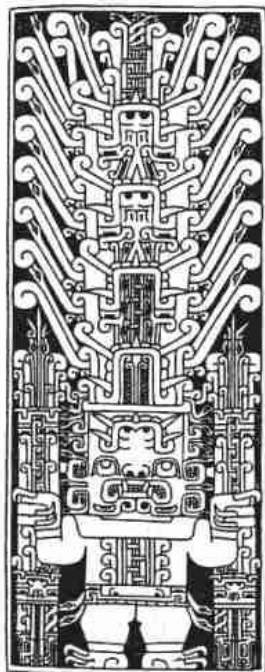


UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL



Título: *“Análisis Comparativo de la erosión hídrica por los métodos de
USLE y varillas en la Subcuenca del río Pusmalca – Piura”*
(Comparative analysis of water erosion by USLE and rods methods in Pusmalca river's
subbsain - Piura.)

Tesis presentada por el Bachiller:

Benites Flores, Orlando

Para obtener el Título profesional de:

Ingeniero Ambiental

LIMA - PERÚ
2017

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo de investigación a mi Padre y Madre del Cielo quienes siempre están a mi lado cuidándome y son fuerza principal en mi vida.

A mi querida abuela Nicolasa Huamán Santa Cruz, quien con su tesón y motivación educo a mi madre.

A mis padres Orlando y Francisca, a mis hermanas Veronika, Flor y Cecilia, a quienes su presencia y apoyo significa una bendición para mí durante todos estos años.

Finalmente, a Katicsa, quien me acompaño durante toda esta etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por estar siempre presente a mi lado, a la Virgen María, madre celestial y a San Miguel Arcángel, quienes guiaron mi camino durante la etapa de campo y posterior desarrollo del informe de tesis.

A mis amados padres Orlando y Francisca por apoyarme plena y moralmente en el desarrollo de esta investigación de manera incondicional.

A mis hermanas Veronika, Flor y Cecilia por inculcarme el deseo de superación y ayudarme en el financiamiento de la investigación.

A mi abuela Nicolasa Huamán por permitirme realizar las pruebas de campo en sus terrenos y por acogerme en su hogar. De igual manera, a mi tío Manuel Flores Huamán, siendo ambos quienes me ayudaron y acompañaron durante la etapa de campo.

A mi asesor Dr. J. Walter Gómez Lora por brindarme su confianza y paciencia, así como la guía y apoyo incondicional durante la elaboración de la investigación. A su vez, a su familia por brindarme un ambiente cálido en su hogar.

A mis profesores informantes: Ing. Edwin Galarza, Ing. Noé Zamora, Ing. Aldo Sandoval e Ing. Rogelia Guillén por su tiempo y dedicación.

Al laboratorio de Aguas y Suelos de la FIGAE, en la persona del Ing. Omar Vásquez Aranda, quien me ayudo con los ensayos de laboratorio.

Al Senamhi por el acceso a la información pluviométrica evaluada en el presente estudio.

A los ingenieros Juan Baldera y Jhoselyn Aramburu, quienes me ayudaron desde el inicio de la Tesis con sus acertados consejos.

A la Municipalidad de San Miguel de El Faique, en la persona del Ing. Juan Francisco Calle Enríquez, jefe del área de desarrollo local, por brindarme la información solicitada.

Agradezco de manera especial a Katicsa, mi compañera fiel y constante, que aunque no siempre este a mi lado, me cuida y me ayuda en la medida de sus posibilidades, gracias.

A todas las personas que hicieron posible la realización de esta investigación, gracias.

RESUMEN

Esta investigación se desarrolló en el ámbito de la Subcuenca Pusmalca, ubicada al norte del país, con una superficie de 190.2 km². Ésta se ve afectada por la actividad antropogénica expresada en la tasa de deforestación con el fin de ampliar áreas agropecuarias (invernas, principalmente en las zonas de alta pendiente), lo que causa un empobrecimiento del suelo, además de la alta capacidad erosiva de lluvias, que se incrementa con la presencia del fenómeno El Niño en la zona de estudio. Por ello, el objetivo principal de la presente investigación es cuantificar la erosión hídrica por los métodos de varillas y la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE), a fin de determinar la variación entre ambos. Teniendo como pilares los siguientes objetivos específicos: Identificar áreas de erosión hídrica mediante criterios e índices de erosión y la técnica de SIG, Cuantificar la pérdida anual de suelo mediante los métodos USLE y varillas de erosión, Determinar la influencia del contenido de materia orgánica y la cubierta de fragmentos de roca en la pérdida de suelo y finalmente, Analizar la variación entre los métodos de varillas de erosión y USLE. Para lo cual se empleó el método hipotético deductivo.

Se realizaron dos análisis; en el primero se evaluó el modelo USLE (E_1) con la determinación de sus parámetros clásicos, en el segundo se evaluó las mejoras dispuestas para los diferentes parámetros del USLE (E_2), como lo es la inclusión de las cuatro restricciones del nomograma del factor de erodabilidad (K) y demás factores; también se evaluó la influencia de los fragmentos de roca (FR) y contenido de materia orgánica (MO) sobre la pérdida de suelo en un Análisis de Varianza en un Diseño completamente al azar factorial, en parcelas de varillas instaladas en zonas de alta erosión identificadas en el primer análisis y contrastadas con índices de erosión. Asimismo, permitió detallar que la sección media presenta un grado de erosión moderada a muy alta. En el primer análisis (E_1) se obtuvieron tasas de erosión de 53, 72, 76, 86, 96 t/ha/año para tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50, y 100 años respectivamente. Del mismo modo, en el segundo análisis (E_2) se tienen pérdidas de suelo de 54, 67, 76, y 85 t/ha/año. En el análisis de varianza se encontró significancia en la interacción de FR y MO ($F_{cal}= 17.8$). La variación es del orden de 19% para el E_1 y de 0.3% para el E_2 , respecto a los datos observados en varillas. Finalmente, el índice de eficiencia de Nash – Sutcliffe, aclara que el modelo E_2 , presenta una alta confiabilidad respecto a los valores observados en campo (varillas) frente al E_1 . Se concluye que el modelo es aceptable para zonas de erosión alta y muy alta, tomando para ello las consideraciones evaluadas en este estudio.

Palabras claves: Erosión hídrica, USLE, Varillas, Fenómeno El Niño, Erodabilidad, Erosividad, Materia Orgánica, Fragmentos de Roca.

ABSTRACT

This research has been performed in the ambit of Pusmalca subbasin, located in the north of the country (Departament of Piura), with a surface of 190.2 km². It's affected by anthropogenic activity expressed in a deforestation ratio with the purpose of the extention agricultural areas (winter, mainly in areas of high slope) which causes soil impoverishment, besides the high rain erosive capacity, which increases with the El Niño's phenomenon presence in the study area. For that reason, the principal objective of this research is to quantify water erosion by rod methods and the Universal Soil Loss Equation (USLE), establishing the variation between both values, considering the following specific objectives: to identify water erosion areas through standards and erosion index and SIG technique; to quantify the annual soil loss through the rod and USLE methods; to determine organic matter content influence and rock fragments cover in the soil loss and, finally, to analyze variation between both methods, for which it was applied the deductive hypothetic method.

Two analysis were made: USLE (E₁) model was evaluated with the determination of its classical parameters; the second one evaluated the improvements arranged for the different parameters of USLE (E₂), such as insertion of the four constraints of the factor nomogram of erodibility (K) and other factors. The influence of rock fragments (FR) and organic matter content (OM) on soil loss was also evaluated in a Variance Analysis in a completely randomized Design, in plots of rods installed in high erosion zones identified in the first analysis and contrasted with erosion rates. It also allowed to detail that the middle section presents a moderate to very high degree of erosion. In the first analysis, (E₁) erosion rates of 58, 70, 85, 97 and 108 t/ha/year were obtained for return times of 5, 10, 25, 50, and 100 years respectively. Similarly, in the second analysis, (E₂) soil losses of 50, 62, 76, 86 and 97 t/ha/year have been lost. In the analysis of variance, significance was found in the interaction of FR and MO ($F_{cal} = 17.8$). The variation is the order of 19% for E₁ and of 0.3% for E₂, regarding to the data observed in rods. Finally, the index of the Nash - Sutcliff efficiency, clarifies that the E₂ model, presents a high reliability concerning to the values observed in field (rods) against E₁. In conclusion, the model USLE (E₂) is acceptable for high and very high erosion zones taking into account the considerations evaluated in this study.

Key words: *Water Erosion, USLE, Rods, El Niño Phenomenon, Erodability, Erosivity, Organic Matter, Rock Fragments.*

INTRODUCCIÓN

Los modelos de erosión hídrica son muy usados en la cuantificación de la pérdida de suelo, a pesar de ser desarrollados en regiones geográficas (templadas) diferentes a las cuales son aplicados (regiones tropicales). Uno de ellos es el modelo universal de pérdida de suelos (USLE) debido a su fácil aplicación. Si bien este modelo tiende a sobreestimar los valores reales, no se sabe cuánto es dicha variación, sobre todo en zonas de alta erosión, debido a las condiciones en las que fue desarrollado.

La región norte del Perú es afectada por la ocurrencia del Fenómeno El Niño que incide en la variabilidad climática de las precipitaciones, principalmente en la zona baja hasta la zona alta. La subcuenca Pusmalca se encuentra en la sección alta de la cuenca del río Piura, esta unidad tiene un rango de altitud de 150 - 3600 msnm, lo que ocasiona incidencia parcial de El Niño. Actualmente, la actividad antropogénica expresada en la actividad de deforestación para ampliar áreas agropecuarias (invernas, principalmente en las zonas de alta pendiente) causan pérdidas de biomasa (árboles, arbustos, herbáceas, etcétera) y biodiversidad, así como de los servicios ambientales del bosque, lo que causa un empobrecimiento del suelo a lo que se suma la alta capacidad erosiva de lluvias, que se incrementan con la presencia de El Niño en la zona de estudio (840 mm) y la ausencia de medidas de control de parte de las autoridades y de la población, ocasionando una alta vulnerabilidad de pérdida de suelo por erosión hídrica.

Debido a esto, en la presente investigación se pretende cuantificar la erosión hídrica por los métodos de varillas y USLE, utilizando la versión clásica de los parámetros de dicho modelo y las versiones mejoradas de ellos mediante la técnica SIG a fin de determinar la variación entre ambos.

La estructura del presente trabajo tiene cinco capítulos; en el capítulo I se desarrollan los aspectos metodológicos que involucran los veinte antecedentes referidos al problema de

investigación, descripción y formulación de problema, así como los objetivos tanto generales como específicos, las hipótesis, la operacionalización de variables por cada objetivo específico y finalmente la justificación e importancia. En el capítulo II, se presenta el marco teórico con los conceptos de erosión hídrica y los factores que intervienen en ellos, así como la influencia del fenómeno de El Niño en el área de estudio. En el capítulo III, se presenta los materiales y equipos utilizados, así como los procedimientos por cada objetivo de investigación. En el capítulo IV, se desarrollan las características generales de la subcuenca, el mismo que ha permitido el desarrollo satisfactorio y obtención de resultados desarrollados en el capítulo V, en el que se determinan las cuantificaciones de la pérdida de suelo por las versiones USLE (clásica y actual), así como el método de varillas y la influencia de los fragmentos de roca y materia orgánica en la pérdida de suelo. Posteriormente, se analiza la variación de éstos. Finalmente, el capítulo VI comprende la discusión de resultados, las conclusiones por cada objetivo, recomendaciones y finalmente los anexos donde se muestran los registros pluviométricos de las estaciones empleadas en esta investigación, la información generada, los resultados de los análisis de laboratorio de la Facultad de Ingeniería Agrícola de la Universidad Nacional Agraria La Molina (FIA-UNALM) y el registro fotográfico obtenido de las observaciones de campo.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN.....	iv
ABSTRACT.....	iv
INTRODUCCIÓN.....	vi

CAPITULO I: ASPECTOS METODOLÓGICOS

1. ASPECTOS MÉTODOLÓGICOS.....	21
1.1. ANTECEDENTES.....	21
1.1.1. Nacionales.....	21
1.1.2. Internacionales.....	26
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	33
1.2.1. Descripción del Problema.....	33
1.2.2. Formulación del Problema.....	35
1.2.2.1. Problema Principal.....	35
1.1.1.2. Problemas Secundarios.....	35
1.2. OBJETIVOS.....	36
1.2.1. Objetivo Principal.....	36
1.2.2. Objetivos Específicos.....	36
1.3. HIPÓTESIS GENERAL.....	36
1.3.1. Hipótesis específicas.....	36
1.4. VARIABLES.....	37
1.4.1. Variables dependientes e independientes del primer objetivo específico.....	37
1.4.2. Variables dependientes e independientes del segundo objetivo específico.....	38
1.4.3. Variables dependientes e independientes del tercer objetivo específico.....	38
1.4.4. Variables dependientes e Independientes del cuarto objetivo específico.....	38
1.5. JUSTIFICACIÓN.....	39
1.6. IMPORTANCIA.....	40

CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2. MARCO TEÓRICO.....	41
2.1. FORMACIÓN DEL SUELO.....	41
2.1.1. El Clima.....	43
2.1.2. Material Parental.....	43

2.1.3. Organismos	44
2.1.4. Relieve.....	44
2.1.5. Tiempo.....	44
2.2. PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO	45
2.2.1. Textura del suelo.....	45
2.2.1.1. Característica de los suelos según su textura	45
2.2.2. Estructura del Suelo	47
2.2.3. Permeabilidad	48
2.2.4. Densidad aparente.....	49
2.3. EROSIÓN DE SUELOS	49
2.3.1. Costos de la erosión	49
2.4. EROSIÓN HÍDRICA	50
2.4.1. Tipos de erosión hídrica	51
2.4.1.1. Erosión por salpicadura	51
2.4.1.2. Erosión laminar	51
2.4.1.3. Erosión en surcos.....	52
2.4.1.4. Erosión en cárcavas	52
2.5. FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE LA EROSIÓN HÍDRICA	52
2.5.1. Factor Lluvia	52
2.5.1.1. Velocidad de la gota de lluvia.....	52
2.5.1.2. Intensidad de lluvia.....	53
2.5.2. Factor Suelo	53
2.5.2.1. Estructura del suelo	53
2.5.2.2. Humedad del suelo	54
2.5.2.3. Formación del sellado.....	54
2.5.2.4. Contenido de materia orgánica	55
2.5.2.5. Los fragmentos de roca.....	55
2.5.2.5.1. Efectos de los fragmentos de roca	56
2.5.3. Factor Topografía y Pendiente	57
2.5.4. Factor Cobertura Vegetal	58
2.5.5. Factor Humano	59
2.6. TASA DE FORMACIÓN DEL SUELO.....	60
2.7. TOLERANCIA DE PÉRDIDA DE SUELO	60
2.8. MEDICIÓN DE LA EROSIÓN	61

2.9. PARÁMETROS DEL SUELO EN RELACIÓN CON LA EROSIÓN HÍDRICA	62
2.9.3. Índice de Separabilidad de Partículas.....	62
2.9.4. Índice de Estabilidad Estructural de Pieri (1995)	63
2.10. LA INFLUENCIA DE EL FENÓMENO EL NIÑO EN EL NORTE DEL PAÍS	64
2.11. ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELOS - USLE	67
2.11.3. Factor R	68
2.11.3.2.Fórmula de Morgan (1974).....	68
2.11.4. Factor K	69
2.11.4.2.Ecuación clásica del factor K.....	69
2.11.4.3.Ecuación del factor K para suelos calcáreos	71
2.11.4.4.Las cuatro restricciones del nomograma.....	72
2.11.5. Factor LS	74
2.11.6. Factor C	76
2.11.7. Factor P.....	78
2.12. LIMITACIONES DEL USLE	78
2.12.3. Factor R	78
2.12.4. Factor K	78
2.12.5. Factor LS	79
2.12.6. Factor C	79
2.13. PARCELAS EXPERIMENTALES DE VARILLAS DE EROSIÓN	79
2.13.3. Erosión media y sedimentación media	80
2.13.4. Erosión neta	81
2.13.5. Suelo movilizado	81
CAPITULO III: MATERIALES Y EQUIPOS	
3. MATERIALES Y MÉTODOS	82
3.1. MATERIALES Y EQUIPOS	82
3.1.1. Materiales	82
3.1.1.1. Información geográfica	82
3.1.1.2. Mapas Temáticos	82
3.1.1.3. Para el Trabajo de Campo	82
3.1.2. Equipos y software.....	83
3.2. MÉTODOS	84
3.2.1. Diseño, Tipo y Niveles de la Investigación.....	84

3.3. PROCEDIMIENTOS	84
3.3.1. Identificación de áreas de erosión hídrica mediante criterios e índices de erosión y la técnica SIG.	84
3.3.1.1. Procedimiento de integración Temática	85
3.3.1.1.1. Elaboración de la plantilla	85
3.3.1.1.2. Elaboración de sobrepuesta base (SB)	85
3.3.1.1.3. Codificación	85
3.3.2. Cuantificación de la pérdida anual de suelo mediante los métodos USLE y varillas de erosión.	87
3.3.2.1. Cuantificación de la pérdida anual de suelo mediante el método USLE	87
3.3.2.1.1. Primera versión del K	87
3.3.2.1.2. Segunda versión del USLE	87
3.3.1.1.3. Tercera versión del USLE	87
3.3.1.2. Cuantificación de la pérdida anual de suelo mediante el método de varillas de erosión	88
3.3.2. Determinación de la influencia del contenido de materia orgánica y la cubierta de fragmentos de roca en la pérdida de suelo.	88
3.3.3. Determinar la variación entre los métodos de varillas y USLE.	89
3.4. ETAPAS DE INVESTIGACIÓN	90
3.4.1. Etapa de Pre Gabinete	90
3.4.2. Etapa de Pre campo	90
3.4.3. Etapa de Campo	91
3.4.4. Etapa de Gabinete	91
3.5. POBLACIÓN	91
3.6. MUESTRA	91
CAPITULO IV: CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA SUBCUENCA	
4. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA SUBCUENCA PUSMALCA	92
4.1. UBICACIÓN	92
4.1.1. Ubicación política y localización	92
4.1.2. Demarcación Territorial de los distritos de la subcuenca Pusmalca	92
4.1.2.1. Distrito de San Miguel de El Faique	92
4.1.2.1.1. Creación Política	92
4.1.2.1.2. Ubicación Política	93
4.1.2.2. Distrito de Canchaque	93
4.1.2.2.1. Creación política	93
4.1.2.2.2. Ubicación Política	93

4.2. VÍAS DE ACCESO Y COMUNICACIÓN	93
4.2.1. Vías de Acceso.....	93
4.3. DIAGNOSTICO FÍSICO DE LA SUBCUENCA PUSMALCA	96
4.3.1. Parámetros Geomorfológicos.....	96
4.3.2. Parámetros de relieve de la cuenca.....	96
4.3.3. Parámetros de red de drenaje	101
4.3.4. Climatología	106
4.3.5. Hidrología.....	123
4.3.6. Geología.....	123
4.3.7. Geomorfología.....	128
4.3.8. Suelos	131
4.3.9. Fisiografía	134
4.3.10. Ecología.....	137
4.3.11. Cobertura Vegetal.....	143
4.3.12. Potencial minero y áreas de concesión minera	148
4.3.13. Diagnostico socioeconómico	151
4.3.14. Capacidad de uso mayor	155
4.3.15. Deforestación	161

CAPITULO V: RESULTADOS

5. RESULTADOS.....	163
5.1. IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE EROSIÓN HÍDRICA	163
5.1.1. Aplicación de unidades integradas de territorio (UIT)	163
5.2. DETERMINACIÓN DE LA TASA DE EROSIÓN HÍDRICA (PRIMER ANÁLISIS).....	164
5.2.1. Análisis de la influencia del Fenómeno El Niño en las precipitaciones máximas en la subcuenca Pusmalca.	164
5.2.2. Grado de afectación de El Niño en la Subcuenca Pusmalca.....	167
5.2.3. Extensión de la Precipitación máxima en 24 horas	169
5.2.3.1. Extensión de la precipitación máxima de la estación Barrios.....	169
5.2.3.2. Extensión de la precipitación máxima de la estación Chignia.....	169
5.2.3.3. Extensión de la precipitación máxima de la estación Canchaque	170
5.2.4. Determinación de Estación Representativa	171
5.2.4.1. Clasificación de la lluvia.....	173
5.2.5. Determinación de Precipitaciones máximas.....	173
5.2.6. Determinación de intensidades máximas (I_{30})	179

5.2.7. Determinación del Factor de Erosividad “R” (Mj/mm/ha/h).....	181
5.2.8. Factor de erodabilidad (Factor K) (t/Mj/mm).....	184
5.2.9. Factor LS (Adimensional).....	188
5.2.9.1. Mapa de Pendientes	188
5.2.10. Factor C (Adimensional).....	193
5.2.11. Factor P (Adimensional)	196
5.3. ÍNDICES DE EROSIÓN	201
5.4. CUANTIFICACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA POR EL MÉTODO USLE Y VARILLAS	202
5.4.1. Cuantificación de la erosión por el método USLE (Segundo Análisis)	202
5.4.1. Cuantificación de la tasa de erosión por el método de Varillas	211
5.5. INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA Y FRAGMENTOS DE ROCA	214
5.6. ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA POR LOS MÉTODOS USLE Y VARILLAS	219
5.6.1. Variación entre los métodos USLE y varillas.	220
5.6.2. Variación en los costos de pérdida de suelo por el modelo USLE	226
CAPITULO VI: DISCUSIÓN DE RESULTADOS	
6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	227
CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
7.1. CONCLUSIONES	231
7.2. RECOMENDACIONES	232
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	233
ANEXOS.....	239

ÍNDICE DE CUADROS

DESCRIPCIÓN

Cuadro N° 1: Variables dependientes e independientes del primer objetivo específico	37
Cuadro N° 2: Variables dependientes e independientes del segundo objetivo específico	38
Cuadro N° 3: Variables dependientes e independientes del tercer objetivo específico	38
Cuadro N° 4: Variables dependientes e independientes del cuarto objetivo específico.....	38
Cuadro N° 5: Clasificación de partículas del suelo según su tamaño (U.S.D.A.)	45
Cuadro N° 6: Efectos positivos de la estructura sobre las propiedades del suelo	47
Cuadro N° 7: Clases de permeabilidad con respecto a la textura y estructura del suelo	48
Cuadro N° 8: Manifestaciones generales de El Niño en el Perú.....	64
Cuadro N° 9: Intensidad, duración y cantidad de precipitación en el norte del país durante el mes de febrero de 1998.....	65
Cuadro N° 10: Niveles de riesgo ante eventos de alta pluviosidad (NRP).....	66
Cuadro N° 11: Valores de m en relación al % de pendiente.....	75
Cuadro N° 12: Factor C para praderas permanentes, terrenos baldíos y bosques pastoreados	77
Cuadro N° 13: Factor P de prácticas de conservación	78
Cuadro N° 14: Costo de Pasajes vía terrestre o aérea, según agencias	94
Cuadro N° 15: Formas de la cuenca según el coeficiente de compacidad	97
Cuadro N° 16: Resumen de los principales parámetros fisiográficos según unidad hidrográfica	104
Cuadro N° 17: Ubicación de estaciones meteorológicas.....	106
Cuadro N° 18: Temperatura media mensual de las estaciones Huarmaca y Malacasi (Periodo 2004-2014)	106
Cuadro N° 19: Valores de temperatura media anual y altitud de las estaciones Huarmaca y Malacasi	107
Cuadro N° 20: Ecuación regional de temperatura para la subcuenca Puzmalca	107
Cuadro N° 21: Ecuación regional de precipitación para la subcuenca Puzmalca	107
Cuadro N° 22: Valores de humedad relativa media anual y altitud	112
Cuadro N° 23: Registro de información de humedad relativa media mensual de estaciones cercanas	113
Cuadro N° 24: Ecuación regional de humedad relativa para la subcuenca Puzmalca	113
Cuadro N° 25: Registro de evaporación media mensual de estaciones cercanas	114
Cuadro N° 26: Valores de humedad relativa media anual y altitud - Estaciones Chulucanas y Huarmaca.....	114
Cuadro N° 27: Ecuación regional de evaporación para la subcuenca Puzmalca	111
Cuadro N° 28: Calculo del Fa adimensional según mes del año	116
Cuadro N° 29: Precipitación media mensual de la estación Canchaque y su respectivo Fa mensual.	116
Cuadro N° 30: Jerarquías de Humedad	118
Cuadro N° 31: Tipo de distribución de la humedad a través del año	119
Cuadro N° 32: Jerarquías de temperatura	119
Cuadro N° 33: Tipos de distribución de la temperatura a través del año	119
Cuadro N° 34: Clasificación de la humedad relativa	120
Cuadro N° 35: Unidades estratigráficas de la subcuenca	125
Cuadro N° 36: Unidades geomorfológicas de la subcuenca Puzmalca	129
Cuadro N° 37: Unidades de suelo de la subcuenca Puzmalca	132
Cuadro N° 38: Unidades fisiográficas de la subcuenca Puzmalca.....	137
Cuadro N° 39: Unidades ecológicas de la subcuenca Puzmalca.....	141
Cuadro N° 40: Productores agrícolas con cultivos permanentes que cuentan con certificación orgánica en la campaña agrícola agosto 2012	143
Cuadro N° 41: Unidades de cobertura vegetal de la subcuenca Puzmalca.....	146
Cuadro N° 42: Franjas metálicas de la subcuenca Puzmalca.....	148
Cuadro N° 43: Concesiones mineras de la subcuenca Puzmalca.....	149
Cuadro N° 44: Población según distrito	151
Cuadro N° 45: Población total por área urbana y rural, y sexo, según distrito.....	151
Cuadro N° 46: Población económicamente activa (PEA) según distritos.....	152

Cuadro N° 47: Centros Poblados del Distrito de Canchaque, dentro del ámbito de la subcuenca Pusmalca	153
Cuadro N° 48: Unidades de Capacidad de Uso Mayor de Tierras de la subcuenca Pusmalca.....	159
Cuadro N° 49: Área total y área deforestada según unidad hidrográfica	161
Cuadro N° 50: Plantones de especies a reforestar hasta abril 2015, en San Miguel de El Faique	161
Cuadro N° 51: Precipitaciones máximas 24 h (mm) con y sin Niño, periodo 1973-1992.	164
Cuadro N° 52: Precipitación máxima en 24 horas y Temperatura máxima, media y mínima por trimestres para la estación Huarmaca, para el periodo 1982-1983.....	165
Cuadro N° 53: Categorías de El Niño durante el periodo 1973 -1992.....	167
Cuadro N° 54: Precipitación máxima media con y sin ocurrencia de El Niño, periodo 1973 - 1992.....	167
Cuadro N° 55: Comparación de la precipitación máxima generada de Canchaque con el promedio de estaciones Barrios y Huarmaca	172
Cuadro N° 56: Precipitación máxima en 24 horas para un tiempo de retorno de 5 años - método Nash	174
Cuadro N° 57: Pp máx. 24H (mm) según tiempo de retorno, por el promedio de métodos Gumbel y Nash	174
Cuadro N° 58: Precipitación máxima en 24 horas para diferentes tiempos de retorno para una altitud de 1500 metros, según sección A y B	175
Cuadro N° 59: Ubicación de puntos de muestreos de suelos en la subcuenca Pusmalca	184
Cuadro N° 60: Resultados del análisis físico-químico- mecánico en los puntos de muestreo.	184
Cuadro N° 61: Factor de erodabilidad K, según tipo de análisis	186
Cuadro N° 62: Tipo de cultivo según sección de la subcuenca	193
Cuadro N° 63: Designación del Factor C, según tipo de cultivo para la subcuenca Pusmalca	194
Cuadro N° 64: Distribución de área en Ha, según clasificación de tasa de erosión y sección de la Subcuenca Pusmalca (Primer Análisis).....	196
Cuadro N° 65: Tasa de pérdida de suelo según tiempo de retorno y grado de erosión hídrica	197
Cuadro N° 66: Tasa de pérdida de suelo según unidades hidrográficas para diferentes tiempos de retorno	200
Cuadro N° 67: Índices de erosión según zonas.....	201
Cuadro N° 68: Tasa de erosión hídrica según sección de la subcuenca	202
Cuadro N° 69: Factor R (Erosividad) para un tiempo de retorno de 5 años, según rangos de altitud	203
Cuadro N° 70: Factor K de erodabilidad de suelos según versión y zona evaluada	203
Cuadro N° 71: Ecuaciones para determinar la erodabilidad K_3 en función al K_1	204
Cuadro N° 72: Error del K_3 generado por las ecuaciones lineal y logarítmica.....	204
Cuadro N° 73: Error del K_3 generado por la ecuación polinómica	205
Cuadro N° 74: Error del K_3 generado por las distintas ecuaciones evaluadas.....	205
Cuadro N° 75: Factor LS, 1era aproximación	206
Cuadro N° 76: Determinación del Factor LS por el método de ladera compuesta para la localidad de Álamos.....	207
Cuadro N° 77: Factor LS por el método de ladera compuesta para las localidades	207
Cuadro N° 78: Factor de cobertura vegetal para las diferentes zonas.....	208
Cuadro N° 79: Tasa de Erosión hídrica por zonas – Primera Versión USLE	208
Cuadro N° 80: Tasa de Erosión hídrica por zonas – Segunda Versión USLE	208
Cuadro N° 81: Características de parcela de varillas de erosión	211
Cuadro N° 82: ICEN, en el periodo de recolección de varillas	211
Cuadro N° 83: Erosión y sedimentación media, y erosión neta según localidad.....	214
Cuadro N° 84: Cuadro ANVA del DCA - Factorial	215
Cuadro N° 85: Análisis de varianza de efectos simples	216
Cuadro N° 86: Variación de la pérdida de suelo según el método USLE (1era versión) y Varillas de erosión	219
Cuadro N° 87: Variación de la pérdida de suelo según el método USLE (2da versión) y Varillas de erosión	220

Cuadro N° 88: Pérdida de suelo por el método USLE (E_2) según tiempo de retorno y grado de erosión hídrica	221
Cuadro N° 89: Pérdida de suelo por el método de varillas según tiempo de retorno y grado de erosión hídrica	222
Cuadro N° 90: Error obtenido entre los métodos de varillas y USLE (E_1)	222
Cuadro N° 91: Error obtenido entre los métodos de varillas y USLE (E_2)	223
Cuadro N° 92: Pérdida de suelo por el método de USLE (E_2) según tiempo de retorno y unidad hidrográfica	224
Cuadro N° 93: Pérdida de suelo por el método de varillas según tiempo de retorno y unidad hidrográfica	225
Cuadro N° 94: Error obtenido entre los métodos de varillas y USLE (E_1)	225
Cuadro N° 95: Error obtenido entre los métodos de varillas y USLE (E_2)	225
Cuadro N° 96: Pérdida de suelo según modelos de erosión USLE y valores observados	225
Cuadro N° 97: Índice de Eficiencia de Nash-Sutcliffe (E) y RMSE obtenido de la comparación entre ambos modelos	226
Cuadro N° 98: Pérdida de suelo promedio (t/ha/año) para un tiempo de retorno de 5 años	226
Cuadro N° 99: Clasificación climática según la metodología de ONERN, para una altitud media de 296 msnm	242
Cuadro N° 100: Clasificación climática según la metodología de ONERN, para una altitud media de 811 msnm	242
Cuadro N° 101: Clasificación climática según la metodología de ONERN, para una altitud media de 1552 msnm	243
Cuadro N° 102: Clasificación climática según la metodología de ONERN, para una altitud media de 2634 msnm	243

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

DESCRIPCIÓN

Diagrama N° 1: Factores de formación del suelo	42
Diagrama N° 2: Clasificación de los modelos de erosión	62
Diagrama N° 3: Procedimiento de integración temática, para la obtención de la erosión hídrica en la subcuenca Pusalca	86
Diagrama N° 4: Proceso metodológico de la investigación	90

ÍNDICE DE ECUACIONES

DESCRIPCIÓN

Ecuación N° 1: Factores de Formación del Suelo	41
Ecuación N° 2: Ecuación de la densidad aparente	49
Ecuación N° 3: Ecuación del Índice de Separabilidad de Partículas (I.S.P.)	63
Ecuación N° 4: Ecuación del Índice de Estabilidad Estructural de Pieri (1995)	63
Ecuación N° 5: Ecuación Universal de Pérdida de Suelos - USLE	67
Ecuación N° 6: Fórmula del índice erosividad media anual.....	68
Ecuación N° 7: Fórmula de Morgan.....	68
Ecuación N° 8: Modelo conceptual del Factor R.....	69
Ecuación N° 9: Fórmula propuesta por Ramos (2001)	69
Ecuación N° 10: Ecuación del factor K de erodabilidad del suelo	70
Ecuación N° 11: Ecuación del subfactor K1.....	70
Ecuación N° 12: Ecuación 12: Ecuación del subfactor K1	70
Ecuación N° 13: Ecuación del factor K, propuesta por (Shabani, et. al., 2013)	71
Ecuación N° 14: Ecuaciones del factor K, con la restricción de suelos con alto contenido de limo	73

Ecuación N° 15: Ecuaciones del factor K, con la restricción de suelos con alto contenido de materia orgánica.....	74
Ecuación N° 16: Ecuaciones del factor K, con la restricción de suelos con baja erodabilidad	74
Ecuación N° 17: Ecuaciones del factor K, con la restricción de suelos con contenido de roca	74
Ecuación N° 18: Fórmula para el factor LS, según Arnoldus (1977)	75
Ecuación N° 19: Fórmula de fracción de pérdida de suelo	75
Ecuación N° 20: Ecuación de erosión o sedimentación media en varillas	80
Ecuación N° 21: Ecuación de erosión neta en varillas	81
Ecuación N° 22: Ecuación de suelo movilizado en varillas	81
Ecuación N° 23: Fórmula del coeficiente de compacidad o índice de Gravellius	97
Ecuación N° 24: Fórmula de factor de forma	97
Ecuación N° 25: Fórmula del lado mayor	97
Ecuación N° 26: Fórmula del lado menor	97
Ecuación N° 27: Fórmula de la Pendiente media.....	98
Ecuación N° 28: Fórmula de la pendiente media del cauce principal.....	99
Ecuación N° 29: Fórmula del índice de pendiente.....	99
Ecuación N° 30: Fórmula de la altitud media	100
Ecuación N° 31: Fórmula de la densidad de drenaje.....	102
Ecuación N° 32: Fórmula de frecuencia de ríos.....	102
Ecuación N° 33: Extensión media de escurrimiento superficial.....	102
Ecuación N° 34: Fórmula del coeficiente de torrencialidad	103
Ecuación N° 35: Fórmula del coeficiente de masividad.....	103
Ecuación N° 36: Factor adimensional	111
Ecuación N° 37: Determinación del Fa de temperatura para el mes de enero.....	116
Ecuación N° 38: Temperatura media para el mes de enero para la subcuenca.....	116
Ecuación N° 39: Determinación del Fa de Precipitación para el mes de enero	117
Ecuación N° 40: Precipitación media para el mes de enero para la subcuenca	117
Ecuación N° 41: Grado de eficiencia de humedad.....	118
Ecuación N° 42: Grado de eficiencia de temperatura	118
Ecuación N° 43: Distribución de la temperatura a través del año.....	119
Ecuación N° 44: Fórmula de distribución teórica de valores extremos tipo I - Gumbel.....	171
Ecuación N° 45: I ₃₀ máxima según su tiempo de retorno.....	179
Ecuación N° 46: Ecuación clásica del factor K propuesta por Wischmeier & Smith, (1978).....	185
Ecuación N° 47: Ecuación del factor k propuesta por Shabani, et. al, (2013).....	185
Ecuación N° 48: Ecuación para expresar la pendiente en porcentaje (%).....	188
Ecuación N° 49: Peso específico de suelos	210
Ecuación N° 50: Modelo aditivo lineal	215
Ecuación N° 51: Ecuación de la suma de cuadrados del modelo	217
Ecuación N° 52: Ecuación del R ² del modelo	217

ÍNDICE DE GRÁFICOS

DESCRIPCIÓN

Gráfico N° 1: Curva hipsométrica de la subcuenca Pusmalca.....	104
Gráfico N° 2: Temperatura media anual según altitud - Estaciones meteorológicas	107
Gráfico N° 3: Precipitación media anual según altitud – Estaciones meteorológicas	107
Gráfico N° 4: Humedad relativa media anual según altitud – Estaciones meteorológicas	113
Gráfico N° 5: Evaporación media anual según altitud – Estaciones meteorológicas	114
Gráfico N° 6: Precipitación y temperatura media mensual vs tiempo (meses) generada para la subcuenca Pusmalca	117

Gráfico N° 7: Registro de precipitación media mensual y máxima mensual en 24 h (mm) vs Tiempo (meses).....	123
Gráfico N° 8: Población total según área urbana y rural, según distrito	151
Gráfico N° 9: Población económicamente (PEA), según distritos	152
Gráfico N° 10: Precipitación máxima en 24 horas y Temperatura máxima, media y mínima por trimestres para la estación Huarmaca, para el periodo 1982-1983.....	165
Gráfico N° 11: Precipitación máxima anual vs Temperatura media y máxima media anual - Estación Huarmaca	166
Gráfico N° 12: Correlación de Pmax. 24H entre las estaciones Barrios y Hacienda Bigote	169
Gráfico N° 13: Correlación de Pmax. 24H entre las estaciones Chignia y Huancabamba	170
Gráfico N° 14: Correlación de Pmax. 24H entre las estaciones Canchaque y Huarmaca.....	170
Gráfico N° 15: Precipitaciones máximas medias para diferentes tiempos de retorno	177
Gráfico N° 16: Intensidad máxima para 30 y 60 min vs tiempo de retorno.....	179
Gráfico N° 17: Correlación entre el modelo de Morgan y Ramos Taipe para el Factor R en diferentes tiempos de retorno	182
Gráfico N° 18: Factor de erosividad "R" para diferentes tiempos de retorno	182
Gráfico N° 19: Tasa de erosión hídrica en la subcuenca Pusalca para diferentes tiempos de retorno (Primer análisis)	196
Gráfico N° 20: Tasa de pérdida de suelo según unidades hidrográficas para diferentes tiempos de retorno	200
Gráfico N° 21: Comportamiento de las dos versiones del K, según contenido de MO y Fragmentos de roca	204
Gráfico N° 22: Correlación entre el Factor K según ambas versiones.....	205
Gráfico N° 23: Correlación entre el Factor K según ambas versiones para las distintas localidades evaluadas.....	206
Gráfico N° 24: Correlación entre la primera y segunda versión del USLE.....	209
Gráfico N° 25: Erosión y sedimentación media según parcelas en la localidad de Faique.....	212
Gráfico N° 26: Erosión y sedimentación media según parcelas en la localidad de Lúcumo	212
Gráfico N° 27: Erosión y sedimentación media según parcelas en la localidad de Palambla	213
Gráfico N° 28: Erosión y sedimentación media según parcelas en la localidad de Álamos	213
Gráfico N° 29: Gráfico de efectos principales	216
Gráfico N° 30: Interacción de los factores MO y FR.....	217
Gráfico N° 31: Erosión neta (EN) y Suelo movilizado (SM) en cm según localidad.....	218
Gráfico N° 32: Correlación entre el método de varillas y la primera versión del USLE (E ₁).....	219
Gráfico N° 33: Correlación entre el método de varillas y la segunda versión del USLE (E ₂)	220

ÍNDICE DE IMAGENES

DESCRIPCIÓN

Imagen N° 1: Triangulo textural de suelos, con las 12 clases mayores, y escalas de tamaño de partículas (U.S.D.A.).....	46
Imagen N° 2: Nomograma del factor K.....	70
Imagen N° 3: Distribución de las varillas de erosión en una parcela de 1,4 x 3,2 m.....	88
Imagen N° 4: Determinación de distancia horizontal entre curvas de nivel.....	188
Imagen N° 5: Integración de áreas con semejante valor de pendiente	189
Imagen N° 6: Creación de polígonos según orientación de pendientes	191

ÍNDICE DE TABLAS

DESCRIPCIÓN

Tabla N° 1: Clasificación de las intensidades de lluvia, según Kohnke (1954)	53
Tabla N° 2: Efecto de la pendiente y la longitud de la ladera sobre la erosión hídrica de un suelo de coluvios en Chindiná (Colombia); resultados promedios de 8 años; precipitación promedio anual de 2701 mm.	57
Tabla N° 3: Clasificación FAO - PNUMA UNESCO.....	60
Tabla N° 4: Valores de pérdida permisibles para condiciones específicas del suelo (Morgan, 1980)	60
Tabla N° 5: Clasificación del índice de separabilidad de partículas	63
Tabla N° 6: Clasificación del índice de estabilidad estructural de Pieri (1995)	63
Tabla N° 7: Valores de LS, según pendiente del terreno.....	76
Tabla N° 8: Valores de Cobertura vegetal, Factor C.....	76
Tabla N° 9: Diseño experimental del DCA factorial	89
Tabla N° 10: Rectángulo Equivalente	98
Tabla N° 11: Cálculo del índice de pendiente	100
Tabla N° 12: Cálculo de la altitud media.....	101
Tabla N° 13: Longitud de ríos por orden.....	101
Tabla N° 14: Temperaturas generadas según altitud	106
Tabla N° 15: Precipitación media anual (periodo 1973 – 1992).....	106
Tabla N° 16: Precipitaciones generadas según altitud	112
Tabla N° 17: Promedio de Gumbel y Nash de Pmax. 24H con ocurrencia de El Niño - periodo (1973-1992)	167
Tabla N° 18: Promedio de Pmax. 24H sin ocurrencia de El Niño - periodo (1973-1992).....	168
Tabla N° 19: Variación de las Pmax. 24H con y sin ocurrencia de El Niño - periodo (1973-1992).....	168
Tabla N° 20: Precipitaciones máximas en 24 h para diferentes tiempos de retorno - Periodo Corto	171
Tabla N° 21: Precipitaciones máximas en 24 h para diferentes tiempos de retorno - Periodo Largo.....	172
Tabla N° 22: Clasificación del ICP, propuesto por Michiels y Gabriels, 1996.....	173
Tabla N° 23: Resumen de ecuaciones generadas para Pp máx. 24 H, según tiempo de retorno – Zona A..	175
Tabla N° 24: Resumen de ecuaciones generadas para Pp máx. 24 H, según tiempo de retorno – Zona B..	175
Tabla N° 25: Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de retorno para la estación Canchaque y la subcuenca Pusmalca	176
Tabla N° 26: Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de retorno por el método de Curvas de nivel	176
Tabla N° 27: Intensidades máximas en 30 y 60 min para diferentes tiempos de retorno de las estaciones Barrios, Chignia y Huarmaca.....	179
Tabla N° 28: Ecuaciones generadas de I ₃₀ según altitud para diferentes tiempos de retorno.....	180
Tabla N° 29: I ₃₀ máximas para diferentes tiempos de retorno por el método de Curvas de nivel.....	180
Tabla N° 30: Factor R según el método citado por Ramos Taipe, para diferentes tiempos de retorno	181
Tabla N° 31: Factor de erosividad (Morgan y Ramos Taipe).....	182
Tabla N° 32: Tasa de Pérdida de suelo según altitud	198
Tabla N° 33: Pérdida de suelo por el método de USLE (E ₂) según tiempo de retorno y rango de altitud...	223
Tabla N° 34: Pérdida de suelo por el método de varillas según tiempo de retorno y rango de altitud	223
Tabla N° 35: Error obtenido entre los métodos de varillas y USLE (E ₁).....	224
Tabla N° 36: Error obtenido entre los métodos de varillas y USLE (E ₂).....	224
Tabla N° 37: Registro de precipitación total mensual de la estación Canchaque (1963 - 1994).....	239
Tabla N° 38: Registro de precipitación máxima en 24 H de las estaciones usadas en el estudio (2004-2014)	240
Tabla N° 39: Registro de temperatura media mensual de la estación Huarmaca (2004-2014)	241
Tabla N° 40: Registro de temperatura media mensual de la estación Malacasi (2004-2014)	241

INDICE DE MAPAS

DESCRIPCIÓN

Mapa N°1: Mapa de Ubicación Política del Área de Estudio.....	95
Mapa N°2: Mapa de Parametros Fisiográficos.....	105
Mapa N°3: Mapa de Isotermas.....	108
Mapa N°4: Mapa de Isoyetas.....	111
Mapa N°5: Mapa Climático.....	122
Mapa N°6: Mapa Hidrográfico.....	124
Mapa N°7: Mapa Geológico.....	127
Mapa N°8: Mapa Geomorfológico.....	130
Mapa N°9: Mapa de Suelos.....	133
Mapa N°10: Mapa Fisiográfico.....	136
Mapa N°11: Mapa Ecológico.....	142
Mapa N°12: Mapa de Cobertura Vegetal.....	147
Mapa N°13: Mapa de Potencial Minero y Concesiones Mineras.....	150
Mapa N°14: Mapa de Centros Poblados.....	154
Mapa N°15: Mapa de Capacidad de Uso Mayor de Tierras.....	160
Mapa N°16: Mapa de Deforestación.....	162
Mapa N°17: Mapa de Isoyetas de Precipitación Máxima en 24 H.....	178
Mapa N°18: Mapa del Factor R (Tr 5 años).....	183
Mapa N°19: Mapa del Factor K.....	187
Mapa N°20: Mapa de Pendientes.....	190
Mapa N°21: Mapa del Factor LS.....	192
Mapa N°22: Mapa del Factor C.....	195
Mapa N°23: Mapa de Erosión Hídrica (Tr 5 años).....	199

CAPÍTULO I

ASPECTOS MÉTODOLÓGICOS

1. ASPECTOS MÉTODOLÓGICOS

1.1. ANTECEDENTES

1.1.1. Nacionales

León Altuna (2014), en su tesis para optar el título de Ing. Agrícola “*Análisis espacio temporal de las precipitaciones y caudales durante el Niño (1982-83) y (1997-98) en la costa peruana.*”, estableció como objetivo analizar la variabilidad temporal y espacial de las precipitaciones a escala interanual (período 1963-2009), posteriormente a escala diaria durante los eventos El Niño en las regiones de Piura y Tumbes. Regionalizó la precipitación usando el método de vector regional (MVR) e índices de precipitación para asociar anomalías de temperatura superficial del mar en el Pacífico Ecuatorial Central (PC) y Pacífico Ecuatorial Este (PE), encontrando dos regiones climáticas, una inferior a los 500 msnm y otra por encima de los 1000 msnm, en donde El Niño presentó un patrón espacial que opone los eventos de precipitación de ambas regiones. Asimismo, identificó que la ocurrencia de lluvias intensas durante los eventos extremos El Niño se produce durante anomalías de viento del oeste (desde 140° W) hacia la costa norte peruana. Este desplazamiento se acentúa más durante El Niño de 1982-83. Finalmente, concluye que estos patrones son importantes para explicar las causas de las precipitaciones extremas durante El Niño en la costa norte peruana.

Camacho Zorogastúa (2012), en su tesis para optar el título de Ing. Ambiental “*Evaluación de la Erosión Hídrica por Efecto de Precipitaciones Máximas en la Subcuenca del Río Cumbaza, en la región de San Martín*”, tuvo como objetivo principal evaluar áreas de erosión hídrica por interacción de precipitaciones máximas con la finalidad de proponer medidas de mitigación frente a este suceso y en su evaluación utiliza la

ecuación USLE para evaluar dicho fenómeno. Además, realizó dos análisis de vulnerabilidad erosiva con la variación del factor C de cobertura en la ecuación USLE y la aplicó a diferentes tiempos de retorno en la subcuenca hallando valores de 52 a 87 t/ha/año en el primer análisis y en el segundo análisis se obtuvo valores de 18.8 a 30.2 t/ha/año para los tiempos de retorno de 5, 10, 25,50 y 100 años, y concluyó que la interacción del factor de cobertura vegetal sobre la protección de los suelos es muy importante, por lo que determina que la medida más efectiva de mitigación es la agroforestería utilizando la especie *Guadua sp.* “Bambú” en la zona de estudio.

Tapia Muñoz (2011), en su trabajo de investigación para optar el título de Mg. Sc. en Recursos Hídricos, “*Cuantificación de la Erosión Hídrica Superficial en las Laderas Semiáridas de la Sierra Peruana*”, tuvo como objetivo principal evaluar la pérdida de suelo por erosión hídrica y el efecto de la construcción de zanjas de infiltración en el control de las mismas. Realizó dicho trabajo usando varillas de erosión en laderas semiáridas de la sierra peruana tomando como muestra 22 microcuencas, cuyos promedios de erosión con zanjas de infiltración y sin zanjas fueron de 24.44 y 45.04 t/ha/año respectivamente, y llegó a la conclusión que las zanjas de infiltración son una práctica efectiva para el control de la erosión y la captación de agua de lluvia en laderas.

Jímenez Callejo, Martínez de Anguita, Ángeles Ruiz, Dunin - Borkowski, & Guerrero, (2008), desarrollaron en su artículo de investigación “*Metodología para la Zonificación del Riesgo de Erosión en Cuencas Andinas. Estudio de Caso en el Río Chalaco, Piura*”, una metodología para zonificar áreas en función del riesgo de erosión en forma cualitativa tomando como muestra la subcuenca del Río Chalaco, en la región de Piura, debido a que esta región es afectada por la Ocurrencia del Fenómeno del Niño, hallando que más de la mitad del área presenta un riesgo de erosión alto (48%) o muy alto (15%); donde concluyen que el efecto más dañino se da no sólo en la cuenca alta (donde

hay deforestación y malas prácticas agrícolas), sino que el mayor daño lo sufre la cuenca baja, por lo que es necesario tomar medidas de control de pérdida de suelo: barreras vivas, zanjas de infiltración y terrazas de banco, esta última la recomienda para pendientes entre 20 y 40%.

Yataco Perez (2006), trabajó en su tesis para optar el título de Mg. Sc. en Ciencias Ambientales, *“Evaluación Cuantitativa de la Erosión Hídrica Utilizando Varillas de Erosión en Suelos con Diferentes Grados de Cobertura Vegetal en la Comunidad Campesina de Yuracmayo, Lima”*, con el objetivo principal de conocer la interacción de la cobertura vegetal y la pendiente en la erosión hídrica utilizando para esto un método de evaluación de campo, la cual se basa en el registro de mediciones en varillas en parcelas de erosión. Este método no solo permite cuantificar la erosión sino también la sedimentación que se produce, tomando como muestra suelos con pendientes de 20° y 30° con 3 grados de cobertura vegetal: densa, rala y sin cobertura, realizando mediciones cada 15 días, en la que concluye que la erosión hídrica en suelos sin cobertura fue mayor a la de un suelo con cobertura vegetal, debido a que la cobertura vegetal nativa “ichu” actúa como un eficiente protector del suelo disminuyendo considerablemente la erosión, además que la erosión en suelos sin cobertura y con 20° y 30° de pendiente alcanzan valores de 7.7 y 30.9 t/ha respectivamente.

Roncal Briones, (2006), planteó su tesis, para optar el título de Mg. Sc. en la especialidad en Manejo Forestal, sobre la *“Influencia de las Plantaciones Forestales Sobre la Escorrentía superficial y la Erosión Hídrica en Porcón, Cajamarca”*, la determinación de la influencia de las plantaciones forestales en el control de la erosión, y la comparación de la escorrentía superficial y la erosión en dos microcuencas (una con cobertura de pastos y otra con plantaciones forestales en la zona de Porcón – Cajamarca). Para ello, utilizó dos formas diferentes de determinar el índice de erosividad, uno que considera una erosividad

mayor a 25 mm/h y el clásico propuesto en el USLE. Además, utilizó el método de parcelas de varillas de erosión establecidas en dicha zona, y llegó a la conclusión que la cobertura de las plantaciones forestales resulta más eficiente en el control de la erosión que los pastos cultivados.

Rodríguez Vera, (2003), en su tesis, para optar el título de Mg.sc en Recursos Hídricos “*Balance Hídrico en la Cuenca del Río Piura Durante el Proceso de El Niño 2002 – 2003*”; tuvo el objetivo principal de determinar las características hidrológicas en la cuenca del río Piura durante el fenómeno de El Niño durante el 2002-2003 y comparar con otros eventos cálidos de los últimos 30 años desde 1972 – 2003, para lo cual, aplicó la ecuación del balance hídrico para determinar los impactos hidrológicos en la zona norte del País, llegando a la conclusión que los efectos hidrológicos de El Niño son: el incremento del caudal de los ríos (3200 m³/seg, para el suceso de 1982-1983) con un superávit en la zona norte y el déficit en la zona sur, dando como evidencia la existencia de una máxima intensidad de lluvia ocurrida en febrero de 1998 con un registro de 40 mm/h.

Alegre & Rao (1996), realizan un trabajo de investigación denominado “*Soil and water conservation by contour hedging in the humid tropics of Peru*” o en su traducción “La conservación del suelo y el agua mediante el contorno de cobertura en las zonas tropicales húmedas de Perú”, con el objetivo de evaluar el potencial de conservación de suelos y agua mediante el uso de setos¹ de *Inga edulis* “*guaba*”, en el trópico húmedo en Yurimaguas con más de 6 años de observación (octubre de 1987-diciembre de 1993). El experimento consistió en dos tratamientos: (a) los cultivos únicos de arroz y frijol en rotación anual y (b) el cultivo anual intercalado de *guaba* (contorno 4 m de distancia), obteniendo como resultado que el segundo tratamiento conserva en promedio anual 287 mm de agua y 73 t/ha de suelo, lo que representó el 83% y 93% respectivamente de las cantidades que se perdieron de monocultivo, manteniéndose los nutrientes del suelo a un nivel mucho más

alto y mejorando las condiciones físicas del suelo en comparación con el monocultivo de plantas anuales. Finalmente, recomiendan el contorno de setos¹ intercalados para las tierras en pendiente moderadas de los trópicos húmedos en Perú, teniendo en cuenta la conservación a largo plazo de los recursos de la tierra y el potencial para el cultivo continuo con insumos mínimos.

Tadeo Rasmus (1994), en su tesis, para optar el título de Ing. Agrícola, “*Capacidad erosiva de las lluvias en la cuenca de los ríos Chira y Piura*”, tiene como objetivo principal determinar la capacidad erosiva de las lluvias y determinar su distribución promedio mensual, para lo cual, hace uso del índice de erosividad de la lluvia para luego hallar su índice de erosión, entre el periodo de 1972 – 1987, y considera 26 estaciones pluviométricas y pluviográficas dentro del área de estudio para realizar una comparación de datos antes, durante y después del fenómeno de El Niño de 1983. Así encontró los siguientes valores: 2 108,480 Mj/ha/año; 25 398,539 Mj/ha/año; 3 347,568 y valores promedio de 1 211,725, 7 818,306 y 1 232,341 respectivamente, para finalmente elaborar un mapa de Isoerodantes. Concluye que, en el año 1983, la capacidad erosiva de las lluvias en el área de estudio fue un promedio de 5 veces que los valores obtenidos para el promedio “R” de años sin dicho fenómeno: 1241,8 Mj mm/ha/año, lo que demuestra que hubo una alta producción de sedimentos en las cuencas de los ríos Chira y Piura.

¹Setos: Del lat. *Saeptum*. Cercado hecho de matas o arbustos, o de palos o varas entretejidos.

1.1.2. Internacionales

Labrière, Locatelli, Laumonier, Freycon, & Bernoux (2015), realizaron una investigación titulada “*Soil erosion in the humid tropics: A systematic quantitative review*” o en su traducción “la erosión del suelo en los trópicos húmedos: una revisión sistemática cuantitativa”, cuyo objetivo principal fue evaluar la influencia del uso del suelo proporcionado por la cobertura vegetal sobre la erosión hídrica en los trópicos húmedos. Para ello, hicieron una revisión sistemática de la literatura disponible sobre el control de la erosión y su manejo, recopilando más de 3600 mediciones de pérdida de suelo que cubren 21 países (incluyendo el Perú), utilizando el método de duración y área (propuesto por Hair, 2006). En los análisis estadísticos usaron el ANOVA y HSD de Tukey ($p < 0,001$) en la pérdida de suelo en función de (1) Tipo de uso de la tierra, (2) el uso del suelo subtipo, (3) el número y (4) la naturaleza de las capas que constituyen la cubierta vegetal, llegando a la conclusión de que la erosión del suelo en los trópicos húmedos se concentra tanto espacial como temporalmente, por lo que los modelos desarrollados en las regiones templadas no deben aplicarse sin una previa calibración, además de recomendar las técnicas de conservación de suelos (siembra en contorno, siembra directa, cultivo intercalado y el uso de cultivos de cobertura) para reducir la pérdida de suelo.

Olivares, Lobo, & Verbist (2015), en su artículo de investigación “*Aplicación del modelo USLE en parcelas de erosión bajo prácticas de conservación de suelos y aguas en San Pedro de Melipilla, Chile*”, plantearon el objetivo de evaluar el modelo USLE en la estimación de la erosión hídrica en un Alfisol en la comuna de San Pedro, Chile. La evaluación de pérdida de suelo se evaluó con datos de sedimentos de cada evento de lluvia durante el periodo 1996-2000, realizados en parcelas con tratamiento subsolado, zanjas de infiltración y pradera natural. Además, en la evaluación del factor R, uso la aproximación de Arnoldus (IFM) y la ecuación propuesta por ICONA en España, con adaptaciones a las

condiciones de Chile. Sus resultados muestran que los datos obtenidos por ambos métodos proporcionan valores que se ajustan bien a los valores registrados en campo. Finalmente concluye que el modelo USLE fue capaz de establecer aproximaciones con relación a la tendencia de los datos, es decir, los datos fueron consistentes y siguieron el mismo patrón de los datos tomados en campo.

Ovalles Ureña (2014), en su tesis de Maestría en Sistemas de Información Geográfica en la Universidad de San Francisco de Quito, Ecuador. *“Análisis comparativo de la Pérdida de Suelo de la Cuenca Alta de la Presa de Sabana Yegua, Usando Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Métodos Directos”*, tuvo como objetivo principal desarrollar un modelo para representar la erosión potencial del suelo a nivel de la cuenca de la Presa Sabana Yegua aplicando la ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE), y comparar estadísticamente los resultados con mediciones directas en la red de parcelas permanentes para la medición de erosión. Usa el método empírico RUSLE a través de los SIG y el método de directo de parcelas de escorrentía de un proyecto existente en la cuenca de estudio. Los resultados encontrados arrojan que por el primer método la pérdida de suelo fue de 163 t/ha/año y el método directo fue de 10.4 t/ha/año, llegando a la conclusión que, por su metodología aplicada, precisión de las fuentes espaciales, la temporalidad y distribución de las mediciones, no pueden ser comparables estadísticamente, dado que la ecuación RUSLE no cuenta con el factor P y las parcelas de escorrentía están instaladas bajo sistemas de conservación de suelo.

Auerswald, Fiener, Martin, & Elhaus, (2014) en el artículo de investigación *“Uso y Mal Uso de la Ecuación del Factor K en el Modelado de la Erosión del Suelo: Una Ecuación Alternativa para Determinar los valores de Erosionabilidad del Suelo del Nomograma USLE”*, plantearon el objetivo principal de determinar los valores de erosionabilidad del suelo del nomograma USLE desarrollando una serie de ecuaciones para ayudar al cálculo

de éste, realizando para esto una recopilación de información de suelos de Europa Central (aproximadamente 20 000 análisis de suelo). Los resultados indican que la aplicación de la ecuación del nomograma falla en más del 50% de los casos (equivalente a un medio del factor K) llegando a la conclusión sobre el uso del nomograma del factor K y sus restricciones: alto contenido de materia orgánica, baja erodabilidad, alto contenido de limo y arena muy fina, y finalmente fragmentos de rocas es la herramienta más importante en el modelado de la erodabilidad para evaluar la erosión del suelo. Comprobaron que al sustituir el nomograma con la ecuación clásica del factor K, se debe hacer con cuidado porque en mucho más del 50% de todos los casos se obtendrán predicciones equivocadas de la ecuación del factor K clásica. En lugar de utilizar la ecuación clásica, se recomienda utilizar un sistema de ecuaciones que imita el nomograma incluso en los casos en que falla la ecuación clásica.

Avila Victor (2013), en su tesis para optar el título de Maestro en Ciencias en Producción Agrícola Sustentable en el Instituto Politécnico Nacional, México. “*Pérdida de Fertilidad del Suelo por Erosión Hídrica en la Cuenca Propia del Lago Chapala, Michoacán, México*”, cumplió con el objetivo principal de cuantificar la erosión del suelo de la cuenca propia del lago Chapala para obtener los elementos necesarios que permitan diagnosticar el grado de degradación del recurso suelo. Se utilizó para tal finalidad un total de 18 parcelas de esorrentía que se distribuyeron por diferentes usos de suelo y vegetación presente como: agricultura de riego, agricultura temporal, bosque de encino, matorral subtropical y pastizal, ubicados dentro de los cinco municipios que conforman la cuenca propia del lago Chapala en el estado de Michoacán, llegando a la conclusión que la mayor pérdida de suelo se da por el motivo de extensión de agricultura, más de 4 000 t, siguiéndole los pastizales con 1 500 t, además de cuantificar la pérdida de nutrientes dando como resultado 11 a 158 t y de 0.5 a 6 t de materia orgánica y nitrógeno total respectivamente.

Shabani, Kumar, & Esmali, (2013), en su artículo de investigación “*Improvement to the prediction of the USLE factor K*” o en su traducción “Mejoras en la predicción del factor K del USLE”, plantearon como objetivo principal de evaluar la adecuación del nomograma y otros métodos para estimar K y desarrollar el cálculo del método K para suelos con contenido de cal, utilizando parcelas estándar o de escurrimiento y eventos de precipitación natural ubicadas al Norte de Irán para cuatro usos de tierra diferente (bosque o selva, pastizales, agricultura de regadío y secano), y tres categorías de pendientes (3-8%, 8-18%, 18-40%). Los resultados indicaron que hubo una asociación considerable entre K y las propiedades del suelo incluyendo los contenidos de arena, materia orgánica y cal particularmente, así también como la inclinación de pendiente, llegando a la conclusión de la existencia de una relación lineal fuerte entre valores de K que fueron estimados de nuestro modelo y la medida K fue observada (ajustado $R^2 = 0.89$) indicando y considerando que la cal y la pendiente da una mejor cálculo de K.

Pérez Nieto, Váldez Velarde, & Ordaz Chaparro, (2012), en su artículo de investigación “*Cobertura vegetal y erosión del suelo en sistemas agroforestales de café bajo sombra*”, definió como su objetivo principal el de analizar la relación entre la cobertura vegetal y la pérdida de suelo por erosión hídrica con el fin de proponer un factor C para el USLE, en diferentes sistemas agroforestales de café bajo sombra (CAM). La información fue recolectada en cinco microcuencas ubicadas en la región tropical de Veracruz, México. Usando el análisis de regresión, encontraron que la cobertura arbustiva y el mantillo en CAM explican el 68% de la variación de la pérdida de suelo y puede ser un sustituto eficaz del Factor C; además, su valor vario entre 0.02 y 0.003 para sistemas agroforestales de café bajo sombra.

Quiñónez Berganza (2012), en su tesis para optar el título de *Magister Scientiae* en Manejo y Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas en el Centro Agronómico Tropical de

Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. *“La Degradación del Suelo por Erosión Hídrica en Cultivos de Granos Básicos y Café en la Microcuenca Torjá, Cuenca del Río Grande de Zapaca, Guatemala”*, planteó como objetivo primordial el de describir las evidencias de degradación del suelo y sus causas en los sistemas de producción agrícolas predominantes en la microcuenca Torjá, usando una metodología empírica para la observación de la erosión hídrica del suelo en el cultivo del café, maíz y frejol tomando en cuenta variables física y biofísicas como hojarasca, profundidad de materia orgánica, porcentaje de suelo desnudo, altura del dosel, entre otras. Además, hace uso de parcela de varillas de erosión en el cultivo de maíz. Encontró que la erosión del suelo en cultivos de maíz y sistemas agroforestales de café la superficie del suelo afectada es de 65% y 16% respectivamente, mientras que en el cultivo del maíz la erosión en surcos fue de 21.8 m³/Ha en un periodo de 28 días en el cultivo del café no se realizó esta evaluación por ser mínima, 0.1% frente al 5% en el maíz. Se concluye que el cultivo del café es más sostenible que el cultivo de maíz.

Smets, Poesen, & Bochet, (2008), en su artículo de investigación *“Impact of plot length on the effectiveness of different soil-surface covers in reducing runoff and soil loss by water”* o en su traducción “Efecto de la longitud de la parcela sobre la efectividad de diferentes cubiertas de la superficie del suelo en la reducción de la escorrentia y la pérdida de suelo por el agua”, definieron el objetivo principal de explorar en qué medida el impacto de la longitud de la parcela sobre la efectividad de diferentes cubiertas superficiales de suelo mediante la recopilación de 65 estudios experimentales con diferentes cubiertas superficiales (fragmentos de roca, mantillo orgánico o vegetación). Los resultados muestran que para longitudes menores a 11 m. existe una gran variación entre la eficiencia de la escorrentia y la reducción por diferentes cubiertas. Sin embargo, para longitudes cada vez mayores (hasta 50 m) esta variación se reduce y la superficie cubierta por fragmentos

de roca, mulches orgánicos y vegetación se vuelven en promedio más eficaces para reducir la escorrentía o la pérdida de suelo por erosión hídrica. Finalmente, concluye que la cubierta de vegetación es más eficaz frente a la cubierta de fragmentos de roca en la reducción de pérdida de suelo.

Brakensiek & Rawls (1994), en su artículo de investigación denominado “*Soil containing rock fragments: effects on infiltration*” o en su traducción “Los suelos que contienen fragmentos de roca: efectos sobre la infiltración”, tuvieron el objetivo principal de conocer los efectos de los fragmentos de roca tanto en la matriz del suelo como en la superficie sobre la infiltración y otras propiedades físicas del suelo. Realizaron una recopilación de información existente, encontrando que las propiedades físicas del suelo se ven afectadas por el contenido y disposición de los fragmentos de roca; estas propiedades son: contenido de agua en el suelo, porosidad y conductividad hidráulica saturada. También presentan ecuaciones para modificar las propiedades del suelo/agua para los fragmentos de roca, llegando a la conclusión de que los fragmentos de roca afectan a la infiltración por su presencia en la matriz del suelo y sobre la superficie de este. Concluyen que los fragmentos de roca pueden disminuir o aumentar la infiltración según el tamaño mostrando una relación directa con la infiltración.

Oyarzun Ortega (1993), en su tesis para optar el grado de Dr en ciencias ambientales titulada “*Evaluación del modelo U.S.L.E. para predecir pérdidas de suelo en áreas forestadas de la cuenca del río Bío-Bío*” planteo el objetivo principal de evaluar los efectos de la tala rasa sobre las pérdidas de suelo en plantaciones de *Pinus Radiata* mediante la ecuación USLE en la cuenca del río Bío Bío. Realizo mediciones de sedimentos en parcelas de escorrentia de 110 m² equipadas con muestreadores Coshocton, durante los años 1991 y 1992 establecidas bajo los tratamientos de tala rasa con residuos y sin residuos y un control con condiciones no alteradas. Sus resultados indican que hay un incremento

significativo en el tratamiento sin residuos frente al control y con residuos. Concluye que la erosión medida con la erosión predicha por el modelo U.S.L.E. sobrestimó las pérdidas de suelo en un 22% a nivel anual y un 41% a nivel mensual.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1. Descripción del Problema

El Perú presenta el 54% de la superficie con degradación moderada severa y muy severa estando por encima de países como Chile, Brasil, México, etcétera. El programa de evaluación de las tierras áridas de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) señala que la principal causa, se debe al factor humano en la actividad agraria (sobrepastoreo y deforestación) (Escudero Rodríguez, 2013).

Asimismo, la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (2005) identificó las opciones de uso del suelo imprudentes: uso agrícola, uso urbano en referencia a la reducción de suelo orgánico, y prácticas de cultivo o manejo de suelos dañinos como los principales impulsores de la degradación del suelo, lo que se traduce en una disminución en el servicio ecosistémico de regulación de la erosión suelo (Secretariado de evaluación de los ecosistemas del milenio, (ONU, 2006).

Actualmente, el objetivo 15, establecido dentro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible del quindenio 2015-2030, hace mención a la pérdida de tierras cultivables, la cual asciende de 30 a 35 veces más que en el ritmo histórico; además de que la desertificación sigue en aumento, con una pérdida equivalente a 12 millones de hectáreas, donde los más afectados son las comunidades de bajos recursos (Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo, 2015).

Con respecto a lo anterior, la directora del Servicio Forestal Nacional (SERFOR) Fabiola Muñoz, señaló que en el Perú se ha perdido entre 7 a 10 millones de hectáreas de bosques a causa de la deforestación generada principalmente por el cambio de uso de suelo, la agricultura y la minería ilegal. Sólo en un año, nuestro país pierde un promedio de 110 mil hectáreas (Actualidad Ambiental, 2014).

Por otro lado, Rodríguez Vera (2003), observa que la zona norte del país presenta precipitaciones con capacidad altamente agresiva que originan erosión y, por consiguiente, pérdidas de suelo. Así mismo Rasmus (1994), plantea que la capacidad erosiva de lluvias se incrementa con la ocurrencia del fenómeno de El Niño. En base a esto se ha determinado que en la Región Piura existen 172 712.63 Ha con procesos de salinización, erosión hídrica y mal drenaje (Piura, 2014).

Según estimaciones realizadas por Morales, Dascal, & Aranibar (2013), el área deforestada debido a la ampliación de actividad ganadera y agrícola para cultivos de café, cítricos y otros, en la provincia de Huancabamba, es de 112 435 Ha (26.3% de la región Piura); por este motivo, la pérdida de suelo por erosión de 2 248 700 Ha, con una tasa de 20 Tm/ha/año, tiene un costo asciende a 105 000 millones de soles.

En esta provincia se encuentra el distrito de San Miguel del Faique, que según detalla el informe realizado para la zonificación ecológica económica de la región Piura, presenta un nivel medio de degradación de tierras entre el 15 y 30% de su superficie y respecto a su tasa de deforestación, se estima que anualmente se pierden 20,822.24 Ha de bosques.

Sin embargo, hoy en día es muy usual hacer uso del modelo empírico (USLE, desarrollado en EE.UU.) para realizar estimaciones de erosión, no teniendo en cuenta que éste requiere una calibración previa, debido a la variación que se genera al ser usado en diferentes condiciones en las que fue desarrollado (Labrière, Locatelli, Laumonier, Freycon, & Bernoux, 2015).

De manera particular, la zona de estudio sufre de aislamiento en épocas de lluvias que obstaculizan vías de acceso y canales de regadío, a causa de cambio del régimen hidrológico el cual se produce, básicamente, por no contar con un sistema de prevención frente a desastres naturales (Faique, 2010).

Frente a esto el jefe del Instituto Nacional de Defensa Civil de Piura (INDECI-Piura), da a conocer que no se están tomando con seriedad los fenómenos como la sequía o el fenómeno de El Niño, por lo que el proyecto del presupuesto general para el 2015 prestará atención a la inversión en programas para reducir la vulnerabilidad de la economía ante desastres naturales. (Zapata Ruiz, 2014).

En base a lo anterior, el consejo regional de Piura aprobó el Plan de Acción Regional de Lucha contra la Desertificación y Sequia 2014-2021, con el cual se busca reducir la degradación de suelos (Piura, 2014).

Por ello, el objetivo de la presente investigación es cuantificar las áreas de erosión hídrica mediante los métodos de USLE y varillas de erosión en la subcuenca Pusmalca con la finalidad de analizar la variación entre ambos métodos y reducir un margen de error en los procedimientos de medición de la erosión hídrica.

1.2.2. Formulación del Problema

1.2.2.1. Problema Principal

- ❖ ¿Cuánto es la variación en la medición de la erosión hídrica por los métodos USLE y varillas de erosión en zonas de alta erosión hídrica en la subcuenca del río Pusmalca, aportante del río Piura?

1.1.1.2. Problemas Secundarios

- ❖ ¿Cómo se pueden identificar espacialmente las áreas de erosión hídrica?
- ❖ ¿Cuánto es la pérdida de suelo por los métodos USLE y varillas?
- ❖ ¿Cómo influye el contenido de materia orgánica y la cubierta de fragmentos de roca en la pérdida de suelo?
- ❖ ¿Cómo es la variación de la medición de la erosión hídrica entre los métodos USLE y varillas?

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Principal

- ❖ Cuantificar las áreas de erosión hídrica mediante los métodos de USLE y varillas de erosión en la subcuenca Pusmalca con la finalidad de analizar la variación entre ambos métodos.

1.2.2. Objetivos Específicos

- ❖ Identificar áreas de erosión hídrica mediante criterios e índices de erosión y la técnica de SIG.
- ❖ Cuantificar la pérdida anual de suelo mediante los métodos USLE y varillas de erosión.
- ❖ Determinar la influencia del contenido de materia orgánica y la cubierta de fragmentos de roca en la pérdida de suelo.
- ❖ Analizar la variación entre los métodos de varillas de erosión y USLE.

1.3. HIPÓTESIS GENERAL

- ❖ El método de varillas de erosión (directo) determinará la variación de los valores otorgados por el método indirecto (USLE) para una mejor cuantificación de la erosión hídrica en la sub cuenca del río Pusmalca.

1.3.1. Hipótesis específicas

- ❖ Si la técnica SIG (sistemas de información geográfica) y los índices de erosión permitirán conocer el estado del suelo, entonces, se podrá hacer la identificación de áreas de erosión hídrica.
- ❖ Si la pérdida de suelo obedece a procesos principalmente físicos y antrópicos, entonces, se podrá cuantificar la erosión hídrica mediante los métodos de varillas de erosión y USLE.

- ❖ Si la presencia de materia orgánica y de fragmentos de roca en la superficie ofrecen una protección frente a la erosión hídrica, entonces se reducirá la pérdida de suelo.
- ❖ Si el método de varillas de erosión expresa valores más representativos, entonces, se podrá analizar la variación frente a los obtenidos por el método USLE.

1.4. VARIABLES

Se definen las siguientes variables dependientes e independientes acorde a los objetivos planteados en la presente tesis.

1.4.1. Variables dependientes e independientes del primer objetivo específico

Cuadro N° 1: Variables dependientes e independientes del primer objetivo específico

Categoría	Variable Dependiente	Variable Independiente	Indicadores
Sistemas de Información Geográfica	Áreas de Erosión Hídrica	Precipitación máx. en 24 h	Milímetros (mm)
		Intensidad máx. en 30 m	mm/h
		Textura del suelo	% limo, arcilla, arena
		Pendiente del terreno	%
		Cobertura vegetal	Adimensional
		Longitud entre rangos de pendiente	metros
Índices de Erosión Hídrica	Estado del suelo con referencia a la erosión hídrica	Índice de Separabilidad de Partículas	Adimensional
		Índice de Sellado - Encostrado	Adimensional

Fuente: Elaboración Propia

1.4.2. Variables dependientes e independientes del segundo objetivo específico

Cuadro N° 2: Variables dependientes e independientes del segundo objetivo específico

Categoría	Variable Dependiente	Variable Independiente	Indicadores
Sistemas de Información Geográfica (USLE)	Pérdida Anual de Suelo	Precipitación máx. en 24 h	Milímetros (mm)
		Intensidad máxima en 30 min.	mm/h
		Textura del suelo	% limo, arcilla, arena
		Materia orgánica	%
		Permeabilidad	cm/h
		Estructura del suelo	Adimensional
		Contenido de carbonatos	%
		Fragmentos de roca	%
		Pendiente del terreno	%
		Longitud entre rangos de pendiente	metros
		Cobertura vegetal	Adimensional
		Prácticas de Conservación	Adimensional
Método de Varillas de Erosión	Suelo Erosionado o Sedimentado	Altura media del suelo erosionado o sedimentado	Milímetros (mm)
		Densidad aparente de suelo	g/cm ³

Fuente: Elaboración Propia

1.4.3. Variables dependientes e independientes del tercer objetivo específico

Cuadro N° 3: Variables dependientes e independientes del tercer objetivo específico

Categoría	Variable Dependiente	Variable Independiente	Indicadores
Erosión hídrica	Pérdida de suelo	Materia orgánica	%
		Fragmentos de roca	%

Fuente: Elaboración Propia

1.4.4. Variables dependientes e Independientes del cuarto objetivo específico.

Cuadro N° 4: Variables dependientes e independientes del cuarto objetivo específico

Categoría	Variable Dependiente	Variable Independiente	Indicadores
USLE y Varillas de erosión	Variación entre ambos métodos	R ²	Adimensional
		Regresión lineal simple	Adimensional
		Índice de Eficiencia de Nash-Sutcliffe	Adimensional
		Raíz del error cuadrático medio	Adimensional
		Pérdida de suelo	t/ha

Fuente: Elaboración Propia

1.5. JUSTIFICACIÓN

La subcuenca Pusmalca, ubicada en la sierra piurana, presenta una potencial amenaza del recurso suelo, ya que este asegura su sostenibilidad y desarrollo de actividades relacionadas. Con anterioridad, Rasmus (1994) ya hacía mención al incremento de pérdida de suelo debido a las altas precipitaciones que se presentan de manera constante, sobre todo con la ocurrencia del ENSO, en contraste con la ausencia de prácticas de conservación. Asimismo, la ausencia de medidas preventivas ante procesos erosivos en la subcuenca Pusmalca trae como consecuencia la ocurrencia de deslizamientos de ladera que ocasiona el acarreo del material en la parte alta y media de la subcuenca. Posteriormente, ocasiona obstrucción en canales de regadío y vías de comunicación, lo que aísla a la población de la zona de estudio y por ende la municipalidad de San Miguel del Faique realiza trabajos de limpieza en las carreteras, pero las precipitaciones nuevamente malogran los trabajos y aíslan a los pobladores (Comuna Perú Piura, 2009). Según informe de la sub gerencia Regional de Morropón – Huancabamba, el mantenimiento de trochas carrózales dentro del distrito de San Miguel del Faique, es de 21,840 soles, así mismo la reconstrucción del canal principal para riego asciende a 318,843 soles, en el 2012 (Gerencia Sub Regional Morropón Huancabamba GSRM, 2012), por lo que la cuantificación de las áreas de erosión hídrica por los métodos USLE y varillas de erosión es primordial para analizar la variación entre ambos métodos y así reducir un margen de error en las mediciones de los procedimientos de la erosión hídrica.

Este estudio contribuye al conocimiento sobre la pérdida de suelo, ya que aún no que no se han hecho estudios sobre el nivel de comparación entre ambos métodos y de igual manera, es la primera tesis en evaluar la influencia de fragmentos de roca y alto contenido de materia orgánica en conjunto en el modelo USLE.

1.6. IMPORTANCIA

El presente trabajo de investigación será de gran utilidad para las autoridades del municipio de San Miguel del Faique, gobierno provincial de Huancabamba y el gobierno regional de Piura, debido a que son competentes para proponer y promover proyectos de conservación ante la erosión hídrica en la subcuenca Pusmalca y ello contribuirá a hacer un mejor uso del suelo y prevenir el incremento de derrumbes que obstaculicen las vías de comunicación, generando aislamiento de la población.

Además, el estudio puede servir de base para identificar áreas vulnerables a ser erosionadas para una posterior elaboración de un sistema de pago por servicios ambientales, tales como conservación del suelo, suministro de agua por prácticas de conservación (reforestación, entre otras) y disminución de riesgo de grandes avenidas dado que la zona de estudio se encuentra en la cuenca alta del río Piura.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2. MARCO TEÓRICO

2.1. FORMACIÓN DEL SUELO

Jenny (1941), definió los factores que intervienen en la formación del suelo, mediante el siguiente modelo (Ver Ecuación N°1):

Ecuación N° 1: Factores de Formación del Suelo

$$S = f (C, MP, O, R, t)$$

Donde:

- ❖ S: Desarrollo del suelo.
- ❖ C: Clima.
- ❖ MP: Material parental.
- ❖ O: Organismos.
- ❖ R: Relieve.
- ❖ T: Tiempo.

Según este modelo, el desarrollo y formación del suelo está en función al accionar del clima, y de los organismos que interactúan sobre el material parental, bajo el control de un relieve, durante un determinado período de tiempo.

Los factores de formación del suelo son los que controlan el accionar de los procesos pedogenéticos, tanto en su tipo como en su intensidad. En el diagrama N°1 se aprecia la intervención de estos factores.

Diagrama N° 1: Factores de formación del suelo



Fuente: Modificado de Pastor Jáuregui, R. (2013). Fundamentos de suelos y plantas [diapositivas de Power Point].

2.1.1. El Clima

Los componentes climáticos básicos de mayor incidencia en la evolución del suelo son: La precipitación (P) y la temperatura (T); de estos se deriva la evapotranspiración potencial (ETP), que es el más decisivo en la evolución del suelo, ya que es un buen estimador de la cantidad de agua disponible para la pedogénesis. La distribución de la precipitación genera diferencias climáticas importantes, debido a que, al aumentar la precipitación se incrementan los contenidos de materia orgánica (MO) y partículas de tamaño “arcilla” en el suelo, así como la profundidad a la cual se acumulan los carbonatos y los valores de las pérdidas de sílice del mismo (Jaramillo J., 2002).

2.1.2. Material Parental

El material parental es el material del cual se desarrolla el suelo, es la “materia prima del suelo” o el “suelo en el tiempo cero de formación”. Según la concepción de Jenny (1941), está compuesto por aquellos materiales que dan origen a saprolitos y sedimentos no consolidados, llevados a cabo durante una serie de reacciones.

Bohn, O’connor, & Mcneal (1978), destaca la reacción del silicio, puesto que son muy importantes para el intemperismo y formación del suelo. Este elemento forma parte del componente principal de los suelos perdidos durante el intemperismo; además, las transformaciones de la sílice en minerales secundarios constituyen las reacciones principales en formación del suelo. Los suelos arenosos pueden contener hasta más del 90% de SiO₂, en tanto que los suelos muy intemperizados pueden contener menos del 20%.

2.1.3. Organismos

La biota del suelo la componen micro, meso y macro organismos, animales y vegetales, entre ellos los más abundantes son los microorganismos compuestos por: bacterias, hongos, algas y protozoarios; los cuales en su mayoría son heterótrofos y aeróbicos.

Según Kumada (1987), los microorganismos actúan en un conjunto de procesos que transforman la materia orgánica en compuestos, estos tienen una alta capacidad de absorción de la luz visible y un alto contenido de grupos orgánicos (carbonilo y carboxilo) de alto peso molecular y de color amarillo, hasta gris oscuro o casi negro, que se acumulan en el suelo como consecuencia de su resistencia a la transformación; como resultado de todo este proceso, se origina el humus.

2.1.4. Relieve

El relieve es el conjunto de formas que se presentan en la superficie de la tierra (geoformas). Su estudio implica establecer las relaciones que se dan entre los materiales asociados a dichas formas, el efecto que tienen sobre ellas y los procesos que les han dado origen y que las han remodelado a través del tiempo (Jaramillo J., 2002).

2.1.5. Tiempo

El proceso de formación del suelo sobrepasa en mucho el tiempo que define una generación humana; la edad del suelo se limita al tiempo durante el cual han actuado los procesos pedogenéticos en él. Desde el punto de vista de la pedogénesis, el tiempo que interesa es el que corresponde al período cuaternario (1 600 000 años atrás)² (Jaramillo J., 2002).

²Edad según la Sociedad Geológica Americana, citada por Tarbuck y Lutgens (1999). Para efectos de edad geológica, “hoy” corresponde al año de 1950.

2.2. PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

Las propiedades físicas del suelo son las siguientes:

2.2.1. Textura del suelo

Se define como la proporción relativa de partículas presentes en un horizonte de suelo, éstas se clasifican según su diámetro en arena, limo y arcilla ($2 - < 0.002$ mm). Los elementos de tamaño superior a 2 mm se denominan fragmentos gruesos del suelo, y se clasifican según su diámetro en gravas finas, medias y gruesas. Además, el diámetro de partículas determina el tamaño de los espacios entre ellas, y por lo tanto determina la distribución de tamaños de los poros (FAO, 2009). La clasificación dada por la U.S.D.A. se muestra en el cuadro N°5 y en la imagen N°1.

Cuadro N° 5: Clasificación de partículas del suelo según su tamaño (U.S.D.A.)

Nombre		Diámetro (mm)
Arcilla		<0.002
Limo		0.002 – 0.05
Arena	Muy fina	0.05 – 0.1
	Fina	0.1 – 0.25
	Media	0.25 – 0.5
	Gruesa	0.5 – 1
	Muy Gruesa	1 – 2
Gravas	Fina	2 – 6
	Media	6 – 20
	Gruesa	20 – 60

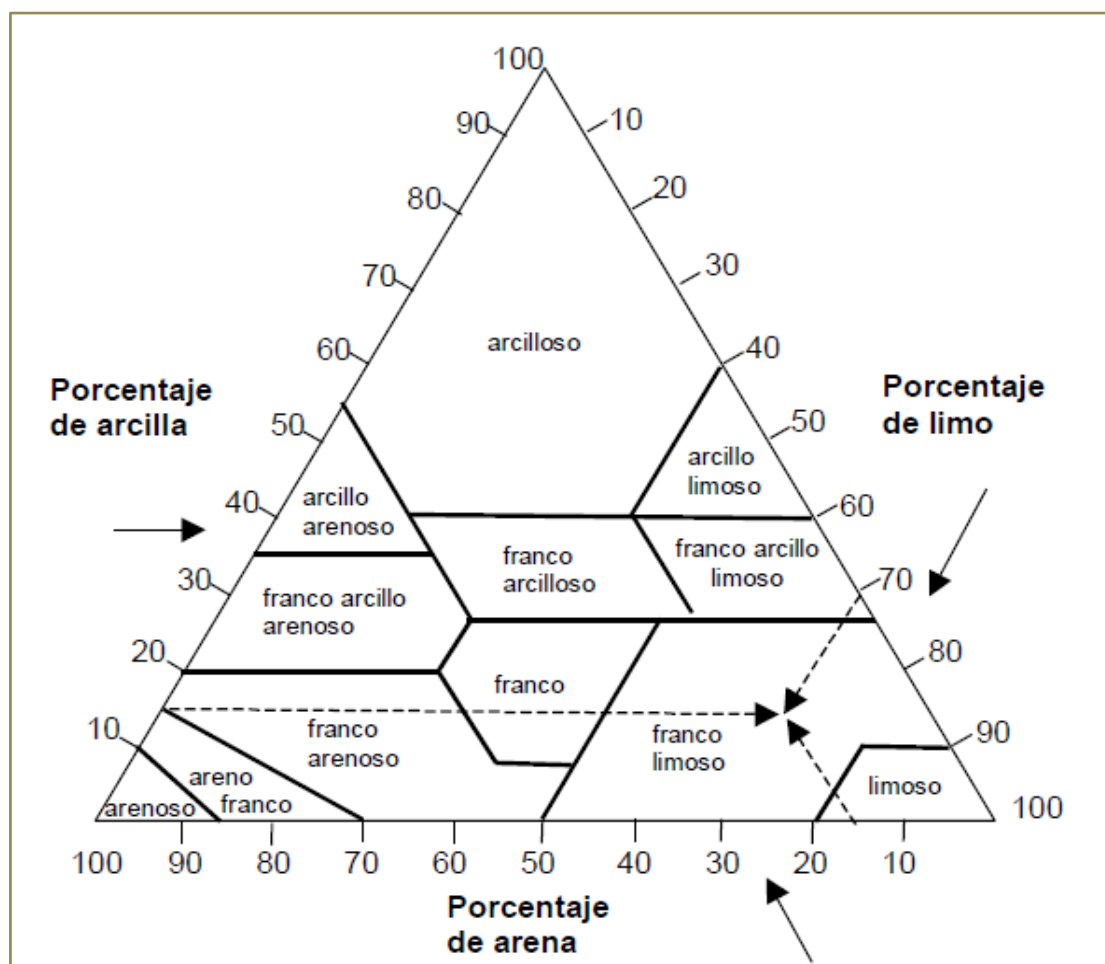
Fuente: Adaptado de FAO, (2009)

2.2.1.1. Característica de los suelos según su textura

- ❖ Textura arcillosa: Dan suelos plásticos y difíciles de trabajar. Retienen gran cantidad de agua y nutrientes debido a la microporosidad y su elevada capacidad de intercambio catiónico y presentan una permeabilidad baja.
- ❖ Textura arenosa: Son suelos sueltos o ligeros con una excelente aireación, de alta permeabilidad, escasa plasticidad y facilidad de trabajo, poca retención de nutrientes y el lavado de los elementos minerales es elevado.

- ❖ Textura limosa: Presenta carencia de propiedades coloidales formadoras de estructura, formando suelos que se compactan con facilidad impidiendo la aireación y la circulación del agua.
- ❖ Textura franca o equilibrada: Posee efectos favorables debido a la combinación de sus componentes (arena, limo y arcilla). Por esta razón, presenta una igualdad entre permeabilidad y la retención de nutrientes.

Imagen N° 1: Triangulo textural de suelos, con las 12 clases mayores, y escalas de tamaño de partículas (U.S.D.A.)



Fuente: Tomado de Echevarría, Picone, & Videla, (2014)

2.2.2. Estructura del Suelo

Es el ordenamiento de los granos individuales en partículas secundarias o agregados y el espacio de poros asociado, esto da como resultado interacciones fisicoquímicas entre las arcillas y los grupos funcionales de la materia orgánica (Jordán Lopez, 2005 - 2006).

Su formación se debe a la presencia de cargas eléctricas en la superficie de las arcillas, lo que genera unas interacciones fisicoquímicas con los iones de Ca^{+2} y los demás componentes del suelo logrando así la estabilidad y cementación.

- a. Tipo: Define la forma de agregados. Se reconocen habitualmente 7 tipos: laminar, bloques subangulares, bloques angulares, prismática, columnar, granular y migajosa. Además, se distingue la estructura masiva en la que no se aprecia agrupamientos ni separaciones.
- b. Clase: Representa el tamaño de agregados y se dividen en 5 clases: muy fina, fina, media, gruesa, muy gruesa.
- c. Grado: Describe la firmeza de los agregados y se expresa con los términos de débil, moderado y fuerte.

En el cuadro N° 6 se presenta los efectos positivos de la estructura sobre las propiedades del suelo.

Cuadro N° 6: Efectos positivos de la estructura sobre las propiedades del suelo

Propiedad afectada	Efectos Positivos
Características de la superficie del suelo	Una buena estructura evita el sellado del suelo y la posterior formación de costras superficiales; facilita la emergencia de las plántulas y la infiltración del agua.
Infiltración de agua en el suelo	El aumento de la infiltración disminuye la escorrentía y con ello, la erosión hídrica del suelo. Así mismo, aumenta las reservas de agua en el suelo.
Espacio poroso	Un horizonte bien estructurado permite una buena circulación de agua, aire y nutrientes; posee una conductividad hidráulica elevada; beneficia el desarrollo y la actividad de los microorganismos aerobios y favorece la actividad de la fauna del suelo, lo que mejora la estructura y facilita la penetración de las raíces.
Compacidad	La baja compacidad del suelo favorece el laboreo; disminuye la densidad aparente e impulsa el crecimiento de las raíces.
Riesgo de erosión	Un suelo bien estructurado es más resistente a la erosión que las partículas sueltas de arena, limo, arcilla y la materia orgánica.

Fuente: Adaptado de Jordán Lopez (2005 - 2006)

2.2.3. Permeabilidad

Es la disposición del suelo de tolerar el acceso del aire y agua, mediante sus poros distribuidos en su estructura; esta puede ser expresada en unidades de (longitud/tiempo).

La permeabilidad de los suelos depende de:

- ❖ Tipo de suelo, hace referencia a su distribución granulométrica, así por ejemplo se sabe que en los suelos arcillosos también influye: la estructura, espesor de las capas de agua adheridas a las partículas;
- ❖ Tamaño de la partícula, en general, mientras menor sea el tamaño del poro, menor es el valor de la permeabilidad;
- ❖ Viscosidad del fluido, principalmente (temperatura);
- ❖ Densidad del suelo;
- ❖ Relación de vacíos forma y disposición de los granos;
- ❖ Grado de saturación, es el volumen de agua distribuido en los poros vacíos de manera porcentual.

Para resumir, cuanta más agua se mueva a través del suelo, más rápidamente se desarrolla la acidez, ocurren los procesos de meteorización y translocación de materiales coloidales.

Ver cuadro N° 7

Cuadro N° 7: Clases de permeabilidad con respecto a la textura y estructura del suelo

Símbolo	Clases de permeabilidad	Centímetros de percolación por hora	Textura probable	Estructura Probable
Lenta				
1	Muy Lenta	Menos de 0.125	Muy Pesada a Pesada	Masiva, Columnar
2	Lenta	0,125 – 0,5	Pesada a media	Prismática
Moderada				
3	Moderadamente lenta	0,52 - 2	Pesada a media	Prismática
4	Moderada	2 – 6,25	Media a liviana	Bloques subangulares
5	Moderadamente rápida	6,25 – 12,5	Media a liviana	Bloques subangulares
Rápida				
6	Rápida	12,5 - 25	Liviana a gruesa	Grano simple
7	Muy rápida	Más de 25	Gruesa a gravosa	Grano simple

Fuente: Adaptado de Alva, (1976)

2.2.4. Densidad aparente

La densidad aparente se define como la masa de sólidos del suelo contenida en un volumen total que este ocupa (incluyéndose el volumen de poros). Para calcular la densidad aparente se utiliza el cilindro de kopeccky, usando una muestra no alterada, a partir de la siguiente expresión. Ver Ecuación N°2.

Ecuación N° 2: Ecuación de la densidad aparente

$$Da = \frac{M_{ss}}{V_c}$$

Dónde:

- ❖ Da= densidad aparente del suelo, g/cm³
- ❖ Mss= Masa del Suelo seco a 105°C, g.
- ❖ Vc= Volumen del cilindro donde se tomó la muestra de suelo, cm³

2.3. EROSIÓN DE SUELOS

La erosión es uno de los factores más importantes en la degradación de suelos fértiles de la agricultura alrededor del mundo, está puede llevar al desarrollo de un embrutecimiento del perfil del suelo con el posterior deterioro de la humedad, generando problemas ambientales (Lewis, 1981; Nyakatawa, Lemunyon, & Reddy, 2001; Sutherst & Bourne, 2009).

Labrière et. al (2015), sostiene que los problemas ambientales son tales como la disminución de rendimiento de los cultivos (lo que aumenta la concentración de CO₂ en la atmósfera), disminución de la calidad del agua (turbidez y los contaminantes de partículas de origen), la sedimentación de los embalses, y la perturbación de los regímenes hidrológicos, tales como un mayor riesgo de inundaciones debido al llenado del cauce del río y los ríos interconectados.

2.3.1. Costos de la erosión

La estimación de los costos económicos, sociales y ambientales es un proceso muy complejo de cuantificar. Para empezar, se deben tomar en cuenta los costos generados

por la pérdida de top soil o capa fértil del suelo, el cual contiene alta cantidad de nutrientes destinados a la producción de cultivos, conllevando al agricultor a realizar mayor número de labranzas, compra de fertilizantes, limpieza de cauces de regadío en la comunidad, etcétera. Entre los costos indirectos se encuentran los asociados a la contaminación de aguas, colmatación de embalses por los sedimentos, incremento del riesgo de inundación al disminuir la capacidad de almacenamiento de agua en los suelos erosionados y de igual manera la infiltración que ocasiona la disminución de la cantidad de reserva en los acuíferos, pérdida de biodiversidad y finalmente la disminución de los servicios ambientales propios del suelo (Alcañiz, 2008).

2.4. EROSIÓN HÍDRICA

Oyarzun Ortega (1993), define la erosión hídrica como una dispersión de las partículas del suelo por acción del impacto de las gotas de lluvia y el escurrimiento superficial, posterior transporte de las partículas dispersadas. El transporte de los sedimentos generados propende a formar una superficie sellante, decreciendo la infiltración, incrementando el escurrimiento superficial y, por lo tanto, aumentando la erosión del suelo.

Los procesos de erosión hídrica son complejos, éstos involucran los cambios en las cantidades e intensidades de las lluvias, número de días de precipitación, tasa de lluvia, producción de biomasa de plantas, proporciones de descomposición de residuos de plantas, actividad microbiana en el suelo, tasas de evapotranspiración y los cambios necesarios en el uso de la tierra para adaptar al nuevo régimen climático (Nearing, Pruski, & O'Neal, 2004).

Además, la pérdida de suelo por erosión hídrica tiene consecuencias tanto en el lugar donde se pierde la capa de suelo, así como la contaminación y la pérdida de la capacidad del suelo para mantener la cubierta vegetal y consecuentemente ayudar a la captura de

carbono del CO₂ (Agencia Europea de Medio Ambiente 2002; citado por Tapia Muñoz, 2011).

Según Llerena, (1988) indica que en nuestro país existe muy poca información cuantitativa sobre la medición de la erosión hídrica.

Estimaciones existentes en el país sostienen que la pérdida promedio de los suelos por este concepto es de 1476 t/km². (DGAS, 1988)

2.4.1. Tipos de erosión hídrica

Se describen los distintos tipos de erosión hídrica, según forma de acción hidrológica.

2.4.1.1. Erosión por salpicadura

Se origina del impacto de las gotas de lluvia sobre una superficie de suelo que ocasiona un desprendimiento de las partículas del suelo. Depende principalmente de la energía cinética de las gotas de lluvia liberada tras el impacto en el terreno (Erosionabilidad), la cual está en función a la cantidad, intensidad y duración de la tormenta, y de la resistencia específica que ofrezca este suelo (Erodabilidad) al proceso erosivo, es decir la estabilidad de la estructura, la textura, contenido de materia orgánica, cobertura vegetal, etcétera. (Alcañiz, 2008; Suárez Díaz, 2001).

2.4.1.2. Erosión laminar

Se concibe como el desprendimiento de capas del suelo las cuales son transportadas por el exceso de precipitación (escorrentía), donde la intensidad de la precipitación supera a la capacidad de infiltración del suelo originando que se sature. El flujo laminar presenta escaso poder erosivo, sin embargo, en algunas secciones de su desplazamiento se convierte a turbulento, aumentando en forma importante su capacidad erosiva. Este tipo de erosión es muy común en los suelos residuales y en las zonas recientemente deforestadas (Suárez Díaz, 2001)

2.4.1.3. Erosión en surcos

Se produce debido a la concentración del flujo superficial sobre las secciones irregulares del suelo, las cuales pueden darse durante la duración de una o varias lluvias (Súarez Díaz, 2001). Además, los surcos paralelos conllevan a la formación de una red de drenaje, asimilando a los más pequeños durante su recorrido hacia el punto de desfogue. Su capacidad de transporte depende del caudal y de la pendiente del terreno.

2.4.1.4. Erosión en cárcavas

Al ahondar el flujo canalizado en los surcos y/o la unión de estos, produce la formación de cárcavas, estas presentan un alto grado de concentración y transporte de agua y sedimentos. Este proceso no es tan significativo como la erosión en surcos, a nivel del mundo, pero es más destructivo en términos de daño a carreteras, terraplenes y ciudades, lo que conlleva a un alto riesgo de vidas humanas.

2.5. FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE LA EROSIÓN HÍDRICA

A continuación, se explican los diferentes factores que participan en el proceso de erosión hídrica, por ejemplo, la precipitación, características topográficas y edáficas intrínsecas y la cobertura vegetal.

2.5.1. Factor Lluvia

2.5.1.1. Velocidad de la gota de lluvia

Según Meyer (1979), citado por Yataco Perez (2006), la velocidad de la caída de las gotas de lluvia varía desde cero para las lloviznas a más de 9 m/s, para las lluvias con gotas de mayor tamaño (5 a 6mm). Asimismo, sostiene que el tamaño frecuente de las gotas de lluvia es de unos 2mm de diámetro y que caen con una velocidad que varía entre 6 a 7 m/s.

Adicionalmente Hudson (1982), menciona que, debido a la acción del viento, las gotas de lluvia de 3 mm de diámetro cambian de dirección en 30°, incrementando en 17% la velocidad de caída y en 36% la energía cinética.

2.5.1.2. Intensidad de lluvia

Se define como la cantidad de lluvia registrada en una hora, la cual se registra en bandas pluviométricas, en las estaciones meteorológicas. Para que una lluvia sea considerada como erosiva debe presentar una intensidad mínima es 25 mm/h (Hudson, 1982). Kohnke define la siguiente clasificación, expuesta en la Tabla N°1.

Tabla N° 1: Clasificación de las intensidades de lluvia, según Kohnke (1954)

Intensidad de lluvia mm/h	Denominación
Menos de 6,5	Ligera
6,5 – 13,0	Moderada
13,0 – 52,0	Fuerte
52, 0 – a más	Severa

Fuente: Kohnke 1954, citado en Yataco Perez, (2006).

2.5.2. Factor Suelo

Las propiedades del suelo influyentes en la erodabilidad son: la textura y estructura, las tasas de infiltración y permeabilidad, la agregación y su estabilidad, el contenido y tipo de materia orgánica y finalmente los fragmentos de roca.

2.5.2.1. Estructura del suelo

Buckman & Brady (1977) afirman que las características más significativas del suelo que influye sobre la erosión son: la capacidad de infiltración y la estabilidad estructural del suelo, explicando su relación íntima sobre todo en los horizontes superiores. De la misma manera, Felipe-Morales Basurto (1992) menciona que la estructura o agregación del suelo es la que presenta una mayor influencia en la capacidad de almacenamiento de agua, así como en la resistencia del suelo a la erosión hídrica y que los suelos andinos,

especialmente los de naturaleza calcárea, presentan una buena capacidad de almacenamiento de agua.

Por otra parte, Buckman & Brady (1977), manifiestan que la notable estabilidad de los gránulos de algunos suelos arcillosos tropicales, ricos en óxidos de hidratos de hierro y aluminio, influye en la resistencia de los suelos a la acción de las lluvias torrenciales. Frente a esto Sánchez (1981), citado en (Tapia Muñoz, 2011), advierte que, a pesar de la más alta estabilidad de agregación de muchos suelos tropicales, el grado de erosión medio de suelos en África y en América del sur es alrededor de 7 t/ha/año, mientras que en Europa es de solo 0.8 t/ha/año.

2.5.2.2. Humedad del suelo

Los agregados y partículas presentes en la estructura del suelo en ocasiones, se rompen en otros más finos y se dispersan, lo que puede dar lugar a la formación de una costra en la superficie del suelo. Pequeñas cantidades de sales solubles pueden desencadenar fenómenos de expansión y dispersión. Esto da como resultado suelos muy duros cuando están secos, pero blandos y frágiles cuando están húmedos. Estos suelos tienen una mayor tendencia a experimentar erosión en túneles, surcos y en cárcavas. (Imeson & Curfs, 2004)

2.5.2.3. Formación del sellado.

Los carbonatos se concentran principalmente en forma de cal polvorienta suave, barnices o revestimientos en los agregados (peds) o agregados, concreciones en costras superficiales o en el subsuelo, o bancos sólidos. (FAO, 2009)

Asimismo, la exposición de la superficie del suelo acelera la descomposición de la materia orgánica y la compactación del suelo por impacto de la lluvia, resultando en una superficie impermeable. Sobre lo cual, Brakensiek & Rawls (1994) sostienen que la infiltración en la superficie de piedras es baja, no a causa de la cobertura de fragmentos

de roca en sí, sino debido a la formación de costras y compactación de suelo que ha resultado del impacto de la lluvia.

2.5.2.4. Contenido de materia orgánica

El contenido de materia orgánica afecta directamente la estabilidad estructural y esta, a su vez, influye en la porosidad, así como en la retención de humedad y conductividad hidráulica del suelo y reduce la densidad aparente, entre otros efectos (Loredo, 1986).

2.5.2.5. Los fragmentos de roca

Generalmente, los fragmentos de roca protegen el suelo contra la destrucción física, evita la formación de una corteza y su posterior sellado; por lo que las tasas de infiltración son más altas que en un suelo desnudo, comparables sin cálculos. Sin embargo, en suelos que están sujetos a la formación de costras, una cubierta de piedra de alto porcentaje puede producir una situación peor; un ejemplo de esto es el presentado por Poesen (1992), en el que una cubierta de 75% de los fragmentos de rocas incrustadas en una superficie de costra en un suelo franco limoso, redujo las tasas de infiltración al 50% de estos en un suelo libre de rocas. Además, los efectos de los fragmentos de roca sobre la pérdida de suelo a menudo se incluyen en los valores de K (Torri, Poesen, & Borselli, 1997).

No obstante, Brakensiek & Rawls (1994) afirman que existe una relación significativa entre la tasa de infiltración final y el porcentaje de roca en la superficie, esto se explica porque influyen directamente en la cantidad de porosidad y su tortuosidad. En este contexto los fragmentos de roca pueden actuar de la misma manera que un mantillo, debido a que ofrecen protección de la superficie de compactación y mejora la infiltración; esta definición dependerá del tamaño de la parcela. En las parcelas de tamaño de 1 a 100 m² los fragmentos de roca pueden aumentar las tasas de erosión del suelo en comparación con el suelo desnudo si la superficie entre las piedras se sella. (Morgan, 2005).

Sharpley & Williams (1990), encuentra que las tasas de erosión de las parcelas tipo USLE, realizados en pastizales con simulador de lluvia y cobertura de fragmento de roca natural y artificial, disminuyeron de manera exponencial a medida que aumenta el porcentaje de cobertura. De la misma manera Box (1981) y Meyer et al. (1972), citados en Sharpley & Williams (1990), obtienen buena correlación ($R^2 = 0,76$ y $0,94$), en la reducción del porcentaje de pérdida de suelo, frente a los fragmentos de roca como tipo de cubierta de protección del suelo.

Las mismas consideraciones de estabilidad para otros residuos pueden ser aplicadas en su evaluación como cobertura superficial, en caso de que los fragmentos de roca formen parte de la matriz del suelo o se presenten sueltos sobre la superficie. Una guía aproximada es que los fragmentos de roca deben ser mayor de 5 mm en suelos de textura gruesa en regiones áridas y semiáridas, donde el escurrimiento es escaso y mayor de 10 mm en otras regiones para ser contado como cobertura de suelo. (Foster, 2013). Asimismo, se debe tener en cuenta que su cuantificación debe realizarse posterior al evento de tormenta.

2.5.2.5.1. Efectos de los fragmentos de roca

Los efectos directos sobre la erosión del suelo comprenden la protección de la superficie del suelo, de la separación por salpicaduras de gotas de lluvia y escorrentía o la interceptación de sedimentos salpicado.

Los efectos indirectos son diversos, los más importantes tienen relación a (1) las propiedades físicas de la tierra fina (por ejemplo porosidad, contenido de materia orgánica) que afectan a los subprocesos de erosión del suelo, (2) la degradación física (es decir, sellado de la superficie, la compactación) de la capa superior del suelo, (3) los procesos hidrológicos que afectan a la generación de escorrentía y la descarga (por

ejemplo, la infiltración, percolación) y (4) el sistema hidráulico de la escorrentía (Poesen, Torri, & Bunte, 1994).

2.5.3. Factor Topografía y Pendiente

La pendiente y la longitud de la ladera influyen directamente sobre las pérdidas de suelo, por efecto de la escorrentía, ya que el agua de escorrentía adquiere mayor velocidad y energía y el tiempo de contacto del agua con el suelo es menor. Se reduce así la posibilidad de que el agua se infiltre en él. Por lo tanto, valores altos de pendiente indican menos oportunidad de infiltración y menores tiempos de concentración (FEDERACAFÉ, 1975; Tapia Muñoz, 2011). La Tabla N° 2 muestra la relación directa que presenta la pendiente y la longitud con la pérdida de suelo.

Tabla N° 2: Efecto de la pendiente y la longitud de la ladera sobre la erosión hídrica de un suelo de coluvios en Chindiná (Colombia); resultados promedios de 8 años; precipitación promedio anual de 2701 mm.

Efecto de la pendiente		Efecto de la longitud	
Pendiente (%)	Pérdida de suelo (t/ha)	Longitud (m)	Pérdida del suelo (t/ha)
23	119	5	152
43	327	10	207
		20	306

Fuente: Adaptado de FEDERACAFÉ, (1975)

2.5.3.1. Longitud de la pendiente

Gómez y Alarcón (1975), citado en Yataco Perez, (2006), mencionan que cuando la longitud de la pendiente aumenta 4 veces, la velocidad se duplica; la fuerza erosiva se cuadruplica y la cantidad de material arrastrado se aumenta 32 veces. Por el contrario, si se corta una pendiente en 4 partes, se disminuye la erosión 32 veces.

2.5.3.2. Forma de pendiente

Se refiere al relieve del terreno, la zona andina presenta una configuración irregular en las pendientes, con prominencias (sitios convexos) y depresivos (sitios cóncavos). Los sitios cóncavos presentan suelos generalmente más profundos, la humedad se conserva mejor, hay mayor acumulación de materia orgánica, menor riesgo de procesos erosivos y

mejor protección ambiental. Por el contrario, la forma convexa de la pendiente aumenta la velocidad del agua de escurrimiento y el horizonte superficial acaba desapareciendo de la parte más inclinada de la pendiente cuando esta no tiene protección durante los periodos de lluvia.

Los declives cóncavos se aplanan en su parte baja y los sedimentos arrastrados por el agua de escurrimiento se depositan en esta zona a medida que la velocidad del agua disminuye, sin embargo, cuando llueve mucho, el agua fluye a gran velocidad y puede ocurrir que concentre en los declives cóncavos e inicie formación de cárcavas. Mamani, (1990) citado en Yataco Perez, (2006).

2.5.4. Factor Cobertura Vegetal

Llerena Pinto (2003), sostiene que el potencial de erosión de la lluvia tanto por el impacto del agua al caer como por su escurrimiento superficial, se mitiga por la cubierta forestal aérea y de la hojarasca acumulada producida por el bosque formando así el sotobosque, al disminuir estas el golpe de las gotas que llegan al suelo e interrumpir el flujo de escurrimiento sobre él, minimizando en ambos casos su energía cinética.

Para que un bosque presente las mejores posibilidades de mitigar la erosión debe contar con tres niveles de protección del suelo en buenas condiciones: la copa, la capa de hojarasca y su sistema radicular.

La plantación forestal juega un rol sumamente importante en la tasa de infiltración de un suelo, permitiendo incluso que alimente el nivel freático, incrementando así el escurrimiento base. Este efecto genera que el escurrimiento superficial sea mínimo, en consecuencia, su poder erosivo es bajo (León y Suarez 1998; citado por Roncal Briones, 2006).

La presencia de una cobertura vegetal no sólo protege el suelo contra la erosión de impacto, sino que también brinda rugosidad al terreno por el que el flujo superficial viaja, reduciendo su velocidad y, por ende, su poder erosivo (Morgan, 2005).

Como regla general, mientras más densa y homogénea sea la cubierta vegetal, mayor es su efectividad en la disminución de la erosión hídrica.

2.5.5. Factor Humano

Ellenberg, (1983), indica que el hombre aumenta directa o indirectamente la erosión del suelo debido a las siguientes influencias: (1) deforestación, (2) daño a la superficie del suelo, sobrepastoreo inadecuado, labrado del suelo con arados o rejillas, desmonte de plantas leñosas con sus raíces; (3) compactación del suelo, por el pisoteo del ganado o por una disminución de la actividad biológica al usarse solo fertilizantes químicos.

Dicho de otra manera, aún más general, el factor humano influye en el desarrollo del uso de suelo, sin embargo, no siempre se ciñe de acuerdo a su capacidad de uso mayor de suelo; en este sentido, su alteración puede originar que los servicios ecosistémicos de control de la erosión del suelo disminuyan e incluso desaparezcan (Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, 2005). Cuando se pierde este servicio de regulación, la formación del suelo ya no puede compensar la pérdida de suelo debido a un aumento de la erosión, que agota los recursos del suelo y los servicios de los ecosistemas que soportan (Morgan, 2005).

Labrière, et. al (2015), encontraron que no hay un uso de suelo (excepto suelos desnudos) propensos a la erosión y que debido a una buena gestión de los suelos y la vegetación se pueda reducir la erosión del suelo en las zonas administradas a niveles aún más bajos que en las zonas con vegetación natural.

2.6. TASA DE FORMACIÓN DEL SUELO

Hudson (1982), establece que la tasa de formación del suelo, se puede dar desde diversas perspectivas: bajo condiciones ideales de manejo del suelo, éste podría formarse a una tasa de una pulgada en cerca de 30 años, es decir, cerca de 0,8 mm/año; bajo condiciones naturales, la tasa de formación podría ser de una pulgada (25,4 mm) en un rango que oscila entre 300 y 1.000 años; bajo prácticas agrícolas normales, la tasa de formación puede ser de 25 milímetros en 100 años (0,25 mm/año).

2.7. TOLERANCIA DE PÉRDIDA DE SUELO

Según, Wischmeier & Smith (1978), la tolerancia de pérdidas de suelo, es el máximo nivel de erosión del suelo que permite un elevado nivel de productividad del cultivo, sostenible económica e indefinidamente. Y de igual modo no debe perjudicar las funciones ambientales. Seguidamente se muestra los niveles de tolerancia de pérdida de suelo aceptados mundialmente. En la Tabla N° 3 se muestra la clasificación de la FAO y en la Tabla N° 4 la expuesta por Morgan, el cual relaciona las condiciones del suelo con las pérdidas permisibles de suelo.

Tabla N° 3: Clasificación FAO - PNUMA UNESCO

Pérdida de suelo (t/ha/año)	Grado de erosión hídrica
< 10	Muy Baja
10 – 30	Baja
30 – 50	Moderada
50 – 200	Alta
> 200	Muy Alta

Fuente: Gómez Lora, Separatas sobre la erosión del suelo – Apuntes de clase.

Tabla N° 4: Valores de pérdida permisibles para condiciones específicas del suelo (Morgan, 1980)

Pérdidas permisibles de suelo (t/ha/año)	Condiciones
1	Suelos muy erodables con profundidad efectiva < 25 cm.
5.5	Suelos superficiales
11	Suelos con profundidad efectiva > 150 cm
25	Áreas montañosas de alta precipitación en zonas tropicales

Fuente: CIAT, (2005), Manual de métodos sencillos para estimar la erosión hídrica

2.8. MEDICIÓN DE LA EROSIÓN

La medición de la erosión se puede realizar mediante métodos indirectos o empíricos (USLE, RUSLE, MUSLE y sus demás sucesores); y por métodos directos.

En este contexto, Nearing, Lane, & Lopes, Modeling soil erosion, (1994) sostienen que adaptar un modelo empírico para condiciones fuera de rango de donde se creó requeriría la calibración de parámetros, que pueden consumir tiempo y recursos.

Por otro lado, Guerrero (2003) menciona que, para evaluar la erosión hídrica mediante métodos directos, es decir, efectuando mediciones directamente en el lugar deseado, se tienen los siguientes métodos:

- ❖ Método de la erosión por salpicadura
- ❖ Método de clavos o varillas de erosión
- ❖ Método de sedimentos en curso de agua
- ❖ Métodos de sedimentos acumulados en infraestructura mayor de riego.

Llerena (1988), indica que, dadas las condiciones de nuestro país, el método de los clavos o varillas de erosión constituye un método adecuado para cuantificar la erosión hídrica.

Debido a las limitaciones prácticas y económicas en los proyectos de investigación en materia de erosión, existe la tendencia a la simplificación de los métodos, y uno de los que ha logrado mayor aceptación y aplicación práctica es el de las varillas de erosión, pues su efectividad y precisión han sido favorablemente evaluadas comparando mediciones realizadas usando varillas de erosión con mediciones de sedimentos en suspensión, con el factor de erodabilidad (K) de la ecuación universal de pérdida de suelo, con otros instrumentos y resultados de mediciones de erosión bajo lluvias simuladas y naturales. La efectividad y precisión del método ha sido validada por diferentes investigadores a lo largo de varias décadas en nuestro país y en diferentes partes del mundo (Llerena Pinto, 1988; Roncal Briones, 2006; Perez, 2006; Tapia Muñoz, 2011).

Ver Diagrama N°2

Diagrama N° 2: Clasificación de los modelos de erosión



Fuente: Modificado de Pizarro, y otros, (2009) & León Peláez, (2002).

2.9. PARÁMETROS DEL SUELO EN RELACIÓN CON LA EROSIÓN

HÍDRICA

Independientemente de la intervención del relieve y de los usos del suelo en el proceso de la erosión del suelo, éste tiene unas constantes que le hacen presentar una mayor o menor susceptibilidad a ser erosionado. En este sentido Lobo L. & Pulido M., 2006; Fernández de Andrade (2014), revisan la aplicabilidad de índices de erosionabilidad y de estabilidad de los agregados presentes en el suelo y su comportamiento frente a la acción del agua, y por consiguiente verificar si el suelo está predispuesto a la erosión y calificarlo como erosionable o resistente a la erosión. Estos autores señalan como índices más representativos los siguientes:

2.9.3. Índice de Separabilidad de Partículas

Este índice, propuesto por Florentino (1998), refleja la tendencia que tiene un suelo, predominantemente mineral, con muy bajo contenido de materia orgánica, a la separación de sus partículas y como consecuencia a la formación de sello o costra superficial cuando el suelo se humedece o caen fuertes lluvias. Ver Ecuación N° 3 y Tabla N° 5.

Ecuación N° 3: Ecuación del Índice de Separabilidad de Partículas (I.S.P.)

$$I.S.P. = \frac{\%A}{\%L + \%af + \%amf}$$

Donde:

- ❖ A= % de arcilla (<2 µm)
- ❖ L = % de Limo (2 – 50 µm)
- ❖ Af = % de arena fina (100 – 250 µm)
- ❖ Amf= % de arena muy fina (50 – 100 µm)

Tabla N° 5: Clasificación del índice de separabilidad de partículas

I.S.P.	Separabilidad
>2	Muy Baja
1 – 2	Baja
0,5 – 1	Moderada
0,2 – 0,5	Alta
< 0,2	Muy Alta

Fuente: Adaptado de Lobo L. & Pulido M., (2006)

2.9.4. Índice de Estabilidad Estructural de Pieri (1995)

Este índice determina la relación entre el contenido de la materia orgánica y la fracción mineral del suelo. Ver ecuación N°4 y Tabla N°6.

Ecuación N° 4: Ecuación del Índice de Estabilidad Estructural de Pieri (1995)

$$IE = \frac{\%MO}{(\%L + \%A)} \times 100$$

Donde:

- ❖ IE: Índice de Estabilidad (Adimensional)
- ❖ MO: Materia orgánica (%)
- ❖ L: Fracción de limo (2 – 50 µm)
- ❖ A: Fracción de arcilla (<2 µm)

Tabla N° 6: Clasificación del índice de estabilidad estructural de Pieri (1995)

I.E.	Interpretación
<5	Suelos Degradados
5 - 7	Suelos con alto riesgo a la degradación física por encostramiento o compactación
7 - 9	Suelos con moderado riesgo a la degradación
> 9	Suelos estructuralmente estables

Fuente: Adaptado de Fernández de Andrade, (2014)

2.10. LA INFLUENCIA DE EL FENÓMENO EL NIÑO EN EL NORTE DEL PAÍS

Nuestro país se ve inmerso en la ocurrencia de una fluctuación natural intensa del clima a escala temporal interanual a la que se denomina el fenómeno El Niño/Oscilación Sur (ENOS) (SENAMHI, 2005). El ENOS presenta las siguientes manifestaciones generales, tal como se detalla en el Cuadro N°8.

Cuadro N° 8: Manifestaciones generales de El Niño en el Perú

En el océano	En la atmósfera
Incremento de la temperatura superficial y sub-superficial del mar.	Debilitamiento de los vientos alisios a lo largo de la costa.
Incremento del nivel del mar en la zona de calentamiento.	Incremento de la temperatura del aire en las zonas costeras adyacentes al mar caliente, y en toda la tropósfera.
Disminución del afloramiento de las aguas frías y nutrientes hacia la superficie costera.	Incremento del contenido de humedad en el aire.
Variación de la salinidad de las aguas costeras.	Incremento de la nubosidad en la estación de verano y primavera.
Incremento del contenido de oxígeno.	Disminución de la presión atmosférica.

Fuente: Adaptado de SENAMHI, (2014)

Los cambios asociados al ENOS producen grandes variaciones meteorológicas y climáticas en todo el mundo, de un año a otro. Esto tiene a menudo profundas repercusiones en la humanidad y en la sociedad, a causa de las sequías, las inundaciones, las olas de calor y demás cambios asociados a este fenómeno, que pueden tener consecuencias muy perjudiciales para la agricultura, la pesca, el medio ambiente, la salud, la demanda de energía, la calidad del aire, y modificar además los riesgos de incendios (SENAMHI, 2005).

Durante la ocurrencia del fenómeno de El Niño, principalmente de categoría intensa (1972-73; 1982-83; 1991-92 y 1997-98), se presentan los mayores impactos hidrológicos y es así que en la zona norte causó el incremento de caudales de los ríos, llamado “superávit” y de manera contraria “déficit” en la zona sur.

Investigadores como Rodríguez Vera, (2003) y León Altuna K. B., (2014), detallan efectos tales como el incremento del caudal del río Piura (3200 m³/s, en abril de 1983,

que fue superado el 12 de marzo de 1998 con un caudal máximo de 4 424 m³/s.) y la existencia de una máxima intensidad de lluvia ocurrida en febrero de 1998, con un registro de 40 mm/h. Ver Cuadro N°9

Cuadro N° 9: Intensidad, duración y cantidad de precipitación en el norte del país durante el mes de febrero de 1998

Fecha	Área aproximada	Tiempo de duración	Zonas afectadas	Precipitación promedio		Intensidad mm/h
13/02/1998	31,400 km ²	5h 30min	Tumbes Sullana Piura	Talara	77,0	40
				Piura	86,0	
				Sullana	64,6	
14/02/1998	31,400 km ²	7h 15 min	Piura Chiclayo	Talara	0,6	8
				Piura	17,6	
				Chiclayo	113,0	
17/02/1998	10,000 km ²	8h 30 min	Tumbes Zarumilla	Tumbes	192,0	9,4
				Pto. Pizarro	110,0	
				Talara	25,5	

Fuente: Adaptado de León Altuna K. B., (2014)

Por lo que se refiere al área de estudio, esta se encuentra en la parte alta de la cuenca del río Piura. SENAMHI, (2005), hace mención de las características de precipitación y temperatura, durante la ocurrencia de El Niño en la parte alta de la cuenca del río Piura.

❖ Precipitación

Por debajo de los 600 metros se tiene aún una marcada influencia de eventos El Niño sobre la distribución e intensidad de precipitación. Sin embargo, las precipitaciones registradas sobre este nivel, durante los trimestres más lluviosos de Diciembre – Enero – Febrero (DEF) y Marzo – Abril – Mayo (MAM), no guardan una relación estrecha con el evento.

De igual modo, las precipitaciones relacionadas a eventos Niño no han sido significativas, debido a que se presentaron de mayor intensidad en otros periodos, tales como 1983/1984 y 1989/1990. Estas lluvias pueden deberse al calentamiento atmosférico que está teniendo la zona del Bajo Piura y Zona Media.

❖ Temperatura

Existe la presencia de una tendencia ascendente en todos los trimestres del año, con respecto a la máxima. El mayor incremento se presenta durante el trimestre de invierno Junio – Julio – Agosto (JJA), lo cual está relacionado con la menor nubosidad que predomina en esta zona durante esta estación por lo que el ingreso de la radiación solar es mayor.

Por otro lado, la Autoridad Autónoma de la Cuenca Hidrográfica Chira Piura – AACHCHP, hace mención que los distritos de San miguel de El Faique y Canchaque presentan un riesgo alto frente a una amenaza pluvial, además de que el primero tiene un nivel medio de riesgo ante eventos de alta pluviosidad inusual, esto es en el contexto de ocurrencia de El Niño. Ver Cuadro N°10.

Cuadro N° 10: Niveles de riesgo ante eventos de alta pluviosidad (NRP)

Característica	Sección	Niveles			
		Bajo	Medio	Alto	Muy Alto
Amenaza Pluvial	Alta	Santa Catalina de Mossa, San Miguel de El Faique, Laquiz, Huarmaca, Chalaco, Canchaque	-	Lalaquiz, San Miguel de El Faique, Canchaque, Frías	Huarmaca
	Media	-	Buenos Aires, San Juan de Bigote	Salitral	Tambogrande, Chulucanas, Morropón, La Matanza
	Baja	Rinconada de Licuar, Vice, Bellavista de la Unión	La Arena, Sechura	Cura Morí, La Unión, Catacaos	Bernal, El Tallán, Castilla, Cristóbal Valga, Piura
Riesgo ante eventos de Alta Pluviosidad Inusual	Alta	Canchaque, chalaco, Laquiz	Santo Domingo, Santa Catalina de Mossa, Yamango, Huarmaca, San Miguel de El Faique	Frías	-
	Media	-	Buenos Aires, San Juan de Bigote	Salitral	La Matanza, Tambogrande, Chulucanas, Morropón
	Baja	Rinconada de Licuar, Vice, Bellavista de la Unión	-	El Tallán, Bernal, Sechura, La Arena, La Unión, Cristo Nos Valga.	Cura Morí, Catacaos, Castilla, Piura

Fuente: Adaptado de AACHCHP, (2005)

2.11. ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELOS - USLE

El uso de modelos empíricos principalmente representados por la USLE, es todavía común para resolver problemas prácticos. Probablemente, la razón es que este modelo permite obtener una exactitud en la predicción de pérdida de suelo razonable para muchos propósitos prácticos. Según Bagarello, et. al, (2013) el USLE es un modelo ampliamente usado por el cálculo de la erosión del suelo y por las medidas de conservación del suelo. Este modelo de erosión de agua implica a seis factores: erosionabilidad de la lluvia (R), erodabilidad del suelo (K), longitud de pendiente (L), pendiente escarpada (S), manejo de cultivo (C) y practica de control de la erosión (P). El significado anual de pérdida de suelo (A) es calculado por la multiplicación de estos seis factores. Además, este método es sensible a los cambios en todos los seis factores (Wischmeier & Smith, 1978). Ver Ecuación N°5

Ecuación N° 5: Ecuación Universal de Pérdida de Suelos - USLE

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

Donde:

- ❖ A: Pérdida Anual de suelos por unidad de superficie (t/ha/año)
- ❖ R: Índice de erosividad de lluvias (MJ/mm/ha/h)
- ❖ K: Factor de erodabilidad del suelo (t/MJ/mm)
- ❖ LS: Factor topográfico, producto de los factores, longitud y grado de la pendiente (Adimensional)
- ❖ C: Factor cobertura vegetal, representa su cultivo y manejo (Adimensional)
- ❖ P: Factor prácticas de conservación de suelos agrícolas (Adimensional)

La consideración de los factores R, K, L, S representa la influencia de los factores del entorno del lugar, los cuales no pueden ser modificados por el hombre. Reproduce las condiciones del suelo si este no estuviese con alguna medida de protección, tales como la cobertura vegetal y las prácticas de conservación. Por eso, a este producto se le denomina erosión potencial (EP). De la misma manera el producto de todos los factores representa la erosión actual (EA).

2.11.3. Factor R

Contempla la capacidad potencial de las lluvias para generar erosión y está en función a sus características propias (intensidad, duración, cantidad, velocidad y diámetro de gotas). Además, explica la energía cinética de un evento de lluvia (E) y la intensidad máxima en 30 min (I_{30}). Para obtener un valor representativo confiable de R, en una región, se debe tomar el promedio total anual $E \cdot I$ para un periodo de 10 años.

Debido a la escasez de información pluviográficas en nuestro país, la metodología propuesta inicialmente por Wischmeier y Smith no puede ser aplicada, por ello se contemplan distintas formas para su cálculo. Las más representativas son las siguientes:

2.11.3.2. Fórmula de Morgan (1974)

La fórmula desarrollada por Morgan en 1974, se utiliza en zonas que poseen altas precipitaciones, zonas tropicales principalmente, donde Wischmeier & Smith, (1978) recomiendan un valor máximo de I_{30} de 75 mm/h. Para su correcta aplicación, se debe presentar una erosividad media anual ($KE > 25$). Ver Ecuación N°6 y Ecuación N°7

Ecuación N° 6: Fórmula del índice erosividad media anual

$$KE = 29.8 - \frac{127.5}{I}$$

Ecuación N° 7: Fórmula de Morgan

$$R = I_{30} \left(\frac{9.28 * P - 8.838}{1000} \right)$$

Donde:

- ❖ P: Precipitación media anual en mm.
- ❖ I_{30} : Intensidad máxima en 30 min generadas en mm/h.
- ❖ R: erosividad de lluvia en $Mj/Mm/ha/h$.

2.11.3.3. Fórmula propuesta por Ramos (2001)

Esta fórmula deriva del modelo conceptual, presentado en la Ecuación N° 8. Ver Ecuación N° 9 para la fórmula propuesta por Ramos.

Ecuación N° 8: Modelo conceptual del Factor R

$$R = a_1 PD_2 + a_2 PME_x + a_0$$

Ecuación N° 9: Fórmula propuesta por Ramos (2001)

$$R = 2.375(PD_2) + 0.513(PME_x) - 94.4$$

Este método considera las siguientes variables:

- ❖ PD_2 : Precipitación máxima diaria con periodo de retorno en mm.
- ❖ PME_x : Valor medio interanual de la precipitación del mes más lluvioso de cada año en mm.

2.11.4. Factor K

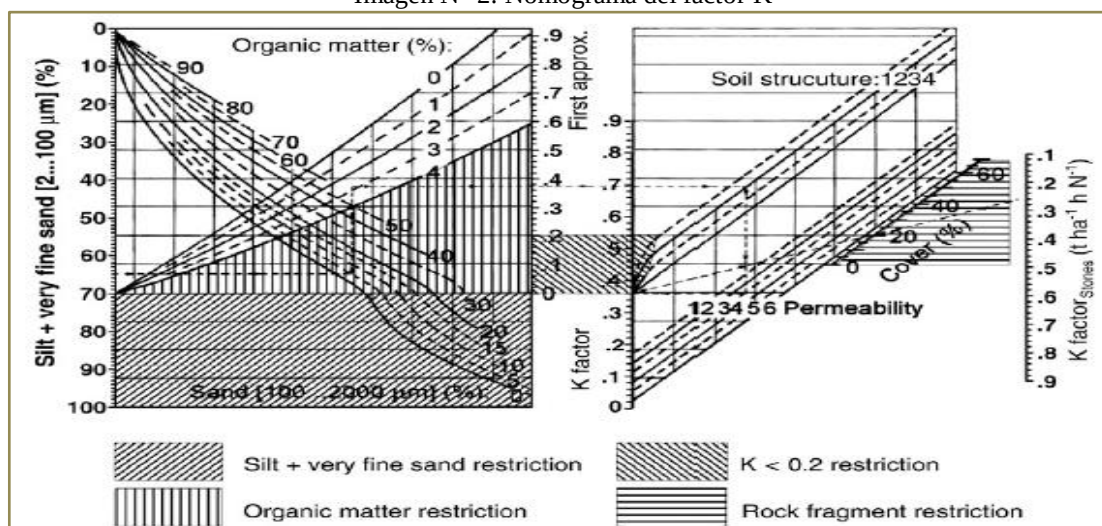
Este factor de erodabilidad “K” se concibe como la facilidad con la cual el suelo se separa por salpicaduras durante la lluvia y/o flujo superficial (Renard et al., 1997, citado en Vaezi, Sadeghi, Bahrami, & Mahdian, 2008), además de la transportabilidad de los sedimentos, así como la cantidad y tipo de escurrimiento de la erosión provocada por el impacto de la lluvia. (Shabani, Kumar, & Esmali, 2013)

2.11.4.2. Ecuación clásica del factor K

Inicialmente se desarrolló el nomograma de K, basándose en los principales subfactores del suelo: composición de partículas, estructura y permeabilidad del suelo, y el porcentaje de materia orgánica (Wischmeier et al. 1971, citado en Auerswald, et. al, (2014). Más tarde una sexta variable conocida como la cubierta de fragmentos de roca, fue añadida en el nomograma (Wischmeier & Smith, 1978).

En la imagen N° 2, se presenta el nomograma del factor K y las áreas donde la ecuación del factor K no aplica; la influencia de la cubierta de fragmentos de roca no ha sido incluida pero añadida como un gráfico separado por Wischmeier and Smith (1978).

Imagen N° 2: Nomograma del factor K



Fuente: Wischmeier et al. 1971, citado en Auerswald, et. al, (2014).

La ecuación inicial del factor K se divide en tres segmentos para su mayor comprensión.

Ver Ecuación N°10, Ecuación N°11 y Ecuación N°12.

Ecuación N° 10: Ecuación del factor K de erodabilidad del suelo

$$K = k_1 * k_2 + 0.043 * (A - 2) + 0.033 * (P - 3)$$

Ecuación N° 11: Ecuación del subfactor K1

$$k_1 = 2.77 * 10^{-5} * \left(f_{Si+vfSa} * (100 - f_{Cl}) \right)^{1.14}$$

Ecuación N° 12: Ecuación 12: Ecuación del subfactor K1

$$k_2 = (12 - f_{OM})/10$$

Donde:

- ❖ $f_{Si+vfSa}$ = fracción de masa (%) de limo (Si) más arena muy fina (vfSa) (2...100 µm) en una fina fracción de tierra.
- ❖ f_{Cl} = fracción de masa (%) de arcilla (<2 µm) en una fina fracción de tierra.
- ❖ f_{OM} = fracción de masa (%) de materia orgánica en una fina fracción de tierra.
- ❖ a = índice de estructura de suelo (1... 4) incrementando de granular muy fina a bloque, por placas o masivo.
- ❖ c = índice de permeabilidad (1... 6) incrementando desde rápido a muy lento.

Los subfactores K_1 y K_2 representan pasos intermedios en el cálculo final de K, este producto se le denomina la primera aproximación de K (Wischmeier et al. 1971, citado en Auerswald, et. al, (2014)).

2.11.4.3. Ecuación del factor K para suelos calcáreos

La ecuación de Wischmeier no puede ser usada de manera genérica, debido las condiciones iniciales de su desarrollo (por ejemplo, para suelos calcáreos). Frente a esto, algunos investigadores han encontrado que la erodabilidad del suelo puede ser afectada por otras propiedades de estructura y textura del suelo, las cuales son altamente influenciadas por la existencia de cal, debido a que su incremento agrega estabilidad resultando una disminución de K, esto se explica debido a que los cationes polivalentes (especialmente Ca^{+2}) controlan significativamente la floculación de coloides y por ende la resistencia a la erosión (Shabani, et. al., 2013). Además, Vaezi et. al, (2008) demuestran que la permeabilidad es el factor más importante en la determinación del factor K en el estudio de suelos calcáreos.

Por consiguiente, Shabani et. al. (2013) desarrollan un modelo de estimación para K en los que se incluye los porcentajes de limo, arcilla, materia orgánica, arena muy fina, permeabilidad (cm/h), incluyendo además el porcentaje de pendiente y cal. Aunque inicialmente sólo los primeros cinco parámetros fueron considerados en el desarrollo del K en el USLE, estos últimos también jugaron un rol importante su determinación. La ecuación N° 13 incluye los parámetros en mención, ($R^2=0.87$).

Ecuación N° 13: Ecuación del factor K, propuesta por (Shabani, et. al., 2013)

$$K = (109.4 + 0.16\% \text{ limo} - 0.62\% \text{ arcilla} - 7.48\% \text{ OM} + 0.19\% \text{ VFS} - 0.05\text{perm} - 3.32\% \text{ cal} - 1.26\% \text{ pendiente})/100$$

Donde:

- ❖ MO: fracción de materia orgánica (%)
- ❖ VFS: fracción de arena muy fina (%)
- ❖ Perm: permeabilidad (cm/h)
- ❖ Cal: porcentaje de carbonatos (%)

2.11.4.4. Las cuatro restricciones del nomograma

La ecuación clásica del factor K desarrollada por Wischmeier & Smith, (1978), no está integralmente de acuerdo con el nomograma. Investigaciones hechas por Auerswald et. al, (2014) encontraron, mediante una comparación hecha con aproximadamente 20 000 análisis de suelo provenientes de Europa Central, que la ecuación falla en más del 50% de los casos; en este sentido desarrollaron un conjunto de ecuaciones que pueden emular completamente el nomograma y reemplaza la engorrosa lectura de este.

La ecuación original presenta 4 restricciones para diferentes características del suelo, en este sentido se debe usar el nomograma porque la ecuación no aplica para:

- ❖ Suelos con alto contenido de limo: Wischmerier 1971, escribió *“la relación de k... cambia cuando el contenido de limo se aproxima al 70%. El efecto de este cambio fue llevado a un nomograma flexionando las curvas de porcentaje de arena cerca de la línea de limo del 70%. Esto modifica gráficamente... K y por ello elimina la necesidad de un conjunto de curvas adicionales.”*. Este cambio no ha sido descrito por una ecuación numérica (Wischmeier & Smith, 1978).
- ❖ Suelos con baja erodabilidad: Esta consideración no fue mencionada por Wischmeier, su ocurrencia es similar en cuanto a suelos con alto contenido de limo. Esta desviación ocurre con suelos de baja erodabilidad, para los cuales la primera aproximación de K es más baja de 0.2.
- ❖ Suelos con alto contenido de materia orgánica: Wischmeier et al. (1971) escribe: *“los porcentajes de materia orgánica... están alrededor de 1.72 veces el porcentaje de carbón. ... Estudios previos concluyeron que dentro de un rango de materia orgánica de 0 a 4%... la erodabilidad del suelo tiende a decrecer apreciablemente, considerablemente a medida que aumenta la materia orgánica.... Nuestros recientes análisis confirman estas conclusiones...ya sea o tanto, K disminuye aún más cuando los niveles de materia orgánica exceden el*

4% no han sido determinados”. En consecuencia, su nomograma se restringe al 4% de materia orgánica, por ello Wischmeier et al. 1971 recomienda la interpolación entre curvas trazadas, a pesar de que los suelos usados para el desarrollo tenían materia orgánica hasta 5.5% (Wischmeier and Mannering, 1969, citado en Auerswald, et. al, 2014).

- ❖ Suelos con fragmentos de roca: Wischmeier et al. (1971) escribe: *“Un suelo que puede ser significativo no está incluido en el nomograma: el porcentaje de los fragmentos gruesos. Los datos limitados sugieren que el factor K... puede ser reducido en 10% para suelos con subsuelos estratificados que incluye capas con piedras pequeñas o grava sin una capa que obstaculiza seriamente por encima de ellos. Más allá de alguna densidad limitante, se espera que las piedras en la superficie reduzcan la erosión proporcionando una manta protectora. Sin embargo, no hay información disponible para determinar la densidad mínima requerida o para estabilizar relaciones numéricas para la tasa de cubierta de piedras sobre esa cantidad.”* Luego Wischmeier and Smith (1978) encontraron una solución para el efecto de la cubierta de piedras: *“Los fragmentos gruesos son excluidos cuando se determinan porcentajes de arena, limo y arcilla. Si es sustancial, pueden tener un efecto permanente de la manta el cual puede ser evaluado desde la curva superior del gráfico en la manta y efectos de dosel (p. 19, fig. 6) y aplicado al número obtenido de la solución del nomograma.”*

Incorporando las cuatro restricciones del nomograma, a la ecuación del factor K, este se determina usando las Ecuaciones N°14, N°15, N°16 y N°17.

Ecuación N° 14: Ecuaciones del factor K, con la restricción de suelos con alto contenido de limo

$$1) \quad K_1 = 2.77 * 10^{-5} * \left((f_{si+vfSa}) * (100 - f_{cl}) \right)^{1.14} \quad \text{para } f_{si+vfSa} < 70\%$$

$$K_1 = 0.631 * 2.77 * 10^{-5} * \left((f_{si+vfSa}) * (100 - f_{cl}) \right)^{1.14} + 0.0024 * f_{si+vfSa} + 0.16 \quad \text{para } f_{si+vfSa} > 70\%$$

Ecuación N° 15: Ecuaciones del factor K, con la restricción de suelos con alto contenido de materia orgánica

$$2) \quad k_2 = \frac{12-f_{OM}}{10} \quad \text{para } f_{OM} < 4\%$$

$$k_2 = 0.8 \quad \text{para } f_{OM} > 4\%$$

Ecuación N° 16: Ecuaciones del factor K, con la restricción de suelos con baja erodabilidad

$$3) \quad k_3 = k_1 * k_2 + 0.043 * (A - 2) + 0.033 * (P - 3) \quad \text{para } k_1 * k_2 > 0.2$$

$$k_3 = 0.091 - 0.34 * k_1 * K_2 + 1.79 * (k_1 * k_2)^2 + 0.24 * k_1 * k_2 * A$$

$$+ 0.033 * (P - 3) \quad \text{para } k_1 * k_2 < 0.2$$

Ecuación N° 17: Ecuaciones del factor K, con la restricción de suelos con contenido de roca

$$4) \quad k = k_3 \quad \text{para } f_{rf} < 1.5\%$$

$$k = k_3 * (1.1 * \exp(-0.024 * f_{rf}) - 0.06) \quad \text{para } f_{rf} > 1.5\%$$

Donde el K representa el valor final de erodabilidad, habiendo antes pasado por las restricciones de alto contenido de limo, alto contenido de materia orgánica, baja erodabilidad y presencia de fragmentos de roca.

2.11.5. Factor LS

Los factores topográficos juegan un papel importante en el modelo USLE, debido a que el grado de inclinación de un terreno (S), entrega el componente de gravedad necesario para comenzar el flujo concentrado y otorgarle velocidad, mientras que la longitud de pendiente (L), es un factor que condiciona el volumen de agua que fluye en una ladera determinada. Sin embargo, hay variables que no se toman en cuenta como la forma de la pendiente, pues la convexidad o concavidad de una ladera puede determinar el aumento de la velocidad del flujo concentrado, o bien su reducción y estancamiento. (Mancilla Escobar, 2008).

Existen diversos métodos para su determinación, a continuación, se muestra, en la Ecuación N° 18, la fórmula descrita por Arnoldus:

Ecuación N° 18: Fórmula para el factor LS, según Arnoldus (1977)

$$LS = \frac{\gamma}{22.1}^{0.6} \times \frac{s}{9}^{1.4}$$

Dónde:

- ❖ γ : Longitud de la ladera en pendiente (m)
- ❖ S: Porcentaje de dicha inclinación (%)

Por otra parte, este método no toma en cuenta la forma de la pendiente. Una forma de abordar dicho efecto, es dividiendo las laderas a considerar en distintos trazos, de tal manera de encontrar una representación promedio de los factores topográficos. Para esto se aplica la Ecuación N°19 y el Cuadro N°11 para determinar la proporción de suelo perdido según segmento.

Ecuación N° 19: Fórmula de fracción de pérdida de suelo

$$\text{Fracción de pérdida de suelo} = \frac{i^{m+1} - (i - 1)^{m+1}}{N^{m+1}}$$

Dónde:

- ❖ i: numero secuencial del segmento
- ❖ m: exponente de largo de pendiente
- ❖ N: es el número total de segmentos considerados.

Cuadro N° 11: Valores de m en relación al % de pendiente

Valores de m	S (%)
0.5	S > 5
0.4	3 < S < 5
0.3	S < 3

Fuente: Adaptado de Mancilla Escobar, (2008)

Otra forma de su cálculo es utilizando los valores desarrollados por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes (Madrid), en el que se tiene en cuenta los valores del factor LS en función del porcentaje de pendiente, se recomienda su uso en áreas específicas, donde su confiabilidad es la más acertada (Ramos Taipe, 2001). Ver Tabla N°7.

Tabla N° 7: Valores de LS, según pendiente del terreno

Grado de Pendientes (%)	Factor L.S
0 a 3	0.3
3 a 12	1.5
12 a 18	3.4
18 a 24	5.6
24 a 30	8.7
30 a 60	14.6
60 a 70	20.2
70 a 100	25.2
> 100	28.5

Fuente: Adaptado de Ramos Taipe, (2001)

2.11.6. Factor C

Este factor representa el grado de protección que un determinado tipo de cubierta vegetal ofrece al suelo, esto incluye el porcentaje de cubrimiento de la vegetación, efecto protector de los residuos vegetales incluidos la hojarasca y la acción de agregación que tienen las raíces en el suelo (Mancilla Escobar, 2008). Ver Tabla N°8

Tabla N° 8: Valores de Cobertura vegetal, Factor 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 sobrepastoreada	0.1
Maíz, sorgo, alto rendimiento, laboreo convencional	0.2 – 0.55
Maíz, sorgo, alto rendimiento, sin laboreo convencional	0.5 – 0.9
Maíz, sorgo, alto rendimiento, laboreo mínimo	0.02 -0.1
Maíz, sorgo, alto rendimiento, laboreo con chisel	0.12 -0.2
Maíz, sorgo, bajo rendimiento, laboreo con chisel	0.3 – 0.45
Algodón	0.4 – 0.7
Pradera Herbácea	0.01 – 0.025
Soya	0.2 – 0.5
Trigo	0.1 – 0.4
Arroz	0.1 – 0.2
Frutales con cobertura vegetal	0.01 – 0.8
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 críales	0.2 – 0.013
Cultivos anuales y herbáceos	0.25
Pasturas	0.15
Plantas herbáceas y matorjos (100%)	0.003
Plantas herbáceas y matorjos (60%)	0.035
Cubierta escaza	0.15 – 0.09
Cubierta inapreciable	0.45

Fuente: Adaptado de Wischmeier & Smith, (1978)

No obstante, en el caso de sistemas forestales pastoreados, quemados o con cosecha selectiva, el empleo de los valores de la tabla anterior no es conveniente, debido a que habrá un efecto de degradación de la condición inalterada. Entonces Wischmeier recomienda usar los valores del Cuadro N° 12.

Cuadro N° 12: Factor C para praderas permanentes, terrenos baldíos y bosques pastoreados

Cobertura área. Tipo y altura	% de cobertura área	Cubierta superficial en contacto con el terreno (% de suelo cubierto)						
		Tipo	0	20	40	60	80	95+
No apreciable.		G	0,45	0,20	0,10	0,042	0,012	0,003
		W	0,45	0,24	0,15	0,091	0,043	0,011
Herbáceas, pastos largos o matorral con altura media de la caída de gotas menor a 0,90 metros.	25	G	0,36	0,17	0,09	0,038	0,013	0,003
		W	0,36	0,20	0,13	0,038	0,041	0,011
	50	G	0,26	0,13	0,07	0,035	0,012	0,003
		W	0,26	0,16	0,11	0,076	0,039	0,011
	75	G	0,17	0,10	0,06	0,032	0,011	0,003
		W	0,17	0,12	0,09	0,068	0,038	0,011
Arbustos o matorrales, con altura media de caída de gotas de 1,95 metros	25	G	0,40	0,18	0,09	0,04	0,013	0,003
		W	0,40	0,22	0,14	0,087	0,042	0,011
	50	G	0,34	0,16	0,08	0,038	0,012	0,003
		W	0,34	0,19	0,13	0,082	0,041	0,011
	75	G	0,28	0,14	0,08	0,036	0,012	0,003
		W	0,28	0,17	0,12	0,078	0,040	0,011
Árboles, pero sin apreciable cubierta arbustiva o de matorral. Altura media de caída de gotas de 4 metros.	25	G	0,42	0,19	0,10	0,041	0,013	0,003
		W	0,42	0,23	0,14	0,089	0,042	0,011
	50	G	0,39	0,18	0,09	0,04	0,013	0,003
		W	0,39	0,21	0,14	0,087	0,042	0,011
	75	G	0,36	0,17	0,09	0,039	0,013	0,003
		W	0,36	0,20	0,13	0,084	0,042	0,011

G=Cubierta superficial está compuesta por pasto o material en descomposición; W=la cubierta superficial está compuesta de herbáceas con poca cobertura radicular o residuos no descompuestos.

Fuente: Adaptado Mancilla Escobar (2008), con correcciones realizadas por USDA-ARS a la propuesta por Wischmeier y Smith (1978).

2.11.7. Factor P

Este factor evalúa las prácticas de conservación en el suelo con la finalidad de disminuir el efecto del flujo de agua cuyos valores se presentan en el Cuadro N° 13. Al respecto, USLE incluye el factor P de prácticas de conservación para tres situaciones:

Cuadro N° 13: Factor P de prácticas de conservación

Pendiente (%)	Cultivo en contorno o curvas de nivel		P para el cultivo en Terrazas
	P*	Longitud máxima de ladera (m)	
1 – 2	0.6	122	0.12
3 – 5	0.5	91	0.1
6 – 8	0.5	61	0.1
9 – 12	0.6	37	0.12
13 – 16	0.7	24	0.14
17 – 20	0.8	18	0.16
21 - 25	0.9	15	0.18
* Se pondera por 0.8 si considera contornos realizados con pilas de residuos			

Fuente: Adaptado desde las Tablas 13 a 15 del manual USLE, (Wischmeier & Smith, 1978)

2.12. LIMITACIONES DEL USLE

Las capacidades que ofrece el modelo USLE, están sujetas al buen desarrollo de los parámetros y éstos a su vez dependen de la objetividad de la persona que lo utiliza (experiencia), la cantidad y calidad de los datos obtenidos, entre otras variables.

2.12.3. Factor R

La información necesaria para el cálculo del EI, no está disponible en la mayoría de los casos. Por tal motivo, diversos investigadores en todo el mundo, se han preocupado por obtener metodologías sencillas para estimar el valor de R, ya sea a escala anual o mensual (Camacho Zorogastúa, 2012).

2.12.4. Factor K

El USLE fue desarrollado originalmente para suelos no calcáreos en los EE.UU. Sin embargo, en suelos calcáreos, el calcio es un factor que afecta la estructura del suelo y, por lo tanto, puede influir de manera importante en la erodabilidad del suelo, así como para otros tipos de suelo. Por lo tanto, la aplicación del nomograma a diferentes tipos de suelo, distintos al de origen, puede conducir a una evaluación inexacta de K.

2.12.5. Factor LS

Para su aplicación a nivel de cuenca, se debe tener en consideración la forma de la pendiente (cóncava o convexa), orientación, la longitud. El nomograma del factor LS contempla una longitud máxima de 500 metros; sin embargo, las longitudes de laderas en un sistema hídrico usualmente superan estos valores (Wischmeier & Smith, 1978).

2.12.6. Factor C

Existe muy poca información para poder cuantificar este factor en sistemas agroforestales, que son asociaciones entre especies (cultivos anuales o permanentes con especies forestales) que buscan potenciar sus características de manera simbiótica y ser sostenibles en el tiempo, una de ellas es la expuesta por (Pérez Nieto, Valdéz Velarde, & Ordaz Chaparro, 2012); sin embargo, la ecuación desarrollada usando cobertura arbustiva y mantillo solo explica el 68% de la variación de la pérdida de suelo.

2.13. PARCELAS EXPERIMENTALES DE VARILLAS DE EROSIÓN

Hudson (1982), propone el empleo de varillas de acero de 30 cm de longitud, de tal forma que las diferencias de altura entre la parte superior de la varilla y el nivel del suelo, representan el nivel de pérdidas de éste, cuya medición se efectúa luego de ocurrida la tormenta con el objetivo de evaluar la erosión o sedimentación producida. Estos resultados permiten establecer un balance entre pérdidas y entradas de suelo para realizar estimaciones más reales (Pizarro, y otros, 2009).

Ormachea & Llerena Pinto (1988), recomiendan que la dimensión adecuada de las varillas deben ser estacas delgadas entre 4 y 6 mm de diámetro, las cuales son las más adecuadas para la mayoría de situaciones, y para la frecuencia de registro y tratamiento analítico respectivos, se recomiendan períodos decadales (10 días).

Llerena Pinto, Uso de varillas para medir la erosión hídrica (1988), hace mención de las ventajas y desventajas de este método:

Ventajas:

- ❖ Medición directa y firme
- ❖ Bajo costo y fácil disponibilidad de materiales y disponibilidad
- ❖ Bajo riesgo de pérdida por vandalismo y robo.
- ❖ Se puede usar también para medir la erosión eólica, fluvial, etcétera.

Desventajas:

- ❖ La varilla altera el microambiente a su alrededor
- ❖ Existe un peligro potencial de alteración del suelo por parte del operador mediante la operación
- ❖ Hay riesgo de constricción o expansión del suelo por variación de su contenido de humedad.
- ❖ La fauna o animales domésticos podrían causar alteraciones.

2.13.3. Erosión media y sedimentación media

La erosión media se estima al sumar la disminución en altura de todas las varillas de la parcela que denotaron la presencia de procesos erosivos en un intervalo de tiempo definido, dividida esta sumatoria por el total de varillas presentes en la parcela.

Del mismo modo, es posible calcular la sedimentación producida en la parcela, pero considerando como sumatoria el valor creciente de la altura, lo que significa que se han verificado procesos de sedimentación. Ver Ecuación N° 20.

Ecuación N° 20: Ecuación de erosión o sedimentación media en varillas

$$X = Y \times D_{\alpha} \times 10$$

Donde:

- ❖ X: Suelo erosionado o sedimentado en t/ha.
- ❖ Y: Altura media del suelo erosionado o sedimentado en mm.
- ❖ D_{α} : Densidad aparente del suelo en gr/cm^3 .

2.13.4. Erosión neta

La Ecuación N°21 representa la diferencia entre la erosión y la sedimentación ocurrida en una ladera, expresada en toneladas por hectárea. (Cuitiño, 1999, citado en Pizarro, y otros, 2009).

Ecuación N° 21: Ecuación de erosión neta en varillas

$$En = E - S$$

Donde:

- ❖ En: Erosión neta en t/ha.
- ❖ E: Erosión media de la parcela en t/ha.
- ❖ S: Sedimentación media de la parcela en t/ha.

2.13.5. Suelo movilizado

Es la suma de la erosión media y la sedimentación ocurrida, esto permite describir la totalidad de suelo que se movilizó en el terreno en toneladas por hectárea. Ver Ecuación N°22.

Ecuación N° 22: Ecuación de suelo movilizado en varillas

$$Sm = E + S$$

Donde:

- ❖ Sm: Suelo movilizado en t/ha.
- ❖ E: Erosión media en t/ha.
- ❖ S: Sedimentación media t/ha.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MATERIALES Y EQUIPOS

3.1.1. Materiales

3.1.1.1. Información geográfica

Cartas nacionales: la información cartográfica que se utiliza para la realización del estudio comprende la Hoja 11-d con una escala de 1:100 000 (*Elaborado por el Instituto Geográfico Nacional – IGN*).

3.1.1.2. Mapas Temáticos

La información temática que se usara son la siguientes, cuyas escalas son 1: 100 000.

- ❖ Mapa Geológico, para analizar la distribución de las unidades litológicas y su resistencia a la erosión hídrica.
- ❖ Mapa de Suelos, para analizar la distribución del factor K.
- ❖ Mapa Geomorfológico, para ver la distribución de las geoformas
- ❖ Mapa Fisiográfico, se usó en el proceso de elaboración del mapa ecológico.
- ❖ Mapa de Capacidad de Uso Mayor, para ver las limitaciones del suelo y su respectivo potencial.
- ❖ Mapa de Potencial Minero y Mapa de áreas de Concesión Minera, para el proceso de caracterización de la subcuenca.
- ❖ Mapa de Deforestación, se usó en la identificación de sectores con mayor pérdida de bosque.

Nota: Estos mapas se obtendrán de las instituciones del estado y/o gobierno regional.

3.1.1.3. Para el Trabajo de Campo

- ❖ Varillas de fierro de 30 cm, con un diámetro de 6 mm; para medir los procesos erosivos en parcelas.
- ❖ Wincha métrica, para cuantificar las varillas de fierro en las parcelas.

- ❖ Clinómetro y densiómetro artesanal; se empleó en las evaluaciones de campo para medir la pendiente y el dosel arbóreo.
- ❖ Marco de madera de 1m x 1m; se empleó en la medición de la cobertura vegetal haciendo uso del método del cuadrante.
- ❖ Cámara fotográfica, para el registro fotográfico de las acciones realizadas.
- ❖ Anillos de Kopecky, de 50 mm de altura con un diámetro de 56mm, se utilizó en la recolección de muestras de suelo.
- ❖ Bolsas plásticas (500gr y 250 gr), se usó para el transporte de las muestras de suelo.
- ❖ Lapiceros y marcadores, para apuntar y registrar los valores.
- ❖ Cuaderno de campo, se usó en el registro de información recolectada.
- ❖ Barreno tipo Uhland, se utilizó en la toma de muestras de suelo no disturbadas.

3.1.2. Equipos y software.

Los equipos y software fueron utilizados en el procesamiento de la información recolectada en campo y luego procesada en gabinete para expresarlo mediante mapas temáticos, para la información cartográfica; tablas, gráficos y demás, para la información de campo.

- ❖ Laptop modelo Hp pavilion G6, con sistema operativo Windows 7 de 64 bits, versión Ultimate y service pack 1; procesador core i5 con 2.5 GHz; memoria RAM de 4.0 Gb y Intel (R) HD Graphics Family.
- ❖ Software ArcGis 10.1, desarrollado por ESRI (Environmental Systems Research Institute) y se usó en la elaboración de mapas temáticos y mapeo de la zona.
- ❖ Software Microsoft Office, desarrollado por Microsoft y se usó en el desarrollo del presente documento, haciendo uso de sus herramientas de Excel y Word
- ❖ Software Minitab 17 (software estadístico), se usó en el procesamiento de información.
- ❖ GPS, se utilizó en la recolección de coordenadas geográficas tanto en los puntos de muestreo como en las parcelas de varillas.

3.2. MÉTODOS

Método: Hipotético – Deductivo. Conforme ocurren las observaciones del fenómeno estudiado, se formulan hipótesis que busquen explicar dicho fenómeno mediante experimentos planteados para finalmente validar los enunciados comparándolos con la experiencia (Behar Rivero, 2008).

3.2.1. Diseño, Tipo y Niveles de la Investigación.

3.2.1.1. Diseño

- ❖ Experimental, porque se observa la relación de las variables mediante diversos tratamientos en un diseño experimental.

3.2.1.2. Tipo

- ❖ Transeccional, porque la evaluación se realizó en un tiempo puntual, periodo de Diciembre a Marzo (Época de lluvia).

3.2.1.3. Niveles de investigación

- ❖ Explicativa: Se buscan las razones y causas que originan el problema.
- ❖ Correlacional: Se analiza la relación entre los factores que originan el problema de estudio y la influencia de estos.
- ❖ Descriptiva: se describe los fenómenos o una situación mediante el estudio de variables en una circunstancia espacial – temporal determinada.

3.3. PROCEDIMIENTOS

A continuación, se detalla los procedimientos para la obtención de los resultados planteados por cada objetivo específico, planteados en el Capítulo I.

3.3.1. Identificación de áreas de erosión hídrica mediante criterios e índices de erosión y la técnica SIG.

El proceso de identificación de áreas de erosión hídrica se realizará mediante la generación de unidades integradas de tierra (UIT). Este método permite la elaboración de un mapa temático, en el que los polígonos homogéneos representan parámetros con pocas

alteraciones físicas geomorfológicas en el tiempo. Se obtuvo mediante la integración de los shapes de suelo, pendiente, isoyetas y cobertura vegetal, y el uso del software ArcGis 10.1, dando como resultado un mapa temático de erosión hídrica de la subcuenca Pusmalca.

Por otro lado, se contrastará las áreas de erosión obtenidas haciendo uso de índices de erosión, que contemplan la toma, recolección de muestras de suelo, evaluación en laboratorio y su posterior clasificación en gabinete. Además, permitirá definir la ubicación de las parcelas de varillas de erosión.

3.3.1.1. Procedimiento de integración Temática

3.3.1.1.1. Elaboración de la plantilla

Se diseñará una plantilla (mapa base), con el que se elaborará la integración temática.

3.3.1.1.2. Elaboración de sobrepuesta base (SB)

Para elaborar la sobrepuesta base, la información temática es llevada a la escala de trabajo siendo editada en el ARCMAP tomando como referencia el mapa base. Este proceso se repite para todos los parámetros a integrar obteniendo las siguientes capas:

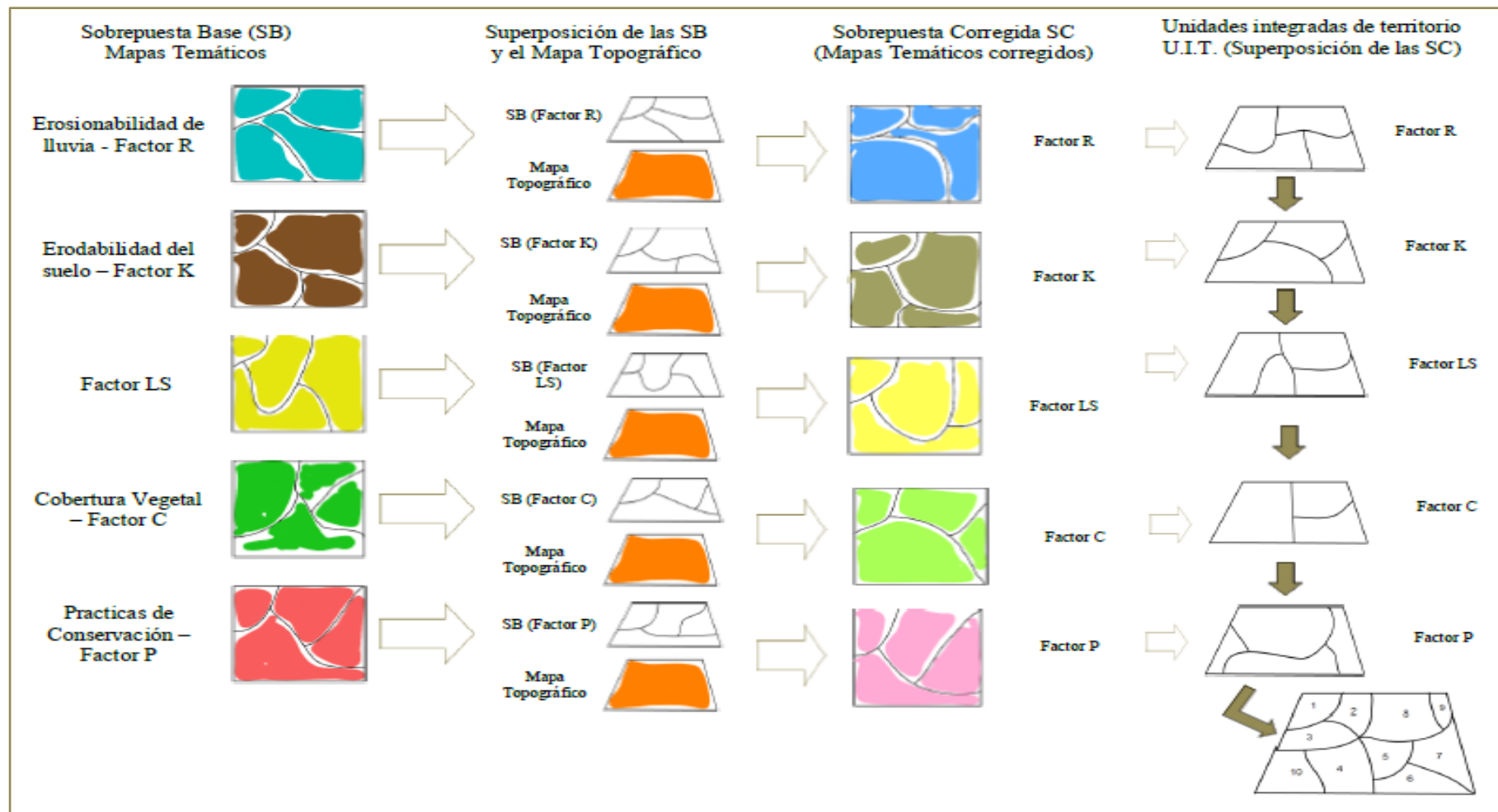
- ❖ SB Isoyetas – Factor R
- ❖ SB Suelos – Factor K
- ❖ SB Pendiente – Factor LS
- ❖ SB Cobertura Vegetal – Factor C

Luego, éstas se procesan para ajustar los límites de las unidades espaciales utilizando como referencia el mapa topográfico.

3.3.1.1.3. Codificación

En esta etapa se le asignará valores al mapa de Pérdida de suelo, considerando la clasificación propuesta por la FAO. Ver Tabla N°3 y Diagrama N°3.

Diagrama N° 3: Procedimiento de integración temática, para la obtención de la erosión hídrica en la subcuenca Pusmalca



Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Cuantificación de la pérdida anual de suelo mediante los métodos USLE y varillas de erosión.

Se realizará la determinación de la pérdida de suelo por la metodología USLE (método indirecto) y por el método de parcelas de varillas de erosión (método directo).

3.3.2.1. Cuantificación de la pérdida anual de suelo mediante el método USLE

Según las referencias bibliográficas, se presentan tres versiones del factor K de dicha metodología, incluyendo la primera versión desarrollada por Wischmeier en 1978. Por esta razón, se procederá a verificar la aplicabilidad de estas en la subcuenca Pusmalca. Además, se tomarán en cuenta las recomendaciones propuestas por Mancilla Escobar (2008) para los factores del USLE.

3.3.2.1.1. Primera versión del K

La primera versión constituye la interacción de los factores del suelo considerados por Wischmeier & Smith, (1978), composición de partículas, estructura y permeabilidad del suelo, y el porcentaje de materia orgánica.

3.3.2.1.2. Segunda versión del USLE

Esta segunda versión contempla la adaptación del Factor K a suelos calcáreos fue propuesta por Shabani, et al., (2013). Ellos consideran la aplicación de % cal y % de pendiente en la determinación de dicho factor.

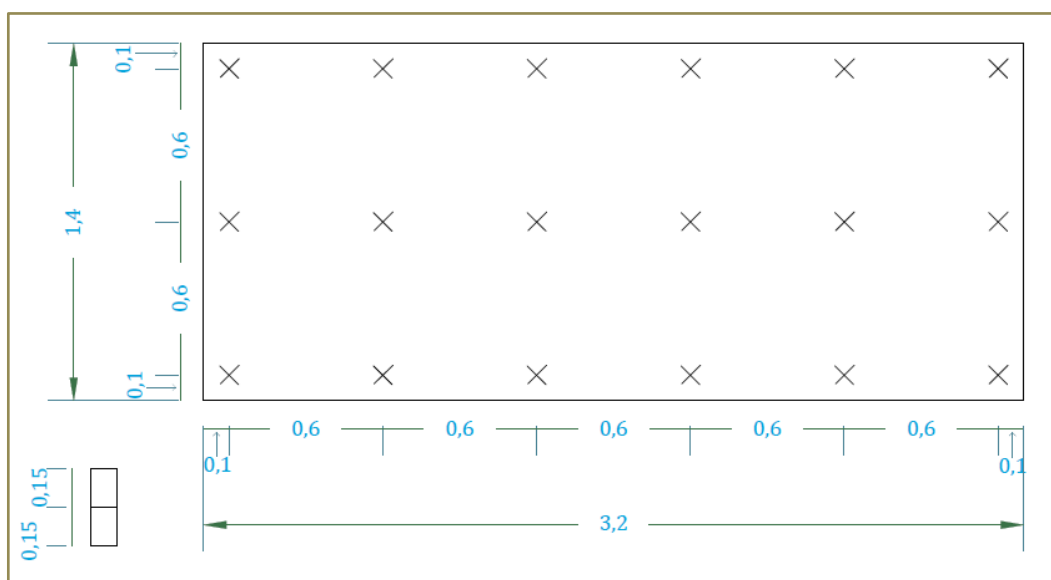
3.3.1.1.3. Tercera versión del USLE

En la tercera versión, Auerswald et al., (2014) evalúan las cuatro restricciones del nomograma del factor K, y desarrollan una ecuación que emula su uso. Asimismo, Calero Merino (1987), indica que la zona evaluada presenta alto contenido de materia orgánica. Finalmente, se cuantificará la pérdida de suelo usando las distintas versiones del USLE.

3.3.1.2. Cuantificación de la pérdida anual de suelo mediante el método de varillas de erosión

Se realizará mediante el registro de mediciones en varillas de erosión, instaladas en parcelas donde se presente mayor erosión, durante el periodo de lluvia en los meses de diciembre hasta marzo. El método consiste en la instalación de varillas de fierro de 30 cm en el suelo, en una parcela de 1.4 m por 3.2 m. Ver Imagen N° 3

Imagen N° 3: Distribución de las varillas de erosión en una parcela de 1,4 x 3,2 m



Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Determinación de la influencia del contenido de materia orgánica y la cubierta de fragmentos de roca en la pérdida de suelo.

La evaluación de la influencia se realizará mediante el siguiente diseño experimental:

3.3.2.1. Diseño experimental de las parcelas de varillas.

El diseño presenta dos etapas: la primera detalla la disposición de los factores a evaluar, y el segundo sobre la determinación del grado de influencia que ofrecen éstos frente a la reducción de pérdida de suelo. Los factores a evaluar son: la presencia de fragmentos de roca (%) y el contenido de materia orgánica (%). Ambos factores se distribuyeron mediante un diseño completamente al azar factorial (DCA):

❖ El Factor de contenido de materia orgánica (A) con dos niveles:

a_1 : Contenido medio de materia orgánica (2-4%).

a_2 : Contenido alto de materia orgánica (superior a 4%).

La determinación del contenido de materia orgánica se realizó mediante el método de Walkley y Black realizado por laboratorio de agua, suelo, medio ambiente y fertirriego – UNALM.

❖ El factor fragmentos de roca (B) con dos niveles:

b_1 : Presencia de fragmentos de roca superiores a 1,5%.

b_2 : Presencia de fragmentos de roca inferiores a 1,5%.

La presencia de fragmentos de roca fue determinada en laboratorio, previa recolección de muestras de suelo y con posterior evento de lluvia (Ver marco teórico). Entonces se tienen cuatro tratamientos, en cada uno de ellos se realizó tres repeticiones. Ver Tabla N°9.

❖ Tratamientos: $a_1b_1, a_1b_2, a_2b_1, a_2b_2$

Tabla N° 9: Diseño experimental del DCA factorial

Contenido de materia orgánica		Contenido alto de MO		Contenido medio de MO	
Contenido de fragmentos de roca		Inferior a 1.5%	Superior a 1.5%	Inferior a 1.5%	Superior a 1.5%
Repeticiones	1				
	2				
	3				

Fuente: Elaboración Propia

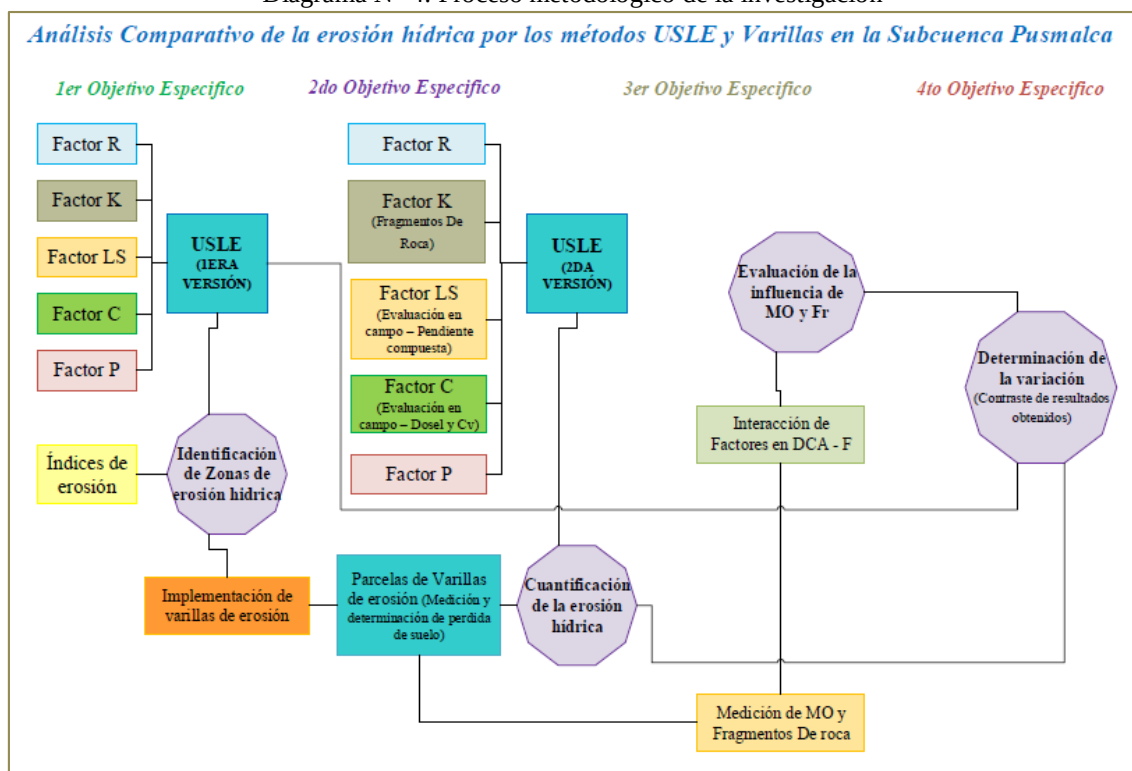
El análisis final se realizará mediante un análisis de varianza (ANOVA), con el software Minitab 17; Lo que permite esta prueba es analizar las varianzas, partiendo de la premisa de medias iguales u homogéneas de distintos tratamientos.

3.3.3. Determinar la variación entre los métodos de varillas y USLE.

En esta etapa se realizará la descripción, evaluación y determinación de las diversas aproximaciones del USLE frente al método de varillas de erosión en las áreas evaluadas en campo. Posteriormente, se realizará un análisis de regresión lineal simple y su respectivo R^2 para explicar la variación entre ambos métodos.

El Diagrama N°4 presenta la síntesis del proceso metodológico de la investigación.

Diagrama N° 4: Proceso metodológico de la investigación



Fuente: Elaboración Propia

3.4. ETAPAS DE INVESTIGACIÓN

3.4.1. Etapa de Pre Gabinete

En esta etapa se contempla la recopilación de la información bibliográfica que contenga de las distintas versiones del método USLE y el método de varillas, así como el planeamiento de las acciones a realizar en posteriores etapas.

3.4.2. Etapa de Pre campo

Se evaluó la información necesaria para realizar la clasificación de la información tanto textual como cartográfica. Se realizó una visita de campo para identificar y reconocer las zonas de mayor erosión apoyándose en los índices de erosión hídrica, muestras de suelo, uso de la técnica SIG (ArcGis 10) y el método USLE.

3.4.3. Etapa de Campo

Para la segunda etapa, se procedió en campo con la instalación de parcelas de varillas en zonas de erosión ya identificadas, y se efectuó el registro de mediciones durante todo el periodo de lluvia.

3.4.4. Etapa de Gabinete

Se realizó el proceso de validación de información, resultados y análisis de datos provenientes de los dos métodos. En primer lugar, se cuantificó la pérdida de suelo por los dos métodos, así como la determinación de la influencia de los dos factores, materia orgánica y fragmentos de roca, en el método de varillas; en segundo lugar, se realizó el análisis estadístico y, por último, se determinó la variación entre ambos métodos.

3.5. POBLACIÓN

La Población es la subcuenca Pusmalca que comprende 190,17 Km² de extensión que representa el 1.72% de la cuenca del río Piura y se encuentra ubicada en el distrito de San Miguel del Faique, Provincia de Huancabamba, Departamento de Piura, ubicado al norte del país.

3.6. MUESTRA

La muestra serán las zonas donde se instalaron las parcelas de varillas de erosión en subcuenca Pusmalca identificadas y validadas en la etapa de pre campo. La muestra será de tipo no probabilística por presentar indicios de erosión hídrica, facilidad logística del tesista y accesibilidad a la información.

CAPÍTULO IV

CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA SUBCUENCA PUSMALCA

4. CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA SUBCUENCA PUSMALCA

4.1. UBICACIÓN

4.1.1. Ubicación política y localización

La subcuenca del río Pusmalca se encuentra ubicada en el sector Noroeste del Perú, al Noreste del departamento de Piura y localizada entre las coordenadas 9413448 y 9397448 N, y 634464 y 662450 E. Además, incluye parte de los distritos de Canchaque y San Miguel de El Faique, ubicados en la Provincia de Huancabamba. Posee una superficie de 190.2 km², la red hidrológica de la subcuenca está constituida por el río Pusmalca, como eje principal, siendo sus afluentes principales por la margen izquierda el río San Antonio de Huando y la quebrada Los Chorros; por la margen derecha los ríos Los Potreros con las quebradas de Chorro Blanco, Cruz Blanca; y el río Agua Azul con la quebrada Granadillo y demás quebradas en la parte baja como lo son Hualtacal y Jardina. Finalmente es afluente al río Piura, el cual a su vez desemboca en el Océano Pacífico.

4.1.2. Demarcación Territorial de los distritos de la subcuenca Pusmalca

4.1.2.1. Distrito de San Miguel de El Faique

4.1.2.1.1. Creación Política

El distrito de San Miguel de El Faique, fue creado según Ley N° 15415, el 29 de enero de 1965, con un área de 201.6 km² y se encuentra a una distancia de 149 kilómetros de la ciudad de Piura.

4.1.2.1.2. Ubicación Política

Se encuentra ubicado a 1050 m.s.n.m., al sur de la Provincia de Huancabamba. Al norte limita con el distrito de Canchaque, al sur con Huarmaca, al este con Sondorillo, y al oeste con Salitral. Además, cuenta con 56 centros poblados dentro de sus fronteras.

4.1.2.2. Distrito de Canchaque

4.1.2.2.1. Creación política

El distrito de Canchaque, fue creado según Ley s/n, el 5 de setiembre de 1904, con área de 306.4 km² y se encuentra a una distancia de 145.5 kilómetros de la ciudad de Piura.

4.1.2.2.2. Ubicación Política

Se encuentra ubicado a 1200 m.s.n.m. al sur de la provincia de Huancabamba. Limita por el norte con el Distrito de Lalaquiz y el Distrito de Huancabamba, por el este con el distrito de Sondorillo, por el sur con el Distrito de San Miguel de El Faique y por el oeste con la Provincia de Ayabaca. Incluye también a 76 centros poblados dentro de sus límites. **Ver**

Mapa N° 01

4.2. VÍAS DE ACCESO Y COMUNICACIÓN

4.2.1. Vías de Acceso

El acceso al área de estudio se realiza por vía terrestre principalmente, esta se realiza por el Este del Departamento de Piura. Se inicia en la ciudad de Lima, a través de la Panamericana Norte con un recorrido de 983.6 km, que nos lleva por toda la costa del país pasando por los departamentos de Áncash, Lambayeque y la Libertad hasta llegar al departamento de Piura; después tomar la carretera de Chulucanas - Huancabamba, hacia el distrito de San Miguel de El Faique, teniendo esta un recorrido de 149 km pasando por las provincias de Chulucanas y Morropón, para finalmente entrar a la provincia de Huancabamba., desde este punto, se puede acceder a los diferentes sitios de la subcuenca.

El tiempo de viaje total es de aproximadamente 18 horas y una distancia total de 1132.6 km, partiendo desde la ciudad de Lima.

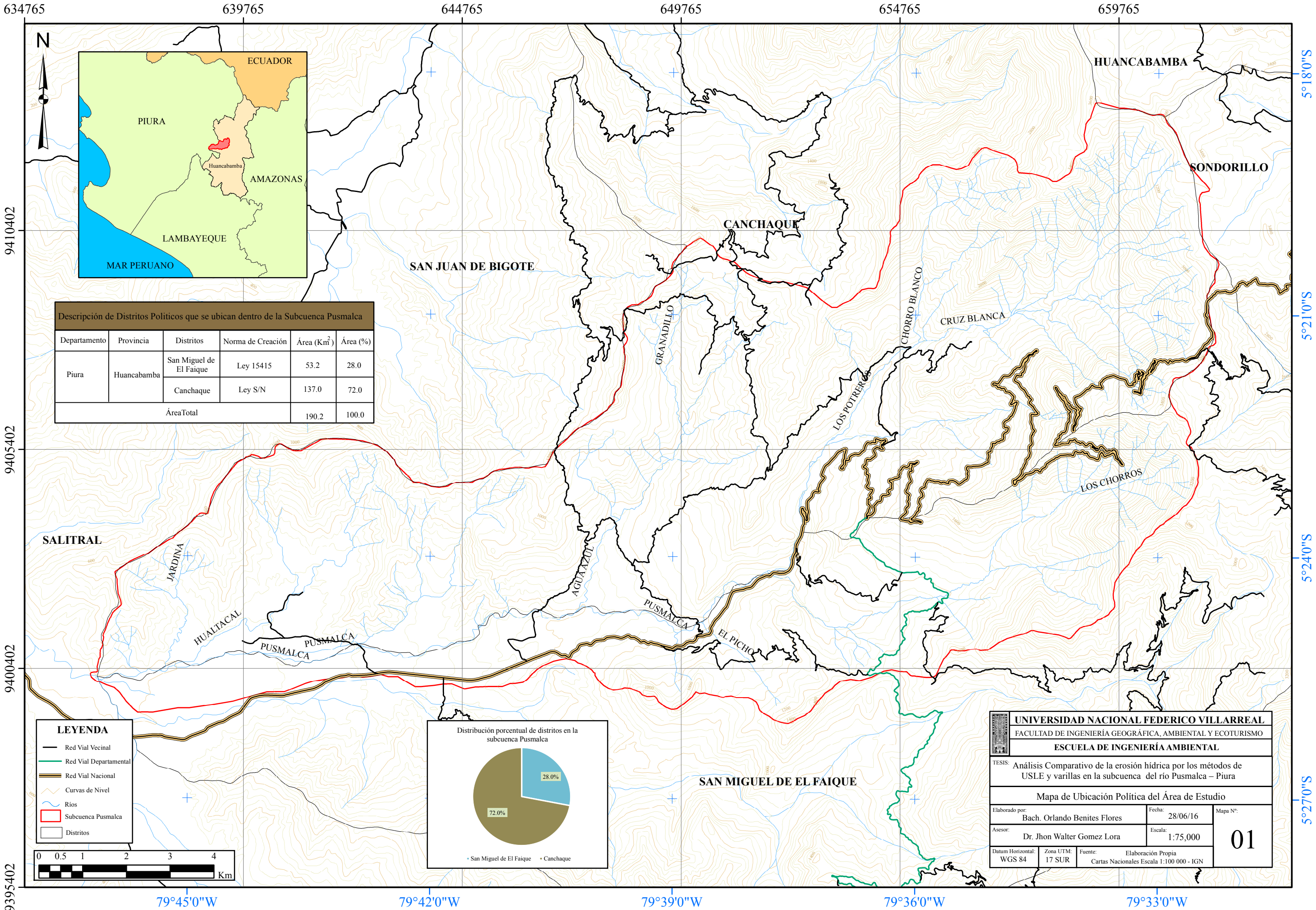
Por vía Área solo se puede acceder hasta el aeropuerto de la ciudad de Piura denominado “Capitán FAP Guillermo Concha Iberico”, la duración del viaje es de 90 min; para luego continuar vía terrestre desde el Terminal “Castilla” hacia el distrito de San Miguel de El Faique. Ver Cuadro N°14.

Cuadro N° 14: Costo de Pasajes vía terrestre o aérea, según agencias

Vías	Agencias	Origen	Destino	Horas totales de Viaje	Costo Mínimo de Pasajes (Soles)
Terrestre	Civa	Lima / Piura	Piura / Lima	17 h	100
	Oltursa				140
	Cruz del Sur				120
	Transporte Virgen de la Asunción	Piura (terminal Castilla) / San Miguel de El Faique	San Miguel de El Faique / Piura (terminal Castilla)	3 h	15
Aérea	LAN	Lima / Piura	Piura / Lima	1.5 h	360*

*ida y vuelta.

Fuente: Pagina web de Agencias



4.3. DIAGNOSTICO FÍSICO DE LA SUBCUENCA PUSMALCA

4.3.1. Parámetros Geomorfológicos

La subcuenca Pusmalca presenta acciones recíprocas entre los factores de tipo y uso del suelo, geomorfología, climatología y cobertura vegetal, los cuales permiten definir una influencia directa sobre la respuesta hidrológica, es decir, su comportamiento del régimen hídrico y sus características geomorfológicas obtenidas mediante el análisis de la Carta Nacional 1:100 000, hoja 11-d.

❖ Área de la subcuenca (km²)

Comprende toda la superficie de drenaje de la red hídrica. Su tamaño influye de manera directa en el aporte de escorrentía, tanto directa como de flujo base o flujo sostenido.

$$A = 190.17 \text{ km}^2$$

❖ Perímetro de la subcuenca (km)

Se refiere a la longitud del borde exterior de la subcuenca, la cual depende del área y forma de ésta. El perímetro influye sobre el tiempo de concentración, que será menor cuando la cuenca tenga la forma circular.

$$P = 76.42 \text{ km}$$

4.3.2. Parámetros de relieve de la cuenca

❖ Coeficiente de compacidad o índice de Gravellius.

Este índice compara la forma de la cuenca con la de una circunferencia. El grado de aproximación de éste a la unidad indicará la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de aguas de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más cercano sea a la unidad, lo cual quiere decir que entre más bajo sea K_c , mayor será la concentración de agua. La clasificación del índice de compacidad se aprecia en el Cuadro N°15. Usando la Ecuación N°23 se tiene un valor de 1.55, que nos indica que la subcuenca tiene una forma oval oblonga a rectangular oblonga (forma de pera).

Ecuación N° 23: Fórmula del coeficiente de compacidad o índice de Gravellius

$$K_c = \frac{0,28 \times P}{\sqrt{A}}$$

A: Área de la subcuenca

P: Perímetro de la subcuenca

Cuadro N° 15: Formas de la cuenca según el coeficiente de compacidad

Clase de forma	Índice de compacidad (Kc)	Forma de la cuenca
Clase I	1.0 a 1.25	Casi redonda a oval redonda
Clase II	1.26 a 1.50	Oval redonda a oval oblonga
Clase III	1.51 a 1.75	Oval oblonga a rectangular oblonga

Fuente: Adaptado de Ortiz Vera, (2004)

❖ Factor de forma

Es un índice representativo que expresa la relación, entre el ancho promedio de la cuenca y la longitud del curso de agua más largo. Se relaciona con la tendencia de la cuenca a las crecidas, rápidas y muy intensas a lentas y sostenidas, es decir la forma redondeada o alargada de la cuenca. Su valor de 0.15 nos indica que tiene una forma muy alargada y que está sujeta a crecientes lentas y prolongadas. Ver Ecuación N°24.

Ecuación N° 24: Fórmula de factor de forma

$$F_f = \frac{A}{L^2} = 0.15$$

A: Área de la subcuenca (km²)

L: longitud del cauce más largo (km)

❖ Rectángulo equivalente

Es la representación gráfica de la subcuenca, la cual considera a la unidad hidrográfica como un rectángulo. Las curvas de nivel se convierten en lados paralelos al lado menor de este. La Tabla N°10, muestra la división del lado mayor según su área correspondiente. Ver Ecuaciones N°25 y N°26.

Ecuación N° 25: Fórmula del lado mayor

$$L_M = \frac{P}{4} + \sqrt{\left(\frac{P}{4}\right)^2 - A}$$

L_M: Lado mayor (km)

L_m: Lado menor (km)

P: Perímetro de la subcuenca (km)

A: Área de la subcuenca (km²)

Ecuación N° 26: Fórmula del lado menor

$$L_m = \frac{P}{2} - L_M$$

Tabla N° 10: Rectángulo Equivalente

#	Rangos de altitud		Área			Lado
			Fracción	%	Acumulada %	
1	150	200	0.00	0.5	0.0	0.2
2	200	400	0.15	14.8	15.2	4.8
3	400	600	0.09	8.8	24.1	2.9
4	600	800	0.08	8.3	32.3	2.7
5	800	1000	0.09	9.4	41.8	3.1
6	1000	1200	0.10	9.6	51.4	3.1
7	1200	1400	0.09	8.7	60.1	2.8
8	1400	1600	0.07	7.4	67.5	2.4
9	1600	1800	0.06	6.4	73.9	2.1
10	1800	2000	0.05	4.7	78.6	1.5
11	2000	2200	0.04	4.2	82.8	1.4
12	2200	2400	0.04	3.8	86.6	1.2
13	2400	2600	0.03	3.0	89.6	0.9
14	2600	2800	0.03	2.6	92.2	0.9
15	2800	3000	0.03	2.5	94.8	0.8
16	3000	3200	0.03	2.7	97.4	0.9
17	3200	3400	0.02	1.9	99.4	0.6
18	3400	3600	0.01	0.6	100.0	0.2
Total				100.0		32.3

Fuente: Elaboración Propia

$$L_M = 32.3 \text{ km y } L_m = 5.8 \text{ km}$$

❖ Pendiente media de la cuenca

Este parámetro explica el proceso de degradación a la que se encuentra sometida la subcuenca y a la vez el comportamiento del caudal máximo. Tiene una relación con la infiltración, velocidad de escurrimiento superficial, la humedad del suelo y la contribución del agua subterránea a la escorrentía. También controla el tiempo de concentración, razón por la cual, tiene influencia directa en la magnitud de avenidas o crecidas. Haciendo uso de la Ecuación N° 27 se determina un valor de 58.65%, por lo tanto, presenta un relieve escarpado.

Ecuación N° 27: Fórmula de la Pendiente media

$$S = 100 \times \frac{D}{L_m}$$

D: Desnivel de la subcuenca ($H_M - H_m$) (km)

L_m : Lado menor (km)

❖ Pendiente media del cauce principal

Representa directamente la magnitud del socavamiento o erosión en profundidad y como resultado la capacidad de transporte de sedimentos en suspensión y arrastre. En general, la pendiente del cauce principal es mucho menor que la pendiente de la cuenca. Su valor es de 9.93%, por lo tanto, el río presenta una pendiente moderada. Ver Ecuación N°28.

Ecuación N° 28: Fórmula de la pendiente media del cauce principal

$$L_c = \frac{D}{1000 \times L}$$

D: Desnivel de la subcuenca ($H_M - H_m$) (km)

L: Longitud del cauce principal (km)

A: Área de la subcuenca (km^2)

❖ Índice de pendiente

El índice de pendiente, es una ponderación que se establece entre las pendientes y el tramo recorrido por el río. Se relaciona de manera directa con el escurrimiento superficial y el sistema de drenaje de la cuenca. Se obtiene utilizando el rectángulo equivalente; con la Ecuación N°29 se tiene un valor de 4.27%, que nos indica que tiene un escurrimiento lento. Ver Tabla N° 11.

Ecuación N° 29: Fórmula del índice de pendiente

$$I_p = \sum_{i=2}^n \sqrt{\beta_i \times (a_i - a_{i-1})} \times \frac{1}{\sqrt{L}}$$

I_p : Índice de pendiente.

n: número de curvas de nivel existente en el rectángulo, incluido los extremos.

β_i : Fracción de la superficie total de la cuenca comprendida entre curvas de nivel

L: Longitud del lado mayor del rectángulo equivalente (km)

$a_1, a_2, \dots, a_n$ cotas de las n curvas del nivel considerado

Tabla N° 11: Cálculo del índice de pendiente

N°	Área (km²) (2)	Curvas de nivel (3)	2*3	Raíz (2*3)
1	0.9	0.05	0.04	0.2
2	28.1	0.20	5.6	2.4
3	16.8	0.20	3.4	1.8
4	15.8	0.20	3.2	1.8
5	17.9	0.20	3.6	1.9
6	18.4	0.20	3.7	1.9
7	16.5	0.20	3.3	1.8
8	14.1	0.20	2.8	1.7
9	12.2	0.20	2.4	1.6
10	8.8	0.20	1.8	1.3
11	8.1	0.20	1.6	1.3
12	7.2	0.20	1.4	1.2
13	5.7	0.20	1.1	1.1
14	4.9	0.20	1.0	1.0
15	4.8	0.20	0.9	0.9
16	5.1	0.20	1.0	1.0
17	3.7	0.20	0.7	0.9
18	1.2	0.20	0.2	0.5
Total	190.2			24.3

Fuente: Elaboración propia

❖ Altitud media de la cuenca

Su valor permite interpretar fenómenos climáticos que ocurren en la unidad hidrográfica, es importante para los análisis de estudios hídricos, principalmente con la magnitud de la precipitación. El resultado se muestra en la Tabla N° 12 y el resultado se determinó usando la Ecuación N° 30, dando como resultado una altitud media de 1323 msnm para la subcuenca Pusmalca.

Ecuación N° 30: Fórmula de la altitud media

$$H \text{ media} = \frac{\sum \text{Área} \times \text{altitud media}}{\text{Área total}}$$

Tabla N° 12: Cálculo de la altitud media

N°	Área parcial (Km ²)	Rangos de altitud		Altitud media (hm)	Sumatoria (hm*am)
1	0.9	150	200	175	150.5
2	28.1	200	400	300	8427
3	16.8	400	600	500	8390
4	15.8	600	800	700	11039
5	17.9	800	1000	900	16164
6	18.4	1000	1200	1100	20185
7	16.5	1200	1400	1300	21463
8	14.1	1400	1600	1500	21165
9	12.2	1600	1800	1700	20757
10	8.8	1800	2000	1900	16796
11	8.1	2000	2200	2100	16905
12	7.2	2200	2400	2300	16537
13	5.7	2400	2600	2500	14250
14	4.9	2600	2800	2700	13446
15	4.8	2800	3000	2900	13891
16	5.1	3000	3200	3100	15810
17	3.7	3200	3400	3300	12210
18	1.2	3400	3600	3500	4130
Total	190.2				251715.5

Fuente: Elaboración propia

4.3.3. Parámetros de red de drenaje

❖ Orden de las corrientes o grado de ramificación

El orden de las corrientes, es una clasificación que indica el grado de bifurcación dentro de la cuenca y por ende su sistema de drenaje; utiliza el criterio de Horton (1945), para establecer el orden de las corrientes y su longitud de cada uno. En la Tabla N° 13 se muestra dichos valores.

Tabla N° 13: Longitud de ríos por orden

Orden	N° total de ríos	Longitud Total de Ríos (km)	Longitud promedio de los ríos (km)
1	233.00	122.84	0.53
2	99.00	70.03	0.71
3	26.00	47.33	1.82
4	17.00	36.28	2.13
Total	375.00	276.48	5.19

Fuente: Elaboración propia

❖ Densidad de drenaje (D_d)

La densidad de drenaje, indica la posible naturaleza de los suelos, que se encuentran en la cuenca. También da una idea sobre el grado de cobertura que existe en la cuenca. Valores altos, representan zonas con poca cobertura vegetal, suelos fácilmente erosionables o impermeables; y se expresa como la longitud de las corrientes, por unidad de área. Aplicando la Ecuación N° 31, se tiene un valor de 1.45 km^{-1} que señala una densidad de drenaje moderada, suelos moderadamente erosionables, semi impermeables (textura franca) y respuesta hidrológica media ante un evento de tormenta.

Ecuación N° 31: Fórmula de la densidad de drenaje

$$D_d = \frac{L}{A}$$

D_d : Densidad de drenaje km^{-1}
 L : Longitud total de las corrientes (km)
 A : Área de la subcuenca (km^2)

❖ Frecuencia de ríos (F_r)

Proporciona la distribución de ríos según área, se relaciona con el escurrimiento superficial de manera directa. La Ecuación N° 32 permite su determinación, en este sentido, la subcuenca presenta una frecuencia de ríos de 1.9 ríos/km^2 .

Ecuación N° 32: Fórmula de frecuencia de ríos

$$f_r = \frac{\text{Número total de ríos}}{\text{Área (km}^2\text{)}}$$

❖ Extensión media de escurrimiento superficial (E_s)

Se considera como la distancia promedio que debe recorrer la lámina de agua hacia el cauce más cercano. Con el uso de la Ecuación N° 33 se determinó un valor de 0.172 km

Ecuación N° 33: Extensión media de escurrimiento superficial

$$E_s = \frac{A}{4L_i}$$

E_s : Extensión media de escurrimiento superficial (km)
 L_i : Longitud total de las corrientes (km)
 A : Área de la subcuenca (km^2)

❖ Coeficiente de torrencialidad (Ct)

Este parámetro permite entender el grado de torrencialidad a la cual está sujeta la cuenca, tiene en cuenta el número de cauces de primer orden y el área. Para la subcuenca Pusmalca se tiene un valor de 1.23 ríos/km². Ver Ecuación N°34.

Ecuación N° 34: Fórmula del coeficiente de torrencialidad

$$C_t = \frac{N_1}{A}$$

C_t: Coeficiente de torrencialidad (ríos/km²)

N₁: Número de ríos de primer orden

A: Área de la subcuenca (km²)

❖ Coeficiente de Masividad (Cm)

Este coeficiente representa la relación de la elevación media de la cuenca y su área. Su valor es de 6.96 m/km, usando la ecuación 33, que indica que la subcuenca Pusmalca, es muy montañosa, por consiguiente, presenta mayor energía y precipitación. Ver Ecuación N° 35.

Ecuación N° 35: Fórmula del coeficiente de masividad

$$C_m = \frac{H}{A}$$

C_m: Coeficiente de masividad (m/km²)

H_m: Altitud media de la subcuenca (m)

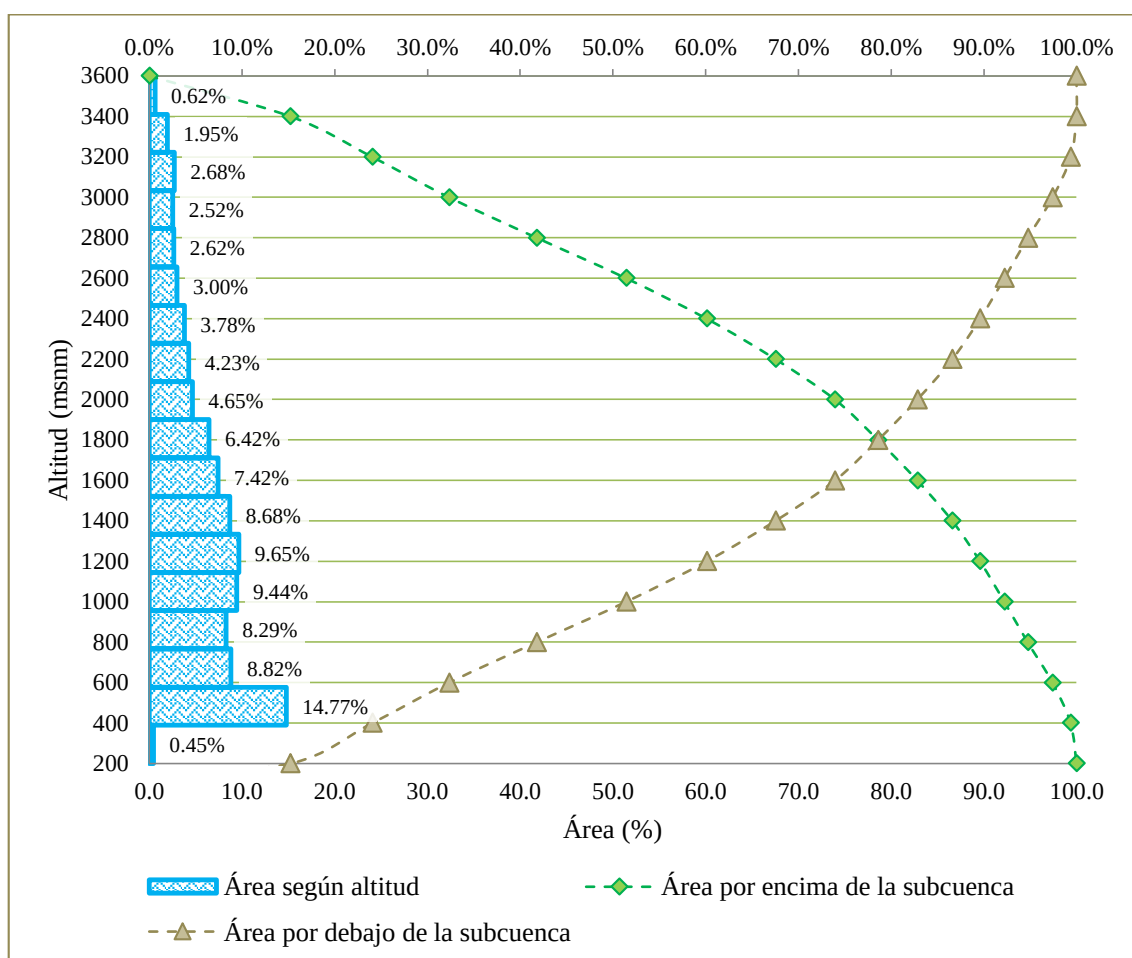
A: Área de la subcuenca (km²)

❖ Curva hipsométrica

Representa de manera gráfica la proporción de la altitud y las áreas parciales por encima o por debajo de cada altitud considerada. La subcuenca del río Pusmalca presenta una fase de juventud con un gran potencial erosivo.

Así mismo, entre las secciones de 2800 a 3200 el relieve se presenta de forma ligeramente cóncava, a su vez desde los 2400 metros se define mejor la forma convexa de la cuenca; que es un indicio del gran potencial erosivo en el sector medio del área de estudio. Ver Gráfico N° 1.

Gráfico N° 1: Curva hipsométrica de la subcuenca Pusmalca



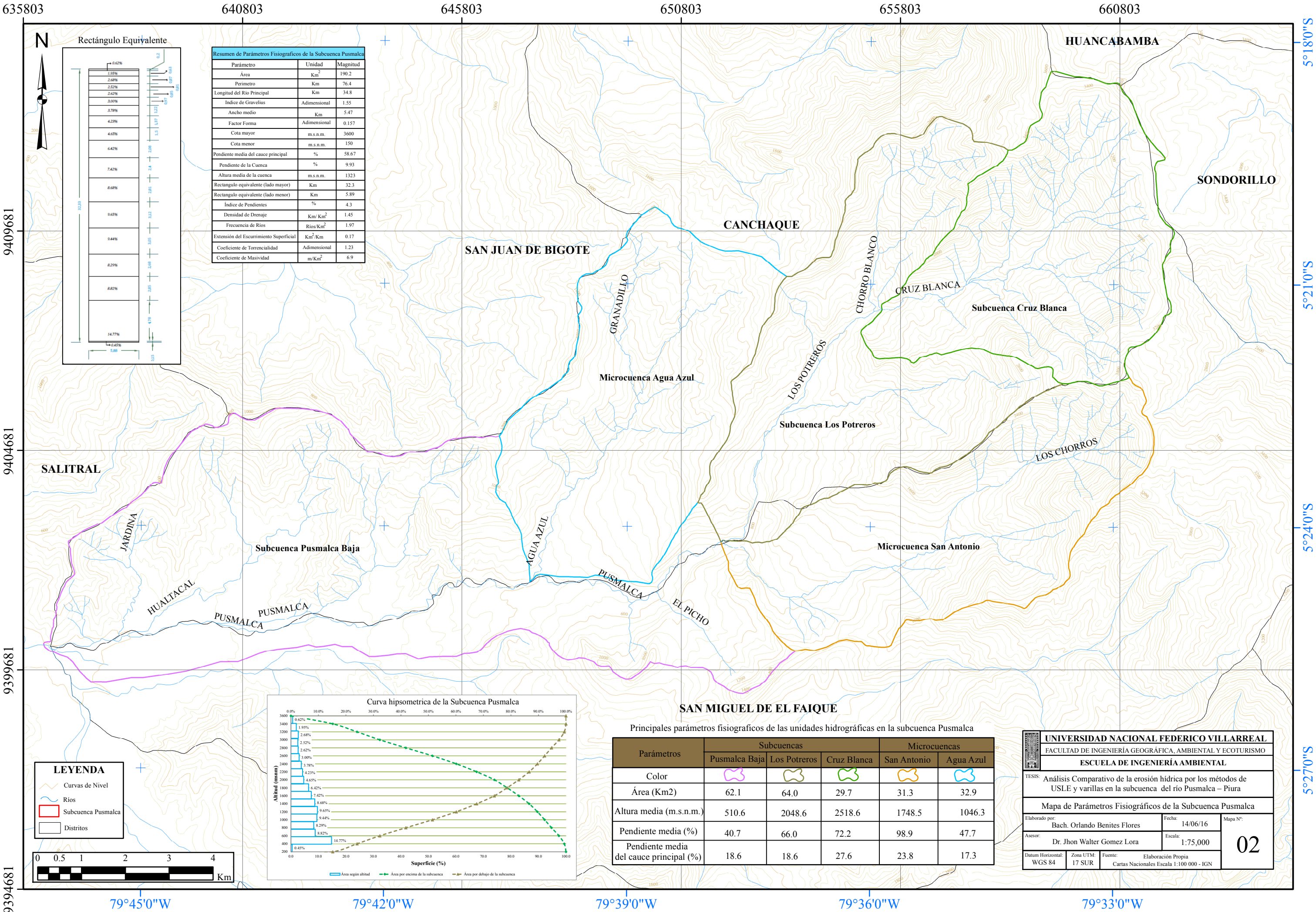
Fuente: Elaboración Propia

Además, se dividió la subcuenca en cinco principales unidades hidrográficas, el resumen de sus parámetros fisiográfico se muestra en el Cuadro N° 16, las cuales se usarán para un posterior análisis. **Ver Mapa N°02**

Cuadro N° 16: Resumen de los principales parámetros fisiográficos según unidad hidrográfica

Parámetros	Unidad	Subcuencas			Microcuencas	
		Pusmalca Baja	Los Potrerros	Cruz Blanca	San Antonio	Agua Azul
Área	Km2	62.1	64.0	29.7	31.3	32.9
Altura media	m.s.n.m.	510.6	2049	2519	1749	1046
Pendiente media	%	40.7	66.0	72.2	98.9	47.7
Pendiente media del cauce principal	%	6.7	18.6	27.6	23.8	17.3
Longitud de río principal		18.6	16.2	8.7	12.6	10.4

Fuente: Elaboración Propia



4.3.4. Climatología

Con respecto a la climatología, la zona de estudio no tiene estaciones cercanas que registren información climatológica que permitan catalogar las unidades climáticas, sólo la estación Canchaque registra los valores de precipitación; razón por la cual, se usaron estaciones dentro del mismo ámbito geográfico en la determinación de las ecuaciones regionales de temperatura, precipitación, humedad relativa y evaporación; estos dos últimos parámetros fueron obtenidos de INRENA (1995), debido a la escasa información disponible. Ver Cuadro N°17

Cuadro N° 17: Ubicación de estaciones meteorológicas

Tipo	Estación	Latitud	Longitud	Altitud	Registro	Estado
Climatológica	Chulucanas	05°06' S	80° 10' W	95	1972 - 1990	Funcionando
Climatológica	Morropón	05°11' S	79° 58' W	165	1952 - 1991	Funcionando
Meteorológica	Malacasi	05°19' S	79° 53' W	240	2004 - 2014	Funcionando
Pluviométrica	Canchaque	05°22' S	79° 36' W	1520	1963 - 1994	Inoperativa
Climatológica	Huarmaca	05°33' S	79° 31' W	2397	1963 – 2013	Funcionando

Fuente: SENAMHI - INRENA, (1995)

a. Determinación de la ecuación regional de temperatura

Para su determinación se tiene en cuenta que, a un radio de influencia de 30 km, se encuentran las estaciones de Huarmaca (22.6 km) y Malacasi (28.3 km), cuya temperatura media anual es de 15.3 °C y 25.3 °C. A partir de las cuales, se determinó la ecuación regional que permita determinar los valores de temperatura según altitud. Ver Cuadro N° 18

Cuadro N° 18: Temperatura media mensual de las estaciones Huarmaca y Malacasi (Periodo 2004-2014)

Estación	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PROM
Huarmaca	14.2	14.4	14.9	15.3	15.5	16.0	16.2	16.4	16.3	15.3	15.1	14.5	15.3
Malacasi	27.3	27.2	27.0	26.6	25.3	24.1	23.3	23.4	24.0	24.0	25.0	26.2	25.3
Promedio	20.7	20.8	20.9	21.0	20.4	20.0	19.7	19.9	20.1	19.7	20.0	20.4	20.3

Fuente: SENAMHI

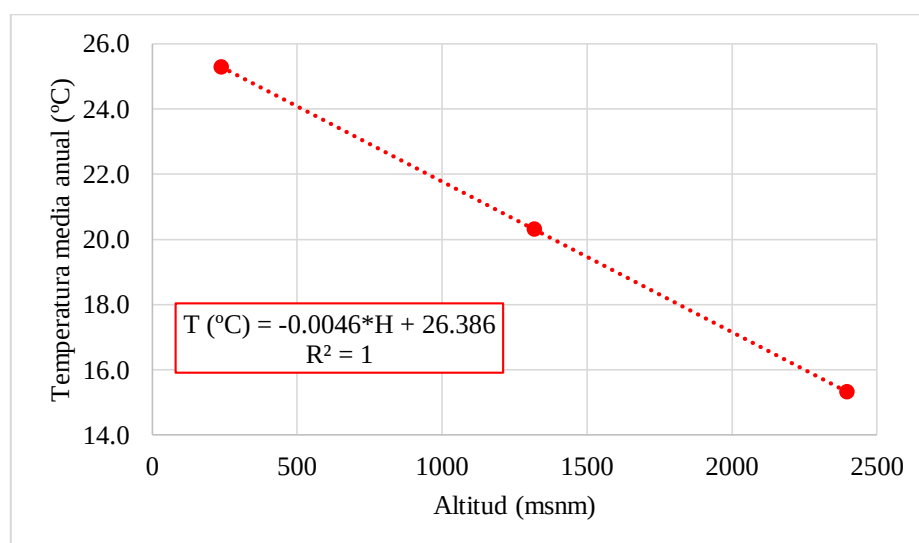
El promedio de alturas de las estaciones Huarmaca y Malacasi presenta una altitud similar con la altura media de la subcuenca, además de pertenecer a la misma región hidrográfica. En el Cuadro N° 19, se muestra un 0.02% y 0.34% de error para la temperatura y altitud respectivamente.

Cuadro N° 19: Valores de temperatura media anual y altitud de las estaciones Huarmaca y Malacasi

Variable	Malacasi	Huarmaca	Promedio (Malacasi y Huarmaca)	subcuenca Pusalca	Error
Altitud	240	2397	1319	1323	0.34%
T (°C)	25.3	15.3	20.3	20.3	0.02%

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 2: Temperatura media anual según altitud - Estaciones meteorológicas



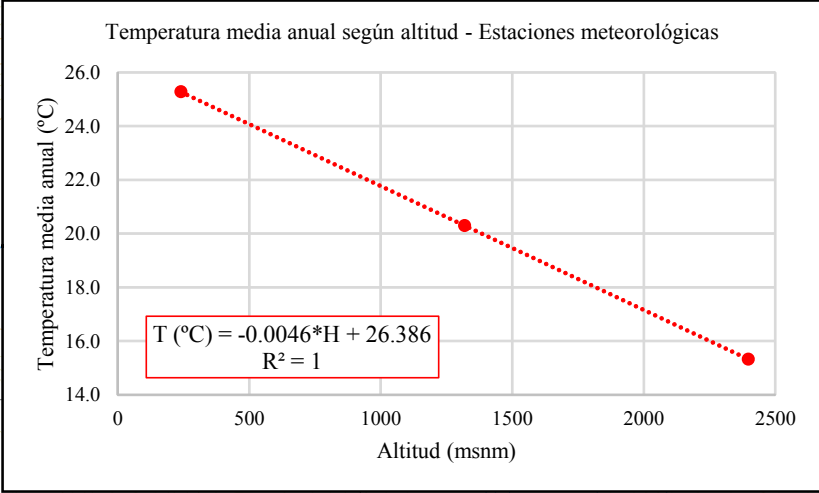
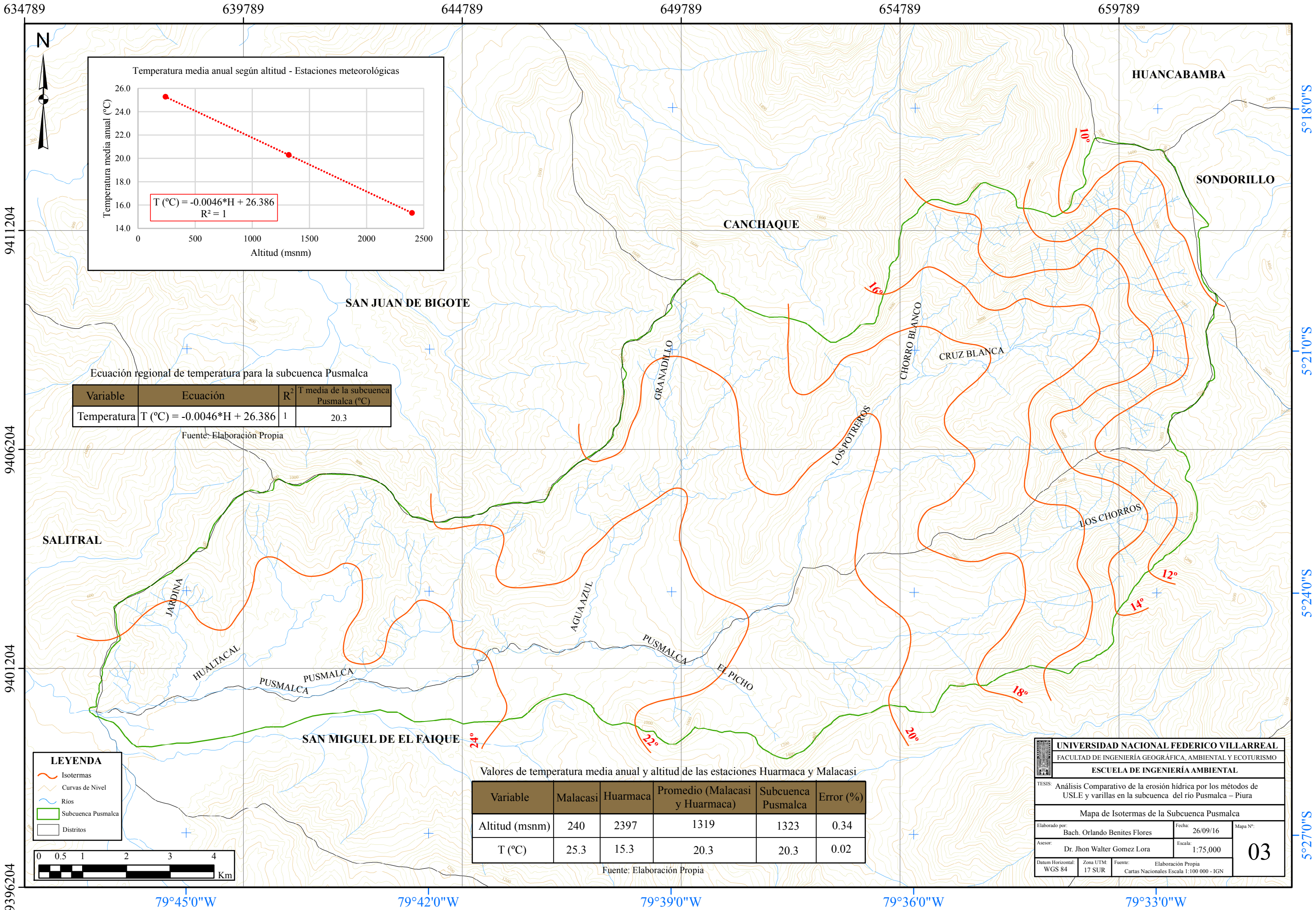
Fuente: Elaboración Propia

El Gráfico N° 2, el Cuadro N°20 y la Tabla N° 14 muestran la determinación de la ecuación regional de temperatura; con la cual se determinó la temperatura media según rango de altitud, para finalmente elaborar el mapa de isotermas. **Ver Mapa N° 03**

Cuadro N° 20: Ecuación regional de temperatura para la subcuenca Pusalca

Variable	Ecuación	R ²	T media de la subcuenca Pusalca(°C)
Temperatura	$T (^{\circ}\text{C}) = -0.0046 \cdot H + 26.386$	1	20.3

Fuente: Elaboración Propia



Ecuación regional de temperatura para la subcuenca Puzmalca

Variable	Ecuación	R ²	T media de la subcuenca Puzmalca (°C)
Temperatura	$T (^{\circ}\text{C}) = -0.0046 * H + 26.386$	1	20.3

Fuente: Elaboración Propia

Valores de temperatura media anual y altitud de las estaciones Huarmaca y Malacasi

Variable	Malacasi	Huarmaca	Promedio (Malacasi y Huarmaca)	Subcuenca Puzmalca	Error (%)
Altitud (msnm)	240	2397	1319	1323	0.34
T (°C)	25.3	15.3	20.3	20.3	0.02

Fuente: Elaboración Propia



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS: Análisis Comparativo de la erosión hídrica por los métodos de USLE y varillas en la subcuenca del río Puzmalca – Piura

Mapa de Isotermas de la Subcuenca Puzmalca

Elaborado por: Bach. Orlando Benites Flores	Fecha: 26/09/16	Mapa N°:
Asesor: Dr. Jhon Walter Gomez Lora	Escala: 1:75,000	03
Datum Horizontal: WGS 84	Zona UTM: 17 SUR	

Tabla N° 14: Temperaturas generadas según altitud

Rangos de altitud (msnm)		Altitud media (msnm)	Temperatura generada (°c) - Tg	Área Parcial -Ap	Ap * Tg
150	200	175	25.6	0.9	21.9
200	400	300	25	28.1	702.3
400	600	500	24.1	16.7	402.8
600	800	700	23.2	15.8	367.4
800	1000	900	22.2	17.8	394.9
1000	1200	1100	21.3	18.6	396.4
1200	1400	1300	20.4	16.4	334.7
1400	1600	1500	19.5	14.2	276.8
1600	1800	1700	18.6	12.2	226.8
1800	2000	1900	17.6	8.9	156.3
2000	2200	2100	16.7	8.1	134.5
2200	2400	2300	15.8	7.2	113.3
2400	2600	2500	14.9	5.7	84.4
2600	2800	2700	14	5.0	70.2
2800	3000	2900	13	4.8	62.3
3000	3200	3100	12.1	5.0	60.9
3200	3400	3300	11.2	3.6	40.4
3400	3600	3500	10.3	1.3	13.0
				190.2	3859.3
Temperatura media de la Subcuenca (°C)				20.3	

Fuente: Elaboración Propia

a. Determinación de la ecuación regional de precipitación

La subcuenca Pusmalca cuenta con estaciones pluviométricas cercanas, a partir de las cuales se procede a calcular su ecuación regional de precipitación definida según su altitud. Ver Tabla N° 15 y Gráfico N° 3.

Tabla N° 15: Precipitación media anual (periodo 1973 – 1992)

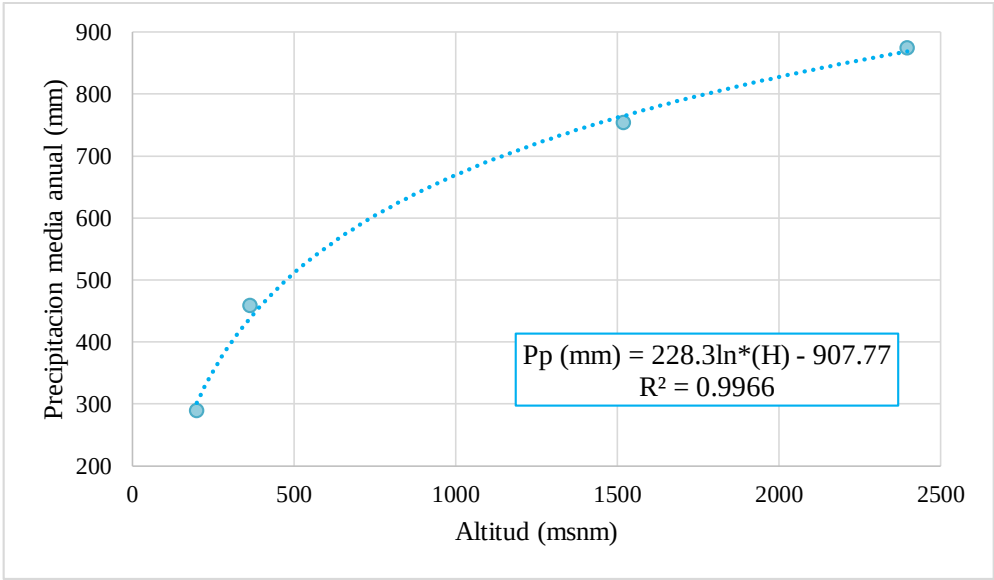
Estación	Altitud de la estación (msnm)	Año 1983 - Pp total anual	Pp con niño 1983	Pp sin niño 1983	Error* (%)
Hac. Bigote	200	1753	362	289	25
Barrios	364	2501	561	458	22
Canchaque	1520	2261	829	753	10
Huarmaca	2397	1969	928	874	6

Fuente: Elaboración propia

*: Respecto a precipitaciones con y sin Niño de 1983

Se debe agregar que, para este análisis no se consideró la ocurrencia del ENSO (1983), debido a que es un valor extremo, a fin de reducir las fluctuaciones generadas, y por el contrario se optó por el criterio conservador para la información de precipitación.

Gráfico N° 3: Precipitación media anual según altitud – Estaciones meteorológicas



Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 21: Ecuación regional de precipitación para la subcuenca Pusmalca

Variable	Ecuación	R²	Precipitación media de la subcuenca (mm)
Precipitación	$Pp\text{ (mm)} = 228.3 \cdot \ln(H) - 907.77$	0.9966	733

Fuente: Elaboración Propia

En el Cuadro N° 21, se observa la ecuación regional de precipitación; con la cual se determinó la precipitación media según rango de altitud, esta presenta una variación de 7.8 % respecto a la obtenida por la ecuación regional, es por ello que se tomó como valor representativo de la subcuenca los 733 mm. (Ver Tabla N° 16). Finalmente se elaboró el mapa de isoyetas. **Ver Mapa N° 04**

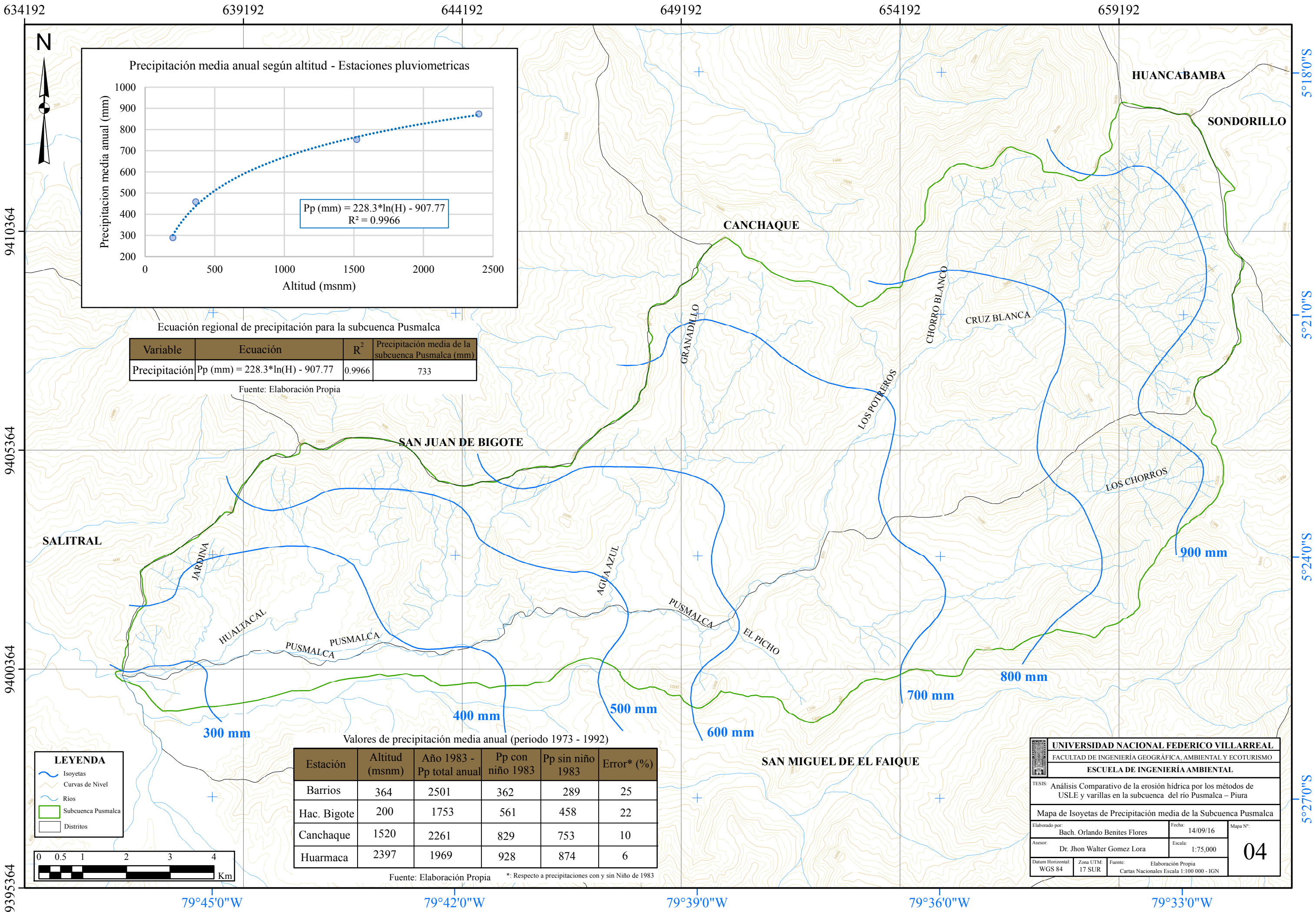


Tabla N° 16: Precipitaciones generadas según altitud

Rangos de altitud (msnm)		Altitud media (msnm)	Precipitación generada (mm)	Área Parcial -Ap	Ap * Tg
150	200	175	271	0.9	244
200	400	300	394	28.1	11083
400	600	500	511	16.7	8534
600	800	700	588	15.8	9288
800	1000	900	645	17.8	11485
1000	1200	1100	691	18.6	12853
1200	1400	1300	729	16.4	11958
1400	1600	1500	762	14.2	10818
1600	1800	1700	790	12.2	9643
1800	2000	1900	816	8.9	7261
2000	2200	2100	839	8.1	6793
2200	2400	2300	859	7.2	6188
2400	2600	2500	878	5.7	5007
2600	2800	2700	896	5.0	4480
2800	3000	2900	912	4.8	4379
3000	3200	3100	928	5.0	4638
3200	3400	3300	942	3.6	3391
3400	3600	12423500	955	1.3	
				190.2	129285
Precipitación media de la subcuenca (mm)				680	

Fuente: Elaboración propia

b. Determinación de la ecuación regional de humedad relativa

Para su cálculo, se usó el registro de humedad relativa media anual de las estaciones cercanas que se presentan en el Cuadro N° 22, de las cuales se optó por usar el promedio de Chulucanas y Morropón debido a su mínima variación entre el registro de ambas (error de 2.8%), para la parte baja, y la estación Huarmaca para la parte alta.

La subcuenca Pusmalca tiene una altitud media de 1323 msnm, dando un error de 4.7% respecto al valor promedio de H₃, de igual manera la Humedad relativa generada con la ecuación en el Cuadro N° 23, tiene una alta similitud (0.6%) respecto al promedio de H₃.

Para mayor detalle ver Cuadro N°24, y Gráfico N° 4.

Cuadro N° 22: Valores de humedad relativa media anual y altitud

Variable	Chulucanas	Morropón	Promedio (Chulucanas y Morropón) – (H ₁)	Huarmaca (H ₂)	Promedio de H ₁ y H ₂ (H ₃)	Subcuenca Pusmalca	Error (%)
Altitud	95	165	130	2397	1263.5	1323	4.7
H.R. (%)	71	69	70	87	78.5	78.9	0.6

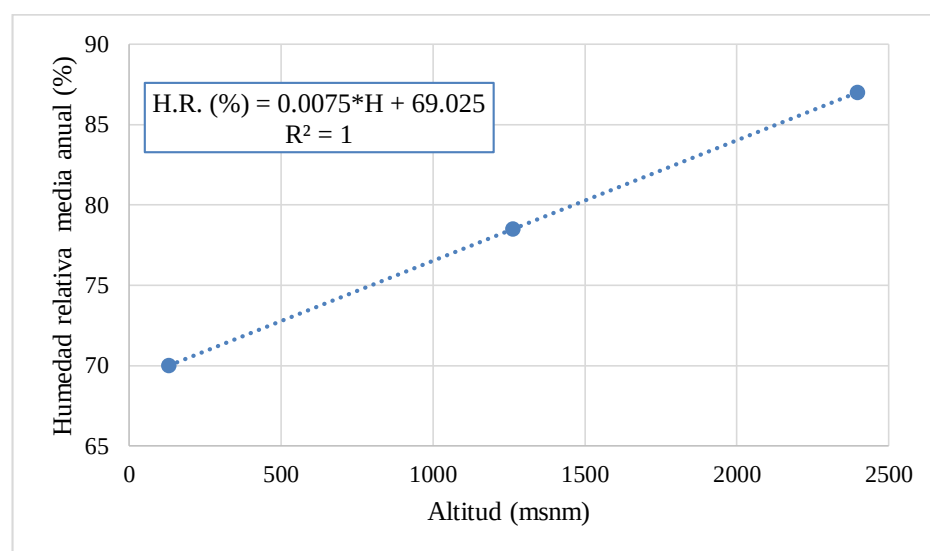
Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 23: Registro de información de humedad relativa media mensual de estaciones cercanas

Mes	Chulucanas (1972-77)	Morropón (1968-76)	Promedio de Chulucanas y Morropón	Huarmaca (1973-87)
Enero	68	67	67.5	95
Febrero	72	69	70.5	97
Marzo	76	71	73.5	96
Abril	72	71	71.5	96
Mayo	75	72	73.5	92
Junio	76	75	75.5	83
Julio	74	74	74	73
Agosto	70	70	70	76
Septiembre	67	68	67.5	80
Octubre	68	66	67	84
Noviembre	67	63	65	85
Diciembre	67	65	66	91
Promedio	71	69	70	87

Fuente: Adaptado de INRENA, (1995)

Gráfico N° 4: Humedad relativa media anual según altitud – Estaciones meteorológicas



Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 24: Ecuación regional de humedad relativa para la subcuenca Pusmalca

Variable	Ecuación	R ²	Humedad relativa media de la subcuenca (%)
Humedad relativa	H.R. (%) = 0.0075 * H + 69.025	1	79

Fuente: Elaboración Propia

a. Determinación de la ecuación regional de evaporación

De igual modo, se realizó el mismo análisis para la evaporación, teniendo en cuenta la altitud media de la cuenca y el error generado, el registro se muestra en el Cuadro N°25.

Cuadro N° 25: Registro de evaporación media mensual de estaciones cercanas

Mes	Chulucanas (1972-81)	Huarmaca (1974-87)
Enero	137.9	46.3*
Febrero	111.6	32.5*
Marzo	98.8	33.4*
Abril	99	29.5*
Mayo	102.1	59.4*
Junio	88.1	82.7
Julio	88.7	121.4
Agosto	100	122.3
Septiembre	107.6	89.3
Octubre	133.1	66.3
Noviembre	124.4	65.6
Diciembre	133.6	52.6*
Total	1324.9	801.3
Promedio	110.4	66.8

Fuente: Adaptado de INRENA, (1995) - (*) Valores corregidos

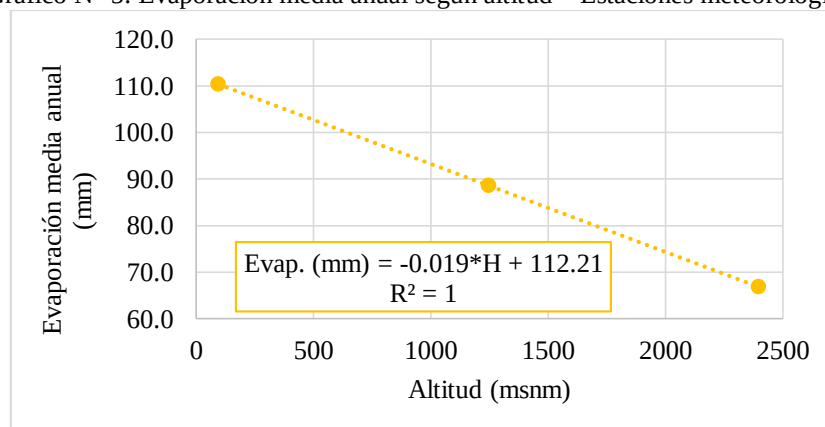
La subcuenca Pusalca tiene una altitud media de 1323 msnm, dando un error de 6.2% respecto al valor promedio de Chulucanas y Huarmaca, de igual modo la evaporación generada con la ecuación en el Cuadro N° 26, tiene un error de 1.8%, aceptable para este tipo de estudio, respecto al promedio de ambas estaciones. Ver Cuadro N° 27 y Gráfico N° 5.

Cuadro N° 26: Valores de humedad relativa media anual y altitud - Estaciones Chulucanas y Huarmaca

Variable	Chulucanas	Huarmaca	Promedio(Chulucanas y Huamaca)	Subcuenca Pusalca	Error
H	95	2397	1246	1323	6.2%
Evaporación	110.4	66.8	88.6	87.1	1.8%

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico N° 5: Evaporación media anual según altitud – Estaciones meteorológicas



Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 27: Ecuación regional de evaporación para la subcuenca Pusmalca

Variable	Ecuación	R ²	Evaporación media de la subcuenca (mm)
Evaporación	Evap (mm) = -0.019*H + 112.21	1	87.1

Fuente: Elaboración Propia

a. Factores adimensionales de temperatura y precipitación (fa).

A condición de que es necesaria la precipitación y temperatura media mensual para definir las unidades climáticas presentes en la subcuenca, se define el factor adimensional mensual de ambas variables. Ver Ecuación N° 36

Ecuación N° 36: Factor adimensional

$$F_a = \frac{\text{Valor}_{\text{mensual}}}{\text{Valor}_{\text{anual}}}; \text{ donde } \sum_{a=1}^{12} F_a = 1 \text{ y } F_a < 1$$

$$\text{Variable}_{\text{mes}} = F_a * 12 * T_{\text{promedio}}$$

Donde:

❖ F_a: Factor adimensional mensual

i. Cálculo del factor adimensional de temperatura (Fa)

Se considera a las estaciones cercanas de Huarmaca y Malacasi, debido a su cercanía y similar comportamiento, esto se fundamenta debido a que la subcuenca Pusmalca se ubica en el flanco occidental (cuenca del Pacífico) y la variación (0,34%) respecto a la altitud media de la subcuenca (1323) es cercana al promedio de ambas (1319).

Considerando la temperatura media de las estaciones Huarmaca y Malacasi, se procedió a calcular el F_a adimensional para cada mes del año. Ver Cuadro N° 28, Ecuación N° 37 y Ecuación N°38.

Cuadro N° 28: Calculo del Fa adimensional según mes del año

Mes	Temperatura promedio (Huarmaca y Malacasi) °C	K adimensional
Enero	20.70	0.085
Febrero	20.79	0.085
Marzo	20.93	0.086
Abril	20.95	0.086
Mayo	20.38	0.084
Junio	20.04	0.082
Julio	19.73	0.081
Agosto	19.90	0.082
Septiembre	20.13	0.083
Octubre	19.67	0.081
Noviembre	20.02	0.082
Diciembre	20.36	0.084
Suma	243.6	1.000
Promedio	20.3	

Fuente: Elaboración propia

Ecuación N° 37: Determinación del Fa de temperatura para el mes de enero

$$F_{a-Enero} = \frac{20.70}{243.6} = 0.085$$

Ecuación N° 38: Temperatura media para el mes de enero para la subcuenca

$$T_{Enero} = 20.3 * 12 * 0.085 = 20.7 \text{ °C}$$

ii. Calculo del factor adimensional de precipitación (Fa)

Teniendo en cuenta que la estación Canchaque es representativa de la subcuenca, se procede a calcular el Fa adimensional para la variable precipitación. Ver Tabla N° 17 y Ecuaciones N° 39 y N°40.

Cuadro N° 29: Precipitación media mensual de la estación Canchaque y su respectivo Fa mensual.

Mes	Precipitación media mensual	F _a
Enero	118.9	0.142
Febrero	200.5	0.239
Marzo	262.8	0.313
Abril	127.7	0.152
Mayo	34.2	0.041
Junio	8.6	0.010
Julio	2.8	0.003
Agosto	2.8	0.003
Septiembre	4.0	0.005
Octubre	12.8	0.015
Noviembre	13.0	0.016
Diciembre	51.0	0.061
Suma	839.1	1.00

Fuente: Elaboración propia

Ecuación N° 39: Determinación del Fa de Precipitación para el mes de enero

$$F_{a-Enero} = \frac{118.9}{839.1} = 0.1417$$

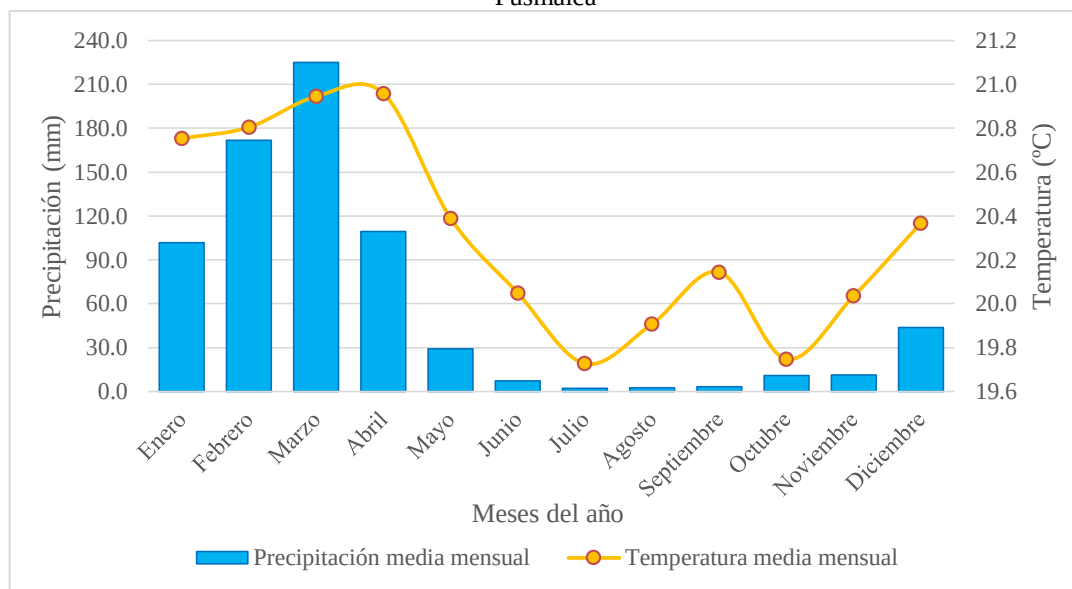
Ecuación N° 40: Precipitación media para el mes de enero para la subcuenca

$$P_{Enero} = 69.9 * 12 * 0.1417 = 118.9 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

En el Gráfico N° 6, se puede observar una ligera tendencia positiva en la temperatura, iniciando en el mes de agosto y alcanzando su pico en setiembre, lo que indicaría la presencia de un microclima.

En el registro de temperatura media mensual (**Ver Anexo N° 01**) se aprecia el incremento para la estación Huarmaca 2007, 2012 y 2013, con la salvedad que para estos periodos no se evidencia la presencia del ENSO, por otra parte, en el 2008 y 2009 que, para el mes de agosto y setiembre, si dan indicio de la presencia de un ENSO de categoría cálido débil.

Gráfico N° 6: Precipitación y temperatura media mensual vs tiempo (meses) generada para la subcuenca Pusalca



Fuente: Elaboración propia

Con los valores obtenidos del Fa, se procede a determinar los valores medios mensuales de precipitación y temperatura en cada rango de altitud para finalmente realizar la clasificación climática, usando como base el sistema de clasificación propuesto por ONERN (1977). En dicho informe se agregan las modificaciones hechas por el Ing.

Alfonso Contreras de México en su obra “Clasificación de climas” a la ya existente clasificación del Dr. Warren Thornthwaite, cuyo fundamento teórico está referido al grado de eficiencia de la humedad y de la temperatura ambiental para el desarrollo de las plantas.

El grado de eficiencia de ambos elementos se determina mediante dos ecuaciones para humedad y temperatura; la expresión de dicho grado de eficiencia se hace mediante tablas que comprenden series de valores agrupados en diferentes niveles y/o jerarquías.

Ver Ecuación N°41 y Ecuación N°42.

Ecuación N° 41: Grado de eficiencia de humedad

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \quad ; \quad i = 1.64 * \left(\frac{P}{T + 12.2} \right)^{10/9}$$

Ecuación N° 42: Grado de eficiencia de temperatura

$$I' = \sum_{i'=1}^{12} i' \quad ; \quad i' = \frac{9 * T}{20}$$

Donde:

- ❖ I: índice anual de jerarquía de humedad
- ❖ I': índice anual de jerarquía de temperatura
- ❖ i: índice mensual de jerarquía de humedad
- ❖ i': índice mensual de jerarquía de temperatura
- ❖ P: precipitación promedio mensual
- ❖ T: temperatura promedio mensual

Los Cuadros N°30 y N°32 sistematizan las jerarquías de humedad y temperatura, usando los índices anuales; y de igual modo el Cuadro N°31 identifican la distribución de lluvias.

Cuadro N° 30: Jerarquías de Humedad

Valores del índice I	Símbolo	Carácter del Clima	Carácter de vegetación
128 o mayor	A	Muy húmedo	Selva
64 a 127	B	Húmedo	Bosque
32 a 63	C	Sub Húmedo	Pastizal
16 a 31	D	Seco	Estepa
Menor de 16	E	Muy Seco	Desierto

Fuente: Adaptado de ONERN, (1977)

Cuadro N° 31: Tipo de distribución de la humedad a través del año

Símbolo	Significado
r	Sin estación seca bien definida
i	Deficiente de lluvias en el invierno
p	Deficiente de lluvias en la primavera
b	Deficiente de lluvias en el verano
o	Deficiente de lluvias en el otoño
d	Deficiente de lluvias en todas las estaciones

Fuente: Adaptado de ONERN, (1977)

Cuadro N° 32: Jerarquías de temperatura

Valores del índice I'	Símbolo	Carácter del Clima	Zonas
128 o mayor	A'	Cálido	Tropical
101 a 127	B 1'	Semi-cálido	
80 a 100	B 2'	Templado	Mesotermal
64 a 79	B 3'	Semi-frío	
32 a 63	C'	Frio	Microtermal
16 a 31	D'	Semi- frígido	
1 a 15	E'	Frígido	
0	F'	Polar o gélido	Hielo Perpetuo

Fuente: Adaptado de ONERN, (1977)

Además, en el Cuadro N°33 y Ecuación N° 43, se adiciona una clasificación de distribución de la temperatura, similar a la concentración estival de la eficiencia térmica, usado en el método de Thornthwaite.

Ecuación N° 43: Distribución de la temperatura a través del año

$$\left[\frac{\sum_{i=1}^3 i'(\text{meses de enero, febrero y marzo})}{I'} \right] \times 100$$

Cuadro N° 33: Tipos de distribución de la temperatura a través del año

Símbolo	Porcentaje (%)	Carácter del Clima
a'	De 25 a 29	Sin cambio térmico invernal bien definido
b'	De 30 a 34	Con invierno benigno
c'	De 35 a 49	Con invierno extremoso
d'	De 50 a 69	Con invierno muy extremoso
e'	De 70 a 100	Con invierno extremadísimo

Fuente: Adaptado de ONERN, (1977)

Así mismo, es necesario el uso de humedad relativa, debido a sus diferentes usos, para complementar la clasificación climática. Ver Cuadro N°34.

Cuadro N° 34: Clasificación de la humedad relativa

Valores medios anuales (H)	Característica climática	Símbolo
25% – 44%	Muy Seco	H1
45% - 64%	Seco	H2
65% - 84%	Húmedo	H3
85% - 100%	Muy Húmedo	H4

Fuente: Adaptado de ONERN, (1977)

En base a la información generada, se han identifican cuatro (4) tipos de climas para la subcuenca Pusmalca. **Ver Anexo N°02**

❖ **Semiárido – Cálido - D (d) A' H3**

El clima semiárido - cálido, con tendencia a ser árido; presenta deficiencia de precipitaciones en todas las estaciones del año y carácter de vegetación de tipo estepa, con una temperatura media de 25,0 °C, precipitación media anual de 386 mm, incluyendo una humedad relativa calificada como húmeda de 71,2% y una evaporación promedio anual de 106.6 mm. Comprende la zona baja de la subcuenca (150 – 400 msnm), con un área de 28900 Ha. (localidades de Hualtacal, Piedra Azul).

Este tipo de clima ofrece las condiciones para la agricultura, bajo un riego permanente debido a la concentración estival de las lluvias.

❖ **Semiárido - Semi cálido – D (o, i, p) B'1 H3**

Este tipo de clima semiárido - semicálido, con tendencia a ser semiseco; presenta una deficiencia de precipitaciones en otoño, invierno y primavera, y con carácter de vegetación de tipo estepa, con una temperatura media de 22,7 °C, precipitación media anual de 610 mm, incluyendo una humedad relativa, calificada como húmeda, con un valor de 75,1% y una evaporación promedio anual de 96.8 mm. Comprende la zona media inferior de la subcuenca (400 – 1200 msnm), con un área de 68900 Ha. (localidades de Loma larga alta, Villa Flor y Álamos).

Este tipo de clima ofrece las condiciones para la agricultura bajo riego.

❖ **Subhúmedo - Semicálido – C (o, i, p) B'1 H3**

El clima subhúmedo – semicálido, con tendencia a ser templado, se caracteriza por presentar deficiencia de precipitaciones en otoño, invierno y primavera, y con carácter de vegetación de tipo pastizal; tiene una temperatura promedio mensual de 19,3 °C y una precipitación promedio anual de 755 mm, además una humedad relativa de 80,7%, calificada como húmeda, y una evaporación promedio anual de 82,7 mm. Comprende la zona media superior de la subcuenca (1200 – 2000 msnm), con un área de 51800 Ha. (localidades de Pampa Minas, Los Potreros).

Este tipo de clima ofrece las condiciones para la agricultura bajo riego y con ciertas restricciones para el desarrollo de agricultura de secano debido a la variación anual de precipitación.

❖ **Húmedo – Semifrío – B (i, p) B'3 H4**

El clima húmedo – semifrío, con tendencia a ser semiseco y templado, se caracteriza por presentar deficiencia de precipitaciones durante el invierno y primavera, con carácter de vegetación de tipo bosque; tiene una temperatura promedio mensual de 14,4 °C y una precipitación promedio anual de 872 mm, humedad relativa de 88,8% calificada como muy húmeda, y una evaporación promedio anual de 62.2 mm. Este tipo de clima cubre los sectores más altos de la subcuenca (2000 – 3600 msnm), con un área de 40600 Ha. (localidades de Las Minas y Chonta).

Este tipo de clima ofrece las condiciones para la agricultura de secano.

La clasificación climática de la subcuenca Pusmalca se aprecia en el Mapa Climático.

Ver Mapa N° 05

634739

639739

644739

649739

654739

659739

9410107

9405107

9400107

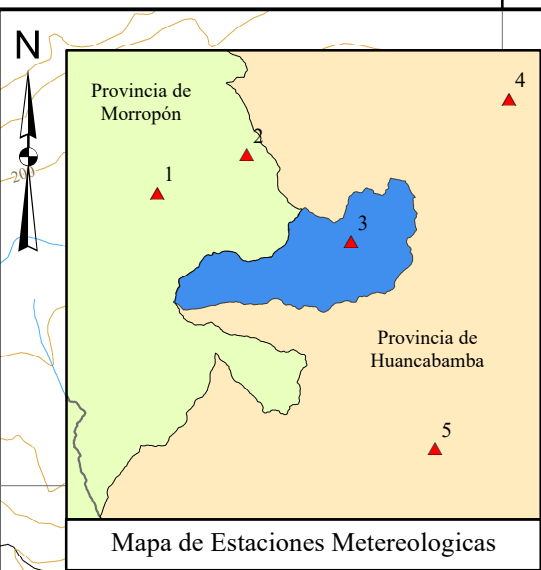
9395107

5°18'0"S

5°21'0"S

5°24'0"S

5°27'0"S

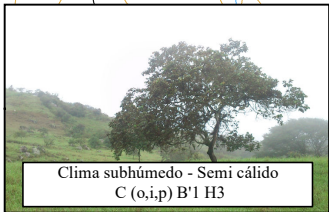


Mapa de Estaciones Metereologicas

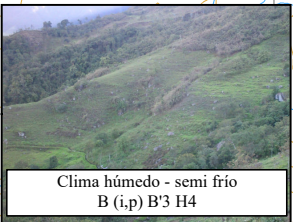
Descripción de las estaciones meteorologicas convencionales								
Nº	Distrito	Nombre	Latitud	Longitud	Altitud (m)	Precipitación media (mm)	Estado	Periodo de funcionamiento
1	Salitral	Hacienda Bigote	5° 19' 15"	79° 47' 8.5"	200	265	Funcionando	1964 - 2016
2	San Juan de Bigote	Barrios	5° 17' 1"	79° 42' 1"	364	483	Inoperativa	1973 - 1992
3	Canchaque	Canchaque	5° 22' 1"	79° 36' 1"	1520	724	Inoperativa	1964 - 1994
4	Huancabamba	Huancabamba	5° 14' 0"	79° 27' 0"	2050	860	Funcionando	1971 - 2016
5	Huarmaca	Huarmaca	5° 33' 57.1"	79° 31' 31.6"	2397	429	Funcionando	1964 - 2016



Clima Semiárido - Semi cálido
D (o,i,p) B'1 H3



Clima subhúmedo - Semi cálido
C (o,i,p) B'1 H3



Clima húmedo - semi frío
B (i,p) B'3 H4

SALITRAL

SAN JUAN DE BIGOTE

CANCHAQUE

HUANCABAMBA

SONDORILLO

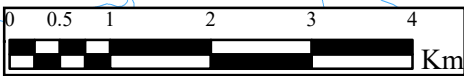
SAN MIGUEL DE EL FAIQUE

D (d) A' H3

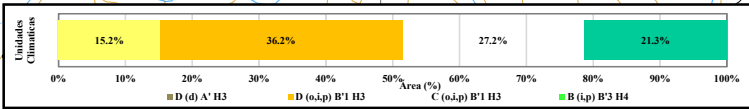
D (o,i,p) B'1 H3

C (o,i,p) B'1 H3

B (o,i,p) B'3 H4



Descripción de Unidades Climáticas de la Subcuenca Pusmalca										
Descripción	Simbología	Color	Altitud media (m.s.n.m.)	Temperatura media (°C)	Precipitación media (mm)	Precipitación máx 24h (mm)	Humedad relativa (%)	Evaporación (mm)	Área (Km²)	Área (%)
Clima semiárido cálido, con deficiencia de precipitación en todas las estaciones del año, con humedad relativa calificada como húmeda	D (d) A' H3		296	25.0	386	170.7	71.2	106.6	28.9	15.2
Clima semiárido semicálido, con deficiencia de precipitación en otoño, invierno y primavera con humedad relativa calificada como húmeda	D (o,i,p) B'1 H3		811	22.7	610	156.1	75.1	96.8	68.9	36.2
Clima subhúmedo semicálido, con deficiencia de precipitación en otoño, invierno y primavera con humedad relativa calificada como húmeda	C (o,i,p) B'1 H3		1552	19.3	755	146.6	80.7	82.7	51.8	27.2
Clima húmedo semifrío, con deficiencia de precipitación en invierno y primavera, con humedad relativa calificada como muy húmeda	B (i,p) B'3 H4		2634	14.4	872	138.9	88.8	62.2	40.6	21.4
Área Total									190.2	100.0



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS:

Análisis Comparativo de la erosión hídrica por los métodos de USLE y varillas en la subcuenca del río Pusmalca – Piura

Mapa Climático

Elaborado por: Bach. Orlando Benites Flores

Fecha: 26/08/16

Mapa N°:

Asesor: Dr. Jhon Walter Gomez Lora

Escala: 1:75,000

Datum Horizontal: WGS 84

Zona UTM: 17 SUR

Fuente: Cartas Nacionales Escala 1:100 000 - IGN

Elaboración Propia

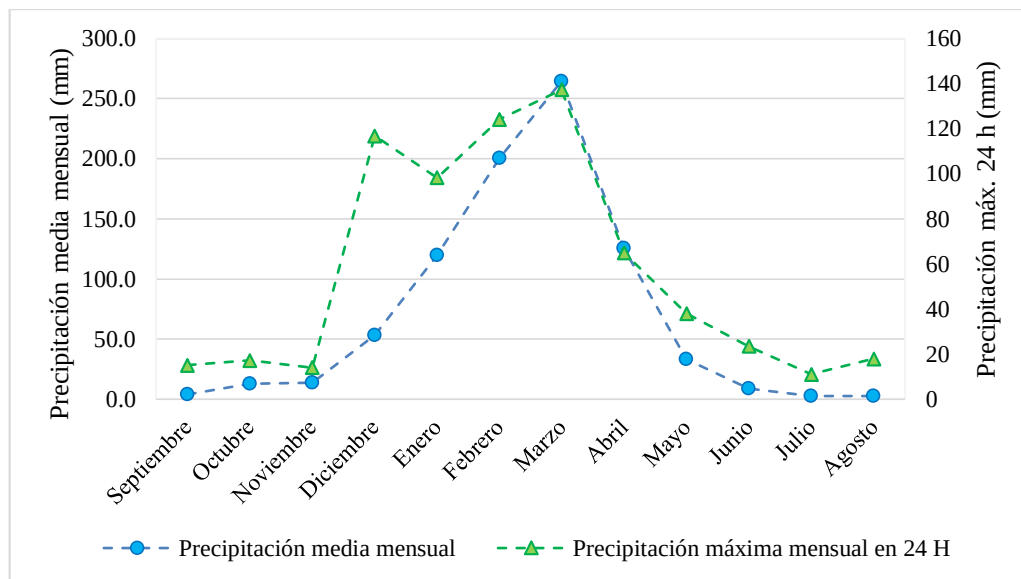
05

4.3.5. Hidrología

El comportamiento pluviométrico de la subcuenca está representado por la estación Canchaque, ubicada dentro de la zona de estudio y que cuenta con un periodo de registro de 1964 – 1994 (Fuente: SENAMHI).

La tendencia de esta variable se presenta en el Gráfico N° 7, mediante el registro de precipitaciones máximas en 24 horas y medias mensuales, las cuales coinciden de manera estacional en la época de verano.

Gráfico N° 7: Registro de precipitación media mensual y máxima mensual en 24 h (mm) vs Tiempo (meses)



Fuente: Elaboración propia

La red hidrográfica de la subcuenca se aprecia en el Mapa hidrográfico.

Ver Mapa N° 06

635833

640833

645833

650833

655833

660833



9410194

9405194

9400194

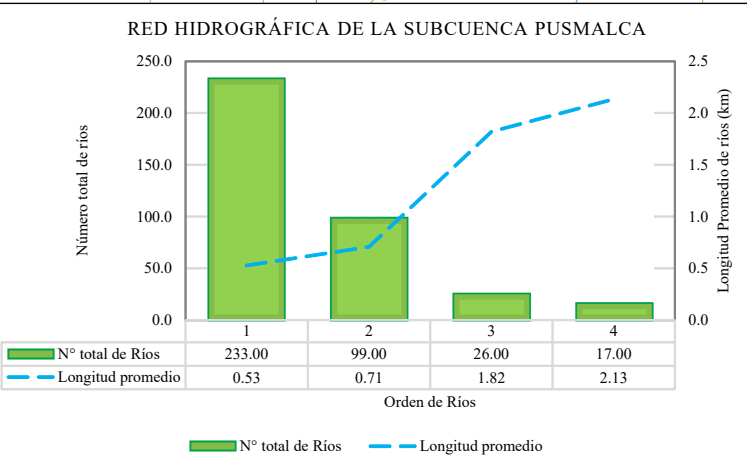
9395194

5°18'0"S

5°21'0"S

5°24'0"S

5°27'0"S



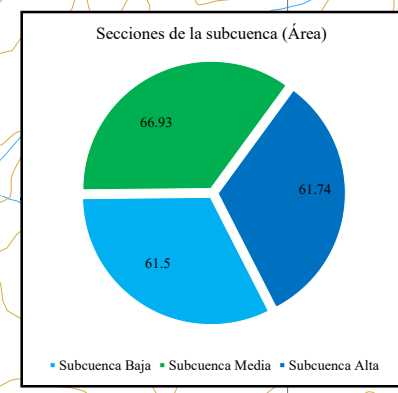
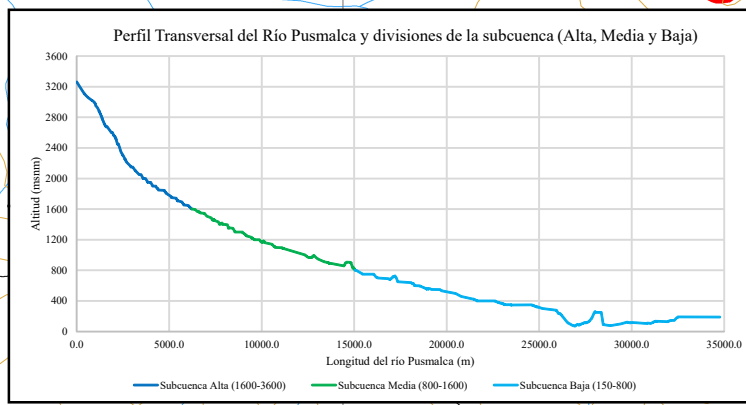
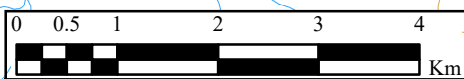
1 - Puente Fierro



2 - Puente la Filadera

LEYENDA

- Curvas de Nivel
- Ríos
- Subcuenca Pusmalca
- Distritos



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS: Análisis Comparativo de la erosión hídrica por los métodos de USLE y varillas en la subcuenca del río Pusmalca – Piura

Mapa Hidrográfico

Elaborado por: Bach. Orlando Benites Flores	Fecha: 14/09/16	Mapa N°:
Asesor: Dr. Jhon Walter Gomez Lora	Escala: 1:75,000	06
Datum Horizontal: WGS 84	Zona UTM: 17 SUR	

4.3.6. Geología

La génesis de los materiales rocosos que conforman la subcuenca Pusmalca, se ven influenciados por la intervención de factores climáticos e hidrológicos, que se hicieron presentes desde la era del Pre Cámbrico hasta el Cenozoico, dando origen a rocas sedimentarias, volcánica y metamórfica durante su trayecto temporal. (Piura, Zonificación Ecológica Económica, 2012). **Ver Mapa N° 07**

❖ Estratigrafía

La zona de estudio está conformada por unidades estratigráficas tales como:

Complejo olmos (Pe-co), Grupo Salas (Pi-s) y Grupo Goyllarisquizga (Ki-g), presentes desde la era Pre Cámbrica, Paleozoico y parte del Mesozoico (cretácico inferior), cuya litología está compuesta por rocas metamórficas como filitas, tobas pizarrosas, cuarcitas y ortocuarcitas, con una extensión de 109.4 km².

De igual manera, el Grupo San Pedro (KT-t,d-p), presente en la era Mesozoica (cretácico superior), cuya litología está compuesta por rocas intrusiva como tonalita y diorita; con una extensión de 38.6 km².

Durante la era Cenozoica, se encuentra la Formación Volcánico Porculla (Tim-vp) y Volcánico Llama (Ti-vll), ambas desarrolladas durante el Paleoceno, cuya litología está compuesta por rocas volcánicas como dacitas, areniscas tobáceas, lavas andesíticas y tubos dacíticos; con una extensión de 15.6 km².

De modo similar, las unidades estratigráficas de Deposito fluvial (Qr-fl) y Deposito aluvial (Qr-al) se encuentran en el Cenozoico (cuaternario reciente); cuya litología está compuesta por depósitos sedimentarios, principalmente gravas y arenas redondeadas con una extensión de 26.6 km². **Ver Cuadro N° 35**

Cuadro N° 35: Unidades estratigráficas de la subcuenca

Era	Sistema	Serie	Unidades estratigráficas	Tipo de roca	Simbología	Litología	Área (Km2)	Área (%)
Cenozoico	Cuaternario	Reciente	Deposito fluvial	Depósitos sedimentarios	Qr-fl	Gravas y arenas redondeadas, limos y arcilla estratificadas formadas por la acumulación reciente de los ríos y quebradas del área	11.9	6.3
			Depósitos aluviales recientes		Qr-al		14.7	7.7
	Terciario	Paleoceno	Volcánico Llama	Volcánica	Ti-vll	Tobas feldespáticas, derrames dacíticos andesíticos y rocas piroclásticas. Localmente se presentan dacitas y areniscas tobáceas.	15.0	7.9
			Formación Volcánico Porculla		Tim-vp	Material piroclástico riolítico a riodacítico acompañada de algunas intercalaciones de lavas andesítica, tufos dacitidos	0.6	0.3
Mesozoico	Cretácico	Superior	Grupo San Pedro	Intrusiva	KT-t,d-p	Tonalita, diorita	38.6	20.3
		Inferior	Grupo. Goyllarisquizga	Metamórfica	Ki-g	Presenta una intercalación dominada por cuarcitas, metacuarcitas y ortocuarcitas	35.9	18.9
Paleozoico	Ordovícico	Inferior	Grupo Salas		Pi-s	Filitas	62.2	32.7
Pre cámbrico			Complejo Olmos		Pe-co	Rocas metamórficas, formadas principalmente por filitas y tobas pizarrosas	11.2	5.9
Total							190.2	100.0

Fuente: Elaboración propia

635171

640171

645171

650171

655171

660171



9410798

9405798

9400798

9395798

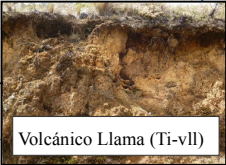
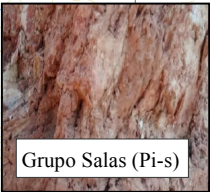
5°18'0"S

5°21'0"S

5°24'0"S

5°27'0"S

Descripción de las Unidades Geológicas de la Subcuenca Puzmalca									
Era	Sistema	Serie	Unidades estratigráficas	Tipo de roca	Simbología	Color	Litología	Área (Km) ²	Área (%)
Cenozoico	Cuaternario	Reciente	Depositos fluviales	Depositos sedimentarios	Qr - fl		Gravas y arenas redondeadas, limos y arcilla estratificadas formadas por la acumulación reciente de los rios y quebradas del área	11.93	6.3
			Depositos aluviales recientes		Qr - al			14.67	7.7
	Terciario	Paleoceno	Volcánico Llama	Volcánica	Ti - vll		Tobas feldespáticas, derrames dacíticos andesíticos y rocas piroclásticas. Localmente se presentan dacitas y areniscas tobáceas.	15.01	7.9
			Formación Volcánico Porcualla		Tim - vp		Material piroclástico riolítico a riolodacítico acompañada de algunas intercalaciones de lavas andesíticas y tufos dacíticos	0.58	0.3
Mesozoico	Cretacico	Superior	Grupo San Pedro	Intrusiva	KT - t, d - p		Tonalita, diorita	38.62	20.3
		Inferior	Grupo Goyllarisquiza		Ki - g		Presenta una intercalación dominada por cuarcitas, metacuarcitas y ortocuarcitas	35.99	18.9
Paleozoico	Ordovicoico	Inferior	Grupo Salas	Metamorfica	Pi - s		Filitas	62.18	32.7
Pre Cambiano			Complejo Olmos		Pe - co		Rocas metamórficas, formadas principalmente por filitas y tobas pizarrosas	11.19	5.9
ÁreaTotal								190.17	100.0



SALITRAL

JARDINA

HUALTACAL

PUSMALCA

PUSMALCA

AGUA AZUL

PUSMALCA

EL PICO

SAN MIGUEL DE EL FAIQUE

HUANCABAMBA

SONDORILLO

CRUZ BLANCA

LOS CHORROS

CHORRO BLANCO

LOS POTREROS

Ki-g

Pi-s

Ti-vll

Tim-xp

Pi-s

Qr-al

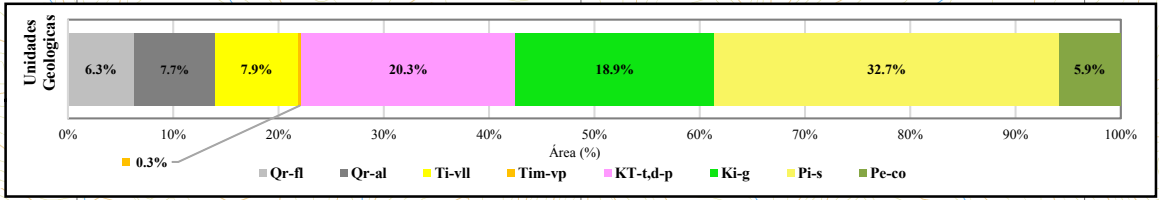
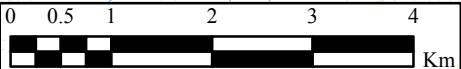
Pi-s

Qr-fl

Qr-al

LEYENDA

- Curvas de Nivel
- Rios
- Subcuenca Puzmalca
- Distritos



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS:

Análisis Comparativo de la erosión hídrica por los métodos de USLE y varillas en la subcuenca del río Puzmalca – Piura

Mapa Geológico de la Subcuenca Puzmalca

Elaborado por:

Bach. Orlando Benites Flores

Fecha:

14/09/16

Mapa N°:

07

Asesor:

Dr. Jhon Walter Gomez Lora

Escala:

1:75,000

Datum Horizontal:

WGS 84

Zona UTM:

17 SUR

Fuente:

Gobierno Regional Escala 1:100 000
Cartas Nacionales Escala 1:100 000 - IGN

79°45'0"W

79°42'0"W

79°39'0"W

79°36'0"W

79°33'0"W

4.3.7. Geomorfología

La subcuenca Pusmalca presenta, principalmente, geoformas de montaña, las cuales representan el 89.3%, ocupando un rango de altitud que se varía entre los 200 y 3600 metros; esto explica la heterogeneidad y lo abrupto de su relieve. Además, comprende formas de valle, pie de monte y fluvial que se encuentran entre 150 a 600 m.s.n.m. (Piura, Zonificación Ecológica Económica, 2012). **Ver Mapa N°08**

❖ Subunidad I: Pie de Monte (Pie)

Se ubica en la sección baja de la subcuenca y al margen derecho del río Pusmalca; está conformado por depósitos aluviales y coluviales que alcanzan los 400 m.s.n.m. con pendientes que varían entre 15 y 50%. Presenta heterogeneidad en su composición que varían desde arenas gruesas a medias, gravas gruesas y grandes bloques, vegetación restos de tronco y materia orgánica. Al presentarse cerca a la red hidrográfica principal, está sujeta a erosión fluvial, lo que ha permitido la formación de colinas suaves y lomadas bajas.

❖ Subunidad II: Valle y llanura irrigada (V-a)

Se encuentra emplazado al suroeste y en la sección baja de la subcuenca; son relieves conformados por gravas y arenas redondeadas, limos y arcillas estratificadas formadas por la acumulación reciente de los ríos y quebradas de la subcuenca, además, al no presentar irregularidades topográficas, favorecen la poca variabilidad climática, por ende, son tierras fértiles para la actividad agrícola.

❖ Subunidad III: Vertiente montañosa fuertemente disectada (Vf-d)

Se encuentra localizada principalmente en el margen derecho del río Pusmalca, ocupa la mayor presencia con 94.6 km², que representa un 49.7% de la extensión en la subcuenca; además, constituyen los niveles más elevados con cotas que van desde los 300 a 3400 m.s.n.m. Presenta predominancia de rocas metamórficas, principalmente granodioritas,

banco de cuarcitas y chert en ventillas; se observa que es la mayor área de ocupación de la red de drenaje, por lo que, es considerada la zona de mayor aporte de sedimentos frente a la acción de erosión pluvial.

❖ Subunidad IV: Vertiente montañosa fuertemente empinada (Vf-e)

Son relieves que se encuentran distribuidos en las diferentes secciones de la subcuenca, a su vez, ocupa la cabecera de la microcuenca Cruz Blanca, con valores de pendiente de 30 a 50%. Están conformadas litológicamente por granodioritas, lodolitas y chert duros, que sumado al clima húmedo que propicia fuertes precipitaciones pluviales, en la sección alta de la subcuenca, dan origen a una textura media del suelo.

❖ Subunidad V: Vertiente montañosa moderadamente disectada (Vm-d)

Se ubican en la sección media y alta de la subcuenca; es la segunda geoforma de mayor presencia con una extensión de 53.4 km² (28.1%), además de presentar pendientes que van desde 8 a 45%, con altitudes entre 600 a 2200 m.s.n.m. En ellas se ubica las ciudades de Canchaque y San miguel de El Faique, en cuanto a su litología presenta areniscas y lodolitas silíceas, por lo que se considera la mayor zona predispuesta a procesos de erosión hídrica.

El cuadro N°36 se detalla la descripción de las unidades geomorfológicas.

Cuadro N° 36: Unidades geomorfológicas de la subcuenca Pusmalca

Gran unidad	Paisaje	Descripción del paisaje	Unidad Geomorfológica	Simbología	Área (Km²)	Área (%)
Cordillera Occidental	Pie de Monte	Zonas Moderadamente Inclinas	Pie de Monte	Pie	2.5	1.3
Río	Fluvial	Zonas Planas	Lecho de Río	Río	0.3	0.1
Llanuras y Depresiones Costaneras	Valle	Zonas Muy Suavemente Inclinas	Valle y llanura irrigada	V-a	17.6	9.3
Cordillera Occidental	Montaña	Zonas Abruptas	Vertiente montañosa Fuertemente Disectada	Vf-d	94.6	49.7
Cordillera Occidental		Zonas Abruptas	Vertiente montañosa Fuertemente Empinada	Vf-e	21.8	11.5
Cordillera de la Costa		Zonas Muy Inclinas	Vertiente montañosa moderadamente Disectada	Vm-d	53.4	28.1
Área Total					190.2	100.0

Fuente: Elaboración propia

635171

640171

645171

650171

655171

660171



Descripción de Unidades Geomorfológicas de la Subcuenca Pusmalca							
Gran Unidad	Paisaje	Descripción del Paisaje	Unidad Geomorfológica	Simbología	Color	Área (Km) ²	Área (%)
Cordillera Occidental	Pie de Monte	Zonas moderadamente inclinadas	Pie de Monte	Pie		2.5	1.3
Rio	Fluvial	Zonas Planas	Lecho de Río	Rio		0.3	0.1
Llanuras y Depresiones Costaneras	Valle	Zonas Muy Suavemente Inclinadas	Valle y llanura irrigada	V - a		17.6	9.3
Cordillera Occidental	Montaña	Zonas Abruptas	Vertiente Montañosa Fuertemente Disectada	Vf - d		94.6	49.7
			Vertiente Montañosa Fuertemente Empinada	Vf - e		21.8	11.5
Cordillera de la Costa		Zonas Muy Inclinadas	Vertiente Montañosa Moderadamente Disectada	Vm - d		53.4	28.1
ÁreaTotal						190.17	100.0

9410798

9405798

9400798

9395798

SAN JUAN DE BIGOTE

CANCHAQUE

HUANCABAMBA

SONDORILLO

SALITRAL

JARDINA

Pie

PUSMALCA

PUSMALCA

SAN MIGUEL DE EL FAIQUE

AGUA AZUL

Vm-d

Pie

V-a

PUSMALCA

EL PICO

Vf-d

Vf-e

CRUZ BLANCA

Vm-d

Vf-e

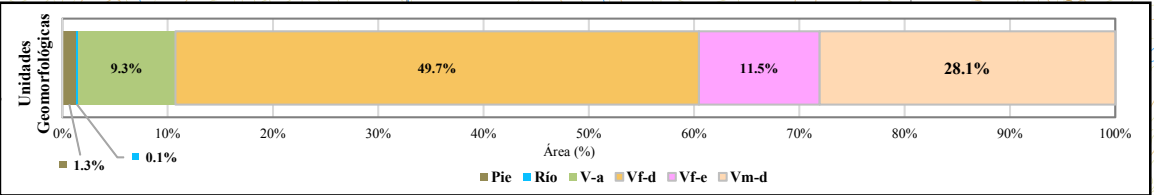
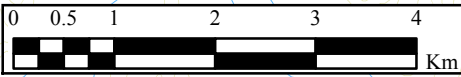
LOS CHORROS

LOS POTREROS

CHORRO BLANCO

LEYENDA

- Curvas de Nivel
- Rios
- Subcuenca Pusmalca
- Districtos





UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS: Análisis Comparativo de la erosión hídrica por los métodos de USLE y varillas en la subcuenca del río Pusmalca – Piura

Mapa Geomorfológico

Elaborado por: Bach. Orlando Benites Flores

Asesor: Dr. Jhon Walter Gomez Lora

Datum Horizontal: WGS 84

Fecha: 14/09/16

Escala: 1:75,000

Zona UTM: 17 SUR

Mapa N°: 08

Fuente: Gobierno Regional Escala 1:100 000
Cartas Nacionales Escala 1:100 000 - IGN

5°18'0"S

5°21'0"S

5°24'0"S

5°27'0"S

79°45'0"W

79°42'0"W

79°39'0"W

79°36'0"W

79°33'0"W

4.3.8. Suelos

Los suelos de la subcuenca Pusmalca se dividen en dos unidades cartográficas, las cuales son Consociación y Asociación, éstos a su vez representan el 37% y 63% de extensión respectivamente, así mismo se encuentran ocupando posiciones fisiográficas como valle, lomadas y laderas El material base de los suelos está conformado por depósitos recientes (aluviales y coluviales), con textura franca, con tendencia ligera a pesada (Franco arenoso – Franco arcilloso), en su mayoría presentan permeabilidad moderada con buena retención de nutrientes, buena aireación, lo que favorece la actividad agrícola y ganadera.

Ver Mapa N°09

❖ Consociación

Son suelos que están integrados por un componente de forma dominante, ya sea edáfico o miscelánea; por lo que se refiere al primero, según la taxonomía de la FAO se presentan dos unidades Luvisol (Canchaque) y Fluvisol (Faique y Hualtaco) y al segundo Miscelánea Roca (afloramiento lítico). Con respecto a la pérdida de suelos, la serie Canchaque, al encontrarse en pendientes pronunciadas, requiere medidas de control de la erosión, para lograr alta productividad que estos suelos son capaces de brindar.

❖ Asociación

Son suelos que presentan dos o más componentes (edáficos, misceláneas o ambos); dentro de esta división la única que tiene presencia de componentes edáficos es la Serie Canchaque – Pampa Minas (Cn-PM), que representan el 10.6% de la subcuenca. El resto está compuesto por miscelánea. Ver Cuadro N° 37.

Cuadro N° 37: Unidades de suelo de la subcuenca Pusmalca

Consociación (100%) – Área parcial 70.28 km ²			
Nombre	Simbología	Área (km ²)	Área (%)
Faique	Fq	16.78	8.8%
Hualtaco	HC	5.86	3.1%
Canchaque	Cn	41.58	21.9%
Misceláneo Roca	R	6.06	3.2%
Asociación (70 - 30%) – Área parcial 119.89 km ²			
Misceláneo Roca - Pampa Minas	R-PM	18.05	9.5%
Misceláneo Roca - Canchaque	R-Cn	1.22	0.6%
Canchaque - Misceláneo Roca	Cn-R	9.33	4.9%
Canchaque - Pampa Minas	Cn-PM	20.18	10.6%
Piedras Grandes - Misceláneo Roca	PG-R	3.47	1.8%
Misceláneo Roca - Frías Bajo	R-FB	32.36	17.0%
Misceláneo Roca - Piedras Grandes	R-PG	9.9	5.2%
Pampa Minas - Misceláneo Roca	PM-R	25.38	13.3%
Área Total		190.2	100.0%

Fuente: Elaboración propia

634708

639708

644708

649708

654708

659708

9410550

9405550

9400550

9395550

5°18'0"S

5°21'0"S

5°24'0"S

5°27'0"S



Descripción de Unidades de Suelo de la Subcuenca Pusmalca				
Consociación (100%) - Área Parcial 70.28 km ²				
Nombre	Simbología	Color	Área (Km) ²	Área (%)
Faique	Fq		16.78	8.8
Hualtaco	HC		5.86	3.1
Canchaque	Cn		41.58	21.9
Miscelaneo Roca	R		6.06	3.2
Asociación (70-30%) - Área Parcial 119.89 km ²				
Nombre	Simbología	Color	Área (Km) ²	Área (%)
Miscelaneo Roca - Pampa Minas	R-PM		18.05	9.5
Miscelaneo Roca - Canchaque	R-Cn		1.22	0.6
Canchaque - Miscelaneo Roca	Cn-R		9.33	4.9
Canchaque - Pampa Minas	Cn-PM		20.18	10.6
Piedras Grandes - Miscelaneo Roca	PG-R		3.47	1.8
Miscelaneo Roca - Frias Bajo	R-FB		32.36	17.0
Miscelaneo Roca - Piedras Grandes	R-PG		9.9	5.2
Pampa Minas - Miscelaneo Roca	PM-R		25.38	13.3
Área Total			190.17	100.0

SAN JUAN DE BIGOTE

CANCHAQUE

HUANCABAMBA

SONDORILLO

SALITRAL

JARDINA

R-PG

HC

PG-R

PUSMALCA

PUSMALCA

PUSMALCA

Fq

SAN MIGUEL DE EL FAIQUE

Cn-PM

Cn

R

Cn

AGUA AZUL

Cn

Cn-PM

R-PM

Cn

EL PICO

Cn

R-Cn

Cn-PM

R-Cn

Cn

R-PM

Cn-PM

R

R-PM

Cn-PM

R-PM

Cn-PM

R-PM

Cn-PM

R-PM

Cn-PM

R-PM

Cn-PM

R-PM

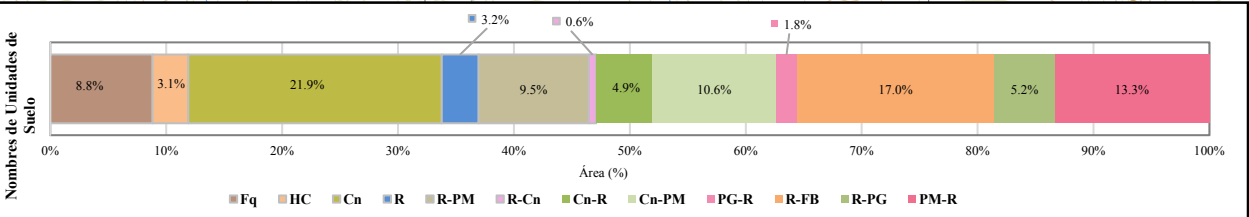
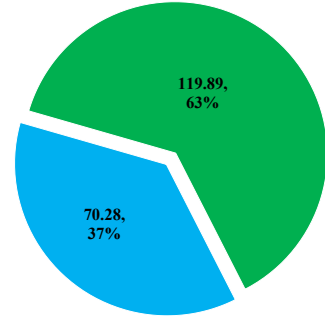
Cn-PM

R-PM

Cn-PM

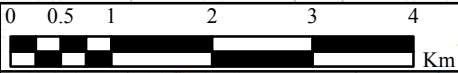
R-PM

Unidades Cartográficas de Suelos (Área en Km² y %)



LEYENDA

- Curvas de Nivel
- Rios
- Subcuenca Pusmalca
- Distritos



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS:

Análisis Comparativo de la erosión hídrica por los métodos de USLE y varillas en la subcuenca del río Pusmalca – Piura

Mapa de Suelos

Elaborado por: Bach. Orlando Benites Flores

Fecha: 14/09/16

Mapa N°:

Asesor: Dr. Jhon Walter Gomez Lora

Escala: 1:75,000

09

Datum Horizontal: WGS 84

Zona UTM: 17 SUR

Fuente: Gobierno Regional Escala 1:100 000

Cartas Nacionales Escala 1:100 000 - IGN

79°45'0"W

79°42'0"W

79°39'0"W

79°36'0"W

79°33'0"W

4.3.9. Fisiografía

La fisiografía del área de estudio se establece sobre relieves muy abruptos, que contemplan desde valles estrechos hasta laderas de montaña, donde el relieve de mayor predominancia son las laderas de montaña húmeda empinada (MELH f/E) con 34.63 km² (18.2%), seguida de laderas denudacionales subhúmeda fuertemente inclinadas (MDLU l/C) con 30.3 km² (15.9%), ambas se distribuyen en pendientes entre 15 y 45%. También, se observan relieves colinosos donde la mayor presencia la posee la cima de lomada moderadamente inclinada (CLC a/B) con 5.12 km² (2.7%), ubicándose cerca al margen del río Pusmalca y de igual modo relieve de planicie que está representado por el fondo de quebrada estacional, plana a ligeramente inclinada (PFT q/A) con 16.52km² (8.7%), algunas secciones de esta, son utilizadas como áreas de cultivo con el riesgo de ser arrasadas por inundaciones.

En el Cuadro N° 38, se aprecia con detalle las unidades fisiográficas presentes en la subcuenca Pusmalca. **Ver Mapa N°10**

Cuadro N° 38: Unidades fisiográficas de la subcuenca Pusmalca

Gran Paisaje	Clasificación	Paisaje	Sub Paisaje	Elementos	Simbología	Área (Km2)	Área (%)
Cuerpo de Agua				Río Piura	Río	0.3	0.1
Planicie	Planicie	Fluvial	Valle estrecho (Quebrada)	Fondo de Quebrada Estacional, plana a ligeramente inclinada	PFTq/A	16.5	8.7
Colinoso	Colinas Costeras	Colinas Costeras	Laderas de Colinas bajas	Laderas de Colinas fuertemente inclinadas	CDBI/C	0.7	0.4
		Lomadas Costeras	Lomadas disectadas	Laderas de Lomadas moderadamente empinadas	CDLm/D	3.5	1.8
			Lomadas de cima amplia	Cimas de Lomadas moderadamente inclinadas	CLCa/B	5.1	2.7
Montañoso	Montañas Costeras	Montañas Costeras	Laderas de Montañas Cálidas	Laderas de Montaña costera empinadas	MDLd/E	7.7	4.0
				Laderas de Montaña costera muy empinadas	MDLd/F	3.3	1.7
	Montañas Andinas	Montañas Denudacionales subhúmedas	Laderas de Montañas Semicálidas a Templadas	Laderas denudacionales subhúmeda muy empinadas	MDLUd/F	28.8	15.2
				Laderas denudacionales subhúmeda empinadas	MDLUf/E	15.2	8.0
				Laderas denudacionales subhúmeda fuertemente inclinadas	MDLUI/C	30.3	15.9
				Laderas denudacionales subhúmeda moderadamente empinadas	MDLUm/D	21.0	11.1
		Montañas húmedas a muy húmedas	Laderas de Montañas Templadas frías	Laderas de Montaña húmeda muy empinadas	MELHd/F	13.9	7.3
				Laderas de Montaña húmeda empinadas	MELHf/E	34.6	18.2
				Laderas de Montaña húmeda moderadamente empinadas	MELHm/D	9.1	4.8
Área Total						190.2	100.0

Fuente: Elaboración propia

635171 640171 645171 650171 655171 660171



9410798

9405798

9400798

9395798

5°18'0"S

5°21'0"S

5°24'0"S

5°27'0"S

Descripción de Unidades Fisiográficas de la Subcuenca Pusalca								
Gran Paisaje	Clasificación	Paisaje	Sub Paisaje	Elementos	Simbología	Color	Área (Km) ²	Área (%)
Cuerpo de Agua				Rio Piura	Rio		0.26	0.1
Planicie	Planicie	Fluvial	Valle estrecho (Quebrada)	Fondo de quebrada estacional, plana a ligeramente inclinada	PFTq/A		16.52	8.7
Colinoso	Colinas Costeras	Colinas Costeras	Laderas de Colinas Bajas	Laderas de Colinas fuertemente inclinadas	CDBI/C		0.74	0.4
		Lomadas Costeras	Lomadas Disectadas	Laderas de Lomadas moderadamente empinadas	CDLm/D		3.47	1.8
			Lomadas de Cima Amplia	Cimas de Lomadas moderadamente inclinadas	CLCa/B		5.12	2.7
Montañoso	Montañas Costeras	Montañas Costeras	Laderas de Montañas Calidas	Laderas de Montaña costera empinadas	MDL d/E		7.66	4.0
				Laderas de Montañas costeras muy empinadas	MDL d/F		3.32	1.7
	Montañas Andinas	Montañas Denudacionales Subhúmedas	Laderas de Montañas Semicálidas a Templadas	Laderas denudacionales subhúmeda fuertemente inclinadas	MDLU I/C		30.3	15.9
				Laderas denudacionales subhúmeda empinadas	MDLU d/E		15.5	8.0
				Laderas denudacionales subhúmeda moderadamente empinadas	MDLU m/D		21.04	11.1
				Laderas denudacionales subhúmeda muy empinadas	MDLU d/F		28.87	15.2
		Montañas Húmedas a muy Húmedas	Laderas de Montañas Templadas frías	Laderas de montaña Húmeda empinadas	MELH d/E		34.63	18.2
				Laderas de Montaña Húmeda moderadamente empinadas	MELH m/D		9.14	4.8
				Laderas de montaña Húmeda muy empinadas	MELH d/F		13.95	7.3
ÁreaTotal							190.17	100.0

SALITRAL

MDLd/E

CDBI/C

CLCa/B

CDLm/D

HUALTACAL

PUSMALCA

PUSMALCA

Río

AGUA AZUL

PFTq/A

PUSMALCA

EL PICO

MDLU/C

MDLU/E

MELHd/F

LOS CHORROS

CRUZ BLANCA

MELHm/D

LOS POTREROS

CHORRO BLANCO

MDLUm/D

MDLUd/F

CANCHAQUE

HUANCABAMBA

SONDORILLO

SAN MIGUEL DE EL FAIQUE

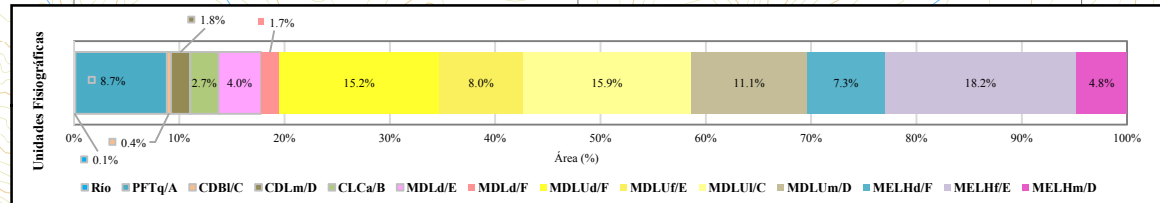
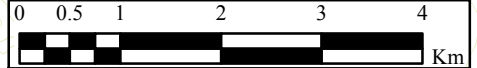
LEYENDA

Curvas de Nivel

Rios

Subcuenca Pusalca

Distritos



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS: Análisis Comparativo de la erosión hídrica por los métodos de USLE y varillas en la subcuenca del río Pusalca – Piura

Mapa Fisiográfico

Elaborado por: Bach. Orlando Benites Flores

Fecha: 14/09/16

Mapa N°:

Asesor: Dr. Jhon Walter Gomez Lora

Escala: 1:75,000

10

Datum Horizontal: WGS 84

Zona UTM: 17 SUR

Fuente: Gobierno Regional Escala 1:100 000
Cartas Nacionales Escala 1:100 000 - IGN

79°45'0"W

79°42'0"W

79°39'0"W

79°36'0"W

79°33'0"W

4.3.10. Ecología

El ámbito de la subcuenca Pusmalca, comprende ecológicamente cinco (5) formaciones ecológicas, se distribuye desde la costa hasta la sierra, ambas con características climáticas variadas (INRENA, 1995).

El sector de la costa comprende el 37.5 % del total de la subcuenca; donde las condiciones climáticas imperantes originan un déficit de precipitación, principalmente, en las estaciones de otoño, invierno y primavera, y una alta temperatura que consumen, mediante los fenómenos de evaporación y transpiración, las escasas reservas de agua que se almacenan en verano, razón por la cual, la actividad agrícola y agropecuaria requiere de infraestructura de riego.

El sector de la sierra comprende 62.5 %, del total del área de estudio; las condiciones climáticas se caracterizan por presentar lluvias que permiten una agricultura de secano con riego suplementario, dependiendo del lugar y tipo de cultivo.

Formaciones ecológicas de la subcuenca Pusmalca

❖ Monte espinoso - tropical (mte-T)

Se ubica en la sección baja de la subcuenca, entre 150 y 800 m.s.n.m. con una extensión superficial de 4839 ha. Esta formación presenta un clima semiárido y cálido en las secciones planas con suelos profundos y de textura media (franco arenosa); y semiárido y semicálido en relieve ondulado suave hasta colinoso bajo, con suelos profundos de textura pesada (franco arcillosa).

La cobertura vegetal comprende especies arbóreas como: “sapote” (*Capparis angulata*), “algarrobo” (*Prosopis pallida*), “palo verde” (*Cercidium praecox*). Entre las cactáceas, son frecuentes los del género *Cereus*. La vegetación herbácea rebrota abundantemente en la estación de verano que promueve su uso agropecuario.

Las tierras agrícolas coluviales son aprovechadas para el cultivo de frutales (plátano, mango, guanábana), maíz, arroz y frejoles. En el resto de tierras se practica ganadería extensiva.

❖ Monte espinoso - Premontano tropical (mte-PT)

Se ubica en la sección media inferior de la subcuenca, entre 800 y 1000 m.s.n.m. con una extensión superficial de 2292 ha. Esta formación presenta un clima semiárido y semicálido en las secciones planas con suelos profundos; y relieve moderado, con suelos superficiales en las laderas con afloramiento rocoso.

La cobertura vegetal comprende especies arbóreas como: “hualtaco” (*Loxopterygium huasango*), “ceibo” (*Bombax discolor*), “pajuro” (*Erythrina sp.*), “faique” (*Acacia macracantha*).

Las tierras agrícolas coluviales son aprovechadas para el cultivo de frutales (plátano, mango, guanábana), maíz, arroz y frejoles. En el resto de tierras se practica ganadería extensiva.

La variedad de cultivos tropicales de subsistencia (banano, piña, mango, etcétera), además del cultivo de caña de azúcar para la obtención de aguardiente y chancaca.

El potencial de esta formación, especialmente en los terrenos de laderas con fuertes pendientes (30-45%) es el establecimiento de “cabuya” (*Fourcroya andina*) cuyas fibras se utilizan para la fabricación de sogas y cordelas, posteriormente, usadas en el ganado.

❖ Bosque seco - Premontano tropical (bs-PT)

Se encuentra en la sección media superior de la subcuenca, entre 1000 y 2000 m.s.n.m. con una extensión superficial de 6963 ha. Esta formación presenta un clima subhúmedo y semicálido; con suelos de textura media (franco arenosa), con pendiente moderada y suelos superficiales en las laderas con afloramiento rocoso, ambos muy susceptibles procesos de erosión.

La cobertura vegetal comprende especies arbóreas como: “tara” (*Caesalpinia tinctoria*), “molle” (*shinus molle*), y “faique” (*Acacia macracantha*).

En los escasos terrenos agrícolas, se cultivan frutales como plátano y cítricos hasta papa (Pampa minas). Así mismo, se cultiva la caña de azúcar para la obtención de aguardiente y chancaca. Se debe agregar que se lleva a cabo una agricultura de secano (frijol, maíz y otros cultivos de periodo corto). En el resto de tierras se practica ganadería extensiva.

El potencial de esta formación, especialmente en los terrenos de laderas con fuertes pendientes (30-45%) es el establecimiento de plantaciones industriales de “cabuya” y “tara” entre otros.

❖ Bosque seco - Montano bajo tropical (bs-MBT)

Se ubica en la subcuenca alta inferior, entre 2000 y 2400 m.s.n.m. con una extensión superficial de 2375 ha. Esta formación presenta un clima húmedo y semifrío; con pendiente fuertes (>45°); con suelos de textura media a pesada que están sujetos a procesos erosivos.

La vegetación arbustiva comprende especies como: “suro” (*Chusquea sp.*), “picahuay” (*Oreocallis grandiflora*). La vegetación natural es mínima, debido a que ha sido reemplazada con cultivos de pastos, entre los que destacan las especies de: “sudan” (*Sorghum sudanense*) y “pasto de elefante” (*Pennisetum purpureum*), para la actividad agropecuaria

Se desarrolla una agricultura de secano. Presenta potencialidad de siembra de cultivos propios de la sierra (olluco, haba, arveja, papa, etcétera.).

❖ Bosque húmedo - Montano tropical (bh-MT)

Se ubica en la subcuenca alta superior, entre 2400 y 3600 m.s.n.m. con una extensión superficial de 2548 ha. Esta formación presenta un clima húmedo y semifrío; con

pendiente fuertes ($>45^\circ$), con suelos de textura fina (Franco Arcilloso, y Franco arcillo Limoso).

La vegetación arbustiva comprende especies de los géneros: *Cassia* y *Lupinus*. Así mismo, se presentan las especies de pastos: “sudan” (*Sorghum sudanense*) y “pasto de elefante” (*Pennisetum purpureum*), para la actividad agropecuaria.

Se desarrolla una agricultura de secano. Presenta potencialidad de siembra de cultivos propios de la sierra (olluco, haba, arveja, papa, etcétera.).

En el Cuadro 39, se observa con mayor detalle las unidades ecológicas presentes en la subcuenca Pusmalca. **Ver Mapa N°11**

Cuadro N° 39: Unidades ecológicas de la subcuenca Pusmalca

Piso Ecológico	Formación Ecológica	Sectores de Uso	Características medio ambientales	Aprovechamiento de los recursos vegetales y edáficos		Área (Ha)	Área (%)
				Actual	Potencial		
Piso Basal	monte espinoso Tropical (mteT)	Valle agrícola de costa	Clima semiárido y cálido; materiales coluviales, relieve con pendiente ligera (0-3%), suelos con fertilidad natural baja a media; agricultura intensiva y diversificada.	Cultivos de frutales como plátano, mango, guanábana; cultivos de frejoles (panamito); cultivo de plantas industriales y alimenticias (maíz y arroz)	Muy bueno. El incremento de la productividad requiere tecnificación.	1246	6.6%
		Área de Colinas	Clima semiárido y cálido, materiales coluviales, relieve de pendiente moderada (15-30%); suelos con fertilidad natural baja a media; agricultura de subsistencia.	Pastoreo estacional de ganado vacuno y caprino.	Pobre. Requiere medidas de conservación de suelos y agua.	933	4.9%
		Ladera de montaña costera	Clima semiárido y semicálido. Materiales conglomerados, relieve de pendiente fuerte (30-45%); vegetación natural (bosque seco).	Bosque seco, extracción de madera (para leña), y escaso pastoreo de ganado vacuno y caprino.	Prácticamente nulo. No hay posibilidades de regeneración rápida de vegetación debido a la lluvia estival.	1089	5.7%
		Laderas denudacionales de montaña subhúmedas	Clima semiárido y semicálido. Materiales conglomerados con relieve de pendiente moderada (15-30%); vegetación natural (bosque seco).	Bosque seco, extracción de madera (para leña), y escaso pastoreo de ganado vacuno y caprino.	Prácticamente nulo. No hay posibilidades de regeneración rápida de vegetación debido a la lluvia estival.	809	4.3%
		Ladera de montaña húmeda	Clima semiárido y semicálido. Materiales conglomerados con relieve de pendiente moderada (15-30%); vegetación natural (bosque seco).	Bosque seco (Natural)	Prácticamente nulo. No hay posibilidades de regeneración rápida de vegetación debido a la lluvia estival.	762	4.0%
Premontano	monte espinoso Premontano Tropical (mtePT)	Valle agrícola de costa	Clima semiárido y semicálido. Materiales coluviales con relieve de pendiente moderada (8-15%); suelos con fertilidad natural baja a media; agricultura intensiva y diversificada.	Cultivo de frutales como plátano, mango, guanábana y guaba. Cultivo de plantas industriales y alimenticias (maíz y arroz)	Muy bueno. El incremento de la productividad requiere tecnificación.	432	2.3%
		Laderas denudacionales de montaña subhúmedas	Clima semiárido y semicálido. Materiales conglomerados e intrusivos, con relieve de pendiente moderada (15-30%); suelos con fertilidad media a alta; Agricultura temporal fraccionado - Pecuario extensivo.	Pastoreo extensivo y cultivos forestales	Pobre. La regeneración de la vegetación natural es lenta debido a la lluvia estival.	1404	7.4%
		Ladera de montaña húmeda	Clima semiárido y semicálido. Relieve de pendiente fuerte (30 - 45%); Agricultura temporal y de subsistencia.	Agricultura temporal y uso pecuario. Bosque natural.	Prácticamente nulo. No hay posibilidades de regeneración rápida de vegetación debido a la lluvia estival.	456	2.4%
	bosque seco Premontano Tropical (bsPT)	Laderas denudacionales de montaña subhúmedas	Clima subhúmedo y semicálido. Relieve de pendiente moderada (15 - 30%); Suelos con fertilidad media a alta. Pasto natural (uso pecuario).	Cultivos de frutales de naranja, chirimoya, palta y lúcuma; sistemas agroforestales (cultivo de café) y sistema silvopecuario.	Bueno. El incremento de productividad requiere de medidas de conservación de suelos y agua. Algunas áreas son buenas para uso pecuario y otras para forestación.	5345	28.1%
		Ladera de montaña húmeda	Clima subhúmedo y semicálido. Relieve de pendiente fuerte (30 - 45%); Suelos con fertilidad media a alta. Pasto natural (uso pecuario).	Pecuario extensivo. Agricultura temporal Semi intensiva (cultivos de frutales de naranja, chirimoya, palta y lúcuma; cultivo de café en sistemas agroforestales)	Bueno. El incremento de productividad requiere de medidas de conservación de suelos y agua.	1618	8.5%
Montano Bajo	bosque seco montano Bajo Tropical (bsMBT)	Laderas denudacionales de montaña subhúmedas	Clima húmedo y semifrío. Materiales conglomerados e intrusivos con relieve de pendiente fuerte (>45%); suelos con fertilidad media a alta. Pasto natural (uso pecuario)	Pecuario extensivo (dispuesto en invernada de las variedades de sudan, elefante y paja chica). Agricultura de subsistencia (cultivos de Haba, racacha, papa, olluco, choclo, arveja, trigo)	Bueno. El incremento de productividad requiere de medidas de conservación de suelos.	878	4.6%
		Ladera de montaña húmeda	Clima húmedo y semifrío. Materiales conglomerados e intrusivos con relieve de pendiente fuerte (>45%). Pasto natural (uso pecuario)	Pecuario extensivo (dispuesto en invernada de las variedades de sudan, elefante y paja chica). Agricultura de subsistencia (cultivos de Haba, racacha, papa, olluco, choclo, arveja, trigo)	Bueno. El incremento de productividad requiere de medidas de conservación de suelos.	1497	7.9%
Montano	bosque húmedo Montano Tropical (bmhBT)	Laderas denudacionales de montaña subhúmedas	Clima húmedo y semifrío. Materiales intrusivos con relieve de pendiente fuerte (>45%). Pasto natural (uso pecuario)	Agricultura de subsistencia (cultivos de Haba, racacha, papa, olluco, choclo, arveja, trigo)	Bueno. El incremento de productividad requiere de medidas de conservación de suelos.	1129	5.9%
		Ladera de montaña húmeda	Clima húmedo y semifrío. Materiales intrusivos con relieve de pendiente fuerte (>45%). Paramo.	Agricultura de subsistencia (cultivos de Haba, racacha, papa, olluco, choclo, arveja, trigo)	Bueno. El incremento de productividad requiere de medidas de conservación de suelos.	1419	7.5%
Área Total						19017	100%

Fuente: Elaboración propia

634896

639896

644896

649896

654896

659896



9410610

9405610

9400610

9395610

5°18'0"S

5°21'0"S

5°24'0"S

5°27'0"S

HUANCABAMBA

SONDORILLO

bhMT

bsMBT

bsPT

mtePT

mteT

SALITRAL

SAN MIGUEL DE EL FAIQUE

SAN JUAN DE BIGOTE

JARDINA
HUALTACAL
PUSMALCA

AGUA AZUL

GRANADILLO

LOS POTREROS

CHORRO BLANCO

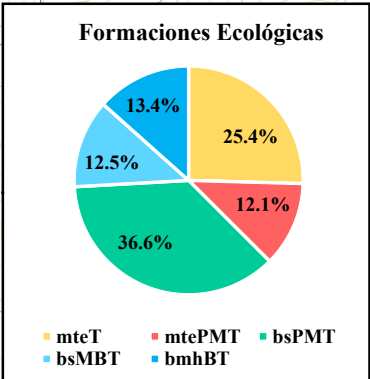
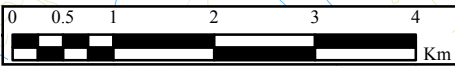
CRUZ BLANCA

LOS CHORROS

PUSMALCA
EL PICO

Descripción de Unidades Ecológicas y sectores de uso de la Subcuenca Pusmalca								
Piso Ecológico	Formación Ecológica	Sectores de uso	Características medio ambientales	Aprovechamiento de los recursos vegetales y edáficos		Color	Área (Ha)	Área (%)
				Actual	Potencial			
Piso Basal	monte espinoso Tropical (mteT)	Valle agrícola de costa	Clima semiárido y cálido; materiales coluviales, relieve con pendiente ligera (0-3%); suelos con fertilidad natural baja a media; agricultura intensiva y diversificada.	Cultivos de frutales como plátano, mango, guanabana; cultivos de frijoles (panamito); cultivo de plantas industriales y alimenticias (maíz y arroz).	Muy bueno. El incremento de la productividad requiere tecnificación.		1246	6.6
		Área de colinas	Clima semiárido y cálido; materiales coluviales, relieve de pendiente moderada (15-30%); suelos con fertilidad natural baja a media; agricultura de subsistencia.	Pastoreo estacional de ganado vacuno y caprino.	Pobre. Requiere medidas de conservación de suelos y agua.		933	4.9
		Laderas de montaña costera	Clima semiárido y semicálido. Materiales conglomerados, relieve de pendiente fuerte (30-45%); vegetación natural (bosque seco).	Bosque seco, extracción de madera (para leña), y escaso pastoreo de ganado vacuno y caprino.	Prácticamente nulo. No hay posibilidades de regeneración rápida de vegetación debido a la lluvia estival.		1089	5.7
		Laderas denudacionales de montaña subhúmeda	Clima semiárido y semicálido. Materiales conglomerados con relieve de pendiente moderada (15-30%); vegetación natural (bosque seco).	Bosque seco, extracción de madera (para leña), y escaso pastoreo de ganado vacuno y caprino.	Prácticamente nulo. No hay posibilidades de regeneración rápida de vegetación debido a la lluvia estival.		809	4.3
		Laderas de montaña subhúmeda	Clima semiárido y semicálido. Materiales conglomerados con relieve de pendiente moderada (15-30%); vegetación natural (bosque seco).	Bosque seco (Natural)	Prácticamente nulo. No hay posibilidades de regeneración rápida de vegetación debido a la lluvia estival.		762	4.0
Premontano	monte espinoso Premontano Tropical (mtePT)	Valle agrícola de costa	Clima semiárido y semicálido. Materiales conglomerados con relieve de pendiente moderada (15-30%); vegetación natural (bosque seco).	Cultivo de frutales como plátano, mango, guanabana y guaba. Cultivo de plantas industriales y alimenticias (maíz y arroz).	Muy bueno. El incremento de la productividad requiere tecnificación.		432	2.3
		Laderas denudacionales de montaña subhúmeda	Clima semiárido y semicálido. Materiales conglomerados e intrusivos, con relieve de pendiente moderada (15-30%); suelos con fertilidad media a alta; Agricultura temporal fraccionada - Pecuario extensivo.	Pastoreo extensivo y cultivos forestales	Pobre. La regeneración de la vegetación natural es lenta debido a la lluvia estival.		1404	7.4
		Laderas de montaña subhúmeda	Clima semiárido y semicálido. Pendiente fuerte (30 - 45%); Agricultura temporal y de subsistencia.	Agricultura temporal y uso pecuario. Bosque natural.	Prácticamente nulo. No hay posibilidades de regeneración rápida de vegetación debido a la lluvia estival.		456	2.4
		Laderas denudacionales de montaña subhúmeda	Clima subhúmedo y semicálido. Pendiente moderada (15-30%); Suelos con fertilidad media a alta. Pasto natural (uso pecuario).	Cultivos de frutales de naranja, chirimoya, palta y lucuma; sistemas agroforestales (cultivo de café) y sistema silvopecuario.	Bueno. El incremento de productividad requiere de medidas de conservación de suelos y agua. Algunas áreas son buenas para uso pecuario y otras para forestación.		5345	28.1
Montano Bajo	bosque seco Premontano Tropical (bsPT)	Laderas de montaña subhúmeda	Clima subhúmedo y semicálido. Pendiente fuerte (30 - 45%); Suelos con fertilidad media a alta. Pasto natural (uso pecuario).	Pecuario extensivo. Agricultura temporal semi intensiva (cultivos de frutales de naranja, chirimoya, palta y lucuma); cultivo de café en sistemas agroforestales.	Bueno. El incremento de productividad requiere de medidas de conservación de suelos y agua.		1618	8.5
		Laderas denudacionales de montaña subhúmeda	Clima húmedo y semifrío. Materiales conglomerados e intrusivo, pendiente fuerte (>45%); suelos con fertilidad media a alta. Pasto natural (uso pecuario).	Pecuario extensivo (dispuesto en inverna de las variedades de sudan, elefante y paja chica); Agricultura de subsistencia (cultivos de Haba, racacha, papa, olluco, chocho, arveja y trigo).	Bueno. El incremento de productividad requiere de medidas de conservación de suelos.		878	4.6
		Laderas de montaña subhúmeda	Clima húmedo y semifrío. Materiales conglomerados e intrusivos con relieve de pendiente fuerte (>45%); Pasto natural (uso pecuario).	Pecuario extensivo (dispuesto en inverna de las variedades de sudan, elefante y paja chica); Agricultura de subsistencia (cultivos de Haba, racacha, papa, olluco, chocho, arveja y trigo).	Bueno. El incremento de productividad requiere de medidas de conservación de suelos.		1497	7.9
Montano	bosque húmedo Montano Tropical (bhMT)	Laderas denudacionales de montaña subhúmeda	Clima húmedo y semifrío. Materiales intrusivos, Pendiente fuerte (>45%). Pasto natural (uso pecuario).	Agricultura de subsistencia (cultivos de Haba, racacha, papa, olluco, chocho, arveja y trigo).	Bueno. El incremento de productividad requiere de medidas de conservación de suelos.		1129	5.9
		Laderas de montaña subhúmeda	Clima húmedo y semifrío. Materiales intrusivos, Pendiente fuerte (>45%). Paramo.	Agricultura de subsistencia (cultivos de Haba, racacha, papa, olluco, chocho, arveja y trigo).	Bueno. El incremento de productividad requiere de medidas de conservación de suelos.		1419	7.5
ÁreaTotal							19017	100.0

LEYENDA	
	Límite de Zonas de Vida
	Curvas de Nivel
	Ríos
	Subcuenca Pusmalca
	Distritos



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL		
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO		
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL		
TESIS: Análisis Comparativo de la erosión hídrica por los métodos de USLE y varillas en la subcuenca del río Pusmalca – Piura		
Mapa Ecológico		
Elaborado por:	Bach. Orlando Benites Flores	Fecha: 29/08/16
Asesor:	Dr. Jhon Walter Gomez Lora	Escala: 1:75,000
Datum Horizontal:	WGS 84	17 SUR
Fuente:	Elaboración Propia	Cartas Nacionales Escala 1:100 000 - IGN
		11

4.3.11. Cobertura Vegetal

La subcuenca Pusmalca comprende seis (6) clases de biomásas, tales como Agricultura, Agroforestería, Bosque, Matorral, Páramo y Pastos. Entre las que podemos diferenciar dos grandes grupos: las inducidas por acción del hombre (Agricultura, Agroforestería y pastos cultivados) y las formaciones naturales propias de la interacción de factores como el clima, fisiografía, geomorfológico, entre otros.

❖ Agricultura

En esta categoría se diferencian dos (2) tipos de agricultura: intensiva y temporal, la primera hace referencia a localidades bajas aptas para el desarrollo de diversos frutales, así como cultivos de maíz y arroz. En la segunda se presentan actividades de tipo seco (cultivos de ciclo vegetativo corto). Comprende 2459 ha (12.9%) del área de la subcuenca.

Además, la agricultura orgánica en la subcuenca se lleva a cabo mediante los cultivos de Banano, Cacao, Café Pergamino y Naranja. Ver Cuadro N° 40

Cuadro N° 40: Productores agrícolas con cultivos permanentes que cuentan con certificación orgánica en la campaña agrícola agosto 2012

Cultivo permanente	Total de productores con certificación orgánica	Tipo de agricultura en la unidad agropecuaria	
		Bajo riego	En seco
Distrito de Canchaque	147	147	-
Banano	1	1	-
Cacao	26	26	-
Café Pergamino	128	128	-
Distrito de San Miguel de El Faique	31	30	1
Banano	3	3	-
Cacao	1	1	-
Café Pergamino	30	29	1
Naranja	5	5	-

Fuente: INEI - IV censo nacional agropecuario 2012

❖ Agroforesteria

Comprende 2107 ha (11.1%) del área total de estudio y se presentan en modo de establecimiento de sistemas agroforestales y/o silvopastoriles, en los que el cultivo principal es el café (*Coffea arabica*), en asociación con otros cultivos frutales (plátano, guaba y naranja), bambú y roble.

❖ Bosque

Este ecosistema comprende 6675 ha (35.1%) y se desarrolla en las secciones de pendiente moderada a fuerte (>15%); se ven afectados por la fragmentación ocasionada por actividades de cultivo de tipo temporales y/o extensivas.

Entre las especies más representativas, puede hacer mención al “Cedro” (*Cedrela montana*) y “palo pardo” (*Roupala cordifolia*); en los bordes de quebrada se presenta con abundancia el “matico” (*Piper sp.*), que tiene un uso medicinal, y entre las herbáceas resalta la *Tillandsia sp.*

❖ Matorral

Esta formación extiende sus 1650 ha (4.1%) en la parte media alta de la subcuenca Pusmalca, en el matorral húmedo se diferencia por el color verde durante todo el año debido a las constantes precipitaciones y la presencia de neblinas, con especies como: “laurel” (*Myrica pubescens*) “uña de gato” (*Piptadenia flava*), “hierba santa” (*Cestrum auriculatum*), “granadilla de monte” (*Pasiflora trifoliata*). Por otro lado, las especies vegetales características del matorral seco son: “agave” (*Agave americana*), “papelillo” (*Bougainvillea peruviana*).

❖ Páramo

Se ubica en la sección alta del área de estudio, comprende 788 ha (8.7%). Este ecosistema brinda servicios ambientales de gran importancia tales como provisión de agua y almacenamiento de carbono; presentan condiciones climáticas húmedas y frías, con

heladas frecuentes durante la noche. Se pueden apreciar las especies de “Ichu” (*Calamagrostis spp*), “lirio de cerro”, (*Orthrosanthus chimboracensis*) y “apio de montaña” (*Gentianella sp*).

❖ Pastos

Esta categoría se ubica en las secciones medias altas a altas de la subcuenca, comprende 5338 ha (21.8%), distribuidos en 3546 para pastos naturales, 1345 pastos cultivados y 447 en sistemas silvopastoriles.

Las especies se presentan en unidades denominadas “invernas”, entre las que podemos mencionar al “sudan” (*Sorghum sudanense*) y “pasto de elefante” (*Pennisetum purpureum*), aprovechados para la actividad agropecuaria.

En el Cuadro N° 41, se observa con mayor detalle las unidades de cobertura vegetal presentes en la subcuenca Pusmalca. **Ver Mapa N°12**

Cuadro N° 41: Unidades de cobertura vegetal de la subcuenca Pusmalca

Clase	Tipo de vegetación	Unidad vegetal	Rango de altitud	Símbolo	Área (km ²)	Área (Ha)	Área (%)
Agricultura	Agricultura intensiva	Agricultura intensiva	150–600	Ai	18.1	1813	9.5%
	Agricultura temporal	Agricultura temporal	800–1200	At	2.5	251	1.3%
		Agricultura temporal y pasto natural	800–1200	At-Pn	3.9	395	2.1%
Agroforesteria	Agroforesteria	Agroforesteria	1200-1600	Af	16.8	1682	8.8%
		Agroforesteria y silvopastura	1000-1400	Af-Si	4.3	425	2.2%
Bosque	Bosque húmedo	Bosque húmedo de montaña	2200-3000	BhM	9.9	993	5.2%
	Bosque seco	Bosque seco ralo de montaña	200-1000	BsRm	17.9	1787	9.4%
		Bosque seco Semi denso de montaña	200-1200	BssDm	37.2	3724	19.6%
		Bosque seco denso de montaña	400-700	BsDm	1.7	171	0.9%
Matorral	Matorral húmedo	Matorral húmedo	1600-2800	Mh	11.2	1118	5.9%
		Matorral húmedo y pasto natural	1600-3000	Mh-Pn	4.3	426	2.2%
	Matorral seco	Matorral seco	300-400	Ms	1.1	106	0.6%
Paramo	Paramo	Arbustal de paramo	2800-3200	AP	1.4	138	0.7%
		Pajonal de paramo con arbustos	3100-3600	PjP ar	1.6	159	0.8%
		Pajonal de Paramo	2900-3600	PjP	4.9	491	2.6%
Pastos	Pasto cultivado	Pasto cultivado	1500-2000	Pc	3.8	382	2.0%
		Pasto cultivado y agricultura Semi intensiva	1200-1700	Pc-Asi	9.6	963	5.1%
	Pasto natural	Pasto natural	800-2500	Pn	16.5	1653	8.7%
		Pasto natural y agricultura temporal	1000-1700	Pn-At	9.3	933	4.9%
		Pasto natural y matorral húmedo	1900-3200	Pn-Mh	5.9	589	3.1%
		Pasto natural y matorral húmedo en área degradada	1800-2900	Pn-Mh/Ad	3.7	371	2.0%
	Silvopastura	Silvopastura	800-1100	Si	4.5	447	2.4%
Área Total					190.2	19017.0	100%

Fuente: Elaboración propia

635067

640067

645067

650067

655067

660067

941174

9406174

9401174

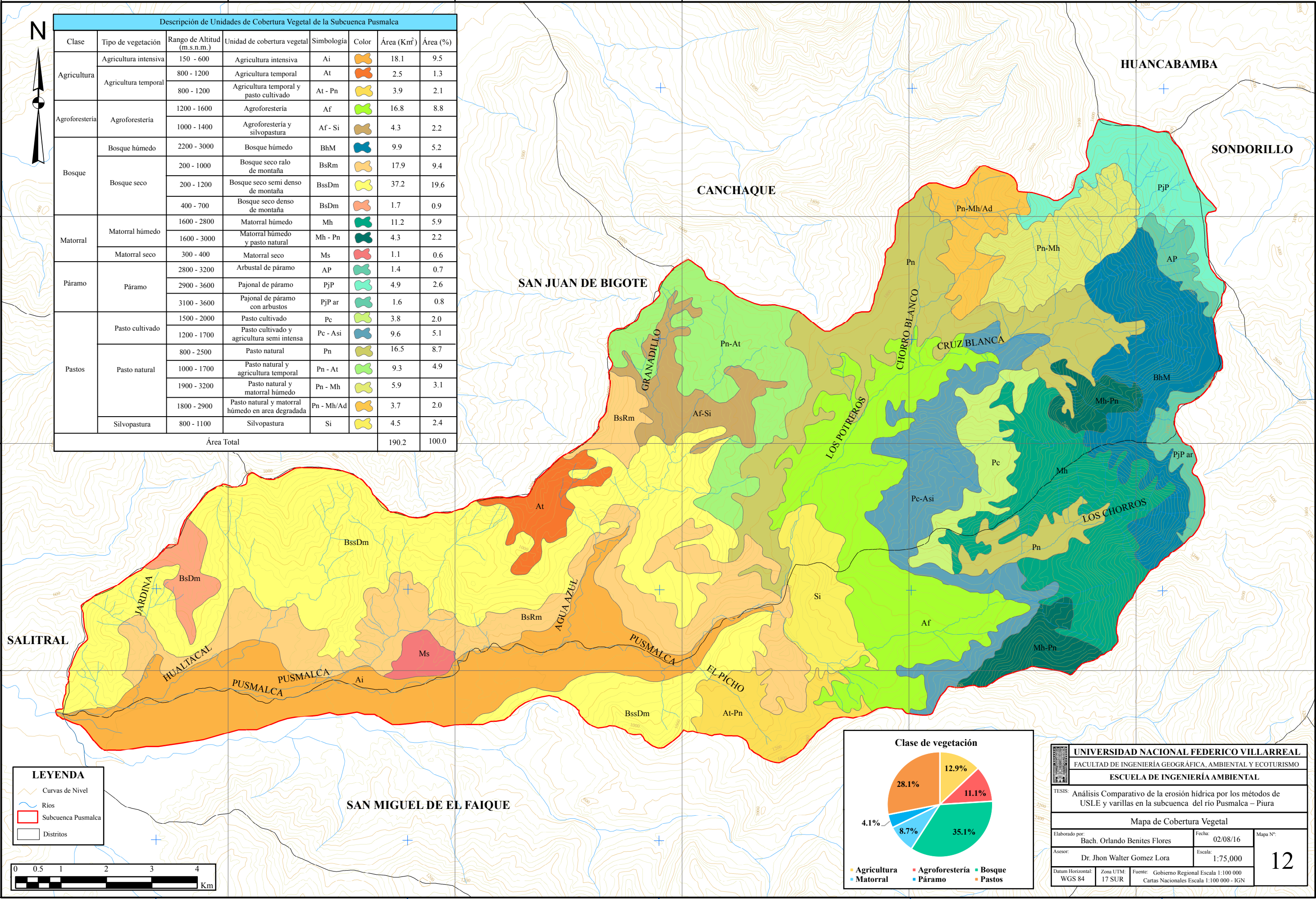
9396174

5°18'0"S

5°21'0"S

5°24'0"S

5°27'0"S



Descripción de Unidades de Cobertura Vegetal de la Subcuenca Pusmalca							
Clase	Tipo de vegetación	Rango de Altitud (m.s.n.m.)	Unidad de cobertura vegetal	Simbología	Color	Área (Km²)	Área (%)
Agricultura	Agricultura intensiva	150 - 600	Agricultura intensiva	Ai		18.1	9.5
	Agricultura temporal	800 - 1200	Agricultura temporal	At		2.5	1.3
		800 - 1200	Agricultura temporal y pasto cultivado	At - Pn		3.9	2.1
Agroforestería	Agroforestería	1200 - 1600	Agroforestería	Af		16.8	8.8
		1000 - 1400	Agroforestería y silvopastura	Af - Si		4.3	2.2
Bosque	Bosque húmedo	2200 - 3000	Bosque húmedo	BhM		9.9	5.2
	Bosque seco	200 - 1000	Bosque seco ralo de montaña	BsRm		17.9	9.4
		200 - 1200	Bosque seco semi denso de montaña	BssDm		37.2	19.6
		400 - 700	Bosque seco denso de montaña	BsDm		1.7	0.9
Matorral	Matorral húmedo	1600 - 2800	Matorral húmedo	Mh		11.2	5.9
		1600 - 3000	Matorral húmedo y pasto natural	Mh - Pn		4.3	2.2
	Matorral seco	300 - 400	Matorral seco	Ms		1.1	0.6
Páramo	Páramo	2800 - 3200	Arbustal de páramo	AP		1.4	0.7
		2900 - 3600	Pajonal de páramo	PjP		4.9	2.6
		3100 - 3600	Pajonal de páramo con arbustos	PjP ar		1.6	0.8
Pastos	Pasto cultivado	1500 - 2000	Pasto cultivado	Pc		3.8	2.0
		1200 - 1700	Pasto cultivado y agricultura semi intensa	Pc - Asi		9.6	5.1
	Pasto natural	800 - 2500	Pasto natural	Pn		16.5	8.7
		1000 - 1700	Pasto natural y agricultura temporal	Pn - At		9.3	4.9
		1900 - 3200	Pasto natural y matorral húmedo	Pn - Mh		5.9	3.1
		1800 - 2900	Pasto natural y matorral húmedo en area degradada	Pn - Mh/Ad		3.7	2.0
		Silvopastura	800 - 1100	Silvopastura	Si		4.5
	Área Total						190.2

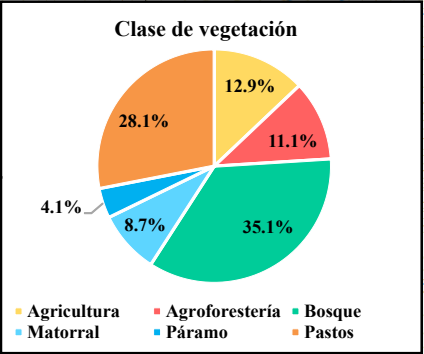
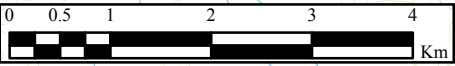
LEYENDA

Curvas de Nivel

Rios

Subcuenca Pusmalca

Distritos



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS:

Análisis Comparativo de la erosión hídrica por los métodos de USLE y varillas en la subcuenca del río Pusmalca – Piura

Mapa de Cobertura Vegetal

Elaborado por:

Bach. Orlando Benites Flores

Fecha:

02/08/16

Mapa N°:

Asesor:

Dr. Jhon Walter Gomez Lora

Escala:

1:75,000

Datum Horizontal:

WGS 84

Zona UTM:

17 SUR

Fuente:

Gobierno Regional Escala 1:100 000
Cartas Nacionales Escala 1:100 000 - IGN

12

4.3.12. Potencial minero y áreas de concesión minera

El área de estudio presenta un alto potencial minero debido al afloramientos de depósitos litológicos de índole ígneo tales como (tobas feldespáticas, material andesítico y piroclástico); los cuales se extienden principalmente, en la parte media y alta de la subcuenca Pusmalca. Se distinguen dos (2) grandes franjas metálicas:

❖ Pórfidos de Cu-Mo del cretácico superior

Pertenecen a la unidad estratigráfica del Grupo San Pedro, el tipo de mineralización es de origen magmático e hidrotermal, derivado de intrusiones de rocas hipobasales o pórfidos (forma de diques); constituyen una fuente de extracción de cobre y molibdeno

❖ Depósitos Epitermales de Au – Ag y depósitos polimetálicos con superposición epitermal del mioceno

Integra la unidad estratigráfica del Grupo Volcánico Llama, con una mineralización de tipo controlada estructuralmente (en fracturas de rocas) que se desarrolla a 1 o 2 km de la superficie. Constituyen una fuente de extracción de Au, Ag y depósitos polimetálicos como Cu, Pb, Zn, entre otros.

En el cuadro 42, se observa las unidades de franjas metálicas presentes en la subcuenca Pusmalca.

Cuadro N° 42: Franjas metálicas de la subcuenca Pusmalca

Franja metálica	Sustancia	Área en la subcuenca Pusmalca		Área en concesión dentro de la subcuenca Pusmalca	
		Ha	%	Ha	%
Pórfidos de Cu-Mo del Cretácico superior	Metálica	17700	93.1	2697	15.2
Epitermales de Au-Ag y depósitos polimetálicos con superposición epitermal del Mioceno		1317	6.9	678	51.5
Área Total		19017	100	3375	66.7

Fuente: ZEE – Piura, Elaboración propia

Con respecto a la ubicación de las nueve (9) concesiones, estas se ubican en la cabecera de cuenca, con mayor detalle sobre las subcuencas los Chorros (margen derecho) y Cruz Blanca (margen izquierda). Ocupando un área de 3375 Ha (17.7%); donde la concesión

de mayor área dentro de la subcuenca es Duran I con 800 Ha, de las cuales una gran parte se encuentra sobre la extensión de la franja de pórfidos de cobre.

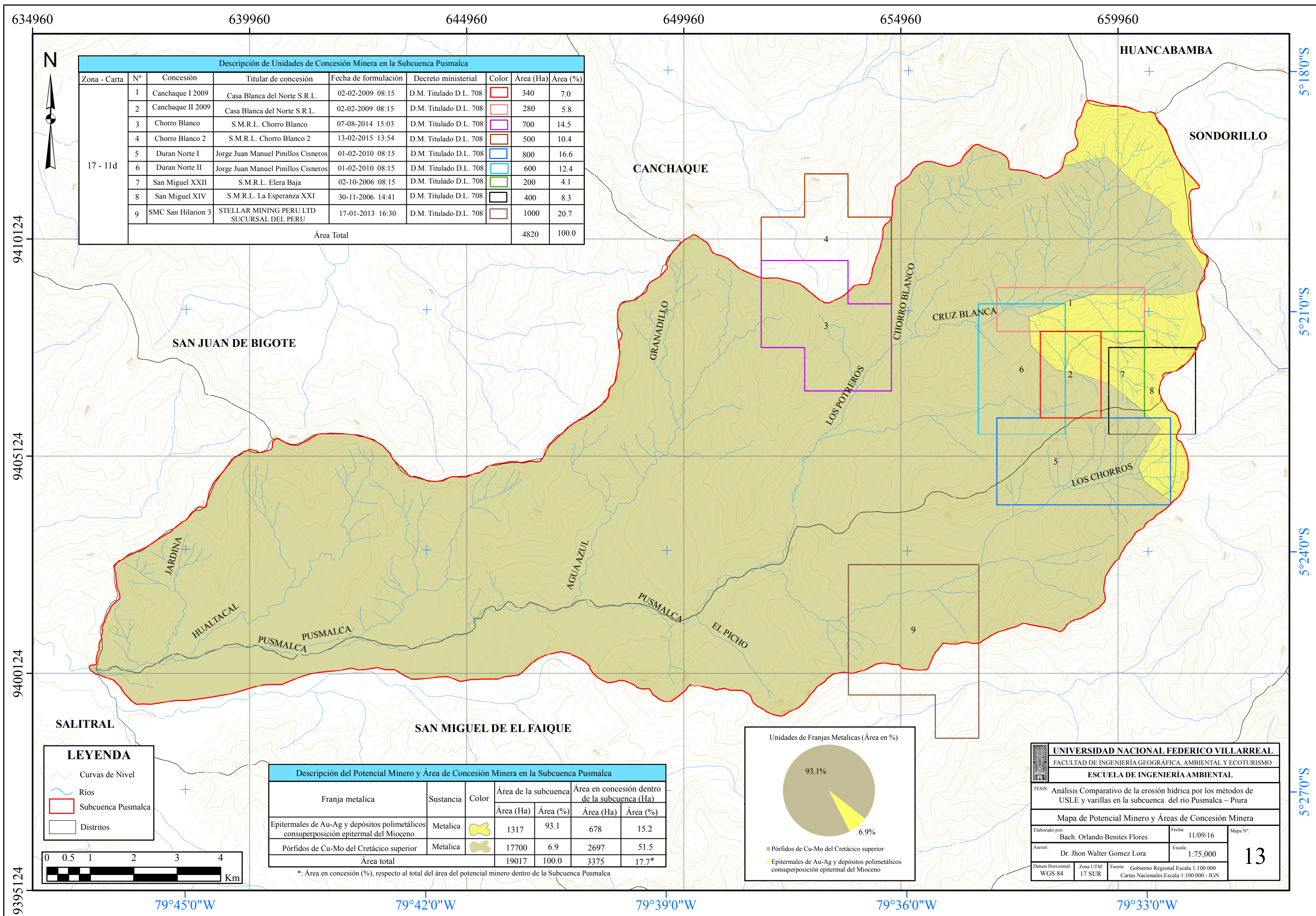
En el cuadro 43, se detallan las concesiones mineras presentes en la subcuenca Pusmalca.

Cuadro N° 43: Concesiones mineras de la subcuenca Pusmalca

Título de concesión	Titular de concesión	Formalización	Estado	Sustancia	Área	
					(Ha)	%
CANCHAQUE II 2009	CASABLANCA DEL NORTE S.R.L.	02/02/2009 08:15	D.M. Titulado D.L. 708	Metálica	340	7
CANCHAQUE I 2009	CASABLANCA DEL NORTE S.R.L.	02/02/2009 08:15	D.M. Titulado D.L. 708	Metálica	280	5.8
DURAN NORTE 2	JORGE JUAN MANUEL PINILLOS CISNEROS	01/02/2010 08:15	D.M. Titulado D.L. 708	Metálica	600	12.4
DURAN NORTE 1	JORGE JUAN MANUEL PINILLOS CISNEROS	01/02/2010 08:15	D.M. Titulado D.L. 708	Metálica	800	16.6
CHORRO BLANCO	S.M.R.L. CHORRO BLANCO	07/08/2014 15:03	D.M. Titulado D.L. 708	Metálica	700	14.5
CHORRO BLANCO 2	S.M.R.L. CHORRO BLANCO 2	13/02/2015 13:54	D.M. Titulado D.L. 708	Metálica	500	10.4
SAN MIGUEL XXII	S.M.R.L. ELERA BAJA	02/10/2006 08:15	D.M. Titulado D.L. 708	Metálica	200	4.1
SAN MIGUEL XXIV	S.M.R.L. LA ESPERANZA XXI	30/11/2006 14:41	D.M. Titulado D.L. 708	Metálica	400	8.3
SMC SAN HILARION 3	STELLAR MINING PERU LTD SUCURSAL DEL PERU	17/01/2013 16:30	D.M. Titulado D.L. 708	Metálica	1000	20.7
Área Total					4820	100.0

Fuente: INGEMMET, Elaboración propia

Para mayor especificación, se hace referencia al mapa de potencial minero y áreas de concesión minera. **Ver Mapa N°13**



4.3.13. Diagnostico socioeconómico

❖ Perfil Demográfico

La subcuenca está comprendida sobre los distritos de San Miguel de El Faique, ambos están catalogados como de extrema pobreza, además la tasa de crecimiento ha ido decreciendo; esto se justifica debido a las medidas sociales y económicas que se han ido aplicando, principalmente con apoyo de ONGs; además de las constantes migraciones a la ciudad para acceder a mejores niveles de educación y salud. Ver Cuadros N°44 y N°45 y Gráfico N° 8

Cuadro N° 44: Población según distrito

Distritos	Área distrital (km ²)	Área ocupada por la subcuenca (190.2 km ²)	Población 2007	Tasa de crecimiento	Población total estimada al 30 de junio 2015
San Miguel de El Faique	207.6	53.2	9096	0	8994
Canchaque	311.4	137.0	8957		8235

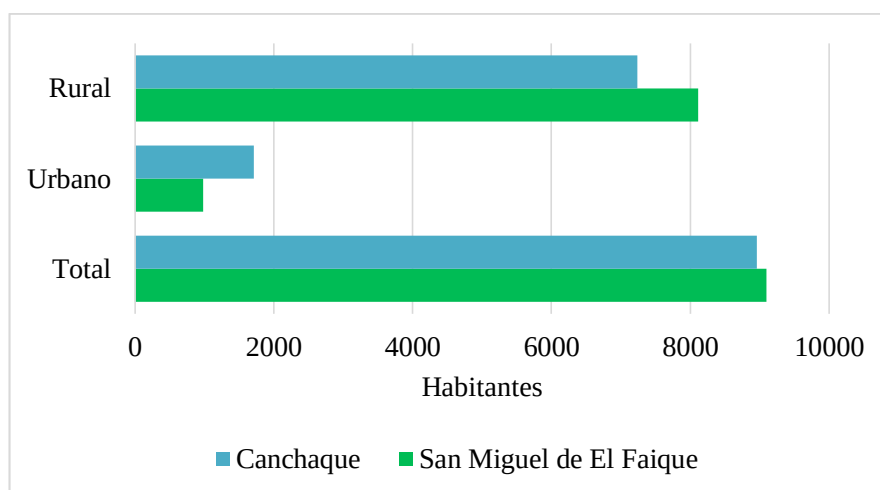
Fuente: Modificado de INEI - Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda

Cuadro N° 45: Población total por área urbana y rural, y sexo, según distrito

Distrito	Total			Urbano			Rural		
	Total	H	M	Total	H	M	Total	H	M
San miguel de El faique	9096	4553	4543	983	516	467	8113	4037	4076
Canchaque	8957	4616	4341	1716	845	871	7241	3771	3470

Fuente: INEI - Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda

Gráfico N° 8: Población total según área urbana y rural, según distrito



Fuente: Elaboración propia

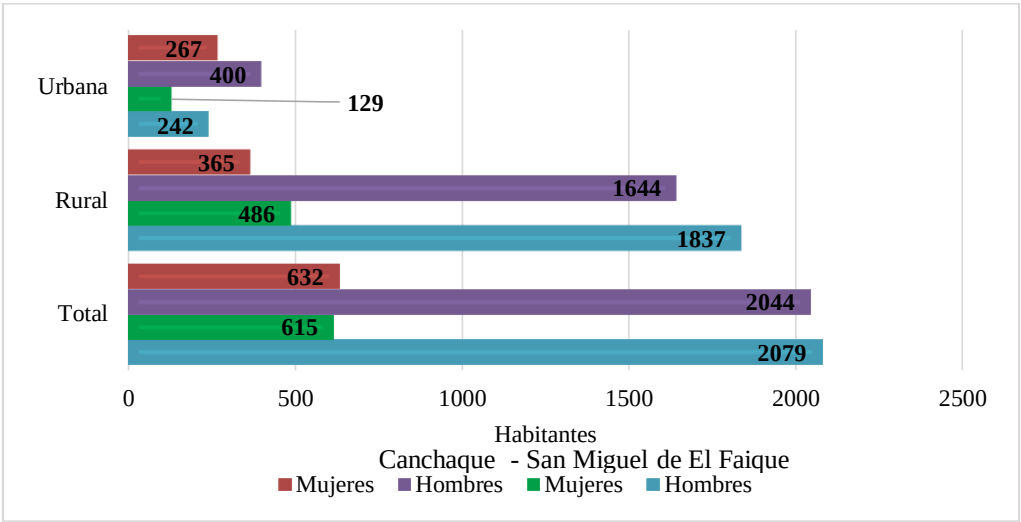
Respecto a la población económicamente activa, la mayor cantidad la concentra el área rural, donde el 75.1% y 86.2% corresponden a los distritos de Canchaque y San Miguel de El Faique, respectivamente. Es importante resaltar que la brecha entre hombres y mujeres es más sentida en el ámbito rural, y con menor incidencia en el urbano. Ver Gráfico N° 9 y Cuadro N° 46

Cuadro N° 46: Población económicamente activa (PEA) según distritos

Distrito	San Miguel de El Faique			Canchaque		
Genero	Total	Rural	Urbana	Total	Rural	Urbana
Hombres	2079	1837	242	2044	1644	400
Mujeres	615	486	129	632	365	267
Total	2694	2323	371	2676	2009	667

Fuente: INEI - Censos Nacionales 2007: XI de Población y VI de Vivienda

Gráfico N° 9: Población económicamente (PEA), según distritos



Fuente: Elaboración propia

❖ Centros poblados

La subcuenca contiene a los distritos de San Miguel de El Faique y Canchaque con 20 y 33 centros poblados, donde resalta chonta, El Tambo, Surupite y Tierra Blanca que se ubican en la cabecera de la subcuenca del río Cruz Blanca. **Ver Mapa N°14**

Cuadro N° 47: Centros Poblados del Distrito de Canchaque, dentro del ámbito de la subcuenca Pusmalca

Distrito	Nombre del Centro Poblado	Altitud	Este	Norte
Distrito de Canchaque	Potrerillo	445	645138	9402303
	El Encajonado	958	652399	9403492
	Paltón	949	650141	9404434
	La Perla	909	652778	9404518
	Paccha Alta	1477	654984	9404647
	Piedra Tableada	1166	650930	9405707
	Nueva Esperanza	1119	648847	9405873
	La Esperanza	1186	654290	9406342
	Hierba del Aire	1837	656862	9406783
	Tierra Blanca	2777	659799	9407142
	El Tambo	2933	660354	9407279
	Canchamachay	1664	657076	9408573
	Surupite	3097	661698	9408722
	Canchaque	1197	654421	9405558
	Palambla	1264	654063	9404204
	Santa Rosa	978	653045	9405003
	Los Potreros	1282	654857	9407510
	Chorro Blanco	1573	655592	9408747
	Pampa Minas	1552	656354	9407835
	Agua Blanca	1733	657930	9408473
	Pusmalca	1302	653093	9406576
	San Juan de La Afiladera	771	652087	9402811
	Maraypampa	1300	650559	9408163
	Agua Azul	1322	651606	9405648
	Almirante Miguel Grau	662	649108	9403749
	Pueblo Libre	478	647143	9402097
	Huabal	581	648994	9402209
	Hualtacal	249	641501	9401062
	Campanas	998	652124	9404366
	Chonta	2069	659293	9408525
	Las Minas	2607	658613	9406858
	Mishahuaca	1318	655079	9407528
San Miguel de El Faique	Mantequillera	233	640113	9399888
	Piedra Azul	303	644646	9400194
	Chanro	261	643017	9400278
	San Antonio	1356	655163	9400549
	Tambo	1147	654121	9400627
	Loma Larga Baja	388	646597	9400675
	Los Corrales	900	651772	9400686
	Puente Piedra	1299	655042	9400885
	Loma Larga Alta	588	649125	9401017
	La Flor	453	647762	9401140
	San Cristóbal	1373	655730	9401223
	Manirca	2070	658711	9401593
	Villa Flor	1053	653704	9402103
	Los Álamos	1182	654812	9402306
	Bellavista	781	652364	9402693
	Pampa Blanca	1239	654669	9402735
	San Miguel de El Faique	1220	654425	9402736
	Huayanay	1169	653839	9402994
	Sánchez Cerro	1457	656532	9403100
	El Huando	1413	655889	9403187

Fuente: Base de Datos del MINAM, disponible en
<http://geoservidor.minam.gob.pe/geoservidor/download.aspx>

634354

639354

644354

649354

654354

659354



941868

940688

940188

939688

5°18'0"S

5°21'0"S

5°24'0"S

5°27'0"S

HUANCABAMBA

SONDORILLO

CANCHAQUE

SAN JUAN DE BIGOTE



Centro Poblado Canchaque



Centro Poblado Palambra

SALITRAL

JARDINA

HUALTACAL

PUSMALCA

SAN MIGUEL DE EL FAIQUE

GRANADILLO

AGUA AZUL

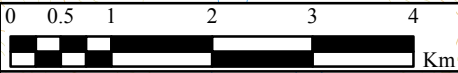
LOS POTREROS

LOS CHORROS

EL PICO

LEYENDA

- Centro Poblado
- Curvas de Nivel
- Rios
- Subcuenca Pusalca
- Distritos



Centro Poblado San Miguel de El Faique

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL			
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO			
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL			
TESIS: Análisis Comparativo de la erosión hídrica por los métodos de USLE y varillas en la subcuenca del río Pusalca – Piura			
Mapa de Centros Poblados			
Elaborado por:	Bach. Orlando Benites Flores	Fecha:	12/10/16
Asesor:	Dr. Jhon Walter Gomez Lora	Escala:	1:75,000
Datum Horizontal:	WGS 84	Zona UTM:	17 SUR
Fuente:	MINAM - Geoservidor	Cartas Nacionales	Escala 1:100 000 - IGN
			14

4.3.14. Capacidad de uso mayor

La subcuenca contiene cinco (5) grupos de suelo según su capacidad de uso mayor, que se presentan a modo de unidades no asociadas con un área de 14713 Ha (77.4%), y de igual manera se presenta unidades asociadas con una extensión de 4304 Ha (22.6%) del área de estudio; ambas presentan limitaciones por riego y erosión. Ver Cuadro N° 48

❖ Tierras aptas para cultivo en limpio (A2)

Se extiende con un área de 2189 Ha (11.5%), estas tierras presentan las mejores características edáficas, topográficas y climáticas de la zona, para el establecimiento de una agricultura de tipo intensiva, en base a especies anuales o cultivos de corto periodo vegetativo. Presenta suelos profundos a muy profundos, de textura moderada, de relieve plano a ligeramente ondulado.

Sus limitaciones se deben a la deficiencia de nutrientes disponibles, especialmente nitrógeno; escasa disponibilidad de agua para riego durante los meses de abril a diciembre, conjuntamente con problemas de erosión.

Con el fin de corregir las deficiencias de nutrientes se recomienda la aplicación de abonos orgánicos, tipo estiércol, residuos de cosecha. Rotación de cultivos tales como leguminosas-granos-tuberosas- leguminosas-cereales, etc. y la aplicación de un riego tecnificado para suplir la baja disponibilidad de agua.

Especies recomendadas son maíz amarillo, frejol, palmar, espárrago, lenteja, girasol, camote, cucurbitáceas, hortalizas, algodón, caña de azúcar, forrajes, etcétera; arroz solo en la época de lluvia o avenida de los ríos, donde existe abundancia agua de riego.

❖ Tierras aptas para cultivo permanente (C3)

Comprende una superficie de 4263 Ha (22.4%), estas tierras baja calidad agroecológica que incluye suelos de relieves ligeramente inclinados a empinados con pendientes de 8 a 45%; muy superficiales a profundos; de textura moderadamente pesada a moderadamente

fin, de reacción extremadamente ácida a moderadamente alcalina, con alta y baja saturación de bases.

Las limitaciones de mayor importancia están referidas principalmente al suelo, debido a la fertilidad baja que se traduce en bajo contenido de nitrógeno y fosforo; escasa disponibilidad de agua para riego durante los meses de abril a diciembre, conjuntamente con problemas de erosión que ocasionan la pérdida de la capa superficial, que es la parte más rica en nutrientes, principalmente en aquellos suelos de ladera que se encuentran en pendientes mayores al 15%.

Con el fin de corregir las deficiencias de nutrientes se recomienda seguir los mismos lineamientos para el grupo anterior. Además de cultivos en fajas o surcos en sentido transversal a la pendiente y el uso de barreras vivas. Más aún, se sugiere el establecimiento de terrazas de formación lenta para el control de la erosión.

Especies recomendadas, además de los anteriores, son caducifolias, cítricos, granadilla, plátano, chirimoya, guanábana y café.

❖ Tierras de protección (X)

Comprende una extensión de 8261 Ha (43.4%). Agrupa a aquellas tierras con limitaciones extremas y por ellos son relegadas a otros propósitos como áreas recreacionales, lugares de belleza escénica, zonas de protección de vida silvestre y plantaciones forestales para protección de cuencas.

Estas tierras están conformadas por suelos muy superficiales a superficiales debido al relieve de pendiente superior a 30%; con abundante gravosidad, pedregocidad dentro y/o sobre el perfil, que limitan la profundidad efectiva de los suelos; de textura gruesa; drenaje excesivo; de reacción extremada a muy fuertemente ácida.

Los siguientes grupos se presentan en unidades asociadas:

❖ Tierras aptas para pastos (P2 – P3)

Presentan una media a baja calidad agroecológica, son aptas para el pastoreo, con prácticas moderadas de manejo y conservación del suelo. Incluye suelos de relieve moderado con pendientes de 8 a 15%; moderadamente profundos; de reacción moderadamente ácida.

Las limitaciones son referidas al suelo, con fertilidad natural media a baja, debido al bajo contenido de nitrógeno y fosforo.

Se aconseja seguir los mismos lineamientos para el grupo anterior. Además de utilizar racionalmente estas tierras y evitar su deterioro se recomienda evitar la excesiva carga animal y el sobre pastoreo; así como el control de la tala indiscriminada de las especies arbóreas y arbustivas existentes.

Se sugiere tratar de propagar especies exóticas de buena calidad que se adapten a las condiciones edáficas y ecológicas de la zona.

❖ Tierras para producción forestal

Estas Tierras por presentar serias limitaciones edáficas y topográficas son inapropiadas para su utilización con fines agropecuarios de cualquier tipo; pero que sí permiten su uso para la plantación o reforestación de especies forestales adaptadas al medio.

Sus limitaciones se deben a la presencia abundante de gravas, y/o piedras dentro o sobre el perfil que limitan la profundidad efectiva del suelo, baja fertilidad con deficiencia de nitrógeno y fosforo; el relieve con pendientes moderadas de 30 a 45%, que incrementa la susceptibilidad o riesgo a la erosión de los suelos por el incremento de la escorrentía superficial que se traduce en erosión hídrica, sobre todo en aquellas áreas, sin o con pobre cobertura vegetal.

Debido a las limitaciones se prioriza el uso de forestación y/o reforestación con especies maderables comerciales, industriales y/o medicinales, bien adaptadas a las condiciones ecológicas respectivas; siempre y cuando sean manejados con técnicas silviculturales apropiadas.

Especies recomendadas son el cedro (*Cedrela odorata*), caoba (*Swietenia macropylla*) y el romerillo (*Podocllrpus sp.*), eucalipto (*Eucaliptus glóbulus*, y pino (*Pinus Radiata*).

Ver Mapa N°15

Cuadro N° 48: Unidades de Capacidad de Uso Mayor de Tierras de la subcuenca Pusmalca

Unidades no asociadas (77.4%)						
Uso Mayor			Descripción	Suelos incluidos	Área (Ha)	Área (%)
Grupo	Clase	Limitación				
Tierras aptas para Cultivo en Limpio	A2	s(r)	Tierras aptas para cultivos en limpio, calidad Agrológica media. Limitación por suelo. Requiere riego.	Faique (Fq), Hualtaco (HC)	2189	11.5%
Tierras aptas para Cultivo Permanente (C)	C3	s	Tierras aptas para cultivo permanente, calidad Agrológica baja. Limitación por suelo.	Canchaque (Cn), Canchaque (Cn) - Pampa minas (PM)	2545	13.4%
		se	Tierras aptas para cultivo permanente, calidad Agrológica baja. Limitación por suelo y erosión.	Canchaque (Cn)	1644	8.6%
		se (r)	Tierras aptas para cultivo permanente, calidad Agrológica baja. Limitación por suelo y erosión. Requiere riego.	Hualtaco (HC)	74	0.4%
Tierras de protección (X)	X	Se	Tierras de protección. Limitación por suelo y erosión.	Misceláneo roca(R), Misceláneo roca- Pampa minas (R-PM), Misceláneo roca - Piedras grandes (R-PG)	8261	43.4%
Área Parcial (unidades no asociadas)					14713	77.4%
Unidades asociadas (22.6%)						
Uso Mayor			Descripción	Suelos incluidos	Área (Ha)	Área (%)
Grupo	Clase	Limitación				
Tierras aptas para Cultivo Permanente (C) y Pastos (P)	C3 - P2	s-se	Tierras aptas para cultivo permanente, calidad Agrológica baja - Tierras aptas para pastoreo, calidad agrológica media. Limitaciones por suelo y erosión.	Canchaque (Cn), Pampa minas (PM)	486.0	2.6%
	C3 - P3	se - se	Tierras aptas para cultivo permanente, calidad Agrológica baja - Tierras aptas para pastoreo, calidad agrológica baja. Limitaciones por suelo y erosión.	Canchaque (Cn), Pampa minas (PM)	460.0	2.4%
Tierras aptas para Pastos (P) y producción forestal (F)	P3 - F3	se - se	Tierras aptas para pastos, calidad agrológica baja - Tierras aptas para forestales, calidad agrológica baja. Limitaciones por suelos y erosión.	Canchaque (Cn) - Pampa minas (PM)	1042.0	5.5%
Tierras aptas para Pastos (P) y protección(X)	P3 - X	se - se	Tierras aptas para pastos, calidad Agrológica baja - Tierras de protección. Limitaciones por suelos y erosión.	Piedras grandes - Misceláneo roca (PG-R), Canchaque - Misceláneo roca (Cn-R), Pampa minas - misceláneo roca (PM-R).	1884.0	9.9%
Tierras aptas para Protección (X) y Pastos (P)	X - P3	se - se	Tierras de protección. Limitaciones por suelos y erosión - Tierras aptas para pastos, calidad Agrológica baja, limitación por suelo y erosión.	Misceláneo roca - Canchaque (R-Cn), Misceláneo roca- Pampa minas (R-PM).	432.0	2.3%
Área Parcial (unidades asociadas)					4304.0	22.6%
Área Total					19017.0	100.0%

Fuente: Elaboración Propia

634840

639840

644840

649840

654840

659840



941180

9406180

9401180

9396180

5°18'0"S

5°21'0"S

5°24'0"S

5°27'0"S

Descripción de Unidades de Capacidad de Uso Mayor de Suelos de la Subcuenca Pusmalca								
Unidades no asociadas (77.4%)								
Uso Mayor			Descripción	Simbología	Color	Suelos incluidos	Área (Ha)	Área (%)
Grupo	Clase	Limitación						
Tierras aptas para Cultivo en Limpio (A)	A2	s (r)	Tierras aptas para cultivos en limpio, calidad agroológica media. Limitación por suelo. Requiere riego.	A2 s(r)		Faique (Fq), Hualtaco (HC)	2189	11.5
Tierras aptas para Cultivo Permanente (C)	C3	s	Tierras aptas para cultivo permanente, calidad agroológica baja. Limitación por suelo.	C3 s		Canchaque (Cn), Canchaque - Pampa minas (Cn-PM)	2545	13.4
		se	Tierras aptas para cultivo permanente, calidad agroológica baja. Limitación por suelo y erosión.	C3 se		Canchaque (Cn)	1644	8.6
		se (r)	Tierras aptas para cultivo permanente, calidad agroológica baja. Limitación por suelo y erosión. Requiere riego.	C3 se(r)		Hualtaco (HC)	74	0.4
Tierras de Protección (X)	X	se	Tierras de protección. Limitación por suelo y erosión.	X se		Miscelanea roca (R), Miscelanea roca - Pampa minas (R-PM), Pampa Minas - Miscelanea roca (PM-R), Miscelanea roca - Piedras grandes (R-PG)	8261	43.4
Área Parcial (unidades no asociadas)*							14713	77.4
Unidades asociadas (22.6%)								
Uso Mayor			Descripción	Simbología	Color	Suelos incluidos	Área (Ha)	Área (%)
Grupo	Clase	Limitación						
Tierras aptas para Cultivo Permanente (C) y Pastos (P)	C3 - P2	s - se	Tierras aptas para cultivo permanente, calidad agroológica baja - Tierras aptas para pastoreo, calidad agroológica media. Limitaciones por suelo y erosión.	C3s-P2se		Canchaque (Cn), Pampa minas (PM)	486	2.6
	C3 - P3	se - se	Tierras aptas para cultivo permanente, calidad agroológica baja - Tierras aptas para pastoreo, calidad agroológica baja. Limitaciones por suelo y erosión.	C3se-P3se		Canchaque (Cn), Pampa minas (PM)	460	2.4
Tierras aptas para Pastos (P) y producción forestal (F)	P3 - F3	se - se	Tierras aptas para pastos, calidad agroológica baja - Tierras aptas para forestales, calidad agroológica baja. Limitaciones por suelos y erosión.	P3se-F3se		Canchaque (Cn) - Pampa minas (PM)	1042	5.5
Tierras aptas para Pastos (P) y protección(X)	P3 - X	se - se	Tierras aptas para pastos, calidad Agroológica baja - Tierras de protección. Limitaciones por suelos y erosión.	P3se-Xse		Piedras grandes - Miscelanea roca (PG-R), Canchaque - Miscelaneo roca (Cn-R), Pampa minas - Miscelaneo roca (PM-R), Canchaque - Miscelaneo roca (Cn-R)	1884	9.9
Tierras aptas para Protección (X) y Pastos (P)	X - P3	se - se	Tierras de protección. Limitaciones por suelos y erosión - Tierras aptas para pastos, calidad Agroológica baja, limitación por suelo y erosión.	Xse-P3se		Miscelanea roca - Canchaque (R-Cn), Miscelanea roca - Pampa minas (R-PM), Pampa Minas - Miscelanea roca (PM-R).	432	2.3
Área Parcial (unidades asociadas)*							4304	22.6
Área Total							19017	100.0

*: Área (%) respecto al área total de las unidades de capacidad de uso mayor

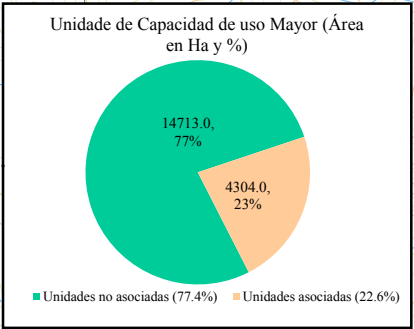
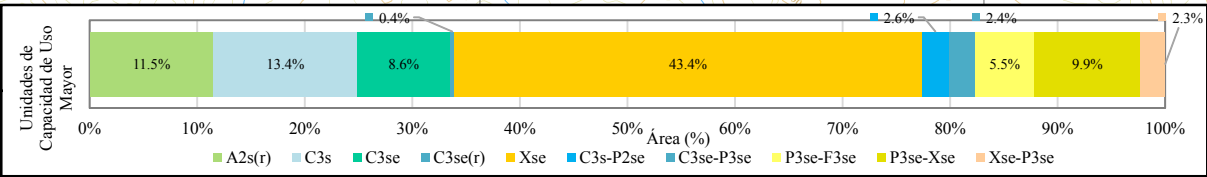
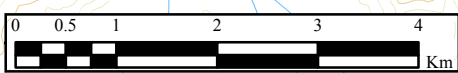
LEYENDA

Curvas de Nivel

Ríos

Subcuenca Pusmalca

Distritos



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS: Análisis Comparativo de la erosión hídrica por los métodos de USLE y varillas en la subcuenca del río Pusmalca – Piura

Mapa de Capacidad de Uso Mayor

Elaborado por: Bach. Orlando Benites Flores

Fecha: 13/09/16

Mapa N°:

Asesor: Dr. Jhon Walter Gomez Lora

Escala: 1:75,000

15

Datum Horizontal: WGS 84

Zona UTM: 17 SUR

Fuente: Gobierno Regional Escala 1:100 000 Cartas Nacionales Escala 1:100 000 - IGN

SAN JUAN DE BIGOTE

SAN MIGUEL DE EL FAIQUE

CANCHAQUE

HUANCABAMBA

SONDORILLO

SALITRAL

79°45'0"W

79°42'0"W

79°39'0"W

79°36'0"W

79°33'0"W

4.3.15. Deforestación

Una de las razones principales de la pérdida de suelo es el cambio de uso de suelo, principalmente por extensión de frontera agrícola y/o pastoril, mediante la deforestación en bosques primarios que reduce su área y genera un posterior deterioro del suelo.

Cuadro N° 49: Área total y área deforestada según unidad hidrográfica

Unidad Hidrográfica	Área Total		Área deforestada	
	Ha	%*	Ha	%**
Microcuenca San Antonio	3125.6	16.4%	1113.0	35.6%
Subcuenca Pusmalca Baja	6204.9	32.6%	2513.5	40.5%
Subcuenca Los Potreros	6400.7	33.7%	2023.8	31.6%
Microcuenca Agua Azul	3285.7	17.3%	1436.6	43.7%
Subcuenca Cruz Blanca	2967.4	15.6%	608.2	20.5%
Área total	19016.9	100.0%	7086.9	-

Fuente: Elaboración Propia

*: Determinado en función al área total de la subcuenca Pusmalca

**: Determinado en función al área de cada unidad hidrográfica.

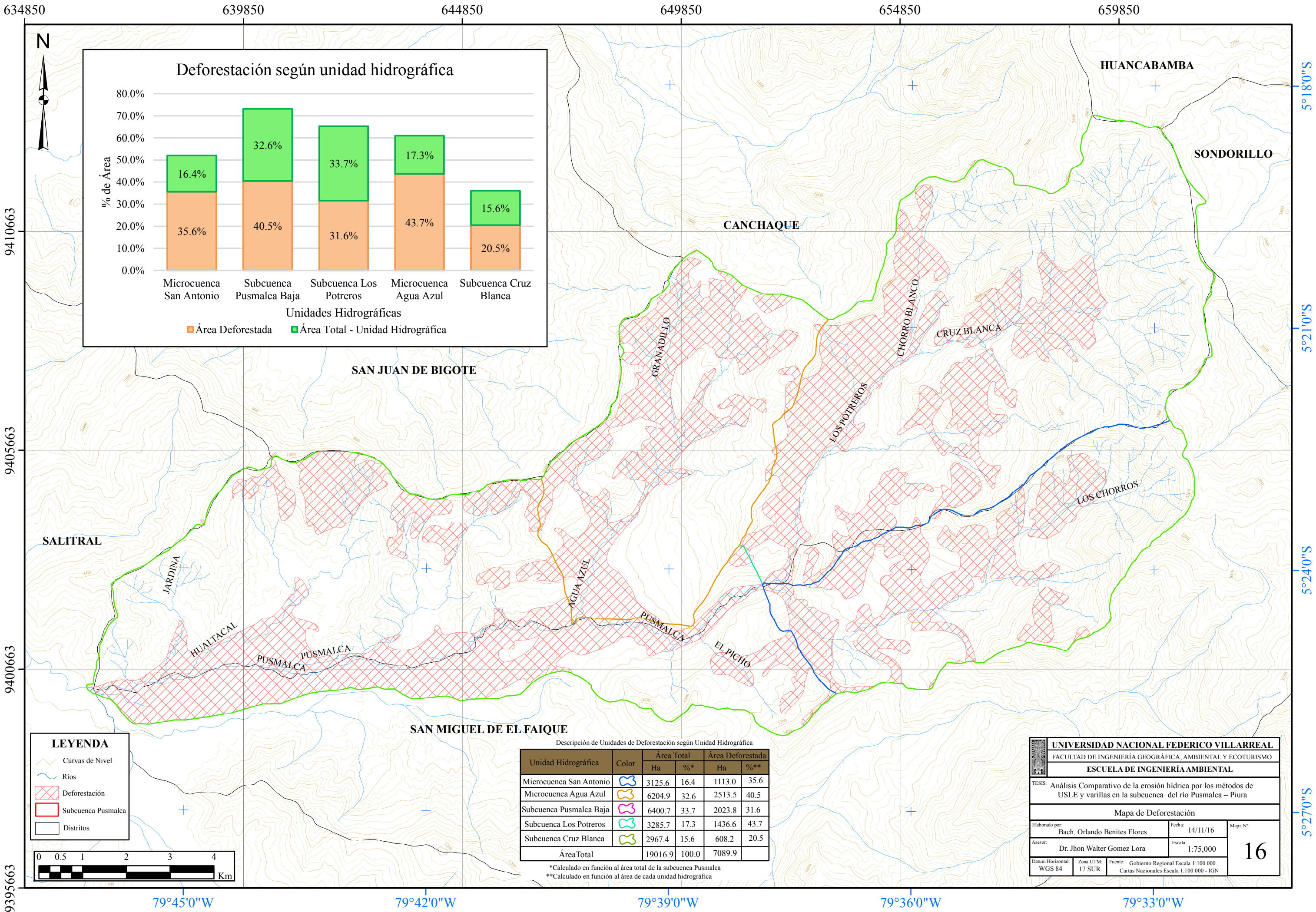
En el Cuadro N° 49 se observa que en la sección media - alta resalta la subcuenca Los Potreros es la que ocupa mayor área con 6400 Ha (33.7%) y tiene un área deforestada de 2024 Ha (31.6%), de este valor la quinta parte se encuentra en la cabecera de cuenca (subcuenca Cruz Blanca). Asimismo, la microcuenca San Antonio tiene un área similar a la subcuenca Cruz Blanca, pero presenta mayor área deforestada. **Ver Mapa N°16**

Por ello, en el año 2015 se contempló la reforestación con plántones de Roble y Café que ascienden a 3257 unidades cultivadas en el vivero municipal.

Cuadro N° 50: Plántones de especies a reforestar hasta abril 2015, en San Miguel de El Faique

Caserío	Área de Vivero	Plántones de Roble	Plántones de Café	Total
Vivero Municipal	30 m x 30 m = 900 m ²	757 roble	2500	3257

Fuente: Modificado de Área de Desarrollo Local – Municipalidad SMF



CAPÍTULO V

RESULTADOS

5. RESULTADOS

5.1. IDENTIFICACIÓN DE ZONAS DE EROSIÓN HÍDRICA

La identificación de las zonas de erosión hídrica se realizó mediante la contrastación del modelo USLE y los índices de erosión hídrica.

5.1.1. Aplicación de unidades integradas de territorio (UIT)

Las unidades integradas de territorio que se utilizaron para la subcuenca Pusmalca son: Isoyetas (Factor R), tipo de suelo (Factor K), pendiente (Factor LS) y cobertura vegetal (Factor C).

5.1.1.1. Procedimiento de integración temática

a. Elaboración de la plantilla

El proceso de integración temática comprende la elaboración de un mapa base para el proceso de integración de las capas mencionadas (Factor R, K, LS y C).

b. Elaboración de la sobrepuesta base

Su elaboración contempla la adecuación cartográfica a escala 1:75 000, mediante el software ArcGis 10.1, de cada parámetro evaluado, obteniéndose las siguientes capas:

- ❖ SB de Isoyetas - “Factor “R”
- ❖ SB de Suelos – “Factor K”
- ❖ SB de “Factor LS”
- ❖ SB de Cobertura Vegetal (“Factor C”)

c. Generación de unidades integradas de territorio

Este paso comprende la unificación de las capas de cada factor (Factor R, K, LS y C), obteniéndose la tasa de pérdida de suelo, la cual obedece a la clasificación propuesta por la FAO (Ver Tabla N° 3).

5.2. DETERMINACIÓN DE LA TASA DE EROSIÓN HÍDRICA (PRIMER ANÁLISIS)

5.2.1. Análisis de la influencia del Fenómeno El Niño en las precipitaciones máximas en la subcuenca Pusmalca.

La zona norte del país es constantemente afectada por la ocurrencia de El Niño. Este incide esencialmente en el aumento de precipitaciones y, por ende, ocasiona variabilidad a lo largo de su ciclo hidrológico.

Se procedió a realizar el análisis para verificar si su presencia genera una variación significativa en las tendencias de las precipitaciones en presencia de El Niño, durante sus manifestaciones de magnitudes moderado (1987,1992), fuerte (1973) y extraordinario (1983), para lo cual se escogió las estaciones de Barrios, Chignia, Canchaque y Huarmaca por su cercanía al área de estudio. El periodo base fue el de la estación Barrios (1973-1992/20 años).

Cuadro N° 51: Precipitaciones máximas 24 h (mm) con y sin Niño, periodo 1973-1992.

Estaciones	Barrios	Chignia	Canchaque	Huarmaca
Altitud (msnm)	364	556	1520	2397
Pp máx. sin Niño (mm)	87.4	164.4	121.7	90.3
Pp máx. con Niño (mm)	119.7	164.4	137.3	111.0
Variación (%)	37.0	0	12.8	22.9

Fuente: Registro pluviométrico del SENAMHI

Como se observa, las variaciones de precipitaciones máximas con y sin El Niño son ligeramente significativas para las estaciones de Barrios y Huarmaca (fundamentado en el marco teórico), lo cual indica que la influencia es puntual durante este periodo.

En cuanto a la estación Canchaque, esta presenta una variación que no es muy trascendental, y que representa el comportamiento de la sección media de la cuenca. Ver Cuadro N° 50.

5.2.1.1. Análisis en ocurrencia de El Niño de categoría extraordinaria

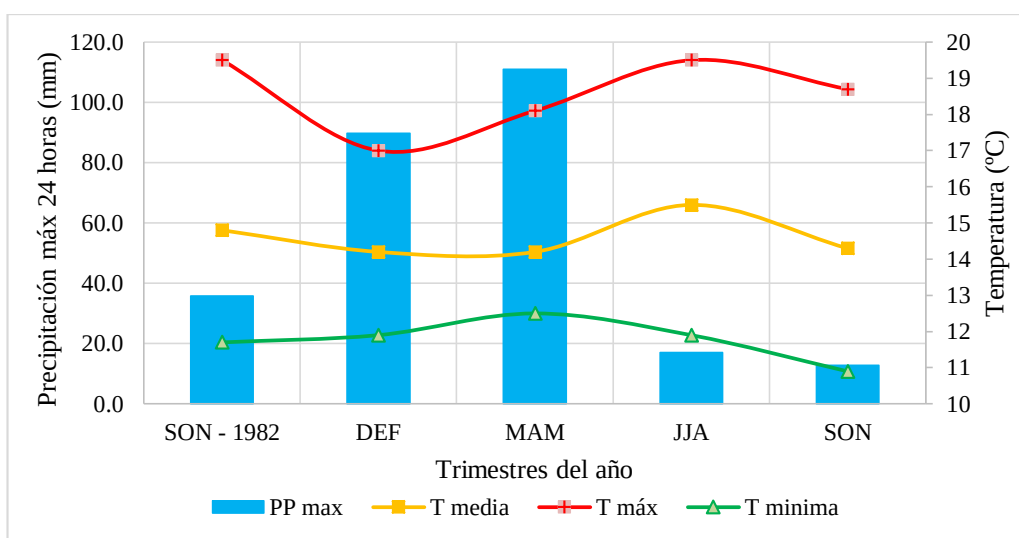
Con respecto a la estación Huarmaca, se verifico la incidencia de El Niño mediante la relación de temperatura máxima, media y mínima, frente a la precipitación máxima para el periodo 1982 – 1983, debido a la ocurrencia extraordinaria de dicho fenómeno. Ver Cuadro N° 52

Cuadro N° 52: Precipitación máxima en 24 horas y Temperatura máxima, media y mínima por trimestres para la estación Huarmaca, para el periodo 1982-1983

Variable	Periodo por trimestre del año				
	1982	1983			
	SON - 1982	DEF	MAM	JJA	SON
P _{max} , 24 horas	35.7	89.8	111.0	17.1	12.8
T media	14.8	14.2	14.2	15.5	14.3
T máx.	19.5	17	18.1	19.5	18.7
T mínima	11.7	11.9	12.5	11.9	10.9

Fuente: Modificado de SENAMHI, (2005)

Gráfico N° 10: Precipitación máxima en 24 horas y Temperatura máxima, media y mínima por trimestres para la estación Huarmaca, para el periodo 1982-1983



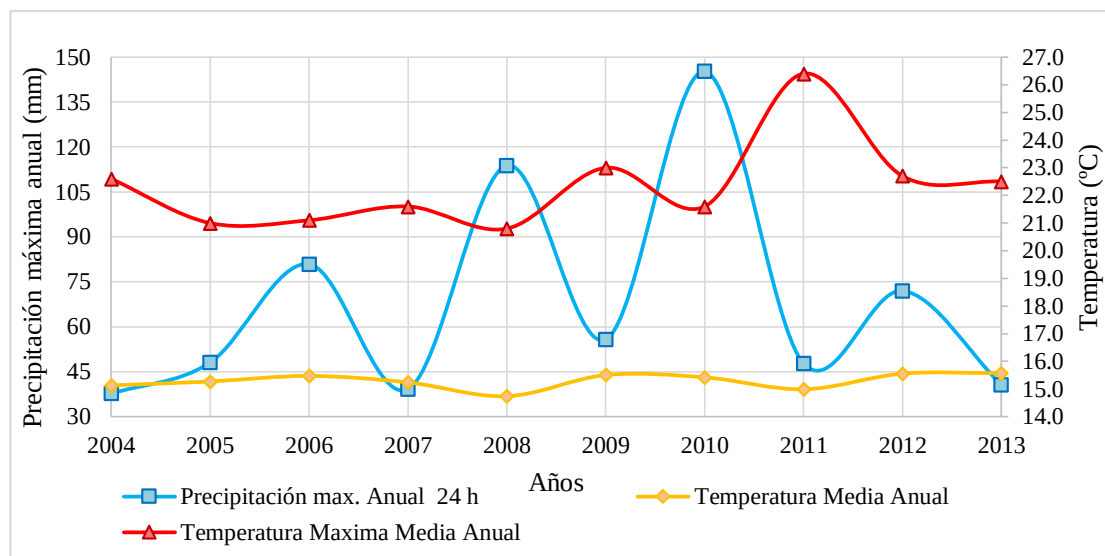
Fuente: Elaboración Propia

Como se aprecia en el Gráfico N° 10, la tendencia de temperatura máxima y media se presentan de manera directa a fines del trimestre Marzo-Abril-Mayo. Durante este periodo la precipitación máxima fue de 111 mm para el mes de Marzo, por lo que no hay una relación directa de la temperatura sobre las precipitaciones máximas.

5.2.1.2. Análisis en ocurrencia de El Niño de categoría moderada y débil

Se usó la información del registro de temperaturas de la estación Huarmaca para los periodos de 2004-2013, debido a la escasez de información para el periodo base de precipitación máxima.

Gráfico N° 11: Precipitación máxima anual vs Temperatura media y máxima media anual - Estación Huarmaca



Fuente: Elaboración propia

Durante el periodo 2004-2013, se presencié el FEN (Fenómeno el Niño) de intensidad moderada entre el 2009-2010, mientras que en el periodo 2004-2008 ocurrió el FEN de intensidad débil. Como se observa en Gráfico N° 11, las precipitaciones máximas en la estación Huarmaca presentan una relación inversa con respecto a la temperatura máxima y media anual. Se puede observar este hecho con mayor énfasis durante el periodo 2009-2010. Con esto, se demuestra que no es notoria la influencia de El Niño para la estación Huarmaca en la parte alta.

5.2.2. Grado de afectación de El Niño en la Subcuenca Pusmalca

Para determinar el grado de afectación de El Niño, se evaluó la tendencia de la variable de estudio ($P_{\max. 24H}$) para un periodo uniforme de 20 años (1973–1992). Se trabajó con periodos con ocurrencia de El Niño de grado moderado, fuerte, extraordinario y sin ocurrencia de este. Ver Cuadro N° 53

Cuadro N° 53: Categorías de El Niño durante el periodo 1973 -1992

Categoría	Años
Extraordinario	1983
Fuerte	1973
Moderado	1987 - 1992

Fuente: Adaptado de ENFEN, (2012)

- ❖ Con respecto a la precipitación máxima media, en el Cuadro N° 54 se aprecia la variación, la cual se hace más notoria en la estación Canchaque con un 15.3% y la variación promedio es de 11.1% para el área de estudio.

Cuadro N° 54: Precipitación máxima media con y sin ocurrencia de El Niño, periodo 1973 - 1992

Estaciones	Barrios	Chignia	Canchaque	Huarmaca
Con Niño	61.7	57.8	68.0	62.4
Sin Niño	56.2	51.0	59.0	59.1
Variación (%)	9.8	13.5	15.3	5.6

Fuente: Elaboración propia

- ❖ De manera análoga se evaluó el comportamiento de la variable mediante las distribuciones Gumbel y Nash y se obtuvo el promedio de ambas para contrastarlas.

Tabla N° 17: Promedio de Gumbel y Nash de $P_{\max. 24H}$ con ocurrencia de El Niño - periodo (1973-1992)

Tiempo de retorno (años)	Barrios	Chignia	Canchaque	Huarmaca
5	106.2	97.5	105.4	84.0
10	128.3	124.6	130.9	98.7
25	156.2	158.9	163.1	117.3
50	176.9	184.3	187.0	131.2
100	197.4	209.5	210.7	144.9

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 18: Promedio de Pmax. 24H sin ocurrencia de El Niño - periodo (1973-1992)

Tiempo de retorno (años)	Barrios	Chignia	Canchaque	Huarmaca
5	93.6	91.4	90.1	79.5
10	110.9	118.5	111.0	93.2
25	132.9	152.8	137.4	110.6
50	149.1	178.2	156.9	123.5
100	165.3	203.5	176.4	136.2

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 19: Variación de las Pmax. 24H con y sin ocurrencia de El Niño - periodo (1973-1992)

Tiempo de retorno (años)	Barrios	Chignia	Canchaque	Huarmaca
5	13.5%	6.7%	17.0%	5.6%
10	15.6%	5.1%	17.9%	5.9%
25	17.5%	4.0%	18.7%	6.1%
50	18.6%	3.4%	19.2%	6.2%
100	19.4%	3.0%	19.5%	6.3%
Promedio	16.9%	4.4%	18.5%	6.0%

Fuente: Elaboración propia

De las Tablas N° 17, N°18 y N°19, se puede observar que la variación para las estaciones Barrios, Canchaque y Huarmaca presentan una tendencia positiva con el tiempo de retorno, por otro lado, el comportamiento de la estación Chignia con el tiempo es decreciente.

La variación promedio para la subcuenca Pusmalca es de 11.5%; Además, la variación con respecto a la precipitación media ocurrida con y sin El Niño tiene un valor de 10% (Estación Canchaque) y un valor promedio de 13%. (Ver Tabla N° 15), por lo que su presencia no ocasiona mayores perturbaciones, particularmente para este análisis.

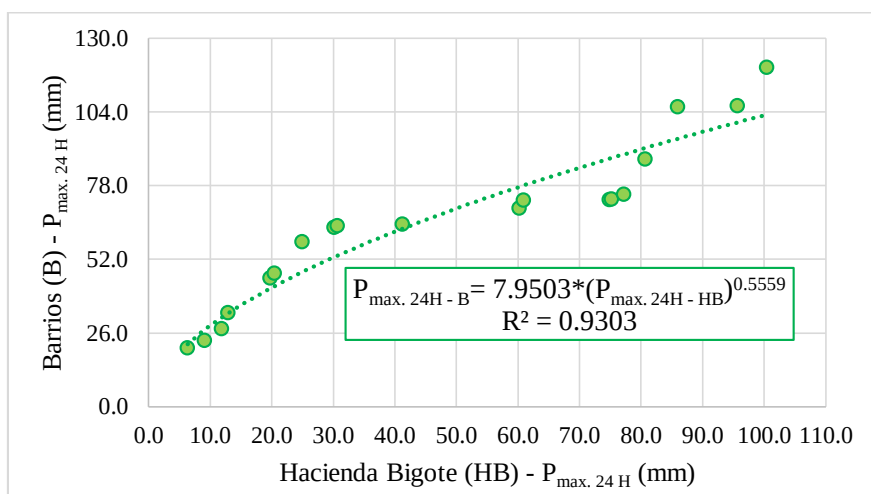
5.2.3. Extensión de la Precipitación máxima en 24 horas

Debido a que se dispone de un periodo corto de información para las estaciones Barrios, Chignia y Canchaque (ya que dejaron de funcionar en 1992 y 1994 respectivamente), se debe extender su información con el fin de homogenizar la serie histórica para los posteriores análisis. La extensión se realizó mediante una correlación de información entre estaciones que presenten similitud en la tendencia de precipitaciones máximas.

5.2.3.1. Extensión de la precipitación máxima de la estación Barrios

En el Gráfico N° 12 se aprecia el grado de correspondencia entre la estación Hacienda Bigote (HB) y la estación Barrios (B), la cual presenta una variación por excedencia de 12.4% entre su información generada y real.

Gráfico N° 12: Correlación de P_{max. 24H} entre las estaciones Barrios y Hacienda Bigote

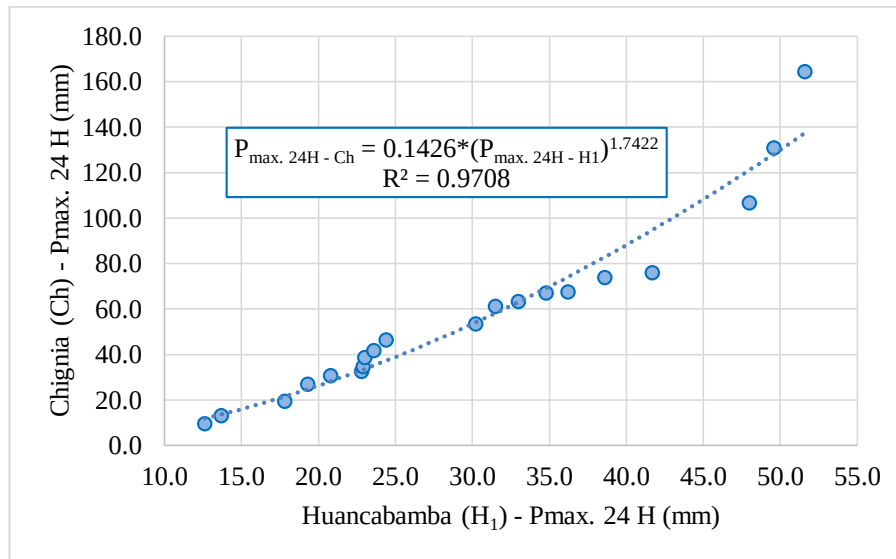


Fuente: Elaboración Propia

5.2.3.2. Extensión de la precipitación máxima de la estación Chignia

En su extensión se contempló el uso de la estación Huancabamba (H₁), debido a que presenta buena correlación, además de que la variación por excedencia es de 12.1% entre su información generada y real. Ver Gráfico N° 13

Gráfico N° 13: Correlación de Pmax. 24H entre las estaciones Chignia y Huancabamba



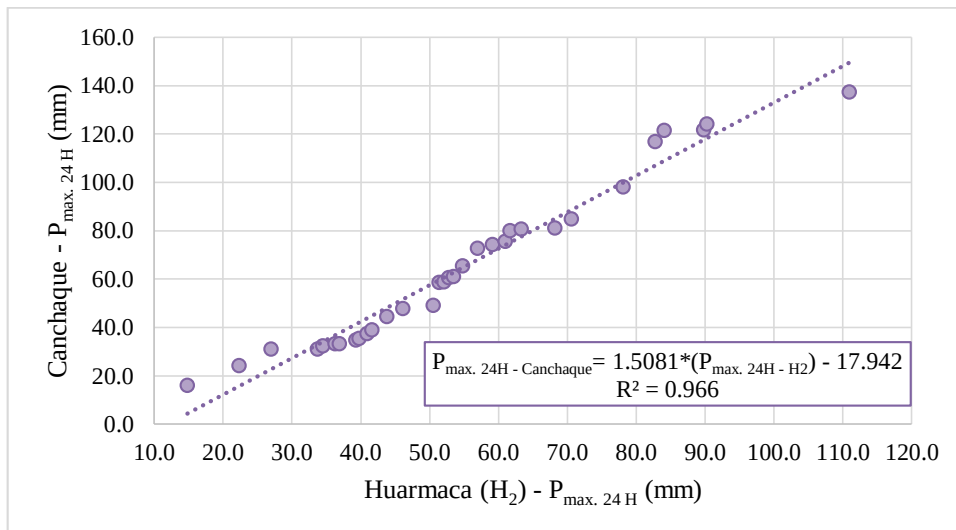
Fuente: Elaboración Propia

5.2.3.3. Extensión de la precipitación máxima de la estación Canchaque

Para la extensión de información de la estación Canchaque, al estar dentro de la subcuenca, se consideró la estación Huarmaca (H₂) por su cercanía y buena correlación.

La variación por excedencia promedio es 7.8%. Ver Gráfico N° 14

Gráfico N° 14: Correlación de Pmax. 24H entre las estaciones Canchaque y Huarmaca



Fuente: Elaboración Propia

5.2.4. Determinación de Estación Representativa

La selección de estaciones se debe a su correspondencia por la cercanía al área de estudio y su relevancia. Por ello, procedemos a verificar si la estación Canchaque, la cual se encuentra dentro de la subcuenca Pusmalca, es representativa de dicha área de estudio.

Este análisis se dividió en dos partes: en primer lugar, se demostró mediante un análisis de tiempo de retorno con la distribución de valores extremos tipo I con el fin de demostrar si existen variaciones. Para ello, se contrastaron dos periodos: uno corto (1973-1992) y uno largo (1973-2013); este último con información incompleta para la estación Canchaque, debido que dejó de funcionar en 1994.

La distribución de valores extremos tipo I – Gumbel presenta la siguiente fórmula:

Ecuación N° 44: Fórmula de distribución teórica de valores extremos tipo I - Gumbel

$$P_{m\acute{a}x} = \beta - 1/\alpha \ln(\ln(1/((T - 1)/T)))$$

Donde:

- ❖ $P_{m\acute{a}x}$: Precipitación máxima para un periodo de retorno en 24 horas.
- ❖ α, β : constantes.
- ❖ T : periodo de retorno en años.

Tabla N° 20: Precipitaciones máximas en 24 h para diferentes tiempos de retorno - Periodo Corto

Periodo de Retorno T (años)	Función de Probabilidad F(x)	Barrios	Chignia	Canchaque*	Huarmaca
5	0.80	89.7	94.0	102.2	81.9
10	0.90	111.2	121.7	128.5	96.9
25	0.96	138.4	156.8	161.7	115.9
50	0.98	158.5	182.8	186.3	129.9
100	0.99	178.6	208.6	210.8	143.9

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 21: Precipitaciones máximas en 24 h para diferentes tiempos de retorno - Periodo Largo

Periodo de Retorno T (años)	Función de Probabilidad F(x)	Barrios	Chignia	Canchaque**	Huarmaca
5	0.8	98.2	90.2	113.4	87.4
10	0.9	118.1	111.2	141.1	104.9
25	0.96	143.2	137.8	176.0	127.0
50	0.98	161.8	157.5	201.8	143.4
100	0.99	180.2	177.0	227.5	159.7

Fuente: Elaboración propia

*: Canchaque sin extender información.

** : Canchaque extendido con Huarmaca.

Como se aprecia en las Tablas N°20 y N°21, las precipitaciones máximas generadas para la estación Canchaque tienen un error medio de 9.2%, el cual es aceptable para este tipo de estudio.

En segundo lugar, se evaluó la representatividad, considerando los datos del Cuadro N°55. En esta parte, verificamos que la estación Canchaque presente valores similares a los obtenidos de los promedios de las precipitaciones máximas en 24 h semejante a la altura media del área de estudio.

En el periodo largo se escogió el grupo de Barrios y Huarmaca. Como se aprecia, la altitud promedio está en relación a la altura media de la subcuenca Pusmalca, la cual es 1323 msnm, con error de 4.4%; por ello se tomaron los promedios de las precipitaciones máximas obtenidas del periodo largo para luego contrastarlas con las obtenidas de la estación Canchaque en el periodo corto, teniendo como variación promedio 18.2%, la cual es aceptable.

Cuadro N° 55: Comparación de la precipitación máxima generada de Canchaque con el promedio de estaciones Barrios y Huarmaca

Estaciones	Altitud	Tiempo de retorno (años)				
		5	10	25	50	100
Barrios - Huarmaca	1381	92.8	111.5	135.1	152.6	170.0
Canchaque periodo corto	1520	102.2	128.5	161.7	186.3	210.8
Variación (%)		10.1	15.2	19.7	22.1	24.0

Fuente: Elaboración propia

Con todo lo anterior, se demuestra que la estación Canchaque es representativa de la subcuenca Pusmalca.

5.2.4.1. Clasificación de la lluvia

Con la finalidad de determinar el mes más lluvioso, para la estación Canchaque se usaron medias mensuales interanuales y se comprobó que el mes de marzo es el mes más lluvioso con un 32.1% del total de precipitaciones. Además, en los meses de enero a abril, se presentan las mayores precipitaciones, que en conjunto tienen un valor de 84%.

Complementario a esto, se usó el índice de concentración de precipitación (IPC), el cual también representa una aproximación de la agresividad de la lluvia, en este sentido se tiene un valor de 26.4 que lo clasifica como de fuerte estacionalidad. Ver Tabla N°22

Tabla N° 22: Clasificación del ICP, propuesto por Michiels y Gabriels, 1996

Índice de concentración de la precipitación (%)	Distribución estacional de la precipitación
<10	Uniforme
11-15	Estacionalidad moderada
16-20	Estacionalidad
21-50	Fuerte estacionalidad
>50	Aislado

Fuente: Adaptado de (Pascual, Año Vidal, Sánchez Díaz, Masiá Mira, & Arnau Rosalén, 2001)

5.2.5. Determinación de Precipitaciones máximas

En esta parte se divide la subcuenca en dos áreas con el fin de otorgar mejor rigidez y tendencia a las ecuaciones generadas según tiempo de retorno; se realizó nuevamente el análisis para diferentes tiempos de retorno mediante la distribución Gumbel y Nash, y se tomó el promedio de ambos por presentar mejor correlación para los diferentes tiempos de retorno. **Ver Anexo N° 03**

En la sección A se observa el anidamiento de lluvias, la cual se ubica en la sección media de la cuenca (800-1600 metros) y en la sección B el comportamiento es inversamente proporcional a la altitud. Ver Cuadro N° 56 y N° 57

Cuadro N° 56: Precipitación máxima en 24 horas para un tiempo de retorno de 5 años - método Nash

Estación	Zona	Altitud (msnm)	Tiempo de retorno (años)				
			5	10	25	50	100
Barrios	A	364	101.8	120.7	144.6	162.4	180.0
Chignia	A	556	94.5	115.1	140.9	160.2	179.3
Canchaque	A-B	1520	117.5	144.6	178.7	204.1	229.3
Huarmaca	B	2397	91.2	108.4	130.1	146.2	162.1

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 57: Pp máx. 24H (mm) según tiempo de retorno, por el promedio de métodos Gumbel y Nash

Estación	Zona	Altitud (msnm)	Tiempo de retorno (años)				
			5	10	25	50	100
Barrios	A	364	100.0	119.4	143.9	162.1	180.1
Chignia	A	556	92.3	113.1	139.4	158.8	178.2
Canchaque	A-B	1520	115.5	142.8	177.3	203.0	228.4
Huarmaca	B	2397	89.3	106.7	128.6	144.8	160.9

Fuente: Elaboración propia

De las distribuciones, se concluye que el método de Gumbel es más conservador en contraste al método de Nash, el cual otorga datos sobreestimados, pero define mejor la relación precipitación altitud conforme aumenta el tiempo de retorno, mientras que Gumbel no lo hace en todos los casos. Además, la variación entre ambas distribuciones asciende a 2.2%.

Por otro lado, a una altitud de 1500 metros, se tienen dos ecuaciones que representan de manera gráfica la altitud. Se considera para este resultado el promedio de ambas por presentar menor variación, con un valor promedio de 0.8%. Ver Cuadro N° 58

Cuadro N° 58: Precipitación máxima en 24 horas para diferentes tiempos de retorno para una altitud de 1500 metros, según sección A y B

Sección	Altitud (msnm)	Tiempo de retorno				
		5	10	25	50	100
A	1500	114.1	141.4	175.7	201.2	226.5
B	1500	116.1	143.7	178.5	204.3	230.0
	Promedio	115.1	142.6	177.1	202.7	228.2
	Variación (%)	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8

Fuente: Elaboración propia

En las Tablas N°23 y N°24 se detallan las ecuaciones para diferentes tiempos de retorno, según zonas en la subcuenca Pusmalca.

Tabla N° 23: Resumen de ecuaciones generadas para Pp máx. 24 H, según tiempo de retorno – Zona A

Tiempo de retorno	Ecuación	R2	R
5	$P_{p\text{máx.24 H}} = 0.0168 \cdot H + 88.95$	0.7808	0.8836
10	$P_{p\text{máx.24 H}} = 0.0237 \cdot H + 105.87$	0.8774	0.9367
25	$P_{p\text{máx.24 H}} = 0.0323 \cdot H + 127.25$	0.9315	0.9651
50	$P_{p\text{máx.24 H}} = 0.0387 \cdot H + 143.11$	0.9519	0.9757
100	$P_{p\text{máx.24 H}} = 0.0451 \cdot H + 158.85$	0.9646	0.9821

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 24: Resumen de ecuaciones generadas para Pp máx. 24 H, según tiempo de retorno – Zona B

Tiempo de retorno	Ecuación
5	$P_{p\text{máx.24 H}} = -0.0298 \cdot H + 160.83$
10	$P_{p\text{máx.24 H}} = -0.0412 \cdot H + 205.49$
25	$P_{p\text{máx.24 H}} = -0.0556 \cdot H + 261.92$
50	$P_{p\text{máx.24 H}} = -0.0663 \cdot H + 303.78$
100	$P_{p\text{máx.24 H}} = -0.0769 \cdot H + 345.34$

Fuente: Elaboración propia

La estación Canchaque es representativa de la subcuenca del río Pusmalca por poseer valores similares a los encontrados en función a la altitud media de la subcuenca, presentando un error medio de 3.3% para los diferentes tiempos de retorno. Ver Tabla N°25

Tabla N° 25: Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de retorno para la estación Canchaque y la subcuenca Pusmalca

Tiempo de retorno	Precipitaciones máximas generadas	Precipitaciones máximas de la estación Canchaque
5	111.2	115.5
10	137.2	142.8
25	170.0	177.3
50	194.3	203.0
100	218.5	228.4

Fuente: Elaboración propia

Determinación del error:

$$\frac{115.5 - 111.2}{111.2} = 0.039 = 3.9\%$$

$$\frac{142.8 - 137.2}{137.2} = 0.041 = 4.1\%$$

Se procedió a determinar las precipitaciones máximas diarias para diferentes tiempos de retorno calculados para la subcuenca Pusmalca, usando el método de curvas de nivel.

Así, por ejemplo, para un tiempo de retorno de 5 años se tiene:

$$Pp_{\max-Tr\ 5\ años} = (0.0168 * 275) + 88.95, \text{ con } R^2 = 0.781$$

$$\Rightarrow Pp_{\max-Tr\ 5\ años} = 93.6\ mm.$$

Pp media Pusmalca – (Tr 5 años)

$$= [93.6 * (29) + 97.3 * (16.8) + 100.7 * (15.8) + 104.1 * (18.0) + 107.4 * (18.4) + 110.8 * (16.5) + 115.1 * (14.1) + 110.2 * (12.2) + 101.2 * (16.9) + 89.3 * (12.9) + 77.4 * (9.8) + 62.5 * (10)] / 190.2 = 99.0$$

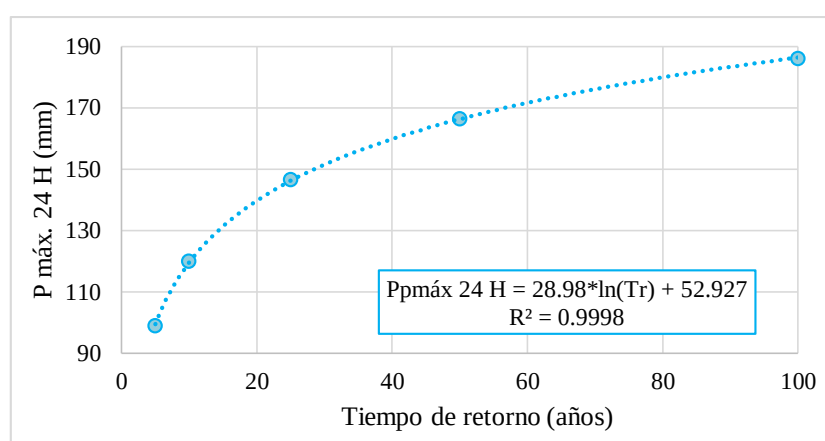
Tabla N° 26: Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de retorno por el método de Curvas de nivel

Rango de altitud	Altitud media (m)	Área (km ²)	Precipitaciones máximas para diferentes tiempos de retorno (mm)				
			TR: 5 años	TR: 10 años	TR: 25 años	TR: 50 años	TR: 100 años
150-400	275	29.0	93.6	112.4	136.1	153.8	171.3
400-600	500	16.8	97.3	117.7	143.4	162.5	181.4
600-800	700	15.8	100.7	122.5	149.9	170.2	190.4
800-1000	900	18.0	104.1	127.2	156.3	177.9	199.4
1000-1200	1100	18.4	107.4	131.9	162.8	185.7	208.5
1200-1400	1300	16.5	110.8	136.7	169.2	193.4	217.5
1400-1600	1500	14.1	115.1	142.6	177.1	202.7	228.2
1600-1800	1700	12.2	110.2	135.5	167.4	191.1	214.6
1800-2200	2000	16.9	101.2	123.1	150.7	171.2	191.5
2200-2600	2400	12.9	89.3	106.6	128.5	144.7	160.8
2600-3000	2800	9.8	77.4	90.1	106.2	118.1	130.0
3000-3600	3300	10.0	62.5	69.5	78.4	84.9	91.6
Área Total		190.2					
Precipitación máx. media (mm)			99.0	120.1	146.7	166.4	186.0

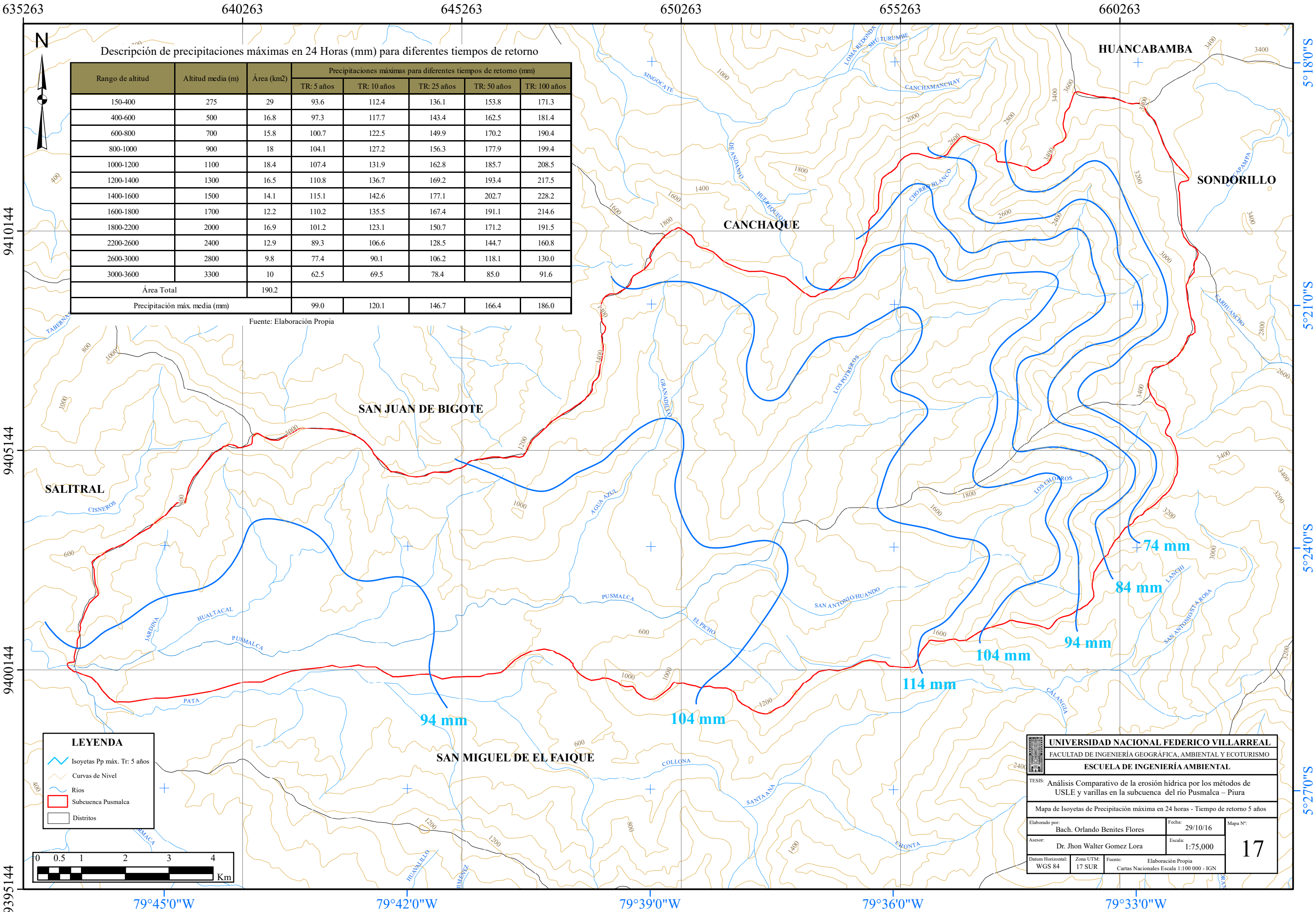
Fuente: Elaboración propia

En la Tabla N°26, se observa que en el rango de 1000 – 1800, se presenta el anidamiento de las precipitaciones máximas, lo que confirmaría una alta vulnerabilidad por ocurrencia de lluvias máximas en la zona media de la subcuenca (32.2% del área). Además, esta variable incide con mayor valor y se distribuye de manera amplia por debajo de los 1800 m (74% del área de estudio). Finalmente, se elaborará el mapa de Isoyetas de precipitaciones máximas para un tiempo de retorno de 5 años. **Ver Mapa N°17**

Gráfico N° 15: Precipitaciones máximas medias para diferentes tiempos de retorno



Fuente: Elaboración propia



5.2.6. Determinación de intensidades máximas (I_{30})

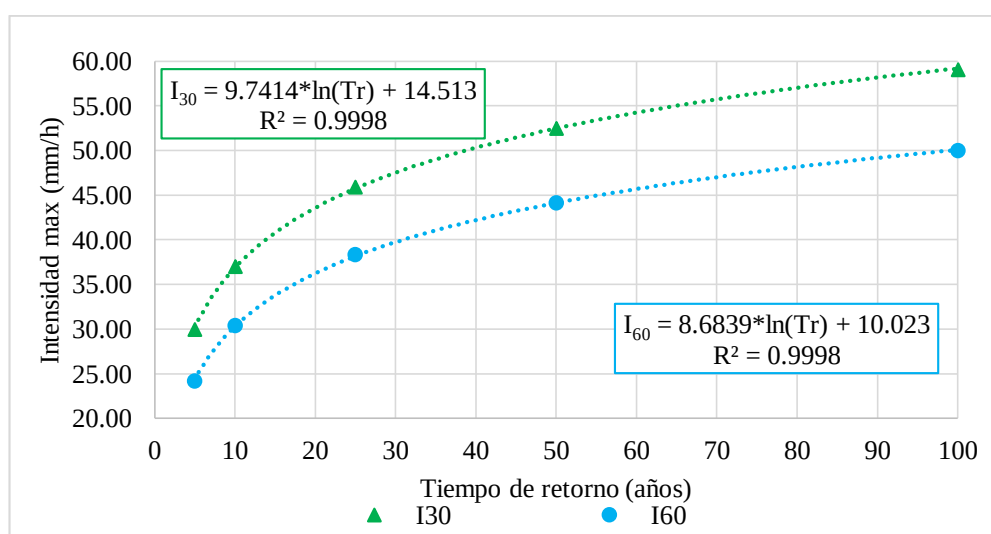
Para este análisis se usó la información proporcionada por Tadeo Rasmus (1994). Del mismo modo que se definió los criterios en el análisis anterior, estos fueron aplicados en este procedimiento, de manera que la información de las estaciones Chignia y Huarmaca muestran similitud en sus valores y tendencia, es decir, la estación Huarmaca es ligeramente superior al valor medio y por lo tanto expresa el comportamiento de las Intensidades máximas según altitud, en este sentido se tomará la media de las estaciones Chignia y Huarmaca. Ver Tabla N° 27 y Gráfico N°16

Tabla N° 27: Intensidades máximas en 30 y 60 min para diferentes tiempos de retorno de las estaciones Barrios, Chignia y Huarmaca

Tiempo de retorno (años)	Estaciones					
	Chignia (Ch)		Huarmaca (H ₂)		Promedio	
	I_{30}	I_{60}	I_{30}	I_{60}	I_{30}	I_{60}
5	28.8	24.2	31.1	24.1	30	24
10	35.6	30.0	38.4	30.8	37	30
25	44.1	37.4	47.7	39.2	46	38
50	50.5	42.8	54.5	45.5	53	44
100	56.8	48.2	61.3	51.7	59	50

Fuente: Adaptado de los registros pluviográficos expuestos por Tadeo Rasmus (1994)

Gráfico N° 16: Intensidad máxima para 30 y 60 min vs tiempo de retorno



Fuente: Elaboración propia

Ecuación N° 45: I_{30} máxima según su tiempo de retorno

$$I_{30} = 9.7414 * \ln(Tr) + 14.513$$

Se generaron ecuaciones usando las estaciones en mención según lo muestra la Tabla N° 28.

Tabla N° 28: Ecuaciones generadas de I_{30} según altitud para diferentes tiempos de retorno

TR	Ecuación de la intensidad	A	b
5	$I_{30} = a*(H)+b$	0.0012	28.11
10		0.0015	34.75
25		0.002	43.01
50		0.0022	49.29
100		0.0024	55.44

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se determinó la I_{30} máxima según tiempo de retorno por el método de curvas de nivel para la subcuenca Pusmalca, en donde la variación respecto a los valores promedios es de 0.9%. Ver Tabla N°29

Tabla N° 29: I_{30} máximas para diferentes tiempos de retorno por el método de Curvas de nivel

Rango de altitud (msnm)	Altitud media (msnm)	Área (km ²)	Intensidades máximas en 30 min para diferentes tiempos de retorno (mm/h)				
			TR: 5 años	TR: 10 años	TR: 25 años	TR: 50 años	TR: 100 años
150-400	275	29.0	28.4	35.2	43.6	49.9	56.1
400-600	500	16.8	28.7	35.5	44.0	50.4	56.6
600-800	700	15.8	28.9	35.8	44.4	50.8	57.1
800-1000	900	18.0	29.2	36.1	44.8	51.3	57.6
1000-1200	1100	18.4	29.4	36.4	45.2	51.7	58.1
1200-1400	1300	16.5	29.7	36.7	45.6	52.2	58.6
1400-1600	1500	14.1	29.9	37.0	46.0	52.6	59.0
1600-1800	1700	12.2	30.1	37.3	46.4	53.0	59.5
1800-2200	2000	16.9	30.5	37.8	47.0	53.7	60.2
2200-2600	2400	12.9	31.0	38.4	47.8	54.6	61.2
2600-3000	2800	9.8	31.5	39.0	48.6	55.5	62.2
3000-3600	3300	10.0	32.1	39.7	49.6	56.6	63.4
Área Total		190.2					
I30 máx. Media (mm/h)			29.7	36.7	45.7	52.2	58.6

Fuente: Elaboración propia

5.2.7. Determinación del Factor de Erosividad “R” (Mj/mm/ha/h)

Teniendo ya determinadas las intensidades máximas en 30 minutos de la subcuenca, se procede a hallar el factor de erosividad, para lo cual se utilizaron las fórmulas de Morgan y el modelo propuesto por Ramos Taipe, tomando en cuenta las precipitaciones máximas para diferentes tiempos de retorno. Las formulas se detallan a continuación:

Ecuación N°7: Fórmula de erosividad según Morgan (1974)

$$R = I_{30} \left(\frac{9.28 * P - 8.838}{1000} \right)$$

Para su correcta aplicación, se debe tener una erosividad media anual de (KE>25). Teniendo una I₃₀ máxima media anual de 30.7 mm/h para la subcuenca Pusmalca, reemplazamos en la ecuación:

Ecuación N° 6: Energía cinética de la lluvia

$$KE = 29.8 - \frac{127.5}{I_{30}} = 25.6 J/m^2/mm$$

- ❖ P: Precipitación media anual de la estación Canchaque, que es 839,1 mm
- ❖ I₃₀: Intensidad máxima en 30 minutos expresado en mm/h.
- ❖ R: erosividad de lluvia en Mj/mm/ha/h.

Método citado por Ramos Cayo, Taipe

Ecuación N°9: Fórmula de erosividad citada por Ramos Taipe, Cayo

$$R = 2.375(PD_2) + 0.513(PME_x) - 94.4$$

- ❖ PD₂: Precipitación máxima diaria con periodo de retorno en mm.
- ❖ PME_x: Valor medio interanual de la precipitación del mes más lluvioso de cada año, para Canchaque es de 262.8 mm.

Tabla N° 30: Factor R según el método citado por Ramos Taipe, para diferentes tiempos de retorno

Tiempo de retorno	Pp máx. diaria de la subcuenca	Factor de Erosividad según Ramos Taipe
5	99.6	276.9
10	119.7	324.6
5	146.2	387.7
50	166.3	435.4
100	186.4	483.1

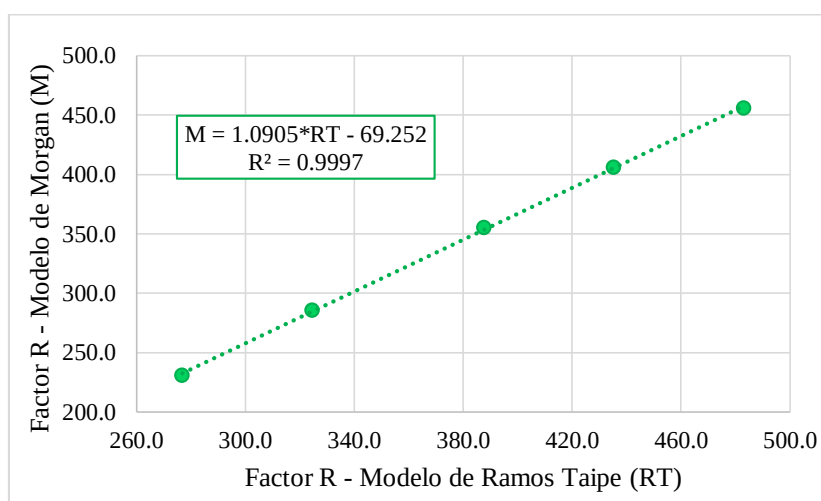
Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 31: Factor de erosividad (Morgan y Ramos Taipe)

Tiempo de retorno (años)	I ₃₀ máx. generada (mm/h)	Morgan (M)	Ramos Taipe (RT)	Promedio	Error (%)
5	29.7	231.0	276.9	253.9	20
10	36.7	285.8	324.6	305.2	14
25	45.7	355.2	387.7	371.4	9
50	52.2	406.1	435.4	420.7	7
100	58.6	456.0	483.1	469.5	6

Fuente: Elaboración propia

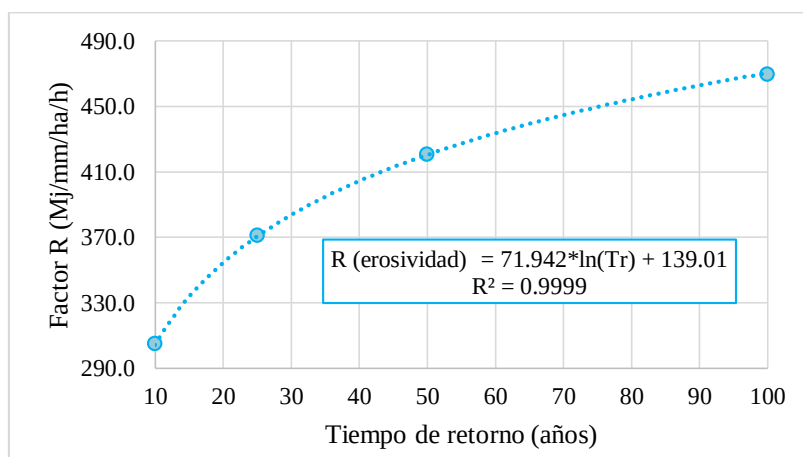
Gráfico N° 17: Correlación entre el modelo de Morgan y Ramos Taipe para el Factor R en diferentes tiempos de retorno



Fuente: Elaboración propia

Se determina el valor promedio entre las fórmulas de Morgan y Ramos Taipe, con el fin de disminuir el error promedio que es 11.2% a 5.2%, que es un valor aceptable al objetivo del estudio. **Ver Mapa N°18**

Gráfico N° 18: Factor de erosividad "R" para diferentes tiempos de retorno



Fuente: Elaboración propia

635361

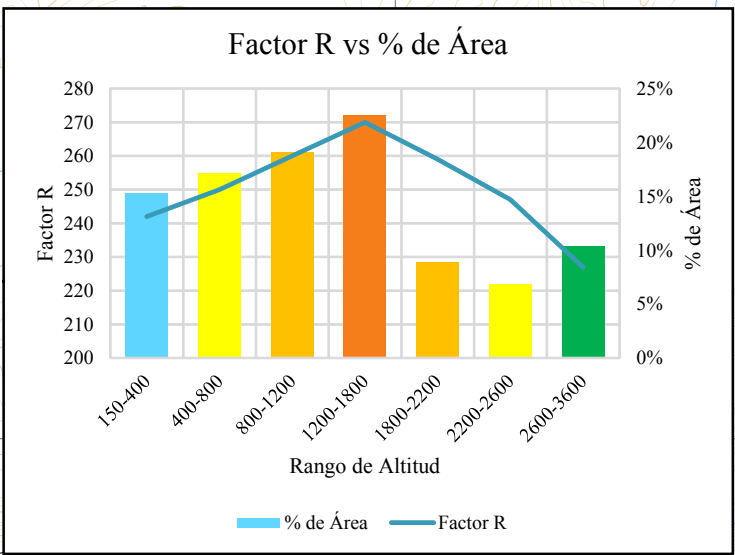
640361

645361

650361

655361

660361



9410210

9405210

9400210

9395210

SALITRAL

JARDINA

HUALTACAL

PUSMALCA

PUSMALCA

SAN JUAN DE BIGOTE

GRANADILLO

AGUA AZUL

PUSMALCA

EL PICO

CANCHAQUE

LOS POTREROS

CHORRO BLANCO

CRUZ BLANCA

LOS CHORROS

HUANCABAMBA

SONDORILLO

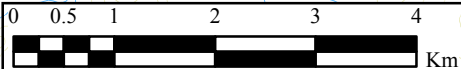
SAN MIGUEL DE EL FAIQUE

Descripción de unidades del Factor R (erosionabilidad) (Mj/mm/ha/h)

Sección	Rango	H media	Color	Factor R (promedio)	Clasificación	Área (Km²)	Área (%)
Subcuenca Baja	150 - 400	275		242	Bajo	29.0	15.2
	400 - 800	597		250	Medio	32.6	17.1
Subcuenca Media	800 - 1200	1001		260	Alto	36.3	19.1
	1200 - 1800*	1480		270	Muy Alto	42.8	22.5
Subcuenca Alta	1800 - 2200	2000		259	Alto	16.9	8.9
	2200 - 2600	2400		247	Bajo	12.9	6.8
	2600 - 3600	3053		227	Muy Bajo	19.8	10.4
Área Total						190.2	100.0

*Rango parcial, la subcuenca alta tiene un rango de 1600-3600

LEYENDA	
	Curvas de Nivel
	Rios
	Subcuenca Pusmalca
	Distritos



79°45'0"W

79°42'0"W

79°39'0"W

79°36'0"W

79°33'0"W

5°18'0"S

5°21'0"S

5°24'0"S

5°27'0"S

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL			
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO			
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL			
TESIS: Análisis Comparativo de la erosión hídrica por los métodos de USLE y varillas en la subcuenca del río Pusmalca – Piura			
Mapa de Erosividad (Factor R) - Tr: 5 años			
Elaborado por:	Bach. Orlando Benites Flores	Fecha:	29/10/16
Asesor:	Dr. Jhon Walter Gomez Lora	Escala:	1:75,000
Datum Horizontal:	WGS 84	Zona UTM:	17 SUR
Fuente:	Elaboración Propia	Cartas Nacionales	Escala 1:100 000 - IGN

18

5.2.8. Factor de erodabilidad (Factor K) (t/Mj/mm)

La evaluación de este factor se llevó a cabo en la etapa de campo mediante un muestreo de suelos en puntos distribuidos de manera aleatoria, con el fin de conocer la erodabilidad de la subcuenca Pusmalca. Estos muestreos se enviaron para su análisis en el laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertilización de la Facultad de Ingeniería Agrícola, en la Universidad Agraria la Molina. **Ver Anexo N° 04**

Cuadro N° 59: Ubicación de puntos de muestreos de suelos en la subcuenca Pusmalca

Zona	Coordenadas UTM		
	Este (m)	Norte (m)	Altitud (msnm)
Hualtaca	641371	9400965	223
Loma Larga	648721	9401141	574
San Antonio	654813	9401680	1176
Pampa Minas	656718	9407631	1653
Los Álamos	654439	9401911	1113
La Tuna - Faique	644638	9402969	1270
Palambra	654540	9404158	1354
Lúcumo	654822	9403768	1528
Los Chorros*	658821	9408915	1850

Fuente: Elaboración propia

(*) Punto de muestreo de suelos extraído de la Tesis de Calero Merino, (1987) “*Génesis, morfología, y taxonomía de aridisols, entisols, inceptisols, alfisols y utisols del departamento de Piura*” – UNALM

Cuadro N° 60: Resultados del análisis físico-químico- mecánico en los puntos de muestreo.

Zona	Profundidad (cm)	pH	MO (%)	CaCO ₃ (%)	Análisis Mecánico			
					Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Textura
Loma Larga	0 – 25	7.37	1.03	0.15	38.4	27.8	33.7	Franco Arcilloso
Hualtaca	0 – 25	6.5	1.2	NP	54.4	33.8	11.7	Franco Arenoso
La Tuna - Faique	0 – 25	5.92	2.65	NP	58.4	23.8	17.7	Franco Arenoso
San Antonio	0 – 25	5.4	3.23	NP	50.4	25.3	24.3	Franco Arenoso Arcilloso
Pampa Minas	0 – 25	6.07	3.94	NP	66.4	23.3	10.3	Franco Arenoso
Lúcumo	0 – 25	5.48	3.7	NP	48.24	40.7	11.0	Franco
Palambra	0 – 25	5.54	5.07	NP	48.24	38.7	13.0	Franco
Los Álamos	0 – 25	5.41	4.93	NP	54.24	34.7	11.0	Franco Arenoso
Los Chorros	0 – 25	5.5	5.4	NP	25.2	51.8	23.0	Franco Limoso

Fuente: Elaboración Propia, adaptado de resultados de laboratorio de agua, suelo, medio ambiente y fertilización – UNALM

NP: No presenta contenido de carbonatos (CaCO₃)

Para cuantificar el factor de erodabilidad en la subcuenca Pusmalca, se emplearon las ecuaciones siguientes en tres análisis respectivos, teniendo como ejemplo la localidad de San Miguel de El Faique. (Ver marco teórico)

- a. Usando la ecuación clásica propuesta por Wischmeier & Smith, (1978)

Ecuación N° 46: Ecuación clásica del factor K propuesta por Wischmeier & Smith, (1978)

$$K = 2.77 * 10^{-5} * (f_{Si+vfSa} * (100 - f_{Cl}))^{1.14} * (12 - f_{OM})/10 + 0.043 * (A - 2) + 0.033 * (P - 3)$$

Donde:

- ❖ $f_{Si+vfSa}$: fracción de limo + arena muy fina (%)
- ❖ f_{Cl} : fracción de arcilla (%)
- ❖ f_{MO} : fracción de materia orgánica (%)
- ❖ A = índice de estructura de suelo.
- ❖ P = índice de permeabilidad.

Ejemplo:

$$K = 2.77 * 10^{-5} * (29.34 * (100 - 17.76))^{1.14} * \frac{12 - 2.65}{10} + 0.043 * (2 - 2) + 0.033 * (3 - 3) = 0.186$$

- b. Usando la versión, en la cual se considera el % de pendiente y el % de cal, propuesta por Shabani, et. al (2013)

Ecuación N° 47: Ecuación del factor k propuesta por Shabani, et. al, (2013)

$$K = (109.4 + 0.16 \% \text{ limo} - 0.62 \% \text{ arcilla} - 7.48 \% \text{ OM} + 0.19 \% \text{ VFS} - 0.05 \% \text{ perm} - 3.32 \% \text{ cal} - 1.26 \% \text{ pendiente})/100$$

Ejemplo:

$$K = \frac{109.4 + 0.16 * 23.84 - 0.62 * 17.76 - 7.48 * 2.65 + 0.19 * 5.49 - 0.05 * 4.25 - 3.32 * 0 - 1.26 * 11.66}{100} = 0.685$$

El alto valor obtenido, con respecto a la primera versión, se debe a la ausencia de contenido de carbonatos (% Cal) en la localidad del Faique.

- c. Usando el sistema de ecuaciones que incluye las cuatro restricciones del nomograma, propuesto por Auerswald, et. al (2014)

Ejemplo:

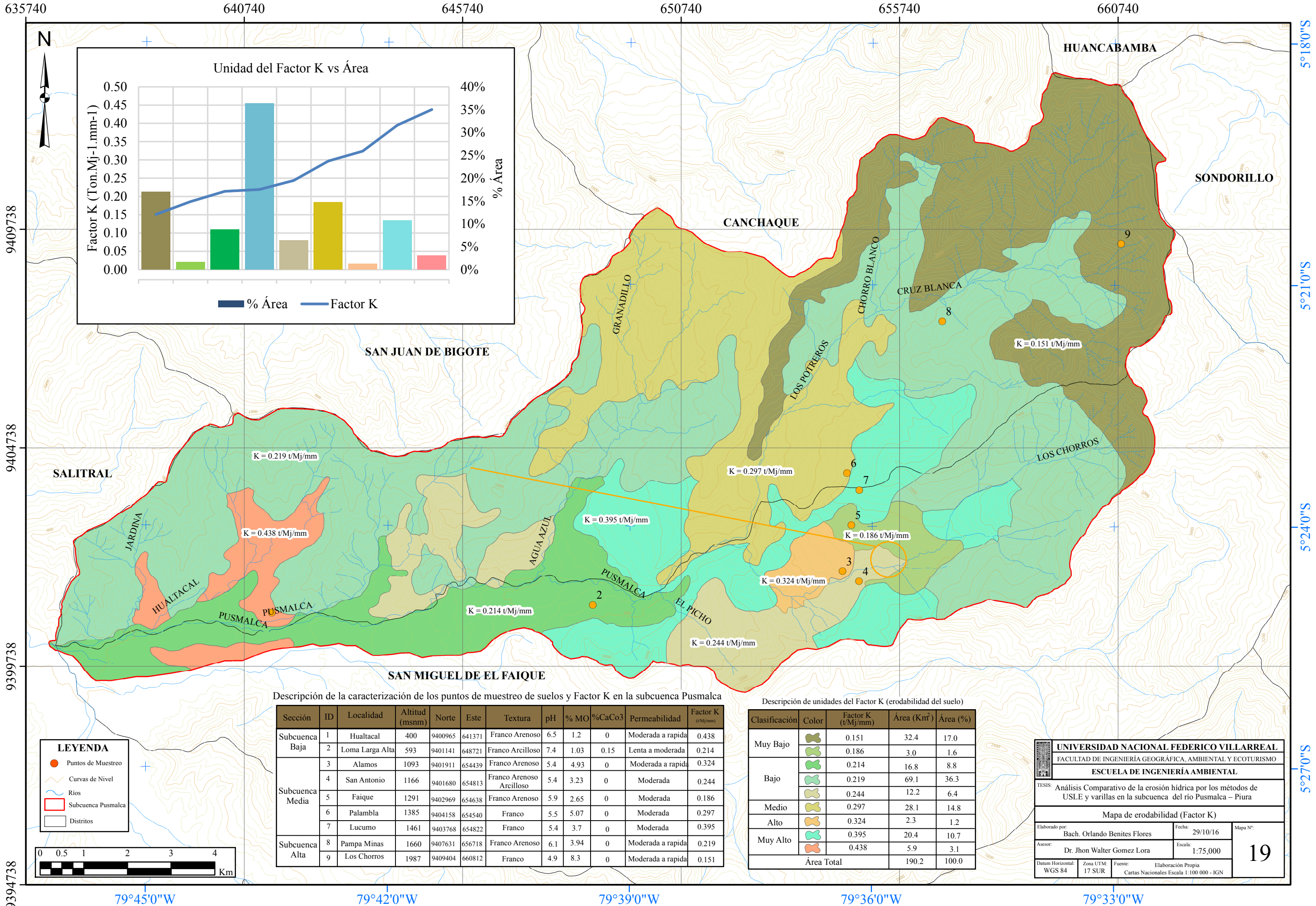
- 1) $K_1 = 2.77 * 10^{-5} * ((29.34) * (100 - 17.76))^{1.14} = 0.199$ para $f_{st+vfSa} < 70\%$
- 2) $k_2 = \frac{12-2.65}{10} = 0.935$ para $f_{OM} < 4\%$
- 3) $k_1 * k_2 = 0.199 * 0.935 = 0.1859$
 $k_3 = 0.091 - 0.34 * 0.179 + 1.79 * (0.179)^2 + 0.24 * 0.179 * 2 + 0.033 * (3 - 3)$
 $= 0.179$ para $k_1 * k_2 < 0.2$
- 4) $k = k_3 = 0.179$ para $f_{rf} < 1.5\%$

Cuadro N° 61: Factor de erodabilidad K, según tipo de análisis

Sección de la subcuenca	Localidad	Factor K		
		1er análisis	2do análisis	3er análisis
subcuenca baja	Hualtacal	0.438	0.966	-
	Loma Larga	0.214	0.764	
subcuenca media	San Antonio	0.244	0.558	0.36
	Los Álamos	0.324	0.389	
	La Tuna - Faique	0.186	0.685	
	Palambla	0.297	0.322	
	Lúcumo	0.395	0.263	
subcuenca alta	Pampa Minas	0.219	0.563	-
	Los Chorros	0.151	-	-

Fuente: Elaboración propia

Cabe mencionar que en las localidades de Hualtacal, Loma Larga, San Antonio y Pampa Minas no se evaluó la 4ta restricción, fragmento de roca, por tener la consideración de evaluarse después de un evento lluvioso, por ende, no se aplicó el tercer análisis. **Ver Mapa N°19**



Descripción de la caracterización de los puntos de muestreo de suelos y Factor K en la subcuenca Pusmalca

Sección	ID	Localidad	Altitud (msnm)	Norte	Este	Textura	pH	% MO	%CaCo3	Permeabilidad	Factor K (t/Mj/mm)
Subcuenca Baja	1	Hualtactal	400	9400965	641371	Franco Arenoso	6.5	1.2	0	Moderada a rapida	0.438
	2	Loma Larga Alta	593	9401141	648721	Franco Arcilloso	7.4	1.03	0.15	Lenta a moderada	0.214
Subcuenca Media	3	Alamos	1093	9401911	654439	Franco Arenoso	5.4	4.93	0	Moderada a rapida	0.324
	4	San Antonio	1166	9401680	654813	Franco Arenoso Arcilloso	5.4	3.23	0	Moderada	0.244
	5	Faique	1291	9402969	654638	Franco Arenoso	5.9	2.65	0	Moderada	0.186
	6	Palambra	1385	9404158	654540	Franco	5.5	5.07	0	Moderada	0.297
	7	Lucumo	1461	9403768	654822	Franco	5.4	3.7	0	Moderada	0.395
Subcuenca Alta	8	Pampa Minas	1660	9407631	656718	Franco Arenoso	6.1	3.94	0	Moderada a rapida	0.219
	9	Los Chorros	1987	9409404	660812	Franco	4.9	8.3	0	Moderada a rapida	0.151

Descripción de unidades del Factor K (erodabilidad del suelo)

Clasificación	Color	Factor K (t/Mj/mm)	Área (Km²)	Área (%)
Muy Bajo		0.151	32.4	17.0
Bajo		0.186	3.0	1.6
		0.214	16.8	8.8
		0.219	69.1	36.3
Medio		0.244	12.2	6.4
		0.297	28.1	14.8
Alto		0.324	2.3	1.2
		0.395	20.4	10.7
Muy Alto		0.438	5.9	3.1
Área Total			190.2	100.0

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS: Análisis Comparativo de la erosión hídrica por los métodos de USLE y varillas en la subcuenca del río Pusmalca – Piura

Elaborado por: Bach. Orlando Benites Flores

Fecha: 29/10/16

Mapa N°:

Asesor: Dr. Jhon Walter Gomez Lora

Escala: 1:75,000

Datum Horizontal: WGS 84

Zona UTM: 17 SUR

Fuente: Cartas Nacionales Escala 1:100 000 - IGN

Elaboración Propia

19

5.2.9. Factor LS (Adimensional)

El factor LS, está compuesto por la distribución de la pendiente que incluye el grado de inclinación y la longitud de las pendientes. Además, se debe considerar la forma de esta. Por ello, se elaboró un mapa de pendientes con el método topográfico y se contrastó con el TIN, con el fin de cumplir los criterios ya mencionados.

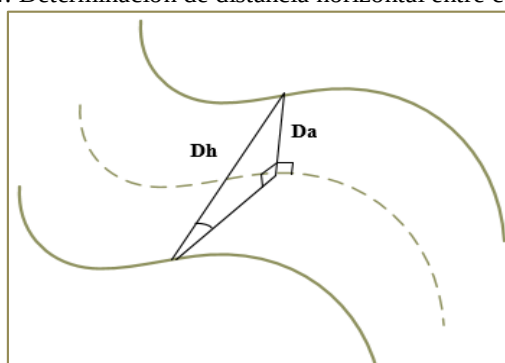
5.2.9.1. Mapa de Pendientes

Para su confección se usó curvas de nivel cada 50 metros. Su elaboración se basa en la metodología expuesta por Hernández (1998), en la que se tiene en cuenta un sistema en tres dimensiones (3D) entre curvas de nivel. Este autor, detalla ecuaciones para su fácil aplicación entre rangos de pendiente. Ver Ecuación N° 48 e Imagen N°4

Ecuación N° 48: Ecuación para expresar la pendiente en porcentaje (%)

$$P = \left(\frac{da}{dh} \right) \times 100$$

Imagen N° 4: Determinación de distancia horizontal entre curvas de nivel



Fuente: Elaboración propia

El siguiente ejemplo sirve para determinar un rango de pendientes de 3 a 8%:

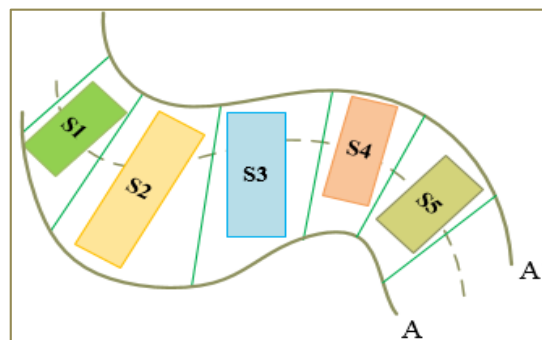
- ❖ Despejando la ecuación, y teniendo en cuenta la distancia altitudinal entre curva y curva (50 m), se tiene:

$$\left(\frac{100}{3} \right) \times da = dh \dots \frac{100 \times 50}{3} = 1666.6 \text{ m}$$

- ❖ Entonces para un rango de 3-8% de pendiente se tendría valores que van desde los 625 a 1666.6 metros; y así sucesivamente para los demás rangos.

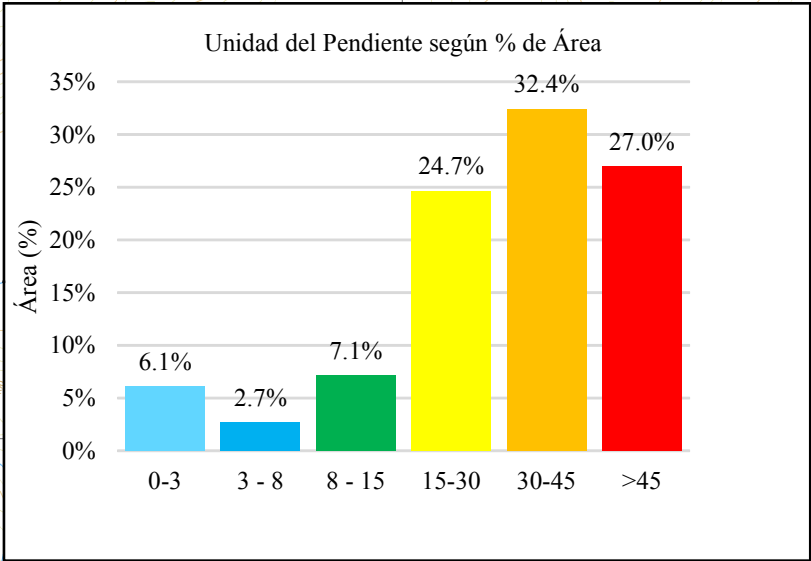
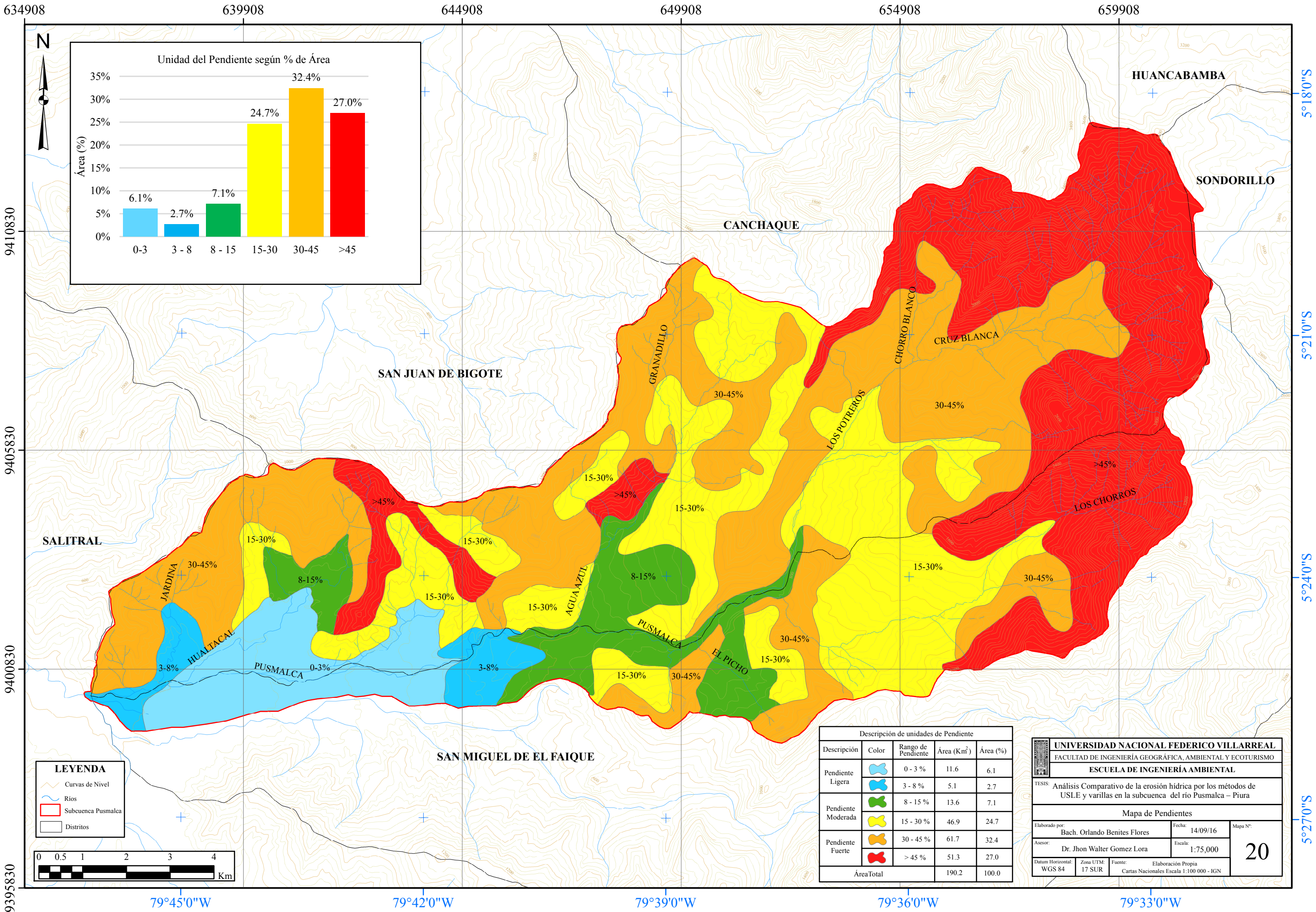
- ❖ Después se creó un shapefile de tipo polilínea, en el cual deben trazarse rectas (dh) lo más perpendicular posible, asignándole el valor de longitud y clasificándolo según el rango deseado, luego formando polígonos que contengan igual valor de pendiente.
- ❖ Finalmente, se procede a unificar los polígonos de tal manera que se tengan grandes áreas que sean representativas del área de estudio. En la Imagen N°5 se aprecia que las pendientes S_4 y S_5 tienen valores similares. **Ver Mapa N°20**

Imagen N° 5: Integración de áreas con semejante valor de pendiente



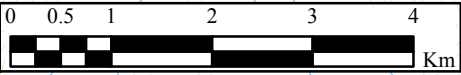
Fuente: Elaboración propia

La pendiente media de la cuenca obtenida por la Ecuación N°27 (parámetro fisiográfico) es 58.7%, mientras que la pendiente media obtenida por el mapa de pendientes es 30.9%, teniendo una variación de 89.9%, la cual es muy alta.



LEYENDA

	Curvas de Nivel
	Rios
	Subcuenca Puzmalca
	Distritos



Descripción de unidades de Pendiente				
Descripción	Color	Rango de Pendiente	Área (Km²)	Área (%)
Pendiente Ligera		0 - 3 %	11.6	6.1
		3 - 8 %	5.1	2.7
Pendiente Moderada		8 - 15 %	13.6	7.1
		15 - 30 %	46.9	24.7
Pendiente Fuerte		30 - 45 %	61.7	32.4
		> 45 %	51.3	27.0
ÁreaTotal			190.2	100.0

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS: Análisis Comparativo de la erosión hídrica por los métodos de USLE y varillas en la subcuenca del río Puzmalca – Piura

Mapa de Pendientes

Elaborado por: Bach. Orlando Benites Flores

Fecha: 14/09/16

Mapa N°:

Asesor: Dr. Jhon Walter Gomez Lora

Escala: 1:75,000

20

Datum Horizontal: WGS 84

Zona UTM: 17 SUR

Fuente: Cartas Nacionales Escala 1:100 000 - IGN

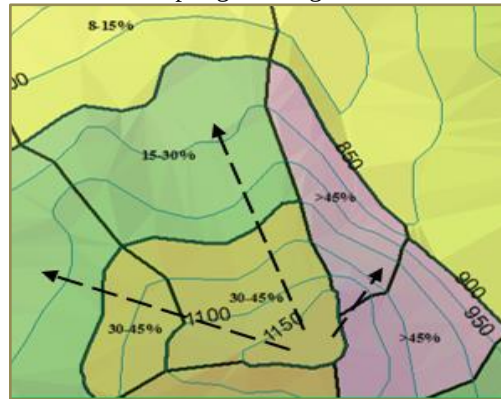
Elaboración Propia

5.2.9.2.Determinación del factor LS

Para su determinación se siguió los siguientes pasos:

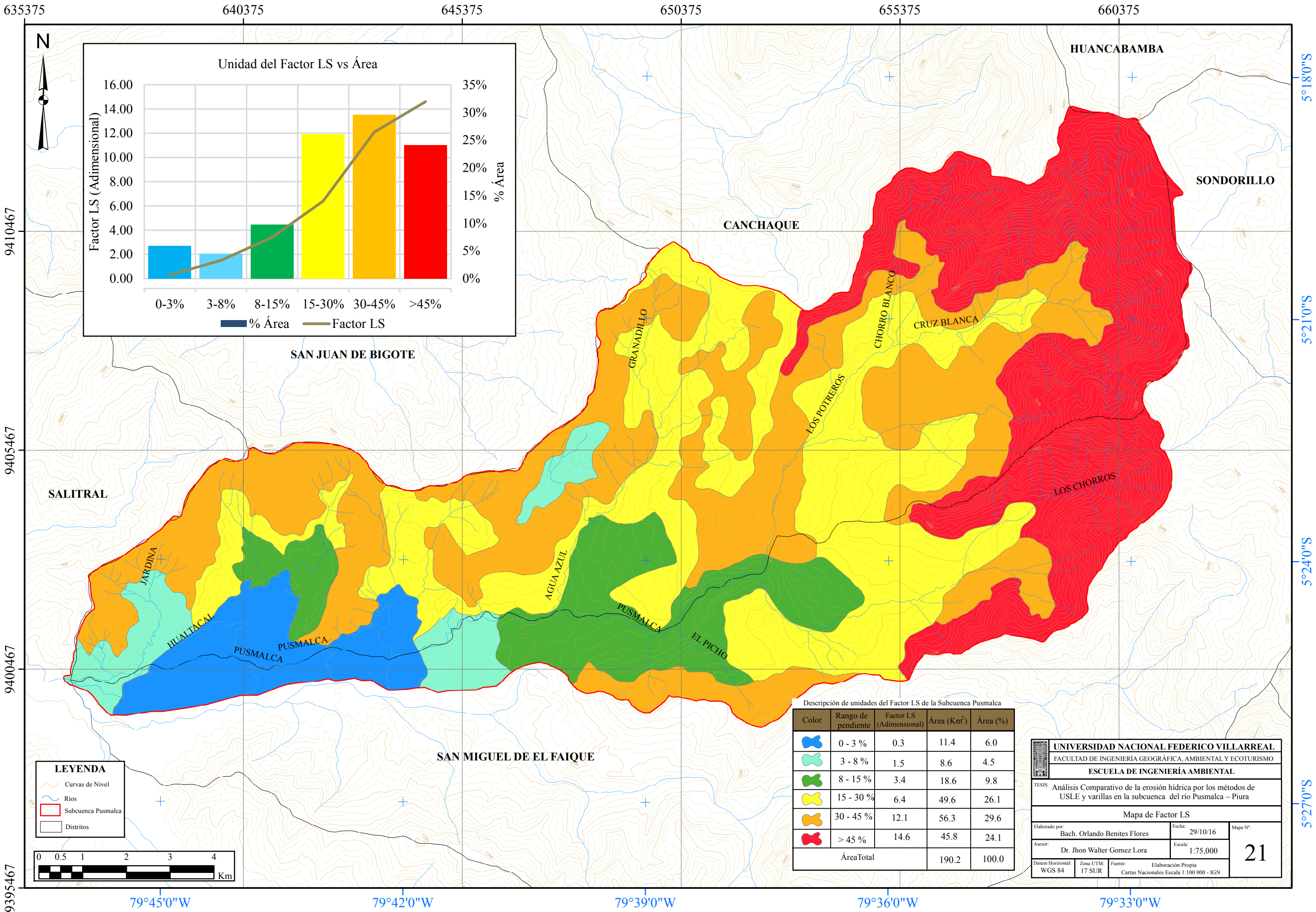
- ❖ Primero, se elabora un TIN de la subcuenca tomando las curvas de nivel como referencia; luego, se superpone el shapefile de polígonos sobre la base de este, los cuales se deben unificar tomando en cuenta la orientación de la pendiente y se clasifica según su ladera.

Imagen N° 6: Creación de polígonos según orientación de pendientes



Fuente: Elaboración propia

- ❖ Segundo, se determina su área y se define el valor del factor LS, según la Tabla N°07.
- ❖ Finalmente se tiene un mapa del factor LS, para áreas pequeñas, las cuales se les somete a unión de áreas para finalmente tener un mapa de Factor LS a nivel de la subcuenca Pusmalca. **Ver Mapa N°21**



5.2.10. Factor C (Adimensional)

Para cuantificar su valor, se usó la Tabla N°08, que asigna valores según el tipo de cobertura vegetal, apoyándose del Cuadro N° 62 que es resultado de la evaluación en campo.

Cuadro N° 62: Tipo de cultivo según sección de la subcuenca

Sección de la cuenca	Tipo de cultivo	Rango de altitud
Baja	Maíz, arroz, mango, guanábana, panamito	150 - 800
Media	Guayaba, camote, chirimoya, guaba, palta, lúcuma, café y naranja	800 - 1600
Alta	Haba, racacha, papa, olluco, choclo, arveja, trigo, invernada (sudan, elefante y paja chica)	1600- 3600

Fuente: Elaboración propia

Pese a que en la subcuenca se presenten tipos de cobertura vegetal como agroforestería (11%) y silvopastura (13%), estos no son considerados dentro del USLE clásico. Sin embargo, se utilizó el rango de clasificación dada por Pérez Nieto, Váldez Velarde, & Ordaz Chaparro (2012), puesto que determina el factor C para un sistema agroforestal rustico de café bajo sombra (0.02 – 0.003). Por el lado de Silvopastura, se consideró como práctica de pasturas.

También se presentan asociaciones entre tipos de cultivos, a los cuales se les asignó un valor promedio.

Para la determinación del factor C del bosque seco, se ha tomado en consideración el periodo de lluvias que se concentran en los meses de Diciembre, Enero, Febrero y Marzo. Durante los cuales esta formación ecológica desarrolla su cobertura arbórea. **Ver Mapa N°22**

Cuadro N° 63: Designación del Factor C, según tipo de cultivo para la subcuenca Pusmalca

Tipo	Unidad	Ubicación de la Subcuenca		Factor C		Área	
		Altitud	sección	Clasificación	Valor	Ha	%
Agricultura intensiva	Agricultura intensiva	150 - 800	Baja	Maíz de alto rendimiento con laboreo convencional	0.38	1813.2	9.5%
Agricultura temporal	Agricultura temporal	800 - 1200	Media	Frutales con cobertura vegetal	0.41	250.8	1.3%
	Agricultura temporal y pasto natural	800 - 1400	Media	Frutales con cobertura vegetal - Pasturas*	0.48	394.9	2.1%
Agroforesteria	Agroforesteria	1000 - 1600	Media	Sistema agroforestal rustico**	0.012	1681.5	8.8%
	Agroforesteria y silvopastura	800 - 1400	Media	Agroforesteria - Pasturas*	0.085	425.0	2.2%
Bosque húmedo	Bosque húmedo de montaña	2200 - 3200	Alta	Bosque denso (alto mulch)	0.001	991.4	5.2%
Bosque seco	Bosque seco ralo y Semi denso de montaña	600 - 1000	Media	Arbolado muy clareado (25-60%)	0.041	5511.6	29.0%
	Bosque seco denso de montaña	400 - 800	Baja	Arbolado denso	0.002	170.2	0.9%
Matorral húmedo	Matorral húmedo - Paramo	1600 - 3600	Alta	Matorral con buena cobertura	0.013	2333.7	12.3%
Matorral seco	Matorral seco	200 - 400	Baja	Matorral ralo	0.2	105.7	0.6%
Pasto cultivado	Pasto cultivado - natural - Silvopastura	800 - 2400	Media - Alta	Pasturas	0.15	2481.7	13.0%
	Pasto cultivado y agricultura	1400 - 1800	Media - Alta	Pasturas - Frutales con cobertura vegetal*	0.28	1896.4	10.0%
Pasto natural	Pasto natural y matorral húmedo	2000 - 3000	alta	Pasturas - Matorral con buena cobertura*	0.082	960.9	5.1%
Área Total						19016.9	100.0%

Fuente: Elaboración Propia

*: Valores definidos en función al porcentaje de presencia de la unidad de cobertura vegetal.

** : Valor del factor C, extraído del estudio de Pérez Nieto, Váldez Velarde, & Ordaz Chaparro, (2012)

635116

640116

645116

650116

655116

660116



Descripción de las unidades del Factor C en la subcuenca Pusmalca

Tipo	Unidad	Símbolo	Color	Sección		Factor C		Área	
				Altitud	Subcuenca	Clasificación	Valor	Ha	%
Agricultura intensiva	Agricultura intensiva	Ai		150 - 800	Baja	Maíz de alto rendimiento con laboreo convencional	0.38	1813.2	9.5
Agricultura temporal	Agricultura temporal	At		800 - 1200	Media	Frutales con cobertura vegetal	0.41	250.8	1.3
	Agricultura temporal y pasto natural	At-Pn		800 - 1200	Media	Frutales con cobertura vegetal - Pasturas*	0.48	394.2	2.1
Agroforestería	Agroforestería	Af		1000 - 1600	Media	Sistema agroforestal rustico**	0.012	1681.5	8.8
	Agroforestería y Silvopastura	Af-Si		800 - 1400	Media	Agroforestería - Pasturas*	0.085	425.0	2.2
Bosque húmedo	Bosque húmedo de montaña	BhM		2200 - 3200	Alta	Bosque denso (alto mulch)	0.001	992.6	5.2
Bosque seco	Bosque seco ralo y semi denso de montaña	BsRm-BssDm		600 - 1000	Media	Arboleado muy clareado (25-60%)	0.041	5511.6	29.0
	Bosque seco denso de montaña	BsDm		400 - 800	Baja	Arbolado denso	0.002	170.2	0.9
Matorral húmedo	Matorral húmedo - Paramo	Mh		1600 - 3600	Alta	Matorral con buena cobertura	0.013	1906.5	10.0
Matorral seco	Matorral seco	Ms		200 - 400	Baja	Matorral ralo	0.2	105.7	0.6
Pasto cultivado	Pasto cultivado-Silvopasturas	Pc-Si		800 - 1600	Media	Pasturas	0.15	1370.3	7.3
	Pasto cultivado- Agricultura	Pc-At		1400 - 1600	Media	Pasturas - Frutales con cobertura vegetal*	0.28	1345.4	7.1
Pasto natural	Pasto Natural - matorral húmedo	Pn-Mh		2000 - 3000	Alta	Pasturas - Matorral con buena cobertura*	0.082	3039.2	16.0
Área Total								19017	100.0

*Valores definidos en función al porcentaje de presencia de la unidad de cobertura vegetal.
*Valor del factor C, extraído del estudio de Pérez Nieto, Váldez Velarde, & Ordaz Chaparro, (2012)

SALITRAL

SAN JUAN DE BIGOTE

CANCHAQUE

HUANCABAMBA

SONDORILLO

CHORRO BLANCO

CRUZ BLANCA

LOS CHORROS

LOS POTREROS

AGUA AZUL

PUSMALCA

EL PICO

JARDINA

HUALTACAL

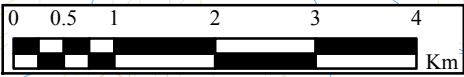
PUSMALCA

PUSMALCA

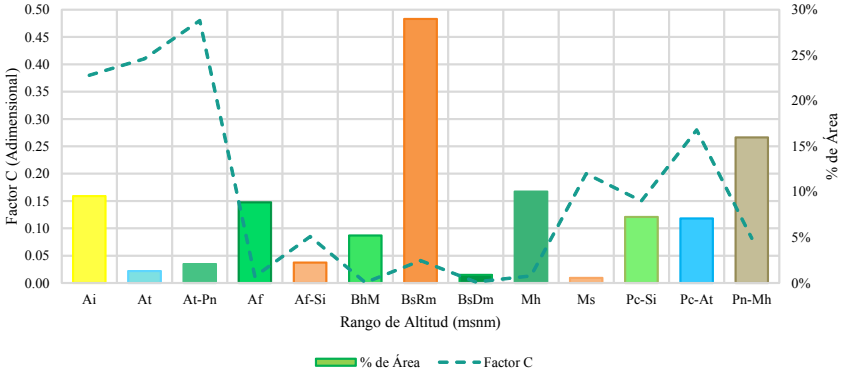
PUSMALCA

LEYENDA

- Curvas de Nivel
- Rios
- Subcuenca Pusmalca
- Distritos



Factor C vs % de Área



UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS: Análisis Comparativo de la erosión hídrica por los métodos de USLE y varillas en la subcuenca del río Pusmalca – Piura

Mapa de Factor C

Elaborado por: Bach. Orlando Benites Flores

Fecha: 30/10/16

Mapa N°:

Asesor: Dr. Jhon Walter Gomez Lora

Escala: 1:75,000

22

Datum Horizontal: WGS 84
Zona UTM: 17 SUR
Fuente: Elaboración Propia
Cartas Nacionales Escala 1:100 000 - IGN

79°45'0"W

79°42'0"W

79°39'0"W

79°36'0"W

79°33'0"W

5°18'0"S

5°21'0"S

5°24'0"S

5°27'0"S

5.2.11. Factor P (Adimensional)

En la subcuenca Pusmalca no se realizan prácticas de conservación de suelos que estén considerados dentro del USLE. Por ello, se le asigna un valor de uno (1). **Ver Mapa N°23**

Cuadro N° 64: Distribución de área en Ha, según clasificación de tasa de erosión y sección de la Subcuenca Pusmalca (Primer Análisis)

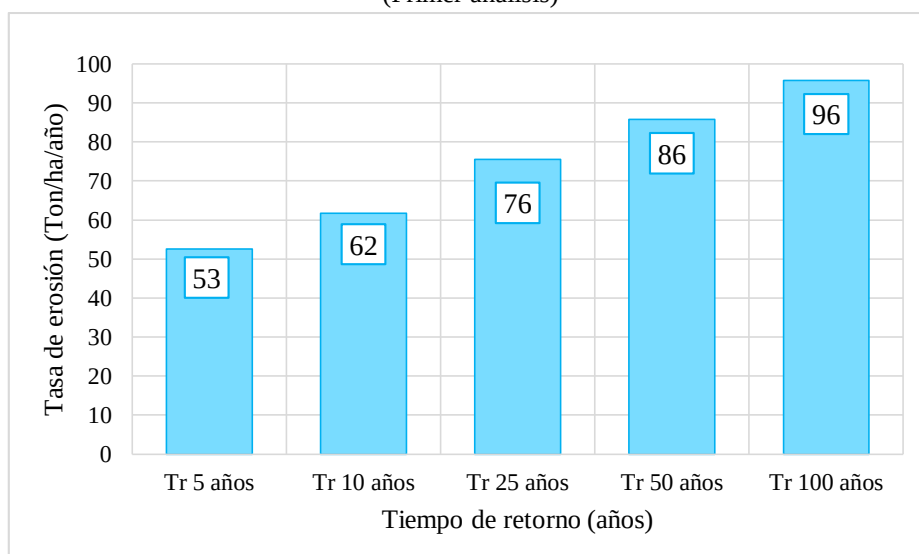
Sección de la subcuenca	Área Parcial (Ha)			Área Total	
Clasificación	Baja	Media	Alta	Ha	%
Nula o ligera	1384.8	1611	1776.3	4772.1	25.1%
Baja	2474.4	-	1052	3526.4	18.5%
Moderada	1802.3	1373.9	3268.1	6444.3	33.9%
Alta	555.4	2188	341.2	3084.6	16.2%
Muy Alta	-	974.1	215.2	1189.3	6.3%
Área Total	6216.9	6147	6652.8	19016.7	100.0%

Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro N°64, se detalla que la tasa de erosión alta y muy alta se presentan con mayor énfasis con un 35.6% y 15.8% respectivamente, respecto al total del área de la sección media. Asimismo, la que tasa de erosión moderada resalta en la sección alta.

En el Cuadro N°65 se muestra la tasa de pérdida de suelo según grado de erosión hídrica y para diferentes tiempos de retorno, utilizando para ello la clasificación de la FAO.

Gráfico N° 19: Tasa de erosión hídrica en la subcuenca Pusmalca para diferentes tiempos de retorno (Primer análisis)



Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 65: Tasa de pérdida de suelo según tiempo de retorno y grado de erosión hídrica

#	Grado de Erosión hídrica	Área (Ha)	Rango	Sección	Factor R					Factor K	Factor LS	Factor C	Pérdida de suelo (t/ha/año)				
					Tiempo de retorno (años)								Tiempo de retorno (años)				
					5	10	25	50	100				5	10	25	50	100
1	Muy alta	156	800 - 1200	Media	260	315	385	436	487	0.244	12.1	0.48	387	446	546	618	690
2		130	1600 - 2000	Alta	264	320	391	443	494	0.395	12.1	0.28	365	428	523	593	661
3		121	1000 - 1200	Media	262	318	389	442	494	0.219	12.1	0.41	297	346	423	480	536
4		842	1400 - 1600	Media	273	333	409	465	521	0.219	12.1	0.28	211	247	304	345	386
5	Alta	1056	800 - 1600	Media	265	322	394	448	500	0.297	12.1	0.15	153	174	213	241	276
6		295	800 - 1000	Media	257	312	380	431	481	0.244	3.4	0.48	109	124	151	172	192
7		660	1000 - 1600	Media	268	326	399	453	507	0.297	6.4	0.15	81	93	114	129	145
8		555	400 - 800	Baja	250	301	366	415	462	0.214	3.4	0.38	73	83	101	115	128
9		211	1600 - 2400	Alta	258	312	380	430	479	0.219	14.6	0.082	68	82	100	113	126
10		364	800 - 1200	Media	260	315	385	436	487	0.219	6.4	0.15	57	66	81	92	102
11	Moderada	3793	800 - 1600	Media	265	322	394	448	500	0.151	14.6	0.082	47	58	71	81	90
12		2727	800 - 1400	Alta	262	318	389	442	494	0.244	12.1	0.041	32	39	47	53	60
13	Baja	554	600 - 800	Baja	252	305	371	420	468	0.395	6.4	0.041	28	32	38	44	49
14		1933	200 - 1000	Baja	250	301	366	414	462	0.244	6.4	0.041	16	19	23	27	30
15		959	1600 - 2400	Alta	258	312	380	430	479	0.219	14.6	0.013	12	13	16	18	20
16	Nula o ligera	1505	1000 - 1400	Media	265	322	394	447	500	0.395	6.4	0.012	9	10	12	14	15
17		1625	1800 - 3600	Alta	240	286	346	388	431	0.151	14.6	0.013	7	9	10	11	12
18		1000	200 - 400	Baja	242	290	351	397	442	0.214	0.3	0.38	6	7	9	10	11
19		385	200 - 400	Baja	242	290	351	397	442	0.219	1.5	0.041	3	4	5	6	6
20		146	2200 - 3200	Alta	233	277	333	374	414	0.151	14.6	0.001	1	1	1	1	1
Área Total		19017	Pérdida de suelo promedio (t/ha/año)						53	62	76	86	96				

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 32: Tasa de Pérdida de suelo según altitud

Rango	Factor R					Factor K	Factor LS	Factor C	Pérdida de suelo (t/ha/año)				
	Tiempo de retorno (años)								Tiempo de retorno (años)				
	5	10	25	50	100				5	10	25	50	100
150 - 400	242	290	351	397	442	0.263	2.9	0.200	37	44	54	61	68
400 - 600	247	298	362	409	456	0.228	7.9	0.131	58	70	85	96	107
600 -800	252	305	371	420	468	0.277	8.2	0.053	30	37	44	50	56
800 - 1000	257	312	380	431	481	0.289	8.2	0.138	84	102	124	141	157
1000 - 1200	262	318	389	442	494	0.279	8.0	0.114	67	81	99	113	126
1200 - 1400	267	325	399	453	506	0.275	8.8	0.095	61	74	91	103	116
1400 - 1600	273	333	409	465	521	0.260	10.7	0.160	122	149	183	208	233
1600 - 1800	268	326	399	453	507	0.286	9.2	0.164	116	141	172	195	218
1800 - 2200	259	313	382	432	482	0.212	13.4	0.074	54	66	80	91	101
2200 - 2600	247	296	359	404	449	0.183	14.5	0.043	28	34	41	46	51
2600 - 3000	234	279	335	376	416	0.161	14.6	0.036	20	23	28	32	35
3000 - 3600	219	257	306	341	375	0.151	14.6	0.016	8	9	11	12	13
Pérdida de suelo promedio (t/ha/año)									58	70	85	97	108

Fuente: Elaboración propia

634933

639933

644933

649933

654933

659933



9410741

9405741

9400741

9395741

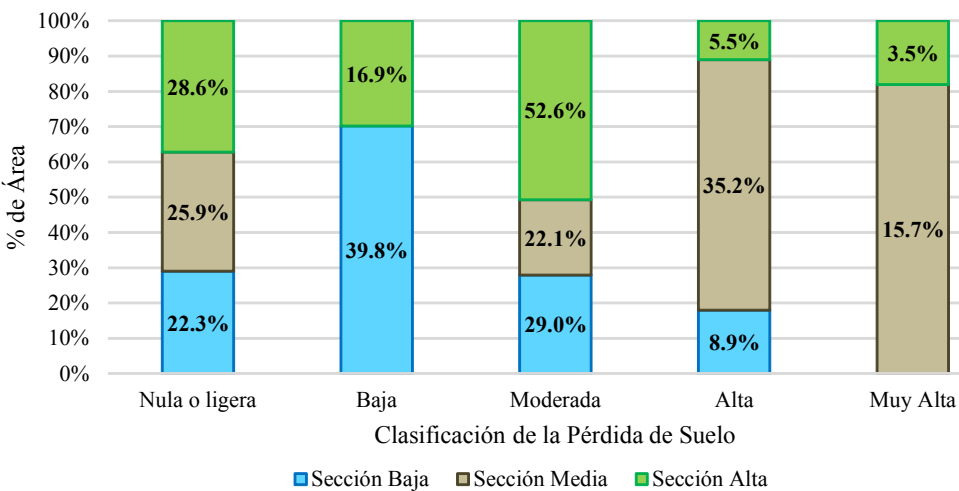
5°18'0"S

5°21'0"S

5°24'0"S

5°27'0"S

Distribución de la Pérdida de Suelo en la Subcuenca Pusmalca



SALITRAL

SAN JUAN DE BIGOTE

CANCHAQUE

HUANCABAMBA

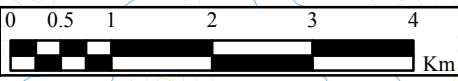
SONDORILLO

LOS CHORROS

SAN MIGUEL DE EL FAIQUE

LEYENDA

- Puntos de Muestreo de Suelos
- Curvas de Nivel
- Ríos
- ▭ Subcuenca Pusmalca
- ▭ Distritos



Descripción de unidades de Tasa de Pérdida de Suelo en la Subcuenca Pusmalca

Color	Pérdida de Suelo (t/h/año)		Área	
	Rango	Clasificación	Ha	%
	< 10	Nula o Ligera	4772.1	25.1
	10 - 30	Baja	3526.4	18.5
	30 - 50	Moderada	6444.3	33.9
	50 - 200	Alta	3084.6	16.2
	> 200	Muy Alta	1189.3	6.3
Área Total			19016.7	100.0

UNIVERSIDAD NACIONAL FEDERICO VILLARREAL
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO
ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

TESIS: Análisis Comparativo de la erosión hídrica por los métodos de USLE y varillas en la subcuenca del río Pusmalca – Piura

Mapa de Tasa de Pérdida de Suelos (t/ha/año) - 1era Versión del USLE - Tr 5 años

Elaborado por: Bach. Orlando Benites Flores Fecha: 14/11/16 Mapa N°:

Asesor: Dr. Jhon Walter Gomez Lora Escala: 1:75,000

Datum Horizontal: WGS 84 Zona UTM: 17 SUR Fuente: Elaboración Propia Cartas Nacionales Escala 1:100 000 - IGN

23

También se realizó el análisis de la tasa de pérdida de suelo por rango de altitudes, el cual se muestra en la Tabla N°32 donde resalta la sección media que presenta un erosión alta y muy alta, esto se explica por los altos valores de erosividad (Factor R) y erodabilidad (Factor K) presentes en esa sección.

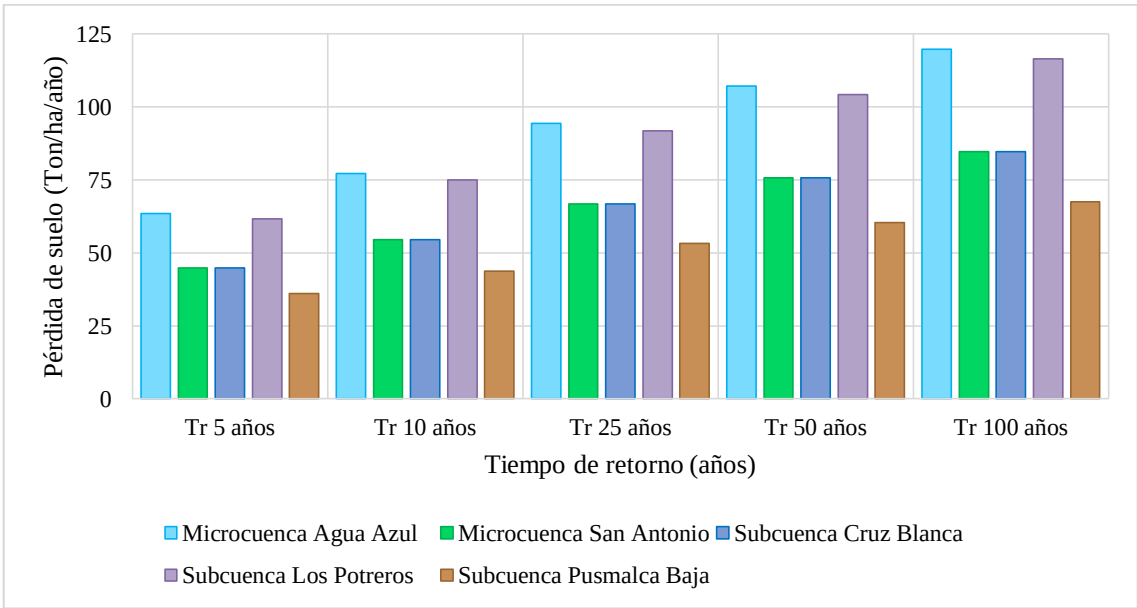
Otra visión de la tasa de pérdida de suelo es mediante el análisis en subcuencas para diferentes tiempos de retorno, esto se presenta en el Cuadro N°66.

Cuadro N° 66: Tasa de pérdida de suelo según unidades hidrográficas para diferentes tiempos de retorno

Unidad hidrográfica	Área (Ha)	Pérdida de suelo (t/ha/año)				
		Tiempo de retorno (años)				
		5	10	25	50	100
Microcuenca Agua Azul	3286	64	77	94	107	120
Microcuenca San Antonio	3126	45	55	67	76	85
Subcuenca Cruz Blanca	2967	45	54	67	76	85
Subcuenca Los Potreros	6401	62	75	92	104	116
Subcuenca Pusmalca Baja	6205	36	44	53	60	67

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 20: Tasa de pérdida de suelo según unidades hidrográficas para diferentes tiempos de retorno



Fuente: Elaboración propia

Como se aprecia en el Gráfico N°20, las tasas de pérdida de suelo son similares para las unidades San Antonio y Cruz Blanca; en contraste con la primera, la microcuenca Agua Azul ubicada al margen derecho del río Pusmalca, presenta similar área, pero tiene mayor pérdida de suelo, una de las razones principales puede ser la tasa de deforestación presentada un 43.7% respecto a su área total. Seguidamente, la subcuenca Los Potreros contempla similar pérdida de suelo con valores altos y una variación promedio de 3.2% respecto a la mayor tasa de erosión.

5.3. ÍNDICES DE EROSIÓN

Conjuntamente se tomó en consideración los índices de erosión para contrastar el resultado obtenido por el primer análisis usando la ecuación clásica de USLE y la técnica SIG. Ver Cuadro N° 67

Cuadro N° 67: Índices de erosión según zonas

Sección de la subcuenca	Localidad	Índices de erosión			
		Índice de separabilidad de partículas		Índice de estabilidad estructural de Pieri	
		Valor	Clasificación	Valor	Clasificación
Subcuenca baja	Hualtaca	0.2	Muy Alta	2.6	Suelo degradado
	Loma Larga	0.7	Moderada	1.7	Suelo degradado
Subcuenca media	San Antonio	No evaluado debido a las consideraciones teóricas del propio índice. (Ver Marco Teórico)		6.5	Alto riesgo de degradación
	Los Álamos			10.8	Suelo estructuralmente estable
	La Tuna - Faique			6.4	Alto riesgo de degradación
	Palambra			9.8	Suelo estructuralmente estable
	Lúcumo			7.2	Moderado riesgo de degradación
Subcuenca alta	Pampa Minas			11.7	Suelo estructuralmente estable
	Chorros			15.5	Suelo estructuralmente estable

Fuente: Elaboración propia

Para el índice de separabilidad de partículas: la localidad de Hualtaca presenta suelos con muy alta separabilidad, en cambio Loma Larga tienen moderada separabilidad.

El índice de estabilidad estructural de Pieri: los suelos de Loma Larga y Hualtaca son suelos degradados; San Antonio y faique con suelos con alto riesgo a la degradación física

por encostramiento o compactación; la localidad de Lúculo con un moderado riesgo de degradación; y Palambla, Álamos y Pampa Minas son suelos estructuralmente estables. Como se aprecia en el Mapa N°23, del resultado del primer análisis se puede apreciar que las áreas de las localidades de Álamos, Palambla y Lúculo presentan un grado de erosión medio a alto, a diferencia del Faique; sin embargo, estas presentan un alto riesgo de degradación según el índice estructural de Pieri, razón por la cual fue considerada para la instalación de varillas de erosión. Ver Cuadro N° 68

Cuadro N° 68: Tasa de erosión hídrica según sección de la subcuenca

Sección de la subcuenca	Localidad	Grado de erosión	Tasa de erosión (Tn/Ha/Año)
Subcuenca baja	Hualtacal	Muy Baja	5.8
	Loma Larga	Alta	67.8
Subcuenca media	San Antonio	Muy Baja	8.0
	Los Álamos	Moderada	46.7
	La Tuna - Faique	Muy Baja	8.0
	Palambla	Alta	142.1
	Lúculo	Alta	142.1
Subcuenca alta	Pampa Minas	Alta	192.1
	Chorros	Muy Baja	0.7

Fuente: Elaboración propia

5.4. CUANTIFICACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA POR EL MÉTODO USLE Y VARILLAS

Este análisis se reduce a solo las zonas de Faique, Lúculo, Palambla y Álamos, tanto para el USLE como para el método de varillas de erosión

5.4.1. Cuantificación de la erosión por el método USLE (Segundo Análisis)

La cuantificación se realizó a menor escala, por lo cual se realiza un proceso más exhaustivo a cada parámetro evaluado en la ecuación USLE.

5.4.1.1. Factor R

El factor R se determinó usando rangos de altitud de las zonas por los métodos de Morgan y Ramos Taipe para un tiempo de retorno de 5 años. Ver Cuadro N°22

Cuadro N° 69: Factor R (Erosividad) para un tiempo de retorno de 5 años, según rangos de altitud

Zona	Altitud (msnm)	R (Tr=5 años)			
		Rango	Morgan	Ramos	Promedio
Álamos	1113	1000-1200	228.9	295.6	262.3
Faique	1270	1200-1400	230.7	303.5	267.1
Palambla	1354	1200-1400	230.7	303.5	267.1
Lúcumo	1528	1400-1600	232.6	313.9	273.3

Fuente: Elaboración propia

5.4.1.2. Factor K

De las tres versiones del factor K (Ver marco teórico) la expuesta por Shabani, et. al, (2013), no se tomó en cuenta porque las zonas evaluadas no presentan contenido de cal, por lo tanto, ésta tiende a ofrecer una mayor variación respecto a la primera versión definida por (Wischmeier & Smith, 1978).

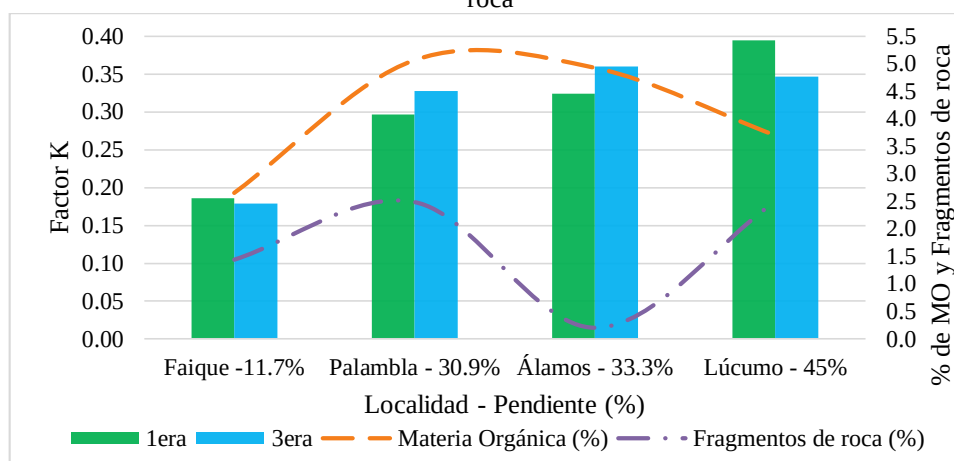
Cuadro N° 70: Factor K de erodabilidad de suelos según versión y zona evaluada

Zona		Faique	Palambla	Álamos	Lúcumo
Fragmentos de roca (%)		1.44	2.49	0.2	2.5
Materia Orgánica (%)		2.65	5.07	4.93	3.7
Pendiente (%)		11.7	30.9	33.3	45
Versiones del Factor K	1era (K ₁)	0.186	0.297	0.324	0.395
	3era (K ₃)	0.179	0.328	0.360	0.347
	Variación	3.9%	10.5%	11.0%	13.9%

Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro N°70 se aprecia que la variación promedio de las cuatro zonas es 9.8%, resaltando la zona de lúcumo que tiene una variación de 13.9% y afirma que conforme aumenta la pendiente la variación se incrementa. En relación a la interacción del contenido de materia orgánica y el contenido de fragmentos de roca sobre la erodabilidad, esta se muestra fluctuante tal como lo muestra el Gráfico N°21, por lo que se analizará en un ítem diferente.

Gráfico N° 21: Comportamiento de las dos versiones del K, según contenido de MO y Fragmentos de roca



Fuente: Elaboración propia

Se aprecia que el contenido de materia orgánica mayor a 4% incrementa la erodabilidad, y menor a este valor reduce su valor. Asimismo, el contenido de fragmentos de roca reduce drásticamente el valor del factor K, solo en pendientes altas.

❖ Generación de la tercera versión del Factor de erodabilidad (K_3)

Para su generación, se probaron por separado dos grupos de ecuaciones: el primero con ecuación lineal y logarítmica, y el segundo con la ecuación polinómica; Para el primero no se consideró a Lúculo, debido a que presenta una mayor variación (13.9%).

Cuadro N° 71: Ecuaciones para determinar la erodabilidad K_3 en función al K_1

Ecuación		R^2
Logarítmica	$K_3 = 0.3233 \cdot \ln(K_1) + 0.7225$	0.9997
Lineal	$K_3 = 1.3192 \cdot K_1 - 0.0659$	0.9995

Fuente: Elaboración propia

Con la información del Cuadro N°71, se determinó el K_3 generado y se comparó su error, tal como se aprecia en el Cuadro N°72.

Cuadro N° 72: Error del K_3 generado por las ecuaciones lineal y logarítmica

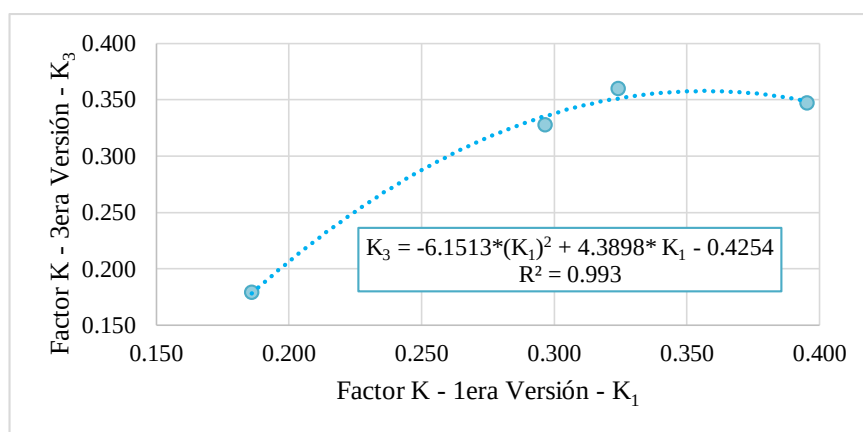
Zona	Faique	Palambla	Álamos	Lúculo
Lineal	0.179	0.325	0.362	0.456
Error	0.3%	0.7%	0.5%	15%
Logarítmica	0.179	0.330	0.358	0.422
Error	0.2%	0.5%	0.4%	7%
Promedio	0.179	0.327	0.360	0.439
Error	0.04%	0.09%	0.05%	11%

Fuente: Elaboración propia

Sin tomar en cuenta la localidad de Lúculo, el error promedio de la ecuación lineal es 0.5% y el de la logarítmica es de 0.4%, siendo 0.1% el promedio de ambas. Por el contrario, si se toma en cuenta dicha localidad, la ecuación lineal y logarítmica presentan 4.2% y 2% respectivamente, siendo su valor medio de 2.8%.

En segundo lugar, la evaluación con la ecuación polinómica tiene un error promedio de 1.4%. Ver Gráfico N°22 y Cuadro N° 73

Gráfico N° 22: Correlación entre el Factor K según ambas versiones



Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 73: Error del K₃ generado por la ecuación polinómica

Zona	Faique	Álamos	Palambla	Lúculo
3era	0.179	0.328	0.360	0.347
Polinómica	0.178	0.335	0.351	0.349
Variación	0.004	0.024	0.025	0.005

Fuente: Elaboración propia

Se procedió a generar el K₃ para las localidades de San Antonio, Hualtaca, Pampa Minas y Loma Larga Alta (sin evaluación del fragmento de roca). Ver Cuadro N°74

Cuadro N° 74: Error del K₃ generado por las distintas ecuaciones evaluadas

Parámetro	San Antonio	Hualtaca	Pampa Minas	Loma Larga
MO (%)	3.23	1.2	3.94	1.03
Pendiente (%)	16	3	18	8
K ₁	0.244	0.438	0.219	0.214
Promedio de ec. lineal y logarítmica*	0.262	0.484	0.227	0.220
Error (%)	7.1	10.4	3.7	2.9
Polinómica	0.280	0.317	0.241	0.232
Error (%)	14.6	38.3	9.9	8.5

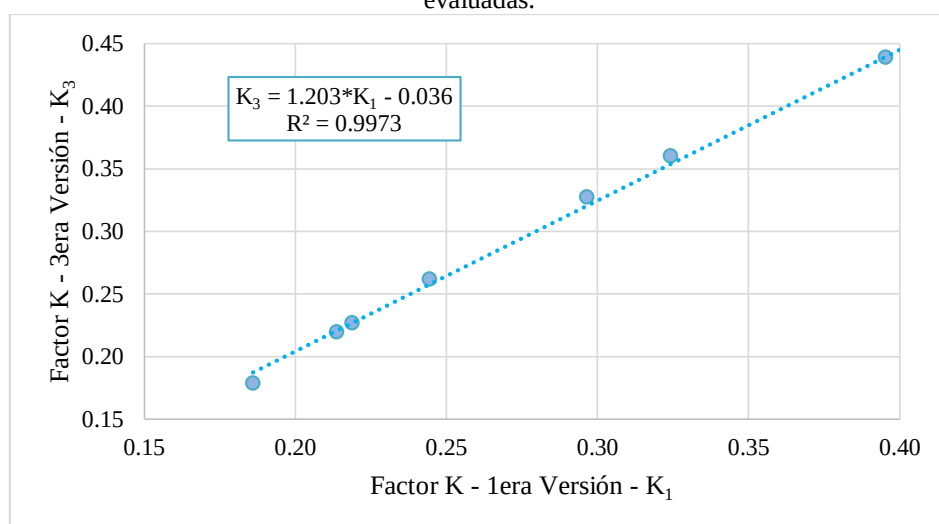
Fuente: Elaboración propia

*: Se consideró el promedio de ambas ecuaciones debido a que su variación para la localidad de Hualtaca es alta si se consideran por separado.

El error generado por la ecuación polinómica sobredimensiona en la mayoría de casos a tres veces el valor obtenido por el promedio de ecuaciones lineal y logarítmica, asimismo la variación máxima admitida en la información real es de 13.9% para el caso de Lúculo, el cual no es superado en ningún caso por el promedio de ecuaciones.

La alta variación en Hualtaca se debe al bajo contenido de materia orgánica, estructura en bloques (textura franco arenosa) y su permeabilidad moderada a rápida; los cuales aceleran el proceso de pérdida de suelo.

Gráfico N° 23: Correlación entre el Factor K según ambas versiones para las distintas localidades evaluadas.



Fuente: Elaboración propia

5.4.1.3. Factor LS

Se determinó el Factor LS según la Ecuación N°18 para las distintas localidades, a su vez se aplicó el método de pendiente compuesta usando la Ecuación N°19 y el Cuadro N°11, para verificar la variación entre ambos resultados.

Cuadro N° 75: Factor LS, 1era aproximación

Parámetros / Zona	Álamos	Palambra	Faique	Lúculo
a = Longitud de la ladera (m)	18.9	11	7	7.9
b = % de inclinación (%)	33.3	31.3	11.7	45.5
LS	5.67	3.76	0.72	5.22

Fuente: Elaboración propia

A modo de ejemplo, se muestra en el Cuadro N°76 el cálculo del Factor LS, según el método de ladera compuesta para la localidad de Álamos. El resumen según las localidades evaluadas se muestra en el Cuadro N°77.

Cuadro N° 76: Determinación del Factor LS por el método de ladera compuesta para la localidad de Álamos

Parámetro	Los Álamos		
a = Longitud de la ladera (m)	18.9	18.9	18.9
b= % de pendiente de cada segmento	25.6	33.6	40.5
Fracción de Pérdida de suelo	0.19	0.35	0.46
# de segmento	1	2	3
exponente de largo de pendiente	0.5	0.5	0.5
# Total de segmentos	3	3	3
LS sin Ponderar	3.94	5.76	7.47
LS Ponderado	0.76	2.03	3.40
LS Total	6.19		

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 77: Factor LS por el método de ladera compuesta para las localidades

Zona	LS	Pendiente	Forma de la pendiente
Álamos	6.19	33.3	Cóncava
Faique	0.83	11.7	Convexa
Lúcumo	5.11	45.5	Cóncava
Palambla	3.43	31.3	Convexa

Fuente: Elaboración propia

Además, se aprecia que la pendiente cóncava presenta mayor factor LS, por tanto, ofrece mayor pérdida de suelo debido a la forma que facilita el flujo hídrico. Asimismo, los resultados de este factor por los procedimientos anteriores indican que la primera aproximación tiende a sobrestimar dicho valor para pendientes mayores independientemente de la forma de esta.

5.4.1.4. Factor C

A diferencia del primer análisis el factor de cobertura vegetal, se evaluó haciendo uso de la Tabla N°8 y del Cuadro N°12. Para este último se realizó una cuantificación del porcentaje de cobertura del suelo por el método del cuadrante (Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1982) y el dosel arbóreo usando un densiómetro artesanal. Ver Cuadro N°78.

Cuadro N° 78: Factor de cobertura vegetal para las diferentes zonas

Versión del USLE	Parámetro	Faique	Palambla	Álamos	Lúcumo
1era versión - Tabla 8	Factor C*	0.41	0.41	0.41	0.15
2da versión - Cuadro 11	Dosel arbóreo	45.5	59.4	30.2	25
	Cobertura del suelo (cobertura vegetal de herbáceas)	11	13	11	26
	Factor C*	0.265	0.285	0.285	0.146

Fuente: Elaboración propia

*: Los valores asumidos para esta versión son el resultado de la observación en campo.

5.4.1.5. Factor P

El factor P es el mismo del primer análisis, el cual es toma el valor de la unidad (1), debido a las razones ya expuestas anteriormente.

5.4.1.6. Determinación de la tasa de erosión (t/ha/año)

La tasa de erosión se cuantifico usando el producto de los factores R, K, LS, C y P para las dos versiones evaluadas del USLE. Ver Cuadros N°79 y N°80

Cuadro N° 79: Tasa de Erosión hídrica por zonas – Primera Versión USLE

Zona	Factores del USLE – 1era Versión (E ₁)						Resultado (t/ha/año)
	R (5 años)		K	LS	C	P	
	Rango	Promedio	1era	Cuadro 59	1era		
Álamos	1000-1200	262.3	0.297	5.67	0.41	1	180.8
Faique	1200-1400	267.1	0.186	0.72	0.41	1	14.7
Palambla	1200-1400	267.1	0.324	3.76	0.41	1	133.5
Lúcumo	1400-1600	273.3	0.395	5.22	0.15	1	82.3

Fuente: Elaboración propia

La baja tasa de erosión presentada en la localidad del Faique se debe principalmente a su baja pendiente que repercute en el factor LS a diferencia de las demás localidades.

Cuadro N° 80: Tasa de Erosión hídrica por zonas – Segunda Versión USLE

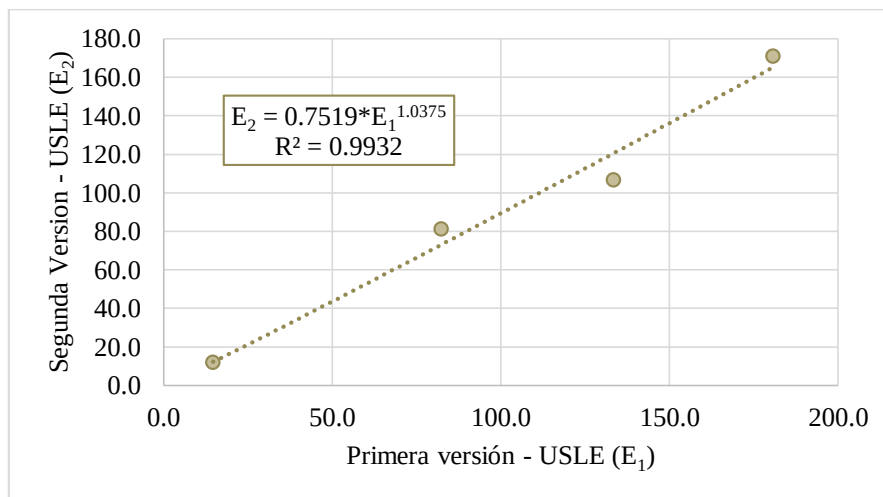
Zona	Factores del USLE – 2da Versión (E ₂)						Resultado (t/ha/año)
	R (5 años)		K	LS	C	P	
	Rango	Ramos	2da	Cuadro 61	2da		
Álamos	1000-1200	295.6	0.328	6.19	0.29	1	170.9
Faique	1200-1400	303.5	0.179	0.83	0.27	1	11.9
Palambla	1200-1400	303.5	0.360	3.43	0.29	1	106.7
Lúcumo	1400-1600	313.9	0.347	5.11	0.15	1	81.4

Fuente: Elaboración propia

La variación entre ambos métodos para todas las localidades es significativa del orden de 13.7% en promedio, en donde resalta un 25.1% para la zona de Palambla y esto se debe al cambio significativo en los factores C y R, a diferencia de los otros factores. Con respecto al factor R, se usó el de menor variación frente a los valores de campo.

La tasa promedio de erosión, sin considerar la localidad del Faique por su bajo valor, es 132 t/ha en el primer análisis, y para el segundo es de 120 t/ha. La variación entre ambos análisis es de 11%, esto quiere decir que la primera versión del USLE sobredimensiona la tasa de erosión.

Gráfico N° 24: Correlación entre la primera y segunda versión del USLE



Fuente: Elaboración propia

La ecuación expuesta en el Gráfico N°24 presenta una variación promedio de 7.4% entre la información real y la generada, la cual también expresa mejor el comportamiento por exceso (6.7%), el cual es aceptable para este tipo de estudio.

Ahora bien, la localidad de Palambla tiene una altitud de 1354 msnm, la cual es cercana a la altitud media de la subcuenca Pusalca y la variación es de 2.3%, razón por la cual es representativa su tasa de erosión para un tiempo de retorno de 5 años. A su vez, la tasa de erosión en t/ha, puede ser expresada en cm/año de la siguiente manera:

a. Primer análisis:

La tasa de erosión representativa para la subcuenca es de 133.5 t/ha/año, se tiene:

Ecuación N° 49: Peso específico de suelos

$$\rho \left(\frac{t}{m^3} \right) = \frac{P}{V}$$

Donde:

- ❖ ρ : Peso específico para los suelos de Huancabamba 2.15 t/m³ (Según Martínez Vargas & Perez Verástegui, 1980).
- ❖ P: Peso del suelo en toneladas.
- ❖ V: Volumen del suelo en m³

Reemplazando en la ecuación 49:

$$V = \frac{P}{\rho} = \frac{133.5}{2.15} = 62.1 \text{ m}^3$$

$$H = \frac{V}{A} = \frac{62.1 \text{ m}^3}{10000 \text{ m}^2} = 0.00621 \text{ metros} \Leftrightarrow 0.621 \text{ cm/año} \Leftrightarrow 6.21 \text{ milímetros/año.}$$

Por ende, la pérdida de suelos por año para un tiempo de retorno de 5 años es de 0.62 cm.

b. Segundo análisis:

La tasa de erosión representativa para la subcuenca es de 106.7 t/ha/año, se tiene:

Reemplazando en la ecuación 49:

$$V = \frac{P}{\rho} = \frac{106.7}{2.15} = 49.6 \text{ m}^3$$

$$H = \frac{V}{A} = \frac{49.6 \text{ m}^3}{10000 \text{ m}^2} = 0.00496 \text{ metros} \Leftrightarrow 0.496 \text{ cm/año} \Leftrightarrow 4.96 \text{ milímetros/año.}$$

Por lo tanto, la pérdida de suelos por año para un tiempo de retorno de 5 años es de 0.49 cm.

5.4.1. Cuantificación de la tasa de erosión por el método de Varillas

En las localidades evaluadas se instaló parcelas de varillas de erosión durante el periodo de lluvias (Diciembre-Marzo), contemplándose el registro de medición durante periodos de 5 días. Asimismo, se tomaron muestras de suelo no disturbadas en cilindros de Kopecky para su posterior determinación de densidad aparente, realizadas en el laboratorio de Aguas y Suelos de FIGAE-UNFV. **Ver Anexo N°05**

Cuadro N° 81: Características de parcela de varillas de erosión

Zonas	Parcela	Pendiente (%)	DAP (g/cm ³)	Contenido de fragmentos de roca (%)	Materia Orgánica (%)	Textura
Faique	F1	12	1.08	2.11	2.65	Franco Arenoso
	F2	15	1.20	1.56		
	F3	20	1.03	0.95		
Lúcumo	L1	33	0.82	6.57	3.7	Franco
	L2	26	0.94	0.92		
	L3	25	0.82	0		
Palambra	P1	20	1.05	2.03	5.07	Franco
	P2	24	1.04	1.96		
	P3	25	1.08	3.49		
Los Álamos	A1	15	1.05	0	4.93	Franco Arenoso
	A2	30	0.89	0		
	A3	25	1.01	0.59		

Fuente: Elaboración propia

Es necesario recalcar que, durante el periodo de recolección de información, no se presentó ocurrencia de El Niño, tal cual se muestra en el Cuadro N°82.

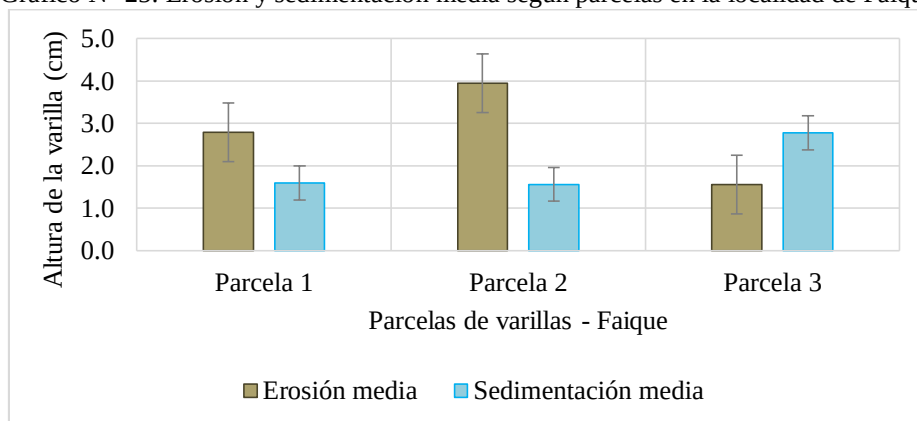
Cuadro N° 82: ICEN, en el periodo de recolección de varillas

Año	Mes	Índice costero El Niño (ICEN)	Categoría
2014	Diciembre	0.35	Neutras
2015	Enero	0.08	Neutra
2015	Febrero	0.01	Neutra
2015	Marzo	0.18	Neutra

Fuente: IGP – Descarga de datos disponibles en <http://www.met.igp.gob.pe/datos/icen.txt>

5.4.1.1.Localidad del Faique

Gráfico N° 25: Erosión y sedimentación media según parcelas en la localidad de Faique

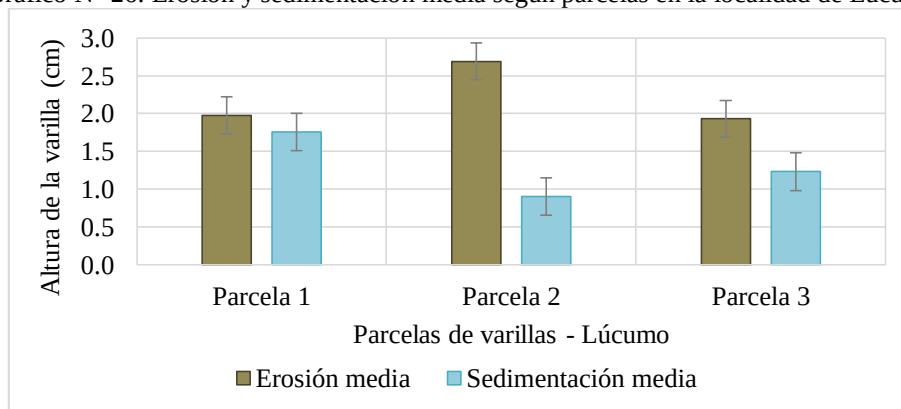


Fuente: Elaboración propia

En las parcelas 1 y 2 se presenta mayor erosión media debido a que posee escaso dosel arbóreo (32.2% y 47.4%), a diferencia de la parcela 3 en la cual el dosel arbóreo es de 57%, ofreciendo una mayor intercepción de lluvia, y por lo tanto mayor sedimentación por la escorrentía generada en áreas aledañas. Ver Gráfico N°25

5.4.1.2.Localidad de Lúcumo

Gráfico N° 26: Erosión y sedimentación media según parcelas en la localidad de Lúcumo

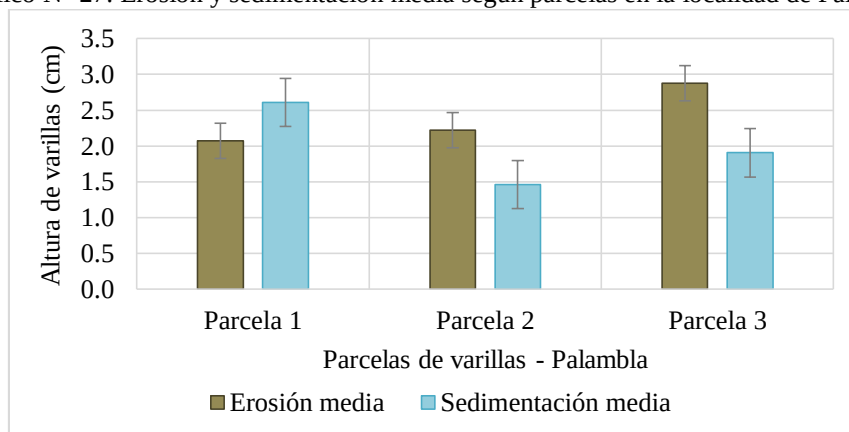


Fuente: Elaboración propia

El tipo de cobertura de esta localidad es de pastos para uso ganadero (inverna). El efecto de la pendiente (33%) y el contenido de fragmentos de roca (6.57%) en la parcela 1 resalta en la movilización del suelo, tanto en la erosión como en la sedimentación producida. Ver Gráfico N°26

5.4.1.3. Localidad de Palambla

Gráfico N° 27: Erosión y sedimentación media según parcelas en la localidad de Palambla

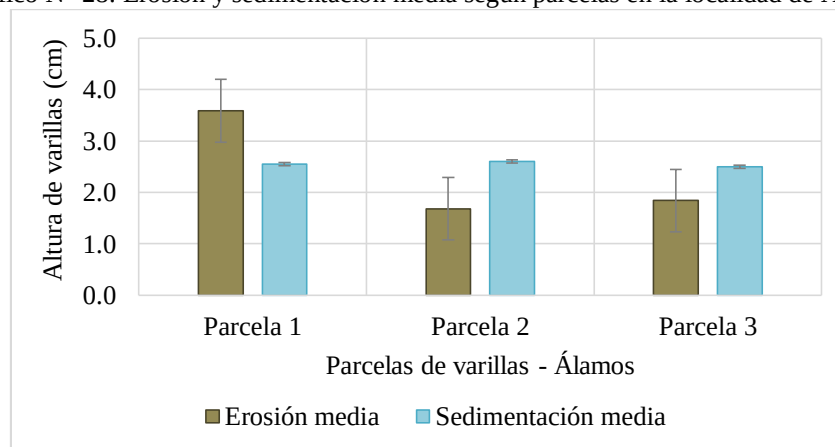


Fuente: Elaboración propia

La parcela 1 presenta mayor sedimentación media, similar a lo encontrado en el Faique. Su dosel arbóreo asciende a un 63.3%, a diferencia de las dos parcelas restantes con un promedio de 58% de dosel arbóreo. Ver Gráfico N°27

5.4.1.4. Localidad de Álamos

Gráfico N° 28: Erosión y sedimentación media según parcelas en la localidad de Álamos



Fuente: Elaboración propia

En esta localidad, el comportamiento de la movilización del suelo no guarda relación con el dosel arbóreo. Sin embargo, la forma cóncava de la pendiente favorece la sedimentación en pendientes mayores a 25%. Ver Gráfico N°28

De los gráficos anteriores se concluye que el contenido medio de materia orgánica favorece el desplazamiento de suelo, ya sea erosión o sedimentación. De manera contraria, el contenido de fragmentos de roca reduce el suelo movilizado. Estos resultados coinciden con lo expuesto por Sharpley & Williams (1990), al afirmar que las tasas de erosión disminuyen a medida que aumenta el porcentaje de cobertura de fragmentos de roca.

5.4.1.5. Determinación de la tasa de erosión (t/ha)

Para determinar su valor se usó la Ecuación N°20 y el promedio de las mediciones de varillas de las dos últimas fechas de registro, debido a la recurrencia de lluvias.

Cuadro N° 83: Erosión y sedimentación media, y erosión neta según localidad

Zona	Erosión Media	Sedimentación Media	Erosión Neta
	t/ha		
Faique*	97.1	85.7	11.4
Lúcumo	175.2	99.5	75.7
Palambla	180.3	73.2	107.1
Álamos	257.6	85.2	172.4

Fuente: Elaboración propia

*: La localidad del Faique solo se consideró la última medición de la tercera parcela, debido a que las otras presentaban valores muy excesivos.

5.5. INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA Y FRAGMENTOS DE ROCA

En el análisis del factor K, se notó que la presencia del contenido de fragmentos de roca y materia orgánica ocasiona variaciones relevantes, razón por la cual, se evaluó estos dos factores mediante un diseño experimental de un análisis factorial DCA (diseño completamente al azar), con el fin de determinar el grado de influencia que ofrecen frente a la reducción de pérdida de suelo. El análisis de varianza se presenta en el Cuadro N°84.

Ver Anexo N° 06

La Ecuación N°50, presenta al modelo aditivo lineal, según el cual se evaluará la influencia de los componentes: materia orgánica y fragmentos de roca.

Ecuación N° 50: Modelo aditivo lineal

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

- ❖ Y_{ijk} : Cantidad de pérdida de suelo obtenida con el nivel de materia orgánica i, a un nivel de cobertura de fragmentos de roca j y la repetición k.
- ❖ μ : Es el efecto de la cantidad de pérdida de suelo media general.
- ❖ α_i : Es el efecto del nivel de materia orgánica i
- ❖ β_j : Es el efecto del nivel de cobertura de fragmentos de roca j
- ❖ $(\alpha\beta)_{ij}$: Es el efecto de la interacción del nivel de materia orgánica i, con el nivel de cobertura de fragmentos de roca j.
- ❖ μ_{ij} : Es el efecto de la media de la combinación (tratamiento) ij.
- ❖ ε_{ijk} : Es el efecto del error experimental obtenido con el nivel de materia orgánica i, cobertura de fragmento de roca j y la repetición k.

Cuadro N° 84: Cuadro ANVA del DCA - Factorial

F.V.	GL	SC	CM	F cal	Resultado	F – Critico*
A	1	5120.4	5120.4	2.38	NS	5.32
B	1	6890.1	6890.1	3.19	NS	
AB	1	38485.8	38485.8	17.87	(*)	
Error –Exp.	8	17230.1	2153.8			
Total	11	67726.4				

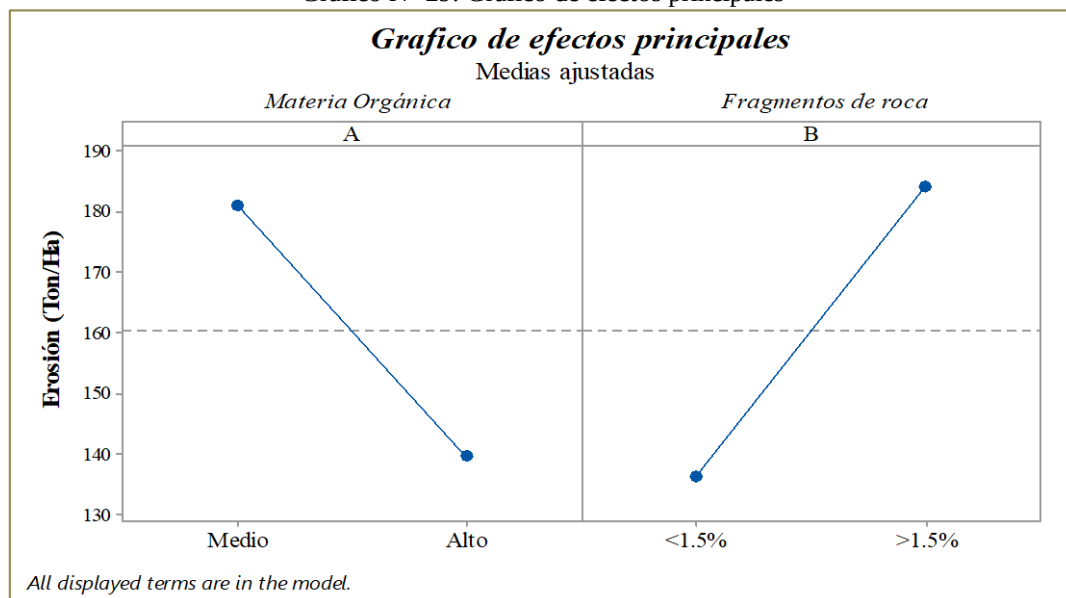
Fuente: Elaboración propia

*: F – Crítico al 95%

El análisis de varianza nos muestra que la interacción entre los distintos niveles de materia orgánica y los distintos niveles de fragmentos de roca resultan ser significativamente diferentes.

Además, su coeficiente de variabilidad para este experimento es de 28.9%, el cual es aceptable para este tipo de experimentación (condiciones de campo).

Gráfico N° 29: Gráfico de efectos principales



Fuente: Elaboración propia

La materia orgánica afecta la pérdida de suelo, porque la línea no es horizontal. El contenido medio de materia orgánica tiene una tasa de pérdida de suelo mayor que la del contenido alto. La cobertura de fragmentos de roca también afecta la tasa de pérdida de suelo. El contenido de fragmentos de roca mayor a 1.5% tuvo una tasa media de pérdida de suelo mayor que la del contenido menor a 1.5%. La línea de referencia representa la media general. Ver Gráfico N° 29

La interacción de los niveles de ambos factores es evaluada en el Cuadro N°85 con el fin de determinar qué efectos simples son significativos.

Cuadro N° 85: Análisis de varianza de efectos simples

F. V.	GL	SC	CM	F cal	Resultado	F – Critico*
Ab ₁	1	35841.0	35841.0	16.6	(*)	5.32
Ab ₂	1	7765.2	7765.2	3.6	NS	
Ba ₁	1	38972.0	38972.0	18.1	(*)	
Ba ₂	1	6403.9	6403.9	3.0	NS	
Error Exp	8	17230.1	2153.8			

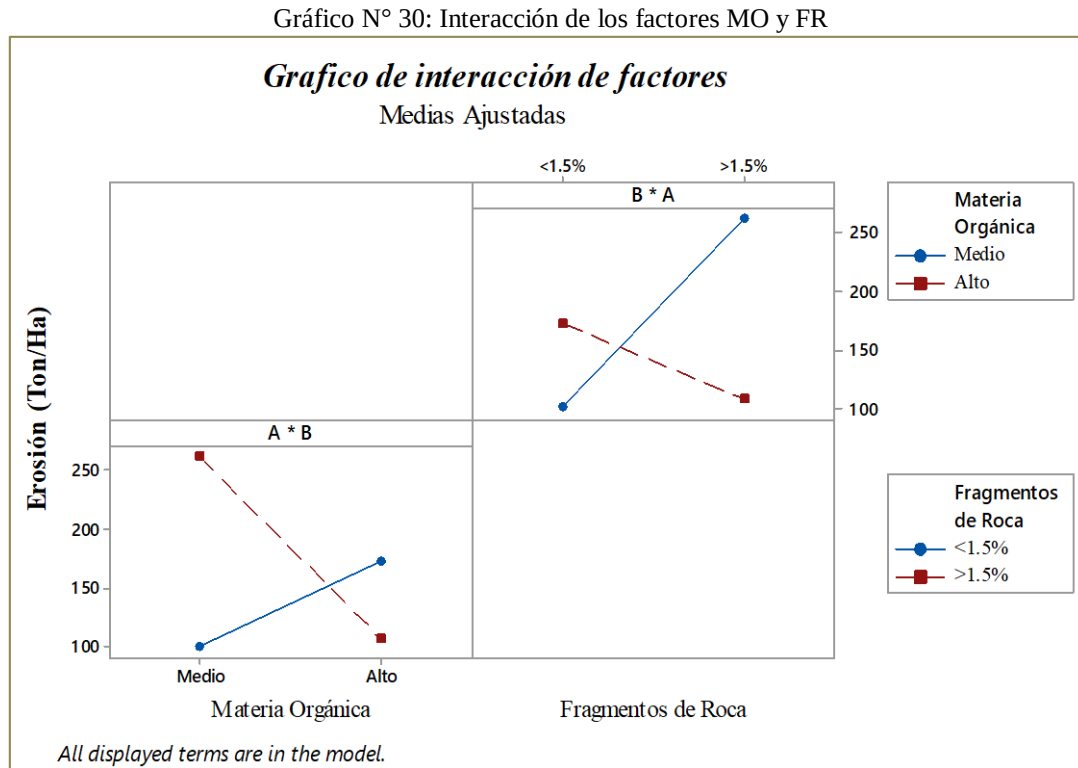
Fuente: Elaboración propia

*: F – Crítico al 95%

Se concluye que existe evidencia estadística para aceptar que no hay diferencia entre la materia orgánica y contenido de fragmentos de roca menor a 1.5%, pero si hay diferencias con un contenido mayor a 1.5%.

Asimismo, hay evidencia estadística para aceptar que con la presencia de fragmentos de roca se obtienen resultados diferentes en la pérdida de suelo considerando un contenido medio de materia orgánica (2-4%).

Todo esto se puede observar en el Gráfico N°30.



Fuente: Elaboración propia

Se debe agregar que el R^2 del modelo se puede obtener usando las siguientes ecuaciones:

Ecuación N° 51: Ecuación de la suma de cuadrados del modelo

$$SS_{Modelo} = SS_{MO} + SS_{FR} + SS_{Interacción}$$

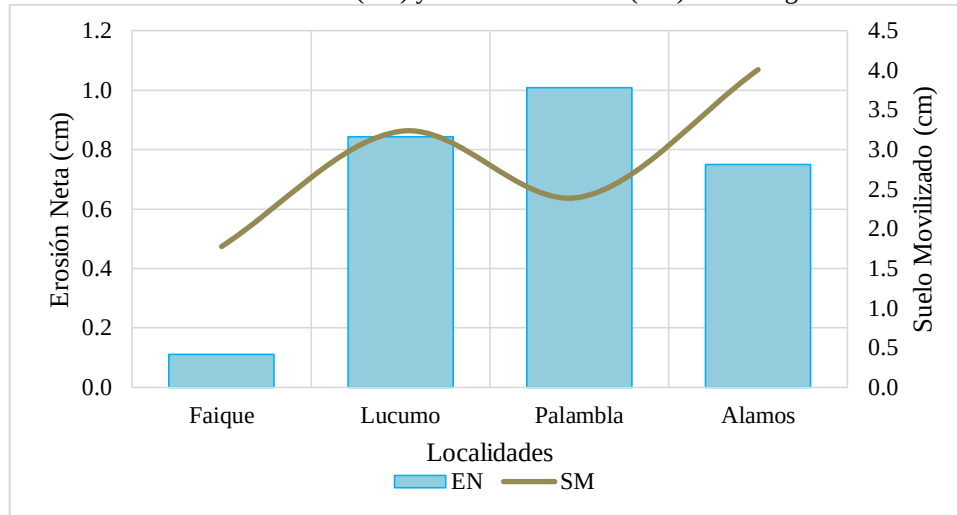
Ecuación N° 52: Ecuación del R^2 del modelo

$$R^2 = \frac{SS_{Modelo}}{SS_{Total}}$$

Como resultado se obtiene un R^2 de 0.745, lo que indica que cerca del 74.5% de la variabilidad de la pérdida de suelo, es explicada por el contenido de materia orgánica, fragmentos de roca y la interacción de ambos.

También se cuantifico la altura del suelo movilizado y se contrasto con la erosión neta para las distintas localidades, tal como lo muestra el Gráfico N° 31.

Gráfico N° 31: Erosión neta (EN) y Suelo movilizado (SM) en cm según localidad



Fuente: Elaboración propia

Las localidades de Palambla y Álamos tienen un alto contenido de materia orgánica y diferente contenido de fragmentos de roca, del gráfico se observa:

El contenido de fragmentos de roca en Álamos no es significativo, esto ocasiona que el suelo movilizado aumente significativamente, a pesar de contar con alto contenido de materia orgánica, es decir, un alto contenido de materia orgánica reduce la erodabilidad del suelo (favoreciendo la estabilidad y porosidad), pero esta característica no ejerce un control pleno sobre el suelo movilizado, pero si sobre la erosión neta.

La localidad de Palambla tiene un contenido de fragmentos de roca promedio de 2.5%, esto si bien reduce el suelo movilizado, al evitar la formación de costras sobre la superficie, reduciendo la separación por salpicadura de gotas de lluvia, no lo hace de igual manera con la erosión neta.

Estos resultados coinciden con lo que exponen Brakensiek & Rawls, (1994), ya que los efectos sobre la tasa de pérdida de suelo de los fragmentos de roca benefician al suelo evitando el encostramiento, pero limitan la funcionalidad de los macroporos para el intercambio y flujo de agua y aire, es decir, pueden aumentar y/o disminuir la infiltración, ocasionando variación en la lámina de agua superficial (escorrentía).

5.6. ANÁLISIS DE LA VARIACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA POR LOS MÉTODOS USLE Y VARILLAS

En esta parte se analizará la variación de ambos métodos, usando como control el método de varillas, debido a que es un método directo y proporciona una estimación más confiable. La comparación se realizará con las dos versiones del USLE, determinadas con anterioridad.

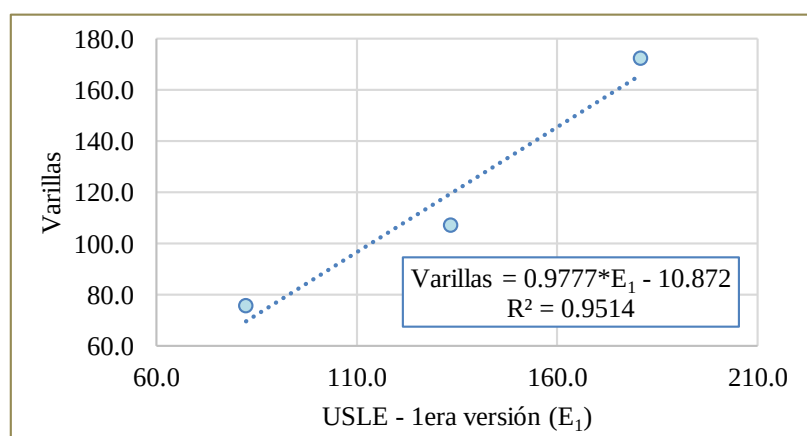
En la comparación de varillas frente a la primera versión del USLE, se obtiene una variación promedio de 12.8%. En cuanto a la variación de la información generada, se tiene un 8% en promedio, donde su valor más alto se presenta en la localidad de Lúculo con 29%, mientras que en las demás localidades su estimación se produce por encima de su valor medido.

Cuadro N° 86: Variación de la pérdida de suelo según el método USLE (1era versión) y Varillas de erosión

Método	Faique	Palambra	Álamos	Lúculo
Varillas	11.4	107.1	172.4	75.7
USLE – 1 era versión (E ₁)	14.7	133.5	180.8	82.3
Variación (%)	28.6	24.7	4.9	8.8

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 32: Correlación entre el método de varillas y la primera versión del USLE (E₁)



Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, la segunda versión del USLE tiene una variación que asciende a 2.1%. De igual modo la variación promedio entre los datos generados y los medidos es de 0.1%, donde el valor más cercano se da en la localidad de Palambra con 0.3%.

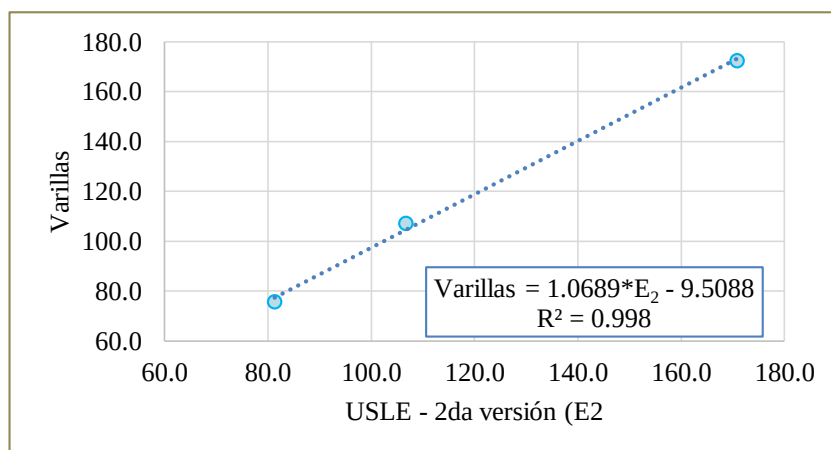
Esto se puede explicar, ya que la determinación del factor R usando Morgan se usó un registro pluviográfico de 9 años, frente uno de 31 años usado en Ramos Taipe, además de las consideraciones del factor K, ya que su tercera versión incorpora parámetros como los fragmentos de roca y altos contenidos de materia orgánica frente a su primera versión, la cual restringe su aplicabilidad a suelos con alto contenido de los parámetros en mención.

Cuadro N° 87: Variación de la pérdida de suelo según el método USLE (2da versión) y Varillas de erosión

Método	Faique	Palambla	Álamos	Lúcumo
Varillas	11.4	107.1	172.4	75.7
USLE – 2 da versión (E ₂)	11.9	106.7	170.9	81.4
Variación (%)	4.9	0.3	0.9	7.5

Fuente: Elaboración propia

Gráfico N° 33: Correlación entre el método de varillas y la segunda versión del USLE (E₂)



Fuente: Elaboración propia

5.6.1. Variación entre los métodos USLE y varillas.

Los valores obtenidos según área de erosión, rango de altitud y subcuencas por el método USLE (E₁), fueron contrastados con la información generada para el método USLE (E₂) y Varillas, con las siguientes consideraciones:

- ❖ Grado de erosión alto a muy alto, debido a que las regresiones realizadas fueron obtenidas de datos observados entre un rango de valores de 75 hasta 170 t/ha/año.

- ❖ Siguiendo esta premisa, los valores obtenidos para las diversas comparaciones se encuentran distribuidos espacialmente en la sección media de la subcuenca del río Pusmalca.

5.6.1.2. Variaciones por áreas de erosión

Los valores de pérdida de suelo para el método USLE (E_2), son los que se muestran en el cuadro 86, donde el grado de erosión alto representa el 16.5% (3141 Ha) y el grado muy alto el 6.6% (1249 Ha) del área total, en conjunto representan el 23.1%, es decir más de la quinta parte del área total de la subcuenca Pusmalca.

En este sentido, el error promedio entre ambas versiones del USLE para el grado de erosión muy alta es de 6% y para el grado alto es de 11%, ambos grados de erosión presentan un valor medio de 9%, donde todos los valores obtenidos no sobrepasan el 15%.

Ver Cuadros N°88 y N°89

Cuadro N° 88: Pérdida de suelo por el método USLE (E_2) según tiempo de retorno y grado de erosión hídrica

#	Grado de Erosión hídrica	Pérdida de suelo (t/ha/año) – USLE (E_2)				
		Tr 5 años	Tr 10 años	Tr 25 años	Tr 50 años	Tr 100 años
1	Muy alta	364	422	520	591	663
2		342	404	498	566	634
3		276	324	399	455	510
4		194	229	283	323	363
5	Alta	139	158	195	223	250
6		98	112	137	156	175
7		72	83	102	117	131
8		64	74	91	103	115
9		60	72	89	101	113
10		50	58	72	82	92

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 89: Pérdida de suelo por el método de varillas según tiempo de retorno y grado de erosión hídrica

#	Grado de Erosión hídrica	Varillas usando USLE 2				
		Tr 5 años	Tr 10 años	Tr 25 años	Tr 50 años	Tr 100 años
1	Muy alta	379	442	546	622	699
2		356	422	522	596	668
3		286	337	417	477	536
4		198	235	293	336	379
5	Alta	139	160	199	229	258
6		95	110	137	158	178
7		67	79	100	115	130
8		59	70	87	101	114
9		55	68	86	99	112
10		44	53	67	78	88

Fuente: Elaboración propia

Los valores obtenidos por el método de varillas de erosión se cuantificaron usando la ecuación del Gráfico N°34, debido a que es la que más se aproxima a los valores observados.

El error promedio obtenido entre varillas y USLE (E_1) para el grado de erosión muy alto es 2% y 15% para el grado alto, considerando que el error máximo para modelos de predicción es del orden de 40%, el promedio de ambos grados es del orden del 10%.

Por el contrario, el error promedio obtenido entre varillas y USLE (E_2) es de 4% para los grados de erosión muy alto y alto respectivamente. Ver Cuadros N°90 y N° 91

Cuadro N° 90: Error obtenido entre los métodos de varillas y USLE (E_1)

#	Grado de Erosión hídrica	Error entre Varillas y USLE (E ₁) (%)				
		Tr 5 años	Tr 10 años	Tr 25 años	Tr 50 años	Tr 100 años
1	Muy alta	2%	1%	0%	1%	1%
2		2%	1%	0%	1%	1%
3		4%	3%	1%	1%	0%
4		7%	5%	4%	3%	2%
5	Alta	10%	9%	7%	5%	5%
6		15%	13%	10%	9%	8%
7		20%	18%	14%	12%	11%
8		23%	20%	16%	14%	12%
9		25%	20%	16%	14%	13%
10		30%	25%	20%	18%	16%
Error promedio (%)		14%	12%	9%	8%	7%

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 91: Error obtenido entre los métodos de varillas y USLE (E₂)

#	Grado de Erosión hídrica	Error entre Varillas y USLE (E ₂) (%)				
		Tr 5 años	Tr 10 años	Tr 25 años	Tr 50 años	Tr 100 años
1	Muy alta	4%	5%	5%	5%	5%
2		4%	5%	5%	5%	5%
3		3%	4%	5%	5%	5%
4		2%	3%	4%	4%	4%
5	Alta	0%	1%	2%	3%	3%
6		3%	2%	0%	1%	1%
7		7%	5%	2%	1%	0%
8		9%	6%	4%	2%	1%
9		10%	7%	4%	3%	2%
10		14%	10%	7%	5%	4%
Error promedio (%)		6%	5%	4%	3%	3%

Fuente: Elaboración propia

5.6.1.2. Variaciones por rangos de altitud

De igual modo, se consideró solo la sección media para este análisis y se generó información para USLE (E₂) y varillas respectivamente. Las variaciones obtenidas entre la versión del USLE (E₁) y varillas es de 15.3% y de 4.2% entre USLE (E₂) y varillas.

Ver Tablas N°33, N°34, N°35 y N°36

Tabla N° 33: Pérdida de suelo por el método de USLE (E₂) según tiempo de retorno y rango de altitud

Rango de altitud (m.s.n.m)	Pérdida de suelo (t/ha/año) USLE (E ₂)				
	Tr 5 años	Tr 10 años	Tr 25 años	Tr 50 años	Tr 100 años
800 - 1000	75	91	112	128	143
1000 - 1200	59	72	89	101	114
1200 - 1400	54	66	81	93	104
1400 - 1600	110	135	168	192	215
1600 - 1800	104	127	157	179	201
1800 - 2200	48	58	71	81	91

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 34: Pérdida de suelo por el método de varillas según tiempo de retorno y rango de altitud

Rango de altitud (m.s.n.m)	Pérdida de suelo (t/ha/año) Varillas				
	Tr 5 años	Tr 10 años	Tr 25 años	Tr 50 años	Tr 100 años
800 - 1000	70.4	88.0	110.3	127.0	143.5
1000 - 1200	53.5	67.6	85.4	98.7	111.9
1200 - 1400	47.7	60.7	77.2	89.4	101.6
1400 - 1600	108.3	135.3	169.7	195.2	220.5
1600 - 1800	101.5	126.5	158.3	181.8	205.2
1800 - 2200	41.4	52.4	66.6	77.0	87.4

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 35: Error obtenido entre los métodos de varillas y USLE (E₁)

Rango de altitud (m.s.n.m)	Error entre Varillas y USLE (E ₁) (%)				
	Tr 5 años	Tr 10 años	Tr 25 años	Tr 50 años	Tr 100 años
800 - 1000	19.6%	15.9%	12.8%	11.1%	9.7%
1000 - 1200	25.2%	20.4%	16.4%	14.3%	12.6%
1200 - 1400	27.9%	22.4%	18.0%	15.7%	13.9%
1400 - 1600	13.0%	10.4%	8.1%	6.8%	5.8%
1600 - 1800	13.9%	11.1%	8.7%	7.4%	6.4%
1800 - 2200	31.7%	25.6%	20.6%	18.0%	16.0%
Error promedio (%)	21.9	17.6	14.1	12.2	10.7

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 36: Error obtenido entre los métodos de varillas y USLE (E₂)

Rango de altitud (m.s.n.m)	Error entre Varillas y USLE (E ₂) (%)				
	Tr 5 años	Tr 10 años	Tr 25 años	Tr 50 años	Tr 100 años
800 - 1000	6.2%	3.7%	1.6%	0.6%	0.2%
1000 - 1200	10.2%	6.7%	4.0%	2.6%	1.5%
1200 - 1400	12.2%	8.2%	5.1%	3.5%	2.3%
1400 - 1600	1.8%	0.1%	1.2%	1.9%	2.5%
1600 - 1800	2.3%	0.6%	0.8%	1.6%	2.2%
1800 - 2200	15.1%	10.5%	6.9%	5.1%	3.7%
Error promedio	8.0%	5.0%	3.3%	2.5%	2.1%

Fuente: Elaboración propia

La variación máxima alcanza su valor de 15.1% debido a que el valor obtenido por el método USLE (E₂) está por encima del rango del modelo, pero aun así sólo para ese rango (1800-2200) se tiene un error promedio de 8%, el cual es aceptable para este tipo de estudio.

5.6.1.3. Variaciones por subcuencas

Por otra parte, para la distribución de pérdida de suelo a nivel espacial en unidades hidrográficas, se han considerado solo la microcuenca Agua Azul y la subcuenca Los Potreros, las cuales presentan alta tasa de pérdida de suelo, además ambas representan el 51% del área total de la subcuenca Pusmalca. Ver Cuadros N°92, N°93, N°94 y N°95

Cuadro N° 92: Pérdida de suelo por el método de USLE (E₂) según tiempo de retorno y unidad hidrográfica

Unidad hidrográfica	Área (Ha)	Pérdida de suelo (t/ha/año) USLE (E ₂)				
		Tr 5 años	Tr 10 años	Tr 25 años	Tr 50 años	Tr 100 años
Microcuenca Agua Azul	3286	56	68	84	96	108
Subcuenca Los Potreros	6401	54	66	82	93	105

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 93: Pérdida de suelo por el método de varillas según tiempo de retorno y unidad hidrográfica

Unidad hidrográfica	Área (Ha)	Pérdida de suelo (t/ha/año) Varillas				
		Tr 5 años	Tr 10 años	Tr 25 años	Tr 50 años	Tr 100 años
Microcuenca Agua Azul	3286	50.2	63.5	80.5	93.1	105.6
Subcuenca Los Potreros	6401	48.3	61.3	77.8	90.1	102.3

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 94: Error obtenido entre los métodos de varillas y USLE (E_1)

Unidad hidrográfica	Área (Ha)	Error entre Varillas y USLE (E_1) (%)				
		Tr 5 años	Tr 10 años	Tr 25 años	Tr 50 años	Tr 100 años
Microcuenca Agua Azul	3286	27%	22%	17%	15%	13%
Subcuenca Los Potreros	6401	28%	22%	18%	16%	14%

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 95: Error obtenido entre los métodos de varillas y USLE (E_2)

Unidad hidrográfica	Área (Ha)	Error entre Varillas y USLE (E_2) (%)				
		Tr 5 años	Tr 10 años	Tr 25 años	Tr 50 años	Tr 100 años
Microcuenca Agua Azul	3286	11%	8%	5%	3%	2%
Subcuenca Los Potreros	6401	12%	8%	5%	3%	2%

Fuente: Elaboración propia

Las variaciones obtenidas para la microcuenca Agua Azul y subcuenca Los Potreros corresponden a un 19% y 6% respecto a la comparación del USLE (E_1) y USLE (E_2) con Varillas.

Finalmente, se cuantifico la variación por el Índice de Eficiencia de Nash-Sutcliffe (E) y el error medio cuadrático, con el fin de determinar cuánto de la variación de las observaciones es explicada por la simulación (versiones del USLE). Además, la raíz del error cuadrático medio (RMSE) permite determinar la magnitud de la desviación de los valores simulados respecto a los observados. Para ello, se utilizó el cuadro 94, en el que el USLE (E_1) es obtenido por el producto de los factores, el USLE (E_2) es obtenido en función al E_1 y la columna de varillas son valores observados en campo.

Cuadro N° 96: Pérdida de suelo según modelos de erosión USLE y valores observados

Localidad	Factores del USLE				USLE (E_1)	USLE (E_2)	Varillas
	R	K	LS	C			
Los Álamos*	262	0.32	5.67	0.41	195.9	179.6	172.4
La Tuna - Faique*	267	0.19	0.72	0.41	14.8	12.3	11.4
Palambla*	267	0.30	3.76	0.41	123.4	111.2	107.1
Lúcumo*	273	0.40	5.52	0.15	88.4	78.6	75.7

Fuente: Elaboración propia

El índice de eficiencia de Nash – Sutcliff, muestra una alta significancia (0.99) entre el modelo USLE (E_2) y los valores observados en parcelas de varillas de erosión, considerando un error medio cuadrático de 4.4%. Igualmente, el modelo USLE (E_1) tiene una correspondencia alta, pero la raíz del error cuadrático medio es muy alta (del orden de 15.8%). Esto se traduce en que el modelo E_2 , además de presentar una alta correlación, su error generado es significativamente aceptable. Ver Cuadro N° 97

Cuadro N° 97: Índice de Eficiencia de Nash-Sutcliff (E) y RMSE obtenido de la comparación entre ambos modelos

Eficiencia entre modelos	E	RMSE
Modelo USLE 1 y varillas	0.926	15.8
Modelo USLE 2 y varillas	0.994	4.4

Fuente: Elaboración propia

5.6.2. Variación en los costos de pérdida de suelo por el modelo USLE

Para la cuantificación de los costos generados por la pérdida de suelo, se tomó como indicador, el planteado por Morales, Dascal, & Aranibar, (2013), que tiene un valor de 10 US\$/ha.

El cuadro N° 98 contempla el cálculo de la cantidad de pérdida de suelo por las dos versiones del USLE, considerando un área total de la subcuenca del río Pusmalca de 19017 Ha y los análisis de tasa de pérdida de suelo por área de erosión y rangos de altitud.

Cuadro N° 98: Pérdida de suelo promedio (t/ha/año) para un tiempo de retorno de 5 años

Ítem	Áreas de erosión	Rango de altitud
USLE (E_1)	53	58
USLE (E_2)	46.2	50.8
Tasa de erosión entre modelos (Diferencia)	6.8	7.2
Pérdidas por erosión hídrica	128396	137249.5
Valor total en la subcuenca US\$	1283960	1372495
Costo en millones de US\$	1.3	1.4

Fuente: Elaboración propia

*: Tasa de cambio al 09/12/16, definido por el BCRP (Banco Central de Reserva del Perú)- 1US\$ = 3.4 soles.

Aproximadamente, la variación entre los valores obtenidos por los modelos asciende a 1.4 millones de dólares americanos (US\$), que en soles es aprox. 4.8* millones de soles.

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Esta investigación tuvo como propósito analizar la variación entre los métodos USLE y varillas de erosión, teniendo como área de estudio la subcuenca del río Pusmalca. Además, se determinó la influencia del porcentaje de materia orgánica y fragmentos de roca presentes en los suelos evaluados con el fin de explicar los procesos de erosión y sedimentación con valores extremos no contemplados dentro del nomograma clásico del factor K.

Para cuantificar los factores del modelo USLE clásico (R, K, LS, C, P) y las mejoras añadidas hasta la actualidad, se utilizaron las ecuaciones sustentadas en el Marco Teórico. La zona de estudio se ve afectada por El Niño, por lo que en primera instancia se deslindó su influencia mediante el análisis de precipitaciones máximas a diferentes tiempos de retorno en escala interanual (1973-2013) con presencia y sin presencia de este, obteniendo un valor de 11.5% el cual no define una afectación en su totalidad para la sección media – alta, esto concuerda con lo expuesto por León Altuna (2014), que explica que para el periodo DEFM, el aumento de la frecuencia de días húmedos y la magnitud de precipitación total anual se acentúa más en presencia de eventos La Niña.

Para la determinación del factor R se usaron las fórmulas de Morgan y la expuesta por Ramos Taipe, debido a su buena aplicabilidad en función a precipitaciones máximas e intensidades máximas con un ($KE > 25$). La subcuenca Pusmalca tiene un factor de erosividad de lluvias de 268 Mj/mm/ha/h, en contraste con el valor determinado por Camacho Zorogastúa, (2012) en la región de la selva, subcuenca Cumbaza, con un valor de 214.3 Mj/mm/ha/h, ambos valores para un tiempo de retorno de 5 años, y una variación de 33.6% entre ambos, está se debe a la prolongada duración de la lluvia en la sierra, que

no solo humedecen el suelo, sino que también genera una escorrentía permanente originando así un flujo continuo de sedimentos, a diferencia de la región de la selva.. También, Olivares, Lobo, & Verbist, (2015) usaron el índice modificado de Fournier (IMF) y fórmula de ICONA adaptada para la región de Chile, encontrando que los valores obtenidos se ajustan bien a los registrados en campo.

El Factor de erodabilidad (K), contempló distintas versiones (desde la clásica, hasta la expuesta por Auerswald, Fiener, Martin, & Elhaus, 2014), considerando que esta última incluye las cuatro restricciones de la ecuación clásica, a diferencia de la ecuación usada para el factor K (modelo WEPP) usada en el estudio de Labrière, Locatelli, Laumonier, Freycon, & Bernoux, (2015) en el que prescinde del diámetro de partículas. La primera requiere una evaluación más exhaustiva y detallada. Entre la primera ecuación y la que contempla las restricciones, la variación es significativa para las zonas evaluadas, principalmente por el alto contenido de materia orgánica y de fragmentos de roca.

En la determinación del Factor LS, se usó la ecuación de Arnoldus ya que la subcuenca presenta una pendiente promedio superior al 20%, En cambio, Camacho Zorogastúa (2012), usó la fórmula de Aguilo Bonin ya que su evaluación fue de forma general. En segunda instancia, se elaboró el mapa de pendientes de manera manual considerando forma, orientación y longitud de la pendiente, para aplicar la recomendación de los investigadores expertos en el tema, sumándose la metodología propuesta por Ramos Taipe, (2001) para áreas pequeñas mediante el uso del software ArcGis, obteniendo así, un mapa de factor LS que ofrece mayor veracidad, ya que considera los elementos ya mencionados.

Para el factor C, se consideraron la distribución de la cobertura vegetal para el análisis general (1:75 000) considerando los valores expuestos por la tabla 8 y los valores determinados por Pérez Nieto, Váldez Velarde, & Ordaz Chaparro, (2012), para sistemas

agroforestales presentes en la subcuenca, para el segundo análisis se consideró evaluaciones en campo de dosel arbóreo y cobertura vegetal del suelo, resultando en una evaluación más detallada, tal como lo indica Wischmeier & Smith, (1978).

El factor de prácticas de conservación de suelos “P” se le asignó el valor de 1 para ambos análisis, debido a que la subcuenca no presenta prácticas de conservación de suelos establecidas dentro de las consideraciones de la ecuación USLE.

Los valores obtenidos de la versión USLE (E_1) a nivel de sectores de la subcuenca Pusalca coinciden con las tendencias encontradas por (Camacho Zorogastúa, 2012) en la subcuenca Cumbaza, que determina que la sección media tiene una alta tasa de erosión. Además, los valores encontrados de pérdida de suelo en cm/año por ambas versiones (E_1 y E_2) son diferentes a los encontrados por dicha autora (0.62 cm/año frente a 0.33 cm/año), de igual modo el valor promedio de las alturas de varillas observados en campo (0.5 cm/año) discrepan con los autores Yataco Perez (2006) y Quiñónez Berganza (2012) con valores de 0.32 cm/año en promedio; pero son aproximadamente cercanos a los encontrados por Tapia Muñoz (2011) en la provincia de Huánuco (0.51 cm/año). Esto se explica ya que la zona evaluada presenta mayor pendiente promedio que las evaluadas por ellos; así mismo el periodo estimado de 5 días se designó debido a la frecuencia de precipitaciones en el área de estudio, a diferencia de otros autores, que recomiendan periodos decadales (10 días).

La tasa de pérdida de suelo por las versiones (E_1 y E_2) para los diferentes tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50, 100 años, en la subcuenca se encuentran dentro del grado alto, considerando la clasificación de la FAO, para el primer análisis se tienen valores de 53, 72, 76, 86, 96 t/ha/año y para el segundo análisis se tiene 46, 54, 67, 76, y 85 t/ha/año respectivamente.

Los resultados obtenidos por Smets, Poesen, & Bochet, (2008) esclarecen el efecto de cubierta de fragmento de roca sobre la erosión hídrica, en dos aspectos: en el primero la parcela de varillas de erosión tiene una longitud menor a 11 m, y en esta la variación es muy alta entre la eficiencia de la escorrentía y la reducción por diferentes cubiertas; mientras que en segundo lugar, la cubierta de vegetación es más eficaz frente a la cubierta de fragmentos de roca en la reducción de pérdida de suelo. Esto se puede apreciar contrastando los valores de pérdida de suelo de las localidades de Palambla y Lúcumo, ambas con contenido de fragmento de roca ($>1.5\%$) y diferentes niveles de cobertura vegetal, con valores de 107.1 y 90.8 t/ha/año, respectivamente.

La variación encontrada para los distintos análisis (áreas de erosión, rangos de altitud y unidades hidrográficas) tiene un error máximo del 19% para el E_1 y 6% para el E_2 , estos resultados concuerdan con los encontrados por Oyarzun Ortega, (1993) en Chile, obteniendo un error de 22% para datos anuales.

El índice de eficiencia de Nash – Sutcliff, aclara que el modelo E_2 , presenta una alta confiabilidad respecto a los valores observados en campo (varillas) (0.99), además de presentar una raíz media del error cuadrático de 4, indicando que tiene un buen ajuste, por lo que la información generada espacialmente no supera el 15% de error. Por ello, el modelo es aceptable para zonas de erosión alta y muy alta, tomando para ello las consideraciones evaluadas en este estudio.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

- ❖ Dentro de la identificación espacial de áreas de erosión hídrica en la subcuenca del río Pusmalca, se estableció que la zona de mayor afectación es la sección media con un área de 66.9 km² (35.2%) y tasas de erosión alta y muy alta (84 t/ha/año en promedio); en la sección baja grados de erosión de moderado a alto (42 t/ha/año en promedio) y área de 61.5 km² (32.3%); la sección alta cuenta con un área de 61.74 km² (32.5%) y tasas de erosión con grados desde muy bajo a alto (45 t/ha/año en promedio). Para los índices de erosión, la sección media presenta moderado riesgo de degradación, la sección alta suelos estables estructuralmente y la sección baja suelos degradados. Ver Cuadro N°67 Mapa N°23.
- ❖ La tasa de pérdida de suelo estimada para la subcuenca Pusmalca en el primer análisis (E₁) tiene valores de 53, 72, 76, 86, 96 t/ha/año para tiempos de retorno de 5, 10, 25, 50, y 100 años respectivamente. Del mismo modo, en el segundo análisis (E₂) se tienen pérdidas de suelo de 46, 54, 67, 76, y 85 t/ha/año. Localizando una tasa de erosión alta a muy alta para la microcuenca Agua Azul, seguidamente de la subcuenca Los Potreros con valores de 64 y 62 t/ha/año, según sea el caso para el (E₁). La Subcuenca Pusmalca presenta un grado de erosión alto, esto se confirma con el método directo (varillas), que determino para la localidad de Palambla un valor de 107.1 t/ha/año para la sección media.
- ❖ Se ha encontrado una significancia alta en la interacción de fragmentos de roca y materia orgánica con un R² de 0.745, lo cual indica que cerca del 74.5% de la variabilidad de la pérdida de suelo es explicada por el contenido de materia orgánica, fragmentos de roca y la interacción de ambos. Ver Gráfico N°30 y Anexo N°06

- ❖ Al comparar los resultados obtenidos por ambos métodos USLE (E_1 y E_2), el que se aproximó más a los valores reales obtenidos por varillas es el método E_2 , considerando que fue capaz de establecer aproximaciones con relación a la tendencia de los datos con un índice de eficiencia de Nash – Sutcliffe (E) de 0.99 y una raíz media del error cuadrático (RMSE) de 4, que se traduce en una variación aproximada de 4.8% en la generación de datos, en contraste con el método E_1 que sobrestimo la erosión en un 14.8% a pesar de presentar un E de 0.92, su RMSE fue de 16, el cual indica una alta desviación de los valores simulados frente a los observados en campo (varillas). Ver Cuadro N°97

7.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda que se extienda el periodo de recolección de información durante años niño, a fin de caracterizar y afianzar el modelo USLE, para estos eventos extremos.

La mayor pérdida de suelo se da en la microcuenca Agua azul ubicada dentro del distrito de Canchaque con tasa de erosión de 67 t/ha/año, por ello se recomienda establecer prácticas de conservación de suelos y aguas acorde con su realidad.

Realizar investigaciones sobre la influencia de fragmentos de roca y materia orgánica con diferentes tratamientos y un mayor número de repeticiones a fin de esclarecer totalmente su efecto sobre la pérdida de suelo en el modelo USLE.

Debido a la alta tasa de deforestación intensiva en la subcuenca se recomienda realizar investigaciones sobre valoración económica del servicio ambiental a nivel de suelo, agua y biodiversidad, a fin de establecer un pago por servicios ambientales y obtener un presupuesto para proyectos de reforestación y cambio de prácticas agropecuarias.

Realizar investigaciones sobre sistemas agroforestales de café y su influencia en la pérdida de suelos a fin de determinar un factor C en el modelo USLE.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. (DGAS), D. G. (1988). *Promoción de Prácticas de Conservación de Suelos y Aguas a través de la difusión de áreas de comprobación*. Ministerio de Agricultura, Programa Nacional de Conservación de Suelos y Aguas en Cuencas Hidrográficas, Lima. Recuperado el 10 de Setiembre de 2015
2. (AACHCHP, 2005). *Escenarios del Cambio Climático en la Cuenca del Río Piura*. Boletín Técnico, Autoridad Autónoma de la Cuenca Hidrográfica Chira Piura, Lima, Lima.
3. Actualidad Ambiental. (30 de Setiembre de 2014). *Serfor: Perú ha perdido más de 7 millones de Hectáreas de Bosques por Deforestación*. Recuperado el 02 de Octubre de 2014, de <http://www.actualidadambiental.pe/?p=25632>
4. Alcañiz, J. M. (2008). *Erosión: Evaluación del Riesgo Erosivo y Prácticas de Protección del Suelo*. En P. Andrés, R. Rodríguez Pérez, J. Alcañiz Baldellou, J. Bach Plaza, A. Bonmatí, J. Comas, . . . J. Vila Subirós, P. Andrés, & R. Rodríguez (Edits.), *Evaluación y Prevención de Riesgos Ambientales en Centroamérica* (Primera Edición ed., pág. 22). Barcelona, España. Obtenido de <http://www.creaf.uab.es/propies/pilar/LibroRiesgos/>
5. Alegre, J., & Rao, M. (15 de April de 1996). *Soil and water conservation by contour hedging in the humid tropics of Peru*. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 57(1), 17-25. Recuperado el 13 de Setiembre de 2015
6. Alva, J. M. (1976). *Agentes Erosivos y Tipos de Erosión*. INIA, Temuco, Chile. Recuperado el 26 de Marzo de 2015
7. Auerswald, K., Fiener, P., Martin, W., & Elhaus, D. (12 de Febrero de 2014). *Use and misuse of the K factor equation in soil erosion modeling: An alternative equation for determining USLE nomograph soil erodibility values*. *Catena* (118), 220-225. Recuperado el Noviembre de 2014
8. Ávila Víctor, C. M. (2013). *Pérdida de la Fertilidad del Suelo por Erosión Hídrica en la Cuenca Propia del Lago de Chapala, Michoacán*. Tesis de Grado de Maestría, Centro Interdisciplinario de Investigación Para el Desarrollo Integral Regional, Instituto Politécnico Nacional, Jiquilpan, Michoacán.
9. Bagarello, V., Ferro, V., & Pampalone, V. (2013). *Una nueva Expresión del factor de longitud de escala USLE - MM en el área experimental SPARACIA, Italia*. (Elsevier, Ed.) *Catena*, 21-26.
10. Behar Rivero, D. S. (2008). *Metodología de la Investigación*. España: Shalom.
11. Bohn, H. I., O'connor, G. A., & Mcneal, B. I. (1978). *Química del Suelo* (1era Edición ed.). (R. Guajarda Vera, Ed., & M. Sanchez Orozco, Trad.) Barcelona, España: Limusa.
12. Brakensiek, D., & Rawls, W. (1994). *Soil containing rock fragments: effects on infiltration*. *Catena*, 23, 99-110. Recuperado el 15 de Agosto de 2015
13. Buckman, & Brady. (1977). *Naturaleza y propiedades del suelo*. Barcelona: Montaver y Simon S.A. Recuperado el 12 de Setiembre de 2015

14. Camacho Zorogastúa, K. d. (2012). *Evaluación de la Erosión Hídrica por Precipitaciones Máximas en la Sub Cuenca del Río Cumbaza*. San Roque de Cumbaza, San Martín, Perú: UNFV.
15. Centro Internacional de Agricultura Tropical, C. (1982). *Metodología para la evaluación agronómica de pastos tropicales en Toledo*. En R. I. tropicales, Manual para la Evaluación Agronómica (págs. 91-110). Cali: CIAT.
16. CIAT. (2005). *Manual de métodos sencillos para estimar erosión hídrica*. Documento No. 502, Nicaragua.
17. Cisneros, J., Cholaky, C., Cantero Gutiérrez, A., Gonzáles, J., Reynero, M., Diez, A., & Bergesio, L. (2012). *Erosión Hídrica: Principios y Técnicas de Manejo* (Primera Edición ed.). Córdoba, Argentina: UniRío.
18. Comuna Perú Piura. (19 de Febrero de 2009). *Cuatro mil pobladores de San Miguel del Faique aislados por intensas lluvias*. PiuraWeb.Com, pág. 1.
19. Echevarría, H., Picone, L., & Videla, C. (2014). *Edafología Agrícola - Guía de Trabajos Prácticos*. Universidad Nacional del Mar de la Plata, Facultad de Ciencias Agrarias, Balcarce.
20. Ellenberg, H. (1983). *Desarrollo sin destruir "Respuestas de un Ecólogo a 15 preguntas de Agrónomos y Planificadores Bolivianos"*. Universidad Mayor de San Andrés, Instituto de Ecología, La Paz, Bolivia.
21. ENFEN, C. T. (2012). *Definición operacional de los eventos El Niño y La Niña y sus magnitudes en la costa del Perú*. ENFEN, Lima, Lima.
22. Escudero Rodríguez, M. (2013). *Reducción de la Degradación de los Suelos Agrarios. Programa Presupuestal Multisectorial 2013*, Ministerio de Agricultura, Lima.
23. Faique, M. D. (2010). *Plan de Gobierno Municipal de San Miguel de El Faique 2011 - 2014*. Piura.
24. FAO. (2009). *Guía para la descripción de suelos* (Cuarta Edición ed.). Roma, Italia. Recuperado el 23 de Noviembre de 2014, de <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>
25. FAO. (2009). *Manual Para la Recolección Integrada de Datos de Campo. Monitoreo y Evaluación de Recursos Forestales Naturales*, Roma. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/016/ap152s/ap152s.pdf>
26. FEDERACAFÉ, F. N. (1975). *Manual de conservación de suelos de ladera*. Chinchiná: Cenicafe.
27. Felipe-Morales Basurto, C. (1992). *Relaciones agua/suelo bajo condiciones del agroecosistema andino*. Centro Internacional de la Papa (CIP), Lima.
28. Fernández de Andrade, L. (Julio-Diciembre de 2014). *Aplicación del Índice de Estabilidad Estructural de Pieri (1995) a Suelos Montañosos de Venezuela*. Terra Nueva Etapa, XXX(48), 143-153. Recuperado el 10 de Setiembre de 2015
29. Foster, G. R. (2013). *Revised Universal Soil Loss Equation Version 2 (RUSLE)*. Documento de Ciencia, USDA, Agricultural Research Service, Washinton, D.C.
30. Gerencia Sub Regional Morropón Huancabamba GSRM. (2012). *I Audiencia Pública Regional. Avances y Logros de Gestión, Gobierno Regional de Piura, Piura, Huancabamba*.

31. Gobierno Regional de Piura. (2009). *Proceso de Elaboración del Plan de Gestión de la Cuenca del Río Piura*. Obtenido de http://www.pdrs.org.pe/img_upload_pdrs/36c22b17acbae902af95f805cbae1ec5/Sistemizaci_n_cuenca_r_o_Piura_folleto_2.pdf
32. Gómez Lora, J. (s.f.). *Separatas sobre la erosión del suelo - Apuntes de clase*, Lima.
33. Hernández, G. (1998). *Metodología para elaboración de mapas de pendientes*. Revista Geográfica de América Central, II Semestre (36), 66-79.
34. Hudson, N. (1982). *Conservación del Suelo*. Barcelona: Reverté.
35. Imeson, A., & Curfs, M. (2004). *La erosión del suelo, Conservación del suelo a través del manejo de su estructura y su contenido de humedad*.
36. INRENA, I. N. (1995). *Inventario y Evaluación de Recursos Naturales de las Provincias de Huancabamba y Morropón - Departamento de Piura*. INRENA, Dirección regional de estudios y proyectos de recursos naturales, Lima. Recuperado el Julio de 2016
37. Jaramillo J., D. F. (2002). *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Medellín, Colombia.
38. Jenny, H. (1941). *Factors of soil formation*. New York, Estados Unidos: McGraw - Hill.
39. Jiménez Callejo, L., Martínez de Anguita, P., Ángeles Ruiz, M., Dunin - Borkowski, M. S., & Guerrero, D. (10 de Mayo de 2008). *Metodología para la Zonificación del Riesgo de Erosión en Cuencas Andinas. Estudio de Caso en el Río Chalaco, Piura*. Espacio, Tiempo y Forma., VI (1), 32.
40. Jordán Lopez, A. (2005 - 2006). *Manual de Edafología*. Guía del Curso Edafología, Universidad de Sevilla, Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola, Sevilla. Recuperado el 13 de Setiembre de 2015
41. Kumada, K. (1987). *Chemistry of soil organic matter*. Japan Scientific Societies Press, 241.
42. Labrière, N., Locatelli, B., Laumonier, Y., Freycon, V., & Bernoux, M. (1 de Mayo de 2015). *Soil erosion in the humid tropics: A systematic quantitative review*. Agriculture, Ecosystems & Environment, 203, 127-139. Recuperado el 14 de Setiembre de 2015
43. León Altuna, K. B. (2014). *Análisis espacio temporal de las precipitaciones y caudales durante El Niño (1982-83) y (1997-98) en la costa peruana*. Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ingeniería Agrícola, Lima.
44. León Peláez, J. D. (2002). *Métodos experimentales para el seguimiento y estudio de la erosión hídrica*. Medellín.
45. Lewis, L. (1981). *The movement of soil materials during a rainy season in Western*. Geoderma, 25, 13-25.
46. Llerena Pinto, C. (1988). *Uso de varillas para medir la erosión hídrica*. Revista Forestal, 15(2), 47-57. Recuperado el 10 de Setiembre de 2015
47. Llerena Pinto, C. (2003). *Servicios ambientales de las cuencas y producción de agua, conceptos, valoración, experiencias y sus posibilidades de aplicación en el Perú*. Foro Regional Sobre Sistemas de Pago por Servicios Ambientales (PSA). Arequipa, Perú: Tercer Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas.

48. Lobo L., D., & Pulido M., M. (2006). *Métodos e índices para evaluar la estabilidad estructural de los suelos*. Venesuelos, 14, 22-37. Recuperado el 20 de Abril de 2015
49. Loredó, O. (1986). *Efecto de la aplicación de estiércol caprino sobre la estabilidad de agregados del suelo*. Reporte Final de problema Especial., Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Física de Suelos, Saltillo, México.
50. Mancilla Escobar, G. (2008). *Uso de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE) en el Campo Forestal*. Apuntes de Docentes, Universidad de Chile, Departamento de Silvicultura, Chile.
51. Martínez Vargas, A., & Pérez Verástegui, G. (1980). *Geotecnia de las Arcillas Expansivas en el Proyecto Chira -Piura*. III Congreso Nacional de Ingeniería Civil. Cuzco.
52. Merino, M. C. (1987). *Génesis morfología, taxonomía de aridisols, entisols, inceptisols, alfisols, ultisols del departamento de Piura*. Tesis de Maestría en especialidad de Suelos., Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.
53. Morales, C., Dascal, G., & Aranibar, Z. (2013). *Estudio de los Costos de la Desertificación y Degradación de las Tierras en el Departamento de Piura*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe - ONU, División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos. Lima: Naciones Unidas.
54. Morgan. (2005). *Soil erosion and conservation* (third edition ed.). Oxford: Blackwell Publishing.
55. Nearing, M., Lane, L., & Lopes, V. (1994). *Modeling soil erosion*. En R.Lal, & Lal (Ed.), *Soil Erosion: Research Methods* (págs. 127-156). Iowa, EE.UU.: Lucie Press.
56. Nearing, M., Pruski, F., & O'Neal, M. (2004). *Expected climate change impacts on soil erosion rates: A review*. Journal of Soil and Water Conservation, 59(1), 43-50.
57. Nyakatawa, E., Lemunyon, J., & Reddy, K. (2001). *Predicting soil erosion in conservation tillage cotton production system using the revised universal soil loss equation (RUSLE)*. Soil Tillage Res., 57, 213-224.
58. Olivares, B., Lobo, D., & Verbist, K. (Diciembre-Marzo de 2015). *Aplicación del modelo USLE en parcelas de erosión bajo prácticas de conservación de suelo y aguas en San Pedro de Melipilla, Chile*. Ciencia e Ingeniería, 3-10.
59. ONERN, O. N. (1977). *Inventario, Evaluación y Uso Racional de los Recursos Naturales de la Zona Norte de Cajamarca*. Lima.
60. Ormachea, M., & Llerena Pinto, C. A. (1988). *Erosión hídrica en el bosque húmedo tropical de Dantas*. Revista Forestal del Perú, 19(1), 19-34.
61. Ortiz Vera, O. (2004). *Evaluación Hidrológica*. HidroRed, Red Latinoamericana de Micro-Hidroenergía, 2-4.
62. Ovalles Ureña, P. J. (2014). *Análisis Comparativo de la Pérdida de Suelo de la Cuenca Alta de la Presa de Sabana Yegua, usando Sistemas de Información Geográfica (SIG) y Métodos Directos*. Tesis de Maestría en Sistemas Información Geográfica, Universidad San Francisco de Quito, Sección de Post-Grado, Quito.
63. Oyarzun Ortega, C. E. (1993). *Estimación de los procesos de erosión en un ambiente montañoso de la cuenca del río Bío-Bío, IX Región, Chile*. Tesis para optar el título de Dr. Cs. Ambientales, Universidad de Concepción, Escuela Graduados, Concepción. Recuperado el 12 de Setiembre de 2015

64. Pascual, J., Año Vidal, C., Sánchez Díaz, J., Masiá Mira, F., & Arnau Rosalén, E. (24 de Setiembre de 2001). *Valoración de la idoneidad de los índices PCI y MFI para estimar la concentración y agresividad de las precipitaciones en la comunidad valenciana*. Cuaternario y Geomorfología, 15(3-4), 77-84.
65. Pastor Jáuregui, R. (2013). *Fundamentos de suelos y plantas* [diapositivas de Power Point]. Recuperado de: <http://es.slideshare.net/zusanc/2-gnesis2>
66. Pérez Nieto, J., Váldez Velarde, E., & Ordaz Chaparro, V. M. (Agosto de 2012). *Cobertura Vegetal y Erosión del Suelos en Sistemas Agroforestales de Café Bajo Sombra*. Tierra Latinoamericana, 30(3), 249-259.
67. Piura, G. R. (19 de Marzo de 2014). *Aprueban Plan de Acción Regional de Lucha contra la Desertificación y la Sequía*. Recuperado el 02 de Octubre de 2014, de Gobierno Regional de Piura: http://www.regionpiura.gob.pe/detalle_gestion.php?idpag=1&id=524&per=2014§or=1
68. Piura, G. R. (2012). Zonificación Ecológica Económica. ZEE, Piura.
69. Pizarro, R., Morales, C., Vega, L., Olivares, C., Valdés, R., & Balocchi, F. (2009). *Propuesta de un Modelo de Estimación de Erosión Hídrica en la Región de Coquimbo, Chile*. Centro Hidrológico Internacional de la UNESCO para América Latina y el Caribe, Coquimbo. Universidad de Talca.
70. Poesen, J. (1992). *Mechanisms of overland-flow generation and sediment production on loamy and sandy soils with and without rock fragment*. (A. Parsons, & A. Abrahams, Edits.) Overland flow: hydraulics and erosion mechanics, 275-305.
71. Poesen, J., Torri, D., & Bunte, K. (1994). *Effects of rock fragments on soil erosion by water at different spatial scales: a review*. Catena (23), 141-166.
72. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. (2015). *Objetivo 15: Vida en la Tierra*. (PNUD, Editor)
73. Quiñónez Berganza, G. O. (2012). *La Degradación del Suelo por Erosión Hídrica en Cultivos de Granos Básicos y Café en la Microcuenca Torjá, Cuenca del Río Grande de Zacapa, Guatemala*. Turrialba, Costa Rica.
74. Ramos Taípe, C. L. (2001). *Modelamiento Ambiental para análisis de susceptibilidad erosiva en la cuenca media y alta del río Cañete y determinación del mapa de erosión (SIG)*. Resumen de Tesis de Maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.
75. Rasmus, T. (1994). *Capacidad Erosiva de las Lluvias en las Cuencas de los Ríos Chira y Piura*. Piura, Perú: UNALM.
76. Rodríguez Vera, E. (2003). *Estudio Hidrológico en la Cuenca del Río Piura Durante el Proceso de El Niño 2002 – 2003*. Piura, Piura, Perú: UNALM.
77. Roncal Briones, W. (2006). *Influencia de las Plantaciones Forestales Sobre la Escorrentía Superficial y la Erosión Hídrica en Porcon, Cajamarca*. Lima, Lima, Perú: UNALM.

78. Secretariado de evaluación de los ecosistemas del milenio, ONU. (2006). *Evaluación de los Ecosistemas del Milenio*. Informe de Síntesis, Organismo de Naciones Unidas. Obtenido de <http://www.millenniumassessment.org/documents/document.439.aspx.pdf>
79. SENAMHI. (2005). *Escenarios del cambio climático en el Perú al 2050*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, Lima.
80. SENAMHI. (2014). *El fenómeno El Niño en el Perú*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, Dirección General de Meteorología - Dirección de Climatología, Lima. Obtenido de http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/07/Dossier-El-Ni%C3%B1o-Final_web.pdf
81. Shabani, F., Kumar, L., & Esmaeili, A. (19 de Agosto de 2013). *Improvement to the prediction of the USLE K factor*. *Geomorphology* (204), 229-234. Recuperado el Noviembre de 2014
82. Shabani, F., Kumar, L., & Esmaeli, A. (Agosto de 2013). *Improvement to the prediction of the USLE factor*. *Geomorphology*, 204, 229-234.
83. Sharpley, A., & Williams, R. (1990). *EPIC-erosion/productivity impact calculator: 1 Model documentation*. (D. d. Agricultura, Ed.) Boletín Técnico USDA (1768), 235. Obtenido de <http://organicroots.nal.usda.gov/download/CAT10698097/PDF>
84. Smets, T., Poesen, J., & Bochet, E. (2008). *Impact of plot length on the effectiveness of different soil-surface covers in reducing runoff and soil loss by water*. *Progress in Physical Geography*, 32(6), 654 - 677.
85. Suárez Díaz, J. (2001). *Tipos de erosión y su control*. En J. Suárez Díaz, *Control de la Erosión en Zonas Tropicales* (pág. 28). Bucaramanga, Colombia.
86. Sutherst, R., & Bourne, A. (2009). *Modelling non equilibrium distribution of invase species: a tale of two modelling paradigms*. *Springer Sc.*, 11, 1231-1237.
87. Tapia Muñoz, S. (2011). *Cuantificación de la erosión hídrica superficial en las laderas semiáridas de la sierra peruana*. Tesis de Maestría en Recursos Hídricos, UNALM, Escuela de Postgrado, Lima. Recuperado el 20 de Noviembre de 2014
88. Torri, D., Poesen, J., & Borselli, L. (Junio de 1997). *Predictability and uncertainty of the soil erodability factor using a global dataset*. *Catena* (31), 1-22.
89. Vaezi, A., Sadeghi, S., Bahrami, H., & Mahdian, M. (2008). *Modeling the USLE K-factor for calcareous soils in northwestern Iran*. *Geomorphology* (97), 414-423.
90. Wischmeier, W. H., & Smith. (1978). *Predicting Rainfall Erosion Losses*. *Supersedes Agriculture Handbook*, 58.
91. Yataco Perez, A. (2006). *Evaluación Cuantitativa de la Erosión Hídrica Utilizando Varillas de Erosión en Suelos con Diferentes Grados de Cobertura Vegetal en la Comunidad Campesina de Yuracmayo*, Lima, Lima, Perú: UNALM.
92. Zapata Ruiz, R. (8 de Marzo de 2014). *La Gestión de Riesgos y Desastres es el Último Eslabón*. *El Comercio*, pág. 1.

ANEXOS

Anexo N° 01. Registro de Información Pluviométrica (Precipitación total mensual y máximas en 24 H (mm) y Temperatura media de las estaciones de Malacasi y Huarmaca (2004-2014)

Tabla N° 37: Registro de precipitación total mensual de la estación Canchaque (1963 - 1994)

Año	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	Total Anual
1963-1964					106.0	130.0	63.0	0.0	2.0	4.0	0.0	0.0	305
1964-1965	3.0	20.0	13.9	39.5	153.0	105.0	438.0	397.6	144.0	19.0	10.0	0.0	1343.0
1965-1966	7.0	25.0	34.0	47.0	97.0	72.0	212.3	24.4	10.8	0.0	0.0	0.0	529.5
1966-1967	8.1	10.8	11.5	0.0	121.4	334.7	95.0	20.3	15.1	0.0	9.6	0.0	626.5
1967-1968	3.0	12.8	3.7	2.1	31.9	123.0	35.7	20.9	0.0	0.0	0.0	10.2	243.3
1968-1969	3.0	17.3	11.1	7.5	158.5	91.2	211.1	165.0	7.2	0.0	0.0	0.0	671.9
1969-1970	8.5	21.8	34.3	24.7	116.7	80.7	82.7	31.9	40.0	12.1	0.0	0.0	453.4
1970-1971	5.2	13.3	14.9	27.6	69.4	118.4	427.4	59.3	40.6	41.4	0.5	0.5	818.5
1971-1972	2.1	1.4	15.5	70.3	70.5	94.6	603.7	287.5	48.1	50.1	9.8	4.1	1257.7
1972-1973	3.4	13.0	20.7	90.7	156.0	476.6	249.1	266.2	26.3	7.6	3.1	11.2	1323.9
1973-1974	4.5	5.4	25.2	48.8	64.1	101.8	80.9	39.1	5.5	6.0	0.9	8.7	390.9
1974-1975	4.9	13.0	26.1	34.5	90.6	174.7	229.2	153.7	40.5	19.8	3.6	26.0	816.6
1975-1976	0.3	39.5	12.4	5.8	223.0	323.9	292.1	101.8	62.0	14.1	4.7	7.8	1087.4
1976-1977	6.3	2.4	2.8	82.0	147.5	259.2	230.5	273.6	15.0	9.5	16.8	0.0	1045.6
1977-1978	17.9	0.1	12.7	16.5	18.1	66.4	218.9	108.0	33.9	2.7	0.4	0.0	495.6
1978-1979	0.9	1.0	1.4	16.4	109.5	96.8	274.5	35.7	5.5	0.0	0.0	1.5	543.2
1979-1980	3.4	0.7	0.0	1.5	17.9	65.9	132.9	136.3	12.6	0.0	0.0	0.0	371.2
1980-1981	0.0	22.3	23.9	31.2	44.9	194.6	398.1	83.3	1.2	0.0	0.0	4.0	803.5
1981-1982	0.0	19.8	1.8	31.9	65.1	86.2	11.1	95.8	13.1	0.0	5.4	0.0	330.2
1982-1983	3.2	15.2	44.9	498.8	417.0	381.1	783.1	298.3	195.3	42.7	13.3	1.9	2694.8
1983-1984	8.8	30.6	16.8	72.5	97.8	436.3	317.1	109.3	12.8	11.2	0.0	0.0	1113.2
1984-1985	0.0	25.1	10.4	30.1	88.5	109.1	181.1	28.6	4.7	0.5	0.0	0.0	478.1
1985-1986	0.1	0.0	9.5	61.1	101.3	98.8	70.1	152.3	0.0	0.0	0.0	5.5	498.7
1986-1987	0.0	0.0	0.0	55.6	174.7	169.0	703.1	160.5	57.3	0.0	0.0	0.0	1320.2
1987-1988	4.8	3.1	2.8	7.1	94.6	244.0	6.4	54.2	42.1	4.2	1.8	0.3	465.4
1988-1989	2.1	5.8	9.8	75.6	394.5	456.5	537.6	112.7	9.7	0.0	0.0	0.0	1604.3
1989-1990	0.0	23.4	1.8	12.6	40.6	106.8	109.0	85.0	6.3	0.0	0.0	0.0	385.5
1990-1991	0.0	25.7	4.4	29.0	42.9	155.6	230.3	132.5	31.2	0.0	0.0	0.0	651.6
1991-1992	0.0	0.0	6.9	12.6	140.4	214.6	215.5	185.4	67.5	8.6	2.8	2.8	857.1
1992-1993	4.0	12.8	13.0	34.7	37.7	503.6	461.1	165.5	65.2	3.7	0.0	0.0	1301.3
1993-1994	15.2	3.9	4.4	84.3	194.7	345.0	245.2	172.5	44.9	8.6	2.8	2.8	1124.3
1994-1995	4.0	12.8	13.0	29.7	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	S/D	59.5
Promedio	3.9	13.2	13.9	53.5	119.3	202.9	269.4	131.9	35.3	8.7	2.9	2.9	
Desviación	4.0	10.9	11.8	94.8	94.0	138.7	198.8	95.3	42.6	13.6	4.5	5.5	
C.V.	1.0	0.8	0.8	1.8	0.8	0.7	0.7	0.7	1.2	1.6	1.6	1.9	

Fuente: SENAMHI

Tabla N° 38: Registro de precipitación máxima en 24 H de las estaciones usadas en el estudio (2004-2014)

Año	Barrios	Chignia	Canchaque	Huarmaca
1973	3.2	61.2	124.1	63.3
1974	20.8	13.1	31.1	33.7
1975	64.5	67	35.5	59.1
1976	72.9	63.3	58.7	36.3
1977	87.4	46.3	58.9	68.2
1978	58.2	164.4	74.4	90.3
1979	47.1	34.6	60.7	61.0
1980	33.1	41.6	49.1	39.3
1981	74.9	106.7	80.8	82.8
1982	73.2	38.6	116.8	89.8
1983	119.7	76	121.5	111.0
1984	70.1	53.3	81.2	61.7
1985	45.4	30.7	44.5	53.5
1986	63.3	19.3	32.5	54.8
1987	106.3	73.7	137.3	50.5
1988	27.6	26.8	39.1	41.6
1989	73.0	67.5	121.7	84.1
1990	23.4	9.6	24.2	36.9
1991	63.9	32.4	34.9	52.1
1992	105.8	130.8	33.2	78.1
1993	102.8	107.8	75.6	43.8
1994	95.8	117.2	84.9	34.5
1995	61.8	69.2	97.9	76.8
1996	42.3	69.2	21.6	26.2
1997	73.0	37.3	90.2	71.7
1998	167.3	47.6	121.0	92.1
1999	70.0	52.2	100.7	78.7
2000	99.3	45.0	131.4	99.0
2001	82.1	46.5	85.1	68.3
2002	96.8	68.8	150.1	111.4
2003	84.3	42.2	42.2	39.9
2004	62.6	62.4	38.9	37.7
2005	73.6	46.8	54.6	48.1
2006	97.5	68.8	104.1	80.9
2007	59.4	74.1	41.2	39.2
2008	90.2	75.5	153.7	113.8
2009	75.8	57.8	66.2	55.8
2010	86.9	77.7	201.0	145.2
2011	85.4	106.1	54.1	47.8
2012	107.1	69.9	90.6	72.0
2013	44.3	100.0	43.4	40.7
Max	167.3	164.4	201.0	145.2
Media	73.0	63.4	78.3	65.2
Desv	30.2	32.0	42.1	26.7
Coeficiente de variación	0.4	0.5	0.5	0.4

Fuente: SENAMHI

Valores en rojo representa la información extendida

Tabla N° 39: Registro de temperatura media mensual de la estación Huarmaca (2004-2014)

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PROM
2004	14.2	14.4	15.3	14.9	15.4	16.5	15.5	16.5	15.5	14.3	14.8	14.3	15.1
2005	14.2	14.0	14.8	15.6	15.4	15.9	16.6	16.6	16.3	14.7	15.3	13.9	15.3
2006	14.1	14.5	14.7	15.0	15.8	16.0	16.9	17.2	15.9	15.7	14.9	15.0	15.5
2007	15.2	14.8	14.7	15.1	15.2	15.8	15.6	15.7	16.8	15.1	14.8	14.1	15.2
2008	13.4	13.7	14.3	14.8	14.7	15.6	15.6	15.2	16.0	14.9	14.7	14.0	14.7
2009	13.7	14.4	14.5	14.6	15.4	16.3	16.5	16.5	17.2	16.3	15.8	14.9	15.5
2010	15.3	15.9	16.1	16.2	16.5	15.6	15.3	16.5	15.0	15.0	14.6	13.1	15.4
2011	13.3	13.5	14.3	14.8	15.8	15.5	15.8	16.7	16.5	14.7	14.7	14.3	15.0
2012	13.7	13.8	15.3	15.3	15.5	16.2	17.5	16.6	17.0	15.8	15.0	15.0	15.6
2013	14.7	14.7	15.3	15.6	15.2	16.4	15.9	16.2	16.4	15.6	15.7	15.2	15.6
2014	14.0	14.4	14.8	16.1	15.7	16.2	16.5	16.9	16.2	16.3	15.6	15.5	15.7
Media	14.2	14.4	14.9	15.3	15.5	16.0	16.2	16.4	16.3	15.3	15.1	14.5	15.3
Desv.	0.668	0.657	0.538	0.539	0.455	0.346	0.692	0.553	0.646	0.671	0.440	0.704	
C.V.	4.7%	4.6%	3.6%	3.5%	2.9%	2.2%	4.3%	3.4%	4.0%	4.4%	2.9%	4.9%	

Fuente: SENAMHI

Tabla N° 40: Registro de temperatura media mensual de la estación Malacasi (2004-2014)

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	PROM
2004	27.8	28.6	29.9	27.8	26.2	23.7	23.5	23.6	25.0	25.1	26.1	27.1	26.2
2005	28.7	28.2	26.5	27.5	25.3	24.4	23.3	23.8	23.7	22.7	24.6	26.1	25.4
2006	27.8	26.4	25.9	25.6	24.6	23.4	23.4	23.7	24.4	24.8	25.6	26.5	25.2
2007	27.6	28.5	27.6	27.4	25.2	23.3	23.2	22.8	23.2	23.1	24.6	25.6	25.2
2008	26.7	25.9	25.8	25.6	23.9	22.7	22.5	22.9	23.7	24.0	24.5	26.0	24.5
2009	25.8	25.6	25.7	26.0	25.3	23.7	23.4	23.6	24.1	24.8	25.0	26.3	24.9
2010	27.1	27.1	26.4	26.0	25.4	24.1	22.7	22.7	23.1	23.2	23.8	25.4	24.7
2011	27.2	26.8	27.8	26.5	25.3	24.9	23.4	23.3	24.2	23.6	24.9	25.9	25.3
2012	26.2	25.8	26.5	26.1	25.6	25.2	23.5	23.0	24.1	23.8	25.5	26.3	25.1
2013	27.1	28.4	26.9	26.8	24.7	23.3	23.1	23.4	23.8	24.0	24.5	26.6	25.2
2014	27.8	28.0	27.5	27.6	26.3	26.2	24.5	24.4	24.9	25.3	25.6	26.8	26.2
Media	27.3	27.2	27.0	26.6	25.3	24.1	23.3	23.4	24.0	24.0	25.0	26.2	25.3
Desv.	0.820	1.173	1.218	0.831	0.686	1.020	0.510	0.510	0.608	0.860	0.666	0.507	
C.V.	3.0%	4.3%	4.5%	3.1%	2.7%	4.2%	2.2%	2.2%	2.5%	3.6%	2.7%	1.9%	

Fuente: SENAMHI

Anexo N°02: Información de clasificación climática según la metodología de ONERN

Cuadro N° 99: Clasificación climática según la metodología de ONERN, para una altitud media de 296 msnm

Variable / Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Promedio y suma
Temperatura	25.6	25.6	25.8	25.8	25.1	24.7	24.3	24.5	24.8	24.3	24.7	25.1	25.0
Precipitación	55.3	92.1	121.4	57.7	15.2	4.1	1.3	1.3	1.8	5.9	6.0	24.2	386.3
I - Grado de eficiencia de humedad	2.5	4.4	6.0	2.6	0.6	0.1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2	1.0	17.8
I' - Grado de eficiencia de temperatura	11.5	11.5	11.6	11.6	11.3	11.1	10.9	11.0	11.2	11.0	11.1	11.3	135.2
Evapotranspiración corregida	127.2	115.4	129.2	124.5	116.1	106.6	104.2	108.4	109.4	107.7	110.7	120.2	1379.5
Clima	Clima semiárido - cálido, con deficiencia de precipitación en todas las estaciones del año, con humedad relativa calificada como húmeda, sin cambio térmico invernal bien definido											D (d) A' H3	
Distribución de temperatura durante el año	26%			Evap. (mm)		106.6		H. R. (%)		71.2			

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 100: Clasificación climática según la metodología de ONERN, para una altitud media de 811 msnm

Variable / Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Promedio y suma
Temperatura	23.2	23.2	23.4	23.4	22.8	22.4	22.0	22.2	22.5	22.0	22.4	22.7	23
Precipitación	87.4	145.5	191.8	91.2	24.0	6.4	2.0	2.0	2.9	9.3	9.4	38.3	610
I - Grado de eficiencia de humedad	4.5	7.9	10.7	4.7	1.1	0.3	0.1	0.1	0.1	0.4	0.4	1.8	32
I' - Grado de eficiencia de temperatura	10.4	10.4	10.5	10.5	10.2	10.1	9.9	10.0	10.1	9.9	10.1	10.2	122
Evapotranspiración corregida	92.0	83.5	93.4	90.0	84.0	77.2	75.4	78.4	79.1	77.9	80.1	87.0	998
Clima	Clima semiárido semicálido, con deficiencia de precipitación en otoño, invierno y primavera con humedad relativa calificada como húmeda, sin cambio térmico invernal bien definido											D (o ,i, p) B'1 H3	
Distribución de temperatura durante el año	26%			Evap. (mm)		96.8		H. R. (%)		75.1			

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 101: Clasificación climática según la metodología de ONERN, para una altitud media de 1552 msnm

Variable / Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Promedio y suma
Temperatura	19.7	19.7	19.9	19.9	19.3	19.0	18.7	18.9	19.1	18.7	19.0	19.3	19
Precipitación	108.1	179.8	237.1	112.8	29.7	8.0	2.5	2.5	3.6	11.5	11.7	47.3	755
I - Grado de eficiencia de humedad	6.4	11.2	15.1	6.6	1.5	0.4	0.1	0.1	0.1	0.5	0.5	2.6	45
I' - Grado de eficiencia de temperatura	8.9	8.9	8.9	8.9	8.7	8.6	8.4	8.5	8.6	8.4	8.5	8.7	104
Evapotranspiración corregida	54.1	49.1	55.0	53.0	49.4	45.4	44.4	46.2	46.6	45.8	47.1	51.2	587
Clima	Clima subhúmedo semicálido, con deficiencia de precipitación en otoño, invierno y primavera con humedad relativa calificada como húmeda, sin cambio térmico invernal bien definido											C (o, i, p) B'1 H3	
Distribución de temperatura durante el año	26%			Evap. (mm)		82.7		H. R. (%)		80.7			

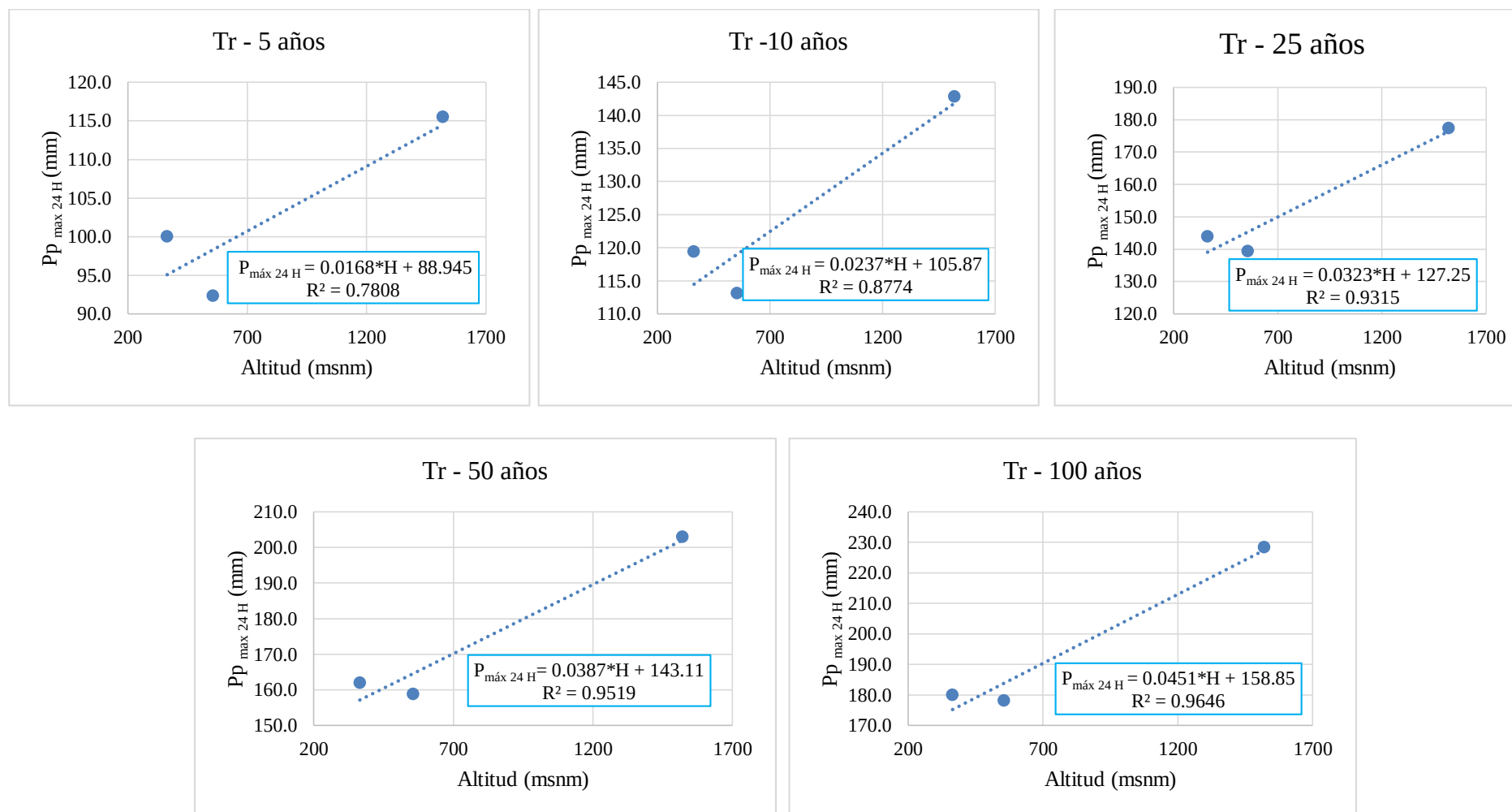
Fuente: Elaboración Propia

Cuadro N° 102: Clasificación climática según la metodología de ONERN, para una altitud media de 2634 msnm

Variable / Mes	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Promedio y suma
Temperatura	14.6	14.6	14.7	14.7	14.3	14.1	13.9	14.0	14.2	13.9	14.1	14.3	14
Precipitación	124.9	207.9	274.0	130.3	34.3	9.2	2.9	2.9	4.1	13.3	13.5	54.7	872
I - Grado de eficiencia de humedad	9.1	16.0	21.6	9.5	2.2	0.5	0.1	0.1	0.2	0.8	0.8	3.7	64
I' - Grado de eficiencia de temperatura	6.6	6.6	6.6	6.6	6.5	6.3	6.2	6.3	6.4	6.2	6.3	6.4	77
Evapotranspiración corregida	20.5	18.6	20.8	20.0	18.7	17.2	16.8	17.4	17.6	17.3	17.8	19.3	222
Clima	clima húmedo semifrío, con deficiencia de precipitación en invierno y primavera, con humedad relativa calificada como muy húmeda, sin cambio térmico invernal bien definido											B (i, p) B'3 H4	
Distribución de temperatura durante el año	26%			Evap. (mm)		62.2		H. R. (%)		88.8			

Fuente: Elaboración Propia

Anexo N°03. Precipitaciones máximas en 24 H, para un rango de altitud de 150 – 1500 según tiempo de retorno – Promedio de Distribuciones Gumbel y Nash



Anexo N°04. Resultados de Laboratorio de Aguas, Suelos y Fertirriego (FIA) – UNALM



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 007754

ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

SOLICITANTE : Orlando Benites Flores

PROYECTO : Tesis: Análisis comparativo de la erosión hídrica por los métodos de varillas y use en la sub cuenca del río Pusmalca - Piura

PROCEDENCIA : Localidad : San Antonio, Distrito : San Miguel de el faique, Prov. Huancabamba, Piura

E: 654813 N: 9401680 H: 1176 msnm/ Prof: 0.25 cm

RESP. ANALISIS : Ing. Nelson Guerreros Pardo

FECHA DE ANALISIS : La Molina, 16 de Enero del 2015

Número de muestra		CE dS / m Relación 1:1	Análisis Mecánico				pH Relación 1:1	M.O. %	P ppm	K ppm	CaCO ₃ %	Cationes Cambiables				
Lab.	Campo		Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura						ClC	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
7754	Suelo	0.17	50.40	25.28	24.32	Franco arcillo arenoso	5.40	3.23	1.84	330.00	-	12.54	9.63	2.23	0.06	0.48
												Cmol (+) / Kg				

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

ING. ANTONIO ENCISO GUTIERREZ
JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 007918

ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

SOLICITANTE : Orlando Benites Flores
PROYECTO : Análisis Comparativo de la Erosión Hídrica por los Métodos Uste y Varillas en la Subcuenca Pumasalca - Piura.
PROCEDENCIA : Localidad: Los Alamos, Distrito: San Miguel del Faique, Prov: Huancabamba - Piura.
REFERENCIAS : Muestreo de Suelo: H=1113 msnm / E:654439 / N-9401911 / fecha: 28 - 01 - 15.
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 07 de Abril del 2015

Número de muestra		CE dS / m Relación 1:1	Análisis Mecánico				pH Relación 1:1	M.O. %	P ppm	K ppm	CaCO ₃ %	Cationes Cambiables					
Lab.	Campo		Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura						CIC	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ³⁺ +H ⁺
7918	Prof. 25 cm.	0.67	54.24	34.72	11.04	Franco arenoso	5.41	4.93	3.07	49.60	-	18.37	14.80	3.28	0.14	0.10	0.05

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

ING. ANTONIO ENCISO GUTIERREZ
JEFE DE LABORATORIO





DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe

No 007916

ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

SOLICITANTE : Orlando Benites Flores
PROYECTO : Analisis Comparativo de la Erosión Hídrica por los Métodos Usle y Varillas en la Sub cuenca Pumasmarca - Piura.
PROCEDENCIA : Localidad: Lucumo, Distrito: San Miguel del Faique, Prov: Huancabamba - Piura.
REFERENCIAS : Muestreo de Suelo: H=1528 msnm / E:654822 / N-9403768 / fecha: 24 - 01 - 15.
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISI : La Molina, 07 de Abril del 2015

Número de muestra		CE	Análisis Mecánico				pH	M.O.	P	K	CaCO ₃	Cationes Cambiables					
Lab.	Campo		Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura						CIC total	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ³⁺ +H ⁺¹
7916	Prof.25 cm.	0.54	48.24	40.72	11.04	Franco	5.48	3.70	2.62	840.00	-	14.45	9.80	3.38	0.16	1.26	0.05

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

ING. ANTONIO ENCISO GUTIERREZ
JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 007917

ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

SOLICITANTE : Tesista: Orlando Benites Flores
PROYECTO : Análisis Comparativo de la Erosión Hídrica por los Métodos Usle y Varillas en la Subcuenca Pumasaca - Piura.
PROCEDENCIA : Localidad: Palambra, Distrito: Canchaque, Prov: Huancabamba - Piura.
REFERENCIAS : Muestreo de Suelo: H=1354 msnm / E:654540 / N:9404158 / fecha: 23 - 01 - 15.
RESP. ANALISIS : Ing. Elizabeth Monterrey Porras
FECHA DE ANALISIS : La Molina, 07 de Abril del 2015

Número de muestra		CE dS / m Relación 1:1	Análisis Mecánico				pH Relación 1:1	M.O. %	P ppm	K ppm	CaCO ₃ %	Cationes Cambiables					
Lab.	Campo		Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura						CIC	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ³⁺ +H ⁺
7917	Prof 25 cm.	0.64	48.24	38.72	13.04	Franco	5.54	5.07	2.77	406.00	-	20.59	17.00	2.63	0.13	0.78	0.05

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

ING. ANTONIO ENCISO GUTIERREZ
JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 007751

ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

SOLICITANTE : Orlando Benites Flores

PROYECTO : Tesis: Análisis comparativo de la erosión hídrica por los melodos de varillas y use en la sub cuenca del río Puzmalca - Piura

PROCEDENCIA : Distrito : San Miguel de el faique, Prov. Huancabamba, Loma larga Alta - Piura
E: 648721 N: 9401141 H: 574msnm/ Prof: 0.25 cm / Fecha: 26-12-14

RESP. ANALISIS : Ing. Nelson Guerrero Pardo

FECHA DE ANALISIS : La Molina, 16 de Enero del 2015

Número de muestra		CE dS / m Relación 1:1	Análisis Mecánico			pH Relación 1:1	M.O. %	P ppm	K ppm	CaCO ₃ %	Cationes Cambiables				
Lab.	Campo		Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura					ClC	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
7751	Suelo	0.27	38.40	27.84	33.76	Franco arcilloso	7.37	1.03	4.38	248.00	13.77	9.99	3.33	0.07	0.38
											Cmol (+) / Kg				
															-

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

ING. ANTONIO ENCISO GUTIERREZ
JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 007752

ANALISIS DE SUELO - CARACTERIZACION

SOLICITANTE : Orlando Benites Flores

PROYECTO : Tesis: Analisis comparativo de la erosion hidrica por los metodos de varillas y usle en la sub cuenca del rio Puzmalca - Piura

PROCEDENCIA : Localidad: Huactalca, Distrito : Canchaque, Prov. Huancabamba, Piura

E: 641371 N: 9400965 H: 223 msnm/ Prof: 0.25 cm

RESP. ANALISIS : Ing. Nelson Guerrero Pardo

FECHA DE ANALISIS : La Molina, 16 de Enero del 2015

Número de muestra		CE dS / m Relación 1:1	Análisis Mecánico				pH Relación 1:1	M.O. %	P ppm	K ppm	Cationes Cambiables				
Lab.	Campo		Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura					Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ³⁺ +H ⁺
7752	Suelo	0.36	54.40	33.84	11.76	Franco arenoso	6.50	1.20	3.98	65.60	10.32	7.60	2.50	0.08	0.10 0.05

LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUA Y SUELO

ING. ANTONIO ENCISO GUTIERREZ
JEFE DE LABORATORIO





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 007753

ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

SOLICITANTE : Orlando Benites Flores

PROYECTO : Tesis: Análisis comparativo de la erosión hídrica por los métodos de varillas y use en la sub cuenca del río Puzmalca - Piura

PROCEDENCIA : Localidad Faique, Distrito : San Miguel de el faique, Prov. Huancabamba - Piura

E: 654638 N: 9402969 H: 1270 msnm/ Prof: 0.25 cm

RESP. ANALISIS : Ing. Nelson Guerrero Pardo

FECHA DE ANALISIS : La Molina, 16 de Enero del 2015

Número de muestra		CE dS / m Relación 1:1	Análisis Mecánico				pH Relación 1:1	M.O. %	P ppm	K ppm	CaCO ₃ %	Cationes Cambiables					
Lab.	Campo		Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura						ClC	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Al ³⁺ +H ⁺
7753	Suelo	0.15	58.40	23.84	17.76	Franco arenoso	5.92	2.65	1.82	66.60	-	10.79	8.80	1.79	0.06	0.09	
												Cmol (+) / Kg					
												</					



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

DEPARTAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DRH
LABORATORIO DE AGUA, SUELO, MEDIO AMBIENTE Y FERTIRRIEGO

Av. La Molina s/n. Telefax: 6147800 Anexo 226 Lima. E-mail: las-fia@lamolina.edu.pe



Nº 007755

ANÁLISIS DE SUELO - CARACTERIZACIÓN

SOLICITANTE

: Orlando Benites Flores

PROYECTO

: Tesis: Análisis comparativo de la erosión hídrica por los métodos de varillas y usle en la sub cuenca del río Puzmalca - Piura

PROCEDENCIA

: Localidad: Pampa Minas, Distrito : Canchaque, Prov. Huancabamba, Piura

RESP. ANALISIS

: Ing. Nelson Guerrero Pardo

FECHA DE ANALISIS : La Molina, 16 de Enero del 2015

Número de muestra		CE dS / m	Análisis Mecánico				pH Relación 1:1	M.O. %	P ppm	K ppm	CaCO ₃ %	Cationes Cambiables				
Lab.	Campo		Arena %	Limo %	Arcilla %	Textura						ClC	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺
			Relación 1:1									Cmol (+) / Kg				
7755	Suelo	0.11	66.40	23.28	10.32	Franco arenoso	6.07	3.94	1.67	206.00	-	12.03	10.14	1.37	0.09	0.35
																0.08

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUA Y SUELO

ING. ANTONIO ENCISO GUTIÉRREZ
JEFE DE LABORATORIO



Anexo N°05. Registro de parcelas de varillas de erosión

Localidad: San Miguel de El Faique

Fecha: 19 – 01 -15	Parcela 1			Parcela 2			Parcela 3		
Columna/Fila	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	17	13.2	14.3	15	17.5	15.3	11.1	14.5	13.1
2	16.2	13	14.9	15.5	14.5	14.5	13.8	13.9	15
3	12.8	15	16.1	14.3	15.2	17.4	14.8	14	14.5
4	17.1	15.5	13.4	14.4	15.6	15.1	15.1	13.6	16.5
5	14	14.2	14.9	14.8	13	15.5	13	13.1	13.5
6	14.8	15.6	13.8	15.1	15	15.9	13.9	12.6	14.3

Fecha: 27 – 01 -15	Parcela 1			Parcela 2			Parcela 3		
Columna/Fila	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	17.1	13.2	14	15.6	17.5	16.1	11.8	14.5	13.2
2	16.6	13	15.5	16.4	15.5	14.6	13.6	14	14.8
3	13	15	18.1	14.6	16.3	17.4	15.5	15	14.7
4	19	16	14.1	15.5	17	15.9	15.1	14	15.8
5	15.2	14.2	15.9	15.3	13.5	16.8	13	13.5	13.8
6	15	16.5	14.5	15.3	16.3	16	13.6	13.1	14.8

Fecha: 07 – 02 -15	Parcela 1			Parcela 2			Parcela 3		
Columna/Fila	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	17	13.1	14.2	15.5	17.6	15.9	11	14.5	13.5
2	16.7	13.1	15.6	16.1	15.1	14.6	13.5	13.9	15
3	13	14.7	17.5	14.6	16.2	17.4	15.4	15.2	14.5
4	18.9	15.6	14	15.7	16.6	15.7	14.6	13.5	16
5	14.4	14.2	15.3	15	13.3	17	12.8	13	11
6	14.6	16.5	15.1	14.6	16.2	16	13.5	12.6	14.9

Fecha: 18 – 02 -15	Parcela 1			Parcela 2			Parcela 3		
Columna/Fila	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	17	13	13.6	14	17.5	16	11.6	14.5	13.5
2	16.6	13.1	15.5	16.2	15.1	14.9	13.7	13.9	15.2
3	12.8	14.5	17.5	14.6	16.2	17.9	15.5	15.1	14.6
4	19	15.9	14.4	15.7	16	15.4	14.8	13.8	16.1
5	14.1	14.3	15.2	15	17	13.1	12.8	11.8	12.1
6	15.4	16.6	14.3	15.2	16	16.2	13.4	13.3	15.1

Fecha: 28 – 02 -15	Parcela 1			Parcela 2			Parcela 3		
Columna/Fila	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	17.1	13	14.5	15.6	17.6	16.2	11.9	14.1	13.5
2	16.8	13.1	15	16.3	15.4	14.7	13.7	14.1	15.3
3	13.1	14.8	17.9	14.7	16.5	18	15.5	15.1	14.5
4	19	15.8	14.1	16.2	15.9	15.8	14.1	13.3	16
5	14.3	15.9	15.6	15	13.3	17.2	12.9	11.9	11.5
6	14.9	16.4	15	14.9	16.3	16.3	13.4	14	15.6

Fecha: 07 – 03 -15	Parcela 1			Parcela 2			Parcela 3		
Columna/Fila	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	17.2	13.4	14.6	15.5	17.9	16	12.1	14.2	13.5
2	16.6	13.2	15.2	16.5	15.9	14.9	13.7	14.1	15.7
3	13.5	15.1	18.3	14.8	17.6	18.2	15.6	15.1	14.9
4	19.1	16.1	14	15.8	17.5	15.9	14.9	13.8	16.1
5	14.3	16.3	16	15.4	13.7	17.1	13	13	12.3
6	15.1	16.4	15.6	14.9	16.3	15.8	13.4	13.6	15.4

Fecha: 15 – 03 -15	Parcela 1			Parcela 2			Parcela 3		
Columna/Fila	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	17.5	13.5	14.7	15.8	18	16.8	12.2	14.3	13.8
2	17.6	13.2	15.2	16.5	17.2	15.7	13.8	14	15.4
3	13.6	15.1	19.1	15.6	20.1	18.5	15.6	15.1	15
4	19.6	16.3	15.4	16.3	17.5	16	15	13.7	16.2
5	14.5	16.2	16.1	15.5	13.7	17.5	13	13.5	12.1
6	15	16.8	15.7	15.9	16.9	16.6	13.6	13.7	14.6

Localidad: Palambra

Fecha: 23 – 01 -15	Parcela 1			Parcela 2			Parcela 3		
Columna/Fila	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	12.5	13.8	16	15.5	14	16.6	15.2	13.2	15.8
2	13.5	14.9	11.8	14.6	14.8	17	10.3	15.8	15.2
3	15.2	13	15.2	14.7	15	17.1	16.1	13.9	17.8
4	13	13.6	14	14	14.9	13.4	14.7	15	15.2
5	16.2	13.1	13.9	13	14.2	14.6	17.1	15.6	18
6	13.8	15	17.2	16.5	15.9	16.2	13.5	15.7	15.3

Fecha: 29 – 01 -15	Parcela 1			Parcela 2			Parcela 3		
Columna/Fila	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	13	12	14.8	15.7	14.5	16.2	16	14.5	16.5
2	13.7	14.4	12	14.6	14.6	17	9.7	14.5	15.6
3	15.5	12.8	14.5	14.4	15	17.6	15.6	14	17.6
4	13.1	12.8	14	14.1	14	13	14.8	15.1	15.5
5	16	15.4	14.1	14.1	14.2	15.1	16.9	14.2	16.8
6	14.1	14.6	17.5	16.3	15.5	16	13.2	15.6	14.7

Fecha: 06 – 02 -15	Parcela 1			Parcela 2			Parcela 3		
Columna/Fila	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	13.1	13.3	16	15.2	14.5	16.1	16	15.1	16.8
2	14	14.6	11.8	14.7	14.8	16.8	9.9	14.6	15.4
3	15.7	12.8	15	14.7	15.1	17.8	16.9	14.4	17.5
4	13	13.7	14.3	14.5	14.4	13.5	15	15	15.6
5	17.5	14.6	15.4	13.6	14.3	15	17.4	14.5	17
6	14.1	15.1	17.5	16.4	16.5	16	14.6	16.4	14.5

Fecha: 17 – 02 -15	Parcela 1			Parcela 2			Parcela 3		
Columna/Fila	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	13	13.3	15.7	15.8	14.2	16.2	16.1	14.4	16.5
2	13.7	14.5	12	14.9	14.8	16.6	9.9	14.5	15.7
3	15.6	12.9	14.6	15.1	15	17.8	16.5	14.4	17.1
4	12.8	13.4	14	13.2	14.4	13.5	15.1	15	16.3
5	17.1	14.4	15.1	14.5	14.3	15.3	17.6	14.4	17
6	13.4	14.4	17.4	16.4	15.6	16.1	13	16.4	15.3

Fecha: 27 – 02 -15	Parcela 1			Parcela 2			Parcela 3		
Columna/Fila	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	12.9	13.3	15.6	16	14.9	16.3	16.3	14.7	16.6
2	13.9	15	11.8	14.8	14.9	16.8	9.6	14.9	15.7
3	15.5	13.1	15.1	15.2	15.2	18.4	16.5	14.5	17.4
4	13.6	13.6	14.3	14.4	14.8	13.5	14.9	15.1	15.7
5	17.1	14.4	15.2	14.4	14.5	15.2	17.9	14.2	17
6	13.3	14.6	17.6	16.4	15.5	16.1	13.9	16.4	15.6

Fecha: 09 – 03 -15	Parcela 1			Parcela 2			Parcela 3		
Columna/Fila	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	13	13.5	15.8	16.2	14.5	16.1	16.4	14.7	16.4
2	13.7	15.1	12.6	14.7	14.9	16.8	9.6	14.9	15.6
3	15.6	13.3	15.2	15.1	16.1	18.3	16.5	14.4	17.7
4	13.6	13.7	14.5	14.6	14.8	13.8	15	15.3	16.1
5	17.3	14.5	15.4	14.6	14.8	15.5	17.9	14.7	17
6	14.1	14.4	17.6	16.8	16.2	17.1	13.5	16.4	15.7

Fecha: 16 – 03 -15	Parcela 1			Parcela 2			Parcela 3		
Columna/Fila	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	13.1	13.6	15.9	16	14.2	16.3	16.5	15.5	16.8
2	13.8	15.1	12.6	14.7	14.9	16.8	10.2	14.9	16
3	15.5	13.3	15.1	15.3	15.8	18.3	16.9	14.3	17.6
4	13.5	13.3	14.3	14.8	14.8	13.9	15.9	15.1	16.9
5	17.5	15	15.1	14.1	14.7	15.6	18.1	S/D*	S/D*
6	13.9	14.5	18.1	16.8	15.7	16.9	S/D*	16.4	15.5

S/D*: Sin información registrada

Localidad: Los Álamos

Fecha: 22 – 01 -15	Parcela 1			Parcela 2			Parcela 3		
Columna/Fila	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	15.6	13.9	16	15	14	14.9	16	13.4	14.4
2	14	13.4	16.4	16	15.3	13.1	13	14.8	13.1
3	14	13.1	15.4	14	14.2	13	12.7	15.3	14.5
4	15	15	15.3	15	12.4	16.2	14.8	13.3	15.8
5	11.1	13	14.5	14.6	14.6	12.9	13.8	14.3	15.1
6	17	14.6	14	14.4	14.2	15.3	14.3	13.8	14.2

Fecha: 28 – 01 -15	Parcela 1			Parcela 2			Parcela 3		
Columna/Fila	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	16.6	14.9	16.4	15.1	14	14.2	16	13.6	14
2	14.1	14.7	17	16.7	13.5	13.4	13	15	13.1
3	13.9	13.5	17.4	14.1	16	13.3	14.2	15.2	14.5
4	15.1	15.2	17	15.4	13	16.6	14.5	14.1	16
5	15.5	13.1	11.5	14.6	15.1	13	14.2	14.3	15.3
6	14.5	14.9	18	14.9	14.5	15.3	14	13.8	14.1

Fecha: 05 – 02 -15	Parcela 1			Parcela 2			Parcela 3		
Columna/Fila	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	16.6	15	18	15.1	14.2	14.4	14.8	15.7	14.4
2	14.8	14.2	17.2	15.8	13.9	13.2	13	15	13.4
3	13.8	13.5	16.9	14.3	15.8	13.2	14	15.2	14.7
4	14.7	14.1	17.5	15.2	12.6	16.4	14.1	14	15.1
5	15.3	13	13.1	14.6	15.1	13	14.1	13.9	15.3
6	14.4	15	17.7	14.6	14.3	15.2	13.9	13.5	14.2

Fecha: 16 – 02 -15	Parcela 1			Parcela 2			Parcela 3		
Columna/Fila	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	16.1	14.6	16.5	14.9	14	14.5	15.6	13.5	14.1
2	14.1	14.6	17.3	16.2	14	12.6	12.9	14.7	13
3	13.6	13.2	16.8	13.9	15.8	13	13.3	15	14.4
4	14.7	14.9	16.6	15	12.5	16	14	13.7	15.5
5	14.7	13	13.4	14.4	15.1	13	13.8	13.4	15.2
6	14.5	15.8	18	14.5	13.9	15.1	13.9	13.4	14.1

Fecha: 26 – 02 -15	Parcela 1			Parcela 2			Parcela 3		
Columna/Fila	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	16.4	14.6	16.4	15.1	15.2	14.6	16	13.8	14.4
2	14.4	14.3	17.2	16.4	14.8	13.3	12.9	14.6	13.4
3	13.6	13.1	16.8	14.2	15.9	13.1	14.3	15.1	14.5
4	14.7	15	17.4	15.1	12.5	16.3	14.6	14	16
5	14.8	13	13.4	14.1	15.8	13.4	14.4	13.6	15.1
6	14.5	15.6	17.6	14.6	14.1	15.2	13.9	13.6	14.4

Fecha: 07 – 03 -15	Parcela 1			Parcela 2			Parcela 3		
Columna/Fila	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	16.6	14.6	17.6	15.1	14.8	14.5	16.1	13.8	14.5
2	14.7	14.5	16.9	16.1	14.5	13.4	13	14.6	13.3
3	15.2	13.2	16.9	14.1	16.2	13.1	13.1	15.1	14.8
4	14.9	14.8	17.5	15.1	12.3	16.6	16	15.1	16.1
5	15.1	13.1	13.3	5.9	15.4	13.3	14.4	13.8	15.6
6	14.5	15.4	17.6	14.6	14	15.2	13.9	13.7	14.4

Fecha: 14 – 03 -15	Parcela 1			Parcela 2			Parcela 3		
Columna/Fila	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	19	15	18.2	15.2	14.9	14.3	16.3	13.9	14.5
2	14.8	14.8	17.7	16.4	15.1	13.4	13.1	14.6	11.4
3	14	14.4	17.1	14.3	17	13.2	14.7	15.4	14.7
4	14.8	14.9	17.2	15.6	12.7	16.8	15.4	14.2	17
5	16.1	13.4	13.4	6.2	15.6	13.4	14.4	13.8	15.8
6	14.6	15.6	18.1	14.6	14.5	15.2	14.2	13.8	14.5

Localidad: Lúcumo

Fecha: 24 – 01 -15	Parcela 1			Parcela 2			Parcela 3		
Columna/Fila	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	14.1	15.8	14.8	16.4	15	15.1	16	14.6	16.5
2	13.2	15	14.4	16.4	16.1	17	16	13.1	15
3	14.3	15	15	15.6	16	18	16	14	15.3
4	14.7	14.5	14.4	15.2	16.1	15.8	16	14	15
5	14	15	14.2	15	15.4	15.9	14.8	14.7	14.5
6	16.2	18.8	15.2	16.5	15.6	15.4	14	15	17.8

Fecha: 30 – 01 -15	Parcela 1			Parcela 2			Parcela 3		
Columna/Fila	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	14.5	15.5	14.3	16.5	15.6	15.1	16.9	15.4	16.8
2	15.2	14.5	14.8	16.4	16.3	17	16.1	14.6	16.5
3	14.3	14.4	14.9	16.6	16.8	16.4	16.2	14.3	15.8
4	14.8	14.3	14.5	16.2	16	15.6	16.2	14.2	15.1
5	14.3	15.2	14.5	14.5	15.6	15.9	14.9	15	14.5
6	16.4	18.9	15.1	15.9	15.6	15.8	14.3	15	17.9

Fecha: 07 – 02 -15	Parcela 1			Parcela 2			Parcela 3		
Columna/Fila	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	14.4	15.6	15	16.4	15.6	14.6	17	15.2	16.8
2	15.2	14.5	14.7	16.2	16.4	16.9	16	14.7	15.8
3	14.3	14.4	14.8	16.6	16.8	16.2	16.1	14.1	17.2
4	14.8	14.2	14.4	16	16.1	15.7	16.2	14	14.8
5	13.9	15.2	14.1	14.2	15.3	15.7	14.7	14.7	14.5
6	16.4	19.1	14.9	15.7	15.5	15.6	14.2	14.9	17.8

Fecha: 18 – 02 -15	Parcela 1			Parcela 2			Parcela 3		
Columna/Fila	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	14.5	15.5	15.1	16.5	15.2	15.1	17.4	15.2	16.6
2	15.3	14.6	14.8	16	16.5	17	16	14.5	16
3	14.9	14.4	14.6	16.8	16.8	16.3	16.4	13.8	15.1
4	14.8	14.3	14.4	16	16	15.8	16.2	14	14.8
5	13.9	15.2	14.2	14.4	15.2	15.8	14.8	15.2	14.4
6	16.6	18.7	14.6	15.7	15.7	15.1	14.2	14.9	17.8

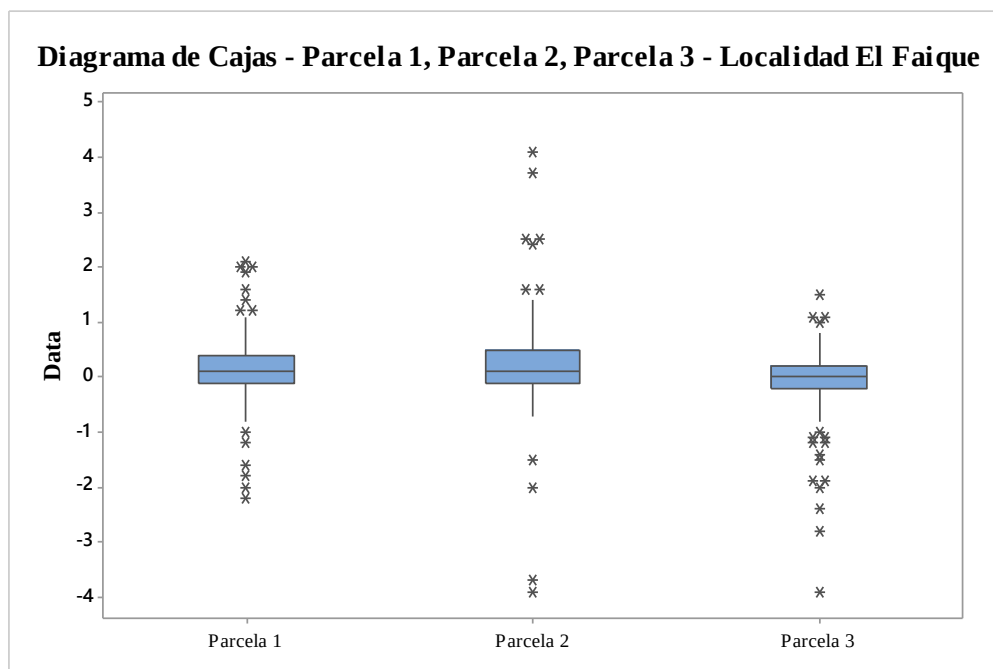
Fecha: 27 – 02 -15	Parcela 1			Parcela 2			Parcela 3		
Columna/Fila	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	15	15.5	14.8	16.5	15.7	15.3	17.1	15.3	16.5
2	15.3	14.5	14.7	16.2	16.4	17	16.1	14.4	16
3	14.4	14.3	14.9	15.8	17	16	16.1	14.2	15.8
4	14.7	14.2	14.5	16.2	16.1	15.9	16.1	13.9	15
5	13.9	15.2	14.3	15.6	15.3	14.5	14.8	15.1	14.4
6	16.6	19.3	14.7	15.6	15.7	15.6	14.3	14.9	17.8

Fecha: 09 – 03 -15	Parcela 1			Parcela 2			Parcela 3		
Columna/Fila	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	14.9	15.6	15.1	16.3	15.7	15.4	17.1	15.4	16.5
2	15.3	14.6	14.8	16.3	16.5	17	16.1	14.4	16.5
3	14.8	14.4	14.9	16.7	17	16.4	16.1	14	17.1
4	14.9	14.3	14.4	16.2	16.2	15.8	16.2	13.9	15
5	13.9	18.7	14.4	14.9	15.5	15.9	14.8	14.9	14.5
6	16.2	15.4	14.8	15.7	15.6	16.1	14.3	14.9	17.8

Fecha: 16 – 03 -15	Parcela 1			Parcela 2			Parcela 3		
Columna/Fila	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	14.5	15.4	15.1	16.5	15.7	15.4	17.4	15.7	16.5
2	15.3	14.9	15	16.2	16.2	17	16.2	14.5	16.4
3	14.9	14.3	14.9	16.9	17	16.3	15.9	14.2	17.1
4	15	14.3	14.5	16.2	16.1	16.1	16.3	13.9	14.8
5	13.9	15.6	14.5	14.9	15.8	16.1	14.7	15.2	14.3
6	15.9	19.6	15.2	16.7	16.6	16.8	14.4	14.9	16.4

Anexo N°06. Diagrama de cajas, Criterios de Normalidad y Homogeneidad de varianza,

Localidad: El Faique

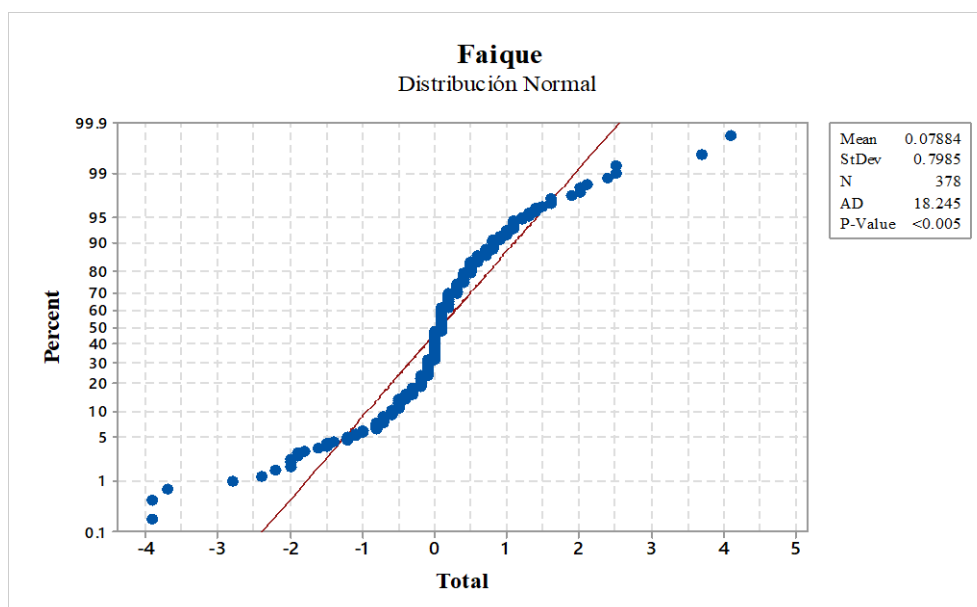


El criterio de normalidad se evaluó mediante el test de Anderson Darling (AD) donde:

H_0 : La variable sigue una distribución normal

H_a : La variable no sigue una distribución normal

$p < \alpha$ se rechaza H_0 — — $p > \alpha$ no se rechaza H_0



A un nivel de significancia de 0.05, no existe evidencia estadística para rechazar H_0 .

Por lo tanto, se cumple el supuesto de normalidad de errores.

Welcome to Minitab, press F1 for help.

Test for Equal Variances: Parcela 1, Parcela 2, Parcela 3

Method

Null hypothesis All variances are equal
 Alternative hypothesis At least one variance is different
 Significance level $\alpha = 0.05$

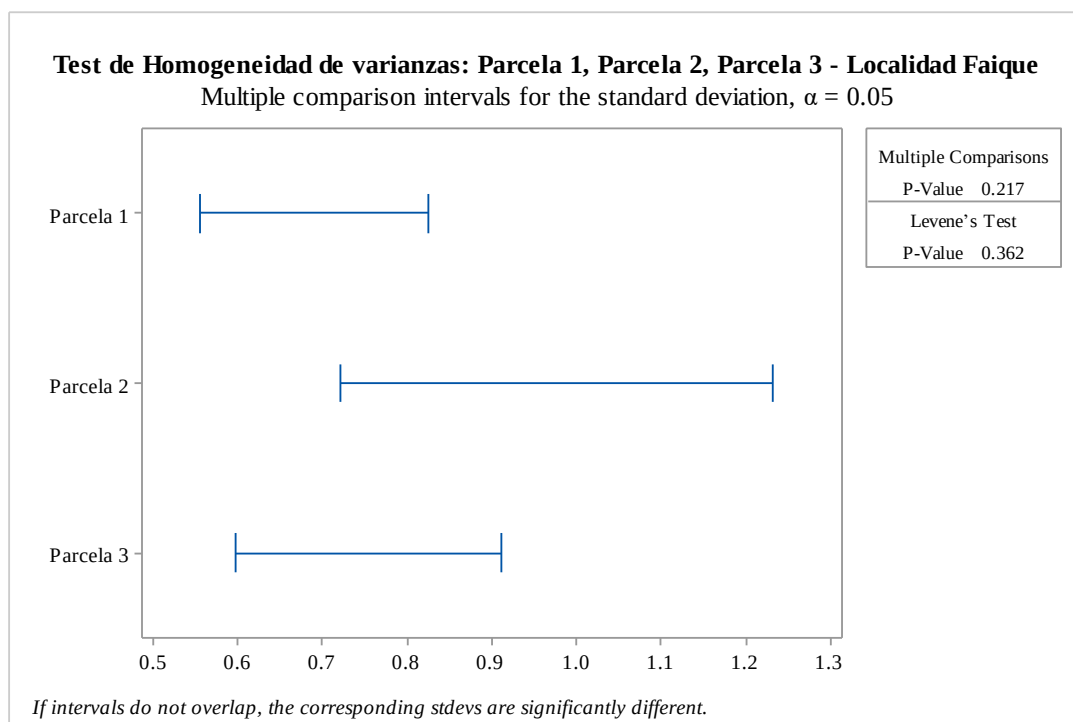
95% Bonferroni Confidence Intervals for Standard Deviations

Sample	N	StDev	CI
Parcela 1	126	0.670167	(0.532570, 0.85965)
Parcela 2	126	0.933893	(0.668526, 1.32986)
Parcela 3	126	0.730248	(0.526623, 1.03222)

Individual confidence level = 98.3333%

Tests

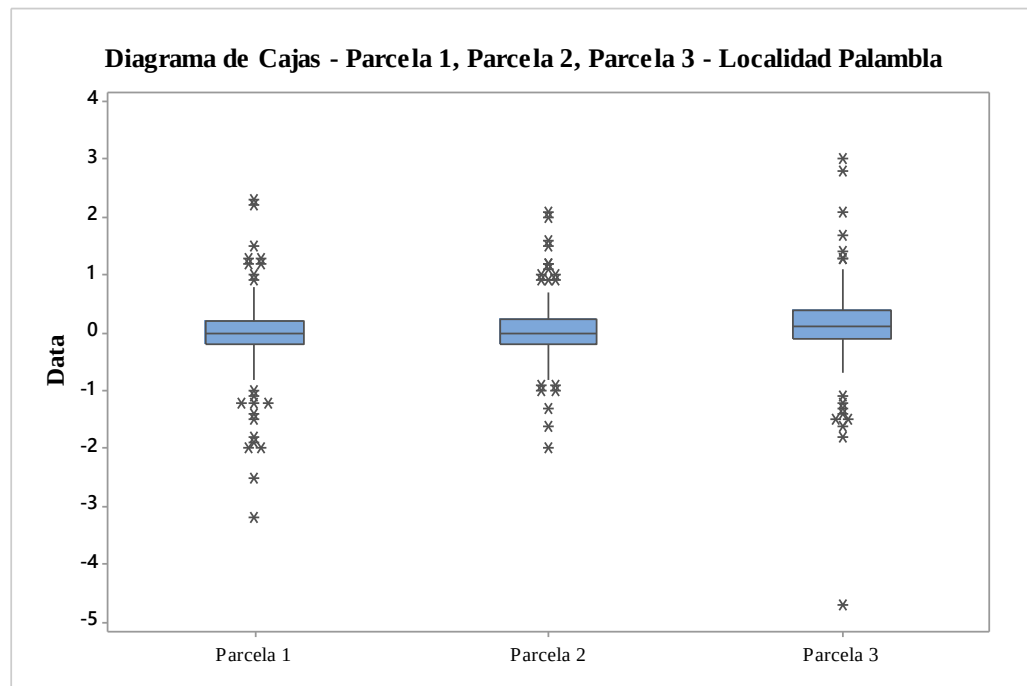
Method	Test Statistic	P-Value
Multiple comparisons	—	0.217
Levene	1.02	0.362



Conclusión: A un nivel de significancia del 5%, hay suficiente evidencia estadística para afirmar que las varianzas de las parcelas 1, 2 y 3 son homogéneas.

Resultado de Prueba: $0.362 > 0.05 \rightarrow$ No se rechaza H_0

Localidad: Palambla

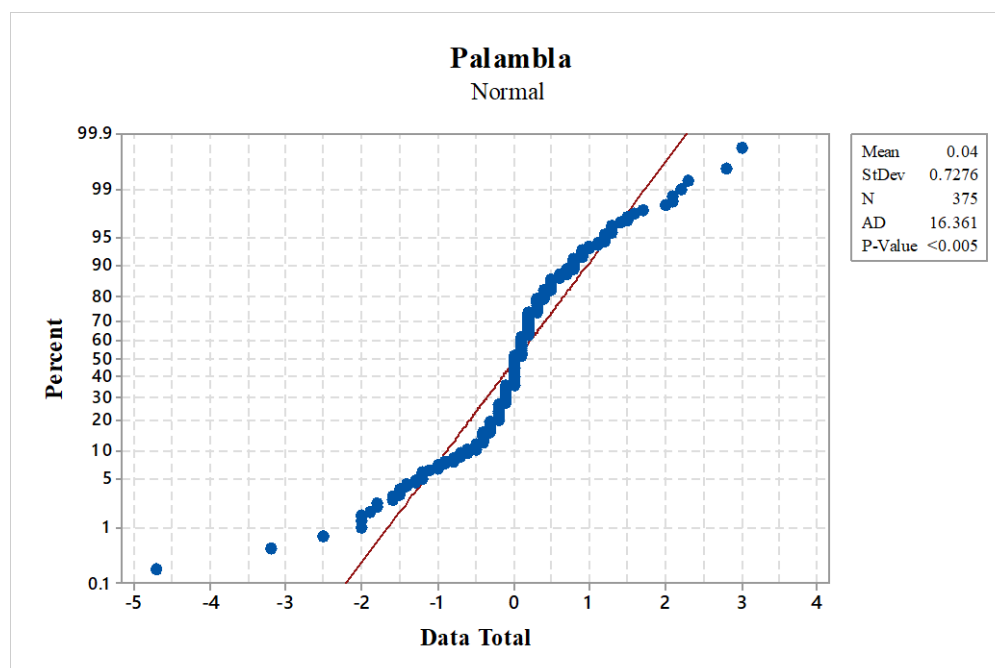


El criterio de normalidad se evaluó mediante el test de Anderson Darling (AD) donde:

H_0 : La variable sigue una distribución normal

H_a : La variable no sigue una distribución normal

$p < \alpha$ se rechaza H_0 — — — $p > \alpha$ no se rechaza H_0



A un nivel de significancia de 0.05, no existe evidencia estadística para rechazar H_0 .

Por lo tanto, se cumple el supuesto de normalidad de errores.

Welcome to Minitab, press F1 for help.

Palambra

Test for Equal Variances: Parcela 1, Parcela 2, Parcela 3

Method

Null hypothesis All variances are equal
 Alternative hypothesis At least one variance is different
 Significance level $\alpha = 0.05$

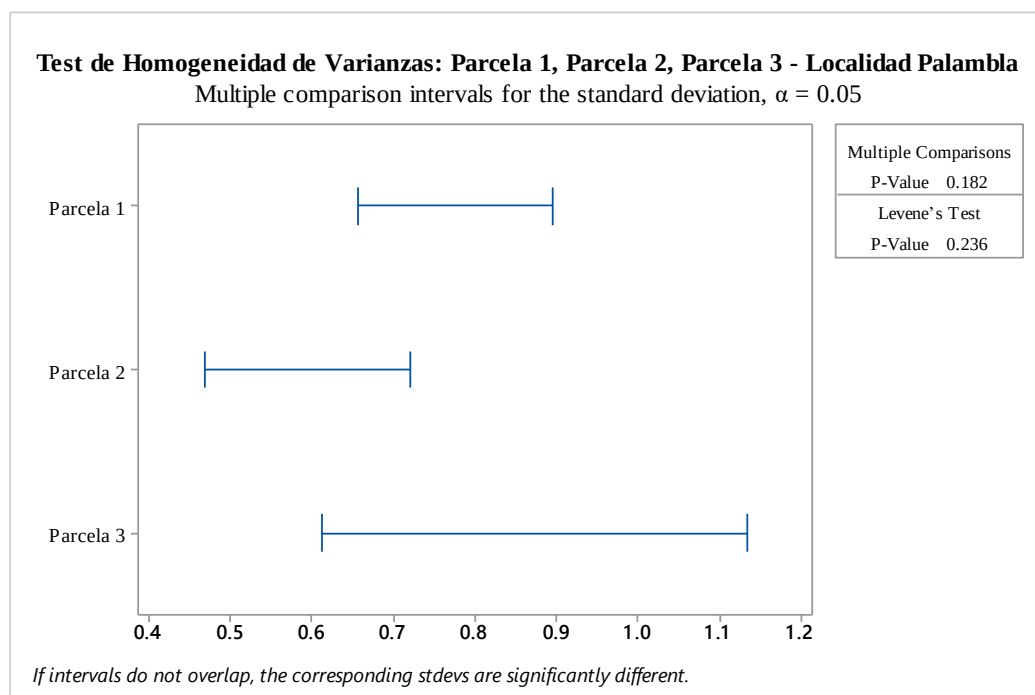
95% Bonferroni Confidence Intervals for Standard Deviations

Sample	N	StDev	CI
Parcela 1	126	0.759121	(0.588192, 0.99870)
Parcela 2	126	0.574725	(0.452012, 0.74491)
Parcela 3	123	0.824571	(0.565291, 1.22665)

Individual confidence level = 98.3333%

Tests

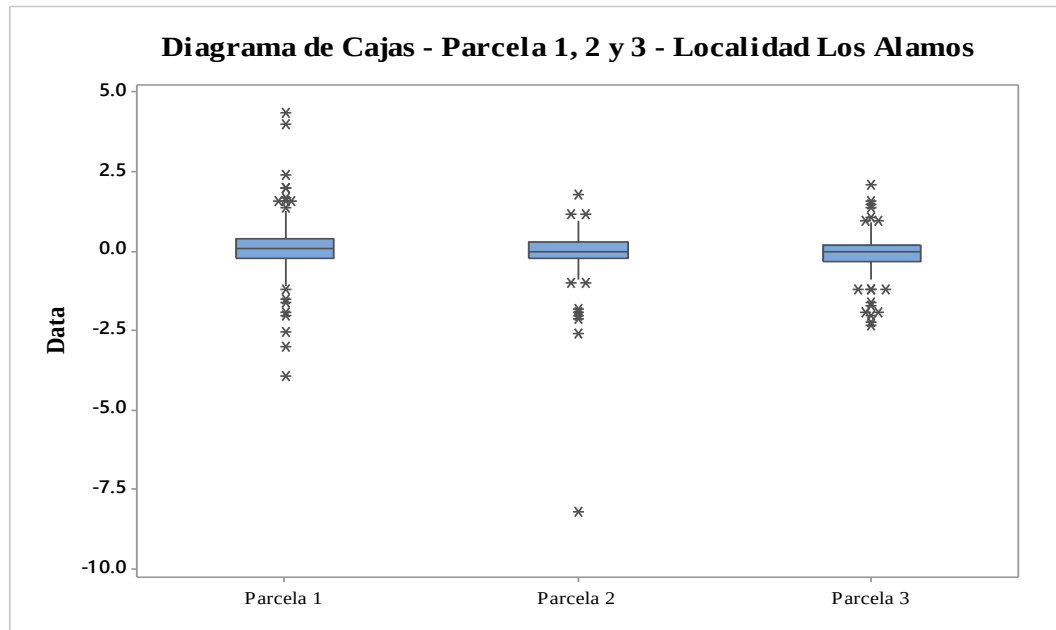
Method	Test Statistic	P-Value
Multiple comparisons	—	0.182
Levene	1.45	0.236



Conclusión: A un nivel de significancia del 5%, hay suficiente evidencia estadística para afirmar que las varianzas de las parcelas 1, 2 y 3 son homogéneas.

Resultado de Prueba: $0.236 > 0.05 \rightarrow$ No se rechaza H_0

Localidad: Los Álamos

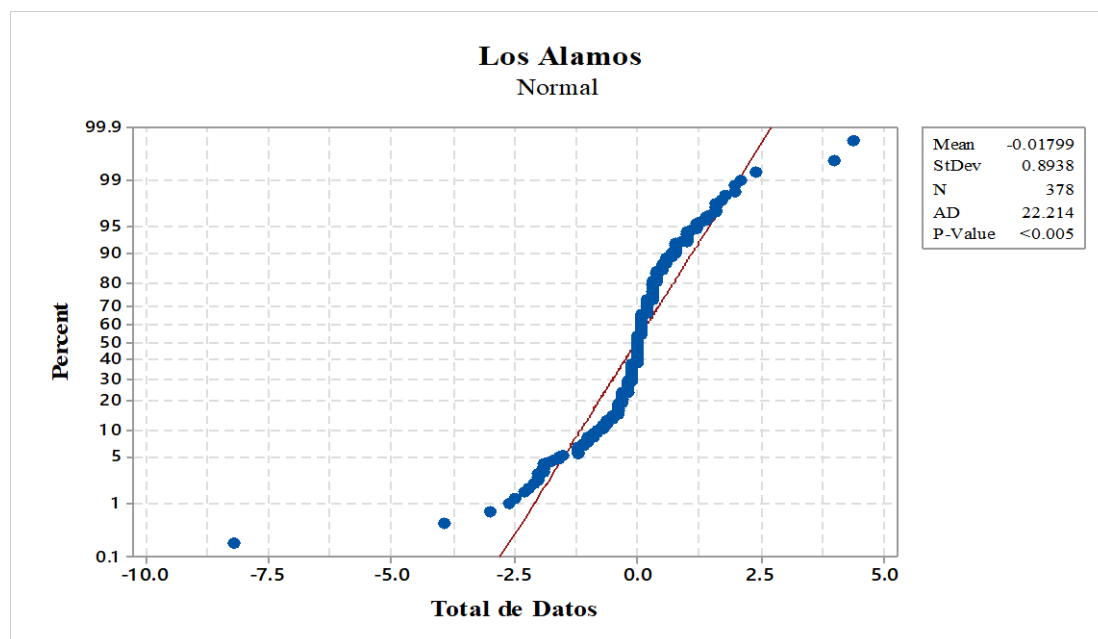


El criterio de normalidad se evaluó mediante el test de Anderson Darling (AD) donde:

H_0 : La variable sigue una distribución normal

H_a : La variable no sigue una distribución normal

$p < \alpha$ se rechaza H_0 — — — $p > \alpha$ no se rechaza H_0



A un nivel de significancia de 0.05, no existe evidencia estadística para rechazar H_0 .

Por lo tanto, se cumple el supuesto de normalidad de errores.

Welcome to Minitab, press F1 for help.

Results for: Alamos

Probability Plot of C2

Test for Equal Variances: Parcela 1, Parcela 2, Parcela 3

Method

Null hypothesis All variances are equal
 Alternative hypothesis At least one variance is different
 Significance level $\alpha = 0.05$

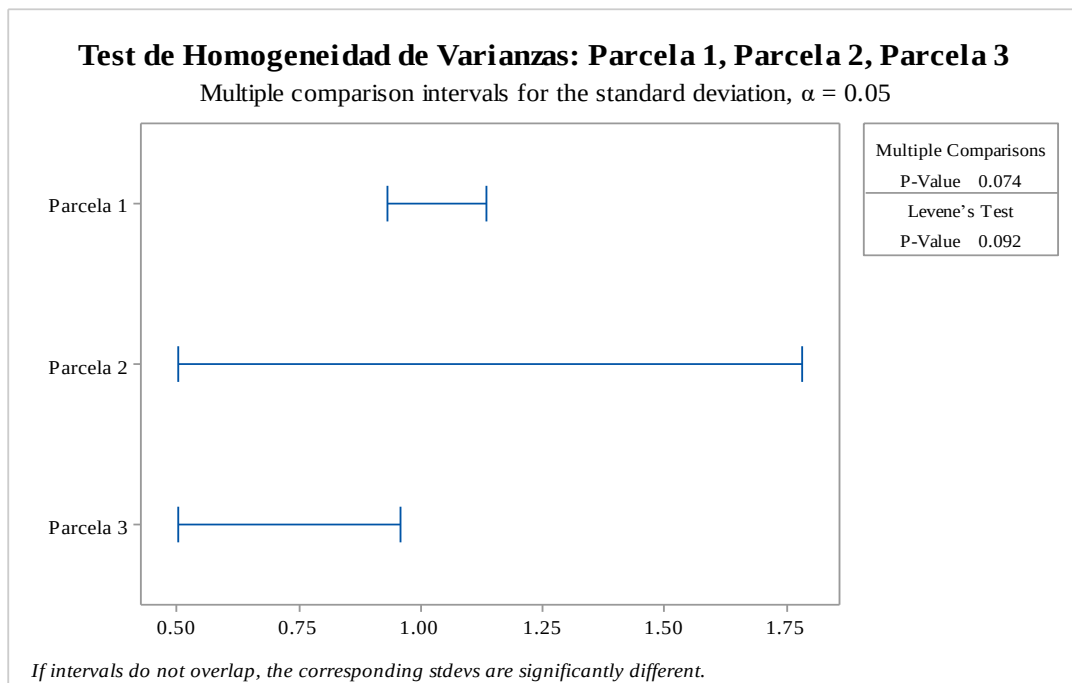
95% Bonferroni Confidence Intervals for Standard Deviations

Sample	N	StDev	CI
Parcela 1	126	1.13164	(0.661121, 1.97453)
Parcela 2	126	0.70402	(0.559543, 0.90295)
Parcela 3	126	0.79162	(0.580491, 1.10046)

Individual confidence level = 98.3333%

Tests

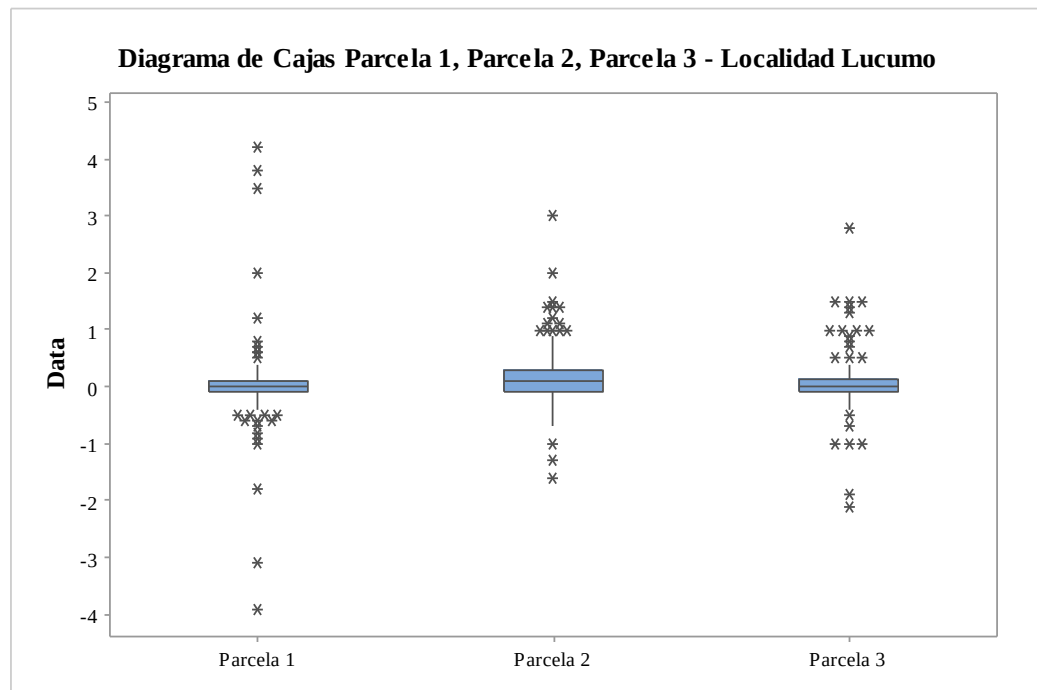
Method	Test Statistic	P-Value
Multiple comparisons	—	0.074
Levene	0.67	0.092



Conclusión: A un nivel de significancia del 5%, hay suficiente evidencia estadística para afirmar que las varianzas de las parcelas 1, 2 y 3 son homogéneas.

Resultado de Prueba: $0.092 > 0.05 \rightarrow$ No se rechaza H_0

Localidad: Lúcumo

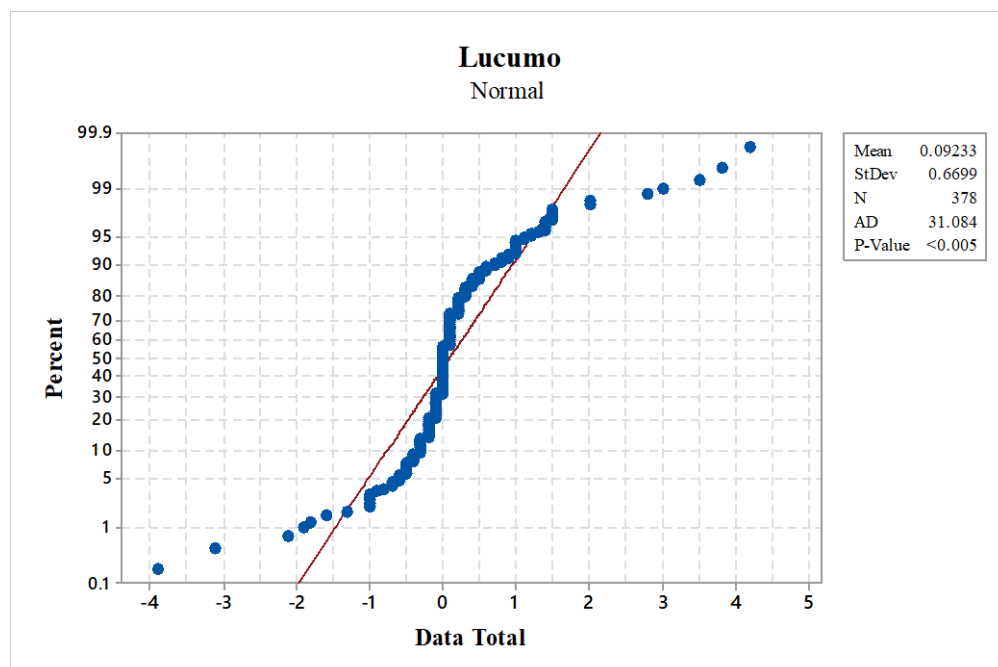


El criterio de normalidad se evaluó mediante el test de Anderson Darling (AD) donde:

H_0 : La variable sigue una distribución normal

H_a : La variable no sigue una distribución normal

$p < \alpha$ se rechaza H_0 — — $p > \alpha$ no se rechaza H_0



A un nivel de significancia de 0.05, no existe evidencia estadística para rechazar H_0 .

Por lo tanto, se cumple el supuesto de normalidad de errores.

Lucumo**Test for Equal Variances: Parcela 1, Parcela 2, Parcela 3**

Method

Null hypothesis All variances are equal
 Alternative hypothesis At least one variance is different
 Significance level $\alpha = 0.05$

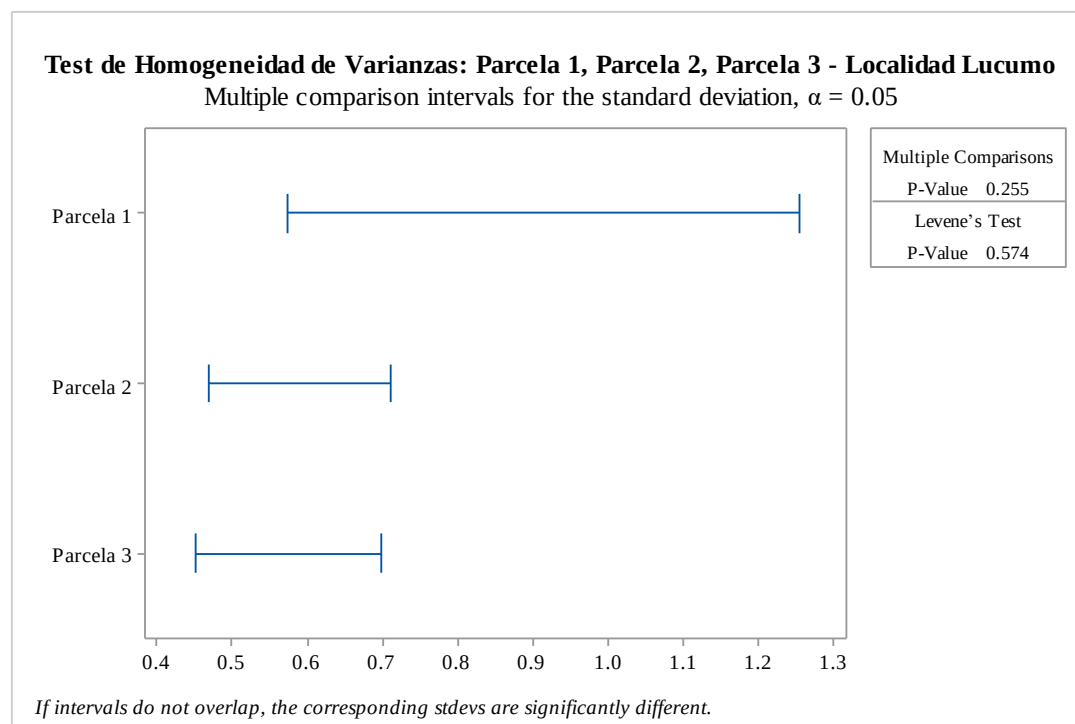
95% Bonferroni Confidence Intervals for Standard Deviations

Sample	N	StDev	CI
Parcela 1	126	0.839608	(0.549830, 1.30694)
Parcela 2	126	0.571819	(0.428555, 0.77775)
Parcela 3	126	0.555903	(0.403577, 0.78056)

Individual confidence level = 98.3333%

Tests

Method	Test Statistic	P-Value
Multiple comparisons	—	0.255
Levene	0.56	0.574



Conclusión: A un nivel de significancia del 5%, hay suficiente evidencia estadística para afirmar que las varianzas de las parcelas 1, 2 y 3 son homogéneas.

Resultado de Prueba: $0.574 > 0.05 \rightarrow$ No se rechaza H_0

Anexo N°07. Registro Fotográfico



Fotografía 01: Deforestación en laderas empinadas ubicadas al margen derecho del río Puzmalca, Distrito de Canchaque.



Fotografía 02: (a, b, d) Erosión hídrica en surcos y cárcavas en la localidad de Los Potreros, provocado por la acción erosiva de lluvias. (c) Alto riesgo de desprendimiento de talud debido a ampliación de terrenos.



Fotografía 03: Pruebas de permeabilidad usando el método del tubo. (a) realizada en la localidad de San Antonio (1176 msnm), textura franca arenosa arcillosa de permeabilidad moderada. (b) realizada en la localidad de Loma Larga (574), textura franca arcillosa de permeabilidad lenta a moderada.



Fotografía 04: Evaluaciones realizadas en parcelas de varillas de erosión en la localidad de Palambla: (a) medición de varillas; (b) establecimiento de varillas en parcelas de 1.4 m x 3.2 m; (c) medición de la cobertura vegetal mediante el método del cuadrante y (d) evaluación de fragmentos de roca posterior a un evento lluvioso.