

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE  
HUAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y  
CIVIL**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE  
INGENIERÍA CIVIL**



**DETERMINACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA DE SUELOS; EN  
LAS ZONAS AGRÍCOLAS DEL CENTRO POBLADO DE PAMPA  
CANGALLO - AYACUCHO**

**TESIS**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**ELABORADO POR:**  
ANDER WILLE JOYO RODRÍGUEZ

**ASESOR:**  
MSC. ING. JAIME LEONARDO BENDEZÚ PRADO

AYACUCHO - PERÚ

2018

# DETERMINACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA DE SUELOS; EN LAS ZONAS AGRÍCOLAS DEL CENTRO POBLADO DE PAMPA CANGALLO - AYACUCHO

ANDER WILLE JOYO RODRÍGUEZ

Presentado a la Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil en cumplimiento parcial de los requerimientos para optar el título de:

INGENIERO CIVIL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

2018

Autor : Ander Wille Joyo Rodríguez

Recomendado : MSc. Ing. Jaime Leonardo Bendezú Prado  
Asesor de Tesis

Aceptado por : MSc. Ing. Ángel Hugo Vílchez Peña  
Director de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Civil

© 2018; Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (UNSCH), todos los derechos reservados. El autor de la investigación autoriza a la UNSCH - Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil (FIMGC), la reproducción de la tesis en su totalidad o en partes.



*A Dios.*

*A mi padre y madre, por el amor y apoyo incondicional que me han brindado, por haber formado de mí, un hombre de bien para la sociedad. A mis hermanos, por estar siempre conmigo.*

*A todos los que me han ayudado a llegar hasta aquí.*

# Agradecimientos

*En primer lugar, deseo expresar mi mayor agradecimiento a mi asesor, Msc. Ing. Jaime Leonardo Bendezú Prado, por la atención, ayuda y dirección en la investigación.*

*A mis jurados el Msc. Ing. Angel Hugo Vilchez Peña, Msc. Ing. Edward León Palacios, por todo el apoyo, recomendaciones y consejos brindados durante la revisión de este trabajo.*

*Agradezco también la inestimable ayuda y motivación del Msc. Ing. Edmundo Canchari Gutierrez.*

*Al Ing. Aldo Conislla Quispe por haberme proporcionado información.*

*A mi padre Fausto Joyo Cancho y mi hermano Johan Paul Joyo Rodríguez por las sugerencias y recomendaciones.*

*A los docentes de la Escuela de Formación Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga por su contribución durante mi desarrollo académico y profesional.*

*Finalmente, expreso mi gratitud a Nazia por su impulso y compañía, y a todas aquellas amistades que de una u otra manera han contribuido en la realización del presente trabajo.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA  
AYACUCHO, JUNIO DE 2018

*Ander Wille Joyo Rodríguez*

# Índice general

<b>Dedicatoria</b>	<b>II</b>
<b>Agradecimientos</b>	<b>III</b>
<b>Índice general</b>	<b>IV</b>
<b>Índice de tablas</b>	<b>VIII</b>
<b>Índice de figuras</b>	<b>IX</b>
<b>Índice de acrónimos y símbolos</b>	<b>XII</b>
<b>Resumen</b>	<b>XIII</b>
<b>Capítulo I: Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. Antecedentes bibliográficos . . . . .	1
1.2. Descripción de la realidad problemática . . . . .	2
1.2.1. Internacional . . . . .	2
1.2.2. Nacional . . . . .	4
1.2.3. Local . . . . .	6
1.3. Formulación del problema . . . . .	8
1.3.1. Problema principal . . . . .	8
1.3.2. Problemas secundarios . . . . .	8
1.4. Justificación de la investigación . . . . .	8
1.5. Importancia de la investigación . . . . .	8
1.6. Objetivos . . . . .	9
1.6.1. Objetivo General . . . . .	9
1.6.2. Objetivos Específicos . . . . .	9
1.7. Hipótesis . . . . .	10
1.7.1. Hipótesis principal . . . . .	10
1.7.2. Hipótesis secundarias . . . . .	10
1.8. Variables e indicadores . . . . .	10
1.9. Tipo y nivel de investigación . . . . .	11
1.9.1. Tipo de investigación . . . . .	11
1.9.2. Nivel de investigación . . . . .	11
1.10. Instrumentos utilizados . . . . .	12
1.11. Técnicas de recolección . . . . .	12



<b>Capítulo II: Marco teórico</b>	<b>13</b>
2.1. Erosión hídrica del suelo . . . . .	13
2.1.1. Etapas de la Erosión Hídrica . . . . .	14
2.1.2. Factores que originan La Erosión Hídrica . . . . .	14
2.1.3. Tipos de Erosión Hídrica . . . . .	15
2.1.3.1. Erosión laminar . . . . .	15
2.1.3.2. Erosión por surcos . . . . .	16
2.1.3.3. Erosión en cárcavas . . . . .	17
2.1.4. Métodos para determinar la erosión hídrica . . . . .	17
2.1.4.1. Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.(Universal Soil Loss Equation) USLE . . . . .	18
2.2. Ecuación Universal de Pérdidas de Suelos Revisada (RUSLE). . . . .	18
2.2.1. Factor R o índice de erosividad de la lluvia . . . . .	21
2.2.1.1. Método de Morgan . . . . .	21
2.2.1.2. Método de Foster . . . . .	22
2.2.1.3. Método de Roose . . . . .	22
2.2.1.4. Índice modificado de Fournier . . . . .	23
2.2.2. Factor K o índice de erodabilidad . . . . .	24
2.2.3. Factor LS o longitud y gradiente de la pendiente . . . . .	27
2.2.3.1. Método de Mintegui (1983) . . . . .	28
2.2.3.2. Método de Renard . . . . .	29
2.2.4. Factor C o de cobertura vegetal . . . . .	30
2.2.5. Factor P o de prácticas de conservación de suelos . . . . .	31
2.2.6. Pérdida de suelo (A) . . . . .	33
2.2.6.1. Nula a ligera . . . . .	33
2.2.6.2. Moderada . . . . .	34
2.2.6.3. Alta y muy alta . . . . .	34
2.3. Sistemas de Información Geográfica (SIG) . . . . .	34
2.3.1. Aplicaciones de los S.I.G. . . . .	34
2.3.2. Componentes de un S.I.G. . . . .	36
2.3.2.1. Usuarios . . . . .	36
2.3.2.2. Software . . . . .	36
2.3.2.3. Hardware . . . . .	37
2.3.2.4. Datos . . . . .	37
2.3.3. Ventajas y Requerimientos de un SIG . . . . .	37
2.4. Medidas de control de erosión . . . . .	39
2.4.1. Manejo agronómico de la infiltración . . . . .	39
2.4.2. Técnicas de manejo del relieve . . . . .	40
2.4.3. Técnicas de control de escurrimientos . . . . .	41
2.4.4. Técnicas de bioingeniería . . . . .	42
<b>Capítulo III: Materiales y Métodos</b>	<b>48</b>
3.1. Caracterización General del Área de Estudio . . . . .	48
3.1.1. Ubicación Geográfica . . . . .	48
3.1.2. Suelos . . . . .	48
3.1.3. Clima . . . . .	48
3.1.4. Hidrografía . . . . .	50



3.1.5. Uso Actual del suelo . . . . .	50
3.1.6. Fisiografía . . . . .	51
3.1.7. Población . . . . .	51
3.1.8. Ecología . . . . .	51
3.1.9. Vías de Acceso . . . . .	52
3.1.10. Vegetación . . . . .	52
3.2. Materiales . . . . .	54
3.2.1. Recopilación de antecedentes . . . . .	54
3.2.2. Material cartográfico . . . . .	54
3.2.3. Material satelital . . . . .	55
3.2.4. Equipo y material de campo . . . . .	57
3.2.5. Observaciones a Campo . . . . .	57
3.2.6. Precipitación . . . . .	59
3.2.7. Suelos . . . . .	60
3.3. Metodología . . . . .	60
3.3.1. Fase preliminar . . . . .	61
3.3.1.1. Análisis de consistencia de las estaciones metereológicas. . . . .	61
3.3.1.2. Primer análisis de correlación de las estaciones metereológicas. . . . .	64
3.3.1.3. Segundo análisis de correlación de las estaciones metereológicas. . . . .	64
3.3.1.4. Obtención del Área Delimitada de la cuenca del río Macro . . . . .	67
3.3.2. Fase de procesamiento de los factores de la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE/RUSLE) . . . . .	71
3.3.2.1. Factor R o índice de erosividad de las lluvias . . . . .	71
3.3.2.2. Factor K . . . . .	76
3.3.2.3. Factor LS . . . . .	77
3.3.2.4. Factor C . . . . .	79
3.3.2.5. Factor P . . . . .	79
3.3.2.6. Determinación de la pérdida de suelo . . . . .	79
<b>Capítulo IV: Resultados</b>	<b>81</b>
4.1. Factor de erosividad de las precipitaciones (R) . . . . .	81
4.1.1. Erosividad de las precipitaciones o factor (R) . . . . .	81
4.1.1.1. Aplicación del Índice Modificado de Fournier (IMF) . . . . .	81
4.1.1.2. Roose, Morgan y Foster . . . . .	83
4.2. Factor de erodabilidad del suelo (K) . . . . .	85
4.3. Factor longitud y gradiente de la pendiente (LS) . . . . .	85
4.3.0.3. Método de Mintegui . . . . .	85
4.3.0.4. Método de Renard . . . . .	85
4.4. Factor cobertura vegetal o uso actual del suelo (C) . . . . .	89
4.5. Pérdida de suelo . . . . .	89
4.5.1. Erosión Potencial . . . . .	89
4.5.2. Erosión en la zonas agrícolas de Pampa Cangallo . . . . .	89
<b>Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>94</b>
Conclusiones . . . . .	94
Recomendaciones . . . . .	95



---

<b>Referencia Bibliográfica</b>	<b>96</b>
Erosión Hídrica de Suelos . . . . .	96
Tesis . . . . .	97
Artículos . . . . .	97
<b>Anexo A. Registro de precipitaciones total mensual y anual (mm)</b>	<b>98</b>
<b>Anexo B. Panel fotográfico</b>	<b>109</b>

# Índice de tablas

1.2. Variables e indicadores . . . . .	10
2.3. Clasificación de IFM para latinoamérica. . . . .	24
2.4. Calificación del factor materia orgánica. . . . .	25
2.5. Parámetros de estructura del suelo a profundidades de 15 a 18 cm Superficiales . . . . .	26
2.6. Clasificación de los grados de erodabilidad según USDA (1962) . . . . .	26
2.7. Factores de erodabilidad del suelo K asociados a la textura y al contenido de materia orgánica según Kirkby y Morgan (1980) . . . . .	27
2.8. Valores del factor LS en función de la pendiente. . . . .	28
2.9. Valores de “C” según el uso de tierra . . . . .	30
2.10. Valores de “P” para cultivos en contorno y su máxima longitud permitida entre obras . . . . .	31
2.11. Valores de “P” para curvas a nivel. . . . .	32
2.12. Valores de P para barreras con la distancia máxima entre obras. . . . .	32
2.13. Clasificación de los niveles de intensidad de pérdida de suelo. Pérdidas de suelo tolerables. . . . .	33
3.14. N° de Hoja según formato de la carta nacional. . . . .	54
3.15. Estaciones Meteorológicas. . . . .	59
3.16. Análisis de correlación entre Precipitación Vs Altura . . . . .	65
3.17. Análisis de correlación entre Precipitación Vs Altura . . . . .	66
3.18. Generación de estaciones aleatorias mediante interpolación en la toda la cuenca. . . . .	72
4.19. Valores de R anual obtenidos para la cuenca del río Macro . . . . .	83
A.1. ESTACIÓN PAMPA CANGALLO - periodo 1995 - 2011 (17 años) . . . . .	99
A.2. ESTACIÓN HUANCAPI - periodo 1994 - 2014 (21 años) . . . . .	100

# Índice de figuras

1.1. La evidencia clara del impacto de la erosión hídrica a través de la formación de una cárcava, una sitio de desagüe que degrada el suelo progresivamente. . . . .	2
1.2. Erosión por surcos (Provincia de Santiago del Estero en el país de Argentina). . . . .	3
1.3. Pérdida de fertilidad de un suelo agrícola (Brasil). . . . .	3
1.4. Cárcavas pronunciadas, erosión en surcos y laminar, características de la erosión severa en región de la Sierra. Cabecera de la microcuenca Chonta, distrito de Querobamba, provincia de Sucre, Ayacucho . . . . .	4
1.5. Cabecera de microcuenca Chichango donde se evaluó la erosión, Santiago de Chuco- La libertad . . . . .	5
1.6. Cárcavas en la sierra . . . . .	5
1.7. Erosión de suelos; tipo cárcavas, zona agrícola del centro poblado de Pampa Cangallo - Ayacucho. . . . .	6
1.8. Cárcavas; zona agrícola del centro poblado de Pampa Cangallo - Ayacucho. . . . .	6
1.9. Se observa la pérdida total del suelo agrícola, como consecuencia de la erosión siendo un espacio inservible donde no crece ningún tipo de vegetación, zona agrícola del centro poblado de Pampa Cangallo - Ayacucho. . . . .	7
1.10. Erosión de suelos; zona agrícola del centro poblado de Pampa Cangallo - Ayacucho. . . . .	7
1.11. Diagrama simbólico de diseño. . . . .	11
2.12. Impacto de la gota de lluvia sobre el suelo desnudo. . . . .	13
2.13. Etapas de la erosión hídrica. . . . .	14
2.14. Manifestaciones de erosión laminar. . . . .	16
2.15. Manifestaciones de erosión en surcos. . . . .	16
2.16. Manifestaciones de erosión en cárcavas. . . . .	17
2.17. Clasificación de los modelos según el tipo de información que se obtiene. . . . .	18
2.18. Dimensiones y unidades de los factores del modelo RUSLE. . . . .	20
2.19. Clase de permeabilidad según textura. . . . .	25
2.20. Ejemplo de SIG. . . . .	35
2.21. Modelo de datos ráster y vectorial. . . . .	38
2.22. Cobertura dejada por los residuos de un cultivo de maíz en rotación con soja. . . . .	40
2.23. Técnicas de manejo de relieve. . . . .	41
2.24. Esquema de componentes de una cárcava. . . . .	42
2.25. Canales de desagüe empastados. . . . .	43



2.26. Estabilización de terraplenes en áreas urbanas y rutas. . . . .	45
2.27. Estabilización de cuencas serranas con forestación y de torrenteras con rastrillos de piedras, tierra y vegetación herbácea. . . . .	46
2.28. Ejemplos de estabilización de márgenes de arroyos con vegetación her- bácea y arbórea, implantada y espontánea. . . . .	46
2.29. Estabilización de dunas y médanos. . . . .	47
2.30. Áreas críticas para aplicación de técnicas de bioingeniería. . . . .	47
3.31. Mapa de ubicación del centro poblado de Pampa Cangallo. . . . .	49
3.32. Cuenca del río Macro . . . . .	50
3.33. Principales ríos de la cuenca Macro. . . . .	51
3.34. Ecología. . . . .	52
3.35. Cobertura vegetal de la provincia de Cangallo . . . . .	53
3.36. Agricultura en Pampa Cangallo . . . . .	53
3.37. Carta nacional del Perú. . . . .	55
3.38. Cuadro de empalmes de la carta nacional del Perú. . . . .	55
3.39. DEM del LANSAT . . . . .	56
3.40. DEM del ALOS PALSAR . . . . .	56
3.41. Toma de muestras . . . . .	57
3.42. Toma de muestras . . . . .	58
3.43. Toma de muestras . . . . .	58
3.44. Toma de muestras . . . . .	59
3.45. Estaciones metereológicas cercanas . . . . .	60
3.46. Análisis de consistencia. . . . .	61
3.47. ANALISIS DE CONSISTENCIA / Fuente: Elaboración propia a partir de datos registrados. . . . .	62
3.48. ANALISIS DE CONSISTENCIA / Fuente: Elaboración propia a partir de datos registrados. . . . .	63
3.49. Análisis de correlación. . . . .	64
3.50. Análisis de correlación. . . . .	64
3.51. Coeficiente de Pearson ( $r= 0.51$ ) . . . . .	65
3.52. Precipitación vs Altura . . . . .	65
3.53. Coeficiente de Pearson ( $r= 0.84$ ) . . . . .	66
3.54. Precipitación vs Altura . . . . .	66
3.55. Diagrama de flujo del proceso de delimitación automática de unidades hidrograficas con la extensión Swat - ArcGis 10.4.2 . . . . .	68
3.56. DEM de resolución 12 m. . . . .	69
3.57. Delimitación de la cuenca del río Macro . . . . .	70
3.58. Mapa de Isoyetas de la cuenca del río Macro . . . . .	73
3.59. Análisis de correlación del IMF. . . . .	74
3.60. Calculo del IMF. . . . .	75
3.61. Flujograma para la obtención del mapa de erosividad de la lluvia. . . . .	76
3.62. Flujograma para la obtención del mapa de erodabilidad . . . . .	77
3.63. Flujograma para la obtención del mapa de LS – Método a. . . . .	78
3.64. Flujograma para la obtención del mapa de LS – Método b. . . . .	78
3.65. Flujograma para obtener el factor C . . . . .	79
3.66. Integración de factores metodología USLE/RUSLE . . . . .	80
4.67. Mapa del índice de erosividad . . . . .	82



4.68. Mapa del Índice de erosividad según Foster . . . . .	84
4.69. Mapa del Índice de erodabilidad o factor K . . . . .	86
4.70. Mapa de longitud y gradiente de pendiente, método Mintegui . . . . .	87
4.71. Mapa de longitud y gradiente de pendiente Renard . . . . .	88
4.72. Mapa de factor de cobertura vegetal o factor C . . . . .	90
4.73. Mapa de erosión hídrica potencial de la cuenca del río Macro . . . . .	91
4.74. Mapa de erosión potencial - Centro poblado de Pampa Cangallo . . . . .	92
4.75. Mapa de erosión actual - Centro poblado de Pampa Cangallo . . . . .	93
A.1. PRECIPITACIÓN MENSUAL Y ANUAL, extraídos a partir del trabajo de Completación de datos faltantes de la fuente de PLUVIOMETRÍA TOTAL DIARIA - ANA / HIDROLOGÍA GENERAL (IC - 441) - UNSCH . . . . .	101
A.2. VARIACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL, extraídos a partir del trabajo de Completación de datos faltantes de la fuente de PLUVIOME- TRÍA TOTAL DIARIA - ANA / HIDROLOGÍA GENERAL (IC - 441) - UNSCH	102
A.3. Tamaño de muestra de suelos . . . . .	103
A.4. Factor de cobertura o vegetación. . . . .	104
A.5. Factor de cobertura o vegetación. . . . .	105
A.6. Factor de cobertura o vegetación. . . . .	106
A.7. Factor de cobertura o vegetación. . . . .	107
A.8. Factor de cobertura o vegetación. . . . .	108
B.1. Suelo completamente erosionado - centro poblado de Pampa Cangallo . .	110
B.2. Fotografía donde se aprecia el tipo de suelo centro poblado de Pampa Cangallo . . . . .	110
B.3. Erosión de suelos - centro poblado de Pampa Cangallo . . . . .	111
B.4. Areas de cultivo en el centro Poblado de Pampa Cangallo . . . . .	111
B.5. Cultivos en en zonas con pendiente pronunciada - centro poblado de Pampa Cangallo . . . . .	112
B.6. Centro poblado de Pampa Cangallo . . . . .	112
2.7. Usos y coberturas del centro poblado de Pampa Cangallo . . . . .	113

# Índice de acrónimos y símbolos

## Acrónimos

- USLE* — Universal Soil Loss Equation .  
*RUSLE* — Universal Soil Loss Equation Revised .  
*IMF* — Índice Modificado de Fournier .  
*SIG* — Sistema de Información Geográfica .  
*EUPS* — Ecuación Universal de Erosión de Suelo .  
*DEM* — Modelos Digitales de Elevación .  
*MINAM* — Ministerio del Ambiente .  
*UNRC* — Universidad Nacional de Río Cuarto .  
*FAO* — Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (Food and Agriculture Organization).

## Símbolos

- R* — Índice de erosividad.  
*K* — Índice de erodabilidad.  
*L* — Longitud de la pendiente.  
*S* — Gradiente de la pendiente.  
*C* — Cobertura vegetal.  
*P* — Prácticas de conservación de suelos.  
*A* — Cantidad de material erodado.



# Resumen

El suelo es uno de los recursos más importantes y más amenazados en la actualidad debido a que se encuentra afectado por procesos de degradación, es por ello que el objetivo principal de este trabajo de investigación es en cuanto a determinar la Erosión Hídrica de suelos en el centro poblado de Pampa Cangallo ya que es una zona dedicada a la agricultura y ganadería además de ser un lugar óptimo para el desarrollo de esta actividad presenta problemas de erosión en sus suelos agrícolas, para la determinación de la erosión hídrica, se usó el modelo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE/RUSLE), así como la aplicación del SIG, donde se determinaron también los factores climáticos como el factor R que se determinó por dos métodos como el IMF con valores de 108.19 - 110.31  $Mj*mm/ha*h*año$  y la ecuación Foster con valores de 151.64 - 167.07  $Mj*mm/ha*h*año$ , la textura de suelo que se obtuvo a partir de la aplicación de la fórmula propuesta por WISCHMEIER (1978) y el estudio de calicatas evaluadas por el Proyecto ZZEE-OT, Ayacucho, 2012, en el cual se considera los parámetros: textura, MO, estructura y permeabilidad, valores brindados de los resultados del análisis de muestras de suelos, la erodabilidad varía de 0,003– 0,0418  $tm*ha*h/MJ*ha*mm$ , la topografía se calculó mediante el método de Renard et al, (1997) con valores entre 0.03 – 1380.7 y la cobertura vegetal o uso de suelo con valores entre 0.0001 – 0.40, se asumió un valor del factor P igual a 1 al considerar que en las zonas agrícolas del centro poblado de Pampa Cangallo no se realizan ninguna práctica de conservación de suelos. Finalmente se determinó la pérdida de suelos de la Cuenca del río Macro, considerando un área totalmente despejada para evaluar la erosión potencial es decir sin cubierta vegetal, con valores anuales de 0.1367 - 7,830.09  $ton/ha*año$ . También se logró determinar la pérdida actual de los suelos por la acción hídrica de la cuenca del río Macro obteniendo valores entre 0 a 1088.09  $tm/ha*año$ . Con los resultados obtenidos se puede ver la variación espacial de la erosión hídrica en toda la cuenca del río Macro, esta evaluación servirá como instrumento para la toma de decisiones, a partir del cual se podrá realizar las medidas de control, la planificación y conservación de los suelos del centro poblado de Pampa Cangallo que es afectada por la erosión de tipo alta.

*Palabras clave* :determinación; erosión hídrica; suelos agrícolas.



## Abstract

Soil is one of the most important and currently threatened resources because it is affected by degradation processes, which is why the main objective of this research work is to determine the soil water erosion in the soil. populated center of Pampa Cangallo since it is an area dedicated to agriculture and livestock as well as being an optimal place for the development of this activity presents problems of erosion in their agricultural soils, for the determination of water erosion, the model of The Universal Soil Loss Equation (USLE / RUSLE), as well as the application of the GIS, where climatic factors were also determined as the R factor that was determined by two methods such as the IMF with values of 108.19 - 110.31  $\text{Mj} \cdot \text{mm} / \text{ha} \cdot \text{h} \cdot \text{year}$  and the Foster equation with values of 151.64 - 167.07  $\text{Mj} \cdot \text{mm} / \text{ha} \cdot \text{h} \cdot \text{year}$ , the soil texture that was obtained from the application of the formula proposed by WISCHMEIER (1978) and the study of test pits evaluated by the ZZEE-OT Project, Ayacucho, 2012, in which the parameters are considered: texture, MO, structure and permeability, values provided from the results of soil sample analysis, erodability varies from 0.003- 0.0418  $\text{tm} \cdot \text{ha} \cdot \text{h} / \text{MJ} \cdot \text{ha} \cdot \text{mm}$ , the topography was calculated using the method of Renard et al, (1997) with values between 0.03 - 1380.7 and the vegetation cover or land use with values between 0.0001 - 0.40, a value of factor P equal to 1 was assumed when considering that in the agricultural areas of the center of Pampa Cangallo there is no soil conservation practice. Finally, the loss of soils of the Macro River Basin was determined, considering a totally cleared area to evaluate the potential erosion that is to say without vegetal cover, with annual values of 0.1367 - 7,830.09  $\text{ton} / \text{ha} \cdot \text{year}$ . It was also possible to determine the current loss of the soils by the water action of the Macro river basin obtaining values between 0 to 1088.09  $\text{tm} / \text{ha} \cdot \text{year}$ . With the results obtained we can see the spatial variation of water erosion in the entire Macro river basin, this evaluation will serve as an instrument for decision making, from which it will be possible to carry out the control, planning and conservation measures. the soils of the populated center of Pampa Cangallo that is affected by high type erosion.

*Keywords* : determination; water erosion; agricultural soils.

# Capítulo I: Introducción

## 1.1. Antecedentes bibliográficos

El análisis espacial de la erosión era poco frecuente por la demanda en tiempo y procesamiento de información. En la actualidad, con el desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se potencian los métodos disponibles para la evaluación de la distribución espacial del fenómeno erosivo, tales como la USLE (Wischmeier y Smith, 1978) y RUSLE (Renard et al., 1997), extendidas a cuencas hidrográficas (Barrios y Quiñónez, 2000).

Se realizó una investigación para estimar el riesgo de erosión hídrica en la subcuenca Shambillo en el distrito de Padre Abad, aplicando un SIG y teledetección; el riesgo fue evaluado mediante el análisis multiplicativo de seis factores incluidos en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Modificada (USLE/RUSLE). Estos factores involucran la potencialidad erosiva de la lluvia y el escurrimiento (R), la susceptibilidad del suelo a la erosión (K) y el efecto del grado (S) y la longitud de la pendiente (L), la cobertura vegetal (C) y las practicas conservacionistas (P) (Flores Villanueva, 2015).

Se presenta a la erosión de suelos como un problema latente alrededor del mundo, esta situación se agrava en los países en desarrollo por la falta de información actualizada, como es el caso del Perú en donde se realizó la cuantificación del gasto económico generado por la erosión de suelos en dos cuencas de interés nacional, que son, la cuenca del río Santa mediante la metodología RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) y la cuenca del río Jequetepeque, las cuales poseen un gran potencial agrícola y de generación de agua para consumo humano, con el objetivo de mostrar la necesidad de un marco regulatorio en términos de erosión de suelos para el Perú (Rosas Barturén, 2016).

Se realizó una investigación en la Microcuenca del Río Atuén perteneciente a la Cuenca del Río Utcubamba en la Región Amazonas, a fin de conocer los problemas erosivos de la microcuenca mediante un modelo geoespacial, con la utilización de las bondades del SIG (Sistema de Información Geográfica), para la identificación de zonas erosionadas y/o vulnerables, según el grado de intensidad dentro del ámbito de estudio; luego se cuantifico utilizando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE, por sus siglas en inglés, Universal Soil Loss Equation), (Wischmeier y Smith 1968), Finalmente se propusieron posibles alternativas de protección y/o conservación para las zonas afectadas por la erosión hídrica (Cabrejos Valdivia, 2016).



## 1.2. Descripción de la realidad problemática

### 1.2.1. Internacional

En Argentina, Bolivia, Brasil, Chile y Paraguay, en conjunto existen alrededor de 200 millones de hectáreas de tierras degradadas. La deforestación es la causa principal de degradación en los cinco países, seguido por las actividades agrícolas, el sobrepastoreo y la sobre-explotación de la vegetación para uso doméstico (FAO, 1993).

Los procesos degradatorios más difundidos son la erosión hídrica y eólica, y el deterioro químico y físico de los suelos. Así, la erosión hídrica está muy extendida en los cinco países mencionados, mientras que la erosión eólica es importante en Argentina, Chile y Bolivia. El deterioro químico ocupa la mitad del área total degradada en Paraguay y Brasil y alrededor de un tercio de Bolivia. El deterioro físico es importante en la Argentina (FAO, 1993).

La consecuencia más grave de la degradación de las tierras es la pérdida de fertilidad del suelo y la reducción de los rendimientos de los sistemas de producción agropecuaria. La evaluación de la magnitud y severidad de la degradación de tierras tanto real como potencial constituye un punto de partida fundamental para desarrollar estrategias que controlen y prevengan la degradación de tierras agrícolas (FAO, 1993).

#### Argentina

El porcentaje de hectáreas afectadas por erosión hídrica en Argentina creció significativamente en los últimos 60 años, al pasar "de 34 millones de hectáreas afectadas en 1956 a 115 millones en 2015", sostuvo el investigador del Conicet, Julio Denoia (Kirschbaum, 2016).

**Figura 1.1:** La evidencia clara del impacto de la erosión hídrica a través de la formación de una cárcava, una sitio de desagüe que degrada el suelo progresivamente.



Fuente:Clarín-Rural-suelos, 13 de octubre de 2016.



En el Noreste de la Provincia de Santiago del Estero en el país de Argentina, el desmonte y la agriculturización de las tierras se combinaron con suelos de textura media, pendientes suaves muy prolongadas y precipitaciones concentradas en una época del año, provocando problemas de erosión hídrica de variada intensidad (Ines y Amanda, 2016)

**Figura 1.2:** Erosión por surcos (Provincia de Santiago del Estero en el país de Argentina).



Fuente:Laura Ines MAS, 2016.

### Brasil

Brasil pierde por erosión cerca de 500 millones de toneladas (Megagramos, Mg) de suelo anualmente. Esto representa la pérdida de una capa de 15 cm de profundidad en un área de 280 000 ha. Asumiendo que los suelos brasileños tienen en promedio 0,10 % de N, 0,15 % de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 1,5 % K<sub>2</sub>O, se concluye que se pierden anualmente más de 8 millones de toneladas de nutrientes. (Bertoni y Lombardi Neto, 1985) (Prado y Veiga, 1993).

**Figura 1.3:** Pérdida de fertilidad de un suelo agrícola (Brasil).



Fuente:Amparo Cortez, 10 de mayo 2018.



## 1.2.2. Nacional

La erosión hídrica de los suelos en la Sierra del Perú, es considerada uno de los problemas ambientales más significativos del sector agropecuario. Esta problemática está asociada a una disminución de la productividad y eficiencia de los suelos, provocada por una baja retención tanto del agua, su fertilidad, así como del suelo mismo, cuya tendencia a escurrir se manifiesta en mayor medida en terrenos con pendientes pronunciadas. En 1984 la ex Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN) dio a conocer la evaluación cualitativa de la magnitud de la erosión en el Perú que está indicado en el estudio correspondiente a la elaboración del mapa de erosión del Perú. Según dicho estudio, 39,598,280 has de la superficie del territorio nacional, representan intensidades de erosión más peligrosas, el 55 % se presenta en la Sierra, el 33 % en la Selva Alta y el 12 % en la Costa (Taboada Barreto, 2011).

**Figura 1.4:** Cárcavas pronunciadas, erosión en surcos y laminar, características de la erosión severa en región de la Sierra. Cabecera de la microcuenca Chonta, distrito de Querobamba, provincia de Sucre, Ayacucho



Fuente: Luis Taboada Barreto, PRONAMACHCS AGRORURAL, junio de 2011.

En el caso de la Sierra, la mayor parte de los suelos se ubican en las laderas cuyas pendientes son en su mayoría muy pronunciadas; las zonas planas son escasas. Las lluvias son estacionales, las precipitaciones anuales varían entre 250 y 1000 mm, presentándose estas en un 70 % entre Diciembre y Marzo. Estas condiciones aunadas, en muchos de los casos, a un conocimiento limitado de las prácticas de conservación de suelo y agua, favorecen el proceso de erosión. Por otro lado, el problema de erosión se ve directamente influenciado por las condiciones de pobreza que llevan al uso extensivo de los suelos sin tomar en cuenta su capacidad, mal manejo del agua de riego, ausencia de rotación de cultivos, sobrepastoreo, falta de prácticas que conserven el suelo, etc., se estima que anualmente se pierden tierras por erosión entre 200,000 a 300,000 ha, considerando una profundidad de 20 cm (Taboada Barreto, 2011).

En el Perú, la erosión hídrica es un problema para la producción agropecuaria que ha reducido la cantidad de tierras cultivables. Sin embargo, es notable que muy pocos datos cuantitativos de erosión sean disponibles así como la existencia de un bajo entendimiento de los procesos y causas que promueven la erosión en las áreas andinas.



**Figura 1.5:** Cabecera de microcuenca Chichango donde se evaluó la erosión, Santiago de Chuco- La libertad



Fuente:Luis Taboada Barreto, PRONAMACHCS AGRORURAL, junio de 2011.

En el país, mencionaremos que existen algunos datos obtenidos por la Dra.Carmen Felipe-Morales en sus investigaciones como profesora de la Universidad Nacional Agraria La Molina y que fueran realizadas en Huancayo, en la Sierra, y en Chanchamayo, en la Selva. En el período de 1974 a 1977: En Huancayo, en un suelo franco arcillo gravoso, de 25 % de pendiente y con 480 mm del lluvia, se produjo durante el período de cultivo que fue maíz para choclo una pérdida de suelo de 20 t/ha y en las parcelas donde no se habían empleado prácticas conservacionistas, 31 % de escorrentía (en relación con la cantidad de agua de lluvia caída) y 24,7 t/ha de pérdida de suelo por erosión hídrica, y en las parcelas donde se emplearon surcos en contorno como práctica conservacionista, la escorrentía se redujo a 12% y la pérdida de suelo se redujo a 7,5 t/ha (Taboada Barreto, 2011).

**Figura 1.6:** Cárcavas en la sierra



Fuente:Carmen Felipe-Morales B., Agrobanco.

### 1.2.3. Local

El centro poblado de Pampa Cangallo en la región de Ayacucho, zona dedicada a la agricultura y ganadería cuenta con un clima óptimo y suelos favorables para el desarrollo de estas actividades, al hacer el recorrido del lugar se pudo observar que existen problemas de erosión en sus suelos en sus distintos grados.

**Figura 1.7:** Erosión de suelos; tipo cárcavas, zona agrícola del centro poblado de Pampa Cangallo - Ayacucho.



Fuente: Propia, 2018.

**Figura 1.8:** Cárcavas; zona agrícola del centro poblado de Pampa Cangallo - Ayacucho.



Fuente: Propia, 2018.

Se ve como el suelo agrícola es arrastrado formando las cárcavas vista en la fig. 1.8 son producto del sobrepastoreo, además de la textura del suelo, la pendiente y la lluvia, esta manifestación es la más visible y llamativa del proceso erosivo, ya que se desarrollan a partir de la acción del escurrimiento sobre la superficie, luego de que se alcanza un cierto caudal y velocidad del flujo.



**Figura 1.9:** Se observa la pérdida total del suelo agrícola, como consecuencia de la erosión siendo un espacio inservible donde no crece ningún tipo de vegetación, zona agrícola del centro poblado de Pampa Cangallo - Ayacucho.



Fuente: Propia, 2018.

**Figura 1.10:** Erosión de suelos; zona agrícola del centro poblado de Pampa Cangallo - Ayacucho.



Fuente: Propia, 2018.

Se realizó además algunas preguntas relacionadas sobre este problema de la erosión en donde los productores desconocían sobre el efecto de la erosión hídrica, también se vio que tienen una baja adopción de prácticas conservacionistas, cuya utilidad el productor aún no reconoce. Se observa que la mayoría de los centros poblados no cuentan con un plan estratégico y prácticas conservacionistas que cuiden los suelos, sino que lo usan con un fin económico de producir productos agrícolas sin percibir el efecto. La falta de información de las autoridades hacia la población correspondiente hace de esto un problema para las futuras generaciones.



## **1.3. Formulación del problema**

### **1.3.1. Problema principal**

El problema en que se centra esta tesis es:

- ¿Como afecta la Erosión Hídrica de suelos en la zonas agrícolas del centro poblado de Pampa Cangallo y que beneficios trae su determinación?

### **1.3.2. Problemas secundarios**

Presenta otros problemas, tales como:

- ¿Qué influencia tienen los factores físicos del lugar en la Erosión Potencial?
- ¿Qué influencia tienen el uso y manejo de los suelos agrícolas en la Erosión Actual?
- ¿Qué medidas de control se pueden adoptar para reducir los efectos frente a la Erosión Actual?

## **1.4. Justificación de la investigación**

Está ampliamente reconocido que la disponibilidad de nuevas tierras agrícolas a nivel global es escasa, por lo que la futura producción de alimentos dependerá en gran medida del mantenimiento de las condiciones de productividad de las tierras, sujetas actualmente a acelerados procesos de erosión, cuyo control es uno de los principales temas de la agenda ambiental mundial y aun más en los países en desarrollo (Ananda y Herat, 2003).

Su desarrollo está directamente relacionado con la disponibilidad de sus recursos naturales. Además, toda visión de desarrollo integrado y sostenible a través de los tiempos requiere que esos recursos naturales, y especialmente sus tierras agrícolas, mantengan su integridad física y capacidad productiva, en un marco de estabilidad ambiental y social.

## **1.5. Importancia de la investigación**

Este proyecto de tesis es importante para lo siguiente:

- El centro poblado de Pampa Cangallo de la región de Ayacucho es una zona agrícola donde se observa el problema de la erosión hídrica, es importante tomar en cuenta los efectos que produce este problema y también conocer las formas de poder controlar o amortiguar estos efectos.



- Por ello al determinar la erosión hídrica de suelos; en las zonas agrícolas del centro poblado de Pampa Cangallo podremos identificar las áreas de alto riesgo a la erosión hídrica la cual servirá para el desarrollo de estrategias que hagan sostenibles y sustentables las actividades agrícolas, tener una visión general de las técnicas de ordenamiento de tierras, buscar la prevención e identificar áreas donde se deban implementar medidas de rehabilitación, restauración de terrenos agrícolas degradados, la repoblación forestal y las prácticas adecuadas de cultivo, la recuperación de la cubierta vegetal y el aprovechamiento racional de la tierra.
- Es conveniente para la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, al tener un rol fundamental en el desarrollo de la región de Ayacucho, al incidir sobre estos trabajos de investigación aportando con la ciencia y tecnología al servicio de la población.

## 1.6. Objetivos

El presente trabajo de investigación, cumplirá con los siguientes objetivos:

### 1.6.1. Objetivo General

- Determinar la Erosión Hídrica de suelos; en las zonas agrícolas del centro poblado de Pampa Cangallo e identificar áreas de alto riesgo a la Erosión Hídrica.

**El objeto** sobre el que se implementa el estudio sería la determinación de la erosión hídrica de suelos; en la zonas agrícolas del centro poblado de Pampa Cangallo.

**El motivo** de la elección de este objeto de estudio está determinado por la característica del lugar además de ser una zona dedicada a la agricultura y ganadería.

### 1.6.2. Objetivos Específicos

- Determinar la Erosión Potencial.
- Determinar la Erosión Actual.
- Tomar las medidas de control que se adopten frente a la Erosión Actual y reduzcan sus efectos.



## 1.7. Hipótesis

### 1.7.1. Hipótesis principal

- La Erosión Hídrica de suelos tiene un efecto negativo en las zonas agrícolas del centro poblado de Pampa Cangallo, con su determinación se identifican áreas de alto riesgo a la erosión.

### 1.7.2. Hipótesis secundarias

- Los factores físicos del lugar influyen directamente en la erosión potencial.
- El uso y manejo de los suelos influyen directamente en la erosión actual.
- Las medidas de control adoptadas reducen los efectos de la erosión actual.

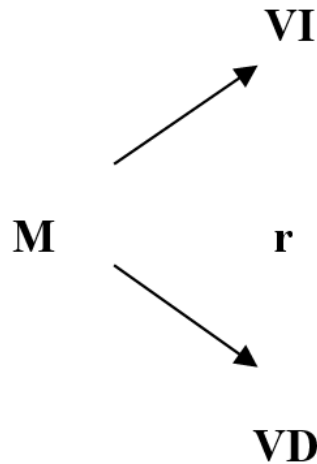
## 1.8. Variables e indicadores

Las variables tienen que cumplir con las exigencias de ser consistentes y estar concenadas en las subhipótesis que las cruzan.

**Tabla 1.2:** Variables e indicadores

<b>VARIABLES (VI, VD)</b>	<b>INDICADORES (VI, VD)</b>
<b>1. Variable Independiente (V.I)</b>	
<b>erosividad</b>	<b>precipitaciones</b>
<b>erodabilidad</b>	<b>suelo</b>
<b>longitud y gradiente</b>	<b>topografía</b>
<b>uso actual</b>	<b>cobertura vegetal</b>
<b>2.Variable dependiente (V.D)</b>	
<b>cantidad de material erodado</b>	<b>factores R, K, L, S, P</b>
<b>medidas de control</b>	<b>técnicas estructurales, manejo de suelo, cobertura vegetal</b>

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 1.11:** Diagrama simbólico de diseño.

Dónde:

M = Muestra

VI = Variable del factor de erosividad, erodabilidad, relieve, vegetación, uso de suelo.

VD = Variable de la erosión hídrica de suelos.

r = relación

## 1.9. Tipo y nivel de investigación

### 1.9.1. Tipo de investigación

La tipología de investigación para la presente tesis es Aplicativa - Experimental. Es aplicativa porque su objeto de investigación es una parte de la realidad concreta que se da en el tiempo y ocupa espacio: Centro poblado de Pampa Cangallo. Es experimental porque los estudios se realizan con la manipulación deliberada de variables y en los que se observan los fenómenos en su ambiente para después analizarlos.

### 1.9.2. Nivel de investigación

El nivel de investigación es Correlacional - Explicativa. Investigación correlacional; pues se tiene como finalidad establecer el grado de relación, se caracteriza porque primero se miden las variables y luego, mediante pruebas de hipótesis correlacionales y la aplicación de técnicas estadísticas, se estima la correlación.

Es explicativa porque trasciende o supera los niveles exploratorios y descriptivos, que usa; para llegar al nivel explicativo.



Se realiza la investigación para plantear propuestas para una realidad concreta, para conocer sus resultados y consecuencias, en este caso determinar la erosión hídrica de suelos para identificar áreas de alto riesgo a la erosión y adoptar las medidas de control necesarias ya que se requiere que las tierras, mantengan su integridad física y capacidad productiva, en un marco de estabilidad ambiental y social. El nivel de investigación es Experimental, porque la variable independiente influenciará a la variable dependiente ya que el resultado de este se dará en función de cuanto estén estudiadas, en nuestro caso para los suelos agrícolas del centro poblado de Pampa Cangallo - Ayacucho se hará uso del laboratorio de suelos.

## 1.10. Instrumentos utilizados

Para llegar al objetivo de la tesis, las aplicaciones utilizadas son:

**SIG** : Es una herramienta permite realizar análisis de sensibilidad en los modelos mediante la manipulación de variables, además posibilita la integración de fuentes diversas como elementos cartográficos, datos estadísticos, planillas de cálculo e imágenes satelitales.

**L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X** : Sistema de composición de textos, orientado a la creación de documentos escritos que presenten una alta calidad tipográfica. Para la generación y presentación del informe final.

## 1.11. Técnicas de recolección

Para obtener los datos se ha recurrido a lo siguiente:

- **La técnica del análisis documental;** utilizando como instrumentos fichas textuales y de resumen; se recurrió como fuentes a libros especializados, publicaciones especializadas en internet, documentos oficiales; que se ha aplicado para obtener los datos de los dominios de las variables: conceptos básicos.
- **La técnica de la observación de campo;** utilizando como instrumentos para recopilar datos como sistemas de cultivo,.
- **Extracción de muestras de suelo.**

# Capítulo II: Marco teórico

## 2.1. Erosión hídrica del suelo

La erosión del suelo es definida como un proceso de desagregación, transporte y deposición de materiales del suelo por agentes erosivos. La lluvia tiene efecto a través del impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie del suelo, y por el propio humedecimiento del suelo, que provocan desagregación de las partículas primarias; provoca también transporte de partículas por aspersion y proporciona energía al agua de la escorrentía superficial (ELLISON, 1948).

Aunque se trate de un fenómeno natural y lento ha sido acelerado como consecuencia de distintas actividades del hombre, la erosión inducida por el hombre es el resultado de un uso irracional y manejo pobre, como las prácticas agrícolas inapropiadas, sobrepastoreo y extracción o sobreexplotación de la vegetación natural (FAO, 1998).

La desagregación, transporte y sedimentación de las partículas del suelo por las gotas de lluvia y el escurrimiento superficial definen el proceso de erosión hídrica.

**Figura 2.12:** Impacto de la gota de lluvia sobre el suelo desnudo.

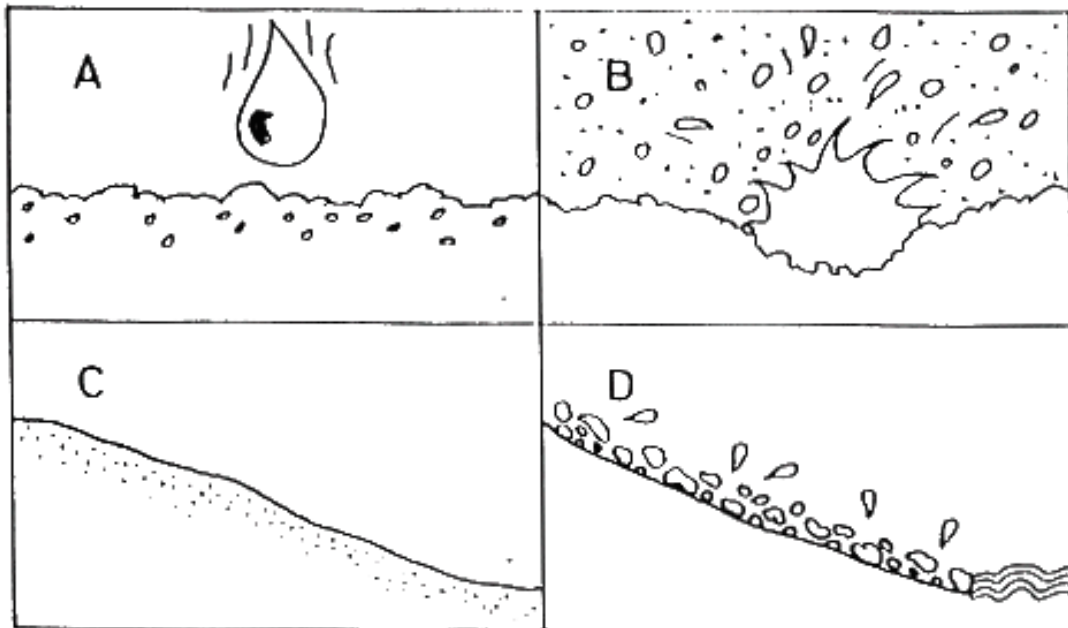


Fuente: USDA, 1940 en Derpsch, 2004.

DERPSCH (2004) menciona que cuando llueve, gotas de hasta 6 mm de diámetro bombardean la superficie del suelo a velocidades de impacto de hasta 32 km por hora. El impacto de la gota lanza partículas de suelo y agua en todas direcciones a una distancia de hasta 1 m [Figura 2.12].

### 2.1.1. Etapas de la Erosión Hídrica

Figura 2.13: Etapas de la erosión hídrica.



Fuente: Derpsch et al, 1991.

Las Etapas en las que ocurre este fenómeno son:

- (A), impacto de la gota de lluvia sobre el suelo desnudo,
- (B), sus agregados son desintegrados en partículas minúsculas,
- (C), que tapan los poros formando una selladura superficial (C), provocando el escurrimiento superficial del agua de lluvia,
- (D), el agua que escurre carga partículas de suelo que son depositadas en lugares más bajos cuando la velocidad de escurrimiento es reducida (DERPSCH, 2004).

Es importante mencionar el impacto que produce este fenómeno que en muchos casos pasa por desapercibido, se dice que las gotas de lluvia que caen durante un año en una hectárea de tierra, ejercen un impacto de energía equivalente a 50 toneladas de dinamita (Meyer y Mannering, 1967).

### 2.1.2. Factores que originan La Erosión Hídrica

- Los factores climáticos tienen un papel importante, siendo las precipitaciones tanto en su intensidad como en su duración, el elemento desencadenante del proceso. Cuando el volumen o la intensidad de la lluvia son altos y superiores a la velocidad de infiltración del suelo, se genera escurrimiento y consecuentemente la erosión.
- Las características del suelo como su agregación, su textura, su capacidad de infiltración, entre otras, afectan su erosionabilidad. En la erosión por impacto es



importante la estabilidad de los agregados del suelo. En la erosión por escurrimiento influyen la capacidad de infiltración y la textura. En los suelos de texturas gruesas, los valores de infiltración se mantienen altos y por lo tanto el escurrimiento es menor que en los suelos de texturas finas, que resultan más expuestos a la erosión.

- La vegetación varía con la época del año, cultivo, grado de cobertura y desarrollo de raíces, se puede considerar que su efecto se relaciona directamente con la interceptación, velocidad de escurrimiento e infiltración. La presencia de una cobertura vegetal tiene influencia directa en la absorción de la energía de las gotas de lluvia y en la disminución de la velocidad de escurrimiento. En ausencia de dicha cobertura, en suelos desnudos, como los grandes pedales producto del sobrepastoreo del ganado en la zona de chaco, los valores de pérdida de suelos son importantes.
- La topografía influye en el proceso a través de la pendiente. Debiéndose considerar su longitud, magnitud y forma. Frecuentemente el grado origina problemas más agudos que la longitud de la pendiente. En cuanto a la longitud de la pendiente, el efecto es variable de acuerdo a la naturaleza de la precipitación, a la cobertura vegetal y a la textura del suelo. La mayor longitud de la pendiente hace aumentar el espesor de la lámina de escurrimiento o carga hidráulica (GUANCA, 2010).

### 2.1.3. Tipos de Erosión Hídrica

Atendiendo a la forma como tiene lugar la erosión, cabe distinguir los siguientes procesos de erosión hídrica.

- Erosión laminar.
- Erosión por surcos.
- Erosión en cárcavas.

#### 2.1.3.1. Erosión laminar

La fuerza erosiva de las gotas de lluvia es la que actúa en la zona entre surcos. Parte del suelo que se desprende, se mueve radialmente debido al impacto de las gotas, mientras que la película de agua que cubre el suelo va creciendo verticalmente y rompe en pequeñas gotas que pueden transportar el suelo hasta 0,60 m de alto y 1,5 m de largo (SCHWAB et al, 1981 en Marelli 2004). Es la remoción de una lámina delgada desde la superficie en terrenos inclinados. Una erosión inapreciable, aunque la cantidad de tierra removida es importante. El resultado se manifiesta en sectores de suelo de color claro en las partes elevadas del terreno, ya que desaparece la capa superior oscura, rica en materia orgánica y aparece el subsuelo. Primero se desprenden partículas del suelo por acción de las gotas, entrando en suspensión en el agua y luego son transportadas y alejadas de su emplazamiento (GUANCA, 2010)..



**Figura 2.14:** Manifestaciones de erosión laminar.



Fuente:(SECYOT-UNRC)

### 2.1.3.2. Erosión por surcos

El agua de lluvia se concentra en pequeñas depresiones y cuando las rebasa, fluye adoptando la trayectoria de mínima resistencia, portando sedimentos en suspensión y formando surcos. La erosión en surcos transporta menos material que la laminar y por lo tanto los daños son menores pero más visibles. El desprendimiento se origina por la energía del flujo de agua. Es un proceso hidráulico donde el escurrimiento comienza a desagregar el suelo en la interfase suelo-agua y continúa con el transporte de estas partículas. La mayoría de los surcos se forman por la acción retrocedente, dependiendo esto de la textura del mismo, de la labranza, de la pendiente y del pico de descarga del escurrimiento. La formación de estos surcos de erosión puede evitarse o atenuarse con pequeños obstáculos que se conforman con la labranza conservacionista (rastrojo) y las raíces de los cultivos (GUANCA, 2010)..

**Figura 2.15:** Manifestaciones de erosión en surcos.



Fuente:(SECYOT-UNRC)

### 2.1.3.3. Erosión en cárcavas

Es una erosión muy intensa, que disecta profundamente el suelo. La erosión en cárcava es similar a la Erosión en surcos, la diferencia está en que en ésta la presencia de una capa erosionable tiene mayor importancia, teniendo en cuenta el volumen de escurrimiento que puede correr en un surco, comparado con el que pasa por una cárcava. Es la expresión máxima del proceso erosivo por el agua. Ya que las cárcavas se forman en lugares por donde escurre el drenaje superficial o desagüe natural del área, es conveniente eliminar el problema cuando recién se inicia, realizando prácticas de manejo y conservación de suelos adecuadas (GUANCA, 2010).

**Figura 2.16:** Manifestaciones de erosión en cárcavas.



Fuente:(SECYOT-UNRC)

### 2.1.4. Métodos para determinar la erosión hídrica

De forma general, los métodos para cuantificar la erosión hídrica se dividen en dos tipos: los directos y los indirectos, los primeros son aquellos que permiten la generación de información con base en la cual se puede hacer la modelación del fenómeno, a través de expresiones matemáticas, por ejemplo la medición de variaciones de nivel superficial, estacas de erosión, parcelas de escorrentía, cajas Gerlach, medición de la erosión por salpicadura, método de clavos y rondanas, transecto de cárcavas, entre otros (LEÓN, 2010). MORGAN (1979) los métodos indirectos son estimaciones de las pérdidas de suelo; se dividen en determinísticos y paramétricos; los primeros están basados en ecuaciones matemáticas a objeto de describir los procesos involucrados en el modelo, tomando en consideración las leyes de conservación de la materia y energía. Por otra parte, los modelos de tipo paramétrico, se basan en la identificación de relaciones estadísticamente significativas entre variables, que se asume son importantes, cuando se cuenta con una razonable base de datos; como ejemplo de este modelo se destaca la ecuación universal de pérdida de suelo - EUPS (Flores Villanueva, 2015).



**Figura 2.17:** Clasificación de los modelos según el tipo de información que se obtiene.

CUALITATIVOS: Establecen una graduación ordinal en la magnitud del proceso erosivo en una área determinada.	Formas de erosión.	
	Grados de erosión	
CUANTITATIVOS: Permiten la estimación numérica de la erosión, y definiendo rangos, establecer estados erosivos.	Evaluación Directa: Medidas en el terreno, ensayos o medidas de parámetros asociados a los sedimentos.	
	Evaluación Indirecta: Con relaciones empíricas entre factores o parámetros.	Físicos
		Estadísticos
		Paramétricos

Fuente: Almorox et al., (1994)

#### 2.1.4.1. Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.(Universal Soil Loss Equation) USLE .

La Ecuación Universal de Perdida de Suelo (EUPS) es un método que ha sido ampliamente aplicado en planificación conservacionista de suelo. La erosión laminar y en surco anual promedio de un sitio particular, bajo determinadas condiciones, puede ser pronosticado por medio de la Ecuación Universal de Perdida de Suelo. Esta ecuación es una herramienta muy útil para la evaluación de la severidad de erosión laminar y en surco y determinación de las partículas de control de erosión necesarias para sostener perdidas de erosión anuales promedios dentro de un nivel aceptable de erosión. Fue diseñada para áreas agrícolas y de construcción, pero puede ser adaptada a otras condiciones. La EUPS calcula la perdida de suelo anual promedio de erosión laminar y en surco sobre un terreno en función de las características de la lluvia, propiedades del suelo, rasgos topográficos, uso de la tierra y practicas de manejo. En su forma actual sus relaciones y valores de parámetros son casi enteramente derivados de datos experimentales en los Estados Unidos de Norteamérica (INETER, 2005).

## 2.2. Ecuación Universal de Pérdidas de Suelos Revisada (RUSLE).

VELÁSQUEZ (2008) indica que los factores de la EUPS se desarrollaron mediante una unidad de evaluación llamada la parcela estándar; una parcela estándar es de una longitud de 22,13 metros sobre una pendiente uniforme de 9 por ciento en sentido longitudinal. La parcela fue labrada hacia arriba y hacia abajo de la pendiente y estuvo bajo barbecho continuo durante por lo menos dos años. La parcela estándar es simplemente resultado del desarrollo histórico de la EUPS. Los datos básicos a menudo se obtenían de parcelas de 40,5 m<sup>2</sup> (0.01 acres) de tamaño. Para una anchura adecuada de 1,83 metros (6 pies) se requería una longitud de parcela de 22,13 metros (72,6 pies). Gran parte de los datos se tomaron de las superficies que se desviaban de la parcela



estándar y permitía obtener las escalas para el análisis estadístico que condujeron a la formulación de la EUPS. Sin embargo, la parcela estándar se tomó como base para definir la variación en L, S, C, y P.

Renard et al. (1997), citado por VELÁSQUEZ (2008) mencionan que, con investigación adicional, experimentos, datos y recursos estuvieron a la disponibilidad de investigadores y científicos que continuaron mejorando la USLE, lo que llevó al desarrollo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE).

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelos Revisada (RUSLE) es una revisión de la USLE, donde se mantiene la misma estructura general, pero se modificó la forma de obtención de cada uno de los factores del modelo (Renard et al., 1997, citado por VEGA y FEBLES, 2005). Aunque fue desarrollado para pequeñas pendientes, USLE y sus resultados han sido incorporados en aplicaciones de modelación de erosión y transporte de sedimento a escala de cuenca. Los requerimientos de datos de entrada son bajos, comparado con muchos otros modelos: lluvia anual, un estimado de la erodabilidad, información de la cobertura de suelo y la topografía. Dando como resultado una estimación de la pérdida de suelo anual promedio (Merritt et al. (2003), citado por ALONSO et al., 2007).

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

Dónde:

**A** es la cantidad de material erodado calculado o medido expresado en toneladas por hectárea para una duración de lluvia específica. A tiene las unidades de K, en el periodo de tiempo seleccionado para R.

**R** es el factor de lluvia en forma de un índice (EI30), que es medido por el poder erosivo de la lluvia expresado en toneladas métricas por hectárea hora o en joule por metro cuadrado, una medida de la fuerzas erosivas de la lluvia y escurrimiento asociado.

**K** es el factor de erodabilidad del suelo, es erosión estándar en tonelada por hectárea por unidad de erosividad R, para un suelo específico con una pendiente uniforme de 9% de gradiente y 22,13 m de longitud de pendiente en barbecho limpio labrado, es una medida de la susceptibilidad inherente de la partículas del suelo a la erosión.

**L** es el factor longitud de pendiente, expresa la relación de pérdida de suelo de una pendiente con una longitud dada y la pérdida de suelo de una pendiente con una longitud estándar de 22,13 m, con idénticos valores de erodabilidad y gradiente de pendiente; **S** es el factor de gradiente de pendiente, expresa la relación de pérdida de suelo de una gradiente de pendiente específica y la pérdida de suelos de una pendiente con gradiente estándar de 9%, bajo otras condiciones similares, definen el efecto de la inclinación de la pendiente sobre la pérdida de suelo por unidad de área.

**C** es el factor combinado de vegetación y manejo, expresa la relación de pérdida



de suelo de un área con cobertura y manejo específicos a una área similar pero en barbecho continuamente labrado.

**P** es el factor prácticas de conservación de suelo que expresa la relación de pérdida de suelo de un área con cobertura y manejo específico, como cultivo en contorno, cultivo en bandas o terrazas, con otro con labranza a favor de la pendiente.

**Figura 2.18:** Dimensiones y unidades de los factores del modelo RUSLE.

Símbolo	Dimensión	Unidades métricas
A	$\frac{M}{L^2 * T}$	$\frac{tm}{ha * año}$
	$\frac{L * F * L}{L^2 * T * T}$	$\frac{Mj * mm}{ha * hrs * año}$
	$\frac{M * L^2 * T}{L^2 * L * F * L}$	$\frac{tm * ha * hrs}{ha * MJ * mm}$

Fuente: Renard et al. (1997), citado por MESÉN (2009)

RAMÍREZ (2010) nos dice que, los términos (R, K, L y S), establecen la influencia de los factores físicos del lugar, poco modificables por el hombre. Representan la pérdida de suelo que ocurriría en ese sitio si todo el año el suelo estuviese desnudo; por esa razón a este producto parcial se lo denomina erosión potencial (EP).

RAMÍREZ (2010) nos indica que el producto de (RKLS) por los valores de C y P permite estimar la erosión actual (EA). Estos valores dependen del porcentaje de cobertura natural y del manejo que cada productor haga de su campo. Para diferentes manejos corresponden diferentes valores de C y P; estos valores se encuentran tabulados.

WISCHMEIER y SMITH (1978) describen cada uno de estos factores y proporcionan métodos para evaluarlos. El USLE / RUSLE fue desarrollado para:

- Predecir el movimiento promedio anual de suelos desde una pendiente específica, bajo condiciones de uso y manejo específicos.



- Orientar la selección de prácticas de conservación para localidades específicas. Para ello, es preciso conocer la tolerancia de pérdidas de suelo del terreno, lo que a su vez permitirá efectuar la ordenación agroecológica del espacio considerado.
- Estimar la reducción de pérdida de suelos que se puede lograr con cambios de manejo efectuados por el agricultor.
- Determinar el largo máximo de pendiente tolerable para un sistema de cultivo determinado.

### 2.2.1. Factor R o índice de erosividad de la lluvia

RAMÍREZ (2010) nos dice que el factor R representa la capacidad potencial de las lluvias para generar erosión; es función de las características físicas de las mismas (intensidad, duración, velocidad y tamaño de las gotas) y además la altitud incide significativamente en los valores obtenidos (ANTEZANA, 2001); del mismo modo RAMÍREZ et al. (2007) nos dice que, existe una relación directa entre la erosividad y la precipitación anual, dada la definición misma de dicho índices.

INETER (2005) nos dice que, los más conocidos al respecto fueron desarrollados por: Wischmeier y Smith (1963), Athesian (1974), Delwaulle (1973), Roose (1975), Klingebiel (1972), Hudson (1971), Lal (1976), Arnoldus (1978), Morgan (1974) y Foster (1981).

Para fines prácticos, por la ausencia de información de datos pluviográficos en estaciones meteorológicas ha limitado la aplicación de esta metodología Wischmeier; además la dificultad para determinar el factor R de la RUSLE, ya que para su cálculo debe contarse con registros pluviográficos diarios durante un número elevado de años, y calcular la energía cinética y la intensidad de los aguaceros en forma aislada, diversos autores han propuesto métodos adicionales para definir el factor de la erosividad de una manera simple y aplicable a las condiciones regionales (RAMÍREZ et al., 2007).

#### 2.2.1.1. Método de Morgan

MORGAN (1997) nos dice que, este método fue propuesto para lugares de alta precipitación y está dado por la siguiente fórmula:

$$R = 130 (9,28P - 8383) / 1000$$

Dónde:



I30 = 75 mm/h (valor recomendado por Wischmeier).

P = Precipitación promedio anual en mm.

### 2.2.1.2. Método de Foster

Este método citado por MORGAN (1997), es otro índice de erosividad, que se expresa por la siguiente fórmula:

$$R = 0,276P * I30 / 100$$

Dónde:

I30 = 75 mm/h (valor recomendado por Wischmeier).

P = Precipitación promedio anual en mm.

### Componente I30 de la ecuación Morgan y Foster

KIRBY y MORGAN (1984) mencionan que los estudios han demostrado que el tamaño mediano de las gotas de lluvia no continúa aumentando con intensidades de precipitación pluvial superiores a 75 mm/h.

MANNAERTS (1999), nos dice que por tanto, las recomendaciones actuales (Wischmeier y Smith, 1978) son: que se utilice un límite superior de 76,2 mm/h para calcular la energía por unidad de precipitación pluvial y se establezca un límite inferior de 63,5 mm/h para el componente I30, con un valor recomendado de 75 mm/h, para zonas de alta precipitación.

### 2.2.1.3. Método de Roose

Este método citado por MORGAN (1997), es otro índice de erosividad que considera la precipitación promedio anual y se expresa por la siguiente fórmula:

$$R = 1,73 * 0,5 * P (4)$$

Dónde:

P = Precipitación promedio anual en mm.



#### 2.2.1.4. Índice modificado de Fournier

INETER (2005) y PIZARRO (2007) nos dicen que, el índice modificado de Fournier fue desarrollado por Arnoldus (1978), para corregir posibles desviaciones en el índice de Fournier, considerando las precipitaciones de todos los meses para un periodo de tiempo, considera no solamente el mes de mayor precipitación sino también el resto de los meses.

Arnoldus (1978), citado por RAMÍREZ (2010), basado en trabajos de Fournier, nos dice que el índice modificado de Fournier (IMF), es un método práctico que utiliza una fórmula obtenida por regresión lineal en la cual correlacionó valores conocidos de R con las lluvias medias anuales.

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

Dónde:

i = número del mes

p = precipitación mensual en mm.

P = precipitación promedio anual en mm.

RAMÍREZ (2010) nos dice que, este índice fue utilizado por FAO en la elaboración del mapa universal de degradación de suelos. Las principales ventajas que muestra son el empleo de datos meteorológicos simples y una buena correlación con valores medidos conocidos del factor R, empleando el índice I30. Esta ecuación se probó en diferentes regiones del mundo obteniéndose en general un alto grado de correlación (0,89).

Arnoldus (1980) y Hoyos et al. (2005), citado por RAMÍREZ et al. (2007), establecieron que el IMF es considerado como un buen estimador de la erosividad de las lluvias para el modelamiento de los procesos erosivos en zonas tropicales.

RAMÍREZ et al. (2007) indica que en la zona cafetera colombiana se evaluó la erosividad de las lluvias mediante el índice de erosión pluvial de Fournier y se correlacionó con el factor de erosividad propuesto por Wischmeier y Smith (1965), y como resultado se encontró una regresión lineal alta ( $R^2 = 0,92$ ), entre estos dos factores.



**Tabla 2.3:** Clasificación de IFM para latinoamérica.

Clase	Rango	Calificación
1	Menor de 60	Muy bajo
2	60 a 90	Bajo
3	90 a 120	Moderado
4	120 a 160	Alto
5	Mayor de 160	Muy Alto

Fuente: Lobo et al. (2006), citado por RAMÍREZ et al., 2007

## 2.2.2. Factor K o índice de erodabilidad

Representa la susceptibilidad del suelo a ser erosionado. Algunos se erosionan más rápidamente que otros aun cuando las pendientes, lluvia, cobertura y prácticas de manejo sean las mismas, debido a las propiedades intrínsecas del suelo (Villanueva et al. (2002), citado por VELÁSQUEZ, 2008).

CERDÀ (2001) expresa su resistencia ante la erosión, tanto al arranque como al transporte de partículas, y determinará las tasas de erosión; textura y estructura son las propiedades más estudiadas para identificar los suelos en función de su susceptibilidad ante la erosión. La estabilidad de los agregados es un parámetro sintético que identifica la erosionabilidad del suelo.

Un suelo que mantiene una buena agregación hace difícil el proceso de erosión porque las partículas se mantienen unidas y porque permite el flujo de agua en su interior. En cambio, cuando los agregados se dispersan, las partículas son fácilmente erosionables, se taponan los poros y el agua en lugar de infiltrarse fluye en superficie. Otros factores que influyen sobre la erosionabilidad de un suelo son su permeabilidad y su contenido en materia orgánica.

INETER et al. (2005) nos dice que, los suelos altos en limo o arena muy fina erosionan más rápidamente. La erodabilidad disminuye a medida que el contenido de partículas de arcilla y arena (excluyendo arena muy fina) incrementan. Del mismo modo VELÁSQUEZ (2008) y RAMÍREZ (2010) nos dicen que, los suelos con alto contenido de arcilla tienen bajos valores de K, por su resistencia al desprendimiento de las partículas de suelo. Suelos con texturas gruesas, como los arenosos, tienen también bajos valores de erodabilidad, aunque estos suelos son fácilmente erodables. Suelos con texturas medias como los francos, tienen un valor moderado de K, de cerca de 0,25 a 0,4 ya que son moderadamente susceptibles al desprendimiento y producen una escorrentía moderada. Suelos que contienen un alto contenido de limo son los más erodables, ya que son fácilmente desprendibles, tienden a formar una costra y producir altas tasas de escorrentía. Los valores de K de estos suelos tienden a ser mayores que 0,4.



La materia orgánica del suelo mejora la estructura, infiltración y agregación y disminuye la erodabilidad, pero agregados grandes pueden aun ser transportados por escorrentía de alta velocidad. La permeabilidad del perfil es importante debido a su influencia en la escorrentía (VELÁSQUEZ, 2008).

**Tabla 2.4:** Calificación del factor materia orgánica.

Clase	% MO	Calificación
Muy bajo	<1 %	1
Bajo	1-1.5 %	2
Medio	1.5-2.5 %	3
Alto	2.5-6 %	4
Muy Alto	>6 %	5

Fuente: IDEAM, 1999

**Figura 2.19:** Clase de permeabilidad según textura.

Clase de permeabilidad	USDA (1983)	Rawis <i>et al.</i> (1982)	Hudson (1982)
	Textura	$K_{fs}$ (m día <sup>-1</sup> )	$K_{fs}$ (m día <sup>-1</sup> )
1 (rápida y muy rápida)	Arenosa	>1.463	>3
2 (moderada a rápida)	Arenosa franca, franco arenosa	0.488 - 1.463	1.5 - 3
3 (moderada)	Franca, franco limosa, limosa	0.122 - 0.488	0.48 - 1.5
4 (lenta a moderada)	Franco arcillo arenoso, franco arcillosa	0.049 - 0.122	0.12 - 0.48
5 (lenta)	Franco arcillo limosa, arcillo arenosa	0.024 - 0.049	0.03 - 0.120
6 (muy lenta)	Arcillosa arcillo limosa	<0.024	<0.03

Fuente: Manual de suelos N° 430 (USDA, 1983)



**Tabla 2.5:** Parámetros de estructura del suelo a profundidades de 15 a 18 cm Superficiales

Clase de estructura	USDA (1983)
1	Granular y migajosa muy fina (<1 mm)
2	Granular y migajosa fina (1 - 2 mm)
3	Granular y migajosa media (2 - 5 mm) y granular grosera ( 5 - 10 mm)
4	Granular y prismática muy grosera y columnar (>10 mm)

Fuente: Manual de suelos N° 430 (USDA, 1983)

**Tabla 2.6:** Clasificación de los grados de erodabilidad según USDA (1962)

Valor de K (T ha. H/MJ MM ha. )	Clasificación
0.007902	Muy poco erodable
0.0079 - 0.0171	Débilmente erodable
0.0171 - 0.0329	Medianamente erodable
0.0342 - 0.0684	Fuertemente erodable
0.0684 - 0.1027	Extremadamente erodable

Fuente: AMESQUITA, 1990



**Tabla 2.7:** Factores de erodabilidad del suelo K asociados a la textura y al contenido de materia orgánica según Kirkby y Morgan (1980)

Textura	Valores de K		
	Contenido de materia orgánica		
	<0.5 %	2 %	4 %
Arena	0.007	0.004	0.003
Arena fina	0.021	0.018	0.013
Arena muy fina	0.055	0.047	0.037
Arena franca	0.016	0.013	0.011
Arena fina franca	0.032	0.026	0.021
Arena muy fina franca	0.058	0.05	0.04
Franco arenoso	0.036	0.032	0.025
Franco arenoso fino	0.046	0.04	0.032
Franco arenoso muy fino	0.062	0.054	0.043
Franco	0.05	0.045	0.038
Limo franco	0.063	0.055	0.043
Limo	0.079	0.068	0.055
Franco areno arcilloso	0.036	0.033	0.028
Franco arcilloso	0.037	0.033	0.028
Franco arcillo limoso	0.049	0.042	0.034
Arcilla arenosa	0.018	0.017	0.016
Arcilla limosa	0.033	0.03	0.025
Arcilla	0.017 - 0.038		

Fuente: KIRKBY y MORGAN (1980)

### 2.2.3. Factor LS o longitud y gradiente de la pendiente

RAMÍREZ (2010) afirma que, al factor LS se conoce con el nombre de factor topográfico. Expresa el efecto del relieve sobre la pérdida de suelos, representando el efecto del largo y grado de la pendiente. Según INETER (2005), a medida que la escorrentía se acumula en una pendiente alargada, su capacidad de desprender y transportar se incrementa.

L es el factor de longitud de la pendiente y representa su efecto en la erosión (adimensional). Es la razón entre la pérdida de suelo en la longitud de pendiente en campo con respecto a la longitud de una parcela de 22,13 m en el mismo tipo de suelo y gradiente. La longitud de la pendiente es la distancia desde el origen de la escorrentía superficial a lo largo de su vía de flujo a la localidad donde se concentra el flujo o donde se deposita el suelo desprendido. Afortunadamente, los valores de pérdida de suelo no son especialmente sensitivos a la longitud de la pendiente y las diferencias en longitud de +0 - 10 % no son importantes en la mayoría de pendientes.

S es el grado de inclinación de la pendiente. Representa los efectos de la inclinación en



la erosión. La pérdida de suelo se incrementa más rápidamente con pendientes muy escarpadas en comparación con el incremento en longitud de la pendiente. Se define como el cociente de la pérdida de suelo en el campo entre la que ocurre en una parcela de 9 % de inclinación bajo idénticas condiciones. La relación entre la pérdida del suelo y la gradiente se ve influenciada por la densidad de la cobertura vegetal y el tamaño de las partículas del suelo.

Generalmente, el factor L y S se consideran juntos. Los factores LS juntos son iguales a 1 bajo condiciones de la parcela unitaria de 22,13 m y 9 % de inclinación. Los valores de L y S son relativos y representan que tan erodable es una longitud e inclinación particulares en relación a los 22,13 m de largo y 9 % de inclinación de la parcela unitaria, algunos valores de LS son menores que 1 y otros mayores que 1. Métodos para su determinación:

### 2.2.3.1. Método de Mintegui (1983)

GARCÍA (2005) nos dice que, este método fue elaborado por la Cátedra de Hidráulica e Hidrología de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes de Madrid, mediante la correlación con el mapa de pendientes. Este estudio permitió la elaboración de una tabla que asigna directamente el valor del factor LS en función de la pendiente (RAMOS, 2001).

**Tabla 2.8:** Valores del factor LS en función de la pendiente.

Gradiente de Pendiente (%)	Factor LS
0 – 3	0,3
3 – 12	1,5
12 – 18	3,4
18 – 24	5,6
24 – 30	8,7
30 – 60	14,6
60 – 70	20,2
70 – 100	25,2
Más de 100	28,5

Fuente: Mintegui (1983), citado por RAMOS (2001) y GARCÍA (2005)



### 2.2.3.2. Método de Renard

Renard et al. (1997), citado por BARRIOS y QUIÑONEZ (2000) y VELÁSQUEZ (2008), nos dice que el factor LS se calcula aplicando las ecuaciones empleadas en RUSLE.

#### a. El factor L

Donde  $L$  es la longitud de la pendiente (m),  $m$  es el exponente de la longitud de la pendiente y  $\beta$  es el ángulo de la pendiente. La longitud de la pendiente se define como la distancia horizontal desde donde se origina el flujo superficial al punto donde comienza la deposición o donde la escorrentía fluye a un canal definido (Foster et al. (1977), citado por BARRIOS y QUIÑONEZ, 2000).

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

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

$$F = \frac{\sin\beta/0,0896}{3(\sin\beta)^{0,8} + 0,56}$$

El factor L con el área de drenaje aportadora (Desmet y Govers, 1996, citado por VELÁSQUEZ, 2008).

$$L_{(i,j)} = \frac{(A_{(i,j)} + D^2)^{m+1} - A_{(i,j)}^{m+1}}{X^m \cdot D^{m+2} \cdot (22.3)^m}$$

Donde A (i, j) [m] es el área aportadora unitaria a la entrada de un pixel (celda), D es el tamaño del pixel y x es el factor de corrección de forma.

#### b. El factor S

El ángulo  $\beta$  se toma como el ángulo medio a todos los subgrids en la dirección de mayor pendiente (McCOOL et al., 1987,1989, citado por BARRIOS y QUINONEZ, 2000).

$$S_{(i,j)} = \begin{cases} 10,8 \sin \beta_{(i,j)} + 0,03 & \tan \beta_{(i,j)} < 0,09 \\ 16,8 \sin \beta_{(i,j)} - 0,5 & \tan \beta_{(i,j)} \geq 0,09 \end{cases}$$



VELÁSQUEZ (2008) nos dice que, cuando se aplica esta fórmula en el Raster Calculator de ArcGIS 10.2.2, se debe tomar en cuenta que el ángulo deberá ser convertido a radianes (1 grado sexagesimal = 0,01745 radianes), para que pueda ser multiplicado por los demás componentes de las ecuaciones.

#### 2.2.4. Factor C o de cobertura vegetal

INETER (2005) nos dice que, la cobertura de suelo es la más grande defensa contra la erosión de suelo, pero un mantenimiento de variables de sistema de cultivos y manejo también influyen altamente en la habilidad de la superficie de suelo a resistir erosión. VELÁSQUEZ (2008) nos dice que, C es el factor de manejo de cultivo. El factor C se utiliza para reflejar el efecto del cultivo y las prácticas de manejo en las tasas de erosión. Es el factor que se utiliza más a menudo para comparar los impactos relativos de las opciones de manejo en los planes de conservación. El factor C indica cómo el plan de conservación afectará la pérdida promedio anual y cómo la pérdida potencial de suelo será distribuida en el tiempo durante las actividades de construcción, rotaciones de cultivo u otros esquemas de manejo.

El factor C se basa en el concepto de la desviación en relación a un estándar, en este caso un área limpia de cultivos y en barbecho continuo. La tasa de pérdida de suelo es entonces un estimado de la tasa de pérdida de suelo en las condiciones actuales en relación a aquella que se experimentaría bajo las condiciones de referencia.

“C” representa los efectos de las plantas, la cobertura del suelo, la biomasa del suelo y las actividades disturbadoras del suelo en los procesos de erosión. La RUSLE calcula las tasas de pérdida del suelo, que son las tasas de pérdida en un momento dado, en una secuencia de manejo de cobertura, en relación a la pérdida de suelo en la parcela unitaria. El valor del factor “C” es una tasa promedio ponderado con respecto al factor R durante el año.

**Tabla 2.9:** Valores de “C” según el uso de tierra

Cultivo y Práctica	Media anual del factor C
Suelo desnudo	1,00
Bosque	0,001
Arroz	0,60
Caña de azúcar	0,10 – 0,20
Arbolado denso	0,001 – 0,003
Arbolado forestal claro	0,003 – 0,009
Arbolado forestal muy claro	0,041
Cultivos anuales y herbáceos	0,25
Pasturas	0,15
Purma	0,035
Cubierta escasa (60 %)	0,15 – 0,09

Fuente: Wischmeier y Smith (1978), citado por RAMOS (2001)



## 2.2.5. Factor P o de prácticas de conservación de suelos

VELÁSQUEZ (2008), define al factor “P” como el factor de prácticas de control de erosión. El factor P de la RUSLE refleja el impacto que las prácticas de control que tienen sobre la tasa de erosión.

INETER (2005) nos dice que, el factor P representa el efecto de mejores prácticas como cultivo en contorno o en bandas. Su valor depende de la pendiente del terreno y puede ser obtenido de tablas. Los valores de P varían entre 0 y 1. La determinación del factor P por efecto de incluir prácticas de conservación de suelos, son obtenidos de valores obtenidos en ensayos experimentales.

En la zona de estudio no se observan prácticas de este tipo, por lo que este factor no se ha considerado, pero citamos las tablas como referencia:

**Tabla 2.10:** Valores de “P” para cultivos en contorno y su máxima longitud permitida entre obras

Gradiente de Pendiente (%)	Factor P	Máxima longitud de pendiente (m)
1 – 2	0,60	120 – 180
3 – 5	0,50	90 – 100
6 – 8	0,50	60 – 65
9 – 12	0,60	40
13 – 16	0,70	25
17 – 20	0,80	20
21 – 25	0,90	15

Fuente: Wischmeier y Smith (1978), citado por INETER (2005)



**Tabla 2.11:** Valores de “P” para curvas a nivel.

Prácticas de conservación	Factor P
Cultivo a nivel $s= 0 - 1^\circ$	0,60
Cultivo a nivel $s= 2 - 5^\circ$	0,50
Cultivo a nivel $s= 6 - 7^\circ$	0,60
Cultivo a nivel $s= 8 - 9^\circ$	0,70
Cultivo a nivel $s= 10 - 11^\circ$	0,80
Cultivo a nivel $s= 12 - 14^\circ$	0,90

Fuente: RAMOS (2001)

**Tabla 2.12:** Valores de P para barreras con la distancia máxima entre obras.

Gradiente de Pendiente (%)	Barreras Vivas P	Barreras Muertas P	Distancia (m)
1 – 2	0,50	-	40
3 – 5	0,40	-	33
6 – 8	0,40	-	30
9 – 12	0,50	-	25
13 – 16	0,55	0,60	15
17 – 20	0,60	0,65	12
21 – 25	0,65	0,70	10
26 – 30	0,70	0,75	9
31 – 35	0,75	0,80	9

Fuente: Wischmeier y Smith (1978), citado por INETER (2005).



## 2.2.6. Pérdida de suelo (A)

El concepto de “las pérdidas tolerables” o niveles aceptables de erosión, manejado objetivamente, puede ser instrumento valioso en la identificación de problemas erosivos y en la selección de métodos de control para minimizar las pérdidas. Naturalmente, la pérdida Aceptable de suelo depende de las condiciones del mismo: si se trata de un suelo profundo con fertilidad similar a lo largo de todo el perfil, una pérdida de 25 mm en 30 años es mucho menos que si se trata de un suelo de pocos centímetros descansando sobre roca dura. En este caso la cifra tope excede raras veces 12,5 tm/ha/año; y frecuentemente es menor. En Estados Unidos son comunes objetivos de 2,5 a 12,5 tm/ha/año, y la Federación Centroafricana no admite más de 10 tm/ha/año para suelos arenosos y 12,5 tm/ha/año para suelos arcillosos ( NUNEZ , 2001).

El límite de erosión aceptado internacionalmente como admisible oscila en torno a las 10 - 12 tm/ha/año, aunque se cree que en zonas húmedas esta cifra puede elevarse hasta las 25 tm/ha/año. Por encima de esta cifra no se garantiza la conservación de los suelos, ya que la destrucción es más rápida que la creación de suelo (RAMOS, 2001).

**Tabla 2.13:** Clasificación de los niveles de intensidad de pérdida de suelo. Pérdidas de suelo tolerables.

Intensidad de Amenaza	Pérdida de suelo (tm/ha/año)
Baja	Menor a 5
Moderada	5 – 25
Media	25 – 50
Alta	50 – 100
Muy Alta	100 – 200
Crítica	Más de 200

Fuente: Adaptado de FAO, UNESCO, PNUMA (1980), citado por EDESOS (1997), RAMOS (2001, 2009), VELÁSQUEZ (2008) y RAMÍREZ (2010)

La FAO clasifica la erosión de la ecuación universal de pérdida de suelo (EUPS o USLE) como lo muestran las siguientes clases (MARMOL, 2006).

### 2.2.6.1. Nula a ligera

Tierras sin degradación o que presentan erosión laminar. Los suelos mantienen aún sus características biológicas (materia orgánica) y físicas (estabilidad estructural), lo que permite realizar actividades agrícolas comunes de la zona con prácticas conservacionistas racionales (mínimo laboreo, rotaciones de cultivos con pasturas sembradas).



### 2.2.6.2. Moderada

Tierras que presentan surcos y cárcavas aisladas además de erosión laminar. Se observa un descenso importante de la materia orgánica en los suelos así como pérdida de estructura de los mismos. Estos niveles de degradación han obligado en muchas zonas a cambiar el uso de la tierra a sistemas más conservacionistas (más años de pasturas, forestación), además de tener que implementar prácticas conservacionistas más costosas o específicas (laboreos en contorno siguiendo curvas a nivel, fajas empastadas, terrazas, etc.).

### 2.2.6.3. Alta y muy alta

Tierras que presentan cárcavas y surcos en forma significativa. En estos suelos además de haber perdido sus características biológicas y físicas originales se dificulta el pasaje de la maquinaria debido a la presencia de cárcavas.

## 2.3. Sistemas de Información Geográfica (SIG)

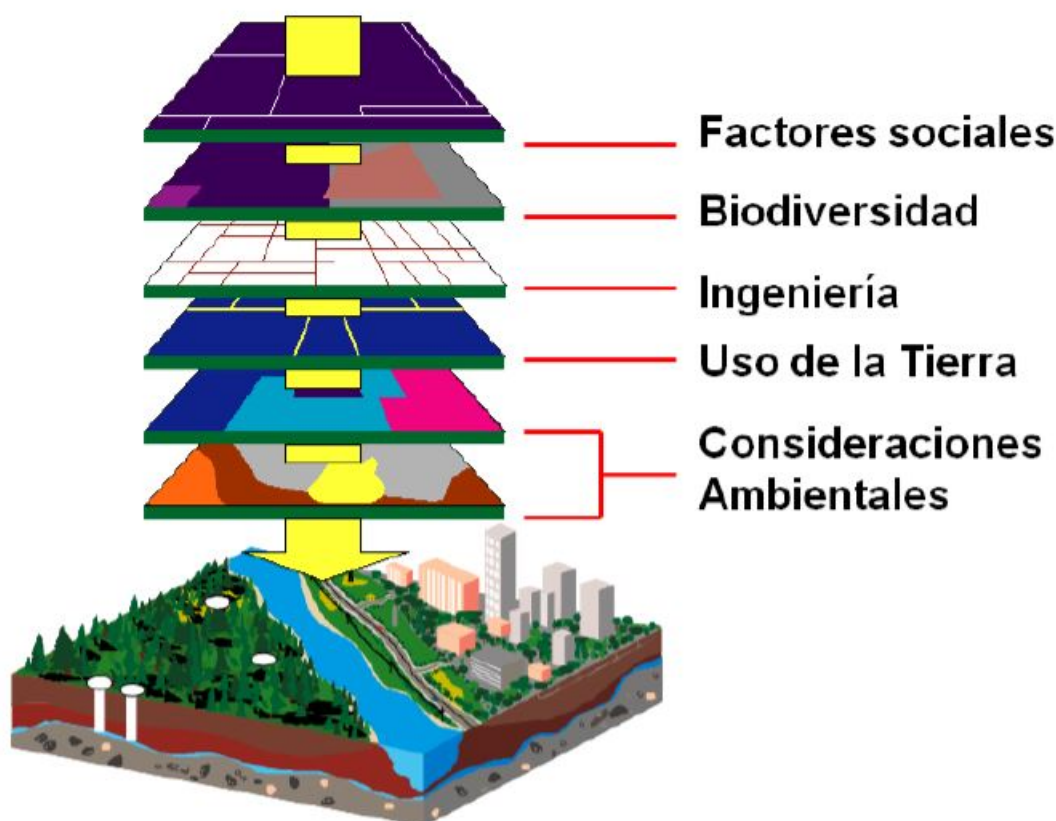
(Aliaga, 2006), Los S.I.G. son una nueva tecnología que permite gestionar y analizar la información espacial, y que surgió como resultado de la necesidad de disponer rápidamente de información para resolver problemas y contestar a preguntas de modo inmediato.

### 2.3.1. Aplicaciones de los S.I.G.

(Aliaga, 2006), Un Sistema de Información Geográfica es una herramienta que permite la integración de bases de datos espaciales y la implementación de diversas técnicas de análisis de datos. Por tanto, cualquier actividad relacionada con el espacio, puede beneficiarse del trabajo con S.I.G. Entre las aplicaciones más usuales destacan:

- **Científicas:** ciencias medioambientales y relacionadas con el espacio, desarrollo de modelos empíricos, modelización cartográfica, modelos dinámicos y teledetección.
- **Gestión:** cartografía automática, información pública, catastro, planificación física, ordenación territorial, planificación urbana, estudios de impacto ambiental, evaluación de recursos y seguimiento de actuaciones.
- **Empresarial:** marketing, estrategias de distribución, planificación de transportes y localización óptima.

Figura 2.20: Ejemplo de SIG.



Fuente: (Aliaga, 2006)

Aunque, todas estas disciplinas utilicen los S.I.G. para resolver cuestiones distintas, todas realizan y ejecutan tareas comunes, siendo estas:

- **Organización de datos:** almacenar datos con el fin de sustituir una mapoteca analógica (mapas físicos en papel) por una mapoteca digital (mapas en el ordenador) posee ventajas obvias, entre las cuales pueden ser citadas una reducción en el espacio físico; el fin del deterioro de los productos en papel; la rápida recuperación de los datos; la posibilidad de producir copias sin pérdida de calidad; y otras más. Visualización de datos: la posibilidad de seleccionar los niveles de información deseados; de acuerdo con el contexto, permite acoplar los mapas temáticos elegidos superándose cualquier producto en papel. La capacidad de análisis del ojo humano, a pesar de estar subestimada, es esencial en un estudio que implica información espacial.
- **Producción de mapas:** en general los S.I.G. poseen herramientas completas para la producción de mapas, siendo bastante simples la inclusión de rejillas de coordenadas, escala gráfica y numérica, leyenda, flecha norte y textos diversos, siendo mucho más indicados para la cartografía que los simples sistemas C.A.D. (Computer-Aided Design).
- **Consulta espacial:** posiblemente la función más importante de los S.I.G es la posibilidad de preguntar cuáles son las propiedades de un determinado objeto,



o en qué lugares tienen tales propiedades. La interacción entre el usuario y los datos se convierte en dinámica y extremadamente poderosa.

- **Análisis espacial:** consiste en el uso de un conjunto de técnicas de combinación entre los niveles de información (capas), con el fin de evidenciar patrones o establecer relaciones dentro de los datos que quedaban anteriormente ocultos al analista. Es una manera de inferir significado a partir del cruce de los datos.
- **Previsión:** uno de los propósitos de los S.I.G. es el de verificación de escenarios, modificando los parámetros para evaluar cómo los eventos, naturales o no, ocurrirían si las condiciones fuesen diferentes, obteniendo un conocimiento más general de los objetos o el área en estudio.
- **Creación de modelos:** la capacidad de almacenamiento, recuperación y análisis de datos espaciales convierte a los S.I.G. en plataformas ideales para el desarrollo y aplicación de modelos distribuidos espacialmente, y para la validación de escenarios hipotéticos.

### 2.3.2. Componentes de un S.I.G.

(Aliaga, 2006), Los componentes necesarios para llevar a cabo las tareas de un S.I.G. son los siguientes:

#### 2.3.2.1. Usuarios

Las tecnologías S.I.G. son de valor limitado sin los especialistas en manejar el sistema y desarrollar planes de implementación del mismo. Sin el personal experto en su desarrollo, la información se desfasa y se maneja erróneamente, y el hardware y el software no se manipulan con todo su potencial.

#### 2.3.2.2. Software

Los programas S.I.G. proporcionan las herramientas y funcionalidades necesarias para almacenar, analizar y mostrar información geográfica. Los componentes principales del software S.I.G. son:

- Sistema de manejo de base de datos.
- Una interface gráfica de usuarios (IGU) para el fácil acceso a las herramientas.
- Herramientas para captura y manejo de información geográfica.
- Herramientas para soporte de consultas, análisis y visualización de datos geográficos.

Actualmente la mayoría de los proveedores de software S.I.G. distribuyen productos fáciles de usar y pueden reconocer información geográfica estructurada en muchos formatos distintos.



### 2.3.2.3. Hardware

Los S.I.G. funcionan en un amplio rango de tipos de ordenadores desde equipos centralizados hasta configuraciones individuales o de red. Esta organización requiere de hardware específico para cumplir con las necesidades de cada aplicación.

### 2.3.2.4. Datos

El componente más importante para un S.I.G. es la información. Se requieren buenos datos de soporte para que el S.I.G. pueda resolver los problemas y contestar a las preguntas de la forma más acertada posible.

Los datos geográficos y alfanuméricos pueden obtenerse por recursos propios u obtenerse a través de proveedores de datos. Mantener, organizar y manejar los datos debe ser política de la organización.

Métodos: Para que un S.I.G. tenga una implementación exitosa debe basarse en un buen diseño y en unas reglas de actividad definidas, que son los modelos y las prácticas operativas exclusivas en cada organización.

## Modelo de Datos Espaciales en un SIG

### Modelo Vectorial

La estructura del vector de datos es una abstracción del mundo real donde los datos de posición se representan en formas de coordenadas. En los datos vectoriales, las unidades básicas de información espacial son puntos, líneas y polígonos. Cada una de estas unidades está compuesta simplemente como una serie de uno o más puntos de coordenadas. Skidmore (2002).

### Modelo ráster

La estructura ráster consiste en la representación de nuestro mundo real o la representación de este en una grilla compuesta de celdas (pixel). Esta serie de datos ráster, basados en celdas, está orientado para representar fenómenos tradicionalmente geográficos que varían continuamente en el espacio, como la elevación, inclinación o precipitación. Pero además pueden ser utilizadas para representar tipos de información menos tradicionales, tales como densidad de población, comportamiento del consumidor y otras características demográficas. Achuy (2006).

## 2.3.3. Ventajas y Requerimientos de un SIG

Según (Núñez y Bes, 2000), las principales ventajas y requerimientos de un SIG son los siguientes:

- Los SIG posibilitan la integración de fuentes diversas tales como elementos cartográficos, datos estadísticos, base de datos tradicionales, fotografías aéreas e imágenes satelitales.

**Figura 2.21:** Modelo de datos ráster y vectorial.



Fuente: Achuy (2006)

- Posibilidad de una gran variedad de modelados cartográficos con una mínima inversión de tiempo y dinero.
- Los modelos conceptuales pueden ser probados rápidamente y repetidas veces facilitando su evaluación.
- Los análisis de modificaciones pueden ser ejecutados eficientemente.
- La adquisición, procesamiento, análisis, modelados y los procesos de tomas de decisiones son integrados en un contexto común de flujo de información.
- Capacidad de manejar grandes y heterogéneas bases de datos referenciados especialmente.
- Capacidad de las bases de datos para responder a preguntas respecto de la existencia, localización y propiedades de una amplia gama de objetos espaciales.
- Eficiencia en el manejo de preguntas y respuestas, de manera que el sistema sea lo más interactivo posible.
- Flexibilidad y adaptabilidad a las diferentes necesidades de múltiples usuarios.



## 2.4. Medidas de control de erosión

La erosión hídrica genera la pérdida del suelo que contiene la mayor parte de la fertilidad. Por lo tanto es necesario controlarla adoptando prácticas de cultivo y producción que mantengan el buen estado del suelo y que eviten el impacto de las gotas de lluvia y el escurrimiento.

La erosión se controla reduciendo la erosividad de los agentes erosivos y la susceptibilidad del suelo a la erosión.

La erosividad puede controlarse protegiendo el suelo con cobertura, reduciendo el volumen y pico del escurrimiento, reduciendo la longitud y magnitud de la pendiente, incrementando la rugosidad superficial.

La susceptibilidad a la erosión hídrica puede reducirse mejorando el manejo del suelo, a través de la incorporación de rastrojo y produciendo rotaciones con pasturas.

El cultivo en curvas de nivel, las terrazas, los desagües empastados y las represas de amortiguación, son prácticas estructurales que sostienen a las prácticas culturales como las labranzas conservacionistas. Estas prácticas estructurales son efectivas en el control y manejo del escurrimiento.

La erosión laminar y la erosión en surcos, pueden ser controladas con las técnicas estructurales y con las labranzas conservacionistas como la Siembra Directa.

Así, el control de la concentración de escurrimiento se hace a través de terrazas y desagües, mientras que la desagregación del suelo a través de la cobertura del mismo.

La extensión en el uso de cualquier técnica en particular o combinación de ellas depende de la naturaleza y severidad del problema (Cisneros et al., 2012).

### 2.4.1. Manejo agronómico de la infiltración

La infiltración es el componente hidrológico más importante en la mayoría de las cuencas, capaz de disminuir el volumen y caudal de escurrimiento.

Cualquier impedancia mecánica que modifique la estructura porosa del suelo y altere el ingreso y movimiento del agua afecta la velocidad de infiltración. Estos obstáculos disminuyen la conductividad hidráulica del suelo, actuando como retardadores del ingreso de agua, debido a que la conductividad hidráulica es función del diámetro efectivo de poros. Estos obstáculos, que responden principalmente a la física del suelo y a su cobertura, se pueden presentar en la superficie como en niveles más profundos del perfil del suelo (Cisneros et al., 2012).

Las técnicas de manejo del suelo constituyen un conjunto de prácticas culturales o agronómicas tendientes a generar condiciones superficiales e internas del perfil de suelo que permitan incrementar y/o mantener la velocidad de infiltración del agua durante y después de producida una lluvia.

Ellas se basan en tres principios fundamentales:



- Protección mecánica de la superficie del suelo.
- Incremento de la estabilidad de agregados superficiales y subsuperficiales.
- Homogenización de la condición física interna del perfil de suelo y disminución de la compactación.

**Figura 2.22:** Cobertura dejada por los residuos de un cultivo de maíz en rotación con soja.



Fuente: (Castilla, España. SECYOT – UNRC).

#### 2.4.2. Técnicas de manejo del relieve

Las técnicas de manejo del relieve (también llamadas prácticas de conservación, prácticas estructurales o de sistematización), son un conjunto de técnicas que abarcan desde la simple ordenación de las líneas de cultivo, hasta prácticas muy complejas como la nivelación completa de terrenos muy inclinados, con fines de implementar el uso agrícola. Son técnicas milenarias utilizadas por casi todas las antiguas civilizaciones para realizar sus cultivos, tanto en seco como bajo riego. Ejemplo de estas técnicas son las terrazas de cultivos incaicas, o los arrozales en China bajo bancales en zonas montañosas, o las plantaciones de olivares en terrazas en España (Cisneros et al., 2012). Las técnicas de manejo del relieve se basan en diferentes principios del ordenamiento hidrológico:

- Acortar la longitud de la pendiente, de modo de reducir la velocidad del escurrimiento o directamente de detenerlo.
- Generar microrelieves superficiales que permiten incrementar la retención y el detenimiento superficial del agua en superficie y de ese modo mejorar la captación del agua en el lugar donde cae.
- Atrapar los sedimentos que se mueven con el escurrimiento, por el efecto de **filtro** que pueden tener los residuos en superficie siguiendo líneas en contorno.
- Controlar el movimiento de partículas por el viento cuando la dirección de los microrelieves o las fajas de cultivos, cortan la dirección del viento predominante.
- Conducir controladamente los escurrimientos que no pudieron ser manejados por otras técnicas, a lugares predeterminados, sin que causen erosión (Cisneros et al., 2012).

**Figura 2.23:** Técnicas de manejo de relieve.



Bancales de Banyalbufar (España)



Bancales en Macchu Picchu (Perú)



Arroz en bancales (Longsheng, China)



Arroz en bancales (Bali).

Fuente: (Castilla, España. SECYOT – UNRC).

### 2.4.3. Técnicas de control de escurrimientos

La implementación de estas técnicas puede requerir la intervención del sector privado o público, según la magnitud y los costos, y la posibilidad de beneficios sociales de llevarlas a cabo. Cuando las características de la obra así lo exijan, debiera haber una intervención de los organismos del estado provincial y nacional, planificando el manejo de los excedentes de agua por ser necesario, no solo la protección de la producción agropecuaria, sino también la estructura física de una región o cuenca (efectos del escurrimiento sobre caminos, puentes, poblaciones, etc.).

En casos no tan extremos o refiriéndose exclusivamente a problemas parciales en cuencas de utilización agropecuaria, las prácticas hidráulicas son de utilidad en la protección general de la cuenca y se complementan con el manejo racional de las tierras (Cisneros et al., 2012).

Las técnicas son las siguientes:

- Técnicas de conducción controlada de escurrimientos - Canales de guarda o interceptores - Canales de desagüe empastados

- Técnicas de control de cárcavas - Praderización y forestación de cárcavas.
- Técnica de control de caudales máximos: Reguladores de escurrimiento.

**Figura 2.24:** Esquema de componentes de una cárcava.



Fuente: (Castilla, España. SECYOT – UNRC).

#### 2.4.4. Técnicas de bioingeniería

Se entiende por bioingeniería al uso de la vegetación para la estabilización de laderas, riberas de cursos de agua y el control de erosión hídrica y eólica en áreas críticas. Bioingeniería e ingeniería biotécnica son los términos hallados en la bibliografía. Conceptualmente se utiliza el término bioingeniería para referirse a aquellas técnicas que usan cualquier forma de vegetación, ya sea una simple planta o una colección de ellas como material de ingeniería (es decir aquel material que tiene características y comportamientos cuantificables). Ingeniería biotécnica se refiere a aquellas técnicas en las cuales la vegetación se combina con estructuras inertes, tales como muros de piedra o gaviones, de modo de combinar los beneficios estructurales de los componentes vegetativos y no vegetativos (Morgan y Rickson, 1995).

El uso de ambos tipos de técnicas requiere una aproximación multidisciplinaria que integre conocimientos de ecología, botánica, clima, suelos, geotécnica, hidrogeología, física, mecánica de los materiales e ingeniería civil. El conocimiento ecológico y botánica permite determinar cuales serán las especies mejor adaptadas para cada tipo de ambiente a intervenir; el conocimiento del material de suelo y sus características físicoquímicas e hidrológicas permite evaluar el comportamiento de diferentes tecnologías de bioingeniería en relación al sustrato a estabilizar, mientras que los conocimientos sobre materiales y su mecánica, hidráulica de cursos y la estabilización de laderas cierran la integración disciplinaria necesaria para diseñar y aplicar las técnicas (Cisneros et al., 2012).

Las técnicas de bioingeniería se aplican para el control de la erosión hídrica y eólica en situaciones donde otras técnicas no garantizan eficiencia y efectividad. Las técnicas se aplican a situaciones como las siguientes:

**Figura 2.25:** Canales de desagüe empastados.



Canal de desagüe de sistematización (NRCS-USDA)

Trazado de canal de desagüe (NRCS-USDA)



Canal de desagüe de sistematización (Ontario, Canadá)



Canales de desagüe principal y canal secundario (Dpto. Río Cuarto, Córdoba) (UNRC-SECYOT).

Fuente: (Castilla, España. SECYOT – UNRC).

- Estabilización y control de erosión en laderas en pendiente para construcción de caminos, terraplenes, embalses y desmontes recientes (Figura 2.26).
- Estabilización de cabeceras de cuencas de montaña, laderas pronunciadas sujetas a erosión por deslizamiento o remoción en masa (Figura 2.27).
- Estabilización y revegetación de márgenes de meandros de ríos y arroyos con erosión de costas. Estas técnicas además permiten reducir la carga de sedimentos y contaminantes transportados por los cursos (Figura 2.28).
- Control y captura de sedimentos y contaminantes volcados desde las tierras agrícolas hacia canales y cursos de agua, mediante técnicas de fajas buffer.
- Estabilización de médanos vivos y dunas mediante revegetación herbácea, arbustiva y arbórea (Figura 2.29).
- Control de saltación y rodadura de partículas en superficies sujetas a erosión eólica, producto del fuego, desmonte o rotaciones inadecuadas, mediante fajas de pasto.



- Estabilización de sedimentos inestables como los generados por desbordes de ríos y arroyos, coladas de barro, erosión en masa etc.
- Control de erosión de fondo de cárcavas activas (Figura 2.30).

Las técnicas de bioingeniería en estas situaciones permiten soluciones efectivas y sustentables, tanto desde el punto de vista económico como ambiental, ya que son tecnologías dinámicas y de acción creciente por el propio desarrollo del vegetal con el transcurrir del tiempo, están integradas al paisaje por la misma vegetación, permiten una mejora visual del sitio y aseguran su perdurabilidad y estabilidad. No obstante para su aplicación es necesario entender la dinámica de los procesos a estabilizar y las propiedades de la vegetación, en relación a los procesos de estabilización/desestabilización de suelos y laderas sobre las que se actúa (Cisneros et al., 2012).

**Figura 2.26:** Estabilización de terraplenes en áreas urbanas y rutas.



Terraplén estabilizado con geotextil con césped, arbustos y árboles.



Terraplén estabilizado con arbustos, árboles, materiales bastos y ornamentales.



Terraplén en estabilización con recubrimiento de tejidos, tierra con vegetación



Terraplén ya estabilizado



Estabilización de taludes con geotextiles que llevan incluidos tierra y semillas de vegetación herbácea, (El Chaltén, Santa Cruz, SECYOT-UNRC)



Fuente: (Castilla, España. SECYOT – UNRC).

**Figura 2.27:** Estabilización de cuencas serranas con forestación y de torrenteras con rastrillos de piedras, tierra y vegetación herbácea.



Fuente: (Cantabria, España, SECYOT-UNRC).

**Figura 2.28:** Ejemplos de estabilización de márgenes de arroyos con vegetación herbácea y arbórea, implantada y espontánea.



Forestación de márgenes arroyo Purmamarca, Jujuy, estabilización de las márgenes ante descargas torrenciales.



Vegetación natural márgenes arroyo "Cueva de las Manos", Santa Cruz, protección de márgenes y refugio de fauna.



Revegetación márgenes arroyo Ají (Córdoba), con vegetación herbácea y arbustiva.



Forestación de márgenes río Quillén, Neuquén estabilización ribera y control de sedimentos.

Fuente: (España, SECYOT-UNRC).

**Figura 2.29:** Estabilización de dunas y médanos.



Estabilización de dunas costeras con vegetación herbácea y arbórea (Coronel Rosales (Buenos Aires).



Forestación de medanos con álamos en Laguna Oscura (Córdoba).

Fuente: (SECYOT-UNRC).

**Figura 2.30:** Áreas críticas para aplicación de técnicas de bioingeniería.



Meandro con erosión activa, arroyo Mosuc Mayu (Córdoba).



Cárcava en camino rural cuenca Arroyo Chico (Córdoba).

Fuente: (SECYOT-UNRC).

# Capítulo III: Materiales y Métodos

## 3.1. Caracterización General del Área de Estudio

### 3.1.1. Ubicación Geográfica

La investigación se realizó en la cuenca del río MACRO, dentro de ella el centro poblado de Pampa Cangallo, capital del distrito de Los Morochucos - Provincia de Cangallo; comprende una extensión 1171 has y una altitud de 3330 m.s.n.m. Pampa Cangallo, esta localizado en la parte Centro del departamento de Ayacucho, limita por el Norte con la provincia de Huamanga (departamento de Ayacucho); por el Este con las provincia de Vilcas Huamán; por el Sur con la provincia de Víctor Fajardo y por el Oeste con la provincia de Huaytará (departamento de Huancavelica)(Figura 3.31).

### 3.1.2. Suelos

Los suelos derivados de materiales Coluvio-Aluviales, suelos desarrollados a partir de materiales transportados y luego redepositados en forma local por acción combinada del agua de lluvia y la gravedad. Estos suelos mayormente son de relieves moderadamente inclinadas a moderadamente empinados; de morfología estratificada moderadamente profundos a profundos, textura media a moderadamente fina; con fragmentos gruesos de variadas formas y tamaños, reacción fuertemente ácida a neutra y fertilidad natural baja a media (MINAM, 2013).

### 3.1.3. Clima

Clima frío o boreal.- Comprende a las zonas ondulantes y según la clasificación climática de Thornthwaite, clima de tipo lluvioso y semifrío. De acuerdo al mapa de Precipitación Multianual (1981-2010), las precipitaciones estan con valores entre 600 a 800 mm/ año. Según el diagrama Bioclimático de Holdridge, la biotemperatura media anual mínima es de 6°C y la máxima es de 12°C (MINAM, 2013).

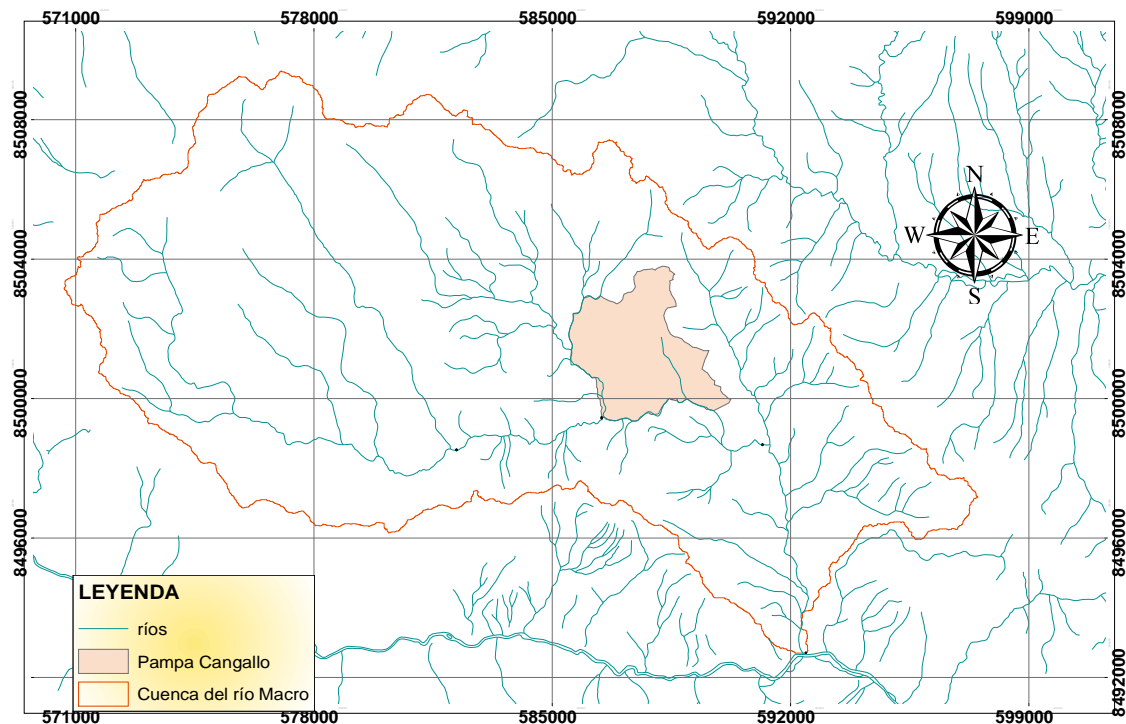


### 3.1.4. Hidrografía

La red hidrográfica de Cangallo pertenece a la vertiente del Atlántico y a la cuenca del río Pampas, que tiene su origen en las lagunas de Choclococha y Orccocochoa de Huancavelica. La conformación de las microcuencas está en función a la presencia de pequeños ríos tributarios del Pampas.

La red hidrográfica principal de la zona en estudio está representada por el río Macro.

Figura 3.32: Cuenca del río Macro



Fuente: Elaboración propia

### 3.1.5. Uso Actual del suelo

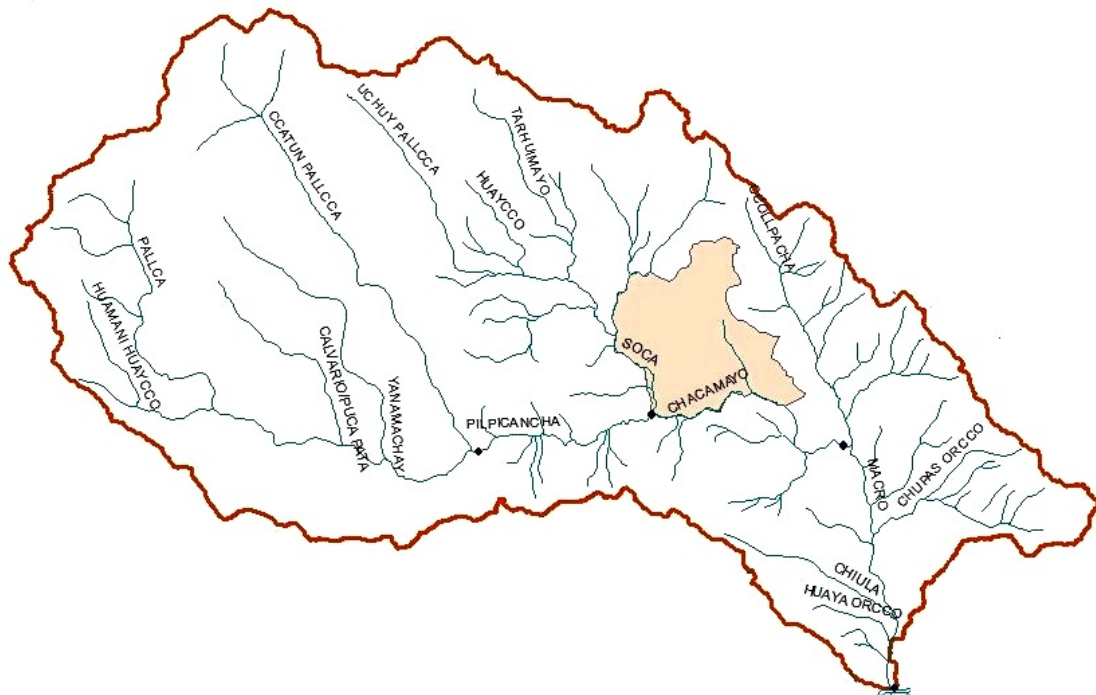
**Tierras de Uso Forestal** Comprenden las siguientes formaciones vegetales: matorrales, bosques naturales y plantaciones forestales.

**Tierras de Uso Pecuario** Estas tierras están representadas por coberturas de herbáceas ubicadas arriba de los 4000 m de altitud.

**Tierras de Uso Agrícola** Estas tierras se encuentran ubicadas por debajo de los 4000 msnm, entre los principales cultivos se mencionan a los siguientes: maíz, alfalfa, hortalizas, cebada, papa, olluco, etc.



**Figura 3.33:** Principales ríos de la cuenca Macro.



Fuente: Elaboración propia.

### 3.1.6. Fisiografía

La Cordillera Central, que atraviesa de sur a norte el departamento de Ayacucho, define áreas ecológicas y fisiográficas variables como grandes áreas de pastos naturales como Pampa Cangallo (MINAM, 2013).

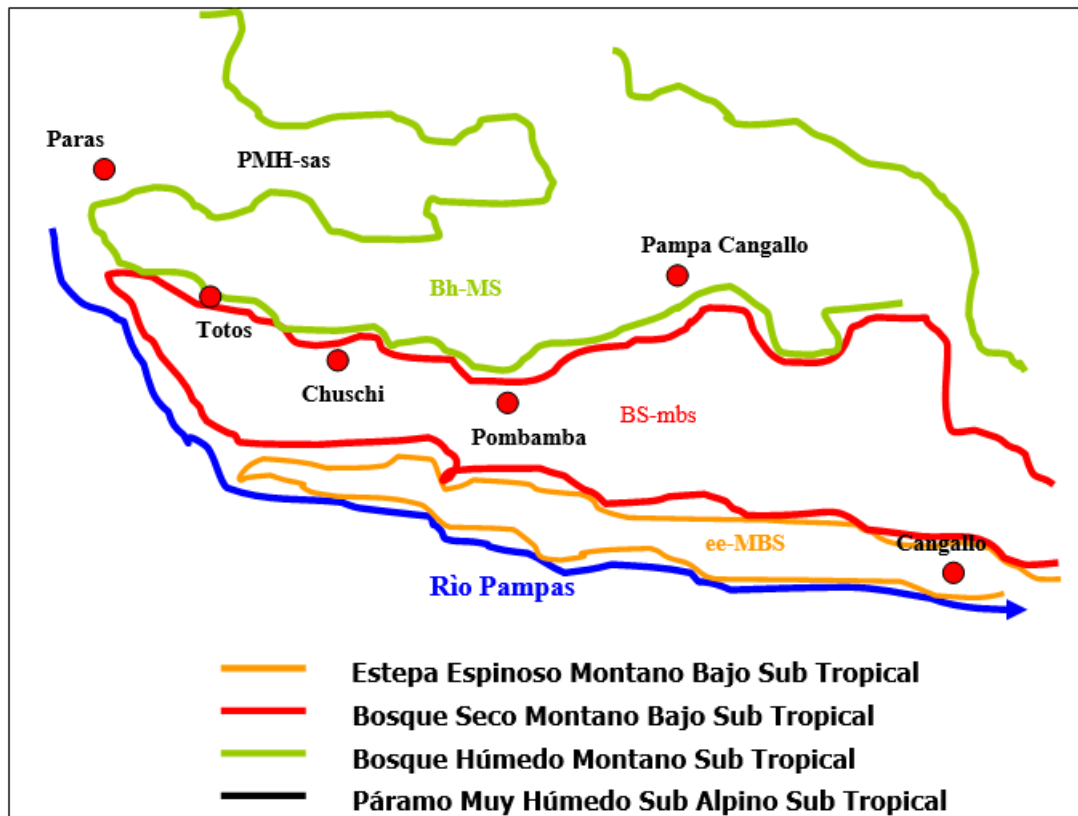
### 3.1.7. Población

La mayor parte de la población se dedica a las actividades de la agricultura y ganadería siendo su principal fuente de ingreso. El rol, que cumple los centros poblados asentados en el ámbito de la provincia de Cangallo, es principalmente a dinamizar la actividad agropecuaria y el comercio; a fin, de contribuir en el desarrollo y bienestar de la población. La función, que desempeña los centros poblados en la provincia; es mayormente la prestación de servicios y de comercio; destacando los centros poblados de Cangallo, capital de provincia y Pampa Cangallo; capital del distrito de Los Morochucos; y el centro poblado de Chuschi, capital del distrito del mismo nombre.

### 3.1.8. Ecología

Bosque humedo-MONTANO SUBTROPICAL (bh-MS)

Figura 3.34: Ecología.



Fuente: Pdc - Morochucos 2018

### 3.1.9. Vías de Acceso

El eje vial principal, sobre el cual se articulan los caminos vecinales de la provincia, es la carretera departamental, más conocida como la carretera longitudinal que une el norte y sur del departamento de Ayacucho: Ayacucho-Toccto-Condorccocho-Pampa Cangallo-Cangallo que también integra a las vecinas provincias de Víctor Fajardo, Huancasancos y Sucre, ubicadas al sur del departamento de Ayacucho. A esta vía se empalma, en Pampa Cangallo (Hualchancca), la carretera transversal vecinal que conecta Chuschi y María Parado de Bellido y al que próximamente se integrarán, también, los distritos de Totos y Paras, esquema que permitirá consolidar la integración vial provincial.

### 3.1.10. Vegetación

Los tipos de cobertura vegetal identificados para la provincia de Cangallo se presentan en el siguiente cuadro (MINAM, 2013).

**Figura 3.35:** Cobertura vegetal de la provincia de Cangallo

Nº	UNIDAD DE VEGETACION	AREA SIG (ha)	PORCENTAJE (%)
1	Pajonal	7628.87	4.08
2	Césped de Puna	101106.68	54.10
3	Bofedales	4876.48	2.61
4	Bosques Naturales	1125.66	0.60
5	Bosques Andinos Relictos	876.80	0.47
6	Plantaciones Forestales	932.57	0.50
7	Vegetación Arbustiva	13169.41	7.05
8	Tierras con Vegetación Escasa y Afloramientos Rocosos	6968.84	3.73
9	Cultivos Agrícolas	49264.99	26.36
10	Areas Urbanas	199.71	0.11
11	Cuerpos de Agua	754.17	0.40
<b>TOTAL</b>		<b>186,904.19</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Proyecto ZEE-OT, Ayacucho.

**Figura 3.36:** Agricultura en Pampa Cangallo



Fuente: Propia



## 3.2. Materiales

### 3.2.1. Recopilación de antecedentes

Fichas textuales y de resumen; se recurrió como fuentes a libros especializados, publicaciones especializadas en internet, documentos oficiales.

Plan de desarrollo de las personas de la municipalidad provincial de Cangallo quinquenal 2015 - 2019.

Estudio de actualización especializado del estudio diagnóstico y zonificación territorial provincia de Cangallo, 2014.

Informe temático fisiografía, suelo y capacidad de uso mayor Ayacucho, 2012.

Ejecución de proyectos productivos - gerencia de desarrollo económico local, Municipalidad Provincial de Cangallo 2009.

Trabajo de Completación de datos faltantes de la fuente de PLUVIOMETRÍA TOTAL DIARIA - ANA / HIDROLOGÍA GENERAL (IC - 441) - UNSCH

### 3.2.2. Material cartográfico

Instituto Geográfico Nacional (IGN), con dirección <http://www.ign.gob.pe/>

Las hojas están por N° de Hoja según formato de la carta nacional, o agrupadas por departamento, provincia o distrito, en formato: Shape (\*.shp)

Sistema de coordenadas geográficas: GCS-WGS-1984 Carta Nacional a escala 1:100000 elaborado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN).

Carta Nacional (con distintas temáticas):

Red hídrica, curvas de nivel, ciudades, áreas reservadas, lagunas, etc.

**Tabla 3.14:** N° de Hoja según formato de la carta nacional.

NUMERO DE HOJA	NOMBRE	ZONA
27 - ñ	AYACUCHO	18
28 - ñ	HUANCAPE	18

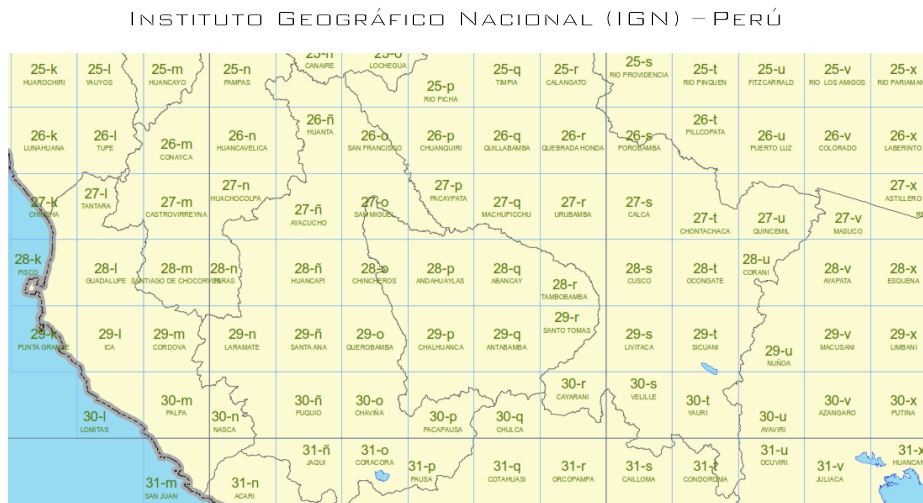
Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.37: Carta nacional del Perú.



Fuente: Minedu.

Figura 3.38: Cuadro de empalmes de la carta nacional del Perú.



Fuente: IGN.

### 3.2.3. Material satelital

DEM de 12.5 m del satélite avanzado de observación terrestre-1 ALOS PALSAR.

DEM de 30 m del USGS que opera los satélites Landsat y que proporciona acceso a imágenes actuales e históricas.

Imagen de satélite LANDSAT-5TM del área de estudio año 2005.



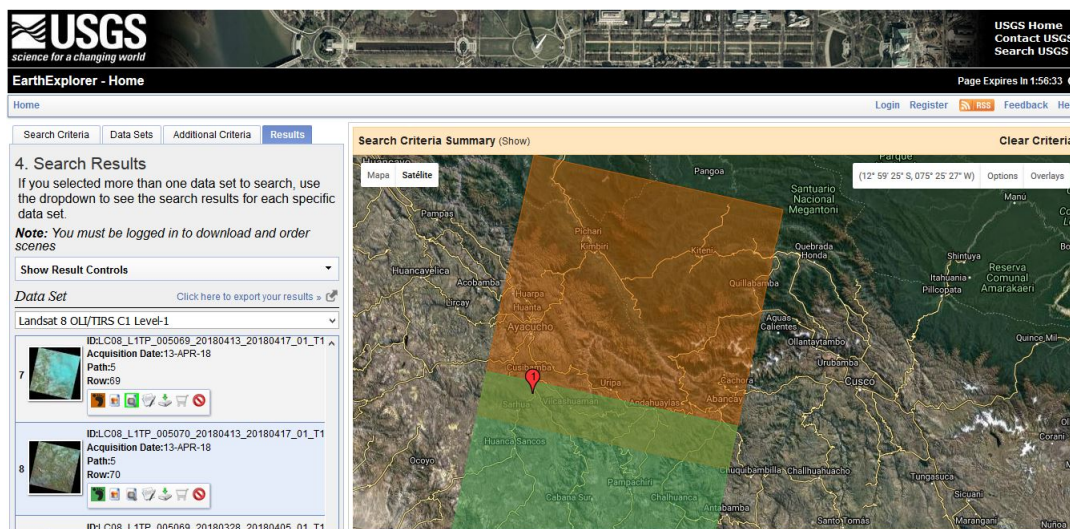
Imagen de satélite LANDSAT-5TM del área de estudio año 2010.

Extraídos de las páginas:

<https://earthexplorer.usgs.gov/>

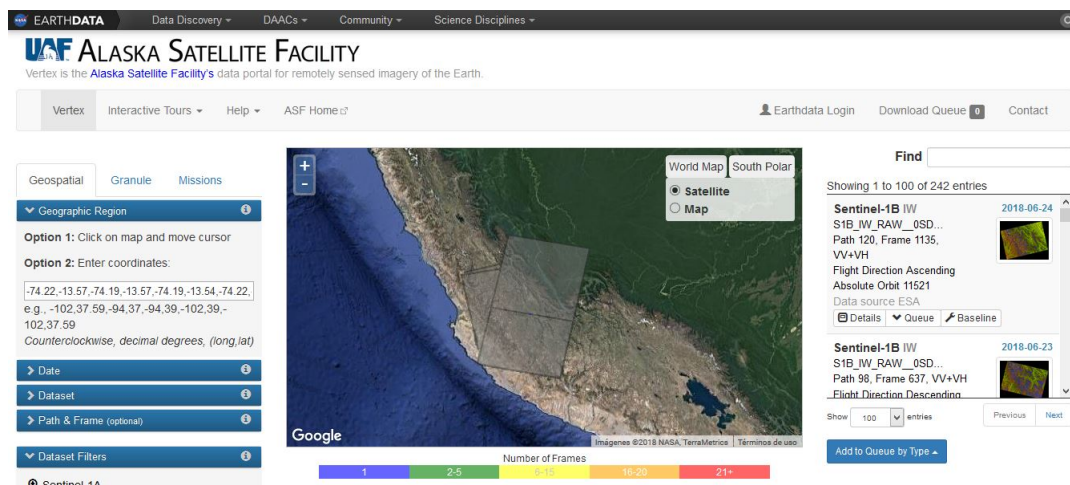
<https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>

Figura 3.39: DEM del LANSAT



Fuente: USGS.

Figura 3.40: DEM del ALOS PALSAR



Fuente: ALASKA SATELLITE FACILITY.



### 3.2.4. Equipo y material de campo

- Laptop core i7
- Software Arcgis 10.4.1 versión en español con extensiones del Arcgis: Swat
- Software Google Earth pro 7.2, AUTOCAD 2018, office 2018 (word, excel), etc.
- GPS navegador MAP 72s, marca Garmin, cámara digital de 16 mpixel.
- Libreta de campo, pico, pala y bolsas.

### 3.2.5. Observaciones a Campo

Con la visita y las observaciones en campo se tuvo que realizar la verificación del uso y cobertura vegetal del suelo que existen en el centro poblado de Pampa Cangallo, así como la recolección de muestras de suelos con su respectiva georeferenciación para su posterior análisis en laboratorio de suelos también se determinó la estructura del suelo en cada punto muestral. También se hizo la identificación de prácticas de conservación que se realicen en el centro poblado, si las hubiera.

**Figura 3.41:** Toma de muestras



Fuente: Propia.



**Figura 3.42:** Toma de muestras



Fuente: Propia.

**Figura 3.43:** Toma de muestras



Fuente: Propia.

**Figura 3.44:** Toma de muestras



Fuente: Propia.

### 3.2.6. Precipitación

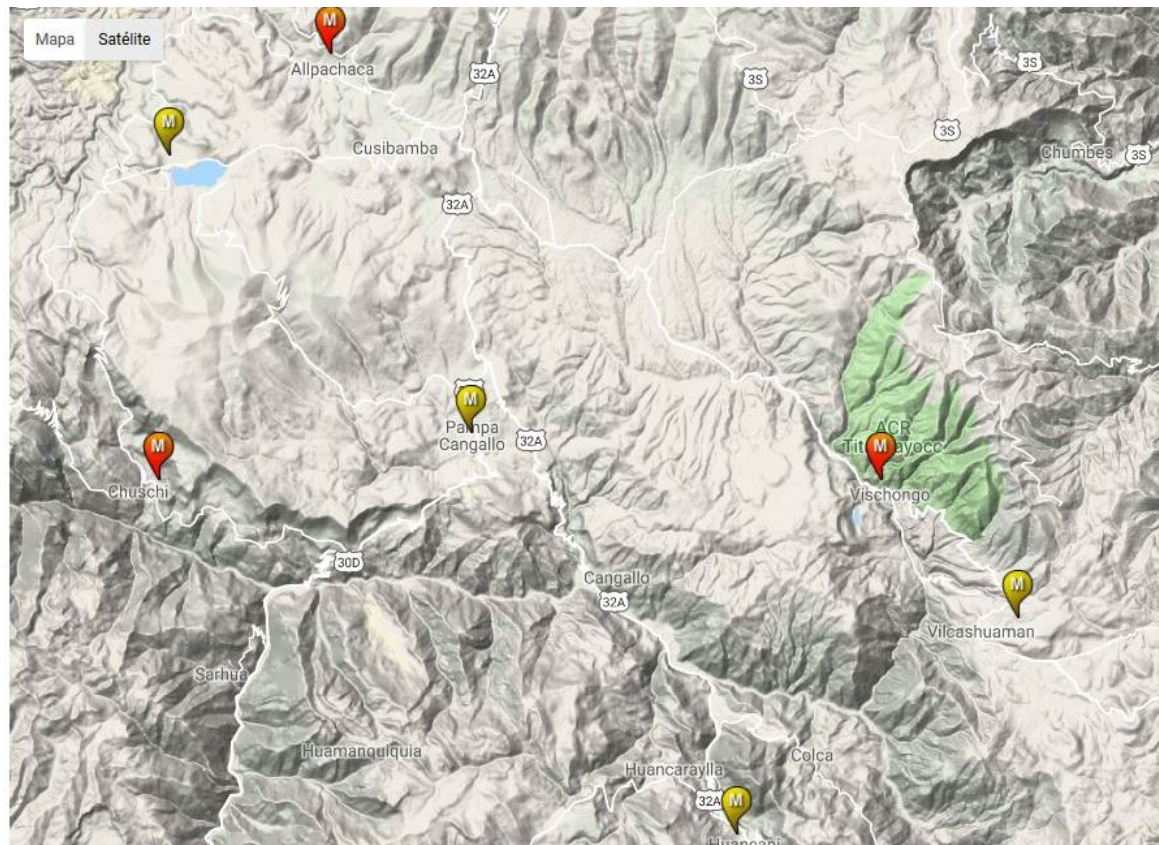
Datos digitales de registros de precipitación acumulada mensual y anual de las estaciones meteorológicas de la zona de influencia del área de estudio.

**Tabla 3.15:** Estaciones Meteorológicas.

<b>ESTACIONES METEREOLÓGICAS CERCANAS AL AREA DE ESTUDIO</b>			
<b>Estaciones Meteorológicas</b>	<b>Coordenadas Geográficas</b>		<b>Altitud (m)</b>
	Latitud	Longitud	
Pampa Cangallo	13° 33' 42.61"	74° 11' 56"	3315
Huancapi	13° 45' 1"	74° 4' 14"	3120
Vilcashuamán	13° 38' 54"	73° 56' 4"	3656
Allpachaca	13° 23' 1"	74° 16' 1"	3600
Vischongo	13° 35' 1"	74° 0' 1"	3141
Chuschi	13° 35' 1"	74° 21' 1"	3160
Cuchoquesera	13° 25' 54.6"	74° 20' 40.3"	3750

Fuente: Elaboración Propia.

**Figura 3.45:** Estaciones metereológicas cercanas



Fuente: Senamhi, Ayacucho.

### 3.2.7. Suelos

La información de suelos que se utilizará para la presente tesis será del documento que constituye el informe del estudio del suelo del departamento de Ayacucho la cual se sustenta en los estudios de Fisiografía, Suelos y Capacidad de Uso Mayor de las Tierras formando parte de los diversos estudios temáticos que sirven de base para el análisis, diagnóstico y propuesta de ordenamiento del territorio, en el marco del proyecto “Desarrollo de Capacidades en Zonificación Ecológica Económica y Ordenamiento Territorial en el departamento de Ayacucho”

## 3.3. Metodología

La metodología presentada en este trabajo de investigación se dará en las siguientes fases debido a que es necesario hacer el análisis de información antes de ser utilizada:



### 3.3.1. Fase preliminar

#### Recopilación, clasificación y análisis de información.

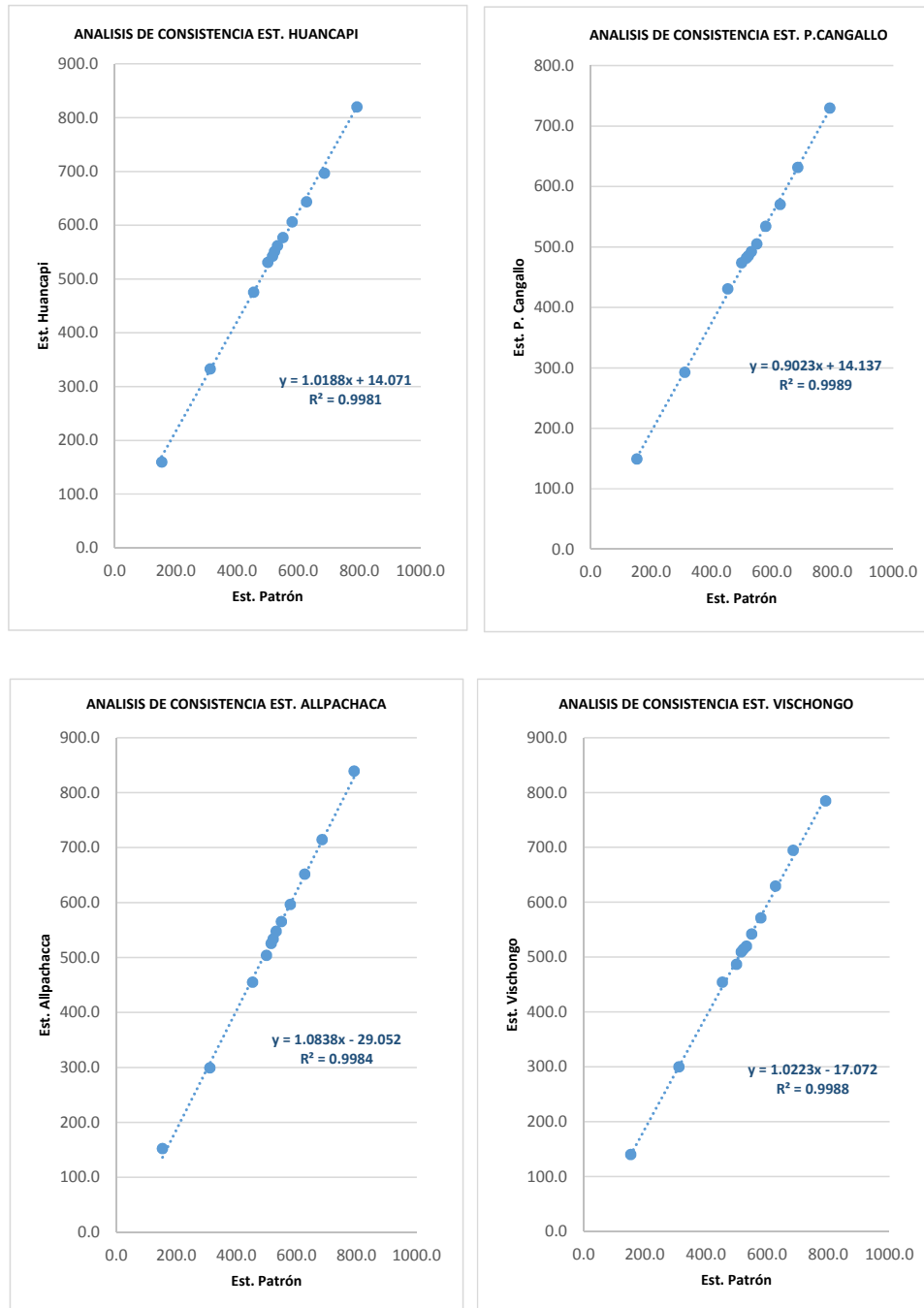
La primera actividad realizada fue la de recopilar datos relacionados con los procesos físicos de interés. La información recopilada de estudios realizados en la zona y otras fuentes, fue la siguiente; información climática, suelos, modelos de elevación digital DEM de resolución espacial 12 x 12 m y 30 x 30 m, cartas nacionales del Instituto Geográfico Nacional (IGN) a escala 1: 100000 y mapas temáticos de suelos del ZEE-Ayacucho 2012.

#### 3.3.1.1. Análisis de consistencia de las estaciones meteorológicas.

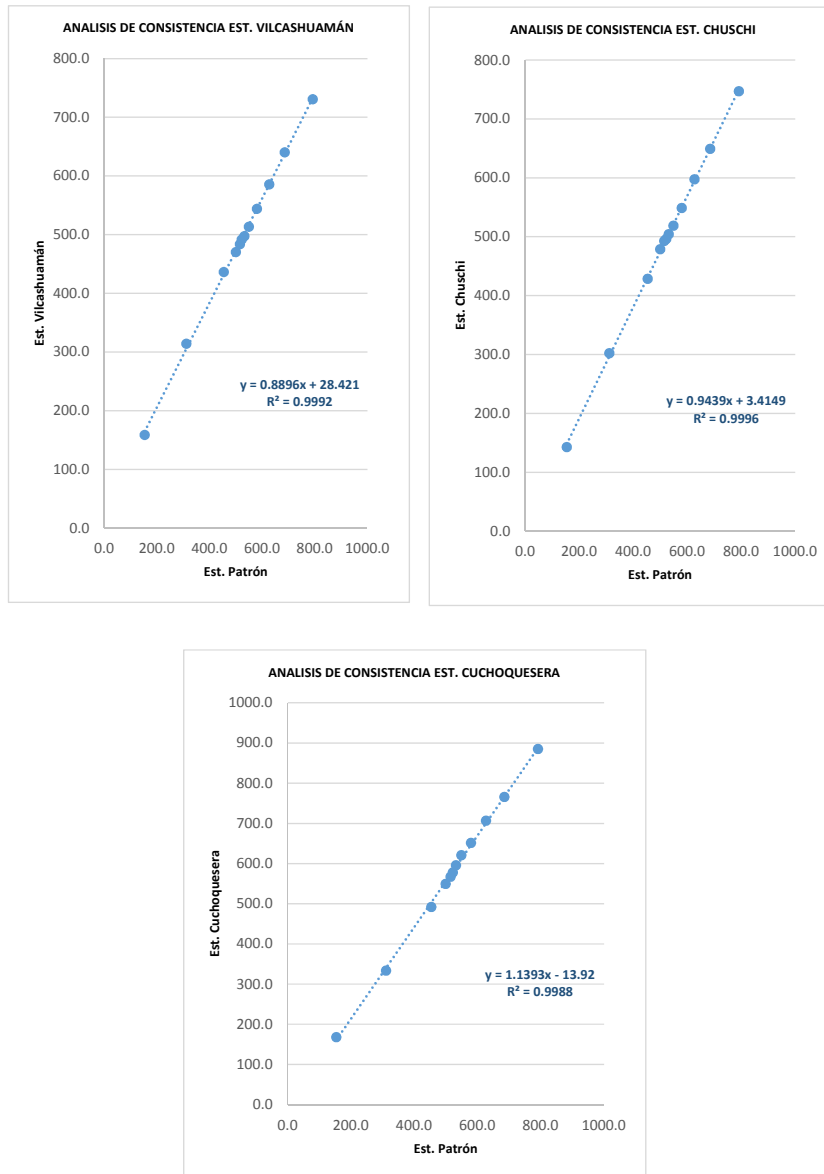
Figura 3.46: Análisis de consistencia.

ANÁLISIS DE CONSISTENCIA DE LAS ESTACIONES CERCANAS																
MES	Est. PATRON	Acumulada	Huancapi	Acumulada	Pampa Cangallo	Acumulada	Viscahuamán	Acumulada	Allpachaca	Acumulada	Vischongo	Acumulada	Chuschi	Acumulada	Cuchoqueseri	Acumulada
	Pp (mm)	Est. PATRON	Pp (mm)	Huancapi	Pp (mm)	Pampa Cangallo	Pp (mm)	Viscahuamán	Pp (mm)	Allpachaca	Pp (mm)	Vischongo	Pp (mm)	Chuschi	Pp (mm)	Cuchoqueseri
Ene	152.9	152.9	159.8	159.8	149.1	149.1	158.7	158.7	152.3	152.3	139.8	139.8	142.8	142.8	168.1	168.1
Feb	157.7	310.7	173.2	333.0	143.6	292.7	155.5	314.2	147.0	299.3	160.0	299.8	159.4	302.2	165.6	333.7
Mar	142.5	453.2	142.5	475.5	138.0	430.6	122.4	436.6	155.9	455.2	154.5	454.3	126.3	428.5	158.0	491.7
Abr	45.9	499.1	55.4	530.9	43.0	473.6	34.0	470.6	48.7	504.0	32.7	487.0	50.2	478.7	57.3	549.0
May	15.6	514.7	11.8	542.7	8.0	481.6	13.2	483.8	21.7	525.6	22.7	509.7	14.0	492.7	17.9	566.9
Jun	6.8	521.5	8.7	551.4	3.7	485.3	8.0	491.8	8.0	533.6	4.6	514.3	3.5	496.1	11.1	578.0
Jul	9.9	531.4	10.4	561.8	6.9	492.2	6.0	497.7	14.4	548.0	5.8	520.0	7.9	504.0	17.7	595.7
Ago	17.5	548.8	15.3	577.1	12.7	505.0	15.8	513.5	17.2	565.2	21.8	541.9	14.5	518.5	24.9	620.6
Set	30.1	578.9	29.0	606.1	29.1	534.1	30.8	544.3	31.4	596.6	29.6	571.5	30.2	548.7	30.6	651.2
Oct	47.5	626.4	37.4	643.5	36.3	570.3	41.3	585.6	55.2	651.8	58.0	629.5	48.7	597.4	55.3	706.6
Nov	58.3	684.7	53.4	696.9	61.3	631.6	54.9	640.6	62.7	714.5	65.1	694.7	51.8	649.1	59.1	765.6
Dic	106.3	791.0	123.1	820.1	98.2	729.8	90.5	731.1	124.8	839.3	90.1	784.8	98.0	747.1	119.3	884.9

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3.47:** ANÁLISIS DE CONSISTENCIA / Fuente: Elaboración propia a partir de datos registrados.



**Figura 3.48:** ANÁLISIS DE CONSISTENCIA / Fuente: Elaboración propia a partir de datos registrados.



### 3.3.1.2. Primer análisis de correlación de las estaciones metereológicas.

Se realiza la correlación entre la estación patrón y demas estaciones para medir el grado de correlación mediante el coeficiente de Pearson.

Figura 3.49: Análisis de correlación.

ANALISIS DE CORRELACION ESTACION PATRON Y ESTACIONES CERCANAS								
MES	Est. PATRON	Est. Huancapi	Est. Pampa Cangallo	Est. Vilscahuamán	Est. Allpachaca	Est. Vischongo	Est. Chuschi	Est. Cuchoquesera
Ene	152.9	159.8	149.1	158.7	152.3	139.8	142.8	168.1
Feb	157.7	173.2	143.6	155.5	147.0	160.0	159.4	165.6
Mar	142.5	142.5	138.0	122.4	155.9	154.5	126.3	158.0
Abr	45.9	55.4	43.0	34.0	48.7	32.7	50.2	57.3
May	15.6	11.8	8.0	13.2	21.7	22.7	14.0	17.9
Jun	6.8	8.7	3.7	8.0	8.0	4.6	3.5	11.1
Jul	9.9	10.4	6.9	6.0	14.4	5.8	7.9	17.7
Ago	17.5	15.3	12.7	15.8	17.2	21.8	14.5	24.9
Set	30.1	29.0	29.1	30.8	31.4	29.6	30.2	30.6
Oct	47.5	37.4	36.3	41.3	55.2	58.0	48.7	55.3
Nov	58.3	53.4	61.3	54.9	62.7	65.1	51.8	59.1
Dic	106.3	123.1	98.2	90.5	124.8	90.1	98.0	119.3

Si  $r=1$  , existe una correlación positiva perfecta entre X e Y  
 Si  $r=-1$  , existe una correlación negativa perfecta entre X e Y  
 Si  $r=0$  , no existe correlación lineal pudiendo existir otro tipo de relacion  
 Si  $-1 < r < 0$  , existe correlación negativa y dependencia directa; mayor cuanto mas se aproxime a -1  
 Si  $0 < r < 1$  , existe correlación positiva y dependencia directa; mayor cuanto mas se aproxime a 1

Fuente: Elaboración propia

Figura 3.50: Análisis de correlación.

	Est. PATRON	Est. Huancapi	st. Pampa Cangallo	t. Vilscahuamán	Est. Allpachaca	Est. Vischongo	Est. Chuschi	t. Cuchoquesera
Est. PATRON	1							
Est. Huancapi	0.994146188	1						
Est. Pampa Cangallo	0.997145861	0.990148242	1					
Est. Vilscahuamán	0.991899242	0.984954144	0.989531753	1				
Est. Allpachaca	0.992080373	0.984934606	0.990356631	0.97223675	1			
Est. Vischongo	0.986388566	0.966689846	0.981452679	0.97651841	0.97751395	1		
Est. Chuschi	0.995905401	0.993515873	0.98948126	0.99053356	0.98117431	0.97994438	1	
Est. Cuchoquesera	0.997962343	0.993465478	0.994796276	0.98626724	0.99350187	0.98022256	0.99253196	1

Fuente: Elaboración propia

### 3.3.1.3. Segundo análisis de correlación de las estaciones metereológicas.

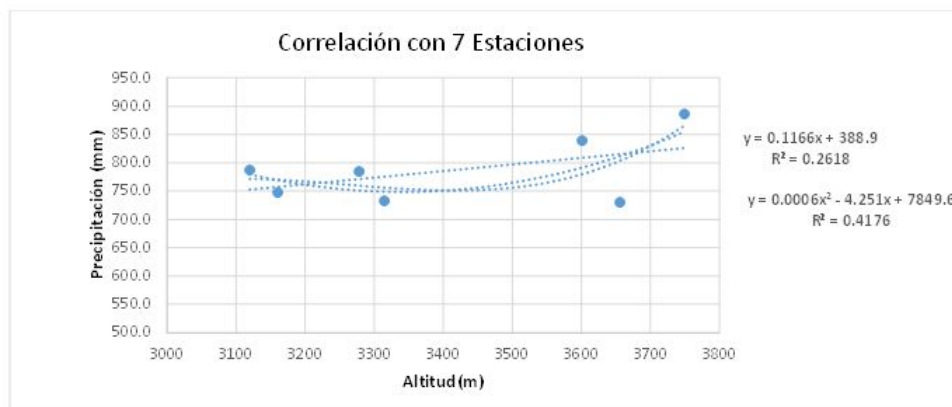
Se realiza un segundo análisis con la finalidad de ajustar mas los datos metereológicos, se realiza la correlación entre la precipitación de las estaciones y sus alturas para medir el grado de correlación mediante el coeficiente de Pearson.



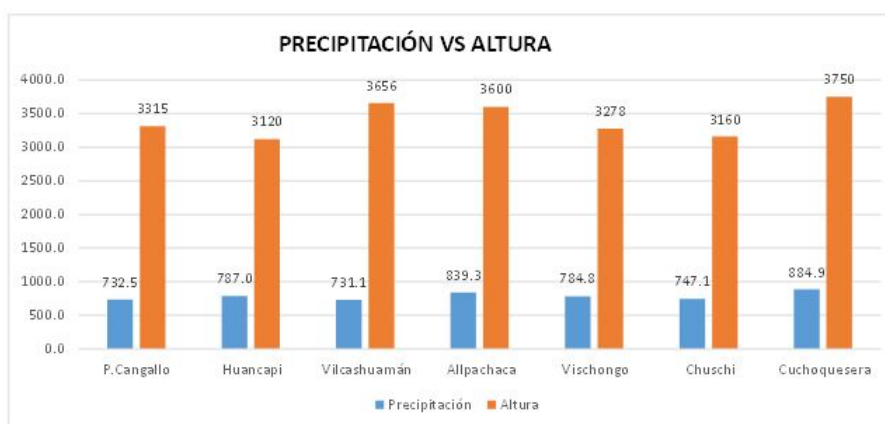
**Análisis de correlación para 7 estaciones metereológicas.**

**Tabla 3.16:** Análisis de correlación entre Precipitación Vs Altura

ESTACIÓN	Coordenadas UTM		Prec. Total (mm/año)	Z (m)
	X	Y		
<b>Pampa Cangallo</b>	586676.5	8500589.5	732.5	3315
<b>Huancapi</b>	600482.8	8479697.7	787.0	3120
<b>Vilcashuamán</b>	615248.9	8490912.8	731.1	3656
<b>Allpachaca</b>	579371.6	8520324.0	839.3	3600
<b>Vischongo</b>	608157.2	8498101.8	784.8	3278
<b>Chuschi</b>	570289.8	8498229.9	747.1	3160
<b>Cuchoquesera</b>	570956.8	8515014.4	884.9	3750



**Figura 3.51:** Coeficiente de Pearson (r= 0.51)



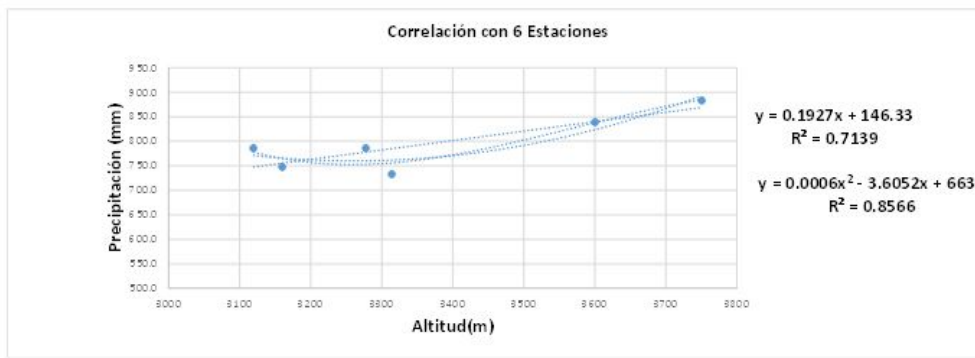
**Figura 3.52:** Precipitación vs Altura



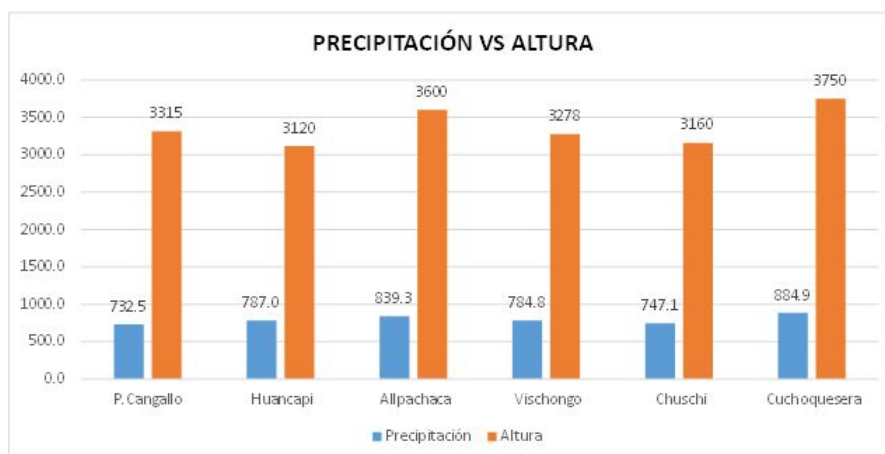
**Análisis de correlación para 6 estaciones metereológicas.**

**Tabla 3.17:** Análisis de correlación entre Precipitación Vs Altura

ESTACIÓN	Coordenadas UTM		Prec. Total (mm/año)	Z (m)
	X	Y		
<b>Pampa Cangallo</b>	586676.5	8500589.5	732.5	3315
<b>Huancapi</b>	600482.8	8479697.7	787.0	3120
<b>Allpachaca</b>	579371.6	8520324.0	839.3	3600
<b>Vischongo</b>	608157.2	8498101.8	784.8	3278
<b>Chuschi</b>	570289.8	8498229.9	747.1	3160
<b>Cuchoquesera</b>	570956.8	8515014.4	884.9	3750



**Figura 3.53:** Coeficiente de Pearson (r= 0.84)



**Figura 3.54:** Precipitación vs Altura



#### **3.3.1.4. Obtención del Área Delimitada de la cuenca del río Macro**

Nuestra área de estudio es el Centro Poblado de Pampa Cangallo que se encuentra dentro de la cuenca del río Macro, para el análisis se tomará esta como unidad hidrográfica y así poder analizar las demás variables.

##### **- Delimitación Hidrográfica de la Cuenca del río Macro:**

Para la delimitación hidrográfica de la cuenca del río Macro, se utilizó la herramienta de extensión Swat en el ArcGis que realiza una delimitación automática, seguidamente la metodología que se desarrolló fue la siguiente:

##### **- Generación de Mapa de Dirección de Flujo:**

Antes de la generación de la dirección de flujo se ubican las depresiones en el mapa de modelo de elevación digital, para luego rellenar las imperfecciones existentes en la superficie del DEM. Para la creación del mapa flow direction, se realizaron los siguientes pasos:

- Llenado (FILL) de depresiones en el mapa DEM.
- Creación del mapa de Dirección de Flujo.

##### **- Generación del Mapa del Flujo Acumulado:**

La capa de acumulación de flujo es la que permite visualizar la distribución de la red de drenaje. Las celdas que tienen los mayores valores de acumulación definen dicha red. Para la obtención del mapa de flujo acumulado se generó el mapa con la herramienta de hidrología "Flow Accumulation" del ArcToolbox, para calcular en cada una de las celdas del grid, el flujo acumulado sobre la misma, es decir, el número de celdas que vierten en ella. La capa de "Flow Accumulation" es la que permite visualizar la distribución de la red de drenaje. Las celdas que tienen los mayores valores de acumulación definen dicha red.

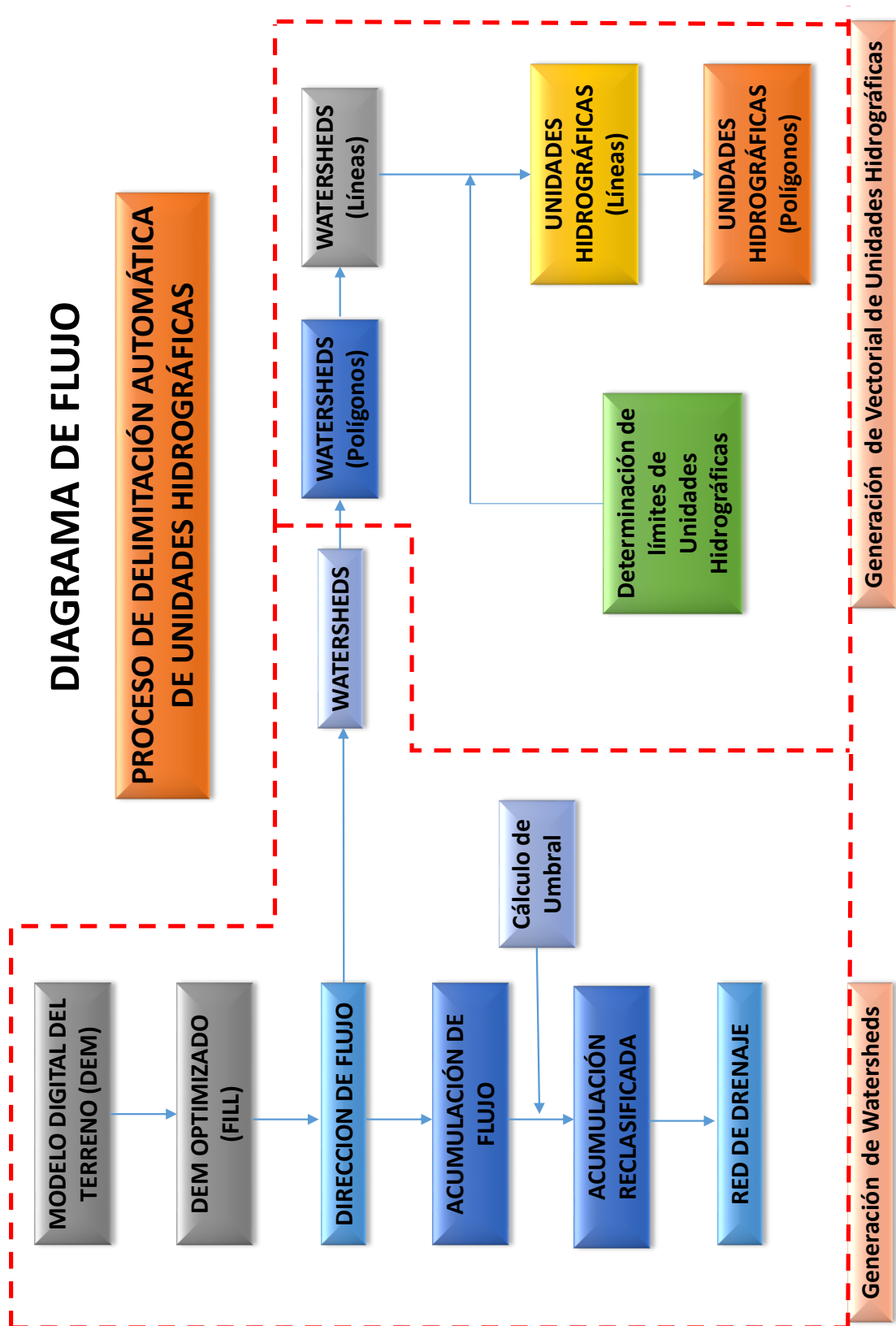
##### **- Generación de Redes Hidrográficas:**

- Generación de la Red Hidrográfica en Formato Ráster:  
Para la generación del mapa de la red hidrográfica de la cuenca del río Macro se utilizó el ráster de acumulación de flujo, porque este es el que permite visualizar la red de drenaje.
- Conversión de Red de Drenaje en Formato Ráster a Formato Vectorial:  
Se convierte la imagen ráster a un formato vectorial con extensión shp.

##### **- Corte de la zona de interés (Cuenca de río Macro)**

Se procedió con el recorte del área de interés (Cuenca de río Macro), realizado con la herramienta "clip" del ArcToolbox.

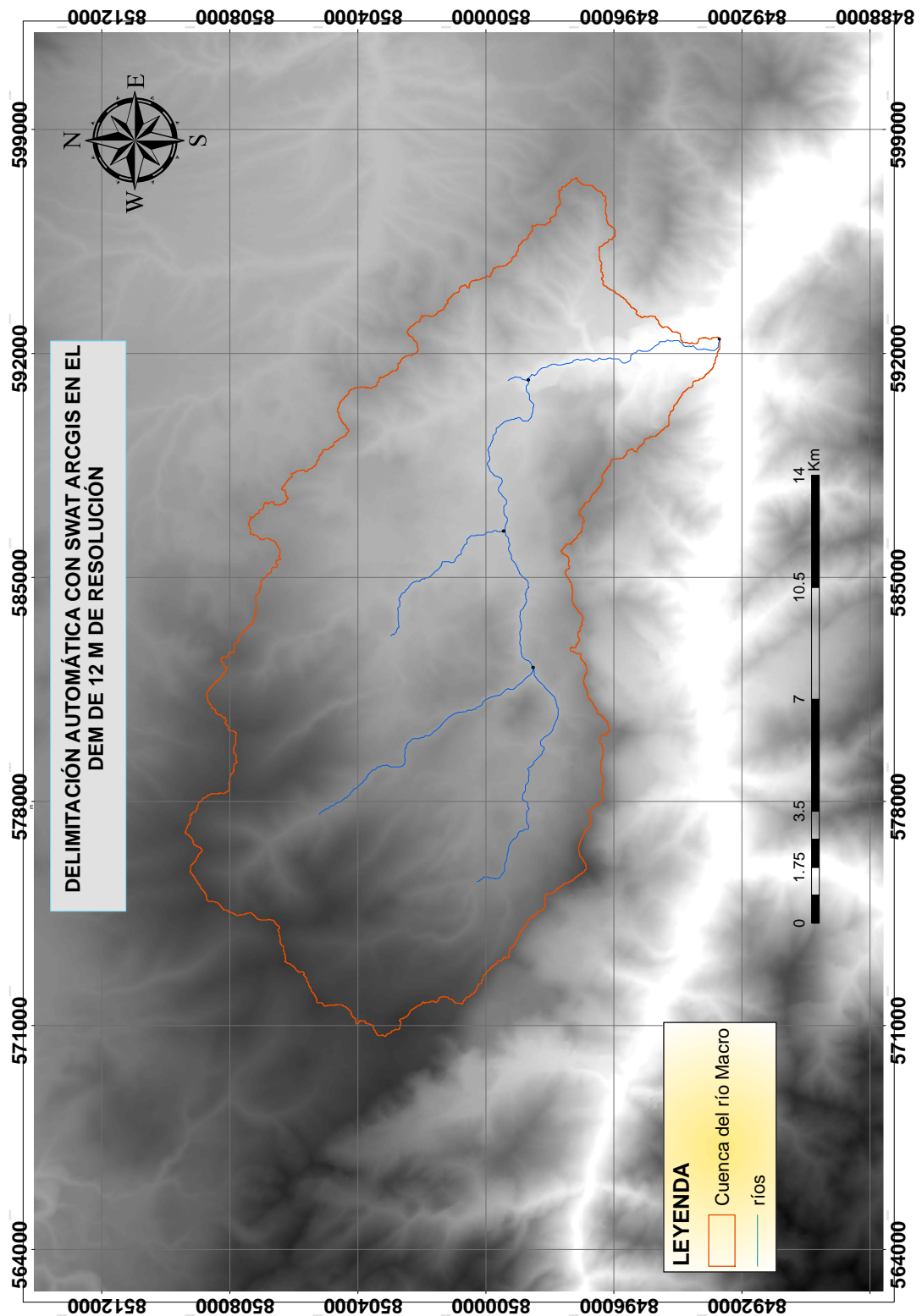
**Figura 3.55:** Diagrama de flujo del proceso de delimitación automática de unidades hidrográficas con la extensión Swat - ArcGis 10.4.2



Fuente: Elaboración propia



Figura 3.56: DEM de resolución 12 m.



Fuente: Elaboración propia





### 3.3.2. Fase de procesamiento de los factores de la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE/RUSLE)

Para determinar la pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Macro, se ha utilizado el modelo RUSLE (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada).

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

Donde:

**A** = la pérdida de suelo por unidad de superficie, que se obtiene por el producto del resto de los factores (tn/ha/año).

**R** = capacidad erosiva de las lluvias (MJ.mm/ha.h.año).

**K** = erosionabilidad de los suelos (tn.ha.h/ha.MJ.mm).

**L** = factor que mide el efecto de la longitud de pendiente (adimensional).

**S** = factor que mide el efecto de la inclinación de la pendiente (adimensional).

**C** = factor que mide el efecto de la cobertura o clase de cultivo y su manejo (adimensional).

**P** = prácticas de conservación de suelos.

#### 3.3.2.1. Factor R o índice de erosividad de las lluvias

Para la determinación del mapa del índice de erosividad primero se trabajaron las hojas de registro de datos pluviométricos (mm) proporcionadas por las estaciones meteorológicas:

Pampa Cangallo (1995 -2011), Huancapi (1994 - 2014), Vilcashuamán, Allpachaca, Vischongo, Chuschi y Cuchoquesera (1963-2010), acumulando los datos de precipitación mensual y anual para los períodos existentes.

Luego se realizó el análisis de consistencia y correlación de cada estación, comparándolas con la estación base.



**a) Método de Roose, Morgan y Foster**

Luego de realizar el análisis de correlación de las estaciones pluviométricas existentes (precipitación vs altura) y generar una ecuación de ajuste, se generaron 12 estaciones adicionales, distribuyéndole en forma aleatoria dentro de la cuenca del río Macro, empleando así la ecuación de ajuste, para luego introducirlos en el programa ArcGIS 10.4.1 y generar un shape de puntos (formato vector), con los cuales mediante interpolación, se crearon un raster de precipitación promedio (mm) para toda la cuenca, creando así un mapa de isoyetas, con el que luego se aplicaron las fórmulas de Roose, Morgan y Foster.

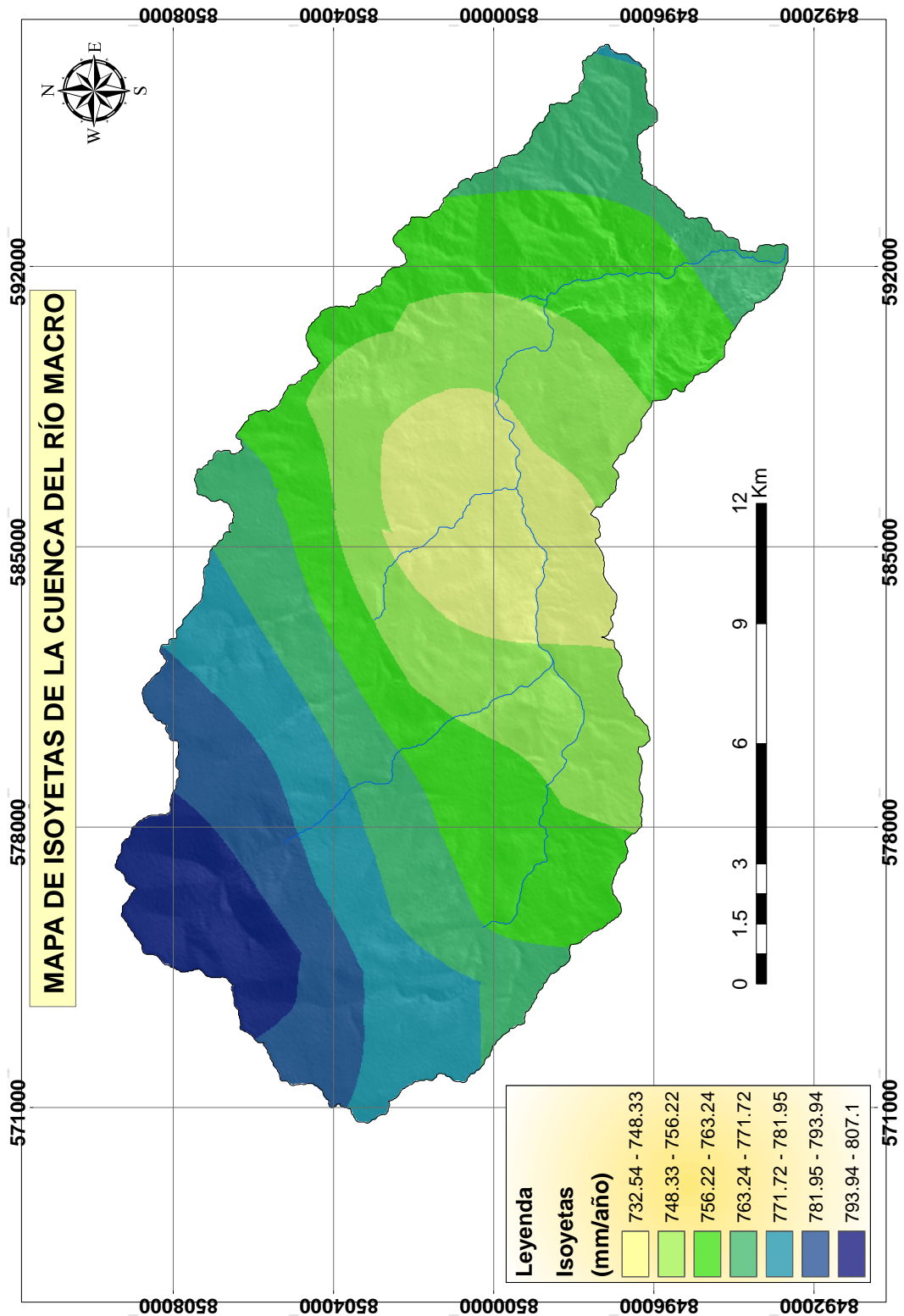
**Tabla 3.18:** Generación de estaciones aleatorias mediante interpolación en la toda la cuenca.

Estaciones	Coordenadas UTM		Precipitación (mm/año)	z (m)
	x	y		
P. Cangallo	586676.5	8500589.5	732.5	3315
Huancapi	600482.8	8479697.7	787.0	3120
Allpachaca	579371.6	8520324.0	839.3	3600
Vischongo	608157.2	8498101.8	784.8	3278
Chuschi	570289.8	8498229.9	747.1	3160
Cuchoquesera	570956.8	8515014.4	884.9	3750
Est_gen1	585802.61	8504636.94	760.67	3377.84
Est_gen2	573621.02	8505184.23	795.57	3403.85
Est_gen3	590360.72	8502496.06	756.17	3341.84
Est_gen4	581380.69	8502169.87	756.94	3343.26
Est_gen5	579279.47	8506500.58	788.61	3424.13
Est_gen6	587752.26	8498738.95	750.85	3299.36
Est_gen7	574486.14	8503177.91	780.50	3356.15
Est_gen8	576430.01	8507829.02	807.09	3462.17
Est_gen9	590676.49	8496500.64	758.62	3273.53
Est_gen10	575730.21	8500088.68	762.26	3295.91
Est_gen11	580883.53	8498406.7	754.36	3287.89
Est_gen12	595807.16	8496586.68	767.96	3272.77

Fuente: Elaboración propia.



Figura 3.58: Mapa de Isoyetas de la cuenca del río Macro



Fuente: Elaboración propia



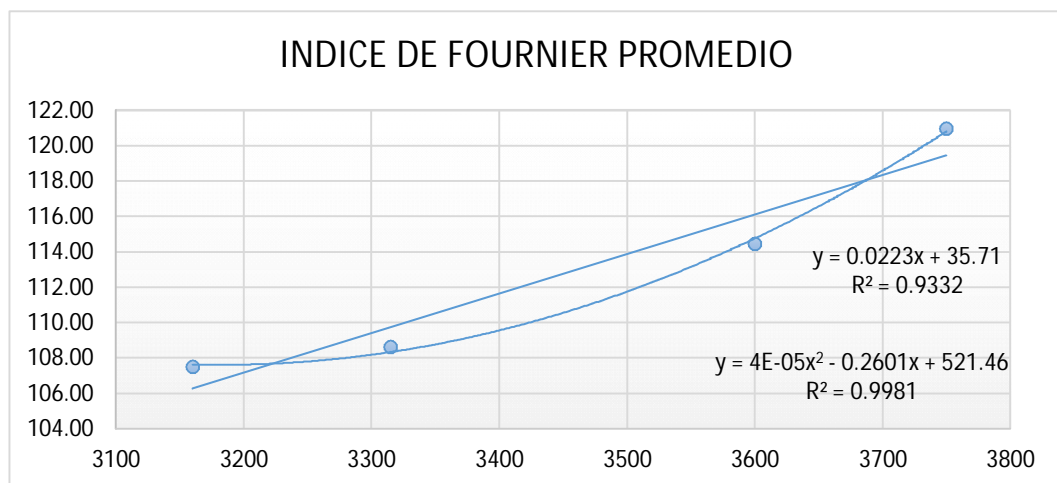
### b) Método del índice de Agresividad Modificado de Fournier

Se aplicó la metodología del Índice Modificado de Fournier (IMF) desarrollado por Arnoldus (1978) y se determinó un valor de IMF para cada estación.

Con estos valores se realizó el análisis de correlación (IMF vs Altura), ajustándolo a una ecuación lineal, con los cuales mediante interpolación, se creará un raster de IMF para toda la cuenca.

Figura 3.59: Análisis de correlación del IMF.

ESTACIÓN	ALTURA (msnm)	IMF Anual
P. Cangallo	3315	108.63
Allpachaca	3600	114.45
Chuschi	3160	107.49
Cuchoquesera	3750	120.95



Coefficiente de Pearson:  $r = 0.966$

Fuente: Elaboración propia



Figura 3.60: Calculo del IMF.

Estaciones	Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	P. Total Anual	IMF ANUAL
P. Cangallo	Pres. (mm)	149.1	143.6	138.0	43.0	8.0	3.7	6.9	12.7	29.1	36.3	61.3	98.2	732.5	108.6
	P	22231.9	20612.8	19034.2	1849.1	64.1	13.5	47.9	162.5	845.8	1315.1	3754.0	9638.3	79569.2	
	$\Sigma pi2$	30.4	28.1	26.0	2.5	0.1	0.0	0.1	0.2	1.2	1.8	5.1	13.2	108.6	
Huancapi	IMF_MENSUAL														126.7
	P	159.85	173.19	142.50	55.41	11.76	8.74	10.36	15.31	29.00	37.38	53.41	123.14	787.0	
	$\Sigma pi2$	25551.3	29993.3	20306.3	3070.7	138.3	76.4	107.4	234.5	841.0	1397.0	2853.1	15163.0	99732.2	
Allpachaca	IMF_MENSUAL														114.5
	P	152.3	147.01	155.91	48.73	21.65	8	14.42	17.19	31.42	55.17	62.67	124.78	839.3	
	$\Sigma pi2$	23195.3	21611.9	24307.9	2374.6	468.7	64.0	207.9	295.5	987.2	3043.7	3927.5	15570.0	96054.4	
Vischongo	IMF_MENSUAL														111.8
	P	139.80	159.96	154.51	32.69	22.69	4.62	5.75	21.84	29.63	58.02	65.13	90.11	784.8	
	$\Sigma pi2$	19543.4	25588.1	23873.7	1068.3	515.0	21.4	33.1	477.2	878.0	3366.7	4242.0	8120.0	87727.0	
Chuschi	IMF_MENSUAL														107.5
	P	142.76	159.43	126.3	50.18	13.98	3.46	7.91	14.49	30.15	48.69	51.79	97.95	747.1	
	$\Sigma pi2$	20380.4	25417.9	15951.7	2518.0	195.4	12.0	62.6	210.0	909.0	2370.7	2682.2	9594.2	80304.2	
Cuchoquesera	IMF_MENSUAL														120.9
	P	168.06	165.62	158.02	57.3	17.91	11.06	17.71	24.92	30.61	55.34	59.07	119.3	884.9	
	$\Sigma pi2$	28244.2	27430.0	24970.3	3283.3	320.8	122.3	313.6	621.0	937.0	3062.5	3489.3	14232.5	107026.7	
	IMF_MENSUAL														120.9
		31.917	30.997	28.218	3.710	0.362	0.138	0.354	0.702	1.059	3.461	3.943	16.083	120.9	

Fuente: Elaboración propia

**Figura 3.61:** Flujograma para la obtención del mapa de erosividad de la lluvia.



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.2.2. Factor K

#### Método del Nomograma

Se determinó el tamaño de muestras de las zonas agrícolas en estudio con la fórmula estadística de Cochran (1977) citado por GARCIA (2014), con un nivel de confianza del 95 % y error máximo permisible de 10 %.

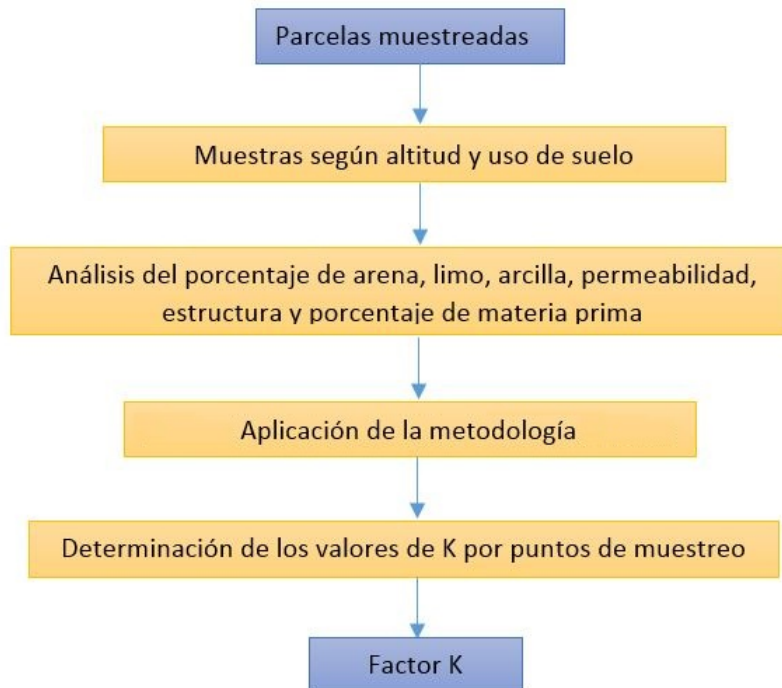
Se aplicó el método aleatorio sitematizado no alineado estratificado en función de la superficies de las unidades de suelos de la cuenca del río Macro elaborado LAROTA et al (2013). Se realizó la distribución espacial de los puntos de muestreo para la unidad de suelo agrícola con el uso de la herramienta “crear puntos aleatorios” del programa ArcGIS 10.4.1.

Se muestrearon parcelas al azar, tomando aproximadamente 2 kg de suelo en cada punto dentro de los primeros 18 a 20 cm, lo cual a la vez nos permitió determinar la estructura, textura y materia orgánica del suelo.

Para hallar el valor de K para cada punto muestral, se ha promediado con los valores de K obtenidos mediante el método de Kirkby y Morgan (1978).

Estos datos serán introducidos en el programa ArcGIS 10.4.2 y se generará un shape de puntos (formato vector), con los cuales mediante interpolación, se creó un raster de erodabilidad para toda la cuenca del río Macro.

**Figura 3.62:** Flujograma para la obtención del mapa de erodabilidad



Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.2.3. Factor LS

#### a) Método Renard

A partir del modelo de elevación digital (DEM), con la herramienta “slope” del Arcgis 10.2.2, se obtendrá el mapa de pendientes en grados, así como la dirección y acumulación del flujo con las herramientas “flow dirección” y “flow accumulation”, respectivamente.

Posteriormente se calculará el factor L con la herramienta “Raster Calculator”, aplicando la metodología de Foster et al., (1977), modificada por Desmet Govers (1996), que considera el área aportadora unitaria a la entrada de un pixel.

Con este raster se procederá a calcular el factor S, aplicando la condición propuesta por la metodología de McCool et al. (1987,1989), que compara la pendiente de cada pixel con la pendiente unitaria de valor 9%.

Finalmente se procederá a multiplicar el factor L y el factor S, obteniéndose el mapa del factor LS.

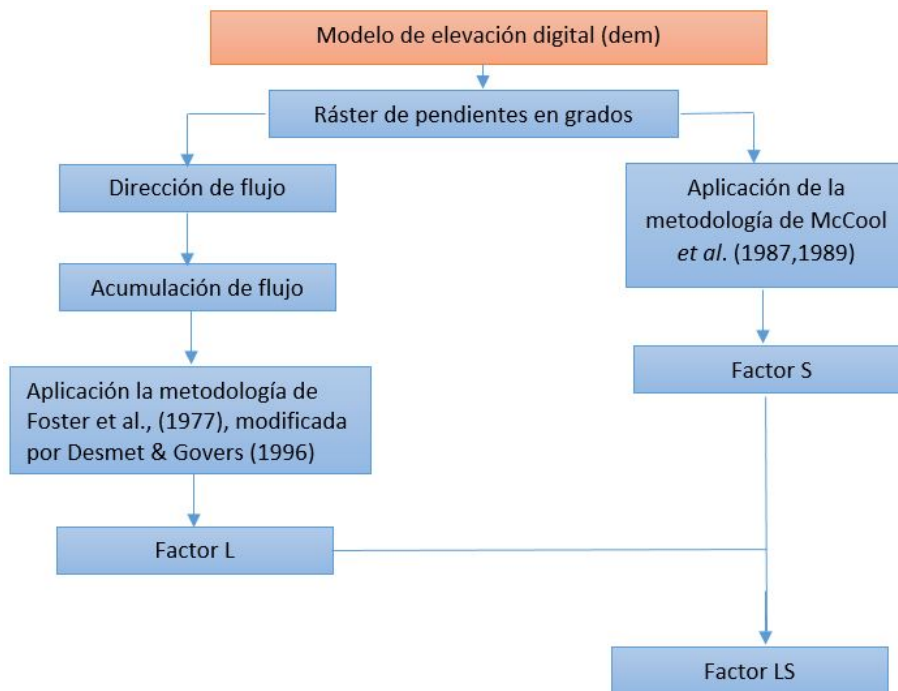
#### b) Método Mintegui (1983)

A partir del modelo de elevación digital (DEM), con la herramienta “slope” del Arcgis 10.2.2, se obtendrá el mapa de pendiente en porcentaje.

Luego se hará una clasificación del raster de acuerdo a los rangos de pendientes establecidos por el método Mintegui (1983) y se asignará un valor de LS.

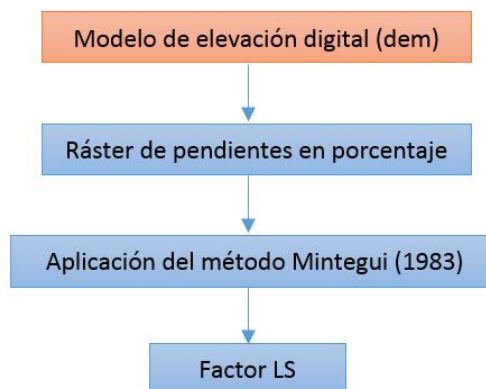


**Figura 3.63:** Flujograma para la obtención del mapa de LS – Método a.



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 3.64:** Flujograma para la obtención del mapa de LS – Método b.



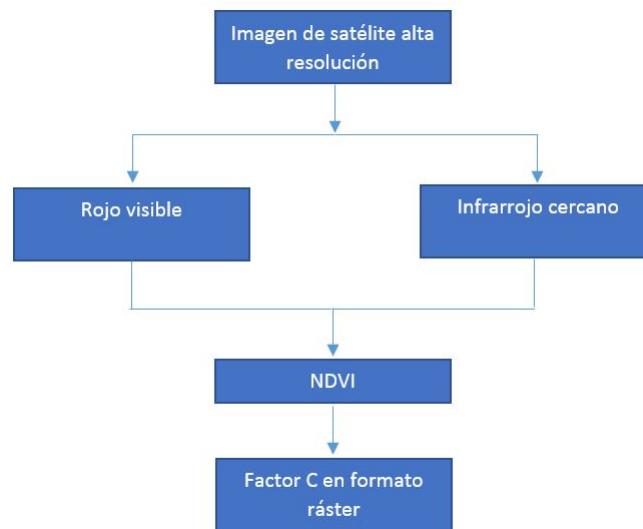
Fuente: Elaboración propia.



### 3.3.2.4. Factor C

El factor C se determinó de manera distribuida en el espacio, empleando mapas digitales en formato shape del estudio temático uso y cobertura de la tierra del ZEE de la región de Ayacucho, que luego se ajustaron a los límites de la cuenca del río Macro. Posteriormente se usaron las tablas publicadas por diversos investigadores que definen los valores de C para los tipos más comunes de cultivos, (ver anexo).

**Figura 3.65:** Flujograma para obtener el factor C



Fuente: Elaboración propia.

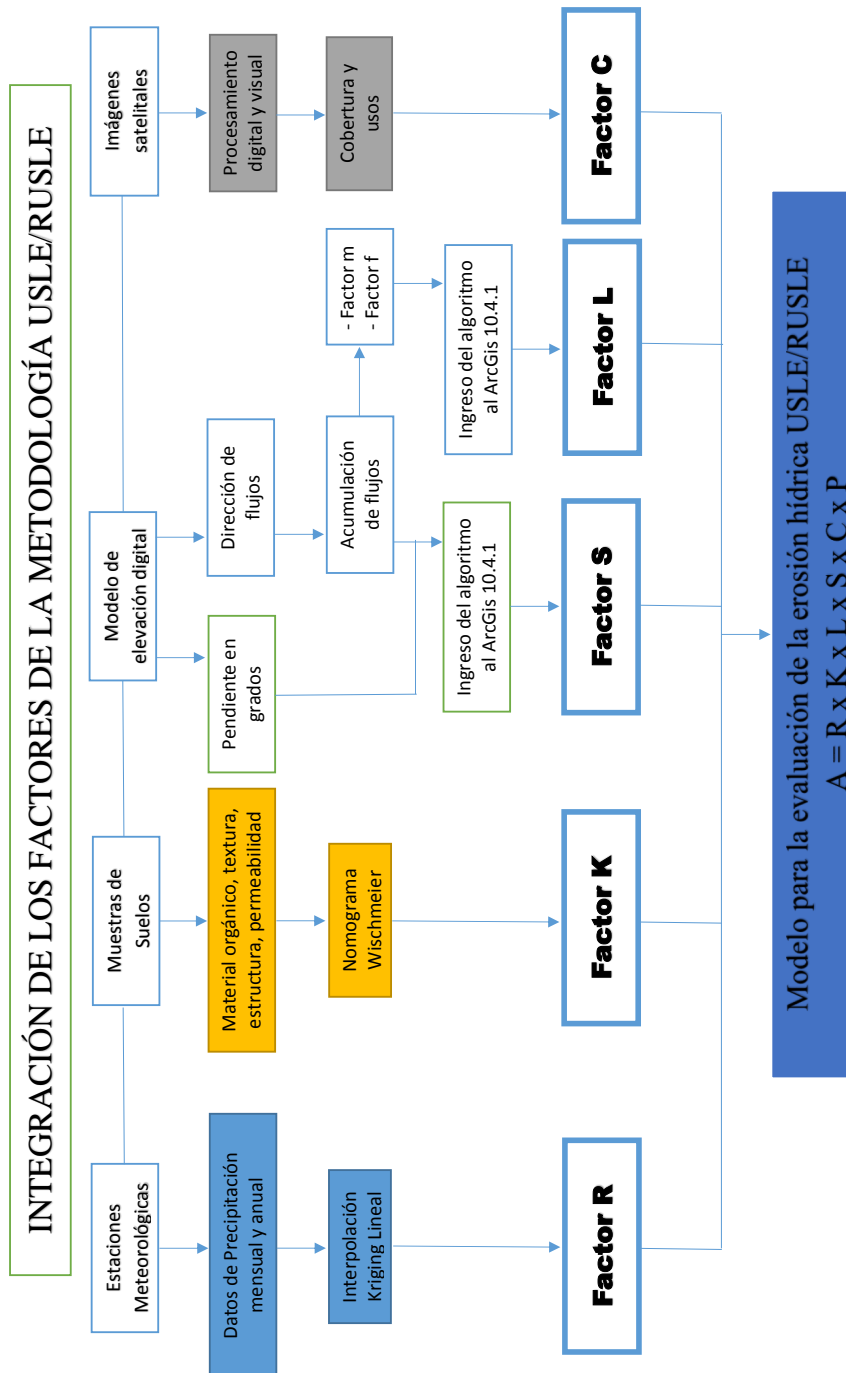
### 3.3.2.5. Factor P

Debido a que en la zona de estudio no se realizan prácticas de conservación de suelos en extensiones considerables el factor P, para la presente investigación se ha considerado un valor de  $P = 1$ ; lo que no representa ninguna influencia en el uso de la tierra.

### 3.3.2.6. Determinación de la pérdida de suelo

El cálculo de la erosión hídrica actual se basó en la aplicación de la metodología RUSLE, para poder llevar a cabo esta operación fue necesario contar con la información distribuida espacialmente de cada una de las variables que intervienen en el cálculo, en este caso los índices o factores de erosividad de las precipitaciones (R), erosionabilidad del suelo (K), longitud y gradiente de la pendiente (LS) y cobertura vegetal (C), ya cuantificados y en formato ráster, se combinan multiplicándose pixel a pixel. Con los mapas de los factores de R, K, LS y C en formato raster de 30m de resolución; se procederá a aplicar la ecuación de RUSLE (Renard, Foster, Weesies, McCool y Yoder, 1997), obteniéndose así la pérdida de suelo

Figura 3.66: Integración de factores metodología USLE/RUSLE



Fuente: Elaboración propia

# Capítulo IV: Resultados

## 4.1. Factor de erosividad de las precipitaciones (R)

### 4.1.1. Erosividad de las precipitaciones o factor (R)

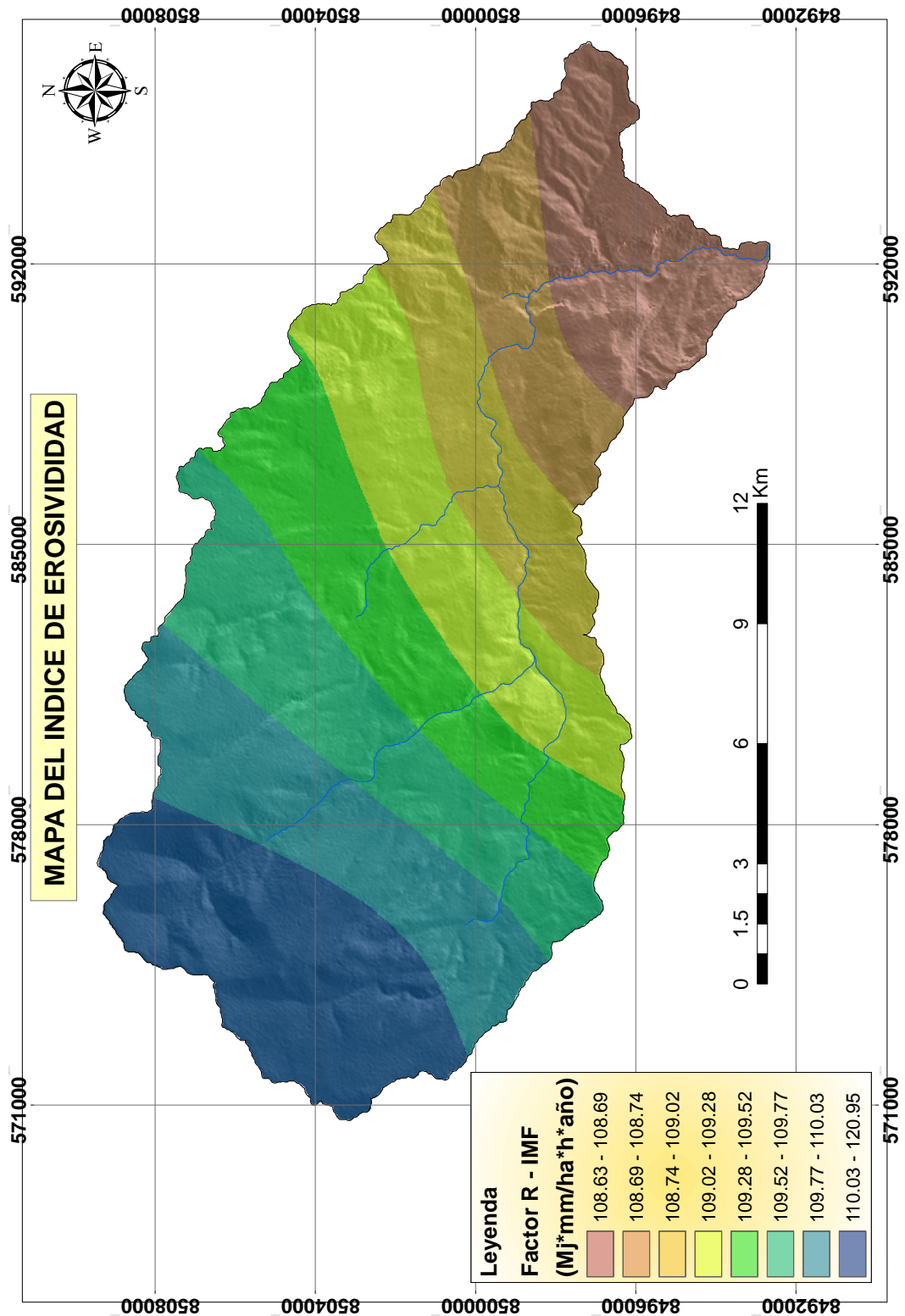
#### 4.1.1.1. Aplicación del Índice Modificado de Fournier (IMF)

Con los registros de precipitación acumulada mensual y anual de las estaciones; Pampa Cangallo (1995 -2011), Huancapi (1994-2014) Vilcashuamán, Allpachaca, Vischongo, Chuschi, Cuchoquesera (1963 - 2010), donde se calcularon los valores de R para toda la cuenca del río Macro aplicando el IMF (Arnoldus, 1978. Citado por RAMIREZ et al., 2007).

En la (Figura 4.67) se observa que el índice de erosividad o factor R, oscila entre 151.64 - 167.07  $Mj*mm/ha*h*año$  para toda la cuenca del río Macro, la modelación espacial de la precipitación mensual y anual se realizó con una interpolación a partir de datos puntuales de las estaciones pluviométricas a través del ArcGis v. 10.4.1.obteniéndose los valores más altos en las zonas de mayor altura y mayor precipitación, esto significa que las lluvias que se producen en las partes altas tienen mayor potencial erosivo, afectando de manera significativa en los procesos erosivos del suelo.



Figura 4.67: Mapa del índice de erosividad



Fuente: Elaboración propia



#### 4.1.1.2. Roose, Morgan y Foster

A partir de los registros de precipitación acumulada mensual y anual, se pudo obtener los valores de R para cada una de las estaciones utilizadas y generar estaciones con la ecuación polinomial ya que esta presentó una mejor correlación entre precipitación y altura siendo ( $R^2 = 0.86$ ) y mejor coeficiente de Pearson ( $r = 0.84$ ); con las que se generó un mapa de Isoyetas para toda la cuenca del río Macro, con el que se aplicó las ecuaciones de Roose (1995), Morga(1974) y Foster et al. (1981), citado por MORGAN (1997).

**Tabla 4.19:** Valores de R anual obtenidos para la cuenca del río Macro

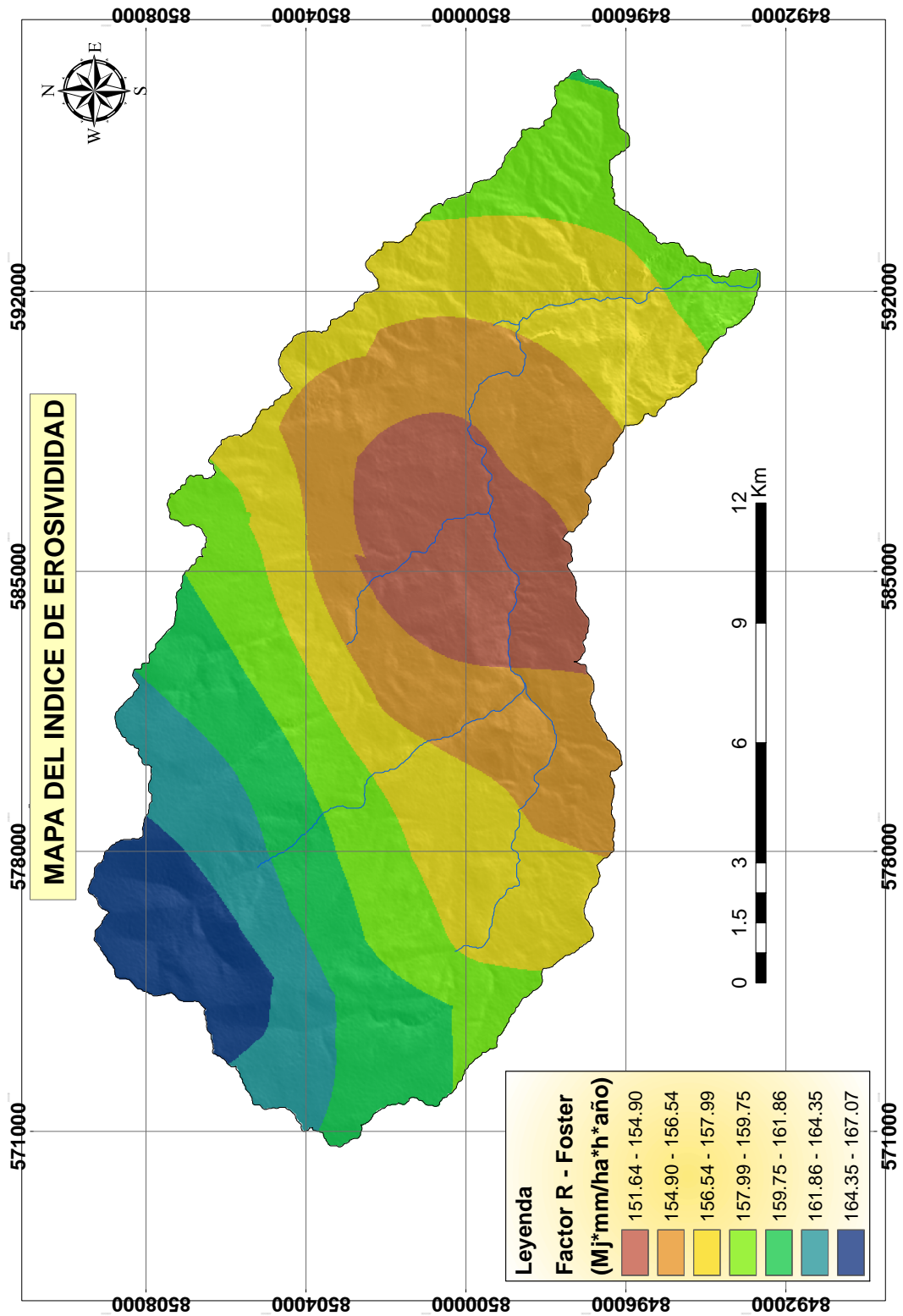
Rango de precipitación		Precipitación Anual (mm)	R (Mj*mm/ha*h*año)		
			ROOSE	MORGAN	FOSTER
			$R = 1.73 * 0.5 * P$	$R = I30 (9.28P - 8383) / 1000$ I30 = 75 mm/h	$R = 0.276P * I30 / 100$ I30 = 75 mm/h
732.54	748.33	740.4	640.5	-113.38224	153.3
748.33	756.22	752.3	650.7	-105.1416	155.7
756.22	763.24	759.7	657.2	-99.95292	157.3
763.24	771.72	767.5	663.9	-94.55892	158.9
771.72	781.95	776.8	672.0	-88.04784	160.8
781.95	793.94	787.9	681.6	-80.31528	163.1
793.94	807.1	800.5	692.4	-71.56308	165.7

Como podemos ver en el cuadro 4.19 y la figura 4.68, los valores de la erosividad R por los diferentes métodos de Roose, Morgan y Foster varían entre: 640.5 a 692.4  $Mj*mm/ha*h*año$ ; -113.4 a -71.6  $Mj*mm/ha*h*año$  y 153.3 a 165.7  $Mj*mm/ha*h*año$  respectivamente.

Analizando los valores de erosividad R de las lluvias en la cuenca del río Macro con los tres métodos mencionadas y comparando con los generados por la ecuación del índice modificado de fournier, se desestimaron los valores del factor R que se obtuvieron con Roose y Morgan por ser demasiado alto y el otro por ser negativo, no se tomo con Rosse por lo que generaría una sobreestimación de la tasa de erosión hídrica que se da en  $tm/ha/año$ .



Figura 4.68: Mapa del Índice de erosividad según Foster



Fuente: Elaboración propia



## 4.2. Factor de erodabilidad del suelo (K)

En la Figura 4.69 se observa que los valores de erodabilidad de la cuenca del río Macro oscilan entre 0,03 - 0,0418  $\text{tm}^*\text{ha}^*\text{h}/\text{ha}^*\text{Mj}^*\text{mm}$ . Los valores más bajos de erodabilidad corresponden a suelos de textura arcillo arenoso y franco arcillo arenoso (hasta 0.034), los valores medios a suelos de textura franco (hasta 0.0432), (ver anexo).

## 4.3. Factor longitud y gradiente de la pendiente (LS)

### 4.3.0.3. Método de Mintegui

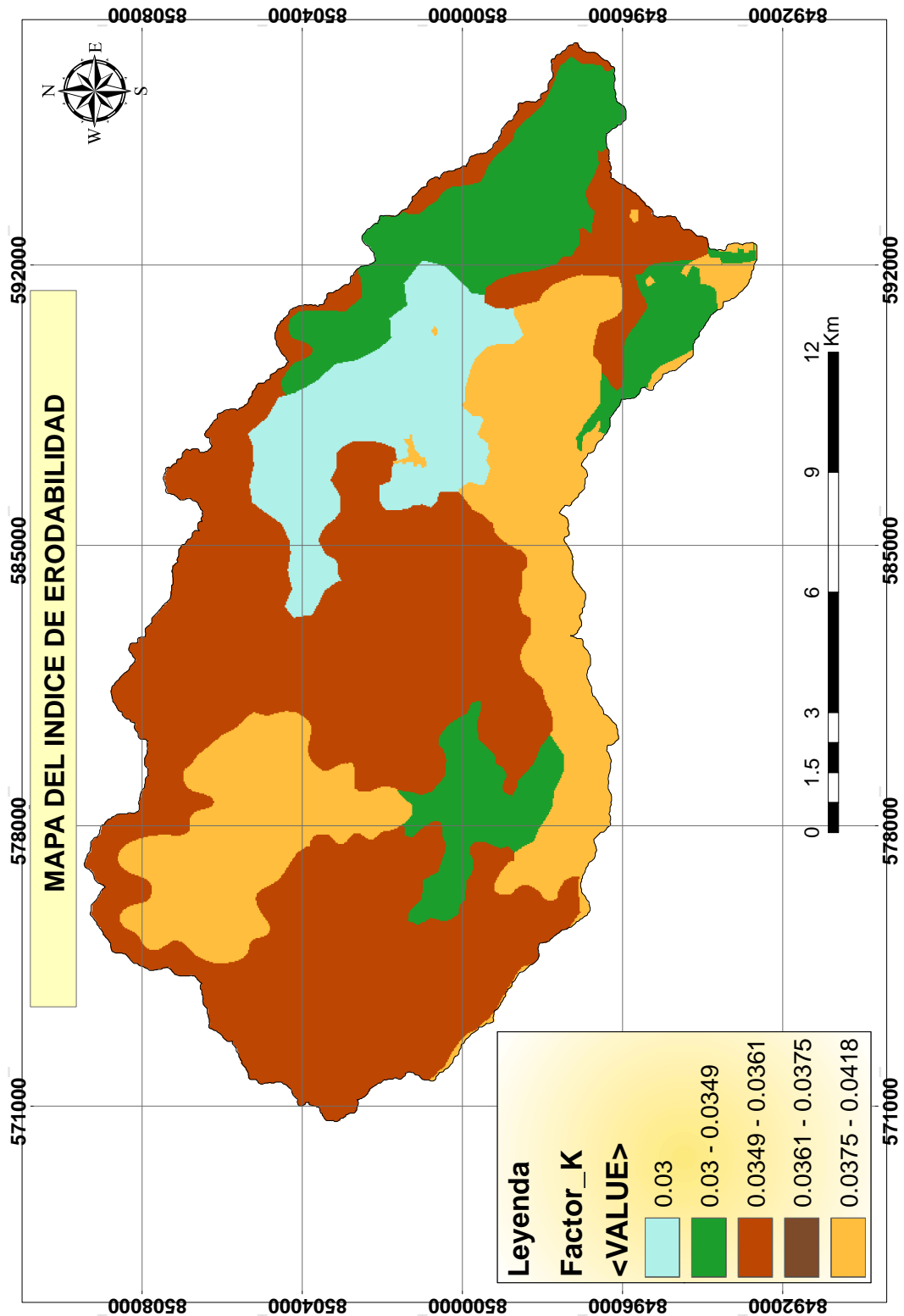
El siguiente mapa se obtuvo a partir del mapa de pendientes en porcentaje, producto del DEM RAPIDEYES de 12.5 m de resolución espacial (ver anexo), al cual se clasificó según los rangos propuestos por éste método. Se aprecia (Figura 4.70) que los rangos de LS, varían entre 0,3 - 28,5 (adimensional), los valores más altos de LS, corresponden a las zonas de pendientes, ya que la pérdida de suelo se incrementa más rápidamente con pendientes pronunciadas.

### 4.3.0.4. Método de Renard

Se aprecia (Figura 4.71) que los valores de LS, calculadas mediante la ecuación de Renard usadas en RUSLE, varían entre 0.03 hasta 1380.742 (adimensional), estos valores se encuentran en las zonas de mayor longitud y pendiente, ya que mientras mayor sea la longitud, mayor será el recorrido de una gota de lluvia hasta llegar al punto donde se concentra el flujo junto al suelo desprendido; lo mismo sucede con la pendiente ya que, la pérdida de suelo se incrementa más rápidamente con pendientes muy pronunciadas en comparación con el incremento en longitud de la pendiente.



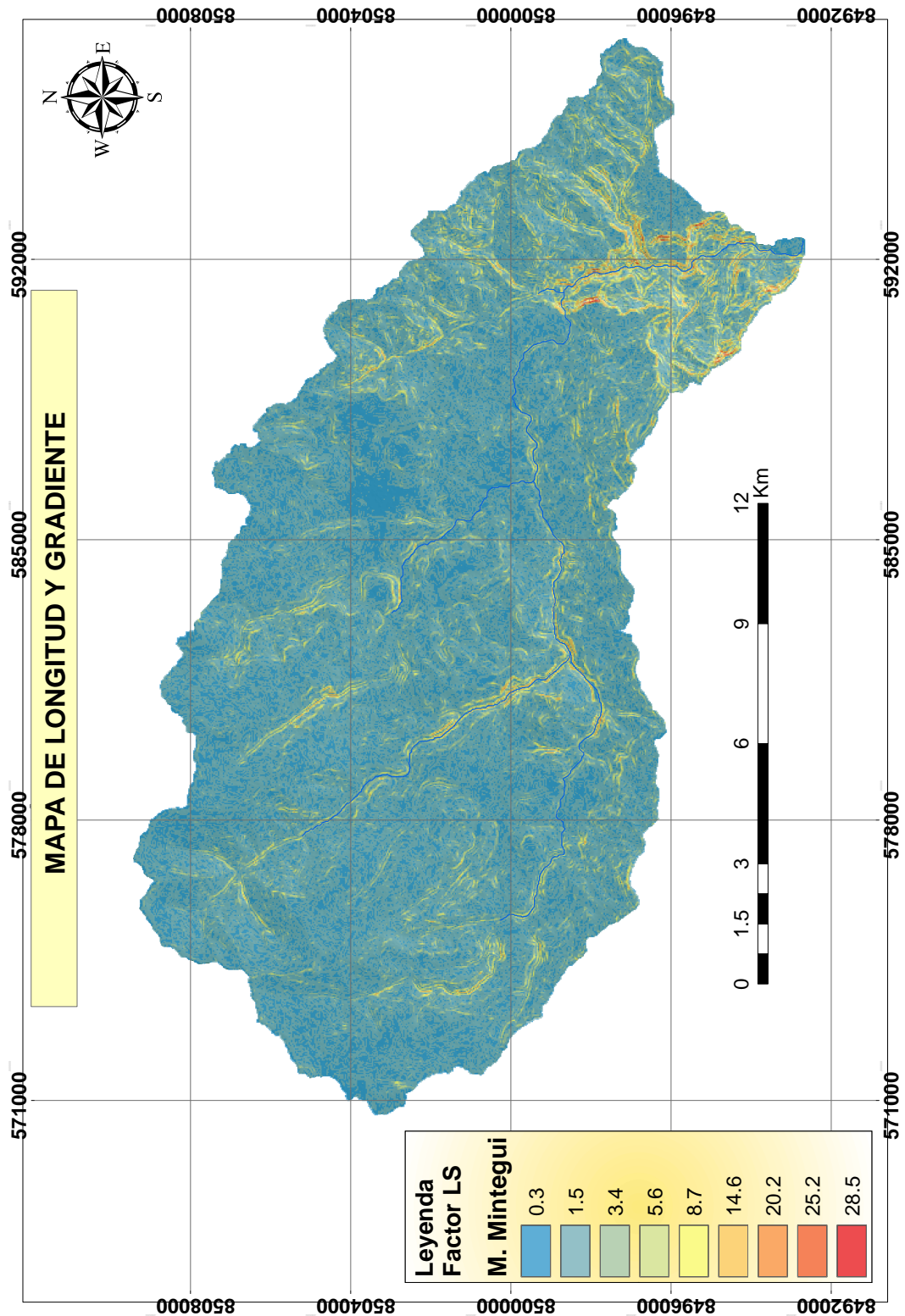
Figura 4.69: Mapa del Índice de erodabilidad o factor K



Fuente: Elaboración propia



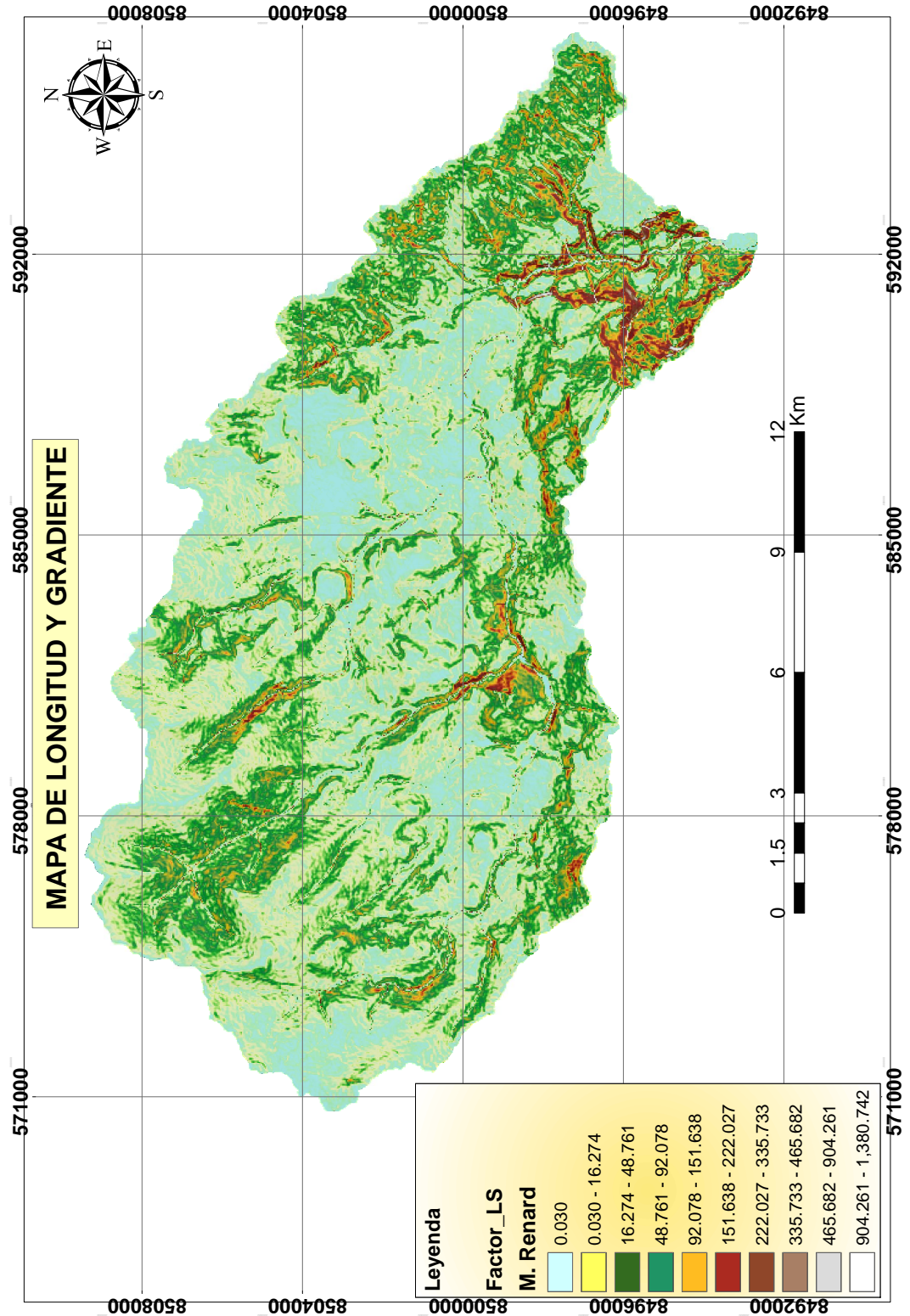
Figura 4.70: Mapa de longitud y gradiente de pendiente, método Mintegui



Fuente: Elaboración propia



Figura 4.71: Mapa de longitud y gradiente de pendiente Renard



Fuente: Elaboración propia



## 4.4. Factor cobertura vegetal o uso actual del suelo (C)

Mapa de usos y cobertura vegetal elaborado a partir del mapa temático del zee Ayacucho cobertura (ver anexo). Se observa que los valores del factor C, para la cuenca del río Macro oscilan entre 0,0001 hasta 0.40

## 4.5. Pérdida de suelo

### 4.5.1. Erosión Potencial

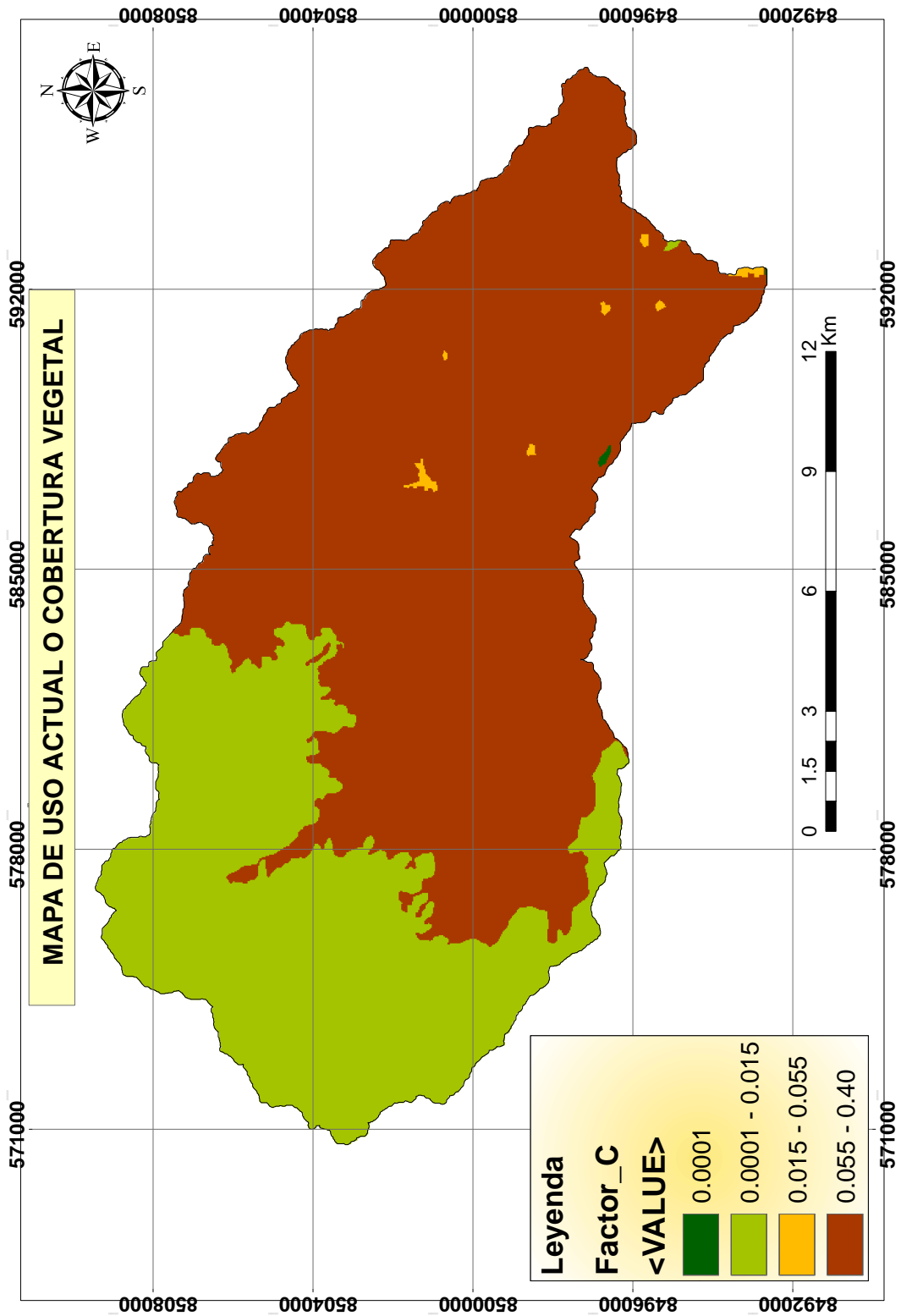
Los factores de erosión evaluados son: R, K, L, S, los que permiten estimar la erosión máxima potencial teórica para cada zona ( $R * K * L * S$ ). Este valor representa la pérdida de suelo en  $\text{tm/ha/año}$  que se produciría en ese lugar sin ningún tipo de cobertura durante un año, expuesto a la acción erosiva de las lluvias. Este valor nos indica la susceptibilidad erosiva en la cuenca. En la Figura 4.74, se estima una erosión hídrica potencial para la cuenca del río Macro de 0.1367 - 7,830.0987  $\text{tm/ha}^*\text{año}$ .

### 4.5.2. Erosión en la zonas agrícolas de Pampa Cangallo

Los valores de pérdida de suelos por erosión hídrica en el centro poblado de Pampa Cangallo oscilan entre 0.1367 a 330.462  $\text{tm/ha/año}$ , un nivel de riesgo, según estos rangos la cuenca del río Macro presenta altas tasas de erosión críticas, una erosión que sobrepasa los límites permisibles, mientras que las zonas agrícolas del centro poblado de Pampa Cangallo presentan una erosión moderada que es aceptable según (RAMOS, 2001). También se puede identificar zonas críticas de altas tasas de erosión la cual se deben tomar en consideración para tomar las medidas respectivas de conservación de suelo.



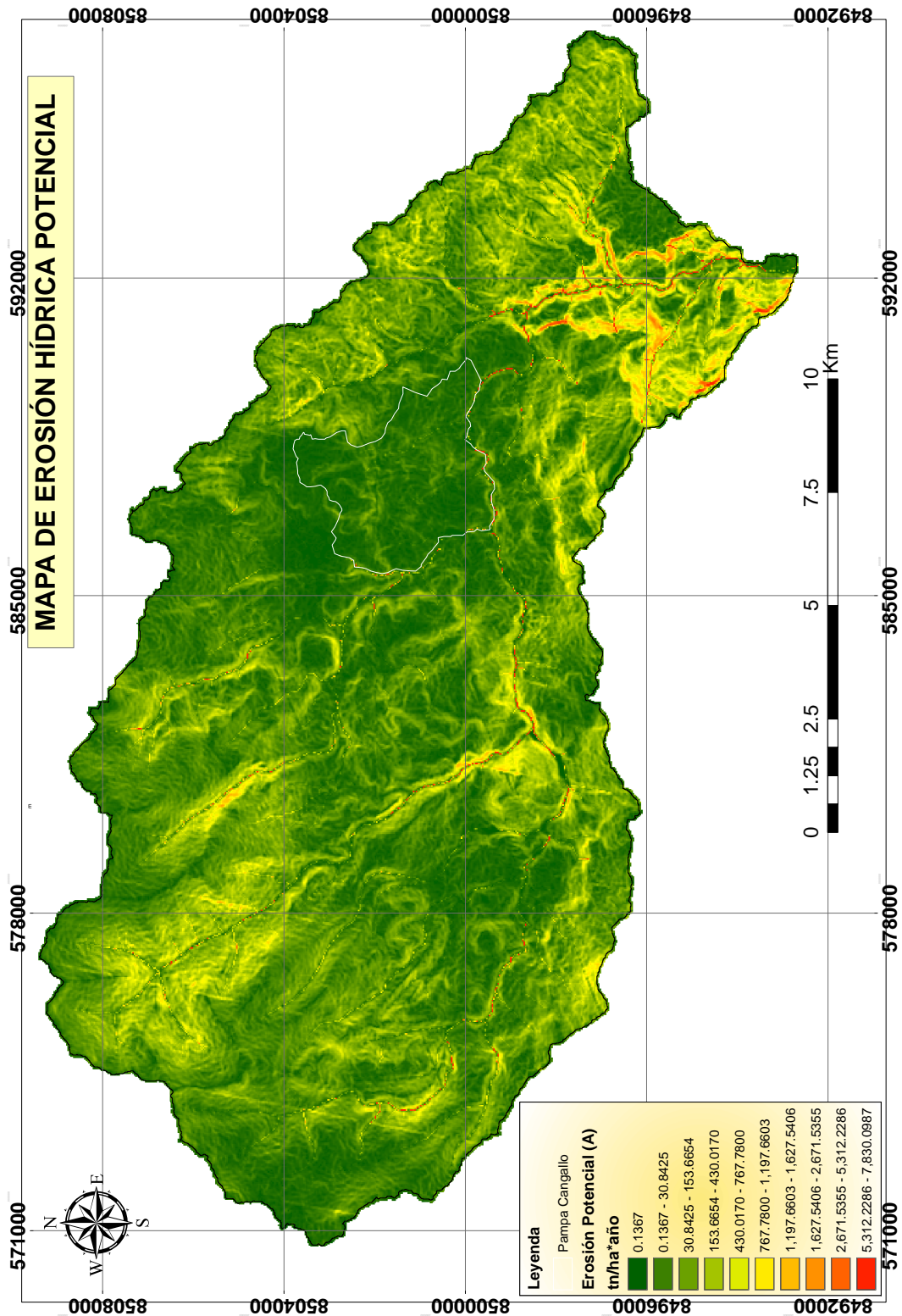
Figura 4.72: Mapa de factor de cobertura vegetal o factor C



Fuente: Elaboración propia

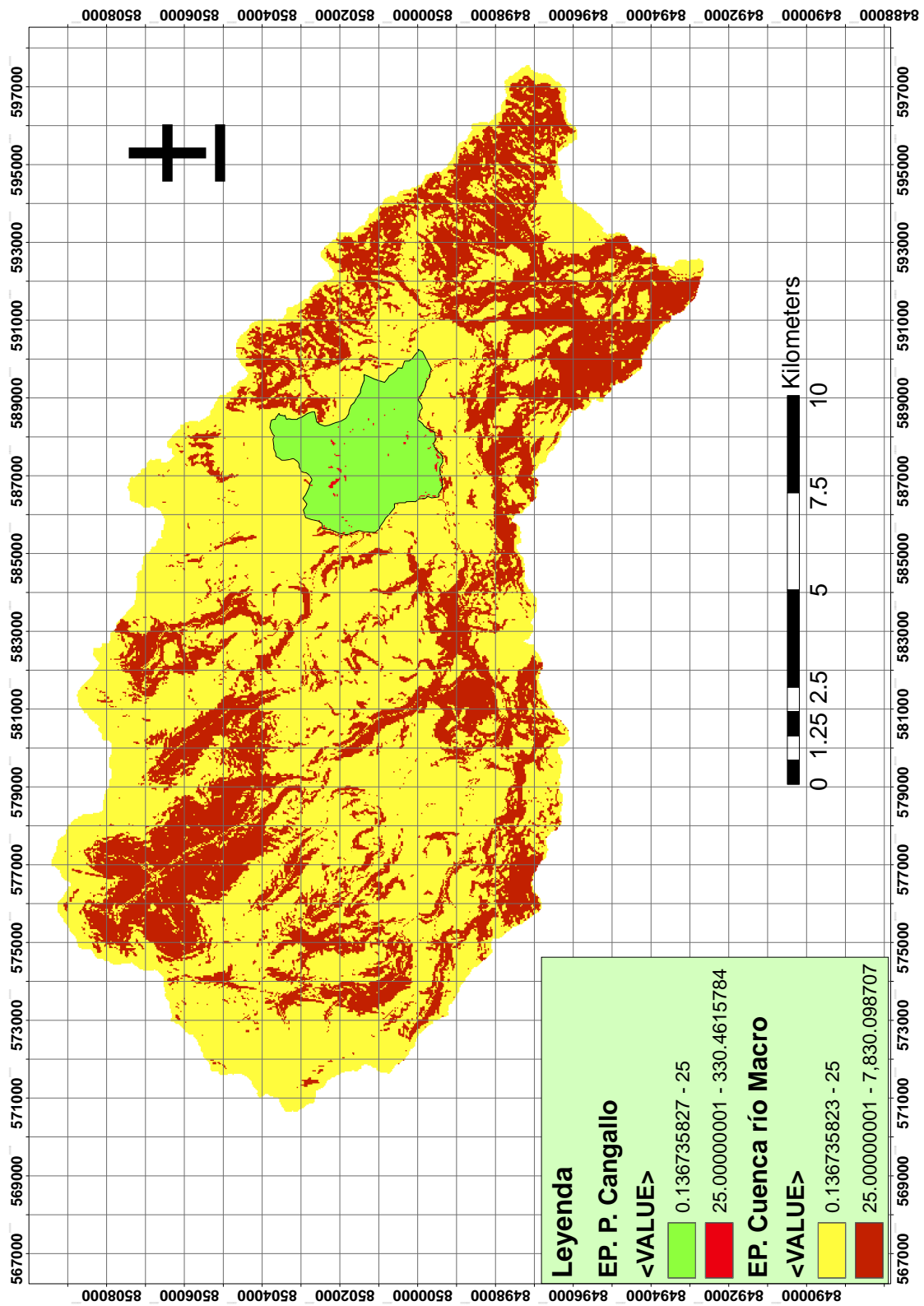


Figura 4.73: Mapa de erosión hídrica potencial de la cuenca del río Macro



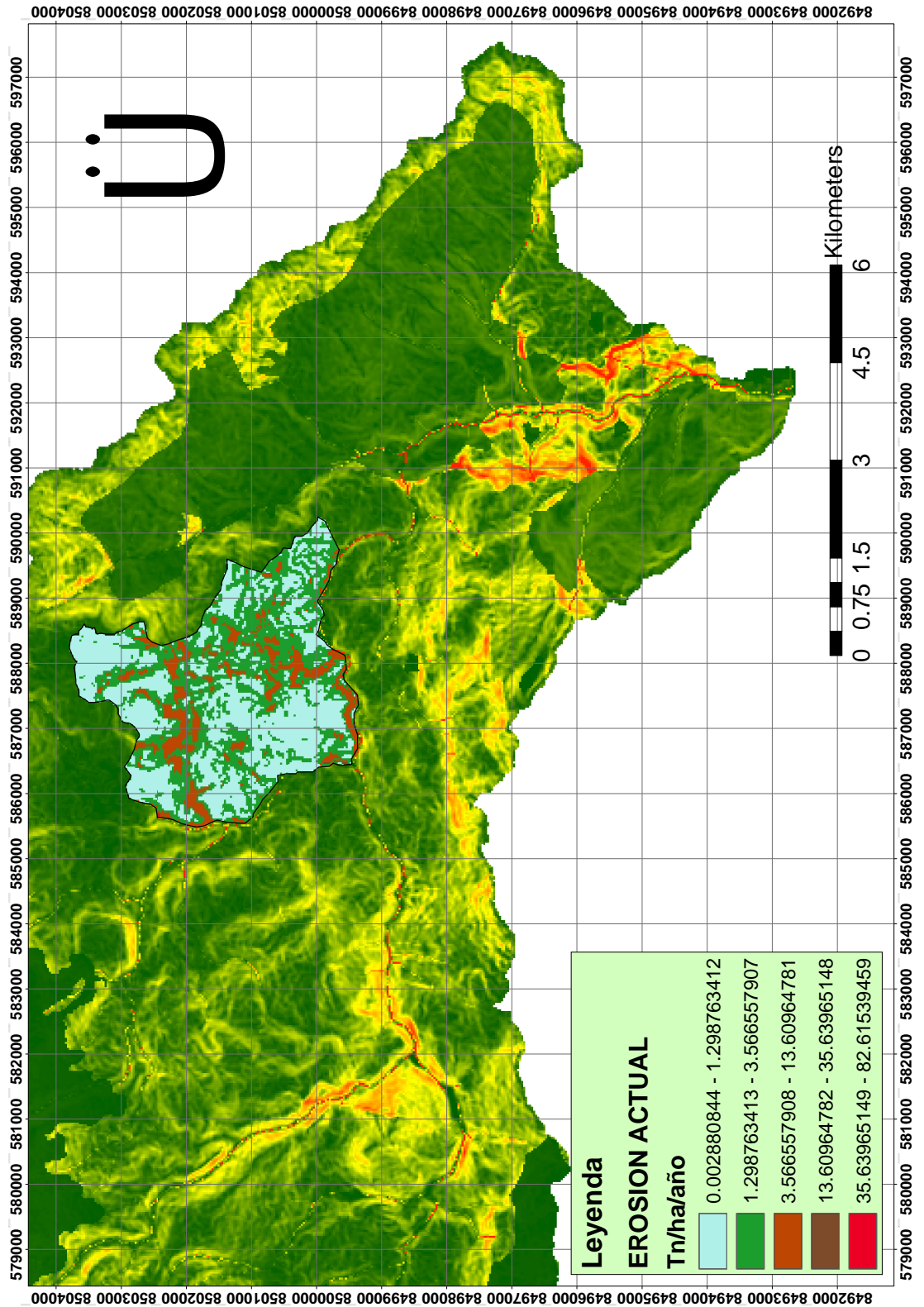
Fuente: Elaboración propia

Figura 4.74: Mapa de erosión potencial - Centro poblado de Pampa Cangallo



Fuente: Elaboración propia

**Figura 4.75:** Mapa de erosión actual - Centro poblado de Pampa Cangallo



Fuente: Elaboración propia

# Conclusiones y recomendaciones

## Conclusiones

Los resultados presentados en el capítulo 4 demuestran la hipótesis propuesta. A continuación se abordan cada una de las cuestiones planteadas en el capítulo 1 y se responden a estas interrogantes. Las respuestas a estas interrogantes resumen los contenidos presentados a lo largo de este trabajo.

- Se determinó el Factor R o índice de erosividad de las precipitaciones, mediante el método IMF, con valores de 108.63 a 120.95  $Mj*mm/ha*h*año$ , para toda la cuenca del río Macro.
- Se determinó el factor K o índice de erodabilidad del suelo, con valores que oscilan entre 0.03 a 0.0418  $tm*ha*h/ha*Mj*mm$ .
- Se determinó el factor LS o factor de longitud y gradiente de la pendiente, con valores entre 0.030 a 1380.742 para toda la cuenca del río Macro.
- Se determinó el factor C o factor de cobertura vegetal, con valores entre 0.0001 a 0.4 para toda la cuenca del río Macro.
- Los valores obtenidos a través de la metodología USLE/RUSLE, muestran que la cuenca del río Macro posee, en un 40 % de la superficie total el riesgo de degradación por erosión hídrica crítica ya que superan las 200  $tn/ha/año$ , en la zonas agrícolas del centro poblado de Pampa Cangallo presente una erosión potencial de 0.1 a 330.46  $tn/ha/año$  y una erosión actual de 0.002 a 82.615  $tn/ha/año$  con zonas puntuales identificadas con erosión crítica.
- Con los resultados obtenidos se tiene una visión general de manera cualitativa y cuantitativa de la variación espacial de los sectores más susceptibles en la erosión hídrica de la cuenca del río Macro así mismo en el centro poblado de Pampa Cangallo se verifica el proceso, constituyéndose en un instrumento de gestión fundamental a partir del cual se podrá realizar la planificación y conservación de la cuenca en el ámbito de conservación se suelo.
- La utilización de los SIG, se constituyen en herramientas básicas para la obtención y evaluación de las variables que afectan la erosión hídrica del suelo.



## Recomendaciones

La presente tesis mostró resultados prometedores en la predicción de la estimación de la erosión. Sin embargo, algunas recomendaciones serán presentadas para futuras investigaciones que soporten este estudio.

- Concientizar a la población y a los responsables del manejo y gestión de los recursos naturales, para propiciar la conservación de los mismos.
- Crear un plan de conservación y programas de restauración.
- Promover el manejo y uso adecuado del suelo así como la aplicación de buenas prácticas de cultivo.
- Atender las zonas que presentan los mayores grados de erosión, priorizando las partes altas de la cuenca del río Macro, las cuales presentan mayor susceptibilidad a la pérdida de suelo.
- En la cuenca del río Macro para poder asegurar el recurso suelo para las futuras generaciones se debe disminuir el efecto del factor topográfico (LS), estableciendo barreras vivas, muertas y además construir zanjas de infiltración en contra del sentido de la pendiente con el fin de disminuir la velocidad del agua de escorrentía y con ello su capacidad erosiva, de forma que se mitigue y controle el proceso erosivo.
- El éxito de la conservación de cuencas no está asegurado si no se garantiza la actualización periódica de la información por ello que este tipo de investigaciones con miras a una mejor clasificación conlleve a un óptimo uso y manejo del suelo, con la adopción de prácticas de conservación de suelos a partir de las necesidades de cada cuenca.

# Referencia Bibliográfica

## Erosión Hídrica de Suelos

- Cisneros, J, Cholaky, C, Gutiérrez, A. C., González, J, Reynero, M, Diez, A. y Bergesio, L. (2012). Erosión hídrica: principios y técnicas de manejo. *Editora UniRio. Colección Académico Científico*, 74-81.
- DERPSCH, R. (2004). Entender el proceso de la erosión y la de infiltración de agua en el suelo. *Publicación especial por No-till on the plains Inc.[en línea]<<http://www.rolfderpsch.com/erosion-es.html>>Acceso, 8.*
- ELLISON, W. D. (1948). Soil erosion 1. *Soil Science Society of America Journal*, 12(100), 479-484.
- FAO. (1993). Erosion de suelos en america latina. *Erosion de suelos en America Latina*. Recuperado desde <http://www.fao.org/docrep/t2351s/T2351S00.htm>
- FAO, I. (1998). Guía para la descripción de perfiles de suelo. Organización de Naciones Unidas para La Agricultura y la Alimentación FAO.
- Ines, M. L. y Amanda, V. L. (2016). Manejo de cuencas para el control de la erosión hídrica – área piloto “la esperanza”. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*. Recuperado desde <https://inta.gob.ar/noticias/manejo-de-cuencas-para-el-control-de-la-erosion-hidrica-%E2%80%93-area-piloto-la-esperanza>
- Meyer, L. y Mannering, J. (1967). Tillage and land modification for water erosion control. En *Amer. soc. agric. eng. tillage for greater crop production conference. proc* (pp. 58-62).
- MINAM. (2013). Información de la zonificación ecológica económica en el ámbito de la region ayacucho. *PERÚ-MINISTERIO DEL AMBIENTE*. Recuperado desde <http://geoservidor.minam.gob.pe/zee-aprobadas/ayacucho/>
- Prado, L y Veiga, M. (1993). Erosión y pérdida de fertilidad del suelo. *erosión de suelos en América Latina. Santiago, Chile*.
- Renard, K, Foster, G, Weesies, G, McCool, D y Yoder, D. (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (rusle). 703.
- Taboada Barreto, L. (2011). Evaluacion de la erosión hídrica en áreas con zanjas de infiltración. *PRONAMACHCS AGRORURAL*. Recuperado desde <https://es.scribd.com/document/72647569/Evaluacion-de-erosion-en-zanjas-de-infiltracion>



## Tesis

- Cabrejos Valdivia, M. N. (2016). *Modelamiento geoespacial en la determinación del riesgo, vulnerabilidad y de la cuantificación de la erosión hídrica en la microcuenca del río atuen – amazonas*. Recuperado desde <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1951>
- Flores Villanueva, n. L. (2015). *Aproximación de riesgo por erosión hídrica aplicando un sistema de información geográfica en la subcuenca shambillo, distrito de padre abad*. Recuperado desde [https://issuu.com/angelleonardo8/docs/articulo\\_suelos\\_angel](https://issuu.com/angelleonardo8/docs/articulo_suelos_angel)
- GUANCA, A. (2010). *Determinación de la erosión hídrica de los suelos de la cuenca del río pilcomayo–salta*. (Tesis doctoral, Tesis (Ing agr) Salta, Argentina).
- Rosas Barturén, M. A. (2016). *Cuantificación de la erosión hídrica en el Perú y los costos ambientales asociados*. Recuperado desde <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/6822>

## Artículos

- Aliaga, G. (2006). Juan Peña Ilopis. sistemas de información geográfica aplicados a la gestión del territorio. *Revista de Geografía Norte Grande*, (36), 97-101.
- Barrios, A. G. y Quiñónez, E. (2000). Evaluación de la erosión utilizando el modelo (r) usle, con apoyo de sig. aplicación en una microcuenca de los andes venezolanos. *Revista Forestal Venezolana*, 44(1), 65-71. Recuperado desde [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjskcb17PbAhUxzlkKHekCAiUQFggpMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.saber.ula.ve%2Fbitstream%2F123456789%2F24173%2F1%2Farticulo44\\_1\\_7.pdf&usq=A0vVaw13xGUo\\_dv1auXACsYv89At](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwjskcb17PbAhUxzlkKHekCAiUQFggpMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.saber.ula.ve%2Fbitstream%2F123456789%2F24173%2F1%2Farticulo44_1_7.pdf&usq=A0vVaw13xGUo_dv1auXACsYv89At)
- INETER. (2005). Erosión hídrica. mapa de amenazas. recomendaciones técnicas para su elaboración. publicación del proyecto: metodologías para el análisis y manejo de los riesgos naturales. agencia suiza para el desarrollo y la cooperación (cosude). managua, nicaragua. *INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES (INETER)*. 52. Recuperado desde [https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwiQx\\_3247\\_bAhUL7LMKHUCcDyAQFggpMAA&url=http%3A%2F%2Fwebserver2.ineter.gob.ni%2Fproyectos%2Fmeta1arn%2Ferosion.pdf&usq=A0vVaw0Aprg3NiHWF315ha0fW3o](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwiQx_3247_bAhUL7LMKHUCcDyAQFggpMAA&url=http%3A%2F%2Fwebserver2.ineter.gob.ni%2Fproyectos%2Fmeta1arn%2Ferosion.pdf&usq=A0vVaw0Aprg3NiHWF315ha0fW3o)
- Kirschbaum, R. (2016). En argentina se cuadruplicó el área afectada por la erosión hídrica. *Clarín Rural*. Recuperado desde [https://www.clarin.com/rural/argentina-quintuplico-afectada-erosion-hidrica\\_0\\_r1Shzln0.html](https://www.clarin.com/rural/argentina-quintuplico-afectada-erosion-hidrica_0_r1Shzln0.html)
- Núñez, V y Bes, P. G. (2000). Uso de herramientas de los sistemas de información geográfica (sig) en la ordenación de cuencas hidrográficas. *Salta, AR. snt*.

## **Anexo A**

### **Registro de precipitaciones total mensual y anual (mm)**



**Tabla A.1: ESTACIÓN PAMPA CANGALLO - periodo 1995 - 2011 (17 años)**

**REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL Y ANUAL (mm)**

<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>ANUAL</b>
<b>1995</b>	129.4	127.4	141.5	63.2	1.6	0.0	0.8	9.1	19.8	20.8	131.9	84.8	<b>730.3</b>
<b>1996</b>	218.8	175.4	146.3	58.6	0.0	1.0	3.8	5.5	29.5	21.4	22.6	73.4	<b>756.3</b>
<b>1997</b>	163.0	104.1	70.6	21.2	13.3	0.0	2.6	46.7	36.7	9.1	59.4	102.4	<b>629.1</b>
<b>1998</b>	163.2	153.1	143.8	51.7	1.2	13.3	0.0	1.5	6.3	40.7	46.0	62.8	<b>683.6</b>
<b>1999</b>	98.0	225.9	144.1	70.0	2.6	1.7	6.2	0.0	58.2	32.9	39.7	67.3	<b>746.6</b>
<b>2000</b>	134.7	263.0	137.4	29.1	24.1	15.1	3.5	22.5	3.5	96.9	20.0	84.6	<b>834.3</b>
<b>2001</b>	195.0	81.8	218.8	37.1	39.8	7.3	11.8	8.1	15.7	39.8	59.8	28.6	<b>743.5</b>
<b>2002</b>	130.8	155.6	134.0	23.8	10.5	2.0	46.5	13.6	73.2	31.1	132.4	243.1	<b>996.6</b>
<b>2003</b>	155.3	131.4	136.8	52.2	9.5	0.0	0.0	18.5	37.4	40.4	53.8	135.8	<b>771.1</b>
<b>2004</b>	56.8	170.5	131.1	27.3	2.8	9.8	10.9	8.4	37.1	44.1	69.7	119.9	<b>688.4</b>
<b>2005</b>	80.9	67.1	120.8	38.6	0.1	0.0	4.1	34.4	43.9	43.0	29.3	118.5	<b>580.7</b>
<b>2006</b>	220.6	124.3	171.5	41.3	2.1	3.3	0.0	22.8	33.0	37.0	57.0	46.0	<b>758.9</b>
<b>2007</b>	78.7	87.7	169.6	57.1	10.5	0.5	4.7	2.4	32.6	46.6	54.7	128.3	<b>673.4</b>
<b>2008</b>	190.6	175.2	92.1	27.8	6.9	4.8	0.0	3.9	13.1	33.5	66.0	98.7	<b>712.6</b>
<b>2009</b>	111.3	118.2	141.7	57.4	0.2	0.0	15.8	3.3	11.3	38.5	100.0	102.7	<b>700.4</b>
<b>2010</b>	258.6	136.5	107.3	31.7	2.9	0.0	0.0	3.3	14.0	36.5	23.6	99.8	<b>714.2</b>
<b>2011</b>	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	4.3	75.7	72.2	
<b>MEDIA</b>	<b>149.1</b>	<b>143.6</b>	<b>138.0</b>	<b>43.0</b>	<b>8.0</b>	<b>3.7</b>	<b>6.9</b>	<b>12.7</b>	<b>29.1</b>	<b>36.3</b>	<b>61.3</b>	<b>98.2</b>	<b>732.5</b>

\*\*\* FUENTE: EX PERC/GRA-HIDROMETEOROLOGIA/SENAMHI

\*\*\* REGISTROS SIN CONTROL DE CALIDAD

\*\*\* RESPONSABLE: ANGEL Y. URBANO MARTINEZ



**Tabla A.2:** ESTACIÓN HUANCAPÍ - periodo 1994 - 2014 (21 años)

**REGISTRO DE PRECIPITACION MENSUAL Y ANUAL (mm)**

<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>	<b>ANUAL</b>
<b>1994</b>	211.0	197.0	147.8	53.8	5.7	2.7	0.0	0.0	6.8	20.3	93.4	61.7	<b>800.2</b>
<b>1995</b>	129.1	126.5	118.5	33.1	3.7	0.0	0.8	3.9	17.3	40.4	73.1	64.7	<b>611.1</b>
<b>1996</b>	23.8	195.0	157.7	80.2	4.6	1.5	4.0	14.6	6.5	8.5	26.3	80.2	<b>602.9</b>
<b>1997</b>	189.2	114.1	119.4	17.2	27.7	63.7	7.0	50.3	34.8	20.7	99.7	116.7	<b>860.5</b>
<b>1998</b>	184.2	182.7	153.5	25.0	0.0	16.3	0.0	1.6	5.5	19.5	56.2	93.8	<b>738.3</b>
<b>1999</b>	80.6	239.6	200.1	106.3	4.1	6.1	4.4	3.5	69.1	63.8	24.8	89.0	<b>891.4</b>
<b>2000</b>	165.9	237.4	135.1	18.4	37.6	5.4	8.1	31.3	8.0	77.1	13.9	146.4	<b>884.6</b>
<b>2001</b>	239.9	126.6	140.7	58.3	34.4	10.1	14.1	13.9	30.6	43.2	74.4	42.7	<b>828.9</b>
<b>2002</b>	98.4	149.0	126.3	57.1	11.9	5.2	52.3	19.7	63.9	26.5	54.5	136.2	<b>801.0</b>
<b>2003</b>	171.6	155.8	163.2	62.4	18.5	0.0	7.0	30.2	21.3	41.0	37.3	106.9	<b>815.2</b>
<b>2004</b>	73.6	138.5	125.8	26.7	0.0	31.2	15.7	16.4	29.2	42.0	41.9	158.4	<b>699.4</b>
<b>2005</b>	149.5	69.9	110.1	49.1	9.4	0.0	5.0	21.9	58.3	50.6	55.0	117.3	<b>696.1</b>
<b>2006</b>	145.6	162.4	141.8	50.5	11.4	9.2	9.0	33.9	11.0	34.2	78.0	130.3	<b>817.3</b>
<b>2007</b>	88.7	143.9	184.1	85.1	3.6	0.6	0.0	14.0	33.4	30.8	40.7	188.2	<b>813.1</b>
<b>2008</b>	240.0	146.3	95.9	15.4	2.6	5.0	0.0	3.8	0.6	33.5	31.1	156.6	<b>730.8</b>
<b>2009</b>	129.9	176.0	152.5	53.8	10.8	0.0	25.1	3.4	11.7	57.4	109.2	128.8	<b>858.6</b>
<b>2010</b>	254.2	200.1	138.8	66.5	8.0	0.0	0.0	0.0	19.0	41.6	26.0	175.4	<b>929.6</b>
<b>2011</b>	275.0	272.3	157.5	108.0	11.3	0.0	25.6	4.4	70.5	39.0	53.2	133.3	<b>1150.1</b>
<b>2012</b>	132.7	351.4	193.9	155.0	4.0	10.7	6.3	2.5	18.4	18.7	33.6	204.2	<b>1131.4</b>
<b>2013</b>	161.1	129.6	103.3	8.9	20.7	15.8	17.0	37.0	7.9	39.1	46.4	127.1	<b>713.9</b>
<b>2014</b>	212.8	122.8	126.5	32.9	17.0	0.0	16.2	15.3	85.2	37.0	53.0	128.0	<b>846.7</b>
<b>MEDIA</b>	<b>159.8</b>	<b>173.2</b>	<b>142.5</b>	<b>55.4</b>	<b>11.8</b>	<b>8.7</b>	<b>10.4</b>	<b>15.3</b>	<b>29.0</b>	<b>37.4</b>	<b>53.4</b>	<b>123.1</b>	<b>787.0</b>

\* FUENTE: SENAMHI-OFICINA DE ESTADISTICA - DIRECCION REGIONAL DE JUNIN

\* INFORMACION SIN CONTROL DE CALIDAD

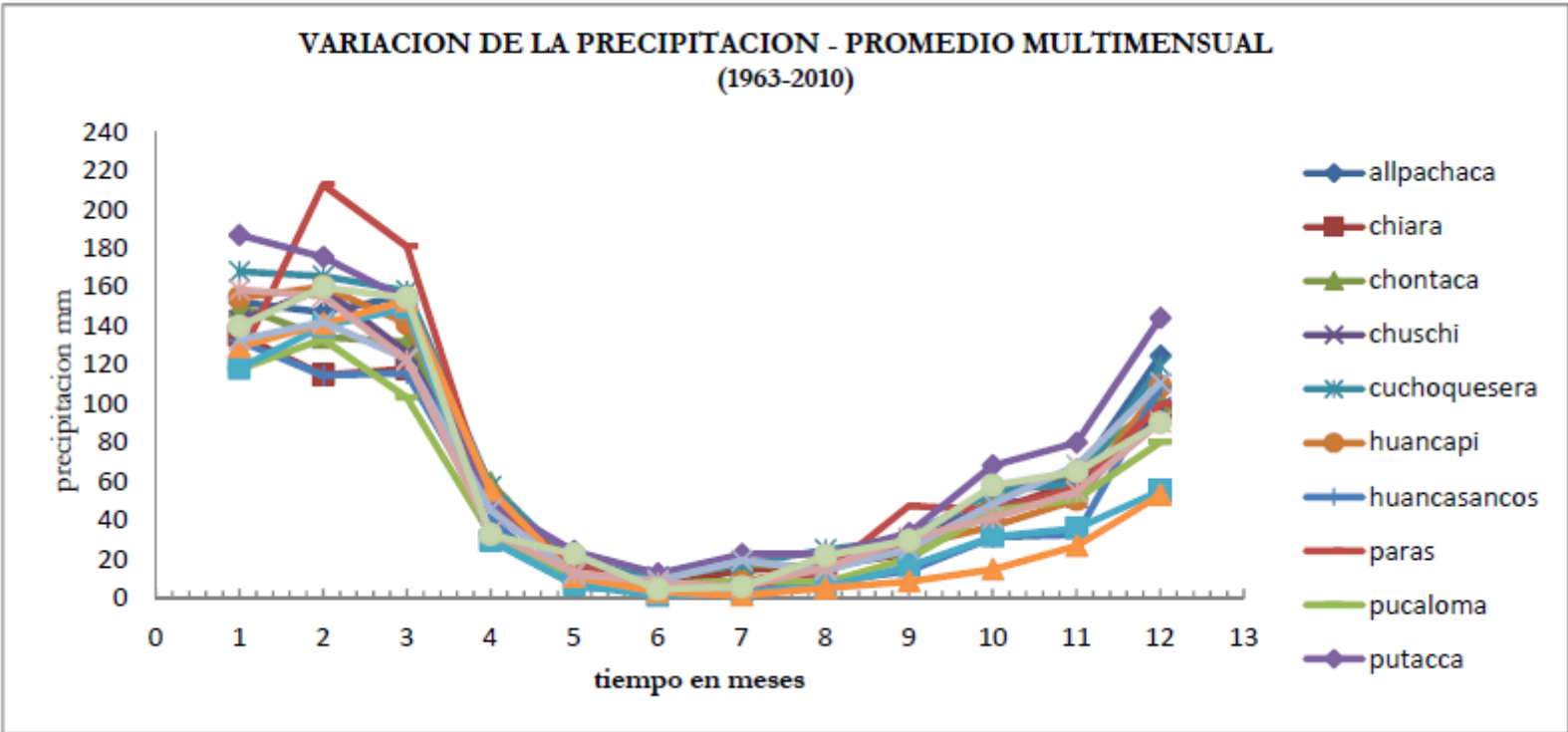
\* PROPORCIONADO POR: DRJ



Precipitación total mensual - Promedio multimensual (1963-2010)

N°	ESTACION	MESES												TOTAL ANUAL
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1	ALLPACHACA	152.3	147.01	155.91	48.73	21.65	8	14.42	17.19	31.42	55.17	62.67	124.78	839.25
2	CHIARA	135.42	114.81	117.93	44.79	13.43	6.07	14.58	16.97	22.63	44.71	59.87	96.07	687.28
3	CHONTACA	150.08	134.18	131.88	59.58	14.32	10.18	17.63	16.07	24.32	51.07	66.4	101.69	777.40
4	CHUSCHI	142.76	159.43	126.3	50.18	13.98	3.46	7.91	14.49	30.15	48.69	51.79	97.95	747.09
5	CUCHOQUESERA	168.06	165.62	158.02	57.3	17.91	11.06	17.71	24.92	30.61	55.34	59.07	119.3	884.92
6	HUANCAPI	154.52	160.35	141.22	51.96	11.49	6.22	8.19	18.70	26.69	36.97	50.67	109.10	776.08
7	HUANCASANCOS	132.41	114.73	115.58	40.31	5.69	4.35	5.62	8.35	13.98	31.48	32.60	108.77	613.88
8	PARAS	123.19	212.76	180.95	47.42	17.92	3.20	5.49	13.22	47.50	45.47	56.86	99.82	853.79
9	PUCALOMA	118.04	133.20	103.16	32.74	8.80	6.96	9.16	8.13	20.59	44.76	51.01	80.28	616.82
10	PUTACCA	186.89	175.55	153.48	49.48	24.28	12.73	22.75	22.65	33.50	68.27	80.04	144.16	973.80
11	PUTACCASA	118.38	139.91	149.46	29.64	7.00	1.24	3.01	5.78	16.41	31.73	35.99	55.35	593.91
12	RAYUSCA	129.39	141.30	153.25	55.60	11.05	3.36	1.45	5.18	8.64	14.83	26.94	53.09	604.08
13	TAMBILLO	133.14	142.19	123.09	45.47	12.40	9.19	19.36	14.29	25.48	48.56	68.32	110.83	752.31
14	VILCASHUAMAN	158.73	155.46	122.43	34.00	13.20	7.96	5.95	15.78	30.79	41.31	54.93	90.54	731.10
15	VISCHONGO	139.80	159.96	154.51	32.69	22.69	4.62	5.75	21.84	29.63	58.02	65.13	90.11	784.77

Figura A.1: PRECIPITACIÓN MENSUAL Y ANUAL, extraídos a partir del trabajo de Completación de datos faltantes de la fuente de PLUVIOMETRÍA TOTAL DIARIA - ANA / HIDROLOGÍA GENERAL (IC - 441) - UNSCH



**Figura A.2:** VARIACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL, extraídos a partir del trabajo de Completación de datos faltantes de la fuente de PLUVIOMETRÍA TOTAL DIARIA - ANA / HIDROLOGÍA GENERAL (IC - 441) - UNSCH



**Figura A.3:** Tamaño de muestra de suelos

TAXON	área (ha)	Porcentaje (%)	n	n equiv
Lithic Cryopsamments	2446	10.43	3.6	4
Typic Calcustepts-Typic Haplustepts	249	1.06	0.4	1
Typic Haplocryands	11953	50.95	17.8	18
Typic Haplustands	2904	12.38	4.3	5
Typic Udorthents	2177	9.28	3.2	4
Typic Ustorthents	3663	15.61	5.5	6
Lagunas	8	0.03	0.0	1
Area Urbana	59	0.25	0.1	1
Rios	2	0.01	0.0	1
<b>Total de superficie SIG</b>	<b>23461</b>	<b>100.00</b>	<b>35.0</b>	<b>41</b>

N	superficie total has de la cuenca	23461
1- $\alpha$	Nivel deseado de confianza	95
p	porcentaje estimado de la muestra	0.1
e	error maximo aceptable (relativo)	0.1
1-p	q	0.9
Z	Factor probalístico	1.96
n	tamaño de la muestra	34.5
		equiv

35

**Tabla de apoyo al calculo del tamaño de una muestra por niveles de confianza**

Certeza	95%	94%	93%	92%	91%	90%	80%	62.27%	50%
Z	1.96	1.88	1.81	1.75	1.69	1.65	1.28	1	0.6745
Z <sup>2</sup>	3.84	3.53	3.28	3.06	2.86	2.72	1.64	1.00	0.45
e	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10	0.20	0.37	0.50
e <sup>2</sup>	0.0025	0.0036	0.0049	0.0064	0.0081	0.01	0.04	0.1369	0.25

**Población Finita**

$$n = \frac{Z^2 \times p \times q \times N}{Ne^2 + Z^2 \times p \times q}$$

Fuente: Elaboración propia



Figura A.4: Factor de cobertura o vegetación.

Uso y Cobertura vegetal	Factor C									
	Mora, 1987	FAO, 1989	ICE, 1999	Saborío, 2002; Gómez, 2002; CATIE, 2003	Marchamalo, 2004; 2007	Lianes, 2009	Morgan, 1977	SAGARPA, 2005		
Matorral y Pasto	Sabana o pradera sobre pastada						0.1			
	Pradera de herbáceas						0.01 - 0.025			
	Pasto	0.009	0.01 - 0.015		0.013					
	Pasto (natural o mejorado)	0.008								
	Pasto de corta					0.012				
	Vegetación natural baja (altura media 50cm)		0.012							
	Potrero									
	Potrero carga normal					0.013				
	Potrero degradado					0.002				
	Potrero muy degradado					0.002				
	Alfalfa					0.016				
	Trebol							0.020 - 0.10		
	Pastizal							0.025 - 0.10		
	Pastizal natural completo				0.030 - 0.010			0.004 - 0.1		
Pastizal natural pastoreado				0.040 - 0.200						
Pastizal cultivado (manejado)				0.003 - 0.040						
Otros	Suelo desnudo						1			
	Terrenos desprovistos de vegetación			0.900 - 1.000						
	Áreas urbanas			0.003 - 0.010				0.015		
	Lagunas y embalses			0.0001						
	Cenizas							0.9		
	Masa de agua							0.0001		

Fuente: (Flores Villanueva, 2015)



Figura A.5: Factor de cobertura o vegetación.

Uso y Cobertura vegetal	Factor C							
	Mora, 1987	FAO, 1989	ICE, 1999	Saborío, 2002; Gómez, 2002; CATIE, 2003	Marchamalo, 2004; 2007	Lianes, 2009	Morgan, 1977	SAGARPA, 2005
	Patata, surcos transversales a la pendiente							0.10 - 0.40
Caupi (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 de hierbas							0.56	
Ñame							0.40-0.50	
Guisante de Angola							0.60-0.70	
Judía de mungo							0.04	
Pimiento Cafeto: después de la primera recolección							0.05	
Papa- brócoli							0.26	
Papa-zanahoria							0.3	
Papa-zanahoria-papa							0.39	
Papa-papa-brócoli							0.39	
Papa-zanahoria-brócoli							0.36	
Matorral denso				0.003 - 0.030				
Matorral claro con subestrato herbáceo denso				0.003 - 0.030				
Matorral claro con subestrato herbáceo degradado (abierto)				0.030 - 0.100				
Páramo				0.003 - 0.040				
Sabana o pradera herbáceas o en buenas condiciones							0.01	

Fuente: (Flores Villanueva, 2015)



**Figura A.6:** Factor de cobertura o vegetación.

Uso y Cobertura vegetal	Factor C							
	Mora, 1987	FAO, 1989	ICE, 1999	Saborío, 2002; Gómez, 2002; CATIE, 2003	Marchamalo, 2004; 2007	Lianes, 2009	Morgan, 1977	SAGARPA, 2005
Sorgo grano rastrojo								0.11 - 0.25
Trigo							0.10-0.40	0.15 - 0.53
Trigo rastrojo							0.20-0.50	0.1 - 0.25
Soya								0.48
Soya después de maíz con Rastrojo								0.18
Arroz							0.1-0.2	0.1 - 0.2
Piña								0.1 - 0.3
Piña cultivada a nivel con retirada de residuos							0.10-0.40	
Piña cultivada a nivel con residuos en superficie							0.01	
Tomate/chile dulce		0.502						
Caña de azúcar		0.263			0.05			
Cultivos anuales de ciclo corto (1-6 meses)				0.300 - 0.800				
Cultivos anuales de ciclo largo (6 meses)				0.400 - 0.900				
Cultivos (cobertura baja)					0.65			
Cultivos (cobertura media)								
Cultivos (cobertura alta)					0.5			
Mixto agricultura pasto					0.4			
Patata surcos según la pendiente								

Fuente: (Flores Villanueva, 2015)



Figura A.7: Factor de cobertura o vegetación.

Uso y Cobertura vegetal	Factor C							
	Mora, 1987	FAO, 1989	ICE, 1999	Saborío, 2002; Gómez, 2002; CATIE, 2003	Marchamalo, 2004; 2007	Lianes, 2009	Morgan, 1977	SAGARPA, 2005
Palma							0.10-0.30	0.1 - 0.3
Café		0.09			0.08		0.10-0.30	0.10 - 0.30
Plátano: después de su establecimiento		0.062					0.05 - 0.10	
Papaya							0.21	
Cacao		0.05						0.10 - 0.30
Cacahuete							0.3 - 0.8	0.4 - 0.8
Cultivos permanentes asociados (densos)				0.010-0.300				
Cultivos permanentes no densos				0.100-0.450				
Algodón							0.40 - 0.70	0.3 - 0.49
Algodón, tabaco								0.5 - 0.8
Huertos de subsistencia				0.300-0.900				
Árboles frutales						0.003		
Caña, caña brava	0.05							
Cultivos anuales		0.495	0.34					
Papa-zanahoria o papa-cebolla		0.615						0.54 - 0.80
Maíz		0.519						0.05 - 0.15
Maíz labranza cero								0.10 - 0.20
Maíz rastrojo								0.4 - 0.9
Maíz - sorgo, Mijo								0.43 - 0.70
Sorgo grano								

Fuente: (Flores Villanueva, 2015)



**Figura A.8:** Factor de cobertura o vegetación.

Uso y Cobertura vegetal	Factor C							
	Mora, 1987	FAO, 1989	ICE, 1999	Saborío, 2002; Gómez, 2002; CATIE, 2003	Marchamalo, 2004; 2007	Lianes, 2009	Morgan, 1977	SAGARPA, 2005
Bosque primario	0.0001							
Bosque natural		0.001-0.003				0.003		0.001 - 0.10
Selva virgen								
Bosque denso				0.003-0.010				
Bosque o matorral denso, cultivos con alto porcentaje de mulch							0.001	
Bosque claro con sub estrato herbáceo denso				0.003-0.010				
Bosque claro son sub estrato herbáceo degradado				0.010-0.100				
Bosque					0.003			
Bosque secundario	0.007							
Charral, pasto	0.018							
Charral					0.012			
Bosque Degradado						0.037		
Café, café con macadomia, café con peibayé	0.3							
Cultivos perennes		0.079	0.086					

Fuente: (Flores Villanueva, 2015)

# **Anexo B**

## **Panel fotográfico**



**Figura B.1:** Suelo completamente erosionado - centro poblado de Pampa Cangallo



Fuente: Propia.

**Figura B.2:** Fotografía donde se aprecia el tipo de suelo centro poblado de Pampa Cangallo



Fuente: Propia.



**Figura B.3:** Erosión de suelos - centro poblado de Pampa Cangallo



Fuente: Propia.

**Figura B.4:** Areas de cultivo en el centro Poblado de Pampa Cangallo



Fuente: Propia.



**Figura B.5:** Cultivos en en zonas con pendiente pronunciada - centro poblado de Pampa Cangallo



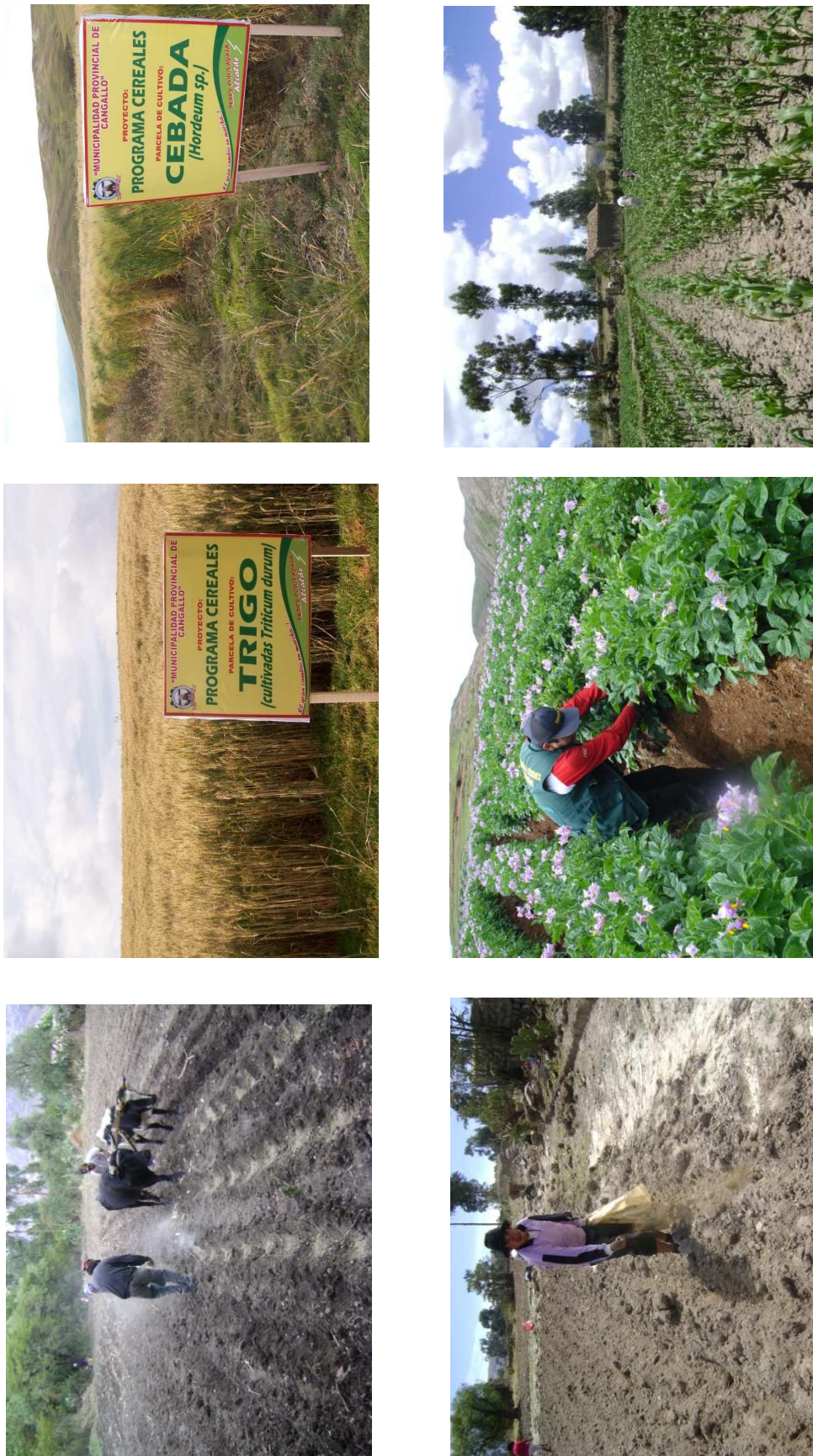
Fuente: Propia.

**Figura B.6:** Centro poblado de Pampa Cangallo



Fuente: Propia.

**Figura 2.7:** Usos y coberturas del centro poblado de Pampa Cangallo



Fuente: Elaboración propia