



**FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TESIS Y TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN,
PARA OPTAR GRADOS ACADÉMICOS Y TÍTULOS PROFESIONALES EN EL
REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL - UNASAM**

Conforme al Reglamento del Repositorio Nacional de Trabajos de Investigación - RENATI.
Resolución del Consejo Directivo de SUNEDU N° 033-2016-SUNEDU/CD

1. Datos del Autor:

Apellidos y Nombres: LEON ACERO GLYNES ROSSANY
 Código de alumno: 061.0201.255 Teléfono: 927076257
 Correo electrónico: glynela@gmail.com DNI o Extranjería: 45128621

2. Modalidad de trabajo de investigación:

- () Trabajo de investigación () Trabajo académico
 () Trabajo de suficiencia profesional (X) Tesis

3. Título profesional o grado académico:

- () Bachiller (X) Título () Segunda especialidad
 () Licenciado () Magister () Doctor

4. Título del trabajo de investigación:

"APLICACION DE LA ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO PARA ESTIMAR
LA PERDIDA DE SUELOS OCASIONADO POR LA EROSION HIDRICA EN LA MICROCUENCA DEL
RIO PUNYARURE : SECTOR DE SHAPASHIMARCA - CARHUAZ, 2015"

5. Facultad de: CIENCIAS AGRARIAS

6. Escuela, Carrera o Programa: AGRICOLA

7. Asesor:

Apellidos y Nombres: APARICIO ROQUE FIDEL Teléfono: 945122204
 Correo electrónico: fgar-58@hotmail.com DNI o Extranjería: 31672306

A través de este medio autorizo a la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, publicar el trabajo de investigación en formato digital en el Repositorio Institucional Digital, Repositorio Nacional Digital de Acceso Libre (ALICIA) y el Registro Nacional de Trabajos de Investigación (RENATI).

Asimismo, por la presente dejo constancia que los documentos entregados a la UNASAM, versión impresa y digital, son las versiones finales del trabajo sustentado y aprobado por el jurado y son de autoría del suscrito en estricto respeto de la legislación en materia de propiedad intelectual.

Firma: [Firma]

D.N.I.: 45128621

FECHA: / /

UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**APLICACIÓN DE LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO PARA
ESTIMAR LA PÉRDIDA DE SUELOS OCASIONADO POR LA EROSIÓN HÍDRICA
EN LA MICROCUENCA DEL RÍO PUNYARURE: SECTOR DE SHAPASHMARCA -
CARHUAZ, 2015**

Presentado por:

BACH. LEON ACERO GLYNES ROSSANY

Asesor:

DOCTOR APARICIO ROQUE FIDEL

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÍCOLA**

HUARAZ – PERU

2018



UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO

"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

UNIVERSIDAD UNIVERSITARIA DE SHANCAYÁN TELEFAX 043 426 588 - HUARAZ - ANCASH - PERÚ



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

Los miembros del jurados de tesis que suscriben, reunidos para escuchar y evaluar la sustentación de Tesis presentado por la Bachiller en Ingeniería Agrícola **Glynes Rossany LEON ACERO**, titulado: "APLICACIÓN DE LA ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO PARA ESTIMAR LA PERDIDA DE SUELOS OCASIONADO POR LA EROSION HIDRICA EN LA MICROCUENCA DEL RIO PUNYARURE: SECTOR DE SHAPASHMARCA-CARHUAZ, 2015". Escuchada la sustentación y las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas, la declaramos:

APROBADO

CON EL CALIFICATIVO DE (*):

QUINCE (15)

En consecuencia, queda en condiciones de ser calificado **APTO** por el consejo de facultad, de la facultad de Ciencias Agrarias y por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" y recibir el título de **INGENIERO AGRÍCOLA**, de conformidad con la Ley Universitaria y el Estatuto de la Universidad.

Huaraz, 10 de agosto del 2018.

Dr. Lorenzo Moisés AYORA GARAGATE
PRESIDENTE

Mag. Tito Moner TINOCO MEYHUAY
SECRETARIO

Ing. Remo Crisanto BAYONA ANTUNEZ
VOCAL

Dr. Fidel Gregorio APARICIO ROQUE
PATROCINADOR

(*)De acuerdo con el reglamento de Tesis, esta debe ser calificado con términos de: Aprobado con excelencia (19-20), Aprobado con Distinción (17-18), Aprobado (14-16) y Desaprobado (0-13).



UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO

"Una Nueva Universidad para el Desarrollo"

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

CIUDAD UNIVERSITARIA DE SHANCAYÁN TELEFAX 043 426 588 - HUARAZ - ANCASH - PERÚ



ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS

Los miembros de jurado de tesis que suscriben, nombrados por resolución N° 271-2016-UNASAM-FCA/D, se reunieron para revisar el informe de tesis, presentado por la Bachiller en Ingeniería Agrícola **Glynes Rossany LEON ACERO**, titulado: "APLICACIÓN DE LA ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO PARA ESTIMAR LA PERDIDA DE SUELOS OCASIONADO POR LA EROSION HIDRICA EN LA MICROCUENCA DEL RIO PUNYARURE: SECTOR DE SHAPASHMARCA-CARHUAZ, 2015", y sustentado el día 10 de Agosto del 2018, por resolución Decanatural N°290-2018-UNASAM-FCA/D, lo declaran Conforme.

En consecuencia, queda en condiciones de ser publicado.

Huaraz, 10 de agosto del 2018.

Dr. Lorenzo Moisés AYORA GARAGATE
PRESIDENTE

Mag. Tito Moner TINOCO MEYHUAY
SECRETARIO

Ing. Remo Crisanto BAYONA ANTUNEZ
VOCAL

Dr. Fidel Gregorio APARICIO ROQUE
PATROCINADOR

DEDICATORIA

A mis padres:

A ti mamá Juana Acero Flores, por haberme dado la formación correcta, haberme enseñado que todo se logra con sacrificio y esmero. A ti papa Juan León Paulino, por ser mi modelo de vida que con sacrificio llego a ser un gran profesional con valores, y ambos que con cariño y gratitud con sus consejos morales me formaron como persona con valores y principios, y siempre me brindaron su apoyo incondicional para realizarme personalmente.

A mis hermanos:

Rafael y Nessgly por haber sido siempre mi motor para seguir adelante y ser mejor cada día.

A mi Abuela, primo y mi angelito:

Adelina Acero, Manuel Huarag y mi angelito Leonardo quienes desde el cielo me iluminaron para salir de los problemas y nunca rendirme para alcanzar mis objetivos.

AGRADECIMIENTOS

A mi asesor.

Al Ing. M. Sc. Doctor Fidel Aparicio Roque, patrocinador de la presente tesis, por su apoyo y orientación durante el desarrollo de la investigación.

A mis jurados.

A los miembros del jurado de la presente tesis, por sus observaciones, correcciones y comentarios.

A la universidad.

A mi alma mater Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo"

A mi Facultad de Ciencias Agrarias – Escuela Académico Profesional de Ingeniería Agrícola, por mi formación Académica y profesional.

A todas las personas que de una u otra forma apoyaron a la realización del presente trabajo de Investigación.

Lista de contenidos

Portada	i
Acta de Sustentación de Tesis	ii
Acta de Conformidad de Tesis	iii
Dedicatoria	iv
Agradecimiento	v
Lista de Contenidos	vi
Índice General	vii
Índice de Tablas	x
Índice de Cuadros	xii
Índice de Figuras	xiii
Índice de Fotografías	xiv
Índice de Planos	xv
Resumen	xvi

Índice General

I.	Introducción	1
1.1.	Objetivos	2
1.2.	VARIABLES	2
II.	Marco Teórico	3
2.1.	Antecedentes del estudio	3
2.2.	Marco Conceptual.....	8
2.2.1.	Erosión	8
2.2.2.	Factores de la erosión.....	9
2.2.3.	Mecanismos de la erosión de suelos	9
2.2.4.	Métodos de estimación de la erosión de suelos.....	9
2.2.5.	Ecuación universal de la pérdida de suelo (USLE).....	10
2.2.6.	Factores del USLE	11
2.2.6.1.	Erosividad de las lluvias (Factor R)	12
2.2.6.2.	Erodabilidad del suelo (Factor K)	13
2.2.6.3.	Factor (LS): Longitud y grado de pendiente	16
2.2.6.4.	Factor de cobertura y manejo del suelo (C)	18
2.2.6.5.	Prácticas de conservación de suelos (Factor P).....	20
2.2.6.6.	Erosión de los suelos (A)	21
2.7.1.	Sistema de Información Geográfica (SIG).....	21
2.7.1.1.	Herramientas de representación digital de los datos	23
2.3.	Definición de términos.....	27
III.	Materiales y métodos.....	29
3.1.	Materiales.....	29
3.1.1.	Área de estudio – Ubicación.....	29
3.1.2.	Recolección de información	30

3.1.2.1.	Erosividad de las lluvias (Factor R)	30
3.1.2.2.	Erodabilidad del suelo (factor K)	30
3.1.2.3.	Factor (LS): L (longitud de pendiente), S (la pendiente)	30
3.1.2.4.	Factor de Cobertura vegetal (C)	30
3.1.2.5.	Prácticas de conservación de suelos (Factor P)	31
3.2.	Métodos	31
3.2.1.	Tipo de investigación	31
3.2.2.	Diseño de investigación	31
3.2.3.	Población y muestra	31
3.2.3.1.	Población	31
3.2.3.2.	Muestra	31
3.2.4.	Procesamiento de la información	31
a.	Erosividad de las lluvias (Factor R).....	32
b.	Erodabilidad del suelo (Factor K).....	33
c.	Factor Topográfico (LS): L (longitud de pendiente), S (pendiente):.....	34
d.	Factor de Cobertura Vegetal (Factor C)	35
e.	Prácticas de conservación de suelos (Factor P)	35
f.	Índice de Erosión	35
IV.	Resultados y Discusión.....	37
4.1.	Resultados	37
4.1.1.	Erosividad de las lluvias (Factor R)	37
4.1.2.	Erodabilidad del suelo (Factor K)	43
4.1.3.	Factor Topográfico (LS): L (Longitud de pendiente), S(pendiente).....	46
4.1.4.	Factor de Cobertura Vegetal (Factor C)	47
4.1.5.	Prácticas de conservación de suelos (Factor P).....	48

4.1.6. Índice de riesgo de erosión.....	49
4.2. Discusión	51
4.2.1. Erosividad de las lluvias (Factor R)	51
4.2.2. Erodabilidad del suelo (Factor K)	51
4.2.3. Factor Topográfico (LS): L (Longitud de pendiente), S (Pendiente).....	51
4.2.4. Factor de cobertura Vegetal (Factor C).....	52
4.2.5. Prácticas de conservación de suelos (Factor P).....	52
4.2.7. Índice de riesgo de erosión.....	52
V. Conclusiones y Recomendaciones	54
5.1. Conclusiones	54
5.2. Recomendaciones	55
VI. Referencias Bibliográficas.....	56

Índice de Tablas

Tabla 1: Valores asignados para Índice de Fournier Modificado (IFM).....	13
Tabla 2: Valores asignados según el Índice de Erodabilidad.	14
Tabla 2.1: Clase de erodabilidad según clase Textural.	14
Tabla 2.2: Clase de erodabilidad según Profundidad del suelo.....	14
Tabla 2.3: Clase de erodabilidad según Pedregosidad del suelo.	15
Tabla 3: Valores asignados según pendiente.....	16
Tabla 4: Valores del exponente de la longitud de pendiente.....	17
Tabla 5: Valores asignados según la Cubertura Vegetal.	19
Tabla 5.1: Tipo de cubierta Vegetal, según el cultivo.....	19
Tabla 5.2: Tipo de cubierta vegetal y su factor promedio.....	20
Tabla 6: Valores del factor P, de Wischmeier y Smith.	21
Tabla 7: Clasificación de la pérdida de suelo causada por la Erosión.....	21
Tabla 8: Estaciones meteorológicas consideradas para el periodo 1986-1993.	32
Tabla 9: Estaciones meteorológicas consideradas para el periodo 2002-2011.	32
Tabla 10: Precipitaciones medias mensuales para el periodo 1986 – 1993.....	33
Tabla 11: Precipitaciones medias mensuales para el periodo 2002 – 2011.....	33
Tabla 12: Muestras de suelo tomadas en la zona de Shapashmarca.....	34
Tabla 13: Factores de la ecuación de precipitación media mensual en función a la altura para el periodo 1986-1993.....	38
Tabla 14: Factores de la ecuación de precipitación media mensual en función a la altura para el periodo 2002-2011.....	38
Tabla 15: Estaciones generadas en la zona de Shapashmarca – Carhuaz.	39

Tabla 16: Precipitaciones medias mensuales calculadas de las estaciones generadas en la zona de Shapashmarca – Carhuaz, para el periodo 1986 – 1993.	39
Tabla 17: Precipitaciones medias mensuales calculadas de las estaciones generadas en la zona de Shapashmarca – Carhuaz, para el periodo 2002 - 2011.	40
Tabla 18: Índice de fournier modificado (IFM) calculadas de las estaciones generadas en la zona de Shapashmarca – Carhuaz, para el periodo 1986 - 1993.	41
Tabla 19: Índice de fournier modificado (IFM) calculadas de las estaciones generadas en la zona de Shapashmarca – Carhuaz, para el periodo 2002 -2011.	41
Tabla 20: Resultados obtenidos de Índice de fournier modificado (IFM)	42
Tabla 21: Datos de muestras de suelo tomadas en la zona de Shapashmarca.	44
Tabla 22: Resultados obtenidos de índices de erodabilidad de los suelos.....	46
Tabla 23: Resultados obtenidos de índices de erodabilidad de los suelos.....	47
Tabla 24: Resultados obtenidos de índices de erodabilidad de los suelos.....	48
Tabla 25: Resultados obtenidos de índices de erodabilidad de los suelos de 1986 - 1993 ..	50
Tabla 26: Resultados obtenidos de índices de erodabilidad de los suelos 2002-2011	50

Índice de Cuadros

Cuadro N°0 1: Registro histórico de precipitación total mensual y anual de periodo 1986-1993 (Estación Caraz)	61
Cuadro N°0 2: Registro histórico de precipitación total mensual y anual de periodo 1986-1993 (Estación Yungay)	62
Cuadro N°0 3: Registro histórico de precipitación total mensual y anual de periodo 1986-1993 (Estación Llanganuco).....	63
Cuadro N°0 4: Registro histórico de precipitación total mensual y anual de periodo 1986-1993 (Estación Yungay)	64
Cuadro N°0 5: Registro histórico de precipitación total mensual y anual de periodo 1986-1993 (Estación UNASAM)	65
Cuadro N°0 6: Registro histórico de precipitación total mensual y anual de periodo 1986-1993 (Estación Pomabamba)	66

Índice de Figuras

Figura 1: Factores implicados en la USLE.....	11
Figura 2: Nomograma para la asignación del factor K, de Wishmeier y Smith.....	15
Figura 3: Los valores del factor topográfico LS también pueden obtenerse a partir del siguiente nomograma.....	18
Figura 4: Variabilidad de la precipitación media mensual de la estación Yungay.	37
Figura 5: Rasterización del índice de founnier modificado.	42
Figura 6: Muestras tomadas de la zona de estudio	43
Figura 7: Determinación de índice de erodabilidad de los suelos	45
Figura 8: Determinación del índice de pendientes.	46
Figura 9: Imagen Lansat exportada al ArcGis 10.3.....	47
Figura 10: Determinación del índice de cubierta vegetal.....	48
Figura 11: Determinación del índice de riesgo de erosión.....	49

Índice de Fotografías

Foto N° 1: Vista general de Shapashmarca	68
Foto N° 2: Vista de parcelas cultivadas en el caserío Shapashmarca.....	68
Foto N° 3: Toma de muestra M-01.....	69
Foto N° 4: Toma de muestra M-03 de los terrenos (Shapashmarca)	69
Foto N° 5: Toma de muestra M-04 de los terrenos (Shapashmarca)	70
Foto N° 6: Toma de muestra M-06 de los terrenos (Shapashmarca)	70
Foto N° 7: Vista de la toma de muestra en la parcela en la zona de Shapashmarca.....	71
Foto N° 8: Vista de toma de muestra M-07 en parcelas con cobertura de vegetal nula.....	71
Foto N° 9: Vista de las parcelas con cobertura de vegetal de donde se ha tomado muestras de suelo.....	72
Foto N° 10: Vista de toma de muestra M-12 en Shapashmarca.....	72
Foto N° 11: Vista de toma de muestra M-13 en Shapashmarca.....	73
Foto N° 12: Vista de parcela con pendiente pronunciada en la zona estudiada	73

Índice de Planos

Plano N°	Título	Pág.
P-01	Erosividad de las lluvias – Periodo (1986-1993)	75
P-02	Erosividad de las lluvias – Periodo (2002-2011)	76
P-03	Plano de muestreo de suelo	77
P-04	Erodabilidad del suelo (K)	78
P-05	Longitud de pendiente (L)	79
P-06	Pendiente (S)	80
P-07	Topográfico (LS)	81
P-08	cobertura Vegetal (C)	82
P-09	Riesgo de erosión del suelo- Periodo (1986-1993) (A)	83
P-10	Riesgo de erosión del suelo- Periodo (2002-2011) (A)	84

Resumen

El presente trabajo de investigación estuvo orientada a la evaluación del índice de riesgo de erosión de los suelos y cobertura vegetal en la zona de Shapashmarca, Carhuaz para dos periodos 1986 a 1993 y 2002 al 2011, con el objetivo de estimar la pérdida de suelos, ocasionado por la erosión hídrica en la Microcuenca del río Punyarure: sector de Shapashmarca, Carhuaz, con el propósito de plantear el uso y manejo adecuado de los suelos con fines de conservación. La metodología utilizada fue el método no experimental, del tipo aplicado/ descriptivo, utilizando para el procesamiento el Sistema de Información Geográfica (SIG), que nos permitió evaluar los índices como la erosividad climática (Índice de Fournier modificado), el índice de erodabilidad (textura, pedregosidad y profundidad), índice de pendiente (topografía) y el índice de cobertura vegetal. Como resultado y conclusión se ha comprobado que los índices de erosión actual de los suelos para el periodo 1986-1993 es 38.20% bajo, 56.52% moderado, 5.28% alto y para el periodo 2002-2011 un 35.84% bajo, 41.34% moderado, 22.82% alto, mostrándose un aumento del índice en 17.56% del área total.

Palabras claves: Erosividad, Erodabilidad, Erosión Actual.

Abstract

The present research work was oriented to the evaluation of the risk index of soil erosion and vegetation cover in the zone of Shapashmarca, Carhuaz for two periods 1986 to 1993 and 2002 to 2011, with the objective of estimating the loss of Soils, caused by water erosion in the Punyarure River Micro-basin: sector of Shapashmarca, Carhuaz, with the purpose of proposing the use and proper management of soils for conservation purposes. The methodology used was the non-experimental method, of the applied / descriptive type, using the Geographic Information System (GIS) for processing, which allowed us to evaluate the indexes such as climatic erosivity (modified Fournier Index), the index of erodability (texture, stoniness and depth), slope index (topography) and the vegetation cover index. As a result and conclusion it has been verified that the current erosion rates of the soils for the period 1986-1993 is 38.20% low, 56.52% moderate, 5.28% high and for the period 2002-2011 a 35.84% low, 41.34% moderate, 22.82% high, showing an increase of the index in 17.56% of the total area.

Key words: Erosivity, Erodability, Current Erosion.

I. Introducción

La erosión de los suelos es uno de los procesos más relevantes en la pérdida de la capacidad productiva de la tierra, las causas principales son por diversos factores como naturales y antrópicos; la erosión en función a los agentes erosivos son de tipos: hídrica, eólica y glaciár; de los cuales la erosión hídrica es la que es más pronunciada y se producen en 3 fases: el desprendimiento (arranque), transporte y posteriormente la sedimentación del material removido. La erosión de suelos en la zona de Shapashmarca es debido a los factores como tipos de suelos, precipitaciones, pendientes y cobertura vegetal.

El objetivo de la evaluación de riesgo de erosión y cobertura vegetal es para estimar el riesgo de erosión de los suelos de la zona Shapashmarca, tomando como base los índices de Erodabilidad de los suelos (clase de textura, pedregosidad y profundidad), erosividad climática (índice de fournier modificado), pendiente (topografía), la cobertura vegetal y las prácticas de conservación de suelos.

En la presente tesis abordamos la evaluación en dos periodos 1986-1993 y 2002-2011 los índices de Erosividad climática, índice de Erodabilidad, índice de pendientes, índice de cubierta vegetal y las prácticas de conservación para estimar los riesgos de erosión mediante el Sistema de Información Geográfica (SIG) con el software ArcGis 10.3.

En el marco teórico se ha desarrollado lo relacionado con antecedentes de trabajos anteriores al tema, erosión de suelos, factores de erosión, mecanismos de erosión, métodos de estimación utilizando el software de Sistema de Información Geográfica (SIG); para el procesamiento nos ceñimos a métodos utilizados para determinar factores de erosión de los suelos como: Erosividad de los suelos, Erodabilidad de los suelos, topografía y cubierta vegetal; obteniendo los resultados de manera digital con el software ARGIS 10.3 con lo obtenido se procedió a realizar la discusión; mediante el

cual se concluyó a los objetivos planteados, determinando el grado de erosión hídrica en la zona de estudio; así mismo se realizaron las recomendaciones necesarias para la presente investigación.

1.1.Objetivos

- Objetivo general

Aplicar la ecuación universal de pérdida de suelo, para estimar la pérdida de suelos, ocasionado por la erosión hídrica en la microcuenca del río Punyarure: sector de Shapashmarca - Carhuaz, con el propósito de plantear el uso y manejo adecuado de los suelos con fines de conservación.

- Objetivos específicos

- ❖ Identificar y evaluar las áreas críticas debido a la erosión hídrica en la zona de estudio.
- ❖ Recopilar los datos de las precipitaciones existentes para el índice de erosividad en el área de estudio.
- ❖ Determinar el índice de erodabilidad en los suelos, la longitud y el grado de la pendiente del terreno del área de estudio, y el índice de cobertura vegetal mediante el Sistema de Información Geográfica.
- ❖ Recopilar información existente sobre prácticas de manejo de los suelo, mediante verificación insitu.

1.2.VARIABLES

VARIABLES INDEPENDIENTES

- Precipitación
- Textura del suelo
- Pendiente
- Cobertura Vegetal
- Prácticas de Conservación

VARIABLE DEPENDIENTE

Pérdida de Suelo

Capítulo II

II. Marco Teórico

2.1. Antecedentes del estudio

Flores y Martínez (2001), en su artículo científico: **Integración de la EUPS a un SIG para estimar la Erosión Hídrica del suelo en una Cuenca Hidrográfica de Tepatitlán, Jalisco, México**, manifestó que la pérdida de suelo por erosión hídrica es uno de los problemas que puede afectar fuertemente la actividad agropecuaria a mediano y largo plazo, ya que las estimaciones más conservadoras proponen que el 45% de los suelos tienen algún grado de erosión causando pérdida de superficies de suelo.

González y Volke (2007) en su artículo científico: **Efecto de la erosión del suelo sobre el rendimiento de maíz de temporal, manifiesta que el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos**, indica que uno de los principales procesos de degradación del suelo lo constituye la erosión, principalmente hídrica. Tan es así que afecta alrededor de 80% de la superficie de suelos agrícolas en el mundo .La erosión causa: a) arrastre de los horizontes superficiales del suelo, b) la pérdida de superficies de suelos.

Díaz et al. (2007) en su artículo científico: **Determinación de índices de erosión de suelos aplicando análisis SIG para la localidad de San Andrés en la provincia de Pinar del Río**, indica que, la degradación se produce por la erosión, compactación y pérdida de fertilidad; lo cual ha producido que la sostenibilidad de la utilización agrícola de las tierras se vean amenazadas por su degradación, que crea grandes dificultades para producir alimentos demandados por la creciente población mundial, especialmente en los países en desarrollo.

Dufilho y Frugoni (2011) en su artículo Científico: Estimación de Erosión Hídrica de suelos para plan de manejo del campo forestal aguas frías, Patagonia Argentina, indica que la alteración de la vegetación natural y la compactación del suelo por sobrepastoreo, modifican el proceso de infiltración del agua evitando la incorporación de humedad al suelo y la percolación hacia los acuíferos. El agua que no se infiltra, circula rápidamente por la superficie del terreno constituyéndose en erosión, que encauzada en regueros y cárcavas, van aumentando el potencial erosivo del agua en función del incremento de gradientes y de la carga de sedimentos.

Almorox y López (2010) “La Degradación de los Suelos por Erosión Hídrica- Método de Estimación”, indica que, la Erosión es el resultado de una serie de procesos geológicos que tienden a eliminar el exceso de energía potencial existentes en los materiales de las zonas sumergidas o continentales de la Tierra. La Erosión vista con un fenómeno geológico natural es causada por acción del agua o del viento, y provoca la pérdida de las partículas del suelo.

López (1999), desarrollo la tesis para optar el título de Magister Scientiae en Manejo de cuencas, “Aplicación de las metodologías USLE e IRE a través de un SIG para estimar la erosión hídrica en la cuenca del río Anaime, departamento de Tolima, Colombia”, cuyo Objetivo es determinar la erosión hídrica, actual y potencial, a través del Método cuantitativo Ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) y el método cuantitativo Índice de Riesgo de Erosión (IRE) en la cuenca del río Anaime ubicado en la cordillera Central Colombiana, Departamento del Tolima.

Los Resultados que se muestran fueron desarrollados con el Sistema de Información Geográfica ARC/ INFO en estación de trabajo; a través de la aplicación del USLE se determinó la erosión actual y potencial, mientras que con el IRE se determinó solo el riesgo de erosión. La cuenca se dividió en tres subáreas: Cucuana, Carrizales-Maravélez y Potosí-Ls Marías, con el fin de establecer prioridades de manejo y conservación.

La erosión media actual en la cuenca del río Anaime es fuerte (103.2 tn/ha-año). En orden de prioridad, la subárea Cucuana presenta una erosión media actual de 135.5 tn/ha-año y Potosí-Las Marías con 32.2 tn/ha-año. Llegando a la Conclusión, que a través del USLE, en la cuenca del río Anaime, es predominante fuerte-severa (60% del área fuerte y 14% severa) y se distribuye de manera uniforme en toda la cuenca, mientras que la erosión potencial, determinada por el IRE, es fundamentalmente moderado (66% de área).

Guanca (2010) desarrollo la tesis para optar el título de Ingeniera en Recursos Naturales y Medio Ambiente, “Determinación de la Erosión Hídrica de los Suelos de la Cuenca del Río Pilcomayo-Salta, Aplicando el USLE”, Cuyo Objetivo es determinar Las áreas de alto riesgo de Erosión Hídrica, aplicando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE) mediante técnicas de información georreferenciadas (SIG). Se determinó la Erosión Hídrica de los suelos de la Cuenca del Río Pilcomayo con una resolución espacial de 500 X 500 m. La superficie total estudiada es de 2.400.000 ha; a través del Método de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE), que es un modelo matemático de tipo paramétrico, permitirá estimar cuantitativamente la erosión para determinadas condiciones de precipitación, suelo, relieve, cultivo y prácticas de manejo. Los Resultados en cuanto a la Erosión Actual General es, en un 94% de la superficie de la cuenca, de clase nula a ligera, 3% moderada, 2% alta y de 0,36% de la superficie de clase muy alta. Se observa erosión mayor a 50 tn/ha/año, en pendientes mayores al 5%. Un 91% de las Asociaciones de Suelos presentan Erosión Actual nula a ligera, 4% moderada y 4% alta. La región de las Sierras Subandinas con ganadería y forestales resultó con erosión alta (88 tn/ha/año) mientras que en las regiones de Umbral al Chaco y Chaco semiárido los valores de erosión fueron de clase nula a ligera (menor a 10 tn/ha/año). Llegando a la Conclusión con respecto a la Erosión Actual, las diferentes simulaciones aplicadas permitieron graduar las pérdidas en cada situación planteada. En general la erosión actual nula o ligera es la que ocupa la mayor superficie de la cuenca y los valores máximos llegan a erosión moderada y alta en pendientes mayores a 5%.

Santa (2011) desarrolló el artículo científico, titulado “Estimación de la erosión hídrica y su relación con el uso suelo en la cuenca del río Cahoacán, Chiapas, México”, en los últimos años en la costa de Chiapas se han presentado graves procesos de erosión debido a los cambios de uso de suelo. Por la magnitud de la problemática se han realizado estudios que muestran el papel clave que juega la cobertura vegetal en el proceso erosivo de la lluvia. El Objetivo de esta investigación es estimar la erosión hídrica, además de analizar los efectos de las modificaciones en el uso de suelo de la cuenca del río Cahoacán localizada en la costa chiapaneca. Se empleó como Método, la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS); para estimar el factor de erosividad (R) se empleó la metodología propuesta por Cortés (1991), se usaron datos de precipitación media mensual y media anual de 5 estaciones que se encuentran dentro de los límites de la cuenca y de 10 estaciones que se encuentran fuera de ella pero próximas a sus límites; los valores de R, al igual que las demás variables consideradas en la EUPS, se analizaron con apoyo del ArcView 3.2. Se establecieron tres escenarios, uno bajo condiciones actuales de uso de suelo, otro considerando las modificaciones de la vegetación en la cabecera de la cuenca; finalmente un tercero en el que se mantenían las condiciones de uso de suelo en la cabecera a la vez de que se realizaban prácticas de conservación en la misma, para lo cual se dividió en 13 microcuencas. Los Resultados revelaron que en condiciones actuales de uso de suelo, las pérdidas van desde 16,270 ton/ha/año hasta valores de 20,000 ton/ha/año, presentándose valores mínimos de 13.317 ton/ha/año. Los valores encontrados son muy superiores a los reportados para el estado de Chiapas en la bibliografía consultada. Se llega a la Conclusión que de seguir las alteraciones de los bosques, los valores actuales de pérdida de suelo pueden incrementarse hasta en un 900%. De modificarse la tendencia actual de deforestación y con buenas prácticas agrícolas en las zonas donde se realiza agricultura de temporal y de riego, la pérdida de suelo se reduciría en un 60 % con respecto a la actual.

Laurentino y Dufilh (2012) desarrolló el artículo científico, titulado “Determinación del riesgo de erosión hídrica de suelos de los Departamentos

Minas y ChosMalal (Neuquén) mediante la Aplicación de la Ecuación Universal de pérdida de suelo (USLE)”, la erosión de suelos es uno de los problemas ambientales de mayor extensión a real en regiones de clima árido y semiárido. El Objetivo principal del presente trabajo fue estimar la pérdida potencial anual de suelo en el norte neuquino e inferir sus causas, mediante la modelación de los procesos con la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos utilizando Sistemas de Información Geográfica (GIS) que permiten almacenar, manipular y generar información de utilidad para la planificación y toma de decisiones respecto al manejo del suelo. El Método para estimar la pérdida potencial de suelo por erosión hídrica, fue mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos utilizando un Sistema de Información Geográfica. Los resultados indican que el 45,6% de la superficie presenta problemas ligeros de erosión hídrica potencial (< 10 tn/ha/año), en un 21,5 % la erosión es alta (50-200 tn/ha/año) y 3,6 % del territorio sufre erosión hídrica potencial actual con pérdidas superiores a 200 tn/ha/año. Por lo tanto se llegó a la Conclusión de que el uso del método de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) es adecuado, funcionaría de manera correcta y da buenos resultados para este tipo de estudio a escala regional. La aplicación del mismo con GIS determinó que este fenómeno afecta a toda el área. Los sectores montañosos con fuertes pendientes (25,3 %), principalmente el departamento Minas serían afectados por erosión hídrica actual potencial alta o muy alta (mayor a 50 tn/ha/año. En cambio el resto de los sectores con pendientes suaves (74,7%) están afectados por procesos erosivos actuales potenciales ligeros o moderados (menor a 50 tn/ha/año).

Fernández (2012), desarrolló el artículo científico, titulado “Determinación y representación espacial de la erosión hídrica, comparación de modelos”, tuvo como Objetivo, realizar un análisis comparativo de los modelos PESERA y USLE aplicados a la cuenca alta del Barranca de Carraixet (Valencia), como materiales se elaboró una cartografía de análisis de la erosión aplicando dos modelos distintos: un Modelo clásico empírico como la ecuación USLE y un modelo físico como el PESERA, Se plantean cinco escenarios, que se corresponden a las coberturas (usos

del suelo) de los años 1956, 1978, 1991 y 1998 y a la cobertura de vegetación potencial. El procedimiento ha consistido en el tratamiento de los datos, la adecuación de los métodos, la generación de estructuras de datos espaciales (capas temáticas) y la ejecución de los modelos, a través de sistemas de información geográfica. Finalmente, se obtuvo mapas de riesgo de erosión para cada uno de los modelos en los cinco escenarios, haciendo posible el análisis comparativo de las tasas de erosión entre usos del suelo y modelo aplicado. Sus resultados muestran que, aunque ambos modelos obtienen distribuciones de la erosión y reflejan los cambios en las cubiertas del suelo ocurridos a lo largo del tiempo, son dispares entre ellos. La “no coincidencia” está principalmente basada en la distinta conceptualización de los procesos y consiguiente formulación de los modelos.

Vásquez y Tapia (2011), “Cuantificación de la Erosión Hídrica Superficial en las Laderas Semiáridas de la Sierra Peruana”, el presente artículo tuvo como objetivo cuantificar la pérdida de suelos por erosión hídrica y el efecto de la construcción de Zanjas de Infiltración en el control de la misma. Los resultados encontrados muestran que la tasa promedio de erosión en las Laderas de la sierra es de 45.04 ton/ha/año, que representa una lámina de pérdida suelo de 3.20 mm/año. Asimismo, se encontró que la construcción de zanjas de infiltración, redujo la pérdida de suelo en 20.60 ton/ha-año lo que significa 1.47 mm/año. Estos resultados son de mucha utilidad, pues por primera vez se ha cuantificado las pérdidas de suelo. Ello servirá de base para la planificación de trabajos de conservación de suelos que podrán llevarse a cabo en esta importante región.

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. Erosión

Suárez (1980). “La erosión puede ser definida, de forma amplia, como un proceso de arrastre del suelo por acción del agua o del viento; o como un proceso de desprendimiento y arrastre acelerado de las partículas de suelo causado por el agua y el viento. Esto implica la existencia de dos elementos que participan en el proceso: uno pasivo que es el suelo, y uno

activo que es el agua, el viento, o su participación alterna; la vegetación por su parte actúa como un regulador de las relaciones entre ambos elementos”.

2.2.2. Factores de la erosión

Morgan (1997) “La erosión de los suelos esta originada por la combinación de varios factores tales como pendientes pronunciadas, el clima, características del suelo, su uso y gestión, el tipo y estado de la cubierta vegetal”.

2.2.3. Mecanismos de la erosión de suelos

Hudson (1997) “La erosión del suelo es un proceso que consta de tres fases: arranque, transporte y sedimentación de materiales.

De acuerdo a agentes físico causantes, pueden definirse tres tipos de erosión: hídrica, eólica y glacial. Es la primera de ellas la que mayor interés reviste en aquellos espacios geográficos sujetos a condiciones climáticas en donde imperan abundantes y frecuentes lluvias de alta intensidad. Así, el viento y el hielo que son importantes agentes activos de la erosión eólica y glacial respectivamente, y cuya importancia es menor en los trópicos, no se desarrollan en la discusión, así como tampoco las importantes interacciones de ellos con parámetros topográficos, sin dejar de reconocerse”.

2.2.4. Métodos de estimación de la erosión de suelos

Hudson (1997) “La estimación de la erosión de los suelos se basa en definición de los factores más importantes que regulan los mecanismos de la erosión como son las precipitaciones, topografía, tipos de suelo y cobertura vegetal. Por otra parte las nuevas tecnologías como los sistemas de información geográfica (SIG) han permitido la evolución de los métodos clásicos para la evaluación de cada uno de los factores que intervienen en la erosión de los suelos”.

El nivel de estimación de la erosión define su carácter cualitativo o cuantitativo.

- Cualitativos: Formas de Erosión y Grados de erosión.
- Cuantitativos: Estimación Directa y Estimación Indirecta (Modelos).

Considerando que:

- Los métodos cualitativos de estimación de la erosión no recurren a valores numéricos.
- Los métodos Cuantitativos del fenómeno natural, son adjetivaciones ordinales de los diferentes caracteres que se toman en consideración.

2.2.5. Ecuación universal de la pérdida de suelo (USLE)

Ibáñez, Moreno y Gisbert (2011) La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) es un método cuantitativo de evaluación indirecta de la pérdida de suelo por procesos de erosión hídrica. La estima de la erosión se realiza a partir de la modelización de la respuesta del sistema natural suelo frente a la precipitación pluvial.

Almorox (1994) En el caso del USLE (Universal SoilLoss Equation), que es una ecuación empírica de tipo paramétrico, la modelización sería desarrollada por Wischmeier y Smith (1978) en EEUU a partir de los resultados obtenidos, durante los años 50, de un número muy elevado de parcelas de campo instaladas en diferentes localidades del país, con condiciones climáticas, edáficas, topográficas y de uso muy variadas.

La ecuación es un modelo paramétrico que atribuye significación a seis factores que responden a las características ambientales determinantes de la erosión, todos ellos considerados independientes.

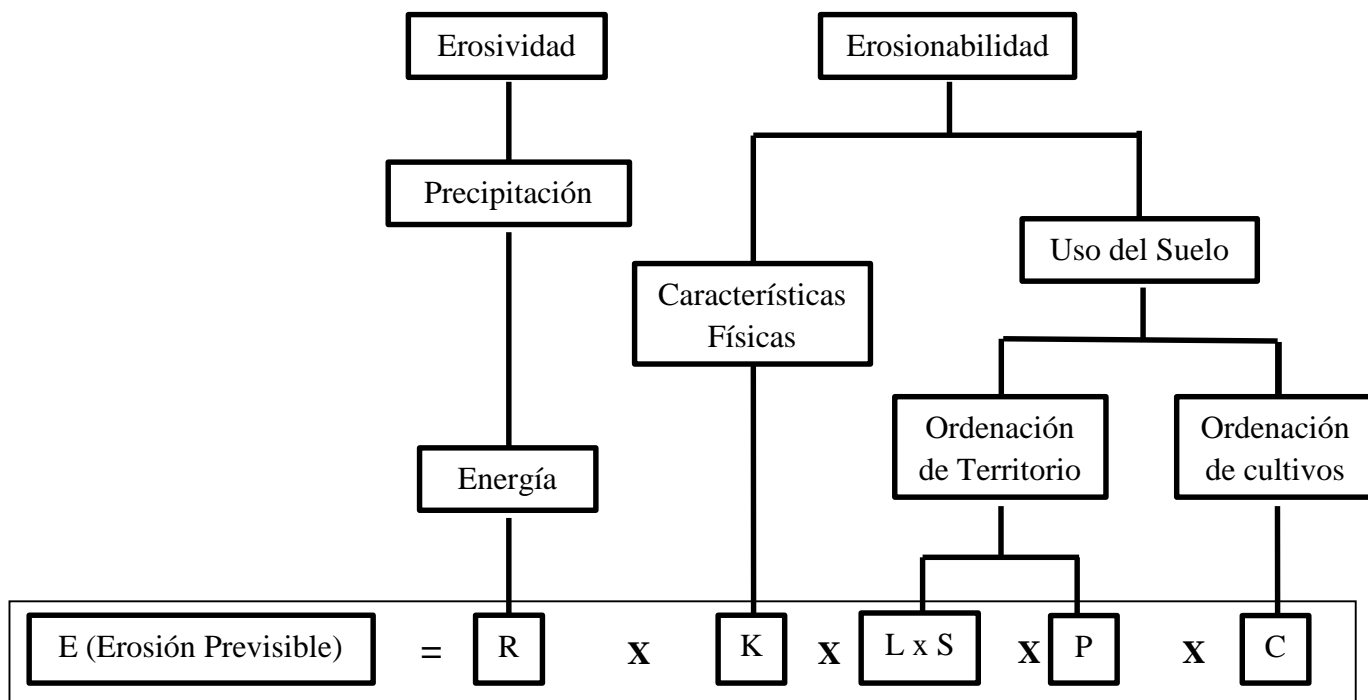


Figura 1: Factores implicados en la USLE

Fuente: Almorox et al. 1994, "Métodos de estimación de la erosión hídrica", pág. 152.

La idea es asignar a cada factor un valor que refleje en qué medida éste es responsable de la degradación de un lugar por erosión hídrica, de forma que asignándole a cada uno un valor adecuado a las características del terreno a evaluar, se calcula la erosión anual previsible expresada en tn/ha (A, en unidades del Sistema Internacional) para cada una de las áreas homogéneas en la que se divide la zona de trabajo.

2.2.6. Factores del USLE

Ibáñez, Moreno y Gisbert (2011), el USLE puede ser usado apropiadamente para:

- Predecir pérdida de suelo promedio a largo plazo de condiciones de campo específicas, usando un sistema específico de manejo.

- Para predecir erosión entre surcos y en surcos, en pastos, cultivos y sitios en construcción.
- La pérdida de suelo calculado por el modelo, es la cantidad de sedimento perdido por el perfil, no la cantidad de sedimento que deja la cuenca o el terreno.
- El perfil del paisaje es definido por una longitud de la pendiente, la cual es la longitud del origen del flujo superficial hasta el punto donde el flujo alcanza una mayor concentración o una mayor área de deposición como en las pendientes cóncavas y cerca de los límites del terreno.
- Para estimar las tasas de erosión que son removidas del suelo, de partes críticas del paisaje y que guían a la elección de las prácticas de control de la erosión hasta un nivel de pérdida de suelo tolerable.

(Mannaerts, 1999) El USLE tiene la siguiente expresión matemática:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad \dots\dots\dots (1)$$

Dónde:

A = Pérdida de suelo promedio anual en [tn/ha/año].

R = Factor erosividad de las lluvias en [MJ/ha*mm/hr].

K = Factor erodabilidad del suelo en [tn/ha.MJ*ha/mm*hr].

LS = Factor topográfico (función de longitud y la pendiente), adimensional.

C = Factor ordenación de los cultivos (cubierta vegetal), adimensional.

P = Factor de prácticas de conservación (conservación de la estructura del suelo), adimensional.

2.2.6.1. Erosividad de las lluvias (Factor R)

Este factor representa la capacidad de la lluvia para producir erosión, cuando las gotas de lluvia impactan en el suelo a determinada intensidad para romper los agregados superficiales en partículas de tamaño transportable; en este sentido, la precipitación constituye el agente activo del

proceso de erosión, que actuará sobre el suelo o agente pasivo (Almorox et al., 2010, p.76). La erosión por gotas de lluvia incrementa con la intensidad de la lluvia. Una vez que la erosión se desencadena aceleradamente por inadecuados uso y manejo, se reduce la capacidad productiva del suelo, hecho que en los últimos años ha inducido a la ampliación de la frontera agrícola. Una suave y prolongada lluvia puede tener la misma energía total que una lluvia de corta duración y más intensa.

Se determina primero calculando el Índice de Fournier modificado propuesto por Arnoldus en 1978. Se calcula con la fórmula:

$$IFM = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P} \dots\dots\dots (2)$$

Dónde:

IFM: Índice de Fournier Modificado.

Pi: Precipitación total en el mes i (mm).

P: Precipitación total media anual (mm).

Tabla 1: *Valores asignados para Índice de Fournier Modificado (IFM)*

<i>Clase</i>	<i>Descripción</i>	<i>Rango</i>
1	Muy Bajo	0 - 60
2	Bajo	60 - 90
3	Moderado	90 - 120
4	Alto	120 - 160
5	Muy Alto	> 160

Fuente: Almorox et al., 2010, “La Degradación de los Suelos por Erosión Hídrica: Métodos de Estimación”, pág. 384.

2.2.6.2. Erodabilidad del suelo (Factor K)

Esta propiedad del suelo está relacionada al efecto integrado de la lluvia, escurrimiento e infiltración.

El índice de erodabilidad del suelo se evalúa considerando la granulometría, la profundidad y la pedregosidad superficial (Almorox et al., 2010, p.74).

Índice de Erodabilidad = Clase de Textura x Clase de Profundidad x Clase de Pedregosidad.

Tabla 2: Valores asignados según el Índice de Erodabilidad.

Índice	Descripción	Rango
1	Bajo	0 - 3
2	Moderado	3 - 6
3	Alto	> 6

Fuente: Almorox et al., 2010, “La Degradación de los Suelos por Erosión Hídrica: Métodos de Estimación”, pág. 384 p.

Según la textura del suelo USDA se define.

Tabla 2.1: Clase de erodabilidad según clase Textural.

Clase	Descripción	Textura
1	Ligeramente Erodible	C, SC, ZC
2	Moderadamente Erodible	SCL, CL, ZCL, LS, S
3	Altamente Erodible	L, ZL, Z, SL

Fuente: Almorox et al., 2010, “La Degradación de los Suelos por Erosión Hídrica: Métodos de Estimación”, pág. 384.

Descripción: C: arcillosa; SC: arcillo – arenosa; ZC: arcillo – limosa; SCL: franco – arcillo – arenosa; CL: franco – arcillosa; ZCL: franco – arcillo – limosa; S: arenosa; LS: arenoso – franca; SL: franco – arenosa; L: franca; ZL: franco – limosa; Z: limosa.

La profundidad del suelo se establece como la distancia entre la superficie a la base del perfil.

Tabla 2.2: Clase de erodabilidad según Profundidad del suelo.

Clase	Descripción	Profundidad (cm)
1	Ligeramente Erodible	> 75
2	Moderadamente Erodible	25 - 75
3	Altamente Erodible	< 25

Fuente: Almorox et al., 2010, “La Degradación de los Suelos por Erosión Hídrica: Métodos de Estimación”, pág. 384.

La pedregosidad está referida al porcentaje de piedras (material > 2cm) en superficie.

Tabla 2.3: Clase de erodabilidad según Pedregosidad del suelo.

Clase	Descripción	Porcentaje Cobertura
1	Completamente Protegido	> 10 %
2	No Completamente Protegido	< 10%

Fuente: Almorox et al., 2010, “La Degradación de los Suelos por Erosión Hídrica: Métodos de Estimación”, pág. 384.

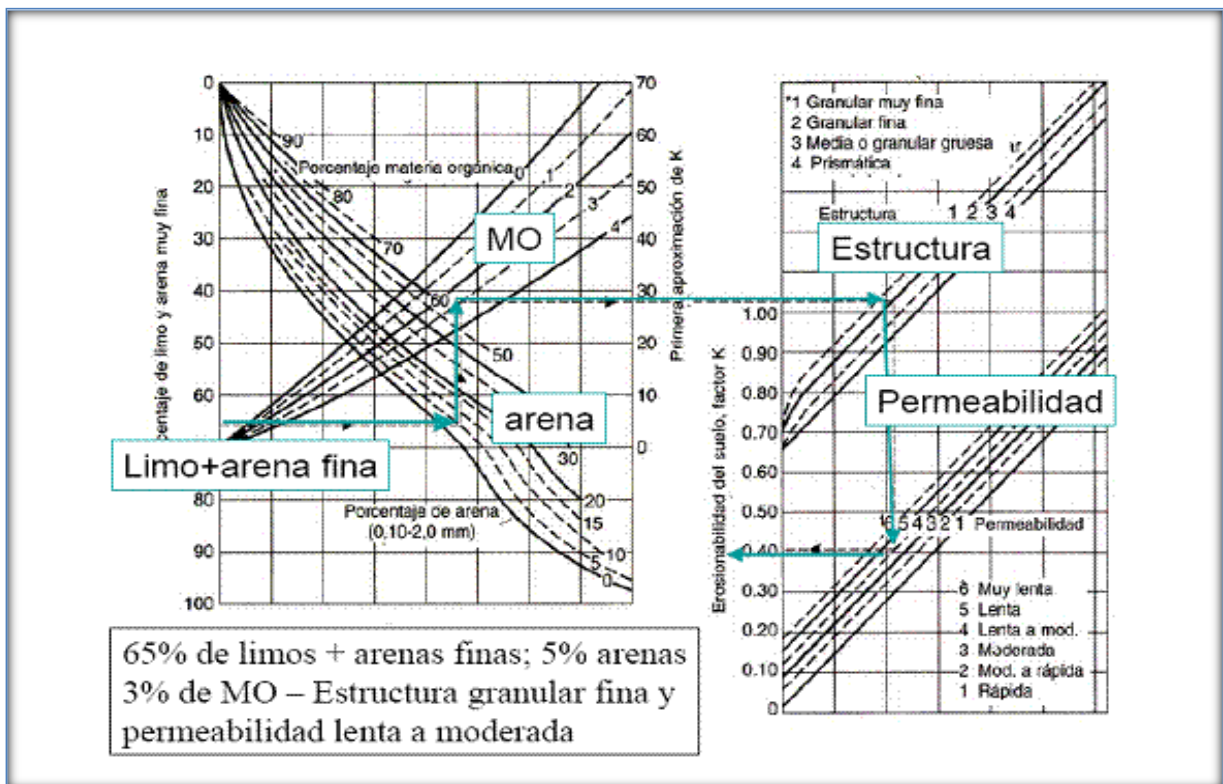


Figura 2: Nomograma para la asignación del factor K, de Wischmeier y Smith.

Fuente: Almorox et al. 1994, “Métodos de estimación de la erosión hídrica”, pág. 160.

2.2.6.3. Factor (LS): Longitud y grado de pendiente

A cada punto del terreno descrito por un par de coordenadas X e Y se le calcula el índice de pendiente, que es la pendiente en el punto expresada en por ciento. (Almorox et al., 2010, p.78).

Tabla 3: Valores asignados según pendiente

Índice	Descripción	Pendiente
1	Ondulado a Plano	< 5 %
2	Ondulado	5 - 15 %
3	Empinado	15 - 30 %
4	Muy Empinado	> 30 %

Fuente: Almorox et al., 2010, "La Degradación de los Suelos por Erosión Hídrica: Métodos de Estimación", pág. 384.

- Longitud de pendiente (L)

La longitud de pendiente es definida como la distancia horizontal desde el origen de un flujo hasta el punto, la fórmula fue propuesta por Stocking (1989), donde:

$$L = \left(\frac{\lambda}{72.6}\right)^m \dots\dots\dots (3)$$

Dónde:

L = Factor de longitud de pendiente.

λ = Longitud de la pendiente [pies].

m = Exponente de la longitud de la pendiente.

72.6 = Longitud de parcela unitaria USLE.

El exponente de longitud de pendiente (m), varía entre 0,2 para pendientes menores a 1 % y 0,6 para pendientes mayores a 20%. Este factor se puede obtener mediante Cuadro N° 05.

Tabla 4: Valores del exponente de la longitud de pendiente.

Pendiente %	m
< 10%	0.2
1 – 3 %	0.3
3 – 5 %	0.4
5 – 20 %	0.5
>20 %	0.6

Fuente: Almorox et al., 2010, “La Degradación de los Suelos por Erosión Hídrica: Métodos de Estimación”, pág. 384.

- **La pendiente (S)**

El factor pendiente S mide el efecto de la inclinación del terreno en la erosión, la fórmula fue propuesta por Stocking (1989):

$$S = \frac{0.43+0.30s+0.043s^2}{6.613} \dots\dots\dots (4)$$

Dónde:

S = Factor pendiente.

s = Pendiente del terreno en (%).

m = Exponente de la longitud de la pendiente.

El factor topográfico LS se puede calcular, como el gradiente y la longitud de la pendiente.

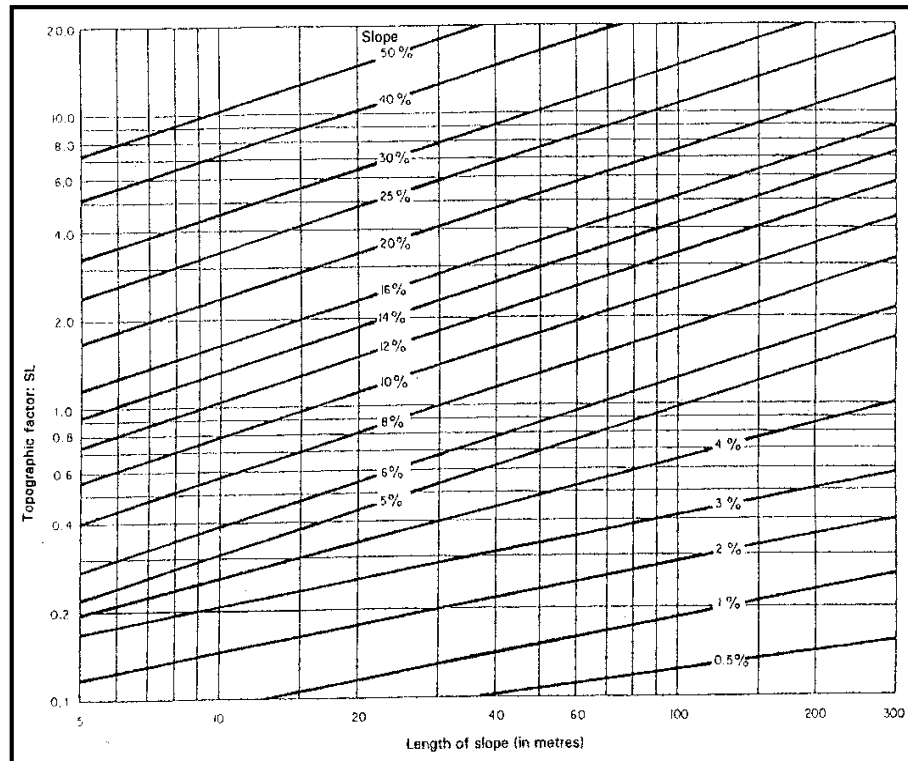


Figura 3: Los valores del factor topográfico LS también pueden obtenerse a partir del siguiente nomograma.

Fuente: Wischmeier y Smith (1966) pág. 370

2.2.6.4. Factor de cobertura y manejo del suelo (C)

El factor “C” de USLE representa el grado de protección que un determinado tipo de cubierta vegetal ofrece al suelo, en oposición al resto de las variables que facilitan la erosión. En otras palabras, en el factor “C” están representados los efectos del porcentaje de recubrimiento de la vegetación, el efecto protector de los residuos vegetales incluidos en la hojarasca y la acción de agregación que tienen las raíces en el suelo.

El factor C es usado para reflejar el efecto de la cultivación y prácticas de manejo en las tasas de erosión. Este factor mide como el potencial de pérdida de suelo será distribuido en el tiempo durante la construcción de actividades, rotación de cultivos, y otros esquemas de manejo.

Este factor se estima según la zona de trabajo, los conceptos del especialista y los requerimientos del estudio. Corresponde a un proceso de identificación

de elementos, asociado con características propias de cada tipo de cobertura como la biomasa, capacidad de infiltración y pérdida de suelo reportadas bajo cada cobertura de vegetación. Para la cubierta vegetal se efectúa una clasificación binaria en función al tipo de vegetación (Almorox et al., 2010, p.78).

Tabla 5: *Valores asignados según la Cubertura Vegetal.*

<i>Índice</i>	<i>Descripción</i>	<i>Suelo</i>
1	Completamente Protegido	Bosques, pastos permanentes y Monte bajo denso (Malezas)
2	No Completamente Protegido	Terreno cultivado o desnudo

Fuente: Almorox et al., 2010, “La Degradación de los Suelos por Erosión Hídrica: Métodos de Estimación”, pág. 384.

El factor C está basado en el concepto de desviación estándar, siendo el estándar un área bajo condiciones de barbecho con cultivo limpio. El valor de C para condiciones Standard es 1.

Tabla 5.1: *Tipo de cubierta Vegetal, según el cultivo*

<i>Cultivo</i>	<i>Factor C</i>
Suelo desnudo	1
Bosque, matorral denso o cultivo con acolchado	0.001
Sabana o pradera herbácea en buen estado	0.01
Sabana o pradera herbácea sobre pastada	0.1
Maíz o similar intensivo con laboreo	0.7
Maíz o similar intensivo sin laboreo	0.35
Maíz o similar extensivo sin laboreo	0.06
Algodón	0.55
Trigo	0.25
Arroz	0.15

Patata	0.25
Hortícolas	0.33

Fuente: ICONA, 1982, "Valores medios del factor C", pág. 117.

Tabla 5.2: Tipo de cubierta vegetal y su factor promedio

<i>Tipo de cubierta Factor</i>	<i>"C"</i>
Arbolado forestal denso	0.01
Arbolado forestal claro	0.03
Matorral con buena cobertura	0.08
Matorral ralo y eriales	0.2
Cultivos arbóreos y viñedos	0.4
Cultivos anuales y herbáceos	0.25
Cultivos en regadío	0.04

Fuente: ICONA, 1982, "Valores medios del factor C", pág. 125.

2.2.6.5. Prácticas de conservación de suelos (Factor P)

Ramírez (2010), este factor de prácticas de conservación de suelos representa el efecto que tienen las prácticas de tipo mecánicas como cultivos en contorno, en fajas y terrazas en el proceso de erosión hídrica. Su valor depende de la pendiente del terreno, que varía entre 0 a 1. Cuando no se realizan prácticas, $P = 1$.

Estas prácticas de control (soporte) combate la erosión, puesto que modifica los patrones de flujo y el grado o dirección de superficie de escurrimiento.

El factor prácticas de conservación refleja la eficacia en el control de la erosión conseguida con la implantación de diferentes medidas conservacionistas. Las técnicas consideradas son el laboreo a nivel, el cultivo en fajas alternantes y el aterrazado.

Tabla 6: Valores del factor *P*, de Wischmeier y Smith.

Pendiente (%)	Cultivo a nivel	Cultivo en Fajas	Terrazas (1)	
			a	b
1-2	0.60 (L<400)	0.30	0.12	0.05
3-8	0.50 (L<200)	0.25	0.10	0.05
9-12	0.60 (L<120)	0.30	0.12	0.05
13-16	0.70 (L<80)	0.35	0.14	0.05
17-20	0.80 (L<60)	0.40	0.16	0.06
21-25	0.90 (L<50)	0.45	0.18	0.06

L= longitud de la ladera (en pies)
a= terrazas de desagüe encespedadas
b= terrazas de infiltración con contrapendiente

Fuente: Almorox et al., 2010, “La Degradación de los Suelos por Erosión Hídrica: Métodos de Estimación”, pág. 384.

2.2.6.6. Erosión de los suelos (A)

La erosión de suelos es el desgaste o denudación de los suelos, que se manifiesta con la degradación de estos por las corrientes de agua, el cual la podemos clasificar mediante la tabla 7:

Tabla 7: Clasificación de la pérdida de suelo causada por la Erosión

Categoría	Perdida de suelo (ton/ha-año)
Ninguna a Ligera	< 10
Moderada	10 - 50
Alta	50 - 200
Muy Alta	> 200

Fuente: FAO., PNUMA. y UNESCO, 1981

2.7.1. Sistema de Información Geográfica (SIG)

Orduña G. (2007) El sistema de información geográfica, posee un interface gráfica de usuario, posibilita cargar con facilidad datos espaciales para ser mostrados en forma de mapas, tablas y gráficos, también provee las herramientas necesarias para consultar y analizar los datos y presentar los resultados como mapas con calidad de presentación. Algunos ejemplos de lo

que se puede obtener es cartografía temática, creación y edición de datos, análisis espacial, geocodificación de direcciones, etc. ArcGIS se compone de tres aplicaciones que están incluidas en ArcInfo, ArcEditor y ArcView, las cuales son ArcMap, ArcCatalog y ArcToolbox.

2.7.2. Modelo digital de elevación (DEM):

Es una representación de ráster de una superficie continua, que en general hace referencia a la superficie de la tierra. La precisión de estos datos se determina principalmente por la resolución (la distancia entre los puntos de muestra). Otros factores que afectan la precisión son el tipo de datos (entero o punto flotante) y el muestreo real de la superficie cuando se crea el DEM original.

Un modelo digital de elevación es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo. Estos valores están contenidos en un archivo de tipo raster con estructura regular, el cual se genera utilizando equipo de cómputo y software especializados. En los modelos digitales de elevación existen dos cualidades esenciales que son la exactitud y la resolución horizontal o grado de detalle digital de representación en formato digital, las cuales varían dependiendo del método que se emplea para generarlos y para el caso de los que son generados con tecnología LIDAR se obtienen modelos de alta resolución y gran exactitud (valores submétricos).

2.7.3. Red de triangulación irregular (TIN):

Una superficie de red irregular de triángulos (TIN) se puede generar a partir de mediciones de origen de superficie o mediante la conversión de otra superficie funcional en una superficie TIN. Puede crear una superficie TIN a partir de entidades, como puntos, líneas y polígonos, que contengan información de elevación. Se puede generar rápidamente en ArcGIS Pro

usando la herramienta Crear TIN. Siga estos pasos para generar una TIN en ArcGIS Pro. Crear una TIN

- En la pestaña Análisis, haga clic en el botón Herramientas. Se abre el panel Geoprocesamiento.
- Escriba Crear TIN en el cuadro de búsqueda y pulse la tecla Entrar para buscar la herramienta.
- Haga doble clic en Crear TIN para abrir la herramienta.
- Especifique los parámetros y haga clic en Ejecutar para crear la superficie TIN

2.7.1.1. Herramientas de representación digital de los datos

a. Relleno (Fill):

Una vez que se ha cargado el DEM, desde el ArcToolbox vamos a hacer uso de las siguientes herramientas siguiendo la siguiente secuencia:

Eliminar imperfecciones (huecos y sumideros) del ráster con la herramienta Fill.

Sintaxis:

ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Hydrology > Fill

b. Pendiente (Slope):

La inclinación o pendiente de una superficie. La pendiente se puede medir en grados desde la horizontal (0°), o la pendiente porcentual (que es el aumento dividido por la carrera, multiplicado por 100). Una pendiente de 45 grados equivale a una pendiente del 100 por ciento. A medida que el ángulo de la pendiente se aproxima a la vertical (90 grados), la pendiente porcentual se aproxima al infinito. La pendiente de una cara TIN es la pendiente más empinada de un avión definido por la cara. La pendiente de una celda en un ráster es la pendiente más pronunciada de un plano definido por la celda y sus ocho vecinos circundantes

Una vez transformado no olvidéis definir la proyección a la capa creada para que se encuentre debidamente ubicada, y nos cree correctamente nuestro mapa de pendientes. Después de realizar esto, ya estaremos en disposición de crear nuestro mapa de pendientes, utilizando la herramienta SLOPE.

Esta herramienta se encuentra en ArcToolBox en:

Arctoolbox > spatial analyst tools > surface > slope

c. Calculadora ráster (Raster calculator):

La herramienta Calculadora ráster permite crear y ejecutar expresiones de álgebra de mapas en una herramienta. Al igual que otras herramientas de geoprocésamiento, la herramienta Calculadora ráster se puede utilizar en ModelBuilder, lo que permite que la potencia de Álgebra de mapas se integre más fácilmente en los flujos de trabajo.

La herramienta Calculadora ráster está específicamente diseñada para ofrecer los siguientes beneficios:

- Implementar expresiones algebraicas de línea simple.
- Admitir el uso de variables en Álgebra de mapas cuando se utiliza ModelBuilder.
- Aplicar operadores de Spatial Analyst en tres o más entradas en una expresión simple.
- Utilizar varias herramientas de Spatial Analyst en una expresión simple.

La herramienta Calculadora ráster está diseñada para ejecutar una expresión algebraica de línea simple utilizando varias herramientas y operadores mediante la interfaz de la herramienta de calculadora simple. Si utiliza varias herramientas u operadores en una expresión, el rendimiento de esta ecuación será, en general, más rápido que si ejecuta cada uno de los operadores o herramientas de forma individual

Botones de la calculadora y el operador: Los botones de la calculadora permiten introducir valores numéricos en la expresión. Los botones del

operador permiten introducir operadores matemáticos (suma, división, etc.) y lógicos (mayor que, igual a, etc.) a la expresión. Al hacer clic en uno de estos botones, ese número u operador se introducirá en la expresión donde esté posicionado el puntero. Asegúrese de que la expresión siga las reglas de sintaxis de Álgebra de mapas correctamente.

Herramientas: La lista de herramientas es una selección de herramientas conveniente que se puede utilizar en la expresión de álgebra de mapas. Si hace clic en una herramienta de la lista, el nombre de la herramienta y los paréntesis de apertura y cierre [()] se colocarán en la expresión donde esté posicionado el puntero. Después, se debe introducir la entrada restante que requiere la herramienta. Se puede colocar una herramienta en cualquier lugar de la expresión, pero se debe ubicar en una posición que produzca una sintaxis de álgebra de mapas válida.

Expresión: La expresión es la expresión de álgebra de mapas que se ejecutará. La expresión se debe introducir con una sintaxis válida. Consulte la siguiente sección para obtener más información sobre las reglas de sintaxis para el Álgebra de mapas

Sintaxis

RasterCalculator (expression, output_raster)

d. Dirección de flujo (Flow direction):

Una de las claves de la derivación de características hidrológicas de una superficie es la capacidad de determinar la dirección de flujo desde cada celda en el ráster. Esto se lleva a cabo con la herramienta Dirección de flujo.

Esta herramienta toma una superficie como entrada y proporciona como salida un ráster que muestra la dirección del flujo que sale de cada celda. Si se elige la opción Ráster de eliminación de salida, se creará un ráster de salida con un radio del cambio máximo de elevación desde cada celda a lo largo de la dirección de flujo hasta la longitud de la ruta entre los centros de las celdas y se expresa en porcentajes. Si se elige la opción Forzar todas las

celdas de eje para que se desplacen hacia fuera, todas las celdas en el eje del ráster de superficie se desplazan hacia fuera desde el ráster de superficie.

e. Acumulación de flujo (Flow accumulation):

La herramienta Acumulación de flujo calcula el flujo acumulado como el peso acumulado de todas las celdas que fluyen hacia cada celda con pendiente descendente en el ráster de salida. Si no se indica ningún peso, se aplica un peso de 1 a cada celda y el valor de las celdas en el ráster de salida es el número de celdas que fluyen hacia cada celda.

Sintaxis:

`Flow_Dir = FlowDirection(Elev_Ras)`

f. Spline:

Interpola una superficie de ráster a partir de puntos utilizando una técnica de spline de curvatura mínima bidimensional. La superficie de alisado resultante pasa exactamente a través de los puntos de entrada.

La herramienta Spline utiliza un método de interpolación que estima valores usando una función matemática que minimiza la curvatura general de la superficie, lo que resulta en una superficie suave que pasa exactamente por los puntos de entrada.

Conceptualmente, los puntos de muestra extruden hasta la altura de su magnitud. La spline curva una hoja de goma que pasa a través de los puntos de entrada y minimiza a la vez la curvatura total de la superficie. Ajusta una función matemática a una cantidad especificada de puntos de entrada más cercanos mientras pasa a través de los puntos de muestra. Este método es mejor para generar superficies que varían levemente, como la elevación, la altura de las tablas de agua o las concentraciones de contaminación.

La forma básica de la curvatura mínima de interpolación por spline impone las siguientes dos condiciones en el interpolante:

- La superficie debe pasar exactamente por los puntos de datos.
- La superficie debe tener una curvatura mínima. La suma acumulativa de los cuadrados de los términos de la derivada segunda de la superficie tomada sobre cada punto de la superficie debe ser un mínimo.
- La técnica de interpolación básica se puede aplicar utilizando un valor de cero para el argumento Peso a la herramienta Spline.

g. Reclassificar:

Reclasifica (o cambia) los valores en un ráster

Las herramientas de reclasificación cambian o reclasifican los valores de las celdas a valores alternativos mediante diversos métodos. Puede reclasificar un valor a la vez o grupos de valores de una sola vez utilizando campos alternativos, basándose en criterios, como intervalos especificados (por ej. agrupar los valores en 10 intervalos), o por área (por ej. agrupar los valores en 10 grupos que contienen la misma cantidad de celdas). Las herramientas están diseñadas para permitirle cambiar fácilmente varios valores de un ráster de entrada a valores alternativos, deseados o especificados.

Todos los métodos de reclasificación se aplican a cada celda dentro de una zona. Es decir, al aplicar un valor alternativo a un valor existente, todos los métodos de reclasificación aplican el valor alternativo a cada celda de la zona original. Ningún método de reclasificación aplica valores alternativos sólo a una parte de una zona de entrada

2.3. Definición de términos

Erosión: Según Fernando Suarez de Castro, en su libro “Conservación de Suelos”, lo define como el desprendimiento y remoción de partículas del suelo por agentes erosivos.

Perdida de suelo: Cantidad de material edáfico, expresado en unidad de peso por unidad de superficie, que es trasladada de lugar.

Textura: Es la composición del suelo de arenas, arcillas y limos, expresada en porcentaje

Erosividad: Capacidad potencial de la lluvia para provocar la erosión.

Erodabilidad: Es un índice que indica la vulnerabilidad o susceptibles a la erosión y que depende de las propiedades intrínsecas del suelo.

Erosión potencial: Pronóstico de pérdida de material en un suelo como consecuencia de la influencia del relieve, tipo de los suelos y la erosividad de las lluvias. Supone el territorio desprovisto de cubierta vegetal protectora homogénea.

Erosión actual: Pronóstico o medida de suelos que exista en un determinado lugar, en el momento presente. Nos indica el estado de degradación en que se encuentra el suelo y si bien se suele expresar cuantitativamente, es también frecuente su expresión en términos cualitativos.

Precipitación, Es cualquier forma de hidrometeoro que cae del cielo y llega a la superficie terrestre (lluvia, llovizna, nieve)

Pendiente Topográfica, Es el relieve del suelo conjuntamente con el ángulo, longitud y forma de la pendiente inciden en el proceso erosivo.

Cobertura Vegetal, Está representado por los efectos del porcentaje de recubrimiento de la vegetación.

Sistema de Información Geográfica (SIG), es una herramienta que sirve para representar datos georeferenciados, analizar las características y patrones de distribución de esos datos y generar informes con los resultados de dichos análisis.

Cuenca Hidrográfica, comprende la totalidad del área drenada por una corriente o sistema de cauces, donde las aguas caídas por precipitación, se unen para formar un solo curso de agua y son descargados por una única salida.

Raster, se trata de un modelo de datos en el cual las entidades geográficas son representadas usando celdas, generalmente cuadrados (aunque algunos sistemas utilizan otras figuras geométricas como triángulos o hexágonos), ordenados conformando una grilla regular.

Capítulo III

III. Materiales y métodos

3.1. Materiales

3.1.1. Área de estudio – Ubicación

Shapashmarca es caserío del distrito de Amashca provincia Carhuaz– Ancash, ubicados al noreste de ciudad de Carhuaz, el área en estudio abarca 248.21 Hectáreas y un perímetro de 6.05 kilómetros ubicados en la subcuenca del río Punyarure.

El Caserío de Shapashmarca tiene una población promedio al 2014 de 168 habitantes (42 familias) y 105 habitantes (32 familias) respectivamente según consulta a las autoridades locales.

Ubicación Política:

Departamento : Ancash

Provincia : Carhuaz

Distrito : Amashca

Caserío : Shapashmarca

Sub-Cuenca : Río Punyarure

Ubicación Geográfica:

Comprendida entre las coordenadas UTM WGS84 18S

Este : 209559 m

Norte : 8978971 m

Altitud Promedio : 2850 msnm

3.1.2. Recolección de información

3.1.2.1. Erosividad de las lluvias (Factor R)

Se realizó la adquisición de datos de precipitaciones totales mensuales las cuales fueron obtenidas de las estaciones meteorológicas cercanas a la zona Shapashmarca:

Registro de 1986- 1993

- Caraz
- Yungay
- Llanganuco

Registro de 2002-2011

- Yungay
- UNASAM
- Pomabamba

De los cuales por el método de regresión simple se generaron datos de precipitaciones en la zona de la investigación, para poder determinar el factor de erosividad que se detalla en el procesamiento de la información.

3.1.2.2. Erodabilidad del suelo (factor K)

La erodabilidad de los suelos está en función de la textura, profundidad y pedregosidad de los suelos. Para lo cual se tomó muestras de suelo en la Zona de Shapashmarca.

3.1.2.3. Factor (LS): L (longitud de pendiente), S (la pendiente)

Para obtener datos topográficos se empleó los sistemas informáticos, ubicando mediante coordenadas la zona de Shapashmarca empleando el Google Earth, el software GPS Visualizer, el software ArcGis, que se detallan en el procesamiento de información.

3.1.2.4. Factor de Cobertura vegetal (C)

Se utilizó una imagen Lansat 8, el cual se exportó al ArcGis y se realizó la clasificación supervisada, que se detalla en el procesamiento de información.

3.1.2.5. Prácticas de conservación de suelos (Factor P)

Se recorrió toda el área de la investigación en la localidad de Shapashmarca - Carhuaz para verificar si existe algún método de prácticas de conservación de suelos en los terrenos que los agricultores realizan, basándome en la teoría que conozco de los métodos de conservación que se emplean en los suelos agrícolas.

3.2. Métodos

3.2.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación que se realizó es Aplicado/Descriptivo- Explicativo.

3.2.2. Diseño de investigación

Es una investigación no experimental/ Retrospectivo Parcial/Longitudinal.

3.2.3. Población y muestra

3.2.3.1. Población

Población estudiada, lo representa 248.21 Has de suelos de la zona de Shapashmarca - Carhuaz.

3.2.3.2. Muestra

Con la finalidad de presentar mapas de suelos de la Zona de Shapashmarca- Carhuaz. Se obtuvieron 20 muestras no probabilísticas/ intencionales, tomando cada una de las muestras en puntos estratégicos, así como se observa en el plano de muestras de suelo.

3.2.4. Procesamiento de la información

Con el uso del Arcgis 10.3 se procesaron todas las informaciones recopiladas para cada una de las variables, pero para ello se hizo un procesamiento utilizando el Excel.

a. Erosividad de las lluvias (Factor R)

Para poder obtener el factor de erosividad se hace uso de los registros existentes de precipitación cercanos a la zona de la investigación, que se muestran en las tablas 8 y 9:

Tabla 8: Estaciones meteorológicas consideradas para el periodo 1986-1993.

<i>Estaciones</i>	<i>Ubicación (UTM)</i>			<i>Periodo de registro</i>	
	<i>Norte (m)</i>	<i>Este (m)</i>	<i>Altitud (msnm)</i>	<i>Inicio</i>	<i>Fin</i>
CARAZ	8998952.90	191397.85	2286	1986	1993
YUNGAY	898741.09	198731.02	2557	1986	1993
LLANGANUCO	8995392.38	208539.03	3918	1986	1993

Fuente: SENAMHI/EGENOR, GPS BP10/01

Tabla 9: Estaciones meteorológicas consideradas para el periodo 2002-2011.

<i>Estaciones</i>	<i>Ubicación (UTM)</i>			<i>Periodo de registro</i>	
	<i>Norte (m)</i>	<i>Este (m)</i>	<i>Altitud (msnm)</i>	<i>Inicio</i>	<i>Fin</i>
YUNGAY	898741.09	198731.02	2557	1986	1993
UNASAM	8948866.41	223688.84	3079	2002	2009
POMABAMBA	9028209.39	228638.97	3605	2002	2011

Fuente: SENAMHI/EGENOR, GPS BP10/01

Los datos obtenidos de precipitaciones totales mensuales para los periodos 1986-1993 y 2002 – 2011 se muestran en los cuadros N°1, 2, 3, 4, 5 y 6 de los anexos.

Los datos obtenidos de precipitaciones medias mensuales de las estaciones consideradas para ambos periodos se muestran en las tablas 10 y 11.

Tabla 10: *Precipitaciones medias mensuales para el periodo 1986 – 1993.*

Estación	Altitud (msnm)	Precipitación media mensual (mm)											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Caraz	2286	24.93	37.52	47.81	13.9	6.34	2.89	0.02	0.06	0.69	9.89	11.77	6.4
Yungay	2557	61.18	79.84	58,36	27.18	10.48	5.24	0.02	0	1.14	6.85	25.32	25.72
Llanganuco	3918	90.7	111.94	123.94	96.04	50.33	11.09	0.02	3.1	5.33	45.6	66.8	75.47

Fuente: SENAMHI/EGENOR, GPS BP10/01

Tabla 11: *Precipitaciones medias mensuales para el periodo 2002 – 2011.*

Estación	Altitud (msnm)	Precipitación media mensual (mm)											
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Yungay	2527	94.26	110.86	144.69	78.24	8.85	2.3	0	0.75	4.79	74.16	70.11	105.06
UNASAM	3079	107.37	107.37	112.04	88.61	16.54	5.35	6.94	2.44	16.29	80.6	73.26	117.11
Pomabamba	3605	115.59	115.59	114.98	93.77	23.34	11.72	8.56	7.64	43.88	110.9	98.66	141.03

Fuente: SENAMHI/EGENOR, GPS BP10/01

b.Erodabilidad del suelo (Factor K)

Para obtener el factor de erodabilidad primero se obtuvo las muestras de suelo de la zona de Shapashmarca, utilizando los siguientes materiales e equipos utilizados como:

- Lampa
- Barreta
- Wincha
- Bolsas
- GPS
- Cámara fotográfica y útiles de escritorio

Los datos tomados de cada muestra se presentan en la Tabla 12.

Tabla 12: Muestras de suelo tomadas en la zona de Shapashmarca.

<i>Muestra</i>	<i>Coordenadas</i>		
	<i>Este (m)</i>	<i>Norte (m)</i>	<i>Altitud (msnm)</i>
M1	209115.792	8977996.69	2945.35
M2	208791.677	8978935.96	3166.74
M3	209201.782	8980245.65	3305.97
M4	210683.452	8979967.84	3229.22
M5	210504.857	8979028.57	3228.48
M6	210458.555	8978168.67	3065.46
M7	210002.148	8977811.48	2957.99
M8	209717.72	8979511.43	3047.61
M9	210021.992	8978605.23	3095.41
M10	209110.693	8978549.15	3014.62
M11	209504.262	8978879.88	2959.54
M12	209884.601	8978208.5	3055.36
M13	209328.975	8979663.71	3139.61
M14	210327.779	8979766.23	3168.13
M15	210139.263	8979184.15	3145.66
M16	209408.35	8979200.69	3076.81
M17	209983.82	8978949.33	3101.40
M18	209444.731	8978387.09	2908.67
M19	209825.07	8979865.45	3091.89
M20	209517.491	8978003.44	2883.44

Fuente: Elaboración propia-datos de laboratorio y campo.

c. Factor Topográfico (LS): L (longitud de pendiente), S (pendiente):

Para obtener el factor de longitud y pendiente se siguió el siguiente procedimiento:

- En el Google Earth trazamos polilíneas, para obtener puntos de coordenadas, mientras más puntos mayor precisión.
- Utilizamos el software GPS Visualizer, donde cargamos la polilínea trazada para obtener las cotas.

- En el software ArcGis, utilizamos la herramienta GPX to feature, para extraer los puntos de coordenadas con cotas.
- En el software ArcGis, utilizamos la herramienta create TIN, donde cargamos los puntos para crear TIN
- En el software ArcGis 10.3, utilizamos la herramienta Surface contour, donde cargamos el TIN creado anteriormente, colocamos el Intervalo de contorno, o intervalo de curvas de nivel en el cual se colocó cada 15 metros. Se obtuvo la curva de nivel cada 15 metros.

d. Factor de Cobertura Vegetal (Factor C)

Para obtener el mapa de cobertura, primero descargando una imagen Landsat 8, del 2015, para luego con el ArcGis 10.3 realizamos una clasificación supervisada.

e. Prácticas de conservación de suelos (Factor P)

Según se indica Ramírez (2010) en el marco conceptual “este factor de prácticas de conservación de suelos representa el efecto que tienen las prácticas de tipo mecánicas como cultivos en contorno, en fajas y terrazas en el proceso de erosión hídrica. Su valor depende de la pendiente del terreno, que varía entre 0 a 1. Cuando no se realizan prácticas, $P = 1$.”, como no se observa presencia de métodos de conservación, me baso en lo manifestado en el autor antes mencionado. Así mismo que si se hubiese observado algún método de conservación de suelo en la zona de Shapashmarca se emplearía la tabla 6, para nuestro procesamiento de datos.

f. Índice de Erosión

Con los mapas obtenidos del factor de erodabilidad, factor de erosividad, factor de pendiente, y el factor de cobertura vegetal se

determinó el índice de riesgo de erosión para 1986-1993 y 2002 - 2011; y aplicando la formula siguiente:

El índice de riesgo de erosión (1986-1993) = Factor de erodabilidad (1986-1993) x
Factor de erosividad x
Factor de pendiente x
Factor de cubierta vegetal

El índice de riesgo de erosión (2002-2011) = Índice de erodabilidad (2002-2011) x
Factor de erosividad x
Factor de pendiente x
Factor de cubierta vegetal

Capítulo IV

IV. Resultados y Discusión

4.1. Resultados

4.1.1. Erosividad de las lluvias (Factor R)

A los registros históricos de precipitación total mensual de ambos periodos se calcularon la media mensual y total anual así como se observa en los cuadros 1, 2, 3, 4, 5 y 6.

Para la evaluación de la variabilidad de las precipitaciones medias mensuales se hace un análisis de la estación Yungay que es más cercana a la zona estudiada, para ambos periodos como se observa en Figura 4.

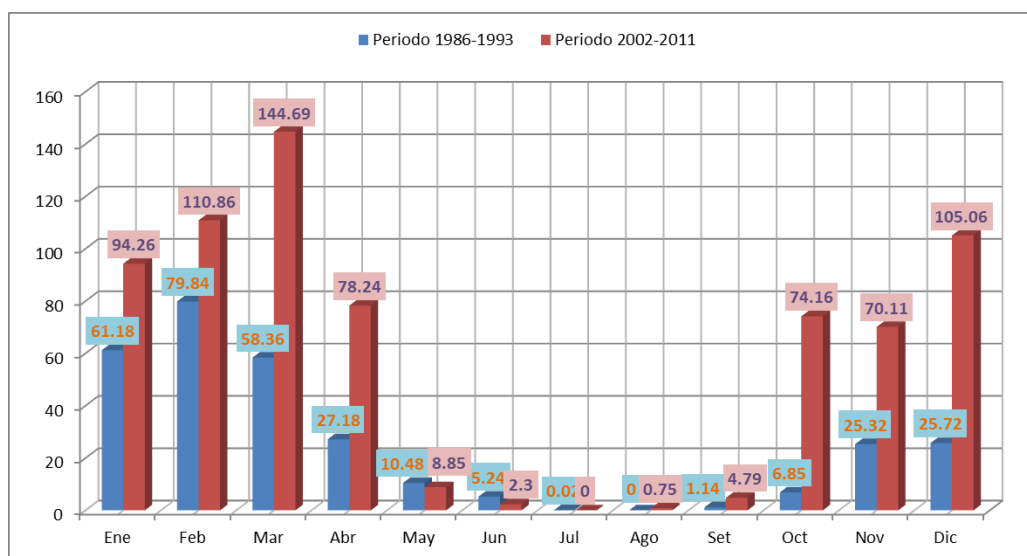


Figura 4: Variabilidad de la precipitación media mensual de la estación Yungay.

Fuente: Elaboración propia

Con las precipitaciones medias mensuales obtenida y aplicando la regresión lineal simple calculamos las ecuaciones de precipitación media mensual en función a la altura para cada uno de los meses como se muestra en las tablas 13 y 14.

Ecuación de regresión simple:

$$Pp = A * h + B(\text{mm}) \text{ donde } h = \text{altitud}(\text{msnm})$$

Tabla 13: Factores de la ecuación de precipitación media mensual en función a la altura para el periodo 1986-1993.

Meses	Factores			Ecuación de precipitación (mm)
	A	B	R2	h= Altitud (msnm)
Enero	0.0343	-41.1910	0.8284	$Pp=0.0343*h-41.1910$
Febrero	0.0385	-35.9690	0.8131	$Pp=0.0385*h-35.9690$
Marzo	0.0471	-60.9640	0.9993	$Pp=0.0471*h-60.9640$
Abril	0.0504	-101.5300	1.0000	$Pp=0.0504*h-101.5300$
Mayo	0.0277	-58.5240	0.9951	$Pp=0.0277*h-58.5240$
Junio	0.0048	-7.5874	0.9840	$Pp=0.0048*h-7.5874$
Julio	0.0000	0.0136	0.8706	$Pp=0.000001*h-0.0136$
Agosto	0.0020	-4.7821	0.9708	$Pp=0.002*h-4.7821$
Septiembre	0.0029	-6.1275	0.9953	$Pp=0.0029*h-6.1275$
Octubre	0.0240	-49.3480	0.9498	$Pp=0.0240*h-49.3480$
Noviembre	0.0327	-60.7790	0.9931	$Pp=0.0327*h-60.7790$
Diciembre	0.0405	-82.2890	0.9859	$Pp=0.0405*h-82.2890$

Fuente: Elaboración propia

Tabla 14: Factores de la ecuación de precipitación media mensual en función a la altura para el periodo 2002-2011

Meses	Factores			Ecuación de precipitación (mm)
	A	B	R2	h= Altitud (msnm)
Enero	0.0198	44.8950	0.9863	$Pp=0.0198*h+44.895$
Febrero	0.0038	100.9300	0.9357	$Pp=0.0038*h+100.93$
Marzo	0.0070	126.5300	0.9277	$Pp=0.007*h+126.53$
Abril	0.0144	42.5450	0.9688	$Pp=0.0144*h+42.545$
Mayo	0.0134	-25.0400	0.9995	$Pp=0.0134*h-25.04$
Junio	0.0087	-20.2029	0.9546	$Pp=0.0087*h-20.2029$
Julio	0.0080	-19.3200	0.8946	$Pp=0.008*h-19.32$
Agosto	0.0063	-15.8860	0.9128	$Pp=0.0063*h-15.886$
Septiembre	0.0361	-89.2930	0.9401	$Pp=0.0361*h-89.293$
Octubre	0.0339	-15.5220	0.8674	$Pp=0.0339*h-15.522$
Noviembre	0.0263	-0.1155	0.8211	$Pp=0.0263*h-0.1155$
Diciembre	0.0333	18.9180	0.9597	$Pp=0.0333*h+18.918$

Fuente: Elaboración propia

Con las ecuaciones representativas de precipitación media mensual en función a la altura generada para ambos periodos obtuvimos seis estaciones en la zona de Shapashmarca.

Tabla 15: *Estaciones generadas en la zona de Shapashmarca – Carhuaz.*

<i>Item</i>	<i>Nombre</i>	<i>Ubicación UTM</i>		
		<i>Este (m)</i>	<i>Norte (m)</i>	<i>Altitud (msnm)</i>
1	E - 01	209708.39	8978824.7	2965.11
2	E - 02	209742.79	8977786.21	2909.64
3	E - 03	210664.86	8979957.12	3225.56
4	E - 04	210632.45	8978574.67	3080.63
5	E - 05	209060.16	8980146.3	3288.37
6	E - 06	208802.19	8978372.26	3043.70

Fuente: Elaboración propia

Con las estaciones generadas para la zona de estudio y aplicando las ecuaciones de precipitación media mensual en función a la altura se calcularon las precipitaciones medias mensuales para cada una de las estaciones generadas.

Tabla 16: *Precipitaciones medias mensuales calculadas de las estaciones generadas en la zona de Shapashmarca – Carhuaz, para el periodo 1986 – 1993.*

<i>Meses</i>	<i>Precipitaciones medias mensuales generadas (mm)</i>					
	<i>E-01</i>	<i>E- 02</i>	<i>E- 03</i>	<i>E- 04</i>	<i>E- 05</i>	<i>E- 06</i>
Enero	60.51	58.61	69.45	64.47	71.60	63.21
Febrero	78.19	76.05	88.22	82.64	90.63	81.21
Marzo	78.69	76.08	90.96	84.13	93.92	82.39
Abril	47.91	45.12	61.04	53.73	64.20	51.87
Mayo	23.61	22.07	30.82	26.81	32.56	25.79
Junio	6.65	6.38	7.90	7.20	8.20	7.02
Julio	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
Agosto	1.15	1.04	1.67	1.38	1.79	1.31
Septiembre	2.47	2.31	3.23	2.81	3.41	2.70
Octubre	21.81	20.48	28.07	24.59	29.57	23.70

Noviembre	36.18	34.37	44.70	39.96	46.75	38.75
Diciembre	37.80	35.55	48.35	42.48	50.89	40.98
Total	394.99	378.08	474.43	430.22	493.54	418.95

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17: *Precipitaciones medias mensuales calculadas de las estaciones generadas en la zona de Shapashmarca – Carhuaz, para el periodo 2002 - 2011.*

<i>Meses</i>	<i>Precipitaciones medias mensuales generadas (mm)</i>					
	<i>E-01</i>	<i>E- 02</i>	<i>E- 03</i>	<i>E- 04</i>	<i>E- 05</i>	<i>E- 06</i>
Enero	103.60	102.51	108.76	105.89	110.00	105.16
Febrero	112.20	111.99	113.19	112.64	113.43	112.50
Marzo	147.29	146.90	149.11	148.09	149.55	147.84
Abril	85.24	84.44	88.99	86.91	89.90	86.37
Mayo	14.69	13.95	18.18	16.24	19.02	15.75
Junio	5.59	5.11	7.86	6.60	8.41	6.28
Julio	4.40	3.96	6.48	5.33	6.99	5.03
Agosto	2.79	2.44	4.44	3.52	4.83	3.29
Septiembre	17.75	15.74	27.15	21.92	29.42	20.58
Octubre	85.00	83.11	93.82	88.91	95.95	87.66
Noviembre	77.87	76.41	84.72	80.90	86.37	79.93
Diciembre	117.66	115.81	126.33	121.50	128.42	120.27
Total	774.08	762.37	829.03	798.45	842.29	790.66

Fuente: Elaboración propia

Con las precipitaciones medias mensuales generadas para ambos periodos se calculó el Factor de erosividad de las lluvias con el índice de Fournier modificado (IMF) reemplazando en la ecuación (2). Y se realizó la clasificación en función a la tabla 01.

Tabla 18: *Índice de fournier modificado (IFM) calculadas de las estaciones generadas en la zona de Shapashmarca – Carhuaz, para el periodo 1986 - 1993.*

Ítem	Nombre	Ubicación UTM			IFM (mm)	Descripción	Clase
		Este (m)	Norte (m)	Altitud (msnm)			
1	E - 01	209708	8978825	2965.11	55.91	Muy Bajo	1
2	E - 02	209743	8977786	2909.63	54.06	Muy Bajo	1
3	E - 03	210665	8979957	3225.56	64.82	Bajo	2
4	E - 04	210632	8978575	3080.62	59.82	Muy Bajo	1
5	E - 05	209060	8980146	3288.37	67.01	Bajo	2
6	E - 06	208802	8978372	3043.70	58.56	Muy Bajo	1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 19: *Índice de fournier modificado (IFM) calculadas de las estaciones generadas en la zona de Shapashmarca – Carhuaz, para el periodo 2002 - 2011.*

Ítem	Nombre	Ubicación UTM			IFM (mm)	Descripción	Clase
		Este (m)	Norte (m)	Altitud (msnm)			
1	E - 01	209708	8978825	2965.11	103.35	Moderado	3
2	E - 02	209743	8977786	2909.63	102.85	Moderado	3
3	E - 03	210665	8979957	3225.56	106.06	Moderado	3
4	E - 04	210632	8978575	3080.63	104.48	Moderado	3
5	E - 05	209060	8980146	3288.37	106.78	Moderado	3
6	E - 06	208802	8978372	3043.70	104.11	Moderado	3

Fuente: Elaboración propia

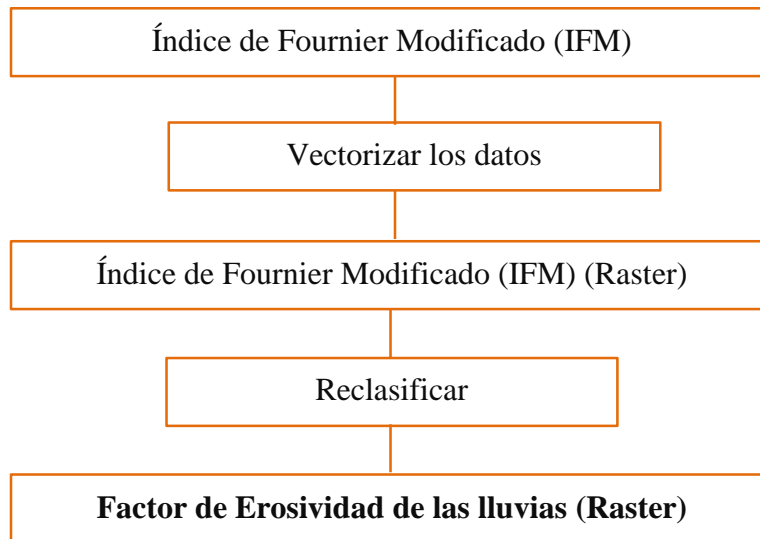


Figura 5: Vectorización del índice de Fournier modificado para el factor de erosividad de las lluvias.

Fuente: Elaboración propia

Este procedimiento con el programa Arcgis 10.3 nos lleva a determinar el mapa del Índice de Fournier modificado por ende el factor de erosividad de las lluvias para el periodo 1986-1993 (Plano N° P-01) y el periodo 2002-2011 (Plano N° P-02).

Se obtuvo el Factor de erosividad de las lluvias para ambos periodos en evaluación y los resultados se muestran en la tabla 20 y los planos N° P-01 y N° P-02.

Tabla 20: Resultados obtenidos del Factor de erosividad de las lluvias

<i>Periodos</i>	<i>Factor de erosividad de las lluvias</i>		
	<i>Clase</i>	<i>Rango</i>	<i>Descripción</i>
1986 -1993	1	0-60	Muy bajo
	2	60-90	Bajo
2002-2011	3	90-120	Moderado

Fuente: Elaboración propia

4.1.2. Erodabilidad del suelo (Factor K)

Con la ayuda de las herramientas y equipos empleados se tomaron 20 muestras como se muestra en el siguiente gráfico.

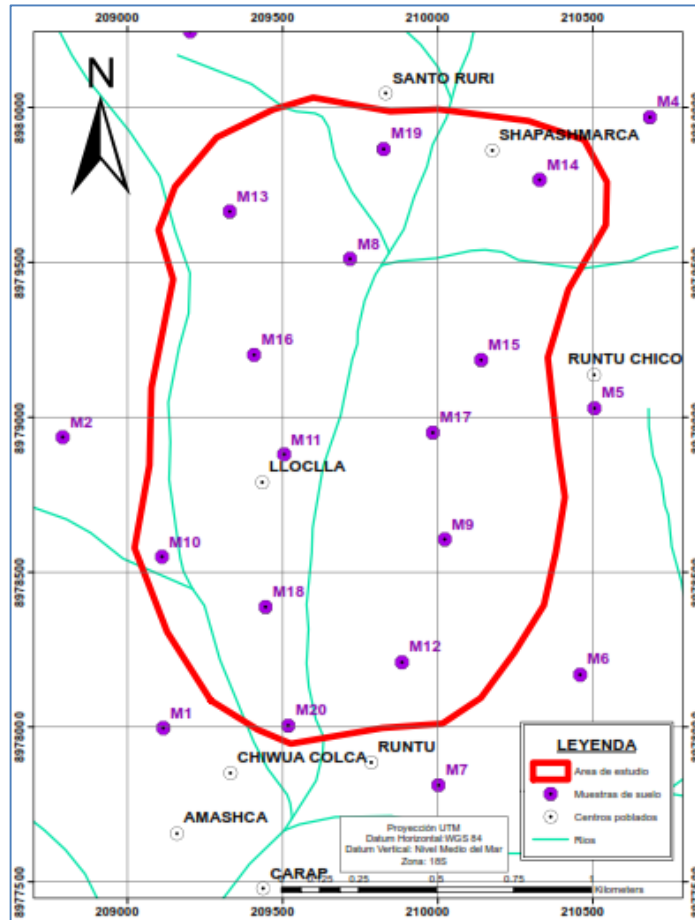


Figura 6: Muestras tomadas de la zona de estudio

Fuente: elaboración propia mediante el programa ARGIS 10.3

De las muestras tomadas se llevaron al laboratorio para obtener los parámetros de la profundidad de los suelos, pedregosidad de los suelos y textura de los suelos, como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 21: Datos de muestras de suelo tomadas en la zona de Shapashmarca.

<i>Muestra</i>	<i>Profundidad de las muestras tomadas en Campo (cm)</i>	<i>Pedregosidad de las muestras (%)</i>	<i>Textura (USDA) Laboratorio</i>
M1	40	<10%	Franco arenoso
M2	50	>10%	Arcilla
M3	80	<10%	Franco arenoso
M4	60	<10%	Franco arenoso
M5	70	>10%	Franco arcillo arenoso
M6	35	<10%	Franco arenoso
M7	40	<10%	Franco arenoso
M8	40	>10%	Franco arenoso
M9	60	>10%	Franco arenoso
M10	30	<10%	Franco
M11	100	>10%	Franco arcillo arenoso
M12	90	<10%	Franco arenoso
M13	70	<10%	Franco arenoso
M14	40	>10%	Franco
M15	80	>10%	Franco arenoso
M16	60	>10%	Franco arenoso
M17	90	<10%	Franco arenoso
M18	70	>10%	Franco
M19	40	<10%	Franco arcillo arenoso
M20	50	<10%	Franco arenoso

Fuente: Elaboración propia-datos de laboratorio y campo.

De los parámetros obtenidos de las muestras de suelo como profundidad, pedregosidad y textura mediante los resultados de laboratorio se obtuvieron mapas de clase textural, Clase de Profundidad y clase de pedregosidad, todo ello se elaboró de acuerdo al procedimiento que se presenta en la figura 7.

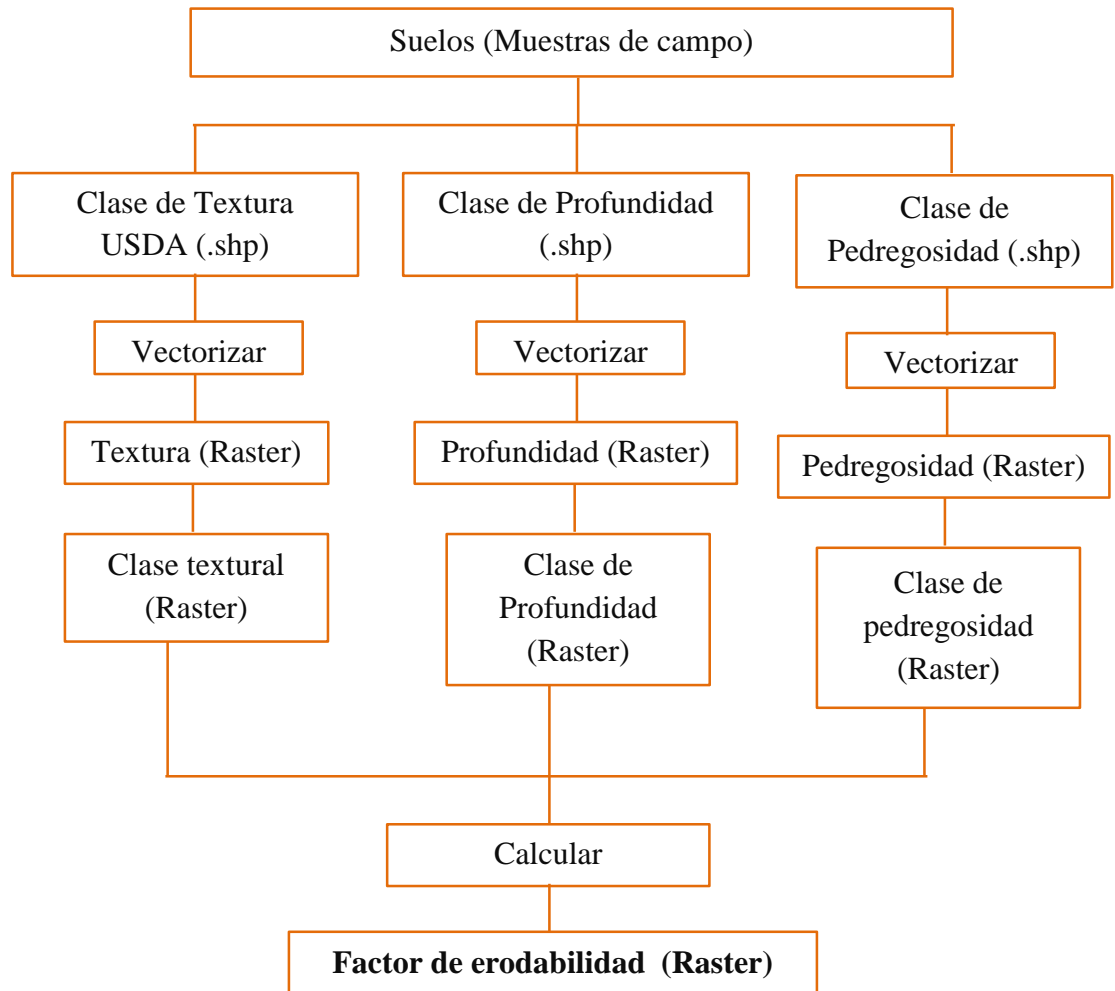


Figura 7: Determinación de índice de erodabilidad de los suelos

Fuente: Díaz Rivera et al., “Determinación de índices de Erosión de suelos aplicando Análisis SIG para la Localidad de San Andrés –Pinar del Rio”, Chapingo – México, pp.15-19, 2008.

Con los mapas que se generaron en Arcgis 10.3, se determinó el plano de muestras de suelo (Plano N° P-03), y en base a este se ingresó los datos de clase textural, clase de profundidad y clase de pedregosidad y luego se calcula el factor de erodabilidad de los suelos para la zona de Shapashmarca – Carhuaz (Plano N° P-04)

Se obtuvieron los Factor de erodabilidad de los suelos y los resultados se muestran en la tabla 22 y los planos N° P-04.

Tabla 22: *Resultados obtenidos del factor de erodabilidad de los suelos*

<i>Índice</i>	<i>Descripción</i>	<i>Área(Ha)</i>	<i>Porcentaje (%)</i>
1	Bajo	17.47	7.04%
2	Moderado	128.33	51.70%
3	Alto	102.41	41.26%
Totales		248.21	

Fuente: Elaboración propia

4.1.3. Factor Topográfico (LS): L (Longitud de pendiente), S (pendiente)

Se determinó la longitud de pendiente (Plano N° P-05), la pendiente (Plano N° P-06), y luego se determinó el Factor Topográfico (Plano N° P-07) todo ello se elaboró de acuerdo al procedimiento que se presenta en la figura 8.

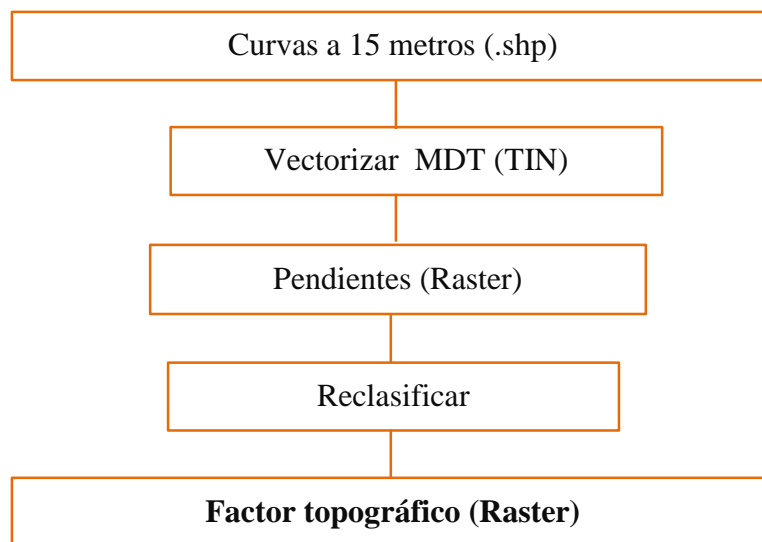


Figura 8: Determinación del índice de pendientes.

Fuente: Díaz Rivera et al., “Determinación de índices de Erosión de suelos aplicando Análisis SIG para la Localidad de San Andrés –Pinar del Rio”, Chapingo – México, pp.15-19, 2008.

Se obtuvo el Factor topográfico a partir de la pendiente de la topografía de los suelos y los resultados se muestran en la tabla 23 y el plano N° P-07.

Tabla 23: Resultados obtenidos de factor topográfico

<i>Índice</i>	<i>Descripción</i>	<i>Área(Ha)</i>	<i>Porcentaje (%)</i>
1	Ondulado a plano	16.18	6.52%
2	Ondulado	125.94	50.74%
3	Empinado	101.92	41.06%
4	Muy empinado	4.17	1.68%
Totales		248.21	

Fuente: Elaboración propia

4.1.4. Factor de Cobertura Vegetal (Factor C)

Luego se exporto al ArcGis 10.3 para poder procesarlo como se muestra en la figura 9.

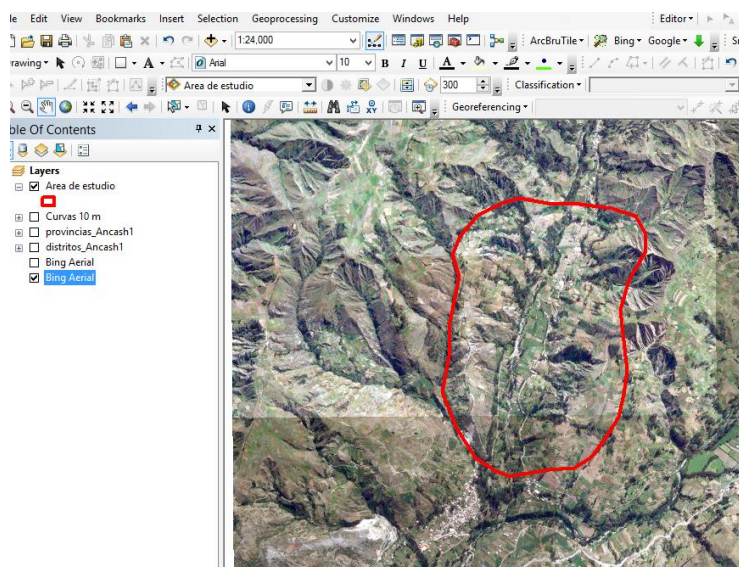


Figura 9: Imagen Lansat exportada al ArcGis 10.3

Con los datos obtenidos de cubierta vegetal procesados en el Arcgis 10.3 y se representaron en áreas de acuerdo a lo establecido en la tabla 5.1 y 5.2 y Todo ello se elaboró de acuerdo al procedimiento que se presenta en la figura 10.

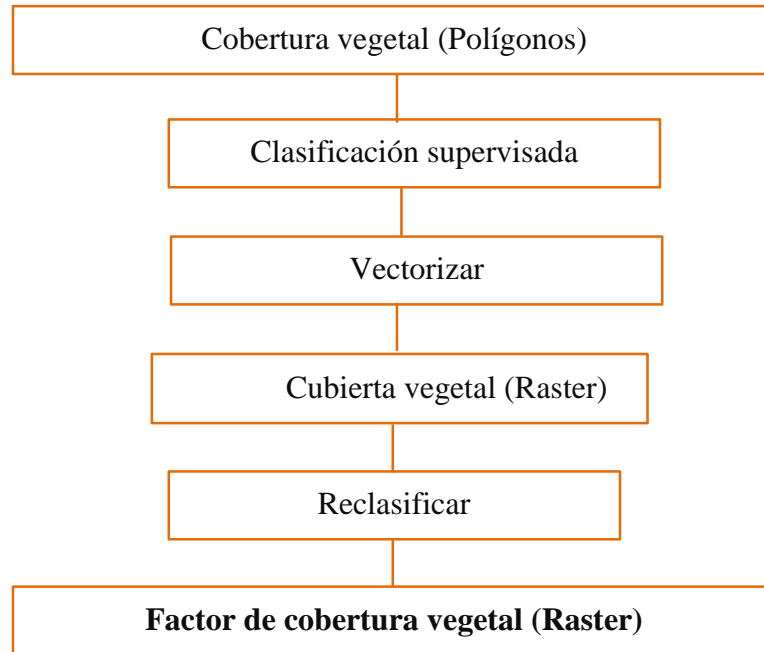


Figura 10: Determinación del índice de cubierta vegetal.

Fuente: Díaz Rivera et al., “Determinación de índices de Erosión de suelos aplicando Análisis SIG para la Localidad de San Andrés –Pinar del Rio”, Chapingo – México, pp.15-19, 2008.

Se obtuvo el Factor de cobertura vegetal y los resultados se muestran en la tabla 23 y el plano N° P - 08.

Tabla 24: Resultados obtenidos de Factor de Cobertura vegetal

<i>Índice</i>	<i>Descripción</i>	<i>Área(Ha)</i>	<i>Porcentaje (%)</i>
1	Completamente protegido	100.87	40.64%
2	No completamente protegido	147.34	59.36%
Totales		248.21	

Fuente: Elaboración propia

4.1.5. Prácticas de conservación de suelos (Factor P)

Para determinar la erosión se asumió que no existen practicas conservacionistas donde el factor de conservación de suelos es P=1, ya que

de acuerdo a la determinación de la erosión se tomara las medidas y/o recomendaciones para la zona de Shapashmarca.

4.1.6. Índice de riesgo de erosión

Todo ello se elaboró de acuerdo al procedimiento que se presenta en la figura 11.

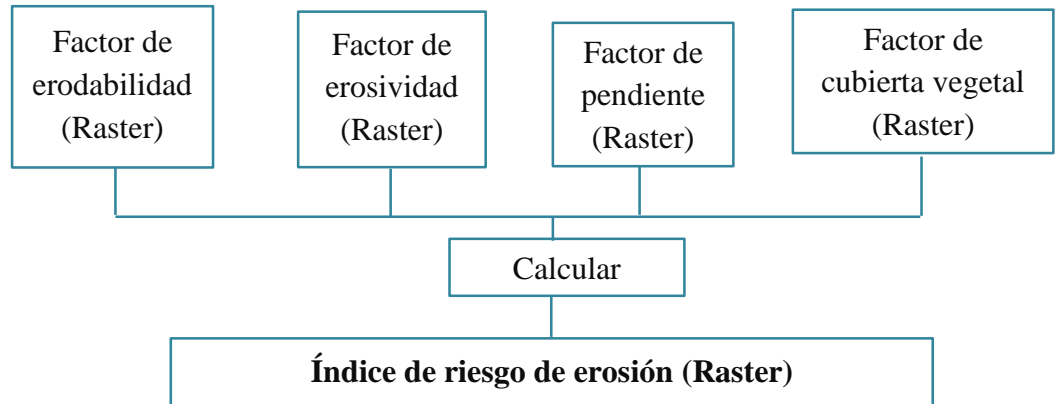


Figura 11: Determinación del índice de riesgo de erosión.

Fuente: Díaz Rivera et al., “Determinación de índices de Erosión de suelos aplicando Análisis SIG para la Localidad de San Andrés –Pinar del Rio”, Chapingo – México, pp.15-19, 2008.

Se obtuvieron los índices de riesgo de erosión para el periodo 1986-1993 (Plano N° P-09) y para el periodo 2002-2011 (Plano N° P-10).

Se obtuvo el Índice de riesgo de erosión y los resultados se muestran en la tabla 25 y el plano N° P-09.

Tabla 25: *Resultados obtenidos de índices de riesgo de erosión de los suelos de 1986 - 1993*

Índice	Descripción	Área(Ha)	Porcentaje (%)
1	Bajo	94.81	38.20%
2	Moderado	140.29	56.52%
3	Alto	13.11	5.28%
Totales		248.21	100.00%

Fuente: Elaboración propia

Se obtuvo el Índice de riesgo de erosión y los resultados se muestran en la tabla 26 y el plano N° P-10.

Tabla 26: *Resultados obtenidos de índices de riesgo de erosión de los suelos 2002-2011*

Índice	Descripción	Área(Ha)	Porcentaje (%)
1	Bajo	88.96	35.84%
2	Moderado	102.61	41.34%
3	Alto	56.64	22.82%
Totales		248.21	100.00%

Fuente: Elaboración propia

4.2. Discusión

4.2.1. Erosividad de las lluvias (Factor R)

Los resultados obtenidos del factor de erosividad de las lluvias para el periodo 1986 – 1993 son de clase 1 (Muy bajo) y clase 2 (Bajo), y para el periodo 2002-2011 es de clase 3 (Moderado) como se indica en la tabla 20; así mismo el factor de erosividad de las lluvias aumentaron de acuerdo a la agresividad de las lluvias, y son menos intensos en el periodo 1986 – 1993 pero más intensos en el periodo 2002 – 2011; que nos indican la capacidad potencial de las lluvias para generar erosión y es función de las características físicas de las mismas (intensidad, duración, velocidad y tamaño de las gotas), este factor se determinó en base al método empleado por **Vásquez y Tapia (2011)**, que también utilizó datos meteorológicos para obtener su factor de erosividad, pero al generar datos hay un margen de error que no nos precisa los datos obtenidos, pero para mayor precisión sería mucho mejor tener estaciones en la misma zona de estudio.

4.2.2. Erodabilidad del suelo (Factor K)

Los resultados obtenidos del factor de erodabilidad de los suelos de la zona estudiada presentan en un 7.04% del área total como bajamente erodible, 51.70% del área total como moderadamente erodible y 41.26% del área total como altamente erodible, como se indica en la tabla 22; esto nos representa la susceptibilidad del suelo a ser erosionado, ya que algunos suelos se erosionan más rápidamente que otros aun cuando las pendientes, lluvia, cobertura y prácticas de manejo sean las mismas, debido a las propiedades que tiene el suelo, este factor es muy similar al empleado por **Guanca (2010)**, que empleó los planos de la FAO para su erodabilidad del suelo, pero que también para su clasificación es en base a los tipos de suelos, pero a mayor escala ya que hizo un análisis de erosión de América Latina.

4.2.3. Factor Topográfico (LS): L (Longitud de pendiente), S (Pendiente)

Los resultados obtenidos del factor de pendientes para la zona de Shapashmarca – Carhuaz, presentan 6.52% del área total como ondulado a plano,

50.74% de área total como ondulado, 41.06% del área total como empinado y 1.68% del área total como muy empinado, como se indica en la tabla 23; que expresa el efecto del relieve sobre la pérdida de suelos, representando el efecto del largo y grado de la pendiente, este factor se basa a los cálculos realizados por **Vásquez y Tapia (2011)**, que utilizó el google earth para determinar la pendiente y longitud de pendiente, mediante el cual pudo encontrar la erosión del suelo en la zona evaluada.

4.2.4. Factor de cobertura Vegetal (Factor C)

Los resultados obtenidos del factor de cobertura vegetal presenta un 40.64% como completamente protegido y un 59.36% como no completamente protegido de la cobertura de suelo en la Zona Shapashmarca, como se indica en la tabla 24; que representa o miden el grado de protección ejercida por los cultivos y la vegetación natural en el proceso de erosión, y en esta zona hay gran parte que está expuesta a procesos de erosión, este factor se basa a los cálculos realizados por **Vásquez y Tapia (2011)**, que para determinar sus resultados empleo este método, mediante el cual pudo encontrar la erosión del suelo en la zona evaluada.

4.2.5. Prácticas de conservación de suelos (Factor P)

Este factor debido a que no existe prácticas conservacionistas fue asumido ($P=1$); en cambio si hubiese existido las practicas conservacionistas como las de tipo mecánicas como cultivos en contorno, en fajas y terrazas en el proceso de erosión hídrica, se hubiese considerado un valor que depende de la pendiente del terreno, es dato utilizado es por lo indicado por Ramírez (2010), que al realizar su investigación asumió este valor para su análisis de riesgo de erosión.

4.2.7. Índice de riesgo de erosión

Los resultados obtenidos del índice de riesgo de erosión de los suelos de la zona de Shapashmarca en el periodo 1986-1993 presentan una 38.20% del área total como bajo, 56.52 % del área total como moderado y 5.28% del área total como alto; y para el periodo 2002-2011 presentan en un 35.84% del área total

como bajo, 41.34% del área total como moderado y 22.82 % del área total como alto. De los resultados obtenidos del riesgo de erosión de los suelos, se observa que existe un aumento considerable en el índice de riesgo de erosión “Alto” al incrementarse en un 17.56% del área total, con respecto a los periodos evaluados; y que las pérdidas por erosión superan la tolerancia (>10tn/ha/año), se utilizó como referencia la clasificación de la FAO (Tabla 7).

Estos resultados en comparación con lo encontrado por **Minas y Chos Malal (Neuquén)** mediante la Aplicación de la Ecuación Universal de pérdida de suelo (USLE)”, donde los sectores montañosos con fuertes pendientes serían afectados por erosión hídrica muy alta (mayor a 50 tn/ha/año). En cambio el resto de los sectores con pendientes suaves están afectados por procesos erosivos ligeros o moderados (menor a 50 tn/ha/año). Mientras que para **Vásquez y Tapia (2011)**, en su “Cuantificación de la Erosión Hídrica Superficial en las Laderas Semiáridas de la Sierra Peruana, la tasa promedio de erosión en las Laderas de la sierra es de 45.04 ton/ha/año, que representa una lámina de pérdida suelo de 3.20 mm/año. Asimismo, se encontró que la construcción de zanjas de infiltración, redujo la pérdida de suelo en 20.60 ton/ha-año lo que significa 1.47 mm/año. Cabe mencionar que para **Guanca (2010)** en su tesis “Determinación de la Erosión Hídrica de los Suelos de la Cuenca del Río Pilcomayo-Salta, Aplicando el USLE”, resalta que del Método de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE), que es un modelo matemático de tipo paramétrico, permitirá estimar cuantitativamente la erosión para determinadas condiciones de precipitación, suelo, relieve, cultivo y prácticas de manejo, y sus resultados de Erosión Actual indicaron que en pendientes mayores al 5%. Un 91% de las Asociaciones de Suelos presentan Erosión Actual nula a ligera, 4% moderada y 4% alta. La región de las Sierras Subandinas con ganadería y forestales resultó con erosión alta (88 tn/ha/año) mientras que en las regiones de Umbral al Chaco y Chaco semiárido los valores de erosión fueron de clase nula a ligera (menor a 10 tn/ha/año).

De lo indicado estos resultados son de mucha utilidad, pues la cuantificación de las pérdidas de suelo servirá de base para la planificación de trabajos de conservación de suelos que podrán llevarse a cabo en la zona evaluada.

Capítulo V

V. Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

- Se identificó las áreas críticas de riesgo de erosión en los suelos de la zona de Shapashmarca – Carhuaz donde se presentan en el periodo 1986-1993 un 38.20% como bajo, 56.52% como moderado y 5.28% como alto; y para el periodo 2002-2011 un 35.84% como bajo, 41.34% como moderado, y 22.82% como alto, los cuales se obtuvieron con el uso del ArcGis 10.3. que nos indica que existe un aumento considerable en el índice “Alto” de riesgo de erosión por el incremento en un 17.56% del área total, con respecto a los periodos evaluados.
- Con los datos de precipitaciones existentes de las estaciones cercanas a la zona de Shapashmarca se determinó el Factor Erosividad de las lluvias para el periodo 1986-1993 muy bajo (clase 1) y bajo (clase 2) y para el periodo 2002-2011 es moderado (clase 3), que nos indica que las lluvias aumentaron según su agresividad, de un periodo a otro, presentándose más riesgo de erosión en el periodo del 2002 al 2011.
- Se determinó el factor de erodabilidad de los suelos presenta del área total en un 7.04% como bajamente erodible, 51.70% como moderadamente erodible y 41.26% como altamente erodible, el factor de pendientes presenta del área total en un 6.52% como ondulado al plano, 50.74% como ondulado, 41.06% como empinado y 1.68% como muy empinado; el factor de cubierta vegetal de los suelos de la Zona de Shapashmarca presenta 40.64% completamente protegido y 59.36% no completamente protegido.
- Se logró identificar que no existe ningún tipo de método de conservación de suelos en la Zona de Shapashmarca.

5.2. Recomendaciones

- Mejorar la semántica de las áreas cultivadas con la incorporación de abonos orgánicos en base a estiércoles de cultivos como las leguminosas, compost de procedencia animal y vegetal.
- Aumentar la cobertura vegetal de los suelos con alto índice de riesgo de erosión de la zona Shapashmarca – Carhuaz, mediante la forestación y reforestación en “protegido” y “no cultivadas” para evitar el impacto directo de las gotas de lluvia, así como evitar que el agua de escorrentía lave el suelo y lo deje desprotegido.
- Realizar prácticas de control de erosión y conservación de suelos con altos índices de riesgo de erosión como de tipo biológico agronómico y carácter mecánico –estructural. Las prácticas de tipo biológico agronómico son la labranza conservacionista, cultivos en contorno, cultivo en fajas y barreras vivas en parcelas con actividad agrícola. Las prácticas de tipo mecánico-estructural son las terrazas (andenes) y zanjas de infiltración en terrenos con pendientes pronunciadas, diques para el control de cárcavas y defensas ribereñas en los márgenes de los riachuelos y ríos, además estas prácticas ayudan a reducir los índices altos de pendientes.
- Implementación y planificación de proyectos para el adecuado uso de suelos, mediante el riego tecnificado que sea apropiado para los productores de la zona de Shapashmarca, en coordinación con los pobladores, gobiernos locales y regionales; para reducir o controlar los riesgos de erosión en la zona de Shapashmarca-Carhuaz.
- Para obtener resultados con mayor precisión se debe utilizar los Raster de menor dimensión (10m), para que los datos arrojados por los cálculos realizados nos reflejen los valores de riesgo de erosión del suelo más precisos y se pueda tomar en base a los resultados las medidas correctivas necesarias para proteger y mejorar los suelos de las zonas evaluadas.

Capítulo VI

VI. Referencias Bibliográficas

Almorox, J.; López, F. y Rafaelli, S. (2010). *La Degradación de los suelos por erosión hídrica: métodos de estimación*, Murcia, España, Universidad de Murcia, p.384.

Almorox et al. (1994). *Métodos de estima de la erosión hídrica*. Editorial agrícola española, 152 pp.

Arnoldus, H. (1978). *An aproximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation*, Edit: Boodt, M. de; Gabriels, D., *Assessment of Erosion*, 1(1), 127-132.

Aula TI, *Bases de Datos Geográficas, Sistemas de Información Geográfica, una realidad para todos*, Consultado 02 de Nov. 2014. disponible en: <http://www.aulati.net/?tag=bases-de-datos-geograficas>

Díaz, J. y Pérez, D. (2007). *Determinación de índices de erosión de suelos aplicando análisis SIG para la localidad de San Andrés en la provincia de Pinar del Río*. Chapingo, 14(1), 15-21.

Díaz, J., Rodríguez, Y., y Febres Gonzales, J. (2008). *Determinación de Índices de Erosión de Suelos Aplicando Análisis SIG para la Localidad de San Andrés - Pinar del Rio, México*, Chapingo, 1(1), 15 – 19.

Dufilho, A. y Frugoni, M. (2011). *Estimación de Erosión Hídrica de suelos para plan de manejo del campo forestal aguas frías, Patagonia Argentina*. Boletín geográfico, 1(1), 69-85.

Environmental Systems Research Institute (2010). “ArcGIS for Desktop Help”. Consultado el 05 de Nov. 2014. Disponible en: <http://help.arcgis.com>.

Fernández M. (2012), *desarrolló el artículo científico, titulado “Determinación y representación espacial de la erosión hídrica, comparación de modelos”*

Flores, H. y Martínez, M. (2001). *Integración de la EUPS a un SIG para estimar la Erosión Hídrica del suelo en una Cuenca Hidrográfica de Tepatitlán, Jalisco, México*. Terra Latinoamericana, 21(2), 233-244.

González, R. y Volke, V. (2007). *Efecto de la erosión del suelo sobre el rendimiento de maíz de temporal*. Terra Latinoamericana, 25(4), 399-408.

Guanca, A. (2010). *Determinación de la Erosión Hídrica de los Suelos de la Cuenca del Río Pilcomayo-Salta, Aplicando el USLE*. Tesis de licenciatura, Facultad de ciencias Naturales, Universidad Nacional de Salta, Argentina.

Hudson, N. (1997). *Medición sobre el terreno de la erosión del suelo y de la escorrentía*. (en línea). Bedford, Inglaterra. FAO. Consultado 15 may. 2009. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/T0848S/T0848S00.htm>

Ibañez, A., Moreno R. y Gisbert B. (2011) “*La ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE)*”. Universidad Politécnica de Valencia- Ingeniería Agronomica y del medio natural. España.

Laurentino, H. y Dufilh, A. (2012). *Determinación del riesgo de erosión hídrica de suelos de los Departamentos Minas y ChosMalal (Neuquén) mediante la Aplicación de la Ecuación Universal de pérdida de suelo (USLE)*. Boletín geográfico, 1(1), 11-31.

- López, S. (1999). *Aplicación de las metodologías USLE e IRE a través de un SIG para estimar la erosión hídrica en la cuenca del río Anaime, departamento de Tolima, Colombia*. Tesis de magister Scientiae, Facultad de ciencias forestales y ambientales, Universidad de los Andes, Venezuela.
- Morgan, R. (1997) “*Erosión y conservación de suelo*”, (en línea). Madrid, España. Consultado 2 may. 2015. Disponible en: http://books.google.cl/books?id=jcFqaFIu1UC&printsec=frontcover&dq=morgan&source=gbs_summary_r&cad=0#PPP1,M1
- Orduña, F. (2007). *Aplicaciones de software SIG: ArcGIS 9.2*. Lección 1: Introducción a ArcGIS Desktop, UNIGIS Girona. 9ª ed. España. Universidad de Girona.
- Pérez, S. (2001). *Modelo para evaluar la Erosión Hídrica en Colombia utilizando Sistemas de información geográfica*. Tesis de licenciatura, Escuela de Ingeniería Química, Universidad Industrial de Santander, Bogotá
- Puerta, R.; Rengifo, J. y Bravo M. N.(2011). *Manual Básico de ArcGIS 10*. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María. Perú. (en línea). Consultado 14 de oct. 2014. Disponible en: <http://robalexo.files.wordpress.com/2013/07/manual-de-arcgis-103.pdf>
- Ramírez, L. (2010). *Estimación de la Pérdida de Suelos por Erosión Hídrica en la Cuenca del Río Juramento-Salta..* Tesis Ingeniero en Recursos Naturales y Medio Ambiente, Facultad de ciencias naturales, Universidad Nacional del Santa.
- Santa G. (2011). *Estimación de la erosión hídrica y su relación con el uso suelo en la cuenca del río Cahoacán, Chiapas, México*. Terra Latinoamericana, 3(1), 45-54.
- Suarez C. (1980) “*Conservación de Suelos*”, IICA, Costa Rica. Centroamérica.

Vásquez, Absalón y Tapia M. (2011), *Manuel Cuantificación de la erosión hídrica superficial en las laderas semiáridas de la Sierra Peruana* Revista INGENIERÍA UC, vol. 18, núm. 3, septiembre-diciembre, pp. 42-50
Universidad de Carabobo Valencia, Venezuela.

Wischmeier, H. y Smith, D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning*. Agriculture Handbook No. 537. USDA/Science and Education Administration, US. Govt. Printing Office, Washington, DC.
58pp. Disponible en:
<http://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF>

ANEXOS

Cuadro N° 4:

Registro histórico de precipitación total mensual y anual de periodo 1986-1993 (Estación Yungay)

Estación : Yungay/000444/dre-04 Departamento : Ancash Este : 197737.06 m
 Parámetro : precipitación total mensual (mm) Distrito : Yungay Norte : 8989254.74 m
 Altitud : 2527 msnm Provincia : Yungay

<i>Parámetro: Precipitación Total Mensual en mm</i>													<i>Total</i>
<i>Año</i>	<i>Enero</i>	<i>Febrero</i>	<i>Marzo</i>	<i>Abril</i>	<i>Mayo</i>	<i>Junio</i>	<i>Julio</i>	<i>Agosto</i>	<i>Septiembre</i>	<i>Octubre</i>	<i>Noviembre</i>	<i>Diciembre</i>	
2002	127.40	117.80	190.60	95.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	171.90	373.90	138.40	1215.40
2003	213.40	135.00	135.40	21.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	32.00	20.60	142.50	700.30
2004	45.80	177.40	58.00	71.50	0.00	0.00	0.00	0.00	6.90	107.80	81.00	69.10	617.50
2005	39.50	93.90	19.50	64.70	2.00	0.00	0.00	0.00	13.80	22.00	0.00	113.00	368.40
2006	60.40	157.70	191.00	88.20	0.00	3.40	0.00	2.60	4.30	13.60	59.90	240.00	821.10
2007	78.30	27.30	174.20	82.90	38.40	0.00	0.00	3.10	5.50	75.30	78.80	46.20	610.00
2008	119.90	119.80	135.20	98.10	9.20	15.40	0.00	0.00	1.10	119.40	71.20	19.40	708.70
2009	212.90	131.40	107.50	107.40	12.80	0.00	0.00	1.80	0.00	172.50	110.20	71.90	928.40
2010	63.70	120.40	137.80	74.60	26.10	4.20	0.00	0.00	4.20	23.50	159.30	191.10	804.90
2011	133.60	27.90	183.60	136.40	0.00	0.00	0.00	0.00	12.10	3.60	50.00	281.70	828.90
Total	1094.90	1108.60	1332.80	840.60	88.50	23.00	0.00	7.50	47.90	741.60	1004.90	1313.30	7603.60
Media	109.49	110.86	133.28	84.06	8.85	2.30	0.00	0.75	4.79	74.16	100.49	131.33	760.36
N (n° datos)	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00

Fuente: SENAMHI

Cuadro N° 5:

Registro histórico de precipitación total mensual y anual de periodo 1986-1993 (Estación UNASAM)

Estación : Santiago Antúnez de Mayolo/000426 /DRE - 04 Departamento : Ancash Este : 223688.84 m
 Parámetro : precipitación total mensual (mm) Distrito : Huaraz Norte : 8948866.41 m
 Altitud : 3079 msnm Provincia : Independencia

Parámetro: Precipitación Total Mensual en mm													Total
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
2002	S/D	170.40	S/D	10.40	16.60	0.60	0.00	0.00	15.70	100.60	137.00	124.40	575.70
2003	107.20	56.50	177.50	91.70	28.60	3.60	1.40	1.60	7.50	29.50	31.60	169.60	706.30
2004	65.50	111.00	105.90	48.90	23.50	4.20	15.80	0.00	49.00	103.60	90.90	104.90	723.20
2005	151.10	88.40	110.10	34.60	2.90	0.00	0.00	8.70	3.80	44.90	20.10	111.30	575.90
2006	107.10	110.80	136.90	146.10	4.80	17.20	1.60	5.20	14.40	49.50	56.00	159.00	808.60
2007	96.20	97.00	170.10	186.90	31.80	0.70	26.90	0.90	8.00	102.20	57.80	62.10	840.60
2008	S/D	148.20	128.00	86.10	2.20	7.40	9.80	3.10	23.70	133.10	43.90	94.90	680.40
2009	117.10	114.00	198.60	104.20	21.90	9.10	0.00	0.00	8.20	81.40	148.80	110.70	914.00
Total	644.20	896.30	1027.10	708.90	132.30	42.80	55.50	19.50	130.30	644.80	586.10	936.90	5824.70
Media	107.37	112.04	146.73	88.61	16.54	5.35	6.94	2.44	16.29	80.60	73.26	117.11	728.09
N (n° datos)	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00

Fuente: SENAMHI

Cuadro N° 6:

Registro histórico de precipitación total mensual y anual de periodo 1986-1993 (Estación Pomabamba)

Estación : Pomabamba/000442/dre-04 Departamento : Ancash Este : 228638.97 m
 Parámetro : precipitación total mensual (mm) Distrito : Pomabamba Norte : 9028209.39 m
 Altitud : 3605 msnm Provincia : Pomabamba

Parámetro: Precipitación Total Mensual en mm													Total
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
2002	111.40	157.20	207.50	80.50	11.90	7.20	29.70	0.00	16.40	155.90	137.60	129.80	1045.10
2003	111.70	167.30	105.50	69.00	28.60	24.60	4.50	12.40	57.90	58.70	86.10	196.60	922.90
2004	107.20	110.20	85.80	37.40	29.80	11.50	14.10	6.90	79.00	113.50	100.50	121.50	817.40
2005	102.20	107.50	S/D	70.00	17.50	0.00	0.00	0.00	23.00	118.90	51.20	78.10	568.40
2006	94.70	80.60	167.30	130.80	14.20	0.00	0.00	1.50	48.50	86.30	98.70	156.40	879.00
2007	154.20	38.10	142.60	117.70	31.30	8.60	3.00	S/D	49.30	130.80	82.70	65.60	823.90
2008	103.20	132.10	84.40	107.40	15.10	32.60	16.40	13.10	58.00	201.40	53.60	99.20	916.50
2009	90.30	91.10	152.10	152.90	48.50	17.20	9.30	26.70	31.10	73.40	189.60	240.10	1122.30
2010	160.10	174.50	200.00	75.10	33.40	15.50	0.00	8.00	25.50	81.40	126.90	131.70	1032.10
2011	120.90	91.20	224.70	96.90	3.10	0.00	S/D	0.00	50.10	88.70	S/D	191.30	866.90
Total	1155.90	1149.80	1369.90	937.70	233.40	117.20	77.00	68.60	438.80	1109.00	926.90	1410.30	8994.50
Media	115.59	114.98	152.21	93.77	23.34	11.72	8.56	7.62	43.88	110.90	102.99	141.03	899.45
N (n° datos)	10.00	10.00	9.00	10.00	10.00	10.00	9.00	9.00	10.00	10.00	9.00	10.00	10.00

Fuente: SENAMHI

Anexo N°02: RESULTADOS DE LABORATORIO

Anexo N°03: Panel fotográfico



Foto N° 1: Vista general de Shapashmarca



Foto N° 2: Vista de parcelas cultivadas en el caserío Shapashmarca



Foto N° 3: Toma de muestra M-01



Foto N° 4: Toma de muestra M-03 de los terrenos (Shapashmarca)



Foto N° 5: Toma muestra M-04 de los terrenos (Shapashmarca)



Foto N° 6: Toma muestra M-06 de los terrenos (Shapashmarca)



Foto N° 7: Vista de la toma de muestra en las parcela en la zona de Shapashmarca



Foto N° 8: Vista de toma de muestra M-07 en parcelas con cobertura de vegetal nula



Foto N° 9: Vista de las parcelas con cobertura de vegetal de donde se ha tomado muestras de suelo.



Foto N° 10: Vista de toma de muestra M-12 en Shapashmarca



Foto N° 11: Vista de toma de muestra M-13 en Shapashmarca



Foto N° 12: Vista de parcela con pendiente pronunciada en la zona estudiada

Anexo N°04: Planos