

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AGRÍCOLA



Estimación de la pérdida suelo aplicando el modelo Rusle y SIG en la Cuenca Río
Huancabamba. 2024

Tesis

Para optar el Título profesional de:

Ingeniero agrícola

Presentado por:

Br. Leonel Gibran Ortiz Severino

TUMBES, 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA

AGRÍCOLA



Tesis aprobada en forma y estilo por:

Dr. Francisco Alburquerque Viera

ORCID: 0000-0002-7468-5386

Ing. Deciderio Atoche Ortiz

ORCID: 0000-0002-3300-330X

Dr. José Modesto Carrillo Sarango

ORCID: 0000-0003-0841-3064

TUMBES, 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



Los suscritos declaramos que el proyecto de tesis es original en contenido y forma.

Br. Leonel Gibran Ortiz Severino

Tesista

Dr. José Modesto Carrillo Sarango

Asesor

TUMBES, 2024



"Año de la Recuperación y Consolidación de la Economía Peruana"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL

En Tumbes, a los *Diecinueve*..... días del mes de.....*Mayo*..... del dos mil veinticinco, siendo las *12h.45* horas, en el aula virtual 2, del Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias, se reunieron el Jurado Calificador de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Tumbes, designado por RESOLUCIÓN N°0218-2024/UNTUMBES-VRACAD-FCA-D, Dr. Francisco Alburquerque Viera (Presidente); Ing. Deciderio Atoche Ortiz (secretario) y Dr. José Modesto Carrillo Sarango, (Vocal), reconociendo en la misma resolución, al Dr., José Modesto Carrillo Sarango, como Asesor, se procedió a evaluar, calificar y deliberar la sustentación de la tesis, titulada: "Estimación de la Perdida suelo aplicando el modelo Rusle y SIG en la Cuenca Rio Huancabamba. 2024, para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrícola, presentado por el Bach. Leonel Gibran Ortiz Severino, Concluida la sustentación y absueltas las preguntas, por parte del sustentante y después de la deliberación, el jurado según el artículo N° 75 del Reglamento de Tesis para Pregrado y Posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes, declara al: Bach Leonel Gibran Ortiz Severino *...Aptitud*..... por *...unanimidad*...., con el calificativo *mu. bna*. se hace conocer al sustentante, que deberá levantar observaciones finales echas al informe final de tesis, que el jurado le indica.

En consecuencia, queda *...Apto*..... para continuar con los trámites correspondientes a la obtención del título profesional de Ingeniero Agrícola, de conformidad con lo estipulado en la Ley Universitaria N° 30220, el Estatuto, Reglamento General, Reglamento General de Grados y Títulos y Reglamento de Tesis de la Universidad Nacional de Tumbes.

Siendo las *Exces. hora 45'* horas y *cuarenta y cinco* minutos del mismo día, se dio por concluida la ceremonia académica, procediendo a firmar el acta en presencia del público asistente.

Tumbes, *19 de mayo del 2025*.....

[Signature]
 Dr. Francisco Alburquerque Viera
 DNI N°: *03605124*
 CODIGO ORCID: *0000-0002-7468*
 Presidente *5386*

[Signature]
 Ing. Deciderio Atoche Ortiz
 DNI N°: *00251292*
 CODIGO ORCID: *0000-0002-7300-330X*
 Secretario

[Signature]
 Dr. José Modesto Carrillo Sarango
 DNI N° : *06223850*
 CODIGO ORCID: *0000-0003-0841-3064*
 VOCAL

DEDICATORIA

A DIOS por darme la vida, salud y sabiduría para afrontar cada paso.

A mi madre, quien ha sido un pilar muy importante en mi trayectoria como persona y académicamente; y a estado presente en cada logro adquirido.

AGRADECIMIENTO

A Dios, por cada una de sus bendiciones y guiarme en el buen camino

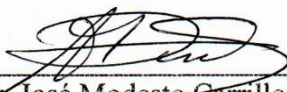
A mi madre, por su apoyo incondicional, sus enseñanzas y su perseverancia.

A mi asesor, por la orientación en el desarrollo de esta investigación

Estimación de la Perdida suelo aplicando el modelo Rusle y SIG en la Cuenca Rio Huancabamba. 2024

por Leonel Gibran Ortiz Severino

Fecha de entrega: 25-mar-2025 12:06p.m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2624969000
Nombre del archivo: TESIS_-_LEONEL_ORTIZ_SEVERINO.pdf (8.16M)
Total de palabras: 21807
Total de caracteres: 118414



Dr. José Modesto Carrillo Sarango
Docente - Asesor
Código ORCID: 0000-0003-0841-3064

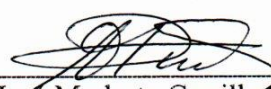
Estimación de la Perdida suelo aplicando el modelo Rusle y SIG en la Cuenca Rio Huancabamba. 2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%	19%	5%	5%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE


FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	2%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
3	repositorio.untumbes.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	www.yumpu.com Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	dspace.esPOCH.edu.ec Fuente de Internet	1%
9	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	<1%
10	Submitted to uncedu Trabajo del estudiante	<1%
11	repositorio.ucss.edu.pe Fuente de Internet	<1%
12	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	<1%
13	www.clubensayos.com Fuente de Internet	<1%
14	Isabel Reyes-Avilés, Erasto Domingo Sotelo-Ruiz, Salvador Adame-Martínez. "Identification of Hotspot Areas Due to Water	<1%


 Dr. José Modesto Carrillo Sarango
 Docente - Asesor
 Código ORCID: 0000-0003-0841-3064

Erosion in the Tejalpa River Basin, Central Mexico", REVISTA TERRA LATINOAMERICANA, 2024
Publicación

15	cicese.repositorioinstitucional.mx Fuente de Internet	<1 %
16	extapps.mz-ir.com Fuente de Internet	<1 %
17	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.upao.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
20	dspace.utpl.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
21	repository.usta.edu.co Fuente de Internet	<1 %
22	dspace.unitru.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
23	www.scilit.net Fuente de Internet	<1 %
24	1library.co Fuente de Internet	<1 %
25	ri.uaemex.mx Fuente de Internet	<1 %
26	riunet.upv.es Fuente de Internet	<1 %
27	aulavirtual.agro.unlp.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
28	cybertesis.unmsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
29	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
30	dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet	<1 %


Dr. José Modesto Carrillo Sarango
Docente - Asesor
Código ORCID: 0000-0003-0841-3064

31	repositorio.ucp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
32	Submitted to Universidad Técnica Nacional de Costa Rica Trabajo del estudiante	<1 %
33	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
34	Submitted to Universidad Nacional Hermilio Valdizan Trabajo del estudiante	<1 %
35	www.conacyt.gov.py Fuente de Internet	<1 %
36	rephip.unr.edu.ar Fuente de Internet	<1 %
37	repositorio.unal.edu.co Fuente de Internet	<1 %
38	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	<1 %
39	cybertesis.uni.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
40	repositorio.uo.edu.cu Fuente de Internet	<1 %
41	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
42	www.ptolomeo.unam.mx:8080 Fuente de Internet	<1 %
43	Submitted to Universidad Nacional Agraria La Molina Trabajo del estudiante	<1 %
44	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
45	tesis.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
46	Jesús Mejía-Marcacuzco, Edwin Pino-Vargas, Edilberto Guevara-Pérez, Víctor Olivos-Alvites, Milagros Condori-Ventura. "Predicción	<1 %

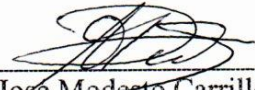


Dr. José Modesto Carrillo Sarango
Docente - Asesor
Código ORCID: 0000-0003-0841-3064

espacial de la erosión del suelo en zonas áridas mediante teledetección. Estudio de caso: Quebrada del Diablo, Tacna, Perú", Revista Ingeniería UC, 2021
Publicación

47	repositorio.unapikitos.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
48	repositorio.puce.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
49	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1 %
50	Submitted to Universidad Nacional de Tumbes Trabajo del estudiante	<1 %
51	Submitted to Universidad Viña Mar Trabajo del estudiante	<1 %
52	dgsa.uaeh.edu.mx:8080 Fuente de Internet	<1 %
53	orcid.org Fuente de Internet	<1 %
54	zagan.unizar.es Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas Activo Excluir coincidencias < 15 words
Excluir bibliografía Activo


Dr. José Modesto Carrillo Sarango
Docente - Asesor
Código ORCID: 0000-0003-0841-3064

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	5
AGRADECIMIENTO.....	6
ÍNDICE DE TABLAS	16
ÍNDICE DE FIGURAS	19
ÍNDICE DE ANEXOS	21
RESUMEN	23
ABSTRACT	24
I.INTRODUCCIÓN	25
II. ESTADO DE ARTE	27
2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	27
2.2 JUSTIFICACIÓN.....	29
2.3.1 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA.....	29
2.3.2 JUSTIFICACIÓN SOCIAL.....	29
2.3.3 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA.....	30
2.3 OBJETIVOS.....	31
2.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	31
2.3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	31
2.4 FORMULACIÓN DE HIPOTESIS.....	31
2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL.....	31
2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA.....	31
2.5 VARIABLES.....	32
2.5.1. VARIABLE GENERAL.....	32
2.5.2. VARIABLE ESPECÍFICA.....	32
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	33
3.1. MARCO TEORICO.....	33

3.1.1.	EROSIÓN DEL SUELO.....	33
3.1.2.	TIPOS DE EROSIÓN DEL SUELO	33
3.1.2.3.	EROSIÓN GRAVITATORIA.	33
3.1.2.4.	EROSIÓN ANTROPOGÉNICA.	34
3.1.2.5.	EROSIÓN QUÍMICA.	34
3.1.3.	FACTORES DE LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO	34
3.1.4.	FACTORES CLIMÁTICOS.....	34
3.1.5.	VEGETACIÓN.....	35
3.1.6.	EFFECTO TOPOGRÁFICO.	36
3.1.7.	CARACTERÍSTICAS DEL SUELO.....	36
3.1.8.	FACTORES ANTRÓPICOS.	37
3.1.9.	CLASES DE LA EROSIÓN HÍDRICA.....	37
3.1.10.	MODELOS DE ESTIMACIÓN EN LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO 40	
3.1.11.	ECUACIÓN UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO USLE	43
3.1.12.	ECUACIÓN UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO RUSLE	44
3.1.13.	FACTORES QUE OCASIONAN LA EROSIÓN HÍDRICA.	45
3.1.14.	NIVEL DE SEVERIDAD DE LA EROSIÓN DEL SUELO.	56
3.1.15.	FASES EN EL DESARROLLO DE UN MODELO	56
3.2.	ANTECEDENTES.....	58
3.2.1.	A NIVEL LOCAL.....	58
3.2.2.	A NIVEL NACIONAL.	59
3.2.3.	A NIVEL INTERNACIONAL.....	60
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	63
4.1.	UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.	63
4.1.1.	UBICACIÓN GEOPOLITICA.	64

4.1.2.	UBICACIÓN GEODESICA.....	64
4.2.	MATERIALES, EQUIPO Y OTROS.....	64
4.2.1.	EQUIPO.....	65
4.2.2.	SOFTWARE.....	65
4.3.	PROCESO METODOLÓGICO.....	66
4.4.	OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN A UTILIZAR.....	69
4.5.	PROCESAMIENTO DE FACTORES.....	71
4.5.1.	FACTOR DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA – “R”.....	71
4.5.2.	FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO – “K”.....	72
4.5.3.	FACTOR TOPOGRAFICO – “LS”.....	74
4.5.4.	FACTOR DE COBERTURA VEGETAL – “C”.....	76
4.5.5.	FACTOR DE PRACTICAS DE CONSERVACIÓN – “P”.....	80
4.6.	ESTIMACIÓN DE LA PERDIDA DE SUELO CON EL MODELO RUSLE	81
V.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	83
5.1.	RESULTADOS DE LOS FACTORES DE LA EROSIÓN HIDRICA.....	83
5.1.1.	FACTOR EROSIVIDAD – “R”.....	83
5.1.2.	FACTOR ERODABILIDAD – “K”.....	95
5.1.3.	FACTOR TOPOGRAFICO – “LS”.....	97
5.1.4.	FACTOR DE COBERTURA VEGETAL – “C”.....	100
5.1.5.	FACTOR DE CONSERVACIÓN DE PRACTICAS – “P”.....	108
5.2.	EROSIÓN ACTUAL.....	109
5.3.	EROSIÓN POTENCIAL.....	112
5.4.	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	115
VL.	CONCLUSIONES.....	119
VI.	RECOMENDACIONES.....	121
VII.	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS.....	122

VIII. ANEXOS..... 127

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N° 1:	Factor Climático.	35
TABLA N° 2:	Factor de Vegetación.	35
TABLA N° 3:	Efecto Topográfico.	36
TABLA N° 4:	Características del Suelo.	36
TABLA N° 5:	Factores Antrópicos.	37
TABLA N° 6:	Clasificación de rangos típicos anuales.	48
TABLA N° 7:	Factor K - Condicionantes del suelo.	49
TABLA N° 8:	Clasificación de grados de erodabilidad.	51
TABLA N° 9:	Clasificación que oscila en función a la pendiente.	52
TABLA N° 10:	Valores de cobertura vegetal "C".	54
TABLA N° 11:	Valores de prácticas de conservación (P).	55
TABLA N° 12:	Valores del nivel de severidad de la erosión del suelo.	56
TABLA N° 13:	Ubicación Geopolítica	64
TABLA N° 14:	Ubicación Geodésica del área de estudio	64
TABLA N° 15:	Temporada de precipitaciones de la Cuenca Rio Huancabamba ..	77
TABLA N° 16:	Descripción de imágenes Satelitales descargas desde 2000 - 2020 77	
TABLA N° 17:	Características de satélite Landsat 07.	79
TABLA N° 18:	Rangos del Índice de vegetación de diferencia Normalizada (NDVI). 79	
TABLA N° 19:	Índice de Tipos de suelo para factor "C"	80
TABLA N° 20:	Factor P - En relación con la pendiente del terreno.	81
TABLA N° 21:	Factor R - Año 2000.	83
TABLA N° 22:	Factor R - Año 2005.	85
TABLA N° 23:	Factor R - Año 2010.	87

TABLA N° 24:	Factor R - Año 2015.....	89
TABLA N° 25:	Factor R - Año 2020.....	91
TABLA N° 26:	Tabla Anual del Factor “R” – Erosividad.	94
TABLA N° 27:	Valores Texturales del suelo %.....	95
TABLA N° 28:	Rango de Erodabilidad.....	95
TABLA N° 29:	Resultado Textural en relación al área de estudio.	96
TABLA N° 30:	Categorización del Factor LS.....	97
TABLA N° 31:	Nivel de grupo de Pendientes en relación al Factor Topográfico LS 98	
TABLA N° 32:	Información de imágenes satélites Landsat 7 y 8.	100
TABLA N° 33:	Resultados del cálculo NDVI desde 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020. 100	
TABLA N° 34:	NDVI Anual 2000 - 2005.....	101
TABLA N° 35:	Clasificación de rango de NDVI – Año 2000.....	101
TABLA N° 36:	Clasificación de rango de NDVI – Año 2005.....	102
TABLA N° 37:	Clasificación de rango de NDVI – Año 2010.....	102
TABLA N° 38:	Clasificación de rango de NDVI – Año 2015.....	103
TABLA N° 39:	Clasificación de rango de NDVI – Año 2020.....	104
TABLA N° 40:	Clasificación anual en relación al Factor C.	104
TABLA N° 41:	Factor C – 2000.....	105
TABLA N° 42:	Factor “C” – 2005.....	105
TABLA N° 43:	Factor “C” – 2010.....	106
TABLA N° 44:	Factor “C” – 2015.....	107
TABLA N° 45:	Factor “C” – 2020.....	107
TABLA N° 46:	Tabla de Clase de erosión en relación a la Tasa (Tn/Ha/año)	109
TABLA N° 47:	Erosión Hídrica 2000 – 2020.....	110
TABLA N° 48:	Erosión Actual – Año 2000.....	110

TABLA N° 49:	Erosión Actual – Año 2005.....	110
TABLA N° 50:	Erosión Actual – Año 2010.....	110
TABLA N° 51:	Erosión Actual – Año 2015.....	110
TABLA N° 52:	Erosión Actual – Año 2020.....	111
TABLA N° 53:	Erosión Potencial – Año 2000.....	113
TABLA N° 54:	Erosión Potencial – Año 2005.....	113
TABLA N° 55:	Erosión Potencial – Año 2010.....	113
TABLA N° 56:	Erosión Potencial – Año 2015.....	114
TABLA N° 57:	Erosión Potencial – Año 2020.....	114

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Erosión Laminar	37
Figura 2:	Erosión en cárcavas	38
Figura 3:	Erosión por surcos.....	39
Figura 4:	Erosión por movimiento de masa	40
Figura 5:	Erosión de cursos permanentes	40
Figura 6:	Mapa N°01: Mapa de Ubicación de la Cuenca Rio Huancabamba.	63
Figura 7:	Flujograma de la metodología RUSLE – EROSIÓN ACTUAL.....	67
Figura 8:	Flujograma de la metodología RUSLE – EROSIÓN POTENCIAL.....	68
Figura 9:	Plataforma Soildgrdis.....	69
Figura 10:	Plataforma Landviewer.....	70
Figura 11:	Código de precipitación en Software Rstudio - Script.	71
Figura 12:	Mosaico Topográfico de la Cuenca Rio Huancabamba	75
Figura 13:	Propiedades de ráster combinado.....	75
Figura 14:	Visualización 3D del área de estudio	76
Figura 15:	Gráfico de barras – Factor “R” – Datos mensuales del 2000	84
Figura 16:	Factor “R” – Erosividad para el año 2000.....	84
Figura 17:	Clase de Erosividad para el año 2000.....	85
Figura 18:	Gráfico de barras – Factor “R” – Datos mensuales del 2005	86
Figura 19:	Factor “R” – Erosividad para el Año 2005	86
	86
Figura 20:	Clase de Erosividad para el año 2005.....	87
Figura 21:	Gráfico de barras – Factor “R” – Datos mensuales del 2010	88
Figura 22:	Factor “R” – Erosividad para el año 2010.....	88
Figura 23:	Clase de Erosividad para el año 2010.....	88
Figura 24:	Gráfico de barras – Factor “R” – Datos mensuales del 2015	90

Figura 25:	Factor “R” – Erosividad para el año 2015.....	90
Figura 26:	Clase de Erosividad para el año 2015.....	91
Figura 27:	Factor “R” – Erosividad para el año 2020.....	92
Figura 28:	Clase de Erosividad para el año 2020.....	93
Figura 29:	Grafico de barras anual del Factor “R” - Erosividad.	94
Figura 30:	Factor “K” – Rangos en relación al área del Cuenca Rio Huancabamba. 96	
Figura 31:	Factor topográfico LS – Imagen Ráster.....	97
Figura 32:	Factor Topográfico en función de la Pendiente	98
Figura 33:	Gráfico de barras - NDVI (Año 2000).	101
Figura 34:	Gráfico de barras - NDVI (Año 2005).	102
Figura 35:	Gráfico de barras - NDVI (Año 2010).	103
Figura 36:	Gráfico de barras - NDVI (Año 2015).	103
Figura 37:	Gráfico de barras - NDVI (Año 2020).	104
Figura 38:	Gráfico de barras – Factor C – Año 2000.....	105
Figura 39:	Gráfico de barras – Factor C – Año 2005.....	106
Figura 40:	Gráfico de barras – Factor C – Año 2010.....	106
Figura 41:	Gráfico de barras – Factor C – Año 2015.....	107
Figura 42:	Gráfico de barras – Factor C – Año 2020.....	108
Figura 43:	Gráfico de barras en relación al nivel de erosión Actual (2000 – 2020) 111	
Figura 44:	Gráfico de barras en relación al nivel de Erosión Potencial (2000 – 2020). 114	

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1:	Precipitación Mensual 2000.....	127
Anexo 2:	Precipitación Mensual 2005.....	127
Anexo 3:	Precipitación Mensual 2010.....	128
Anexo 4:	Precipitación Mensual 2015.....	128
Anexo 5:	Precipitación Mensual 2020.....	129
Anexo 6:	Información de precipitación media anual.	129
Anexo 7:	Factor Erosividad para el año 2000	130
Anexo 8:	Factor Erosividad para el año 2005	131
Anexo 9:	Factor Erosividad para el año 2010	132
Anexo 10:	Factor Erosividad para el año 2015.....	133
Anexo 11:	Factor Erosividad para el año 2020.....	134
Anexo 12:	Factor Erodabilidad “k” – Cuenca Rio Huancabamba 2000 -2020 ..	135
Anexo 13:	Mapa del contenido de Arena en relación al Factor “K”	136
Anexo 14:	Mapa del Contenido de suelo Arcilla y limo en relación al Factor “K” 137	
Anexo 15:	Mapa del Contenido de Suelo Carbono Orgánico en relación al Factor “k” 138	
Anexo 16:	Mapa del Contenido de Suelo Arena Extremadamente Alta en relación al Factor “k”. 139	
Anexo 17:	Factor Topográfico “LS” - Cuenca Rio Huancabamba 2000 – 2020	140
Anexo 18:	Factor de Pendiente S en relación al Factor “LS”	141
Anexo 19:	Factor de Cobertura Vegetal “C” para el año 2000	142
Anexo 20:	Mapa de NDVI en relación a la cobertura vegetal del año 2000	143
Anexo 21:	Factor de Cobertura Vegetal “C” para el año 2005	144
Anexo 22:	Mapa de NDVI en relación a la cobertura vegetal del año 2005	145

Anexo 23:	Factor de Cobertura Vegetal “C” para el año 2010	146
Anexo 24:	Mapa de NDVI en relación a la cobertura vegetal del año 2010	147
Anexo 25:	Factor de Cobertura Vegetal “C” para el año 2015	148
Anexo 26:	Mapa de NDVI en relación a la cobertura vegetal del año 2015	149
Anexo 27:	Factor de Cobertura Vegetal “C” para el año 2020.	150
Anexo 28:	Mapa de NDVI en relación a la cobertura vegetal del año 2020	151
Anexo 29:	Factor de Practicas de Conversación – cuenca Rio Huancabamba	152
Anexo 30:	Mapa de erosión Hídrica Suelo -cuenca Rio Huancabamba – 2000. 153	
Anexo 31:	Mapa de erosión Hídrica Suelo -cuenca Rio Huancabamba – 2005. 154	
Anexo 32:	Mapa de erosión Hídrica Suelo -cuenca Rio Huancabamba – 2010. 155	
Anexo 33:	Mapa de erosión Hídrica Suelo -cuenca Rio Huancabamba – 2015. 156	
Anexo 34:	Mapa de erosión Hídrica Suelo -cuenca Rio Huancabamba – 2020. 157	
Anexo 35:	Mapa de Erosión Potencial -cuenca Rio Huancabamba – 2000.	158
Anexo 36:	Mapa de Erosión Potencial -cuenca Rio Huancabamba – 2005.	159
Anexo 37:	Mapa de Erosión Potencial -cuenca Rio Huancabamba – 2010.	160
Anexo 38:	Mapa de Erosión Potencial -cuenca Rio Huancabamba – 2015.	161
Anexo 39:	Mapa de Erosión Potencial -cuenca Rio Huancabamba – 2020	162
Anexo 40:	MATRIZ DE CONSISTENCIA.	163

RESUMEN

Esta investigación abarca como área estudio a la cuenca de Rio Huancabamba con una superficie de 3657.54 km² donde enmarca en el área de manejo de ecosistema naturales y desarrollo sostenible con la disciplina de control de erosionabilidad y percepción remota. El objetivo de la investigación fue estimar la pérdida del suelo hídrica en la cuenca Rio Huancabamba, empleando la metodología RUSLE con instrumentos de teledetección que influye sus cinco variables a través del uso de herramientas de sistema de información Geográfica, donde se precisa que para el factor "R" se cuantifico a partir de precipitaciones acumuladas mensuales, Factor de erodabilidad "k" se estimó a partir de las clases texturales y carbono orgánico proporcionado de la plataforma SoilGrids, el factor topográfico "LS" a partir de la plataforma de Landwiver, El factor de cobertura vegetal "C" de imágenes satelitales Landsat 07 y Landsat 08. De este modo, al interactuar estas variables empleando la metodología ya antes mencionada, obteniendo resultados en la Erosión Actual donde el año que más predomina pérdida en la degradación del suelo es el 2000 con un valor porcentual máximo de 75.44% del área de estudio en una categoría (0 – 2) Tn/ha/año y en menor porcentaje 1.19 % del área de estudio en una clasificación de >10 Tn/Ha/año. En ese sentido en la estimación de erosión Potencial sin consideración la cobertura vegetal ni las prácticas de conservación se estima una degradación del suelo en el año 2000 con un valor porcentual máximo de 70.41% del área de estudio en una categoría (10 – 50) Tn/ha/año catalogándolo en nivel "Severo" y en menor porcentaje 1.36 % del área de estudio en una clasificación de > 300.70 Tn/Ha/año. Para mejor apreciación en el Mapa de erosión Potencial MP- EP-29 y MP-EA-24

Palabras Clave: RUSLE, Sistema de información Geográfica, estimación de degradación del suelo, erosión hídrica del suelo

ABSTRACT

This research covers as a study area the Huancabamba River basin with an area of 3657.54 km² where it is framed in the area of natural ecosystem management and sustainable development with the discipline of erosion control and remote sensing. The objective of the research was to estimate the loss of hydric soil in the Huancabamba River basin, using the RUSLE methodology with remote sensing instruments that influences its five variables through the use of Geographic Information System tools, where it is specified that for the factor “R” it was quantified based on monthly accumulated precipitation, The erodibility factor “k” was estimated from the textural classes and organic carbon provided by the SoilGrids platform, the topographic factor “LS” from the Landwiver platform, and the vegetation cover factor “C” from Landsat 07 and Landsat 08 satellite images.

Thus, when interacting these variables using the aforementioned methodology, obtaining results in Current Erosion where the most predominant year of loss in soil degradation is 2000 with a maximum percentage value of 75.44% of the study area in a category (0 - 2) Tn/ha/year and in a lower percentage 1.19% of the study area in a classification of >10 Tn/Ha/year. In this sense, in the estimation of potential erosion without considering vegetation cover or conservation practices, soil degradation is estimated in the year 2000 with a maximum percentage value of 70.41% of the study area in a category (10 - 50) Tn/ha/year, classifying it as “Severe”, and in a lower percentage 1.36% of the study area in a classification of > 300.70 Tn/Ha/year. For a better appreciation in the Potential Erosion Map MP- EP-29 and MP-EA-24.

Key words: RUSLE, Geographic Information System, soil degradation estimation, soil water erosion.

I.INTRODUCCIÓN

Los embalses o represas hidráulicas son infraestructura destinada a transformar el régimen de los caudales superficiales de una cuenca hidrográfica establecidos en la sección transversal del cauce, este tipo de construcciones actualmente se consideran de gran importancia en la gestión y regulación de los recursos hídricos para satisfacer las demandas agrícolas y entre los otros usos del agua.

Actualmente existen diferentes tipos y diseños de represas en el mundo que han logrado tener un gran impacto socioeconómico y un desarrollo sostenible deseable en los diferentes ámbitos de cada país o estado. Así mismo, existen presas hidráulicas de gran envergadura y de capacidad de almacenamiento en el mundo donde son obras destinadas para abastecer la demanda de energía, el control de los ríos aguas abajo y evitar las inundaciones a gran escala. Por lo consiguiente, se identifica una problemática de mucha importancia y son concurrentes en todas aquellas presas en el mundo, que es la deposición de sedimentos transportado desde las zonas más altas de la cuenca donde se ocasiona la erosión del suelo debido a periodos de máximas avenidas, al impacto ambiental y falta de reforestación; y otros factores que influyen en el cambio del suelo.

Actualmente el proyecto Hidro energético y de Irrigación Olmos su propósito es derivar las aguas del Rio Huancabamba hacia la cuenca Atlántica hacia la vertiente el Pacífico. El diseño inicial del embalse Limón fue planteado en el estudio definitivo efectuado en el año 1982 consiste en una presa hidráulica de 85 m de altura y obras conexas en el cauce del rio Huancabamba con el propósito de almacenar el recurso hídrico y trasvasarlo por el túnel trasandino para su aprovechamiento en el Valle de Olmos para el desarrollo agroeconómico y sostenible en la región Lambayeque. Proyecto Especial Olmos Tinajones (1994).

Esta investigación se enfocará en el estudio de los ríos y corrientes de aguas donde tendrá de mucha importancia el estudio del flujo de la red hídrica, lo que ocasiona erosión y la sedimentación en las distintas direcciones del recurso hídrico de una cuenca hidrográfica. La producción de sedimentos se da a través de la erosión hídrica que son materiales transportados por el flujo de agua arriba hacia aguas abajo, donde son depositados en las áreas de bajos desniveles debido a la disminución de

capacidad de transporte por las corrientes en relación a las laderas del terreno. De este modo, la deposición de partículas y minerales es un elemento clave para hidrología, ya que, es el proceso mediante el cual se efectúa la acción del removimiento de las partículas sólidas suspendidas en el agua depositadas transformándose con el tiempo en la acumulación en el lecho o márgenes de los ríos, afectando en la calidad de agua, en la morfología del terreno.

II. ESTADO DE ARTE

2.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La erosión hídrica es un desafío de gran relevancia para el desarrollo del suelo provocando sustancialmente al medio ambiente y generando problemas socioeconómicos afectando a la producción de cultivos, dañando las obras públicas y deteriorar la calidad de agua

La Cuenca Rio Huancabamba ha mostrado una acelerada tasa de erosión hídrica en los últimos años, lo que ha llevado a una acumulación significativa y consolidada de sedimentos en el cauce del río Huancabamba aguas abajo cerca a la represa Limón. Este fenómeno ha sido evidenciado por estudios recientes que indican un incremento en las tasas de sedimentación hasta la actualidad. La sedimentación excesiva no solo reduce la capacidad del río para transportar agua de manera eficiente, sino que también afecta la calidad del agua disponible para las comunidades locales.

Las consecuencias de la sedimentación en el río Huancabamba son múltiples y de gran alcance. Las comunidades que dependen del río para el riego, el consumo de agua y la pesca están viendo una disminución en la calidad del agua, lo que repercute negativamente en la salud pública y la seguridad alimentaria. Además, la reducción en la capacidad de los embalses debido a la sedimentación incrementa el riesgo de inundaciones, lo cual pone en peligro tanto la infraestructura como la biodiversidad de la región. La pérdida de tierra fértil también afecta la productividad agrícola, exacerbando los problemas socioeconómicos de la zona.

Las causas relevantes de la erosión hídrica en la cuenca Rio Huancabamba incluyen la deforestación extensiva, la gestión inadecuada en el suelo y las prácticas agrícolas no sostenibles. La eliminación de la cobertura vegetal reduce la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo, facilitando el arrastre excesivo de partículas del suelo hacia el río durante las lluvias. Adicionalmente, la sobreexplotación de tierras y la falta de técnicas adecuadas de manejo del suelo contribuyen significativamente a la intensificación en deteriorar la capa superficial.

La Fórmula de Pérdida de suelo modificada Rusle, cuantifica y determina la severidad de la erosión hídrica en el suelo, dentro de ello se interactuará a través de factores

que ocasionan excesivamente la pérdida del suelo en unidades (Tn/Ha/Año). El procesamiento que tendrá que tener será mediante Sistema de Información Geográfica que son gran de ayuda por el tamaño de recopilación y procesamiento de datos. Por ello, surge la siguiente pregunta: ¿Cuál sería el grado de severidad en la Cuenca Rio Huancabamba empleando el método Rusle y SIG?

2.2 JUSTIFICACIÓN.

2.3.1 JUSTIFICACIÓN TÉCNICA.

En el presente estudio de esta investigación de erosión hídrica del suelo se pretenderá conocer la susceptibilidad del suelo y factores climáticas en base las condiciones geológicas que presenta esta área ya antes mencionada y el nivel de severidad. Es importante conocer el nivel de erosión que presenta por que nos permitirá tener una idea, tomando decisiones a la realidad de la situación y poder realizar una implementación de medidas de control para conservar los recursos hídricos y la productividad del suelo.

2.3.2 JUSTIFICACIÓN SOCIAL.

La erosión impacta las condiciones de vida de la población local al reducir la disponibilidad de suelo fértil y dañar infraestructuras vitales, como caminos y sistemas de riego. Además, compromete la salud pública al afectar la calidad del agua. Por otro lado, fomenta la participación comunitaria en la gestión sostenible de su entorno. Este proceso natural consiste en la degradación y transporte de las partículas por el flujo del agua, la pérdida del suelo puede ser causado por diferentes factores como pendiente, aumento de precipitaciones en un periodo húmedo, viento, escurrimiento superficial, etc. El exceso de la erosión hídrica del suelo conlleva a una disminución de la producción agrícola afectando al crecimiento del desarrollo de la región y también desarrollando diferentes problemáticas afectando a la naturaleza.

La erosión hídrica es una problemática perjudicial para el medio ambiental que puede tener consecuencias sustanciales para el suelo, el agua y infraestructura hidráulica. Lo cual, se ha evidenciado con el tiempo catástrofes, fenómenos a gran escala perjudicando a la sociedad urbana o también proyectos del manejo de cuenca y calidad de agua a causa del uso inadecuado del ser humano. Es preciso considerar que cada vez la brecha para el acceso del agua es más limitada y representa un problema para abastecer este recurso para eso se debe implementar y ejecutar estrategias que mitiguen estos hechos para prevenir y controlar la erosión hídrica para proteger los recursos naturales y garantizar la sostenibilidad ambiental.

El proyecto Olmos tiene un alcance en proporcionar el trasvase de agua del río Huancabamba para la producción agrícola cerca al distrito de Olmos garantizando el desarrollo en la región de Lambayeque, por ende, una de las principales estructuras es la presa hidráulica denominada “Presa Limón” con una altura de 43 m y una capacidad de volumen al nivel de la cota 1120 msnm de 37.6 Hm³ para el inicio de la operación, con un volumen útil de 27.41 Hm³ y volumen Muerto de 10.19 Hm³ (Proyecto Especial Olmos Tinajones, 1994). Por otra parte, han surgido diferentes problemáticas que han conllevado el riesgo de la vida útil de esta infraestructura, y una de ellas es la sedimentación que es la deposición de los sólidos en suspensión debido a la gravedad del Río Huancabamba.

Debido a lo antes mencionado se realizaron estudios para el control de sedimentación del embalse la sedimentación en la actualidad la última batimetría que se realizó se diagnosticó que la capacidad del embalse Limón es de 11.674 Hm³ y con un volumen de sedimentación de 25.206 Hm³ (2023) . No obstante, esta problemática es surgida por acumulación de los sedimentos aguas arriba de la presa en el cauce de la Río Huancabamba, donde la sub cuenca quebrada Hualapampa es una de las aglomera más sedimentos por causa de la pérdida del suelo.

2.3.3 JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA.

De este modo, esta investigación científica pretende cuantificar la pérdida del suelo de la Cuenca Huancabamba y que sirva como un estudio preliminar para siguientes fases de este gran proyecto que afronta esta problemática en sus estructuras hidráulicas. Así mismo, esta investigación cuantificara el desgaste hídrico de esta cuenca hidrográfica que es un estudio de gran importancia, y de consideración para las futuras gestiones hidrológicas.

2.3 OBJETIVOS.

2.3.1 OBJETIVO GENERAL.

- A) Estimar la Perdida de suelo aplicando el modelo Rusle y SIG en la Cuenca Rio Huancabamba. 2024

2.3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.

- B) Determinar los factores de erosión hídrica mediante el modelo Rusle empelando sistema de información Geográfica, ArcGIS 10.4.1
- C) Calcular cuantitativamente la erosión hídrica en la cuenca Rio Huancabamba mediante la metodología RUSLE.
- D) Determinar el índice de la degradación del suelo en la Cuenca Rio Huancabamba.

2.4 FORMULACIÓN DE HIPOTESIS.

2.4.1. HIPÓTESIS GENERAL

- La Cuenca Rio Huancabamba tiene un índice alto de erosión hídrica lo que ha generado un gran porcentaje de sedimentos consolidados hacia agua abajo del embalse Limón.

2.4.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICA

La Cuenca Rio Huancabamba posee un gran porcentaje en cobertura vegetal, la geomorfología muestra un grado medio en la presencia de piedemonte y el uso de suelo indica un grado de proporción inversa al desarrollo de la sub cuenca.

El aumento de tasa de pérdida del suelo por erosión hídrica es debido a la capacidad de transporte del escurrimiento bajo una intensa lluvia a través de pendientes pronunciadas.

En el procesamiento de la Ecuación de Predicción de perdida de suelo Rusle, se obtiene resultados en donde se determina un índice de grado tolerancia critico en la sub cuenca quebrada Hualapampa, por lo cual, demuestra ser una de las quebradas que más aporta en sedimento al Rio Huancabamba.

2.5 VARIABLES

2.5.1. VARIABLE GENERAL

Erosión Hídrica en la Cuenca Huancabamba.

2.5.2. VARIABLE ESPECÍFICA

Factores que interactúan como; Climáticos, cobertura vegetal, Topográfico, Practicas de conservación del suelo, erodabilidad)

III. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. MARCO TEORICO.

3.1.1. EROSIÓN DEL SUELO

Agama (2022), considera que es un problema ambiental grave que impacta a todas las regiones del mundo, por ende, en países en desarrollo como el nuestro representa una amenaza creciente para la seguridad hídrica y alimentaria manteniéndose en aumento a un ritmo alarmante y exponencialmente. Asimismo, la erosión es el desprendimiento y arrastre de partículas finas del suelo que es ocasionado por el impacto de la precipitación, ráfagas intensas, uso y la falta de conocimiento en las prácticas que realiza el ser humano en su territorio y es allí donde se diferencia el impacto exponencial del uso inadecuado de las áreas agrícolas, lo cual se presenta en la disminución en la altura del perfil edáfico y su fertilidad.

3.1.2. TIPOS DE EROSIÓN DEL SUELO

3.1.2.1. EROSIÓN HÍDRICA

Burga (2023), Expresa que el desgaste de los materiales en la superficie del suelo que es ejercido mediante el agua. Asimismo, este proceso constituye en la degradación, transportación, y deposición de partículas que compone la capa del suelo.

3.1.2.2. EROSIÓN EÓLICA

Burga (2023), Señala que el proceso geológico que es causado por el viento desgastando y transportando las partículas del suelo, además actúa como ente erosivo de igual manera como el agua, modificando el relieve del terreno.

3.1.2.3. EROSIÓN GRAVITATORIA.

Nasare de letosa (2022), indica que la erosión gravitatoria se produce por acción de la gravedad, es decir, cuando las rocas se desprenden y se depositan en las zonas más bajas de las laderas.

3.1.2.4. EROSIÓN ANTROPOGÉNICA.

Alarcón y Sánchez (2023), señala que es ocasionada por la acción del ser humano al realizar actividades de manejo de uso de suelo que afectan directa e indirectamente a la capa superficial del terreno.

3.1.2.5. EROSIÓN QUÍMICA.

Alarcón y Sánchez (2023), expresa que la alteración química de la estructura del suelo y cambios de la estructura de la roca que se da en el oxígeno, agua o dióxido de carbono, también es conocida como la meteorización química.

3.1.3. FACTORES DE LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO

Escobar (2019), opina que el acelerado proceso de la erosión es ocasionado por la acción humana en el manejo del recurso hídrico y uso del suelo a consecuencia de ello, a lo largo del tiempo se ha venido perdiendo la capa superficial del terreno y es causada por la fuerza ejercida del agua en movimiento mediante lluvia, escorrentía o por el flujo del río. Perjudicando la agricultura, el cambio climático, y la calidad de agua para los distintos usos del recurso hídrico.

3.1.4. FACTORES CLIMÁTICOS

Se puede clasificar en dos formas directa e indirecta.

En la forma directa el agua es la fuerza que predomina para ocasionar la erosión en las diferentes zonas del suelo que actualmente se identifica (zonas áridas, subártico, seco, semiáridas, tropicales).

En las zonas con clima seco, subártico y clima de tundra las precipitaciones es muy escasa debido a que se sitúan en un área donde el clima es húmedo y frío y la erosión es prolonga a nivel estable.

Sin embargo, en las zonas áridas el transporte de depósitos de materiales es dificultoso debido a las precipitaciones. En las zonas semiáridas existe

precipitaciones de mayor intensidad donde la erosión es mayor; en las zonas tropicales existen también mayores intensidades ocasionando un nivel alto de erosión

En la forma indirecta consiste de manera efectiva donde la capa vegetal aumenta debido a precipitación con mayor intensidad.

TABLA N° 1: Factor Climático.

Parámetros	Efectos
Precipitación	La intensidad y la frecuencia son factores determinantes para indicar erosión según se presente.
Temperatura	Afecta a la estabilidad de la capa superficial por la descomposición de la materia orgánica
Viento	Este un factor ayuda a prolongar el desarrollo de la capa superficial al promover su desecación.

Fuente: (Taypanta J, Jorge R, 1993)

3.1.5. VEGETACIÓN

TABLA N° 2: Factor de Vegetación.

Parámetros	Efectos
Cobertura Vegetal	Este factor influye en beneficio al suelo debido a que ayuda disminuir la velocidad de la escorrentía tanto superficial o subterránea.
Raíces	Las raíces fijadas disminuyen la obstrucción de la capa superficial aumentando la resistencia del suelo.

Fuente: (Taypanta J, Jorge R, 1993)

3.1.6. EFECTO TOPOGRÁFICO.

TABLA N° 3: Efecto Topográfico.

Parámetros	Efectos
Pendiente	Se conoce que a mayor pendiente mayor velocidad de la escorrentía y excesivos niveles de erosión
Extensión de la inclinación	Influye drásticamente y define la intensidad de erosión, mediante este proceso podemos concretar que a mayor longitud de pendiente ocasionaría más erosión debido a la acumulación que se concentra y deteriorando la capa superficial.
Formas del Terreno	La identificación del terreno influye en la acumulación de sedimentos, por lo tanto, en zonas cóncavas tienden acumular, sin embargo, en convexas favorecen la erosión.

Fuente: (Taypanta J, Jorge R, 1993)

3.1.7. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

TABLA N° 4: Características del Suelo.

Parámetros	Efectos
Textura	Los suelos que contienen una baja cohesión suelen ser van susceptibles a una erosión acelerada como son los suelos arenosos.
Estructura	Son los suelos con una estructura granular suelen ser más resistentes ante la pérdida del terreno.
Permeabilidad	La baja permeabilidad beneficia a la escorrentía y afectan al suelo.
Materia Orgánica	La existencia de la materia orgánica ayuda ante la filtración y mejora las propiedades del suelo, disminuyendo la erosión hídrica.

Fuente: (Taypanta J, Jorge R, 1993)

3.1.8. FACTORES ANTRÓPICOS.

TABLA N° 5: Factores Antrópicos.

Parámetros	Efectos
Uso del suelo	El manejo inadecuado del suelo, tanto para la agricultura, áreas urbanizadas, y el aumento de la deforestación provocan; exponen a un nivel de erosión exponencial.
Prácticas agrícolas	La disminución de los recursos naturales por las actividades realizadas por la acción humana aumenta el grado de erosión.
Sobrepastoreo	El exceso crecimiento del ganado, desestabiliza; disminuye la cobertura vegetal y partículas de suelo.

3.1.9. CLASES DE LA EROSIÓN HÍDRICA

3.1.9.1. EROSIÓN LAMINAR

Según Taypanta (1993), es la sustracción de la capa superficial y delgada del suelo que es ocasionada por la saturación total, desplazando mediante la inclinación de la pendiente. Se manifiestan más que todo en suelos arenosos y en menor porcentaje en suelos arcillosos.

Figura 1: Erosión Laminar



Fuente: Manifestaciones de erosión laminar, (Cisneros et al., 2012)

3.1.9.2. EROSIÓN POR SALPICAMIENTO.

Según Taypanta (1993), opina que el desprendimiento de los compuestos en el suelo ocurre directamente por el impacto de la precipitación, lo cual, la cantidad de erosión se dependerá del tipo del suelo, el factor topográfico.

3.1.9.3. EROSIÓN EN CANALES Y CANADILLOS.

Taypanta (1993) sugiere, que en esta categoría es frecuente y realizado por los agricultores, ya que por actividades agrícola se forma a través de pequeñas irregularidades de escurrentía un flujo de agua hasta que concentre y adquiere un volumen y velocidad considerado hasta que va desprendiendo con facilidad, generando el lavado del suelo acelerado y perdiendo nutrientes, minerales que son fundamentales para la composición de un suelo fértil.

3.1.9.4. EROSIÓN EN CÁRCAVAS.

La velocidad de erosión en las cárcavas esta influenciada por la capacidad de generación de escurrimiento de la cuenca, el área de drenaje que alimenta la cárcava, del material del suelo y subsuelo, de la forma que toma la sección y de la pendiente del terreno (Burga, 2023)

Figura 2: Erosión en cárcavas



Fuente: Manifestaciones de erosión en cárcavas (SECYOT-UNRC)

3.1.9.5. EROSIÓN POR SURCOS

Es el desprendimiento de fragmentos finos y transporte de este mismo por el agua es debido por el escurrimiento en un flujo concentrado aumentando el caudal, aumentando la altura del agua y su velocidad en pequeños surcos, anchos y profundos.

Figura 3: Erosión por surcos



Fuente: Presencia de erosión por surcos (SECYOT-UNRC).

3.1.9.6. EROSIÓN POR MOVIMIENTO DE MASA

Cisneros et al., (2012) expresan que el movimiento de masas conlleva en el transporte de considerables volúmenes de materia en condiciones particulares del suelo. Esto acontece en suelos poco profundos sobrepuestos de materiales impermeables, como las rocas graníticas y en terrenos con pendientes pronunciadas. De este modo, las condiciones de este material tienden a fluir a lo largo del interfaz entre el suelo y la roca esto es ocasionado por un efecto mecánico que provoca una disminución de la resistencia al corte, incrementado la carga y la lubricación entre ambas capas.

Figura 4: Erosión por movimiento de masa



Fuente: Armero, Colombia (J. Marzo, geólogo del USGS)

3.1.9.7. EROSIÓN DE CURSOS PERMANENTES

Cisneros et al., (2012) opina que este tipo de erosión se evidencia bordes, fondos de ríos y arroyos, ya que, son las zonas más vulnerables dentro de la cuenca. Al estar cerca al cauce del río, soportan la presencia de la intensidad máxima de energía de corrientes durante las crecidas; apuntando a la incrementación de la susceptibilidad.

Figura 5: Erosión de cursos permanentes



Fuente: Erosión de margen de ríos.

3.1.10. MODELOS DE ESTIMACIÓN EN LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO

Los métodos de estimación de la erosión son herramientas valiosas que nos ayudan a medir o a determinar, cual intensa es la erosión en una determinada área, permitiendo clasificar el nivel de erosión presente. Además, nos brindan la información necesaria para indagar las diversas formas o técnicas que pueden favorecer a la reducción este proceso erosivo, principalmente en los

suelos agrícolas. De este modo servirá para la toma de decisiones con la información recolectada y prevalecer la sostenibilidad de la agricultura.

Es por ello, Morgan (2005) señala que cuando se requiere una predicción del desplazamiento de tierra, se debe precisar la temporalidad del estudio, ya sea, aplicable tanto para un determinado año, un día, tormenta específica o a intervalos breves dentro de un mismo evento, teniendo en cuenta si se refiere a cuenca o laderas. Precisamente se debe tener en cuenta que, para una evaluación de estimación de erosión hídrica del suelo en un área específica (cuenca), es clave tener en cuenta las perspectivas en el entorno del tiempo y del espacio para que así estos influirán en los procesos al momento de calibrar y validar de este mismo.

La modelación se aplicará como una herramienta para predecir y simular el proceso de degradación del suelo, permitiendo así calcular la erosión acelerada. Para comprender este estudio, es esencial conocer y evaluar los procesos de desprendimiento, transporte y de sedimentación (Lal, 1994). Al respecto, la gran parte de modelos predominan en la capacidad de transporte, que se define en la cantidad máxima de sedimento que el flujo transporta sin que se origine una deposición neta. Conllevando a que, al estudiar este proceso, es crucial comprender como estas etapas interactúan, ya que nos permiten a prever y gestionar mejor los impactos de la erosión ante el medio ambiente y en la producción agrícola. Por lo consiguiente, a través de la modelación, se podrá desarrollar estrategias viables y efectivas para contrarrestar la degradación del suelo y promover su conservación del área de estudio.

De igual manera, se aplican tres tipos de métodos relevantes de modelos de erosión hídrica del suelo: Empíricos; Conceptuales; y en base física. Estos tres modelos antes mencionados en líneas escritas tienen una serie similitud en la calibración y ejecución del modelo, y se determina en su estructura (Lal, 1998).

Para desarrollar los distintos procesos de estos modelos, se consideran cuatro variables primordiales: Condiciones meteorológicas, relieve, suelo y cubierta

vegetal. El impacto de estos factores va a radicar en como ellos son procesados y como modifican la superficie del terreno a través de la erosión. Es importante tener en cuenta que la limitación en esta predicción se encuentra conectada con la ambigüedad inicial del modelo, por ello, se encuentra influenciada por la variabilidad en el tiempo y espacio. Por lo tanto, se debe priorizar en utilizar modelos previamente calibrados y con altos niveles de fidelidad.

3.1.10.1. MODELO EMPIRICOS.

Desde el punto de vista de este modelo se construirá a partir de relaciones estadísticas entre procesos basados en el proceso de grandes bases de datos. También se representan como cajas negras, son aquellos estudian la relación de entradas y salidas de datos.

Para los modelos empíricos existen tres tipos de análisis: a) Caja negra, se enfoca estudiar la entrada datos y salidas datos después de haberse generado la información; b) caja gris, busca explicar con mayor detalle el trabajo del sistema; y d) caja blanca; comprende el análisis completo del funcionamiento del sistema. (Morgan, 2005)

3.1.10.2. MODELOS CONCEPTUALES

Este modelo se enfoca principalmente entre el lado físico y empírico, basándose en la ecuación de continuidad de sedimentos y las formas de vertimientos de aguas espaciales. Se puede utilizar el hidrograma unitario para estimar el rendimiento de sedimentos, y se relaciona con la creación de secuencias sintéticas a partir de datos en las propiedades existentes de datos recolectados.

3.1.10.3. MODELOS DE FASE FISICA

Los modelos basados en la fase física implican la interacción de las leyes o fórmulas matemáticas que expresan el procesamiento que interactúan en la erosión. La ventaja de estos modelos es que pueden sintetizar los componentes individuales relacionados a la pérdida de la capa superficial,

albergando complejas interacciones entre sus elementos y sus alternativas espaciales y temporales. Sin embargo, en la actualidad existen distintos modelos de fase física para estimar el grado, son pocos modelos calibrados y aptos para estimar en un territorio o región grande.

3.1.11. ECUACIÓN UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO USLE

Según Zaragoza (2021), en la actualidad existen numerosos modelos para calcular la erosión hídrica; la ecuación universal (USLE) sigue siendo uno de los modelos más aceptables y garantizados para la operación de los factores que modifican el comportamiento del suelo.

Esta ecuación fue creada a mediados del siglo XX y desarrollado por el departamento de agricultura de los Estados Unidos (USDA). Dentro de los procesos realizados en esta ecuación los resultados están relacionados en la interacción entre la inclinación del terreno y la extensión de la ladera; Musgrave (1947) incorporo el factor climático basado en la precipitación y por lo consiguiente Smith (1958) considero integral a la ecuación el factor del cultivo, lo cual es un elemento principal para el desarrollo de esta estimación.

Posteriormente, (Wischmeier & Smith, 1978) recopilaron estos resultados y lo adjuntaron en su estudio que fue presentado en 1978. Asimismo, este modelo está basado en una serie de estadísticas entre la pérdida del suelo y las determinadas variables identificadas en el proceso de erosión hídrica.

García (2011), sugiere que es un modelo diseñado para calcular la cantidad de pérdida de suelo por escurrimiento en áreas específicas bajo determinados sistemas de riego y cultivos (Wischmeier & Smith, 1978).

Oliveira et al. (2014) manifiestan que la ecuación universal modificada RUSLE implica en la multiplicación de seis factores: erosividad (R, intensidad de la precipitación); Erodabilidad (K, susceptibilidad del suelo); Longitud de la pendiente (L); Inclinación de la pendiente (S); cobertura y el uso actual del suelo (C) y P (prácticas de control de la erosión)

La expresión general del modelo RUSLE en la siguiente **formula N°01**:

$$A = R * K * L * S * C * P$$

Donde:

A = Son las pérdidas de suelo se expresan en unidades t/ha*año

R = Es el índice de erosión pluvial se expresan en unidades HJ*cm/m²*hora.

K = Es el índice de erosionabilidad del suelo se expresan en unidades (T*m*hora/ha*J*cm)

L*S = Es el factor fotográfico, donde el producto de los factos “L” es la longitud de pendiente y pendiente es “S”.

C = Factor de cultivo (Vegetación o uso del suelo).

P = Practicas de manejo de conservación de suelo agrícolas.

3.1.12. ECUACIÓN UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO RUSLE

3.1.12.1. EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO POTENCIAL.

Alarcón et al., (2023) indican que se enfoca a la vulnerabilidad o susceptibilidad que tiene una zona o territorio al erosionarse teniendo en cuenta los factores climáticos, suelo y relieve.

Se expresa en la siguiente **formula N°02**:

$$E_p = R * K * LS$$

Donde:

E_p = Pérdida del suelo anual se expresan en unidades (t/ha*año)

R = Intensidad de la lluvia

K = Erodabilidad del suelo.

LS = Longitud de la pendiente en metros y gradientes.

Para ello, a lo largo del tiempo se han propuesto a determinar diferentes metodologías para estimar cada una de estas variables influyentes; es por ello que la aplicación de las variables en el campo es difícil poder calcularla por no contar con la información necesaria.

3.1.13. FACTORES QUE OCASIONAN LA EROSIÓN HÍDRICA.

3.1.13.1. FACTOR EROSIVIDAD DE LA LLUVIA (R).

Alarcón et al., (2023) comprenden que por erosividad es la capacidad de la precipitación (lluvia) para ocasionar la erosión, esta capacidad está comprendida en las características de las precipitaciones; que son la intensidad, el volumen, energía cinética y el diámetro de la gota al impactar con la superficie de la tierra. Es por ello, que este factor está relacionado a la erodabilidad y a la susceptibilidad del suelo.

Renard y Freimund (1994), es importante señalar que el elemento de es la cantidad de erosión pluvial (EI) y su característica más importante de una tormenta en la estimación de este factor, es la intensidad máxima del evento y la cantidad de la lluvia que se sostienen en un prolongado tiempo.

En el modelo RUSLE consecuente al modelo original USLE, se calcula mediante el producto de la intensidad máxima de 30 minutos (I30) y la energía pluvial (E). No obstante, el elemento R en una determinada ubicación se puede calcular mediante el promedio anual de EI30, en un intervalo mayor a 20 años.

Ecuación N°01: Erosividad USLE – Intensidad máxima 30 min

$$R = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left[\sum_{K=1}^m (E)_K (I_{30})_K \right]_j$$

Donde:

R: Factor de erosividad se presenta en unidades (MJ mm*ha⁻¹*hr⁻¹*año⁻¹)

E: Energía cinética total de la tormenta se presenta en unidades (MJ ha⁻¹)

I30: Intensidad máxima de lluvia en 30 min se presenta en unidades (MM*hr⁻¹)

J: Es la cantidad de años utilizados para producir el promedio

K: Numero de tormentas en cada año.

m: Numero de eventos en precipitación individuales en un año dado j.

n: Data de años al usar la informacion.

En este sentido, con la información antes mencionada, (Renard & Freimund, 1994); proponen en base a la energía cinética es recomendable calcular mediante la propuesta de Brown y Foster en 1987, que únicamente depende de la energía cinética unitaria.

Ecuación N°02: Erosividad – Energía Cinética

$$E = \sum_{K=1}^m e_m * \Delta V_K$$

Em= Energía Cinética unitaria se expresan en unidades (MJ*ha⁻¹*mm)

ΔVK= Precipitación Unitaria de cada segmento de intensidad (mm).

La energía total se calcula sumando cada segmento de intensidad constante, por ello, se puede expresar en esta ecuación.

$$e_m = 0.29 * (1 - 0.72e^{(-0.05*I_m)}).$$

Donde:

I_m = Indica la Intensidad media de todos los segmentos en donde se dividen del evento que componen. (mm* h-1)

Por otra parte, otra alternativa para calcular el factor R que fue desarrollada por (Wischmeier & Smith, 1978) y modificada años siguientes por Arnold (1980) propone que implicara la precipitación anual y mensual para estimar la ecuación del factor R (MJ mm*ha-1*hr-1*año-1)

Ecuación N°03: Erosividad – Precipitación anual y mensual.

$$R = \sum_{i=1}^{12} 1.735 * 10^{1.5 \log_{10} \left(\frac{P_i}{P} \right) - 0.08188}$$

Donde.

P_i = Precipitación mensual se expresan en unidades mm.

P = Precipitación Anual se expresan en unidades mm.

TABLA N° 6: Clasificación de rangos típicos anuales.

CLASE	R (MJ/HA*MM/HR)
MUY BAJA	< 500
BAJA	500 - 1000
MEDIANA	1000 - 3000
ALTA	3000 - 6000
MUY ALTA	> 6000

Fuente: Mannaets (1999)

Así mismo, otra manera de poder estimar el factor R es con la ecuación desarrollada por Arnouldus (1980) basado en trabajos de Fournier. Esta ecuación utiliza una formula obtenida por regresión lineal en la cual se correlaciona los valores de R con las precipitaciones medias anuales.

$$R = a * \sum \left(\frac{p^2}{P} \right) + b$$

Donde:

a y b = Se consideran constantes en condiciones climáticas.

$\sum(p^2/P)$ = Índice Modificado de Fournier (MFI).

P2= Indica la precipitación mensual.

P= Indica la precipitación media anual.

3.1.13.2. FACTOR ERODABILIDAD DEL SUELO (K)

Según Ibáñez, et al., (2012) indican que esta variable expresa la vulnerabilidad del suelo a base del exceso de perdida de suelo, y que está relacionado a las características edafológicas del suelo como textura, estructura, estabilidad de agregados, profundidad y la pedregosidad superficial.

García (2011) expresa que la variabilidad temporal del factor K puede producirse en un corto periodo de años o en el caso de tormentas aisladas. En consecuencia, el factor K dado por Wishmeier (1971) constituye un error cuando se elimina de la consideración. La variabilidad que condiciona estos 3 (tres factores: textura, humedad del suelo y temperatura del suelo).

Según Young et al (1990) posee una cualidad dinámica en la que, a lo largo del año, se localizará y tomará un valor máximo K_{max} en el momento T_{max} y un valor mínimo K_{min} en el momento T_{min} , siempre que se cumplan las condiciones que se enumeran a continuación.

TABLA N° 7: Factor K - Condicionantes del suelo.

CONDICIONANTES
$K_{max}/K_{min} = 8.60 - 0.00116 * R$
$K_{max}/K_{nom} = 3 - 0.000294 * R$

Donde:

K_{max} : Es el valor obtenido por la ecuación regresión Lineal.

T_{max} : se obtiene a partir del valor R del modelo original USLE.

Además, se presentas condicionales para el factor R.

Si, $R \leq 5957$ entonces $T_{max} = 154 - 0.0258 * R$.

Si, $R > 5957$ entonces $T_{max} = 519 - 0.0258 * R$

Asimismo, teniendo en conocimiento todo este valor se puede calcular el valor medio anual de K, a través de la media ponderada considerando valores de erosividad y erosionabilidad en los diferentes periodos "I"

$$K_{av} = \sum \frac{K_i (E * I)_i}{100}$$

Donde.

K_{av} : Es el valor medio anual

Ki: valor parcial correspondientes a los eventos de "i"

Ei: Es el porcentaje del índice de erosividad anual R, correspondiente a un periodo "i".

En 1978, el Ministerio de Agricultura del Perú desarrollo un estudio de la composición y naturaleza del suelo en áreas con un nivel alto en potencial para el uso agrícola en la cuenca Mantaro, denominado como el Valle agrícola del Rio Mantaro (MRAV). Este estudio edafológico dio como resultado a distintas características de la zona climáticas y del suelo apropiadas para el uso de la agricultura, así mismo, actualmente esta zona se encuentra situada en parte media de la cuenca con altitudes que oscilan entre 3200 a 3800 m.s.n.m aproximadamente, con una precipitación anual que oscila entre 670 a 895 mm y con una topografía que se describe entre plana a ondulada con suaves gradientes. Además, este estudio tuvo una clasificación entre los suelos de la cuenca Mantaro en seis grupos y sub grupos.

A medida de esta información, se obtiene datos respecto a materia orgánica del terreno a estudiar, como la permeabilidad, la distribución del tamaño de la partícula y la estructuración de código del suelo, esta variable desarrollo ecuación por (wischmeier y Smith, citado por escobar (2019)).

$$K = \frac{[(2.1 * M^{1.14} * 10^{-4} * (12 - SOM) + 3.25 * (s - 2) + 2.5 * (p - 3))]}{100} * 0.1318$$

Por lo cual:

K: Variable erodabilidad – (T*HA*HR*MJ⁻¹*MM⁻¹*HA⁻¹)

SOM: Corresponde a los valores de la materia orgánica del suelo (%)

S: Características estructurales del suelo (formas y agregados).

P: Es la capacidad del suelo para permitir el flujo del agua en el suelo.

M: Es el factor calculado con el producto de las fracciones del tamaño de partícula del suelo entre 0.002 a 0.1 mm.

$$M = [100 - \%Arcilla] * [\%Limo + \%Arena\ muy\ fina]$$

TABLA N° 8: Clasificación de grados de erodabilidad.

Valor de K	Clasificación
0.007902	Muy poco erodable
0.007902 - 0.0171	Débilmente erodable
0.0171 - 0.0329	Mediamente erodable
0.0342 - 0.0684	Fuertemente erodable
0.0684 - 0.1027	Extremadamente erodable

3.1.13.3. FACTOR DE LONGITUD Y PENDIENTE (LS)

El factor LS emplea para la estimación de erosión del suelo el modelo Rusle modificado; Por lo cual, se define en la influencia que existe en las características topográficas sobre la pérdida de suelo en relacionado en la longitud y el grado de la pendiente.

Además, para poder calcular el factor LS en la erosión del suelo existen e cuatro diferentes métodos desarrollados según la influencia de la zona de estudio; La primera, desarrolla por (Wischmeier & Smith, 1978); la segunda por McCool et al., (1989); tercera por McCool et al., (1987) y la última por Elwell (1978).

Método Wischemeier y Smith (1987). (Ecuación N°01)

$$L * S = \left(\frac{sl}{22.13} \right) (0.065 + 0.045ss + 0.0065ss^2)$$

Sl: Longitud de la ladera en metros (máximo 100)

Ss: Pendiente de la ladera en porcentaje (máximo 20%)

N: valor que oscila en función de la pendiente.

TABLA N° 9: Clasificación que oscila en función a la pendiente.

N	Valor	Para pendientes (%)
1	0.5	> 0.5
2	0.4	3 a 5
3	0.3	1 a 3
4	0.2	< 1

Fuente: (Wischmeier & Smith, 1978)

Método desarrollado McCool et al., (1979). (Ecuación N°02)

$$L.S = \left(\frac{sl}{22.13} \right)^m (10.8 \sin \beta + 0.03) \text{ para pendientes } < 9\%$$

$$L.S = \left(\frac{sl}{22.13} \right)^m (16.8 \sin \beta - 0.5) \text{ para pendientes } \geq 9\%$$

Sl: Longitud de la ladera en metros

B: Pendiente de la ladera expresado en grados

M: varía según la pendiente

$$m = f / (1+f)$$

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

Método desarrollado McCool et al., (1987). (Ecuación N°03)

$$L.S = \left(\frac{sl}{22.13} \right)^{0.5} (0.172ss - 0.55)$$

Sl: Longitud de la ladera expresado en metros

Ss: Pendiente representado en porcentajes (%)

Método desarrollado por Elwel (1978). (Ecuación N° 04).

$$L.S = \text{sqrt}(sl) * (0.76 + 0.53ss + 0.076ss^2)/25.65$$

Donde:

Sl: Longitud de la ladera (m)

Ss: Pendiente de la ladera (%)

Según Soe et al., (2009), comento que, según los cuatro métodos antes mencionados, el que mejor resultado dio en la estimación de este factor es el segundo método a comparación de los demás, ya que es donde se obtuvo un óptimo resultado antes pendientes pronunciadas.

El factor LS se puede calcular con sistema de información geográficas SIG, es por ello que el incremento de las bases topográficas utilizando SIG a tenido un impacto en beneficio a la extracción de esta información y pues teniendo de vista el nivel económico que se pueden ahorra utilizando geo tecnologías en la particularidad de este elemento, ahorrando tiempo y recursos. Lo cual, a medida de las circunstancias que se puede presentar para ello, es recomendable emplear el uso de SIG para la obtención de las variables topográficas (Moore et al., 1991).

3.1.13.4. FACTOR DE COBERTURA VEGETAL (C).

Para evaluar los criterios de este componente es fundamental realizar la recopilación de información precisa, detalla y fidedigna de las capas temáticas, las etapas fenológicas de la vegetación y las precipitaciones erosivas anuales. Esta información permitirá asignar valores específicos a las diferentes categorías de cultivos y por ende para las distintas coberturas presentes en la zona estudiada. ((Wischmeier & Smith, 1978).

TABLA N° 10: Valores de cobertura vegetal "C".

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

Fuente: (Wischmeier & Smith, 1978).

El uso de la herramienta SIG son de mucha utilidad para la estimación de esta variable, el índice Normalizado de diferencia de vegetación (NDVI) emplea en el uso de esta herramienta enfocándose en la absorción, transmisión y reflectancia de la energía de la vegetación relacionada con su biomasa, debido a las propiedades espectro electromagnético pertenecientes a la banda roja.

3.1.13.5. FACTOR DE PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS (P).

La variable de las prácticas de conservación del suelo, muestra un resultado en como la capa superficial interactúa con el movimiento del agua, Para ello, se define en relación entre la practicas de uso de manejo del suelo y las condiciones ante las actividades previas a la siembra. Aunque si, en las medidas para la mitigación ante el excesivo nivel de erosión se ha determinado que no hubo una preparación anticipada del suelo, se obtendrá como resultado que la perdida de suelo se reduzca un 78%.

TABLA N° 11: Valores de prácticas de conservación (P).

Pendiente del terreno (%)	Cultivo en contorno surcos irrigados	Cultivo en franjas de contorno y en terraceo	
1-2	0.6	0.3	0.12
3-8	0.5	0.25	0.1
9-12	0.6	0.3	0.12
13-16	0.7	0.35	0.14
17-20	0.8	0.4	0.16
21-25	0.9	0.45	0.18

Fuente: Mitchell y Burbenzer (1984).

3.1.14. NIVEL DE SEVERIDAD DE LA EROSIÓN DEL SUELO.

TABLA N° 12: Valores del nivel de severidad de la erosión del suelo

CODIGO	CLASE	TASA DE EROSION (TN/HA)
1	Muy Leve	0 a 2
2	Leve	2 a 5
3	Moderado	5 a 10
4	Alto	10 a 50
5	Severa	50 a 100
6	Muy severa	100 a 500
7	Catastrófica	>500

Fuente: (R.C.P. Morgan, 2005).

3.1.15. FASES EN EL DESARROLLO DE UN MODELO

3.1.15.1. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Según Escobar (2019), las herramientas SIG, es una herramienta utilizada para realizar operaciones de lectura, análisis simples o complejas y generación de resultados como mapas, gráficos.

Por lo tanto, una herramienta de análisis espacial está configurado para el diseño de datos referencias a través de coordenadas espaciales y geográficas, lo cual, puede ser empleado para el desarrollo de un diseño o aplicación de un modelo. Sin embargo, en la actualidad la información a papel ha pasado al ordenador de forma análoga, pero el SIG no es una herramienta que solo abarca a la cartografía y por ende no invalida las distintas formas para procesar datos. Dicho esto, es fundamental el uso de esta herramienta de sistema de gestión espacial ya que es un instrumento completo para la información georreferenciada.

La aplicación de los sistemas de información geográfica empleado en el estudio y análisis de los métodos de erosión del suelo determinan un grado eficiencia alta, lo cual, nos permite recopilar, analizar y evaluar datos espaciales de los parámetros integrados que interactúan en el proceso natural del suelo. Hasta la actualidad existen diferentes tipos de métodos desarrollados para predecir la erosión hídrica del suelo. El método Universal de pérdida de suelo (Rusle) está en función de factores topográficos, climáticos, y uso de suelo.

Dicho esto, Rusle es un método deseado para predecir la severidad en el grado de erosión potencial de área específica debido a la afinidad con los SIG. Así mismo, las celdas en un ráster nos permiten representar con precisión las variables de dicho modelo Rusle también incluyendo las variables de pendiente (S) y longitud (L) partiendo de los modelos digitales (DEM), permitiendo estimar el riesgo de la pérdida del suelo a grandes extensiones del terreno.

3.1.15.2. MODELO RÁSTER

Es definido por el espacio que contiene una matriz en una celda de igual tamaño, que está constituido por columnas y filas por una o varias bandas, a la vez estas mismas abarcando un magnitud establecida y coordenadas de ubicación.

Los ráster son adecuados a utilizar para recopilar información que están en constante variación como, por ejemplo; fotografía aérea, imagen satelital. Por otra parte, son de mucha importancia ya que se puede utilizar para representar un mapa con imágenes, superficies tridimensionales. (Escobar Soldevilla, 2019)

3.2. ANTECEDENTES.

3.2.1. A NIVEL LOCAL

Ríos (2023) El presente estudio el objetivo es estimar la erosionabilidad de la subcuenca del río cirato con información de precipitación desde 1990 a 2014 empleando la metodología USLE, se obtuvo resultados en un valor promedio medio anual en el área de estudio $21.57 \text{ tn} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ mostrando una tasa de erosión severa.

Según Gamboa (2023) en su investigación realizada en la cuenca del río Tumbes en una superficie de $1\,663,28 \text{ Km}^2$, empleo el método RUSLE con técnicas de teledetección; incorporar cinco factores mediante el uso de herramientas SIG, obteniendo como resultado en erosión potencial de $167,18 \text{ Tn/Ha/Año}$ y una tasa de erosión actual de $5,06 \text{ Tn/Ha/Año}$ generando mapas de erosión de suelo en el rango de tiempo 2000 – 2022

Zapata (2023) realizo una investigación en la Cuenca Casitas – Bocapán con un área delimitada de 901 km^2 comprendida entre dos distritos (zorritos y casitas), su estimación arrojó un valor aproximado $1607.03 \text{ tn} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ para la erosión potencial y $675.897 \text{ tn} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ para la erosión actual, empleando enfoque cuantitativo del método de Rusle.

Bocanegra y Guzmán (2021) su tesis de investigación fue determinar la pérdida de suelo que ocasiona la pérdida de suelos agrícolas ricos en materia orgánica, transportando sedimentos y generando la colmatación de embalses. Asimismo, se empleó la metodología RUSLE con recopilación de información documentaria estadística, con un diseño de investigación no experimental, transversal y descriptivo. Por lo tanto, la pérdida actual del suelo es baja con un valor de 73.89% en el área de la cuenca, mientras tanto en la erosión potencial se considera moderada con un valor de 68.97%. Por lo que la estimación de la tasa media anual de 33.05 tn/ha/año y 143.95 tn/ha/año respectivamente.

3.2.2. A NIVEL NACIONAL.

Agama (2022) En la presente investigación se evaluó calcular la erosión real y potencial del suelo en la microcuenca de San Alberto ubicado en el distrito Oxapampa, mediante la Ecuación Universal (USLE) aplicando técnicas SIG y teledetección, partiendo de la interacción de los factores de erosividad (R), erodabilidad (k), topografía (LS) y Cobertura vegetal (C). Obteniendo un resultado de la erosión potencial entre un intervalo de $3.204^{*-2}.03204$ a $3.10979*10^3$ TM/ha/año y una erosión real entre 0.3204 a 176.3826 TM/ha/año para la microcuenca San Alberto.

Velázquez (2019) Esta tesis se enfoca en el estudio de estimación sedimentológica para la futura presa Palo redondo, en donde estudios complementarios referente al sistema hidráulico de la infraestructura Hidráulica, se diagnosticó que la cuenca del Santa es la más erosiva del país. Por lo tanto, en base a lo conocido se realizó el estudio en la sub cuenca quebrada Palo redondo y en tablachaca, lo cual esta última indica ser la más erosiva. En el desenlace de dichos procedimientos sedimentológico se empleó el modelo Kineros con información de eventos extremos de dos tormentas dando como resultado 6.6 MMC, teniendo en cuenta el volumen de 5.9 MMC que es estimado por descargas anuales; con un aporte final de 12.5 MMC. Además, se modelo en la subcuenca Tablachaca con SWAT con un registro de 36 años obteniendo una tasa de pérdidas de suelo a través de metodología MUSLE de 297.7 tn/ha/año.

Escobar (2019) el objetivo de esta investigación es plantear propuestas de mitigación para evitar la erosión hídrica en la sub cuenca Ichu – Huancavelica empleando a través del método de la ecuación universal RUSLE donde se utilizaron información del satélite Sentinel 2B para así obtener el mapa del uso del suelo donde se elaboró el nuevo mapa del factor C y así plantear alternativas de conservación del suelo. Así mismo, se dispuso cuatro escenarios para dicho modelamiento y se obtuvo resultado de la estimación erosión media anual del suelo es 22,7 a 23,7 t*ha⁻¹*año.

Moreno y Suyon (2020) La estimación de erosión hídrica de la cuenca Jequetepeque entre el periodo 1997-2017 mediante la metodología de Rusle revisada dio como resultado mediante el impacto en diferentes medidas ya debidamente estudiadas de la erosión hídrica actual obteniendo como resultado un tipo normal de (42%), ligera (12%), moderada (11%), severa (24%), muy severa (11%) y catastrófica (0.09%).

Alarcón y Sánchez (2023) En esta investigación se estimó predecir la pérdida de suelo del río Negro empleando la Ecuación universal USLE, la cual, dentro de sus parámetros establecidos de esta ecuación es preciso diagnosticar los factores que implican en la interacción con suelo. Obteniendo un resultado para erosividad en un intervalo que vario entre 4 389,40 hasta 4 487,38 MJ*mm*ha⁻¹*año⁻¹; los valores erodabilidad del suelo oscilan desde 0.014 a 0.022 t*ha⁻¹*MJ⁻¹*mm⁻¹

3.2.3. A NIVEL INTERNACIONAL

Zaragoza (2021) Este trabajo realizo una investigación del efecto multitemporal del cambio de cobertura, respecto a la erosión Hídrica en dos microcuencas de la región Acoculco, Puebla. Empleo la metodología Rusle con una recopilación de datos entre el periodo de 1986 a 2018. La microcuenca C1 representa una recuperación de 7% en la cobertura forestar por actividades realizadas en la zona, donde en la estimación de la pérdida de suelo en el año 2000 fue 11 tn/año y en el año 2018 fue de 9.8 tn/año. Es considerable, tener en cuenta que en registros de años anteriores estiman la reducción en la pérdida del suelo en el año 1986 obteniendo un valor de 7.5 tn/año y en el año 1896 un valor de 7.8 tn/año, por lo tanto, indica una recuperación total del 10% en el territorio. Por otra parte, en la microcuenca C2, la cobertura agrícola tiene un comportamiento similar al de la tasa de pérdida de suelo, donde en el año 2000 se estimó una pérdida del suelo de 8.3 tn/año y para el año 2018 un valor de 7.6 tn/año. No obstante, sin embargo, las tasas de pérdida del suelo más recientes siguen siendo mayores a las presentadas en 1986 5.5 t/año y 1996 6.2 t/año.

Somoza y Vásquez (2023) Esta investigación realizó una estimación de la pérdida de suelo y la erosión potencial, por hectárea y por superficie agrícola, asociada a las tendencias del proceso de agriculturización en las heterogéneas Unidades Ambientales (UA) del partido de Tandil establecido en tres fechas diferentes (1989, 2004 y 2019). Por lo cual, se recopiló información en base a antecedentes y a estudios complementarios a través de sistemas de información geográficas que determinaron las clasificaciones de los elementos que interactúan en el terreno. De este modo, se empleó la Ecuación Universal de Predicción de Erosión Hídrica a través del software INTA -USLE/RUSLE obteniendo una tasa de erosión hídrica donde predomina una mayor pérdida de suelo en la unidad ondulada con actividad agrícola (UA2) con un valor de 5.48 tn/año en el año 1989, con un valor estimado de 3.57 tn/año para el año 2004 y por último 3.57 tn/año para el año 2019.

Casanova et al., (2023), el objetivo de la presente tesis fue estimar los volúmenes de sedimentos en las cuencas Hidrográficas en la provincia de Manabí mediante el método RUSLE, y mediante un procedimiento de enfoque cuantitativo que requiere la utilización en sus principales texturas. Asimismo, para evaluación de los seis parámetros se recopiló información en datos ráster entre los años 2001 a 2020 y la estimación mediante un método innovador. Estos resultados de erosión del suelo que varían entre 0.10 tn/ha y 3252.22 tn/ha, generando una sedimentación entre 0.06 m³/año y 692.43 m³/año.

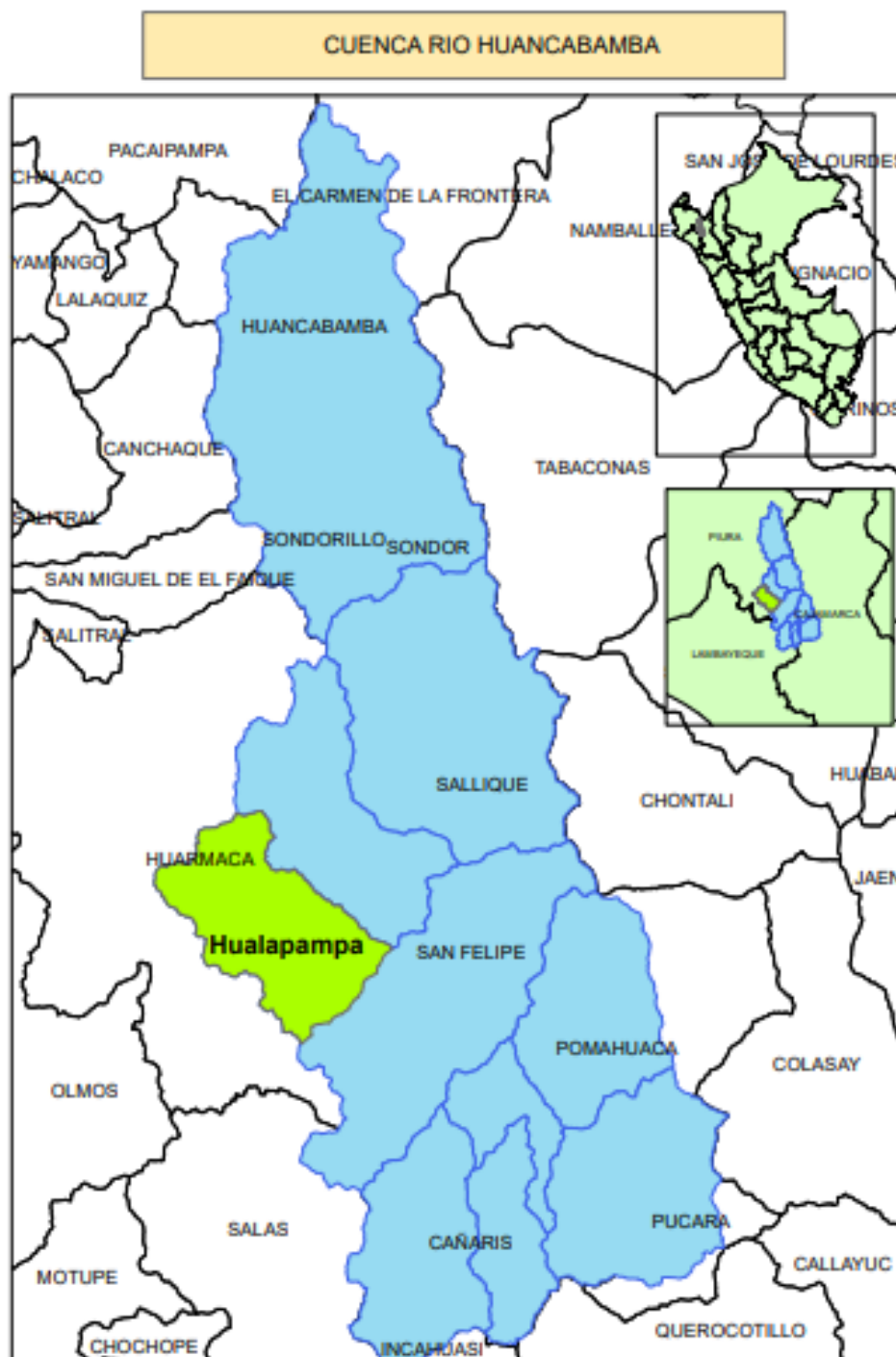
Santana et al., (2023) Esta investigación propone estimar la tasa de pérdida de suelo en un área de producción de café en el sur del estado de Minas Gerais, además también comparar los límites de tolerancia y evaluar la sostenibilidad del sistema de producción agrícola. Para ello, se aplicó la Ecuación Universal de Pérdida de suelo modificada y el cálculo de tolerancia donde los resultados mostraron una variación de pérdidas entre 0.08 a 21.97 Mg/ha/año en el cultivo de café. Esto indica que las actividades de conservación de suelo y el manejo agrícola sostenible muestra una pérdida de suelo reducido y tolerable, preservando la cobertura vegetal

Reyes et al., (2024) La cuenca del río Tejalpa contiene una extensión 21 748 ha donde se encuentra en un proceso de urbanización por ser parte de la zona metropolitana de Toluca, su objetivo fue identificar las áreas críticas de erosión hídrica en sus formas laminar y canalillos mediante la metodología modificada RUSLE. Por lo tanto, en la ejecución de dicho método mostro una tasa de pérdida del suelo que representa el 41 % de la superficie de la cuenca que contiene una erosión moderada de 10 a 50 Mg/ha/año correspondiendo a un área 9004 ha, a la vez, para las zonas críticas representa 7.14% con una erosión crítica >200 Mg/ha/año con una extensión 1553 ha, concluyendo se precisa que suelos con baja protección vegetal, extensión con una pendiente abrupta y fuertes precipitaciones.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS.

4.1. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

Figura 6: Mapa N°01: Mapa de Ubicación de la Cuenca Rio Huancabamba.



4.1.1. UBICACIÓN GEOPOLITICA.

TABLA N° 13: Ubicación Geopolítica

REGIÓN	PROVINCIA	DISTRITO
Piura	Huancabamba	Huarmaca

4.1.2. UBICACIÓN GEODESICA.

TABLA N° 14: Ubicación Geodésica del área de estudio

COORDENADA UTM (M)		DATUM GEODESICA	ZONA (cuadrícula)	ALTITUD (m.s.n.m)	ÁREA (km)
N	E				
9384369.47	663502.30	WGS 84	17 M	1208	279.52

4.2. MATERIALES, EQUIPO Y OTROS

- Material Bibliográfico y cartográfico: Estudios de vegetación, tesis, aporte de sedimentario en la cuenca hidrográfica, diagnóstico y memoria descriptiva de mapas.
- Mapas de las unidades Hidrográficas del Perú en formato Shapelife, a través de la plataforma geo servidor GPS – PERÚ.
- Imágenes satelitales de elevación (DEM) obtenidas en Dataset ALOS PASER – Satélite Facility a una resolución 12.5 metros del pixel.
- Imágenes satelitales de elevación del terreno obtenidas en Earth Explorer-USGS con una resolución de 30 metros del pixel
- Mapas Temáticos de tipos de cobertura vegetal obtenidas de geo servidor GPS- PERÚ
- Recopilación de información de los tipos de cobertura vegetal serán extraídas mediante la plataforma Proyecto Global Land Cover con una resolución 30 metros.

- Mapa Temáticos de clasificación de clases texturales del suelo a través de la plataforma Soilgrids a una resolución 250 metros
- Cuaderno de campo, registro de datos.

4.2.1. EQUIPO

- Laptop Cori I5, con un sistema operativo Windows 10
- Cámara fotográfica.
- Transporte Vehicular

4.2.2. SOFTWARE

- ArcGIS 10.8.
- Microsoft Office 2019.
- Microsoft Excel 2019.
- Google Earth.
- Restudio.

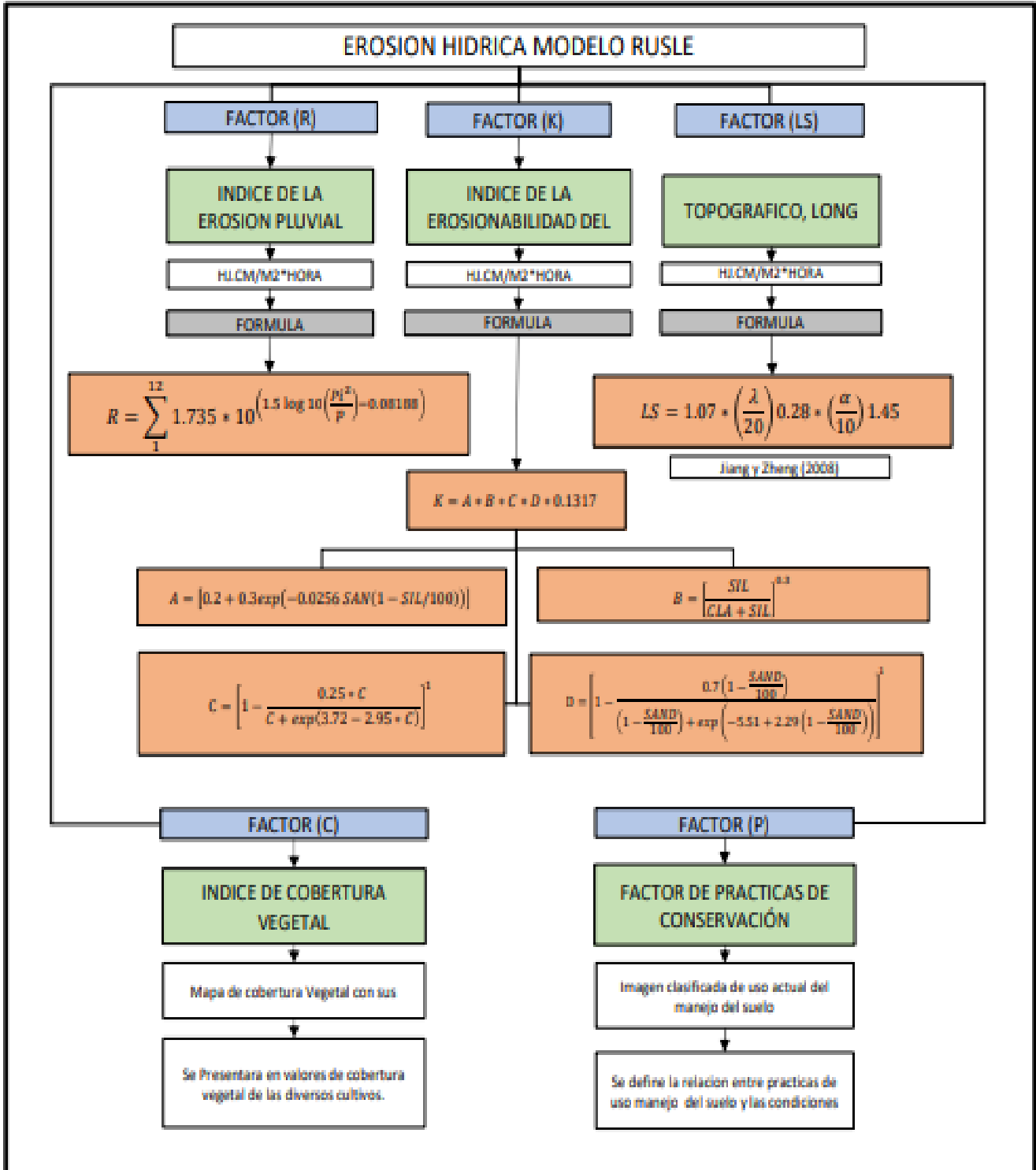
4.3. PROCESO METODOLÓGICO

Se muestra a continuación una representación visual del plan de investigación, que incluye un diagrama y una gráfica de los procedimientos previstos para ejecutar los objetivos de esta investigación. Así mismo también se visualizan las fórmulas que se serán empleadas en cada factor estudiado de esta investigación.

Los cuadros de color azul y verde son aquellos factores que interactuarán en la fórmula de la ecuación ya antes mencionada, los cuadros anaranjados contienen las fórmulas que serán empleadas en cada uno de los factores. Los cuadros blancos representan las características que se tomarán en cuenta al momento de cuantificar el factor (C y P). Lo cual, que estas fórmulas serán ejecutadas en el Software ArcGIS.

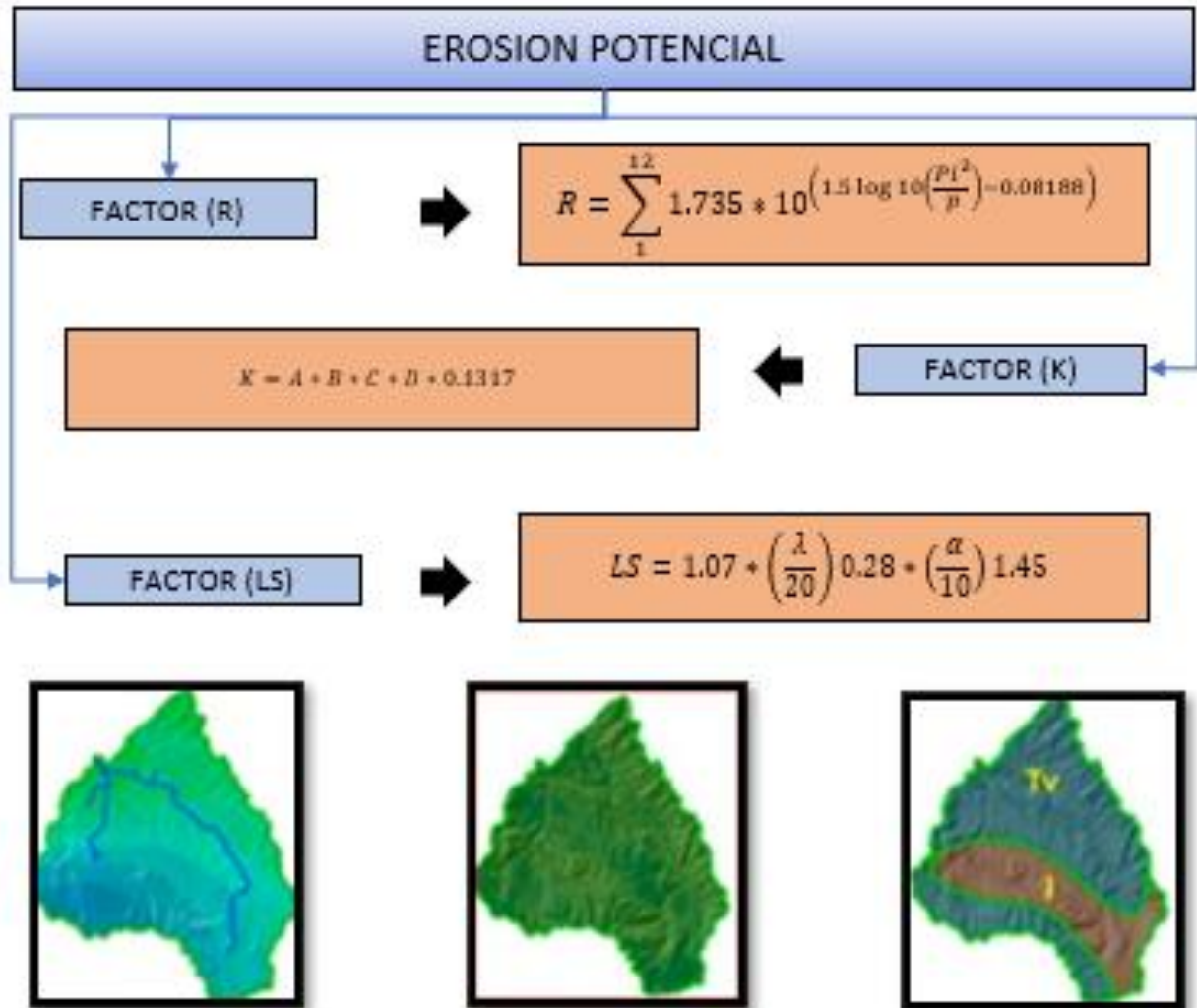
ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO RUSLE.

Figura 7: Flujograma de la metodología RUSLE – EROSIÓN ACTUAL



ESQUEMA POTENCIAL

Figura 8: Flujograma de la metodología RUSLE – EROSIÓN POTENCIAL



4.4. OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN A UTILIZAR

4.4.1. PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL.

Para poder obtener información básica para la estimación de la erosividad, se procedió a recopilar los datos de precipitación media anual y mensuales de la cuenca de Rio Huancabamba. No obstante, debido a la ausencia y carencia de los elementos medición en la red de estaciones meteorológicas del área de estudio. Se opto por utilizar la información desde la plataforma de Climate Hazard Center CHIRPS en la versión 2.0, lo cual, este conjunto de datos es respaldado por el centro de Riesgos climáticos precipitaciones infrarrojas mundial donde tiene una data de información de hace 35 años.

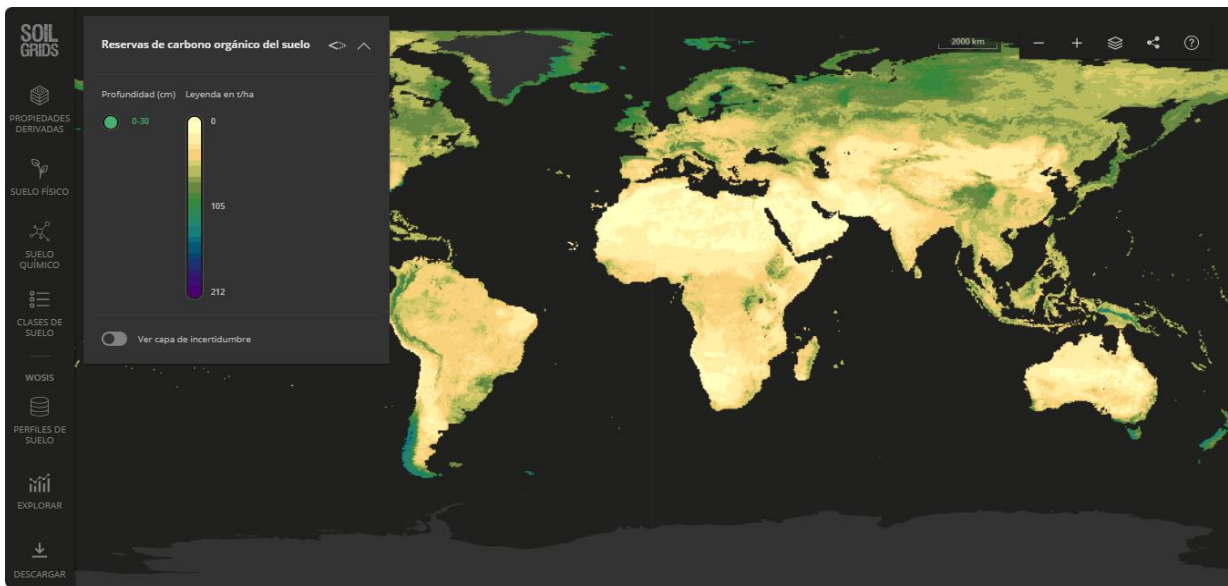
La información generada y descargada se encontró disponible en la página web: [Index of /products/CHIRPS-2.0/global_annual/tifs](#) donde lo proporciona en formato TIF con una resolución de 250 metros.

Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M. et al. (2015)

4.4.2. CLASIFICACIÓN TEXTURAL DEL SUELO

En este factor estimamos unidad de clasificación del suelo obteniendo la información de la plataforma SoilGrids que es un proyecto desarrollado por ISRIC que ofrece mapas globales proporcionando información de las propiedades del suelo (Textura, materia orgánica, el PH y la capacidad de retención de agua) a una resolución de 250 metros en el siguiente enlace: <https://soilgrids.org/>.

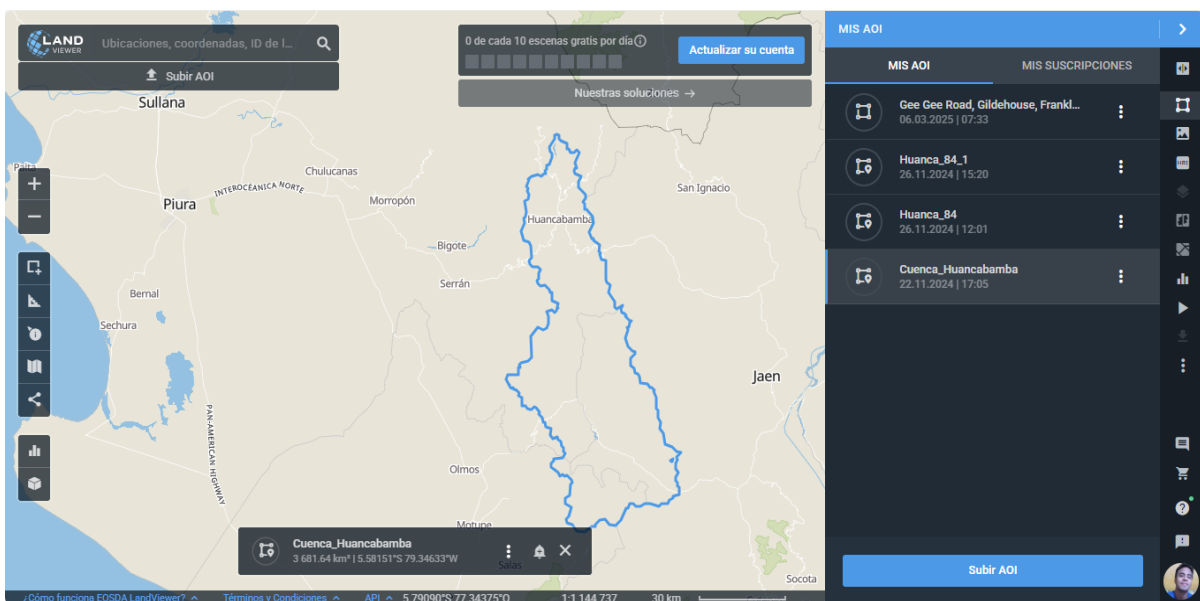
Figura 9: Plataforma Soilgrdis.



4.4.2.1. MODELO DE ELEVACIÓN (DEM)

Para la recopilación del factor topográfico se extrajo del catálogo de imágenes del Geo servidor de Landviewer lanzado por EOS Data Analytics que es un instrumento con diversidad de imágenes como sensores pasivos (día, noche y baja resolución), sensores activos y mapas de terreno que se renuevan constantemente <https://eos.com/landviewer/> . Por lo tanto, la resolución que se extrajo es de 5 m en la cuenca del Rio Huancabamba.

Figura 10: Plataforma Landviewer



4.5. PROCESAMIENTO DE FACTORES

Para el análisis de cada factor que interviene en el procesamiento de la erosión del suelo, es crucial conocer la metodología RUSLE y evaluarlo mediante la información base. Así mismo, en esta investigación el tratamiento de información se realizará cada cinco años empezando del año base 2000 hasta el 2020.

4.5.1. FACTOR DE EROSIVIDAD DE LA LLUVIA – “R”

Para estimar el factor de erosividad “R” se optó por la recopilación de información que nos proporciona el Geo servidor CHIRPS Versión 2.0, donde se verificó la data de años a trabajar y se realizó el pre procesamiento utilizando el software Rstudio.

El pre procesamiento de este factor fue realizado mediante el software Rstudio empleando a la programación, donde se ejecutó relleno de vacíos que puede contener el ráster, también recorte con el búfer generado en el área de estudio.

Figura 11: Código de precipitación en Software Rstudio - Script.

```
PRECIPITACIÓN

#Cargar Raster
library(raster)
#cargar Baja resolución de 5 km
Pp_raster_5k <- raster("D:/DESARROLLO - TESIS/INFORMACION/1.-R/CHIRPS (2000-2020)/chirps-v2.0.2020.tif")
#cargar dem de 12,5 m
dem <- raster("D:/DESARROLLO - TESIS/INFORMACION/Area de estudio/huancabamba_84.tif")
#Downscaling usando interpolación bicubica
precipitacion_12.5m <- resample(Pp_raster_5k, dem, method = "bilinear")
#verificar el archivo
print(precipitacion_12.5m)
plot(precipitacion_12.5m)
#Guardar archivo
setwd("D:/DESARROLLO - TESIS/INFORMACION/1.-R/Informacion_12.5")
writeRaster(precipitacion_12.5m, "Precipitacion_resolucion_12.5_2020.tif", format = "GTiff")

#Recorte con la resolución de 12.5 m
Pp_raster <- raster("D:/DESARROLLO - TESIS/INFORMACION/1.-R/Informacion_12.5/Precipitacion_resolucion_12.5_2020.tif")
Shapefile_Huanca <- readOGR("D:/DESARROLLO - TESIS/INFORMACION/Area de estudio/Huanca_84.shp")
raster_extraido <- crop(Pp_raster, Shapefile_Huanca)
raster_recortado <- mask(raster_extraido, Shapefile_Huanca)
setwd("D:/DESARROLLO - TESIS/INFORMACION/1.-R/Recorte_Anuual_12.5")
writeRaster(raster_recortado, "2020_12.5.tif", format = "GTiff")
print(raster_recortado)
plot(raster_recortado)
```

De este modo, para el cálculo de estimación de precipitación para los años 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020 se realizará utilizando el software ArcGIS empleando la formula Ecuación N°03 que fue desarrollado por (Wischmeier & Smith, 1978).

- ❖ Para mayor accesibilidad a los datos contemplados en el ráster de precipitación, se genera un buffer con el propósito de poder crear un área de influencia mayor a del área de estudio y así no perder datos al momento de recorte.
- ❖ Luego se calculará la precipitación anual para cada año, donde se identificará los meses con máximas avenidas y sequías correspondiente al año hidrológico.
- ❖ Posteriormente, se calculará con el comando de ArcGIS - Spatial Analyst Tools > Map algebra > Ráster Calculator, empleando la Ecuación N°03.
- ❖ Por último, se determinará el rango promedio desde muy baja a muy alta en relación al cálculo de erosividad para los años 2000, 2005, 2010, 2015, 2020.

4.5.2. FACTOR DE ERODABILIDAD DEL SUELO – “K”

En este factor que contempla la susceptibilidad o vulnerabilidad del suelo ante la agresividad de la lluvia u otra variable, se procederá a ejecutar la estimación siendo uso de los ráster satelitales que proporciona la plataforma de soilgrids, donde dispone la cantidad de arcilla, limo, arena y carbono orgánico en porcentaje.

Para el cálculo del factor de erodabilidad será empleando la formula Ecuación N° 01: Fact.

$$K = A * B * C * D * 0.1317$$

Ecuación N°02: Factor de contenido de arena - A_{SAND}

$$A_{SAND} = \left[0.2 + 0.3 * e^{\left(-0.256 * M_s * \left(1 - \frac{M_{Silt}}{100}\right)\right)} \right]$$

Ecuación N°03: Factor de contenido de arcilla y limo – B_{CL-SI}

$$B_{CL-SI} = \left[\frac{M_{SILT}}{M_{CLA} + M_{SILT}} \right]^{0.3}$$

Ecuación N°04: Factor de contenido de carbono orgánico – $C_{ORG.C}$

$$C_{orgC} = \left[1 - \frac{0.25 * orgC}{orgC + e^{(3.72 - 2.95 * orgC)}} \right]$$

Ecuación N°05: Factor de contenido de arena extremadamente alto – D_{HISAND} .

$$D_{hisand} = \left(1 - \frac{0.7 * \left(1 - \frac{M_s}{100}\right)}{\left(1 - \frac{M_s}{100}\right) + e^{\left[-5.51 + 22.9 * \left(1 - \frac{M_s}{100}\right)\right]}} \right)$$

- ❖ Luego de haber calculado la erodabilidad (factor K) para los años 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020 en el software ArcGIS ingresando la formula ya antes mencionada utilizando el comando **Spatial Analyst Tools > Map Algebra > Raster Calculator**, se procede a clasificar según los rangos establecidos por USDA (1962) en la **Tabla N° 08** para cada año estimado.

4.5.3. FACTOR TOPOGRAFICO – “LS”

Para el relieve de la cuenca del Rio Huancabamba se ha tomando en consideración en extraer un DEM del Geo servidor Landviewer con una resolución de 5 metros.

Asi mismo, la fórmula para poder estimar el factor topográfico consta de varias variables se presentarán a continuación.

Ecuación N° - Factor Topográfico.

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^m * S$$

Citado por Bolton (1995).

$$\lambda = \left(\frac{A_{Acumulado.tif}}{3.1416} \right)^{0.5}$$

Citado Por Renard (1997)

$$F = \frac{\frac{Sen \beta}{0.0896}}{3 * (Sen\beta)^{0.8} + .056}$$

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

$$S = 10.8 \text{ sen}\theta + 0.3; \text{ para } S < 9 \%$$

$$S = 16.8 * \text{sen}\theta + 0.5; \text{ Para } S \geq 9 \%$$

Figura 12: Mosaico Topográfico de la Cuenca Rio Huancabamba

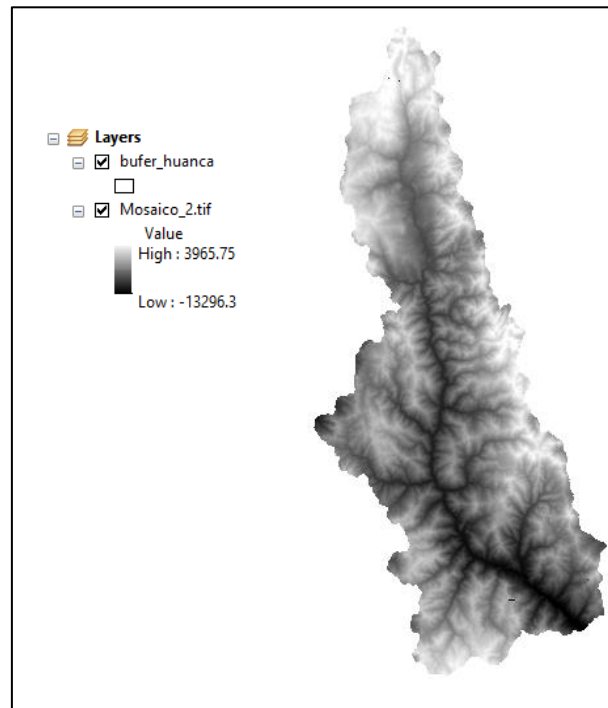


Figura 13: Propiedades de ráster combinado

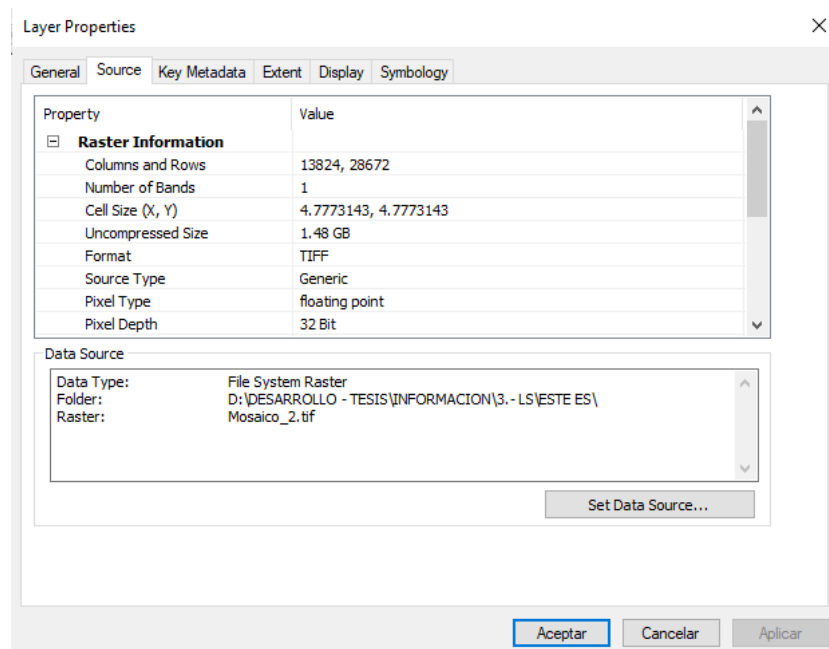
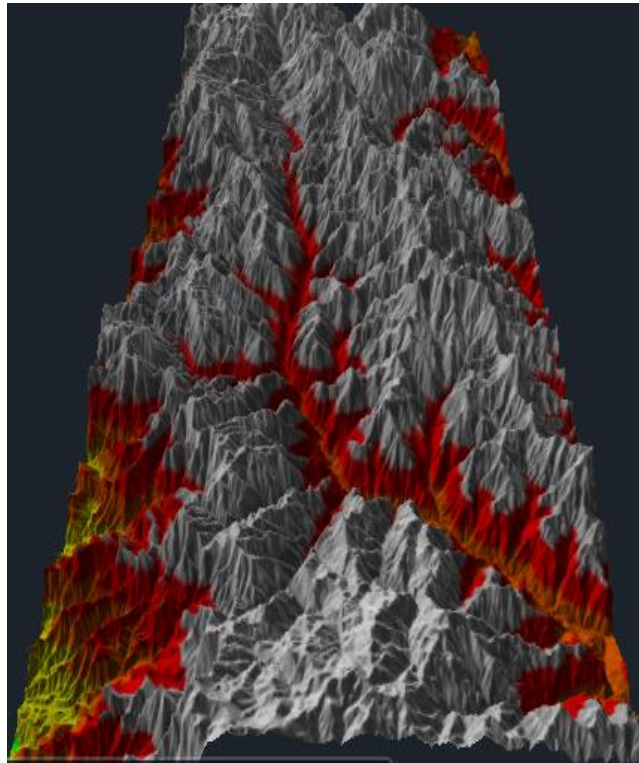


Figura 14: Visualización 3D del área de estudio



4.5.4. FACTOR DE COBERTURA VEGETAL – “C”

En este factor estimamos unidad la cobertura vegetal del suelo obteniendo la información de la plataforma EarthExplorer Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS). Estos estudios son fundamentales porque te ayuda a monitorear la actividad humana en la vegetación y el medio ambiente. Asimismo, dentro de las características de la obtención de datos de las imágenes satelitales contiene entre una resolución (10 m a 30 m). El acopio de información será entre el periodo de 2000 a 2020.

De acuerdo con las propiedades hidrometeorológicas de la cuenca, que se encuentra bajo las incidencias climáticas de la vertiente altoandina oriental las descargas de precipitaciones son muy variable en el tiempo de un año a otro. Así mismo la temporada de avenidas contempla desde enero a junio y se concentra en los meses de febrero, marzo y abril y la temporada estiaje en el periodo de Julio a diciembre

TABLA N° 15: Temporada de precipitaciones de la Cuenca Rio Huancabamba

Temporada Húmeda	Temporada Seca
En el periodo Enero a junio se presentan la temporada de avenidas la mayor descarga de Precipitaciones	En el periodo Julio a diciembre se presentan la temporada de sequía donde significativamente las precipitaciones disminuyen.
Contemplando con intensidad entre febrero, marzo y abril.	Contempla la mayor sequía en los meses Julio y Agosto

TABLA N° 16: Descripción de imágenes Satelitales descargas desde 2000 - 2020

Año	Fecha	Imagen	Sensor	Resolución	Ruta	Fila
2000	31/10/2000	Landsat 07	ETM	30 m X 30 m	10	64
	26/06/2000					
2005	30/11/2005	Landsat 07	ETM	31 m X 30 m	10	64
	9/07/2005					
2010	8/08/2010	Landsat 07	ETM	32 m X 30 m	10	64
	5/06/2010					
2015	22/08/2015	Landsat 07	ETM	33 m X 30 m	10	64
	19/06/2015					
2020	21/04/2020	Landsat 08	ETM	34 m X 30 m	10	64
	11/08/2020					

Fuente: Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

Por lo tanto, para ejecutar el cálculo del factor vegetal será utilizando el software ArcGIS en el siguiente proceso:

- ❖ La información básica es extraída del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) en la dirección web: <https://earthexplorer.usgs.gov/> cual predispone data de los años 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020. Para la descarga se procedió a tomar en cuenta la información en dos fases; a) Temporada de humedad y b) Temporada seca.
- ❖ Identificamos las características de los tipos de suelo en el área de estudio, y el manejo de la actividad humana durante el periodo estudiado 2000 a 2020.
- ❖ Después, conjuntamente con la descripción de información se realiza una corrección por bandeamiento a las imágenes satelitales de Landsat 07 utilizando el comando Spatial Analyst Tools > Hidrology > Fill este proceso se realiza con la finalidad de la corrección de datos vacíos.
- ❖ Posteriormente se realiza un recorte al shapefile de cobertura vegetal con el área de estudio empleando el comando Spatial Analyst Tools> Extraction> Extraction By Mask en ArcGIS.
- ❖ Cabe resaltar para el cálculo de NDVI las bandas a trabajar va en relación a las imágenes satelitales a utilizar, para satélite Landsat 07 se utilizará las bandas B3 y B4 empleando la siguiente formula:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

- ❖ Donde NIR Corresponde a Banda 04 y RED corresponde Banda 03. De esta forma empleando el comando Map algebra > Ráster calculator: Float("B4_2000.TIF"+"B3_2000.TIF")/Float("B4_2000.TIF"+"B3_2000.TIF")

TABLA N° 17: Características de satélite Landsat 07.

Landsat 07		
Banda	Ancho (μ m)	Resolución m
Banda 01 - Blue	0.45 - 0.52	30
Banda 02 - Green	0.52 - 0.60	30
Banda 03 - Red	0.63 - 0.69	30
Banda 04 - NIR	0.77 - 0.90	30
Banda 05 - SWIR1	1.55 - 1.75	30
Banda 07 - SWIR2	2.09 - 2.35	30
Banda 08 - Pan	0.52 - 0.90	15
Banda 06 - TIR	10.40 - 12.50	30/60

TABLA N° 18: Rangos del Índice de vegetación de diferencia Normalizada (NDVI).

Clasificación	Valor
Nubes y agua (NA)	< 0.01
Suelo sin vegetación (SV)	0.01 - 0.1
Vegetación Ligera (VL)	0.1 - 0.2
vegetación Mediana (VM)	0.2 - 0.4
Vegetación Alta (VA)	> 0.4

Fuente: López et all. (2014)

- ❖ Ahora calcularemos el Factor "C" emplearemos la siguiente ecuación N°:

$$C = \frac{1 - NDVI}{2}$$

Donde:

C = Factor del Cobertura Vegetal

NDVI: Índice de vegetación de diferencia Normalizada

- ❖ Finalmente, se ejecuta en el software ArcGIS utilizando Map Algebra > Raster Calculator con la siguiente ecuación N°00: $((1 - NDVI_{2000.TIF}) / 2)$.

TABLA N° 19: Índice de Tipos de suelo para factor "C"

VALOR	Tipo	Descripción	Factor "C"
10	Cultivated Land	Las tierras utilizadas para la agricultura, horticultura v jardines	0.63
20	Forest	Tierras cubiertas de árboles con cubierta vegetal más del 30%	0.003
30	Grass Land	Terrenos cubiertos de césped natural con una cubierta más del 10%	0.09
40	Shrubland	Tierras cubiertas de arbustos con una cubierta de más del 30%	0.22
50	Wetland	Tierras cubiertas de plantas de	0
60	Water Body	Las masas de agua en la superficie terrestre	0
70	Tundra	Hierbas y arbustos en las regiones polares	0
80	Artificial Surfaces	Tierras modificadas por las actividades humanas	0.09
90	Bareland	Tierras con cubierta vegetal inferior al 10%	0.5
100	Permanent Snow	Tierras cubiertas por la nieve permanente, y la capa de hielo	0

Fuente: SENAMHI, 2017

4.5.5. FACTOR DE PRACTICAS DE CONSERVACIÓN – “P”

En este factor se estima calcular el valor de la practicas de conservación que podrían estar ejecutándose en la Cuenca Huancabamba. Lo cual, se estimará en base a la relación que existen entre el contorno y pendientes del área estudia para cada cultivo mediante una tabla desarrollada por Shim 1999, que son valores estimados para rango de pendiente.

- ❖ Al polígono en shapefile que añadirá una capa en la tabla de atributos denominada “Valor C” y se colocará un valor en relación al resultado obtenido en procesamiento del Factor LS.



TABLA N° 20: Factor P - En relación con la pendiente del terreno.

Pendiente	Valor factor P
0 – 7	0.55
7 – 11.3	0.6
11.3 – 17.6	0.8
17.6 – 26.8	0.9
26.8 >	1

Fuente: Shim 1999

4.6. ESTIMACIÓN DE LA PERDIDA DE SUELO CON EL MODELO RUSLE

La expresión general del modelo RUSLE es:

$$A = R * K * LS * C * P$$

Donde:

A = Son las pérdidas de suelo en t/ha*año

R = Es el índice de erosividad en HJ*cm/m²*hora.

K = Es el índice de erosionabilidad del suelo (T*m*hora/ha*J*cm)

L*S = Es el factor fotográfico, donde el producto de los factos "L" es la longitud de pendiente y pendiente es "S".

C = Factor de cultivo (Vegetación o uso del suelo).

P = Practicas de manejo de conservación de suelo agrícolas.

Procesamiento de la información recopilada

Paso N° 01: En esta fase del proceso de la degradación del suelo, se procederá a estimar cuantitativamente la pérdida del suelo en la cuenca Huancabamba, lo

cual, se recopilará los resultados obtenidos en cada uno de los factores que implican la erosión Hídrica del suelo empleando la formula desarrollada.

Paso N°02: Se utilizará el comando “Ráster Calculator” empleando solo algunos factores para determinar la erosión potencial (tn/ha/año); lo cuales serán R (Erosividad), K (erodabilidad) y LS (Topográfico). En el producto de estos tres factores se determinará la erosión potencial indicando que valor potencial en la pérdida del suelo tendría en esta área de estudio si no tuviera el valor de cobertura vegetal ni el valor del factor de la practicas de conservación del suelo.

Paso N°03: Se calculará la perdida de suelo actual de la Cuenca Huancabamba con la interacción de los factores que integran al área de investigación, R (erosividad), K (Erodabilidad), LS(Topográfico), C (Cobertura vegetal) y P (Practicas de conservación del suelo) en unidades tn/ha/año.

Paso N°04: Según el resultado que se obtenga en la erosión actual, posteriormente se comparará el cuadro de clasificación de severidad del suelo. De este modo, se indicará si es muy bajo o crítico.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. RESULTADOS DE LOS FACTORES DE LA EROSIÓN HIDRICA.

5.1.1. FACTOR EROSIVIDAD – “R”

Para el resultado de erosividad en la cuenca del Rio Huancabamba para los años 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020. Se representa una Tabla donde contiene los valores de precipitación mensuales tanto como máximo y mínimo; y valores promedio anual para cada año.

Además, se identifica la clase de erosividad para cada año dependiendo a la tabla N°06 - Clasificación de rangos típicos anuales.

Año 2000

Para el año 2000 el factor de erosividad calculo tiene un máximo de 1041.34 mm y un mínimo de 316.104 mm. Por lo tanto, en base a la tabla N°06 – Clasificación de Rangos del factor R se denomina **MEDIANA**.

TABLA N° 21: Factor R - Año 2000

Factor R			
Meses	Maximo	Minimo	Promedio
Enero	81.4125	0.00405199	40.708276
Febrero	443.505	48.5414	246.0232
Marzo	648.467	65.2507	356.85885
Abril	369.457	51.2428	210.3499
Mayo	127.469	2.58876	65.02888
Junio	21.8745	9.99845E-06	10.937255
Julio	1.28274	3.48715E-07	0.64137017
Agosto	1.10872	0.0104834	0.5596017
Setiembre	56.5686	2.5679	29.56825
Octubre	0.699371	0.0318766	0.3656238
Noviembre	2.2485	0.0306812	1.1395906
Diciembre	40.5579	4.30912	22.43351

Fuente: Elaboración Propia

Figura 15: Gráfico de barras – Factor “R” – Datos mensuales del 2000

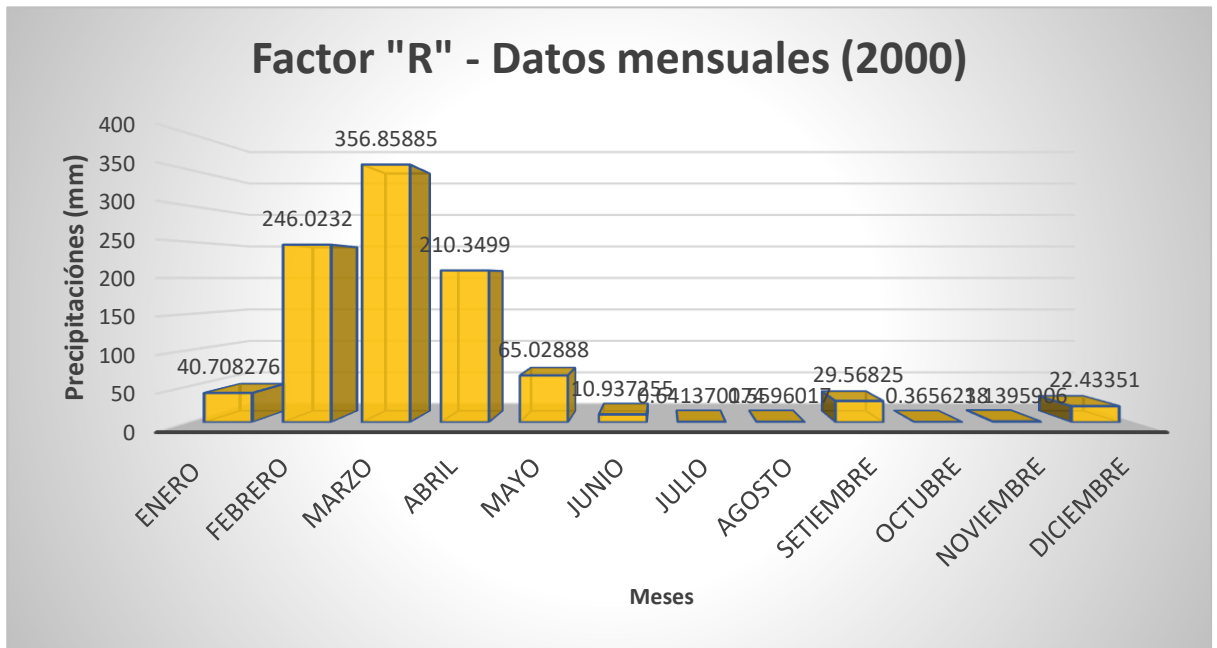


Figura 16: Factor “R” – Erosividad para el año 2000

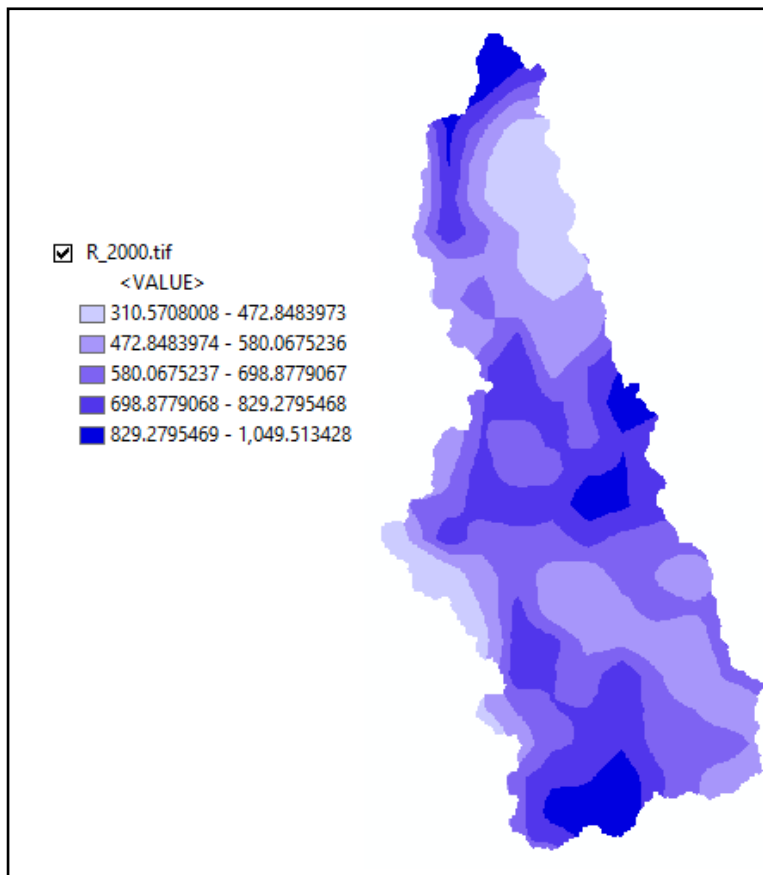


Figura 17: Clase de Erosividad para el año 2000.

CLASE	R (MJ/HA*MM/HR)
MUY BAJA	< 500
BAJA	500 - 1000
MEDIANA	1000 - 3000
ALTA	3000 - 6000
MUY ALTA	> 6000

Año 2005

Para el año 2005 el factor de erosividad calculo tiene un máximo de 865.614 mm y un mínimo de 330.491 mm. Por lo tanto, en base a la tabla N°06 – Clasificación de Rangos del factor R se denomina **MEDIANA**.

TABLA N° 22: Factor R - Año 2005

Meses	Factor R		
	Máximo	Minimo	Promedio
Enero	26.5966	0.000959624	13.2987798
Febrero	307.51	45.4765	176.49325
Marzo	1075.89	206.97	641.43
Abril	120.523	3.2577	61.89035
Mayo	9.46337	0.0366113	4.74999065
Junio	3.38413	4.72753E-06	1.69206736
Julio	3.38413	4.72753E-06	1.69206736
Agosto	0.324697	0.00319384	0.16394542
Setiembre	3.44621	0.222527	1.8343685
Octubre	59.7989	2.85822	31.32856
Noviembre	14.9769	0.188811	7.5828555
Diciembre	59.7989	2.85822	31.32856

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 18: Gráfico de barras – Factor “R” – Datos mensuales del 2005

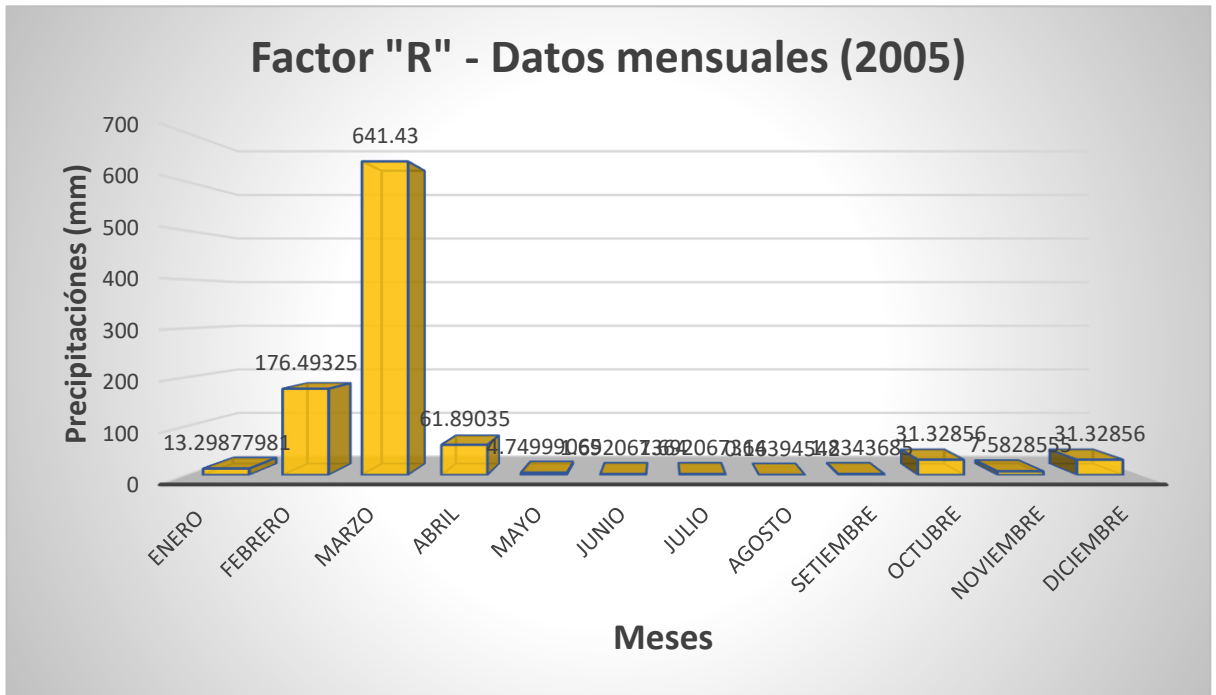


Figura 19: Factor “R” – Erosividad para el Año 2005

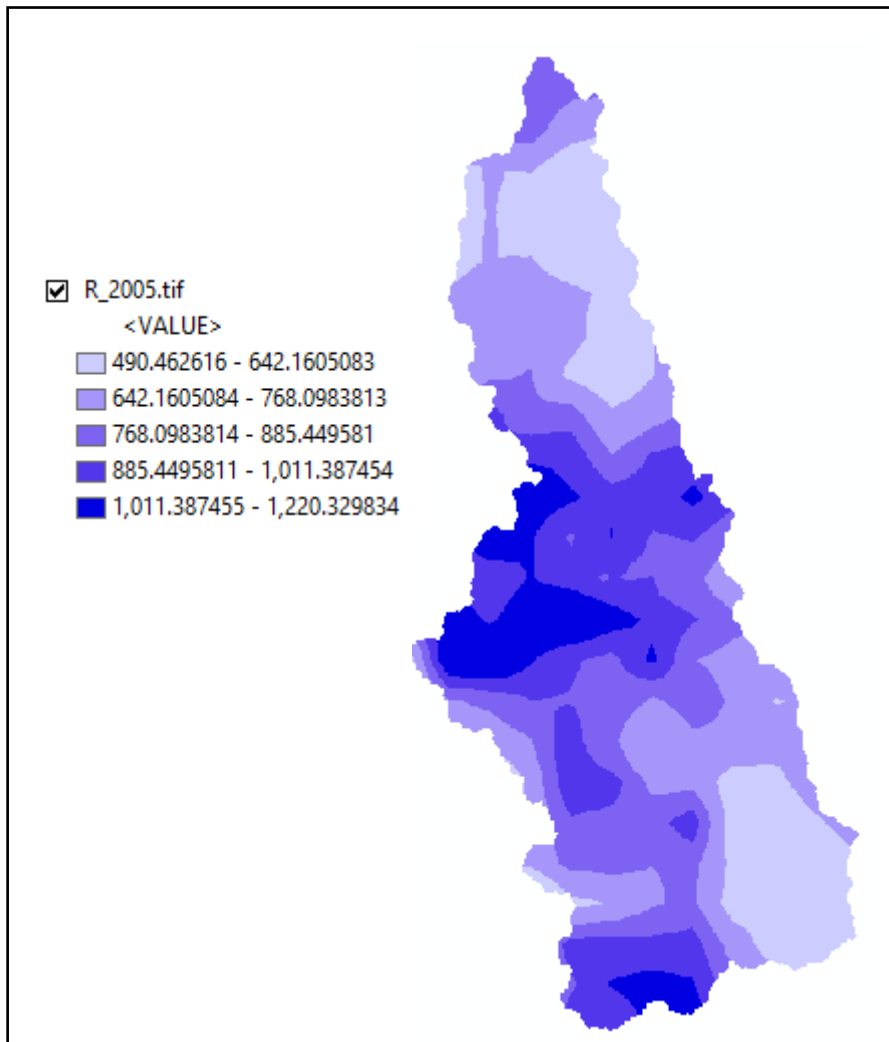


Figura 20: Clase de Erosividad para el año 2005

CLASE	R (MJ/HA*MM/HR)
MUY BAJA	< 500
BAJA	500 - 1000
MEDIANA	1000 - 3000
ALTA	3000 - 6000
MUY ALTA	> 6000

Año 2010

Para el año 2010 el factor de erosividad calculo tiene un máximo de 754.538 mm y un mínimo de 232.743 mm. Por lo tanto, en base a la tabla N°06 – Clasificación de Rangos del factor R se denomina **BAJA**.

TABLA N° 23: Factor R - Año 2010

Meses	Factor R		
	Máximo	Minimo	Promedio
Enero	66.9941	0.00270979	33.4984049
Febrero	583.844	64.2235	324.03375
Marzo	282.421	55.2918	168.8564
Abril	128.358	8.45635	68.407175
Mayo	17.8981	0.0550998	8.9765999
Junio	14.5022	1.68118E-05	7.25110841
Julio	3.524	1.30031E-07	1.76200007
Agosto	0.500332	0.000849162	0.25059058
Setiembre	9.0573	0.273295	4.6652975
Octubre	68.3242	1.9282	35.1262
Noviembre	22.1046	0.576951	11.3407755
Diciembre	45.5098	2.99434	24.25207

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 21: Gráfico de barras – Factor “R” – Datos mensuales del 2010

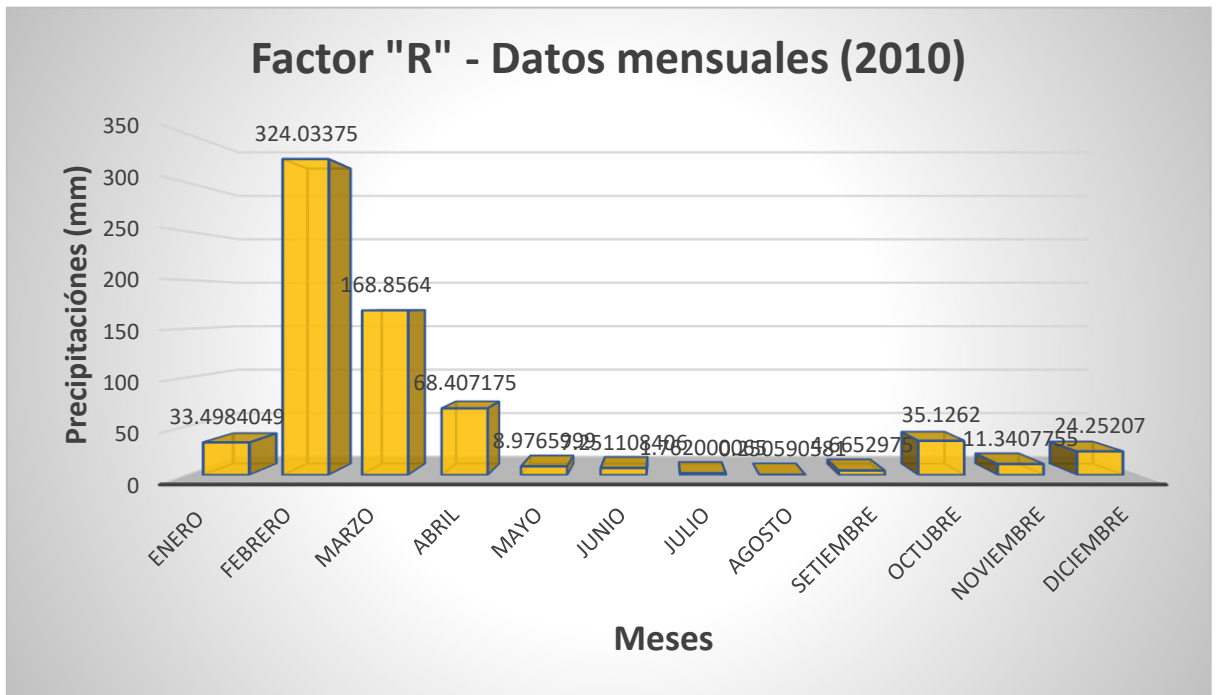


Figura 22: Factor “R” – Erosividad para el año 2010.

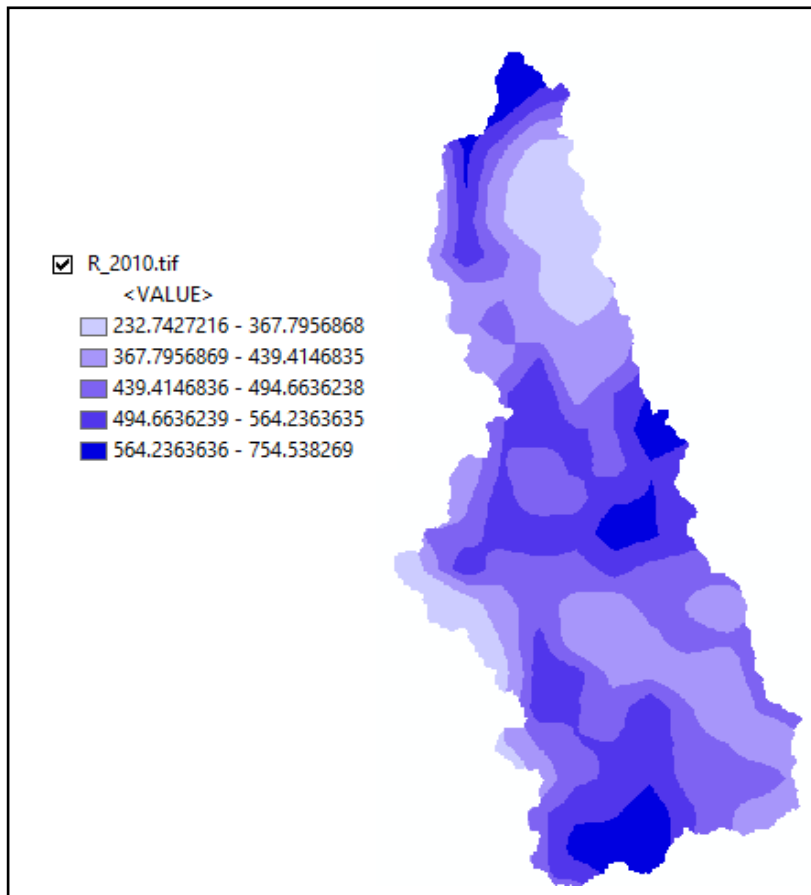


Figura 23: Clase de Erosividad para el año 2010

CLASE	R (MJ/HA*MM/HR)
MUY BAJA	< 500
BAJA	500 - 1000
MEDIANA	1000 - 3000
ALTA	3000 - 6000
MUY ALTA	> 6000

Año 2015

Para el año 2015 el factor de erosividad calculo tiene un máximo de 906.127 mm y un mínimo de 199.985 mm. Por lo tanto, en base a la tabla N°06 – Clasificación de Rangos del factor R se denomina **BAJA**.

TABLA N° 24: Factor R - Año 2015

Meses	Factor R		
	Máximo	Minimo	Promedio
Enero	419.67	0.0228919	209.846446
Febrero	110.873	13.5473	62.21015
Marzo	842.496	129.316	485.906
Abril	27.4841	4.57326	16.02868
Mayo	26.0263	0.67086	13.34858
Junio	5.47785	1.55499E-06	2.738925777
Julio	5.83253	8.05692E-06	2.916269028
Agosto	1.12231	0.0188585	0.57058425
Setiembre	5.16453	0.104788	2.634659
Octubre	6.5507	0.247211	3.3989555
Noviembre	12.2815	0.245542	6.263521
Diciembre	7.27339	1.10676	4.190075

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 24: Gráfico de barras – Factor “R” – Datos mensuales del 2015

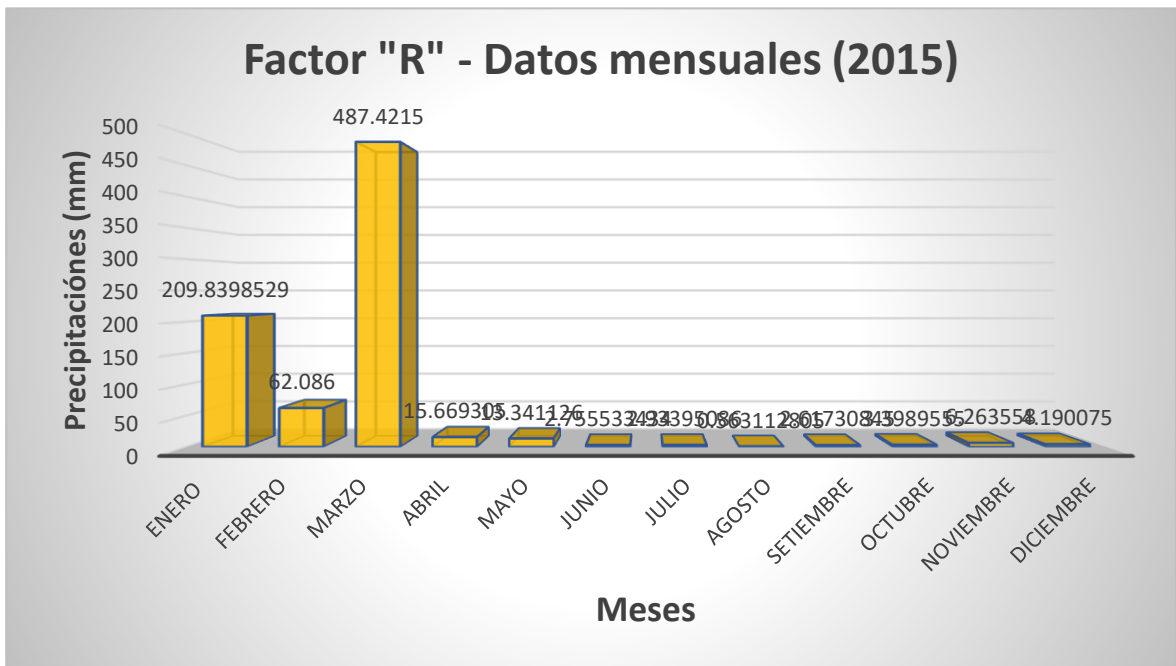


Figura 25: Factor “R” – Erosividad para el año 2015

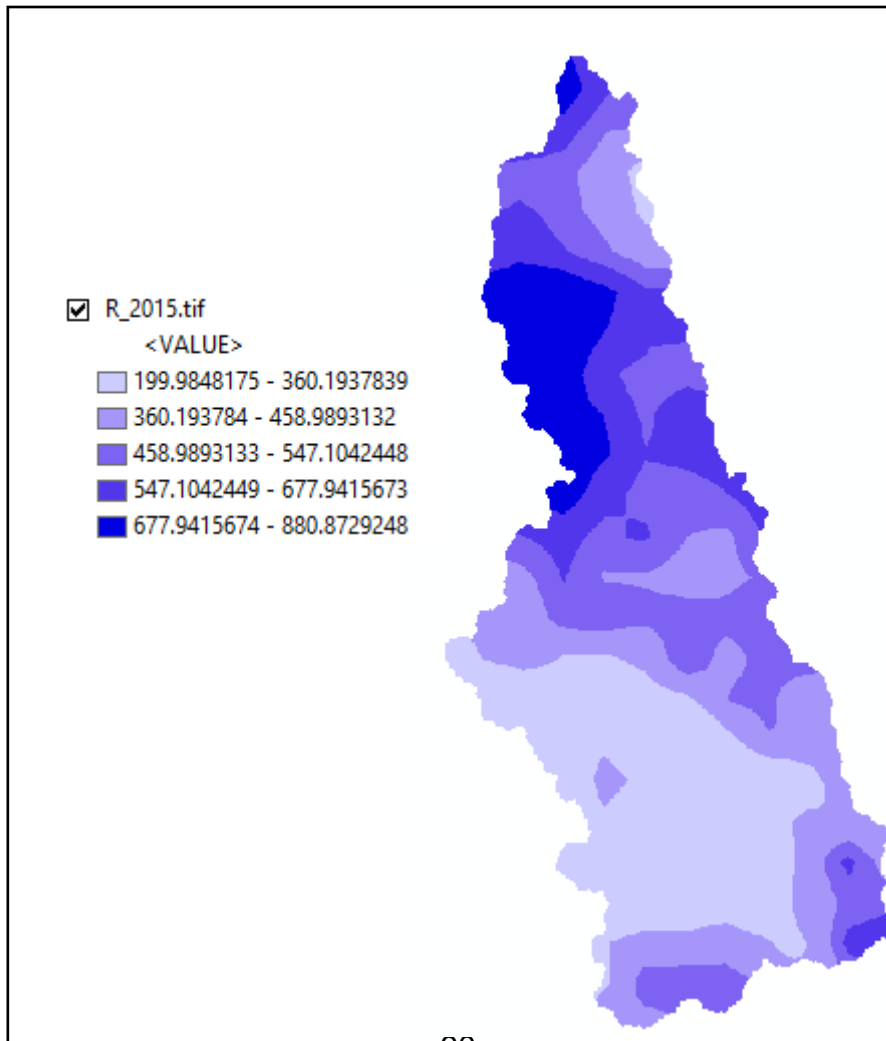


Figura 26: Clase de Erosividad para el año 2015

CLASE	R (MJ/HA*MM/HR)
MUY BAJA	< 500
BAJA	500 - 1000
MEDIANA	1000 - 3000
ALTA	3000 - 6000
MUY ALTA	> 6000

Año 2020

Para el año 2020 el factor de erosividad calculo tiene un máximo de 428.977 mm y un mínimo de 86.3383 mm. Por lo tanto, en base a la tabla N°06 – Clasificación de Rangos del factor R se denomina **MUY BAJA**.

TABLA N° 25: Factor R - Año 2020

Meses	Factor R		
	Máximo	Minimo	Promedio
Enero	172.358	0.0276584	86.1928292
Febrero	212.849	3.88121	108.365105
Marzo	89.8214	6.65175	48.236575
Abril	79.4576	11.7113	45.58445
Mayo	19.6367	0.318883	9.9777915
Junio	6.05674	7.62631E-06	3.02837381
Julio	11.4967	7.62631E-06	5.74835381
Agosto	3.79739	0.0606413	1.92901565
Setiembre	8.20936	0.115652	4.162506
Octubre	15.6707	0.978902	8.324801
Noviembre	34.735	1.86406	18.29953
Diciembre	160.671	11.0472	85.8591

Fuente: Elaboración Propia.

Gráfico de barras – Factor “R” – Datos mensuales del 2020

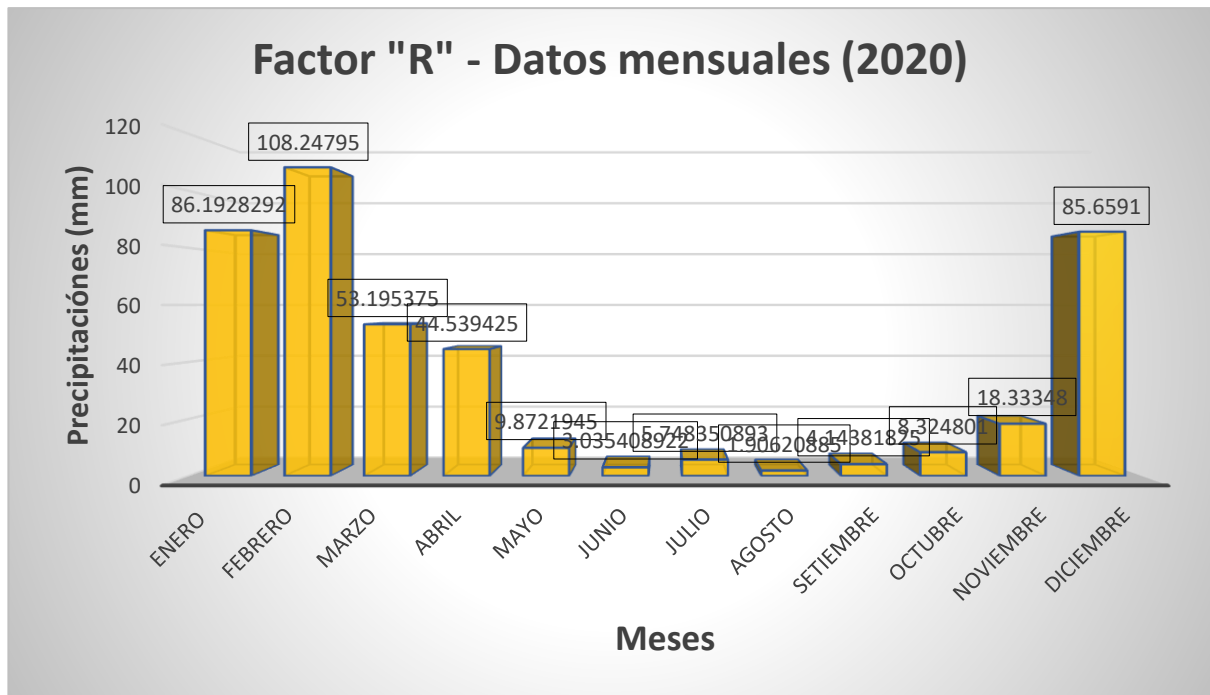


Figura 27: Factor “R” – Erosividad para el año 2020

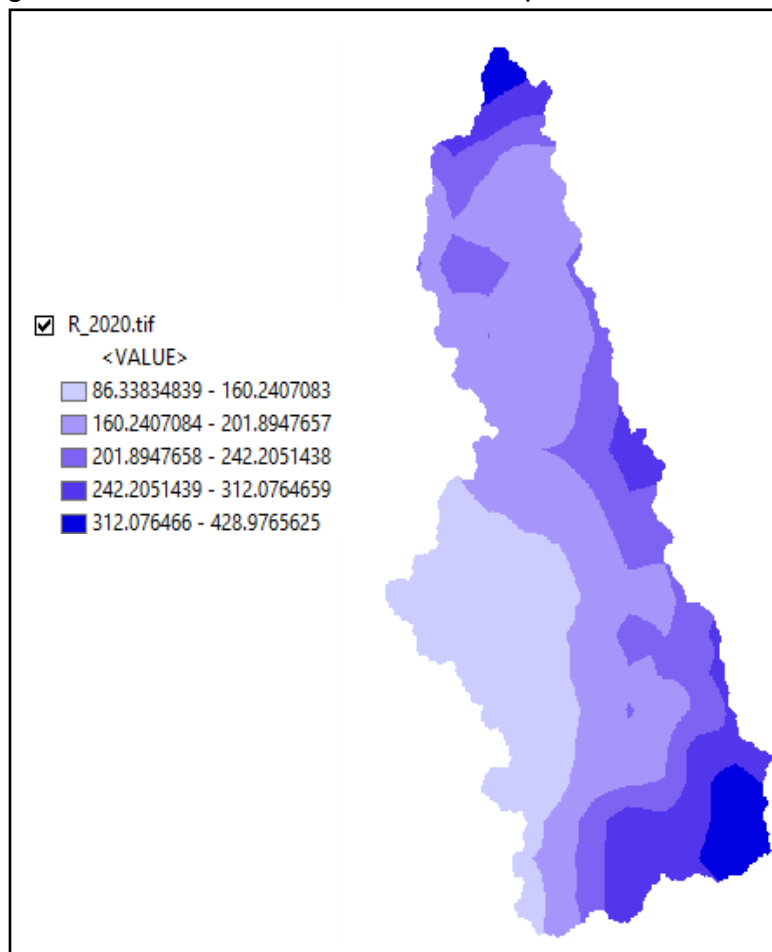


Figura 28: Clase de Erosividad para el año 2020

CLASE	R (MJ/HA*MM/HR)
MUY BAJA	< 500
BAJA	500 - 1000
MEDIANA	1000 - 3000
ALTA	3000 - 6000
MUY ALTA	> 6000

Fuente: Elaboración Propia.

5.1.1.1. RESULTADO ANUAL

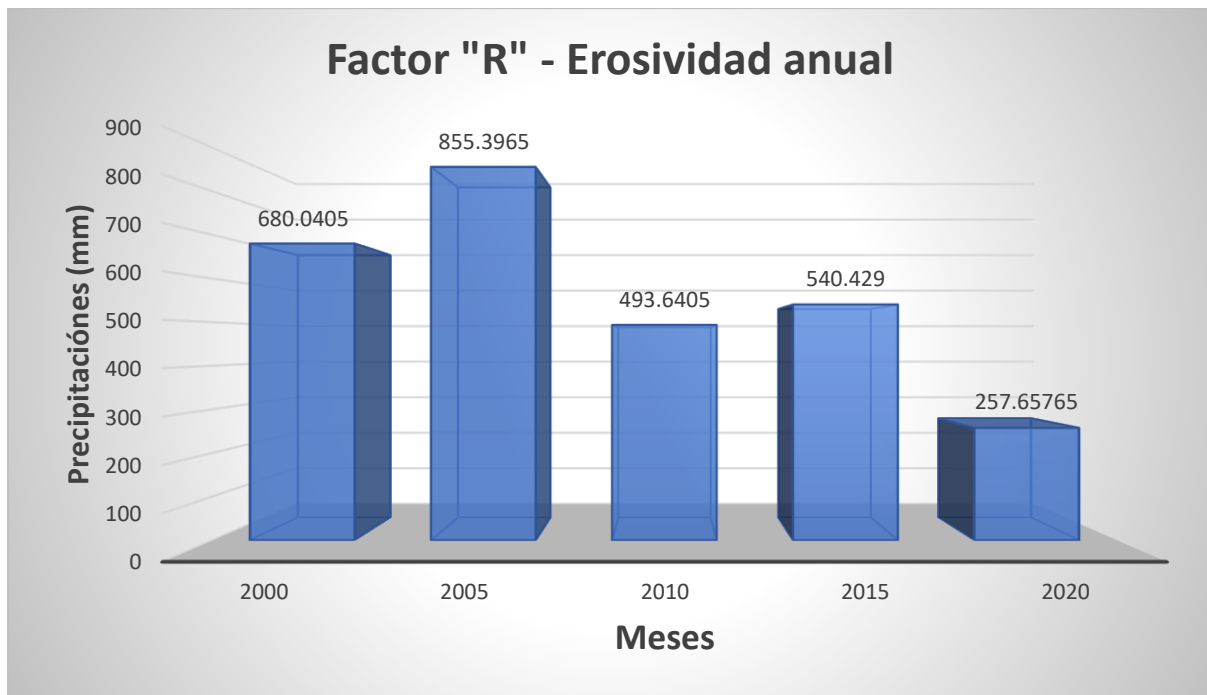
Los resultados cálculos para los distintos años, obtenemos que el valor Promedio de precipitación en la Cuenca del Rio Huancabamba en el año 2005 con un valor 855.3965 mm y con un valor minimo 257.65765 para el año 2020.

TABLA N° 26: Tabla Anual del Factor "R" – Erosividad.

Año	Factor R		
	Máximo	Minimo	Promedio
2000	1049.51	310.571	680.0405
2005	1220.33	490.463	855.3965
2010	754.538	232.743	493.6405
2015	880.873	199.985	540.429
2020	428.977	86.3383	257.65765

Fuente: Elaboración Propia

Figura 29: Grafico de barras anual del Factor "R" - Erosividad.



5.1.2. FACTOR ERODABILIDAD – “K”

Acorde con las formulas establecidas para el procesamiento de la textura del suelo (arena %, arcilla %, Limo % y Carbono orgánico %) en la cuenca del Rio Huancabamba se puede obtener como resultado que:

TABLA N° 27: Valores Texturales del suelo %

Clases	Máximo %	Minimo %	Promedio %
Arcilla	34.26	19.15	26.70
Arena	52.65	35.72	44.18
Limo	40.60	24.79	32.70
Carbono Orgánico	16.60	2.47	9.54

Fuente: Elaboración Propia.

Por otra parte, después de haber obtenido el porcentaje de cada una de las clases texturales del suelo, se procedió a calcular el Factor “K” para el área de estudio, identificando el rango de clasificación en relación a la **Tabla N°08**; que se mostrara en la siguiente **Tabla N°28**.

TABLA N° 28: Rango de Erodabilidad

Valor de K	Clasificación
0.007902	Muy poco erodable
0.007902 - 0.0171	Débilmente erodable
0.0171 - 0.0329	Mediamente erodable
0.0342 - 0.0684	Fuertemente erodable
0.0684 - 0.1027	Extremadamente erodable

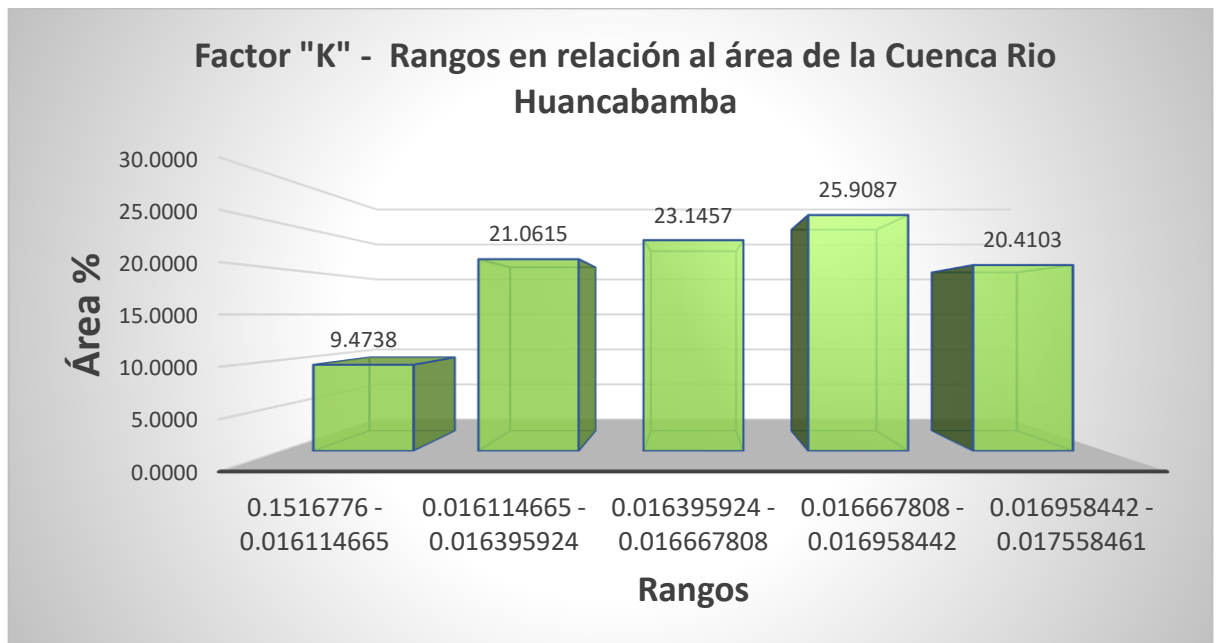
Fuente: Elaboración Propia.

TABLA N° 29: Resultado Textural en relación al área de estudio.

Rango	Área	Área %	Color
0.1516776 - 0.016114665	346.388392	9.47375443	Red
0.016114665 - 0.016395924	770.070419	21.0614969	Yellow
0.016395924 - 0.016667808	846.274785	23.1456933	Light Green
0.016667808 - 0.016958442	947.299904	25.9087397	Teal
0.016958442 - 0.017558461	746.261313	20.4103157	Dark Blue
Total	3656.294813	100	

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 30: Factor "K" – Rangos en relación al área del Cuenca Rio Huancabamba.



5.1.3. FACTOR TOPOGRAFICO – “LS”

En el Factor topográfico los resultados obtenidos oscilan desde 1.5617 como valor mínimo y 17.314 valor máximo; categorizando como nivel **moderado**. Además, en relación a la pendiente del Factor LS se clasifica en muy escarpado con un valor máximo de 89.9534 que representa en la tabla N°

TABLA N° 30: Categorización del Factor LS

Factor LS	Categoría
Bajo	< 15
Moderado	15 - 30
Alto	30 - 45
Muy Alto	> 45

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 31: Factor topográfico LS – Imagen Ráster.

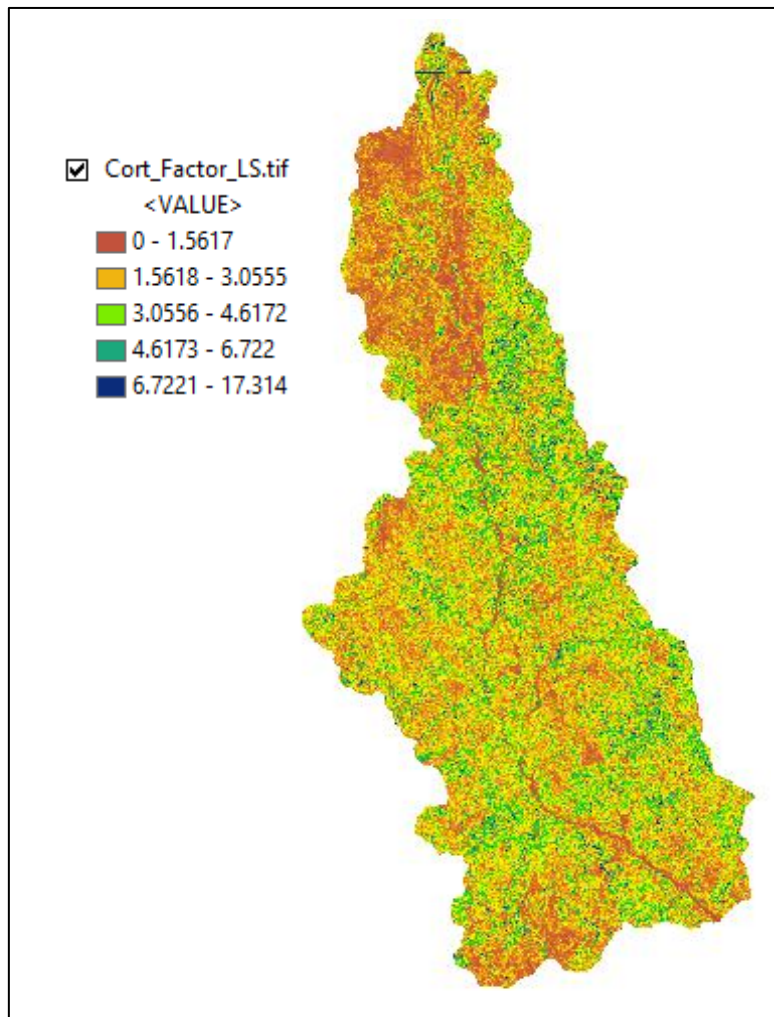


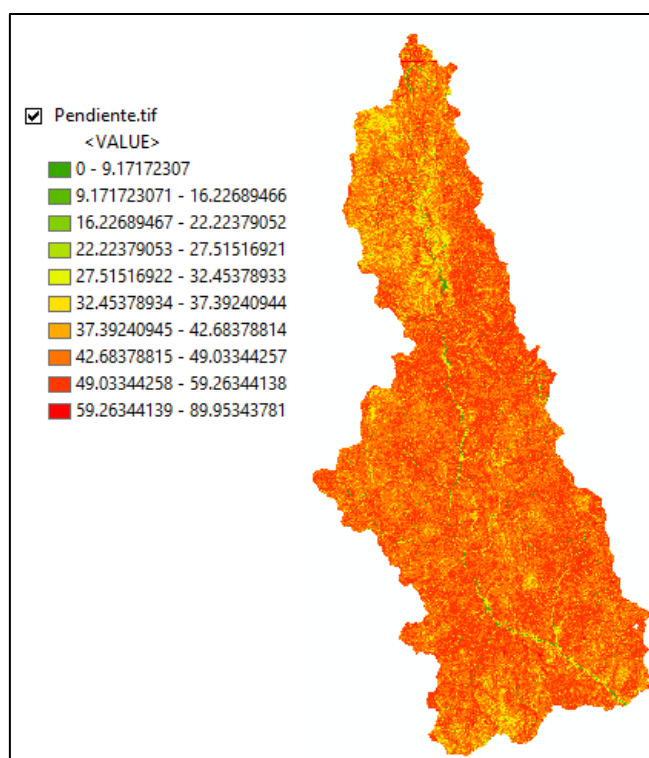
TABLA N° 31: Nivel de grupo de Pendientes en relación al Factor Topográfico

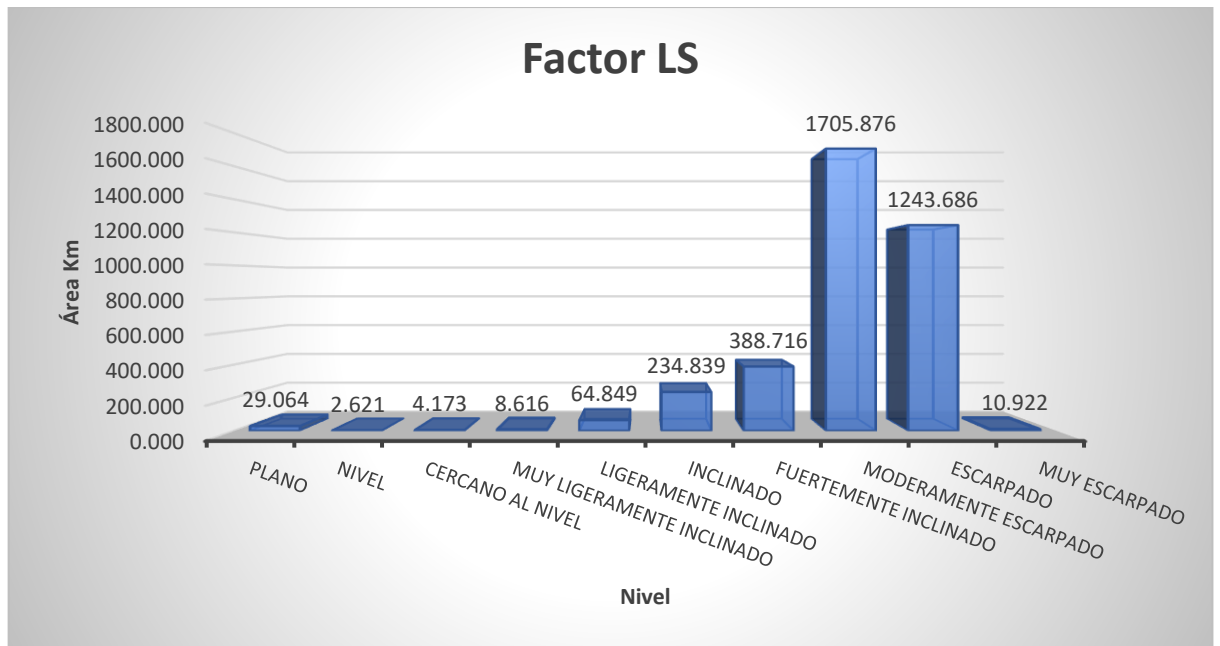
LS

Clase	Descripción	Área KM	Área %
1	Plano	29.064	0.7869
2	Nivel	2.621	0.0710
3	Cercano al nivel	4.173	0.1130
4	Muy ligeramente inclinado	8.616	0.2333
5	Ligeramente inclinado	64.849	1.7558
6	Inclinado	234.839	6.3584
7	Fuertemente inclinado	388.716	10.5247
8	Moderadamente escarpado	1705.876	46.1876
9	Escarpado	1243.686	33.6735
10	Muy escarpado	10.922	0.2957
		3693.3626	100

En representación de la tabla N°31, se aprecia los resultados obtenidos en el geoprocesamiento del factor topográfico en relación a la pendiente, donde podemos identificar que la mayor cobertura del área de la cuenca Rio Huancabamba predomina en **“Moderadamente Escarpado”** con un área de 1705.876 Km² (46.1876%) y en relación a una menor capacidad de superficie se predomina **“Nivel”** con un área de 2.621 Km² (0.0710 %)

Figura 32: Factor Topográfico en función de la Pendiente





5.1.4. FACTOR DE COBERTURA VEGETAL – “C”

Para el procesamiento de esta variable, se tomó en cuenta primero el cálculo de NDVI (Índice de vegetación de diferencia Normalizada) teniendo como base la información proporcionada por la plataforma USGS del periodo del 2000 al 2020 que representa en la **Tabla N°32**. Posteriormente se realizará la estimación del Factor “C” con la formula establecida.

TABLA N° 32: Información de imágenes satélites Landsat 7 y 8.

Año	Fecha	Imagen	Sensor	Resolución	Ruta	Fila
2000	31/10/2000	Landsat 07	ETM	30 m X 30 m	10	64
	26/06/2000					
2005	30/11/2005	Landsat 07	ETM	31 m X 30 m	10	64
	9/07/2005					
2010	8/08/2010	Landsat 07	ETM	32 m X 30 m	10	64
	5/06/2010					
2015	22/08/2015	Landsat 07	ETM	33 m X 30 m	10	64
	19/06/2015					
2020	21/04/2020	Landsat 08	ETM	34 m X 30 m	10	64
	11/08/2020					

TABLA N° 33: Resultados del cálculo NDVI desde 2000, 2005, 2010, 2015 y 2020.

Año	Fecha	Imagen	NDVI	
			Minimo	Maximo
2000	31/10/2000	Landsat 07	-0.192488	0.661538
	25/06/2000		-0.398058	0.567839
2005	9/07/2005	Landsat 07	-0.2375	0.69697
	30/11/2005		-0.226994	0.639535
2010	5/06/2010	Landsat 07	-0.346535	0.755102
	8/08/2010		-0.205298	0.727273
2015	19/06/2015	Landsat 07	-0.30855	0.565217
	22/08/2015		-0.271028	0.685279
2020	21/04/2020	Landsat 08	-0.0251226	0.632118
	11/08/2020		-0.0379345	0.634239

TABLA N° 34: NDVI Anual 2000 - 2005

Año	NDVI	
	Maximo	Minimo
2000	0.567839	-0.398058
2005	0.69697	-0.2375
2010	0.755102	-0.346535
2015	0.565217	-0.30855
2020	0.634239	-0.0379345

TABLA N° 35: Clasificación de rango de NDVI – Año 2000.

Clasificación	Valor	Area Km	Area %
Nubes y agua (NA)	< 0.01	1300.40	35.55
Suelo sin vegetación (SV)	0.01 - 0.1	501.05	13.70
Vegetación Ligera (VL)	0.1 - 0.2	1196.53	32.71
vegetación Mediana (VM)	0.2 - 0.4	646.06	17.66
Vegetación Alta (VA)	> 0.4	13.47	0.37
Total		3657.51	100.00

Figura 33: Gráfico de barras - NDVI (Año 2000).

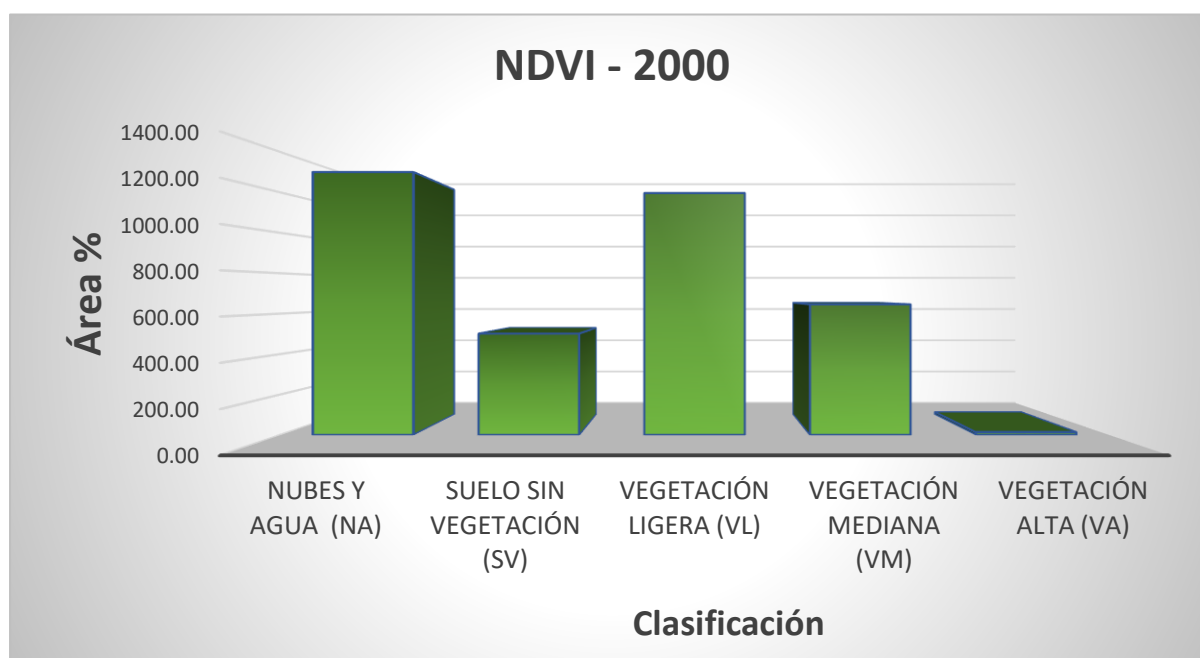


TABLA N° 36: Clasificación de rango de NDVI – Año 2005

Clasificación	Valor	Area Km	Area %
Nubes y agua (NA)	< 0.01	578.93	15.83
Suelo sin vegetación (SV)	0.01 - 0.1	462.07	12.63
Vegetación Ligera (VL)	0.1 - 0.2	661.68	18.09
vegetación Mediana (VM)	0.2 - 0.4	1690.95	46.23
Vegetación Alta (VA)	> 0.4	263.71	7.21
Total		3657.51	100.00

Figura 34: Gráfico de barras - NDVI (Año 2005).

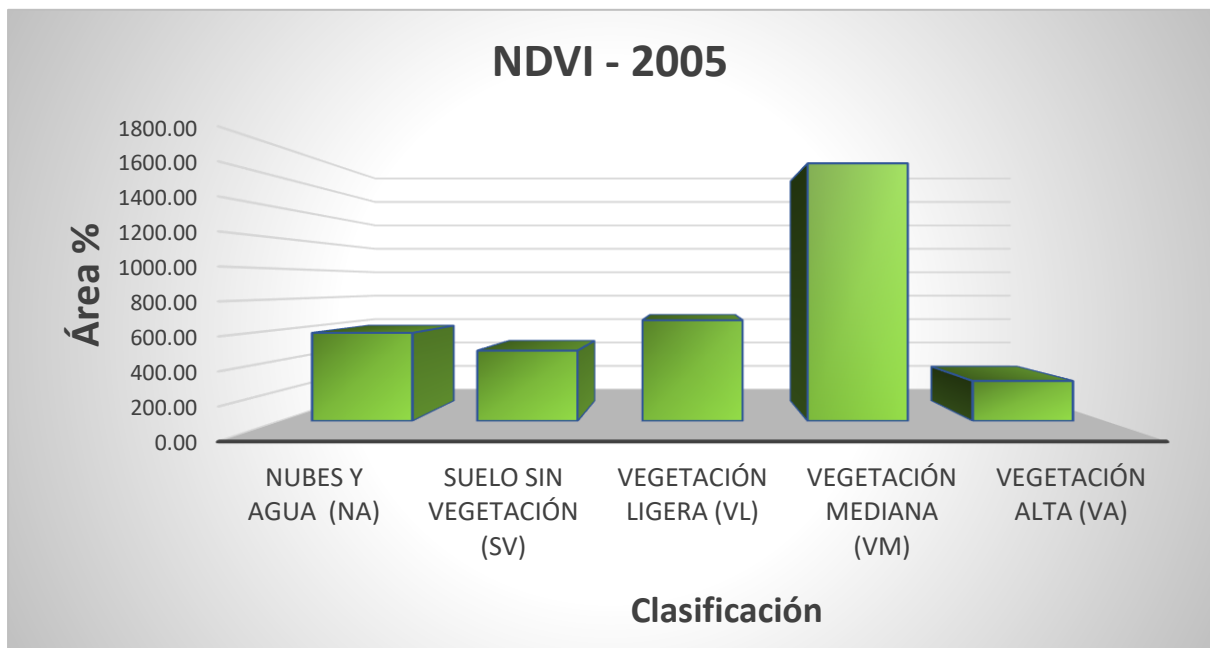


TABLA N° 37: Clasificación de rango de NDVI – Año 2010

Clasificación	Valor	Area Km	Area %
Nubes y agua (NA)	< 0.01	2148.80	58.75
Suelo sin vegetación (SV)	0.01 - 0.1	450.28	12.31
Vegetación Ligera (VL)	0.1 - 0.2	421.09	11.51
vegetación Mediana (VM)	0.2 - 0.4	543.53	14.86
Vegetación Alta (VA)	> 0.4	93.81	2.56
Total		3657.50	100.00

Figura 35: Gráfico de barras - NDVI (Año 2010).

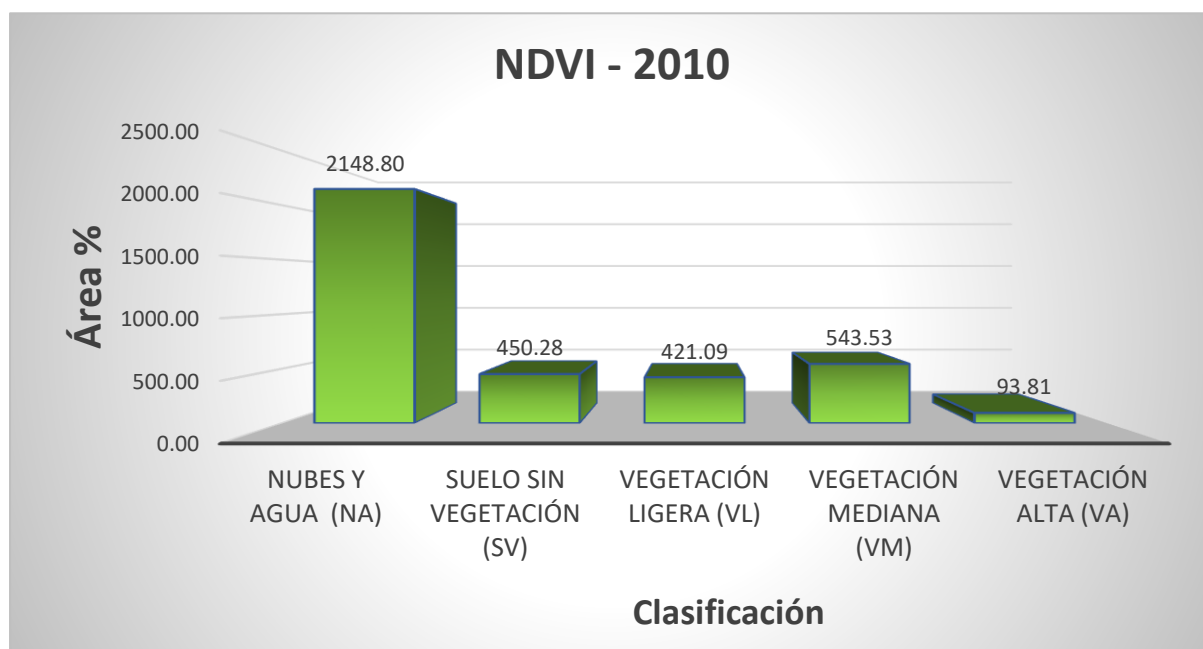


TABLA N° 38: Clasificación de rango de NDVI – Año 2015

Clasificación	Valor	Area Km	Area %
Nubes y agua (NA)	< 0.01	1882.63	51.47
Suelo sin vegetación (SV)	0.01 - 0.1	466.73	12.76
Vegetación Ligera (VL)	0.1 - 0.2	717.34	19.61
vegetación Mediana (VM)	0.2 - 0.4	579.41	15.84
Vegetación Alta (VA)	> 0.4	11.40	0.31
Total		3657.50	100.00

Figura 36: Gráfico de barras - NDVI (Año 2015).

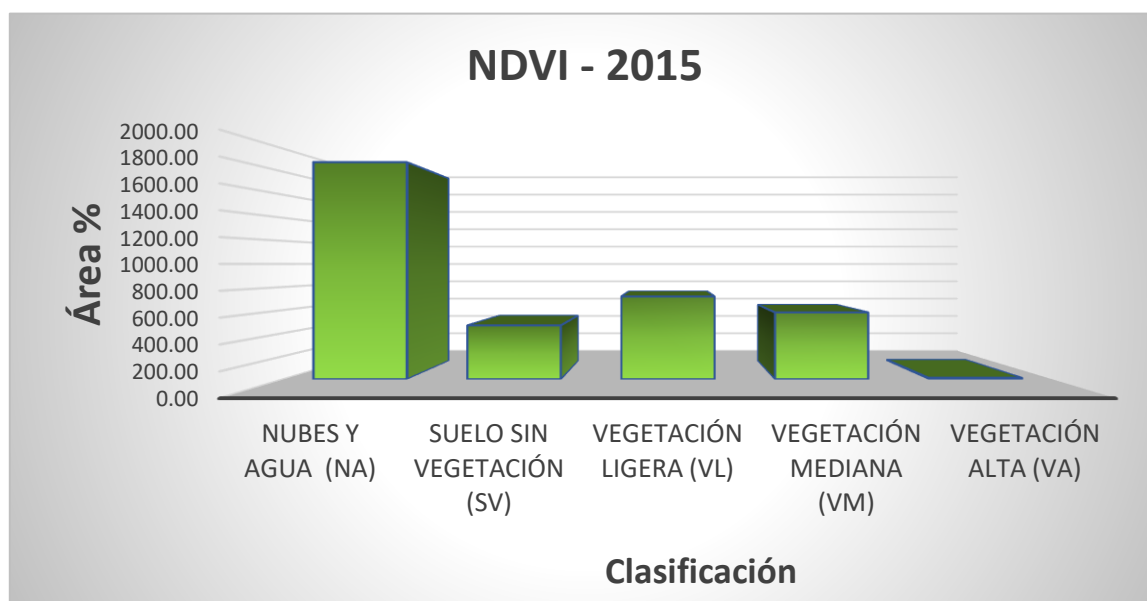
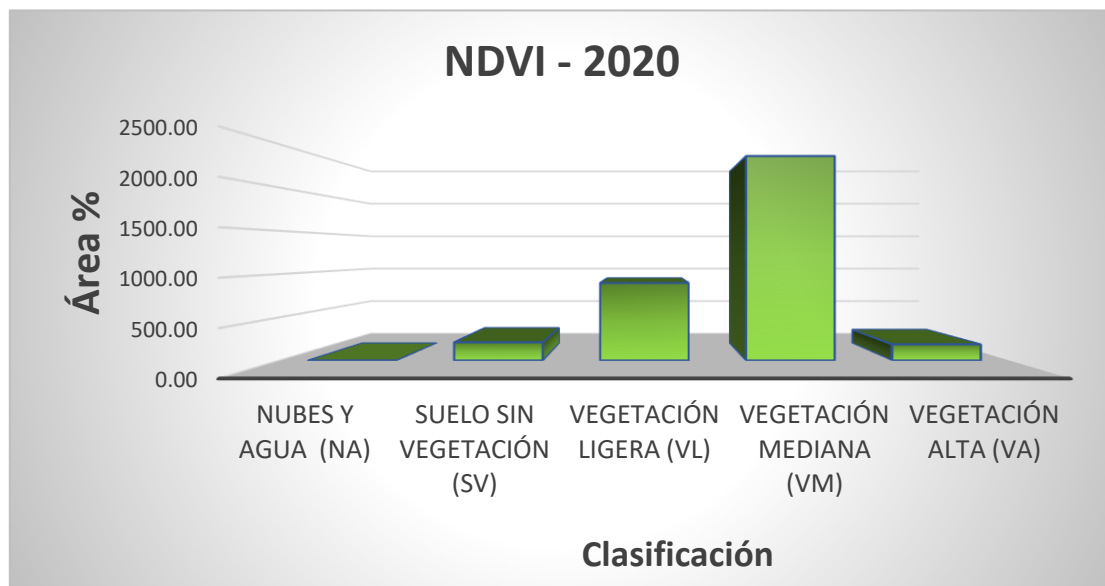


TABLA N° 39: Clasificación de rango de NDVI – Año 2020

Clasificación	Valor	Area Km	Area %
Nubes y agua (NA)	< 0.01	0.03	0.00
Suelo sin vegetación (SV)	0.01 - 0.1	210.52	5.76
Vegetación Ligera (VL)	0.1 - 0.2	896.47	24.51
vegetación Mediana (VM)	0.2 - 0.4	2364.16	64.64
Vegetación Alta (VA)	> 0.4	186.33	5.09
Total		3657.50	100.00

Figura 37: Gráfico de barras - NDVI (Año 2020).



Los resultados obtenidos para el Factor C para la cuenca Rio Huancabamba entre el periodo 2000 – 2020, se encuentra oscilando entre 0.012245 valor mínimo y 0.069173 valor máximo. Así mismo según la clasificación de rangos en relación al nivel de erosión se identifica nivel **MODERADO** según la siguiente clasificación:

TABLA N° 40: Clasificación anual en relación al Factor C.

AÑO	FACTOR C		NIVEL EROSION
	MAXIMO	MINIMO	
2000	0.06917	0.02205	MODERADO
2005	0.061778	0.015152	MODERADO
2010	0.067327	0.012245	MODERADO
2015	0.064972	0.021739	MODERADO
2020	0.051282	0.018542	MODERADO

TABLA N° 41: Factor C – 2000

AÑO	FACTOR C		Area Km	Area %
	MINIMO	MAXIMO		
2000				
1	0.02205	0.03827	384.00	10.50
2	0.03828	0.04375	1297.25	35.47
3	0.04378	0.05040	751.69	20.55
4	0.05040	0.05833	585.47	16.01
5	0.05835	0.06917	639.08	17.47
Total			3657.50	100

Figura 38: Gráfico de barras – Factor C – Año 2000

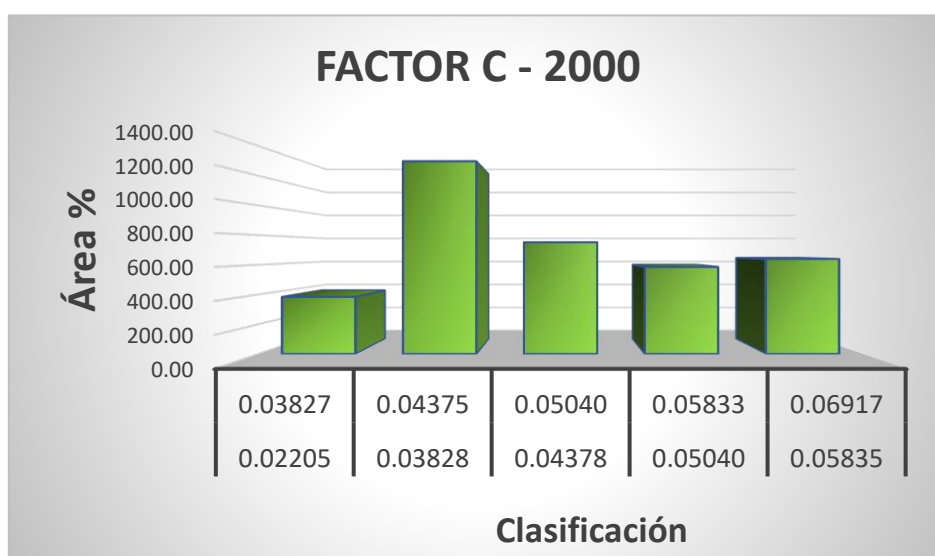


TABLA N° 42: Factor "C" – 2005

AÑO	FACTOR C		Area Km	Area %
	MINIMO	MAXIMO		
2005				
1	0.015152	0.033871	874.61	23.91
2	0.033884	0.04	1071.43	29.29
3	0.040116	0.045641	735.94	20.12
4	0.045652	0.051556	596.25	16.30
5	0.051557	0.061778	379.28	10.37
Total			3657.50	100

Figura 39: Gráfico de barras – Factor C – Año 2005

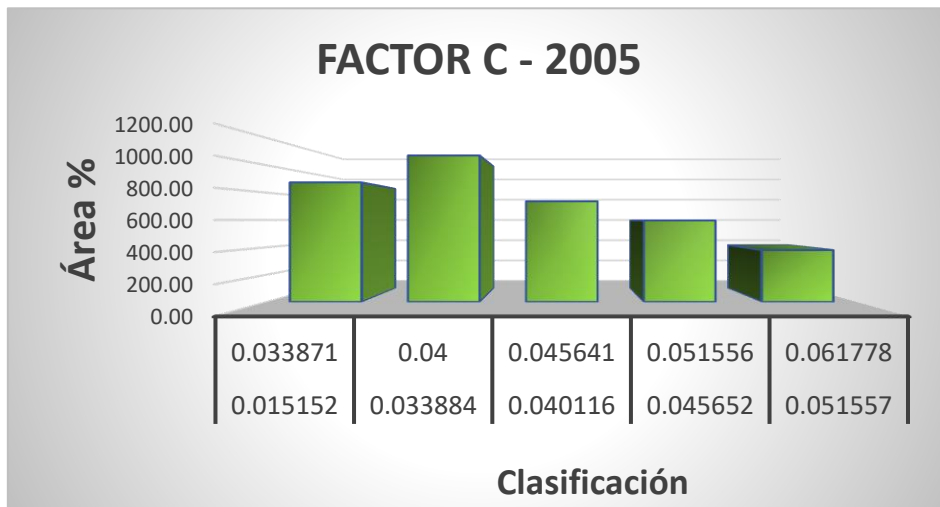


TABLA N° 43: Factor "C" – 2010

AÑO	FACTOR C		Area Km	Area %
	MINIMO	MAXIMO		
2010				
1	0.012245	0.034586	267.19	7.31
2	0.034591	0.04186	513.58	14.04
3	0.041872	0.048315	603.08	16.49
4	0.048319	0.054046	969.31	26.50
5	0.054047	0.067327	1304.35	35.66
Total			3657.51	100

Figura 40: Gráfico de barras – Factor C – Año 2010

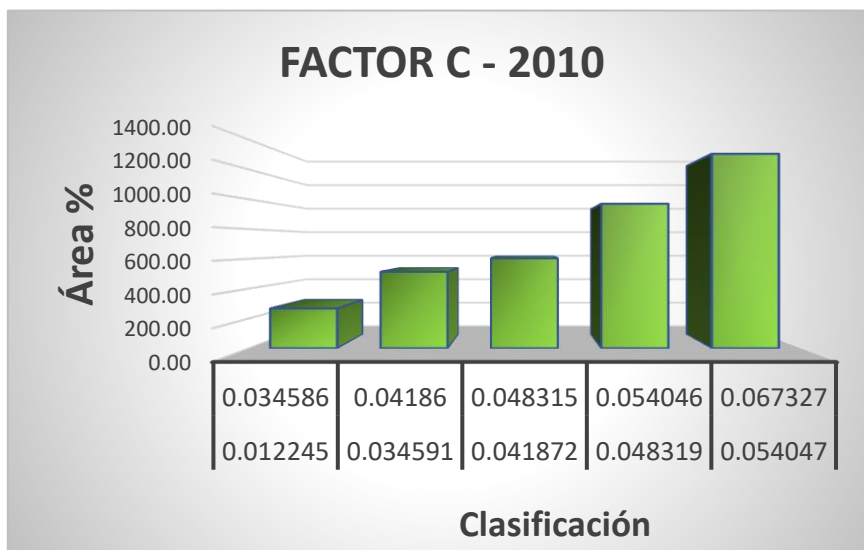


TABLA N° 44: Factor "C" – 2015

AÑO 2015	FACTOR C		Area Km	Area %
	MINIMO	MAXIMO		
1	0.021739	0.037949	392.57	10.73
2	0.037952	0.044318	850.04	23.24
3	0.044324	0.050198	686.55	18.77
4	0.050198	0.054723	718.51	19.64
5	0.054724	0.064972	1009.84	27.61
Total			3657.50	100

Figura 41: Gráfico de barras – Factor C – Año 2015

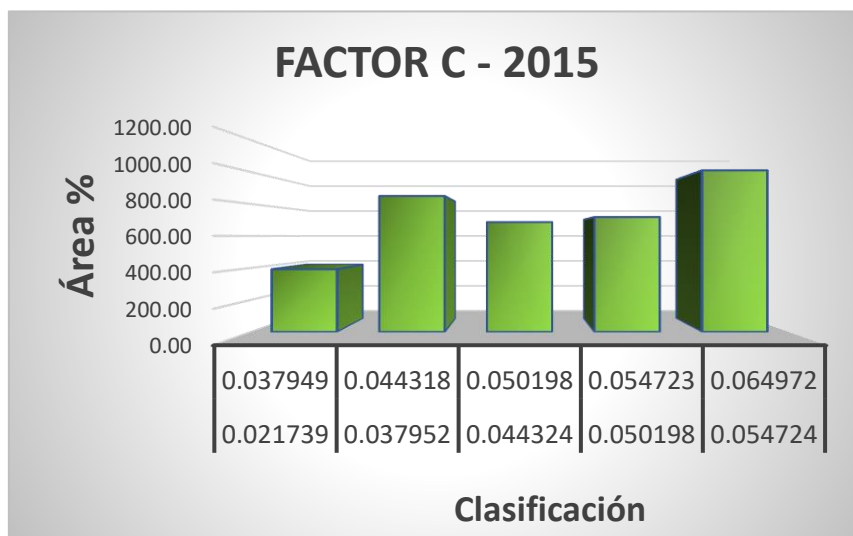
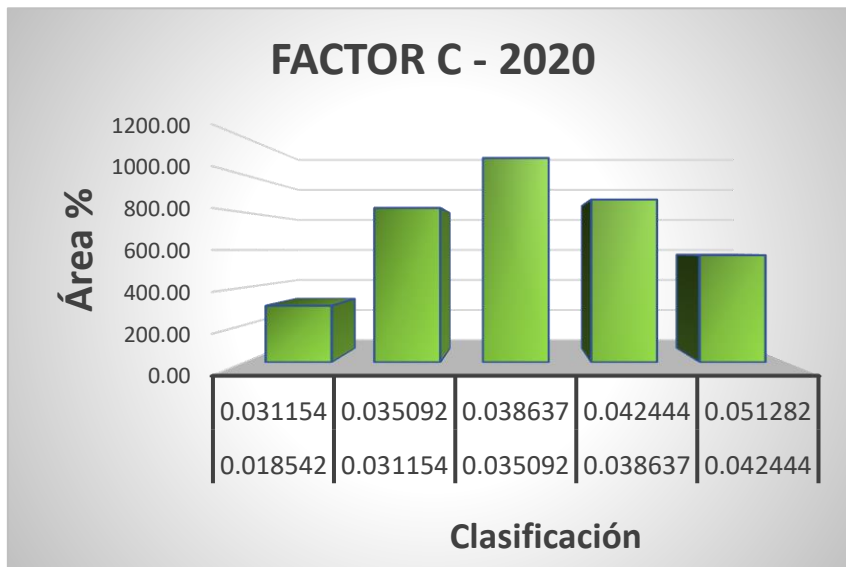


TABLA N° 45: Factor "C" – 2020

AÑO 2020	FACTOR C		NIVEL EROSION	Area Km	Area %
	MINIMO	MAXIMO			
1	0.018542	0.031154	BAJO	302.43	8.27
2	0.031154	0.035092		824.46	22.54
3	0.035092	0.038637		1090.23	29.81
4	0.038637	0.042444		868.68	23.75
5	0.042444	0.051282		571.71	15.63
Total			3657.50	100	

Figura 42: Gráfico de barras – Factor C – Año 2020



5.1.5. FACTOR DE CONSERVACIÓN DE PRACTICAS – “P”

A lo largo de los estudios ambientales realizado en la cuenca Rio Huancabamba no registra ninguna propuesta para la conservación del suelo, por eso se le considera el valor 01 al factor P.

5.2. EROSIÓN ACTUAL

A través del análisis de la erosión actual en el periodo 2000-2020, se observa una variabilidad en los niveles de pérdida de suelo, evidenciando tendencias que pueden estar relacionadas con factores como el cambio en el uso del suelo, la cobertura vegetal y la implementación de medidas de conservación.

Durante los años 2000 a 2015, la erosión hídrica se mantuvo en un nivel **alto**, con valores que oscilaron entre 12.87 y 19.35 Tn/Ha*Año. Esta tendencia sugiere una alta susceptibilidad del suelo a la erosión, posiblemente influenciada por factores como la deforestación, la actividad agropecuaria intensiva y eventos climáticos extremos. La pérdida de suelo en estos niveles no solo compromete la fertilidad del suelo, sino que también puede generar impactos negativos en los cuerpos de agua cercanos debido a la sedimentación y el arrastre de partículas.

No obstante, en el año 2020 se evidencia una reducción significativa en la tasa de erosión actual, alcanzando un nivel **leve** de 4.99 Tn/Ha*Año. Este cambio podría atribuirse a la adopción de estrategias de conservación del suelo, como la reforestación, la implementación de terrazas agrícolas o el uso de cultivos de cobertura. A pesar de esta disminución, es fundamental considerar que la erosión potencial sigue siendo elevada en la región, lo que indica que, sin prácticas adecuadas de manejo, los niveles de erosión podrían incrementarse nuevamente en el futuro.

TABLA N° 46: Tabla de Clase de erosión en relación a la Tasa (Tn/Ha/año)

CODIGO	CLASE	TASA DE EROSION (TN/HA)
1	Muy Leve	0 a 2
2	Leve	2 a 5
3	Moderado	5 a 10
4	Alto	10 a 50
5	Severa	50 a 100
6	Muy severa	100 a 500
7	Catastrófica	>500

Fuente: (R.C.P. Morgan, 2005).

TABLA N° 47: Erosión Hídrica 2000 – 2020.

PERDIDA DE SUELO (2000 - 2020) Tn/Ha* año				
AÑO	EROSIÓN ACTUAL	CATEGORIA	EROSIÓN POTENCIAL	CATEGORIA
2000	19.3589	ALTO	300.704	MUY SEVERA
2005	13.4515	ALTO	267.598	MUY SEVERA
2010	12.8749	ALTO	214.457	MUY SEVERA
2015	13.2449	ALTO	224.532	MUY SEVERA
2020	4.99275	LEVE	111.358	MUY SEVERA

TABLA N° 48: Erosión Actual – Año 2000.

AÑO 2000	Erosion Actual - EA		NIVEL EROSION	Area Km	Area %
	MINIMO	MAXIMO			
1	0	2		2749.08	75.44
2	2	5		850.18	23.33
3	5	8	ALTO	40.15	1.10
4	8	10		3.59	0.10
5		> 10		1.19	0.03
TOTAL				3644.18	100

TABLA N° 49: Erosión Actual – Año 2005.

AÑO 2005	Erosion Actual - EA		NIVEL EROSION	Area Km	Area %
	MINIMO	MAXIMO			
1	0	2		2562.78	70.33
2	2	5		1045.37	28.69
3	5	8	ALTO	47.97	1.32
4	8	10		1.27	0.03
5		> 10		0.15	0.00
TOTAL				3657.54	100

TABLA N° 50: Erosión Actual – Año 2010.

AÑO 2010	Erosion Actual - EA		NIVEL EROSION	Area Km	Area %
	MINIMO	MAXIMO			
1	0	2		3215.429844	88.23
2	2	5		423.4396875	11.62
3	5	8	ALTO	18.39641675	0.50
4	8	10		0.24515625	0.01
5		> 10		0.02796875	0.00
TOTAL				3657.54	100

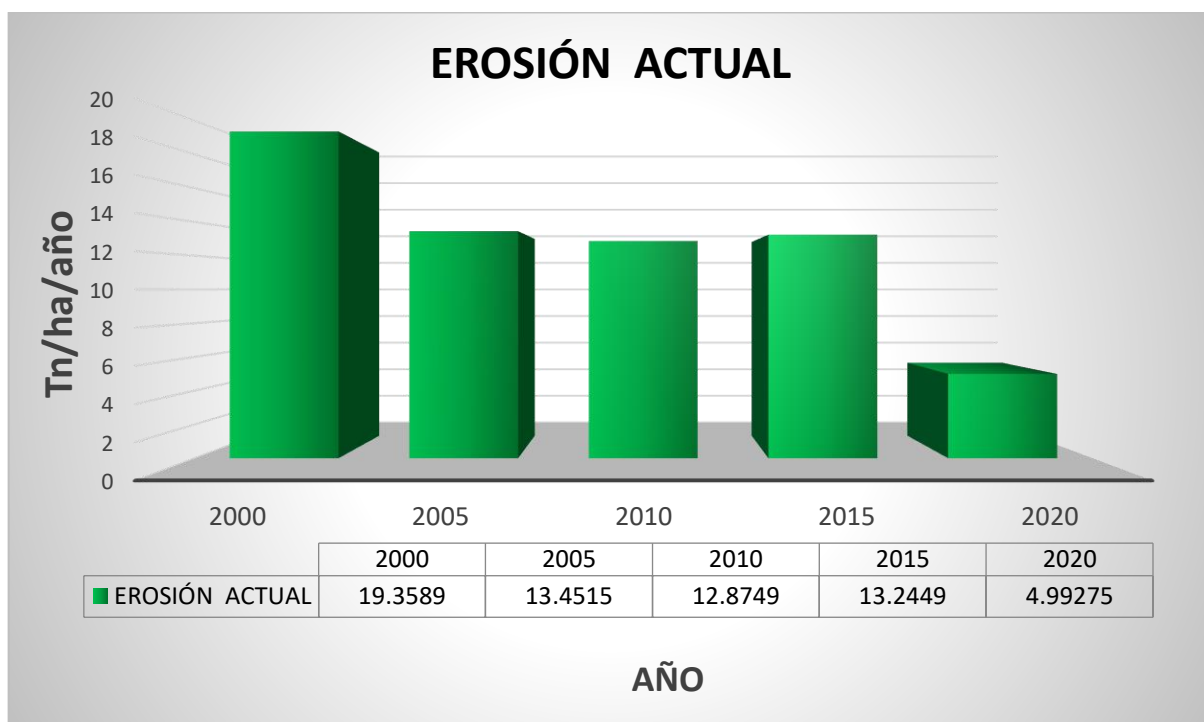
TABLA N° 51: Erosión Actual – Año 2015.

AÑO	Erosion Actual - EA		NIVEL EROSION	Area Km	Area %
	MINIMO	MAXIMO			
2015					
1	0	2		3244.44	89.03
2	2	5		398.93	10.95
3	5	8	ALTO	13.96	0.38
4	8	10		0.17	0.00
5		> 10		0.03	0.00
TOTAL				3657.54	100

TABLA N° 52: Erosión Actual – Año 2020.

AÑO	Erosion Actual - EA		NIVEL EROSION	Area Km	Area %
	MINIMO	MAXIMO			
2020					
1	0.0000	0.1950		1060.55	29.10
2	0.1950	0.4096		1352.24	37.11
3	0.4096	0.6631	LEVE	860.79	23.62
4	0.6631	1.0922		335.69	9.21
5	1.0922	4.9314		48.26	1.32
TOTAL				3657.54	100

Figura 43: Gráfico de barras en relación al nivel de erosión Actual (2000 – 2020)



5.3. EROSIÓN POTENCIAL

La erosión hídrica potencial representa el nivel máximo de pérdida de suelo que podría ocurrir en una zona si no existieran medidas de conservación o cobertura vegetal que reduzcan el impacto del agua sobre la superficie terrestre. Este indicador es fundamental para evaluar la vulnerabilidad del suelo ante procesos erosivos y establecer estrategias de manejo adecuadas

En el análisis de la erosión potencial entre los años 2000 y 2020, se observa que los valores se encuentran en niveles **muy severos**, con una tendencia a la disminución a lo largo del tiempo. En el año 2000, la erosión potencial alcanzó un valor de **300.70 Tn/Ha/Año**, lo que la clasifica en la categoría **muy severa** (100-500 Tn/Ha/Año). Durante los siguientes años, aunque se registraron descensos en la tasa de erosión potencial, los valores permanecieron elevados, con **267.59 Tn/Ha/Año** en 2005, **214.45 Tn/Ha*Año en 2010**, y **224.53 Tn/Ha/Año en 2015**, manteniéndose dentro de la misma categoría.

Para el año 2020, la erosión potencial presentó una reducción significativa, alcanzando **111.35 Tn/Ha/Año**, aunque aún dentro del rango de **muy severa**. Esta disminución podría estar relacionada con la implementación de medidas de conservación del suelo, el aumento de la cobertura vegetal o cambios en el uso del suelo que favorecen la retención y protección de la superficie. Sin embargo, el hecho de que la erosión potencial continúe siendo alta indica que, sin un adecuado manejo del territorio, el riesgo de erosión extrema sigue latente. El estudio de la erosión potencial permite entender la capacidad natural del suelo para resistir la erosión y la importancia de mantener estrategias de mitigación para evitar su degradación.

TABLA N° 53: Erosión Potencial – Año 2000.

AÑO 2000	Erosion Potencial - EP		NIVEL EROSION	Área Km	Área %
	MINIMO	MAXIMO			
1	0	2	MUY SEVERA	80.49	2.20
2	2	5		116.89	3.20
3	5	10		285.45	7.80
4	10	50		2575.23	70.41
5	50	100		549.69	15.03
6	> 300.703827			49.785948	1.36
Total				3657.54	100.00

TABLA N° 54: Erosión Potencial – Año 2005

AÑO 2005	Erosion Potencial - EP		NIVEL EROSION	Área Km	Área %
	MINIMO	MAXIMO			
1	0	2	MUY SEVERA	74.70	2.04
2	2	5		102.35	2.80
3	5	10		227.05	6.21
4	10	50		2190.13	59.88
5	50	100		964.62	26.37
6	100	267.60		98.695948	2.70
Total				3657.54	100.00

TABLA N° 55: Erosión Potencial – Año 2010

AÑO 2010	Erosion Potencial - EP		NIVEL EROSION	Área Km	Área %
	MINIMO	MAXIMO			
1	0	2	MUY SEVERA	112.59	3.08
2	2	5		201.66	5.51
3	5	10		452.11	12.36
4	10	50		2710.97	74.12
5	50	100		164.01	4.48
6	100	214.5		16.200	0.44
Total				3657.54	100.00

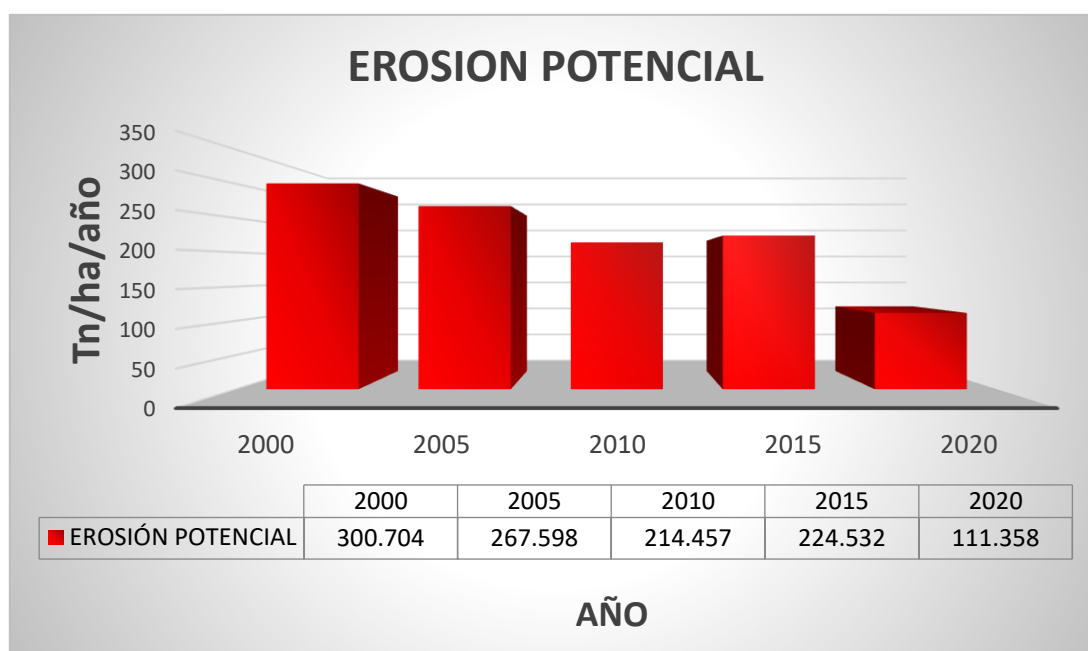
TABLA N° 56: Erosión Potencial – Año 2015

AÑO 2015	Erosion Potencial - EP		NIVEL EROSION	Área Km	Área %
	MINIMO	MAXIMO			
1	0	2	MUY SEVERA	110.01	3.01
2	2	5		199.43	5.45
3	5	10		492.01	13.45
4	10	50		2648.66	72.42
5	50	100		190.02	5.20
6	100	224.53		17.412198	0.48
Total				3657.54	100.00

TABLA N° 57: Erosión Potencial – Año 2020

AÑO 2020	Erosion Potencial - EP		NIVEL EROSION	Área Km	Área %
	MINIMO	MAXIMO			
1	0	2	ALTO	294.143594	8.04
2	2	5		712.855625	19.49
3	5	10		1208.98719	33.05
4	10	50		1438.71017	39.34
5	50	100		2.7559375	0.08
6	100	111.36		0.0865625	0.00
Total				3657.54	100.00

Figura 44: Gráfico de barras en relación al nivel de Erosión Potencial (2000 – 2020).



5.4. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados del factor R en este estudio de la cuenca del río Huancabamba muestran una variabilidad significativa a lo largo del tiempo, con valores máximos que oscilan entre 1041.34 y 1220.33 MJmm/ha/año *en los años 2000 y 2005, respectivamente, y una tendencia decreciente en los periodos posteriores, alcanzando un valor mínimo de 428.052 MJmm/ha/año en 2020.* Estos valores reflejan una relación directa entre la erosividad y la cantidad de precipitación en la región, lo que concuerda con estudios previos que sugieren que la precipitación intensa contribuye a una mayor erosión hídrica (Agama Melendez, 2022).

Se observa que los valores más altos del factor R corresponden a los años con mayores precipitaciones acumuladas, lo cual la erosividad de la lluvia depende directamente de la intensidad y duración de los eventos de. En este sentido, es posible asumir que en los años 2000 y 2005 se presentaron eventos pluviométricos significativos que incrementaron la energía cinética de las lluvias, aumentando así su capacidad erosiva en la cuenca. Por otro lado, la disminución de los valores del factor R en los años 2010, 2015 y 2020 podría estar asociada a una reducción en la cantidad de eventos de precipitación intensa o a cambios en los patrones climáticos de la región. (Diaz R. & Perez J, 2018) encontraron tendencias similares en la cuenca del río Piura, donde la erosividad de la lluvia disminuyó en ciertos periodos debido a la variabilidad climática interanual y a posibles influencias de fenómenos como El Niño y La Niña.

La comparación con estudios previos en cuencas cercanas refuerza la importancia de considerar la variabilidad climática al analizar la erosividad de la lluvia y su impacto en la erosión hídrica. Resultados obtenidos en estudios similares en la región hidrográfica del Pacífico indican que la metodología basada en la ecuación de (Wischmeier & Smith, 1978) combinada con el uso de SIG y registros de precipitación, es adecuada para evaluar la evolución del factor R en el tiempo. Esto permite inferir que las tendencias observadas en este estudio son consistentes con la dinámica erosiva esperada en cuencas con características climáticas y geomorfológicas similares.

El **factor K** representa la susceptibilidad del suelo a la erosión, determinada por sus propiedades físicas y químicas, como la textura, estructura, contenido de materia orgánica y permeabilidad. En la cuenca del río Huancabamba, los valores obtenidos oscilan entre **0.015 y 0.017**, lo que indica una **baja a moderada susceptibilidad** a la erosión, según la clasificación de (Wischmeier & Smith, 1978). La composición del suelo en relación a la textura, demuestra que los valores bajos de **K** suelen estar asociados con **suelos arcillosos**, que presentan alta cohesión y resistencia a la desagregación. Por el contrario, valores más elevados están vinculados a **suelos limosos o franco-limosos**, los cuales son más susceptibles a la erosión debido a su menor estabilidad estructural y rápida dispersión ante la acción del agua (R.C.P. Morgan, 2005). Se encontró que los suelos con **alta proporción de limo** presentaban **mayores tasas de erosión**, ya que las partículas limosas son fácilmente transportadas por la escorrentía. En contraste, suelos con mayor contenido de arcilla y materia orgánica mostraron menor erodabilidad, debido a la formación de agregados estables que resisten mejor el impacto de las gotas de lluvia. En la presente investigación, la distribución espacial del **factor K** revela que las zonas con mayor susceptibilidad a la erosión coinciden con aquellas donde predominan suelos de textura **franco-limosa y limosa**, lo que sugiere la necesidad de estrategias de conservación como la implementación de **coberturas vegetales permanentes** o **prácticas de manejo de suelos** que reduzcan la erosión hídrica.

El **factor LS** representa el impacto de la topografía en la erosión del suelo, combinando la influencia de la **longitud de la pendiente (L)** y la **inclinación del terreno (S)**. En la cuenca del río Huancabamba, los valores obtenidos varían entre **0 y 17.314**, con mayores valores concentrados en zonas de alta pendiente. Los estudios han demostrado que los valores altos de **LS** están directamente relacionados con un mayor transporte de sedimentos, ya que en terrenos inclinados la velocidad del agua es mayor, aumentando la capacidad erosiva del flujo superficial. En este estudio, la mayor concentración de valores **LS altos** se encuentra en las zonas montañosas y áreas de fuerte pendiente, lo que

concuenda con la literatura sobre procesos erosivos en cuencas de montaña. La distribución espacial del **factor LS** en esta investigación resalta la importancia de aplicar medidas de conservación de suelos, como la construcción de **terrazas agrícolas** y la implementación de **barreras vivas** en zonas de alta pendiente para reducir la velocidad del escurrimiento superficial y minimizar la pérdida de suelo.

El **factor C** representa la influencia de la cobertura vegetal en la reducción de la erosión. En este estudio, los valores obtenidos muestran un comportamiento estable en el tiempo, con variaciones entre **0.012 y 0.069**, clasificando el nivel de erosión como **moderado** en todos los periodos analizados (2000-2020). El efecto de la cobertura vegetal en la erosión ha sido ampliamente documentado en la literatura. Según (Agama Melendez, 2022), suelos con escasa vegetación son altamente susceptibles a la erosión, ya que la falta de raíces y materia orgánica reduce la estabilidad del suelo, facilitando su arrastre por la escorrentía. En la cuenca del río Huancabamba, la persistencia de valores moderados de **C** sugiere que la cobertura vegetal aún cumple un rol importante en la regulación de la erosión, aunque podría estar en riesgo si no se implementan estrategias de conservación de suelos y reforestación en las áreas más afectadas.

El análisis de los factores de erosión en la cuenca del río Huancabamba muestra que los principales determinantes del proceso erosivo son la **pendiente del terreno (LS)** y la **erosividad de la lluvia (R)**, mientras que la cobertura vegetal (C) juega un papel moderador en la dinámica de la erosión.

Erosión Actual y Potencial Los resultados de la erosión actual indican que, en los años 2000, 2005, 2010 y 2015, la categoría predominante fue "Alta", con valores máximos de 19.35 t/ha/año en el año 2000. Sin embargo, en 2020 se observa una reducción significativa de la erosión actual (4.99 t/ha/año), clasificándose como "Leve". Esto sugiere una posible mejora en la cobertura vegetal o la implementación de medidas de conservación de suelos. Por otro lado, la erosión potencial se mantiene en la categoría "Muy Severa" en todos los años analizados, con valores que oscilan entre 300.7 y 111.3 t/ha/año, lo que

evidencia la alta vulnerabilidad de la cuenca si no existiera vegetación que reduzca la erosión.

Estudios previos en zonas cercanas, como el de (Cordova Elera, 2015) en la cuenca del río Chira, han reportado valores similares de erosión potencial, concluyendo que la implementación de estrategias de manejo sostenible del suelo es fundamental para evitar el aumento de la erosión. La tendencia decreciente en la erosión actual observada en este estudio sugiere que la vegetación ha desempeñado un rol clave en la mitigación de los procesos erosivos, lo que concuerda con los resultados obtenidos en estudios de conservación de suelos en la región hidrográfica del Pacífico.

VI. CONCLUSIONES

1. Los resultados del modelo RUSLE mostraron que la tasa de erosión hídrica varía entre 4.99 t/ha/año (mínimo en 2020) y 19.35 t/ha/año (máximo en 2000), lo que indica una disminución de la erosión en los últimos años. Las zonas más críticas, con tasas de erosión superiores a 19 t/ha/año, se encuentran en áreas de alta pendiente y con escasa cobertura vegetal. La categoría predominante de erosión actual en los años 2000, 2005, 2010 y 2015 fue "Alta", mientras que en 2020 se redujo a "Leve", lo que sugiere la influencia positiva de la cobertura vegetal y posibles medidas de conservación implementadas en la cuenca.
2. El análisis de los factores que influyen en la erosión hídrica en la cuenca del río Huancabamba revela tendencias importantes a lo largo del periodo estudiado. La **erosividad de la lluvia (R)** alcanzó su valor máximo en el año 2005 con un valor de 855.3965 mm, lo que indica que este fue el año con mayor impacto de las precipitaciones en la erosión del suelo. Sin embargo, a partir de ese año, se observa una tendencia a la disminución de la erosividad, con valores significativamente más bajos en 2020 con un valor de 257.66 mm, lo que sugiere una reducción en el riesgo de erosión hídrica asociada a la lluvia. El **factor de erodabilidad del suelo (K)** muestra que existen áreas con diferentes niveles de susceptibilidad a la erosión, variando desde suelos poco erodables hasta otros extremadamente erodables. Esta variabilidad resalta la importancia de considerar las características del suelo en la gestión del riesgo de erosión. En cuanto, a la influencia del relieve, el **factor LS** presenta valores que oscilan entre 0 y 17.314, lo que evidencia la existencia de zonas con pendientes pronunciadas que pueden incrementar la velocidad del escurrimiento y, por lo tanto, el transporte de sedimentos. El **factor de cobertura y manejo del suelo (C)** ha mantenido un nivel de erosión **moderado** en todos los años analizados, con una ligera tendencia a la reducción en 2020, lo que sugiere que la vegetación ha desempeñado un papel clave en la disminución del impacto erosivo en la cuenca.

3. En el análisis cuantitativo de la erosión hídrica del suelo refleja la pérdida real de suelo teniendo en cuenta la cobertura vegetal y las condiciones del uso del suelo. Observando un índice de degradación de “**alto**” que corresponde a los años 2000 (19.3589 Tn/Ha/año) – 2015 (13.2449 Tn/ha/año) y en el año 2020 (4.99275 Tn/Ha/año) se registra una disminución significativa denominándolo “**Leve**” lo que demuestra un indicio positivo resaltando la importancia de la cobertura vegetal.

VI. RECOMENDACIONES

Dado que la erosión actual es alta en la mayoría de los años analizados (2000-2015) y disminuye en 2020, se recomienda promover la reforestación con especies nativas y la implementación de barreras vivas para estabilizar el suelo para fomentar prácticas como terrazas de nivel y zanjas de infiltración en zonas con mayor pendiente, debido a los datos obtenidos del factor topográfico.

Se recomienda establecer estaciones meteorológicas adicionales en la cuenca para monitorear la erosividad de la lluvia, dado que el **factor R** varió significativamente entre los años analizados, alcanzando su máximo en 2005 y reduciéndose en 2020.

Se recomienda regular actividades agrícolas en zonas de alta susceptibilidad a la erosión, principalmente aquellas con valores altos del factor C (cobertura del suelo). Es importante incentivar el uso de cultivos de cobertura y rotación de cultivos para minimizar la degradación del suelo y tener planes de contingencia ante desastres naturales. Se deben desarrollar políticas de gestión integrada de la cuenca hidrográfica con la participación de comunidades locales, instituciones gubernamentales y académicas para mitigar la erosión a largo plazo. Implementar programas de educación ambiental enfocados en la conservación del suelo y manejo sostenible del agua en la región.

VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- Agama Melendez, M. F. (2022). *Estimación de los factores que influyen en la pérdida de los suelos mediante la USLE en la microcuenca San Alberto del distrito de Oxapampa*. Oxapampa. Obtenido de http://repositorio.undac.edu.pe/bitstream/undac/2457/1/T026_71220537_T.pdf
- Alarcon Linares, C. A., & Sanchez Altamiro, B. (2023). *Predicción de la erosión hídrica del suelo aplicando el método USLE en la subcuenca río Negro, Rioja, San Martín*. SAN MARTIN. Obtenido de <https://repositorio.ucss.edu.pe/handle/20.500.14095/2101>
- Bocanegra Alza, Y. A., & Guzman Ventura, Y. E. (2021). *Determinacion de la perdida de suelo por erosion hidrica en la cuenca del rio chicama,2021*. La libertad. Trujillo: Repositorio de la Universidad Nacional de Trujillo. Obtenido de <https://dspace.unitru.edu.pe/search?query=erosion%20hidrica>
- Brandão Santana, D., da Silva Rios, G., Expedito Lense, G. H., Rodrigo Brizolari, G., Araújo Franceschi, F. R., Bernardes Ayer, J. E., . . . Mincato, R. L. (2023). *Modelado de pérdidas de suelo por erosión hídrica en una zona cafetalera del sureste Brasil*. Brazil: Revista Brasileira de Geografia Fisica. doi:<https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.4.p2031-2046>
- Burga, J. J. (2023). *Evaluación de la Deposición Sedimentológica en la Subcuenca Racarrumi - Chancay-Lambayeque Utilizando la Aplicación del Modelo SWAT*. Universidad Señor de Sipan, Lambayeque, Chiclayo. Obtenido de <https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/11384/Burga%20Carrasco%20Jhonathan%20Janmarco.pdf?sequence=12>
- Casanova Ruiz, G., Delgado, D., & Panchama, R. (2023). *Estimacion de volumenes de sedimentos por erosion hidrica empleando el modelo Rusle en la cuenca de la provincia de Manabi, Ecuador*. Manabi, Ecuador. doi:10.4995/raet.2024.20147

- Cisnero, J., Cholaky, C., Cantero Gutierrez, A., Gonzalez, J., Reynero, M., Diez, A., & Bergesio, L. (2012). *Erosion Hidrica - Principios y tecnicas de manejo*. Cordoba, Argentina. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Jos-Cisneros/publication/261950035_Erosion_Hidrica_Principios_y_Tecnicas_de_Manejo/links/0deec5360142db3b03000000/Erosion-Hidrica-Principios-y-Tecnicas-de-Manejo.pdf
- Concesionaria Traslase Olmos & Argos Engineering & Proyectos. (2012). *Servicio de Levantamiento Topografico - Batimetrico para determinar la capacidad actual del almacenamiento del embalse Limón*.
- Concesionaria Traslase Olmos, Argos Engineering & Proyecto. (2023). *Servicio de levantamiento Topografico - Batimetrico para determinar la capacidad actual de almacenamiento del embalse Limón*. Lambayeque.
- Cordova Elera, Y. E. (2015). "Tasa de Erosión Hidrica en la microcuenca de la quebrada chaye grande de la Subcuenca del Rio Yapatera". Piura. Obtenido de https://core.ac.uk/download/pdf/250076721.pdf?utm_source=chatgpt.com
- Diaz R., A., & Perez J, L. (2018). Evaluación de la Erosión Hídrica en la Cuenca del Río Piura. *Revista de Geografía y Ordenamiento Territorial*. 10(2), págs. 45 - 60. doi:<https://doi.org/10.1016/j.rgot.2018.05.003>
- Elwell, H. A. (1978). Modelización de las pérdidas de suelo en el sur de África. *Instituto de Ingeniería Agrícola, Departamento de Conservación y Extensión, P.O. Box BW 330, Borrowdale, Salisbury, Rhodesia*, 23(2). doi:10.1016/0021-8634(78)90043-4
- Escobar Soldevilla, M. Y. (2019). *Mitigación de la erosión hídrica para la conservación del suelo en la subcuenca del río Ichu, Huancavelica*. HUANCVELICA. Obtenido de <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/4156>
- Funk, C., Peterson, P., Lansdsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., . . . Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, 2, 150066. doi:<https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>

- Gamboa Cruz, A. O. (2023). *“Estimación de la erosión hídrica aplicando la metodología RUSLE con técnicas de teledetección en la cuenca del río Tumbes 2000-2022”*. Tesis, Tumbes. Obtenido de <https://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/20.500.12874/64161>
- Garcia Rodriguez, J. L. (2011). *Procesos Erosivos - Primera Parte*. Universidad Politecnica de Madrid E.T.S de Ingenieros de los montes., Tuxla Rodriguez. Obtenido de https://imta.gob.mx/potamologia/images/stories/ponencias_tercer_seminario/dr_jose_garcia_procesos_erosivos/procesos_erosivos_modelos_2.pdf
- Ibañez Asensio, S., Moreno Ramon , H., & Gisbeth Blanquer , J. M. (2012). *Ecuación Universal de Perdidas de suelo (USLE)*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del medio natural. Obtenido de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/16849/AD%20USLE.pdf?sequence=1>
- Lopez Perez, A., Martinez Menes, M. R., & Fernandez Reynoso, D. S. (25 de Julio de 2014). Priorización de areas de intervención mediante analisis morfometrico e indice de vegetación. (121 - 137), pág. 17. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222015000100007&lng=es
- McCool, D. K., Brown, L. C., Foster, G. R., Mutchler, C. K., & Meyer, L. D. (1987). Factor de inclinación de la pendiente revisado para la ecuación universal de pérdida de suelo. *Transacciones de la ASAE*, 5(30), págs. 1387-1396. doi:10.13031/2013.30576
- McCool, D. K., Foster, G. R., Mutchler, C. K., & Meyer, L. D. (1989). Factor de Longitud de pendiente revisado para la Ecuación universal de la perdida de suelo. 5(32), págs. 1571-1576. doi:10.13031/2013.31192
- Moreno Avalos, L. M., & Suyon Solorizano, N. D. (2020). *Determinación del nivel de erosión hídrica aplicando el modelo RUSLE en la cuenca Jequetepeque,*

período 1997-2017. LA LIBERTAD, TRUJILLO. Obtenido de <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/29407>

Nasare de Letosa, A. P. (2022). *Análisis de la erosión del suelo en la cuenca de drenaje de Saldes*. Departamento de ingeniería civil y ambiental, Barcelona. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/377425>

Proyecto Especial Olmos Tinajones. (1994). *Estudio definitivo - Proyecto Hidroenergetico Olmos*. LAMBAYEQUE, CHICLAYO.

Puerta Tuesta , C. E. (2018). *Estimación de pérdida del suelo por erosión hídrica usando la Ecuación Universal de Pérdida de suelo (U.S.L.E) en la subcuenca chinata, Amazonas, 2018*. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas., Amazonas, Chachapoyas. Obtenido de <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/1543>

R.C.P. Morgan. (2005). *Soil Erosión & Conservation* (Vol. 3 Edición). Blackwell Publishing. doi:<https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.2005.0756f.x>

Renard, K. G., & Freimund, J. R. (1994). Uso de datos de precipitación mensual para estimar el factor R en el USLE revisado. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0022169494901104?via%3Dihub>

Reyes Aviles, I., Sotelo Ruiz, E. D., & Adame Martinez, S. (2024). *Identificación de zonas críticas por erosión hídrica en la cuenca del río tejalpa, centro de México*. Obtenido de <https://terralatinoamericana.org.mx/index.php/terra/article/view/1827/1886>

Rios Granda, C. A. (2023). *Estimación del grado de erosionabilidad del suelo en la subcuenca del río Cirato con la metodología USLE y herramienta de sistema de información geográfica*. Lambayeque. Lambayeque: Repositorio institucional. Obtenido de <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/11177>

Somoza, A., & Vasquez, P. S. (2023). *Erosion hidrica e intesificación agrícola considerando unidades ambientales. El caso de Tandil, Región Pampeana Argentina* (Vol. 62). Pampeana, Argentina: Cuadernos Geográficos,. doi:<https://doi.org/10.30827/cuadgeo.v62i1.24561>

Taypanta J, Jorge R. (Febrero de 1993). *Erosión Hidrica: Proceso, Factores y Formas*. Ecuador. Obtenido de https://books.google.es/books?id=a7EzAQAAMAAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Vélasquez Castro, K. B. (2019). *Analisis de los potenciales problemas de sedimentación y medidas de mitigación en la Presa Palo redondo*. LIMA. Obtenido de <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/14599>

Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses*. Obtenido de https://books.googleusercontent.com/books/content?req=AKW5QafGwL6VWfpc_QXxX2JP06hiY6O6VvYsAuj_Pr0KyBqMAOBwJQXe80ObxrN0lclDzRSgA-9ECGFKEwTLID3_IdSILI53iMXYkLQtmH3il5iFj_YZoJEPG_aJon4WmlC1SWQ6_x3Bcqj_ICTDNxwbof5RP9nW46Jdx2bPHcnHDb4VLw9OKtFN0TTcl-JSoeWkzqP1c

Zapata Alaya, J. C. (2023). *Aplicación del método RUSLE mediante SIG, para calcular la sedimentación por erosión hídrica en la cuenca Casitas-Bocapán, Tumbes, 2023*. Tumbes. Obtenido de <https://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/20.500.12874/65240>

Zaragoza Pulido, E. D. (2021). *Analisis multitemporal de la cobertura del terreno y su asociacion con tasas de erosion hidrica en acoculco, Puebla*. ACOCULCO, PUEBLA. Obtenido de https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/3597/1/tesis_Edgar%20Daniel%20Zaragoza%20Pulido_23%20ago%202021.pdf

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Precipitación Mensual 2000

Meses	Máximo	Minimo
Enero	104.297	2.85881
Febrero	195.703	66.2296
Marzo	209.132	72.5038
Abril	182.017	71.4068
Mayo	133.432	18.6087
Junio	74.1513	0.44487
Julio	28.5932	0.20303
Agosto	27.1131	3.14107
Setiembre	93.7196	24.5086
Octubre	23.7297	5.73707
Noviembre	34.4758	6.71088
Diciembre	89.4496	30.7188

Fuente: CHIRPS V 2.0

Anexo 2: Precipitación Mensual 2005

Meses	Máximo	Minimo
Enero	71.9475	1.94249
Febrero	162.774	57.8758
Marzo	223.13	129.889
Abril	125.852	25.452
Mayo	54.0915	5.58115
Junio	36.6425	0.331098
Julio	23.2732	0.141297
Agosto	16.6888	2.05929
Setiembre	35.4176	10.5586
Octubre	113.701	14.6634
Noviembre	59.0942	9.46913
Diciembre	100.485	24.4509

Fuente: CHIRPS V 2.0

Anexo 3: Precipitación Mensual 2010

Meses	Máximo	Minimo
Enero	95.1529	3.06349
Febrero	197.171	67.9194
Marzo	144.055	66.6797
Abril	117.573	38.3231
Mayo	64.0976	7.3788
Junio	55.9391	0.514235
Julio	37.388	0.0982392
Agosto	19.5044	1.83635
Setiembre	40.4218	14.5889
Octubre	94.7239	21.183
Noviembre	65.9717	13.9392
Diciembre	84.0617	24.624

Fuente: CHIRPS V 2.0

Anexo 4: Precipitación Mensual 2015

Meses	Máximo	Minimo
Enero	176.791	3.61545
Febrero	94.1677	39.6447
Marzo	171.131	76.1453
Abril	63.6538	25.4608
Mayo	63.0324	11.4757
Junio	41.6772	0.297158
Julio	42.558	0.187321
Agosto	24.2408	2.46402
Setiembre	31.8143	6.78171
Octubre	34.906	9.11372
Noviembre	54.4813	10.2613
Diciembre	38.6385	15.0443

Fuente: CHIRPS V 2.0

Anexo 5: Precipitación Mensual 2020

Meses	Maximo	Minimo
Enero	138.038	4.70049
Febrero	119.833	28.6341
Marzo	89.0106	28.5243
Abril	92.491	33.7137
Mayo	62.4697	7.40958
Junio	45.1859	0.309432
Julio	55.9817	0.188945
Agosto	36.6322	3.84349
Setiembre	39.2476	7.62538
Octubre	51.1384	13.8465
Noviembre	80.8709	17.1625
Diciembre	125.38	33.056

Fuente: CHIRPS V 2.0

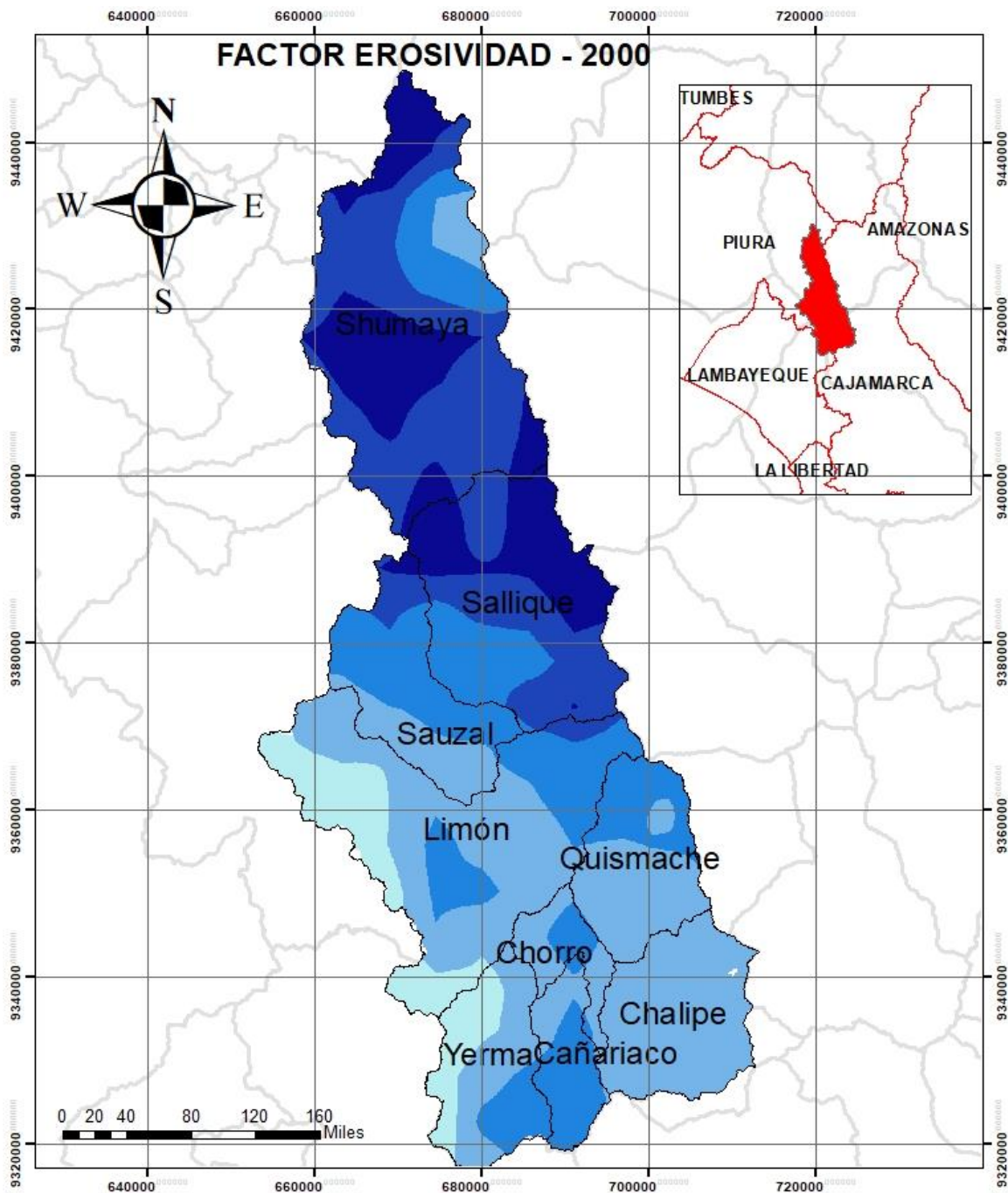
Anexo 6: Información de precipitación media anual.

Datos de Precipitación - (2000 - 2020)

Años	Precipitación Anual (mm)	
	Máxima	Mínima
2000	939.052	412.924
2005	858.11	336.903
2010	781.502	361.763
2015	710.684	270.22
2020	783.059	249.152

Fuente: Elaboración Propia

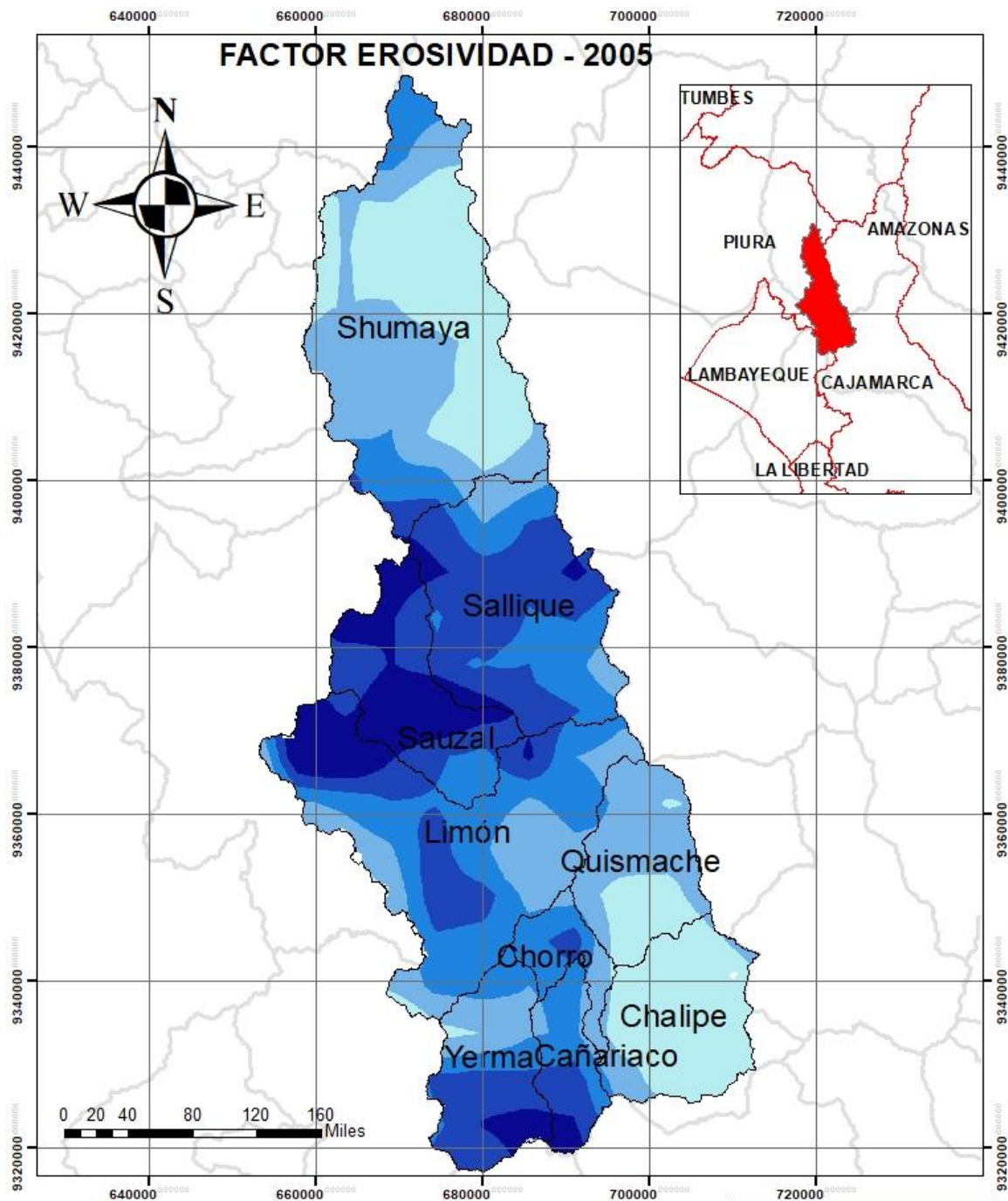
Anexo 7: Factor Erosividad para el año 2000



<p>Elaborado : Bach. Leonel Gibran Ortiz Severino</p>	<p>Escala: 1/600,000</p>	<p>01</p>
<p>UBICACIÓN GEOPOLITICA Departamento : Piura Provincia : Huancabamba Distrito : Huamarca</p>	<p>PROYECTO: FACTOR DE EROSIVIDAD -2000</p>	
<p>UBICACIÓN GEODESICA Proyeccion - UTM WGS 84 -Zona : 17S</p>	<p>Fecha : Marzo - 2025</p>	

LEYENDA	
	Quebrada_Huanc
R_2000_.tif	
<VALUE>	
	316.104126 - 481.060173
	481.0601731 - 580.6026152
	580.6026153 - 700.0535458
	700.0535459 - 828.0366857
	828.0366858 - 1,041.341919

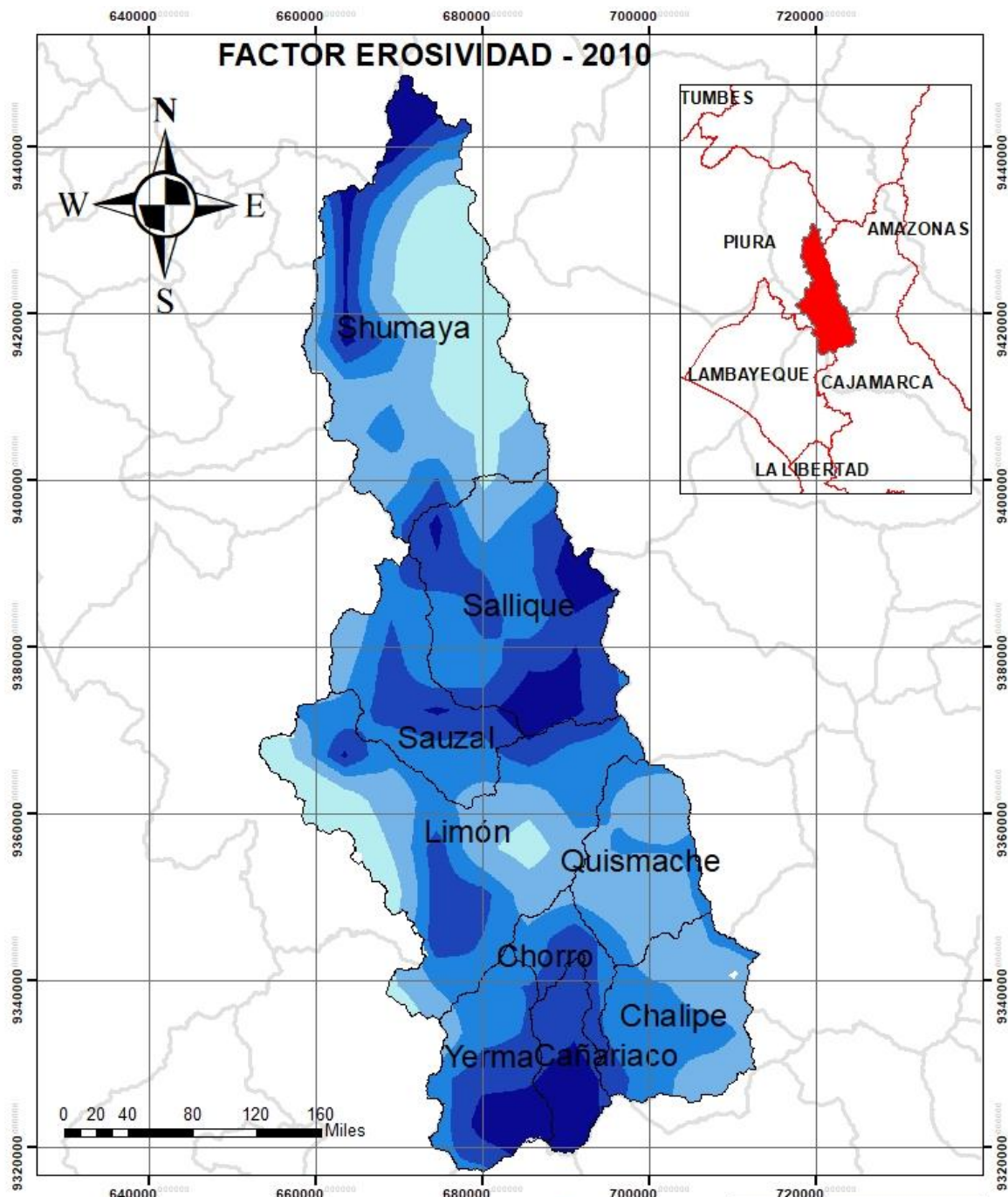
Anexo 8: Factor Erosividad para el año 2005



Elaborado : Bach. Leonel Gibran Ortiz Severino	Escala: 1/600,000	02
UBICACIÓN GEOPOLITICA Departamento : Piura Provincia : Huancabamba Distrito : Huamarca	PROYECTO: FACTOR DE EROSIVIDAD -2005	
UBICACIÓN GEODESICA Proyeccion - UTM WGS 84 -Zona : 17S	Fecha : Marzo - 2025	

LEYENDA	
	Quebrada_Huanc
R_2005.tif	
<VALUE>	
	490.462616 - 645.0227327
	645.0227328 - 770.9606056
	770.9606057 - 888.3118054
	888.3118055 - 1,011.387454
	1,011.387455 - 1,220.329834

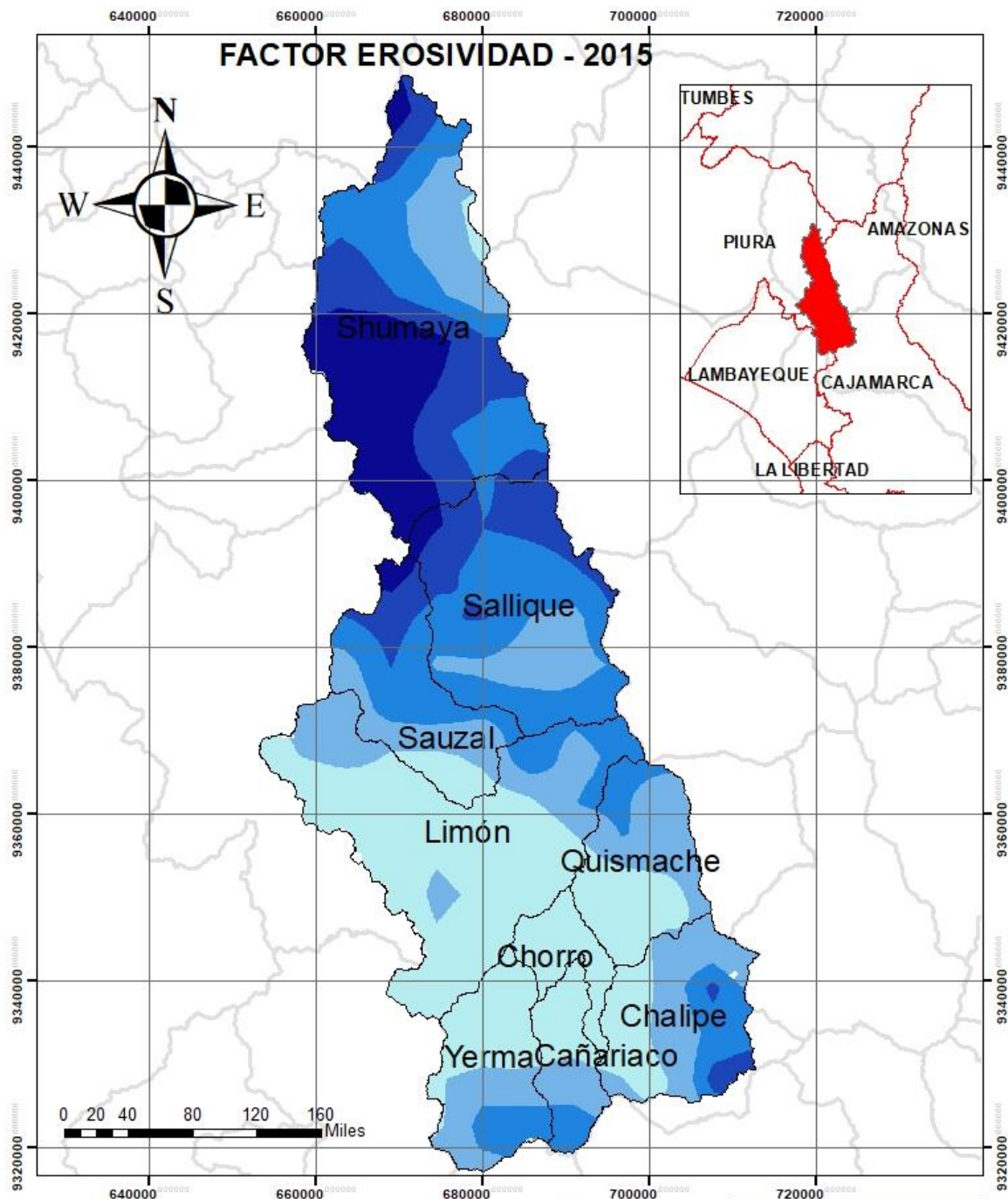
Anexo 9: Factor Erosividad para el año 2010



<p>Elaborado : Bach. Leonel Gibran Ortiz Severino</p>	<p>Escala: 1/600,000</p>	<p>03</p>
<p>UBICACIÓN GEOPOLITICA Departamento : Piura Provincia : Huancabamba Distrito : Huamarca</p>	<p>PROYECTO: FACTOR DE EROSIVIDAD -2010</p>	
<p>UBICACIÓN GEODESICA Proyeccion - UTM WGS 84 -Zona : 17S</p>	<p>Fecha : Marzo - 2025</p>	

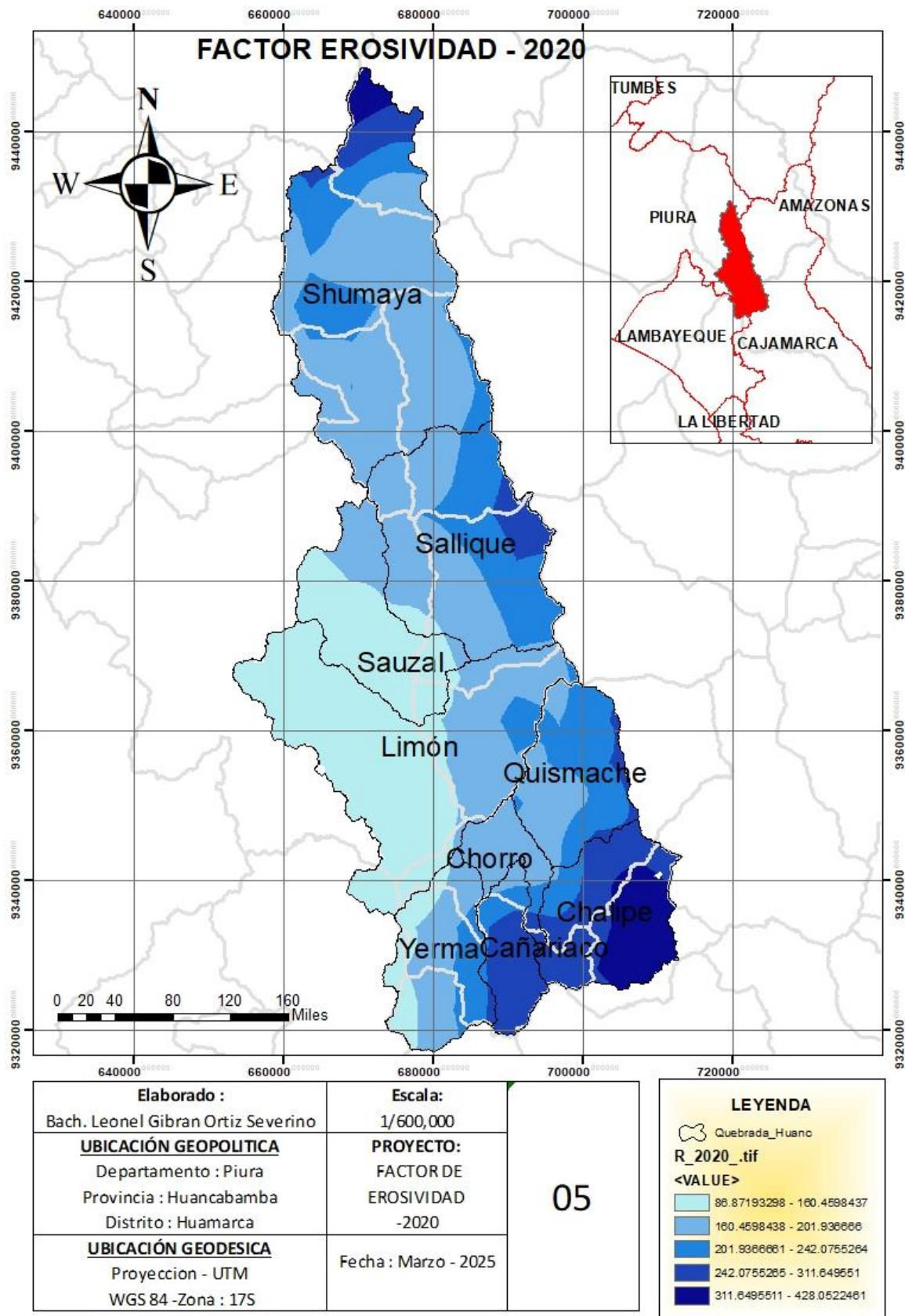
LEYENDA	
	Quebrada_Huanc
R_2010.tif	
<VALUE>	
	238.010437 - 373.6403579
	373.640358 - 444.4918091
	444.4918092 - 501.17297
	501.1729701 - 565.9514397
	565.9514398 - 754.2138672

Anexo 10: Factor Erosividad para el año 2015

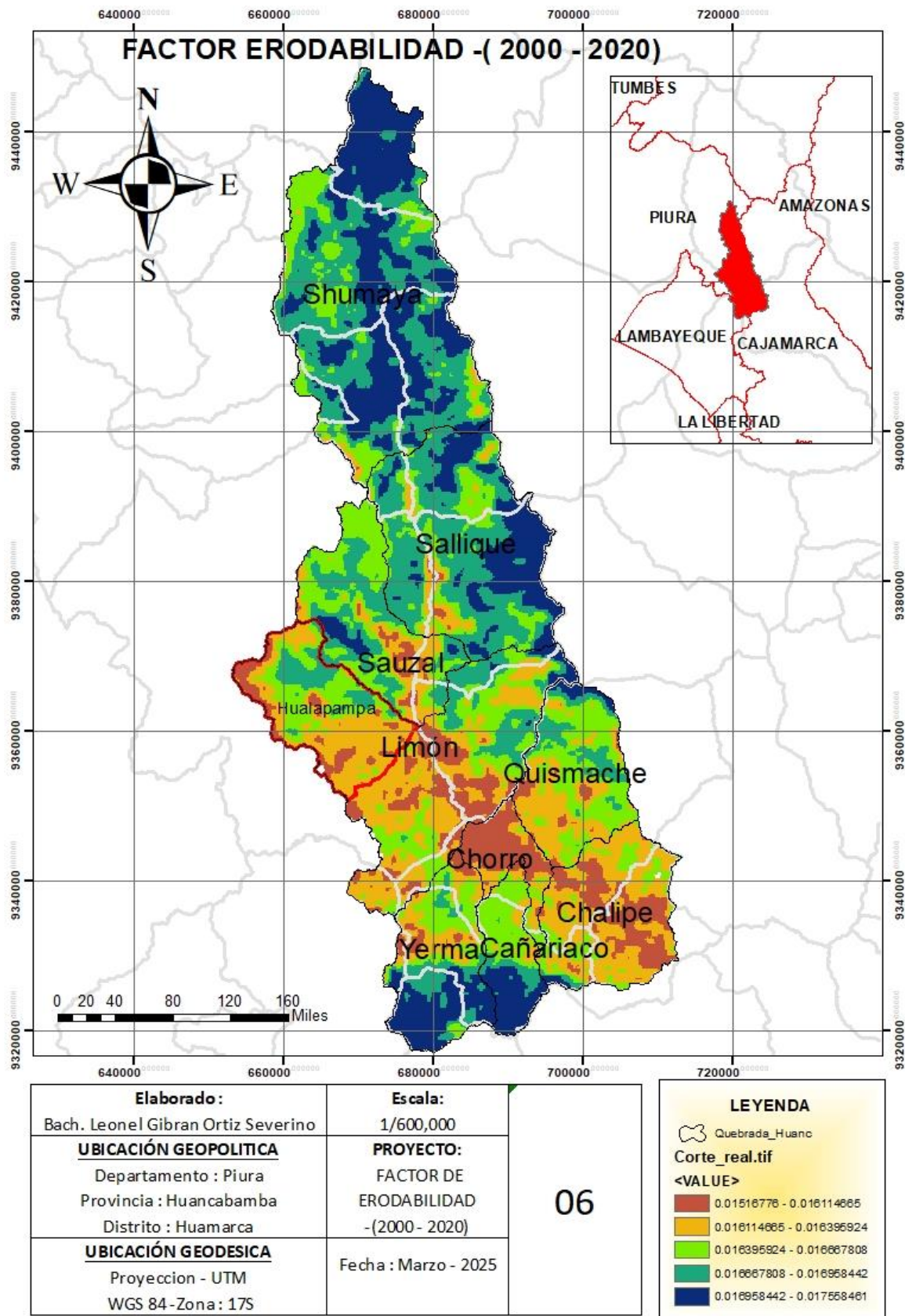


<p>Elaborado: Bach. Leonel Gibran Ortiz Severino</p>	<p>Escala: 1/600,000</p>	<p>04</p>	<p>LEYENDA</p> <p>Quebrada_Huanc</p> <p>R_2015_cort.tif</p> <p><VALUE></p> <ul style="list-style-type: none"> 202.1261902 - 363.9716303 363.9716304 - 460.5568122 460.5568123 - 549.3107633 549.3107634 - 679.8312794 679.8312795 - 867.7808228
<p>UBICACIÓN GEOPOLITICA</p> <p>Departamento : Piura</p> <p>Provincia : Huancabamba</p> <p>Distrito : Huamarca</p>	<p>PROYECTO: FACTOR DE EROSIVIDAD -2015</p>		
<p>UBICACIÓN GEODESICA</p> <p>Proyeccion - UTM</p> <p>WGS 84 -Zona : 17S</p>	<p>Fecha : Marzo - 2025</p>		

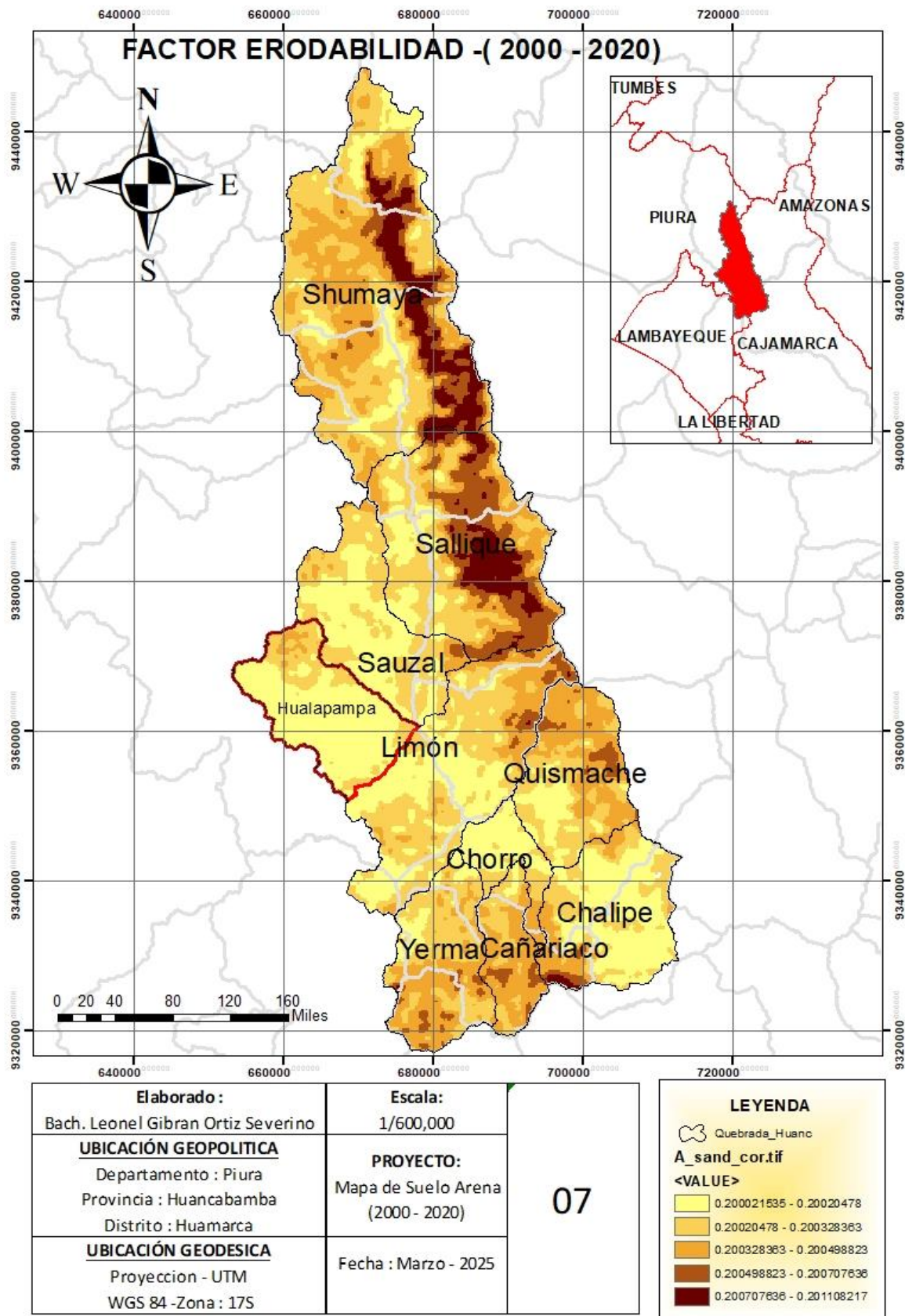
Anexo 11: Factor Erosividad para el año 2020



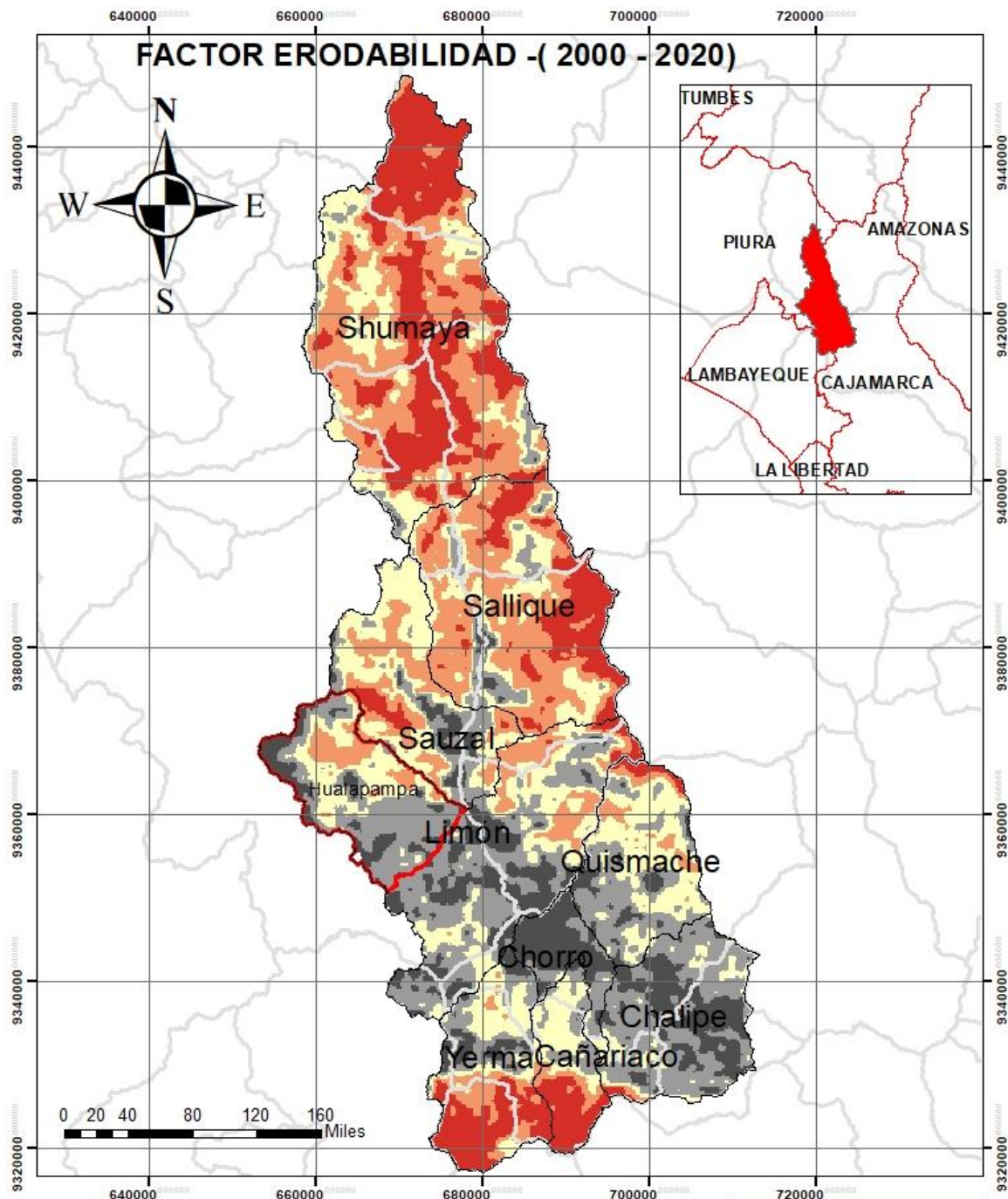
Anexo 12: Factor Erodabilidad “k” – Cuenca Rio Huancabamba 2000 -2020



Anexo 13: Mapa del contenido de Arena en relación al Factor “K”



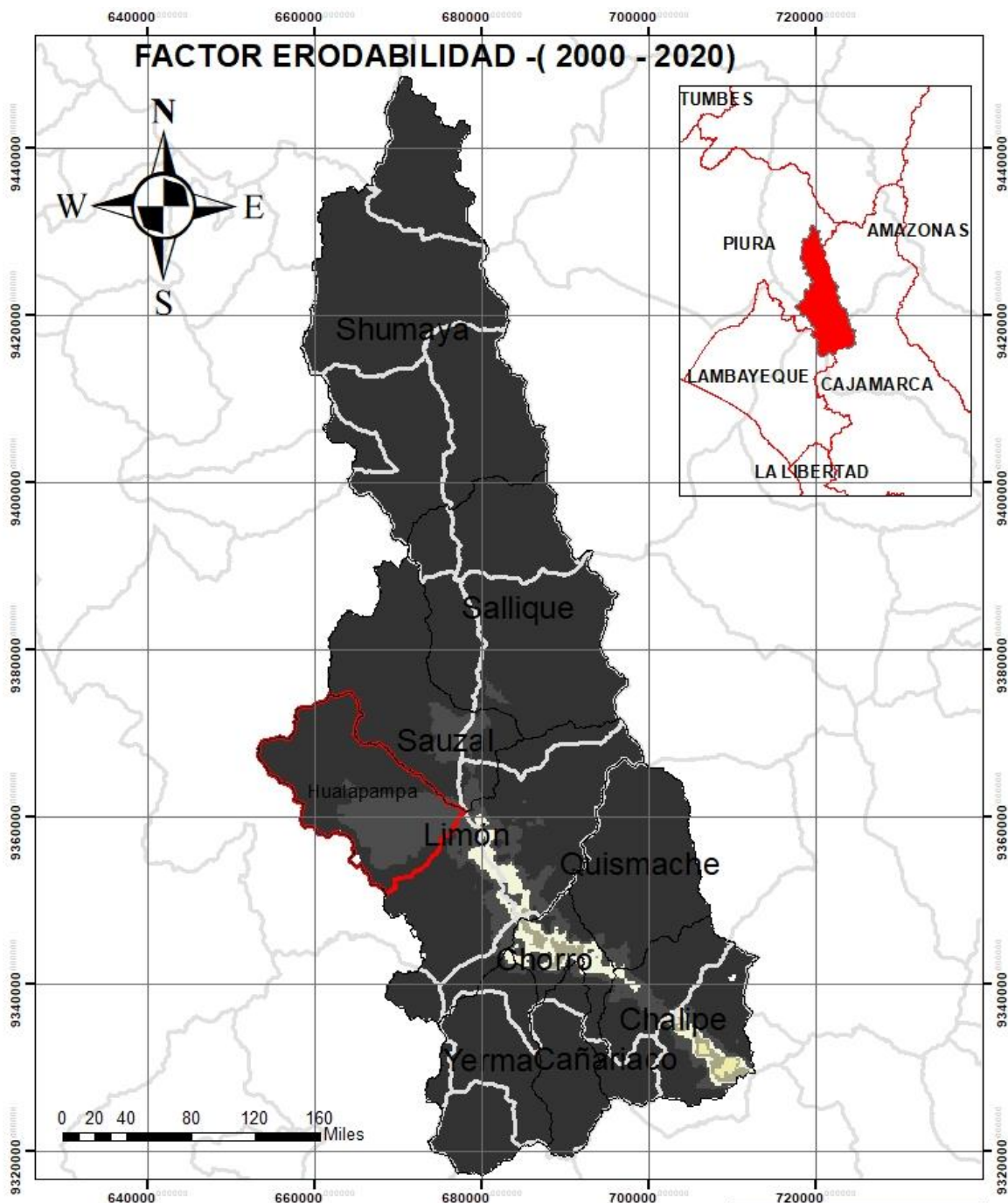
Anexo 14: Mapa del Contenido de suelo Arcilla y limo en relación al Factor “K”




<p>Elaborado : Bach. Leonel Gibran Ortiz Severino</p>	<p>Escala: 1/600,000</p>	<p>08</p>
<p>UBICACIÓN GEOPOLITICA Departamento : Piura Provincia : Huancabamba Distrito : Huamarca</p>	<p>PROYECTO: Mapa de Contenido Arcilla y limo (2000 - 2020)</p>	
<p>UBICACIÓN GEODESICA Proyección - UTM WGS 84 -Zona : 17S</p>	<p>Fecha : Marzo - 2025</p>	

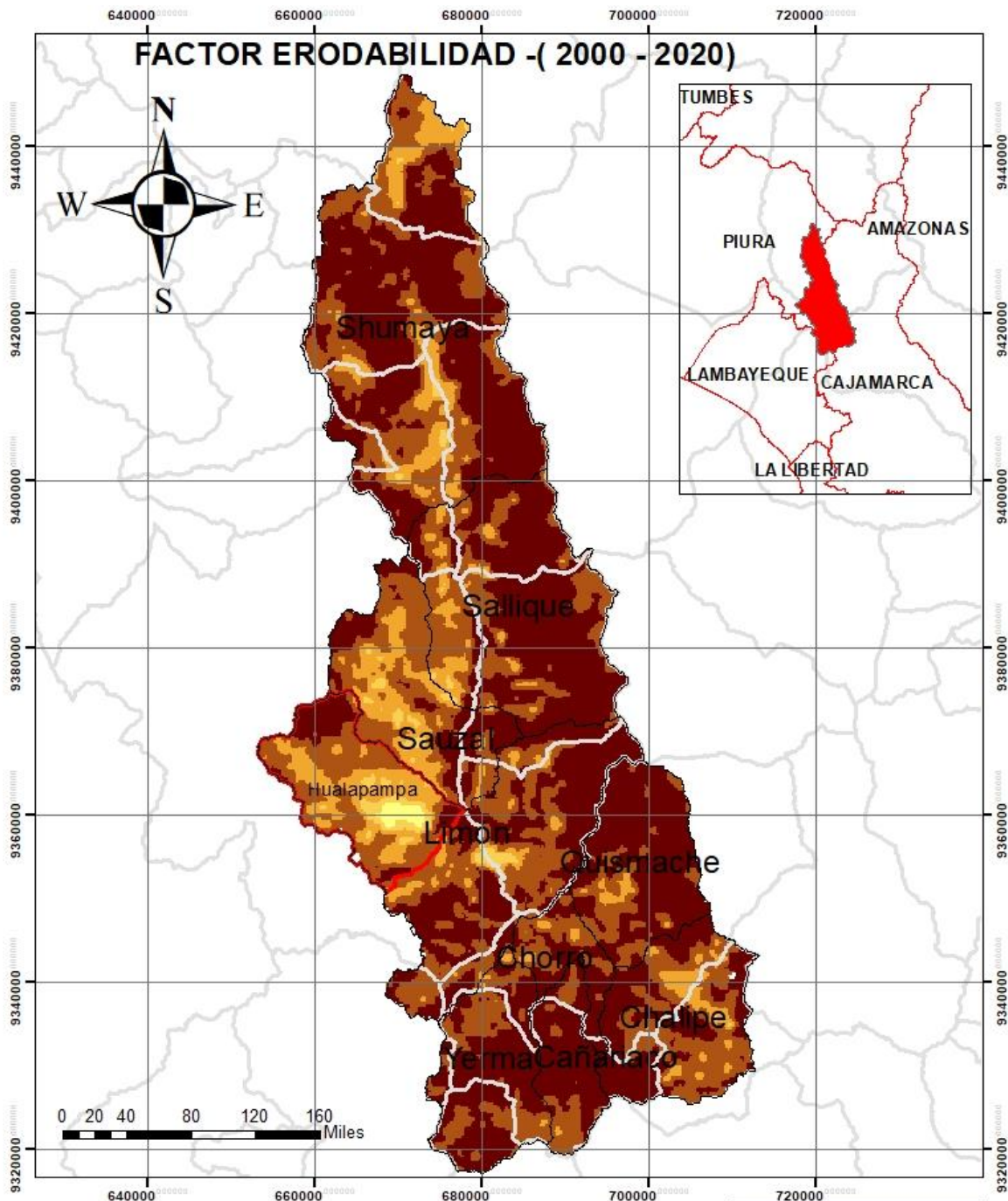
LEYENDA	
	Quebrada_Huanc
B_Cl-silt_cor.tif	
<VALUE>	
	0.774851561 - 0.818316507
	0.818316507 - 0.831487703
	0.831487703 - 0.844658899
	0.844658899 - 0.858289135
	0.858289135 - 0.886806727

Anexo 15: Mapa del Contenido de Suelo Carbono Orgánico en relación al Factor “k”



Elaborado : Bach. Leonel Gibran Ortiz Severino	Escala: 1/600,000	09	LEYENDA  Quebrada_Huanc C_orgC_cor.tif <VALUE> 0.721884012 - 0.736438171 0.736438171 - 0.74283318 0.74283318 - 0.74836146 0.74836146 - 0.748787154 0.748787154 - 0.75
UBICACIÓN GEOPOLITICA Departamento : Piura Provincia : Huancabamba Distrito : Huamarca	PROYECTO: Mapa de Contenido Carbono Organico (2000 - 2020)		
UBICACIÓN GEODESICA Proyeccion - UTM WGS 84 -Zona : 17S	Fecha : Marzo - 2025		

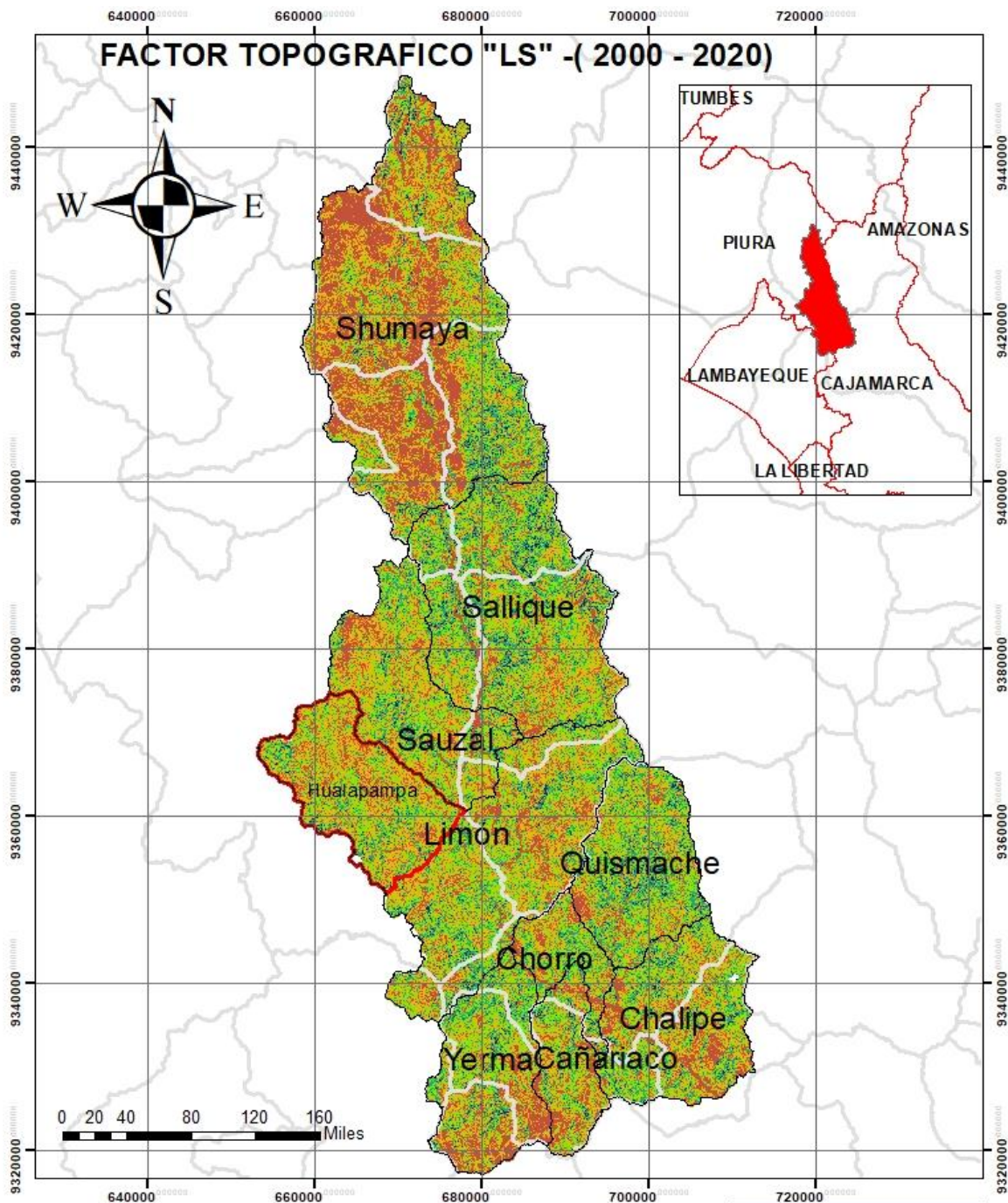
Anexo 16: Mapa del Contenido de Suelo Arena Extremadamente Alta en relación al Factor “k”.



Elaborado : Bach. Leonel Gibran Ortiz Severino	Escala: 1/600,000	10
UBICACIÓN GEOPOLITICA Departamento : Piura Provincia : Huancabamba Distrito : Huamarca	PROYECTO: Mapa de Contenido de arena Extremadamente (2000 - 2020)	
UBICACIÓN GEODESICA Proyeccion - UTM WGS 84 -Zona : 17S	Fecha : Marzo - 2025	

LEYENDA	
	Quebrada_Huanc
D_Hisand_cor.tif	
<VALUE>	
	0.999853576 - 0.999963641
	0.999761855 - 0.999853576
	0.999602872 - 0.999761855
	0.999156496 - 0.999602872
	0.998404384 - 0.999156496

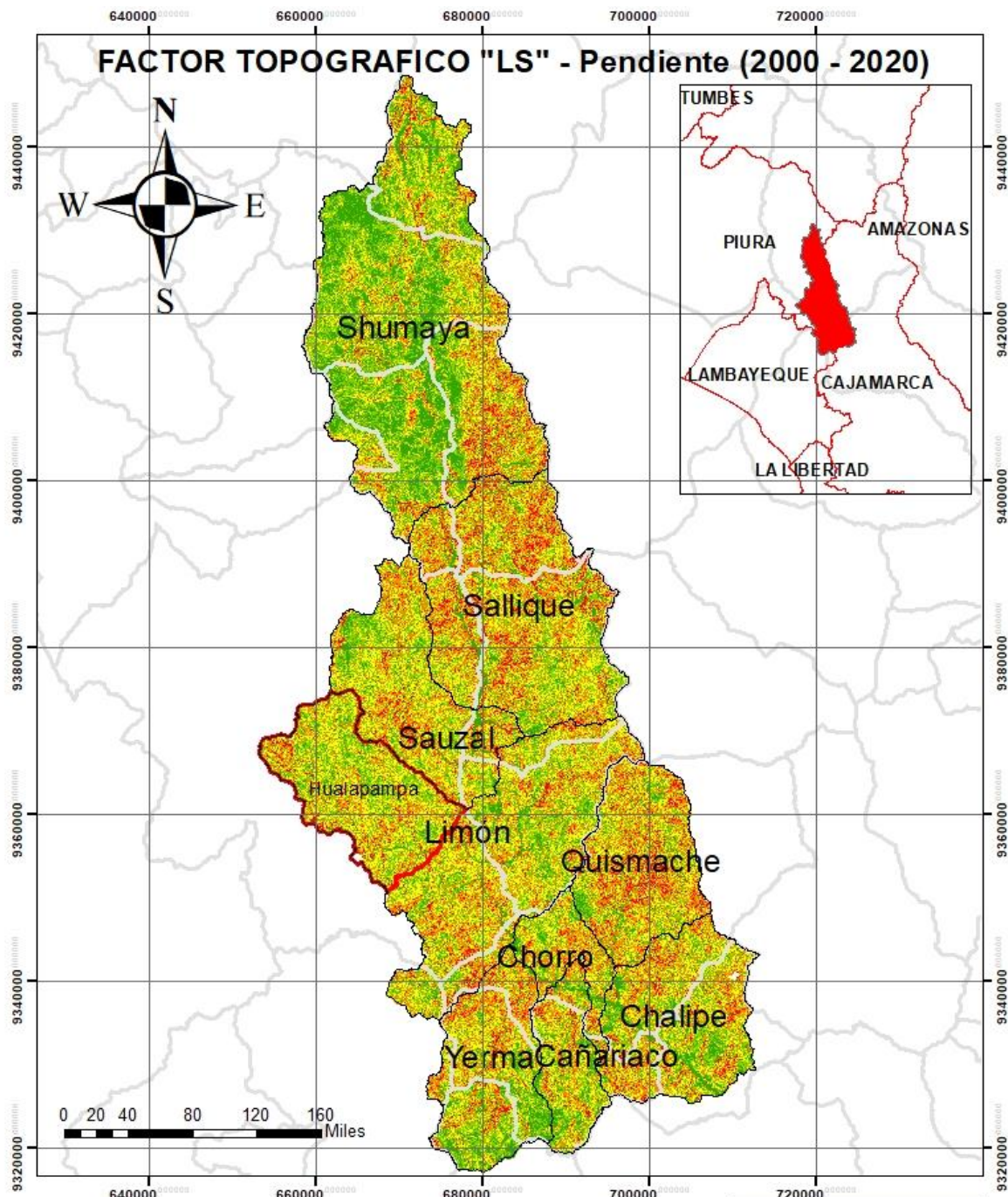
Anexo 17: Factor Topográfico "LS" - Cuenca Rio Huancabamba 2000 – 2020



Elaborado : Bach. Leonel Gibran Ortiz Severino	Escala: 1/600,000	11
UBICACIÓN GEOPOLITICA Departamento : Piura Provincia : Huancabamba Distrito : Huamarca	PROYECTO: Mapa del Factor Topografico - "LS" (2000 - 2020)	
UBICACIÓN GEODESICA Proyeccion - UTM WGS 84 -Zona : 17S	Fecha : Marzo - 2025	

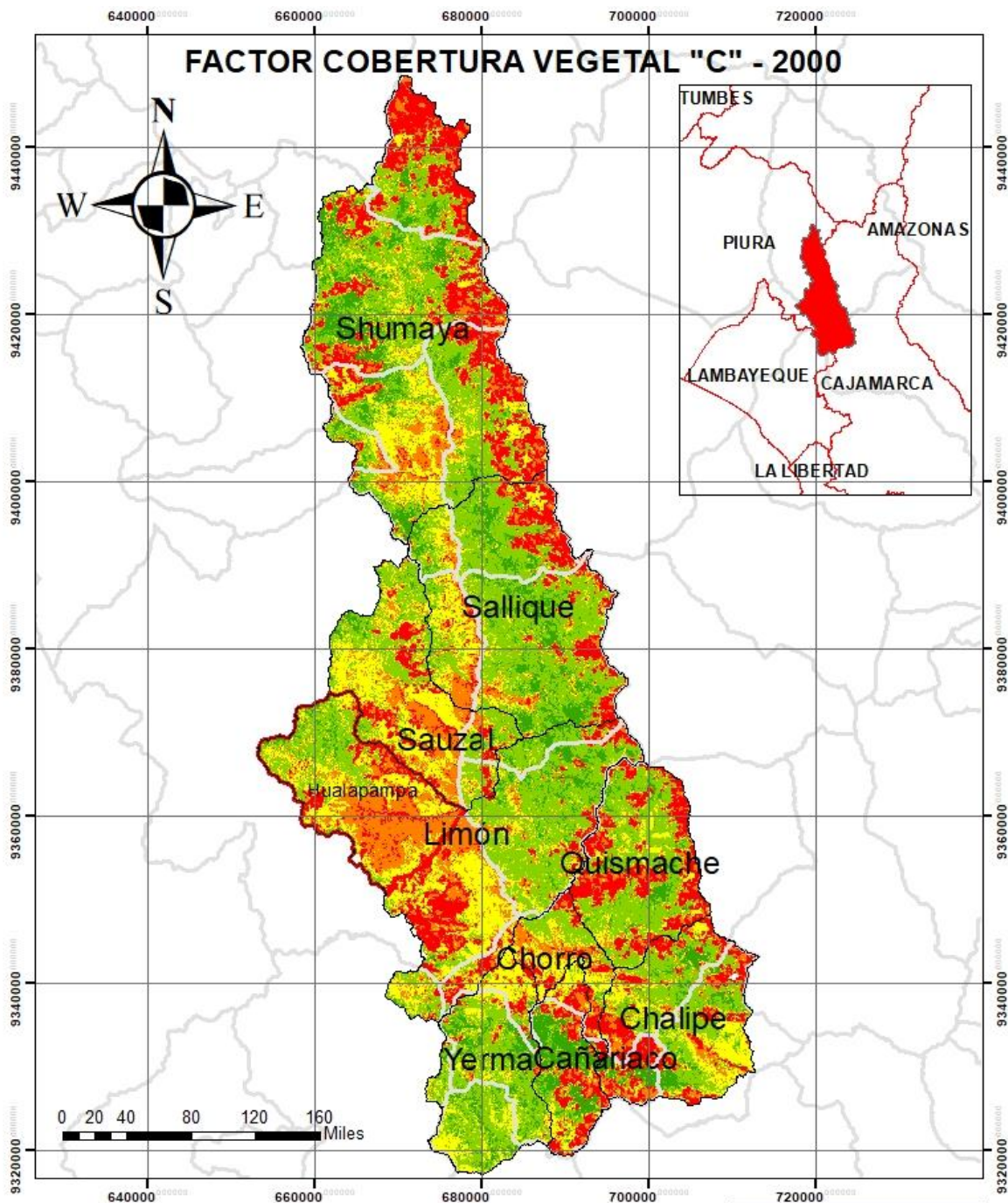
LEYENDA	
	Quebrada_Huanc
Factor_LS.tif	
<VALUE>	
	0 - 1.56168717
	1.561687171 - 3.055474898
	3.055474899 - 4.617162069
	4.61716207 - 6.722044776
	6.722044777 - 17.31435776

Anexo 18: Factor de Pendiente S en relación al Factor "LS".



Elaborado : Bach. Leonel Gibran Ortiz Severino	Escala: 1/600,000	12	LEYENDA Quebrada_Huanc Pendiente.tif <VALUE> 0 - 13.05206745 13.05206746 - 22.5765491 22.57654911 - 31.74827217 31.74827218 - 41.97827098 41.97827099 - 89.95343781
UBICACIÓN GEOPOLITICA Departamento : Piura Provincia : Huancabamba Distrito : Huamarca	PROYECTO: Mapa del Factor Topografico - "LS" - Pendiente (2000 - 2020)		
UBICACIÓN GEODESICA Proyeccion - UTM WGS 84 -Zona : 17S	Fecha : Marzo - 2025		

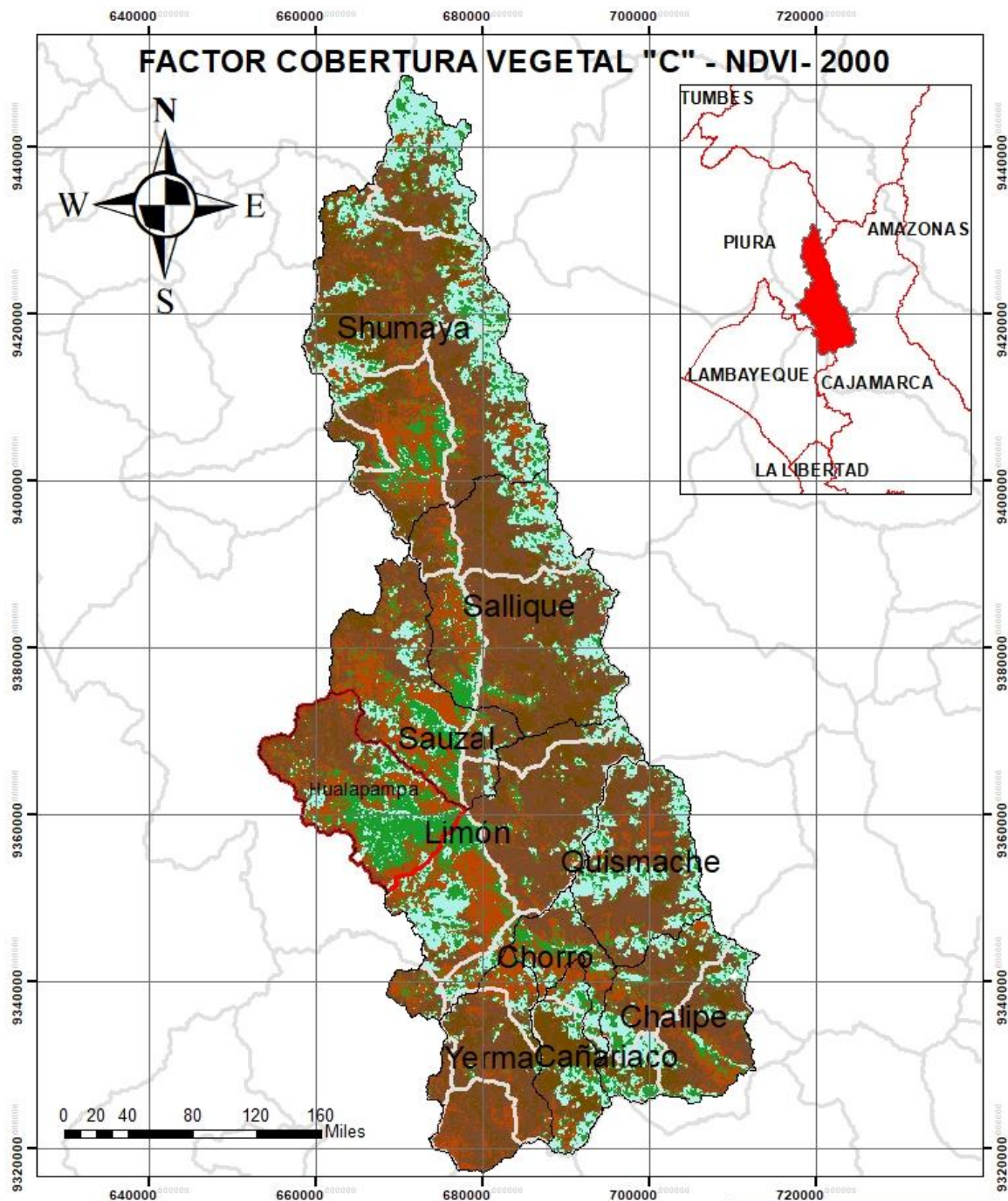
Anexo 19: Factor de Cobertura Vegetal "C" para el año 2000



Elaborado : Bach. Leonel Gibran Ortiz Severino	Escala: 1/600,000	13
UBICACIÓN GEOPOLITICA Departamento : Piura Provincia : Huancabamba Distrito : Huamarca	PROYECTO: Mapa del Factor Cobertura Vegetal "C" - 2000	
UBICACIÓN GEODESICA Proyeccion - UTM WGS 84 -Zona : 17S	Fecha : Marzo - 2025	

LEYENDA	
	Quebrada_Huanc
Factor_C.tif	
<VALUE>	
	0.02160804 - 0.038274508
	0.038274508 - 0.043768867
	0.043768867 - 0.050395576
	0.050395576 - 0.058350026
	0.058350026 - 0.069902919

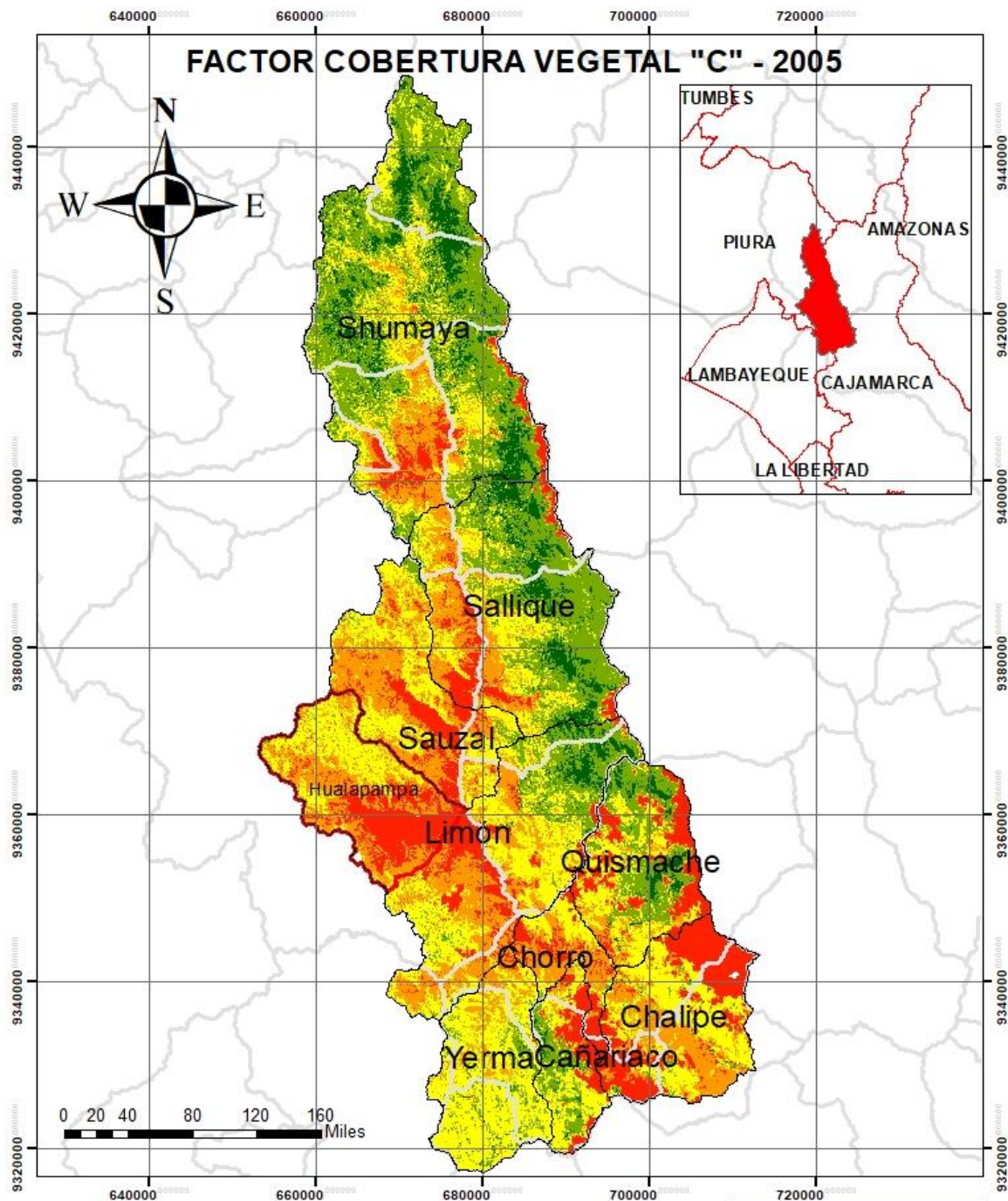
Anexo 20: Mapa de NDVI en relación a la cobertura vegetal del año 2000



Elaborado : Bach. Leonel Gibran Ortiz Severino	Escala: 1/600,000	14
UBICACIÓN GEOPOLITICA Departamento : Piura Provincia : Huancabamba Distrito : Huamarca	PROYECTO: Mapa del Factor Cobertura "C" - NDVI 2000	
UBICACIÓN GEODESICA Proyeccion - UTM WGS 84 -Zona : 17S	Fecha : Marzo - 2025	

LEYENDA	
	Quebrada_Huanc
NDVI_2000.tif	
<VALUE>	
	-0.398058265 - -0.174576106
	-0.174576106 - -0.01548711
	-0.01548711 - 0.117087052
	0.117087052 - 0.226934216
	0.226934216 - 0.567839205

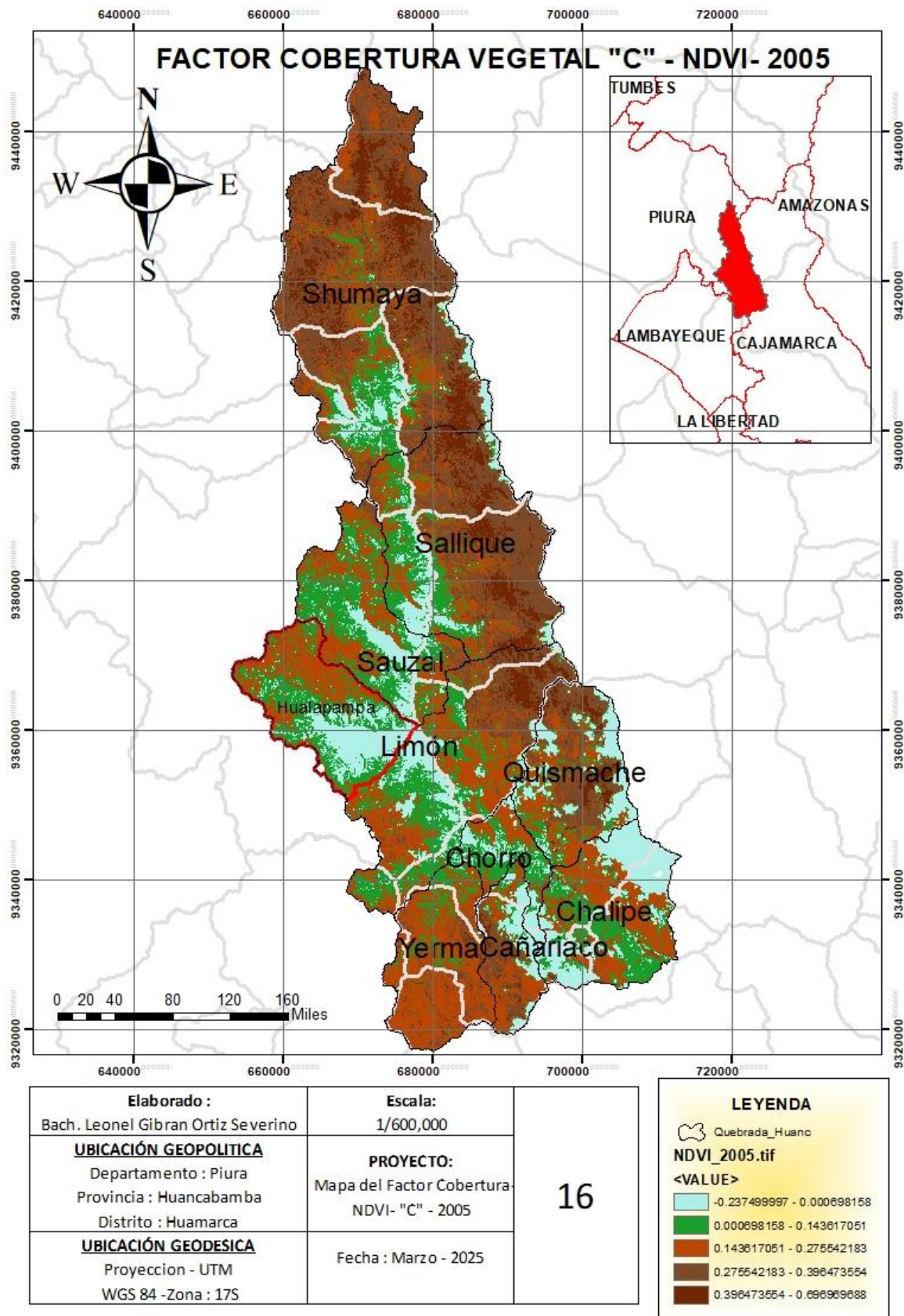
Anexo 21: Factor de Cobertura Vegetal "C" para el año 2005



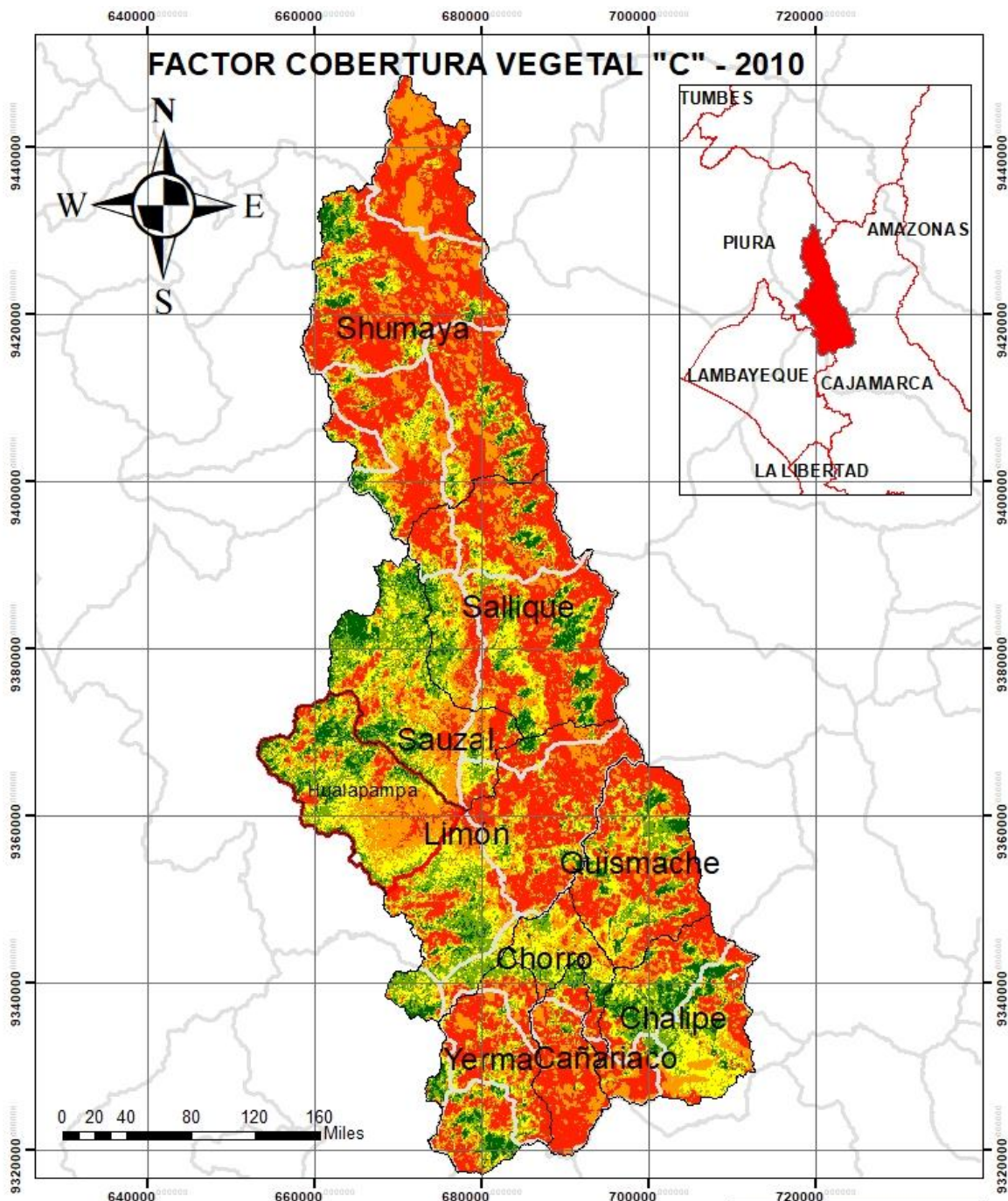
Elaborado : Bach. Leonel Gibran Ortiz Severino	Escala: 1/600,000	15
UBICACIÓN GEOPOLITICA Departamento : Piura Provincia : Huancabamba Distrito : Huamarca	PROYECTO: Mapa del Factor Cobertura "C" - 2005	
UBICACIÓN GEODESICA Proyeccion - UTM WGS 84-Zona : 17S	Fecha : Marzo - 2025	

LEYENDA	
	Quebrada_Huanc
Factor_2005_C.tif	
<VALUE>	
	0.015151516 - 0.029809863
	0.029809863 - 0.035856431
	0.035856431 - 0.042452687
	0.042452687 - 0.049598631
	0.049598631 - 0.061874997

Anexo 22: Mapa de NDVI en relación a la cobertura vegetal del año 2005



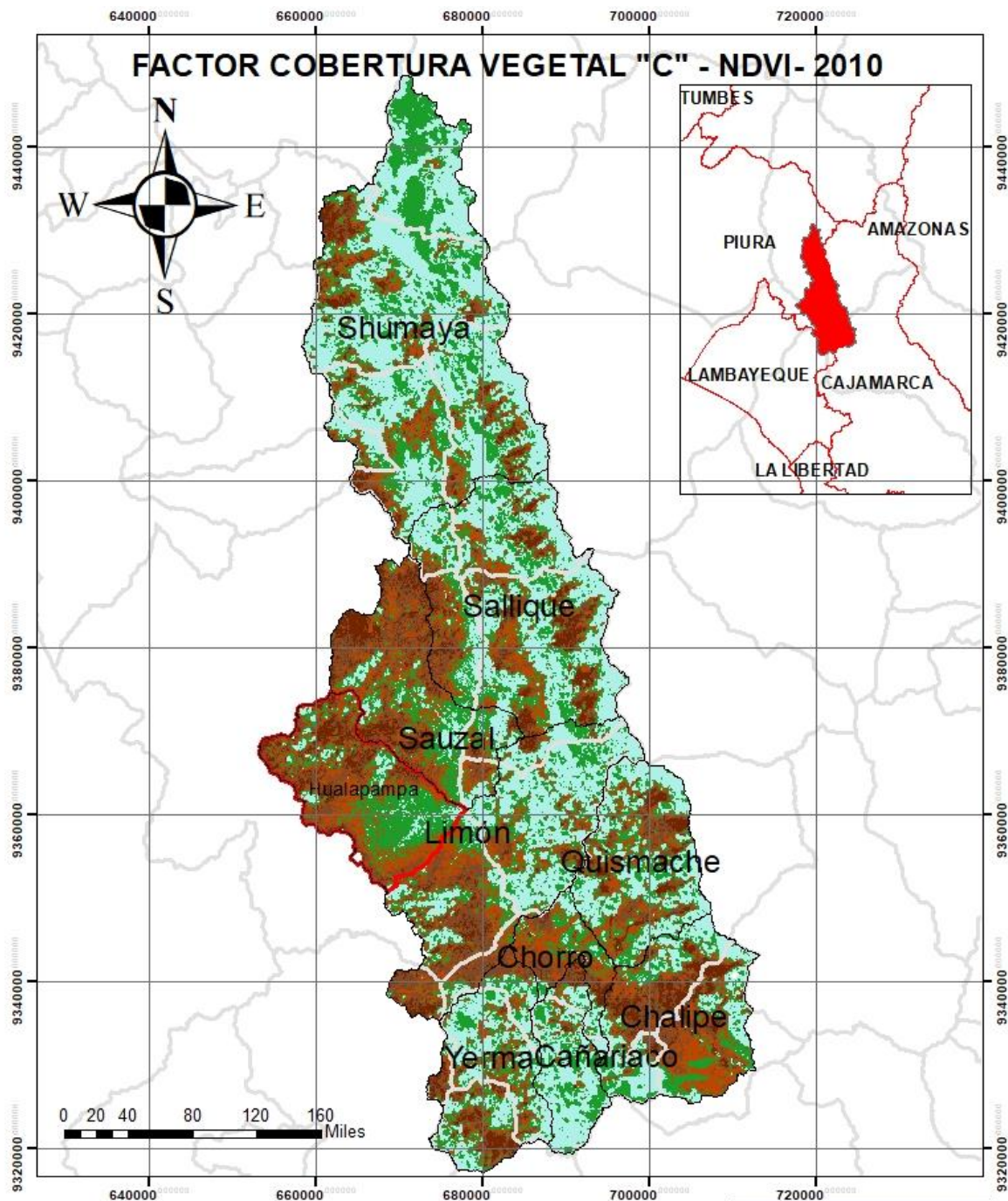
Anexo 23: Factor de Cobertura Vegetal "C" para el año 2010



Elaborado : Bach. Leonel Gibran Ortiz Severino	Escala: 1/600,000	17
UBICACIÓN GEOPOLITICA Departamento : Piura Provincia : Huancabamba Distrito : Huamarca	PROYECTO: Mapa del Factor Cobertura "C" - 2010	
UBICACIÓN GEODESICA Proyeccion - UTM WGS 84 -Zona : 17S	Fecha : Marzo - 2025	

LEYENDA	
	Quebrada_Huanc
Factor_2010.tif	
<VALUE>	
	0.012244898 - 0.033845617
	0.033845617 - 0.041189862
	0.041189862 - 0.047886085
	0.047886085 - 0.053718279
	0.053718279 - 0.067326732

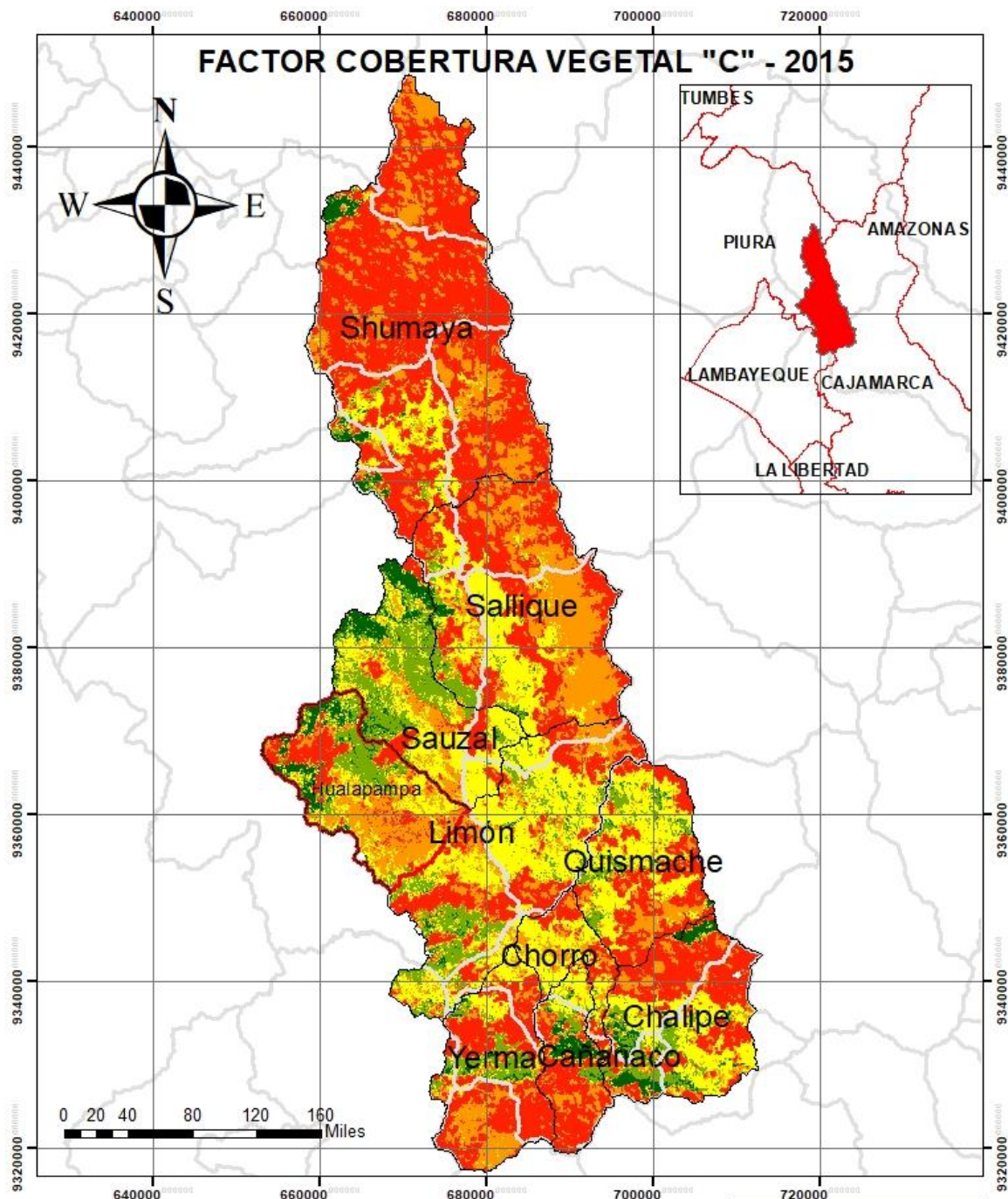
Anexo 24: Mapa de NDVI en relación a la cobertura vegetal del año 2010



Elaborado : Bach. Leonel Gibran Ortiz Severino	Escala: 1/600,000	18
UBICACIÓN GEOPOLITICA Departamento : Piura Provincia : Huancabamba Distrito : Huamanga	PROYECTO: Mapa del Factor Cobertura NDVI- "C" - 2010	
UBICACIÓN GEODESICA Proyeccion - UTM WGS 84 -Zona : 17S	Fecha : Marzo - 2025	

LEYENDA	
	Quebrada_Huanc
NDVI_Prom.tif	
<VALUE>	
	-0.34653464 - -0.083005866
	-0.083005866 - 0.033638018
	0.033638018 - 0.167562477
	0.167562477 - 0.314447367
	0.314447367 - 0.755102038

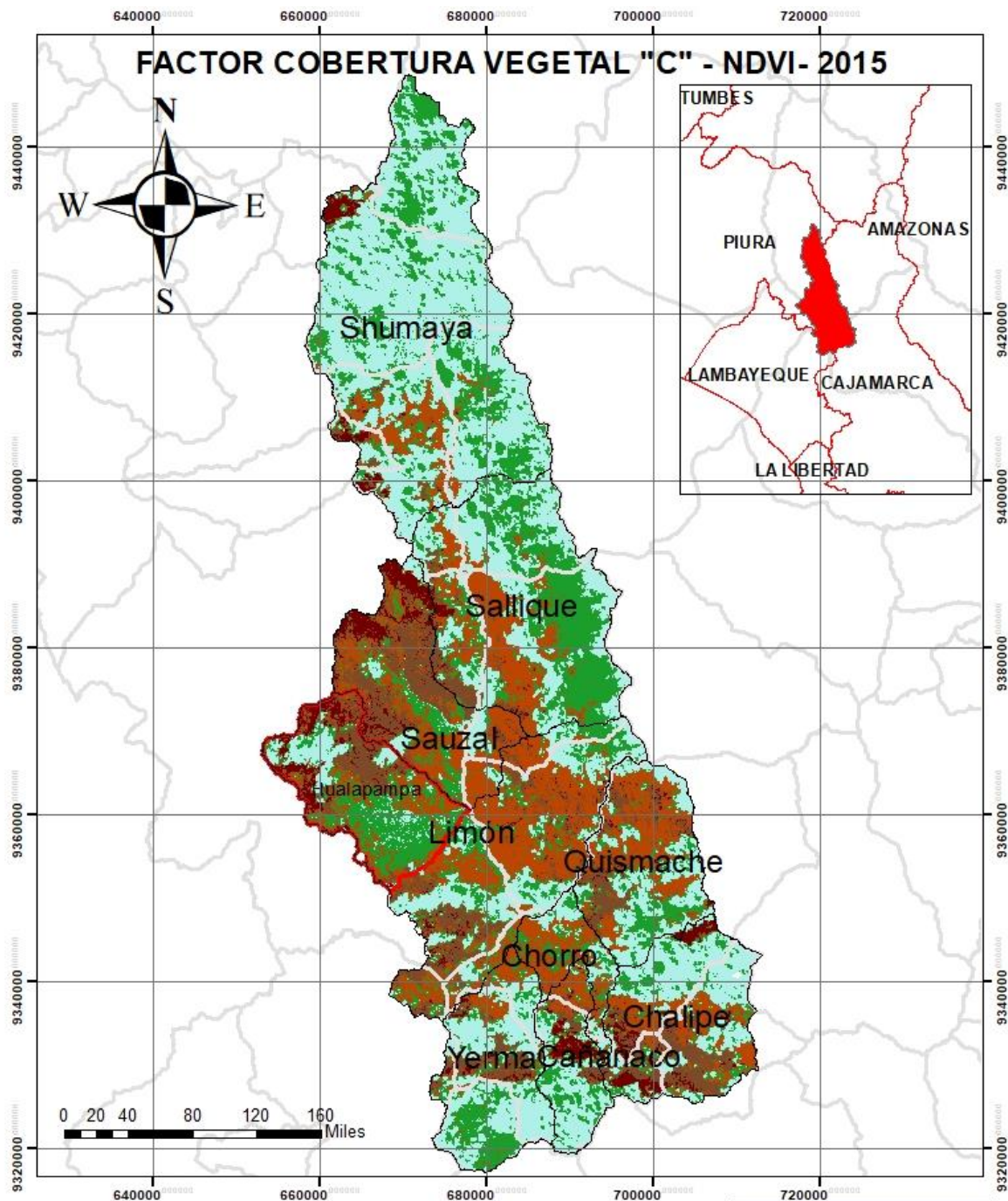
Anexo 25: Factor de Cobertura Vegetal "C" para el año 2015



Elaborado : Bach. Leonel Gibran Ortiz Severino	Escala: 1/600,000	19
UBICACIÓN GEOPOLITICA Departamento : Piura Provincia : Huancabamba Distrito : Huamarca	PROYECTO: Mapa del Factor Cobertura "C" - 2015	
UBICACIÓN GEODESICA Proyeccion - UTM WGS 84 -Zona : 17S	Fecha : Marzo - 2025	

LEYENDA	
	Quebrada_Huanc
Factor_C.tif	
<VALUE>	
	0.021739131 - 0.034759979
	0.034759979 - 0.039385807
	0.039385807 - 0.045382251
	0.045382251 - 0.052406656
	0.052406656 - 0.065427504

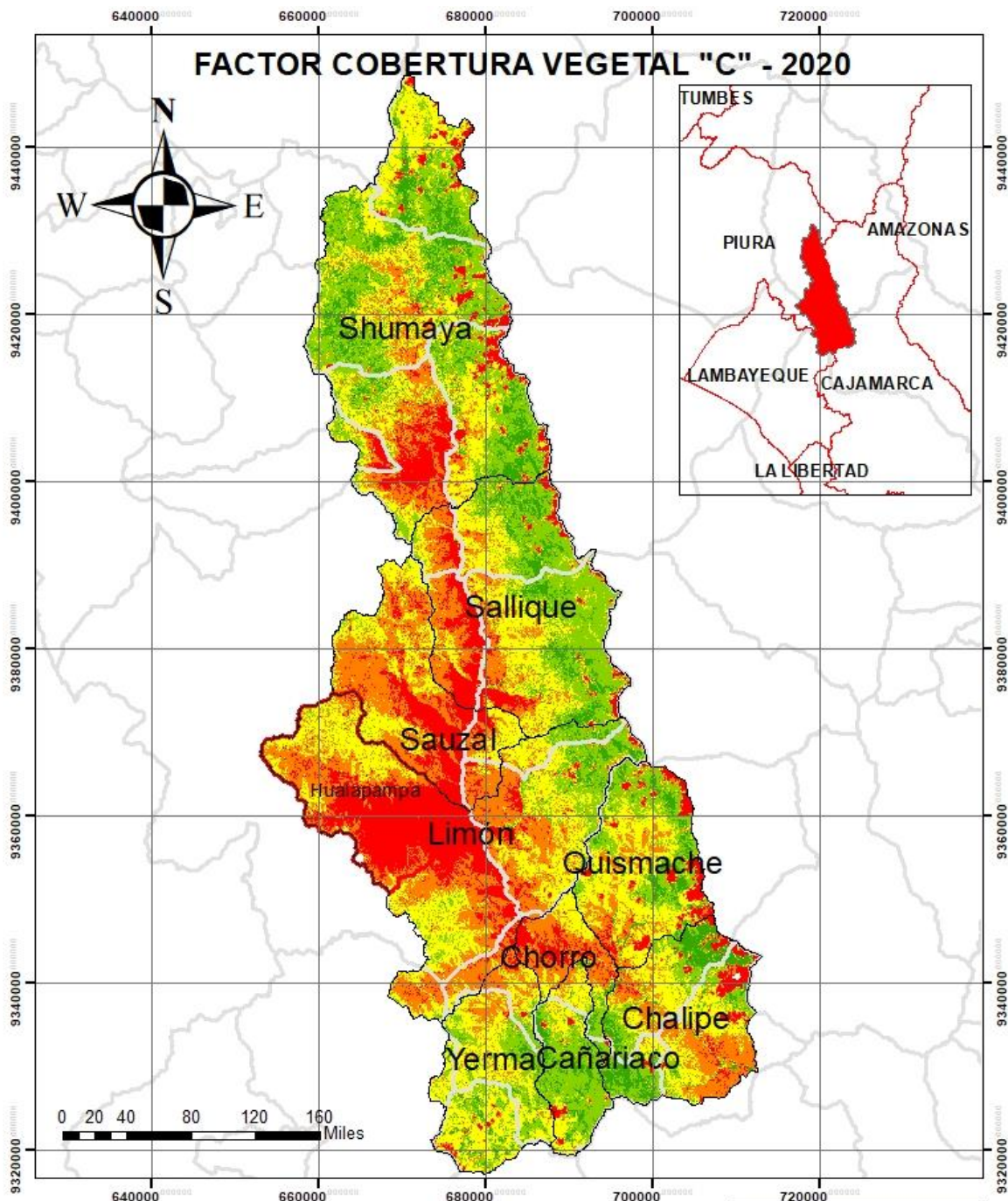
Anexo 26: Mapa de NDVI en relación a la cobertura vegetal del año 2015



Elaborado : Bach. Leonel Gibran Ortiz Severino	Escala: 1/600,000	20
UBICACIÓN GEOPOLITICA Departamento : Piura Provincia : Huancabamba Distrito : Huamarca	PROYECTO: Mapa del Factor Cobertura NDVI "C" - 2015	
UBICACIÓN GEODESICA Proyeccion - UTM WGS 84 -Zona : 17S	Fecha : Marzo - 2025	

LEYENDA	
	Quebrada_Huanc
NDVI_2015.tif	
<VALUE>	
	-0.308550179 - -0.054986261
	-0.054986261 - 0.085501855
	0.085501855 - 0.205430736
	0.205430736 - 0.2979473
	0.2979473 - 0.565217376

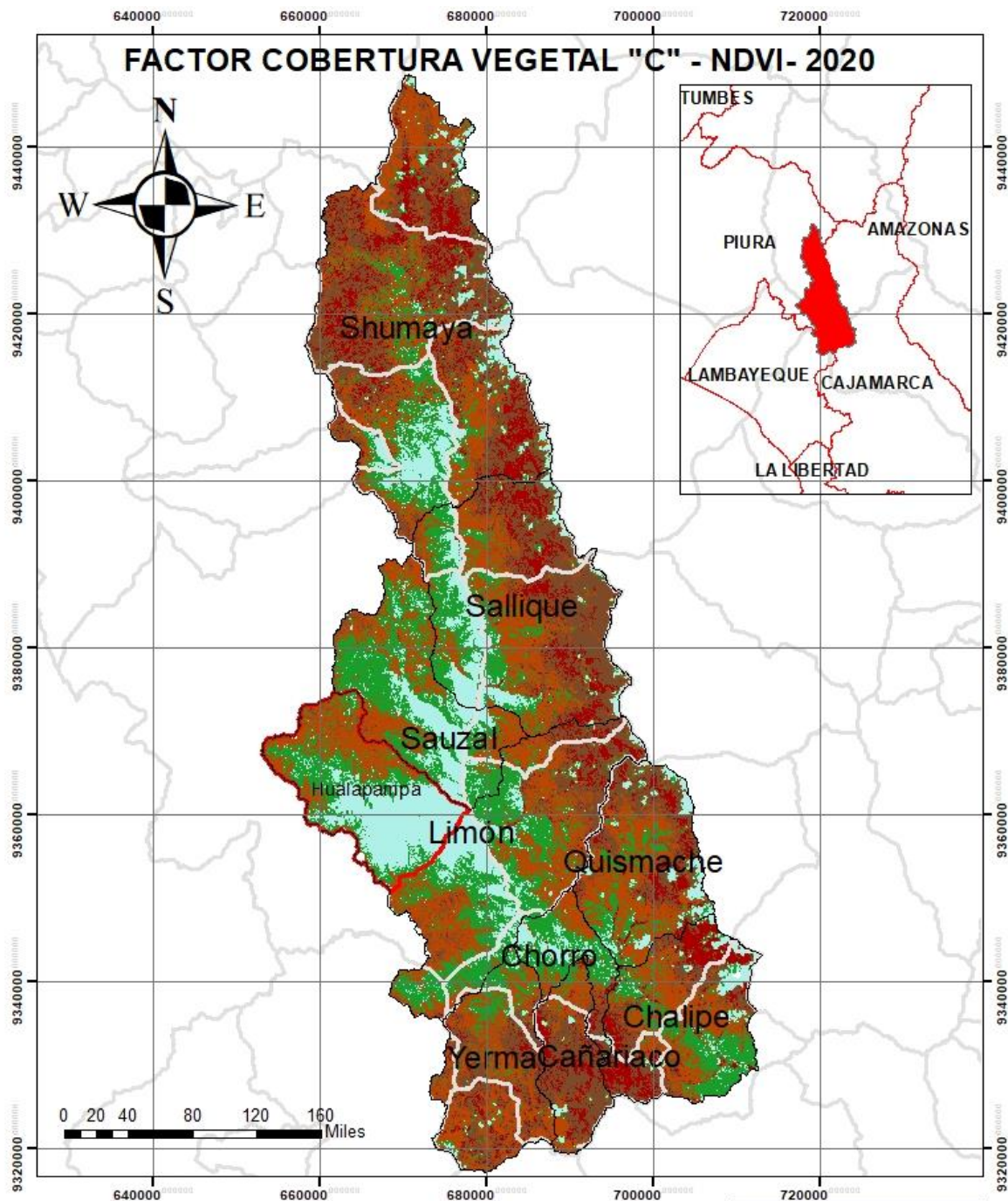
Anexo 27: Factor de Cobertura Vegetal "C" para el año 2020.



Elaborado : Bach. Leonel Gibran Ortiz Severino	Escala: 1/600,000	21
UBICACIÓN GEOPOLITICA Departamento : Piura Provincia : Huancabamba Distrito : Huamarca	PROYECTO: Mapa del Factor Cobertura "C" - 2020	
UBICACIÓN GEODESICA Proyeccion - UTM WGS 84 - Zona : 17S	Fecha : Marzo - 2025	

LEYENDA	
	Quebrada_Huanc
Factor_C.tif	
<VALUE>	
	0.018288052 - 0.031204325
	0.031204325 - 0.035158286
	0.035158286 - 0.038716851
	0.038716851 - 0.042539013
	0.042539013 - 0.051896721

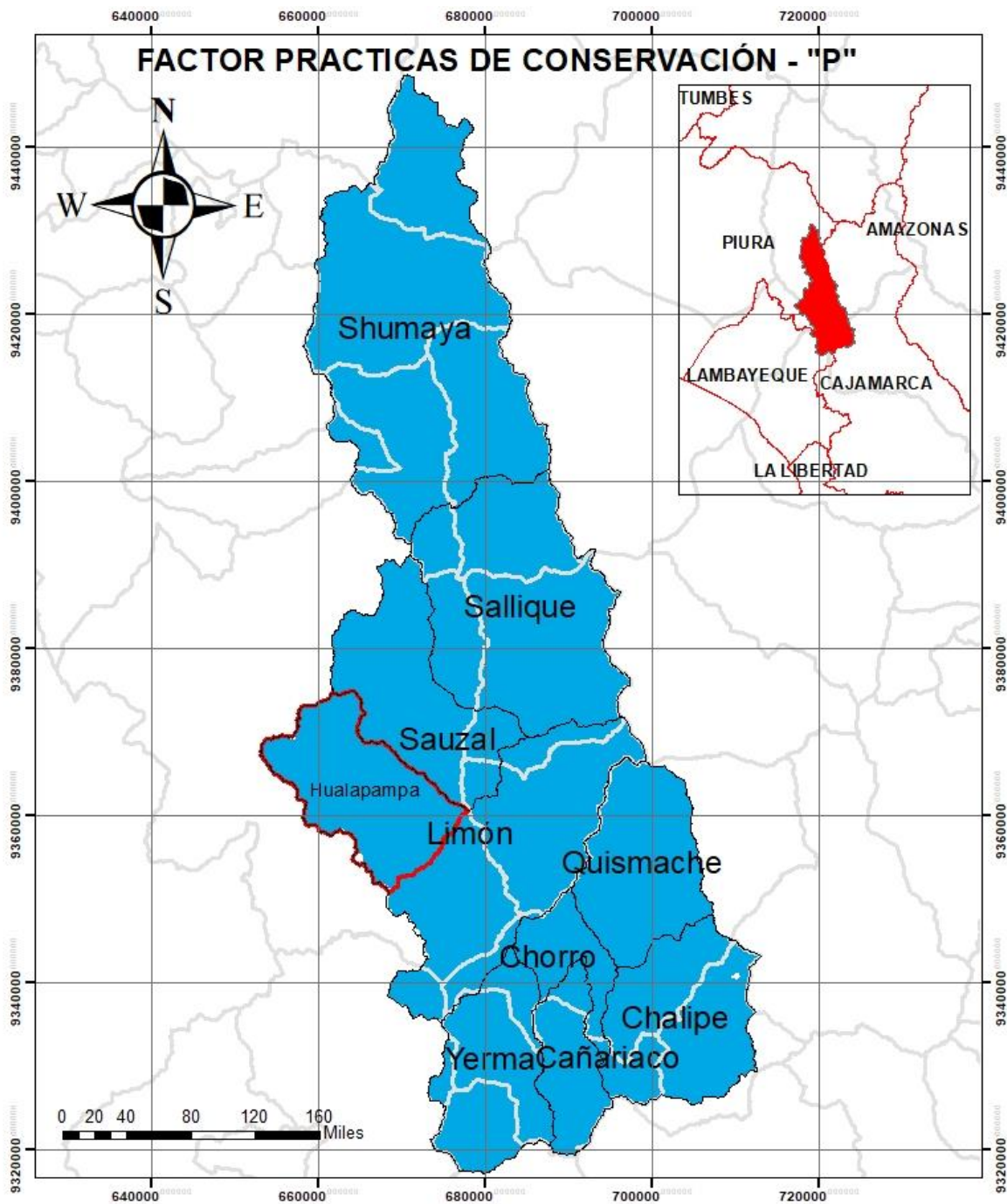
Anexo 28: Mapa de NDVI en relación a la cobertura vegetal del año 2020



Elaborado : Bach. Leonel Gibran Ortiz Severino	Escala: 1/600,000	22
UBICACIÓN GEOPOLITICA Departamento : Piura Provincia : Huancabamba Distrito : Huamarca	PROYECTO: Mapa del Factor Cobertura NDVI- "C" - 2020	
UBICACIÓN GEODESICA Proyeccion - UTM WGS 84-Zona : 17S	Fecha : Marzo - 2025	

LEYENDA	
	Quebrada_Huanc
NDVI_2020.tif	
<VALUE>	
	-0.03793446 - 0.143947759
	0.143947759 - 0.220391011
	0.220391011 - 0.291562314
	0.291562314 - 0.37064154
	0.37064154 - 0.634238958

Anexo 29: Factor de Practicas de Conservación – cuenca Rio Huancabamba



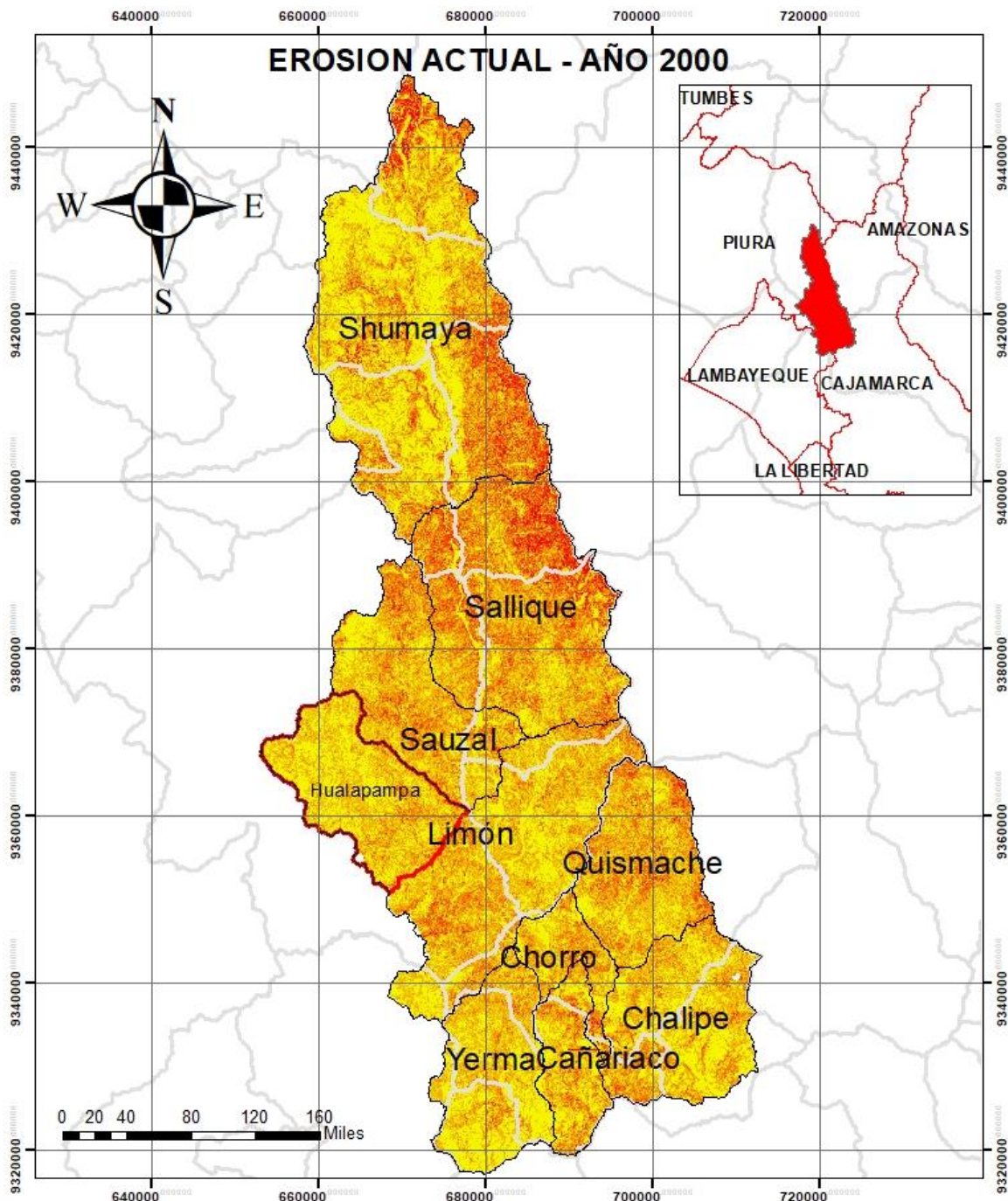
Elaborado : Bach. Leonel Gibran Ortiz Severino	Escala: 1/600,000	23
UBICACIÓN GEOPOLITICA Departamento : Piura Provincia : Huancabamba Distrito : Huamarca	PROYECTO: Mapa de Practicas de Conservación - "P"	
UBICACIÓN GEODESICA Proyeccion - UTM WGS 84 -Zona : 17S	Fecha : Marzo - 2025	


LEYENDA

Quebrada_Huanc

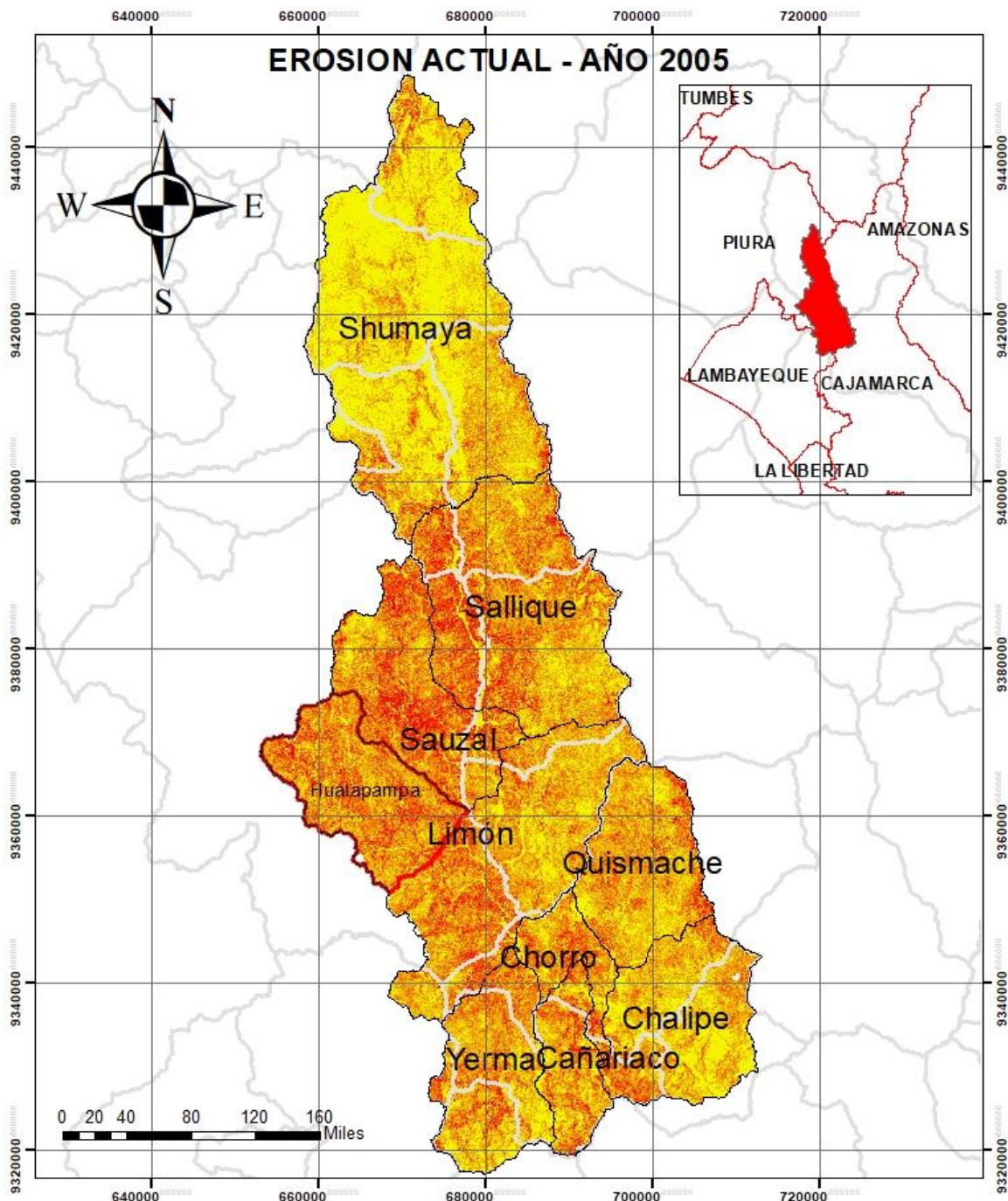
1

Anexo 30: Mapa de erosión Hídrica Suelo -cuenca Rio Huancabamba – 2000.



Elaborado : Bach. Leonel Gibran Ortiz Severino	Escala: 1/600,000	24	LEYENDA  Quebrada_Huanc EAc_2000.tif <VALUE> 0 - 0.911 0.912 - 1.9 1.91 - 3.11 3.12 - 5.16 5.17 - 19.4
UBICACIÓN GEOPOLITICA Departamento : Piura Provincia : Huancabamba Distrito : Huamarca	PROYECTO: MAPA DE EROSION ACTUAL - 2000		
UBICACIÓN GEODESICA Proyeccion - UTM WGS 84 -Zona : 17S	Fecha : Marzo - 2025		

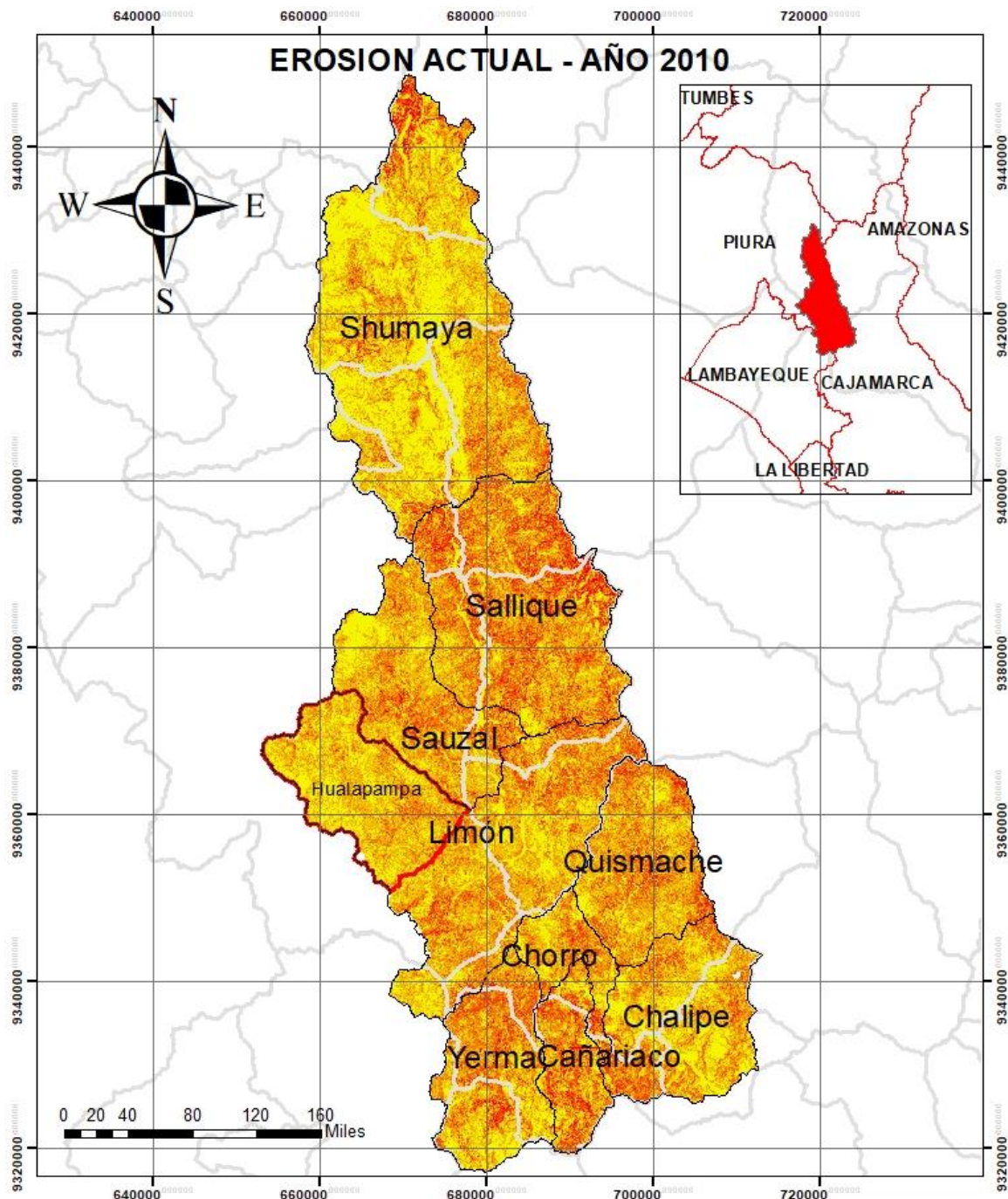
Anexo 31: Mapa de erosión Hídrica Suelo -cuenca Rio Huancabamba – 2005.



Elaborado : Bach. Leonel Gibran Ortiz Severino	Escala: 1/600,000	25
UBICACIÓN GEOPOLITICA Departamento : Piura Provincia : Huancabamba Distrito : Huamarca	PROYECTO: MAPA DE EROSION ACTUAL - 2005	
UBICACIÓN GEODESICA Proyeccion - UTM WGS 84 - Zona : 17S	Fecha : Marzo - 2025	

LEYENDA	
	Quebrada_Huanc
EAc_2005.tif	
<VALUE>	
	0 - 0.844013468
	0.844013468 - 1.740777779
	1.74077778 - 2.743043772
	2.743043773 - 4.1673165
	4.167316501 - 13.45146485

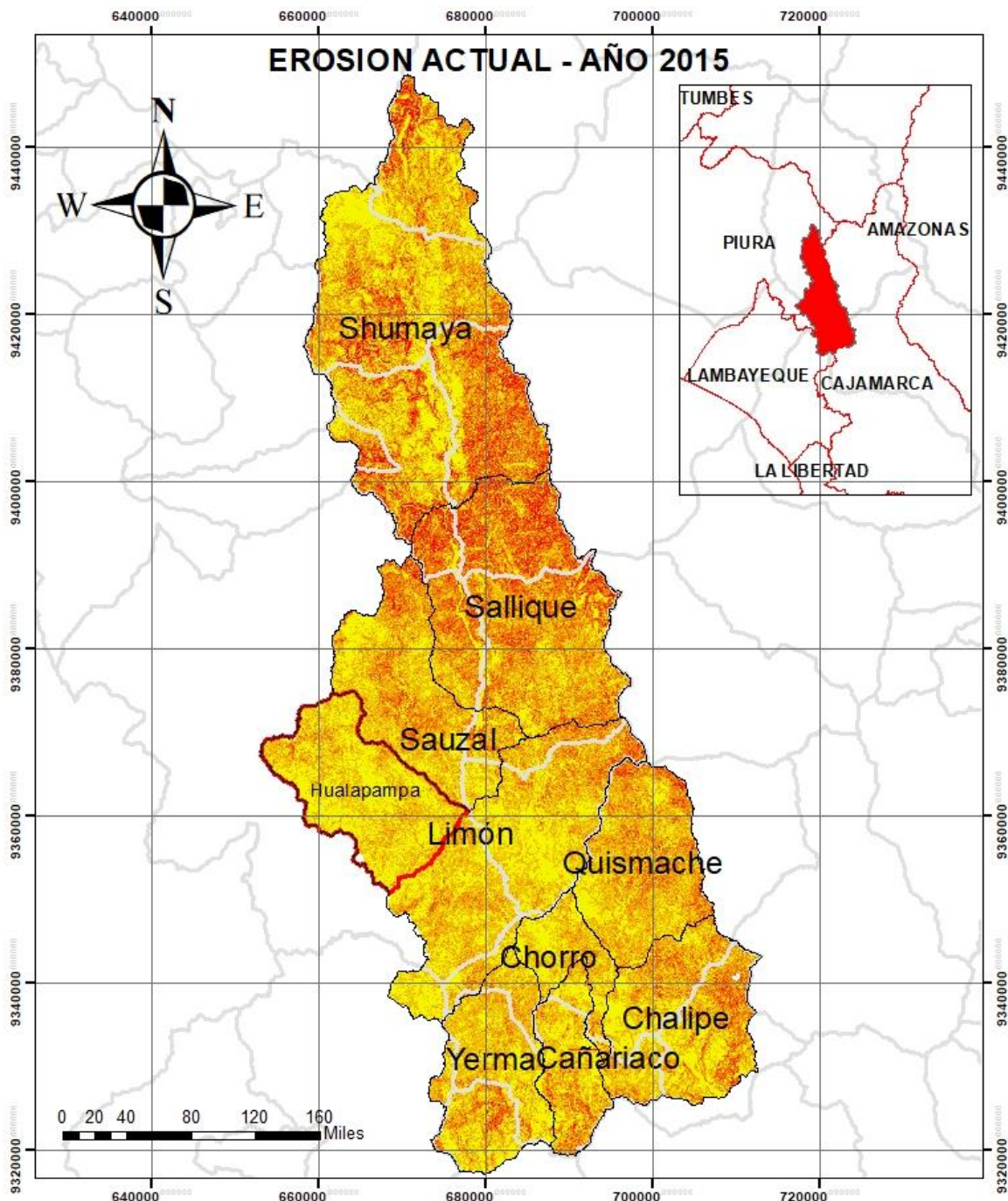
Anexo 32: Mapa de erosión Hídrica Suelo -cuenca Rio Huancabamba – 2010.



Elaborado : Bach. Leonel Gibran Ortiz Severino	Escala: 1/600,000	26
UBICACIÓN GEOPOLITICA Departamento : Piura Provincia : Huancabamba Distrito : Huamarca	PROYECTO: MAPA DE EROSION ACTUAL - 2010	
UBICACIÓN GEODESICA Proyeccion - UTM WGS 84 -Zona : 17S	Fecha : Marzo - 2025	

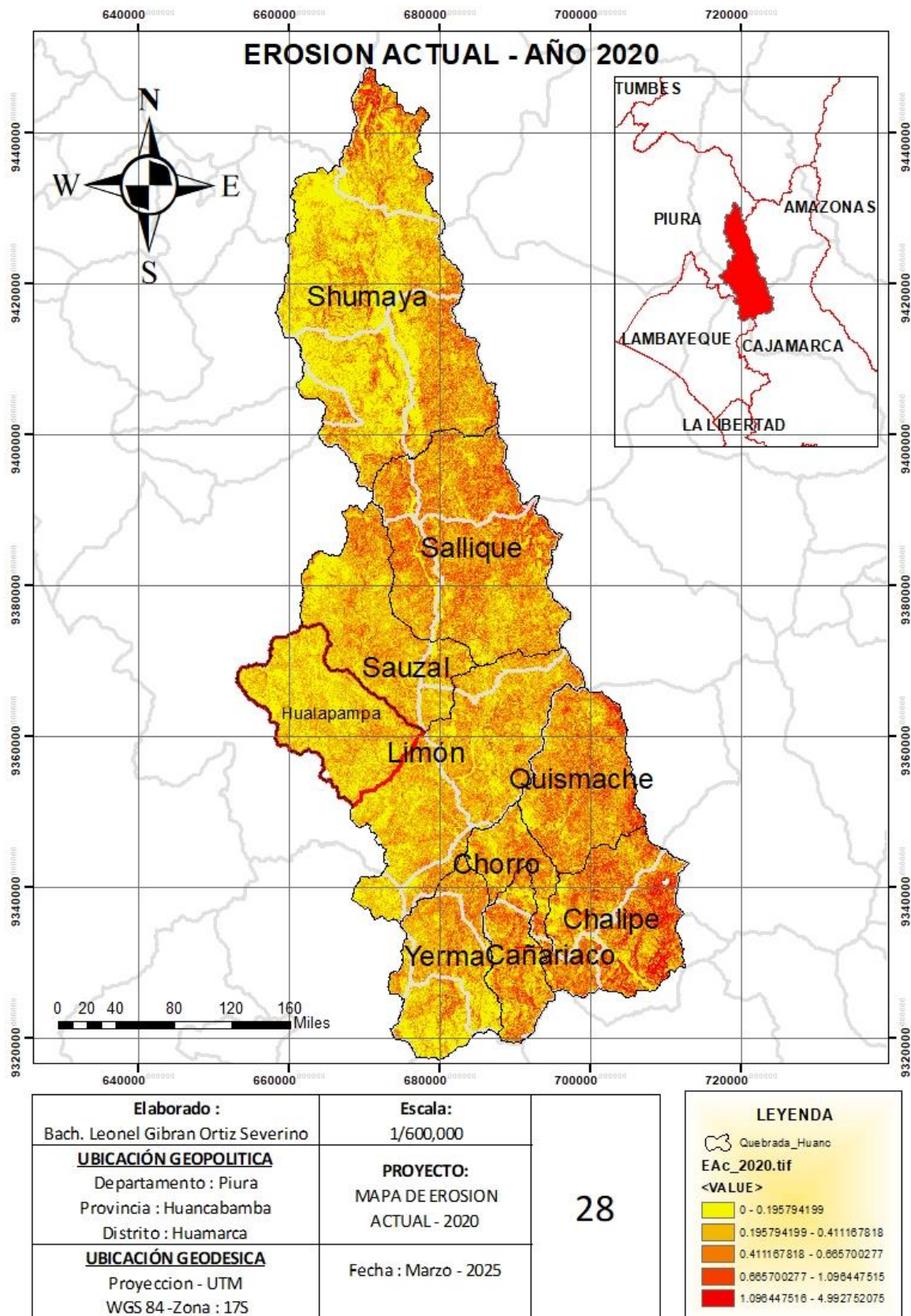
LEYENDA	
	Quebrada_Huanc
EAc_2010.tif	
<VALUE>	
	0 - 0.605877775
	0.605877775 - 1.262245365
	1.262245365 - 2.019592584
	2.019592585 - 3.18085832
	3.180858321 - 12.87490273

Anexo 33: Mapa de erosión Hídrica Suelo -cuenca Rio Huancabamba – 2015.

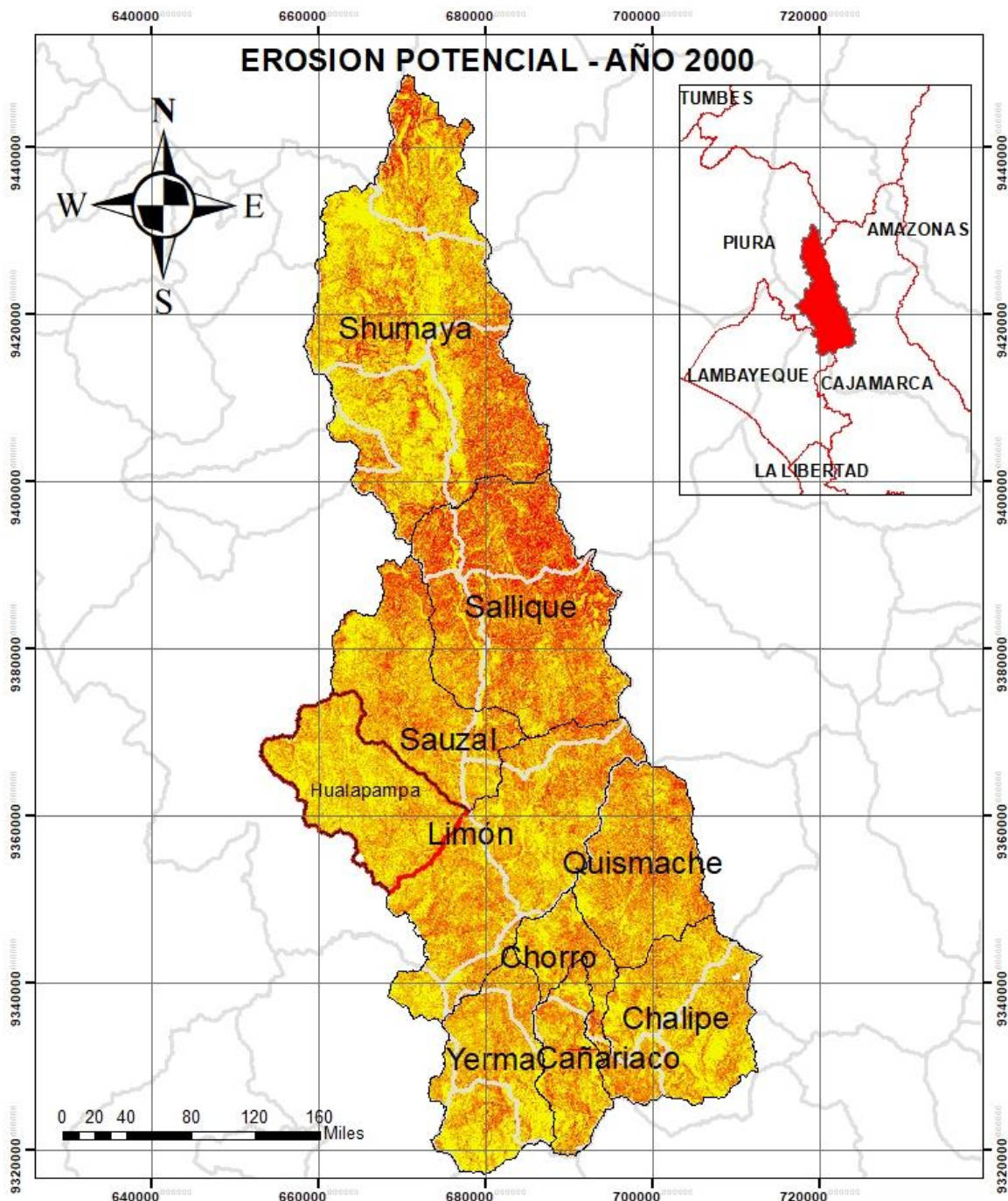


Elaborado : Bach. Leonel Gibran Ortiz Severino	Escala: 1/600,000	27	LEYENDA  Quebrada_Huanc EAc_2015.tif <VALUE> 0 - 0.623288682 0.623288682 - 1.298518087 1.298518088 - 2.129569663 2.129569664 - 3.376147027 3.376147028 - 13.24488449
UBICACIÓN GEOPOLITICA Departamento : Piura Provincia : Huancabamba Distrito : Huamarca	PROYECTO: MAPA DE EROSION ACTUAL - 2015		
UBICACIÓN GEODESICA Proyeccion - UTM WGS 84-Zona : 17S	Fecha : Marzo - 2025		

Anexo 34: Mapa de erosión Hídrica Suelo -cuenca Rio Huancabamba – 2020.

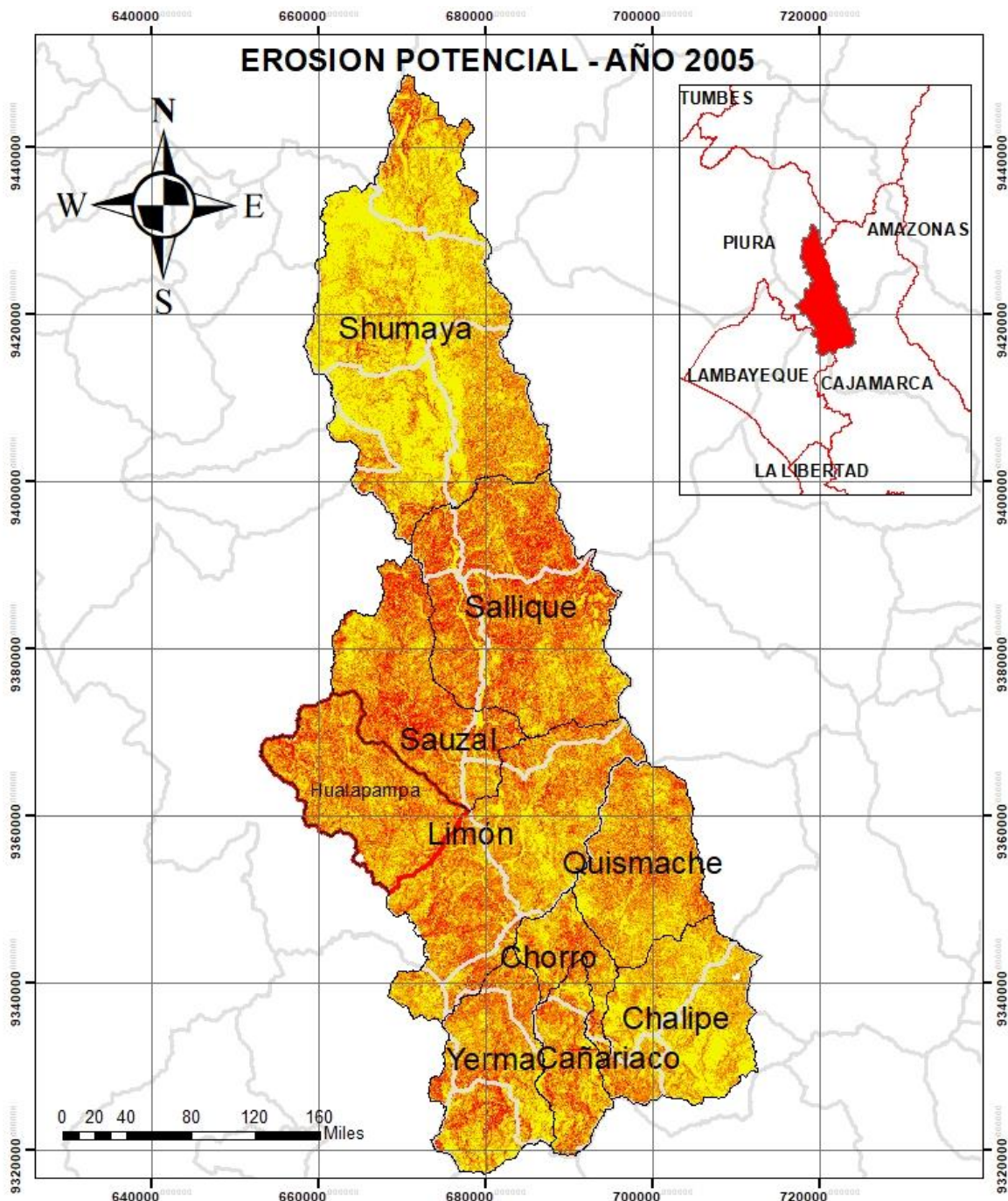



Anexo 35: Mapa de Erosión Potencial -cuenca Rio Huancabamba – 2000.



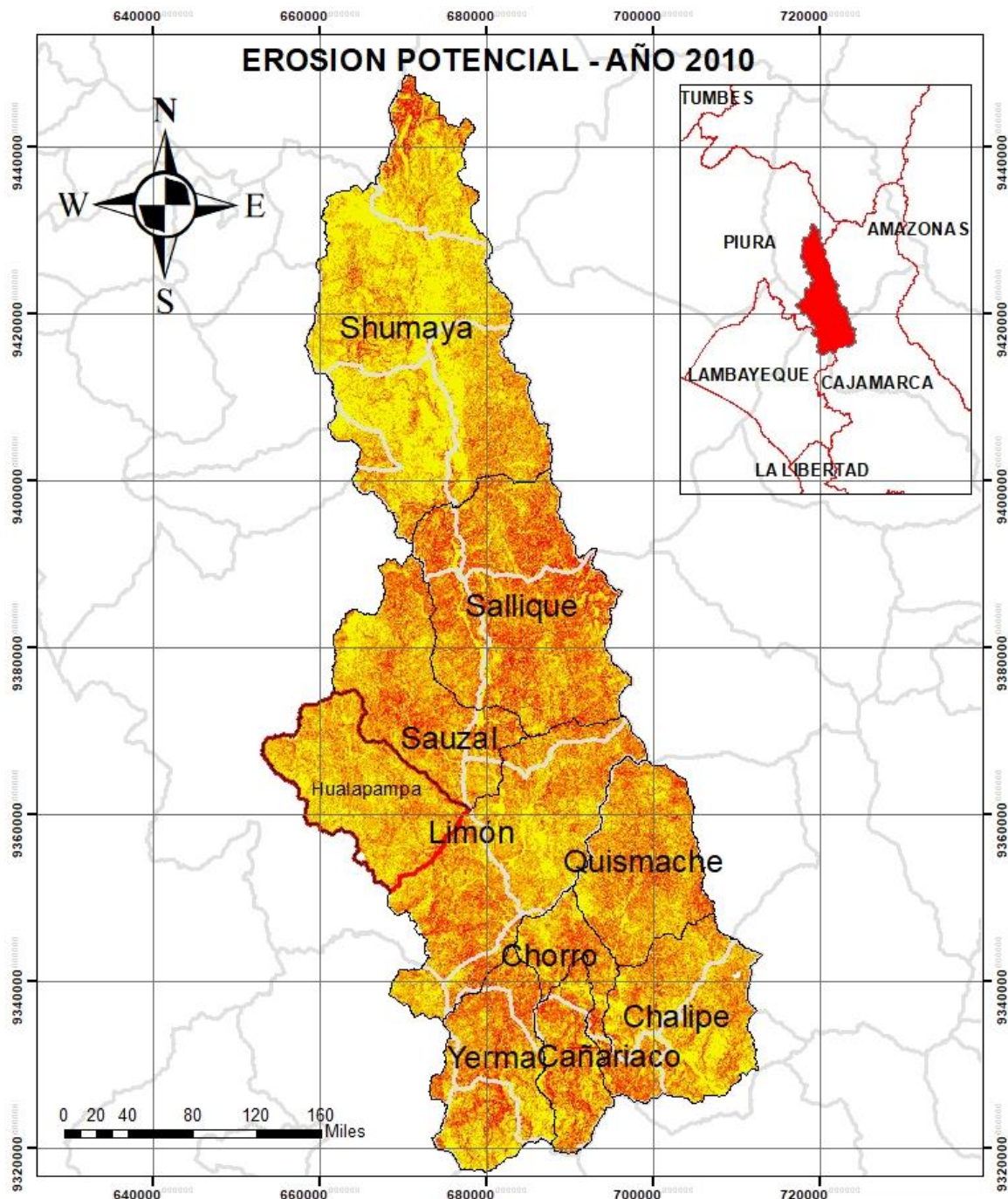
<p>Elaborado : Bach. Leonel Gibran Ortiz Severino</p>	<p>Escala: 1/600,000</p>	<p style="font-size: 2em; text-align: center;">29</p>	<p style="text-align: center;">LEYENDA</p> <p>Quebrada_Huanc</p> <p>EP_2000.tif</p> <p><VALUE></p> <ul style="list-style-type: none"> 0 - 17.68846041 17.68846042 - 35.37692081 35.37692082 - 56.6030733 56.60307331 - 88.44230203 88.44230204 - 300.7038289
<p>UBICACIÓN GEOPOLITICA</p> <p>Departamento : Piura Provincia : Huancabamba Distrito : Huamarca</p>	<p>PROYECTO: MAPA DE EROSION POTENCIAL - 2000</p>		
<p>UBICACIÓN GEODESICA</p> <p>Proyeccion - UTM WGS 84 -Zona : 17S</p>	<p>Fecha : Marzo - 2025</p>		


Anexo 36: Mapa de Erosión Potencial -cuenca Rio Huancabamba – 2005.



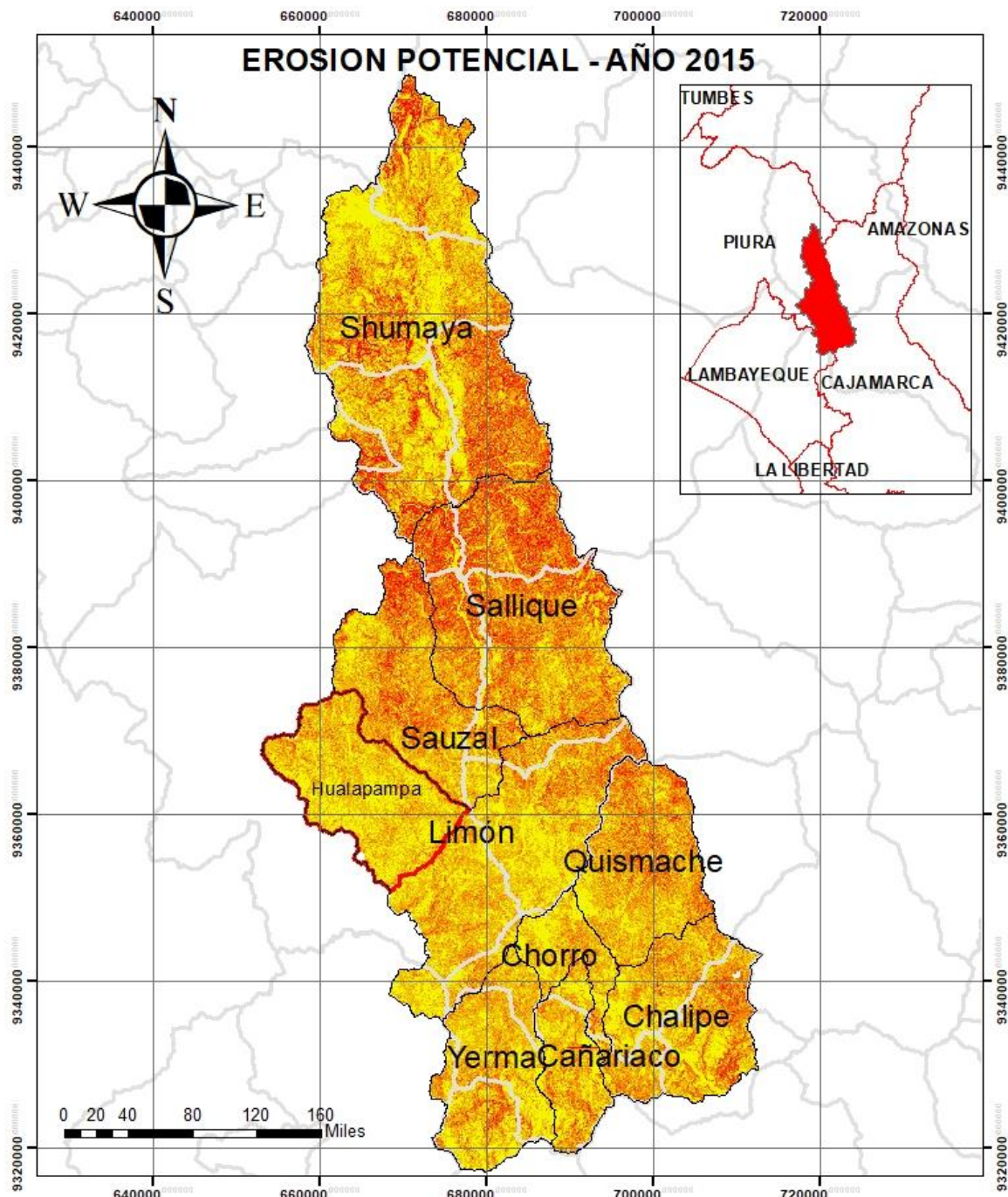
Elaborado : Bach. Leonel Gibran Ortiz Severino	Escala: 1/600,000	30	LEYENDA  Quebrada_Huanc EP_2005.tif <VALUE> 0 - 20.98806583 20.98806584 - 40.92672837 40.92672838 - 64.01360079 64.0136008 - 95.49569953 95.49569954 - 287.5978394
UBICACIÓN GEOPOLITICA Departamento : Piura Provincia : Huancabamba Distrito : Huamarca	PROYECTO: MAPA DE EROSION POTENCIAL - 2005		
UBICACIÓN GEODESICA Proyeccion - UTM WGS 84 -Zona : 17S	Fecha : Marzo - 2025		

Anexo 37: Mapa de Erosión Potencial -cuenca Rio Huancabamba – 2010.



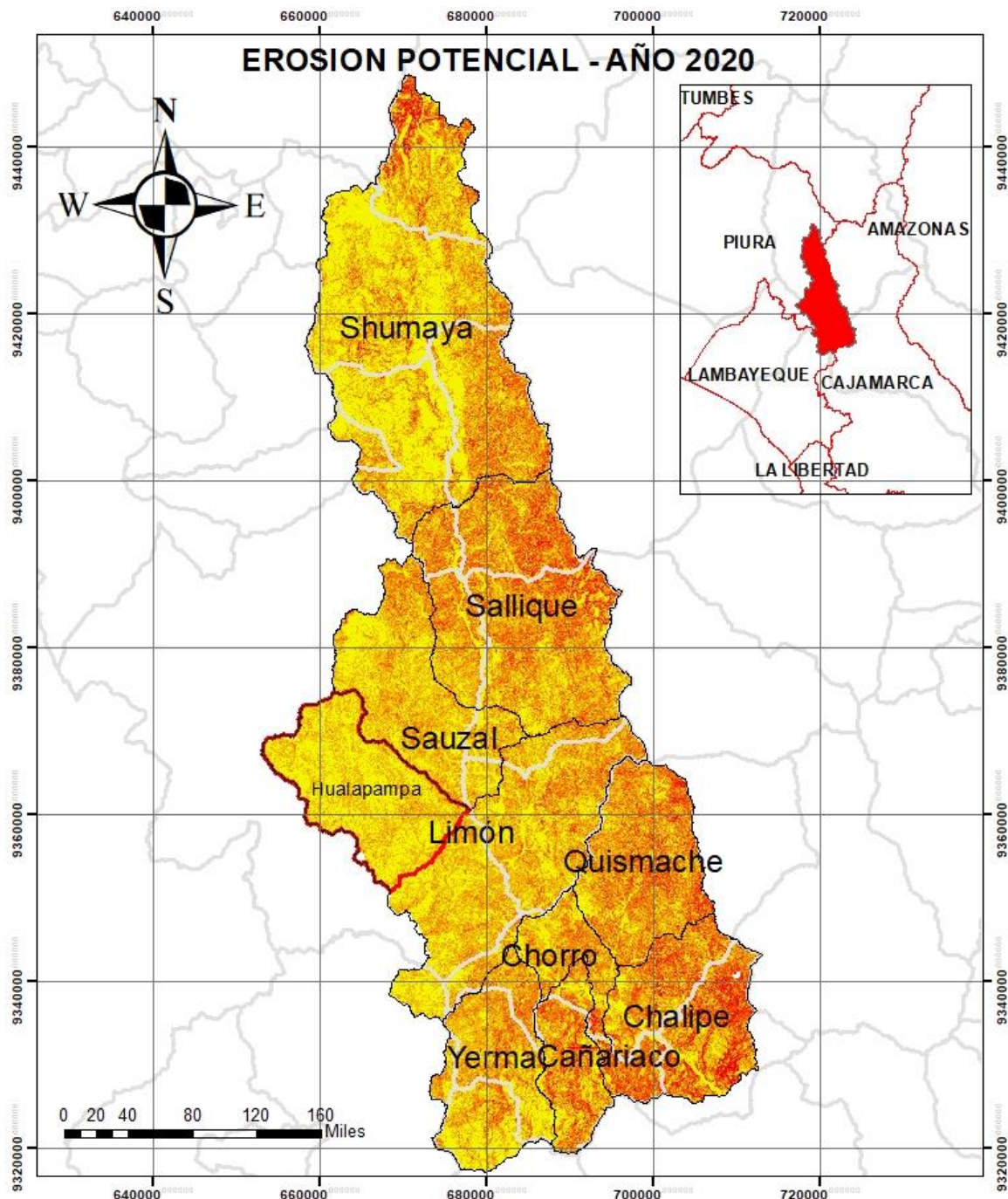
Elaborado : Bach. Leonel Gibran Ortiz Severino	Escala: 1/ 600,000	31	LEYENDA  Quebrada_Huanc EP_2010.tif <VALUE> 0 - 12.6151123 12.61511231 - 25.23022461 25.23022462 - 38.8863444 38.88634441 - 58.87052409 58.8705241 - 214.4669092
UBICACIÓN GEOPOLITICA Departamento : Piura Provincia : Huancabamba Distrito : Huamarca	PROYECTO: MAPA DE EROSION POTENCIAL - 2010		
UBICACIÓN GEODESICA Proyeccion - UTM WGS 84 -Zona : 17S	Fecha : Marzo - 2025		

Anexo 38: Mapa de Erosión Potencial -cuenca Rio Huancabamba – 2015.



<p>Elaborado : Bach. Leonel Gibran Ortiz Severino</p>	<p>Escala: 1/600,000</p>	<p>32</p>	<p>LEYENDA</p> <p>Quebrada_Huanc EP_2015.tif <VALUE></p> <ul style="list-style-type: none"> 0 - 12.3272595 12.32725951 - 24.654519 24.65451901 - 39.8233341 39.82333411 - 61.63629749 61.6362975 - 224.5322268
<p>UBICACIÓN GEOPOLITICA Departamento : Piura Provincia : Huancabamba Distrito : Huamarca</p>	<p>PROYECTO: MAPA DE EROSION POTENCIAL - 2015</p>		
<p>UBICACIÓN GEODESICA Proyeccion - UTM WGS 84 -Zona : 17S</p>	<p>Fecha : Marzo - 2025</p>		

Anexo 39: Mapa de Erosión Potencial -cuenca Rio Huancabamba – 2020



<p>Elaborado : Bach. Leonel Gibran Ortiz Severino</p>	<p>Escala: 1/600,000</p>	<p>33</p>	<p>LEYENDA</p> <p>Quebrada_Huanc</p> <p>EP_2020.tif</p> <p><VALUE></p> <ul style="list-style-type: none"> 0 - 5.677095211 5.677095212 - 11.35419042 11.35419043 - 18.34138453 18.34138454 - 29.69557495 29.69557496 - 111.3584061
<p>UBICACIÓN GEOPOLITICA</p> <p>Departamento : Piura Provincia : Huancabamba Distrito : Huamarca</p>	<p>PROYECTO: MAPA DE EROSION POTENCIAL - 2020</p>		
<p>UBICACIÓN GEODESICA</p> <p>Proyeccion - UTM WGS 84-Zona : 17S</p>	<p>Fecha : Marzo - 2025</p>		

Anexo 40: MATRIZ DE CONSISTENCIA.

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLE
<p>El río Huancabamba por ser cuenca hidrográfica pro sedimentaria tiene a tener niveles altos de erosión hídrica.</p>	<p>General:</p> <p>Estimar la Perdida de suelo utilizando el modelo Rusle y Sistemas de Información Geográfica en la Cuenca Rio Huancabamba, 2024.</p>	<p>General:</p> <p>La Cuenca Rio Huancabamba tiene un índice alto de erosión hídrica lo que ha generado un gran porcentaje de sedimentos consolidados hacia aguas abajo del embalse Limón.</p>	<p>Dependiente:</p> <p>Erosión Hídrica en la cuenca Rio Huancabamba.</p>
	<p>Específico</p> <p>1.-Determinar los factores de erosión hídrica mediante el modelo Rusle empelando sistema de información Geográfica, ArcGIS.</p> <p>2.-Calcular cuantitativamente la erosión hídrica en la cuenca Rio Huancabamba mediante la metodología RUSLE.</p> <p>3.- Determinar el índice de la degradación del suelo en la Cuenca Rio Huancabamba.</p>	<p>Específico:</p> <p>1.-La Cuenca Rio Huancabamba posee un gran porcentaje en cobertura vegetal, la geomorfología muestra un grado medio en la presencia de piedemonte y el uso de suelo indica un grado de proporción inversa al desarrollo de la quebrada.</p> <p>2.-El aumento de tasa de pérdida del suelo por erosión hídrica es debido a la capacidad de transporte del escurrimiento bajo una intensa lluvia a través de pendientes pronunciadas.</p> <p>3.-En el cálculo de la Ecuación de Predicción de pérdida de suelo Rusle se obtiene resultados en donde se determina un índice de grado tolerancia critico en la sub cuenca quebrada Hualapampa, por lo cual, demuestra ser una de las quebradas que más aporta en sedimento al Rio Huancabamba.</p>	<p>Independiente:</p> <p>Factores que interactúan en la erosión hídrica (Climáticos, cobertura vegetal, Topográfico, Practicas de conservación de suelo, erodabilidad)</p>