parte mínima del territorio con un 0.7 % (272.1 ha) perteneciente a un estado de sub utilización las cuales se encuentran destinadas a la agricultura o pastoreos y no están siendo aprovechadas adecuadamente.

Tabla 42: Resultados Mapa Conflicto de Uso.

Situación	Área (ha)	Área (%)
USO CONFORME	27,888.1	74.20
SOBRE USO	9,358.5	24.90
SUB USO	272.1	0.70
Total	37,565.00	100.00

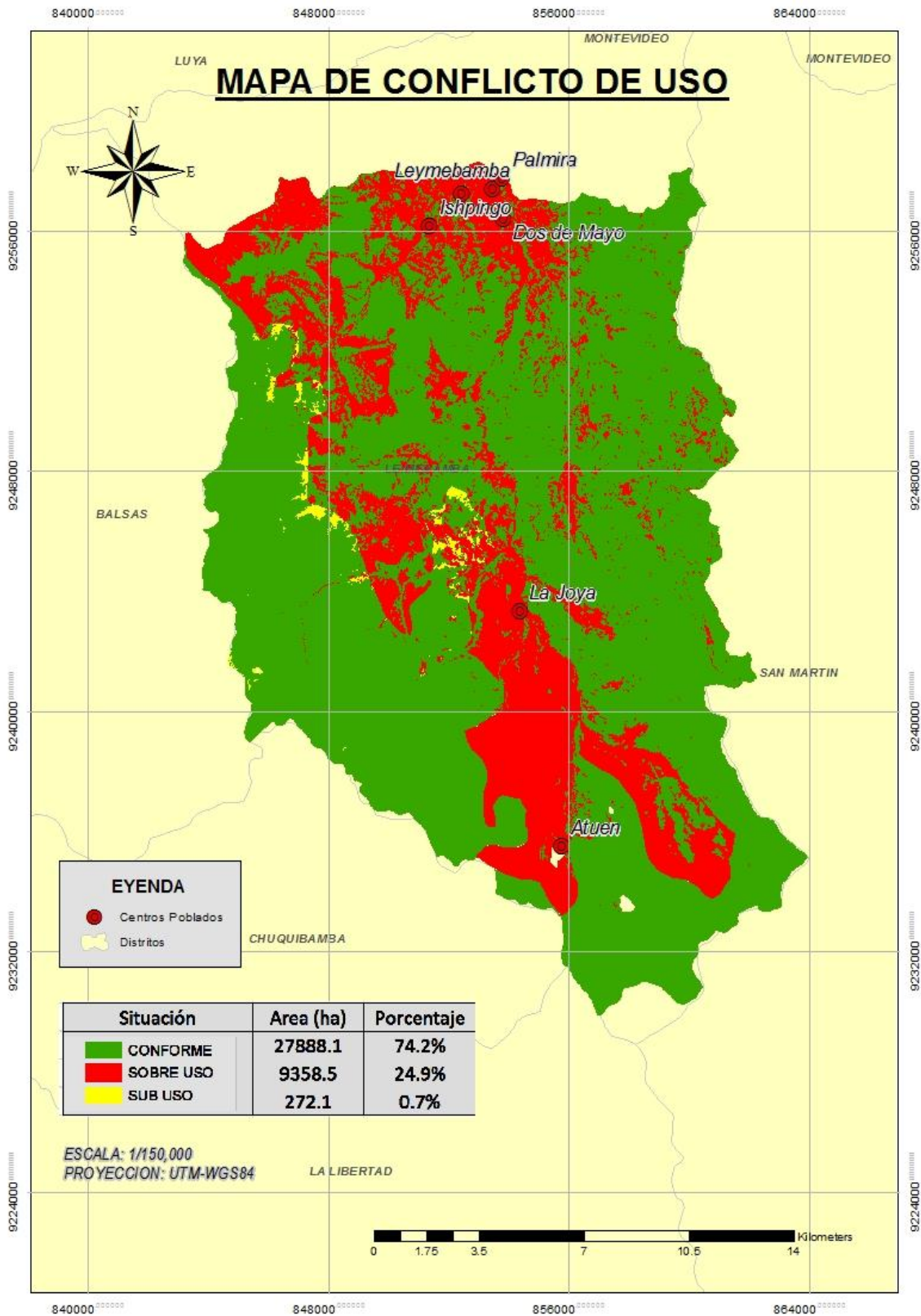


Figura N° 37: Mapa Conflicto de Uso.

4.2. CUANTIFICACION DE LA EROISON HIDRICA

4.2.1. Factor R

Después de procesar la información de precipitación procedente de las diferentes Estaciones meteorológicas, se procedió a determinar los valores del Factor R (erosividad) mediante la ecuación mencionada anteriormente, convertido a Raster para el proceso de cuantificación se tuvo el siguiente mapa clasificado en cinco rangos. Se observa un incremento del factor según la altitud de la microcuenca, esto debido a las elevadas precipitaciones que se producen en estas zonas.

Tabla 43: Resultados Mapa Factor R.

Factor R (MJ-cm/ha*h)	Área (ha)	Área (%)
0 - 9.98	5,220.68	13.90
9.98 - 10.33	9,904.80	26.40
10.33 - 10.68	9,185.25	24.50
10.68 - 11.02	8,590.77	22.90
11.02 - 11.72	4,748.11	12.60
Total	37,565.00	100.00

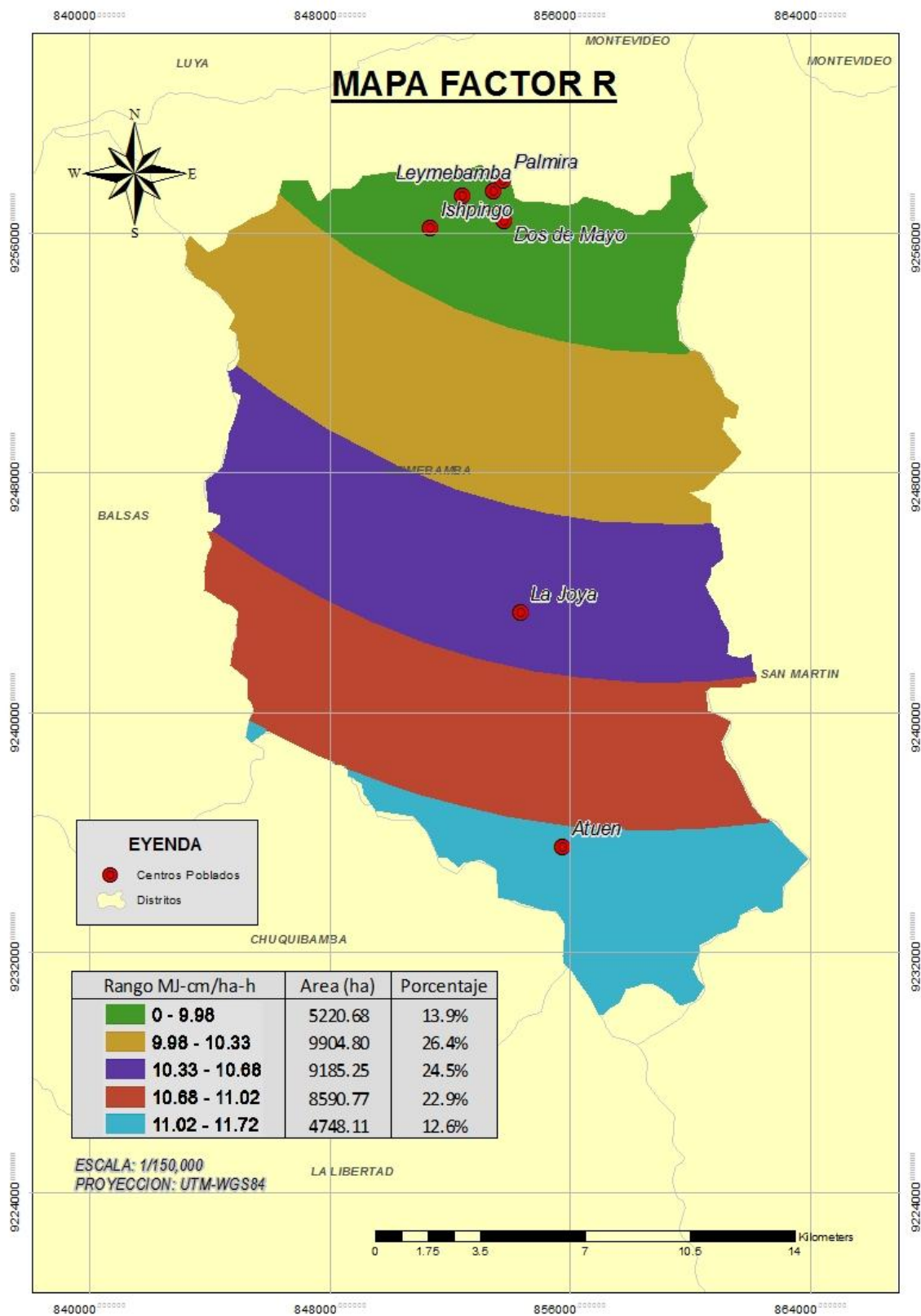


Figura N° 38: Mapa Factor R.

4.2.2. Factor K

Luego de procesar la información recopilada en campo con respecto a las unidades edáficas y sus clases texturales pertenecientes a la microcuenca, se obtuvo el Factor K (erodabilidad). Al igual que todos los factores para determinar la cuantificación se convirtió en raster y fue clasificado en tres rangos, debido a los cuatro valores significativos del factor K que presenta la microcuenca.

Tabla 44: Resultados Mapa Factor K.

Rango (Ton-ha*h/MJ*ha*cm)	Área (ha)	Área (%)
0.09 - 0.11	13,181.11	35.00
0.11 - 0.20	16,422.24	44.00
0.20 - 0.23	7,946.36	21.00
Total	37,565.00	100.00

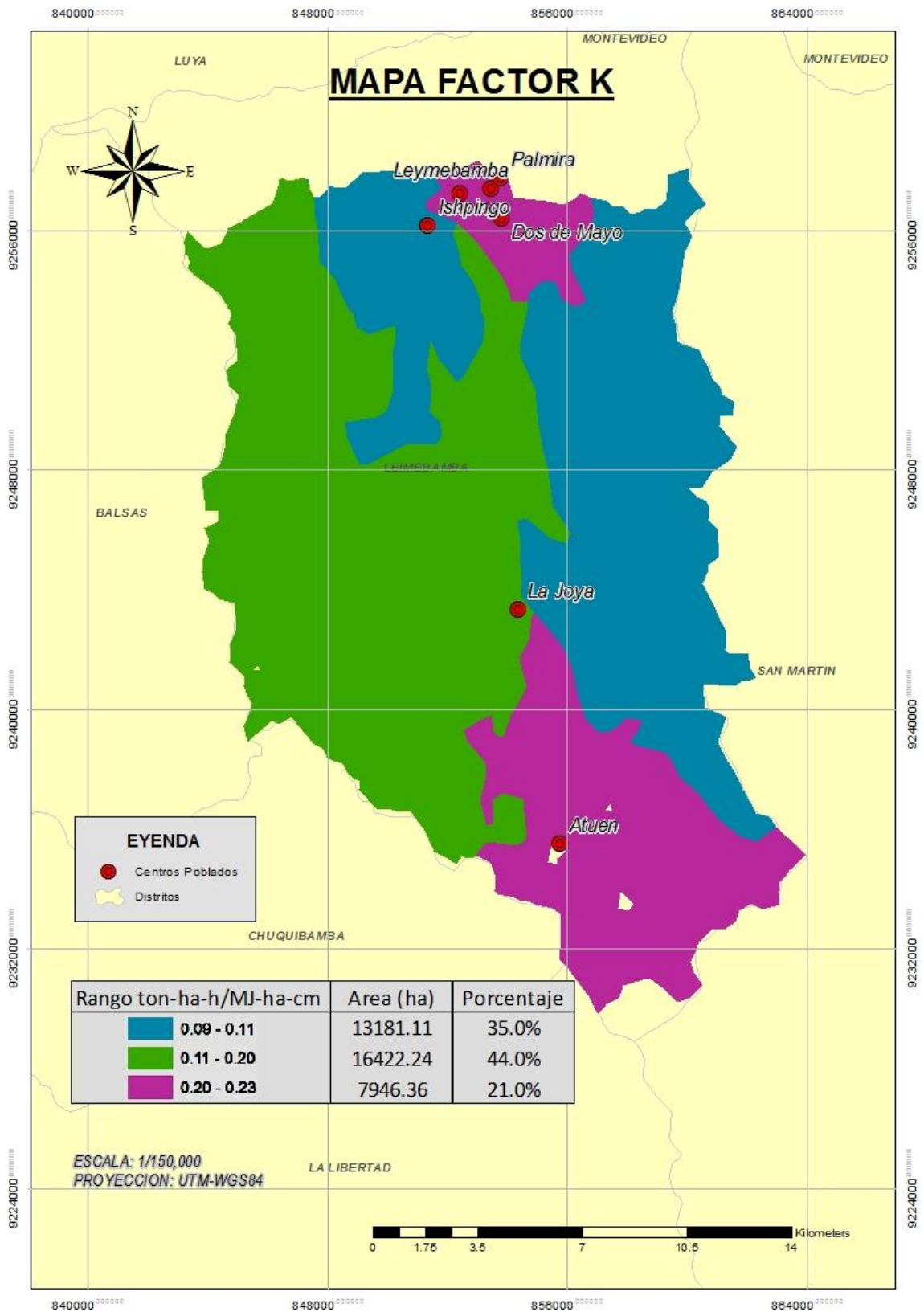


Figura N° 39: Mapa Factor K.

4.2.3. Factor LS

El factor LS es el producto del Factor L y el Factor S, refiriéndose el primero a la longitud de la pendiente y el segundo a su inclinación; fue clasificado en cinco rangos que van en ascenso; se observa que gran parte del territorio, un 68 % (24,422.56 ha), presentan valores elevados de este factor, esto debido a las fuertes pendientes q posee la microcuenca, mientras que un 32 % (11.95.11 ha) del territorio presenta bajos valores del factor LS.

Tabla 45: Resultados Mapa Factor LS.

Rango	Área (ha)	Área (%)
0.01 - 8.82	11,995.11	32.00
8.82 - 15.87	13,166.38	35.00
15.87 - 23.97	8,134.91	22.00
23.97 - 36.31	3,548.73	9.00
36.31 – 89.88	572.54	2.00
Total	37,565.00	100.00

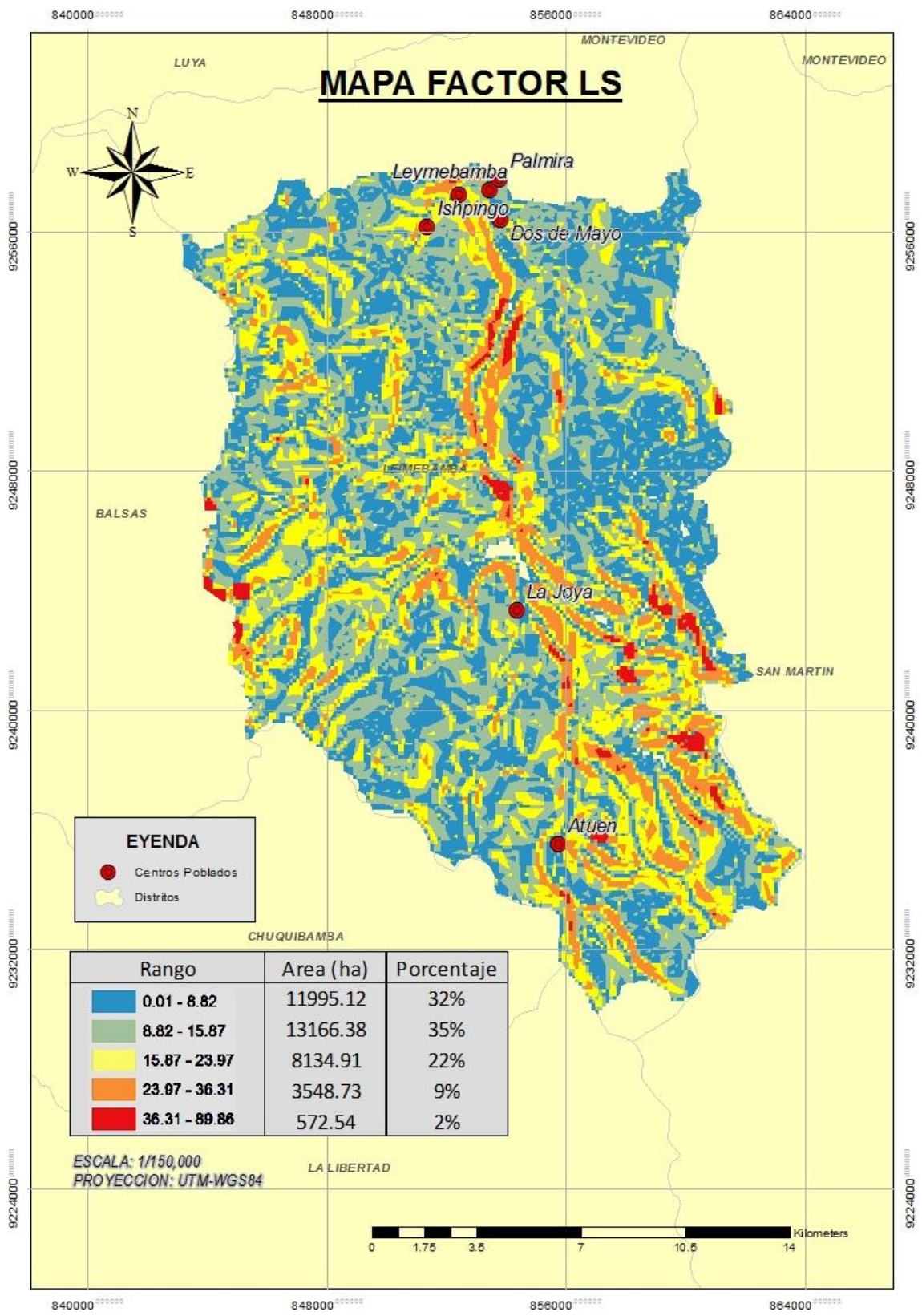


Figura N° 40: Mapa Factor LS.

4.2.4. Factor C

Para la determinación del Factor C, quien no presenta unidades, se analizó la clasificación descrita en la tabla 4 y se le otorgo los valores teniendo en cuenta el tipo de cobertura que presento cada unidad de la variable; similar a los anteriores factores se convirtió a raster y se clasifíco en cinco rangos. Se observa que gran parte del territorio, 58 % (21,691.74 ha), se encuentra en un rango de 0.04 y 0.19, ubicándose en estas zonas los herbazales (bofedales y pajonales). Los valores mínimos corresponden a las zonas boscosas, y los valores máximos a las zonas más vulnerables a ser erosionadas.

Tabla 46: Resultados Mapa Factor C.

Rango	Área (ha)	Área (%)
0.00 - 0.001	9,187.71	24.00
0.001 - 0.007	893.58	2.00
0.007 - 0.04	1,570.53	4.00
0.04 - 0.19	21,691.74	58.00
0.19 - 0.25	4,244.60	11.00
Total	37,565.00	100.00

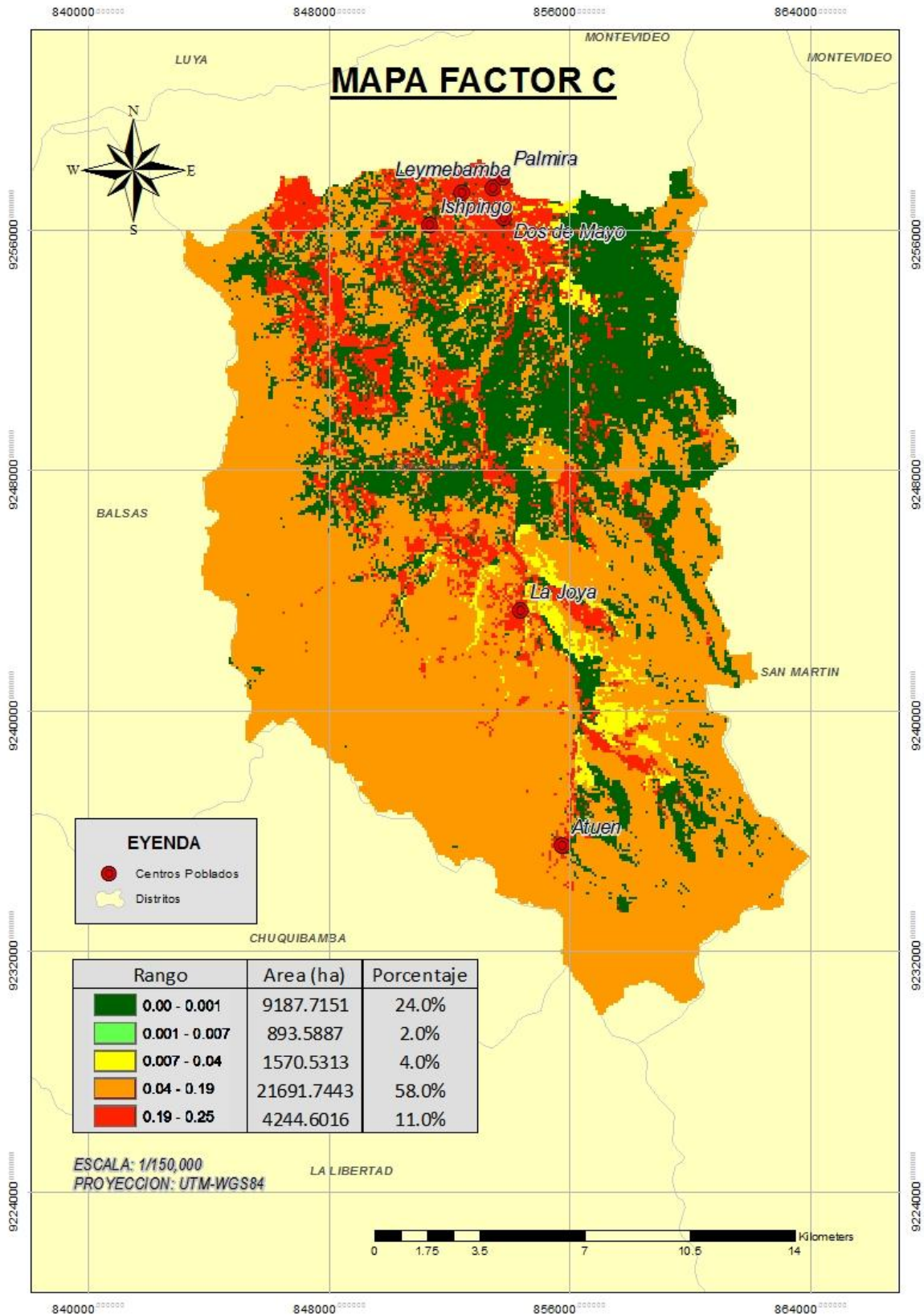


Figura N° 41: Mapa Factor C.

4.3. ZONAS DE EROSIÓN EN LA MICROCUENCA

Analizando el mapa de las Zonas de Erosión de la microcuenca, se puede observar que un bajo porcentaje del territorio, 10.7 % (4,003.4 ha), se encuentra con un alto riesgo erosivo, resultado que bien es cierto no es alarmante; esto se observa en la zona sur de la microcuenca, donde las precipitaciones son las más elevadas y se tienen coberturas poco densas. La zona con presencia de riesgo erosivo medio ocupa un territorio de 45.4 % (17,048.4 ha), esto debido al tipo de cobertura vegetal que se encuentra en estas zonas, como son los pajonales y bofedales; también presenta elevadas precipitaciones. Finalmente las zonas con un riesgo erosivo bajo ocupan un 43.8 % (16,463.4 ha) del territorio, se encuentran en zonas con coberturas densas como bosques y matorrales y en la parte norte de la microcuenca donde se presentan las precipitaciones más bajas del territorio. Se añaden a todo esto los factores topográficos que tienen una gran influencia para el desarrollo del procedimiento.

Tabla 47: Resultados Mapa Físico de Erosión.

Rango Erosivo	Área (ha)	Área (%)
ALTO	4,003.4	10.70
MEDIO	17,048.4	45.40
BAJO	16,463.4	43.80
Total	37,565.00	100.00

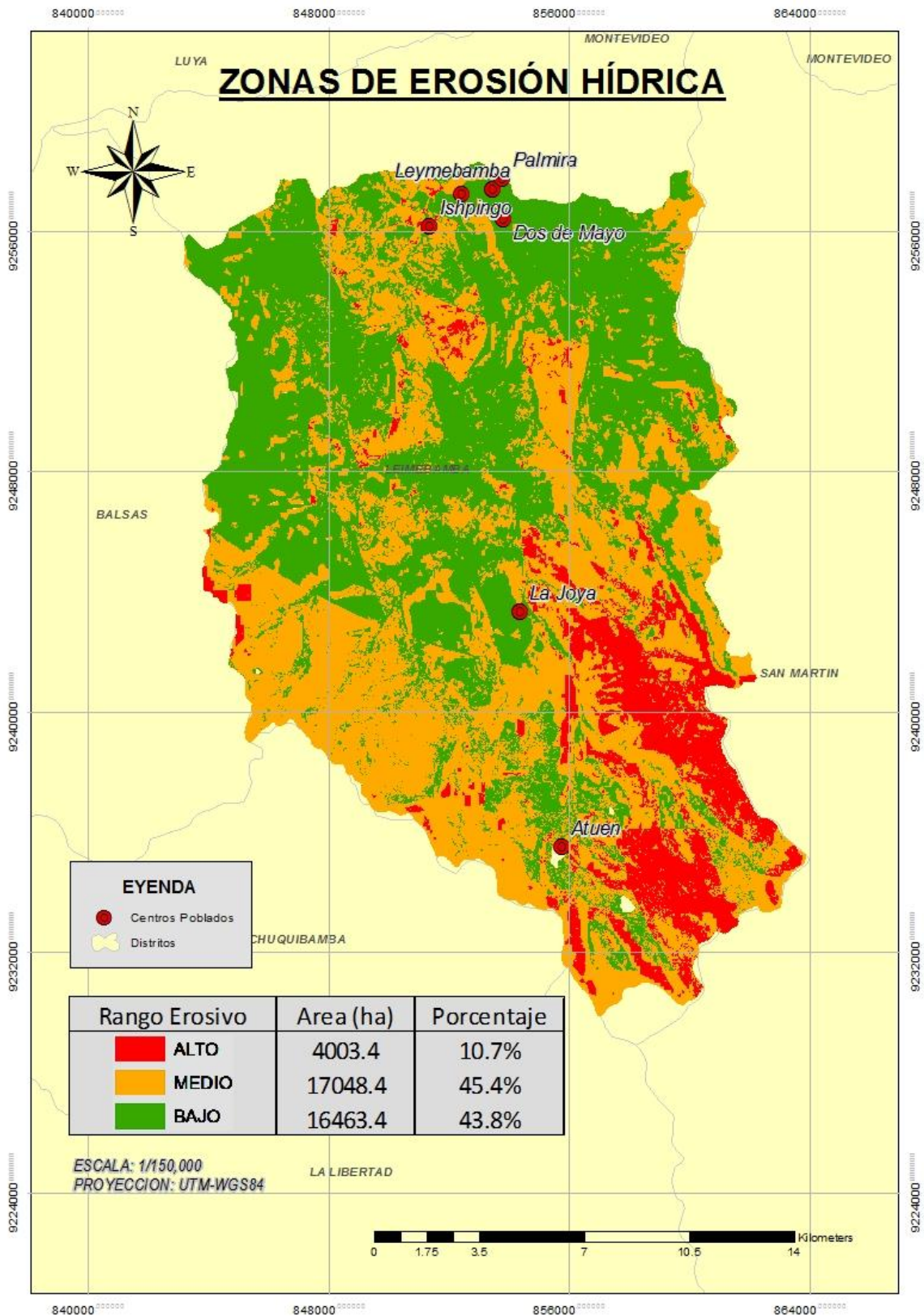


Figura N° 42: Mapa de Zonas de Erosión.

4.4. ASPECTOS SOCIOECONOMICOS EN RELACION A LAS ZONAS DE EROSION EN LA MICROCUENCA

El mapa de Aspectos Socioeconómicos en relación a las Zonas de Erosión de la Microcuenca nos indica rangos cualitativos en los cuales se puede tener una percepción del nivel de riesgo erosivo en el que se encuentran las zonas estudiadas; para lo cual, se realizó la integración de las diversas variables ya mencionadas anteriormente. Se observa que un 33.4 % (12,549.13 ha) del territorio de la microcuenca, se encuentra en una situación de riesgo erosivo medio y bajo nivel socioeconómico y un 32.7 % (12,298.27 ha) con una situación de riesgo erosivo y nivel socioeconómico bajo; ambas unidades presentan una situación socioeconómica desfavorable, pero un riesgo erosivo de niveles medio a bajos. Por otro lado se tiene un 8.7 % (3,278.4 ha) del territorio en una situación más crítica; con un riesgo erosivo alto y bajos niveles socioeconómicos.

Tabla 48: Resultados Mapa Físico - Social de Erosión.

Descripción	Área (ha)	Área (%)
Riesgo Erosivo Bajo y Alto Nivel Socioeconómico	141.71	0.40%
Riesgo Erosivo Alto y Bajo Nivel Socioeconómico	3,278.40	8.70%
Riesgo Erosivo y Nivel Socioeconómico Bajo	12,298.27	32.70%
Riesgo Erosivo Medio y Bajo Nivel Socioeconómico	12,549.13	33.40%
Riesgo Erosivo y Nivel Socioeconómico Medio	4,468.20	11.90%
Riesgo Erosivo Medio y Alto Nivel Socioeconómico	720.57	1.90%
Riesgo Erosivo Bajo y Nivel Socioeconómico Medio	4,012.24	10.70%
Total	37,565.00	100.00

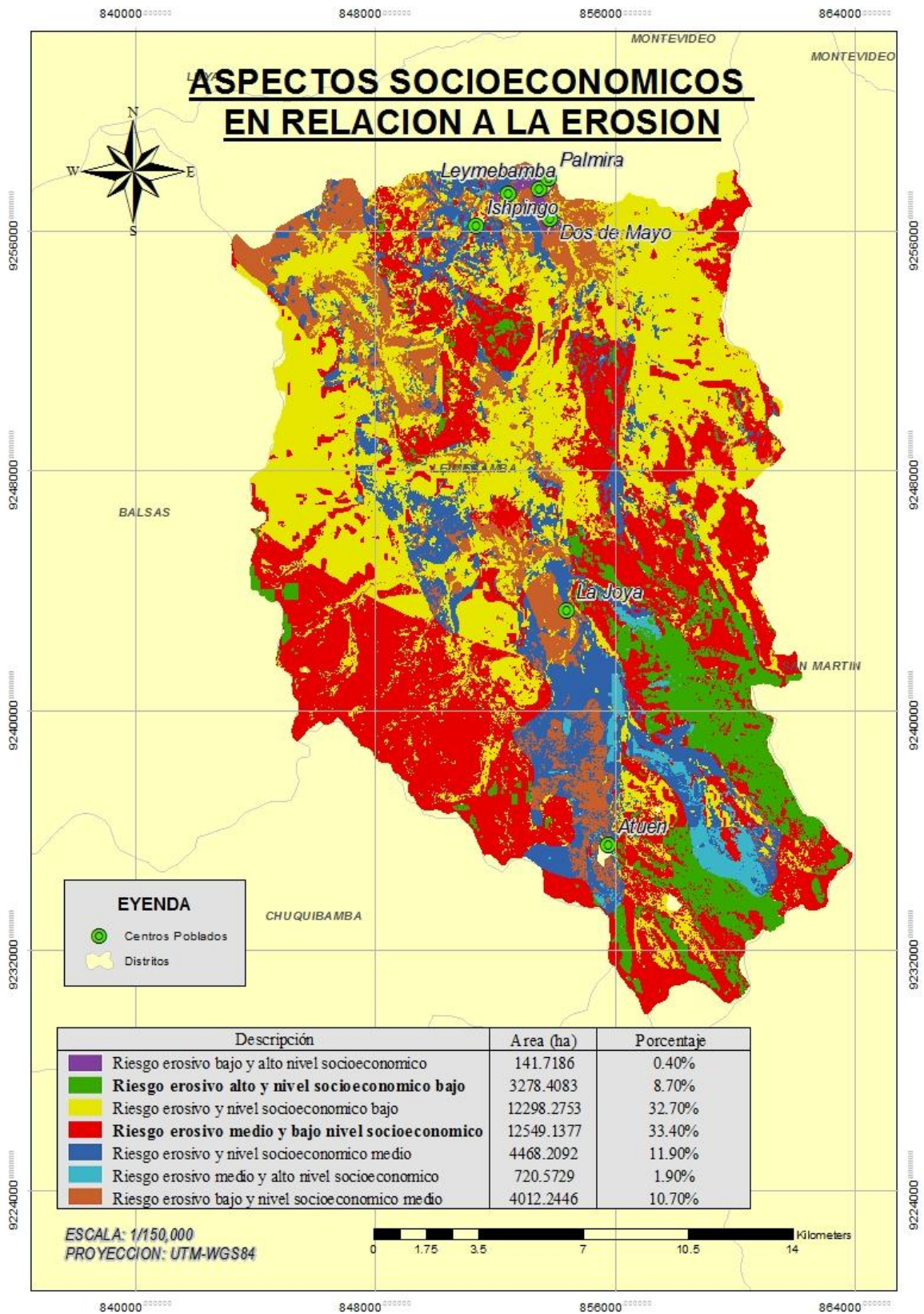


Figura N° 43: Mapa Físico - Social de Erosión.

4.5. CUANTIFICACION DE LA EROSIÓN HIDRICA

Se realizó el proceso de cuantificación de la erosión basándose en la Ecuación Universal de Perdía de Suelos (USLE), la cual nos da una estimación del valor numérico de la pérdida de suelo que ocurre dentro de la microcuenca analizada. Para lo cual se establecieron factores influyentes; dicha información fue procesada, obteniéndose así como resultado valores en unidades de toneladas por hectárea al año de pérdida de suelo, se clasifico en cinco rangos y se determinó su valor promedio.

El 97 % (36,781.3 ha) del territorio, presenta valores mínimos de perdida de suelo, menores a 10 tn/ha-año, clasificándose en un grado de erosión de ligera a nula, según la clasificación proporcionada por la FAO (tabla 6). Mientras que un 2.1 % (399.9 ha) del territorio, se encuentra en un rango con grados de erosión moderada, ubicándose en estas zonas los centros poblados, que debido a sus actividades, provocan estos efectos en los suelos.

Tabla 49: Resultados Mapa Cuantificado de Erosión.

Erosión (Tn/ha-año)	Área (ha)	Área (%)
0.6407	16,222.5	43.20
2.3491	12,036.5	32.00
4.9118	6,227.0	16.60
8.9161	2,295.3	6.10
19.3272	399.9	2.10
Total	37,565.00	100.00

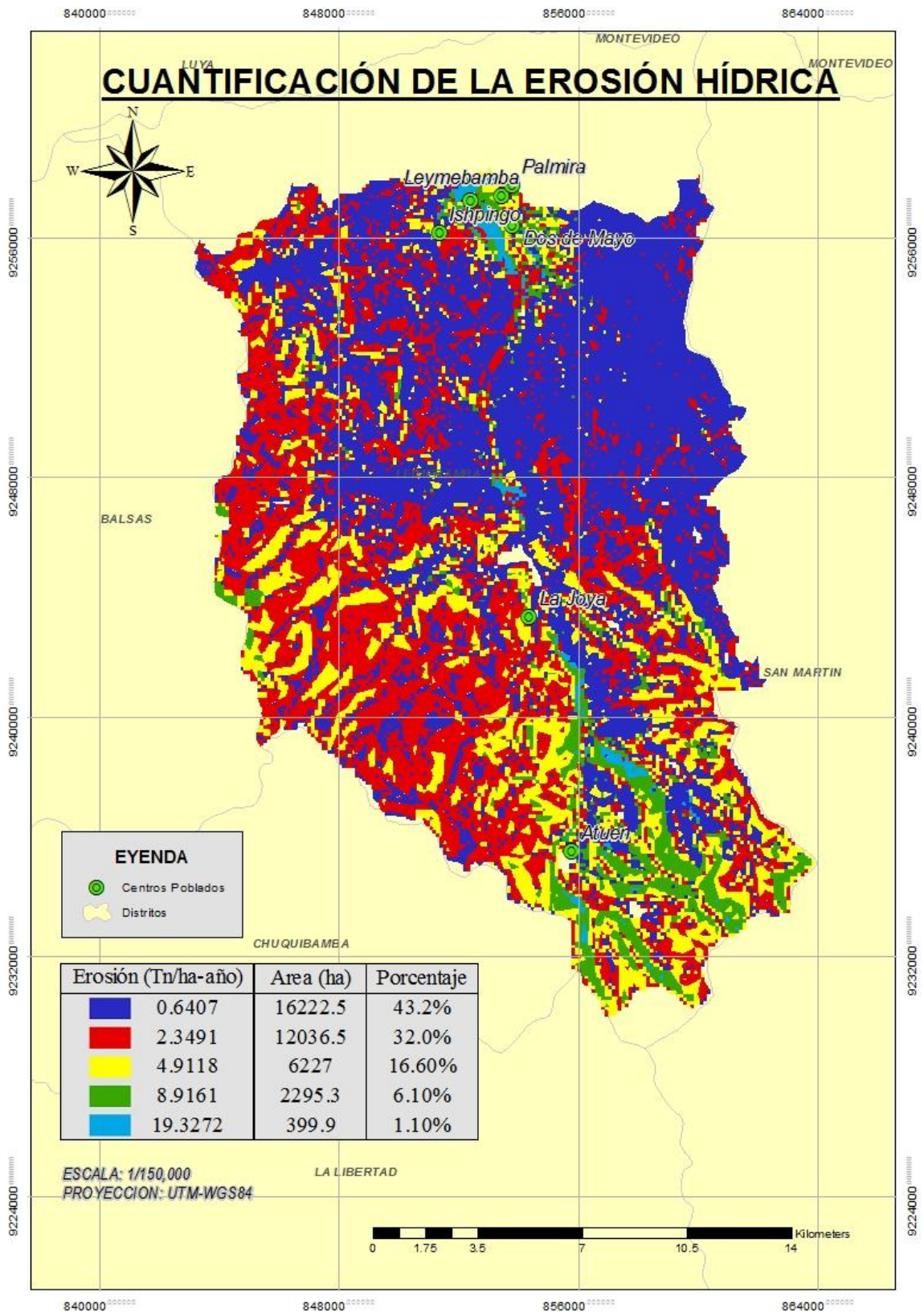


Figura N° 44: Mapa Cuantificado de Erosión Hídrica.

IV. CONCLUSIONES

- El procesamiento de variables con la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (RUSLE) utilizando imágenes de satélite y procesadas mediante el Sistema de Información Geográfica, nos permitió estimar la pérdida de suelo dentro de la microcuenca del río Atué. Obteniendo, un área de 16222.5 ha con una pérdida de 0.6407 Tn/ha-año, 12036.5 ha una pérdida de 2.3491 Tn/ha-año, 6227 ha una pérdida de 4.9118 Tn/ha-año, en 2295.3 ha una pérdida de 8.9161 Tn/ha-año y en 399.9 ha una pérdida de 19.32 Tn/ha-año de suelo. Teniendo en cuenta la clasificación de la FAO se puede decir que gran parte del territorio se encuentra con un grado de erosión de ligero a moderado ya que presentan valores menores a 50 Tn/ha-año.
- Se construyó la base de datos geoespacial en la que se selecciona y se prioriza las siguientes variables: pendiente, suelos, precipitación, geología, geomorfología, cobertura vegetal y socioeconómica, para estimar e identificar las zonas vulnerables a la erosión hídrica de la microcuenca Atué.
- Mediante el modelamiento geoespacial con las variables más incidentes e importantes se obtuvo las zonas vulnerables a erosión hídrica de la microcuenca del río Atué, clasificadas en tres rangos: alto con un área de 4003.4 ha abarcando un 10.7% del territorio, medio con un área 17048.4 ha abarcando un 45.4% del territorio y bajo con 16463.4 ha abarcando un 43.8% del territorio e la microcuenca Atué.
- Con el procesamiento geoespacial se determinó las zonas vulnerables a ser erosionadas, y se cuantificó la pérdida de suelo en Tn/ha-año, teniendo así que en los centros poblados de Atué y La Joya los riesgos erosivos son altos con valores de 2 a 8 Tn/ha-año quienes a su vez presentan bajos niveles socioeconómicos, para los centros poblados del norte de la microcuenca como son Leimebamba, Ishpingo, Dos de Mayo y Palmira el riesgo erosivo se encuentra en un nivel medio con valores de 2 a 4 Tn/ha-año. Esto nos da una percepción más a fondo de la situación en la que se encuentra

- Se debe priorizar proyectos de prevención a futuro, para las zonas con mayor riesgo a ser erosionadas, como es la parte más alta de la microcuenca y las riveras de los ríos; en las zonas más elevadas se tendría en cuenta realizar proyectos de reforestación ya que la cobertura vegetal es poco densa, mientras que en las zonas cercanas al río se construirían diques para el control de cárcavas y construcción de andenes para la agricultura, ya que estas zonas presentan pendientes más pronunciadas.

V. RECOMENDACIONES

- De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación se han determinado las zonas vulnerables, así mismo se ha cuantificado el grado de erosión, para lo cual en dichas zonas se recomienda propiciar actividades y proyectos conservacionistas como: reforestación en la parte alta de la microcuenca, zanjas de infiltración y andenería en las zonas con pendientes pronunciadas, obras de infraestructura física, etc.
- De acuerdo al desarrollo del trabajo se ha visto por conveniente que es de suma importancia contar con información hidrométrica y pluviométrica por lo cual se recomienda implementar las estaciones en la zona y contar con los registros necesarios para el desarrollo de estudios similares.
- La tecnología del Sistema de Información Geográfica y la teledetección son tecnologías de avanzada por lo cual son recomendables utilizarlas para la caracterización de las cuencas hidrográficas y la generación y priorización de proyectos, debido a las bondades que presentan dichos sistemas.
- En las zonas más propensas a ser erosionadas, de acuerdo al estudio realizado, se recomienda realizar prácticas conservacionistas, como la construcción de andenes para la agricultura en las zonas que presenten pendientes más pronunciadas y reforestación para la zona más alta de la microcuenca cercanas al centro poblado de Atué.
- Es recomendable realizar estudios similares al presente estudio en otras microcuencas, debido a que nos da una percepción más real de la situación en la que se encuentra una zona determinada, ya que cada lugar presenta características diferentes de suelo, cobertura vegetal, precipitaciones; esto con el fin de gestionar y priorizar proyectos de prevención y/o conservación de los suelos para el beneficio de las sociedades.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AÑÓ, C.; PERIS, M. (2003). “El olivar y la lucha contra la erosión. Valencia”. España. Disponible en http://www.infoagro.com/olivo/olivar_erosion.htm

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.

CAYO, L. (2001). “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.

FAO (1990). Organización de Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en <http://www.fao.org/soils-portal/degradacion-del-suelo/es/>

FAO, (2000). Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Boletín de tierras y aguas de la FAO N°8. Roma. Consultado en 3 de Mar de 2014. Disponible en: http://books.google.com.bo/books?id=kZCpFvW1EC&pg=PA1&lpg=PA1&dq=manual+de+practic+integradas+de+manejo+fa+o&source=bl&ots=LceZR3G2Ld&sig=LrHY9ueT3mpz8JVvZfAMJH78y_A&hl=en&sa=X&ei=avcaU7CJEYO3kAfX9oCQCw&ved=0CDYQ6AEwAg#v=onepage&q=manual%20de%20practic+integradas%20de%20manejo%20fao&f=false

FAO, 1993. Erosión de suelos en América Latina. Roma, Italia. Consultado 9 Mar 2014. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S00.htm#Contents>

FAO, 2016. “Conservacion de Suelos”. Portal de Suelos 2016. Disponible en: <http://www.fao.org/soils-portal/manejo-del-suelo/conservacion-del-suelo/es/>

GRUPO TRAGSA y Ministerio de Medio Ambiente, 1998. Restauración hidrológica forestal de cuencas y control de la erosión. Ed. Mundi-prensa. España. 945 p.

HAIG, M. (1977). The use of erosion pins in the study of slope evolution. Technical Bulletin N°18:31-49. Department of Geography University of Chicago.USA.

HUDSON, N. (1981). Soil conservation, Ithaca, New York, Cornell University Press, 324 p.
Instituto Caribeño de Recursos Naturales. 2008, Cambio climático y reducción de riesgos de desastres. Reporte técnico N° 386. Disponible en: <http://www.canari.org/documents/TechDocno386-Spn.pdf>

IBAÑEZ, J.; GARCÍA, J. (2006). “La erosión del suelo: tipos de procesos erosivos”. Valencia, España. Disponible en <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/03/11/15557>

INADE (2006), “Macrozonificación Ecológica Económica de la Región Amazonas” Volumen I.

KIRKBY, M. y MORGAN, R. 1984. Erosión de suelos. Ed. Limusa. México. 375p.
LAL y STEWART, 1995 citados por Rivera, Sinisterra, & Calle, 2004. Disponible en: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/30160/procesos_de_degradacion_de_suelos.html

LLERENA, C.; ROTHWELL, R.; ZHANG, H. (1987). Test of erodability rating system for the foothills of Alberta, Canada. In: Forest hidrology and watershed management. Publ. IAHS.

MANCILLA, G. (2008). “Uso de la Ecuación Universal de Perdida de Suelo en el Campo Forestal”. Disponible en: <http://es.slideshare.net/solecinha/apuntes-docentes-usle>

MINAGRI, 2014. “Técnicas de Conservación de Suelos”. Disponible en: http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletines/suelos/2014/tecnicas_puno.pdf

MINAGRI, 2009. “Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor”. Disponible en: http://www.asesorempresarial.com/web/adjuntos-sumilla/2009-09-02_YKHFNLL.pdf

MORALES C. 2014, “Estimación de la erosión laminar y sedimentación con modelos hidrológicos para la selección de prácticas de conservación de suelos y cambios de cobertura

en la Unidad Hidrográfica de Aquin/Saint-Louis Du Sud- Haití”. Disponible en: <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/7082>.

MORGAN, R.P.C. 1997. Erosión y conservación de suelos. Madrid, España. Consultado el 3 de Feb 2014, disponible en:

http://books.google.cl/books?id=jcFqaFlu1UC&printsec=frontcover&dq=morga&source=gbs_summary_r&cad=0#PPP1,M1

NEITSCH, S.L, ARNOLD, J.G, KINIRY, J.R, WILLIAMS, J.R. 2005. Herramienta de evaluación de suelos y agua documentación teórica, Consultado el 30 Oct 2012, Disponible en: <http://swat.tamu.edu/media/46964/swat2005-theo-doc-spanish.pdf>

OLAYA V. (2011), “Sistemas de Información Geográfica”. Versión 1.0. Marzo 2011. Disponible en: ftp://ftp.ehu.es/cidira/profs/iipbaiza/Libro_SIG.pdf

ONCIS, M. (1991). “Encuestas, metodología para su utilización”. Ministerio del Trabajo y asuntos Sociales de España. Disponible en: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/201a300/ntp_283.pdf

ONU, Organización de Las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en <http://www.fao.org/soils-portal/degradacion-del-suelo/es/>

PAULET, I. M. (1974). Guía para el planeamiento del uso de las tierras agrícolas en las zonas de lluvia del Perú. Universidad Agraria La Molina. Depto. de Recursos de Agua y Tierra. Publicación N°5, 55 p.

PIDWIRNY, M. (2006). “Erosion and deposition In Fundamentals of Physical Geography” (En línea). Kelowna, Canadá.

SIGMUR, 2005. “SIG y Teledetección Universidad de Murcia”. Capítulo 3 - Modelos y Estructuras de Datos. Disponible en: <http://www.um.es/geograf/sigmur/>

SMITH, S.J., WILLIAMS, J.R. MENZEL, R.G. COLEMAN, G.A. 1984. Prediction of Sediment Yield Plains Grasslands with theversal Soil Loss Equation. Journal of range management 37(4).

UNIVERSIDAD DE MURCIA (2006). “SIG Y Teledetección de la Universidad de Murcia”. Tema 10. Disponible en: www.um.es/geograf/sigmur.

USDA (2014). “Claves para la Taxonomía del Suelo”. Soil Taxonomy 12 th edition. Disponible en:

http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051546.pdf

VAHRSON, W; CERVANTES, C. 1991. Escorrentía superficial y erosión laminar en Puriscal Costa Rica. In. Vahrson, W; Alfaro, M; Palacios, G. Memoria del Taller de Erosión de Suelos. Heredia, CR, UNA.

VÁSQUEZ y TAPIA (2011), “Cuantificación de la Erosión Hídrica Superficial en las laderas Semiáridas de la Sierra Peruana”

VASQUEZ, A. (2000). “Manejo de Cuencas Altoandinas”. Tomo I.

WILLIAMS, I.R. 1975. Sediment yield prediction with universal equation using runoffenergy factor. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service S-40, pp.

WISCHMEIER, W.H. Y SMITH, D.D. (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses. Agriculture Handbook 537. United States Department of Agriculture. Science and Education Administration.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D. 1959. A rainfall erosion index for the universal soil-loss equation. Soil Science Society American, Proceedings, EEUU. 23 (3); 246-249 pp.

VII. ANEXOS

Anexo 1: Datos de precipitaciones de las Estaciones.

Estación Leimebamba

Tabla 49: Precipitaciones Máximas Estación Leimebamba.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MAX
2005	7.82	5.93	9.38	6.24	3.78	1.70	1.24	1.56	3.01	8.86	3.96	3.49	9.38
2006	5.31	8.23	12.07	7.57	2.56	1.67	3.11	2.61	2.55	7.65	6.78	9.31	12.07
2007	11.52	4.42	2.74	3.98	2.77	2.08	2.44	1.79	2.76	8.10	5.30	5.34	11.52
2008	12.34	4.99	4.52	4.91	6.51	3.71	4.41	0.85	4.69	7.94	4.74	8.67	12.34
2009	5.23	5.91	8.86	5.88	3.34	2.01	3.76	3.75	3.06	4.40	4.71	3.63	8.86
2010	6.01	8.75	11.86	8.13	6.02	3.63	4.18	2.56	2.78	9.90	6.67	7.31	11.86
2011	14.30	10.64	7.49	4.17	3.41	1.20	3.73	1.58	2.53	4.17	6.91	8.53	14.30
2012	8.06	9.69	10.20	5.46	3.44	2.09	3.69	1.97	3.86	1.19	2.67	4.03	10.20
2013	4.16	7.30	11.13	5.32	6.90	2.11	3.94	3.18	1.45	4.16	5.78	6.11	11.13
2014	3.65	2.73	3.30	9.74	3.37	1.00	4.24	2.67	1.59	7.41	1.85	2.15	9.74

FUENTE: Senamhi

Estación Chachapoyas

Tabla 50: Precipitaciones Máximas Estación Chachapoyas.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MAX
2005	1.01	4.69	5.63	3.66	2.46	0.41	0.22	1.06	4.09	7.91	2.49	4.98	7.91
2006	7.56	4.38	14.95	2.63	0.65	0.85	1.51	0.28	1.75	8.52	4.95	4.56	14.95
2007	6.03	2.92	9.42	3.85	2.38	0.27	1.91	2.03	1.69	13.31	5.05	4.37	13.31
2008	2.71	7.17	3.68	2.26	2.72	1.67	0.39	1.21	2.15	6.88	5.37	2.16	7.17
2009	7.25	8.39	5.84	9.99	2.65	0.91	1.61	0.90	1.64	7.60	3.41	1.49	9.99
2010	6.09	5.46	4.46	3.86	2.73	1.55	3.42	0.39	1.50	0.94	3.03	3.86	6.09
2011	4.71	3.04	11.43	3.74	2.83	0.43	2.43	1.01	2.63	4.51	3.27	6.69	11.43
2012	7.99	13.63	5.11	4.31	4.42	2.79	0.31	0.53	1.97	8.63	3.27	3.05	13.63
2013	6.36	5.30	10.20	4.33	3.39	1.14	1.03	2.24	2.23	7.24	1.56	5.00	10.20
2014	6.32	5.04	14.73	3.48	3.78	2.06	1.18	1.02	2.87	2.82	7.12	8.33	14.73

FUENTE: Senamhi

Estación Alao

Tabla 51: Precipitaciones Máximas Estación Alao.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MAX
2005	3.69	9.23	9.53	18.22	2.46	3.51	3.12	1.77	4.18	10.67	9.60	7.91	18.22
2006	8.56	5.94	12.41	7.55	7.55	2.88	7.43	1.79	3.74	6.06	4.74	3.23	12.41
2007	2.07	0.41	12.37	4.63	15.22	1.24	3.97	2.17	11.58	14.99	9.02	4.67	15.22
2008	3.27	6.11	18.26	7.23	7.35	4.39	3.47	2.73	13.80	6.81	9.92	6.02	18.26
2009	12.54	3.27	13.39	15.54	5.41	15.43	4.71	4.99	8.31	5.56	2.92	2.86	15.54
2010	1.91	7.84	6.48	16.72	5.66	5.41	7.62	4.24	4.64	10.39	14.28	9.23	16.72
2011	2.51	1.94	9.24	6.61	8.68	4.92	3.55	7.86	5.57	9.58	11.30	12.90	12.90
2012	8.16	5.24	14.38	18.32	4.17	7.58	1.21	0.49	3.38	11.87	7.39	4.25	18.32
2013	10.55	5.88	7.84	7.58	5.61	5.29	4.57	5.60	6.75	7.00	8.15	9.90	10.55
2014	2.59	3.57	9.73	11.06	9.18	5.24	3.83	3.20	7.47	16.06	7.95	3.77	16.06

FUENTE: Senamhi

Estación Saposoa

Tabla 52: Precipitaciones Máximas Estación Saposoa.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MAX
2005	7.88	4.36	8.17	15.78	7.49	3.88	0.93	3.17	1.32	5.95	8.49	13.67	15.78
2006	6.38	10.83	9.07	7.18	2.94	6.24	2.76	2.28	6.23	9.84	11.88	3.66	11.88
2007	5.86	1.99	9.82	9.28	5.57	2.87	0.99	3.71	6.97	11.86	14.23	5.36	14.23
2008	7.29	9.67	14.26	7.17	7.62	5.39	4.51	2.94	7.36	5.45	11.80	8.95	14.26
2009	13.66	7.91	7.15	13.66	8.06	3.54	0.82	4.16	7.13	6.29	7.77	6.22	13.66
2010	0.69	8.07	5.06	9.86	11.24	3.47	3.65	2.70	1.49	3.37	7.26	6.07	11.24
2011	5.66	2.98	12.44	11.34	4.15	6.46	5.19	2.40	8.32	5.62	11.17	14.21	14.21
2012	9.29	6.93	7.74	13.35	2.96	6.11	1.46	1.80	4.12	11.84	7.19	8.14	13.35
2013	9.36	11.29	20.99	4.58	4.71	6.09	2.63	8.92	4.29	8.91	9.47	10.10	20.99
2014	3.83	8.08	9.70	12.58	2.63	5.61	5.18	4.19	8.06	10.86	9.72	3.24	12.58

FUENTE: Senamhi

Estación Rioja

Tabla 53: Precipitaciones Máximas Estación Rioja.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MAX
2005	3.08	11.72	8.26	11.81	5.30	2.62	1.95	1.63	3.97	10.69	10.15	9.78	11.81
2006	5.26	14.45	11.79	4.61	3.36	3.36	3.28	7.14	3.71	5.80	6.17	10.37	14.45
2007	7.27	4.56	10.14	11.12	7.87	0.81	7.09	7.11	12.67	13.27	13.38	8.00	13.38
2008	5.21	8.84	13.11	4.81	11.30	6.43	4.09	3.82	5.67	9.97	8.31	4.94	13.11
2009	11.70	9.06	11.19	17.91	6.99	3.67	2.10	4.12	7.56	3.28	6.08	4.63	17.91
2010	2.87	8.52	7.14	10.59	8.37	2.05	6.29	1.28	4.78	6.14	8.85	7.41	10.59
2011	5.93	8.25	12.08	2.21	6.78	1.24	3.84	5.17	4.29	13.54	10.83	13.16	13.54
2012	10.55	11.77	15.79	14.99	8.16	3.53	2.11	1.94	2.83	9.08	5.59	10.56	15.79
2013	11.92	7.23	19.86	5.87	6.23	4.98	4.13	6.42	9.78	12.13	9.34	3.85	19.86
2014	10.32	8.88	15.34	12.26	4.66	5.41	7.53	5.87	7.63	11.17	7.43	8.41	15.34

FUENTE: Senamhi

Estación Soritor

Tabla 54: Precipitaciones Máximas Estación Soritor.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MAX
2005	4.99	9.26	11.90	10.94	5.17	5.56	2.38	1.49	3.13	10.41	13.69	12.22	13.69
2006	9.32	11.59	15.94	5.73	3.85	3.79	2.95	6.97	9.35	6.17	5.64	11.64	15.94
2007	10.01	2.85	13.28	6.14	7.80	4.37	6.39	4.37	8.30	10.66	13.63	9.28	13.63
2008	6.41	14.18	17.16	6.39	8.66	6.15	5.07	2.33	7.66	9.96	17.85	11.33	17.85
2009	8.05	10.76	10.76	14.63	6.81	6.62	2.76	6.11	6.95	8.34	6.50	4.07	14.63
2010	4.20	12.89	8.41	17.53	9.99	2.74	6.24	2.82	4.97	7.63	12.21	14.10	17.53
2011	8.54	7.29	9.68	6.41	4.86	5.17	3.93	5.51	6.61	5.94	12.86	20.32	20.32
2012	10.18	11.24	22.04	11.08	7.23	4.37	3.57	1.06	7.01	14.01	6.87	10.67	22.04
2013	12.04	6.56	17.05	6.05	10.23	7.26	5.00	9.53	10.12	11.19	11.18	7.17	17.05
2014	7.18	7.67	17.37	11.24	4.69	7.93	6.08	6.68	8.55	13.99	10.01	12.47	17.37

FUENTE: Senamhi

Estación Pachiza

Tabla 55: Precipitaciones Máximas Estación Pachiza.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MAX
2005	5.94	7.55	9.48	24.16	11.22	5.96	0.76	5.28	3.64	13.42	13.07	13.19	24.16
2006	7.81	3.08	13.76	10.34	3.45	5.93	2.19	0.64	8.08	11.73	15.88	9.94	15.88
2007	2.76	4.26	11.37	8.36	11.43	3.27	2.04	1.07	5.48	14.03	12.94	6.19	14.03
2008	3.29	11.78	15.36	8.56	14.84	7.23	2.81	4.66	4.34	7.62	11.75	17.57	17.57
2009	9.39	5.41	7.44	10.69	9.98	7.64	1.11	3.68	4.47	6.86	6.26	4.33	10.69
2010	4.89	9.10	3.54	7.01	8.47	5.72	3.79	0.91	3.07	11.91	12.68	12.87	12.87
2011	2.31	16.38	17.99	12.45	5.74	3.83	9.67	2.78	7.54	8.54	8.39	16.03	17.99
2012	11.87	7.87	6.03	8.60	1.96	2.73	2.26	1.92	6.33	18.91	8.49	7.23	18.91
2013	5.91	20.06	14.76	7.96	3.72	0.00	2.56	4.53	5.44	6.54	5.65	11.02	20.06
2014	8.56	2.06	14.46	13.03	10.91	7.43	4.02	4.25	5.88	8.96	3.81	12.11	14.46

FUENTE: *Senamhi*

Estación Celendín

Tabla 56: Precipitaciones Máximas Estación Celendín.

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MAX
2005	4.41	5.74	13.14	3.85	0.92	0.00	0.00	0.00	2.17	13.91	1.48	9.26	13.91
2006	5.47	7.56	19.43	3.47	0.19	0.66	0.51	0.22	3.68	6.57	6.84	8.03	19.43
2007	5.09	0.98	15.32	6.79	1.53	0.17	0.33	0.55	1.11	11.96	8.49	7.17	15.32
2008	5.47	10.01	5.49	5.48	2.69	1.56	0.61	1.17	1.17	7.33	7.92	2.16	10.01
2009	11.78	4.22	12.42	8.38	3.97	0.32	0.34	0.00	2.12	5.48	7.75	6.44	12.42
2010	4.71	11.13	9.79	3.43	3.88	0.16	1.04	0.22	2.17	3.36	6.83	7.51	11.13
2011	3.49	4.93	10.74	6.96	1.04	0.20	0.86	0.27	2.25	5.31	6.29	9.64	10.74
2012	12.12	6.32	7.12	5.54	2.33	0.19	0.00	0.09	0.02	7.89	11.56	4.46	12.12
2013	4.22	3.27	9.28	3.71	3.50	1.17	0.92	1.84	0.26	9.25	2.05	6.49	9.28
2014	4.34	8.14	8.71	4.67	7.04	0.07	0.02	0.24	1.84	3.89	3.46	4.49	8.71

FUENTE: *Senamhi*

Anexo 2: Tabla de Distribución de T de Student y Fisher

T de Student

Distribución t de Student		
Grados de libertad	5% de nivel de significancia	
	Una cola	Dos colas
1	6,314	12,706
2	2,920	4,303
3	2,353	3,182
4	2,132	2,776
5	2,015	2,571
6	1,943	2,447
7	1,895	2,365
8	1,860	2,306
9	1,833	2,262
10	1,812	2,228
11	1,796	2,201
12	1,782	2,179
13	1,771	2,160
14	1,761	2,145
15	1,753	2,131
16	1,746	2,120
17	1,740	2,110
18	1,734	2,101
19	1,729	2,093
20	1,725	2,086
21	1,721	2,080
22	1,717	2,074
23	1,714	2,069
24	1,711	2,064
25	1,708	2,060
26	1,706	2,056
27	1,703	2,052
28	1,701	2,048
29	1,699	2,045
30	1,697	2,042
40	1,684	2,021
60	1,671	2,000
120	1,658	1,980
inf.	1,645	1,960

Anexo 3: Resultado del Análisis de Textura para el Factor K

UNIDAD DE SUELO	TEXTURA	NORTE	ESTE	ALTURA	PROF (cm)	% LIMO	% ARCILLA	% ARENA FINA	% ARENA	% ARENA	% MO	PERMEABILIDAD	ESTRUCTURA	M	K
Totora	Franco arenoso	9238672	192861	3329	30	26.00	17.60	4.03	52.37	56.40	4.60	3.00	3.00	2474.45	0.19343
Leimebamba - Áreas Misceláneas	Franco arcillo arenoso	9240848	193142	3169	30	24.00	29.96	10.34	35.70	46.04	1.93	4.00	4.00	2405.17	0.31679
Pajonal	Franco arenoso	9248774	189655	2711	30	12.00	7.60	8.07	72.33	80.40	4.00	3.00	2.00	1854.41	0.11731
Pericos Rojos - Áreas Misceláneas	Franco arenoso	9254295	180375	3560	30	16.00	8.32	3.64	72.04	75.68	4.00	3.00	1.00	1800.19	0.07073
Leimebamba - Áreas Misceláneas	Franco arcillo arenoso	9256435	188074	2740	30	12.00	5.60	11.17	71.23	82.40	4.06	3.00	1.00	2187.15	0.09786
Leimebamba	Franco arenoso	9257855	189465	2287	30	14.60	9.60	15.67	60.13	75.80	3.79	3.00	3.00	2736.11	0.23024