

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS**  
**ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS**

**DISERTACIÓN DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO GEÓGRAFO EN PLANIFICACIÓN TERRITORIAL**

**“APLICACIÓN DEL MODELO U.S.L.E PARA LA DETERMINACIÓN DE LA  
PÉRDIDA DE SUELO POR PROCESOS EROSIVOS EN LOS PÁRAMOS DE  
LA ZONA NOROCCIDENTAL DEL VOLCÁN CASAHUALA, PROVINCIA DE  
TUNGURAHUA, ECUADOR”**

**PABLO ANDRÉS CALERO PÉREZ**

**DIRECTORA: MSc. MARÍA AUGUSTA ALMEIDA**

**Quito, 2017**

## **DEDICATORIA**

*Esta disertación se lo dedico a Dios,  
por darme la perseverancia de permitir  
llegar a este momento tan especial de mi vida.*

*A mi padre, Byron Marcelo Calero Rodríguez  
por su apoyo incondicional y por haberme enseñado  
que con esfuerzo, trabajo y dedicación todo se consigue.*

*A mi madre, Myrian de Jesús Pérez Viera, por su amor,  
paciencia y apoyo en el transcurso de mi formación  
como persona y como profesional.*

*A mis profesores, gracias por compartir  
sus conocimientos y lograr que culmine  
con éxito una meta más en el camino de la vida.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*A mi directora de disertación, MSc. María Augusta Almeida, gracias por su paciencia y su tiempo en brindarme sus conocimientos y ayuda profesional para finalizar con éxito el presente trabajo.*

*A los lectores de disertación, MSc. Olga Mayorga y MSc. Alexandra Mena, por sus consejos, sugerencias y recomendaciones acertadas tanto en el desarrollo de la disertación como en el transcurso de mi carrera universitaria.*

*A la Dirección de Recursos Hídricos y Conservación Ambiental del Gobierno Provincial de Tungurahua, en especial al Ingeniero Carlos Sánchez y al Ingeniero Juan Carlos Mena, por permitir realizar mis prácticas profesionales en la institución y por su colaboración y ayuda en la decisión de realizar el tema de la presente disertación.*

## **RESUMEN**

La presente disertación de grado tiene como objetivo la determinación de la cantidad de suelo degradado por procesos erosivos en los páramos de la zona noroccidental del volcán Casahuala, con la aplicación de la ecuación universal de degradación de suelo U.S.L.E; para ello se utilizaron herramientas de geo procesamiento que ayudaron a la identificación de las áreas con alto índice de erosión, las mismas que para evitar el avance de la erosión hacia otras zonas con menor índice de degradación, se propusieron estrategias para la gestión sustentable de los páramos que permitirá a su vez una planificación local de la zona del volcán Casahuala con enfoques de sustentabilidad ambiental y social.

## TABLA DE CONTENIDOS

	Pág
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. JUSTIFICACIÓN.....	1
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.3. OBJETIVOS.....	3
1.3.1. Objetivo General.....	3
1.3.2. Objetivos Específicos.....	3
1.4. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL.....	3
1.4.1. ANTECEDENTES.....	3
1.4.2. MARCO TEÓRICO.....	5
1.4.3. MARCO CONCEPTUAL.....	7
1.4.4. MARCO METODOLÓGICO.....	9
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>11</b>
2. CARACTERIZACIÓN DE LOS PÁRAMOS DE LA ZONA NOROCCIDENTAL DEL VOLCÁN CASAHUALA.....	11
2.1. LOCALIZACIÓN.....	12
2.2. ZONAS DE CONSERVACIÓN Y SISTEMAS ECOLÓGICOS.....	13
2.2.1. Bosques Altimontanos Norte Andinos Siempreverdes.....	13
2.2.2. Pajonal Altimontano y Montanos Paramunos.....	13
2.2.3. Arbustal Siempreverde Montano.....	14
2.3. ZONAS DE VIDA O FORMACIONES VEGETALES.....	16
2.3.1. Bosque húmedo Montano.....	16
2.3.2. Bosque seco Montano bajo.....	16
2.3.3. Estepa Montano.....	17
2.3.4. Estepa espinosa Montano-Bajo.....	17
2.4. CONDICIONES CLIMÁTICAS.....	20
2.4.1. Ecuatorial de alta montaña.....	20
2.4.2. Ecuatorial Mesotérmico Semi-Húmedo.....	20
2.4.3. Ecuatorial Mesotérmico Seco.....	21
2.5. CARACTERÍSTICAS EDAFOLÓGICAS.....	23
2.5.1. Andosol.....	23

2.5.2. Molisol.....	24
2.5.3. Inceptisol.....	25
2.5.4. Entisol.....	25
2.6. USO DEL SUELO.....	27
2.7. IMPACTOS AMBIENTALES.....	30
2.7.1. Avance de la frontera agrícola.....	32
2.7.2. Forestación.....	32
2.7.3. Sobrepastoreo.....	33
2.8. ORGANIZACIONES QUE INTERVIENEN EN LA CONSERVACIÓN.....	35
2.8.1. Unión de Organizaciones Campesinas en el Norte de Tungurahua.....	35
2.8.2. Pueblo KIPU.....	36
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>39</b>
3. EROSIÓN.....	39
3.1. DEFINICIÓN.....	39
3.2. AGENTES DE EROSIÓN.....	40
3.2.1. Agua.....	40
3.2.2. Viento.....	40
3.2.3. Gravedad.....	41
3.2.4. Clima.....	41
3.2.5. Actividades humanas.....	41
3.3. TIPOS DE EROSIÓN.....	41
3.3.1. Erosión Eólica.....	41
3.3.2. Erosión Gravitacional.....	43
3.3.3. Erosión Hídrica.....	44
3.4. FACTORES QUE AFECTAN LA EROSIÓN.....	46
3.4.1. Precipitación.....	46
3.4.2. Tipo de Suelo.....	47
3.4.3. Relieve.....	48
3.4.4. Vegetación.....	48
3.5. LA EROSIÓN Y SUS CONSECUENCIAS.....	48
<b>CAPÍTULO IV.....</b>	<b>50</b>
4. ECUACIÓN UNIVERSAL DE DEGRADACIÓN DE SUELOS.....	50
4.1. MODELO DE PREDICCIÓN USLE.....	50

4.2. FACTOR EROSIVIDAD DE LAS LLUVIAS (R) .....	52
4.2.1. Metodología de obtención de la erosividad de la lluvia.....	52
4.2.1.1. Método tradicional.....	52
4.2.1.2. Método de Índice Modificado de Fournier.....	53
4.2.2. Cálculo del Factor R en la zona de los páramos noroccidentales del Casahuala.....	54
4.2.2.1. Red Meteorológica de Tungurahua.....	54
4.2.2.2. Datos pluviométricos de las estaciones meteorológicas.....	55
4.2.2.3. Cálculo del Índice Modificado de Fournier.....	58
4.2.2.4. Geo procesamiento de la información de las estaciones meteorológicas.....	58
4.2.2.4.1. Método de Interpolación Kriging.....	58
4.3. FACTOR ERODABILIDAD DEL SUELO (K).....	62
4.3.1. Metodología de obtención del factor erodabilidad del suelo.....	62
4.3.1.1. Método Directo.....	62
4.3.1.2. Método Práctico.....	62
4.3.1.3. Método Alternativo de Wishmeier y Smith.....	63
4.3.2. Cálculo del Factor K en la zona de los páramos noroccidentales del volcán Casahuala.....	65
4.4. FACTOR TOPOGRÁFICO (LS) .....	69
4.4.1. Factor L.....	69
4.4.2. Factor S.....	69
4.4.3. Metodología de obtención del factor topográfico.....	70
4.4.4. Cálculo del factor topográfico en la zona de los páramos del volcán Casahuala.....	72
4.5. FACTOR COBERTURA VEGETAL (C) .....	79
4.5.1. Metodología de obtención del factor cobertura vegetal.....	79
4.5.2. Cálculo del factor de cobertura vegetal en la zona de los páramos noroccidentales del volcán Casahuala.....	80
4.6. FACTOR DE PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN (P) .....	83
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>86</b>
5. ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN ACTUAL Y POTENCIAL DE LOS PÁRAMOS NOROCCIDENTALES DEL CASAHUALA.....	86
5.1. EROSIÓN ACTUAL.....	86

5.1.1. Análisis de resultados.....	90
5.1.2. Evidencias de la Erosión Actual.....	91
5.2. EROSIÓN POTENCIAL.....	95
5.2.1. Análisis de resultados.....	99
<b>CAPÍTULO VI.....</b>	<b>100</b>
6. RECOMENDACIONES PARA LA GESTIÓN SUSTENTABLE DE LOS PÁRAMOS DEL VOLCÁN CASAHUALA.....	100
6.1. POLÍTICA DE ECOSISTEMAS ANDINOS DEL ECUADOR.....	100
6.2. CÓDIGO ORGÁNICO DEL AMBIENTE.....	102
6.3. LEY ORGÁNICA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL, USO Y GESTIÓN DEL SUELO.....	105
6.4. LEY ORGÁNICA DE TIERRAS RURALES Y TERRITORIOS ANCESTRALES.....	106
6.5. INICIATIVAS DE CONSERVACIÓN DEL GOBIERNO PROVINCIAL.....	112
6.5.1. Programa de Repoblamiento Forestal.....	112
6.5.2. Tecnificación del Riego.....	113
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>116</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>118</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>124</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Página
<b>Tabla No. 1.</b> Población por Rama de Actividad de las parroquias rurales de la zona de los páramos del volcán Casahuala.....	27
<b>Tabla No. 2.</b> Población Total de la UNOCANT.....	35
<b>Tabla No. 3.</b> Propiedad de las tierras de las comunidades de Quizapincha.....	37
<b>Tabla No. 4.</b> Estaciones Meteorológicas cercanas a los páramos de la Zona Noroccidental del Volcán Casahuala.....	56
<b>Tabla No. 5</b> Índice modificado de Fournier de las estaciones meteorológicas cercanas a la zona de los páramos del volcán Casahuala.....	58
<b>Tabla No. 6.</b> Tipos de suelos y texturas superficiales de los páramos de la zona noroccidental del volcán Casahuala.....	66
<b>Tabla No. 7</b> Equivalencias de las fórmulas de Desmet & Govers en la herramienta de Raster Calculator para el cálculo del Factor L.....	74
<b>Tabla No. 8</b> Equivalencia de la fórmula de McCools en la herramienta de Raster Calculator para el cálculo del Factor S.....	76
<b>Tabla No. 9</b> Valores del Factor C por tipo de cobertura vegetal y uso de suelo.....	81
<b>Tabla No. 10</b> Valores del Factor P en los páramos del volcán Casahuala.....	84
<b>Tabla No. 11</b> Clasificación del Grado de Erosión.....	87
<b>Tabla No. 12</b> Porcentaje por Grado de Erosión Actual en la zona de los páramos del Casahuala.....	87
<b>Tabla No. 13</b> Porcentaje por Grado de Erosión Potencial en la zona de los páramos del Casahuala.....	97

## ÍNDICE DE IMAGENES

	Página
<b>Imagen No. 1</b> Esquema de obtención de la Erosión Actual y Potencial aplicando el modelo USLE.....	10
<b>Imagen No. 2</b> Zonificación de la cuenca alta del Río Pastaza por áreas de conservación.....	11
<b>Imagen No. 3</b> Ubicación de los Páramos de la Zona Noroccidental del Volcán Casahuala dentro de la provincia de Tungurahua.....	12
<b>Imagen No. 4</b> Población por Rama de Actividad.....	28
<b>Imagen No. 5</b> Esquema de las fases de erosión eólica.....	43
<b>Imagen No. 6</b> Ejemplo de Erosión Gravitacional.....	44
<b>Imagen No. 7</b> Proceso de Erosión Hídrica.....	45
<b>Imagen No. 8</b> Red de Estaciones Meteorológicas de Tungurahua.....	55
<b>Imagen No. 9</b> Interpolación Kriging.....	59
<b>Imagen No. 10</b> Proceso cartográfico de obtención del factor R.....	60
<b>Imagen No. 11</b> Nomograma (Wishmeier y Smith, 1978) para determinar el Factor K.....	63
<b>Imagen No.12</b> Tabla de indicaciones de la magnitud general del factor K de erodabilidad del suelo.....	64
<b>Imagen No.13</b> Proceso cartográfico de obtención del factor K.....	67
<b>Imagen No. 14</b> Longitud de la pendiente.....	69
<b>Imagen No. 15</b> Extracción del MDE de los páramos del volcán Casahuala.....	72
<b>Imagen No. 16</b> Barra de Herramientas ARC HYDRO TOOLS.....	72
<b>Imagen No. 17</b> Proceso cartográfico de obtención de la acumulación de flujo a nivel pixel (A) .....	73
<b>Imagen No. 18</b> Proceso cartográfico de obtención de la pendiente del terreno ( $\beta$ ).....	74
<b>Imagen No. 19</b> Proceso cartográfico de obtención del factor L.....	75
<b>Imagen No. 20</b> Imagen ráster factor S.....	76
<b>Imagen No. 21</b> Valores del factor C por tipo de cobertura vegetal según Jung.....	80
<b>Imagen No. 22</b> Valores del factor C por tipo de cobertura vegetal según Wishmeier y Smith.....	80

<b>Imagen No. 23</b> Valores del factor P según Jung.....	83
<b>Imagen No. 24</b> Ráster de Erosión Hídrica Actual.....	86
<b>Imagen No. 25</b> Porcentaje por grado de erosión presente en la zona noroccidental del volcán Casahuala.....	88
<b>Imagen No. 26</b> Ráster de Erosión Hídrica Potencial.....	96
<b>Imagen No. 27</b> Porcentaje por grado de erosión potencial presente en la zona noroccidental del volcán Casahuala.....	97
<b>Imagen No. 28</b> Sitios de estudio de mamíferos y aves.....	104

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

	Página
<b>Fotografía No. 1</b> Cambio de la vegetación natural por plantaciones forestales de eucalipo – Parroquia Constantino Fernández, 2017.....	30
<b>Fotografía No. 2</b> Avance de la Frontera Agrícola – Parroquia Constantino Fernández, Comunidad de San José.....	31
<b>Fotografía No. 3</b> Sobrepastoreo Bovino, Quizapincha 2017.....	31
<b>Fotografía No. 4</b> Avance de la Frontera Agrícola – Quizapincha, 2016.....	32
<b>Fotografía No. 5</b> Proceso de Forestación de zona degradadas – Ambatillo, 2017.....	33
<b>Fotografía No. 6</b> Pastoreo Ovino, Quizapincha, 2016.....	34
<b>Fotografía No. 7</b> Erosión Laminar en los páramos de la zona noroccidental del Casahuala, 2016.....	91
<b>Fotografía No. 8</b> Erosión inducida por las quemas – Casahuala – Tilibi.....	91
<b>Fotografía No. 9</b> Erosión Laminar y en Surcos por actividades agropecuarias...	92
<b>Fotografía No. 10</b> Construcción Reservorio Llantantoma 2014 – Erosión por socavación.....	92
<b>Fotografía No. 11</b> Fragmentación del Ecosistema Bosque Seco Montano Bajo..	93
<b>Fotografía No. 12</b> Erosión por deforestación, cultivos en pendiente y apertura de senderos, sector Ambatillo.....	93
<b>Fotografía No. 13</b> Erosión por apertura de senderos en los páramos del Casahuala.....	94
<b>Fotografía No. 14</b> Erosión de origen natural en el cerro Casahuala, 2015.....	94
<b>Fotografía No. 15</b> Erosión por actividades agrícolas, Quizapincha 2015.....	95
<b>Fotografía No. 16</b> Reforestación en zona de páramos.....	112
<b>Fotografía No. 17</b> Tecnificación del Riego.....	113

## ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
<b>Anexo No. 1.</b> Precipitaciones Medias Mensuales – Anuales Estación Meteorológica Chiquiurco 2013 – 2016.....	125
<b>Anexo No. 2.</b> Precipitaciones Medias Mensuales – Anuales Estación Meteorológica Cunchibamba 2013 - 2016.....	125
<b>Anexo No. 3.</b> Precipitaciones Medias Mensuales – Anuales Estación Meteorológica Aeropuerto Ambato 2013 – 2016.....	125
<b>Anexo No. 4.</b> Precipitaciones Medias Mensuales – Anuales Estación Meteorológica Calamaca 2013 - 2016.....	126
<b>Anexo No. 5.</b> Precipitaciones Medias Mensuales – Anuales Estación Meteorológica Mula Corral 2013 - 2016.....	126
<b>Anexo No. 6.</b> Precipitaciones Medias Mensuales – Anuales Estación Meteorológica Quisapincha 2013 – 2016.....	126
<b>Anexo No. 7.</b> Precipitaciones Medias Mensuales – Anuales Estación Meteorológica INAMHI-Pilahuín 2013 - 2016.....	127
<b>Anexo No. 8.</b> Precipitaciones Medias Mensuales – Anuales Estación Meteorológica Pucará Alto 2013 - 2016.....	127
<b>Anexo No. 9.</b> Precipitaciones Medias Mensuales – Anuales Estación Meteorológica Colegio Jorge Álvarez – Píllaro 2013 - 2016.....	127
<b>Anexo No. 10.</b> Precipitaciones Medias Mensuales – Anuales Estación Meteorológica Tisaleo 2013 - 2016.....	128
<b>Anexo No. 11.</b> Precipitaciones Medias Mensuales – Anuales Estación Meteorológica Cusubamba 2013 - 2016.....	128
<b>Anexo No. 12.</b> Índice Modificado De Fournier Estación Meteorológica Chiquiurco.....	128
<b>Anexo No. 13.</b> Índice Modificado De Fournier Estación Meteorológica Cunchibamba.....	129
<b>Anexo No. 14.</b> Índice Modificado De Fournier Estación Meteorológica Aeropuerto.....	129
<b>Anexo No. 15.</b> Índice Modificado De Fournier Estación Meteorológica Calamaca.....	129

<b>Anexo No. 16.</b> Índice Modificado De Fournier Estación Meteorológica Mula Corral.....	130
<b>Anexo No. 17.</b> Índice Modificado De Fournier Estación Meteorológica Quisapincha.....	130
<b>Anexo No. 18.</b> Índice Modificado De Fournier Estación Meteorológica Pilahuín.....	130
<b>Anexo No. 19.</b> Índice Modificado De Fournier Estación Meteorológica Pucará Alto.....	131
<b>Anexo No. 20.</b> Índice Modificado De Fournier Estación Meteorológica Colegio Jorge Álvarez - Píllaro.....	131
<b>Anexo No. 21.</b> Índice Modificado De Fournier Estación Meteorológica Tisaleo.....	131
<b>Anexo No. 22.</b> Índice Modificado De Fournier Estación Meteorológica Cusubamba.....	132
<b>Anexo No. 23.</b> Esquema de Obtención de la Erosión Hídrica Actual.....	133
<b>Anexo No. 24.</b> Esquema de Obtención de la Erosión Hídrica Potencial.....	134

## ÍNDICE DE MAPAS

	Página
<b>Mapa No. 1</b> Mapa Base de los Páramos de la Zona Noroccidental del Volcán Casahuala.....	15
<b>Mapa No. 2</b> Mapa de Zonas de Vida de la Zona Noroccidental del Volcán Casahuala.....	19
<b>Mapa No. 3</b> Mapa de Pisos Climáticos de los Páramos de la Zona Noroccidental del Volcán Casahuala.....	22
<b>Mapa No. 4</b> Mapa Edafológico de los Páramos de la Zona Noroccidental del Volcán Casahuala.....	26
<b>Mapa No. 5</b> Mapa de Uso de Suelo 2015 de los Páramos de la Zona Noroccidental del Volcán Casahuala.....	29
<b>Mapa No. 6</b> Mapa de Organizaciones que intervienen en los Páramos de la Zona Noroccidental del Volcán Casahuala.....	38
<b>Mapa No. 7</b> Estaciones Meteorológicas cercanas a los Páramos de la Zona Noroccidental del Volcán Casahuala.....	57
<b>Mapa No. 8</b> Mapa del Factor de Erosividad de las lluvias (R) .....	61
<b>Mapa No. 9</b> Mapa del Factor de Erodabilidad del suelo (K).....	68
<b>Mapa No. 10</b> Mapa del Factor Topográfico (LS).....	78
<b>Mapa No. 11</b> Mapa del Factor de Cobertura Vegetal (C).....	82
<b>Mapa No. 12</b> Mapa del Factor de Prácticas de Conservación (P).....	85
<b>Mapa No. 13</b> Erosión Hídrica Actual de la Zona de los Páramos Noroccidentales del Volcán Casahuala.....	89
<b>Mapa No. 14</b> Erosión Hídrica Potencial de la Zona de los Páramos Noroccidentales del Volcán Casahuala.....	98

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 JUSTIFICACIÓN

En el Ecuador, el ecosistema páramo abarca cerca de 12.650 km<sup>2</sup>, es decir aproximadamente el 6% del territorio nacional, en los cuales viven alrededor de medio millón de habitantes; esta zona ecológica es considerada de suma importancia para la conservación porque brinda servicios ambientales entre los que se destacan: la continua provisión de agua en cantidad y calidad y el almacenamiento de carbono atmosférico que ayuda a controlar el calentamiento global. (Carúa, Proaño, Suárez, & Podwojevsk, 2008)

Los páramos son uno de los ecosistemas más vulnerables y amenazados, poseen una reducida área en relación a otros ecosistemas de la región, lo que los hace muy frágiles a los efectos del cambio climático y a la actividad humana. Entre las principales causas de la degradación están: las quemadas, pastoreo, avance de la frontera agrícola y forestación con especies introducidas. (Greenpeace, 2013)

La erosión se considera como un proceso, a través del cual, se desgastan o remueven los suelos de la superficie terrestre, para ser transportados y depositados en otros sitios, por la acción de agentes externos como el viento o corrientes de agua; a pesar que la erosión es un proceso natural, las actividades humanas han ido acelerando el proceso convirtiéndolo en uno de los más importantes problemas ambientales (ASTROMIA, 2005).

Es por ello, que es habitual observar la proximidad de paisajes distintos cuyo factor común está compuesto por las huellas de la erosión tales como: paisajes abandonados por desaparición de la capa arable, paisajes cultivados en curso de erosión por aclaramiento de los colores del suelo y formación de surcos y cárcavas, así como paisajes verdes de los pastizales que a pesar de una buena protección vegetal se encuentran ya bien marcados por el sobrepastoreo. (Noni & Trujillo, 2010)

Las razones que han llevado al estudio de la pérdida de suelo en los páramos noroccidentales del volcán Casahuala es que, de este ecosistema dependen aproximadamente 6500 usuarios de agua de riego de las parroquias de Ambatillo, Pinllo, Augusto Martínez, Constantino Fernández, Mulalillo y Ficoa Alto, convirtiéndolo en una

zona prioritaria de conservación con el fin de prevenir su deterioro y garantizar la sostenibilidad del recurso agua.

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Actualmente, uno de los problemas que tiene la sociedad en el mundo es la erosión; el Ecuador no se queda atrás debido a que el 50 por ciento de su superficie total se encuentra afectada, de los cuales más o menos 15 por ciento de las tierras degradadas se encuentran en el callejón interandino que es una región fuertemente sometida a la erosión; y los 35 por ciento restantes se ubican donde se extienden los límites de la frontera agrícola, en particular sobre las altas tierras y flancos exteriores de la cordillera de los Andes y en las regiones costanera y amazónica; aquí el impacto de la erosión es más discontinuo pero puede presentar, localmente, manifestaciones agresivas. (Noni & Trujillo, 2010)

En los Páramos de la zona noroccidental del Casahuala, con una extensión aproximada de 18300 hectáreas, se pueden evidenciar suelos descubiertos o con poca cobertura vegetal, siendo este un indicador del avance de los procesos erosivos en la zona, los mismos que en los últimos años se ha acelerado producto de las actividades antrópicas que se desarrollan en el sitio tales como: malas prácticas agrícolas, expansión de las viviendas de las comunidades cercanas al páramo, actividades ganaderas por el sobrepastoreo, la deforestación ocasionando que se empobrezca el suelo por la acción de sustituir la vegetación natural o bosques secundarios por cultivos, que gran parte de ellos no cumplen la función de proteger el suelo de los grandes agentes erosivos como son la erosión eólica y la hídrica.

Con todo lo anterior, se plantea la pregunta de ¿cuál es el grado de erosión actual al 2015 y potencial en los páramos noroccidentales del volcán Casahuala en la provincia de Tungurahua?

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo General**

Determinar la pérdida de suelo por procesos erosivos al año 2015 en los páramos de la zona noroccidental del volcán Casahuala con la aplicación de la ecuación universal de degradación de suelo U.S.L.E.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Caracterizar los páramos de la zona Noroccidental del volcán Casahuala.
- Obtener mediante herramientas SIG cada uno de los parámetros que conforman la Ecuación Universal de Degradación de Suelos para la estimación de la erosión actual y potencial.
- Elaborar recomendaciones para la gestión sustentable de los páramos del volcán Casahuala.

## **1.4 MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL**

### **1.4.1 ANTECEDENTES**

En el Ecuador, el páramo cubre alrededor de 1.250.000 ha, es decir aproximadamente un 6% del territorio nacional, el uso actual es para pastos y cultivos actuando como reguladores de los flujos hídricos pero teniendo graves consecuencias que inciden en la economía y sustentabilidad del agua en el medio andino.

Aunque el páramo es considerado un medio natural sin intervención humana, la presión demográfica se ha intensificado en el siglo XX provocando grandes pérdidas de vegetación natural, porque la población rural ha buscado aumentar las superficies productivas para su bienestar económico y satisfacción alimenticia; así como la repartición de tierras por herencia provoca que el páramo se fragmente y aumente la pérdida de cobertura vegetal; esto va de la mano de la ausencia de medidas de conservación de los suelos especialmente en pendientes fuertes ocasionando una erosión marcada de los suelos, que ha determinado el afloramiento de las cenizas volcánicas antiguas. (Podwojewski, 1999)

El problema de degradación del suelo por procesos erosivos en los páramos ha sido un tema poco tratado en la provincia de Tungurahua, debido a la falta de información para

la localización de la áreas degradadas y a la poca accesibilidad a este medio natural; pero desde el año 2014, el Gobierno Provincial de Tungurahua propuso la creación de una Agenda Ambiental para el estudio de los ecosistemas frágiles y las posibles estrategias de conservación; este programa ha sido elaborado desde “los procesos de participación ciudadana del Nuevo Modelo de Gestión en el eje agua, que delimita políticas, estrategias y proyectos encaminados hacia una gestión ambientalmente sustentable de los recursos naturales en temas estratégicos como: la conservación de los ecosistemas y la calidad ambiental: concerniente al manejo integral de microcuencas y la descontaminación de los recursos hídricos; la reducción de los efectos de las variaciones climáticas en el sector agrícola; la gestión integral de los desechos sólidos; y como eje transversal los procesos de educación ambiental” (Gobierno Provincial de Tungurahua - Corporación Alemana - GIZ, 2014)

La Agenda Ambiental 2014-2020 cuenta con una zonificación de las áreas destinadas a la conservación y regeneración de los ecosistemas alto andinos; es así que la provincia de Tungurahua tiene seis zonas de conservación, siendo la zona uno los Páramos de la zona Noroccidental del Casahuala.

Según un estudio preliminar desarrollado por el equipo técnico del Gobierno Provincial con la colaboración de organizaciones no gubernamentales menciona que la zona del Casahuala “presenta riesgos de origen natural y antrópico con susceptibilidad media y alta a procesos erosivos del suelo y movimientos de remoción de masas, presencia de cangagua y el deterioro de la capa fértil del suelo así como deslizamientos en áreas de influencia de los canales de riego”; motivo por el cual se ha considerado como una zona de alta prioridad para la conservación ambiental dentro de la provincia. (Gobierno Provincial de Tungurahua - Corporación Alemana - GIZ, 2014)

Para poder obtener la erosión actual y potencial del área de estudio se utilizará el modelo U.S.L.E (Universal Soil Loss Equation) formulado por Wishmeier y Smith en 1962 y publicada de forma definitiva en el Manual 534 del Departamento de Agricultura de Estados Unidos en 1978, logrando una gran aceptación no sólo en el continente americano sino en los demás países que presentan el problema de la erosión. La ecuación permite estimar pérdidas de capa de suelo que se originan en pequeñas parcelas o en superficies

donde se presenta la erosión superficial y laminar, con la utilización de factores tales como: clima, suelo, relieve, vegetación y uso del suelo (González del Tánago, 1991).

Aunque en la actualidad existen otros modelos de evaluación de pérdidas de suelo con mayor precisión porque utilizan fórmulas matemáticas bajo un lenguaje de programación para cada uno de los parámetros; el modelo U.S.L.E, se lo utiliza porque es el único que se puede aplicar utilizando Sistemas de Información Geográfica lo que facilita su obtención y además porque, permite identificar las zonas donde se genera mayor cantidad de erosión y sus causas, para finalmente después de aplicar la ecuación efectuar las medidas de conservación más adecuadas con el fin de reducir las pérdidas de suelo por erosión hídrica. (Ibáñez Asensio, s.f.)

#### **1.4.2 MARCO TEÓRICO**

La investigación se enmarca en la geografía rural, orientados hacia la planificación regional y local; para ello se han identificado algunas teorías basadas en informes, publicaciones de artículos de páginas web y otras fuentes de información encontradas con explicaciones relativas al planteamiento del problema.

La Geografía rural ha tenido un proceso de desarrollo en su concepto bajo la influencia de la geografía económica, en un principio solo hacia relación con las zonas de especialización agrícola y el desarrollo de la población, pero a partir de la década de los ochenta, se comenzó a analizar las transformaciones territoriales que acontecen en el medio rural; es así que, la geografía rural otorga un carácter espacial a las transformaciones territoriales, económicas y sociales que se plasman en el campo, con énfasis aún mayor al de otras disciplinas como la sociología rural, la antropología o la economía agrícola. (Instituto de Geografía UNAM, 2015)

Actualmente y desde la década de los noventa, la Geografía rural francesa ha entrado en el paradigma del desarrollo durable o sustentable, con el fin de orientar los procesos de cambio en el espacio rural hacia la sustentabilidad del territorio en sus dimensiones social, económica y natural. Es así que se han generado posturas en campos específicos como la agricultura y ganadería sostenible para la conservación del medio rural, e incluso la cuestión de las ciudades sostenibles. Este paradigma de la escuela francesa servirá en la

investigación para la formulación de estrategias para la gestión sustentable de los páramos. (Instituto de Geografía UNAM, 2015)

Una vez que se ha analizado las transformaciones del territorio, se busca la planificación para un desarrollo local y regional, entendiéndose a este proceso donde la comunidad define sus objetivos de desarrollo a futuro y las distintas formas para lograr estos objetivos, entendido como el uso del territorio, sus recursos e intereses en relación con un modelo de su contexto histórico, cultural, económico, institucional, ambiental y geográfico (Sandoval Escudero, 2014); que para el estudio de caso será la planificación de estrategias para regenerar las áreas erosionadas o que están en proceso de erosión.

Para el problema de la investigación es necesario definir la palabra erosión, la misma que hace referencia al desgaste de la superficie terrestre bajo la acción de los agentes erosivos, siendo los principales el agua y el viento. La erosión ha estado presente desde tiempos geológicos y es responsable de la topografía natural en que vivimos. Sin embargo, hoy en día la erosión puede causar severos problemas en las áreas de las ciencias ambientales y la productividad de los recursos naturales. (García Chevesich, 2009)

Aunque el suelo es un recurso natural renovable, es necesario conservarlo debido a que su período de renovación es muy largo y, por lo general, no es económicamente factible esperar tanto tiempo para utilizar nuevamente un terreno perdido por causa de la erosión. Por esta razón es que ciencias como hidrología, física, edafología, geología, ingeniería y manejo de recursos naturales se combinan para formar esta nueva disciplina, la del estudio de los procesos erosivos y su control.

La erosión hídrica es uno de los problemas importantes en el aspecto ambiental y socioeconómico que tienen los paisajes de alta montaña. Entre las causas principales que ayudan a la generación de los procesos erosivos en los páramos son la quema, el sobrepastoreo y el aumento de los cultivos, donde el deterioro del suelo se evidencia por la presencia de cárcavas y barrancos de grandes dimensiones tanto en laderas como en las tierras bajas inundables. (Cappelletti, 2011)

En muchos casos el crecimiento demográfico local ha desempeñado una importante función en este fenómeno. Para sostener a una población en constante crecimiento se han

talado los bosques en las tierras altas a fin de destinar los terrenos a la agricultura o el pastoreo, la explotación maderera y de leña ha contribuido a la degradación, la pérdida de la cubierta forestal ha incrementado la erosión río arriba y la sedimentación río abajo. Debido a estos cambios, muchos paisajes naturales están perdiendo la capacidad de regular la escorrentía. En consecuencia, el suelo se ha vuelto más árido en las tierras altas y cerca de las zonas bajas está expuesto a inundaciones estacionales. También ha aumentado el peligro de que se produzca deslizamientos de tierras producto de la inestabilidad del suelo a causa de la erosión. (Hofer & Warren, 2009)

Los páramos son ecosistemas resistentes a las variaciones climáticas siempre y cuando se encuentren en un estado de conservación. Dichas propiedades deben principalmente a la profundidad de sus suelos tipo Andosol, así como la gran acumulación de materia orgánica y a la morfología de ciertas plantas herbáceas del páramo. No obstante, los páramos andinos son altamente vulnerables al cambio del uso del suelo. El escenario actual se tornará aún más crítico en el presente siglo como resultado del cambio climático y el calentamiento global, ya que dichas áreas se convierten en zonas altamente vulnerables a la erosión y degradación de los suelos. (Instituto Geofísico del Perú, s.f.)

En el contexto de este marco teórico, la investigación y la posible resolución al problema tendrán una claridad y especificidad que sirve para el planteamiento hipotético de la investigación.

### **1.4.3 MARCO CONCEPTUAL**

**Degradación:** La degradación del suelo se define como un cambio en la salud del suelo resultando en una disminución de la capacidad del ecosistema para producir bienes o prestar servicios para sus beneficiarios. Los suelos degradados contienen un estado de salud que no pueden proporcionar los bienes y servicios normales del suelo en cuestión en su ecosistema. (FAO, 2012)

**Erodabilidad:** es la vulnerabilidad del suelo frente a la erosión. Se consideran las características del suelo y el tratamiento que se le dé. Depende de la textura, la estabilidad estructural y la capacidad de infiltración. (UDELAR, 2004)

**Erosión:** Consiste en una serie de procesos naturales de naturaleza física y química que desgastan y destruyen los suelos y rocas de la corteza de un planeta, en este caso, de la Tierra. La erosión terrestre es el resultado de la acción combinada de varios factores, como la temperatura, los gases, el agua, el viento, la gravedad y la vida vegetal y animal. En algunas regiones predomina alguno de estos factores, como el viento en las zonas áridas. (ASTROMIA, 2005)

**Erosividad:** es la capacidad potencial de la lluvia para erosionar. (UDELAR, 2004)

**Páramo:** El páramo es un ecosistema natural sobre el límite de bosque alrededor de los 3600 m.s.n.m., dominado por pajonales, rosetales, arbustales, humedales y pequeños bosques; presenta un clima frío y es un ecosistema muy frágil a los cambios en el uso de la tierra, por lo que su potencial para la producción es muy limitado. (Mena Vásconez & Hofstede, 2006).

**Sistema Ecológico:** Comprende elementos naturales y humanos vinculados por relaciones de dependencia mutua, entre los cuales están el relieve, clima, ríos, suelos, seres humanos, plantas animales. En este sistema las características de cada elemento se explican por causas naturales (físicas, químicas, biológicas). El hombre interviene como un ser vivo especial porque depende de los recursos naturales pero también tiene una capacidad para modificarlos rápidamente, sea con efectos positivos o negativos. (CRICYT, s.f.)

**Zonificación:** La zonificación según su definición, consiste en la separación y segregación del territorio respecto de su entorno, donde se reconocen por una parte elementos que lo diferencian, y por otra, se actúa con el fin de aislarlos para un propósito particular.

En el proceso discriminativo de la percepción espacial para la zonificación del territorio, el actor puede fraccionarlo en un instante dado en unidades de diversos tamaños, formas y ubicación, de acuerdo con las características del terreno y la corporalidad de una cultura. (Ministerio de Desarrollo Social del Gobierno de Chile, s.f.)

#### **1.4.4 Marco Metodológico**

El estudio de la pérdida de suelo por procesos erosivos en los Páramos de la zona Noroccidental del volcán Casahuala consistió en tres fases:

##### **a) Recopilación, sistematización y análisis de información básica.**

- Cartografía del sitio de estudio para analizar las áreas de afectación.
- Obtención de datos pluviométricos procedentes de estaciones climatológicas ubicadas dentro y fuera del área de estudio.

##### **b) Levantamiento de información de campo**

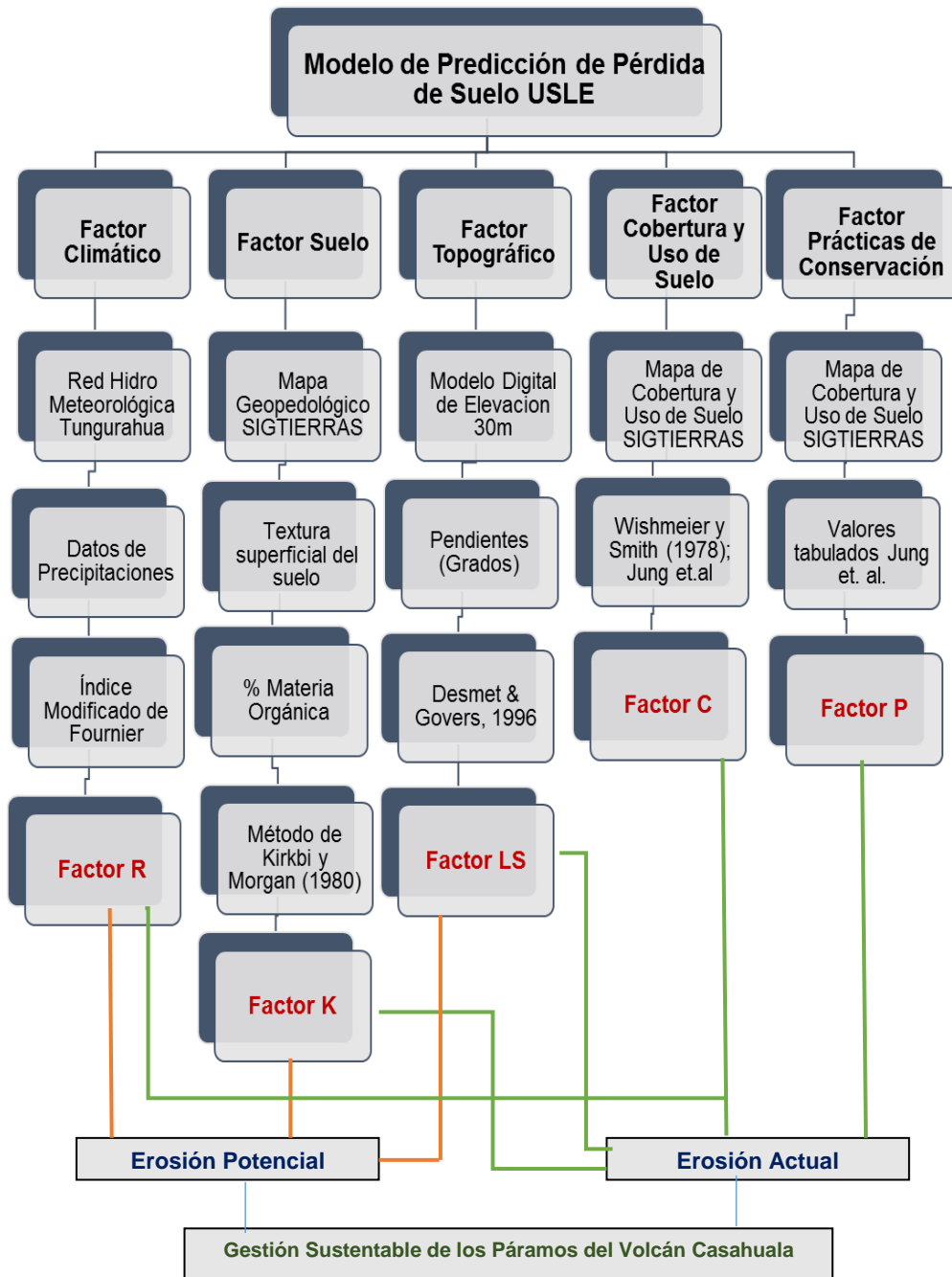
Para comprobar la información obtenida de mapas, datos climatológicos y de shapefile, a escalas 1:25000 y 1:50000, se procedió a realizar visitas de campo a los páramos noroccidentales del Casahuala para evidenciar el grado de erosión que posteriormente servirá para la comprobación de los resultados obtenidos mediante la aplicación del modelo de degradación del suelo.

##### **c) Procesamiento de la información del estudio**

- Análisis interpretativo de la cartografía producida del tema.
- Procesamiento cartográfico y análisis de la información mediante el software ArcGIS 10.1, con el fin de realizar la localización del área de estudio, así como la generación de mapas por cada uno de los parámetros de la Ecuación Universal de Degradación de Suelos para obtener la erosión actual y potencial del área de estudio.
- Sistematización e interpretación de los resultados de los mapas para la erosión actual y potencial.
- Elaboración de medidas para la gestión sustentable de los páramos del Casahuala.

La estimación de la erosión hídrica actual y potencial requiere de información temática como suelos, clima, pendiente y cobertura y uso de la tierra, la cual, se automatiza a través del sistema de información geográfico y mediante análisis espacial se obtiene los mapas resultantes que indica los rangos de erosión actual y potencial de la zona noroccidental del volcán Casahuala. El proceso de obtención de la erosión se resume en la imagen número 1:

**Imagen No. 1** Esquema de obtención de la Erosión Actual y Potencial aplicando el modelo USLE



Elaborado por: Pablo Andrés Calero Pérez

## CAPÍTULO II

### CARACTERIZACIÓN DE LOS PÁRAMOS DE LA ZONA NOROCCIDENTAL DEL VOLCÁN CASAHUALA

Los páramos de la zona noroccidental del volcán Casahuala forma parte de la zonificación de las áreas de conservación de la provincia de Tungurahua en el estudio realizado para la formulación de la Agenda Ambiental 2014 – 2020, donde para delimitar las seis zonas de conservación del ecosistema páramo y los bosques de neblina, se toma como base la conformación de la cuenca alta del río Pastaza, porque se lo considera como el “elemento que organiza el territorio de la provincia en los aspectos agro productivos y de asentamientos humanos, donde además confluyen un sin número de intereses dados por el acceso al recurso agua como el elemento estratégico a conservarse” (Gobierno Provincial de Tungurahua - Corporación Alemana - GIZ, 2014)

Por lo tanto, la cuenca alta del río Pastaza presenta la siguiente zonificación por áreas de conservación, como muestra la imagen número 2; donde la zona uno es la sujeta a estudio.

**Imagen No. 2** Zonificación de la cuenca alta del Río Pastaza por áreas de conservación.

Ecosistema	Unidad Hidrográfica	Hito Natural	Zonas para la Conservación
Ambato	Río Ambato	Casahuala	Zona 1. Páramos de la zona noroccidental del Casahuala, afluentes del río Casahuala y Alajua
			Zona 2. Páramos de la zona occidental del Casahuala, afluentes del Río Calamaca
	Reserva de Producción Faunística Chimborazo	Zona 3. Páramos de la zona suroccidental del Carihuairazo, afluentes del río Colorado y Blanco	
	Río Pachanlica	Reserva de Producción Faunística Chimborazo, Cerro del Igualata, Shashuis, Llimpes, Mulmul y Teligote	Zona 4. Páramos y áreas naturales de la Mancomunidad del Frente Sur Occidental - Pelileo
Cutuchi y Patate	Ríos: Yanayacu, Cutuchi y Patate	Parque Nacional Llanganates	Zona 5. Páramos y bosques de neblina de la zona nororiental de los Llanganates, afluentes de los ríos Cutuchi y Patate
Drenajes Menores del Pastaza	Río Blanco, Río Verde, Río Negro		Zona 6. Páramos orientales y bosques de neblina del Parque Nacional Llanganates, afluentes del Pastaza

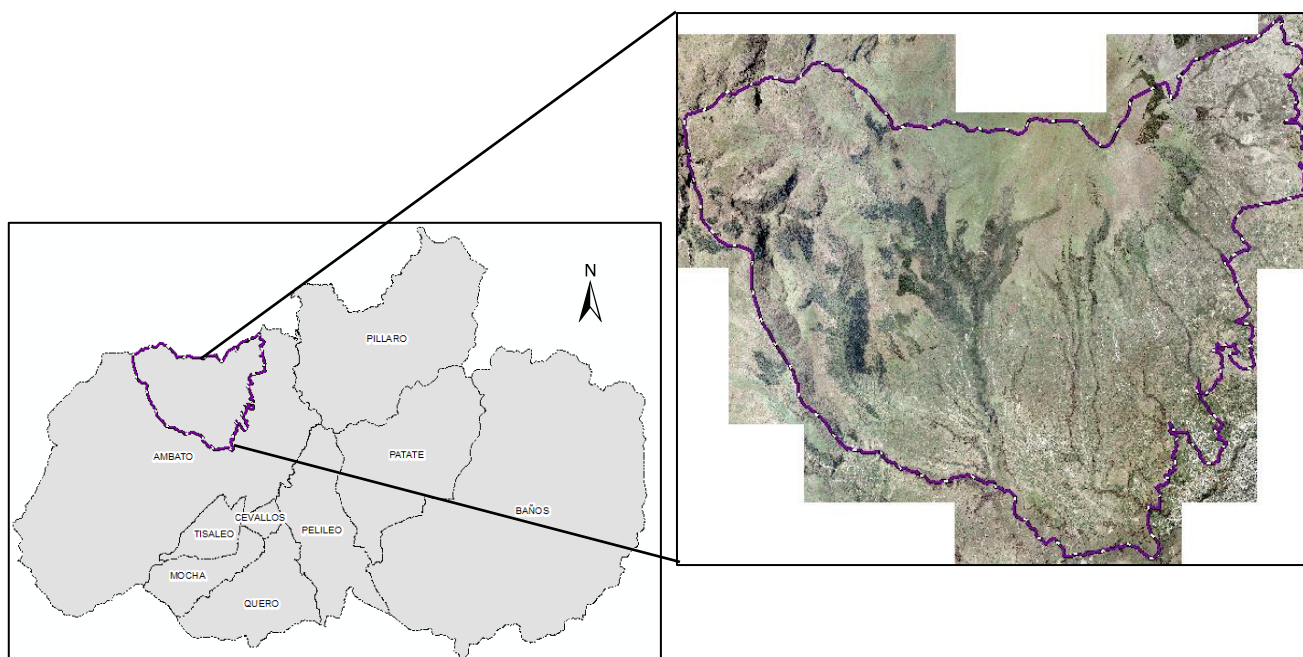
**Fuente:** Agenda Ambiental de Tungurahua 2014 - 2020

## 2.1 LOCALIZACIÓN

La zona de los páramos del volcán Casahuala tienen una altitud que va desde los 2800 m.s.n.m. hasta los 4400 m.s.n.m., este sistema ecológico se localiza al noroccidente del cantón Ambato como lo muestra la imagen No. 3; en las estribaciones de los cerros Casahuala, Saguatoa y Pilisurco, que pertenecen a la red hídrica de los ríos Casahuala y Alajua que convergen en el río Ambato. (Ver Mapa No.1)

Su extensión es aproximadamente de 18000 hectáreas, de las cuales únicamente 8600 hectáreas se encuentran bajo conservación. Dentro de esta área se localizan las parroquias de Quizapincha, Ambatillo, San Bartolomé de Pinllo, Constantino Fernández y parte de Augusto Nicolás Martínez, donde sus pobladores cumplen la función de cuidar los páramos para mantener la sustentabilidad del recurso agua para el riego.

**Imagen No. 3** Ubicación de los Páramos de la Zona Noroccidental del Volcán Casahuala dentro de la provincia de Tungurahua.



**Fuente:** Geo información Gobierno Provincial de Tungurahua

**Elaborado por:** Pablo Andrés Calero Pérez

## **2.2. ZONAS DE CONSERVACIÓN Y SISTEMAS ECOLÓGICOS**

La zona noroccidental del Casahuala presenta tres sistemas ecológicos que son prioridad para la conservación dentro de la Agenda Ambiental 2014-2020 de la provincia de Tungurahua (Ver Mapa No. 1). A continuación se detallará el área de cobertura en la zona y características de la vegetación:

### **2.2.1 Bosques Altimontanos Norte Andinos Siempreverdes**

Los bosques altimontanos siempreverdes abarcan una extensión aproximada de 1651,23 hectáreas en los páramos del volcán Casahuala, distribuidos en pequeños parches producto de la fragmentación del páramo y las actividades antrópicas.

El sistema ecológico se caracteriza por presentar bosques que tienen un dosel entre los 10 y 15 metros de altura; se localizan únicamente en zonas donde su topografía es abrupta con pendientes muy inclinadas entre 15° y 87° (Santiana , Báez, & Guevara, 2012). Su vegetación se identifica por tener troncos gruesos, en algunas ocasiones torcidos y con raíces adventicias, en el sotobosque se observan especies de helechos herbáceos o arbóreos (*Dicksonia* y *Cyathea*) así como gran cantidad de arbustos (*Calceolaria*, *Ribes*, *Rubus*, *Berberis*, *Ilex*, *Brachyotum* y *Miconia*)

### **2.2.2 Pajonal Altimontano y Montanos Paramunos**

La zona de pajonal altimontano y montanos paramunos es la que mayor extensión tiene dentro de la zona de estudio con 6690,95 hectáreas y se localiza en los alrededores del cerro Casahuala, pese a que en los últimos años ha sufrido un deterioro por las constantes intervenciones, disminuyendo su extensión en un 30% es decir 2766,37 hectáreas fueron intervenidas por actividades antrópicas.

El pajonal altimontano, es el ecosistema con mayor cobertura en el Ecuador porque, se extiende a lo largo de las dos cordilleras de los Andes y se localiza generalmente en valles glaciares, laderas y llanuras montañosas que superan los 3300 m.s.n.m. La vegetación de este ecosistema está influenciada por la actividad de las quemadas vinculadas a la ganadería extensiva, resultando un mosaico complejo con diferencias de vegetación a lo largo de la gradiente altitudinal. (Salgado, Cuesta, Báez, & Josse)

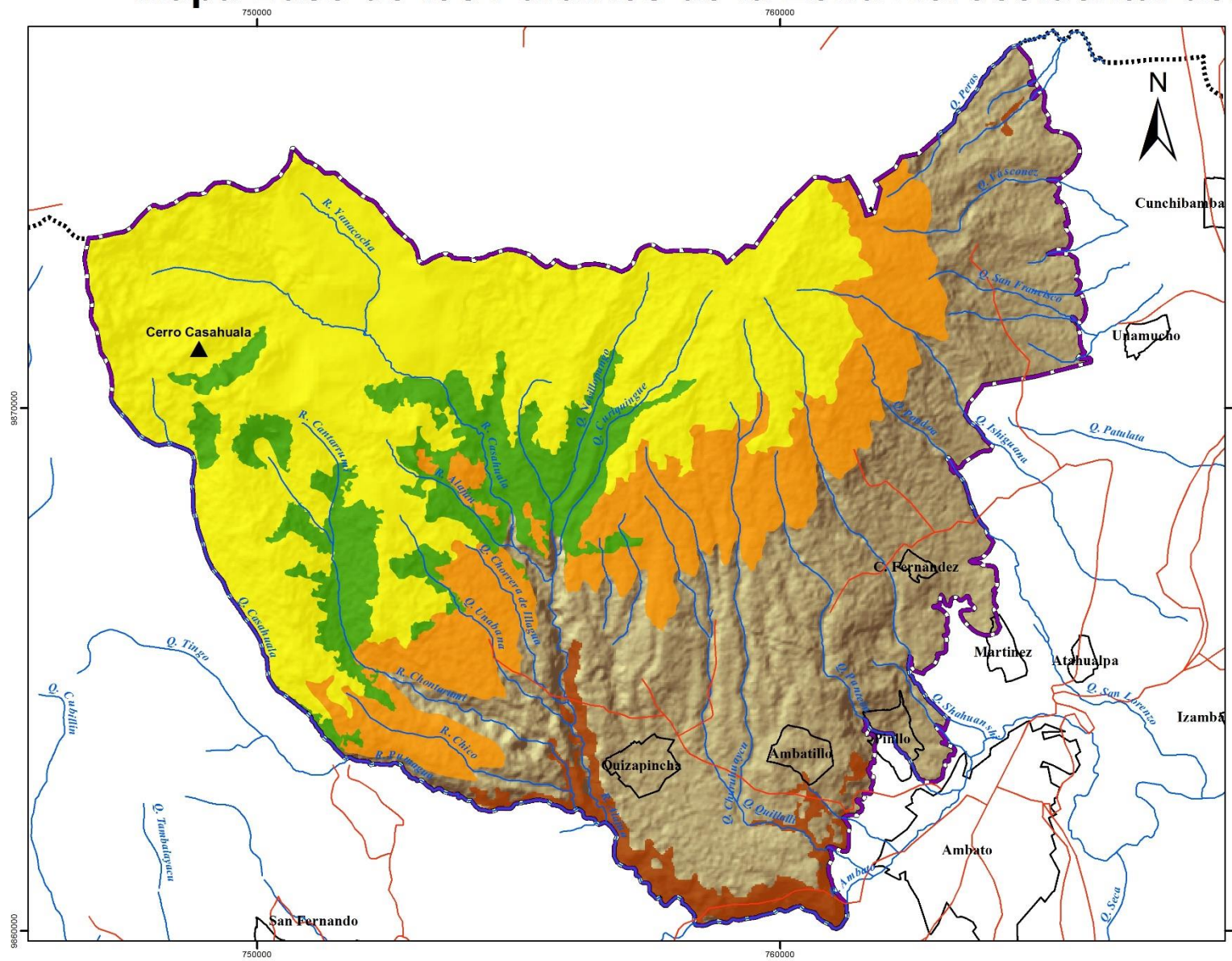
Por influencia negativa de las quemas y el sobrepastoreo los herbazales tienen una menor altitud, perdiendo biomasa y las especies rastreras que crecen en las condiciones de clima de los pajonales son escasas. Este ecosistema está caracterizado por contar con vegetación densa predominando especies de gramíneas de los géneros: *Calamagrostis*, *Agrostis*, *Festuca*, *Cortaderia bífida* y *Stipa*.

### **2.2.3 Arbustal Siempreverde Montano**

El sistema ecológico arbustal siempreverde se lo puede encontrar en pequeñas áreas principalmente en las cercanías a las parroquias de Quizapincha y Ambatillo, junto a los sistemas hídricos con una extensión de 573,26 hectáreas.

Este ecosistema fisonómicamente, se puede definir como arbustal bajo semiprostrado con alturas que oscilan entre 0,5 a 1,5 metros; su vegetación se lo cataloga siempreverde y subesclerófilo y crece en laderas suaves y en planicies montañosas sobre suelos húmedos. Las especies de vegetación que caracterizan este ecosistema son de los géneros: *Hypericum laricifolium*, *Diplostephium ru-pestre*, *Diplostephium schultzi*, *Lachemilla nivalis*, *Pernettya prostrata* y *Vaccinium floribundum*. (Beltrán, y otros, 2009)

# Mapa Base de los Páramos de la Zona Noroccidental del Volcán Casahuala



### SIMBOLOGÍA

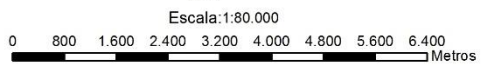
- ▲ Cumbre Cerro Casahuala
- Vías
- ~ Ríos
- ▭ Páramos Noroccidentales del Casahuala
- ⊕ Centros Poblados
- ⋯ Límite Provincia Tungurahua



### LEYENDA

#### Sistema Ecológico

- Bosques Altimontanos Norte Andinos Siempreverdes - 1651,23 ha.
- Pajonal Altimontano y Montano Paramuno-Pajonal Arbustivo - 6690,95 ha.
- Intervención - 2766,37 ha.
- Arbustal siempreverde montano - 573,26 ha.




**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**

FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS  
 ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS  
 CIENCIAS GEOGRÁFICAS Y PLANIFICACIÓN TERRITORIAL

Contiene: Mapa Base de los Páramos de la Zona Noroccidental del Volcán Casahuala			
Elaborado por: Pablo Andrés Calero Pérez		Revisado por: María Augusta Almeida	
Fuente: Geoinformación HGPT	Datum: WGS84	Fecha: 20/04/2017	MAPA: 1 / 14
Zona: 17 Sur	Escala de Trabajo: 1:80.000	Escala de Fuente: 1:50.000	

### **2.3. ZONAS DE VIDA O FORMACIONES VEGETALES**

Las zonas de vida de Holdridge es un esquema empleado para analizar el medio ambiente y clasificar las áreas terrestres mediante una relación entre factores climáticos y vegetación natural sobre un rango muy amplio de medio ambiente geográfico. El diagrama utiliza para su interpretación, la biotemperatura, la precipitación y la humedad, convirtiéndolo en un instrumento fácil de utilizar y obtener la formación vegetal de cualquier parte de la Tierra. (Cañadas Cruz, 1983)

Con esta pequeña definición de las zonas de vida de Holdridge, los páramos del volcán Casahuala presenta las siguientes formaciones vegetales (Ver Mapa No 2):

#### **2.3.1 Bosque húmedo Montano (b.h.M.)**

Corresponde a los páramos bajos y húmedos cuyo rangos altitudinales oscilan entre 2500 y 3300 m.s.n.m.; su topografía es montañosa con grandes escarpes y sus precipitaciones anuales están entre los 500 y 1000 milímetros, en estas zonas se observa actividades de pastoreo, pese a que por su alta humedad y bajas temperaturas las actividades agropecuarias son inapropiadas. (Cañadas Cruz, 1983)

En la zona noroccidental del Casahuala la formación vegetal abarca cerca de 17446,499 hectáreas, dentro de las cuales ciertas áreas se han visto afectadas por la implementación de cultivos, de forma intensiva, como: la papa, la oca, melloco, mashua y quínoa, aún en laderas de pendiente fuerte a través de la construcción de terrazas.

#### **2.3.2 Bosque seco Montano bajo (b.s.M.b.)**

Esta zona de vida corresponde a llanuras y barrancos secos del callejón interandino en áreas relativamente pequeñas y dispersas, con rangos altitudinales que oscilan entre los 2000 y 3000 m.s.n.m. En estas zonas se registran precipitaciones anuales entre los 500 y 1000 milímetros, convirtiéndose en un área con alto potencial para la agricultura en mosaico y para la ganadería incluso en terrenos de pendientes moderadas a fuertes, aunque por esta forma de relieve su uso debería ser para pastizales o bosques. (Cañadas Cruz, 1983)

En la zona noroccidental del Casahuala la formación vegetal abarca cerca de 497,949 hectáreas, con muy pocas agrupaciones de árboles y con extensas áreas de cultivos de subsistencia para las comunidades cercanas; así mismo la colonización ha permitido la plantación de eucaliptos y pinos que han constituido bocajes o barreras para proteger a los cultivos del agente erosivo que es el aire.

### **2.3.3 Estepa Montano (e.M.)**

La formación vegetal corresponde a los páramos bajos y secos, en el Ecuador solo cubren una superficie aproximada de 110225 hectáreas que corresponde al 0,43% del territorio nacional; su precipitación media anual se encuentra entre los 250 y 500 milímetros, esta zona se caracteriza por las constantes temperaturas bajas que dan origen a las heladas que destruyen los cultivos. (Cañadas Cruz, 1983)

Producto de la incertidumbre sobre la cantidad de lluvia, el área de cultivo sin riego es pequeña, mientras que el área regable es restringida por factores topográficos y de drenaje; la mayor parte del suelo se lo utiliza únicamente para pastoreo de ganado ovino. Los cultivos que se presentan en esta zona son especialmente de cereales como la cebada; así como de cultivos típicos de las comunidades indígenas como: mashua, oca, melloco, haba. (Cañadas Cruz, 1983)

En la zona noroccidental del Casahuala la formación vegetal cuenta con una extensión de 334,561 hectáreas, como un caso particular de esta parte de los páramos es que el pastoreo de oveja se los lleva a cabo en forma primitiva, es decir no existe un buen manejo de los potreros, logrando que la erosión del suelo sea muy marcada y los pastizales cada vez se reduzcan.

### **2.3.4 Estepa espinosa Montano-Bajo (e.e.M.B.)**

Esta zona de vida, se encuentra en el callejón interandino formando llanuras, barrancos y valles muy secos; su rango altitudinal esta entre los 2000 hasta los 2800 m.s.n.m. en las vertientes occidentales y llega a los 3000 m.s.n.m. en las vertientes orientales de los Andes; su precipitación media anual está entre los 250 y 500 milímetros, pero existe cierta variación en la cantidad de lluvia, debido a las dos formas de llegar la lluvia a la zona siendo la primera, como resultado de tempestades locales de tipo convencional o de tipo

orográfico, y la segunda relacionada con profundas depresiones atmosféricas (Cañadas Cruz, 1983).

El uso de la tierra está restringido a la disponibilidad de riego, profundidad y contenido de materia orgánica así como del factor pendiente; es por esta razón que en laderas con fuerte pendiente y suelos superficiales tiene potencial para la reforestación con especies de eucalipto (*Eucalyptus globulus*); por otro lado en los suelos cuyo material es cangahua se cultiva cebada, maíz pero con bajos rendimientos. Convirtiéndole en una zona con poca potencialidad para las prácticas agrícolas, lo que es positivo en parte, porque así se evita desgastar la capa del suelo y evitar una erosión a corto o largo plazo (Cañadas Cruz, 1983).

En la zona noroccidental del Casahuala la formación vegetal cuenta con una extensión de 21,777 hectáreas, siendo la de menor cobertura en el área de estudio.



## **2.4. CONDICIONES CLIMÁTICAS**

Para poder estimar el grado de degradación del suelo en la zona noroccidental del volcán Casahuala, es necesario describir las condiciones climáticas que existen por ser un factor condicionante de la presencia o ausencia de la erosión; para ello, se utilizará la clasificación de climas propuesta por Pierre Pourrut, plasmadas en el Mapa No.3.

La zona de estudio cuenta con tres tipos de climas que son:

### **2.4.1 Ecuatorial de alta montaña**

El clima ecuatorial de alta montaña se presenta por encima de la cota de los 3000 m.s.n.m.; con temperaturas máximas que no sobrepasan los 20°C; y las mínimas son inferiores a los 0°C. Por su parte las precipitaciones anuales fluctúan entre los 800 y 2000 m.s.n.m. llevando a tener una humedad relativa superior al 80% (Pourrut, Róvere, Romo, & Villacrés, s.f.); es decir las precipitaciones son de larga duración, logrando que los suelos de la zona sean propensos a la degradación, siempre y cuando la cobertura vegetal no sea removida. Esta zona climática abarca una extensión en el área de estudio de 12781,96 hectáreas, es decir el 68,85% del total del territorio.

### **2.4.2 Ecuatorial Mesotérmico Semi-Húmedo**

El clima ecuatorial mesotérmico semi-húmedo a húmedo es uno de los climas más característicos de la región interandina, debido a que ocupa la mayor extensión y únicamente no se presenta en las zonas de valles ni en las zonas situadas por encima de la cota de los 3200 m.s.n.m.; sus temperaturas están entre los 12°C y 20°C pero en ciertas ocasiones suelen descender especialmente en las vertientes donde la exposición al sol es menor, las temperaturas mínimas rara vez llegan a los 0°C y las máximas a los 30°C. (Pourrut, Róvere, Romo, & Villacrés, s.f.)

La precipitación anual está entre los 500 y 2000 milímetros repartidas en dos épocas lluviosas, de febrero a mayo y de octubre a noviembre; ocasionando que la humedad relativa se encuentre entre el 65% al 85%; por su parte la estación seca o la de menor índice de precipitación se produce en los meses de junio a septiembre. Algo particular de esta franja climática es que la vegetación natural de la zona se ha visto sustituida cada vez más por pastizales y cultivos. (Pourrut, Róvere, Romo, & Villacrés, s.f.)

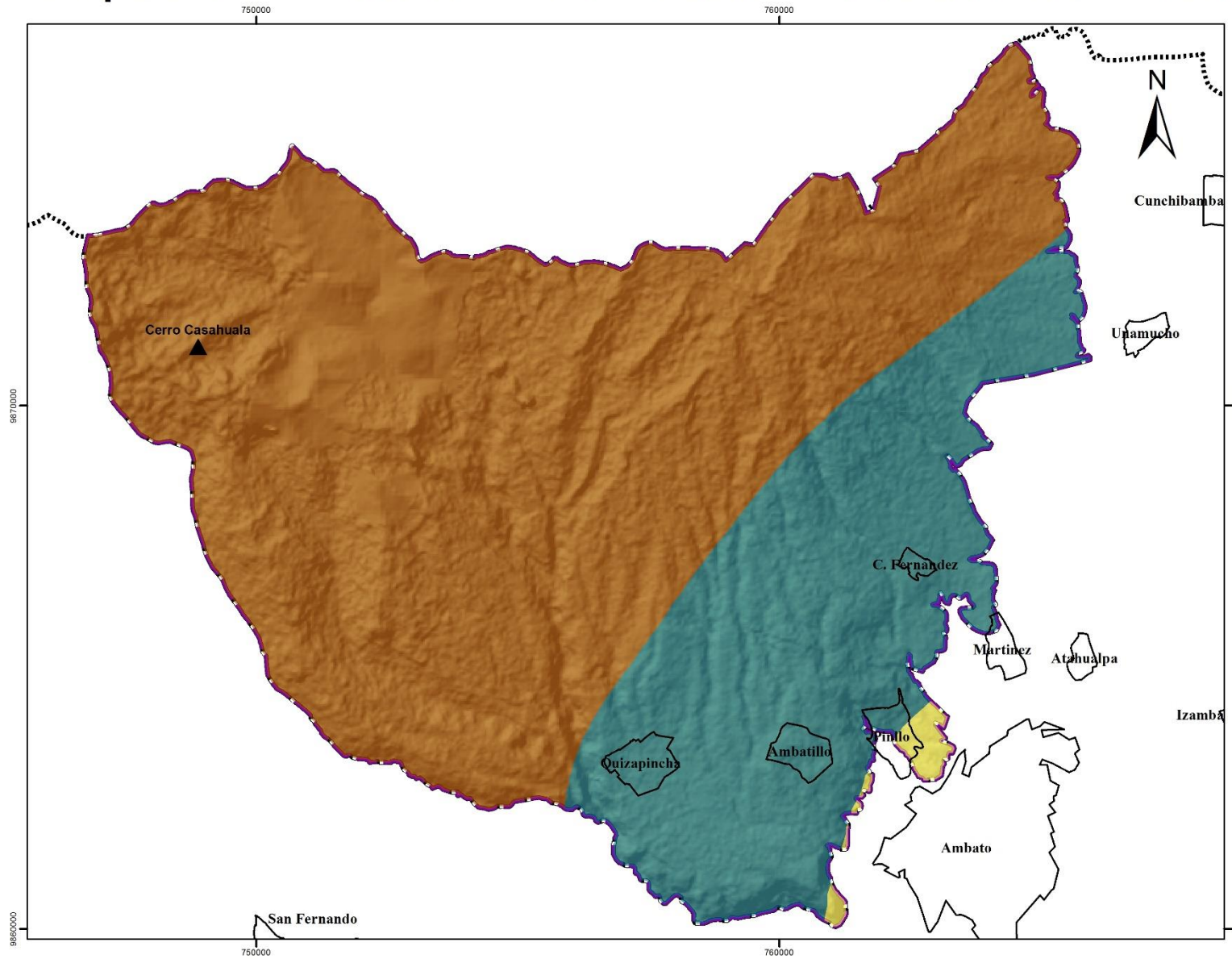
En el territorio en estudio el clima ecuatorial mesotérmico semi húmedo abarca 5385,76 hectáreas, es decir en el 29,49% del territorio se presenta este clima.

### **2.4.3 Ecuatorial Mesotérmico Seco**

El clima ecuatorial mesotérmico seco se asocia a los valles interandinos, en el que las temperaturas van entre los 12°C y 20°C y las precipitaciones anuales son inferiores a 500 milímetros presentando dos picos pluviométricos que están separados por dos épocas secas; en donde la acumulación de aire relativamente frío y denso contribuye a la creación de condiciones climáticas estables con cielos poco nubosos y con una humedad relativa entre 50% y 80%. (Pourrut, Róvere, Romo, & Villacrés, s.f.)

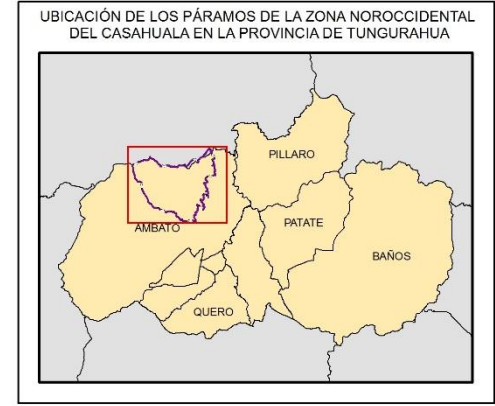
La zona de los páramos noroccidentales del volcán Casahuala presentan este tipo de clima en 132.66 hectáreas, es decir el 0,72% del territorio se asocia a este clima seco.

# Mapa de Pisos Climáticos de los Páramos de la Zona Noroccidental del Volcán Casahuala



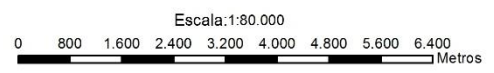
### SIMBOLOGÍA

- ▲ Cerro Casahuala
- ⊕ Centros Poblados
- ▭ Páramos Noroccidentales del Casahuala
- ⋯ Limite Provincia Tungurahua



### LEYENDA

- Ecuatorial de Alta Montaña - 68.85%
- Ecuatorial Mesotérmico Semi-Húmedo - 29.49%
- Ecuatorial Mesotérmico Seco - 0.72%




**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
 FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS  
 ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS  
 CIENCIAS GEOGRÁFICAS Y PLANIFICACIÓN TERRITORIAL

Contiene: Mapa de Pisos Climáticos de los Páramos de la Zona Noroccidental del Volcán Casahuala

Elaborado por: Pablo Andrés Calero Pérez		Revisado por: María Augusta Almeida	
Fuente: MAGAP 2002	Datum: WGS84	Fecha: 14/06/2017	MAPA: 3 / 14
Zona: 17 Sur	Escala de Trabajo: 1:80.000	Escala de Fuente: 1:250.000	

## 2.5. CARACTERÍSTICAS EDAFOLÓGICAS

El tipo de suelo, es otro factor que incide en la erosión, he aquí la importancia de describir la taxonomía del suelo presente en la zona de los páramos del Casahuala; por esta razón se utilizó la cobertura de Geopedología del cantón Ambato a escala 1:25000 (Ver Mapa No. 4) obteniendo los siguientes tipos de suelo:

### 2.5.1 Andosol

El término se deriva del japonés “an” que significa negro y “do” que significa suelo, es decir, hace alusión a su carácter de suelos negros desarrollados sobre materiales piroclásticos como: tobas, piedras pómez y cenizas; su origen se produce debido al rápido enfriamiento de los materiales que fueron expulsados permitiendo que los minerales no se cristalicen, dando como resultado material vítreo o más conocido como vidrio volcánico amorfo. El ambiente de desarrollo es en relieves ondulados a montañosos, en regiones con alto grado de humedad y variedad de vegetación. (Ramón Moreno, Ibañez Asensio, & Gisbert Blanquer, s.f.)

Son suelos de rápida intemperización o alteración biogeoquímica del material volcánico poroso lo que provoca una acumulación de complejos órgano metálico estable con elevada relación catión/anión. Dichos minerales están limitados a alófana, imogolita y ferrihidrita (Ibañez & Manríquez Cosio, 2011).

Sus principales propiedades son:

- De textura fina, aunque su contenido de arcilla no pasa del 20 a 25%.
- Su estructura está formado por agregados muy finos de tamaño de limo y arena fina, aunque mayor sea su evolución menor cantidad de arena contiene.
- Estructura porosa con densidad aparente del suelo muy baja que oscila entre 0,5 y 0,8 kgdm<sup>-3</sup>, y cuenta con una permeabilidad muy elevada.

**Utilización:** Los suelos andosoles son intensivamente cultivados, aunque su mayor limitación es su gran capacidad de retener fósforo de forma no biodisponible para la asimilación por parte de las raíces de las plantas, y al encontrarse en lugares donde su topografía es pronunciada, la actividad de cultivo se convierte en un factor para la degradación del suelo o el desaparecimiento de los horizontes A y B. (Ramón Moreno, Ibañez Asensio, & Gisbert Blanquer, s.f.)

Dentro del área de estudio, el suelo de tipo andosol se encuentra en el 40,4%, esto se debe a la cercanía del volcán Casahuala que en sus anteriores erupciones ha ido depositando el material volcánico en la zona, dando origen a estos suelos. Además, los páramos del Casahuala presentan los siguientes sub-ordenes de suelo: Aquic Haplocryands, Aquic Hapludands, Vitric Melanocryands y Typic Haplocryands

### **2.5.2 Mollisol**

El tipo de suelo del orden molisol proviene del latín *mollis* que significa suaves, es decir son los suelos de pastizales o los suelos que tienen el horizonte de color oscuro, tienen alta fertilidad por contener bases químicas como calcio, magnesio y además porque provienen de la adición de materia orgánica al suelo por parte de las raíces más profundas de las plantas que se desarrollan en estas zonas. (Ibañez Asensio, Gisbert Blanquer, & Moreno Ramón, s.f.)

La principal característica que diferencian a los suelos de orden molisol es que no cuentan con el material orgánico cubierto de cenizas ni materiales fragmentados como cristales ligeros, no poseen horizonte A y presentan arcilla en el horizonte B proveniente de la erosión de la roca madre por el fuerte régimen de lluvia. (Ibañez Asensio, Gisbert Blanquer, & Moreno Ramón, s.f.)

El aprovechamiento de este tipo de suelo es para plantaciones forestales o pastizales; en lo que respecta a cultivos es compatible con el maíz, soja y algodón; aunque en zonas cálidas donde las pendientes no son tan escarpadas, los molisoles se utilizan exclusivamente para cultivos de granos debido al alto contenido de retención de humedad de este suelo. (Ibañez Asensio, Gisbert Blanquer, & Moreno Ramón, s.f.)

El suelo de tipo molisol se encuentra en el 47,57% del territorio, además, los páramos del Casahuala presentan los sub-ordenes: *Entic Durustolls*, *Entic Haplustolls*, *Pachic Argiustolls*, *Pantic Haplustolls*, *Pachic Vitric Melanudands*, *Typic Argiustolls* y *Typic Haplustolls*

### **2.5.3 Inceptisol**

Los inceptisoles son suelos que están empezando a exponerse en los horizontes, debido a que son considerados suelos jóvenes y en constante evolución mediante procesos de translocación de materiales o meteorización. El clima no es un impedimento para el desarrollo de los suelos inceptisoles, porque se los puede observar en todo tipo de clima a excepción de las zonas áridas; su régimen de humedad puede ser variable, es decir se muestran suelos con poco drenaje y suelos muy bien drenados incluso en pendientes fuertes donde la erosión del suelo elimina continuamente la parte superficial del terreno. (Ibañez Asensio, Gisbert Blanquer, & Moreno Ramón, Inceptisoles, s.f.)

Gran parte de estos suelos son aprovechados para actividades forestales, pero también son suelos para cultivo y pastos, siempre y cuando la humedad no falte; pero cuando se localizan este tipo de suelo en pendientes fuertes el uso idóneo es bosques para prevenir la erosión. El suelo de tipo inceptisol se encuentra en 0,15% del territorio.

### **2.5.4 Entisol**

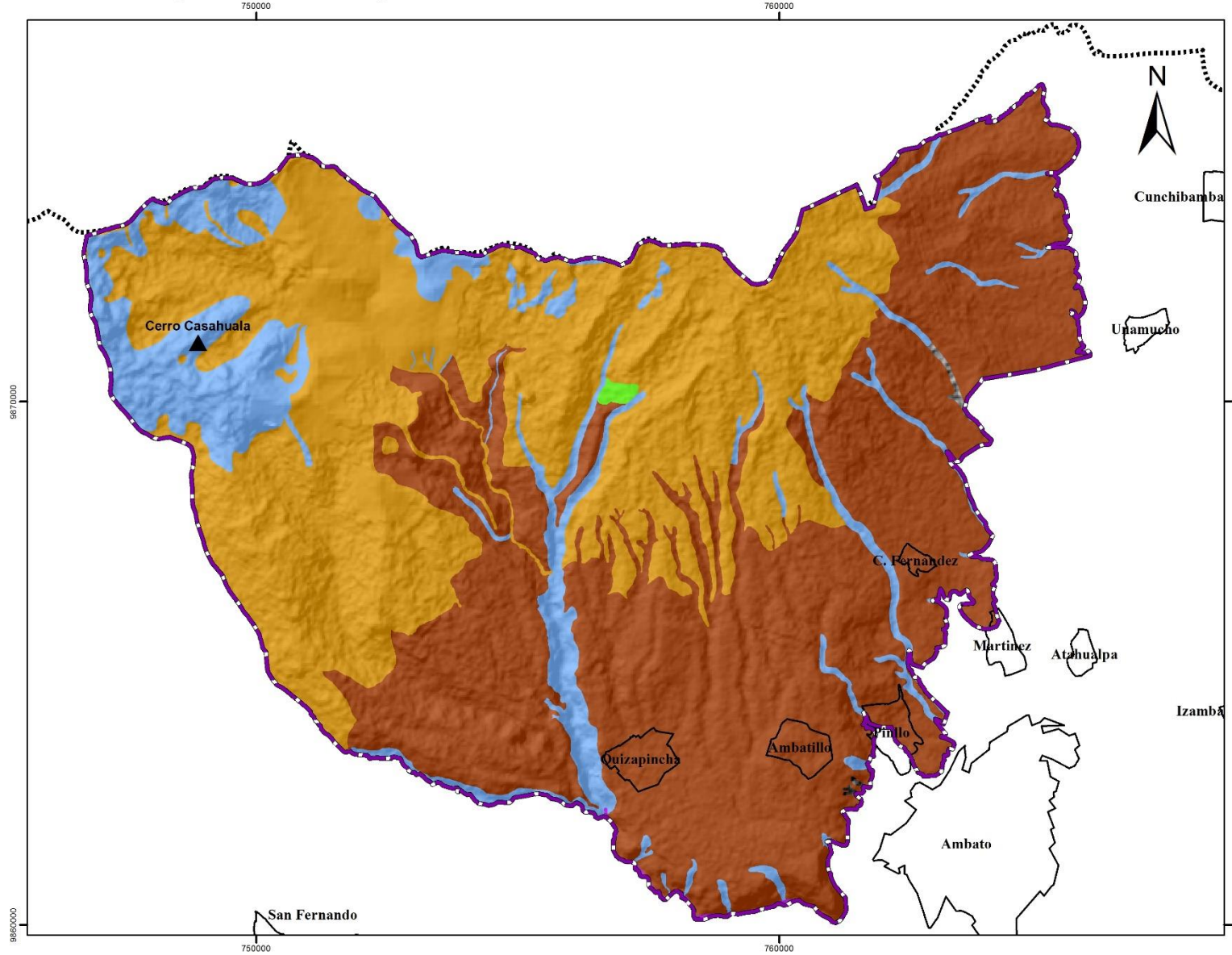
Son considerados como los suelos más jóvenes, no presentan evidencias de desarrollo de horizontes pedogenéticos, únicamente presentan su material parental inmeteorizado como arena, óxido de hierro, óxido de aluminio y caolinita. Se encuentra en constante erosión en pendientes fuertes, por las fuertes lluvias provocando la deposición de nuevos materiales parentales como serpentinita, restos mineros y arcillas sulfídicas (Ibañez Asensio & Gisbert Blanquer, Entisoles, s.f.)

Las principales causas del poco desarrollo son:

- Período de formación corto
- Hidromorfismo, donde el desarrollo de horizontes se demora por la presencia de capas freáticas.
- Presencia de abundante cuarzo y otros materiales primarios que son difíciles de alterar.
- Reiteradas acumulaciones de materiales cuyo origen es aluvial lo que van rejuveneciendo el perfil del suelo entisol.

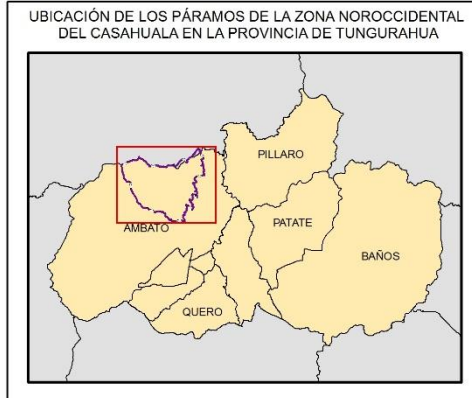
El suelo de tipo entisol se encuentra en 0,31% del territorio, además los páramos del Casahuala presentan los sub-ordenes: Typic Ustipsamments y Typic Ustorthents.

# Mapa Edafológico de los Páramos de la Zona Noroccidental del Volcán Casahuala



### SIMBOLOGÍA

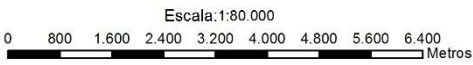
- ▲ Cerro Casahuala
- ▭ Páramos Noroccidentales del Casahuala
- ⊕ Centros Poblados
- ⋯ Límite Provincia Tungurahua



### LEYENDA

#### Orden de los Suelos

<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: orange; border: 1px solid black;"></span> Andisol - 40.40%	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: brown; border: 1px solid black;"></span> Molisol - 47.57%
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: purple; border: 1px solid black;"></span> Entisol - 0.31%	<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: lightblue; border: 1px solid black;"></span> No Aplica - 11.56%
<span style="display: inline-block; width: 15px; height: 15px; background-color: lightgreen; border: 1px solid black;"></span> Inceptisol - 0.15%	




**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
 FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS  
 ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS  
 CIENCIAS GEOGRÁFICAS Y PLANIFICACIÓN TERRITORIAL

Contiene: Mapa Edafológico de los Páramos de la Zona Noroccidental del Volcán Casahuala			
Elaborado por: Pablo Andrés Calero Pérez		Revisado por: María Augusta Almeida	
Fuente: SIGTIERRAS 2014	Datum: WGS84	Fecha: 14/06/2017	MAPA: 4 / 14
Zona: 17 Sur	Escala de Trabajo: 1:80.000	Escala de Fuente: 1:25.000	

## 2.6. USO DEL SUELO

Para analizar el uso del suelo que se presenta en la zona noroccidental de los páramos del volcán Casahuala, se utilizó la cobertura de uso del suelo del cantón Ambato a escala 1:25000 propuesta por el SigTierras en su proyecto de elaboración de cartografía temática a nivel cantonal obteniendo 11 usos de suelo en la zona tal como se muestra en el Mapa No. 5.

Al encontrarse el área de estudio, en una zona de alta montaña su principal cobertura de uso de suelo son los páramos con una extensión para el año 2014 de aproximadamente 7225,26 hectáreas lo que equivale al 40,22% del total del territorio; aunque progresivamente la extensión de páramo se ha visto afectada por el aumento de las actividades agrícolas llegando a ocupar esta actividad un 3718,77 hectáreas es decir el 20,7% del territorio, convirtiéndose en uno de los principales problemas de la degradación de la cobertura natural.

El uso de suelo de una zona está relacionado directamente con las actividades económicas que realizan la población, para ello es necesario conocer que actividad es la prioritaria en la zona de estudio; por esta razón se tomará en cuenta el censo de población y vivienda del año 2010 para explicar este comportamiento de la población obteniendo los siguientes resultados (Ver Tabla No. 1):

<b>Tabla No. 1.</b> Población por Rama de Actividad de las parroquias rurales de la zona de los páramos del volcán Casahuala									
<b>PARROQUIA</b>	<b>Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca</b>	<b>Explotación de minas y canteras</b>	<b>Industrias manufactureras</b>	<b>Construcción</b>	<b>Comercio al por mayor y menor</b>	<b>Otras actividades del sector terciario</b>	<b>No declarado</b>	<b>Trabajador nuevo</b>	<b>Total Población</b>
AMBATILLO	492	1	1263	196	169	325	44	26	<b>2516</b>
AUGUSTO N. MARTINEZ	1501	2	840	407	418	788	176	62	<b>4194</b>
CONSTANTINO FERNANDEZ	750	2	296	75	77	155	53	13	<b>1421</b>
QUIZAPINCHA	3253	0	1645	416	323	675	239	76	<b>6627</b>
PINLLO	760	8	1065	355	691	1275	225	82	<b>4461</b>
<b>TOTAL</b>	<b>6756</b>	<b>13</b>	<b>5109</b>	<b>1449</b>	<b>1678</b>	<b>3218</b>	<b>737</b>	<b>259</b>	<b>19219</b>

**Fuente:** Censo de Población y Vivienda 2010

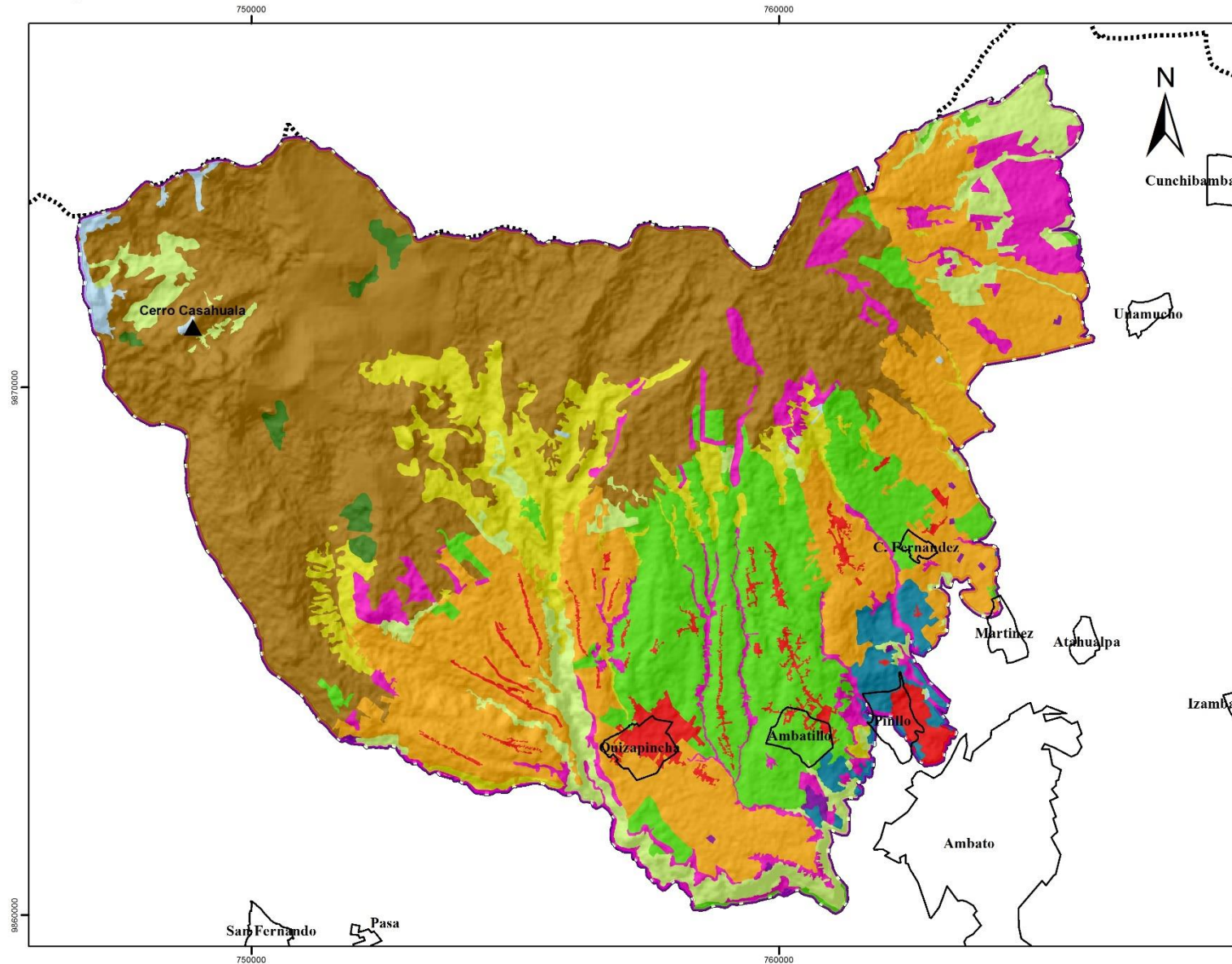
**Elaborado por:** Pablo Andrés Calero Pérez

Por otro lado, la imagen No. 4 muestra el porcentaje de población total de la zona noroccidental del volcán Casahuala por rama de actividad; en donde el 36,24% de la población total se dedica a las actividades agropecuarias; por lo tanto el uso del suelo en gran parte será para cultivos y pastoreo; ocasionando una mayor demanda de espacio para realizar dichas actividades las mismas que se irán expandiendo paulatinamente hacia la zona de los páramos es decir, más arriba de la cota de los 3600 m.s.n.m., provocando que la vegetación natural se remueva y el uso del suelo se intensifique, logrando una mayor susceptibilidad a la erosión.

**Imágen No. 4** Población por Rama de Actividad



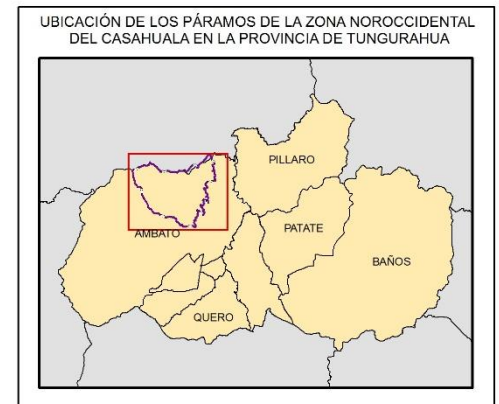
# Mapa de Uso de Suelo 2015 de los Páramos de la Zona Noroccidental del Volcán Casahuala



**LEYENDA**

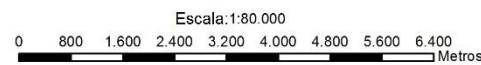
**Uso del Suelo**


<span style="color: red;">■</span>	Area Poblada - 2.34%
<span style="color: green;">■</span>	Bosque Nativo - 0.72%
<span style="color: orange;">■</span>	Cultivo - 20.70%
<span style="color: lightblue;">■</span>	Erial - 0.57%
<span style="color: purple;">■</span>	Infraestructura Antropica - 0.19%
<span style="color: teal;">■</span>	Mosaico Agropecuario - 1.57%
<span style="color: brown;">■</span>	Paramo - 40.22%
<span style="color: limegreen;">■</span>	Pastizal - 13.35%
<span style="color: magenta;">■</span>	Plantacion Forestal - 6.34%
<span style="color: yellow;">■</span>	Vegetacion Arbustiva - 7.42%
<span style="color: lightgreen;">■</span>	Vegetacion Herbacea - 6.57%



**SIMBOLOGÍA**

<span style="color: black;">▲</span>	Cumbre Cerro Casahuala
<span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">□</span>	Centros Poblados
<span style="border: 2px solid purple; padding: 2px;">□</span>	Páramos Noroccidentales del Casahuala
<span style="border-top: 1px dashed black; width: 20px; display: inline-block;"></span>	Límite Provincia Tungurahua



 <b>Pontificia Universidad Católica del Ecuador</b> FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS CIENCIAS GEOGRÁFICAS Y PLANIFICACIÓN TERRITORIAL			
Contiene: Mapa de Uso de Suelo 2015 de los Páramos de la Zona Noroccidental del Volcán Casahuala			
Elaborado por: Pablo Andrés Calero Pérez		Revisado por: María Augusta Almeida	
Fuente: SIGTIERRAS 2014	Datum: WGS84	Fecha: 14/06/2017	MAPA: 5 / 14
Zona: 17 Sur	Escala de Trabajo: 1:80.000	Escala de Fuente: 1:25.000	

## **2.7. IMPACTOS AMBIENTALES**

A pesar de que 8600 hectáreas de la zona noroccidental del volcán Casahuala se encuentran bajo un régimen de conservación, existen zonas con alto grado de impacto ambiental, provocando que los suelos y el ecosistema natural se vean afectado.

Así por ejemplo, en las parroquias de Augusto N. Martínez, Constantino Fernández, San Bartolomé de Pinllo y Ambatillo se observan bosques de pinos y eucaliptos que fueron introducidos (ver fotografía 1), ocupando una extensión aproximadamente de 337,88 hectáreas y 180 hectáreas de páramos están en recuperación pero con estas especies. (Gobierno Provincial de Tungurahua - Corporación Alemana - GIZ, 2014)

**Fotografía No. 1** Cambio de la vegetación natural por plantaciones forestales de eucalipo – Parroquia Constantino Fernández, 2017



**Fuente:** Foto tomada por Pablo Andrés Calero

Otro impacto que se evidencia en la zona es el avance de la frontera agrícola con minifundios (Ver Fotografía No. 2), que llegan a los 628 lotes que se localizan sobre la cota de los 3600 m.s.n.m.; además 611 lotes son minifundios menores a una hectárea, esto en el sector de Martínez; por su parte en Ambatillo, Pinllo y Constantino Fernández la mayor parte de los lotes tienen un área mayor a 10 hectáreas. (Gobierno Provincial de Tungurahua - Corporación Alemana - GIZ, 2014)

**Fotografía No. 2** Avance de la Frontera Agrícola – Parroquia Constantino Fernández,  
Comunidad de San José



**Fuente:** GAD Parroquia Rural Constantino Fernández

El sobrepastoreo (ver fotografía 3) es uno de los impactos ambientales con mayor incidencia dentro de la zona de estudio porque se encuentran 450 unidades bovinas y ovinas (Gobierno Provincial de Tungurahua - Corporación Alemana - GIZ, 2014) sobre el área de los páramos destruyendo la vegetación natural y desprotegiendo el suelo.

**Fotografía No. 3** Sobrepastoreo Bovino, Quizapincha 2017



**Fuente:** Foto tomada por Pablo Andrés Calero

Una vez que, se han identificado los impactos ambientales que se producen en la zona de los páramos del Casahuala, es necesario detallar las consecuencias en el territorio de estos impactos, obteniendo lo siguiente:

### **2.7.1 Avance de la frontera agrícola**

La frontera agrícola cada vez más se acerca a la cota de los 3600 m.s.n.m.; con cultivos de rotación como se muestra en la fotografía 4, es decir con períodos de barbecho largos, pero actualmente con la implementación de agroquímicos este período se ha reducido, permitiendo que la regeneración de la vegetación no sea el adecuado. (Hofstede, y otros, 2014)

Además la siembra de pastos introducidos convierte la vegetación de páramo en potreros, con la destrucción de la vegetación natural y el volcamiento del suelo con maquinaria pesada; al lograr esto muchos suelos se secan superficialmente y muchos de los nutrientes se liberan, teniendo efecto positivo como una alta productividad en la cosecha y negativos como la baja disponibilidad de nutrientes, pérdida de materia orgánica y baja retención de agua. (Hofstede, y otros, 2014)

**Fotografía No. 4** Avance de la Frontera Agrícola – Quizapincha, 2016



**Fuente:** GAD Parroquia Rural Quizapincha

### **2.7.2 Forestación**

En algunas partes del Ecuador, se trata de sacar provecho al páramo a través de la plantación de árboles con fines extractivos; uno de los impactos es el cambio de la vegetación natural perturbando el suelo (ver fotografía 5) y en el momento del

crecimiento de los bosques estos consumen mucha agua, disminuyendo el rendimiento hídrico hasta en un 60% llegando incluso a la descomposición y pérdida de fertilidad del suelo. (Hofstede, y otros, 2014)

**Fotografía No. 5** Proceso de Forestación de zona degradadas – Ambatillo, 2017



**Fuente:** Foto tomada por Pablo Andrés Calero

### **2.7.3 Sobrepastoreo**

El impacto de la actividad ganadera es el que mayor incidencia tiene en la zona de los páramos del volcán Casahuala y depende del tipo de animal, la carga animal, el manejo y si el pastoreo se lo combina con la quema o no. Aunque algunos animales herbívoros siempre han estado consumiendo la vegetación del páramo por largos años como venados, conejos, osos y dantas; nunca existió ganado bovino ni ovino en la zona, por consecuencia la vegetación nativa de los páramos no resiste cuando se lo pisotea constantemente ni cuando se desprende parte de ella; además al ser esta vegetación no muy nutritiva para los animales estos necesitan consumir en grandes cantidades, llegando a apropiarse de grandes hectáreas de páramo. (Hofstede, y otros, 2014)

### Fotografía No. 6 Pastoreo Ovino, Quizapincha, 2016



**Fuente:** GAD Parroquia Rural Quizapincha

En la fotografía no. 6, se muestra el impacto del pastoreo libre, donde se observa claramente zonas con poca cobertura vegetal y suelos compactados producto del pisoteo continuo del ganado ovino, además, la vegetación natural se ha cambiado por pastos para el consumo del ganado, perdiendo la propiedad de proteger el recurso suelo de los agentes erosivos que son el agua y el aire.

El efecto del sobrepastoreo al suelo puede ser directo e indirecto:

**Efecto Directo:** Logra la compactación del suelo por el pisoteo causada por el peso del animal, porque el suelo del páramo, al contener alto porcentaje de materia orgánica, es suelto y suave logrando que la compactación sea más fácil. (Hofstede, y otros, 2014)

Al lograr que el suelo se compacte, existe menos espacios de agua es decir que, el suelo pierde su capacidad de infiltración; por ejemplo, existe menos capacidad de retención de agua en las épocas secas, y en cambio durante épocas lluviosas existe una alta posibilidad de escorrentía superficial y erosión. (Hofstede, y otros, 2014)

**Efecto indirecto:** Tiende a desaparecer la capa vegetal del suelo, dejando pequeñas áreas de suelo abierto. (Hofstede, y otros, 2014)

## 2.8. ORGANIZACIONES QUE INTERVIENEN EN LA CONSERVACIÓN DEL PÁRAMO

Para un correcto manejo del páramo, existen organizaciones de segundo grado que colaboran conjuntamente con el Gobierno Provincial de Tungurahua en el cuidado y manejo sustentables de las áreas de conservación de los páramos; la zona de estudio no es la excepción porque aquí integran dos organizaciones divididas en dos secciones para cumplir el objetivo principal de cuidar el medio ambiente del páramo (Ver Mapa No. 6) y estas son:

### 2.8.1 Unión de Organizaciones Campesinas en el Norte de Tungurahua

Conocida como UNOCANT, está legalmente constituida desde el Acuerdo Ministerial del 20 de agosto de 1985; abarca siete comunidades: Ambatillo, Angamarquillo, Cullitahua, Angahuana, Llatantoma, Calhua Chico y Calhua Grande con una población según el Plan de Manejo de Páramos 2009 de 1876 habitantes aproximadamente que en su totalidad son familias Kichwa. (UNOCANT, 2010) como se observa en la tabla No. 2

<b>Tabla No. 2. Población Total de la UNOCANT</b>		
<b>Comunidades</b>	<b>Familias</b>	<b>Total Población</b>
Ambatillo	589	2651
Angamarquillo	579	2606
Cullitahua	275	1238
Angahuana	120	540
Llatantoma	110	495
Calhua Chico	52	234
Calhua Grande	151	680
<b>Total</b>	<b>1876</b>	<b>8442</b>

**Fuente:** Plan de Manejo de Páramo 2009

**Elaborado por:** Pablo Andrés Calero

El propósito de la creación organizativa de la UNOCANT, se basa en un desarrollo orientado al bienestar de las comunidades que la conforman; su misión consiste en cumplir con los acuerdos de protección y límites del ecosistema páramo, resaltando el desarrollo de una agricultura sostenible, desde su cosmovisión para beneficio de la colectividad. (UNOCANT, 2010)

Las siete comunidades cuentan con:

- 1252,43 hectáreas de páramos que van desde la cota de los 3600 m.s.n.m. hasta los 4000 m.s.n.m.;
- 4920,27 hectáreas de áreas productivas que se extienden desde la cota de los 3200 m.s.n.m. hasta los 3600 m.s.n.m.; cuentan con tierras legales y consensuaron expresar zonas de reserva comunitaria para la conservación de los páramos.

### **2.8.2 Pueblo KIPU**

El Pueblo Quisapincha “KIPU” fue fundada el 17 de julio del 2006 según acuerdo ministerial del CODENPE N° 229; comprende una población de 1576 jefes de familia, distribuidas en 17 comunidades (Ver Tabla No. 3), de las cuales un 40% se dedican a la agricultura y un 20% a actividades de confección de artesanías en cuero y otros materiales. (Organización Kipu, 2014)

El pueblo KIPU a través de su plan de manejo incentiva a la población para realizar prácticas de preservación del recurso agua y de los páramos, su misión se fundamenta en orientar a los pobladores hacia un desarrollo agrícola sostenible, equitativo y participativo tomando en consideración el medio ambiente y los recursos naturales como ejes de sus actividades económicas con el único fin de garantizar el bienestar y condiciones de vida de las 17 comunidades. (Organización Kipu, 2014)

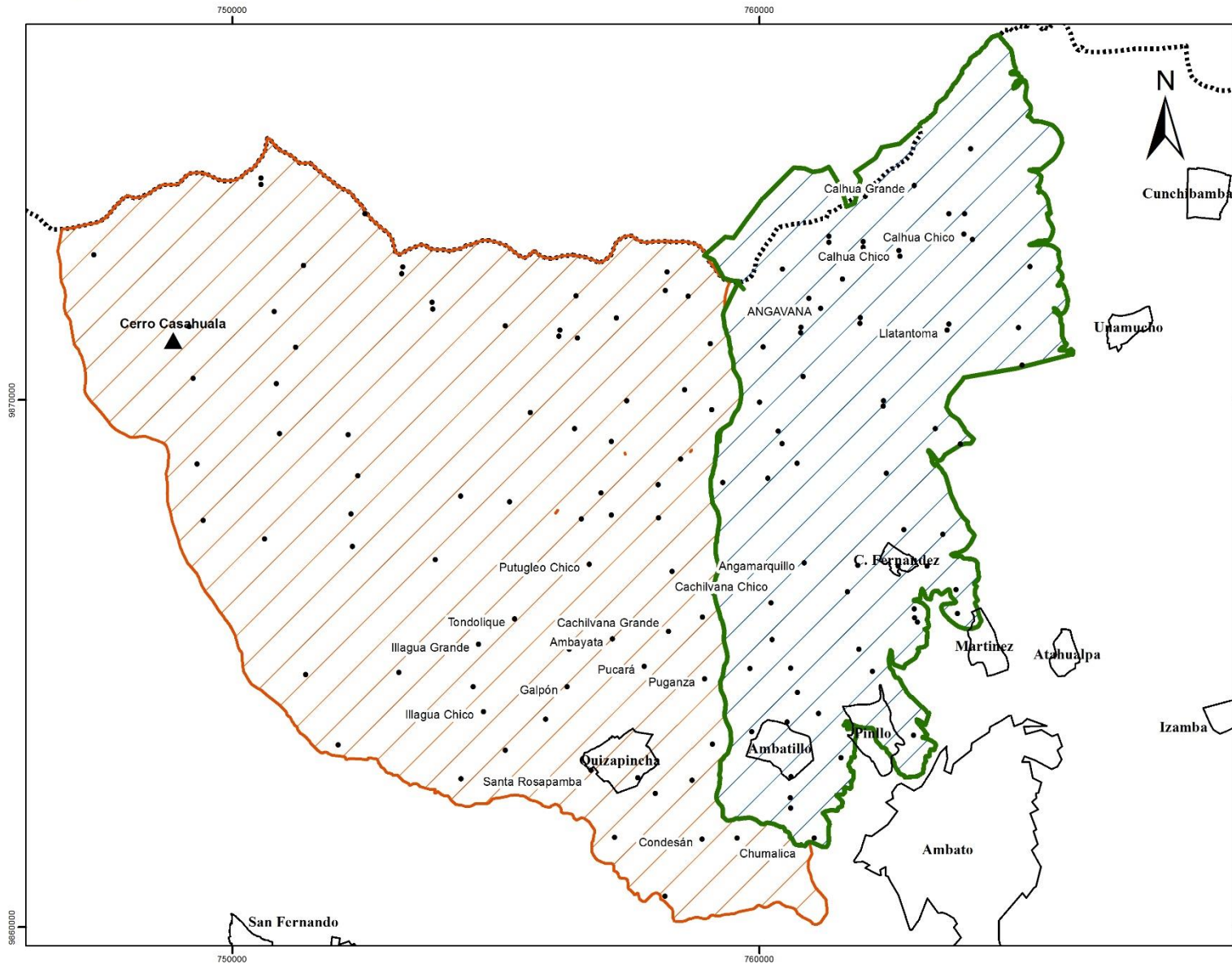
<b>Tabla No. 3.</b> Propiedad de las tierras de las comunidades de Quisapincha					
<b>Comunidad</b>	<b>Número de Familias</b>	<b>Número de Lotes</b>	<b>Área de cultivo</b>	<b>Páramos Área Comunal (Ha)</b>	<b>Total (Ha)</b>
Calhuasig Chico	91	587	62,00	696,00	758,0
Clahuasig Grande	177	834	155,30	710,00	865,30
Illagua Chico	50	312	56,50	980,00	1036,50
Illagua Grande	65	310	62,00	1080,00	1142,00
Illagua Chaupiloma	51	205	43,80	200,00	243,80
Nueva Tondolique	90	712	67,50	1050,00	1117,50
El Galpón	156	326	73,10	379,30	452,40
Ambayata	83	116	31,6	143,70	157,30
Putugleo	90	269	91,70	164,30	256,00
Pucará Chico	46	75	16,90	108,70	125,60
Pucará Grande	105	367	109,30	318,40	427,70
Cachilvana Chico	43	123	56,70	87,16	143,86
Cachilvana Grande	67	186	98,60	114,20	212,80
Puganza	143	448	204,50	347,00	551,50
Condezán	111	593	119,70	222,50	342,20
Quindialó-Chumalica	120	296	127,20	210,20	337,40
Santa Rosapamba	90	241	92,3	301,60	393,90
<b>Total</b>	<b>1578</b>	<b>6000</b>	<b>1468,7</b>	<b>7113,06</b>	<b>8563,76</b>

**Fuente:** Plan de Inversión Parroquia Quisapincha 2014

**Elaborado por:** Pablo Andrés Calero Pérez

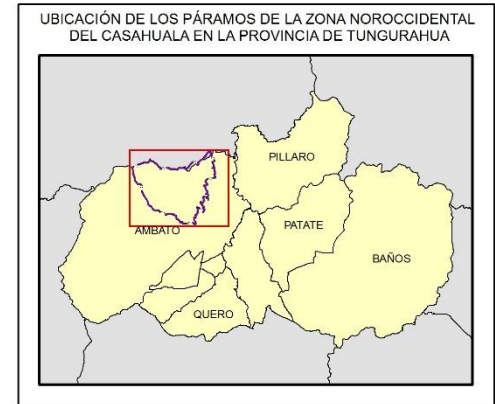
Con la creación de estas dos organizaciones campesinas, se busca fomentar el cuidado del ecosistema páramo para beneficio de las comunidades indígenas que habitan la zona, mediante la creación de proyectos sustentables como parte de la creación de los planes de manejo de páramos de la provincia de Tungurahua.

# Mapa de Organizaciones que intervienen en los Páramos de la Zona Noroccidental del Volcán Casahuala



**SIMBOLOGÍA**

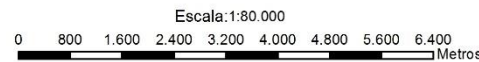
- ▲ Cerro Casahuala
- Poblados
- ⊕ Áreas Urbanas
- ⋯ Limite Provincia Tungurahua



**LEYENDA**

**Límite de Intervención de las Organizaciones**

- Pueblo KIPU (Quizapincha) - 12135.37 Ha.
- Unión de Organizaciones Campesinas en el Norte de Tungurahua (UNOCANT) - 6156.08 Ha.



**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
 FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS  
 ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS  
 CIENCIAS GEOGRÁFICAS Y PLANIFICACIÓN TERRITORIAL

Contiene: Mapa de Organizaciones que intervienen en los Páramos de la Zona Noroccidental del Volcán Casahuala		
Elaborado por: Pablo Andrés Calero Pérez		Revisado por: María Augusta Almeida
Fuente: Geoinformación HGPT	Datum: WGS84	Fecha: 14/06/2017
Zona: 17 Sur	Escala de Trabajo: 1:80.000	Escala de Fuente: 1:50.000

## **CAPÍTULO III**

### **EROSIÓN**

#### **3.1. DEFINICIÓN**

Uno de los mayores problemas del siglo XXI de índole medioambiental que afronta la sociedad en el mundo es la erosión, se presume que la sexta parte del suelo del mundo se encuentra afectado por la erosión especialmente del tipo hídrica, debido a un mal uso de los recursos naturales y a las actividades antrópicas como el sobrepastoreo, deforestación, agricultura en pendientes sin rotación de cultivos. La erosión hídrica y eólica son las dos principales causas de la degradación de la tierra, con una responsabilidad del 84% de la pérdida de los suelos.

Comúnmente, la erosión es considerada como la acción de remoción del recurso suelo por la acción de agentes exógenos como el viento y el agua, para ser transportados y depositados en diferentes sitios alejados de la zona donde se originó el evento. (Huanca Apaza, 2008)

De forma más amplia, se lo puede definir como, un proceso de desprendimiento o arrastre acelerado de las partículas del suelo a causa del agua y el viento; esto conlleva a la participación de dos elementos en el proceso: uno pasivo que es el suelo, y uno activo que es el agua, viento; por otro lado la vegetación es considerada como un agente regulador de las relaciones entre ambos elementos. En cambio desde una perspectiva geológica, la erosión se entiende como parte del proceso de morfogénesis mediante el cual se alteran y moldean las formas de la superficie terrestre; es decir que la configuración actual de la forma de la tierra, es gracias a los procesos continuos de degradación del suelo asociados con factores internos como: la litología, estructura tectónica, volcanismo, topografía; y de factores externos como clima, temperatura, organismos y las actividades antrópicas. (Huanca Apaza, 2008)

Tanto los procesos de erosión como los de sedimentación y transporte son considerados mecanismos claves del funcionamiento del sistema terrestre y principales impulsores del desarrollo del paisaje de la zona, logrando que varias áreas del planeta tengan diferente morfogénesis.

Además, la erosión y la acumulación de sedimentos, tienen importantes implicaciones para el aprovechamiento humano y el uso sostenible de los recursos naturales; por lo tanto, se debe considerar que tiene una dimensión socioeconómica muy significativa que ayuda a mantener en equilibrio el aspecto ambiental con el aspecto socioeconómico, porque se explota a gran escala los recursos, estos se perderán y las actividades humanas no podrán desarrollarse. (Huanca Apaza, 2008)

### **3.2. AGENTES DE EROSIÓN**

Entre los principales agentes que intervienen en la erosión son el agua y el viento, es así que cuando interviene el agua se denomina erosión hídrica y cuando interviene el viento se denomina erosión eólica.

#### **3.2.1 Agua**

El agua es un agente erosivo energético, si la capa del suelo ha quedado desprotegido de la vegetación y es sometido a fuertes precipitaciones, el agua arrastra las partículas del suelo hacia los ríos, provocando que la capa superficial del suelo, pierda la materia orgánica, entrando en un proceso de desgaste y deterioro, que finalmente conlleva a la erosión y desertificación. (Grupo COPESA, 2009)

#### **3.2.2 Viento**

El viento, no tiene la fuerza suficiente para ocasionar grandes daños al suelo, pero si transporta partículas que al momento de chocar con la tierra lo va desgastando, provocando una erosión lenta y poco perceptible para el ser humano.

Entre los factores que favorecen la acción del viento en la degradación del suelo están:

- \* Superficies llanas
- \* Suelo de textura fina y con poca materia orgánica.
- \* Altas temperaturas y pocas precipitaciones.
- \* Presencia de poca cobertura vegetal producto del sobrepastoreo, quemas y uso de maquinarias para la labranza.

(Grupo COPESA, 2009)

Existen otros agentes que provocan la erosión en menor escala y extensión como son: la gravedad, las actividades humanas.

### **3.2.3 Gravedad**

La gravedad es una fuerza de atracción constante que provoca que todos los materiales de la tierra caigan hacia el centro del planeta, creando un equilibrio tras la acción de mover los materiales desde las zonas de mayor altitud a zonas con elevaciones más bajas. La gravedad se manifiesta en la superficie terrestre en procesos como: derrumbes, deslizamientos de tierra y avalanchas que son formas de erosión de la tierra, porque remueve parte de la superficie y deposita los sedimentos de un lugar en otro. Es por esta razón que se considera a la gravedad como la fuerza de alimentación de la erosión. (Evans, 2009)

### **3.2.4 Actividades humanas**

La erosión se intensifica por la intervención del hombre en actividades como (Grupo COPESA, 2009):

- \* Trabajos agrícolas (Uso de maquinaria para la agricultura)
- \* Construcción de viviendas e infraestructura
- \* Utilización de agroquímicos que contaminan el suelo
- \* Cambio de cobertura natural por plantaciones forestales.

En sí, todas las actividades humanas provocan daños en el suelo, es decir provocan que el suelo se meteorice y pierda minerales que son beneficiosos para el suelo.

## **3.3. TIPOS DE EROSIÓN**

Una vez que se han detallado los agentes causales de la erosión es prescindible describir los tipos de erosión que se pueden presentar en la superficie de la tierra por acción de los agentes antes mencionados, teniendo los siguientes tipos:

### **3.3.1 Erosión Eólica**

La acción geológica que realiza el viento sobre la superficie terrestre se lo conoce como erosión eólica, la acción destructora del viento en las rocas es muy rápida y alcanza grandes profundidades principalmente sobre rocas calizas poco compactas. Se suelen encontrar este tipo de erosión en los desiertos en formas de dunas y montañas rectangulares o también en zonas secas. (EcuRed: Enciclopedia Cubana, s.f)

Existen dos formas principales de erosión eólica:

- **Deflación:** Su término se deriva del latín “soplar”, se produce cuando las partículas sueltas que se encuentran sobre la superficie del suelo son arrastradas o levantadas por acción del aire. Este proceso se da donde la superficie del terreno se encuentra completamente seca y cubierta de pequeños gránulos de arena provenientes de la meteorización de la roca o previamente depositados por el agua en movimiento. Es por esta razón que los cursos de los ríos secos (quebradas) y las áreas recientemente cubiertas por depósitos glaciares son susceptibles a la deflación. (EcuRed: Enciclopedia Cubana, s.f)

Las partículas más finas como el barro, arcilla y limo son las que con mayor facilidad se levantan y se transportan en suspensión; los granos de arena se mueven únicamente si se presentan vientos fuertes y estos tienden a desplazarse a poca altura del suelo, por su parte la grava y los cantos ruedan por el suelo cuando el viento es intenso y no recorren grandes distancias porque es muy difícil que queden retenidos en los agujeros. (EcuRed: Enciclopedia Cubana, s.f)

- **Abrasión eólica o Corrosión:** Se produce cuando el viento arrastra la arena y polvo contra las rocas y el suelo (EcuRed: Enciclopedia Cubana, s.f)

Cualquiera que sea la forma de erosión eólica que se presenta, el arrastre de las partículas sólidas por la acción del viento depende de la estructura del viento y su proximidad al suelo; además si el relieve es llano, la acción del viento aumenta y produce movimientos en remolino en todas direcciones con velocidades variadas. (EcuRed: Enciclopedia Cubana, s.f)

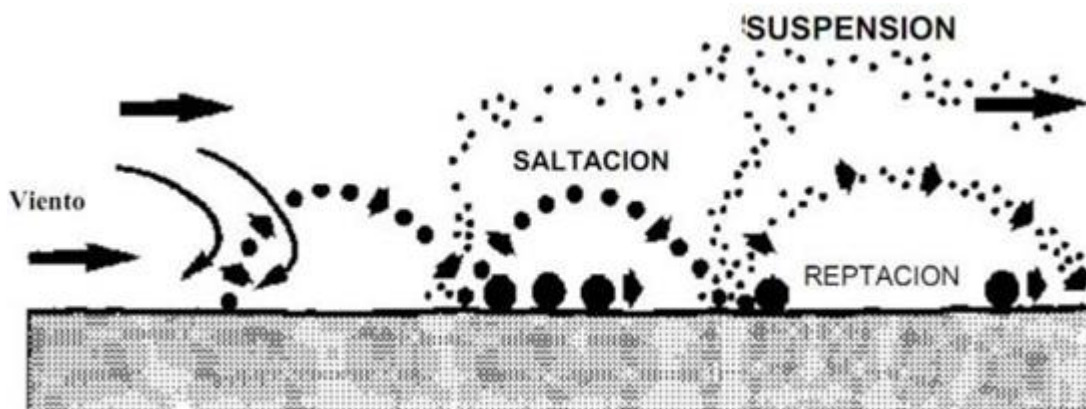
El mecanismo de la erosión eólica se divide en tres fases según la imagen no. 5:

1. **Arrastre de las partículas en reposo.-** Se ejerce tres tipos de presiones:
  - a) Presión positiva sobre la parte situada frente a la dirección del viento por la presión dinámica del fluido.
  - b) Presión negativa que actúa sobre la parte opuesta a la dirección del viento debido a las fuerzas de viscosidad.

- c) Presión negativa que se ejerce sobre la parte superior de la partícula porque la diferencia del viento entre la base y la parte superior de la partícula va acompañada de una disminución de la presión estática, dando como resultado una presión del viento hacia arriba

La fuerza y su arrastre están en función de la velocidad del viento que a su vez se debe a la dimensión de las partículas, de su densidad y su cohesión.

2. **Movimiento de Reptación:** Las partículas pesadas están en movimiento y para ser elevadas pasan por varios impactos contra las rocas, entonces estas partículas son empujadas hacia la superficie del suelo, logrando su desprendimiento y elevación.
3. **Suspensión:** Es cuando una partícula en agitación golpea contra el suelo, haciendo rebotar más partículas pulverulentas que emergiendo en la zona de mayor turbulencia, pueden llegar a elevarse a grandes alturas por la presencia de corrientes ascendentes y quedar en suspensión. Con este mecanismo se forman las conocidas nubes de polvo que alcanzan alturas entre los 3000 metros a 4000 metros.



**Imagen No. 5** Esquema de las fases de erosión eólica

**Fuente:** Biblioteca Agroecológica FUNDESYRAM

**3.3.2 Erosión Gravitacional:** Este tipo de erosión consiste en el desprendimiento en masa de las rocas y los sedimentos por el efecto directo de la gravedad (Ver Imagen No. 6), comúnmente se llama a este tipo de erosión como “movimientos en masa”.

Estos movimientos en masa constituyen una parte importante del proceso de erosión, porque el material se mueve desde las partes más altas a los lugares más bajos donde otros

agentes como ríos o glaciares recogen el material y lo trasladan a lugares aún más lejanos. El proceso de remoción ocurre de forma continua en todas las vertientes de nuestro país aumentando su daño cuando las condiciones climáticas son extremas, es decir con altas precipitaciones. (Saltos, 2011)

**Imagen No. 6** Ejemplo de Erosión Gravitacional

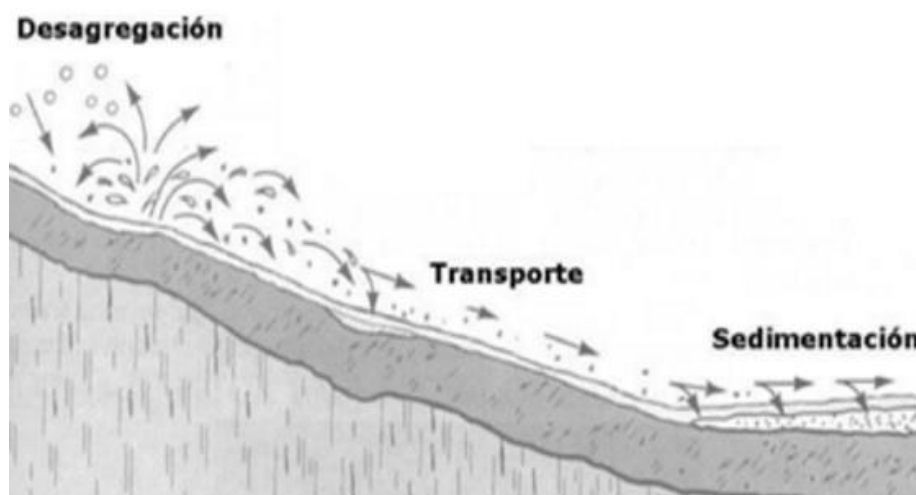


**Fuente:** Museo Virtual de Geología W. Griem 2015

### **3.3.3 Erosión Hídrica**

Consiste en la remoción de la capa superficial del suelo por efecto del agua, causada por las gotas de lluvia o por escurrimiento superficial. La erosión ocurre cuando las gotas de lluvia impactan con el suelo, rompiendo su estructura superficial, esparciendo el material por todas direcciones y siendo transportado a la par que se forman pequeños canales denominados “rills”, (Ver Imagen No. 7) que ayudan en gran parte a la pérdida de suelo. (EcuRed: Enciclopedia Cubana, s.f)

## Imagen No. 7 Proceso de Erosión Hídrica



Fuente: Portal AAPRESID

El agua tiene una capacidad alta para erosionar el sustrato por el que circule, esto es posible gracias a que a la fuerza erosiva es proporcional a la aceleración que el agua adquiere en las pendientes; provocando el desgaste de la superficie rocosa. En el ámbito natural este es un fenómeno muy común que origina la nivelación de las montañas formando mesetas, llanuras, valles y deltas; cabe mencionar que el proceso de erosión hídrica es lento, pero cuando las actividades antrópicas como el mal manejo del suelo se involucran, la erosión se acelera y se convierte en destructivo. (EcuRed: Enciclopedia Cubana, s.f)

Entre los tipos de erosión hídrica que se presentan tenemos:

- **Erosión Laminar:** Se considera como una forma de erosión superficial donde, el suelo es arrastrado y desprendido a manera de láminas muy delgadas y uniformes por acción del escurrimiento, se presenta en suelos con poca pendiente e infiltración y son poco perceptibles aunque si el rendimiento del suelo disminuye, este cambia de coloración haciéndolo fácil su localización. (Cisneros, y otros, 2012)
- **Erosión en surcos:** Es el segundo paso de la erosión por el incremento del caudal, la altura del agua y la velocidad, pasando de un flujo de tipo laminar a uno concentrado, tiene a su vez una mayor capacidad de desprendimiento y transporte, originando que la tasa de erosión sea mayor cubriéndose el suelo de canales y zanjas donde el agua se encauza y arrastra partículas del suelo. (Cisneros, y otros, 2012)

- **Erosión en cárcavas:** Las cárcavas son las manifestaciones visibles y llamativas del proceso de erosión debido a que no pueden ser borradas por las labranzas, e incluso pueden llegar a transformarse en barrancos, donde la erosión laminar es muy acentuada, las cárcavas se consideran como cauces con constante crecimiento tanto en extensión como en profundidad. Su aparición coincide con un estado muy avanzado de erosión, logrando poner en peligro las demás áreas vecinas y sus estructuras. (Cisneros, y otros, 2012)

Los factores que contribuyen a que la erosión hídrica se acelera están las actividades humanas entre las que se destacan (Cisneros, y otros, 2012):

- La deforestación a gran escala que deja al descubierto el suelo cuando se añaden nuevas tierras de cultivo.
- La quema de campos con pastos naturales, donde el fuego destruye la materia orgánica, considerada como un elemento atenuador del impacto de las gotas de lluvia.
- El sobrepastoreo destruye la capa fértil del suelo, lo remueve y modifica la estructura superficial es decir el horizonte A.
- Las técnicas de labranza que son inadecuadas porque siguen el sentido de la pendiente del terreno, lo que facilita el movimiento del agua y el arrastre de las partículas del suelo.

### **3.4. FACTORES QUE AFECTAN LA EROSIÓN**

La erosión se relaciona con los siguientes factores: precipitación, suelo, relieve y la vegetación.

#### **3.4.1 Precipitación**

La degradación del suelo se encuentra relacionada con la intensidad de la lluvia, por el impacto de las gotas al suelo y posterior desprendimiento y además, por la escorrentía que se presenta, contribuyendo a la erosión por flujo superficial y en regueros. Si la intensidad de lluvia es mayor a la capacidad de infiltración, se forma una escorrentía superficial, con efectos graves o leves según el tiempo de duración del fenómeno. (Wilches & Vintimilla, 2008)

Como en nuestro país se presentan dos etapas climáticas (seca y lluviosa) la precipitación tiene dos efectos (Wilches & Vintimilla, 2008):

- Si se presentan períodos entre lluvias cortos, el contenido de humedad es alto y al presentarse una nueva precipitación esto causaría una escorrentía baja;
- Si el intervalo entre lluvias es largo, el suelo se llega a secar retardando la formación de la escorrentía superficial.

### **3.4.2 Tipo de Suelo**

Entre los factores que inciden en la resistencia del suelo a la erosión están: la posición topográfica, pendiente y el grado de alteración; esto quiere decir que la cantidad de suelo desprendido es más grande si existe una mayor pendiente y si las partículas que conforman el suelo son fáciles de disgregarse. (Wilches & Vintimilla, 2008)

El grado de erosionabilidad del suelo varía según la textura del mismo, además de la estabilidad del terreno, la capacidad de infiltración y el contenido de materia orgánica y minerales; en lo que respecta a la textura, las partículas de un mayor tamaño cuentan con una mayor resistencia al desplazamiento, en cambio las partículas finas son más vulnerables al transporte por su cohesión o su fuerza de atracción molecular. (Wilches & Vintimilla, 2008)

La capacidad de infiltración, depende del tamaño y estabilidad de los poros, porque los suelos que presentan agregados estables mantienen de mejor manera sus espacios porosos, en cambio los suelos con arcillas o con minerales inestables, tienen menor capacidad de infiltración provocando una escorrentía que favorece la erosión. (Wilches & Vintimilla, 2008)

Finalmente, la cantidad de materia orgánica y los minerales del suelo son de suma importancia para la estabilidad del suelo; por ejemplo si los suelos cuentan con menos de 2% de carbono orgánico o con 2.5% de materia orgánica, se lo considera como suelo inestable y propenso a la erosión. Es por eso que se debe mantener la materia orgánica del suelo para protegerlo y no se acelere el proceso de erosión, a su vez que se mantiene la productividad del suelo. (Wilches & Vintimilla, 2008)

### **3.4.3 Relieve**

El relieve del terreno tiene mayor influencia en la escorrentía y futura erosión; el potencial erosivo y la capacidad de transporte están en función de la densidad de las aguas y de la velocidad con que estas se mueven, así mismo hay mayor velocidad de escorrentía cuanto más alta sea la gradiente del terreno, teniendo mayor afectación en las zonas bajas por el gran arrastre y la longitud de la pendiente. (Wilches & Vintimilla, 2008)

### **3.4.4 Vegetación**

La cubierta vegetal sirve como reductor de los procesos erosivos, siendo la cobertura forestal la de mayor efectividad por las siguientes causas (Wilches & Vintimilla, 2008):

- ✓ Protege el suelo del choque de las gotas de lluvia.
- ✓ El poder de infiltración del suelo se aumenta y el agua de escorrentía tiene una disminución constante.
- ✓ Reduce la velocidad del viento al oponer una superficie rugosa a la corriente de aire.
- ✓ Tiene un efecto en la estabilidad de la pendiente, es decir ayuda a proteger el terreno frente a los movimientos de remoción en masa porque existe cohesión de las raíces de los árboles.

## **3.5. LA EROSIÓN Y SUS CONSECUENCIAS**

La degradación de los suelos por procesos erosivos presentan las siguientes consecuencias (López Bermúdez, s.f.):

- Pérdida de elementos y minerales del suelo como: nitrógeno, fósforo, azufre, potasio, calcio y magnesio; los mismos que son eliminados de manera directa por el agua que se infiltra en el suelo o por la erosión a través de la escorrentía.
- Se modifica las propiedades físico-químicas del suelo: acidificación, des-basificación, bloqueo de los oligoelementos.
- Deterioro de la estructura del suelo, llevando a su compactación y a la pérdida de porosidad, con consecuencias que llegan a la reducción del drenaje así como la pérdida de estabilidad.
- Disminución de la capacidad de retención de agua.
- Se incrementa la toxicidad del suelo.

- Disminución de la producción del suelo, infertilidad total, abandono de las tierras y finalmente desertificación.

Además, la erosión tiene efectos negativos en lo ecológico y en lo socioeconómico:

**Aspectos Ecológicos:**

- Pérdida de la flora y fauna del suelo, que constituyen en piezas claves para los ciclos de la materia orgánica y los ciclos de energía del ecosistema.
- Un desequilibrio en el ecosistema del suelo, debido al apareamiento de especies oportunistas.
- Pérdida constante de la fertilidad, que afecta a los agricultores e incrementa la utilización de fertilizantes, que conlleva a una inutilización del suelo para cultivo.
- Se reduce la cobertura vegetal con la pérdida de especies nativas de la zona.
- Se reduce la humedad ambiental que aporta la vegetación.
- Formación de arenales y canteras.

**Aspecto Socioeconómico:**

- Incremento del riesgo por deslizamientos y desprendimientos, que en algunos casos trae consigo víctimas mortales.
- Disminución del rendimiento agrícola, así como déficit económico por pérdidas de la cosecha y aumento de los costos de recuperación del suelo.
- Aumento de costos de alimentación para el ganado por la falta de pastos.
- Desplazamiento de la población hacia otras ciudades debido al empobrecimiento de las áreas rurales que están afectadas por erosión.

## **CAPÍTULO IV**

### **ECUACIÓN UNIVERSAL DE DEGRADACIÓN DE SUELOS**

En la actualidad existen varias propuestas para estimar la pérdida de recurso suelo por la presencia de actividades antrópicas, pero el modelo USLE (Universal Soil Loss Equation) es el que más difusión y aceptación tiene desde su creación en el continente americano y en el resto del mundo donde exista el problema de erosión.

#### **4.1 MODELO DE PREDICCIÓN USLE**

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo fue desarrollada por Wischmeier y Smith en 1962, publicada de forma definitiva en 1978 en el Manual 534 del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, su metodología permite estimar las pérdidas de suelo anuales, por erosión superficial, laminar y por regueros, que se producen en parcelas pequeñas o superficies de terreno; tomando en cuenta las condiciones de clima, suelo, topografía, vegetación y uso del suelo del terreno del cual será objeto de estudio. (González del Tánago, 1991)

En un principio, la ecuación fue formulada únicamente para calcular las pérdidas de suelo producidas en cultivos, teniendo como base experimental las parcelas agrícolas localizadas al este del río Mississippi con una longitud de 22.1 metros; posteriormente se propuso la ampliación de la ecuación para la utilización en pequeñas cuencas hidrográficas con condiciones homogéneas de clima, suelo, topografía y vegetación mediante la implementación de nuevos métodos para el cálculo del factor de longitud de la pendiente. (González del Tánago, 1991)

Finalmente, por su fácil aplicación y su universalidad, el modelo USLE se lo puede aplicar en cualquier parte del mundo independientemente de su extensión; pero como todo modelo de simulación, su utilización requiere que los datos sean lo más exacto posible para que cada uno de los parámetros que conforman la ecuación reproduzcan la realidad de las condiciones del terreno y sus tasas de erosión.

La ecuación toma en cuenta varias hipótesis que sirven como punto de partida para la aplicación del modelo y la estimación de la tasa de erosión (González del Tánago, 1991) siendo las siguientes:

- Considera a las precipitaciones como el agente activo de la erosión superficial, es decir que la degradación de suelo es directamente proporcional al índice de erosividad de las lluvias, cuyo índice se basa en la energía cinética de cada precipitación y en la intensidad máxima.
- Unas mismas condiciones de erosividad producen diferentes erosiones dependiendo de las características del suelo como: textura, estructura, contenido de materia orgánica y permeabilidad
- Un mismo tipo de suelo que se encuentra expuesto a la acción de la lluvia, presenta intensidades de erosión distintas según dos factores: su localización ya sea en la parte alta, media o baja de una ladera y el factor pendiente.
- La erosión varía según el tipo de vegetación que protege el suelo, además varía según las prácticas de cultivo, el aprovechamiento de la vegetación, la disposición de los cultivos con respecto a la pendiente del terreno.

La ecuación en sí, consta de seis factores expresados en unidades del sistema métrico internacional siendo la fórmula:

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

Donde:

**A:** Pérdida de suelo por unidad de superficie (tonelada/ha\*año)

**R:** Factor de erosividad de la lluvia (Mj\*mm/ha\*año)

**K:** Factor de erodabilidad del suelo (tonelada/ha) / (Mj\*mm/ha\*h)

**L:** Factor longitud del terreno (adimensional)

**S:** Factor pendiente del terreno (adimensional)

**C:** Factor de cobertura vegetal (adimensional)

**P:** Factor de prácticas de conservación (adimensional)

A continuación, se describirá cada uno de los factores de la ecuación y la obtención de los mismos mediante herramientas SIG, pero cabe resaltar que la potencialidad del modelo USLE no se encuentra únicamente en el que puede proporcionar el valor de la tasa de erosión en toneladas por hectárea al año, sino que se lo cataloga como una herramienta que permite identificar (Ibáñez Asensio, s.f.):

- Zonas donde se generan mayor cantidad de sedimentos.
- Causas de la degradación del suelo.

- Medidas de conservación que ayuden a prevenir, mitigar y reducir la pérdida de suelo por efectos de la erosión hídrica.

## **4.2 FACTOR EROSIVIDAD DE LAS LLUVIAS (FACTOR R)**

El factor R corresponde al índice de erosión pluvial o el poder que tiene la lluvia para producir erosión, se calcula en base a la energía cinética de la precipitación considerada como la energía capaz de degradar las partículas del suelo que serán transportadas por la escorrentía (Ibáñez Asensio, s.f.).

Para una mejor comprensión e interpretación de los resultados del factor R, se debe tomar en cuenta (Ibáñez Asensio, s.f.):

- Mayor tamaño de la gota de lluvia, habrá mayor masa y mayor velocidad de caída;
- Mayor masa y velocidad de caída, mayor energía cinética o energía de impacto
- Mayor energía de impacto, mayor degradación de las partículas del suelo.
- Mayor degradación, mayor será la pérdida de suelo.

### **4.2.1 Metodología de obtención de la erosividad de la lluvia**

#### **4.2.1.1 Método tradicional**

Consiste en la sumatoria de los productos de las energías de los eventos de lluvias anuales con sus respectivas máximas en un tiempo de 30 minutos expresado en la siguiente fórmula (Mancilla Escobar, 2008):

$$R = \Sigma EI_{30}$$

Donde:

R = Factor Erosividad de la lluvia

E = Energía cinética de la tormenta

I<sub>30</sub> = Intensidad máxima registrada durante intervalo de lluvia con duración de 30 minutos

Para calcular de manera correcta el factor R es necesario obtener los datos de la intensidad de lluvia (I<sub>30</sub>) de un pluviógrafo o en su defecto, elaborar hietogramas con los datos registrados de la estación meteorológica.

Una vez que se han obtenido los valores de la intensidad de lluvia de cada uno de los intervalos de la tormenta, se procede a calcular la energía cinética de cada intervalo

mediante la fórmula que es válida únicamente si la intensidad de lluvia es menor o igual a 76 mm/h:

$$e = 0.119 + 0.0873 * \log I_M$$

Donde:

e = Energía cinética (MJ/ha-mm<sup>-1</sup>)

I<sub>M</sub> = Intensidad de lluvia medida para el respectivo intervalo

Al obtener dichos valores, se calcula la energía total del intervalo multiplicando esa energía por el total de milímetros de agua que precipitó en el lapso de tiempo así:

$$E_i = e_i * pp_i$$

Donde:

E<sub>i</sub> = Energía total del intervalo “i”

e<sub>i</sub> = Energía por milímetro (MJ/ha- mm<sup>-1</sup>)

pp<sub>i</sub> = Total de milímetros de lluvia

La energía total de la tormenta (E), se obtiene mediante la suma de todas las energías calculadas en el paso anterior, lo cual servirá para realizar el producto de la energía total con la intensidad máxima en 30 minutos (E \* I<sub>30</sub>), que constituye la erosividad total de la tormenta.

Finalmente, para determinar el factor R, se aplica la sumatoria de la respectiva erosividad de cada una de las tormentas anuales pero que sean superiores a los 12.7 milímetros.

Si no se dispone de varios registros de cintas pluviográficas, se puede optar por el método del índice modificado de Fournier para el cálculo del factor R.

#### **4.2.1.2. Método del Índice Modificado de Fournier (IMF)**

En primera instancia se planteó el índice de Fournier como una forma de calcular la erosividad de la lluvia con los datos de las precipitaciones totales mensuales y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$IF = p^2 / P$$

Donde:

IF = Índice de Fournier

$p$  = Precipitación del mes más lluvioso (mm)

$P$  = Precipitación total anual (mm)

Pero, al encontrar inconsistencia y desajustes al momento de comparar con el método tradicional de obtención, Arnoldus en 1978 propuso la modificación de la ecuación, nombrándola como el Índice Modificado de Fournier, el cuál considera no sólo la precipitación mensual del mes más lluvioso (Mancilla Escobar, 2008), sino que también toma en cuenta el resto de las precipitaciones mensuales, es decir:

$$IMF = \sum p_i^2 / P$$

Donde:

IMF = Índice Modificado de Fournier

$p_i$  = Precipitación mensual del mes “i” (mm)

$P$  = Precipitación total anual (mm)

Una vez obtenido, los índices de cada mes se procedieron a sumar los IMF mensuales para obtener el IMF anual, y finalmente para el cálculo del factor R, se procede a sacar el promedio de los IMF anuales obtenidos.

#### **4.2.2 Cálculo del Factor R en la zona de los páramos noroccidentales del Casahuala.**

Al no poder encontrar datos de los pluviógrafos de las estaciones meteorológicas que se encuentran dentro y fuera del área de estudio, se optó por calcular el factor R utilizando el Índice Modificado de Fournier.

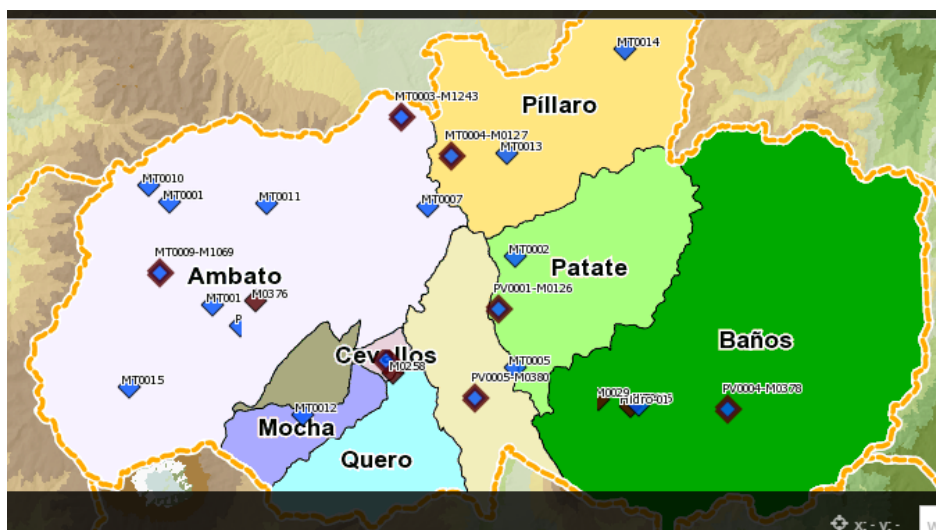
##### **4.2.2.1 Red Meteorológica de Tungurahua**

La información de clima dentro de la provincia se remonta a la década de los 60, donde el estado ecuatoriano mediante el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología INAMHI implementó la red de estaciones meteorológica e hidrométrica en el Ecuador, pero muchas de estas estaciones desaparecieron por los procesos de reorganización institucional, quedando únicamente seis estaciones meteorológicas, cuatro pluviométricas y dos hidrométricas en la provincia de Tungurahua, teniendo limitaciones en la disponibilidad de información para varias zonas de la provincia (Dirección de Recursos Hídricos y Conservación Ambiental, 2013 - 2016).

Para superar este déficit de información climática, en el año 2010 se impulsa la creación una Red Interinstitucional Hidrometeorológica para la provincia, como iniciativa del Gobierno Provincial de Tungurahua, a través de la Dirección de Recursos Hídricos y Gestión Ambiental con el soporte técnico del Programa de Aguas y Cuencas de Tungurahua PACT y el apoyo financiero de la cooperación financiera alemana kfw. Todo el proceso de creación tuvo una duración de dos años (Dirección de Recursos Hídricos y Conservación Ambiental, 2013 - 2016).

Actualmente, la provincia de Tungurahua cuenta con un sistema de 29 estaciones meteorológicas, donde 10 son del tipo manuales y 19 automáticas tal como muestra la imagen no. 9, las mismas que se encuentran instaladas en puntos estratégicos, que otorgan información diaria sobre: dirección, velocidad máxima y mínima del viento; temperatura y humedad, precipitación, evaporación y horas luz. El mecanismo de obtención de los datos en las estaciones manuales se lo ejecuta tres veces al día por un operador, en cambio en las estaciones automáticas los datos se los obtiene por un datalogger (dispositivo electrónico) cada cinco minutos (Dirección de Recursos Hídricos y Conservación Ambiental, 2013 - 2016).

**Imagen No. 8** Red de Estaciones Meteorológicas de Tungurahua



**Fuente:** Dirección de Recursos Hídricos y Gestión Ambiental

#### 4.2.2.2 Datos pluviométricos de las estaciones meteorológicas

Dentro del área de estudio se encuentra únicamente la estación meteorológica Quizapincha, es por esa razón que se optó por procesar los datos pluviométricos de las

estaciones cercanas para una mayor efectividad del cálculo del factor de erosividad. (Ver Mapa No. 7)

En la tabla no. 4 se muestra la información de las estaciones meteorológicas utilizadas para el análisis del factor de erosividad:

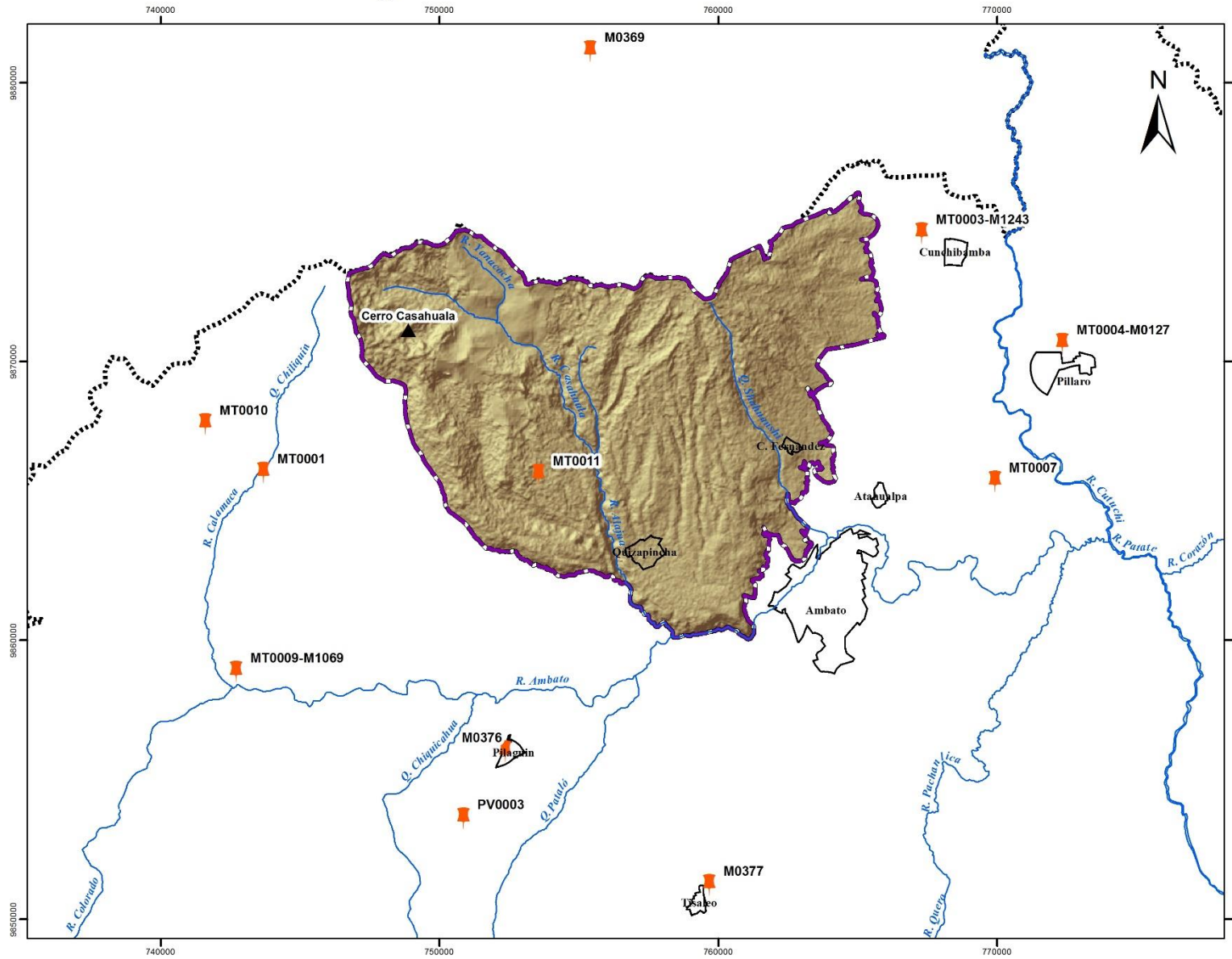
<b>Tabla No. 4.</b> Estaciones Meteorológicas cercanas a los páramos de la Zona Noroccidental del Volcán Casahuala.					
<b>Estación Meteorológica</b>	<b>Tipo</b>	<b>Coordenadas</b>		<b>Altitud m.s.n.m.</b>	<b>Parroquia o Cantón</b>
		<b>X</b>	<b>Y</b>		
Chiquiurco	Meteorológica Automática	743784	9866064	3875	San Fernando
Hacienda Cunchibamba	Meteorológica Automática	767313	9874583	2688	Cunchibamba
Aeropuerto Ambato	Meteorológica Automática	769923	9865679	2590	Izamba
Calamaca	Convencional Meteorológica	742485	985357	3437	San Fernando
Mula Corral	Meteorológica Automática	741602	9867738	3840	San Fernando
Quizapincha	Meteorológica Automática	753559	9865921	3400	Quizapincha
INAMHI – Pilahuín	Convencional Pluviométrica	750859	9853610	3749	Pilahuín
Pilahuín Pucará Alto	Pluviométrica Automática	752358	9856011	3700	Pilahuín
Colegio Jorge Álvarez	Meteorológica Automática	772342	9850377	2770	Santiago de Pillaro
Tisaleo	Pluviométrica Automática	759672	9851213	3250	Tisaleo
Cusubamba	Convencional Meteorológica	755408	9881116	3175	Salcedo

**Elaborado por:** Pablo Andrés Calero

**Fuente:** Portal Web Dirección de Recursos Hídricos y Gestión Ambiental

Los datos de precipitación mensual y anual de cada una de las estaciones meteorológicas para los años 2013, 2014, 2015 y 2016 se mostrarán en la sección de Anexos; cabe mencionar que las estaciones meteorológicas que pertenecen a la red hidrometeorológica de la provincia de Tungurahua están en funcionamiento desde el año 2013, por esta razón únicamente se presentan datos a partir de este año, además existen intervalos de tomas de datos incompletos por lo que las precipitaciones en algunas estaciones son menores a 20 milímetros.

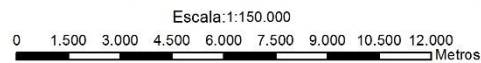
# Estaciones Meteorológicas cercanas a los Páramos de la Zona Noroccidental del Volcán Casahuala



CÓDIGO	NOMBRE DE ESTACIÓN
MT0007	Aeropuerto Ambato
MT0009-M1069	Calamaca
MT0001	Chiquiurco
MT0003-M1243	Cunchibamba
M0369	Cusubamba
MT0010	Mula Corral
PV0003	Pilahuín
M0376	Pilahuín Pucará Alto
MT0004-M0127	Colegio J. Álvarez
MT0011	Quisapincha
M0377	Tisaleo



SIMBOLOGÍA	
	Estaciones Meteorológicas
	Cerro Casahuala
	Ríos
	Páramos Noroccidentales del Casahuala
	Centros Poblados
	Límite Provincia Tungurahua



<p>Pontificia Universidad Católica del Ecuador</p>			
FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS CIENCIAS GEOGRÁFICAS Y PLANIFICACIÓN TERRITORIAL			
Contiene: Mapa de Estaciones Meteorológicas cercanas a los Páramos de la Zona Noroccidental del Volcán Casahuala			
Elaborado por: Pablo Andrés Calero Pérez		Revisado por: María Augusta Almeida	
Fuente: Geoinformación HGPT	Datum: WGS84	Fecha: 01/07/2017	MAPA: 7 / 14
Zona: 17 Sur	Escala de Trabajo: 1:150.000	Escala de Fuente: 1:50.000	

#### 4.2.2.3 Cálculo del Índice Modificado de Fournier

Para el cálculo se optó por la metodología descrita en la sección 4.2.1 parte b, obteniendo los factores de erosividad de las lluvias plasmadas en la tabla no. 5

<b>Tabla No.5 Índice modificado de Fournier de las estaciones meteorológicas cercanas a la zona de los páramos del volcán Casahuala</b>	
<b>Estación Meteorológica</b>	<b>Índice Modificado de Fournier (Factor R)</b>
Chiquiurco	122.21
Hacienda Cunchibamba	60.86
Aeropuerto Ambato	69.11
Calamaca	64.26
Mula Corral	97.42
Quizapincha	81.72
INAMHI – Pilahuín	69.03
Pilahuín Pucará Alto	68.22
Colegio Jorge Álvarez	52.47
Tisaleo	39.78
Cusubamba	82.11

**Elaborado por:** Pablo Andrés Calero

Con estos datos de factor R se estima que la zona de los páramos del volcán Casahuala presenta un alto grado de erosividad, debido a que las precipitaciones son elevadas, especialmente en los meses de marzo, abril y junio, ocasionando que las lluvias desprendan mayor cantidad de suelo por la escorrentía que se presenta.

#### 4.2.2.4 Geo procesamiento de la información de las estaciones meteorológicas.

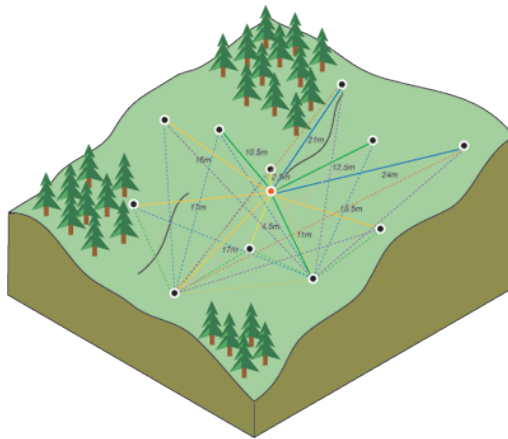
Para la obtención del factor R de la zona noroccidental del volcán Casahuala se procedió a agregar los datos del IMF de cada estación con el shapefile tipo punto de las estaciones. Posteriormente se procedió a realizar una interpolación tipo Kriging para encontrar los valores de R que se encuentran dentro del área de estudio y que sirvió para el cálculo posterior del modelo. El resultado del factor R se muestra en el Mapa No. 8

##### 4.2.2.4.1 Método de Interpolación Kriging

Es una técnica de interpolación para datos dispersos, basado en modelos estadísticos como el método de auto correlación es decir, basado en la relación estadística existente entre puntos medidos, cuyo producto final es una superficie de predicción con un alto grado de precisión (ESRI, s.f.).

La interpolación tipo Kriging asume que la distancia o la dirección que existe entre los puntos de control reflejan una correlación espacial (Ver Imagen No. 9), que intente explicar la variación en la superficie. Para realizar el ajuste esta herramienta utiliza una función matemática a puntos específicos o a todos los puntos de control dentro de un radio, determinando así el valor de salida (ESRI, s.f.).

**Imagen No. 9** Interpolación Kriging

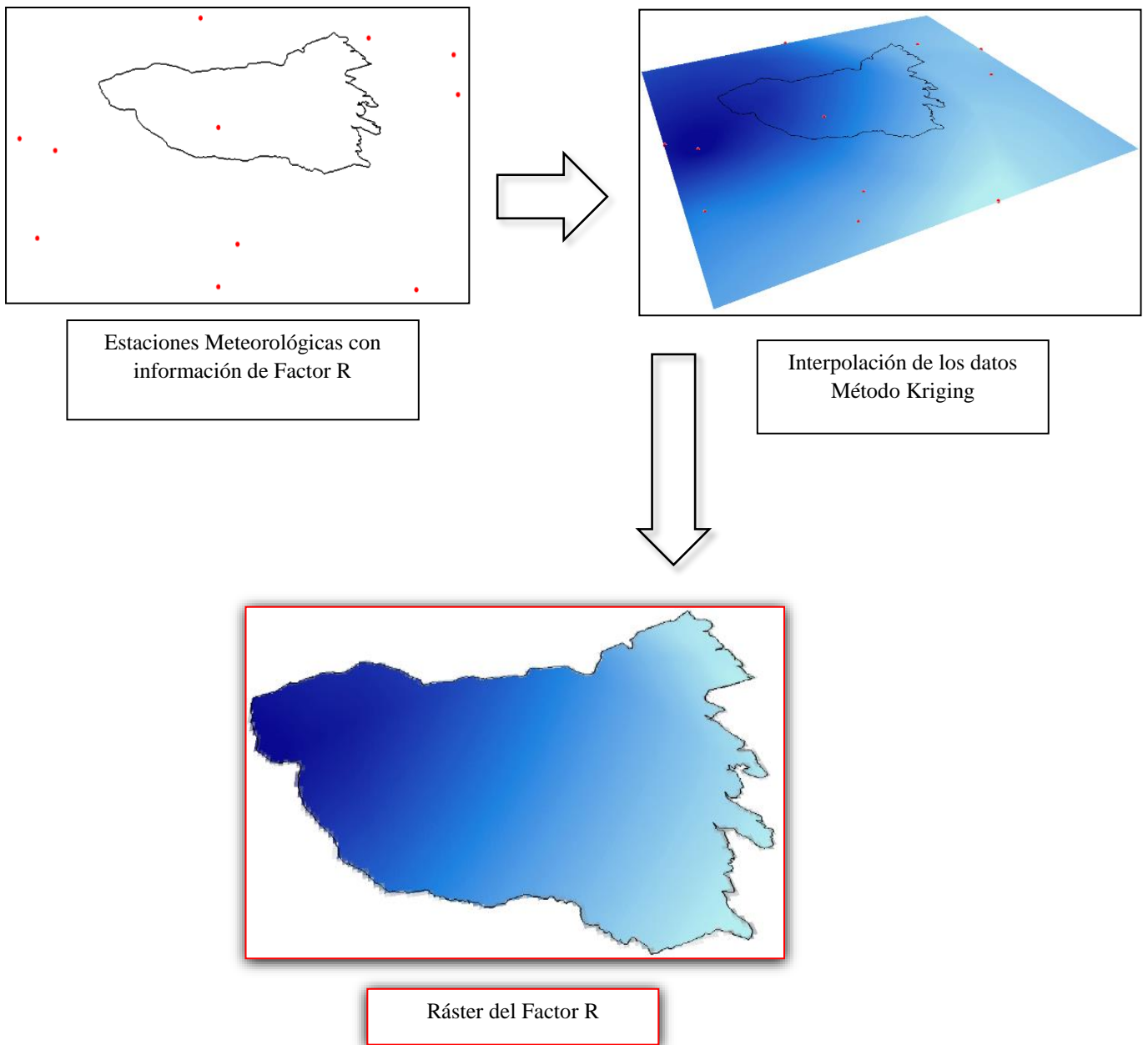


**Fuente:** Manual ArcGis Pro (ESRI, s.f.)

Esta herramienta de interpolación se utilizó porque se necesita determinar con exactitud los valores de erosividad que tiene la lluvia dentro del área de estudio, y así poder obtener el resultado final de la investigación que es la erosión actual y potencial.

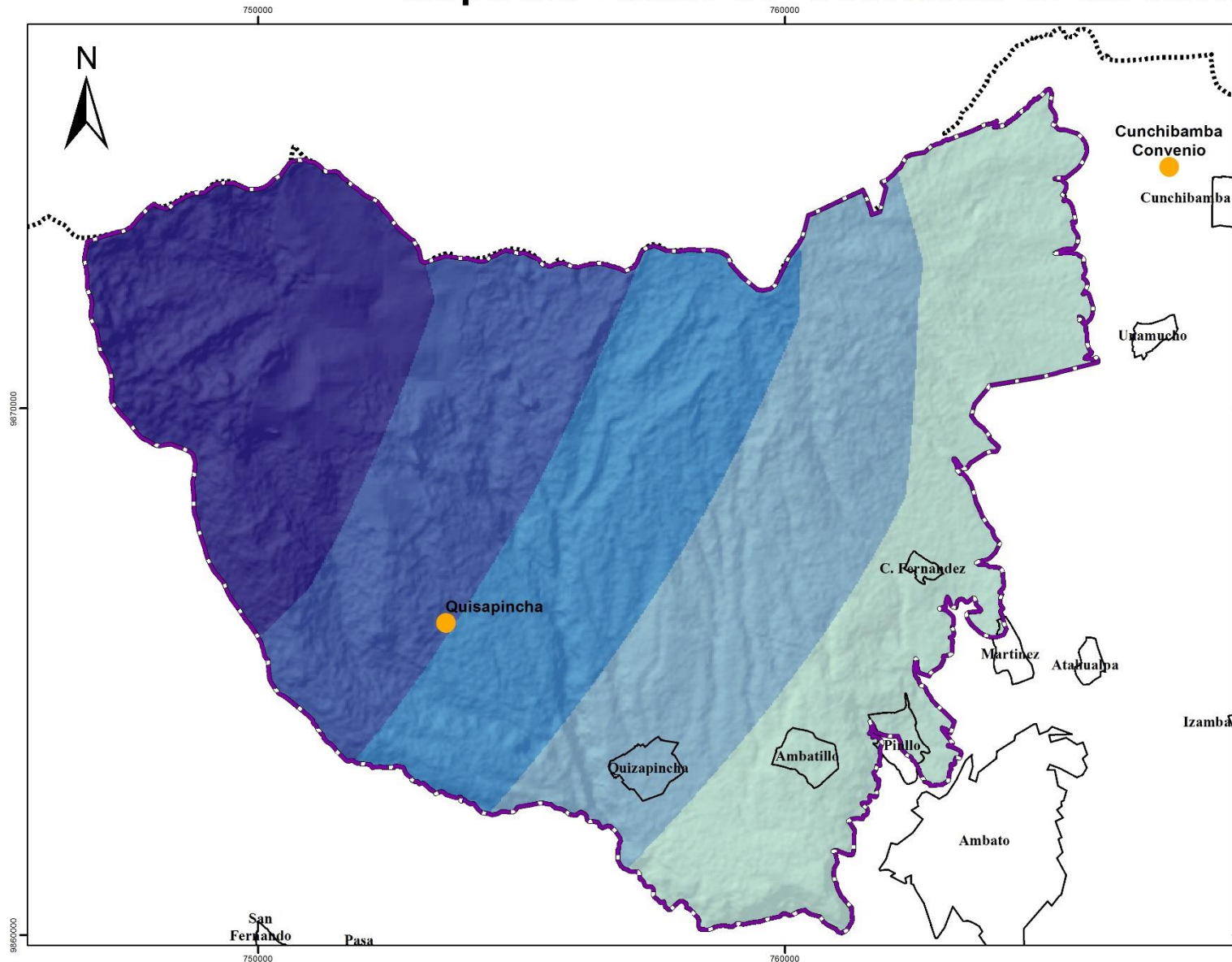
El proceso de obtención del factor R se resume en la Imagen No. 10:

**Imagen No. 10** Proceso cartográfico de obtención del factor R








**Elaborado por:** Pablo Andrés Calero Pérez

# Mapa del Factor de Erosividad de las Lluvias (R)






**LEYENDA**

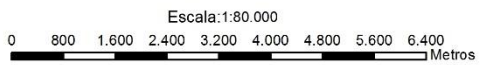
**Factor R**  
**Mj\*mm/ha\*año**

-  63,13 - 70,21
-  70,22 - 75,89
-  75,9 - 81,83
-  81,84 - 88,02
-  88,03 - 95,35



**SIMBOLOGÍA**

-  Estación Meteorológica
-  Páramos Noroccidentales del Casahuala
-  Centros Poblados
-  Límite Provincia Tungurahua



 Pontificia Universidad Católica del Ecuador

FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS  
 ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS  
 CIENCIAS GEOGRÁFICAS Y PLANIFICACIÓN TERRITORIAL

Contiene: Mapa del Factor de Erosividad de las Lluvias (R)			
Elaborado por: Pablo Andrés Calero Pérez		Revisado por: María Augusta Almeida	
Fuente: Interpolación Kriging	Datum: WGS84	Fecha: 07/07/2017	MAPA: 8 / 14
Zona: 17 Sur	Escala de Trabajo: 1:80.000	Escala de Fuente: 1:50.000	

### **4.3 FACTOR ERODABILIDAD DEL SUELO (FACTOR K)**

El factor K, expresa la erodabilidad o la vulnerabilidad que tiene el suelo a ser degradado por la erosión, se relaciona el factor con las características edáficas propias de suelo como su granulometría, porosidad, condiciones hidrológicas, textura, estructura, estabilidad de agregados (González del Tánago, 1991). Entre los aspectos que se consideran como punto de partida para comprender el factor K están:

- A mayor estabilidad de los agregados, mejor se mantendrá la porosidad a lo largo de la precipitación, logrando una estabilidad en la capacidad de transmitir y almacenar agua.
- A mayor capacidad de suelo para el almacenamiento de agua, mayor retraso del proceso de escorrentía, disminuyendo el efecto destructivo sobre los agregados.
- Si el suelo tiene una mayor capacidad de transmitir el agua, menor será el volumen de la escorrentía generada, disminuyendo así el grado de erosión.

(Ibáñez Asensio, s.f.)

#### **4.3.1 Metodología de obtención del factor de erodabilidad del suelo (Factor K)**

El valor de erodabilidad del suelo se lo puede obtener de tres maneras según sea el caso y la disponibilidad de información:

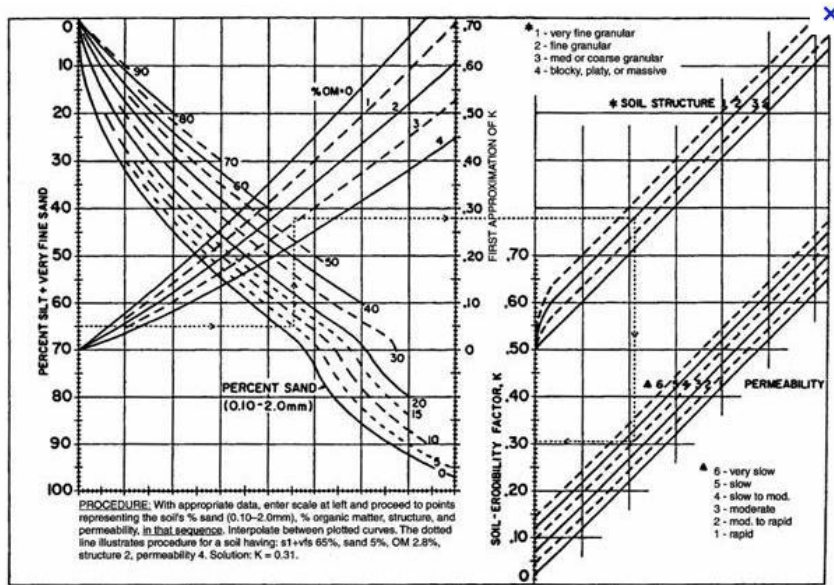
##### **4.3.1.1 Método Directo**

Consiste en realizar medición directa en campo durante un año de las pérdidas que ocasiona las precipitaciones en condiciones normalizadas, indicando el valor de las pérdidas anuales medias del suelo por unidad del factor R es decir en  $Mj \cdot mm/ha \cdot año$ .

##### **4.3.1.2 Método Práctico**

Se utiliza para determinar el valor K un nomograma desarrollado por Wishmeier y Smith, donde se determinan los parámetros: textura, porcentaje de materia orgánica, tipo de estructura y la clase de permeabilidad (Ibáñez Asensio, s.f.).

**Imagen No. 11** Nomograma (Wishmeier y Smith, 1978) para determinar el Factor K



**Fuente:** La ecuación universal de pérdida de suelo (Ibáñez Asensio, s.f.)

Cuando se han identificado los valores de cada uno de los parámetros en el nomograma, se procede a calcular el Factor K mediante la siguiente fórmula:

$$100 * K = (10^{-4} * 2.71 * M^{1.14} * (12 - a)) + 4.2 * (b - 2) + 3.2 * (c - 3)$$

Donde:

K = Factor Erodabilidad del suelo

M = Factor representativo de la textura (100 - % arcilla) \* (% limo + arena muy fina)

a = Porcentaje de materia orgánica

b = Número correspondiente a la estructura del suelo (granular, en bloque, laminar)

c = Valor de permeabilidad del perfil del suelo.

#### 4.3.1.3 Método Alternativo de Wishmeier y Smith

Utilizar el método de nomograma en áreas pequeñas es fácil pero, en ciertos casos resulta complicado en la identificación de la textura, estructura y permeabilidad del suelo cuando se trabaja con áreas de gran extensión porque no se dispone de mapas de suelos con información edafológica que ayude a determinar los parámetros del nomograma (Ibáñez Asensio, El factor K de la ecuación universal de pérdida de suelos, s.f.).

Para evitar la no aplicación del modelo USLE, se realizaron estudios edáficos con muestras de suelos de diferentes partes del mundo para establecer valores universales de erodabilidad del suelo que tengan correlación con los valores obtenidos mediante el método práctico.

Como sustento de la validez de los datos que se muestran en la tabla de indicaciones de la magnitud general del factor K de erodabilidad del suelo es que, la roca madre es uno de los factores formadores del suelo y por lo tanto de aquí proceden las demás características del suelo como textura, estructura, permeabilidad, color (Ibañez Asensio, El factor K de la ecuación universal de pérdida de suelos, s.f.).

Los valores universales del factor K fueron establecidos por Kirkby y Morgan en 1980, tomando en cuenta los porcentajes de materia orgánica de las diferentes texturas del suelo que existen así:

<i>Clase de textura</i>	<i>Contenido de materia orgánica</i>		
	<i>&lt; 3.0 por ciento</i>	<i>3.0 a 5.0 por ciento</i>	<i>&gt; 5.0 por ciento</i>
	<i>K</i>	<i>K</i>	<i>K</i>
Arena	0,07	0,04	0,03
Arena fina	0,21	0,18	0,13
Arena muy fina	0,55	0,47	0,36
Arena franca	0,16	0,13	0,10
Arena fina franca	0,31	0,26	0,21
Arena muy fina franca	0,57	0,49	0,39
Franco arenoso	0,31	0,31	0,25
Franco arenoso fino	0,46	0,39	0,31
Franco arenoso muy fino	0,61	0,53	0,43
Franco	0,49	0,44	0,38
Franco limoso	0,62	0,55	0,43
Franco arcilloso arenoso	0,35	0,33	0,27
Franco arcilloso	0,36	0,33	0,27
Franco arcilloso limoso	0,48	0,42	0,34
Limo	0,78	0,68	0,55
Arcilla arenosa	0,18	0,17	0,16
Arcilla limosa	0,33	0,30	0,25
Arcilla		0,17-0,38	

**Imagen No. 12** Tabla de indicaciones de la magnitud general del factor K de erodabilidad del suelo

**Fuente:** Sitio web - [http://www.edafologia.net/erosion/tema5\\_usle/5\\_usle.pdf](http://www.edafologia.net/erosion/tema5_usle/5_usle.pdf)

#### **4.3.2 Cálculo del Factor K en la zona de los páramos noroccidentales del volcán Casahuala.**

Para el caso particular de los páramos del volcán Casahuala, se optó por utilizar la metodología alternativa propuesta por Kirkby y Morgan, porque no se dispone de información suficiente de permeabilidad por cada tipo de suelo que conforma el área de estudio.

Como punto de partida, se utilizó la cobertura de Geo pedología del SigTierras que se encuentra a una escala de 1:25000, la misma que cuenta con los porcentajes de materia orgánica por cada suborden de suelo y por textura superficial.

Estos valores de porcentaje de materia orgánica sirvió para la determinación del valor del factor K tal como se muestra en el Mapa No. 9; teniendo como base la imagen no. 6 donde se muestra el coeficiente K para cada tipo de textura; obteniendo los siguientes resultados.

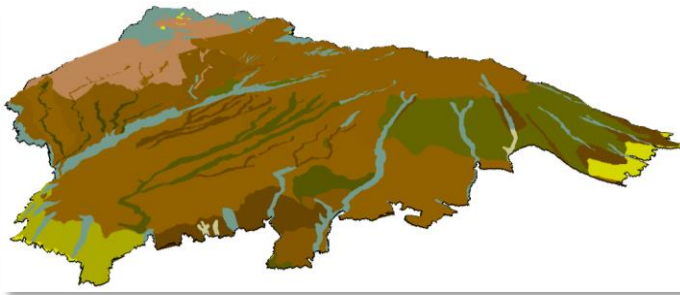
<b>Tabla No. 6</b> Tipos de suelos y texturas superficiales de los páramos de la zona noroccidental del volcán Casahuala				
<b>Sub-Orden</b>	<b>Textura superficial</b>	<b>% Materia Orgánica</b>	<b>Hectáreas</b>	<b>Factor K</b>
<i>Aquic Haplocryands</i>	Franco Arenoso	> 5.0 %	38.9	<b>0.25</b>
<i>Aquic Hapludands</i>	Franco Arenoso	> 5.0 %	8.82	<b>0.25</b>
<i>Entic Durustolls</i>	Franco	< 3.0 %	720.69	<b>0.49</b>
		3.0 % – 5.0 %	78.07	<b>0.44</b>
	Franco Arenoso	< 3.0 %	247.41	<b>0.31</b>
	Franco Limoso	> 5.0 %	1624.81	<b>0.43</b>
		3.0 % – 5.0 %	13.98	<b>0.55</b>
<i>Entic Haplustolls</i>	Franco	< 3.0 %	433.64	<b>0.49</b>
	Franco Arenoso	< 3.0 %	226.78	<b>0.31</b>
<i>Pachic Argiustolls</i>	Franco Limoso	> 5.0 %	6.43	<b>0.43</b>
<i>Pachic Haplustolls</i>	Franco	< 3.0 %	3391.99	<b>0.49</b>
		> 5.0 %	467.47	<b>0.38</b>
		3.0 % – 5.0 %	135.95	<b>0.44</b>
	Franco Limoso	3.0 % – 5.0 %	388.51	<b>0.55</b>
<i>Pachic Vitric Melanudands</i>	Franco	> 5.0 %	605.41	<b>0.38</b>
<i>Typic Argiustolls</i>	Franco Limoso	3.0 % – 5.0 %	107.72	<b>0.55</b>
<i>Typic Haplocryands</i>	Franco	< 3.0 %	4616.59	<b>0.49</b>
<i>Typic Haplustolls</i>	Franco	< 3.0 %	96.33	<b>0.49</b>
	Franco Limoso	> 5.0 %	0.83	<b>0.43</b>
<i>Typic Humicryepts</i>	Franco	3.0 % – 5.0 %	26.42	<b>0.44</b>
<i>Typic Ustipsamments</i>	Arena	< 3.0 %	26.06	<b>0.07</b>
<i>Typic Ustorthents</i>	Franco Arenoso	< 3.0 %	29.84	<b>0.31</b>
<i>Vitric Melanocryands</i>	Franco Arcilloso	> 5.0 %	2592.96	<b>0.27</b>

**Elaborado por:** Pablo Andrés Calero Pérez

Las Tierras Misceláneas que corresponden a formaciones de origen glaciario, el valor del factor K es igual a 0.

Al completar la tabla de atributos de Geo pedología con los valores de K, se procedió a convertir el shapefile tipo Polígono a Raster obteniendo así el mapa de erodabilidad del suelo (Ver Mapa No. 9) El proceso para el factor K se resume en la imagen No. 13

# Imagen No.13 Proceso cartográfico de obtención del factor K



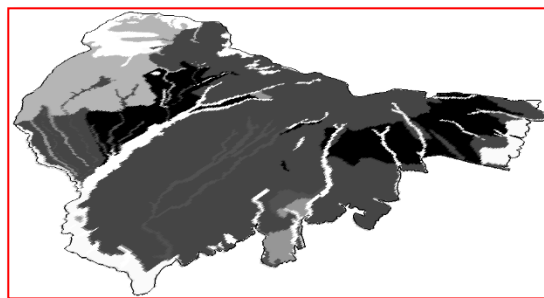
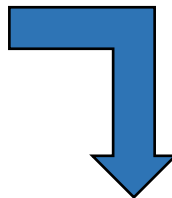
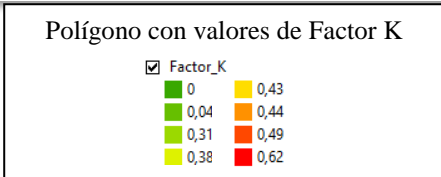
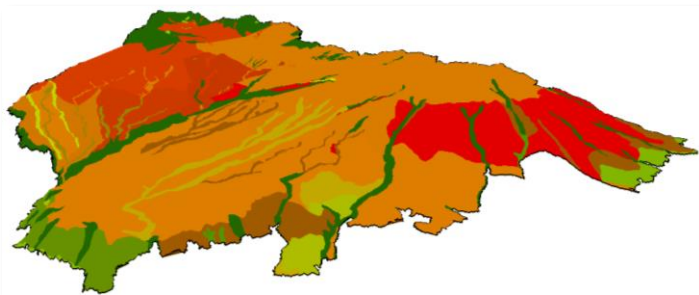
id	Shape *	soil_etic	tau_etic	mois_desc
0	Polygon	Aquec Haplocrystallo	FRANCO ARENOSO	> 5.0 % DE CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA EN SUELOS DE LA SIERRA
1	Polygon	Aquec Haplustallo	FRANCO ARENOSO	> 5.0 % DE CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA EN SUELOS DE LA SIERRA
2	Polygon	Ericc Durustallo	FRANCO	< 0.5 % DE CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA EN SUELOS DE LA SIERRA
3	Polygon	Ericc Durustallo	FRANCO	3.0 - 5.0 % DE CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA EN SUELOS DE LA SIERRA
4	Polygon	Ericc Durustallo	FRANCO ARENOSO	< 0.5 % DE CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA EN SUELOS DE LA SIERRA
5	Polygon	Ericc Durustallo	FRANCO LIMOSO	> 5.0 % DE CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA EN SUELOS DE LA SIERRA
6	Polygon	Ericc Durustallo	FRANCO LIMOSO	3.0 - 5.0 % DE CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA EN SUELOS DE LA SIERRA
7	Polygon	Ericc Haplustallo	FRANCO	< 0.5 % DE CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA EN SUELOS DE LA SIERRA
8	Polygon	Ericc Haplustallo	FRANCO ARENOSO	< 0.5 % DE CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA EN SUELOS DE LA SIERRA
9	Polygon	Pachic Argustallo	FRANCO LIMOSO	> 5.0 % DE CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA EN SUELOS DE LA SIERRA
10	Polygon	Pachic Haplustallo	FRANCO	< 0.5 % DE CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA EN SUELOS DE LA SIERRA
11	Polygon	Pachic Haplustallo	FRANCO	> 5.0 % DE CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA EN SUELOS DE LA SIERRA
12	Polygon	Pachic Haplustallo	FRANCO	3.0 - 5.0 % DE CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA EN SUELOS DE LA SIERRA
13	Polygon	Pachic Haplustallo	FRANCO LIMOSO	3.0 - 5.0 % DE CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA EN SUELOS DE LA SIERRA
14	Polygon	Pachic Ultic Melanudens	FRANCO	> 5.0 % DE CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA EN SUELOS DE LA SIERRA
15	Polygon	Tierras miscelaneas	NO APLICABLE	INDICA QUE EL ATRIBUTO NO ES APLICABLE AL OBJETO
16	Polygon	Typic Argustallo	FRANCO LIMOSO	3.0 - 5.0 % DE CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA EN SUELOS DE LA SIERRA
17	Polygon	Typic Haplocrystallo	FRANCO	< 0.5 % DE CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA EN SUELOS DE LA SIERRA
18	Polygon	Typic Haplustallo	FRANCO	< 0.5 % DE CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA EN SUELOS DE LA SIERRA
19	Polygon	Typic Haplustallo	FRANCO	> 5.0 % DE CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA EN SUELOS DE LA SIERRA
20	Polygon	Typic Humocrystallo	FRANCO	3.0 - 5.0 % DE CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA EN SUELOS DE LA SIERRA
21	Polygon	Typic Udiparmello	ARENA	< 0.5 % DE CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA EN SUELOS DE LA SIERRA
22	Polygon	Typic Udiparmello	FRANCO ARENOSO	< 0.5 % DE CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA EN SUELOS DE LA SIERRA
23	Polygon	Ultic Melanocrystallo	FRANCO ARCILLOSO	> 5.0 % DE CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA EN SUELOS DE LA SIERRA



Información en tabla de atributos del % de Materia Orgánica



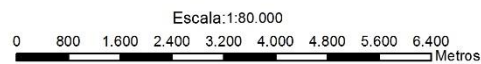
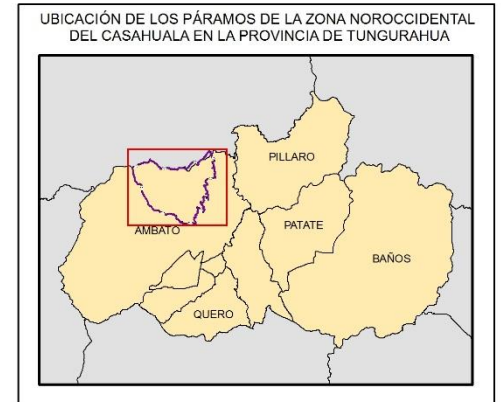
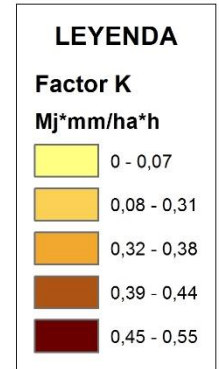
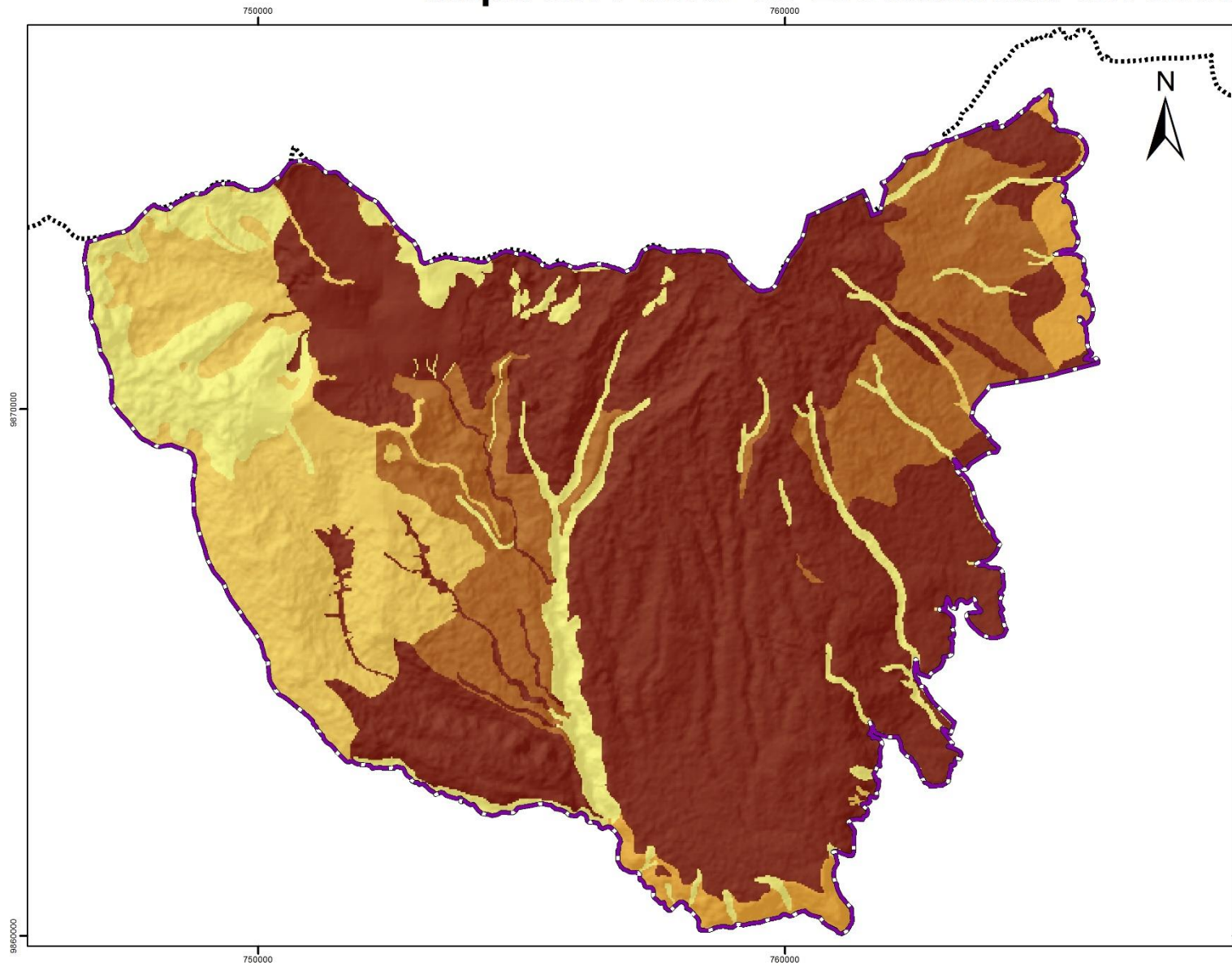
Aplicación Tabla de indicaciones de la magnitud general del factor K de erodabilidad del suelo (Kirkby y Morgan 1980)



Polígono a Ráster  
Valores del Factor K

Elaborado por: Pablo Andrés Calero Pérez

# Mapa del Factor de Erodabilidad del suelo (K)



Pontificia Universidad Católica del Ecuador

FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS  
ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS  
CIENCIAS GEOGRÁFICAS Y PLANIFICACIÓN TERRITORIAL

Contiene: Mapa del Factor de Erodabilidad del suelo (K)			
Elaborado por: Pablo Andrés Calero Pérez		Revisado por: María Augusta Almeida	
Fuente: Geoinformación HGPT	Datum: WGS84	Fecha: 07/07/2017	MAPA: 9 / 14
Zona: 17 Sur	Escala de Trabajo: 1:80.000	Escala de Fuente: 1:25.000	

#### 4.4 FACTOR TOPOGRÁFICO (FACTOR LS)

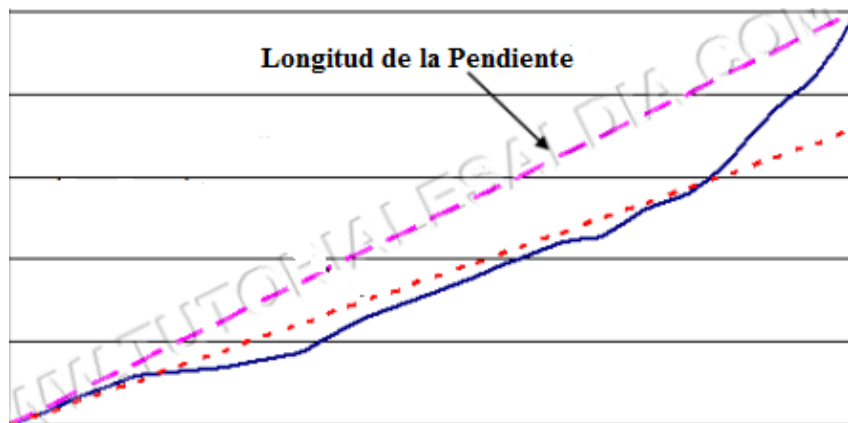
La ecuación de predicción de la erosión toma en cuenta el efecto de la topografía en los procesos de degradación del suelo, debido a que la erosión se incrementa a medida que se incrementa la longitud del terreno (factor L) en el sentido de la pendiente y se hace mayor la inclinación de la superficie (factor S), es decir que el factor LS, es el efecto combinado de la pendiente y la longitud del terreno el cual se encuentra expuesto a la erosión de tipo laminar y en surcos (Luna Lemus, 2016).

Al ser el factor topográfico una combinación de dos variables, se ve la necesidad de explicarlo de manera separada cada una de ellas.

##### 4.4.1 Factor L

Es el factor que expresa la longitud de la pendiente entendida como la distancia existente desde el punto de origen del flujo hasta el punto donde la pendiente disminuye lo suficiente para que se produzca la deposición del suelo desprendido (Luna Lemus, 2016).

**Imagen No. 14** Longitud de la pendiente



**Fuente:** Sitio Web – Tutoriales al día Ingeniera Civil

##### 4.4.2 Factor S

Consiste en el grado de inclinación de la pendiente, la degradación y pérdida de suelo se incrementa rápidamente cuando se tiene pendientes muy pronunciadas o escarpadas y dicho incremento es mayor en relación con la longitud de la pendiente (Luna Lemus, 2016).

El relieve influye notoriamente en la cantidad de suelo perdido a consecuencia de las precipitaciones por dos motivos:

- Por el ángulo de la pendiente que modifica el tiempo de permanencia de las gotas de lluvia que circulan por la superficie, muy aparte del volumen de escorrentía que se genera. Es así que, en los terrenos planos o con poco ángulo de inclinación el agua tiene mayor posibilidad de infiltrarse que en las zonas con alto grado de inclinación, donde la escorrentía circula de manera rápida hacia las zonas de menor cota.
- Cuando la longitud y el ángulo de inclinación de una ladera es mayor, la energía cinética que alcanza el agua será mayor, por lo tanto mayor será la capacidad del agua para desagregar y transportar materiales del suelo, logrando un fuerte poder erosivo.

(Ibáñez Asensio, s.f.)

#### 4.4.3 Metodología de obtención del factor topográfico (LS)

Si bien, el factor topográfico consta de dos variables totalmente diferentes, el modelo USLE asocia dichas variables (factor L y factor S) para facilitar su cálculo mediante la siguiente fórmula (Ibáñez Asensio, s.f.):

$$LS = \left( \frac{L}{22,13} \right)^m (0,065 + 0,045S + 0,0065S^2)$$

Donde:

LS = Factor Topográfico

L = Longitud de la pendiente (metros)

S = Porcentaje de inclinación de la pendiente

m = Valor constante, depende del porcentaje de inclinación de la pendiente es decir:

- Si S es mayor o igual al 5% entonces, m equivale a 0,5
- Si S se encuentra entre el 3% y el 5% entonces, m equivale a 0,4
- Si S se encuentra entre el 1% y el 3% entonces, m equivale a 0,3
- Si S es menor al 1% entonces, m equivale a 0,2

Como en la investigación, se utilizará herramientas SIG para el cálculo de la erosión potencial y actual; se ha buscado como alternativa de cálculo del factor longitud de pendiente; la propuesta por Desmet & Govers en 1996 mencionada en la publicación de Velásquez sobre cálculo de Erosión de suelos en el año 2008 (Luna Lemus, 2016), siendo la siguiente fórmula:

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

Donde:

L = Longitud de la pendiente

A = Acumulación del flujo a nivel del pixel

D = Lado del pixel

x = Coeficiente de forma, que para sistemas pixelados, x es igual a 1

m = Constante, que se obtiene a partir de la siguiente expresión:

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

En cambio, el factor F se lo obtiene a partir de la expresión que está función de la pendiente a nivel de píxel ( $\beta$ ):

$$F = \frac{\sin \beta / 0.0896}{3(\sin \beta)^{0.8} + 0.56}$$

Para el cálculo del factor S, se utilizará las expresiones propuestas por McCools que se encuentran en función de la pendiente a nivel de pixel ( $\beta$ ) (SIGA - Sistemas de Información Geográfica Ambiental, 2014):

\* Cuando  $\tan \beta_{(i,j)} < 0.09$  entonces, S igual a:

$$10.8 \sin \beta_{(i,j)} + 0.03$$

\* Cuando  $\tan \beta_{(i,j)} \geq 0.09$  entonces, S igual a:

$$16.8 \sin \beta_{(i,j)} - 0.5$$

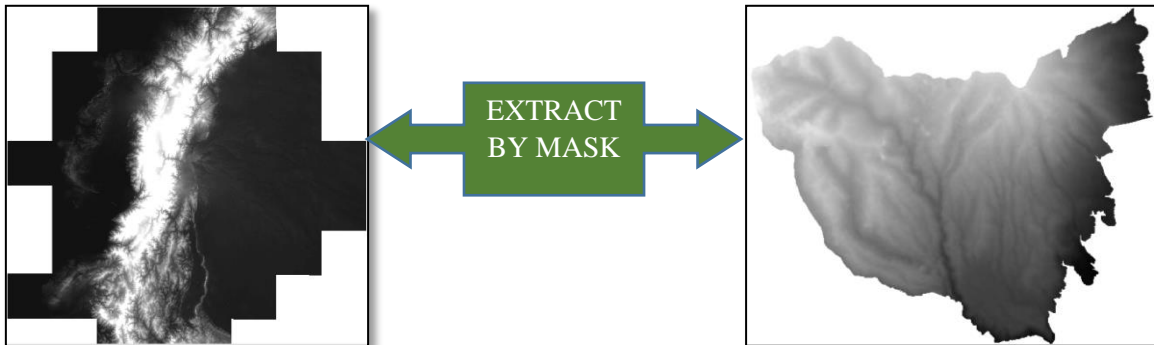
Una vez que, se obtienen los valores del factor L y factor S, se los multiplica para determinar el valor del factor LS o factor topográfico el cual es adimensional, es decir sin unidades.

**Nota:** El valor de  $\beta$  debe estar expresada en radianes, por lo que se debe multiplicar  $\beta$  por 0.01745.

#### 4.4.4 Cálculo del factor topográfico en la zona de los páramos noroccidentales del volcán Casahuala.

El insumo principal que se utilizará para la obtención del factor LS, es el modelo digital de elevación del Ecuador con un tamaño de pixel de 30,81917606 (parámetro D), el mismo que será recortado con la herramienta Extract by Mask (Ver imagen No. 15) en base al límite del área de estudio.

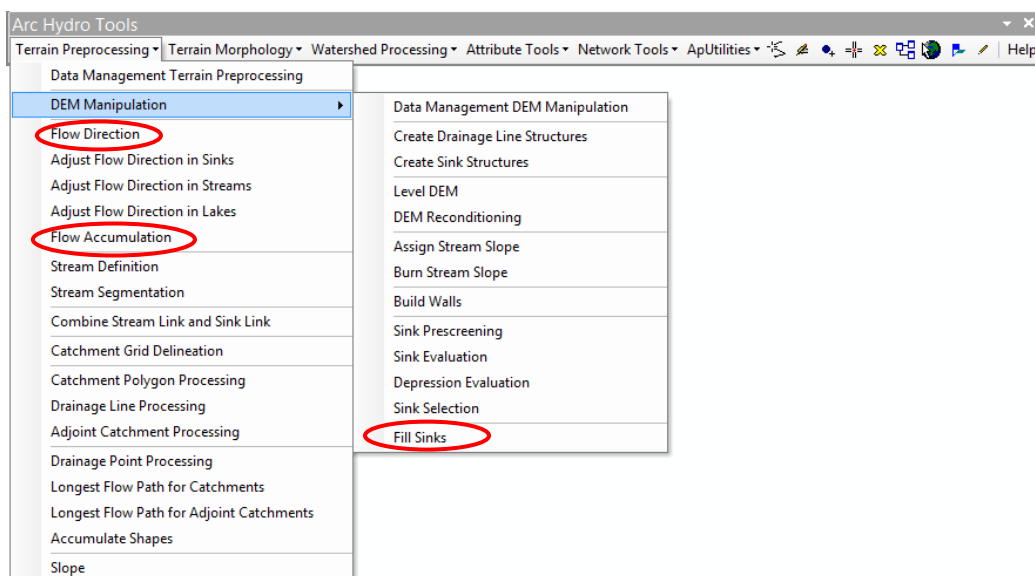
**Imagen No. 15** Extracción del MDE de los páramos del volcán Casahuala



**Elaborado por:** Pablo Andrés Calero

Una vez que se obtuvo el MDE del área de estudio; y antes de realizar los cálculos del factor topográfico, se procedió a obtener los ráster de: dirección del flujo, acumulación de flujo, utilizando la barra de herramientas ARC HYDRO TOOLS del software ArcGis

**Imagen No. 16** Barra de Herramientas ARC HYDRO TOOLS



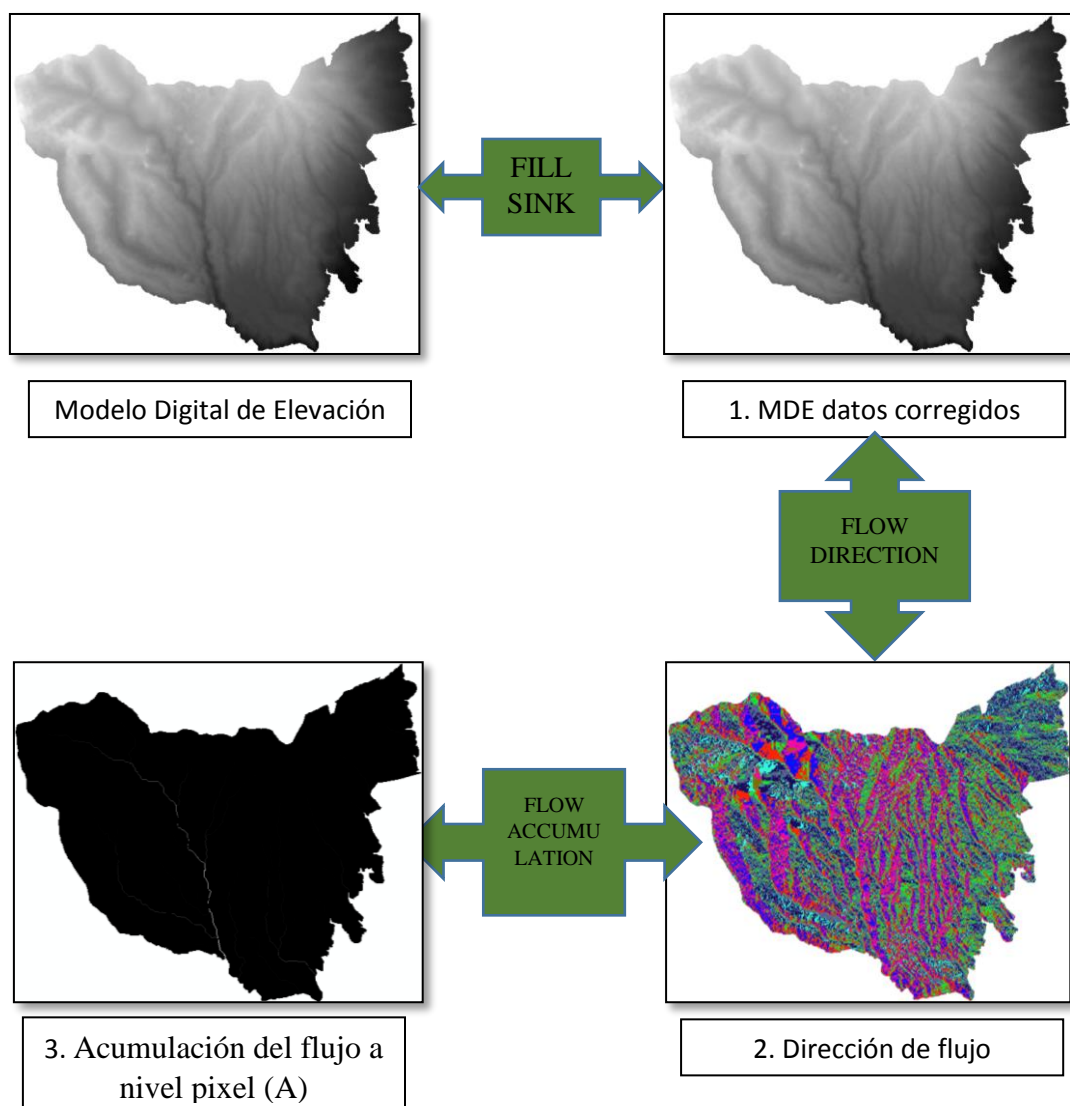
La obtención de los ráster antes mencionados es debido a que para calcular el factor topográfico se necesita la acumulación del flujo a nivel del pixel (A) que se encuentra en la fórmula de Desmet & Govers.

El proceso a seguir es el siguiente (Ver Imagen 17):

1. Aplicación de la herramienta **FILL SINKS** para rellenar los espacios en el ráster o para quitar imperfecciones en los datos.
2. Obtención de la dirección del flujo con la herramienta **FLOW DIRECTION**, con el ráster producido en el paso 1.
3. Utilizar la herramienta **FLOW ACCUMULATION** con el ráster de la dirección del flujo para obtener la acumulación del flujo a nivel pixel (A).

**Imagen No. 17** Proceso cartográfico de obtención de la acumulación de flujo a nivel pixel

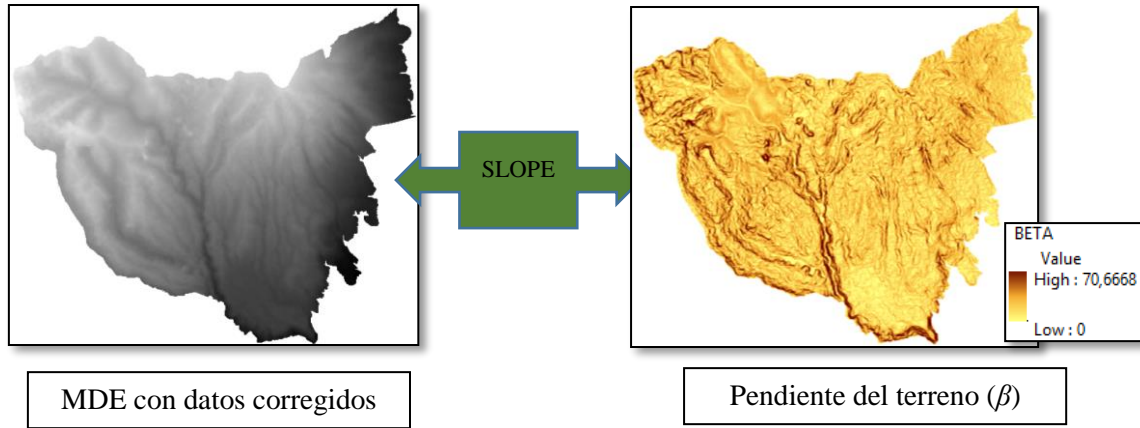
(A)



Elaborado por: Pablo Andrés Calero Pérez

Otro insumo que se necesitó es el ráster de pendiente, el cual se lo obtuvo a través de la herramienta SLOPE (Ver Imagen 18), el cual permitió tener los valores de pendiente en grados. Dentro del cálculo del factor topográfico representa el valor ( $\beta$ ).

**Imagen No. 18** Proceso cartográfico de obtención de la pendiente del terreno ( $\beta$ ).



**Elaborado por:** Pablo Andrés Calero Pérez

Al contar con todos los ráster ( $A$  y  $\beta$ ), se procederá a encontrar el factor topográfico mediante las fórmulas propuestas por Desmet & Govers y de McCools, con la utilización de la herramienta Raster Calculator.

**Para el factor L**

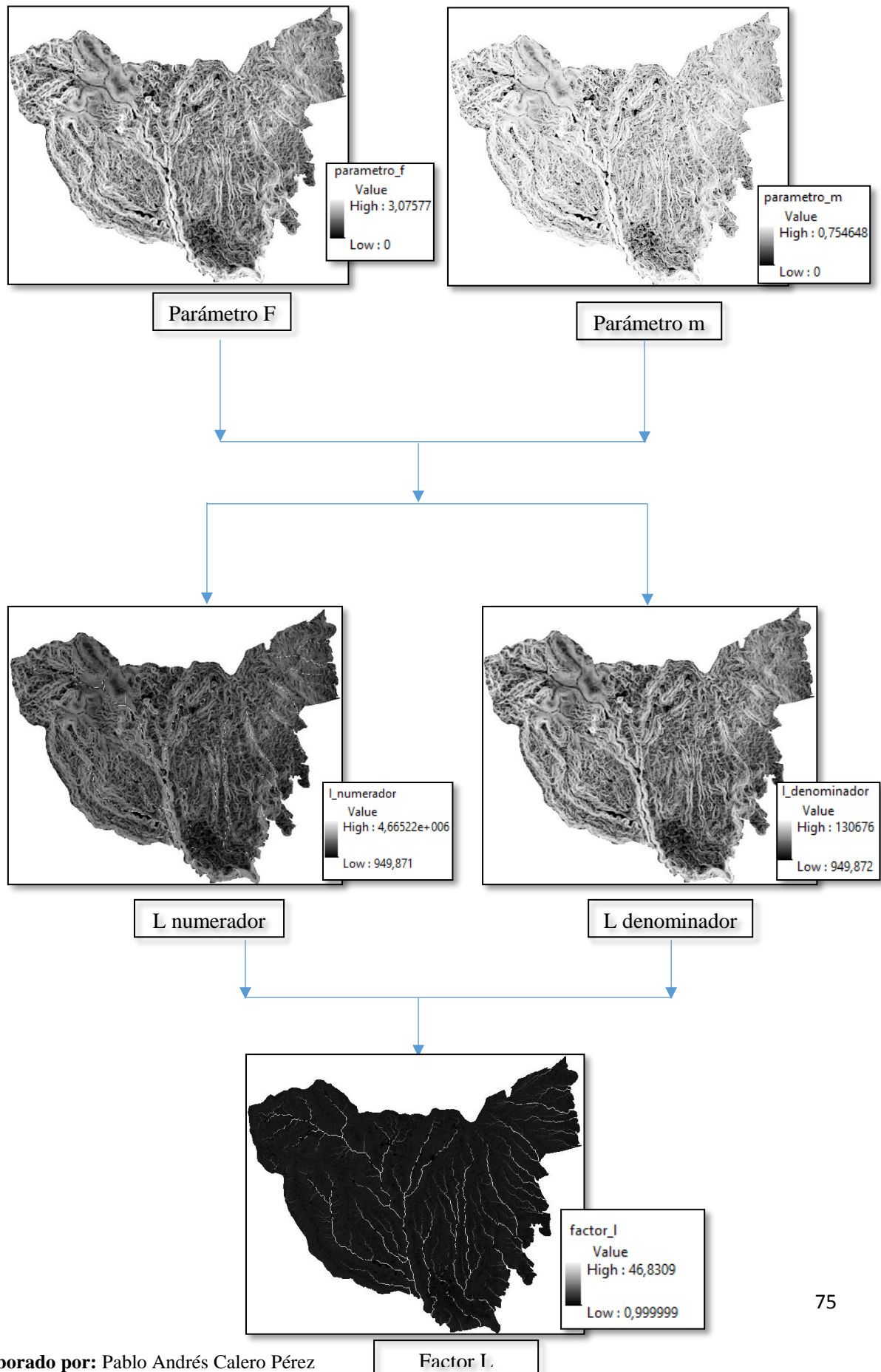
Las fórmulas a utilizar para la obtención del factor L son las desarrolladas por Desmet & Govers, las mismas que para ser empleadas en el software ArcGis se deben digitar de la siguiente manera:

<b>Tabla No. 7</b> Equivalencias de las fórmulas de Desmet & Govers en la herramienta de Raster Calculator para el cálculo del Factor L		
<b>Parámetros</b>	<b>Fórmula de Desmet &amp; Govers</b>	<b>Fórmula en Ráster Calculator</b>
$F$	$F = \frac{\sin \beta / 0.0896}{3(\sin \beta)^{0.8} + 0.56}$	$(\text{Sin}(\text{"Beta"} * 0.01745) / 0.0896) / (3 * \text{Power}(\text{Sin}(\text{"Beta"} * 0.01745), 0.8) + 0.56)$
$m$	$m = \frac{F}{(1 + F)}$	$\text{"parametro\_f"} / (1 + \text{"parametro\_f"})$
$L$ numerador	$\frac{(A_{(i,j)} + D^2)^{m+1} - A_{(i,j)}^{m+1}}{x^m \cdot D^{m+2} \cdot (22.13)^m}$	$\text{Power}(\text{"faccumu"} + 30.82 * 30.82, \text{"parametro\_m"} + 1) - \text{Power}(\text{"faccumu"}, \text{"parametro\_m"} + 1)$
$L$ denominador	$\frac{x^m \cdot D^{m+2} \cdot (22.13)^m}{x^m \cdot D^{m+2} \cdot (22.13)^m}$	$\text{Power}(30.82, \text{"par\_m"} + 2) * \text{Power}(22.13, \text{"par\_m"})$
$L$	$L_{(i,j)} = \frac{(A_{(i,j)} + D^2)^{m+1} - A_{(i,j)}^{m+1}}{x^m \cdot D^{m+2} \cdot (22.13)^m}$	$\text{"L\_numerador"} / \text{"L\_denominador"}$

**Elaborado por:** Pablo Andrés Calero Pérez

Los resultados de este cálculo se reflejarán en la siguiente imagen:

**Imagen No. 19** Proceso cartográfico de obtención del factor L.



Con la obtención del factor L, y al ser un valor adimensional, únicamente permite determinar las zonas donde la longitud de la pendiente tiene efecto en la erosión del suelo; siendo los cauces de los ríos, los sitios, donde la erosión se manifiesta en mayor grado, debido al caudal que posee el río y su sinuosidad, por lo tanto el suelo se desprende con facilidad y es transportado a otros sitios.

**Para el factor S**

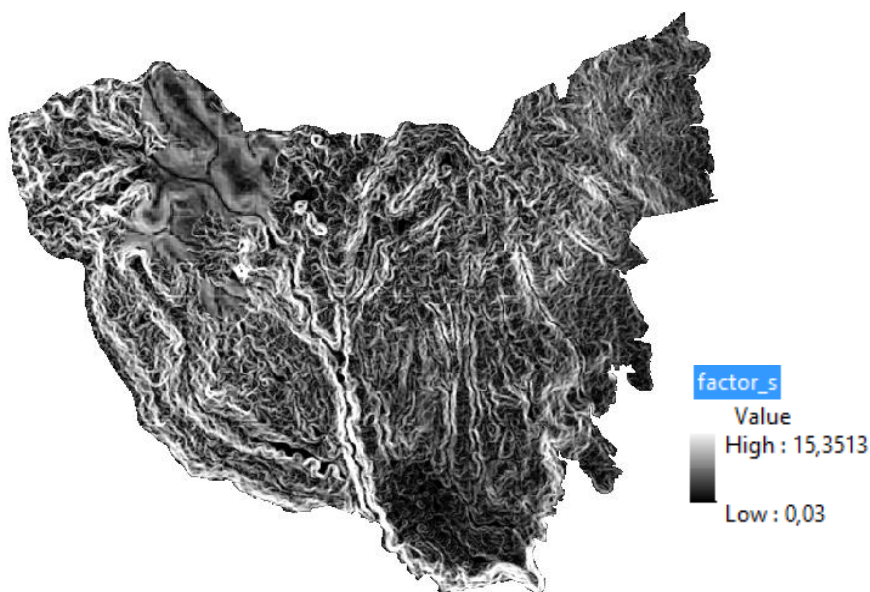
La fórmula a utilizar para la obtención del factor S es la desarrollada por McCools, la cual para ser empleada en el software ArcGis se debe digitar de la siguiente manera:

<b>Tabla No. 8</b> Equivalencia de la fórmula de McCools en la herramienta de Raster Calculator para el cálculo del Factor S	
<b>Fórmula de McCools</b>	<b>Fórmula en Ráster Calculator</b>
* Cuando $\tan \beta_{(i,j)} < 0.09$ entonces, S igual a: $10.8 \sin \beta_{(i,j)} + 0.03$	<b>Con</b> (Tan("beta"*0.01745)<0.09,10.8*  Sin("beta"*0.01745)+0.03,16.8*  Sin("beta"*0.01745) - 0.5)
*Cuando $\tan \beta_{(i,j)} \geq 0.09$ entonces, S igual a: $16.8 \sin \beta_{(i,j)} - 0.5$	

**Elaborado por:** Pablo Andrés Calero Pérez

El resultado de este cálculo se reflejará en la siguiente imagen:

**Imagen No. 20** Imagen ráster factor S.

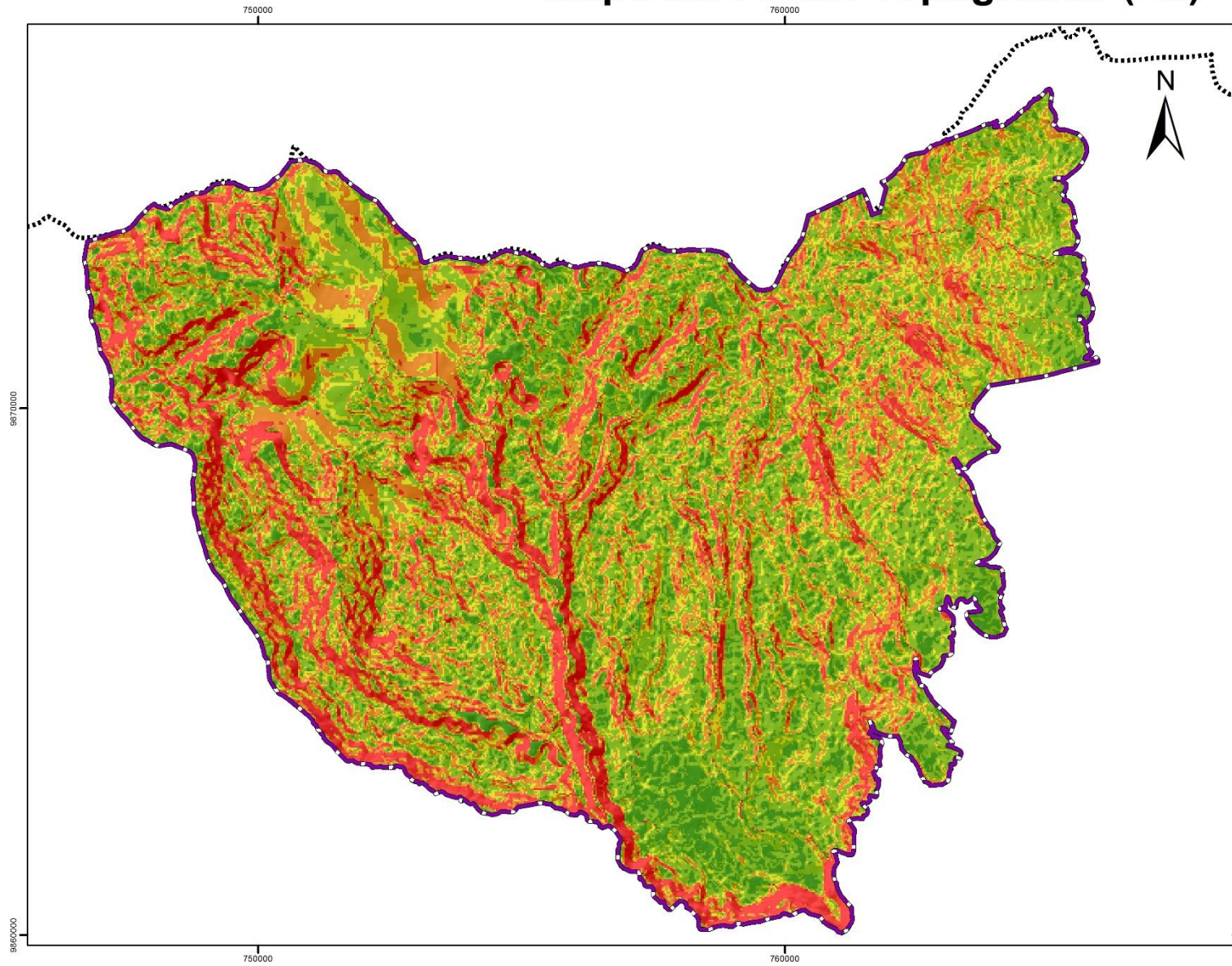


**Elaborado por:** Pablo Andrés Calero Pérez

El factor S expresa el grado de inclinación de la pendiente, es decir que los valores de pixel que se acercan a 15.3513 son los sitios donde la degradación y pérdida de suelo se acelera por tener pendientes fuertes, en cambio los valores de S que se acercan a 0.03 son los sitios con menor vulnerabilidad a la degradación de suelo, por tener pendientes no muy pronunciadas o escarpadas.

Al haber calculado los ráster del factor L y el factor S, únicamente queda multiplicar ambos ráster con la herramienta Raster Calculator para obtener finalmente el factor topográfico LS como se muestra en el Mapa No. 10, donde se aprecia que a mayor valor de pixel mayor será el grado de incidencia de la erosión.

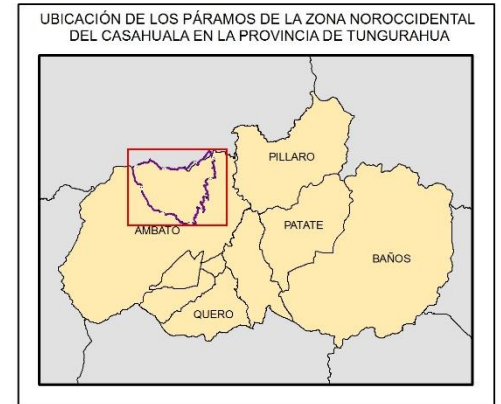
# Mapa del Factor Topográfico (LS)



**LEYENDA**

**Factor LS**  
**Adimensional**

	0,03 - 1,61
	1,62 - 4,78
	4,79 - 6,36
	6,37 - 9,53
	9,54 - 402,29



**SIMBOLOGÍA**

	Páramos Noroccidentales del Casahuala
	Límite Provincia Tungurahua

Escala: 1:80.000

0 800 1.600 2.400 3.200 4.000 4.800 5.600 6.400 Metros

<p>Pontificia Universidad Católica del Ecuador</p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS CIENCIAS GEOGRÁFICAS Y PLANIFICACIÓN TERRITORIAL</p>			
Contiene: Mapa del Factor Topográfico (LS)			
Elaborado por: Pablo Andrés Calero Pérez		Revisado por: María Augusta Almeida	
Fuente: MDE 30 metros	Datum: WGS84	Fecha: 07/07/2017	MAPA: 10 / 14
Zona: 17 Sur	Escala de Trabajo: 1:80.000	Escala de Fuente: 1:25.000	

#### **4.5 FACTOR COBERTURA VEGETAL (FACTOR C)**

El factor C del modelo USLE, indica la influencia de la cobertura vegetal en la pérdida y degradación del suelo, expresada mediante la relación existente entre la pérdida de suelo de un área con una tipo de vegetación y sistemas de manejo específicos, con la pérdida de suelo en parcelas limpias, aradas o en barbecho, que se encuentran en el sentido de la pendiente (Luna Lemus, 2016).

En zonas cultivadas, el factor C se asigna en base a prácticas agronómicas, debido a que el grado de protección que otorga la vegetación varía durante el año en función del ciclo vegetativo y de las labores agrícolas. Por otro lado, en espacios forestales, o áreas de pasto, el factor C se encuentra en función de la altura de la copa o la capacidad de producir hojarasca u otros residuos (Ibáñez Asensio, s.f.).

Los valores de C van de 0 a 1; es decir si el valor de C se acerca a cero, es porque el suelo está protegido del impacto de las gotas de lluvia y de la escorrentía superficial, en cambio si el valor de C se acerca a uno, quiere decir que el suelo presenta menor cobertura vegetal, por ende mayor probabilidad de presentarse la erosión y escorrentía (González del Tánago, 1991).

##### **4.5.1 Metodología de obtención del factor de cobertura vegetal (C)**

Para poder calcular el factor C, se debió consultar los valores en tablas preestablecidas (Ver Imágenes No. 21 y 22) que relacionan la cobertura vegetal con sub-factores como: porcentaje de suelo desnudo, porcentaje de suelo desnudo con matriz densa de raíces finas, cobertura y altura del dosel y contenido de materia orgánica (SIGA - Sistemas de Información Geográfica Ambiental, 2014).

Los valores del factor C, para el caso de estudio serán tomadas de las tablas propuestas por Jung y por Wishmeier y Smith siendo las siguientes:

**Imagen No. 21** Valores del factor C por tipo de cobertura vegetal según Jung

Tipo de cobertura	Factor C
Area urbana	0.1
Suelo desnudo	0.35
Bosque denso	0.001

Tipo de cobertura	Factor C
Bosque ralo	0.01
Bosque mezclado con cultivos (Agroforestería)	0.1
Cultivos	0.5
Cultivos de inundación	0.1
Pastura densa	0.08
Pastura rala	0.2
Pasturas con cultivos	0.25
Humedales	0.05
Cuerpos de agua	0.01

**Fuente:** (SIGA - Sistemas de Información Geográfica Ambiental, 2014)

**Imagen No. 22** Valores del factor C por tipo de cobertura vegetal según Wishmeier y Smith

Cultivo y práctica	Media anual del factor C
Suelo desnudo	1,0
Bosque o matorral denso, cultivos con alto porcentaje de <i>mulch</i>	0,001
Sabana o pradera herbácea en buenas condiciones	0,01
Sabana o pradera herbácea sobrepastada	0,1
Maíz, sorgo o mijo: alto rendimiento con laboreo convencional	0,20 – 0,55
Maíz, sorgo o mijo: alto rendimiento sin laboreo convencional	0,50 – 0,90
Maíz, sorgo o mijo: bajo rendimiento con laboreo mínimo o no laboreo	0,02 – 0,10
Maíz, sorgo o mijo: alto rendimiento, laboreo con chisel entre residuos	0,12 – 0,20
Maíz, sorgo o mijo: bajo rendimiento, laboreo con chisel entre residuos	0,30 – 0,45
Algodón	0,40 – 0,70
Pradera herbácea	0,01 – 0,025
Soja	0,20 – 0,50
Trigo	0,10 – 0,40
Arroz	0,10 – 0,20
Cacahuete	0,30 – 0,80
Palmera, cafeto, cocotero, con cobertura vegetal	0,10 – 0,30
Piña cultivada a nivel, con retirada de residuos	0,10 – 0,40
Piña cultivada a nivel, con residuos en superficie	0,01
Patata, surcos según la pendiente	0,20 – 0,50
Patata, surcos transversales a la pendiente	0,10 – 0,40
Caupí (judía de vaca)	0,30 – 0,40
Fresa con cobertura de malas hierbas	0,27
Granado con cobertura de malas hierbas	0,08
Granado limpio de malas hierbas	0,56
Tef ( <i>Eragrostis tef</i> )	0,25
Caña de azúcar	0,13 – 0,40
Ñame	0,40 – 0,50
Guisante de Angola	0,60 – 0,70
Judía mungo	0,04
Pimiento	0,33
Cafeto: después de la primera recolección	0,05
Plátano: después de su establecimiento	0,05 – 0,10
Papaya	0,21

Wishmeier y Smith (1978); Roose (1977); Singh, Babu y Chandra (1981); El-Swaify, Dangler y Armstrong (1982); Hurni (1987); Hashim y Wong (1988).

**Fuente:** (SIGA - Sistemas de Información Geográfica Ambiental, 2014)

#### 4.5.2 Cálculo del factor de cobertura vegetal en la zona de los páramos noroccidentales del volcán Casahuala.

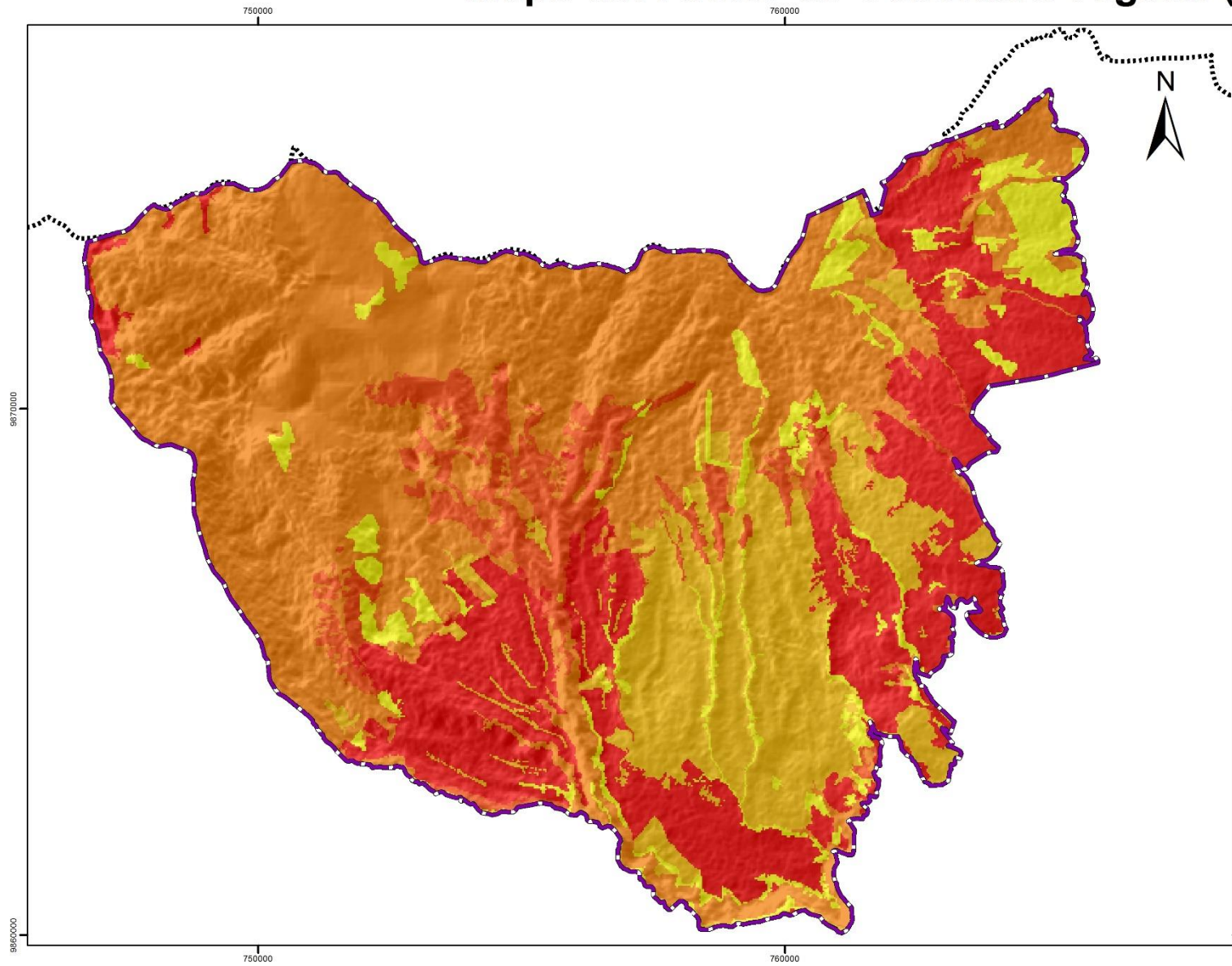
Para el cálculo del factor C se utilizó como base la cobertura de uso del suelo a escala 1:25000 del programa SIGTIERRAS, el cual al ser recortado con el área de estudio, se procedió a identificar el factor de cobertura vegetal con las tablas de Jung y Wishmeier presentando los siguientes valores:

<b>Tabla No. 9</b> Valores del Factor C por tipo de cobertura vegetal y uso de suelo		
<b>Cobertura vegetal y uso del suelo</b>	<b>Factor C</b>	<b>Hectáreas</b>
Área Poblada	0.1	419.52
Bosque Nativo	0.001	128.83
Pastos con cultivos	0.25	1747.27
Cultivos	0.5	1971.5
Erial	1	102
Infraestructura antrópica	1	34.26
Mosaico Agropecuario	0.44	282.91
Páramo	0.12	7225.26
Pastizal	0.009	2398.68
Plantación Forestal	0.001	1139.12
Vegetación Arbustiva	0.153	1333.81
Vegetación Herbácea	0.12	1180.27

**Elaborado por:** Pablo Andrés Calero Pérez






Una vez que se identificaron los valores de C para el área de estudio se transformó el shapefile tipo polígono de uso de suelo en ráster con los valores de C, (Ver Mapa No.11), teniendo un alto porcentaje del territorio cubierto con vegetación natural lo que permite retrasar el avance de la erosión y prevenir el desgaste del suelo.

# Mapa del Factor de Cobertura Vegetal (C)



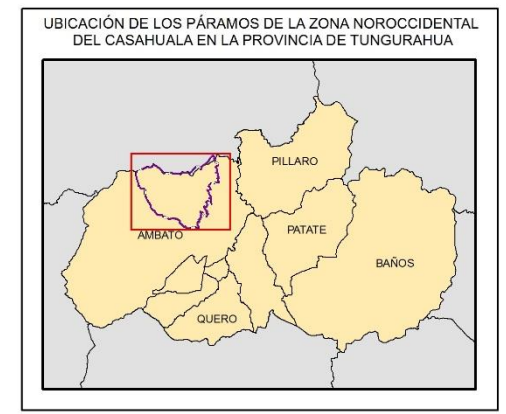
**LEYENDA**

**Factor C**  
**Adimensional**

-  0 - 0,01
-  0,02 - 0,12
-  0,13 - 0,15
-  0,16 - 0,25
-  0,26 - 1

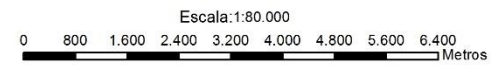
- Valores de C cercanos a 0, suelo protegido del impacto de las gotas de lluvia y de la escorrentía superficial.

- Valores de C cercanos a 1, suelo con menor cobertura vegetal, por lo tanto mayor probabilidad de presentar erosión y escorrentía



**SIMBOLOGÍA**

-  Páramos Noroccidentales del Casahuala
-  Límite Provincia Tungurahua



 Pontificia Universidad Católica del Ecuador

FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS  
ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS  
CIENCIAS GEOGRÁFICAS Y PLANIFICACIÓN TERRITORIAL

Contiene: Mapa del Factor de Cobertura Vegetal (C)

Elaborado por: Pablo Andrés Calero Pérez	Revisado por: María Augusta Almeida		
Fuente: Geoinformación HGPT	Datum: WGS84	Fecha: 07/07/2017	MAPA: 11 / 14
Zona: 17 Sur	Escala de Trabajo: 1:80.000	Escala de Fuente: 1:25.000	

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

El factor P representa la relación de pérdida de suelo entre parcelas donde se han aplicado prácticas de conservación de suelo con el objetivo de controlar la erosión y las pérdidas de suelo que se dan en parcelas donde no se tienen prácticas y donde se efectúa la labranza en el mismo sentido de la pendiente modificando la topografía del sitio. Si no se aplican prácticas de conservación o son muy pocas el valor de P es igual a uno. (Corporación Autónoma Regional del Tolima, s.f)

Para poder calcular los valores de P dentro de la zona noroccidental del volcán Casahuala se optó por tomar en cuenta los valores propuestos por Jung (Ver Imagen No. 23), los mismo que relaciona tanto el factor C como el P, con cada uno de los tipos de cobertura vegetal y uso de suelo.

**Imagen No. 23** Valores del factor P según Jung.

Tipo de cobertura	Factor C	Factor P
Area urbana	0.1	1
Suelo desnudo	0.35	1
Bosque denso	0.001	1

Tipo de cobertura	Factor C	Factor P
Bosque ralo	0.01	1
Bosque mezclado con cultivos (Agroforestería)	0.1	0.8
Cultivos	0.5	0.5
Cultivos de inundación	0.1	0.5
Pastura densa	0.08	1
Pastura rala	0.2	1
Pasturas con cultivos	0.25	0.8
Humedales	0.05	1
Cuerpos de agua	0.01	1

**Fuente:** (SIGA - Sistemas de Información Geográfica Ambiental, 2014)

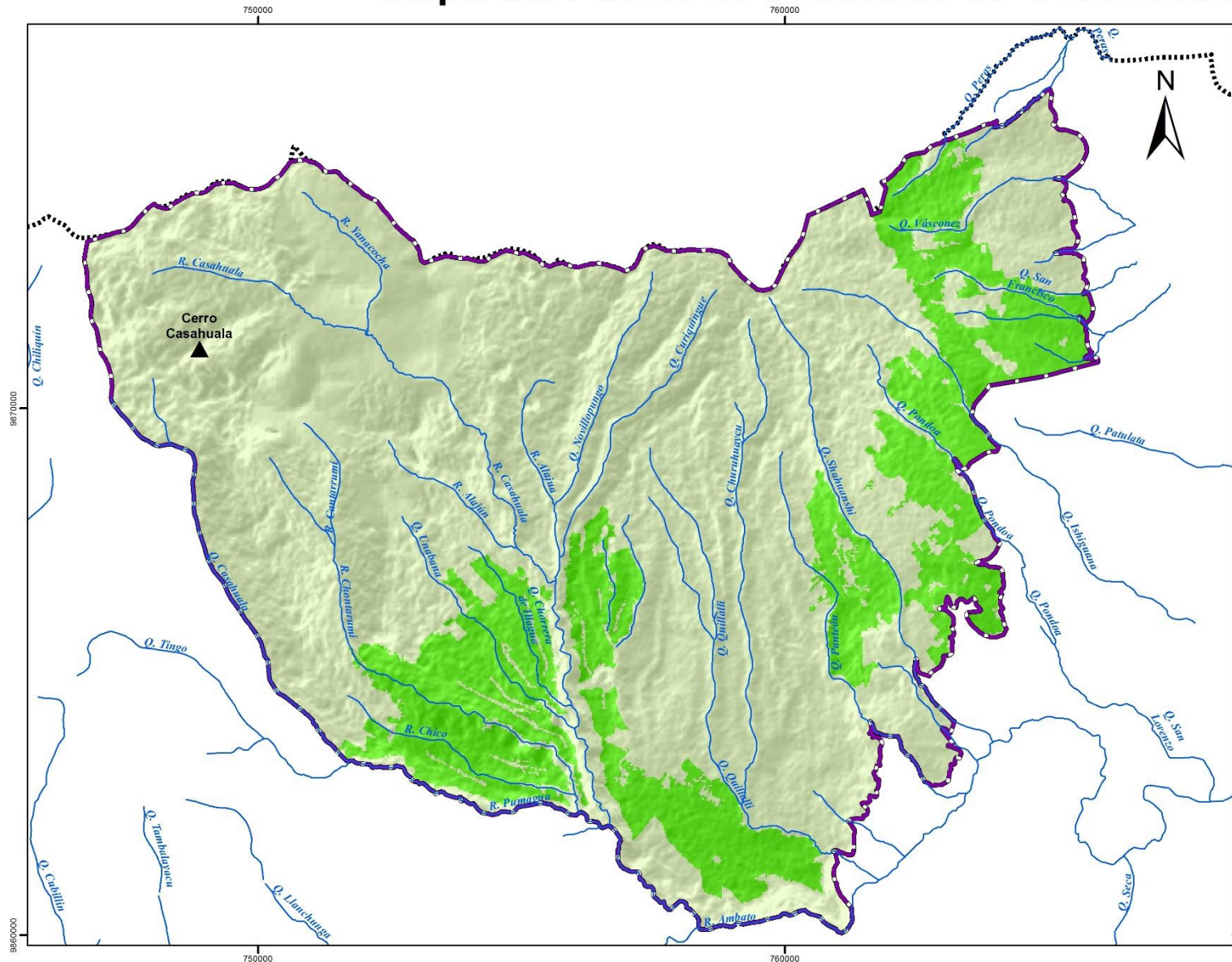
Entonces, al identificar la cobertura vegetal y uso de suelo del área de estudio extraída de la cobertura de uso del suelo a escala 1:25000 del programa SIGTIERRAS, los valores de P serán:

<b>Tabla No. 10</b> Valores del Factor P en los páramos del volcán Casahuala	
<b>Cobertura vegetal y uso del suelo</b>	<b>Factor P</b>
Área Poblada	1
Bosque Nativo	1
Cultivos	0.5
Erial	1
Infraestructura antrópica	1
Mosaico Agropecuario	0.8
Páramo	1
Pastizal	0.8
Plantación Forestal	0.8
Vegetación Arbustiva	1
Vegetación Herbácea	1

**Elaborado por:** Pablo Andrés Calero Pérez

Al identificar los valores de P para el área de estudio se transformó el shapefile tipo polígono de uso de suelo en ráster con los valores de P, (Ver Mapa No. 12), obteniendo un alto porcentaje del territorio sin prácticas de conservación por lo tanto es propenso a tener altas tasas de erosión.

# Mapa del Factor de Prácticas de Conservación (P)



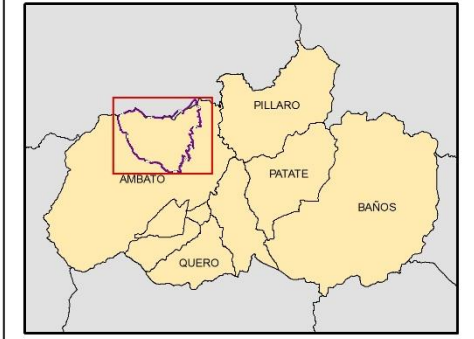
## LEYENDA

### Factor P Adimensional



- Valores de P cercanos a 0, cuentan con prácticas de conservación de suelos.
- Valores de P cercanos a 1, la prácticas de conservación son nulas o muy pocas

### UBICACIÓN DE LOS PÁRAMOS DE LA ZONA NOROCCIDENTAL DEL CASAHUALA EN LA PROVINCIA DE TUNGURAHUA



## SIMBOLOGÍA

- ▲ Cerro Casahuala
- ~ Ríos
- ▭ Páramos Noroccidentales del Casahuala
- ⋯ Límite Provincia Tungurahua

Escala: 1:80.000  
0 800 1.600 2.400 3.200 4.000 4.800 5.600 6.400 Metros



FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS  
ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS  
CIENCIAS GEOGRÁFICAS Y PLANIFICACIÓN TERRITORIAL

Contiene: Mapa del Factor de Prácticas de Conservación (P)			
Elaborado por: Pablo Andrés Calero Pérez		Revisado por: María Augusta Almeida	
Fuente: Geoinformación HGPT	Datum: WGS84	Fecha: 07/07/2017	MAPA: 12 / 14
Zona: 17 Sur	Escala de Trabajo: 1:80.000	Escala de Fuente: 1:25.000	

## CAPÍTULO V

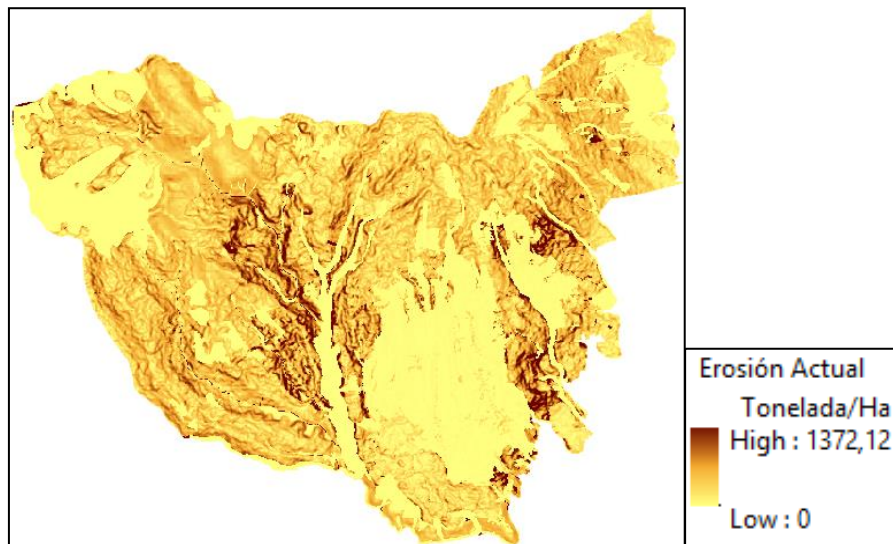
### ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN ACTUAL Y POTENCIAL DE LOS PÁRAMOS NOROCCIDENTALES DEL CASAHUALA

#### 5.1 EROSIÓN ACTUAL

El cálculo de la erosión actual se efectúa tomando en cuenta todos los parámetros del modelo de predicción USLE, pero para tener una mejor aproximación de la erosión se debe volver a calcular los ráster: factor erosividad de la lluvia (R), factor erodabilidad (K), factor cobertura vegetal (C) y factor prácticas de conservación con un tamaño de celda de 30.81917606 que corresponde a la mejor **resolución** proveniente del modelo digital de elevación.

A continuación se, debe aplicar la herramienta RASTER CALCULATOR, para superponer (multiplicar) cada uno de los parámetros (Ver Anexo No. 23), cumpliendo así lo que indica el modelo USLE (Erosión Actual = Facto R x Factor K x Factor LS x Factor C x Factor P) y lograr localizar las zonas donde se encuentran actualmente erosionadas.

**Imagen No. 24** Ráster de Erosión Hídrica Actual



Para clasificar los grados de erosión actual y potencial de un área determinada la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) propone cuatro clases siendo (FAO, 2009):

<b>Tabla No. 11</b> Clasificación del Grado de Erosión		
<b>Pérdida de Suelo (Ton/Ha)</b>	<b>Grado de Erosión</b>	<b>Descripción</b>
0 a 1	Ligero	Escasa o nula evidencia de daño a los horizontes superficiales del suelo donde, las funciones bióticas originales se encuentran intactas
6 a 15	Moderado	Evidencia clara de remoción de los horizontes superficiales del suelo, además las funciones bióticas originales se encuentran en parte destruidas.
16 a 200	Severo	Los horizontes superficiales se encuentran completamente removidos, los horizontes sub-superficiales están expuestos y las funciones bióticas originales en gran parte destruidas.
Mayor a 200	Catastrófico o Extremo	Remoción considerable de los horizontes sub-superficiales llegando a tener tierras malas o improductivas

**Elaborado por:** Pablo Andrés Calero Pérez

Cómo se quiso realizar un análisis estadístico para estimar el número de hectáreas y el porcentaje de área afectada según el grado de erosión, se procedió a:

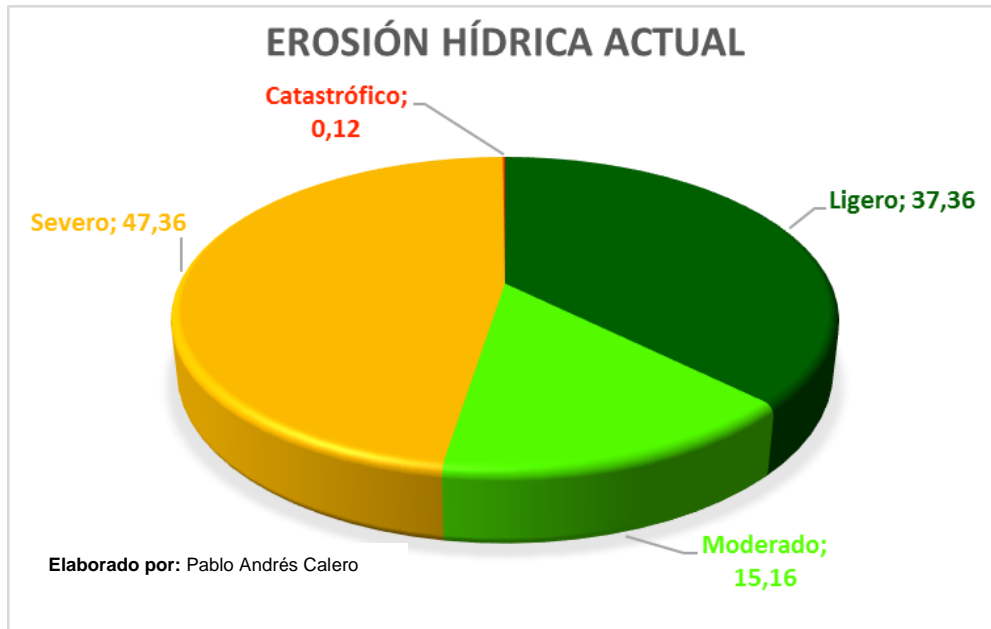
1. Convertir el ráster de tipo Floating point (valores de pixel en decimal) en un ráster con valores enteros mediante la herramienta INT.
2. Agrupar el ráster resultante en cuatro clases según la clasificación propuesta por la FAO, siendo este el ráster que se utilizó para el mapa de erosión actual (Ver Mapa No.13)
3. Obtener las áreas por cada valor de pixel, utilizando la herramienta ZONAL GEOMETRY AT TABLE, donde se tiene una tabla con las áreas en metros cuadrados y al agrupar en cuatro clases, los resultados son los siguientes:

<b>Tabla No. 12</b> Porcentaje por Grado de Erosión Actual en la zona de los páramos del Casahuala		
<b>Pérdida de Suelo (Ton/Ha)</b>	<b>Grado de Erosión</b>	<b>Área Hectáreas</b>
<i>0 a 5</i>	<i>Ligero</i>	6710,39
<i>6 a 15</i>	<i>Moderado</i>	2724,18
<i>16 a 200</i>	<i>Severo</i>	8507,17
<i>201 a 1372</i>	<i>Catastrófico</i>	21,94
<b>TOTAL</b>		<b>17963,69</b>

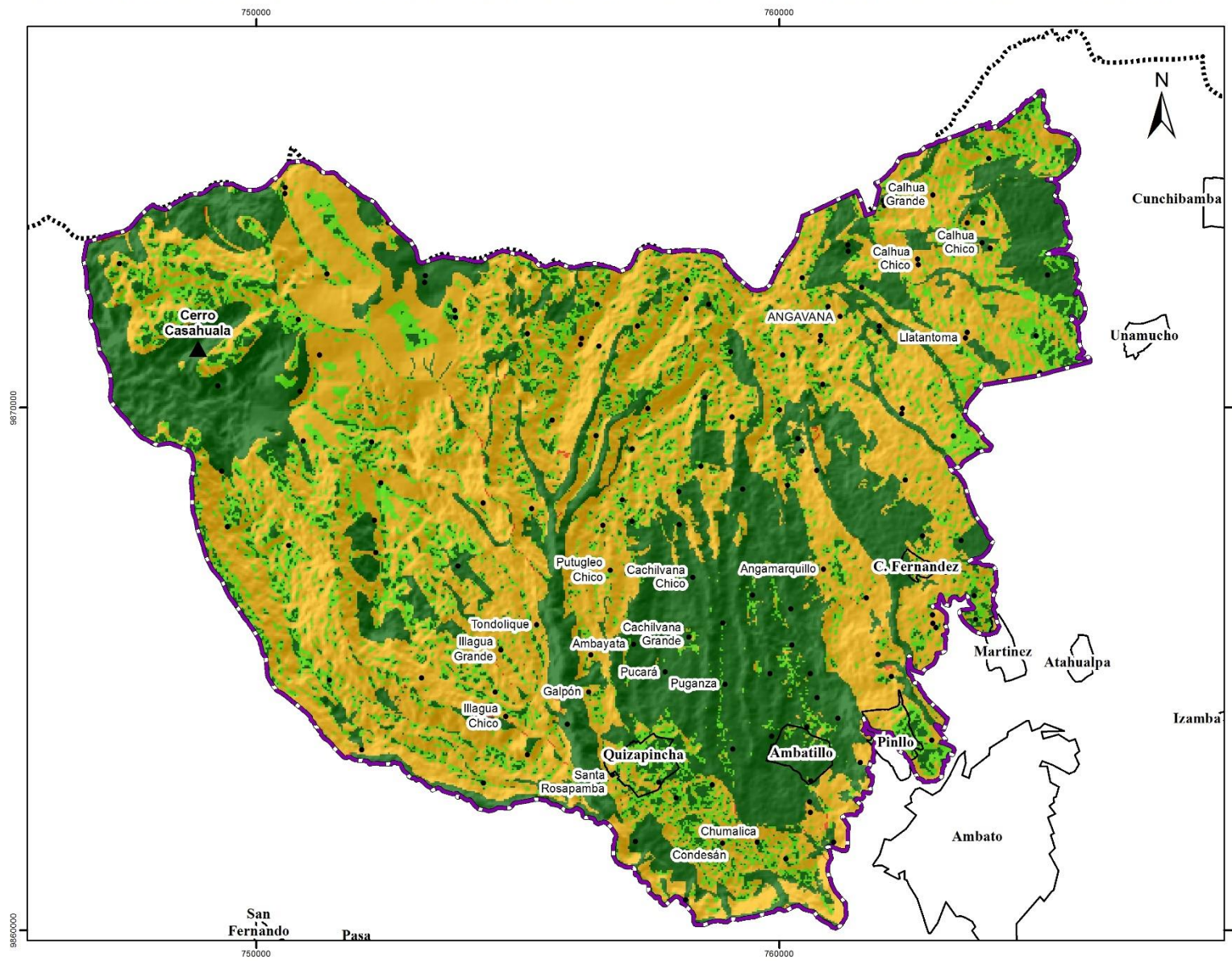
**Elaborado por:** Pablo Andrés Calero Pérez

Para una mejor interpretación de los resultados, se optó por encontrar el porcentaje de presencia de cada grado de erosión en el territorio de estudio, plasmados en la siguiente imagen:

**Imagen No. 25** Porcentaje por grado de erosión presente en la zona noroccidental del volcán Casahuala



# Erosión Hídrica Actual de la Zona de los Páramos Noroccidentales del Volcán Casahuala

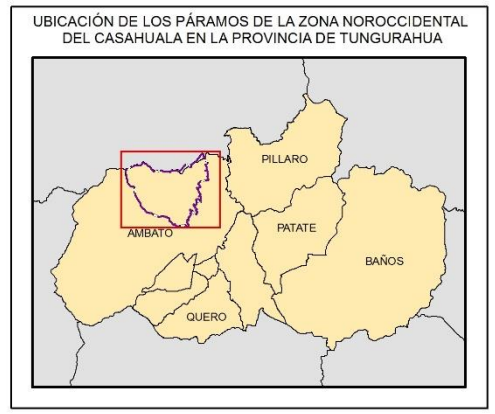


**LEYENDA**

**Erosión Actual**

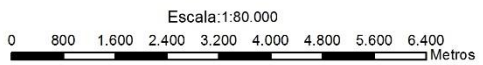
**Tonelada/Ha**

- 0 - 5 (Ligero) - 37,36%
- 6 - 15 (Moderado) - 15,16%
- 16 - 200 (Severo) - 47,36%
- 201 - 1.372 (Catastrófico) - 0,12%



**SIMBOLOGÍA**

- ▲ Cerro Casahuala
- Páramos Noroccidentales del Casahuala
- Áreas Urbanas
- Poblados
- Límite Provincia Tungurahua



**Pontificia Universidad Católica del Ecuador**  
 FACULTAD DE CIENCIAS HUMANAS  
 ESCUELA DE CIENCIAS GEOGRÁFICAS  
 CIENCIAS GEOGRÁFICAS Y PLANIFICACIÓN TERRITORIAL

Contiene: Erosión Hídrica Actual de la Zona de los Páramos Noroccidentales del Volcán Casahuala

Elaborado por: Pablo Andrés Calero Pérez		Revisado por: María Augusta Almeida	
Fuente: Geoprocesamiento	Datum: WGS84	Fecha: 07/07/2017	MAPA: 13 / 14
Zona: 17 Sur	Escala de Trabajo: 1:80.000	Escala de Fuente: 1:25.000	

### **5.1.1 Análisis de resultados**

De acuerdo con el mapa número 13 y los porcentajes de presencia de cada grado de erosión en la zona noroccidental del volcán Casahuala representados en el gráfico no. 19 se puede determinar que:

- La erosión actual del tipo severo está presente en un 47.36% del territorio, se localiza principalmente en los alrededores de los centros poblados por las actividades agropecuarias y por encima de la cota de los 3600 m.s.n.m. en la zona de los páramos donde el avance de la frontera agrícola ha ido degradando la cobertura vegetal, teniendo los suelos descubiertos sin ninguna protección.

- La erosión del tipo ligera se encuentra también presente en el territorio en un alto porcentaje (37.36%), el mismo que se encuentra distribuido en dos zonas:

1. En las áreas pobladas que se encuentra ubicado al sur de los páramos, donde las constantes remociones de suelo para la construcción de las viviendas y la apertura de nuevas vías han ido removiendo los suelos.

2. En la zona alta del volcán Casahuala donde, es producto de la erosión normal por influencia de las precipitaciones y el pisoteo del suelo y la vegetación por los turistas.

- Por otra parte, la erosión de tipo moderado se encuentra en un 15.16%, localizado en gran parte en los alrededores de la parroquia de Quisapincha, porque los agricultores y habitantes de la parroquia practican la actividad de las quemas, provocando que la materia orgánica se reduzca y se elimine el humus en los suelos siendo esta una de las causas del aceleramiento de la erosión que puede llegar incluso a la desertificación.

- Finalmente, el grado de erosión del tipo catastrófico o extremo únicamente se encuentra en el 0.12% del territorio, localizándolo en los cauces de los ríos, lo que en parte es positivo porque no se presentan suelos totalmente degradados, pero lo negativo es que la erosión hídrica causa la acumulación de sedimentos que dan lugar a la perturbación física de las características hidráulicas del cauce, reduciendo la profundidad del río y aumentando el riesgo de inundaciones.

### 5.1.2 Evidencias de la Erosión Actual

**Fotografía No. 7** Erosión Laminar en los páramos de la zona noroccidental del Casahuala, 2016



**Fuente:** Geo portal Dirección de Recursos Hídricos y Conservación Ambiental

**Fotografía No. 8** Erosión inducida por las quemas – Casahuala – Tilibi



**Fuente:** Foto tomada por Ing. Gerben Gerbrandij (20-11-2016)

**Fotografía No. 9** Erosión Laminar y en Surcos por actividades agropecuarias



**Fuente:** Foto tomada por Junta Parroquial de Quizapincha, 2015

**Fotografía No. 10** Construcción Reservoirio Llantantoma 2014 – Erosión por socavación



**Fuente:** Dirección de Recursos Hídricos y Conservación Ambiental

**Fotografía No. 11** Fragmentación del Ecosistema Bosque Seco Montano Bajo



**Fuente:** Foto tomada por Pablo Andrés Calero, 2016

**Fotografía No. 12** Erosión por deforestación, cultivos en pendiente y apertura de senderos, sector Ambatillo



**Fuente:** Foto tomada por Pablo Andrés Calero, 2016

**Fotografía No. 13** Erosión por apertura de senderos en los páramos del Casahuala



**Fuente:** Foto tomada por Pablo Andrés Calero, 2016

**Fotografía No. 14** Erosión de origen natural en el cerro Casahuala, 2015



**Fuente:** Sitio Web de Montañismo ([climbing.ilooove.it](http://climbing.ilooove.it)), 2014

**Fotografía No. 15** Erosión por actividades agrícolas, Quizapincha 2015



**Fuente:** Foto tomada por Junta Parroquial de Quizapincha

## 5.2 EROSIÓN POTENCIAL

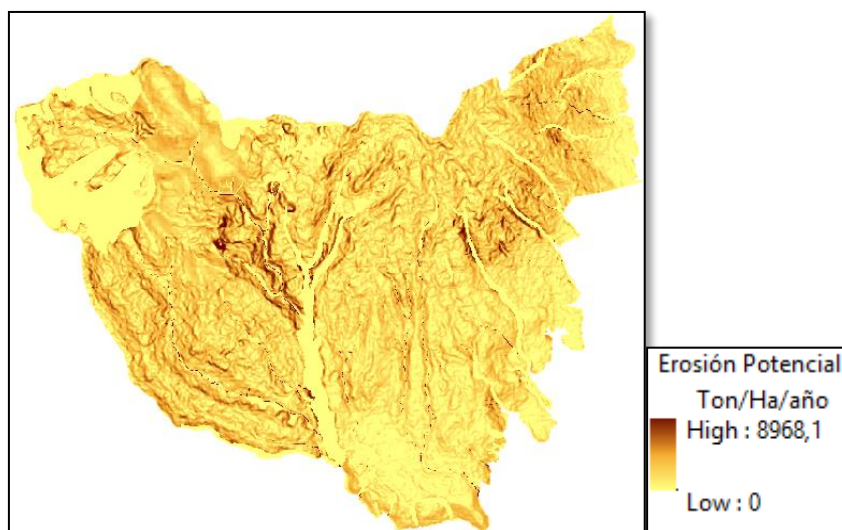
La erosión hídrica potencial permite demostrar las áreas que, si bien no presentan evidencia clara de erosión, son áreas susceptibles a que se produzcan procesos de degradación de suelos en un futuro. Es por eso que con la generación del mapa de erosión hídrica potencial se pretende estimar la tasa de erosión anual dentro del área de estudio, si las condiciones de uso de suelo se mantienen o cambian y si no se ponen en práctica las iniciativas de conservación.

Para la estimación de la erosión potencial se utiliza únicamente tres factores de la ecuación USLE, siendo: el factor de erosividad de la lluvia (R), factor erodabilidad (K) y factor topográfico (LS) expresada en la siguiente fórmula:

$$EP = R \times K \times LS$$

Como para el caso de la erosión actual, se utilizará la herramienta RASTER CALCULATOR para sobreponer (multiplicar) los parámetros (Ver Anexo No. 24), dando como resultado una capa ráster con los valores de la tasa de erosión potencial.

**Imagen No. 26** Ráster de Erosión Hídrica Potencial



Al comparar el ráster de erosión actual con el potencial, a simple vista no se aprecia si existe o no un aumento en la tasa de erosión, por eso se procedió a realizar un análisis estadístico para estimar el número de hectáreas según el grado de erosión y finalmente comparar si existió o no un aumento en la tasa de erosión en la zona noroccidental del volcán Casahuala, siendo el proceso el siguiente:

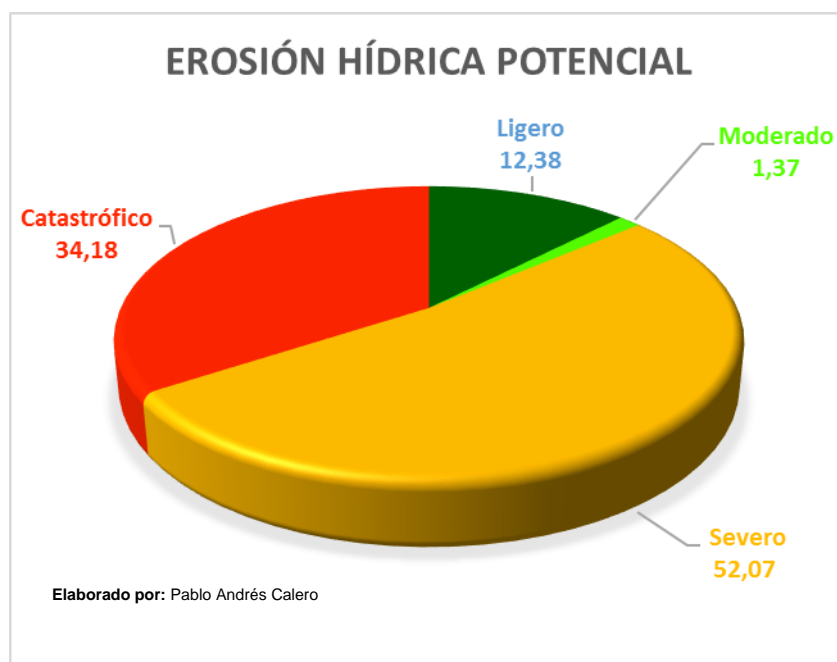
1. Convertir el ráster de tipo Floating point (valores de pixel en decimal) en un ráster con valores enteros mediante la herramienta INT.
2. Agrupar el ráster resultante en cuatro clases según la clasificación propuesta por la FAO, siendo este el ráster que se utilizó para el mapa de erosión potencial (Ver Mapa No.14)
3. Para obtener las áreas por cada valor de pixel, se utiliza la herramienta ZONAL GEOMETRY AT TABLE, donde se generó una tabla con las áreas en metros cuadrados y al agruparlos en cuatro clases, los resultados son los siguientes:

<b>Tabla No. 13</b> Porcentaje por Grado de Erosión Potencial en la zona de los páramos del Casahuala		
<b>Pérdida de Suelo (Ton/Ha/año)</b>	<b>Grado de Erosión</b>	<b>Área Hectáreas</b>
<i>0 a 5</i>	<i>Ligero</i>	2224,29
<i>6 a 15</i>	<i>Moderado</i>	246,38
<i>16 a 200</i>	<i>Severo</i>	9352,80
<i>201 a 8968</i>	<i>Catastrófico</i>	6140,22
<b>TOTAL</b>		<b>17963,69</b>

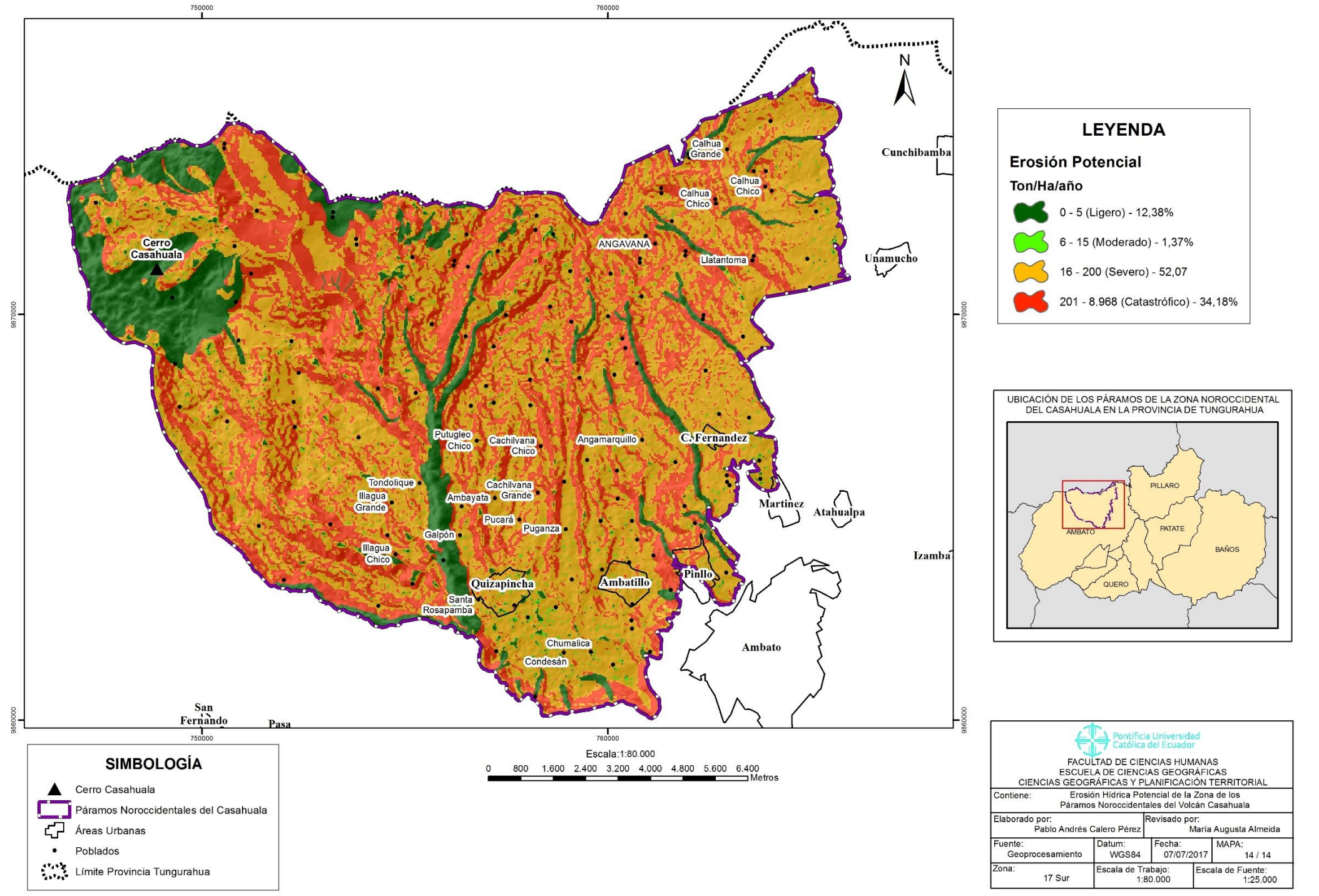
**Elaborado por:** Pablo Andrés Calero Pérez

Para una mejor interpretación de los resultados, se optó por encontrar el porcentaje de presencia de cada grado de erosión potencial en el territorio, cuyos resultados son:

**Imagen No. 27** Porcentaje por grado de erosión potencial presente en la zona noroccidental del volcán Casahuala



# Erosión Hídrica Potencial de la Zona de los Páramos Noroccidentales del Volcán Casahuala



### **5.2.1 Análisis de resultados**

De acuerdo con el mapa número 14 y los porcentajes de presencia de cada grado de erosión potencial en la zona noroccidental del volcán Casahuala representados en el gráfico no. 21 se puede determinar que:

- Si se mantienen las actividades ganaderas en sitios no idóneos para la práctica y el límite de la frontera agrícola aumenta más allá de la cota de los 3600 m.s.n.m.; la erosión de grado severo se incrementará a un 52.07%, distribuido de manera uniforme por toda el área de estudio, lo que provocaría que la productividad de la zona disminuya, en cambio en el ámbito ambiental, las especies vegetales nativas desaparecerían y la reserva de agua de los páramos también escasearía, afectando indirectamente a la poblaciones y comunidades que no contarían con agua para el riego.

- Lo más grave que podría pasar, si no se ponen en práctica actividades de conservación, es que el 34.18% del territorio tenga una erosión catastrófica, con suelos totalmente erosionados llegando incluso a la desertificación, y al ser esta clase de erosión irreversible, no habría ninguna medida o actividad de reforestación que componga el paisaje de páramo, incluso los cauces de río se verían afectados con la acumulación de sedimentos.

## **CAPÍTULO VI**

### **GESTIÓN SUSTENTABLE DE LOS PÁRAMOS DEL VOLCÁN CASAHUALA, ALGUNAS RECOMENDACIONES**

Como los páramos de la zona noroccidental del volcán Casahuala presentan una tasa de erosión actual superior a las 60 toneladas/hectárea y si no se toman medidas preventivas para contrarrestar este mal la tasa de erosión potencial crecerá a más de 200 toneladas/hectárea al año, por lo tanto es prescindible considerar el páramo del volcán Casahuala como un ecosistema frágil y con ello formular estrategias de gestión sustentable con el único fin de colaborar en la conservación de los espacios naturales de la provincia.

Existen leyes en el Ecuador donde se menciona las políticas y estrategias para el manejo sustentable y participativo de los ecosistemas alto-andinos, pero en su mayoría no son aplicadas por las autoridades locales; por lo tanto la degradación de los ecosistemas es cada vez mayor. A continuación se mencionará algunas leyes que promueven la conservación y manejo sustentable de los páramos mediante estrategias de manejo que se podrían aplicar en el área de estudio:

#### **6.1 POLÍTICA DE ECOSISTEMAS ANDINOS DEL ECUADOR**

El Ministerio del Ambiente mediante Acuerdo Ministerial número 64 del 07 de julio de 2009, en el artículo 1 sección B, establece como política de Estado la conservación de los ecosistemas de páramo mediante la formulación de políticas:

##### **Política No. 1**

“El Estado ecuatoriano promueve la conservación de los páramos y los declara áreas frágiles que requieren un manejo y cuidado especial por las características de regulación hídrica, ecológicas, biológicas, sociales, culturales y económicas. El manejo de los páramos debe asociarse a la conservación de los recursos naturales y a la sostenibilidad de la biodiversidad, donde las actividades productivas deben ser únicamente de la subsistencia y ecoturísticas, en torno a un plan de manejo integral...”

##### **Estrategias específicas:**

- Desarrollar un marco legal para garantizar la conservación y uso adecuado de los recursos naturales de los páramos.

- Fortalecimiento de las iniciativas comunitarias de manejo de recursos hídricos con enfoque de cuenca, es decir: el acceso y uso sustentable de los recursos agua, suelo y vegetación.
- Desarrollar tecnologías para el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales que cuentan con un gran potencial ejemplo: plantas medicinales, luz solar.

## **Política No. 2**

“El Estado propicia como parte del ordenamiento territorial, la zonificación y planificación del aprovechamiento y manejo de los recursos naturales en los páramos de una forma participativa y bajo los mecanismos de corresponsabilidad”

### **Estrategias específicas:**

- Coordinar acciones con los actores de las comunidades y gobiernos locales, para la zonificación y planificación de las cuencas hidrográficas con alta prioridad para la producción y abastecimiento de agua.
- Elaborar planes de manejo participativos de páramos a pequeña escala.
- Diseñar mecanismos de seguimiento y evaluación de las acciones en los páramos que permitan identificar los impactos que se generan por la actividad humana.

## **Política No. 3**

“El Estado impulsa asociaciones y alianzas institucionales para el diálogo político, facilita instancias de coordinación entre actores de la sociedad civil”

### **Estrategias específicas:**

- Fortalecer el grupo de trabajo en páramo, como espacio de debate, discusión y consensos para el manejo sustentable de los páramos.
- Elaboración e implementación de agendas locales de gestión de recursos naturales, ambiental y ordenamiento territorial
- Fomentar la articulación de acciones entre los gobiernos locales que contengan páramos en sus jurisdicciones con el proceso de descentralización.

## 6.2 CÓDIGO ORGÁNICO DEL AMBIENTE

El COA fue publicado en Registro Oficial N° 983 el 12 de abril de 2017 cuyo objeto es “garantizar el derecho de las personas a vivir en ambiente sano y ecológicamente equilibrado, así como proteger los derechos de la naturaleza para la realización del buen vivir o Sumak Kawsay”.

La normativa fue escogida porque para mejorar la conservación del ecosistema páramo del volcán Casahuala se sugiere:

- La declaratoria de área protegida con otros ecosistemas colindantes
- La declaración de área especial para la conservación de la biodiversidad.

La declaratoria como área protegida o como área especial para la conservación se ampara en los siguientes artículos de la ley:

**Artículo 40.- Declaratoria de áreas protegidas.** De los seis ítems que se mencionan en la ley, la zona de los páramos noroccidentales del volcán Casahuala cumple con los siguientes:

1. Que el área en cuestión cuente con ecosistemas cuya representatividad sea escasa en el Sistema Nacional de Áreas Protegidas y que en lo posible contribuya a la conectividad ecosistémica.
2. Que contenga de forma prioritaria alguno de los ecosistemas frágiles y amenazados tales como páramos, humedales, manglares, bosques nublados, bosques tropicales secos y húmedos...
3. Que genere servicios ecosistémicos, tales como recursos hídricos, recursos paisajísticos, prevención de desastres, mitigación

La zona de los páramos del volcán Casahuala debería ser catalogado como área protegida en conjunto con las demás áreas de páramo colindantes porque, cada vez más el páramo tiene menor extensión en el Ecuador, y se necesita que todos los ecosistemas alto-andinos se encuentren bajo protección y la única manera de conseguirlo es convirtiéndolos en áreas protegidas; además como se mencionó anteriormente el páramo del Casahuala se la considera como reserva de agua y si se viera amenazado más del 70% de la población del cantón Ambato no podría disponer del recurso.

### **Artículo 55.- De las áreas especiales para la conservación de la biodiversidad.**

“Se establecen áreas especiales para la conservación de forma complementaria al Sistema Nacional de Áreas Protegidas con el objetivo de garantizar la integridad de los ecosistemas, su funcionalidad, la sostenibilidad en el ámbito del desarrollo territorial, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales, o la recuperación de las áreas que han sido degradadas o en proceso de degradación”; la creación de áreas especiales puede ser impulsada por iniciativa pública, privada o comunitaria

### **Artículo 56.- De los tipos de áreas especiales para la conservación de la biodiversidad.**

Las áreas especiales pueden ser:

#### ***1. Áreas o sitios reconocidos por instrumentos internacionales ratificados por el Estado***

Consiste en el establecimiento de áreas especiales de importancia para “la conservación de humedales, de las aves, del patrimonio mundial, cultural y natural”

#### ***2. Zonas de amortiguamiento ambiental***

Son las áreas colindantes a las áreas del Sistema Nacional de Áreas Protegidas (SNAP) o a las zonas de expansión urbana, de propiedad pública, privada o comunitaria, que contribuyen a la conservación, equilibrio en el desarrollo urbano-rural y su conectividad ecosistémica.

#### ***3. Corredores de conectividad***

Los corredores de conectividad se establecen entre las áreas de propiedad pública, privada o comunitaria que forman parte del patrimonio natural terrestre, con el fin de reducir la fragmentación del paisaje y sus riesgos como el aislamiento de poblaciones y de vida silvestre, así como contribuir en el mantenimiento de los ecosistemas y sus servicios ambientales.

#### ***4. Servidumbres ecológicas.***

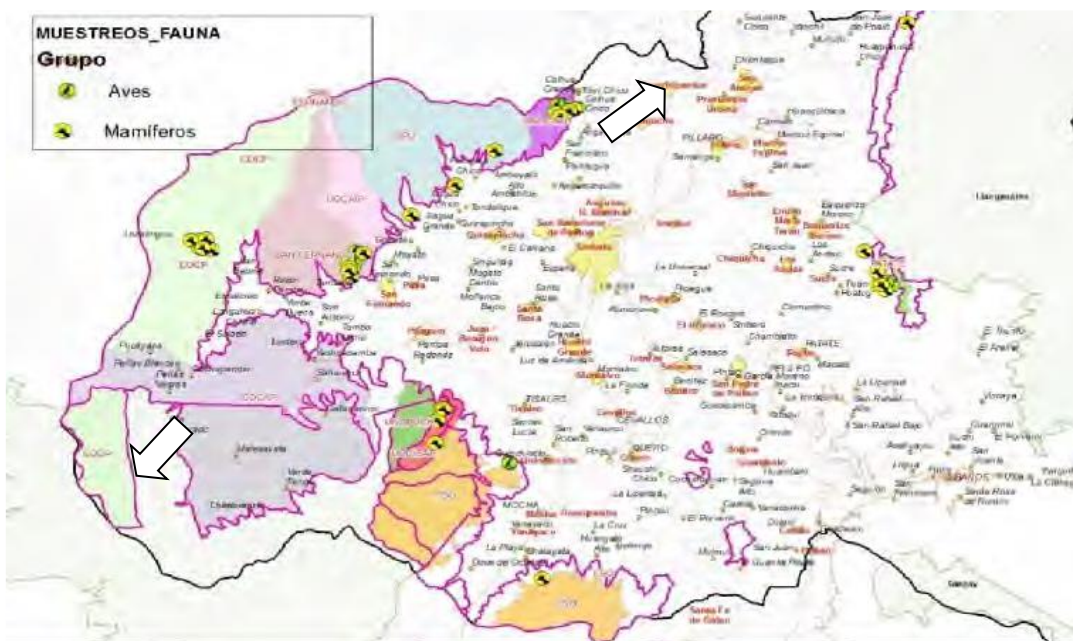
Las servidumbres ecológicas son “un gravamen constituido por acto voluntario del propietario de cualquier predio sobre la totalidad o parte de ella, llamado predio sirviente, a favor de cualquier persona natural o jurídica para fines de conservación y protección de

especies, ecosistemas, recursos naturales, belleza escénica, valores ecológicos esenciales, u otros valores culturales, socioculturales o genéticos”.

Se consideran servidumbres ecológicas las franjas de protección de los cuerpos de agua y las laderas escarpadas naturales, cuyo único aprovechamiento de la vegetación natural es para recolección de alimentos y de productos no maderables.

Al analizar cada uno de los tipos de áreas especiales, se puede catalogar a los páramos de la zona noroccidental del volcán Casahuala conjuntamente con las demás zonas de conservación de la parte noroccidental de la provincia como corredores de conectividad o corredores ecológicos, porque serviría además de evitar el fraccionamiento del páramo, conservar las especies de aves y mamíferos (conejos, roedores, venados) que habitan, además según un estudio la consultora Geoinformática y Sistemas Cía. Ltda para el gobierno provincial de Tungurahua menciona que la zona de los páramos se consideran como una ruta o una franja de vegetación que ayuda al flujo o movimiento de especies de plantas o de animales de la Reserva de Producción Faunística del Chimborazo hacia el Parque Nacional Llanganates, beneficiando la permanencia, conectividad y migración entre los parches de vegetación

**Imagen No. 28** Sitios de estudio de mamíferos y aves de la zona occidental de Tungurahua



**Fuente:** Geoinformática y Sistemas Cia. Ltda, Marzo 2015

### **6.3 LEY ORGÁNICA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL, USO Y GESTIÓN DEL SUELO**

Otra recomendación para mejorar la conservación del ecosistema páramo y para la planificación regional y local es tomar en cuenta los tratamientos urbanísticos para suelo rural que se manifiestan en la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo con Registro Oficial N° 790 del 5 de julio de 2016 que a su vez, también servirá para la generación de las categorías de ordenamiento territorial de los planes de ordenamiento territorial en todos los niveles de gobierno (provincial, cantonal y parroquial).

**Artículo 4. Numeral 15.** Los tratamientos urbanísticos para el suelo rural son:

**a) Tratamiento de conservación:** Se lo aplica para aquellas zonas rurales que poseen alto valor histórico, cultural, paisajístico, ambiental o agrícola, con el objetivo de generar acciones que permitan la conservación. La zona con este tratamiento sería las áreas de páramo sobre la cota de los 3600 m.s.n.m.

**b) Tratamiento de desarrollo:** Se aplica al suelo rural de expansión urbana donde no se presentan indicios de urbanización y que debe ser utilizado para la incorporación de nuevas áreas urbanas, dotándole de todos los sistemas públicos de soporte necesarios. Constituyen dentro del área de estudio las zonas donde la degradación del suelo sea notoria e irreversible, tomando en cuenta de no sobrepasar la cota de los 3600 m.s.n.m.

**c) Tratamiento de mitigación.** Se aplica a aquellas áreas de aprovechamiento extractivo con medidas preventivas para minimizar los impactos generados por la intervención que se ejecutarán. Corresponden a las zonas de plantación forestal.

**d) Tratamiento de promoción productiva.** Se aplica a las zonas rurales con alto potencial para promover el desarrollo agrícola, acuícola, ganadero, forestal o de turismo, con prioridad en aquellas actividades que garanticen la soberanía alimentaria.

**e) Tratamiento de recuperación.** Se aplica a las zonas rurales de aprovechamiento productivo o extractivo que han sufrido un deterioro ambiental y/o paisajístico, producto de las actividades antrópicas; donde su recuperación es fundamental para mantener el

equilibrio de los ecosistemas naturales. En este caso serían las áreas que actualmente se encuentran erosionadas dentro del territorio en cuestión.

#### **6.4 LEY ORGÁNICA DE TIERRAS RURALES Y TERRITORIOS ANCESTRALES**

La Ley Orgánica de Tierras Rurales y Territorios Ancestrales con Registro Oficial 711, Suplemento del 14 de marzo de 2016, tiene como objeto regular “el uso y acceso a la propiedad de la tierra rural, el derecho a la propiedad de la misma que deberá cumplir la función social y la función ambiental”.

Además, regula la posesión, la propiedad, la administración y redistribución de la tierra rural para garantizar la soberanía alimentaria, mejorando su productividad y favoreciendo un ambiente sustentable y equilibrado.

Con la aplicación de la ley, lo que se busca dentro del área de estudio es la planificación de las tierras rurales para que cumplan el principio de sustentabilidad bajo los tres ejes que son el ambiente, sociedad y economía; además la ley se debería aplicar para conservar los ecosistemas páramos y así evitar la sobreproducción de las tierras y el avance de la frontera agrícola.

Dentro de la ley, menciona que el Estado es el ente regulador de la conservación del suelo productivo, el mismo que debe tomar medidas para evitar la degradación del suelo por el uso intensivo, contaminación, desertificación y erosión.

Así mismo, el Estado tiene como principio la regulación de la frontera agrícola para evitar la afectación de los ecosistemas frágiles, como los páramos, protegiéndolo a la par del crecimiento urbano no planificado hacia las zonas rurales

A continuación, se detallarán los artículos que se deben tomar en cuenta para una planificación de las tierras rurales:

Las propiedades de las tierras productivas en las áreas rurales, deben cumplir con dos funciones: social y ambiental.

### **Artículo 11.- De la función social**

El sistema productivo agrario debe mantener una producción sostenible y sustentable con el fin de garantizar la soberanía alimentaria, la generación de trabajo familiar o de empleo.

El predio rural con aptitud productiva, tiene función social si cumple con las siguientes condiciones:

- a) Se realizan en él actividades productivas de manera continua, sostenible y sustentable, incluyendo los períodos de descanso.
- b) Genera trabajo familiar o empleo
- c) Se aprovechen sosteniblemente las obras de riego, drenaje, infraestructura existente y otras que el Estado ha ejecutado para mejorar la producción y la productividad agropecuaria.
- d) Se empleen tecnologías que no afecten a la salud de las y los trabajadores y de la población.

### **Artículo 12.- De la función ambiental.**

La propiedad de la tierra rural deberá “contribuir al desarrollo sustentable, al uso racional del suelo y al mantenimiento de su fertilidad de tal manera que conserve el recurso, la agro biodiversidad y las cuencas hidrográficas” con el fin de mantener la aptitud productiva, producción alimentaria, asegurando la disponibilidad de agua de calidad y contribuyendo a la conservación de la biodiversidad.

El predio rural con aptitud agraria tiene función ambiental si cumple con las condiciones:

- a) Se empleen prácticas productivas que promuevan la sustentabilidad de los recursos naturales renovables y de la agro biodiversidad aplicada a la actividad agraria.
- b) Criterios de manejo de recursos naturales y de zonificación para el uso del suelo con aptitud agraria, para evitar procesos como: erosión, salinidad, compactación, pérdida de fertilidad y productividad, pérdida de la cobertura vegetal; degradación de la estructura del suelo.
- c) Realizar acciones a fin de evitar la contaminación, sedimentación de cuerpos de agua, disminución de caudales y desperdicio de agua.

Para poder evaluar el proceso de cumplimiento de la función social y ambiental de las tierras rurales, la misma ley en el anexo dos presenta criterios referenciales para la

evaluación del cumplimiento tanto de la función social como la ambiental en actividades productivas agrarias de un predio. Los criterios son:

**A. Ubicación:** Catastro local, mapas de uso actual y potencial de la zona, uso y cobertura de la tierra del predio, aptitudes agropecuarias del predio, mapa de conflictos de uso del suelo.

**B. Función Social:** Composición familiar, empleo familiar y contratado, inventario de tierras, infraestructura productiva, maquinaria, equipos, semovientes, cultivos anuales y perennes, uso del agua en el predio y otros, activos y pasivos, cumplimiento de las obligaciones sociales y laborales, cálculo de la eficiencia y eficacia de la producción agraria del predio.

**C. Función Ambiental:**

1. Inventario de los recursos naturales del sistema productivo agrario que tiene el predio
2. Identificación de prácticas agrarias
3. Evaluación Ambiental de la unidad de producción agraria, que tomará en cuenta los principales impactos que afectan a los recursos naturales de la unidad productiva considerando las variables:
  - a) Componente ambiental;
  - b) Impactos positivos y negativos potenciales;
  - c) Medidas de mitigación;
  - d) Indicador de monitoreo.

Con esto se busca que las tierras rurales de producción sean sustentables y amigables con el ambiente, para evitar así la pérdida de fertilidad de los suelos y evitar que los productores, busquen nuevas tierras de cultivo en zonas de páramo.

**Artículo 13.- Regulación ambiental a la propiedad rural.**

En las tierras rurales donde existan ecosistemas frágiles no se podrá ampliar la frontera agrícola, además las actividades productivas agrarias requerirán de un instrumento de manejo que sea elaborado por el Estado en forma participativa.

En lo que respecta para la planificación de tierras rurales se debe tomar en cuenta los siguientes artículos:

#### **Artículo 44.- De la planificación productiva.**

Los planes y programas tienen como base las directrices de planificación y de ordenamiento territorial plasmados en la estrategia territorial nacional, además deben tener concordancia con las estrategias de desarrollo rural planteadas por los gobiernos autónomos descentralizados provinciales, articulados con la regularización de la tierra rural y el uso del suelo y con los Planes de Uso y Gestión del Suelo de los Gobiernos Autónomos Descentralizados municipales y metropolitanos

#### **Artículo 46.- Del ordenamiento de la producción agraria.**

El ordenamiento de la producción agraria se realizará a partir de:

- Zonificación productiva establecida en el Plan Nacional Agropecuario siendo:
  - ✓ Zona 1: Muy apta para la producción de cultivos
  - ✓ Zona 2: Apta para la producción de cultivos
  - ✓ Zona 3: Moderadamente apta para la producción de cultivos
  - ✓ Zona 4: Marginalmente apta para la producción de cultivos
  - ✓ Zona 5: Apta para pastos
  - ✓ Zona 6: Apta para bosques
  - ✓ Zona 7: Patrimonio de Áreas Naturales del Estado (PANE)
  - ✓ Zona 8: Sin uso agropecuario

La zonificación debe tener relación con la planificación nacional, la Estrategia Territorial Nacional, el Plan Nacional de Riego y Drenaje y la Planificación Hídrica Nacional, y a partir de esta articulación lograr una concordancia con los Planes de Uso y Gestión del Suelo de los Gobiernos Autónomos Descentralizados municipales y metropolitanos; y, con los Planes de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de los Gobiernos Autónomos Descentralizados provinciales.

Al realizar el ordenamiento de la producción agropecuaria se garantizará la soberanía alimentaria, respetando la aptitud agrícola de la tierra rural, la protección y el uso sustentable del recurso suelo, logrando un incremento de la productividad de las áreas dedicadas a actividades agropecuarias y a su vez permite regular el crecimiento urbano sobre las tierras rurales.

### **Artículo 50.- Límite a la ampliación de la frontera agrícola.**

En este artículo se plantea limitar el avance de la frontera agrícola especialmente, en los ecosistemas frágiles como el páramo, por lo tanto “no se permitirá el avance de la frontera agrícola en los páramos no intervenidos que se encuentren sobre los 3300 metros de altitud sobre el nivel del mar, al norte del paralelo tres latitud sur, y sobre los 2700 metros de altitud, al sur de dicho paralelo”

Esta ley permitirá aplicar programas de incentivos para las comunidades, comunas, pueblos y nacionalidades que habitan los páramos, impulsando su conservación y restauración de las áreas que están afectadas; además las medidas y prácticas de conservación deberán ser plasmadas en los “Planes de Manejo”.

El artículo 50 se complementa con el **artículo 113** el cual menciona que “los Gobiernos Autónomos Descentralizados municipales o metropolitanos, en concordancia con los planes de ordenamiento territorial, expansión urbana, no pueden aprobar proyectos de urbanizaciones o ciudadelas, en tierras rurales en la zona periurbana con aptitud agraria o que tradicionalmente han estado dedicadas a actividades agrarias, evitando el cambio de uso de suelo en las tierras con regímenes de conservación de producción.

Finalmente, la ley menciona en el artículo 88, el **contrato agrario** sobre tierras rurales, el cual es “aplicable a todo tipo de contrato relacionado con la tierra rural y la producción de alimentos o productos agrarios, en los que sea parte una persona natural o jurídica de la economía popular y solidaria, de la agricultura familiar campesina o de pequeños, medianos y grandes productores”.

Al realizar un contrato agrario permite asegurar los derechos sociales y de la naturaleza, es decir que los beneficios sean tanto para la sociedad (beneficio económico), como para la naturaleza (conservación y restauración), evitando así que las tierras abandonadas por grandes productores sigan siendo utilizadas por otras personas que lo necesitan, evitando a su vez la remoción de nuevas tierras para el cultivo.

En el **Artículo 90** sobre la **garantía de uso Sustentable**, menciona que “todas las modalidades de contrato agrario garantizarán el uso sustentable de la tierra rural y los

recursos hídricos”; siempre y cuando se apliquen tecnologías y sistemas productivos adecuados, de tal manera que cuando el contrato agrario finalice, el suelo no presente afectaciones en su fertilidad y productividad.

Los contratos agrarios regulados por esta Ley son los siguientes:

- Administración productiva
- Asociativo agrario
- De compraventa anticipada
- De compraventa agraria
- De arrendamiento agrario
- De permuta de la propiedad agraria.

**Artículo 93.- Contrato de administración productiva.**

“Es el contrato agrario para producción de alimentos en el cual, una persona natural o jurídica legalmente constituido, contrata el uso de la tierra bajo propiedad o posesión a fin de realizar determinadas actividades productivas en la tierra o manejo de recursos renovables; por un período determinado, a cambio del pago de una renta o intercambio justo”

**Artículo 94.- Contrato Asociativo Agrario.**

“Es aquel contrato en el cual una persona, se obliga a entregar a otra un predio rural con o sin plantaciones, sembríos o elementos de trabajo, por un plazo mínimo de cuatro años, para el aprovechamiento agrícola en cualquiera de sus especializaciones, con el objeto de repartirse periódica y equitativamente sus frutos.”

**Artículo 95.- Del contrato agrario de compraventa.**

“Es aquel contrato de compraventa de predios con aptitud agropecuaria o forestal, que han sido adjudicados por la Autoridad Agraria Nacional”

**Artículo 96.- Contrato agrario de compraventa de producción.**

Por medio del contrato de compraventa de producción o cosecha “el productor campesino, individualmente o en asociación, vende la cosecha a un comprador, antes, durante y

después de la siembra, esto incluye además como condición del contrato el cumplimiento de la función social y la función ambiental”

#### **Artículo 97.- Del contrato agrario de arrendamiento.**

“Es el contrato por el cual el propietario o poseedor legítimo de tierra rural da en arrendamiento a otra persona, natural o jurídica, un predio para su aprovechamiento agrario a cambio de una pensión establecida por las partes”.

#### **Artículo 99.- Del contrato de permuta agraria.**

Permuta agraria “es un contrato susceptible de tutela y amparo administrativo en que las partes se obligan mutuamente a dar una propiedad de tierra rural por otra”

### **6.5 INICIATIVAS DE CONSERVACIÓN DEL GOBIERNO PROVINCIAL**

#### **6.5.1 Programa de Repoblación Forestal**

Es una iniciativa de conservación, presentada el Gobierno Provincial de Tungurahua, mediante la Dirección de Recursos Hídricos y Gestión Ambiental, que consiste en la reforestación de bosques, mediante sistemas agroforestales y silvopastoril que contribuyen con la conservación del recurso suelo, reduce el impacto de las precipitaciones, reduce la fuerza del viento y protege los nacimientos de los ríos y vertientes.

**Fotografía No. 16** Reforestación en zona de páramos



**Fuente:** Portal Web Dirección de Recursos Hídricos y Gestión Ambiental

Las áreas prioritarias de implementación de este proyecto se ubican a altitudes entre 3400 m.s.n.m. a 4800 m.s.n.m., donde se presentan zonas en proceso de erosión y en los cauces

altos; la plantación se lo realiza con especies nativas y está a cargo de personal técnico capacitado en el manejo de recursos naturales.

### **6.5.2 Tecnificación del Riego**

Dentro del Plan Provincial de Riego Tungurahua 2014 – 2029, se menciona que para evitar el desperdicio del recurso agua proveniente de los páramos, es necesario modernizar y tecnificar la agricultura bajo un sistema de riego controlado; mediante la construcción de reservorios de agua y entrega de aspersores y bombas de agua a la comunidades, para que cada uno de los agricultores mediante turnos, acudan a las tomas de agua, bombeen al agua hasta su parcela y rieguen sus cosechas por métodos de aspersión, por goteo, o riego por gravedad

**Fotografía No. 17** Tecnificación del Riego



**Fuente:** Honorable Gobierno Provincial de Tungurahua, 2017

Ente los beneficios de la tecnificación del riego están:

- Disminución del consumo de agua en las parcelas
- Aumento del 85% de eficiencia en el uso del agua por el método de riego por gravedad con una dotación requerida de 0,23 Litros/segundo
- Mayor ingreso económico por el aumento de la productividad y el rendimiento del suelo.

Adicionalmente, se debe tomar en cuenta las siguientes recomendaciones para evitar el deterioro paisajístico y la erosión, al momento de comenzar a cultivar:

- Realizar **labranzas conservacionistas**, es decir, labranza vertical y mínima sin utilización de maquinarias; dejando más del 30% de los rastrojos en el suelo para aporte de materia orgánica. Además la labranza se debe evitar realizar en sentido de la pendiente, si no es posible se lo puede realizar la siembra directa en pendientes menores al 30%
- **Cultivo en camellones**, especialmente en áreas con déficit hídrico para aumentar la captación de agua y evitar el desperdicio del mismo.
- La aplicación de **rotación de cultivos**, es decir alternar la siembra de distintos cultivos para evitar el desgaste del suelo y mejorar la productividad
- Usar **fertilizantes químicos eficiente y abono natural** como: compostas, abonos fermentados e incluso la técnica de la lombricomposta que aporta materia orgánica; evitando la salinización del suelo y la contaminación de las fuentes hídricas.
- Técnica de **cultivo en franjas**, consiste en un sistema de alternancia entre cultivos de escarda (maíz, fréjol, haba) y tupidos (cereales) con el fin de reducir la erosión de suelos y tener un uso más eficiente de la chacra
- Para evitar la escorrentía se sugiere construir **zanjas o acequias** para retener el agua y cantidades importantes de suelo, para ser reintegradas a las parcelas de cultivo.
- En las zonas de cultivo en pendientes con exposición directa al impacto de las gotas de lluvia, se debe sembrar y mantener cultivos de cobertura nativa, o incluso usar restos vegetales, paja o maleza; para proteger al suelo del impacto de las precipitaciones y de los flujos de agua en superficie que causarían la erosión
- Evitar la **quema de vegetación** para limpiar los terrenos, porque afecta la productividad y elimina la materia orgánica del suelo lo que hace más vulnerable a la escorrentía y la erosión; como alternativa se plantea limpiar los terrenos con machete para que lo cortado sirva como abono natural para la posterior siembra.

Finalmente, en lo que respecta a la actividad ganadera se recomienda:

- **Reducir el pastoreo prolongado y libre** del ganado, para reducir el impacto del pisoteo y la posterior erosión debido a la pérdida considerable de cobertura vegetal, especialmente en zonas con pendientes fuertes; mediante el apotreramiento o encierro del ganado.

- **Rotación de potreros:** es un sistema de pastoreo basado en alternar el uso del suelo con su descanso (período de recuperación de la vegetación), para obtener la máxima producción animal por hectárea, así como evitar que el pasto pierda su calidad gradualmente y finalmente permite la conservación de la vegetación nativa del páramo.

## CONCLUSIONES

Al concluir con la investigación, se puede apreciar que de acuerdo a la introducción de la disertación, en lo que respecta al objetivo general y a los objetivos específicos, la investigación cumple con cada uno de los objetivos.

El objetivo general que consistía en determinar la pérdida de suelo por procesos erosivos mediante el modelo USLE, se lo consiguió porque al obtener los mapas finales de erosión se tiene que el 48.87% del territorio actualmente presenta erosión severa a catastrófica, por su parte si las condiciones desfavorables para el recurso suelo se mantienen, la erosión se incrementará teniendo el 86.14% del territorio con erosión.

En lo que respecta a los objetivos específicos, se los consiguió realizarlos con ayuda de información detallada de los páramos de la zona noroccidental del volcán Casahuala y poder comprender y caracterizar el área de estudio, así mismo con ayuda de las herramientas de geo procesamiento se obtuvieron cada uno de los parámetros de la ecuación universal de degradación de suelos que permitirían sobreponerlos y obtener los mapas de erosión hídrica actual y erosión hídrica potencial, para finalmente generar las recomendaciones para la gestión sustentable del área de estudio con la ayuda de la normativa vigente del Ecuador que, permite mitigar el problema de la erosión en los ecosistemas de páramo no sólo en la zona del Casahuala sino en cada uno los páramos de la provincia de Tungurahua.

Al a ver obtenido los datos de erosión actual y potencial se puede evidenciar que si bien, los páramos de la zona noroccidental del volcán Casahuala forman parte de las seis zonas de conservación prioritaria de la provincia de Tungurahua, la certeza de un deterioro en el recurso suelo es indiscutible, debido a las malas prácticas agrícolas, el sobrepastoreo y la falta de conciencia ambiental por parte de los habitantes de las comunidades que habitan los páramos.

Y si se mantiene el aumento de la frontera agrícola y a su vez las condiciones climáticas cambian abruptamente (aumento de precipitaciones), la erosión a futuro se tornará muy extrema e insostenible, teniendo áreas erosionadas y desérticas así como los suelos de las

zonas bajas cercanas a los centros poblados con poca fertilidad (disminución de la materia orgánica), afectando indirectamente a la economía de las poblaciones al no tener productos agrícolas para su subsistencia ni para la comercialización.

Para lograr, un desarrollo sustentable en la zona de los páramos del volcán Casahuala, no basta con imponer medidas de mitigación para evitar la degradación del ecosistema, sin tomar en cuenta a los actores sociales de la zona; porque ellos son los que interactúan directamente con el ecosistema y se verían perjudicados si se les restringe el desarrollo de sus actividades, por eso la mejor opción es socializar los proyectos para, discutir y proponer soluciones positivas para el páramo y así lograr una armonía entre la sociedad, economía y medio ambiente.

Como cierre de la investigación, se sugiere tomar en cuenta el aspecto ambiental, para futuros planes de desarrollo y ordenamiento territorial y conformación de centros poblados, es decir realizar una planificación del territorio tomando en cuenta las zonas prioritarias de conservación y así evitar la expansión rural hacia la zona de páramos que se los cataloga como las grandes fuentes hídricas del país.

## BIBLIOGRAFÍA

- ASTROMIA. (2005). *La erosión de la superficie terrestre*. Recuperado el 21 de Abril de 2016, de <http://www.astromia.com/tierraluna/erosion.htm>
- Beltrán, K., Salgado, S., Cuesta, F., León, S., Romoleroux, K., Ortiz, E., . . . Velástegui, A. (2009). *Distribución espacial, sistemas ecológicos y caracterización florística de los páramos en el Ecuador*. Quito: EcoCiencia, Proyecto Páramo Andino y Herbario QCA. Obtenido de <http://www.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/43578.pdf>
- Cañadas Cruz, L. (1983). *El Mapa Bioclimático y Ecológico del Ecuador*. Quito: MAG - PRONAREG.
- Cappelletti, V. (2011). *Aplicacion de un Sistema de Información Geográfica para la Determinación de la Erosión Hídrica en Cuencas del Río Agrio, República Argentina*. Quito: USFQ. Obtenido de [https://issuu.com/unigis\\_latina/docs/tesis\\_posgrado\\_final](https://issuu.com/unigis_latina/docs/tesis_posgrado_final)
- Carúa, J., Proaño, M., Suárez, D., & Podwojevsk, P. (2008). DETERMINACIÓN DE RETENCIÓN DE AGUA EN LOS SUELOS DE LOS PÁRAMOS: ESTUDIO DE CASO EN LA SUBCUENCA DEL RÍO SAN PEDRO CANTÓN MEJÍA, PICHINCHA, ECUADOR. En G. d. (GTP), *PÁRAMO* (págs. 27- 45). Quito: Abya Yala. Obtenido de <http://www.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/43345.pdf>
- Cisneros, J., Cholaky, C., Cantero, A., Gonzales, J., Reynero, M., Diez, A., & Bergesio, L. (2012). *Erosión Hídrica: Principios y técnicas de manejo*. Río Cuarto, Córdoba, Argentina: UniRio editora. Obtenido de [http://www.todoagro.com.ar/documentos/2013/Erosion\\_Hidrica.pdf](http://www.todoagro.com.ar/documentos/2013/Erosion_Hidrica.pdf)
- Corporación Autónoma Regional del Tolima. (s.f). *Pérdida de suelos*. Obtenido de CORTOLIMA - Diagnóstico: [https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro\\_documentos/pom\\_totare/diagnostico/m\\_212perdida\\_de\\_suelos\\_totare.pdf](https://www.cortolima.gov.co/sites/default/files/images/stories/centro_documentos/pom_totare/diagnostico/m_212perdida_de_suelos_totare.pdf)
- CRICYT. (s.f.). *Sistema Ecológico*. Mendoza, Argentina: CRICYT. Obtenido de <http://www.cricyt.edu.ar/institutos/incihusa/geografia/atlas/mendoza/ecologi.htm>
- Dirección de Recursos Hídricos y Conservación Ambiental. (2013 - 2016). *Boletín Meteorológico Trimestral de Tungurahua*. Ambato: HGPT - INAMHI -

- SENAGUA - GIZ. Recuperado el 28 de 06 de 2017, de <http://rrnn.tungurahua.gob.ec/>
- EcuRed: Enciclopedia Cubana. (s.f). *EcuRed: Conocimiento con todos y par todos*.  
Obtenido de Erosión Eólica:  
[https://www.ecured.cu/Erosi%C3%B3n\\_e%C3%B3lica](https://www.ecured.cu/Erosi%C3%B3n_e%C3%B3lica)
- EcuRed: Enciclopedia Cubana. (s.f). *EcuRed: Conocimiento con todos y para todos*.  
Obtenido de Erosión Hídrica:  
[https://www.ecured.cu/Erosi%C3%B3n\\_h%C3%ADdrica](https://www.ecured.cu/Erosi%C3%B3n_h%C3%ADdrica)
- ESRI. (s.f de s.f de s.f.). *Cómo funciona Kriging*. Recuperado el 01 de 07 de 2017, de Manual de ArcGis Pro: <https://pro.arcgis.com/es/pro-app/tool-reference/3d-analyst/how-kriging-works.htm>
- Evans, D. (15 de Febrero de 2009). *eHow en Español*. Obtenido de Los efectos de la gravedad en la erosión y deposición: [http://www.ehowenespanol.com/efectos-gravedad-erosion-deposicion-info\\_266898/](http://www.ehowenespanol.com/efectos-gravedad-erosion-deposicion-info_266898/)
- FAO. (2009). *Guía para la descripción de suelos* (Cuarta ed.). (R. Vargas Rojas, Trad.) Roma: Fiat Panis. Recuperado el 08 de Julio de 2017, de <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>
- FAO. (2012). *Degradación del Suelo*. Recuperado el 22 de Abril de 2016, de <http://www.fao.org/soils-portal/degradacion-del-suelo/es/>
- Garcia Chevesich, P. (2009). *Procesos y control de la erosión*. Denver, Colorado, Estados Unidos. Recuperado el 17 de Junio de 2016
- Gobierno Provincial de Tungurahua - Corporación Alemana - GIZ. (2014). *Agenda Ambiental de Tungurahua*. Ambato: Delirium Studio Creativo.
- González del Tánago, M. (1991). La Ecuación Universal de pérdidas de suelos. Pasado, presente y futuro. *Ecología*(5), 13-50.
- Greenpeace. (2013). *Páramos en Peligro*. Colombia: Greenpeace. Obtenido de <http://www.greenpeace.org/colombia/Global/colombia/images/2013/paramos/12/Informe%20P%C3%A1ramos%20en%20peligro.pdf>
- Grupo COPESA. (4 de Febrero de 2009). *Revista Digital ICARITO*. Recuperado el 1 de Agosto de 2017, de Agentes de Erosión del Suelo: <http://www.icarito.cl/2009/12/64-8609-9-1-agentes-de-erosion-del-suelo.shtml/>
- Hofer, T., & Warren, P. (2009). Riesgos y Amenazas para las cuencas. En T. Hofer, & P. Warren, *¿Por qué invertir en ordenación de las cuencas hidrográficas?* (págs. 9-

- 11). Roma: FAO. Recuperado el 15 de Abril de 2016, de <http://www.fao.org/docrep/012/a1295s/a1295s00.pdf>
- Hofstede, R., Calles, J., López, V., Polanco, R., Torres, F., Ulloa, J., . . . Cerra Marcos. (2014). *Los Páramos Andinos ¿Qué sabemos? Estado de conocimiento sobre el impacto del cambio climático en el ecosistema páramo*. Quito, Ecuador: UICN.
- Huanca Apaza, W. (24 de Septiembre de 2008). *Monografías.com*. Obtenido de Tipos de erosión del suelo: [http://www.monografias.com/usuario/perfiles/wildor\\_huanca\\_apaza/monografias](http://www.monografias.com/usuario/perfiles/wildor_huanca_apaza/monografias)
- Ibañez Asensio, S. (s.f.). *El factor K de la ecuación universal de pérdida de suelos*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado el 01 de 07 de 2017
- Ibañez Asensio, S. (s.f.). *La Ecuación Universal de pérdida de suelo (USLE)*. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia. Recuperado el 27 de 06 de 2017, de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16849/AD%20USLE.pdf?sequence=1>
- Ibañez Asensio, S., & Gisbert Blanquer, J. (s.f.). *Entisoles*. Valencia: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12883/Entisoles.pdf?sequence=3>
- Ibañez Asensio, S., Gisbert Blanquer, J., & Moreno Ramón, H. (s.f.). *Inceptisoles*. Valencia, España: Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/12884/inceptisoles.pdf>
- Ibañez Asensio, S., Gisbert Blanquer, J., & Moreno Ramón, H. (s.f.). *Mollisoles*. Valencia, España: Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13609/Mollisoles.pdf?sequence=3>
- Ibañez, J., & Manríquez Cosío, F. (23 de Noviembre de 2011). *Los Andosoles (WRB 1998): Suelos Volcánicos*. Obtenido de Los suelos y la vida: <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2011/11/23/140258>
- Instituto de Geografía UNAM. (2015). Tendencias recientes en los estudios de Geografía rural. Desarrollos teóricos y líneas de investigación en países de América Latina. *Investigaciones Geográficas*(88), 75-90. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0188461116300073>

- Instituto Geofísico del Perú. (s.f.). *Influencia de los ecosistemas andinos en la erosión y conservación de los suelos, e identificación de su rol en la regulación del recurso hídrico en grandes ciudades altoandinas*. Lima: IGP. Obtenido de <http://scah.igp.gob.pe/proyectos/influencia-ecosistemas-andinos>
- López Bermúdez, F. (s.f.). *Erosión y desertificación: implicaciones ambientales y estrategias de investigación*. Obtenido de <https://ddtorres.webs.ull.es/Docencia/Impacto/Temario/t24%20suelo/fenomenos%20implicados.htm>
- Luna Lemus, M. F. (2016). Determinación de la erosión hídrica y la producción de sedimentos en la cuenca del río Pixcayá aplicando herramientas SIG. (C. M. Ralz, Ed.) *Revista de la Universidad del Valle de Guatemala*(32), 105-117. Recuperado el 05 de 07 de 2017, de <http://www.uvg.edu.gt/publicaciones/revista/volumenes/Revista-32.pdf>
- Mancilla Escobar, G. (2008). *Uso y conservación de suelos. Uso de la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) en el campo forestal*. Santiago de Chile: Universidad de Chile - Facultad de Ciencias Forestales. Recuperado el 27 de 06 de 2017, de [http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120400/Apuntes\\_docentes\\_USLE.pdf?sequence=1](http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/120400/Apuntes_docentes_USLE.pdf?sequence=1)
- Mena Vásquez, P., & Hofstede, R. (2006). *Los páramos ecuatorianos*. Quito: EcoCiencia. Obtenido de <http://beisa.dk/Publications/BEISA%20Book%20pdfer/Capitulo%2006.pdf>
- Ministerio de Desarrollo Social del Gobierno de Chile. (s.f.). *Zonificación para la Planificación*. Recuperado el 22 de Abril de 2016, de <http://www.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/btca/txtcompleto/mideplan/cuad1-zon.planterrit.pdf>
- Noni, G., & Trujillo, G. (2010). *Degradación del suelo en el Ecuador*. Recuperado el 17 de Junio de 2016, de [http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/cc-2010/26531.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/cc-2010/26531.pdf)
- Organización Kipu. (2014). *Plan de Inversión - Descripción de la propuesta*. Ambato: HGPT. Obtenido de <http://rrnn.tungurahua.gob.ec/#/documentos/vista/540e1a3a83ba880844000070>
- Podwojewski, P. (1999). Los Suelos de las Altas Tierras Andinas: Los Páramos del Ecuador. En S. E. Suelo, *Boletín Informativo No.18* (págs. 9-14). Quito: SECS.

- Obtenido de [http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/pleins\\_textes\\_7/b\\_fdi\\_51-52/010019247.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/b_fdi_51-52/010019247.pdf)
- Pourrut, P., Róvere, O., Romo, I., & Villacrés, H. (s.f.). Clima del Ecuador. *El agua en el Ecuador*, 13-26. Obtenido de [http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins\\_textes/pleins\\_textes\\_7/divers2/010014827.pdf](http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_7/divers2/010014827.pdf)
- Ramón Moreno, H., Ibañez Asensio, S., & Gisbert Blanquer, J. (s.f.). *Andisoles*. Valencia, España: Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13676/Andisoles.pdf?sequence=3>
- Salgado, S., Cuesta, F., Báez, S., & Josse, C. (2012). Herbazal montano alto y montano alto superior de páramo. En M. d. Ecuador, *Sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental* (págs. 57-59). Quito: Subsecretaría de Patrimonio Natural. Obtenido de [http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEYENDA-ECOSISTEMAS\\_ECUADOR\\_2.pdf](http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEYENDA-ECOSISTEMAS_ECUADOR_2.pdf)
- Saltos, A. (14 de Julio de 2011). *Ecología Hoy*. Obtenido de Erosión: <http://www.ecologiahoy.com/erosion>
- Sandoval Escudero, C. (2014). *Métodos y aplicaciones de la planificación regional y local en América Latina*. Santiago de Chile: Series CEPAL. Obtenido de <http://www.cepal.org/publicaciones/xml/1/53681/MetodosyaplicacionesAL.pdf>
- Santiana, J., Báez, S., & Guevara, J. (2012). Bosque siempreverde montano alto del norte y centro de la cordillera oriental de los Andes. En M. d. Ecuador, *Sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental* (págs. 38-40). Quito: Subsecretaría de Patrimonio Natural. Obtenido de [http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEYENDA-ECOSISTEMAS\\_ECUADOR\\_2.pdf](http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/09/LEYENDA-ECOSISTEMAS_ECUADOR_2.pdf)
- SIGA - Sistemas de Información Geográfica Ambiental. (2014). *Erosión de suelos utilizando la EUPSR*. Querétaro: Blogspot.com. Recuperado el 05 de 07 de 2017, de <http://sigagis.blogspot.com/2014/11/erosion-de-suelos-utilizando-la-eupsr.html>
- UDELAR. (2004). *Erosión*. Recuperado el 17 de Junio de 2016, de <http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/EROSION.pdf>

UNOCANT. (2010). *Producción y conservación en los páramos, alternativas agroproductivas en la zona UNOCANT*. Ambato: HGPT. Obtenido de <http://rrnn.tungurahua.gob.ec/documentos/ver/520d0761ebd424a41c000002>

Wilches, P., & Vintimilla, D. (2008). *Zonificación de la vulnerabilidad a los procesos erosivos en la cuenca del río Paute*. Cuenca: Universidad de Cuenca. Obtenido de <http://cdjbv.ucuenca.edu.ec/ebooks/ti795.pdf>

### **LEYES, NORMATIVAS**

- Código Orgánico del Ambiente. Registro Oficial 983, Suplemento, del 12 de abril de 2017.
  
- Ley Orgánica de Tierras Rurales y Territorios Ancestrales. Registro Oficial 711, Suplemento, del 14 de marzo de 2016
  
- Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial, Uso y Gestión del Suelo. Registro Oficial 790, Suplemento, del 5 de julio de 2016.
  
- Política de Ecosistemas Andinos del Ecuador. Ministerio del Ambiente Acuerdo Ministerial 64. Quito, 07 de julio de 2009.

# **ANEXOS**

<b>Anexo No. 1 PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES – ANUALES ESTACIÓN METEOROLÓGICA CHIQUIURCO 2013 - 2016</b>													
<b>Año</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Annual</b>
<b>2013</b>	84,30	49,53	109,12	121,80	4,95	5,81	193,68	184,84	154,13	74,00	24,70	35,20	1042,06
<b>2014</b>	98,80	43,40	148,80	78,10	113,20	167,10	84,50	121,80	53,20	71,20	84,30	71,40	1135,80
<b>2015</b>	107,50	64,20	99,30	86,50	87,20	211,60	199,60	77,00	34,30	85,30	63,50	49,60	1165,60
<b>2016</b>	46,80	86,00	107,30	162,90	86,10	232,70	74,80	53,30	74,90	44,50	49,60	43,90	1062,80

**Elaborado por:** Pablo Andrés Calero

**Fuente:** Boletines Meteorológicos INAMHI

<b>Anexo No. 2 PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES – ANUALES ESTACIÓN METEOROLÓGICA CUNCHIBAMBA 2013 - 2016</b>													
<b>Año</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Annual</b>
<b>2013</b>	46,85	23,47	75,53	69,70	49,65	57,53	50,70	41,50	36,43	25,40	35,50	26,40	538,66
<b>2014</b>	75,80	26,20	92,50	86,90	101,60	162,70	99,10	106,40	65,90	35,30	61,80	46,90	961,10
<b>2015</b>	32,50	25,20	45,30	12,40	52,20	24,10	40,00	11,10	6,00	26,60	41,40	13,60	330,40
<b>2016</b>	32,25	19,00	88,80	109,80	44,80	43,30	13,00	7,00	37,40	51,90	23,30	34,80	505,35

**Elaborado por:** Pablo Andrés Calero

**Fuente:** Boletines Meteorológicos INAMHI

<b>Anexo No. 3 PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES – ANUALES ESTACIÓN METEOROLÓGICA AEROPUERTO AMBATO 2013 - 2016</b>													
<b>Año</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Annual</b>
<b>2013</b>	40,83	13,33	56,77	16,30	2,08	1,05	22,23	13,83	16,90	18,80	27,20	23,10	252,43
<b>2014</b>	46,60	4,40	46,80	24,40	36,00	5,90	2,40	27,00	44,30	33,10	37,50	23,60	332,00
<b>2015</b>	41,30	21,50	48,70	21,70	48,20	40,30	50,40	7,20	6,40	30,30	51,80	14,00	381,80
<b>2016</b>	34,60	14,10	74,80	226,90	155,70	273,00	13,90	7,30	22,53	56,60	115,00	93,20	1087,63

**Elaborado por:** Pablo Andrés Calero

**Fuente:** Boletines Meteorológicos INAMHI

<b>Anexo No. 4 PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES – ANUALES ESTACIÓN METEOROLÓGICA CALAMACA 2013 -2016</b>													
<b>Año</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Annual</b>
<b>2013</b>	45,77	33,10	76,58	50,40	69,00	44,40	71,69	40,04	38,63	49,10	2,00	20,70	541,41
<b>2014</b>	65,80	17,00	109,00	57,20	77,50	94,70	78,07	62,02	33,99	49,31	48,33	33,10	726,02
<b>2015</b>	56,70	36,80	55,50	66,90	63,25	83,30	100,50	33,80	22,60	53,30	51,00	33,20	656,85
<b>2016</b>	14,80	45,50	65,25	116,80	54,40	100,10	36,50	24,30	59,30	26,90	51,70	34,70	630,25

**Elaborado por:** Pablo Andrés Calero

**Fuente:** Boletines Meteorológicos INAMHI

<b>Anexo No. 5 PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES – ANUALES ESTACIÓN METEOROLÓGICA MULA CORRAL 2013 - 2016</b>													
<b>Año</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Annual</b>
<b>2013</b>	87,23	62,53	97,83	56,40	89,90	69,75	112,67	67,47	48,27	61,30	22,20	38,20	813,75
<b>2014</b>	86,00	38,80	116,20	69,90	113,90	138,90	113,60	91,10	53,80	55,00	72,90	67,40	1017,50
<b>2015</b>	117,20	73,50	93,50	84,70	75,60	181,50	160,50	65,70	27,90	67,40	60,40	41,70	1049,60
<b>2016</b>	58,50	75,30	83,80	152,40	75,20	206,70	63,90	45,60	63,10	29,50	40,60	57,30	951,90

**Elaborado por:** Pablo Andrés Calero

**Fuente:** Boletines Meteorológicos INAMHI

<b>Anexo No. 6 PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES – ANUALES ESTACIÓN METEOROLÓGICA QUISAPINCHA 2013 -2016</b>													
<b>Año</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Annual</b>
<b>2013</b>	78,83	52,45	90,00	63,60	105,00	61,69	73,70	54,83	43,30	74,90	33,40	30,20	761,91
<b>2014</b>	125,10	28,05	90,30	75,06	117,90	117,70	69,00	66,40	48,10	73,00	83,20	44,80	938,61
<b>2015</b>	74,40	54,10	79,00	62,40	69,30	96,30	110,50	40,90	25,20	71,20	71,80	44,10	799,20
<b>2016</b>	37,00	75,20	100,70	164,80	62,90	129,90	41,60	57,20	56,60	37,90	63,30	47,40	874,50

**Elaborado por:** Pablo Andrés Calero

**Fuente:** Boletines Meteorológicos INAMHI

<b>Anexo No. 7 PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES – ANUALES ESTACIÓN METEOROLÓGICA INAMHI - PILAHUIN 2013 - 2016</b>													
<b>Año</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Annual</b>
<b>2013</b>	80,10	84,70	62,90	26,50	61,40	38,40	36,80	57,30	41,00	59,50	12,40	39,50	600,50
<b>2014</b>	67,30	22,70	87,60	63,30	78,70	98,10	34,50	72,90	45,00	47,30	24,90	125,40	767,70
<b>2015</b>	49,20	33,10	63,90	56,40	49,20	74,80	88,50	30,10	35,40	45,20	71,30	35,10	632,20
<b>2016</b>	37,50	38,40	90,40	149,70	53,40	107,70	41,90	22,30	51,00	33,50	57,10	39,40	722,30

**Elaborado por:** Pablo Andrés Calero

**Fuente:** Boletines Meteorológicos INAMHI

<b>Anexo No. 8 PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES – ANUALES ESTACIÓN METEOROLÓGICA PUCARÁ ALTO 2013 - 2016</b>													
<b>Año</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Annual</b>
<b>2013</b>	45,22	36,03	78,33	96,30	86,80	17,70	48,80	41,07	49,63	49,90	21,90	85,40	657,08
<b>2014</b>	46,45	36,40	78,40	68,50	82,50	82,00	16,00	66,80	46,30	66,20	50,50	32,50	672,55
<b>2015</b>	50,50	33,10	63,90	61,40	52,80	83,30	88,50	32,20	36,60	49,70	71,30	35,10	658,40
<b>2016</b>	38,70	38,60	92,70	149,70	53,40	107,70	41,90	24,20	66,00	36,30	58,90	39,40	747,50

**Elaborado por:** Pablo Andrés Calero

**Fuente:** Boletines Meteorológicos INAMHI

<b>Anexo No. 9 PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES – ANUALES ESTACIÓN METEOROLÓGICA COLEGIO JORGE ÁLVAREZ – PÍLLARO 2013 - 2016</b>													
<b>Año</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Annual</b>
<b>2013</b>	39,03	26,20	74,87	33,90	93,60	28,20	30,60	20,80	32,30	30,60	38,00	30,20	478,30
<b>2014</b>	45,20	12,20	79,80	39,30	75,20	59,60	17,30	33,10	36,80	40,30	59,90	37,80	536,50
<b>2015</b>	41,00	35,80	60,00	25,60	53,30	52,30	57,20	15,80	16,10	34,30	45,60	16,90	453,90
<b>2016</b>	30,90	30,60	84,80	101,50	41,00	75,20	17,30	13,50	44,00	55,00	34,60	24,80	553,20

**Elaborado por:** Pablo Andrés Calero

**Fuente:** Boletines Meteorológicos INAMHI

<b>Anexo No. 10 PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES – ANUALES ESTACIÓN METEOROLÓGICA TISALEO 2013 - 2016</b>													
<b>Año</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Annual</b>
<b>2013</b>	62,4	62	39,7	91,4	58,8	28,3	32,9	53,1	32,8	71,5	62,4	36,3	631,6
<b>2014</b>	36,25	36,35	10,87	42,2	50,9	37,7	41,23	25,3	27,23	32,1	45,26	19,93	405,32
<b>2015</b>	10,1	10,7	10,9	7,9	6,7	15	15,9	5,8	6,2	6,7	7,9	10,1	113,9
<b>2016</b>	7,7	36,35	20,49	44,6	57,8	69,8	74,9	17	42,7	18,1	65,5	13,4	468,34

**Elaborado por:** Pablo Andrés Calero

**Fuente:** Boletines Meteorológicos INAMHI

<b>Anexo No. 11 PRECIPITACIONES MEDIAS MENSUALES – ANUALES ESTACIÓN METEOROLÓGICA CUSUBAMBA 2013 - 2016</b>													
<b>Año</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>Annual</b>
<b>2013</b>	83,40	95,30	68,10	74,00	10,30	33,50	20,53	10,90	27,20	67,90	48,30	19,00	558,43
<b>2014</b>	63,20	190,60	58,00	141,10	28,20	20,50	29,50	10,50	42,20	35,90	106,60	109,40	835,70
<b>2015</b>	74,90	41,40	88,60	75,70	21,60	43,30	11,50	19,30	10,70	27,80	17,10	68,30	500,20
<b>2016</b>	79,70	88,90	85,60	132,10	76,70	36,70	20,60	36,50	28,40	155,50	85,00	38,60	864,30

**Elaborado por:** Pablo Andrés Calero

**Fuente:** Boletines Meteorológicos INAMHI

<b>Anexo No.12 INDICE MODIFICADO DE FOURNIER ESTACIÓN METEOROLÓGICA CHIQUIURCO</b>													
<b>Año</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>IMF</b>
<b>2013</b>	6,82	2,35	11,43	14,24	0,02	0,03	36,00	32,79	22,80	5,25	0,59	1,19	133,50
<b>2014</b>	8,59	1,66	19,49	5,37	11,28	24,58	6,29	13,06	2,49	4,46	6,26	4,49	108,03
<b>2015</b>	9,91	3,54	8,46	6,42	6,52	38,41	34,18	5,09	1,01	6,24	3,46	2,11	125,35
<b>2016</b>	2,06	6,96	10,83	24,97	6,98	50,95	5,26	2,67	5,28	1,86	2,31	1,81	121,95
<b>Factor R (Promedio IMF Anuales)</b>													<b>122,21</b>

**Elaborado por:** Pablo Andrés Calero

<b>Anexo No. 13 INDICE MODIFICADO DE FOURNIER ESTACIÓN METEOROLÓGICA CUNCHIBAMBA</b>													
<b>Año</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>IMF</b>
<b>2013</b>	4,07	1,02	10,59	9,02	4,58	6,14	4,77	3,20	2,46	1,20	2,34	1,29	50,69
<b>2014</b>	5,98	0,71	8,90	7,86	10,74	27,54	10,22	11,78	4,52	1,30	3,97	2,29	95,81
<b>2015</b>	3,20	1,92	6,21	0,47	8,25	1,76	4,84	0,37	0,11	2,14	5,19	0,56	35,01
<b>2016</b>	2,06	0,71	15,60	23,86	3,97	3,71	0,33	0,10	2,77	5,33	1,07	2,40	61,92
<b>Factor R (Promedio IMF Anuales)</b>													<b>60,86</b>

Elaborado por: Pablo Andrés Calero

<b>Anexo No. 14 INDICE MODIFICADO DE FOURNIER ESTACIÓN METEOROLÓGICA AEROPUERTO</b>													
<b>Año</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>IMF</b>
<b>2013</b>	6,61	0,70	12,77	1,05	0,02	0,00	1,96	0,76	1,13	1,40	2,93	2,11	31,44
<b>2014</b>	6,54	0,06	6,60	1,79	3,90	0,10	0,02	2,20	5,91	3,30	4,24	1,68	36,34
<b>2015</b>	4,47	1,21	6,21	1,23	6,08	4,25	6,65	0,14	0,11	2,40	7,03	0,51	40,30
<b>2016</b>	1,10	0,18	5,14	47,34	22,29	68,52	0,18	0,05	0,47	2,95	12,16	7,99	168,36
<b>Factor R (Promedio IMF Anuales)</b>													<b>69,11</b>

Elaborado por: Pablo Andrés Calero

<b>Anexo No. 15 INDICE MODIFICADO DE FOURNIER ESTACIÓN METEOROLÓGICA CALAMACA</b>													
<b>Año</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>IMF</b>
<b>2013</b>	3,87	2,02	10,83	4,69	8,79	3,64	9,49	2,96	2,76	4,45	0,01	0,79	54,31
<b>2014</b>	5,96	0,40	16,36	4,51	8,27	12,35	8,39	5,30	1,59	3,35	3,22	1,51	71,22
<b>2015</b>	4,89	2,06	4,69	6,81	6,09	10,56	15,38	1,74	0,78	4,33	3,96	1,68	62,97
<b>2016</b>	0,35	3,28	6,76	21,65	4,70	15,90	2,11	0,94	5,58	1,15	4,24	1,91	68,56
<b>Factor R (Promedio IMF Anuales)</b>													<b>64,26</b>

Elaborado por: Pablo Andrés Calero

<b>Anexo No. 16 INDICE MODIFICADO DE FOURNIER ESTACIÓN METEOROLÓGICA MULA CORRAL</b>													
<b>Año</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>IMF</b>
<b>2013</b>	9,35	4,81	11,76	3,91	9,93	5,98	15,60	5,59	2,86	4,62	0,61	1,79	76,81
<b>2014</b>	7,27	1,48	13,27	4,80	12,75	18,96	12,68	8,16	2,84	2,97	5,22	4,46	94,88
<b>2015</b>	13,09	5,15	8,33	6,84	5,45	31,39	24,54	4,11	0,74	4,33	3,48	1,66	109,09
<b>2016</b>	3,60	5,96	7,38	24,40	5,94	44,88	4,29	2,18	4,18	0,91	1,73	3,45	108,90
<b>Factor R (Promedio IMF Anuales)</b>													<b>97,42</b>

Elaborado por: Pablo Andrés Calero

<b>Anexo No. 17 INDICE MODIFICADO DE FOURNIER ESTACIÓN METEOROLÓGICA QUISAPINCHA</b>													
<b>Año</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>IMF</b>
<b>2013</b>	8,16	3,61	10,63	5,31	14,47	4,99	7,13	3,95	2,46	7,36	1,46	1,20	70,73
<b>2014</b>	16,67	0,84	8,69	6,00	14,81	14,76	5,07	4,70	2,46	5,68	7,37	2,14	89,20
<b>2015</b>	6,93	3,66	7,81	4,87	6,01	11,60	15,28	2,09	0,79	6,34	6,45	2,43	74,28
<b>2016</b>	1,57	6,47	11,60	31,06	4,52	19,30	1,98	3,74	3,66	1,64	4,58	2,57	92,68
<b>Factor R (Promedio IMF Anuales)</b>													<b>81,72</b>

Elaborado por: Pablo Andrés Calero

<b>Anexo No. 18 INDICE MODIFICADO DE FOURNIER ESTACIÓN METEOROLÓGICA PILAHUIN</b>													
<b>Año</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>IMF</b>
<b>2013</b>	10,68	11,95	6,59	1,17	6,28	2,46	2,26	5,47	2,80	5,90	0,26	2,60	58,39
<b>2014</b>	5,90	0,67	10,00	5,22	8,07	12,54	1,55	6,92	2,64	2,91	0,81	20,48	77,71
<b>2015</b>	3,83	1,73	6,46	5,03	3,83	8,85	12,39	1,43	1,98	3,23	8,04	1,95	58,76
<b>2016</b>	1,95	2,04	11,31	31,03	3,95	16,06	2,43	0,69	3,60	1,55	4,51	2,15	81,27
<b>Factor R (Promedio IMF Anuales)</b>													<b>69,03</b>

Elaborado por: Pablo Andrés Calero

<b>Anexo No. 19 INDICE MODIFICADO DE FOURNIER ESTACIÓN METEOROLÓGICA PUCARÁ ALTO</b>													
<b>Año</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>IMF</b>
<b>2013</b>	3,11	1,98	9,34	14,11	11,47	0,48	3,62	2,57	3,75	3,79	0,73	11,10	66,04
<b>2014</b>	3,21	1,97	9,14	6,98	10,12	10,00	0,38	6,63	3,19	6,52	3,79	1,57	63,49
<b>2015</b>	3,87	1,66	6,20	5,73	4,23	10,54	11,90	1,57	2,03	3,75	7,72	1,87	61,09
<b>2016</b>	2,00	1,99	11,50	29,98	3,81	15,52	2,35	0,78	5,83	1,76	4,64	2,08	82,25
<b>Factor R (Promedio IMF Anuales)</b>													<b>68,22</b>

Elaborado por: Pablo Andrés Calero

<b>Anexo No. 20 INDICE MODIFICADO DE FOURNIER ESTACIÓN METEOROLÓGICA COLEGIO JORGE ÁLVAREZ - PÍLLARO</b>													
<b>Año</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>IMF</b>
<b>2013</b>	3,19	1,44	11,72	2,40	18,32	1,66	1,96	0,90	2,18	1,96	3,02	1,91	50,65
<b>2014</b>	3,81	0,28	11,87	2,88	10,54	6,62	0,56	2,04	2,52	3,03	6,69	2,66	53,50
<b>2015</b>	3,70	2,82	7,93	1,44	6,26	6,03	7,21	0,55	0,57	2,59	4,58	0,63	44,32
<b>2016</b>	1,73	1,69	13,00	18,62	3,04	10,22	0,54	0,33	3,50	5,47	2,16	1,11	61,42
<b>Factor R (Promedio IMF Anuales)</b>													<b>52,47</b>

Elaborado por: Pablo Andrés Calero

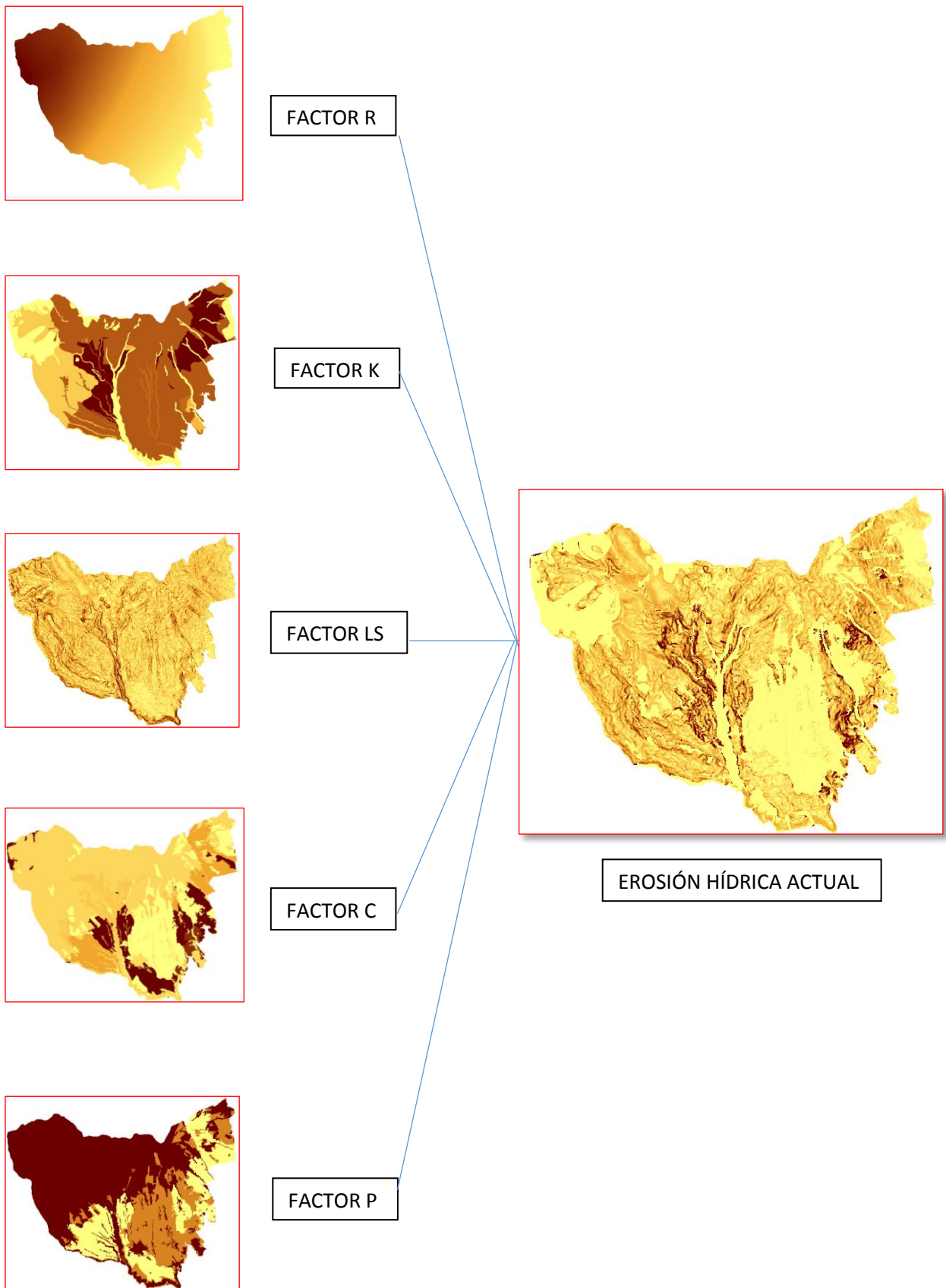
<b>Anexo No. 21 INDICE MODIFICADO DE FOURNIER ESTACIÓN METEOROLÓGICA TISALEO</b>													
<b>Año</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>IMF</b>
<b>2013</b>	6,16	6,09	2,50	13,23	5,47	1,27	1,71	4,46	1,70	8,09	6,16	2,09	58,94
<b>2014</b>	3,24	3,26	0,29	4,39	6,39	3,51	4,19	1,58	1,83	2,54	5,05	0,98	37,26
<b>2015</b>	0,90	1,01	1,04	0,55	0,39	1,98	2,22	0,30	0,34	0,39	0,55	0,90	10,55
<b>2016</b>	0,13	2,82	0,90	4,25	7,13	10,40	11,98	0,62	3,89	0,70	9,16	0,38	52,36
<b>Factor R (Promedio IMF Anuales)</b>													<b>39,78</b>

Elaborado por: Pablo Andrés Calero

<b>Anexo No. 22 INDICE MODIFICADO DE FOURNIER ESTACIÓN METEOROLÓGICA CUSUBAMBA</b>													
<b>Año</b>	<b>Enero</b>	<b>Febrero</b>	<b>Marzo</b>	<b>Abril</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>	<b>Diciembre</b>	<b>IMF</b>
<b>2013</b>	12,46	16,26	8,30	9,81	0,19	2,01	0,75	0,21	1,32	8,26	4,18	0,65	64,40
<b>2014</b>	4,78	43,47	4,03	23,82	0,95	0,50	1,04	0,13	2,13	1,54	13,60	14,32	110,32
<b>2015</b>	11,22	3,43	15,69	11,46	0,93	3,75	0,26	0,74	0,23	1,55	0,58	9,33	59,17
<b>2016</b>	7,35	9,14	8,48	20,19	6,81	1,56	0,49	1,54	0,93	27,98	8,36	1,72	94,55
<b>Factor R (Promedio IMF Anuales)</b>													<b>82,11</b>

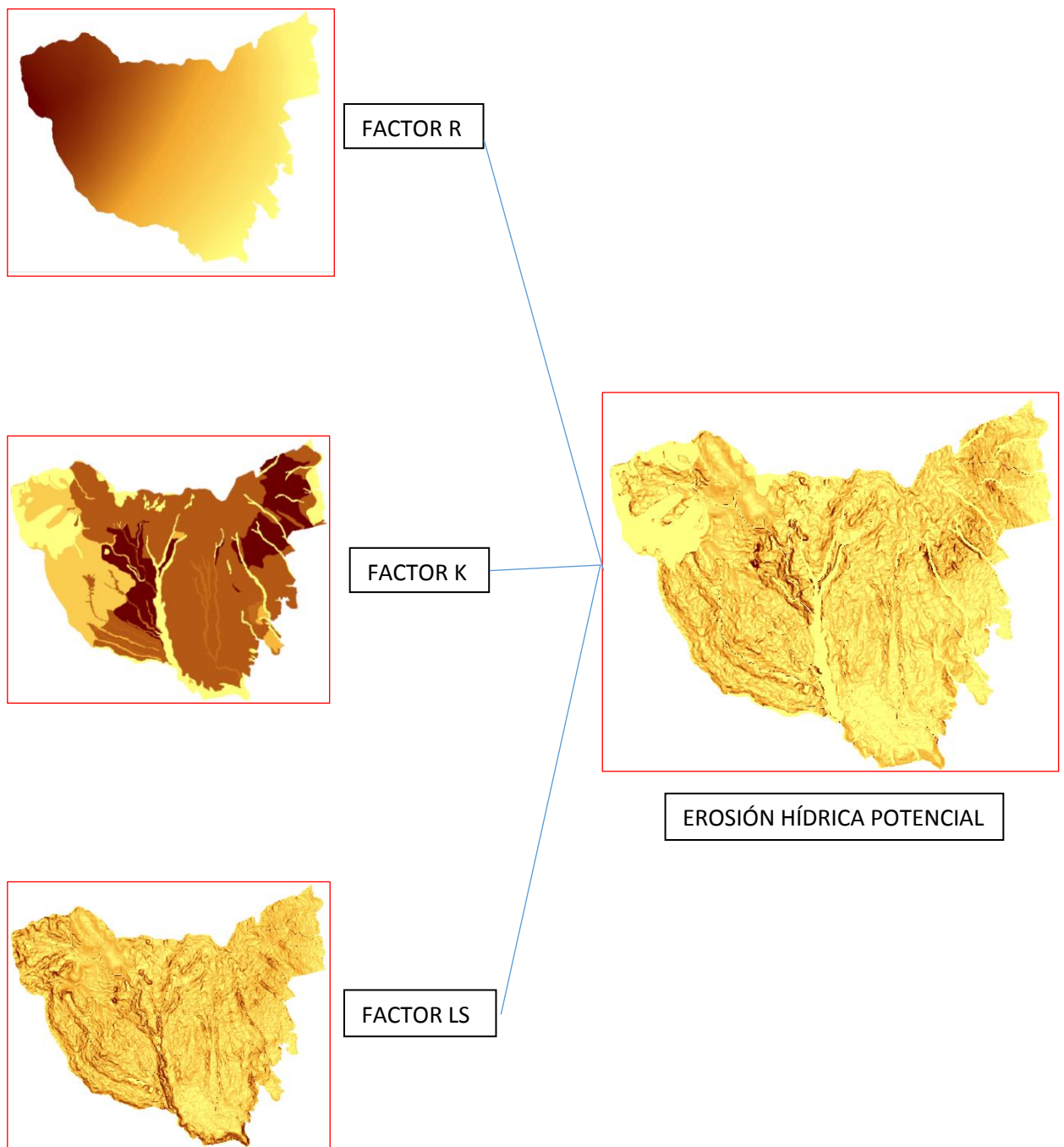
**Elaborado por:** Pablo Andrés Calero

**Anexo No. 23. Esquema de Obtención de la Erosión Hídrica Actual**



**Elaborado por:** Pablo Andrés Calero Pérez

**Anexo No. 24.** Esquema de Obtención de la Erosión Hídrica Potencial.



**Elaborado por:** Pablo Andrés Calero Pérez

