

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Escuela de Posgrado

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

**PÉRDIDA DE SUELOS POR EROSIÓN HÍDRICA EN
LADERAS SEMIÁRIDAS DE LA SUB CUENCA
CAIRANI-CAMILACA**

TESIS

PRESENTADA POR:

M.Sc. FRANCISCO TEODORO CONDORI TINTAYA

Para optar el Grado Académico de:

DOCTOR EN CIENCIAS AMBIENTALES

TACNA - PERÚ

2021

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

ESCUELA DE POSGRADO

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

**PÉRDIDA DE SUELOS POR EROSIÓN HÍDRICA EN LADERAS
SEMIÁRIDAS DE LA SUB CUENCA CAIRANI-CAMILACA**

Tesis sustentada y aprobada el 25 de junio del 2021; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE:


.....
Dr. Oscar Octavio Fernández Cutire


SECRETARIO:


.....
Dr. Julio Miguel Fernández Prado

MIEMBRO:


.....
P.h. Dr. Edwin Martin Pino Vargas

ASESOR:


.....
P.h. Dr. Edwin Martin Pino Vargas

AGRADECIMIENTOS

Al Vicerrectorado de Investigación, Instituto General de investigación de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, por el financiamiento de la presente tesis, recursos sin el cual, no hubiera sido posible desarrollar la presente investigación.

Al Ph.D. Edwin Martin Pino Vargas asesor de la presente tesis doctoral, por su valiosa contribución en el desarrollo y culminación del informe final.

A la Doctora Rosario Zegarra Zegarra, por su colaboración en la identificación taxonómica de las especies silvestres que, constituyen la cobertura natural del ámbito de estudio.

A las autoridades y población de la sub cuenca Cairani-Camilaca, por el apoyo brindado durante el trabajo de campo e información solicitada para desarrollar la investigación; especial mención al Sr. Mauro Chambe Catacora, presidente de la comisión de riego Cairani.

Y a todas las personas que de una u otra manera colaboraron en la realización de la presente investigación.

DEDICATORIA

A la memoria de mis padres José y Honorata, quienes son la luz que iluminan mi camino cada día.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA.....	iv
CONTENIDOS	v
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
RESUMO	xvi
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	3
1.1.1. Antecedentes del problema	3
1.1.2. Problema de la investigación	6
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	7
1.2.1. Problema principal	7
1.2.2. Problemas secundarios.....	7
1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA	8
1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	9
1.5. OBJETIVOS	10
1.5.1. Objetivo general.....	10
1.5.2. Objetivos específicos.....	10
1.6. HIPÓTESIS	11
1.6.1. Hipótesis general:.....	11
1.6.2. Hipótesis específicos:	11
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	12
2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	12
2.1.1. La erosión y la ecuación universal de pérdida de suelo (EUPS) en el mundo.....	12

2.1.2. Aplicación del método EUPS en Sur américa	12
2.2.3. Aplicación de la EUPS en el Perú	14
2.2. BASES TEÓRICAS	15
2.2.2. Teorías medio ambientales	16
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	18
2.3.1. Cambio climático	18
2.3.2. Desertificación.....	18
2.3.3. Desertización	18
2.3.4. Degradación de suelos.....	19
2.3.5. Zonas de clima áridas, semiáridas	19
2.3.6. Cuenca.....	19
2.3.7. Erosión hídrica	20
2.3.8. Erosividad de la lluvia	20
2.3.9. Erodabilidad del suelo	20
2.3.10. Longitud del terreno	20
2.3.11. Longitud de la pendiente del terreno	21
2.3.12. Cobertura y manejo de la vegetación.....	21
2.3.13. Prácticas de conservación	21
2.3.14. Teledetección.....	22
2.3.15. Sistemas de información geográfica (SIG).....	24
CAPÍTULO III: MARCO FILOSÓFICO	26
CAPÍTULO IV: MARCO METODOLÓGICO	28
4.1. CARACTERÍSTICAS DE LA SUB CUENCA.....	28
4.2. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	31
4.2.1. Tipo de investigación.....	31
4.2.2. Diseño de la investigación.....	32
4.3. POBLACIÓN Y MUESTRA	33
4.3.1. Población	33
4.3.2. Muestras	33
4.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	43

4.5.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS.....	45
4.5.1.	Métodos y técnicas para logro objetivos	45
4.6.	PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICOS.....	55
	CAPÍTULO V: RESULTADOS	59
5.1.	COMPORTAMIENTO DE LOS FACTORES EROSIVOS DE LOS SUELOS.....	59
5.1.1.	Factor erosividad de la lluvia (R).....	59
5.1.2.	Factor erodabilidad del suelo (K).	67
5.1.3.	Factor pendiente, longitud de la pendiente (LS).....	80
5.1.4.	Factor cobertura y manejo de vegetación (C)	85
5.1.5.	Factor prácticas de conservación (P).....	95
5.2.	EROSIÓN ACTUAL.....	101
5.3.	EROSIÓN POTENCIAL.....	102
5.4.	CONTRASTE DE LAS HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	107
5.4.1.	Contraste de hipótesis para objetivo 1:	107
5.4.2.	Contraste de hipótesis para objetivo 2:	109
	CAPÍTULO VI: DISCUSIÓN	112
	CONCLUSIONES	115
	RECOMENDACIONES	116
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	117
	ANEXOS	129

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Superficie cultivada micro cuenca Cairani-Camilaca.....	33
Tabla 2. Puntos de muestreo para análisis físico y químico de suelos	34
Tabla 3. Localización de zonas de muestreo para cobertura natural	35
Tabla 4. Localización de las pruebas de infiltración.....	36
Tabla 5. Características de las imágenes satelitales adquiridas – modo multiespectral	38
Tabla 6. Imágenes satelitales en modo multiespectral –región visible.....	41
Tabla 7. Imágenes de satélite en modo radar.....	42
Tabla 8. Operativización de la variable dependiente.....	43
Tabla 9. Escala de valoración perdida de suelos por erosión hídrica potencial	44
Tabla 10. Operativización de la variable independiente.....	44
Tabla 11. Estaciones meteorológicas utilizadas para calcular factor (r).....	47
Tabla 12. Imágenes satelitales utilizados para calcular dnvi.....	52
Tabla 13. Valoración de cobertura vegetal según dnvi	53
Tabla 14. Precipitación media mensual y anual (1964-2019) de 5 estaciones climatológicas del ámbito y adyacentes a la sub cuenca Cairani- Camilaca.	60
Tabla 15. Valor del índice de concentración de las precipitaciones (icp) promedio mensual y anual de 5 estaciones climatológicas del ámbito y adyacentes a la sub cuenca Cairani-Camilaca.....	62
Tabla 16. Valores de índice de erosividad (ei_{30}) de la lluvia multianual por estaciones meteorológicas por método modificado de fournier.....	63
Tabla 17. Valores r representativos por distritos y localidades de la sub cuenca Cairani-Camilaca.....	64
Tabla 18. Distribución de r en $mj.mm/ha.hr$ en la sub cuenca Cairani-Camilaca	65
Tabla 19. Características físicas e hídricas de los suelos representativos, sub cuenca Cairani-Camilaca.	76

Tabla 20. Infiltración básica (cm/h) sub cuenca Cairani-Camilaca.....	77
Tabla 21. Valores factor k por localidades representativas en la cuenca Cairani-Camilaca	78
Tabla 22. Distribución espacial de los valores del factor k en la sub cuenca Cairani Camilaca.....	78
Tabla 23. Secciones transversales de la cuenca Cairani-Camilaca y los valores de su inclinación.....	81
Tabla 24. Valores factor ls por localidades representativas en la cuenca Cairani-Camilaca.....	82
Tabla 25. Distribución espacial de los valores del factor ls en la sub cuenca Cairani-Camilaca.....	83
Tabla 26. Calendario de siembras de la cédula de cultivos en el sector Cairani (2018).....	86
Tabla 27. Calendario de siembras de la cédula de cultivos en el sector Camilaca (2018).....	86
Tabla 28. Cobertura vegetal de muestras analizadas en la sub cuenca Cairani-Camilaca correspondiente al mes de noviembre del 2019.....	88
Tabla 29. Diversidad vegetal, medido por el índice de shannon-weaver en la sub cuenca Cairani-Camilaca.....	89
Tabla 30. Especies de vegetación natural en sector Cairani	90
Tabla 31. Especies de vegetación natural en sector Camilaca	90
Tabla 32. Valores dnvi representativos calculados para la sub cuenca Cairani-Camilaca	91
Tabla 33. Valores factor c por localidades representativas en la cuenca Cairani-Camilaca.	92
Tabla 34. Distribución espacial de los valores del factor c en la sub cuenca Cairani-Camilaca.....	93
Tabla 35. El realizar prácticas de conservación de andenes	96
Tabla 36. Estado de conservación de andenes sub cuenca Cairani-Camilaca	97
Tabla 37. Valores factor p por localidades representativas en la cuenca Cairani-Camilaca.	98

Tabla 38. Distribución espacial de los valores del factor c en la sub cuenca Cairani-Camilaca.....	99
Tabla 39. Erosión actual de zonas representativas de la sub cuenca Cairani-Camilaca	102
Tabla 40. Erosión potencial de zonas representativas de la sub cuenca Cairani-Camilaca	103
Tabla 41. Distribución espacial de los niveles de erosión actual y potencial (t/ha/año) en la sub cuenca Cairani-Camilaca.....	104
Tabla 42. Valores de coeficiente de correlación entre factores (r, k, ls, c, p) versus la erosión actual (t/ha/ha).	108
Tabla 43. Valores de coeficiente de correlación entre factores (r, k, ls, c, p) versus la erosión potencial(t/ha/ha).....	108
Tabla 44. Estadística de muestras emparejadas, flancos Cairani y Camilaca	109
Tabla 45. Estadística de muestras emparejadas sub cuenca Cairani-Camilaca	110
Tabla 46. Estadísticos de prueba para contrastar hipótesis.....	111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de una honda electro-magnética.....	23
Figura 2 . Espectro electro-magnético de luz visible	24
Figura 3. Cambio del formato de imagen analógico a la digital.....	25
Figura 4 . Mapa de ubicación de la sub cuenca Cairani-Camilaca.....	30
Figura 5 . Diseño esquemático para determinar la erosión actual y potencial .	32
Figura 6. Esquema para levantar muestras de vegetación natural	35
Figura 7. Ubicación de los puntos de muestreo para suelos, cobertura vegetal y pruebas de infiltración.	37
Figura 8. Calibración geométrica de las imágenes landsat modo multiespectral (imágenes georreferenciados con puntos de control cartográfica)	40
Figura 9. Software utilizado para calibrar imágenes modo multiespectral	40
Figura 10. Imagen rgb – formato ewc para	41
Figura 11. Calibración geométrica de las imágenes landsat modo radar.....	43
Figura 12. Análisis de consistencia de los datos de precipitación por el método de curva de doble masa.	49
Figura 13. Precipitación media mensual estaciones climatológicas, ámbito de estudio.....	61
Figura 14. Distribución espacial del factor r erosividad de las lluvias en la sub cuenca Cairani-Camilaca	66
Fugira 15 . Distribución espacial del factor K erosionabilidad de los suelos en la sub cuenca Cairani-Camilaca.	79
Figura 16 . Distribución espacial del factor LS en la sub cuenca Cairani- Camilaca.	84
Figura 17 . Comportamiento de la cobertura vegetal áreas agrícolas según la temporalidad.....	87
Figura 18. Distribución espacial del factor ls en la sub cuenca Cairani- Camilaca	94
Figura 19 . Perfil representativo de la cuenca Cairani- Camilaca.....	95

Figura 20. Distribución espacial del factor P en la sub cuenca Cairani-Camilaca.....	100
Figura 21: Distribución espacial de la erosión hídrica actual en la sub cuenca Cairani-Camilaca.....	105
Figura 22: Distribución espacial de la erosión hídrica potencial en la sub cuenca Cairani-Camilaca.	106
Figura 23: Curva de distribución normal con valores de t calculado en zona de aceptación de H_0	111

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.	Precipitaciones medias anuales por estaciones climatológicas sub cuenca Cairani - Camilaca.	130
Anexo 2.	Promedio mensual de precipitaciones por estaciones climatológicas sub cuenca Cairani-Camilaca.	131
Anexo 3.	Correlaciones entre factor R versus la erosión potencial y actual.	132
Anexo 4.	Correlaciones entre factor K versus la erosión potencial y actual.	133
Anexo 5.	Correlaciones entre factor LS versus la erosión potencial y actual.	134
Anexo 6.	Correlaciones entre factor P versus la erosión potencial y actual.	135
Anexo 7.	Correlaciones entre factor P versus la erosión potencial y actual.	136
Anexo 8.	Panel fotográfico de aspectos relevantes en la sub cuenca Cairani-Camilaca.	137

RESUMEN

El estudio se desarrolló en la sub cuenca Cairani-Camilaca, cuenca del Río Locumba, en un área de 76,63 km² en altitudes entre 2000 a 4600 m.s.n.m., la sub cuenca es un valle con perfil en forma de “V”, en el flanco izquierdo está asentado el Distrito de Cairani, cuya actividad económica es la producción agrícola y ganadera y en el flanco derecho el Distrito de Camilaca, con actividad mayormente agrícola. El valle está formado por laderas de fuertes pendientes (5 % hasta > 100 %), con precipitaciones promedio anuales entre 112,66 mm hasta 370,13 mm. El objetivo del estudio fue analizar los factores que intervienen en la erosión hídrica y la cantidad de suelo (t/ha/año) que se pierde anualmente en la sub cuenca. Se aplicó el método Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE); método que integra cinco factores: erosividad (R), erodabilidad (K), pendiente, longitud de la pendiente (LS), manejo de vegetación(C) y prácticas de conservación de suelos (P). Esta información se procesó utilizando el Sistema de Información Geográfica (GIS). El estudio determinó que: a) los factores: R, K, LS, C y P, tienen una relación directa y positiva con la erosión, con nivel de significancia de $\alpha=0,05$. b). El 31 % de la superficie está con erosión leve (< a 10 t/ha/año), 69 % con erosión moderada (10 a 50 t/ha/año) y solo el 0,09 % se encuentra con erosión alta (50 a 200 t/ha/año), finalmente con nivel de confianza del 95 %, estadísticamente las erosiones actual y potencial tienen niveles de erosión menores a 50 t/ha/año; por lo tanto, corresponde al nivel de erosión moderado, sin embargo el nivel moderado de erosión, está por encima de los valores permisibles establecido por la FAO (0,4 – 1,8 t/ha/año).

Palabras clave: Erosión, suelos, laderas semiáridas, productividad.

ABSTRACT

The study was developed in the Cairani-Camilaca sub-basin, Rio Locumba basin, in an area of 76,63 km² at altitudes between 2000 and 4600 masl, the sub-basin is a valley with a “V” -shaped profile, on the flank on the left is the District of Cairani, whose economic activity is agricultural and livestock production and on the right flank the District of Camilaca, with mainly agricultural activity. The valley is made up of steep slopes (5 % to > 100 %), with average annual rainfall ranging from 112,66 mm to 370,13 mm. The objective of the study was to analyze the factors involved in water erosion and the amount of soil (t / ha / year) that is lost annually in the sub-basin. Se aplicó el método Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE); método que integra cinco factores: erosividad (R), erodabilidad (K), pendiente, longitud de la pendiente (LS), manejo de vegetación(C) y prácticas de conservación de suelos (P). Esta información se procesó utilizando el Sistema de Información Geográfica (GIS). The study determined that: a) the factors: R, K, LS, C and P, have a direct and positive relationship with erosion, with a level of significance of $\alpha = 0,05$ b). 31 % of the surface is with mild erosion (<10 t / ha / year), 69 % with moderate erosion (10 to 50 t / ha / year) and only 0.09 % is with high erosion (50 at 200 t / ha / year), finally, with a confidence level of 95 %, statistically current and potential erosions have erosion levels lower than 50 t / ha / year; therefore, they correspond to the moderate level of erosion; However, the moderate level of erosion is above the permissible values established by the FAO (0,4 – 1,8 t / ha / year).

Keywords: Erosion, soils, semi-arid slopes, productivity.

RESUMO

O estudo foi desenvolvido na sub-bacia Cairani-Camilaca, bacia do Rio Locumba, em uma área de 76,63 km² em altitudes entre 2000 e 4600 metros acima do nível do mar, a sub-bacia é um vale com um “V” - Perfil perfilado, no flanco À esquerda encontra-se o Distrito de Cairani, cuja actividade económica é a produção agrícola e pecuária e no flanco direito o Distrito de Camilaca, com actividade essencialmente agrícola. O vale é formado por encostas íngremes (5 % a > 100 %), com precipitação média anual variando de 112,66 mm a 370,13 mm. O objetivo do estudo foi analisar os fatores envolvidos na erosão hídrica e a quantidade de solo (t / ha / ano) que se perde anualmente na sub-bacia. O método Universal Soil Loss Equation (USLE) foi aplicado; método que integra cinco fatores: erosividade (R), erodibilidade (K), declividade, comprimento da encosta (LS), manejo da vegetação (C) e práticas de conservação do solo (P). Essas informações foram processadas por meio do Sistema de Informações Geográficas (SIG). O estudo determinou que: a) os fatores: R, K, LS, C e P, têm relação direta e positiva com a erosão, com nível de significância $\alpha = 0,05$ b). 31 % da superfície está com erosão leve (<10 t / ha / ano), 69 % com erosão moderada (10 a 50 t / ha / ano) e apenas 0,09 % está com alta erosão (50 a 200 t / ha / ano), por fim, com um nível de confiança de 95 %, estatisticamente as erosões atuais e potenciais apresentam níveis de erosão inferiores a 50 t / ha / ano; portanto, correspondem ao nível moderado de erosão; No entanto, o nível moderado de erosão está acima dos valores permitidos pela FAO (0,4 - 1,8 t / ha / ano).

Palavras-chave: Erosão, solos, encostas semi-áridas, produtividade

INTRODUCCIÓN

Por muchos años atrás, los problemas ambientales, dentro de ella la degradación de los suelos fue un tema silencioso, ignorado; debido a que no se valoró en su justa dimensión la importancia de un medio ambiente equilibrado; sin embargo, la realidad nos enfrenta al hecho de que el deterioro ambiental es un amenaza seria al desarrollo actual y futuro de nuestra nación (SEMARNAT, 2009).

Existen diferentes factores que causan una degradación del suelo, todos ellos están interrelacionados, pero uno de los principales factores de degradación es la erosión causada por efecto del viento, el agua de lluvia y también por el agua de riego en agricultura desarrollada en laderas; estos procesos afectan de forma generalizada en el mundo y es posible que se agrave como consecuencia del cambio climático (Rubio.J., 2015); los suelos de estas zonas son variables, con evidente deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas, disminución de la materia orgánica, contaminación, salinización y pérdida de biodiversidad (Mazuela, 2013). La degradación de los suelos, como consecuencia de la erosión, implica importantes cambios socioeconómicos: como disminución de los rendimientos y de la producción en los agros sistemas, disminución o pérdida de ingresos económicos, ruptura del equilibrio tradicional entre las actividades agrícolas y de pastoreo, abandono de las tierras, deterioro del patrimonio paisajístico y finalmente la emigración del campo hacia las ciudades.

La sub cuenca Cairani-Camilaca, es un valle del punto de vista fisiográfico y topográfico típico de zonas interandinas de la región Tacna, donde la principal actividad es la producción agrícola, allí se desarrolla el cultivo del orégano (*Origanum vulgare L.*) de gran importancia para la agro exportación; sin embargo, se observó que en suelos erosionados los rendimientos se reducen de manera significativa (30 a 50 %) y en mucho de los casos, estas tierras son abandonadas, afectando de manera muy importante la economía de las familias campesinas, los mismos que en los últimos años han migrado a los valles de

costa como Sama, Ite, La Yarada, etc., en busca de mejores oportunidades económicas para sus familias.

Por las razones expuestas, en el presente estudio, se ha propuesto cuantificar la pérdida de suelo por acción de la erosión hídrica, para conocer la magnitud de daños causados a la pequeña agricultura familiar que se desarrolla en la microcuenca Cairani Camilaca.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1 Antecedentes del problema

Contexto global

La erosión de los suelos es un problema crítico, ya que más del 80,5 % (106 440 000 km²) de la superficie del planeta presenta este fenómeno, originado tanto por causas naturales como antropogénicas (FAO 1 993), en este contexto, la erosión de los suelos ocasiona una pérdida media mundial de 0,3 por ciento del rendimiento anual de los cultivos, esta pérdida podría ser equivalente a la eliminación de 150 millones de ha de producción de cultivos o 4,5 millones de ha/año (GTIS, 2015).

El fenómeno erosivo es tal que, un cuarto de la superficie terrestre corresponde a tierras áridas o semiáridas. De la superficie bajo riego, un quinto está afectado por la salinidad principalmente suelos de costa y la degradación se debe principalmente al aumento de la población, a la alta presión en el uso de los recursos naturales, a malas prácticas agrícolas y a la acción antrópica, que utiliza suelos más fértiles para construir ciudades (Mazuela, 2013).

Después de una caracterización y análisis de los diferentes elementos del proceso de degradación de suelos, se determinó que, las principales causas que originan la erosión son las precipitaciones pluviales (entre 800 y 1000 mm), suelos arcillosos, pendientes mayores de 15 %, prácticas agrícolas y ganaderas llevadas a cabo de manera inadecuada por el hombre, crecimiento no planificado de los asentamientos humanos, carencia de técnicas de control de la erosión y de una política de uso y aprovechamiento del recurso suelo (Alvarado *et al.*,

2007). El fundamento de los procesos erosivos, está en que el agua proveniente de las precipitaciones, no infiltra en su totalidad, por lo que una parte se queda en la superficie originando el agua de escorrentía, que al desplazarse sobre la superficie del suelo, según su pendiente, origina la erosión laminar, en surcos y posteriormente en cárcavas (González *et al.*, 2007). Por tanto, la erosión es el desprendimiento y arrastre de parte del suelo por acción de la lluvia o el viento. La erosión destruye la capa superior (horizonte A), la parte más fértil del suelo, teniendo como causas el tamaño de las partículas que forman el suelo y la fuerza de su unión, la facilidad con la que el agua penetra en el suelo y su profundidad y la pendiente del terreno (Pereira, 2015). Por otra parte Castro (2013), señala que la erosión de la capa superficial es debido a que la erosión provoca efectos en las características físicas y químicas del suelo, produciendo reducción en la infiltración del agua y disminución de almacenaje de la misma. Las prácticas tecnológicas para la conservación de los suelos, normalmente causa costos adicionales a los agricultores, tanto en dinero como en trabajo, además que los resultados no son inmediatos.

Contexto nacional

En el Perú, existen evidencias tangibles que, para mitigar el efecto adverso de la erosión en los suelos en laderas, los antepasados pre-incas e incas, desarrollaron sistemas de terrazas o andenes, obras faraónicas que no es un recurso natural sino efecto de la acción social (CEPES, 2015), esta tecnología ancestral también fue desarrollado en muchos lugares del mundo como respuesta económica, social y técnica a un medio adverso, encontrándose particularidades de acuerdo al lugar y nivel de desarrollo (Pinedo y Saman, 1984); actualmente muchos de estos sistemas agrícolas fueron abandonados desde las épocas pre hispánicas, atribuidas fundamentalmente al cambio del clima o sociales incluyendo los demográficos (Rueff y Rodríguez, 2010).

La pérdida de suelos por la desertificación es un problema crítico en el Perú (Rodrigo y Rojas, 2010), actualmente existen 3 862 786 ha de tierras desertificadas, al cual se suma 30 522 010 ha en proceso de desertificación, lo

cual equivale al 24 % del territorio nacional (Quispe, 2013), en este sentido, el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, elaboró un atlas de suelos erosionados por regiones, en ella se muestra que las mayores tasas de erosión ocurren en las regiones andinas e interandinas debido a las fuertes pendientes y lluvias que ocurren durante el año (Sabino *et al.*, 2017).

En este sentido, Pereira, 2015 sostiene que, para lograr una adecuada conservación de los suelos se deben tomar medidas de manejo y conservación de suelos como: trabajar la tierra con la humedad correcta, usar herramientas apropiadas, en parcelas con fuerte inclinación arar en forma transversal a la pendiente. En los últimos años con la generalización del sistema de siembra directa se está contribuyendo a una mejor conservación de los suelos en nuestro país

Pinedo *et al.*, 1984, realizó un estudio para determinar costo de rehabilitar andenes en las alturas del andes del Perú, el resultado indica que, rehabilitar andenes ubicados en pendientes ($S=22\%$), textura franco arcillosa, distancia de acarreo de rocas 100 m, profundidad de suelo 0,35 m, cuesta en promedio U\$S 6500 dólares; costo que para un pequeño agricultor que desarrolla agricultura familiar es muy significativo, por lo que generalmente optan por abandonarlos.

Frente al proceso de degradación de los suelos, el Estado Peruano, a través del Ministerio de Agricultura y Riego en coordinación con sus organismos públicos: Dirección General de Asuntos Ambientales-DGAAA, la Dirección General de Competitividad Agraria-DGCA, el Programa de Desarrollo Productivo-AGRORURAL, el Instituto Nacional de Innovación Agraria-INIA, y en un trabajo conjunto con el Ministerio de Ambiente a través del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú-SENAMHI, implementaron para el ejercicio 2014 el Programa Presupuestal Multisectorial “Reducción de la Degradación de Suelos Agrarios 0089”, el cual tuvo como objetivos nacionales y sectoriales contribuir con el incremento de la productividad, competitividad, sostenibilidad e inclusión en bien de la seguridad alimentaria del país y en especial de los pequeños y medianos productores (MINAGRI, 2014).

1.1.2 Problema de la investigación

La degradación de los suelos por acción antrópica, es uno de los principales problemas de la agricultura en el mundo; existen muchos estudios realizados en cada uno de los continentes que confirman lo indicado, dentro de los cuales la erosión es el factor más agresivo y recurrente que puede desestabilizar la producción sostenida de alimentos.

En el Perú, la degradación de los suelos puede deberse a factores como la desertificación, salinización y la erosión, este último es el más importante sobre todo en las regiones de sierra, donde está localizado el 52 % de la superficie agrícola nacional.

Los valles interandinos en el Perú, se caracterizan por presentar el perfil transversal en forma de "V", cuyas laderas tienen fuertes pendientes > 2 %, en este contexto se desarrolla la actividad agrícola en terrazas o andenes, que son estructuras desarrolladas por antiguas civilizaciones en el Perú; esto permite aprovechar las tierras dispuestas en laderas.

La erosión en los valles interandinos se produce también por acción antrópica, (labranza inadecuada de la tierra, deforestación), acción del viento y la lluvia; este último conocida como erosión hídrica, siendo el factor más degradante de los suelos de sierra del Perú.

La sub cuenca Cairani-Camilaca, jurisdicción de la cuenca del Río Locumba; el valle está formado por laderas de fuertes pendientes (mayores de 10 % hasta 40 %- 100 %), las tierras agrícolas están dispuestas en forma de andenes, donde se producen cultivos importantes como el orégano, papa, maíz, habas, etc., y el riego es por gravedad, (riego laminar), es decir, el agua de riego ingresa por la cota más alta y el agua discurre laminarmente acarreando cantidades de partículas de suelo (limo, arcilla) y materia orgánica en suspensión. Esta acción permanente ha reducido la profundidad de la capa

arable y en algunos lugares del valle como Camilaca y Cairani, se observó afloramientos rocosos y/o suelos con predominancia gravosa.

La producción agrícola en suelos erosionados, se observó que los rendimientos se reducen de manera significativa (30 a 50 %) y en mucho de los casos, estas tierras son abandonadas, afectando de manera muy importante la economía de las familias campesinas, los mismos que en los últimos años han migrado a los valles de costa como Sama, Ite, La Yarada, etc., en busca de mejores oportunidades económicas para sus familias.

La cuantificación de la pérdida de suelo por acción de la erosión hídrica, es una necesidad, ya que no se conoce la magnitud de daños causados a la pequeña agricultura que se desarrolla en la sub cuenca Cairani - Camilaca.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Lo descrito permite plantear el siguiente enunciado del problema a investigar:

1.2.1 Problema principal

¿Cómo es la relación de los factores con la erosión y cuál es la cantidad de suelo (t/ha/año) que se pierde anualmente por acción de la erosión hídrica en la sub cuenca Cairani-Camilaca?

1.2.2 Problemas secundarios

- a) ¿Cómo es el comportamiento de los factores (erosividad, erosionabilidad, pendiente, longitud de la pendiente, manejo de vegetación y prácticas mecánicas de manejo de la vegetación agrícola) con el proceso erosivo de los suelos?

- b) ¿Cuál es la cantidad de suelo (t/ha/año) que se pierde por acción de la erosión hídrica la sub cuenca Cairani-Camilaca?

1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La producción agrícola se sustenta en base al comportamiento de tres factores naturales como: suelo, agua y aire; el suelo no solo tiene la función de soporte a las plantas, sino es resultado de la dinámica física, química y biológica de los materiales originarios o producto del coluvión (García *et al.*, 2012). La disponibilidad de los nutrientes está en función a ciertas características como la textura, estructura y contenido de materia orgánica, este último elemento es muy importante para la vida de la fauna microbiana que desempeña una función determinante para el desarrollo de las plantas.

La producción en suelos erosionados se reduce de manera significativa, según (González *et al.*, 2007) el maíz en suelos con erosión moderada, la disminución del rendimiento fue del 34,7 %, erosión severa 43 % y erosión muy severa la reducción fue del 50,9 %; este mismo comportamiento asume que ocurre en todos los cultivos que se desarrollan en valles interandinos de la región de Tacna, provocando un perjuicio evidente en las economías de los pequeños productores; otro de los indicadores que evidencia el efecto de la acción erosiva de los suelos, es que la tasa de crecimiento de la población en la provincia de Candarave del año 2000 a 2015 tiene un comportamiento negativa (TC=-1 %) según (INEI, 2017), lo cual confirma el proceso migratorio de la población de Cairani-Camilaca a valles de la costa debido a la disminución de la fertilidad de los suelos, por acción de los procesos erosivos.

Por tanto, la cuantificación de la pérdida de suelo por efecto de la erosión hídrica, puede permitir la implementación de políticas y acciones conducentes a la mitigación de los procesos de erosión de los suelos, considerando que la economía la de sub cuenca Cairani-Camilaca está basado en la producción agropecuaria.

1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

Alcances

La investigación tiene alcance local, regional y nacional, ya que los resultados permiten inferir de manera cuantitativa el nivel de degradación de los suelos en los valles interandinos en particular, de la región de Tacna, un problema del medio ambiental que ocurre en todas las regiones del país de difícil topografía.

Los resultados de la investigación, también permitieron evidenciar la erosión como una de las causas de los procesos de migración que ocurren desde los valles interandinos y andinos a las ciudades de costa de la región y del país.

Limitaciones

La presente investigación se vio limitada en algún grado por los siguientes factores:

- ***Área geográfica***

La accesibilidad, por la distancia, topografía accidentada y vías de comunicación en mal estado y el alto costo que implica trasladarse a la zona de estudio, limitó se desarrolle la investigación en un ámbito mayor.

- ***Época o periodo***

El estudio se sujetó a época de mayores precipitaciones (enero, febrero y marzo), esto para contrastar el cálculo teórico de la erosión hídrica, con las características físicas del medio, no pudiendo hacerlo en otras temporalidades por la escasa o nula precipitación, donde la erosión hídrica es poco significativa.

- ***Métodos o técnicas empleadas***

Para la aplicación del método, Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE); una de las limitantes fue la escasa disponibilidad de la

información hidrológica de la zona (estaciones pluviométricas), calidad y disponibilidad de imágenes satelitales para el estudio.

- **Financiamiento**

Una de las limitantes de la presente propuesta de investigación fue el financiamiento, dado que el estudio requirió una serie de análisis como: muestras de suelo, apoyo de procesador del software ArcGis y costos de viaje a la zona interandina (distancia, 120 km de la ciudad), que no permitió un análisis más detallado de la investigación.

- **Tiempo disponible**

La investigación se realizó de manera paralela a las responsabilidades laborales, lo cual redujo el tiempo disponible, y no se pudo dedicar a la investigación, el tiempo completo o dedicación exclusiva.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo general

Analizar los factores que intervienen en la erosión hídrica y la cantidad de suelo (t/ha/año) que se pierde anualmente en la sub cuenca Cairani-Camilaca.

1.5.2. Objetivos específicos

- a) Analizar la relación de los factores (erosividad, erosionabilidad, pendiente, longitud de la pendiente, manejo de vegetación y prácticas mecánicas de manejo de la vegetación agrícola) con el proceso de la erosión hídrica en la sub Cuenca Cairani-Camilaca.
- b) Determinar la cantidad de pérdida de suelo (t/ha/año) por acción de la erosión hídrica en la sub cuenca Cairani-Camilaca.

1.6 HIPÓTESIS

1.6.1 Hipótesis general:

Los factores de la erosión hídrica, provocan alto potencial erosivo (t/ha/año) en los suelos agrícolas de la sub cuenca Cairani-Camilaca.

1.6.2 Hipótesis específicos:

- a) Los factores: erosividad, erodabilidad, pendiente, longitud de la pendiente, manejo de vegetación y prácticas mecánicas de manejo de la vegetación agrícola; tienen una relación directa en la erosión hídrica de los suelos de Cairani-Camilaca.

- b) La erosión hídrica ocasiona alta cantidad de pérdida de suelo (50-200 t/ha/año) en la sub cuenca Cairani-Camilaca.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

2.1.1. La erosión y la ecuación universal de pérdida de suelo (EUPS) en el mundo

La erosión del suelo es un problema ambiental muy crítico en el mundo, ya que más del 80,5 % (106 440 000 km²) de la superficie del planeta presenta este fenómeno, originado por causas naturales como antropogénicas (FAO, 1993); una de las causas que origina la erosión de los suelos, está las precipitaciones pluviales (entre 800 y 1 000 mm), suelos arcillosos, pendientes mayores de 15 % y dentro de los factores antrópicos, se tiene a las prácticas agrícolas y ganaderas llevadas a cabo de manera inadecuada, crecimiento no planificado de los asentamientos humanos, carencia de técnicas de control de la erosión y de una política de uso y aprovechamiento del recurso suelo (Alvarado *et al.*, 2007); es necesario mencionar que, el fundamento está en que el agua proveniente de la precipitación, no infiltra en su totalidad, por lo que una parte se queda en la superficie originando la escorrentía que al desplazarse sobre la superficie del suelo, origina la erosión laminar (Arden-Clarke y Evans, 1993), en surcos y posteriormente en cárcavas (González *et al.*, 2007), además, aparte de provocar efectos físicos en el suelo, también alteran las propiedades químicas de los suelos (Castro, 2013).

2.1.2. Aplicación del método EUPS en Sur América

El método EUPS, se ha aplicado en todo el mundo (Contreras *et al.*, 2012), debido a que es un modelo matemático sencillo paramétrico, concebido en la Universidad de Purdue (EE.UU); este método se ha aplicado en la estación experimental agropecuaria Paraná del INTA- Argentina, para determinar, si las propiedades físicas de los suelos de entre ríos tienen relación con la erosión,

finalmente, determinaron que la erosionabilidad se debe a su baja velocidad de infiltración como consecuencia de la escasa capacidad de los horizontes inferiores para transmitir agua (Scota *et al.*, 1989).

En México, se estima que el 29 a 97 % de las tierras tienen algún grado de erosión hídrica (Flores *et al.*, 2013), en razón a este problema, se aplicó el método EUPS, con SIG y se tuvieron resultados satisfactorios en pequeñas áreas como la cuenca El Jihuite; sin embargo, señalan que el método puede tener limitaciones a causa de la poca disponibilidad de información; entre ellos la cantidad e intensidad de lluvia y la distribución de parámetros edáficos (Flores *et al.*, 2003). Este método se ha empleado también en la microcuenca de Madin, determinándose que existe una erosión de potencia media anual de 166,6 ton/ha/año, el cual corresponde a un límite de erosión fuerte, pero en términos de erosión actual la pérdida es de 7,58 ton/ha/año, que corresponde a una erosión hídrica incipiente (Castro, 2013). En otros lugares como la cuenca del lago Chapala la erosión fue de 4 019 t/ha/año, en áreas de cultivo temporal (Silva *et al.*, 2017).

De la misma manera, en Argentina (Falasca, 2002), sostiene que, la erosión hídrica se presenta en aquellos sectores de fuertes pendientes, y la estimación de la erosión potencial con EUPS, determinó que solo un 34 % de los campos forestales presenta erosión potencial aceptable (menor a 10 t/ha/año), mientras que la superficie restante presenta niveles elevados de erosión hídrica potencial que es necesario controlar (Dufilho *et al.*, 2011).

En Colombia el 40 % de su superficie continental e insular presenta algún grado de degradación de suelos por erosión. De esta parte, el 20 % presenta erosión ligera, el 17 % erosión moderada, el 3 % erosión severa y el 0.2 % erosión muy severa (Franco *et al.*, 2015). De la misma manera en la Vertiente del Waraira Repano, estado de Vargas, Venezuela, se ha aplicado el método EUPS, estimando una erosión potencial muy alto en la mayoría del área de

estudio, atribuyéndose este al bajo contenido de materia orgánica y la ubicación altitudinal (Repano *et al.*, 2012).

2.2.3. Aplicación de la EUPS en el Perú

En el Perú, el Ministerio de Agricultura y Riego en coordinación con sus organismos públicos adscritos, dan a conocer para el ejercicio 2014 el Programa Presupuestal Multisectorial: “Reducción de la Degradación de Suelos Agrarios 0089”, el cual está enmarcado dentro de los objetivos nacionales y sectoriales del sector agrario, que tuvo como propósito, contribuir con el incremento de la productividad, competitividad, sostenibilidad e inclusión en bien de la seguridad alimentaria del país (Tapia y Vásquez, 2011) en especial de los pequeños y medianos productores (MINAGRI, 2014); en este sentido, se realizó un estudio en la Cuenca Alta del Río Moche para estimar el poder erosivo de las precipitaciones como factor determinante de la erosión en t/ha/año mediante el método de Fournier, basado en la función fundamental del coeficiente p^2/P , siendo p la precipitación del mes más lluvioso y P la precipitación total anual. Se registró pérdidas de suelo por erosión hídrica, en Huangamarca y Pollo, en el orden de 7,29 y 33,40 t/ha/año, respectivamente. Estas pérdidas por erosión son consideradas valores altos, comparados con el rango permisible por la FAO (0,4-1,8 t/ha/año), que afectan los agro ecosistemas (Huerta y Loli, 2014).

Por otra parte, estudios realizados en la sub cuenca del Río Angasmarca, La Libertad aplicando el método EUPS, se determinó que el 47 % de su área tiene un elevado riesgo de erosión y en consecuencia a la degradación ambiental, vinculado principalmente a alta erosividad de las lluvias y a su relieve muy accidentado, por lo que recomendaron acciones para disminuir impactos evitando el uso indiscriminado de estas tierras, el 53 % del área restante debe implementarse labores agrícolas con medidas de conservación de suelos (Díaz, 2015).

Posteriormente, en la cuenca del Río Sigwas de la Región Arequipa, se aplicó el método EUPS, concluyéndose finalmente que, las tasas de pérdida de suelo llegan hasta 1400 t/ha/año, correspondientes a zonas de mayor pendiente y a conglomerados y arenas aluviales (Portuguez, 2015), de la misma manera estudios realizados en la sub cuenca Shullcas-Huancayo, determinaron pérdidas de suelo por erosión hídrica con valores en épocas de mayor precipitación de 16313 t/ha/año, en situación de suelos sin vegetación (Solano, 2016). Las pérdidas de suelos por efecto de la erosión hídrica tienen un costo ambiental; en este sentido, (Barturén, 2016) estimó como costos ambientales por erosión de suelos y arrastre de sedimentos en \$12,4 millones, para la cuenca del Rio Santa y de \$ 427 millones para la cuenca del Rio Jequetepeque, debido a la pérdida de nutrientes en desmedro de la actividad agrícola.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Teorías económicas

Teoría de la crisis

Bolaños (1930), analizó la obra de Davis Ricardo y determinó que este autor considera que una de las causas de la crisis en la economía, es debido a la teoría de los rendimientos decrecientes de la tierra; lo cual implica que desde siglos atrás se percibía una oferta limitada de tierras de buena calidad, por tanto, el uso de la tierra es un concepto que sostiene la teoría medio ambiental (Correa, 2015).

Teoría de los ciclos económicos

Según el análisis realizado por Giudice (1987), sobre teorías económicas, señala que los ciclos económicos en el Perú, fueron objeto de muchos estudios y uno de los indicadores es que, el crecimiento económico llevó a un aumento de la población; en la misma medida las necesidades de alimentos, esto explica la explotación de tierras cada vez menos fértiles; como resultado, se tiene una disminución de la producción con un aumento en los precios, de la misma

manera (Correa, *et al.*, 2005), analiza la teoría de la curva medioambiental de Kuznets quien explora la relación existente entre el crecimiento económico y calidad ambiental, evidenciando que a corto plazo el crecimiento de la economía, aumenta la producción agregada, aumenta los ingresos y, por ende el consumo, lo cual conlleva un mayor deterioro del medio ambiente.

Teoría de la competitividad

Porter (1987), sostiene que la prosperidad nacional se crea, no se hereda, es decir, la competitividad está determinada por la productividad, definida como el valor del producto generado por una unidad de trabajo o de capital; en este sentido, Paredes (2007), señala que la producción de alimentos crece año tras año para satisfacer la creciente necesidad, producto de la prosperidad; por lo que es valioso la conservación del recurso suelo como un recurso ecológico (Betancourt, 2015). Sin embargo, autores de CEPAL consideran que en el logro de la competitividad inciden múltiples factores y pone en evidencia la importancia de las políticas públicas generadoras de competencia, como la investigación, desarrollo e innovación tecnológica que permiten elevar los niveles de producción, las políticas de equidad distributiva favorecen el crecimiento del mercado interno; las políticas de educación elevan la calidad del capital humano; las políticas crediticias inducen una buena asignación del capital y facilitan el equipamiento y modernización de las empresas (Suñol, 2006), para medir la competitividad existen diferentes indicadores dependiendo el nivel de agregación, para el caso de las empresas o unidades económicas se emplea el ingreso, el costo, la relación precio-costo y la tasa de ganancia, entre otros (Pat y Ávila, 2009).

2.2.2. Teorías medio ambientales

Teorías medio ambientales: Recurso suelo

La desertificación de los suelos, es un problema de carácter mundial, no solo como recurso natural, sino también como un bien cultural (Orenzetti y Luis, 2010), de la misma manera, en América del Sur el problema de la erosión es un

problema silencioso (Abraham y Torres,2007), por lo que este recurso y sus potencialidades están en cuestión en el futuro (Quintero *et al.*, 2008), para su evaluación se requieren un conjunto de indicadores para medir la desertificación y mitigación de los efectos de la sequía en los procesos de la degradación en los suelos (Sullivan, 2002), este análisis se debe realizar con un enfoque holístico y una visión global del medio ambiente (Bertalanffy, 1989).

Políticas medio ambientales en el Perú

El mapa de desertificación del Perú presentado por INRENA en el año 2006 dio cuenta que las áreas desertificadas representan una superficie de 3 862 786 ha y que 30 522 010 ha, se encuentran en proceso de desertificación (MINAM, 2009); en este sentido, el manejo de cuencas en los procesos de zonificación ecológica económica, deben incorporar la dimensión de la diversidad biológica en los planes de ordenamiento del territorio (Arce Rojas,R., 2010) y la planificación de estos espacios debe realizarse con un enfoque ecosistémico (CONAM, 2001); por tanto, el Estado peruano a través del D.S. 012-2009-MINAM, considera: i) impulsar la caracterización, evaluación y registro de suelos y tierras a nivel nacional, ii) fortalecer los conocimientos y tecnologías tradicionales compatibles con el manejo sostenible de los suelos y agua e iii) impulsar acciones para prevenir los procesos de desertificación, degradación y pérdida de suelos por agentes erosivos, mitigando sus efectos y/o recuperándolos (Minam, 2009). Posteriormente, se define la política nacional agraria a través del D.S. 002-2016-MINAGRI, que tiene como propósito definir el rumbo al desarrollo sostenible del Perú, en el marco de un manejo sostenible de los recursos naturales, agua, suelo y los recursos forestales y de la fauna silvestre para garantizar la seguridad alimentaria, reducir la pobreza y las brechas sociales fundamentalmente del ámbito rural (MINAGRI, 2016).

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

2.3.1. Cambio climático

Por cambio climático se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables (Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores Monterrey, 2010); sin embargo, el calentamiento global es la manifestación más evidente del cambio climático y se refiere al incremento promedio de las temperaturas terrestres y marinas globales, estos cambios que existen, son claras evidencias de que el calentamiento del planeta registrado en los últimos 50 años puede ser atribuido a los efectos de las actividades antrópicas (SEMARNAT, 2009).

2.3.2. Desertificación

La desertificación es un proceso de degradación de tierras agrícolas, pastoreo y forestales, que ocurre en ecosistemas sumamente frágiles debido a la escasez de agua (UNCCD, 2014). En el Perú, las actividades humanas que causan mayor impacto en la tierra son: el sobrepastoreo, la erosión hídrica y la erosión eólica en zonas andinas e interandinas, mientras que en la costa ocurre el proceso de salinización debido a técnicas de riego inadecuados, en tanto que la tala ilegal indiscriminada es un proceso que contribuye a la desertificación en la selva peruana (Quispe, 2013).

2.3.3. Desertización

Muchos autores consideran que en los procesos de desertificación intervienen tres aspectos, primero: medio en el que influyen, estos están caracterizados por parámetros climáticos. Segundo: Agentes de la desertificación, estos pueden ser antrópicos y naturales. Tercero: Acción desertificadora. Se habla de *desertización* si los agentes de la degradación son estrictamente naturales y de *desertificación* si entre los agentes se encuentran las acciones antrópicas (Urbano y Meneses, 1989).

2.3.4. Degradación de suelos

Rubio (2015), considera degradación de los suelos, como la reducción o la pérdida de la productividad biológica o económica de las tierras agrícolas de secano, tierras de cultivo de regadío, pastizales, los bosques y las tierras forestadas, ocasionada en zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, que ocurren por los sistemas de utilización de la tierra o por un proceso o una combinación de procesos, como resultante de las actividades humanas y acciones naturales como: la erosión del suelo causada por el viento o el agua, el deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas o de las propiedades económicas del suelo y, la pérdida duradera de vegetación natural.

2.3.5. Zonas de clima áridas, semiáridas

Una de las características de las zonas de clima árido y semiárido es la baja disponibilidad de agua, cuantificada a base de la precipitación media anual, en relación con la evaporación en un área geográfica determinada. Cuando esta relación es menor a 0,65 se considera zona de clima árido y semiárido (Rubio.J., 2015). Los factores que inciden en la alta evaporación son la radiación solar incidente, la presión de vapor del aire, fluctuación de temperaturas diurna/nocturna y la velocidad del viento. Los suelos de estas zonas son variables en profundidad, textura, pH, conductividad eléctrica y fertilidad, siendo frecuente los suelos con perfiles incipientes o poco desarrollados (Mazuela, 2013).

2.3.6. Cuenca

Llerena (2003), define la cuenca como una unidad territorial natural, donde las aguas caídas en forma de precipitación, se unen para formar un solo curso de agua, y a partir de esta apreciación se puede comprender que únicamente en la cuenca hidrográfica es posible realizar balances hídricos; es decir, cuantificar la oferta de agua que “produce” la cuenca durante el ciclo hidrológico; además en ellas se producen los procesos naturales y antrópicos, puede ser también una unidad política, administrativa, de gestión ambiental o de manejo de los diversos recursos naturales que alberga. Por otra parte (Ordóñez,

2011), agrega que la cuenca es un sistema integrado por varias sub cuencas y micro cuencas.

2.3.7. Erosión hídrica

La erosión puede ser definida, en forma amplia, como un proceso de arrastre de las partículas del suelo por acción del agua o del viento, o como un proceso de desprendimiento y arrastre acelerado del suelo (Ciseros *et al.*, 2012). Esto implica la existencia de dos elementos que participan en el proceso: uno pasivo que es el suelo, y uno activo que es el agua, el viento, o su participación alterna; la vegetación por su parte actúa como un regulador de las relaciones entre ambos elementos (GTIS, 2015).

2.3.8. Erosividad de la lluvia

Erosividad corresponde a la sumatoria de los productos de las energías cinéticas de todos los eventos de lluvias erosivas anuales con sus respectivas intensidades máximas en 30 minutos ($\sum E \cdot I_{30}$), lo cual da una idea de la agresividad con que las precipitaciones influyen en el proceso de degradación de los suelos por erosión hídrica (Mancilla, 2008).

2.3.9. Erodabilidad del suelo

Corresponde a la resistencia del suelo a ser arrancadas sus partículas por acción de la lluvia y transportado por la escorrentía; esto depende de las propiedades del suelo. La pérdida de suelos se determina empíricamente, y se expresa en t/ha por unidad de pluviosidad EI30 en condiciones estándar de pendiente del 9 %, longitud 22,13 m y en barbecho continuo; se puede calcular mediante la ecuación correspondiente o a través del nomograma de Wischmeier para cada horizonte de suelo expuesto a la erosión (Dufilho *et al.*, 2011).

2.3.10. Longitud del terreno

Representa el efecto de la topografía sobre la erosión del suelo. La erosión aumenta conforme se incrementa la longitud de la pendiente del terreno

(Flores *et al.*, 2013), tomando como base una longitud de las parcelas normalizadas en 22,13 m (Dufilho *et al.*, 2011).

2.3.11. Pendiente del terreno

Este factor indica el grado de inclinación de la pendiente del terreno. La pérdida de suelo aumenta rápidamente con la inclinación de la pendiente que con la longitud (Wischmeier y Smith, 1978).

2.3.12. Cobertura y manejo de la vegetación

Prado *et al.*, (2016), este factor se obtiene al dividir la pérdida de suelo generada en un terreno con cierto tipo de manejo, entre la pérdida de suelo producida para el mismo terreno bajo cultivo continuo (Huerta y Loli, 2014). Este factor incluye el efecto combinado de las variables de manejo y cobertura vegetal, secuencia de cultivos y prácticas de manejo de un lugar en particular. También depende del estado de crecimiento y desarrollo de la cobertura vegetal en el momento en que actúa el agente erosivo (Wischmeier y Smith, 1978).

2.3.13. Prácticas de conservación

De los estudios sobre los mecanismos de desprendimiento y transporte de las partículas del suelo por salpicadura, escorrentía y viento (De Regoyos, 2003), se deduce que la estrategia para la conservación del suelo debe basarse en:

- Su cobertura para protegerlo del impacto de las gotas de agua.
- El aumento de su capacidad de infiltración para reducir la escorrentía.
- La mejora de la estabilidad de sus agregados y en el incremento de la rugosidad superficial para reducir la velocidad de la escorrentía y del viento.

Sin embargo (Mancilla, 2008), señala que, el empleo de prácticas de conservación en el suelo minimiza el efecto del flujo de agua de escorrentía. Al

respecto, EUPS incluye el factor P de prácticas de conservación para tres situaciones:

- El empleo de labranza siguiendo las curvas de nivel (cultivo en contorno).
- El empleo de fajas de cultivo en contorno.
- El empleo de labranza en terrazas.

2.3.14. Teledetección

La teledetección espacial se define como la técnica que permite adquirir imágenes de la Tierra mediante sensores instalados en plataformas espaciales (satélites), asumiendo que entre la Tierra y el sensor existe una interacción de energía, ya sea por reflexión de la energía solar o de un haz energético artificial o por emisión propia. En el caso particular que los sensores estén a bordo de satélites se la denomina teledetección satelital (Rodríguez, 2013).

Son tres los elementos principales de cualquier sistema de teledetección: sensor, objeto observado y flujo energético; en cuanto a este último, el flujo electromagnético entre la cubierta terrestre y el sensor constituye una forma de radiación electromagnética; como es sabido, la energía se transfiere de un lugar a otro por tres procesos: convección, conducción y radiación. Dentro de ellos nos centramos en este último, pues constituye la base de los sistemas de teledetección (Chuvienco, 2008).

La energía electromagnética (figura 1), se refiere a toda energía que se mueve a la velocidad de la luz, en un patrón ondular armónico. El movimiento ondular de la energía electromagnética, puede ser descrita en términos de:

- Velocidad: velocidad de la luz 3×10^8 m/s
- Longitud: micrón (μ) más usada para espectros visible y el infrarrojo, nanómetros (nm) utilizados en términos ópticos (0,7 μ - 700 nm)
- Frecuencia: número de ciclos por unidad de tiempo que pasan por un punto fijo (hercios- Hz) (Chuvienco, 2008).

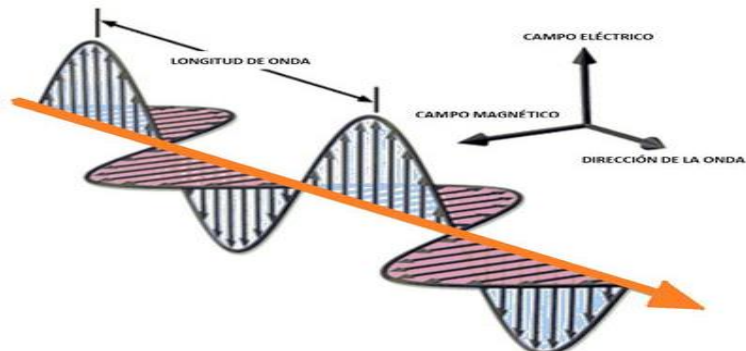


Figura 1. Esquema de una honda electro-magnética

Fuente: (Chuvieco, 2008)

Gracias a las distintas órbitas que describen los satélites, y a diversas alturas a las que orbitan y a sus diferentes campos de visión y resolución espacial, las imágenes captadas permiten realizar análisis de la superficie terrestre a distintas escalas y con distintos niveles de detalle. Desde la escala local hasta la global es posible realizar investigaciones multiescalares (Botana and Fernández, 2019).

Sensores para analizar casos como la erosión y pérdida de calidad del suelo, son los de resolución espacial y espectral media (embarcados en los satélites Landsat, Spot, Aster, EO, etc.), los de alta resolución temporal (embarcados en los satélites Modis, NOAA, etc.) y los sensores con rádar (embarcados en los satélites Envisat, ERS, etc.) (Pérez y García, 2013).

Los sensores miden la REM (radiación electromagnética), a partir de la cual se obtienen parámetros o propiedades biogeofísicas. Los datos que proveen los SR (sensores remotos) son en general, una imagen que representa el blanco observado.

La frecuencia o longitud de una onda electromagnética depende de su fuente. En el mundo físico existe un amplio rango de frecuencias, desde las bajas

frecuencias (ondas eléctricas generadas por las líneas de transmisión de energía) hasta las de muy alta frecuencia (rayos gamma originados en los núcleos atómicos). Este rango amplio de frecuencias de las ondas electromagnéticas constituye lo que se denomina *espectro electromagnético* (figura 2) (Rodríguez, 2013).

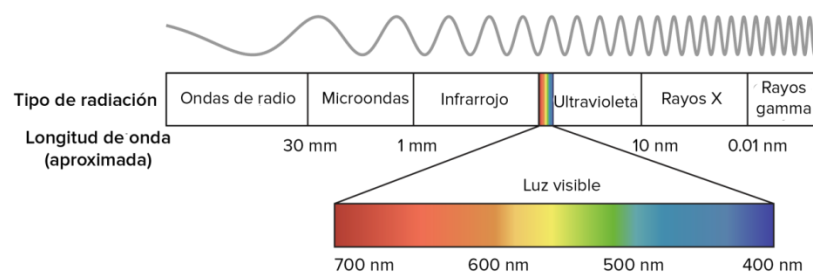


Figura 2 . Espectro electro-magnético de luz visible

Fuente:(Rodríguez, 2013)

2.3.15. Sistemas de información geográfica (SIG)

Un SIG es un sistema de información compuesto por hardware, software y procedimientos para capturar, manejar, manipular, analizar, modelizar y representar datos georreferenciados, con el objetivo de resolver problemas de gestión y planificación. Existen dos modelos: ráster y vectorial

El modelo RASTER

El modelo ráster representa la realidad a través de superficies determinadas que quedan dispuestas en forma de matriz, en la que cada elemento está representado por un "pixel"1 (figura 3). La representación cartográfica queda dividida en celdas a manera de las teselas de un mosaico, que, agrupadas o en unidades, representan los objetos de la realidad. La representación queda simplificada en formas geométricas, predominando los cuadrados y los rectángulos (Lara, 1990).



Figura 3. Cambio del formato de imagen analógico a la digital

Fuente:(Lara, 1990)

El sistema ráster lo que realmente hace es digitalizar el mundo real transformando los elementos a representar en píxeles. De este modo, cada celda tiene un valor que la identifica y/o agrupa entre las demás, lo que resulta especialmente útil para representar fenómenos que se manifiestan en el territorio (Chuvieco, 2008).

Modelo VECTORIAL

La representación espacial en un modelo vectorial está basada en la localización de puntos individuales según determinadas coordenadas, estando definida por funciones matemáticas, por lo que se pueden representar puntos, líneas, parábolas, polígonos. En estos casos los datos incluidos en los SIGs deben ser parámetros que se dan en una ecuación, tales como radios de círculos, distancias en general, etc. (Lara, 1990).

CAPÍTULO III

MARCO FILOSÓFICO

La concepción filosófica que sustenta el análisis de la investigación, está basada en criterios epistemológicos que permitan definir el problema que se pretende abordar, y este está enmarcado en una concepción filosófica positivista o naturista de corrientes de pensamiento como: desarrollo sostenible, desertificación y finalmente la seguridad alimentaria, que es una amenaza global, debido a los problemas de productividad de las tierras.

Desarrollo sostenible

El concepto de desarrollo sostenible procura integrar las dimensiones económicas y sociales con la dimensión ecológica, debido a los crecientes problemas ambientales y los límites impuestos por la naturaleza en la explotación y crecimiento económico (Yochevsky, 2004), en este contexto, es imperiosa la necesidad de desarrollar investigaciones que permitan conocer, medir el grado de deterioro del principal factor de producción agrícola como es el suelo, y tomar acciones que permitan mitigar los efectos sobre la seguridad alimentaria de la propia localidad, la región y en el país en general.

Desertificación

¿El suelo atraviesa una crisis silenciosa? hemos ignorado al suelo por mucho tiempo. Sin embargo, los suelos son el fundamento para la producción de alimentos y la seguridad alimentaria (GTIS, 2015), la desertificación y la sequía son notorios en América Latina y el Caribe y si bien el grado de severidad no es tan manifiesto como en otras regiones del mundo (África), la crudeza de las cifras que evidencia la región torna imperativa la necesidad de adoptar medidas correctivas, porque los problemas de desertificación afectan las bases productivas y sociales de todos los países implicados y, aun aceptando que cada uno de ellos presenta distintas realidades, los procesos detectados muestran el común denominador de agravarse con el correr del tiempo. A la complejidad que se desprende de este panorama se suman los efectos de las catástrofes

naturales, entre los que se cuentan las sequías periódicas y sostenidas (Abraham y Torres, 2007).

Seguridad alimentaria

La seguridad alimentaria tiene que ver con la adopción de estrategias para evitar la pérdida de productividad debido a la degradación del suelo y restaurar la productividad de los suelos que previamente han experimentado pérdida de la misma. La reducción en futuras pérdidas de productividad debido a la degradación es esencial para mantener el área actualmente usada para la producción del cultivos y por lo tanto, evitar las conversiones inadecuadas del uso de la tierra (GTIS, 2015); en este sentido, la presente investigación está sustentada en los principios expuestos, ya que en la actualidad se observa que en la zona de estudio existe una progresiva migración debido a la baja productividad de los suelos.

CAPÍTULO IV

MARCO METODOLÓGICO

4.1. CARACTERÍSTICAS DE LA SUB CUENCA

La sub cuenca Cairani-Camilaca, es tributario de la cuenca del Río Locumba, localizada entre las coordenadas UTM WGS 84, por el norte con las coordenadas (8120946N, 343077E; 8120929N, 356851E) y por el sur (8080779N, 351808E; 8084605N, 345952E), con altitudes que varían desde 2000 hasta 4600 msnm, ubicada en la carta Nacional (Esc. 1:100 000) en los cuadrángulos 34-V, 35-V y 35-u (figura 4).

El clima es típico de regiones semiáridas, con valores promedios de T° max. y min. 20°C y 12,3 °C respectivamente, y valores extremos de -2 a -3 °C, en los meses de junio, julio y agosto. Las precipitaciones medias anuales son de 172 mm, ocurren el 94 % en meses de diciembre, enero, febrero y marzo.

Morfológicamente, la sub cuenca expresa un drenaje *EXORREICA*, debido a que sus aguas drenadas desembocan al río Ilabaya, que es tributario del río Locumba. Según el coeficiente de Gravilius ($Cg=1,65$) corresponde a una forma *OBLONGA*. El área total de la sub cuenca es de 76,63 km² y un perímetro de 114,04 km; caracterizados por una topografía de pendientes escarpados (> 75°) en las zonas altas y bajas del perfil, tanto en su flanco izquierdo (Cairani) y derecho (Camilaca) y pendientes inclinadas (10°-15°) en las zonas medias de Cairani y Camilaca respectivamente.

En cuanto al uso de los suelos 2448 has está orientado para desarrollar cultivos, y están localizados tanto en flanco izquierdo y derecho del valle. Los cultivos más importantes son: orégano, papa, maíz y habas; estos cultivos se riegan con aguas procedentes del río Callazas en Cairani y aguas del río Tacalaya en Camilaca; además, ambas zonas cuentan con aguas de vertientes naturales que son aprovechadas para la producción agrícola.

Las zonas altas de la sub cuenca están pobladas con vegetación natural con una extensión de 5181 has, predominan especies como la tola, ichu y cactáceas de diversas especies.

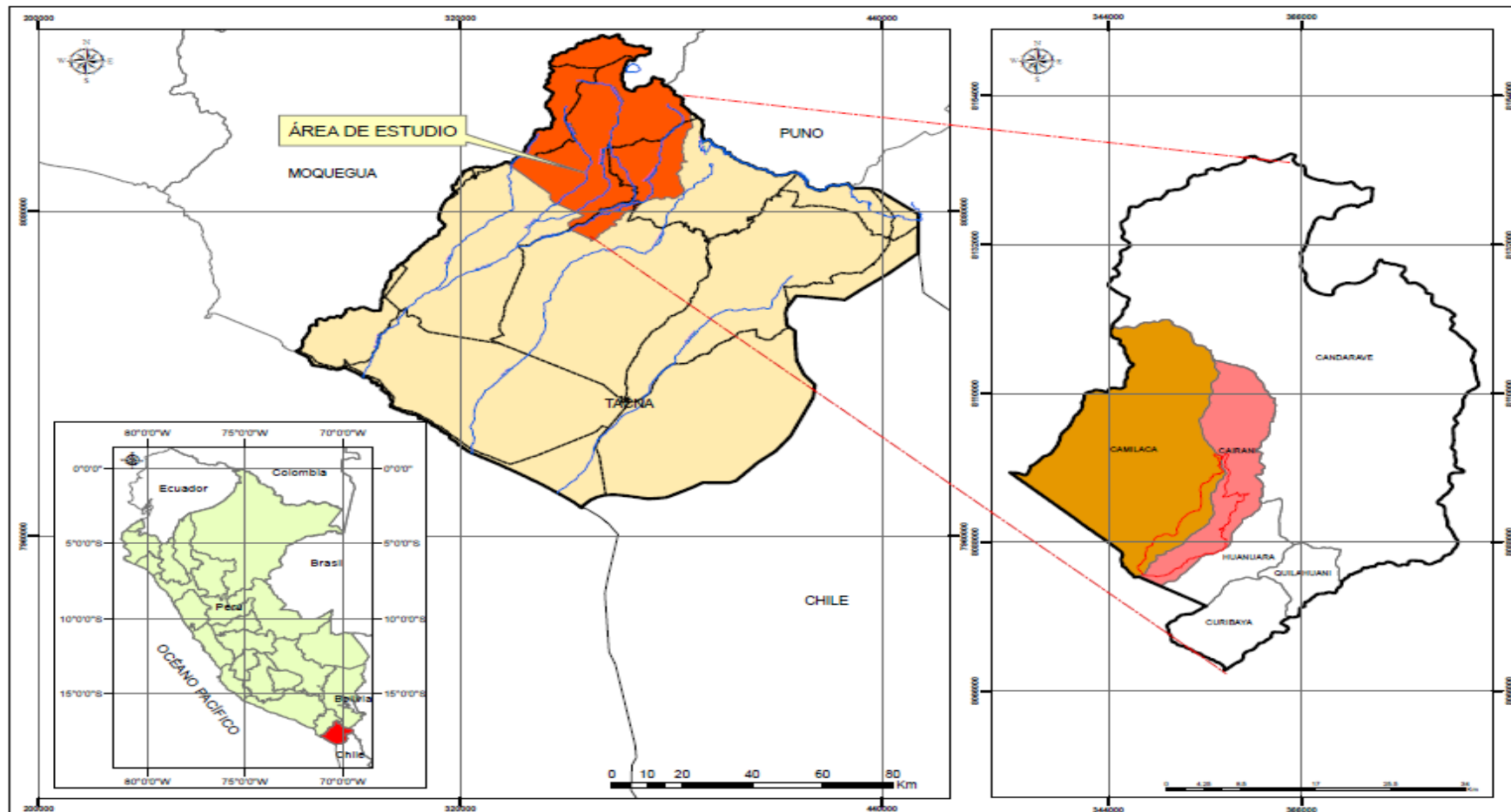


Figura 4 . Mapa de ubicación de la sub cuenca Cairani-Camilaca

4.2. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

4.2.1. Tipo de investigación

La presente investigación fue del tipo:

- **Retrospectiva**
Se sustenta debido a que la investigación utilizó información secundaria (serie histórica de precipitaciones pluviales 1964-2019), total 55 años, para calcular el factor R de la ecuación Universal de la erosión de suelos.
- **Descriptiva**
El estudio consistió en describir, las características morfológicas, edafológicas, hidrológicas y procesos antropológicos que intervienen en de conservación del sistema de andenería, como medio para la conservación del fenómeno erosivo de los suelos.
- **Relacional**
Se estableció relación entre la erosión o pérdida de suelos (t/ha/año) con el factor R (Erosividad).
- **Explicativa**
Debido a que el estudio tiene una variable dependiente y dos variables independientes, el estudio deberá explicar la relación de causalidad entre las variables dependientes e independientes.
- **Predictivo**
Se analizó la serie histórica de las precipitaciones, para determinar tendencias y predecir en los años futuros, el grado de erosión de los suelos.
- **Aplicativa**
porque está orientado a cuantificar la pérdida de suelo por erosión hídrica, a través de la aplicación de la “Ecuación universal de la pérdida de suelo-EUPS” (Cortolima y Corpoica, 1996), y plantear medidas de mitigación para reducir en efecto en la producción de los cultivos, así como políticas para mantener su sostenibilidad.

4.2.2. Diseño de la investigación

La ruta de la investigación fue de acuerdo al diseño estructurado en la figura 5.

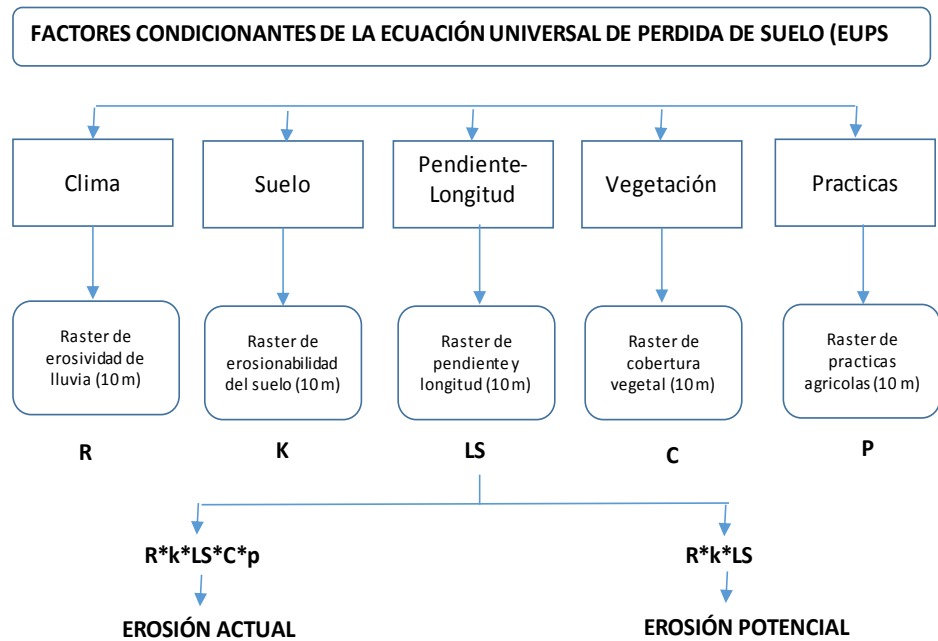


Figura 5 . Diseño esquemático para determinar la erosión actual y potencial

Fuente: Castro Mendoza, 2013

4.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

4.3.1. Población

El estudio se desarrolló en un ámbito total de 76,63 km², de los cuales 45,81 Km² corresponde a Cairani y 30,82 Km² corresponde a Camilaca; sin embargo, la zona agrícola está compuesta según tabla 1.

Tabla 1

Superficie cultivada Micro Cuenca Cairani-Camilaca

Comité Regantes	Área Total (Has)	Área Bajo Riego (has)	Fuente de Agua
Calacala	190,3	189,1	Río
	204,37	196,46	Manantial
Cairani	967,41	895,27	Río
	91,46	89,95	Manantial
Ancocala	206,44	163,76	Río
	33,02	33,02	Manantial
Sub Total	1 693,00	1 567,56	
Camilaca	702,99	588,44	Río
	51,74	38,47	Manantial
Sub Total	754,73	626,91	
Total	2,447,73	2 194,47	

Fuente: Junta de usuarios de riego Candarave

4.3.2. Muestras

a) *Muestras de suelos*

Se aplicó el método de muestreo por unidades geomorfológicas. Para determinar el punto de muestreo se siguió un patrón en relación a su relieve y morfología en zigzag, tomando en cuenta que, fisiográficamente las laderas tienen formas cóncavas en las partes altas y medias y convexas cerca al lecho de río (Mendoza y Espinoza, 2017). Obteniendo un total de 36 muestras, 21 muestras en Cairani y 15 en Camilaca, tabla 2.

Tabla 2*Puntos de muestreo para análisis físico y químico de suelos*

N°	Fecha	Código	Localidad	Ubication (UTM)	
				Este (m)	Norte (m)
1	13/08/2019	ANC-M1	Cairani	8083919	350187
2	13/08/2019	ANC-M2	Cairani	8084648	351205
3	13/08/2019	ANC-M3	Cairani	8084870	351696
4	13/08/2019	ANC-M4	Cairani	8084701	352000
5	13/08/2019	ANC-M5	Cairani	8085954	352575
6	13/08/2019	ANC-M6	Cairani	8086184	353504
7	13/08/2019	CAI-M7	Cairani	8086507	354376
8	13/08/2019	CAI-M8	Cairani	8087679	354082
9	13/08/2019	CAI-M9	Cairani	8087664	355877
10	13/08/2019	CAI-M10	Cairani	8088440	354677
11	13/08/2019	CAI-M11	Cairani	8088916	355645
12	13/08/2019	CAI-M12	Cairani	8089753	356007
13	13/08/2019	CAI-M13	Cairani	8089919	356138
14	13/08/2019	CAL-M14	Cairani	8090668	356349
15	13/08/2019	CAL-M15	Cairani	8090503	356878
16	13/08/2019	CAL-M16	Cairani	8091290	356918
17	13/08/2019	YAR-M17	Cairani	8092435	357393
18	13/08/2019	YAR-M18	Cairani	8094084	358178
19	14/08/2019	CAM-M19	Camilaca	8095573	356231
20	14/08/2019	CAM-M20	Camilaca	8092627	354978
21	14/08/2019	CAM-M21	Camilaca	8092124	354478
22	14/08/2019	CAM-M22	Camilaca	8091918	353920
23	14/08/2019	CAM-M23	Camilaca	8091387	353425
24	14/08/2019	CAM-M24	Camilaca	8091143	353290
25	14/08/2019	CAM-M25	Camilaca	8090556	353278
26	14/08/2019	CAM-M26	Camilaca	8090285	352759
27	14/08/2019	CAM-M27	Camilaca	8089969	352934
28	14/08/2019	CAM-M28	Camilaca	8088508	351880
29	14/08/2019	CAM-M29	Camilaca	8088083	350885
30	14/08/2019	CAM-M30	Camilaca	8088148	349716

Fuente: Elaboración propia, 2019

b) Muestras cobertura vegetal

Las laderas de la sub cuenca presentan pendientes fuertemente inclinadas en la parte media y fuertes en las zonas altas y bajas del perfil del valle (próximo al lecho de río). Los suelos cultivados están en la parte media y en las zonas altas y bajas, están ocupadas por vegetación natural. Por esta razón se han realizado dos tipos de muestreo de cobertura vegetal:

Para determinar cobertura vegetal de las zonas ocupadas con vegetación natural, se ha utilizado una técnica de muestreo no probabilístico por conveniencia y procedimientos de recolección de muestras, indicado por (Edwin Jiménez, Ruiz) (figura 6); en base al cual, se han levantado 10 muestras compuestas, 6 en Cairani y 4 en Camilaca. Los puntos de muestreo se muestran en la tabla 3.

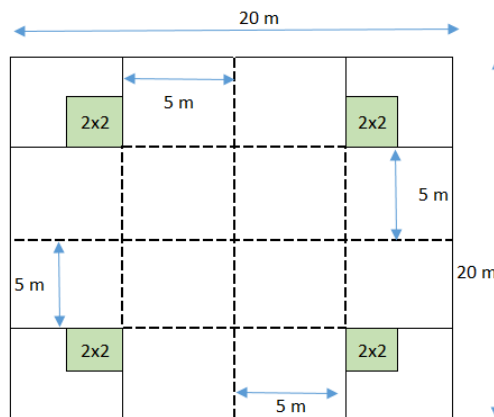


Figura 6. Esquema para levantar muestras de vegetación natural

Fuente: (Ruiz, Aspiazu y Coronel, 2016)

Tabla 3

Localización de zonas de muestreo para cobertura natural

Código	Localidad	Ubicación (UTM)	
		Este (m)	Norte (m)
ANC-01-EV	CAIRANI	353467	8085724
ANC-02-EV	CAIRANI	353507	8085865
ANC-03-EV	CAIRANI	353622	8085904
CAI-04-EV	CAIRANI	356651	8089330
CAI-05-EV	CAIRANI	356689	8089529
YAR-06-EV	CAIRANI	357645	8093211
CAM-07-EV	CAMILACA	355157	8094288
CAM-08-EV	CAMILACA	354968	8093011
CAM-09-EV	CAMILACA	352623	8090662
CAM-10-EV	CAMILACA	350342	8088764

Fuente: Elaboración propia, 2019

Para determinar cobertura vegetal de zonas de cultivo de la sub cuenca, se utilizó información de la Dirección Regional de Agricultura de Tacna, en cuanto a cultivos permanentes y cultivos de campaña, así como del calendario de siembras de la cédula de cultivos.

c) Muestras pruebas de infiltración

Los puntos para la prueba de infiltración, se identificaron lugares representativos de cada una de las localidades, definiéndose 6 pruebas en total, 3 en Cairani y 3 en Camilaca. Las localidades y la ubicación cartográfica se muestran en la tabla 4.

Tabla 4

Localización de las pruebas de infiltración

Fecha	Hora	Localidad	Ubicación (UTM)	
			Este (m)	Norte (m)
14/09/2019	8:32	Ancocala	352501	8085618
14/09/2019	11:13	Cairani	356028	8087806
14/09/2019	15:16	Yarabamba	357673	8092580
28/09/2019	7:49	Camilaca (Martes cruz)	353136	8090398
28/09/2019	10:49	Camilaca (parte alta)	354724	8092293
28/09/2019	13:49	Camilaca (parte baja)	349720	8088133

Fuente: Elaboración propia, 2019

d) Muestras para análisis de conservación de suelos

Se aplicó un cuestionario previamente estructurado para levantar información de los agricultores, si realizan prácticas de conservación de suelos; para el cual, se utilizó un muestreo aleatorio estratificado de 48 muestras, distribuidas 34 en Cairani y 14 en Camilaca (formato cuestionario en anexo), figura 7.

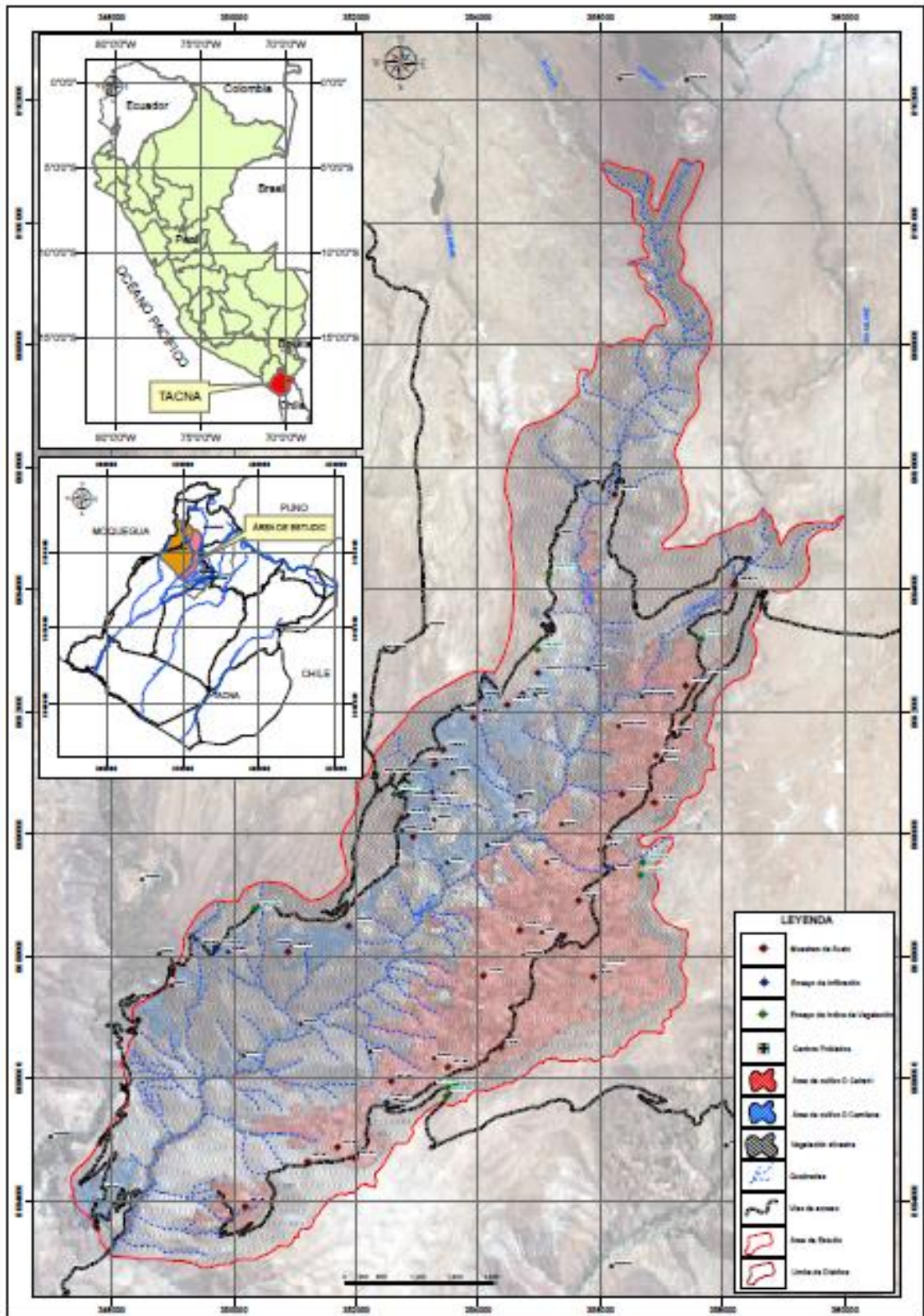


Figura 7. Ubicación de los puntos de muestreo para suelos, cobertura vegetal y pruebas de infiltración.

e) Procesamiento y característica de imágenes

Se utilizaron imágenes de satélites (tabla 5, 6) de acceso libre y se obtuvieron a través de una cuenta para acceder al catálogo de imágenes LANDSAT, a través de la página web <https://earthexplorer.usgs.gov/> (Servicio Geológico de los Estados Unidos) y las imágenes RADAR (DEM) del servidor ALASKA SATÉLLITE FACILITY, página web <https://search.asf.alaska.edu/> seleccionando aquellas imágenes con baja nubosidad extraterrestre en el área de estudio, correspondiente a los periodos de los años 2000 al 2019. Estas imágenes fueron:

- ✓ Imágenes satelitales LandSat-5 y 8, modo multiespectral
- ✓ Imágenes satelitales Alos, modo Radar

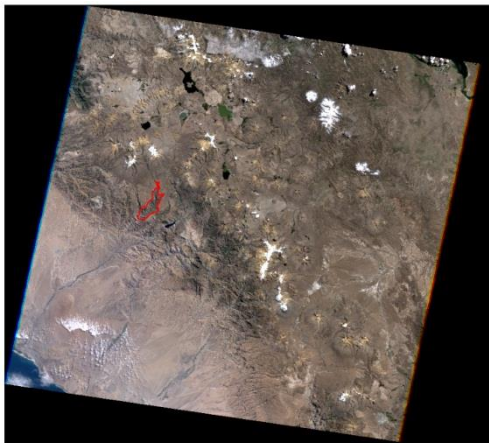
Tabla 5

Características de las imágenes satelitales adquiridas – modo multiespectral

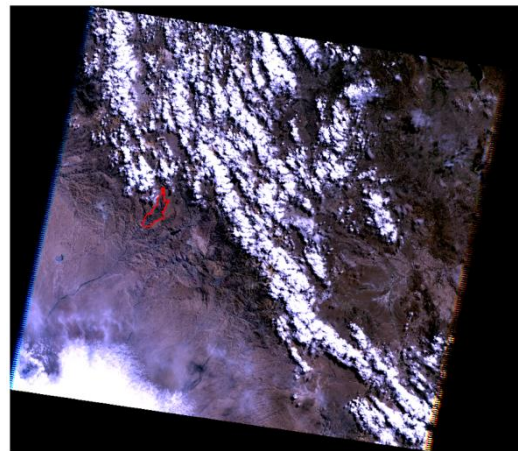
N°	Satélite	Sensor	Path, Row	Fecha de adquisición	Resolución espacial (m)	Resolución radiométrica	Modo de imagen
1	LandSat	5 - TM	2,072	22/04/2000 14:16:39	30	8 bit	Multiespectral Bandas del espectro visible e infrarrojo
2	LandSat	5 - TM	2,072	18/04/2010 14:32:31	30	8 bit	Multiespectral Bandas del espectro visible e infrarrojo
3	LandSat	8 OLI-TIRS	2,072	31/03/2015 14:41:04	30	16 bit	Multiespectral Bandas del espectro visible e infrarrojo
4	LandSat	8 OLI-TIRS	2,072	11/04/2019 14:41:07	30	16 bit	Multiespectral Bandas del espectro visible e infrarrojo
5	LandSat	8 OLI-TIRS	2,072	21/11/2019 14:41:57	30	16bit	Multiespectral Bandas del espectro visible e infrarrojo

Fuente: Elaboración propia, 2019

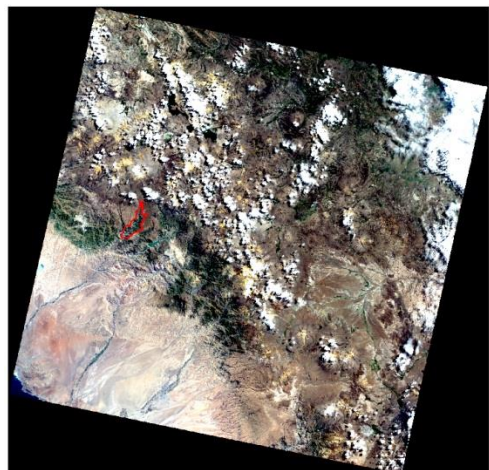
Las imágenes en modo multiespectral, se utilizaron para calcular el índice de vegetación NDVI, para ello, estas imágenes previamente se calibraron empleando los datos necesarios para realizar la calibración, los mismos que se obtuvieron del MTL del paquete de bandas descargadas, para los diferentes periodos, tal como se detalla en el cuadro anterior, figura 7, 8 y 9.



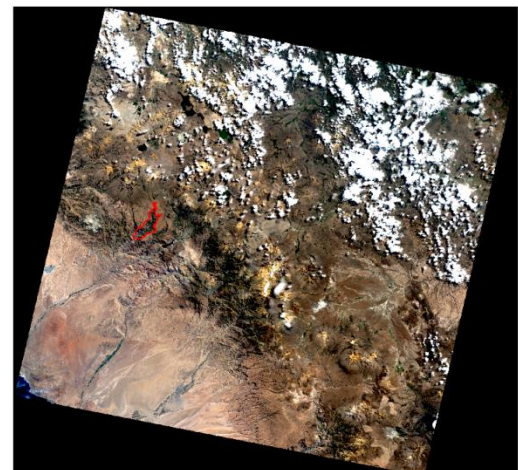
Cabecero MTL – abril 2000



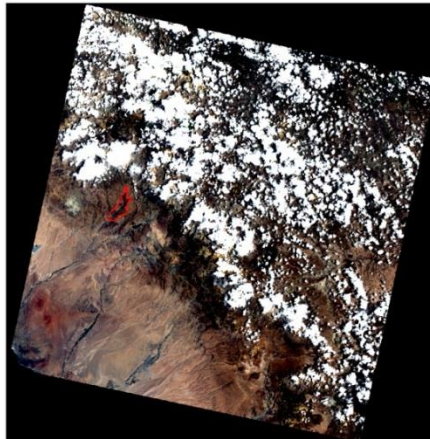
Cabecero MTL abril 2010



Cabecero MTL marzo 2015



Cabecero MTL abril 2019



Cabecero MTL noviembre 2019

Figura 8. Calibración geométrica de las imágenes LandSat modo multiespectral (imágenes georreferenciadas con puntos de control cartográfica)

Para la calibración se utilizó el programa QGIS, con su extensión PLUGIN, SPC-PREPROCESAMIENTO. (Figura)

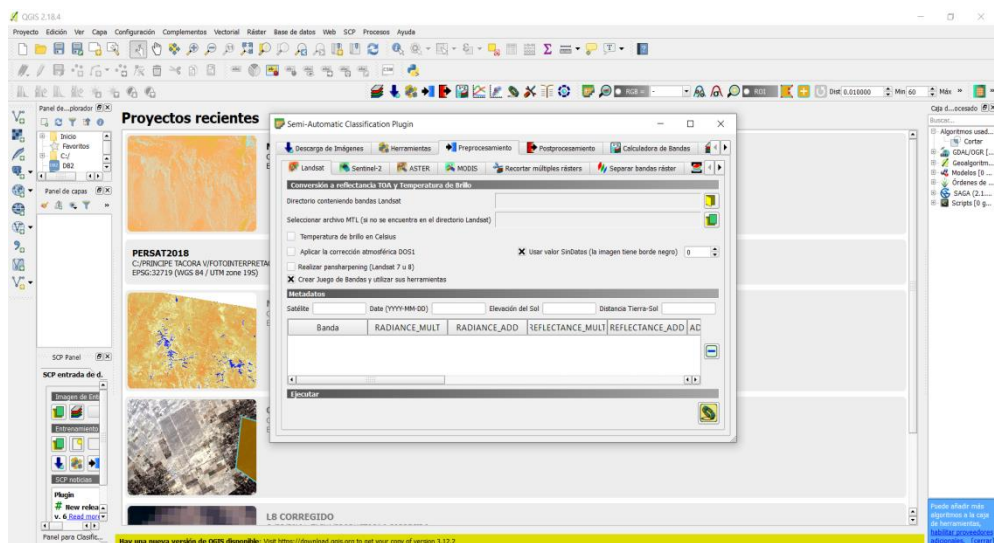


Figura 9. Software utilizado para calibrar imágenes modo multiespectral

Tabla 6

Imágenes satelitales en modo Multiespectral –Región Visible

N°	Satélite	Sensor	Resolución espacial	Resolución Radiométrica	Modo de imagen
1	SASPLANET	RVI	1,07E-05	8bit	RGV (Color natural)

Fuente: Elaboración propia, 2019

La imagen satelital en modo multiespectral – región visible, se utilizó para la observación de los detalles de cultivos, vías de acceso, viviendas, quebradas y quebradillas, etc. Además, se usa como fondo en la presentación de los mapas generados, figura 10.

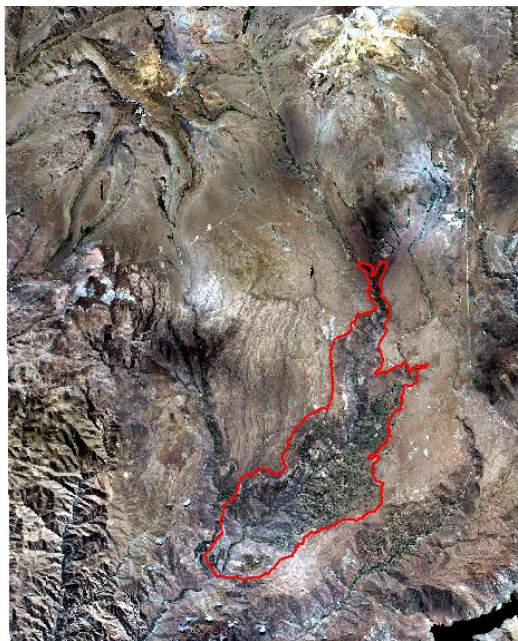


Figura 10. IMAGEN RGB – FORMATO EWC para Calibración geométrica de las imágenes LandSat modo multiespectral-región visible

Tabla 7*Imágenes de Satélite en Modo Radar*

N°	Satélite	Sensor	Path, Row	Código de imagen	Resolución espacial (m)	Resolución radiométrica	Modo de imagen
1	ALOS	PALSAR	2,072	AP_26111_FBS_F6840_RT1	12,5	16 bit	Radar, Geotif
2	ALOS	PALSAR	2,072	AP_27030_FBS_F6830_RT1	12,5	16 bit	Radar, Geotif

Fuente: Elaboración propia, 2019

La imagen de Radar, se utilizó para generar la topografía de la zona de estudio, generar pendientes, así mismo para calcular los factores L y S. Estos factores presentan una influencia en la erosión de suelos por acción de las lluvias. A continuación, se presenta el modelo de elevación digital empleado para generar información requerida. (Límite de cuenca, dirección de flujo, acumulación de flujo, drenajes y otros), figura 11.

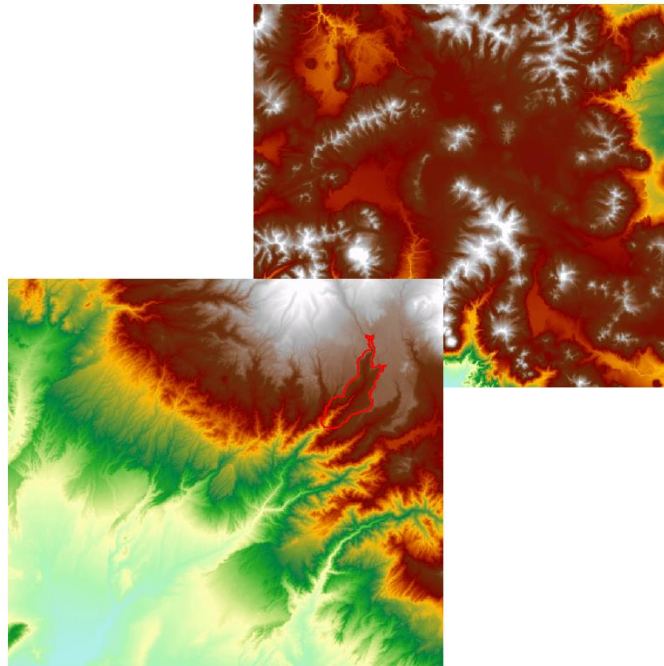


Figura 11. Calibración geométrica de las imágenes LandSat modo Radar

4.4. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

La operacionalización de las variables se presenta en las tablas 8, 9 y 10.

a) Variable Dependiente (Y): Pérdida de suelos

Tabla 8

Operacionalización de la variable dependiente

Variables	Dimensión	Indicador
Pérdida de suelos por erosión hídrica, es el proceso por el cual el suelo y sus partículas son separadas por el agua (Y)	Erosión hídrica potencial	t/ha/año
	Erosión hídrica actual	t/ha/año

Fuente: Elaboración propia, 2019

Tabla 9*Escala de valoración pérdida de suelos por erosión hídrica potencial*

Clase de erosión	Pérdida de suelo (t/ha/año)
Nula o ligera	< 10
Moderada	10 - 50
Alta	50 - 200
Muy alta	> 200

Fuente: (Gaitán *et al.*, 2017)

b) Variable independientes: Factores que interviene en proceso de erosión(X)

Tabla 10*Operacionalización de la variable independiente*

Variable	Dimensión	Indicador	
Factores que intervienen en el proceso de erosión hídrica (X)	Erosividad de la lluvia (R)	MJ.mm/ha.hr	
	Erosionabilidad del suelo (K)		MJ.mm/ha.hr
			Textura suelo (%)
			Materia orgánica (%)
			Estructura de suelos
		V.Infilt (Cm/hr)	
	Grado de pendiente (S)	Pendiente (%)	
	Grado de longitud de la pendiente (L)	Long. Pendiente(m)	
	Cobertura y manejo de vegetación © Índice norm. De diferenciación vegetal (NDVI)		Banda infrarroja (µm)
			Banda roja visible (µm)
Prácticas de conservación (P) para cultivos en terrazas		Pend. (%) Valor (P)	
		1 - 2 0,6	
		3 - 5 0,5	
		6 - 8 0,5	
	9 - 12 0,6		

Fuente: Elaboración propia, 2019

4.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS

4.5.1. Métodos y técnicas para logro de objetivos

- a) **Objetivo específico 1:** Analizar la relación de los factores erosividad (R), erodabilidad (K), pendiente, longitud de la pendiente (LS), manejo de vegetación(C) y prácticas mecánicas de manejo de la vegetación agrícola (P), con el proceso de la erosión hídrica en la sub cuenca Cairani - Camilaca.

Para el logro del objetivo, se aplicó un conjunto de técnicas y métodos parciales para lograr la medición de cada factor que participa en el proceso erosivo de los suelos.

a.1) Factor erosividad (R)

Método utilizado para calcular el Factor (R)

Se estimó el factor R a partir del índice modificado de Fournier (IMF) (Arnoldus,1978), citado en (Echeverri y Moncayo, 2010), y (Besteiro y Delgado, 2011), el cual a comparación del propuesto por Wischmeier y Smith en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), se aplica también a precipitaciones anuales y mensuales, y se presenta como una aproximación rápida al establecimiento de un factor de agresividad de la lluvia. Este factor se calculó utilizando las ecuaciones 1.

$$IMF = \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P_t} \dots\dots\dots[1]$$

Donde:

IMF = Índice Modificado de Fournier

P_i = Precipitación media mensual (mm)

P_t = Precipitación media anual (mm)

i = Mes

El factor R se obtuvo aplicando el método propuesto por el Instituto de Conservación de Recursos Naturales de España (ICONA), que correlaciona R con el índice de agresividad climática "F" de Fournier. Este método fue mencionado por Rodríguez et al. (2004), citado por (Mancilla Escobar, 2008) mediante la ecuación 2.

$$R = 2,56 * IMF^{1,065} \dots\dots\dots[2]$$

Donde:
R = Erosividad (E_{I30}) en MJ. Mm.ha⁻¹
IMF = Índice Modificado de Fournier

El cálculo del Índice de Concentración de las Precipitaciones (*ICP*) interanual se realizó mediante la Ecuación (3), propuesta por Oliver (1980), citado por (Lince y Castro, 2015), y los resultados se presentan en la Tabla 15.

$$.. \quad ICP = 100 * \frac{\sum_{i=1}^{12} P_i^2}{P^2} \dots\dots\dots[3]$$

Donde:
ICP = Índice de Concentración de las Precipitaciones (%)
P_i = Precipitación media mensual (mm)
P = Precipitación media anual (mm)
i = Mes

Información utilizada

La información de las precipitaciones mensuales (mm) necesarias, se ha obtenido de la oficina de Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología Dirección Regional Zonal 7 (SENAMHI-Tacna), del periodo de 1964 al 2019, un total de 55 años, de las siguientes estaciones meteorológicas, tabla 11.

Tabla 11

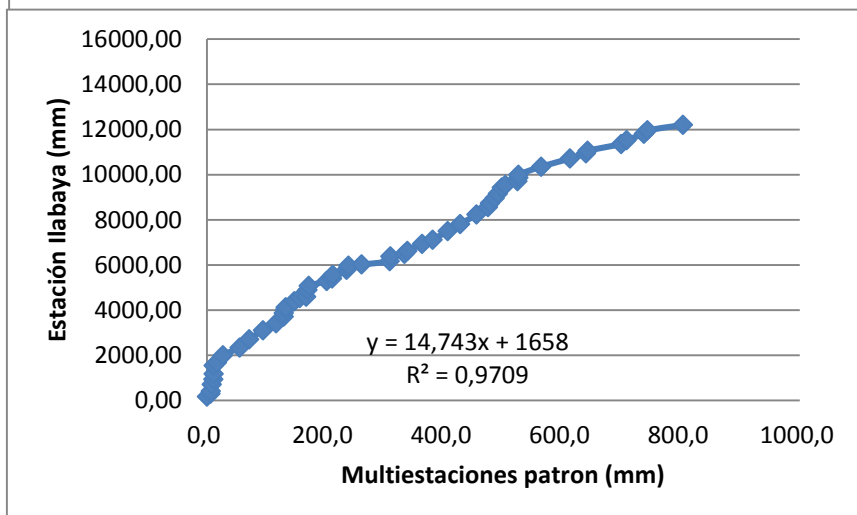
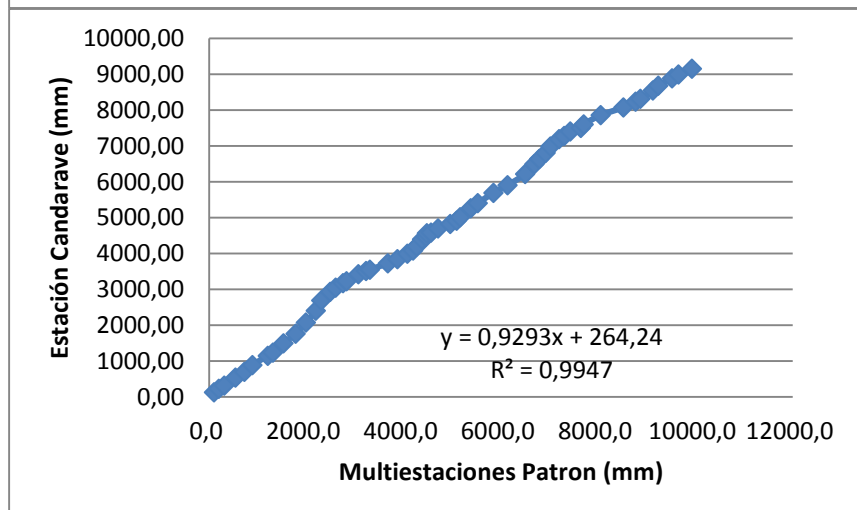
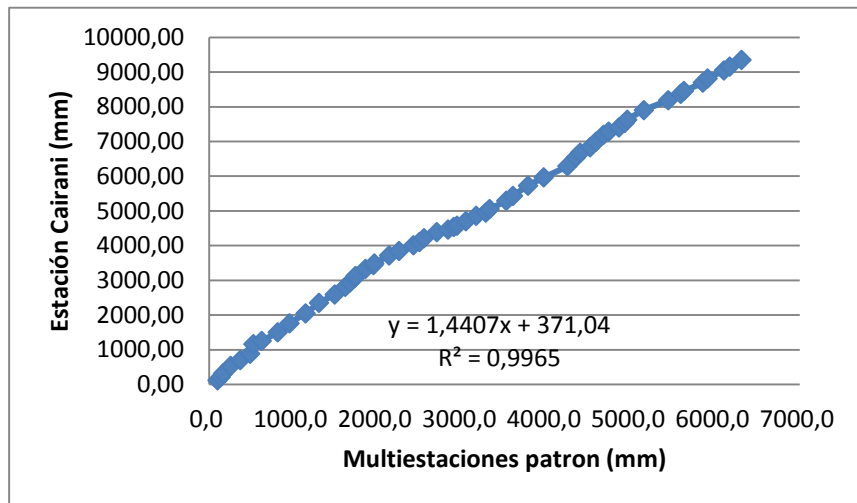
Estaciones meteorológicas utilizadas para calcular factor (R)

Nombre de la estación	Coordenadas Geográficas		Cota (msnm)
	Latitud	Longitud	
Cairani	70° 22'	17° 17'	3205
Candarave	70° 15'	17° 16'	3415
Ilabaya	70° 31'	17° 25'	1425
Tacalaya	70° 24'	17° 03'	4452
Humalso	70° 52'	16° 52'	4609

Fuente: SENAMHI-Tacna

Los datos faltantes de la serie histórica de las precipitaciones de cada una de las estaciones, se procedió a rellenar por el método de los promedios (Antelo y Fernández Long, 2014).

Seguidamente, la información pluviométrica de las 4 estaciones se procedió a someter a un análisis de consistencia estadística por el método de la curva de doble masa (Morán, 2010). Estos resultados se muestran en la figura 12.



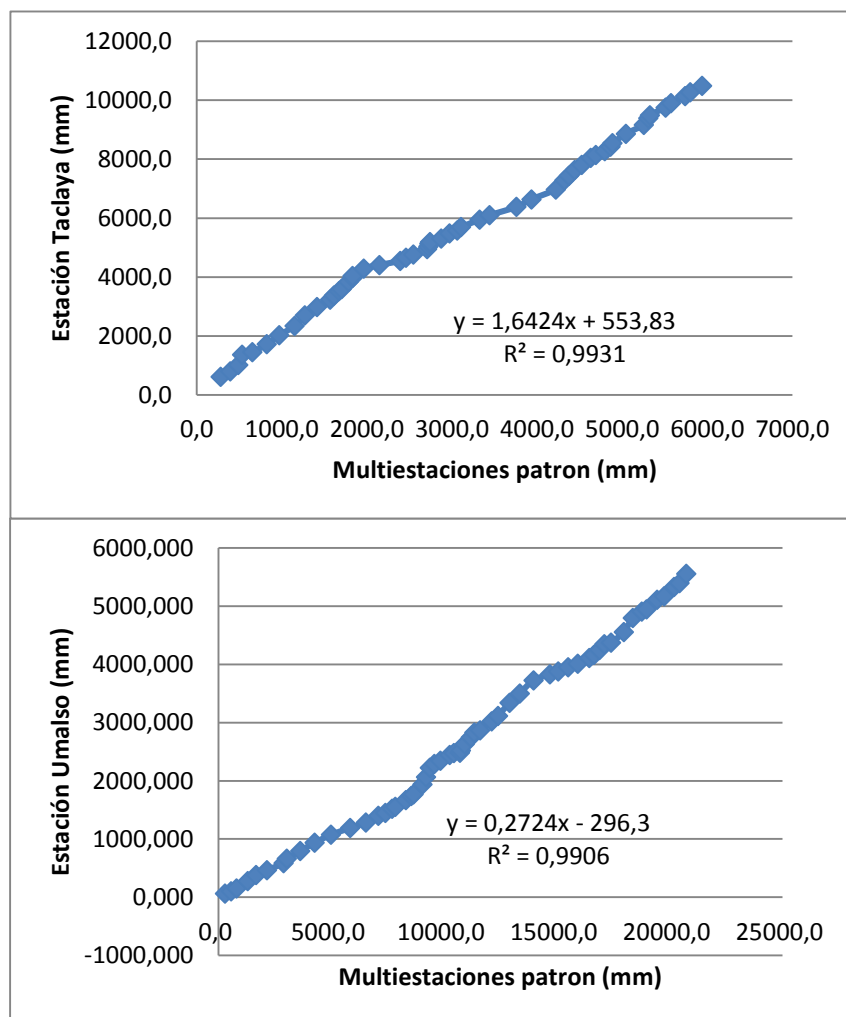


Figura 12. Análisis de consistencia de los datos de precipitación por el método de curva de doble masa.

a.2) Factor erodabilidad (K)

Método utilizado para calcular el Factor (K)

Es una variable independiente continua, es un índice que expresa la erosionabilidad del suelo. El 98 % de su erosionabilidad está condicionada por: Textura, estructura, materia orgánica del horizonte expuesto y la permeabilidad del perfil. El factor K se calculó resolviendo la ecuación de Williams *et al.* (1990) citado en (Flores López *et al.*, 2003), ecuación (4).

$$K = 0.1317 f_{csand} * f_{cl - si} * f_{orgc} * f_{hisand} \dots \dots \dots [4]$$

$$f_{csand} = \left(0.2 + 0.3 \exp \left[-0.0256 m_s \left(1 - \frac{m_{silt}}{100} \right) \right] \right)$$

$$f_{cl - si} = \left(\frac{m_{silt}}{m_c + m_{silt}} \right) 0.3$$

$$f_{orgc} = \left(1 - \frac{0.25_{orgC}}{orgC + \exp[3.72 - 2.95 orgC]} \right)$$

$$f_{hisand} = \left(1 - \frac{0.70 \left(1 - \frac{m}{100} \right)}{\left(1 - \frac{m}{100} \right) + \exp[-5.51 + 22.9 \left(1 + \frac{m_s}{100} \right)]} \right)$$

Donde:

m_s = Contenido de arena

m_{silt} = Contenido de limo

m_c = Contenido de arcilla

$orgC$ = Contenido de material orgánico

Información utilizada

Para determinar las características texturales, materia orgánica, y estructura granular, se analizó en laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNJBG, 30 muestras de suelo (1,5 kg cada muestra) debidamente identificadas (tarjeta de identificación en anexo) procedentes de la sub cuenca Cairani-Camilaca, utilizando los siguientes métodos:

- Análisis textural (% de arena, % limo y % de arcilla): método de Bouyoucos.
- Materia Orgánica (%): método Walkley y Black.
- Estructura Granular de los suelos: método de observación en campo con lupa de 50X.

- Permeabilidad del perfil de suelo (velocidad de infiltración (cm/hora): método cilindro doble anillo. Para determinar infiltración básica (I_b), expresado en mm/h.

a.3) Factor pendiente, longitud de la pendiente (LS)

Método utilizado para calcular el Factor (LS)

a) Longitud del terreno (L)

La longitud (L) se define como la distancia horizontal entre el punto donde inicia el escurrimiento hasta el punto donde decrece la pendiente al grado de producir la sedimentación o hasta el punto donde el escurrimiento encuentra un curso bien definido (Colín *et al.*, 2013), el cálculo se utilizó según la ecuación (5).

$$L = \left[\frac{\lambda}{22.13} \right]^m \dots\dots\dots [5]$$

Donde:

λ = Longitud de la pendiente (m)

m = Exponente que depende del grado de pendiente y se define en la ecuación (6)

$$m = \frac{\beta}{(\beta+1)} \dots\dots\dots [6]$$

β se define en la ecuación (7)

$$\beta = \frac{\frac{\text{Sen } \theta}{0.0896}}{3(\text{Sen } \theta)^{0.8} + 0.56} \dots\dots\dots [7]$$

Donde:

θ = Ángulo de inclinación del terreno

b) Pendiente del terreno (S)

El factor inclinación de la pendiente (S), se calcula con las ecuaciones (7 y 8).

$$S = 13,8 \text{ Sen } \theta + 0,03, \text{ para } S < 9\% \quad \dots \dots \dots [8]$$

$$S = 16,8 \text{ Sen } \theta - 0,50, \text{ sí } S \geq 9\% \quad \dots \dots \dots [9]$$

a.4) Factor de cobertura y manejo de vegetación (C)

Este factor se determinó a través de trabajos de muestreo en campo y complementado con imágenes satelitales Landsat (tabla 12). Este último, utilizó bandas de espectros visible e infrarrojo (Pacheco,2014), (Parado *et al.*, 2016), para calcular el índice de vegetación se utilizó la ecuación (9).

$$NDVI = \frac{PIR-VIS}{PIR+VIS} \quad \dots \dots \dots [10]$$

Donde:

NDVI= Índice normalizado de diferenciación de la vegetación

PIR = Banda infrarrojo cercano

VIS = Banda roja visible

Tabla 12

Imágenes satelitales utilizados para calcular DNVI

Satélite	Sensor	Año de adquisición	Bandas utilizadas		Resolución espectral(m)
LandSat 5	TM	22/04/2000	Rojo IRCercano	Banda 3 Banda 4	30
LandSat 5	TM	18/04/2010	Rojo IRCercano	Banda 3 Banda 4	30
LandSat 8	OLI - TIRS	31/03/2015	Rojo IRCercano	Banda 4 Banda 5	30
LandSat 8	OLI - TIRS	11/04/2019	Rojo IRCercano	Banda 4 Banda 5	30
LandSat 8	OLI - TIRS	21/11/2019	Rojo IRCercano	Banda 4 Banda 5	30

Fuente: Elaboración propia, 2019

Se generaron valores normalizados entre 1 y -1, donde los valores cercanos a 1 representan vegetación vigorosa muy densa, mientras que los valores tendientes a -1 indican regiones con escasa o nula vegetación; sin embargo, los valores utilizados para caracterizar la magnitud de la vegetación en la zona de estudio, fue el que se indica en la tabla 13.

Tabla 13

Valoración de cobertura vegetal según DNVI

Clasificación	Valor
Nubes y agua (NA)	< 0,01
Suelo sin vegetación (SV)	0,01 – 0,1
Vegetación ligera (VL)	0,1 – 0,2
Vegetación mediana (VM)	0,3 – 0,4
Vegetación alta (VA)	> 0,4

Fuente:(Pacheco, Cevallos y Vincés, 2019)

a.5) Factor prácticas de conservación (P)

Las prácticas de conservación de suelos, minimiza el efecto del flujo de agua. Al respecto EUPS, incluye el factor P de prácticas de conservación para tres situaciones:

- El empleo de labranza siguiendo las curvas de nivel (cultivo en contorno).
- El empleo de fajas de cultivo en contorno.
- El empleo de terrazas.

Se tomarán los valores indicados en el Manual de Agricultura N° 537 de (Wischmeier y Smith, 1978).

b) Objetivo 2. La erosión hídrica ocasiona alta cantidad de pérdida de suelo (50-200 t/ha/año) en la sub cuenca Cairani-Camilaca.

El objetivo 2: tuvo como propósito, cuantificar la pérdida de suelo (t/ha/año) por efecto de la erosión hídrica en la sub cuenca Cairani-Camilaca.

La estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica, se obtuvo integrando los resultados parciales logrados para los factores: Erosividad (R), Erosionabilidad (K), Pendiente, longitud de la pendiente (LS), Cobertura vegetal (C) y práctica de conservación (P); mediante el método USLE (Wischmeier, W. H., and Smith, 1978) definido por la siguiente función:

Variable dependiente (A): Pérdida de suelos (t/ha/año)

$$A = f (X_i)$$

Donde:

X_i = Factores que intervienen en la erosión hídrica

Entonces:

$$A = f(R * K * L.S * C * P)$$

A: Pérdida de suelos por erosión hídrica (t/ha/año)

X_1 : (R) Factor erosividad de la lluvia.

X_2 : (K) Factor erosionabilidad del suelo.

X_3 : (LS) Pendiente, longitud de la pendiente.

X_4 : (C) Factor cobertura y manejo de vegetación.

X_5 : (P) Factor prácticas de conservación.

La información de imágenes satelitales está digitalizada en función de emisiones y reflexiones de energía captada por sensores y a través de

plataforma ArcGis, son transformadas en formato ráster. Entonces, cada factor del modelo USLE (R, K, LS, C y P) constituyó para el estudio, una capa ráster debidamente georreferenciadas. A través de este proceso cada factor se representa en material cartográfico, resaltando las características de interés.

4.6. PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Los resultados se procesaron utilizando estadística descriptiva como: valores medios (\bar{X}), varianza (S^2), desviación estándar (S) y coeficiente de variación (CV) y se presentaron en forma de tablas y figuras.

Para probar las hipótesis planteadas en la investigación. La información generada para cada factor (R,K,LS,P,C) que interviene en el método USLE para determinar la erosión y la información respuesta como erosión potencial y actual, se aplicó los protocolos de investigación descrito por (Flores-Ruiz *et al.*, 2017).

4.6.1. Prueba de hipótesis para objetivo 1

Para demostrar la relación de los factores (R, K, SL, P, C) con la erosión hídrica (t/ha/año), se utilizaron las pruebas de correlación de Pearson (r), Los valores r fluctúan entre -1 a +1. El planteamiento de la hipótesis fue de la siguiente manera:

H_0 : $r = 0$; no existe correlación lineal entre las variables

H_i : $r \neq 0$; Existe correlación lineal entre las variables

Para establecer el nivel de significancia se aplicó la prueba del estadístico t de Student.

$$t = \frac{r}{\sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}}$$

Donde:

t = Estadístico de prueba

r = Coeficiente de correlación de Pearson

n – 2= Grados de libertad (gl)

Para encontrar valor crítico en la tabla de distribución “t”, se utilizaron los valores siguientes:

$$gl = n - 2$$

$$\alpha = 0,05$$

Para realizar el contraste de aceptar o rechazar la H_0 , en base al estadístico “t”, se aplicó la siguiente relación:

Si $|t| >$ al valor crítico, se rechazó la H_0

Si $|t| \leq$ al valor crítico, no se rechazó la H_0

4.6.2. Prueba de hipótesis para objetivo 2

- a) Para comparar el efecto de la erosión hídrica entre el flanco Cairani y Camilaca de la sub cuenca Cairani-Camilaca, se aplicó la prueba estadística t de Student para dos muestras independientes (comparación de medias).

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

Donde:

t = Estadístico t

\bar{X} = Media de los tratamientos

S^2 = Desviación Standat

n = N° de muestras

La hipótesis de planteo de la siguiente manera:

$H_0: \mu_1 = \mu_2$

$H_i: \mu_1 > \mu_2$

Valor crítico de t Student para dos datos independientes ($n < 30$)

$gl = n - 1$

$\alpha = 0,05$

t = Estadístico de prueba (valor crítico)

Para realizar el contraste de aceptar o rechazar la H_0 , en base al estadístico "t", se aplicó la siguiente relación:

Si $|t| >$ al valor crítico, se rechazó la H_0

Si $|t| \leq$ al valor crítico, no se rechazó la H_0

- b) Probabilidad estadística que la erosión actual y potencial corresponden al nivel alto de erosión (50 – 200 t/ha/año), en la sub cuenca Cairani-Camilaca.

Se calculó a través de la verificación de probabilidades. Para el cual se utilizó la prueba t de Student, con $\alpha = 0,05$.

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s/\sqrt{n}}$$

Donde:

μ = media de la población

\bar{x} = media de la distribución de los datos

n = tamaño de la muestra

s = error estándar de la muestra

El planteamiento de la hipótesis fue la siguiente:

H₀: La erosión hídrica tiene niveles erosivos < al rango 50 – 200 t/ha/año en los suelos de la sub cuenca Cairani-Camilaca.

H₁: La erosión hídrica tiene niveles de erosión ≥ a 50 – 200 t/ha/año, en los suelos agrícolas de la sub cuenca Cairani-Camilaca.

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1. COMPORTAMIENTO DE LOS FACTORES EROSIVOS DE LOS SUELOS

5.1.1. Factor erosividad de la lluvia (R)

a) Factor lluvia

Los datos obtenidos de las 5 estaciones climatológicas (Tabla 14) (SENAMHI), fueron utilizados para calcular los Índice Modificado de Fournier (IMF) y el Índice de Concentración de las Precipitaciones (ICP), tanto mensual como anual. Las estaciones climatológicas indicadas en la Tabla 13, son las que se encuentran en el ámbito y circundantes al área de estudio. La intensidad de las precipitaciones registradas, tienen una relación directa respecto a la altitud ($r=0,75$). La estación Ilabaya ubicada en la cota más baja 1425 msnm registra una precipitación promedio multianual de solo 11,55 mm; mientras que la estación Humalzo ubicado en la cota más alta 4609 msnm, muestra un promedio multianual de 360,78 mm, es decir es la zona más húmeda dentro del área de la cuenca.

Por otra parte, según la clasificación de zonas secas de Meigs (1953) citado por (Salas, 2000), las precipitaciones registradas en la estación Ilabaya (< 25 mm) corresponde a una zona climática hiperárida; mientras que las estaciones de Cairani, Candarave y Tacalaya (25 – 200 mm) corresponde a zona climática árida y solo la estación Humalzo (200 – 500 mm) está catalogado como zona semiárida.

El comportamiento de las precipitaciones (figura 13) y según las zonas climáticas de Maigs, en el ámbito de la sub cuenca Cairani-Camilaca, la erosión de los suelos no solo es por efecto de las lluvias que son de carácter estacional

(Lince y Castro, 2015), sino también por efecto del agua de riego, que es aplicado por gravedad produciendo una erosión del tipo laminar y finalmente erosión eólica que se produce en complicidad con las acciones antrópicas propias de las actividades agrícolas y pecuarias (Gaitán *et al.*, 2017).

Tabla 14

Precipitación media mensual y anual (1964-2019) de 5 estaciones climatológicas del ámbito y adyacentes a la sub cuenca Cairani-Camilaca.

Mes/Estación	Promedio de Precipitación Multianual (mm)				
	Cairani	Candarave	Ilabaya	Tacalaya	Humalzo
Enero	38,91	58,66	4,78	34,88	95,17
Febrero	38,03	61,08	5,97	40,73	93,19
Marzo	18,58	34,23	2,16	19,45	84,20
Abril	1,60	2,44	0,11	0,03	20,73
Mayo	0,69	0,28	0,05	0,00	4,28
Junio	0,38	0,73	0,04	0,08	1,89
Julio	1,03	0,88	0,05	0,04	1,40
Agosto	0,91	1,09	0,06	0,00	4,14
Septiembre	1,17	1,52	0,16	0,00	4,13
Octubre	0,68	1,53	0,02	1,34	5,82
Noviembre	1,15	1,62	0,00	0,85	15,23
Diciembre	9,54	13,29	0,95	8,65	39,95
Total	112,66	177,33	14,34	106,05	370,13

Fuente: Elaboración propia, 2019

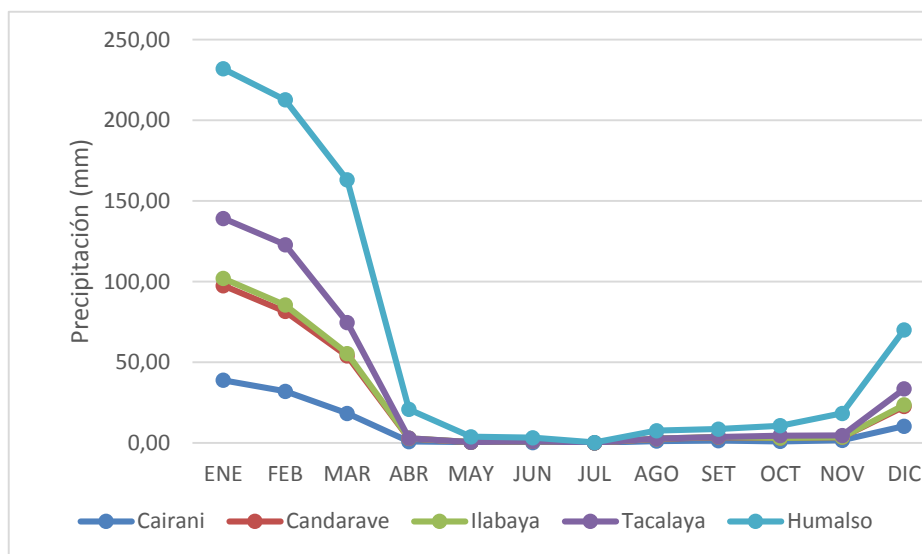


Figura 13. Precipitación media mensual estaciones climatológicas, ámbito de estudio

De acuerdo a la clasificación de Oliver (1980), citado por (Lince y Castro, 2015), el Índice de Concentración de las Precipitaciones, clasifica el nivel de uniformidad de las precipitaciones; por tanto, las precipitaciones que ocurren en las estaciones Ilabaya, Tacalaya, Candarave y Cairani; está considerado como altamente estacional (ICP= 21 a 50), y solo la estación Humalzo tiene comportamiento estacional (ICP=16 a 20). Esta clasificación es concordante, ya que los registros de las precipitaciones en las cinco estaciones (1964 – 2019) ocurren mayormente entre los meses de diciembre, enero, febrero y marzo, mientras en el resto de meses las precipitaciones son entre nulas a poco significativas (< 2 mm); en consecuencia, los resultados señalan que existen tiempos marcados donde la erosividad es mayor, tabla 15.

Tabla 15

Valor del Índice de Concentración de las precipitaciones (ICP) promedio mensual y anual de 5 estaciones climatológicas del ámbito y adyacentes a la sub cuenca Cairani-Camilaca.

Mes/Estaciones	Precipitación multianual promedio mensual (mm)				
	Cairani	Candarave	Ilabaya	Taclaya	Humalzo
Enero	0,132	0,125	0,152	0,122	0,066
Febrero	0,090	0,089	0,120	0,124	0,062
Marzo	0,029	0,046	0,016	0,033	0,060
Abril	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002
Mayo	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Junio	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Julio	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Agosto	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Setiembre	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Octubre	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Noviembre	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Diciembre	0,010	0,005	0,008	0,009	0,010
ICP	26,10	26,60	29,64	28,81	20,30

Fuente: Elaboración propia, 2019

b) Comportamiento y distribución del Factor R

El conocimiento de la capacidad erosiva de las lluvias, es una información básica para medir la capacidad productiva de los suelos agrícolas, su efecto en la economía y los posibles usos alternativos. (Ramírez y Hincapié, 2007).

La erosividad se evaluó mediante la estimación del Índice de Fournier Modificado (IFM), el cual expresa el potencial erosivo de las lluvias de acuerdo a la precipitación mensual. Los valores del IMF varían según las estaciones meteorológicas (Lobo *et al.* s.f.), citado por (Ramírez y Hincapié, 2007), las precipitaciones menos erosivas están en la estación Ilabaya con IMF=12,60 calificado como muy bajo, mientras que la estación Cairani que está dentro del área de estudio, el nivel de erosividad es IMF=96,54 considerado como moderado y la más alta en Humalzo con IMF=248 calificado como muy alto (Besteiro y Delgado, 2011) (Tabla 16). Estos valores están correlacionados con

el factor erosividad (EI_{30}) de la USLE, determinado en la investigación de (Echeverri y Moncayo, 2010).

Tabla 16

Valores de Índice de Erosividad (EI_{30}) de la lluvia multianual por estaciones meteorológicas por método modificado de Fournier.

Mes/Estación	Índice Modificado de Fournier (IMF)				
	Cairani	Candarave	Ilabaya	Tacalaya	Humalzo
Enero	13,44	19,40	1,59	11,47	24,47
Febrero	12,83	21,04	2,48	15,65	23,46
Marzo	3,06	6,61	0,33	3,57	19,15
Abril	0,02	0,03	0,00	0,00	1,16
Mayo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
Junio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Julio	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
Agosto	0,01	0,01	0,00	0,00	0,05
Septiembre	0,01	0,01	0,00	0,00	0,05
Octubre	0,00	0,01	0,00	0,02	0,09
Noviembre	0,01	0,01	0,00	0,01	0,63
Diciembre	0,81	1,00	0,06	0,71	4,31
R (MJ.mm.ha ⁻¹ .h ⁻¹)	96,54	158,50	12,60	100,62	248,55

R=Índice de Erosividad (EI_{30}) de la lluvia

Fuente: Elaboración propia

La tabla 17 muestra los valores de R calculados para cada localidad de los distritos integrantes de la sub cuenca Cairani Camilaca, en ella se aprecia que, existe una correlación entre los valores R versus la cota altitudinal de las localidades ($r=0,72$). En el flanco Cairani, las zonas de Calacala, Yarabamba y la Hacienda Pailogena son las zonas donde las lluvias se manifiestan con mayor agresividad erosiva con valores R de 101,40 a 103,70 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹, los mismos que están considerados según (Ilbay-yupa *et al.*, 2019), en categoría moderada.

Por otra parte, en el flanco Camilaca la mayor agresividad de las lluvias se manifestó en las zonas de Vilavila y Cotaña con valores 101,20 y 109,09

MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹ respectivamente. No obstante, existe una correlación entre la altitud y la intensidad erosiva de las lluvias, los parámetros estadísticos como Desviación Estándar (S=4,57), Coeficiente de Variación (CV= 4,59 %), indican que estas variaciones no son tan significativas.

Tabla 17

Valores R representativos por Distritos y localidades de la sub cuenca Cairani-Camilaca

Distrito	Localidad	Coordenadas UTM		Cota (msnm)	Factor R (MJ.mm/ha.h)
		Este	Norte		
CAMILACA	Cotaña	355612	8095146	3494	109,09
	Vilavila	354990	8092166	3628	101,22
	Tsamuco	353667	8090726	3384	98,53
	Chillani	354386	8090784	3209	98,51
	Nuevo Camilaca	352988	8090798	3586	98,80
	Antiguo Camilaca	353470	8090115	3297	97,94
	Cambaya	347956	8084099	2608	89,55
CAIRANI	Ancocala	352451	8085864	3350	97,28
	Erpine	352183	8086473	3046	97,32
	Cairani	354678	8088533	3362	96,64
	Calacala	356694	8091326	3518	101,40
	Yarabamba	356816	8091867	3521	103,02
	Hacienda Paucarani	356650	8092255	3336	103,70

Fuente: Elaboración propia, 2019

En cuanto a la distribución espacial del Factor R (tabla 18); los niveles bajos (60 – 90 MJ.mm/ha.hr) se manifiestan solo en el 1,65 % de la superficie total de la sub cuenca, mientras que, el nivel moderado (90 – 120 MJ.mm/ha.hr) se manifestó en el 98,07 % de la superficie y niveles altos (120 – 160 MJ.mm/ha.hr, solo ocurre en el 0,22 % de la superficie total de la sub cuenca; estos resultados contrastan con la figura 14.

Tabla 18*Distribución de R en MJ.mm/ha.hr en la sub cuenca Caiani-Camilaca*

MJ.mm/ha.hr	Nivel o clasificación	has		Total	%
		Cairani	Camilaca		
60 - 90	Bajo	48,94	77,66	126,60	1,65
90 - 120	Moderado	4515,55	3003,63	7519,19	98,07
120 - 160	Alto	16,88	0,00	16,88	0,22

Fuente: Elaboración propia, 2019

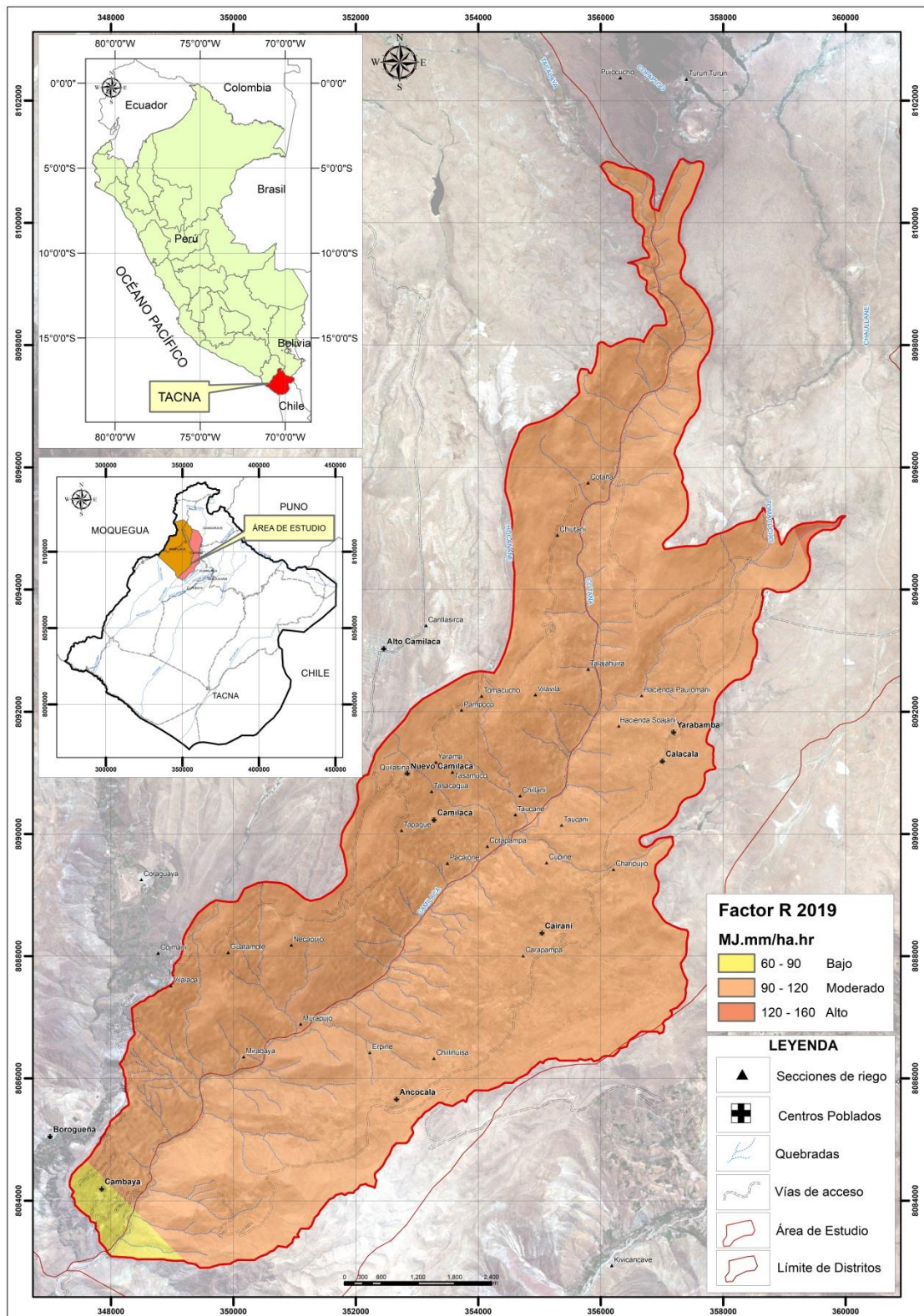


Figura 14. Distribución espacial del Factor R Erosividad de las lluvias en la Sub Cuenca Cairani-Camilaca

5.1.2. Factor erodabilidad del suelo (K).

El factor erosionabilidad del suelo o factor K expresa la susceptibilidad del suelo a sufrir pérdidas de la misma por procesos erosivos, o la mayor o menor fragilidad de los suelos ante el efecto de las lluvias, y es función de características edáficas, tales como textura, estructura, permeabilidad, estabilidad de agregados, pedregosidad superficial, etc.; (Gisbert, Ibañez, y Moreno, 2008), sin embargo esas características edáficas dependen de su génesis, razón por la cual, a continuación se hacen las descripciones más relevantes para caracterizar los suelos de la sub cuenca Cairani-Camilaca.

a) Génesis de los suelos de la sub cuenca Cairani-Camilaca

a.1) Fisiografía

- **Relieve**

El relieve de la sub cuenca Cairani-Camilaca y alrededores está dominado por planicies correspondientes a la formación Huaylillas, emplazada sobre los 4000 msnm que se halla disecada por el río Camilaca hasta una profundidad de 1200 m modelamiento que contrasta con apariencia típica de valles interandinos de etapa juvenil, predominan las áreas verdes correspondientes a los asentamientos agrícolas de Calacala, Cairani, Ancocala y Camilaca.

La topografía es muy accidentada, abundan las fuertes pendientes y lomas redondeadas que se divisan principalmente en algunas zonas de Ancocala, Cairani, Calacala y parte superior de Camilaca, la morfología del lugar está diseñada tanto por los agentes erosivos externos, así como por los procesos geodinámicas internos.

- **Drenaje**

El drenaje es dendrítico; el río Camilaca es el principal colector desde los nevados del volcán Tutupaca hasta las zonas de Cambaya-Borogueña. Los

tributarios drenan paralelamente hacia el río Camilaca, que es el que divide el valle en dos flancos: en el flanco derecho, están los asentamientos correspondientes al Distrito de Cairani y en su flanco izquierdo a los asentamientos del Distrito de Camilaca; de esta manera el ámbito de estudio corresponde a una cuenca del tipo Exorreicas o abiertas, debido a que finalmente las aguas fluyen con destino al mar (Ordóñez, 2011).

El río es de piso estrecho, casi íntegramente ocupada por su cauce. El drenaje dendrítico del valle se ve favorecido por las fuertes pendientes donde sus flancos alcanzan una inclinación de 35° - 40°. La erosión producida por el río Camilaca durante miles de años, ha puesto al descubierto las formaciones geológicas que antecedieron a formación Huaylillas, tales como las formaciones Toquepala y Chachacumani.

El valle está irrigada por las aguas del río Callazas por el flanco Cairani, río Tacalaya por el flanco Camilaca, además, en ambas zonas afloran vertientes de agua que complementan la oferta hídrica.

a.2) Aspectos geológicos de la zona

• *Estratigrafía*

Las rocas más antiguas que se presentan en la zona de estudio, pertenecen a la formación Chachacomani que consisten de areniscas intercaladas con lutitas calcáreas fosilíferas y de cuarcitas con lechos de lutitas. Esta formación corresponde al jurásico superior y al cretáceo inferior respectivamente.

La serie continúa con una secuencia de rocas volcánicas con intercalaciones de clásticos que pertenecen al grupo Toquepala. Para las rocas de este grupo, se asume una edad del cretáceo superior-terciario inferior. Posteriormente se depositaron los tufos y derrames riolíticos del volcánico

Huaylillas del terciario superior, asimismo, aparece una potente capa de material aluvial cuaternario, proveniente de los deslizamientos del volcánico Huaylillas.

- **Litología**

Formación Chachacomani

Consiste de 280 m de cuarcitas finas, con intercalaciones de areniscas lutitas y limonitas carbonosas. Su edad es del cretáceo inferior y son equivalentes a los horizontes arenosos superiores de la formación Yura de Arequipa, en esta formación están emplazadas las áreas de cultivo de Camilaca.

Formación Toquepala

Sobre yace discordante a la formación Chachacomani, contiene derrames piroclásticos, andesíticos y riolíticos con intercalaciones lenticulares de rocas sedimentarias, su espesor total es de 1830 m se ha dividido en dos miembros. El miembro inferior determinado en las inmediaciones de Ancocala, consiste de 1 190m de derrames, brechas y piroclásticos riolíticos de color violeta, verde y beige, se presenta en bancos gruesos y macizos, su textura es mayormente porfirítica; sus elementos más abundantes son: cuarzo, ortosa, biotita y horblenda. El miembro superior de la formación, es de naturaleza andesítica y riolítica se compone de una alternancia de brechas, aglomerados y derrames de textura perfirítica con algunas intercalaciones de areniscas calcáreas tufaceas y lutitas. La edad de esta formación ha sido determinada entre el cretáceo superior y el terciario inferior.

En esta formación están ubicados los asentamientos agrícolas de la subcuenca Cairani-Camilaca.

Formación Huaylillas

Sobre yace discordante a la formación Toquepala, dada su litología se le ha dividido en dos miembros: inferior denominado miembro Chuviraca que está constituido por una secuencia de 150 a 300 m de espesor de material tufaceo de color gris oscuro a blanquecino, compuesta de feldespatos fragmentados con escasos granos de cuarzo, vidrio volcánico y biotita.

El miembro superior, denominado miembro Huanuara, consiste de tufos, derrames y brechas riolíticas y riódacíticos de color rosado blanquecino y pardo rojizo, compuesto de feldespatos, cuarzo y pequeña cantidad de biotita y vidrio volcánico; su espesor se ha estimado en 300 m. Por su posición estratigráfica, su edad se asigna para el plioceno inferior a medio; esta formación ocurre en gran parte por encima de los 3500 msnm y se le conoce como el suelo de la zona alto andina.

a.3) Geología estructural

Desde el punto de vista estructural, el ámbito de la sub cuenca, se considera como suelos no estables; el fallamiento está representado por la falla Cairani, y se manifiesta como responsable de los deslizamientos ocurridos en la zona, su trazo reconocido en la superficie abarca desde las inmediaciones del Distrito de Camilaca hasta Alto Caballuni en Huanuara, la orientación predominante es NE con un rumbo promedio de N 40° O y su echado 65°, por una extensión de 12 km aproximadamente; esta descripción está contenido en los estudios básicos y complementarios, ítem geología y geotecnia desarrollado por (JRCA, 2016).

A lo largo de la falla Cairani, los terrenos son poco estables por consiguiente, la debilidad es evidente en la misma huella de la falla como en sus alrededores (Luque, 2019). Las zonas más afectadas con deslizamientos ocurridos a causa de la falla en la zona de Cairani son: sección quebrada Cairani (Vilavila y Callampaya), Sección Anco Cruz, Ladera y parte baja, y alrededores

del antiguo asentamiento humano conocido como Camilaca antigua (Cahuallpaya, Mirahuani); debido al efecto de la falla, ocurre y posiblemente seguirá ocurriendo desplazamientos de masa de tierras. Uno de los factores que favorecen dichos acontecimientos geológicos, es el mal manejo de los recursos hídricos sobre los terrenos cultivados, la sobre saturación por el prolongado tiempo de riego favorece la percolación e infiltración del agua, produciendo el debilitamiento de las rocas que en su mayoría son de origen volcánico.

a.4) Descripción de las unidades taxonómicas

Para la determinación de las unidades taxonómicas de los suelos se utilizó las claves para la taxonomía de suelos, del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos – Servicio de Conservación de Recursos Naturales (USDA, 2010). En el ámbito del estudio, taxonómicamente se encontró la siguiente categoría de suelo.

Orden Entisols.- Son suelos de formación joven, con poco desarrollo en su perfil, las tierras de cultivo están conformadas por depósitos coluvio- aluviales y forma parte de terrazas (Ibáñez, *et al.*, 2011), que se ubican en las laderas de los cerros ubicados en ambos márgenes del río Camilaca, reconociéndose dentro de esta unidad al Sub Orden Fluvents; que contiene al Gran Grupo Ustifluvents y que a su vez incluye al Sub Grupo Udic Ustifluvents.

Sub Orden Fluvents.- Son entisoles desarrollados sobre materiales aluviales estratificados. Se encuentran formando en todo el ámbito de estudio, y son suelos muy fértiles cuyo principal uso es la horticultura. La mayoría de los sedimentos aluviales estratificados en el perfil de los Fluvents derivan de los suelos erosionados de los que proceden. Presentan un apreciable contenido de carbono orgánico, distribuido de manera irregular con la profundidad pero que deben mantenerse por encima del 0,2 % a una profundidad de 125 cm. Los Fluvents pueden sustentar diversidad de tipos de vegetación y presentar cualquier régimen de temperatura del suelo (Ibáñez *et al.*, 2011).

a.5) Suelos según su origen

- **Aluviales**

Este material se ha derivado del deslizamiento de rocas mayormente riolíticas de la formación Huaylillas, siendo su transporte favorecido por fuertes pendientes existentes a causa del levantamiento Epiro genético de los andes. Este material es de buena calidad para asentamientos agrícolas, este proceso se puede divisar claramente en la zona de Larampugio que es una sección de riego localizado en la parte baja del Centro Poblado de Ancocala.

- **Tipo de suelo**

Los terrenos agrícolas de la sub cuenca Cairani-Camilaca, mayormente están circunscritas sobre riolitas y brechas riolíticas de la formación Toquepala. El intemperismo (aire, agua, clima, etc.) al actuar sobre la superficie de estas rocas, dio lugar a la formación de los suelos, es decir, las características que tienen estos suelos están supeditadas a la litología de la roca madre procedentes de las formaciones Toquepala y Huaylillas. La composición de este tipo de rocas tiene como componentes principales a los feldespatos y cuarzo. El primero es el más abundante en su forma de Sílico-Aluminatos de Potasio, Sodio y Calcio (Ibañez y Fontúrbel, 2004). El análisis químico de suelos muestra altos contenidos de potasio elemental, por lo que se presume que este elemento está en la forma de ortoclasa ($KAlSi_3O_8$) y la alvita ($NaAlSi_3O_8$) en su forma sódica. Estos elementos al ser atacados por agentes meteorizantes e intemperizantes son los principales aportantes de los elementos sódicos-potásicos, que junto a la sílica son los componentes mayores de los suelos de la sub cuenca; así mismo la formación de arcilla fue incipiente, lo cual está presente en un porcentaje poco significativo en la sección de riego denominado Huatamolle en Camilaca (Suarez, 1987).

b) Descripción de erosionabilidad Factor K

b.1) Características físicas

Los suelos de la sub cuenca Cairani-Camilaca, están formados generalmente por más de una clase textural. Las tres fracciones de tamaño de partículas (% Arena, % Limo y % Arcilla), están presentes en mayor o menor proporción. El porcentaje de cada una de esas fracciones es lo que finalmente determina la textura del suelo.

Los resultados del análisis físico de suelos, realizados en el laboratorio de suelos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UNJBG; de acuerdo a los puntos de muestreo señalados en la parte metodológica, se muestran en la tabla 17. Para las dos zonas de análisis, el flanco izquierdo de la sub cuenca (Ancocala, Cairani y Calacala) y su flanco derecho Camilaca, los resultados determinaron que existe una homogeneidad en contenido de arena (CV=7,68 %), de misma forma el contenido de limo (CV=9,99 %), mas no así en contenido de arcilla donde el CV=31,76 %. Los mayores valores porcentuales de arcilla, están localizadas en las zonas bajas de Ancocala (sector Achahueco) y Camilaca (sector Huatamolte, vilalaca).

Según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), Sistema de la Asociación Internacional de la Ciencia del Suelo (ISSS), citados en (López, 2006), en promedio son suelos de textura Franco Arenoso (Fr. Arenoso). Los suelos Franco Arenosos, son considerados como suelos de textura gruesa. Este tipo de suelos tiene como principal característica una baja capacidad para retener nutrimentos y agua; por otra parte, la alta proporción de poros grandes y el bajo contenido de arcillas facilitan ampliamente las pérdidas de agua y nutrimentos, sobre todo de nitrógeno nítrico, debido a su alto potencial de pérdida por volatilización; esta característica es ratificado en (Castellanos, 2010).

No obstante, la clase textural dominante, en campo se ha observado que la textura de los suelos tiene relación con el comportamiento de la pendiente en el perfil transversal del valle. El flanco Cairani, en promedio tiene una inclinación de 37° y el flanco Camilaca 47°, ambos calificados como pendientes altas, para una profundidad promedio de 900 m; sin embargo en el trayecto de la longitud de la pendiente de ambos flancos, existen zonas de mayor o menor pendiente, por lo tanto, en las zonas de mayor pendiente entre las cotas 3680-3860 y 3200-3620 se observaron generalmente texturas esqueléticas, suelos muy superficiales(10-20 cm) (Peruano, 2009), lo que evidencia fuertes procesos erosivos, en zonas medias con cotas entre 3620-3680, las pendientes varían entre 5 a 10°, en estos suelos predominan la textura Franco Arenosos y pequeños afloramientos de suelos arcillosos.

En cuanto a la estructura, los suelos mostraron una estructura granular, con excepción de los sectores de Huatamolle y Vilalaca en Camilaca donde por la característica textural, se observó estructura tipo semi migajosa a bloques aplanados.

b.2) Materia Orgánica (MO)

En cuanto al contenido de materia orgánica (M.O), los análisis muestran una media de 2,98 %, desviación estándar de 0,86 y un coeficiente de variación de 28,95 %. Estos valores de dispersión indican que los suelos de la sub cuenca Cairani-Camilaca son heterogéneas en contenido de materia orgánica; niveles de materia orgánica fluctúan en rango máximo de 4,85 % y mínimo 1,36 %, lo cual es coherente con el tipo de actividad que desarrollan en el valle. Los cultivos (orégano, papa, maíz, haba), producen abundante material vegetal después de cada cosecha, los cuales quedan incorporados en el suelo. En particular en el flanco Ancocala, Cairani y Calacala, por desarrollar actividad ganadera, los campos se rotan periódicamente con cultivo de alfalfa, sobre el cual pastan ganado vacuno y ovino. Esta práctica permite que el ganado incorpore directamente al suelo el estiércol que producen.

La materia orgánica es un elemento importante en los suelos, junto con las arcillas son responsables de la capacidad de intercambio catiónico, es decir, la capacidad para retener cationes en el suelo, favorece la microestructura a nivel de agregación de las partículas del suelo, siendo un elemento muy positivo en la lucha contra la erosión de los suelos (Mendoza y Espinoza, 2017).

b.3) Coeficientes hídricos y permeabilidad de los suelos

Uno de los principales factores limitantes para la producción agropecuaria y un factor que contribuye de manera directa en la erodabilidad de los suelos, son las características hídricas; debido a que este tiene relación directa con la capacidad de retención de agua en el perfil de los suelos (Ojeda *et al.*, 2018). Para conocer la capacidad de retención de agua por los suelos, fue necesario conocer los valores de capacidad de campo (CC), punto de marchitez permanente (PMP) y agua aprovechable (AA).

En la tabla 19 se muestran las características hídricas; en ella se observa que, los valores hídricos de los sectores Pairomani (Cairani) y Tomacucho y Huatamolle (Camilaca), contrastan con los parámetros hídricos correspondientes a suelos de textura Franco Arenoso (Fr.A) (Ojeda *et al.*, 2018); sin embargo, los valores correspondientes a las secciones cercado-Ancolaca, Ladera-Cairani y Tapaque-Camilaca; no obstante son de textura Franco Arenoso presentan valores hídricos que corresponden a suelos de textura Franca Arcilloso (Fr.Ar.), es decir tienen mayor capacidad de retención de agua en el suelo, esto podría deberse a que estas zonas son generalmente dedicados al cultivo de la alfalfa, sobre el cual pastan ganado vacuno y ovino, que producen abundante materia orgánica.

De acuerdo a la clasificación de la permeabilidad de los suelos propuesto por la FAO, 2009 y Cisneros, 2010, ambos citados en (Loyola Gómez *et al.*, 2014), los suelos de textura Franco Arenosos, clase textural predominante en el ámbito de estudio; corresponden a nivel de permeabilidad moderado a moderadamente rápida y según la tabla de permeabilidad propuesto por

Cisneros, 2010; los valores de permeabilidad de 6,5 a 15 cm/h, corresponden a una permeabilidad relativamente rápida, estos están localizados en las zonas de Ladera, Yarabamba (Cairani) y Tapaque y Guatamolle (Camilaca), mientras que la zona de Tomacucho en Camilaca, corresponde a una permeabilidad muy rápida (mayor a 25 cm/h). Estos niveles de permeabilidad suponen que los suelos tienen un mecanismo de amortiguamiento frente a la energía cinética e intensidad producida por las lluvias; por lo tanto, contrastan con los valores de erodabilidad determinadas para el ámbito (tabla 20). Por otra parte, Amisial, 1997 citado por (Cervantes, 1999), señala que, en suelos semipermeables, sin vegetación, con pendientes entre 75 y 35 %, el coeficiente de escorrentía es del 70 y 65 %; mientras que en suelos semipermeables con cultivos, el coeficiente de escorrentía son menores, es decir, de 60 % y 55 % respectivamente. La escorrentía según (Quiroga *et al.*, 2018) es la eliminación del exceso de agua no retenida por el suelo; por lo tanto valores de escorrentía señalados, contrastan con las características de los suelos de la sub cuenca Cairani-Camilaca.

Tabla 19

Características físicas e hídricas de los suelos representativos, sub cuenca Cairani-Camilaca.

Poblado	Sector	M.O %	Análisis Mecánico			Clase Textural	Coeficientes Hídricos		
			Arena %	Limo %	Arcilla %		C.C %	P.M %	A.A %
Ancocala	Cercado	3,07	64	23	13	Fr.A.	20,80	11,51	9,29
Cairani	Secc. Ladera	1,99	54	35	11	Fr.A.	23,18	13,18	10,00
Yarabamba	Secc. Pairomani	0,05	76	19	5	A.Fr.	11,51	4,99	6,52
Camilaca	Secc. Tomacucho	1,37	64	23	13	Fr.A.	16,68	8,62	8,06
Camilaca	Secc. Tapaque	2,56	54	35	11	Fr.A.	20,33	11,18	9,15
Camilaca	Secc. Guatamolle	0,86	76	19	5	Fr.A.	17,80	9,40	8,40

(Fr.A) Franco Arenoso

(A.Fr) Arena Franca

Fuente: Elaboración propia, 2019

Tabla 20

Infiltración básica (cm/h) sub cuenca Cairani-Camilaca

Localidad	Ib (cm/h)	Textura
Cairani	11,60	Franco Arenoso (Fr.A.)
Yarabamba	14,41	Arena Franca (A.Fr.)
Camilaca1	31,69	Franco Arenoso (Fr.A.)
Camilaca2	11,29	Franco Arenoso (Fr.A.)
Camilaca3	13,03	Franco Arenoso (Fr.A.)

Fuente: Elaboración propia, 2019

Después de caracterizar los suelos por su génesis y los valores de tamaño de partículas (textura), estructura, permeabilidad y contenido de materia orgánica y a través de las ecuaciones propuestas por Neitsch *et al.*, (2000) y Williams (1995), citados por (Loaiza y Silva, n.d.) y (Flores López *et al.*, 2003), se estimó los valores del factor K para las localidades más representativas de sub cuenca Cairani-Camilaca (tabla 21).

b.4) Comportamiento y distribución del Factor K

Los valores del factor K, tienen un comportamiento relativamente homogénea (CV= 26 %), con rango inferior de 0,0193 t.ha.hr/MJ.mm.ha y el superior de 0,0435 t.ha.hr/MJ.mm.ha. Los valores de erosionabilidad bajas concuerdan con las zonas de cultivo donde los niveles de materia orgánica están en niveles mayores a 3 %, hasta máximos de 4,8 %. Por otra parte, las zonas de cultivo están dispuestos en laderas de pendiente entre 15 y 35 %, con clase textural predominante Franco Arenoso, por lo que su permeabilidad es semipermeable. Esta característica de los suelos explica el comportamiento de Factor K.

Los valores K altos están en zonas de degradadas por la erosión hídrica y estas zonas corresponden a suelos no aptos para cultivos y están localizadas en zonas con fuerte pendiente. La distribución espacial del Factor K en la sub cuenca, está representada en la figura 15.

Tabla 21

Valores Factor K por localidades representativas en la cuenca Cairani-Camilaca

DISTRITO	Localidad	Coordenadas UTM		Cota (msnm)	FACTOR K t.ha.hr/Mj.mm.ha
		Este	Norte		
CAMILACA	Cotaña	355612	8095146	3494	0,0284
	Vilavila	354990	8092166	3628	0,0193
	Tasamuco	353667	8090726	3384	0,0434
	Chillani	354386	8090784	3209	0,0209
	Nuevo Camilaca	352988	8090798	3586	0,0204
	Antiguo Camilaca	353470	8090115	3297	0,0374
	Cambaya	347956	8084099	2608	0,0359
CAIRANI	Ancocala	352451	8085864	3350	0,0315
	Erpine	352183	8086473	3046	0,0392
	Cairani	354678	8088533	3362	0,0206
	Calacala	356694	8091326	3518	0,0196
	Yarabamba	356816	8091867	3521	0,0196
	Hacienda Paucarani	356650	8092255	3336	0,0196

Fuente: Elaboración propia, 2019

La tabla 22, muestra la distribución de los niveles de Factor K en el ámbito de estudio, se aprecia que los entre 0,0193 a 0,0319 tn.ha.hr./Mj.mm.ha son los que predominan con 67,2 % de los suelos y los valores de 0,0320 a 0,0434 representan el 32,8 %. Camilaca es el sector que muestra los mayores valores del factor K.

Tabla 22

Distribución espacial de los valores del Factor K en la sub cuenca Cairani Camilaca.

tn.ha.hr./Mj.mm.ha	Nivel o clasificación	has		Total	%
		Cairani	Camilaca		
0,0193 – 0,0245	Bajo	2689	1394	4083	53,3
0,0246 – 0,0319	Moderado	490	578	1068	13,9
0,0320 – 0,0377	Alto	755	891	1646	21,5
0,0378 – 0,0434	Muy alto	647	218	866	11,3

Fuente: Elaboración propia, 2019

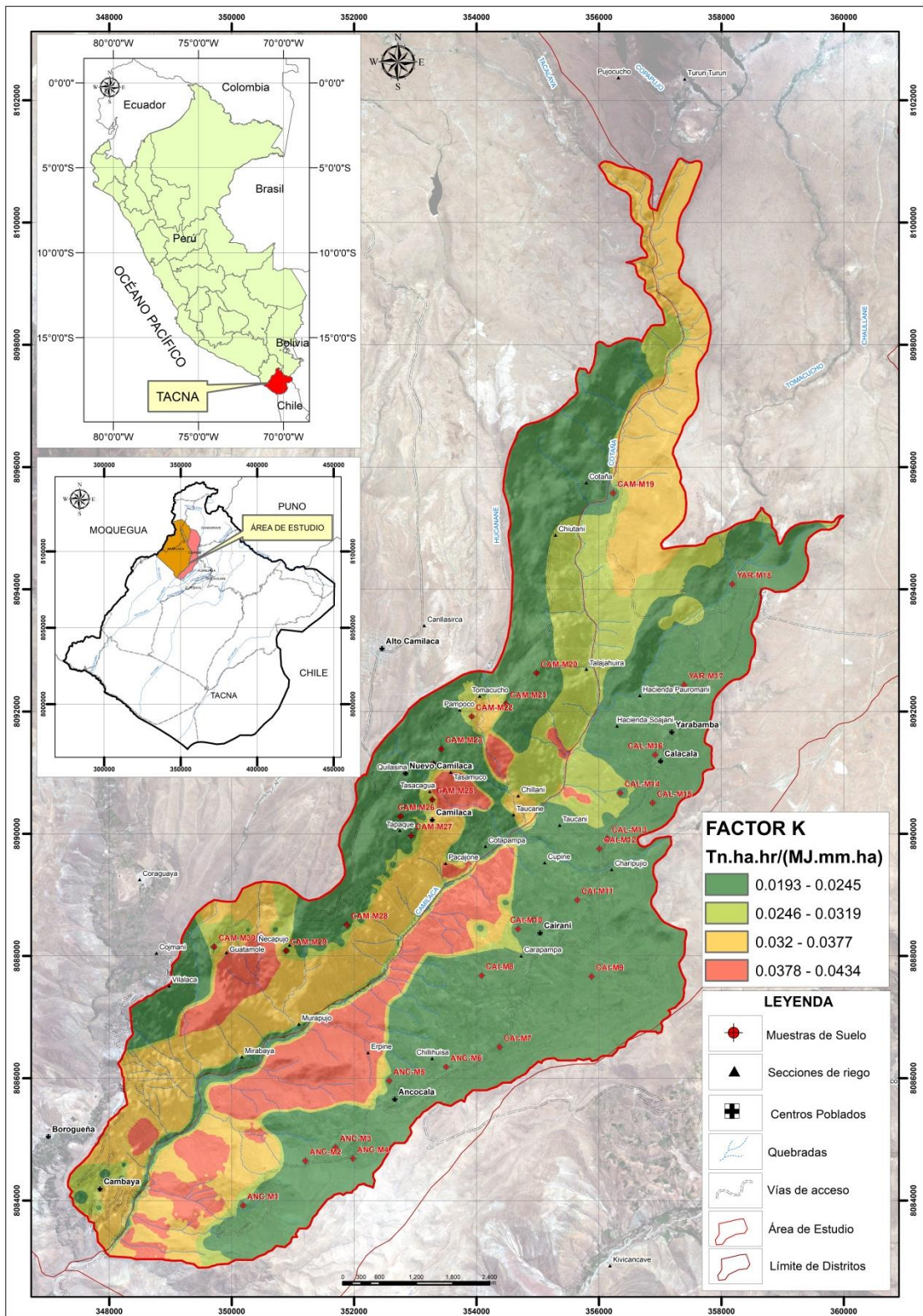


Figura 15 . Distribución espacial del Factor K Erosionabilidad de los suelos en la sub cuenca Cairani-Camilaca.

5.1.3. Factor pendiente, longitud de la pendiente (LS)

Los cambios abruptos del relieve en los flancos de la sub cuenca Cairani-Camilaca, en razón a que, en determinadas zonas toman forma de pendiente cóncava y en la misma dirección de la pendiente, el terreno pasa a forma convexa, la longitud de la pendiente, así como el ángulo de inclinación, fue difícil de medir en campo; por esta razón, la distribución espacial del Factor LS, así como los valores de este Factor, se estimó a través de las imágenes satelitales LandSat 5-8, que fue integrado al sistema de información geográfica (ArcGis). Este Software permitió expresar los valores del Factor LS en una imagen ráster en base al algoritmo planteado en parte metodológica (Lara, 1990). Por otra parte (Flores López *et al.*, 2003), confirma que el Factor LS influye en la pérdida de suelos, en la medida que los valores del factor LS aumentan. En suelos con pendientes fuertes como los de Cairani y Camilaca pueden ocasionar fuerte escorrentía superficial y provocar la formación de cárcavas (Geler, Penteado y Perez, 2017), observado de manera recurrente en la sub cuenca.

a) Inclinación de la pendiente

La inclinación de la pendiente es el ángulo de inclinación de la superficie en relación con el plano horizontal. En el presente estudio, la inclinación se expresó en grados (°) y en por ciento (%).

No obstante que el grado de inclinación tuvo un comportamiento variante, heterogénea a lo largo en los dos flancos y en la dirección transversal. Para expresar su comportamiento típico, se han realizado cortes trasversales representativos.

En la tabla 23, se muestra las secciones transversales representativas de la sub cuenca donde se observa el ángulo (°) de inclinación de la ladera. En general, la inclinación es mayor en la cota más baja de la sub cuenca (sección A-A') y en la medida que las cotas ascienden, la inclinación de la ladera es menor (Sección E-E'). En promedio en el flanco Cairani, la inclinación de la ladera es

de 37°, a comparación del flanco Camilaca que tiene un promedio de 47°. Estos valores, según Fidel, L y Otros (2006) citado por (Ramos, 2019) y (Salinas Chávez *et al.*, 2019), están considerados como inclinación fuerte y muy fuerte respectivamente, lo cual evidentemente contribuye a la erosión hídrica.

Tabla 23

Secciones transversales de la cuenca Cairani-Camilaca y los valores de su inclinación

Sección	Flanco izquierdo (Cairani)		Flanco derecho (Camilaca)		Profundidad (m)
	(°)	(%)	(°)	(%)	
A-A'	47	82	52	91	925,9
B-B'	33	58	38	67	850,5
C-C'	40	71	48	83	759,7
D-D'	39	68	55	96	662,3
E-E'	28	50	43	76	541,2*
					177,8**
Promedio	37	66	47	83	

(*) Eje principal de la cuenca (Río Cotaña)

(**) Quebrada Tomacucho

Fuente: Elaboración propia, 2019

b) Longitud de la pendiente

Al igual que la inclinación, la longitud de la pendiente también fue muy variante. En los dos flancos la longitud estuvo muy asociada a la inclinación, cambios de la inclinación ocurren, cambios en la longitud de las mismas. Esto debido al comportamiento y configuraciones del relieve. En el eje transversal del valle la fisiografía fue variante, existe una asociación de pequeñas planicies, lomadas y pendientes abruptas que configuran un comportamiento de la longitud de pendiente muy variante.

En forma general, la profundidad de la sub cuenca es menor a medida que la cota altitudinal va en aumento (tabla 24). La parte más baja de la sub cuenca muestra mayor profundidad (A-A'= 925,9 m) situado entre Hachahuco

(Ancocala y poblado de Borogueña), mientras que la parte más sección Cotaña y Tomacucho, la profundidad es de 541,2 y 177,8 m respectivamente.

c) Comportamiento y distribución del Factor LS

Por las irregularidades en el comportamiento de la inclinación y longitud de la pendiente, los valores LS, muestran también valores heterogéneas (CV=33 %), en general los mayores valores del Factor LS están en el flanco Camilaca, en las secciones de Tasamuco y zonas circundantes a la antigua Camilaca; mientras que en el flanco Cairani, los mayores valores están en la sección Irpine, Yarabamba y hacienda Pailogena Tabla 24.

Tabla 24

Valores Factor LS por localidades representativas en la cuenca Cairani-Camilaca.

DISTRITO	LOCALIDAD DE REFERENCIA	Este	Norte	Cota	FACTOR LS
CAMILACA	Cotaña	355612	8095146	3494	8,370773
	Vilavila	354990	8092166	3628	6,10261
	Tasamuco	353667	8090726	3384	10,684074
	Chillani	354386	8090784	3209	7,970524
	Nuevo Camilaca	352988	8090798	3586	8,077129
	Antiguo Camilaca	353470	8090115	3297	9,408937
	Cambaya	347956	8084099	2608	2,18871
CAIRANI	Ancocala	352451	8085864	3350	6,338119
	Erpine	352183	8086473	3046	8,105031
	Cairani	354678	8088533	3362	4,602982
	Calacala	356694	8091326	3518	7,310609
	Yarabamba	356816	8091867	3521	9,9766
	Hacienda Pairumani	356650	8092255	3336	9,404905

Fuente: Elaboración propia, 2019

En cuanto a la distribución de la superficie por niveles de pendientes (tabla 25), se observó que, la superficie con mayores pendientes (> 15 %) están en el flanco Cairani que representan el 53,89 % y en el flanco Camilaca 37,99 % respecto al área total de la sub cuenca. Las áreas con pendientes entre 5 al 15

% representan apenas el 5,06 % en Cairani y 1,78 % en Camilaca; estas áreas son las planicies y lomadas que se aprovechan para desarrollar agricultura, sin mayores costos de habilitación y posiblemente donde ocurren menor erosión. En las áreas de mayor pendiente, también existe agricultura desarrollada en forma de andenes, que es una técnica utilizada para reducir la pendiente del terreno y de esta manera evitar la erosión de los suelos. La distribución espacial de las pendientes y sus gradientes, se ilustran en la figura 16.

Tabla 25

Distribución espacial de los valores del Factor LS en la sub cuenca Cairani-Camilaca.

Localidad	Rango de Pendiente %	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Cairani	0,0 - 5,0	64,61	0,84
	5,0 - 15,0	387,77	5,06
	> 15,0	4130,76	53,89
Camilaca	0,0 - 5,0	33,80	0,44
	5,0 - 15,0	136,27	1,8
	> 15,0	2911,61	37,99

Fuente: Elaboración propia, 2019

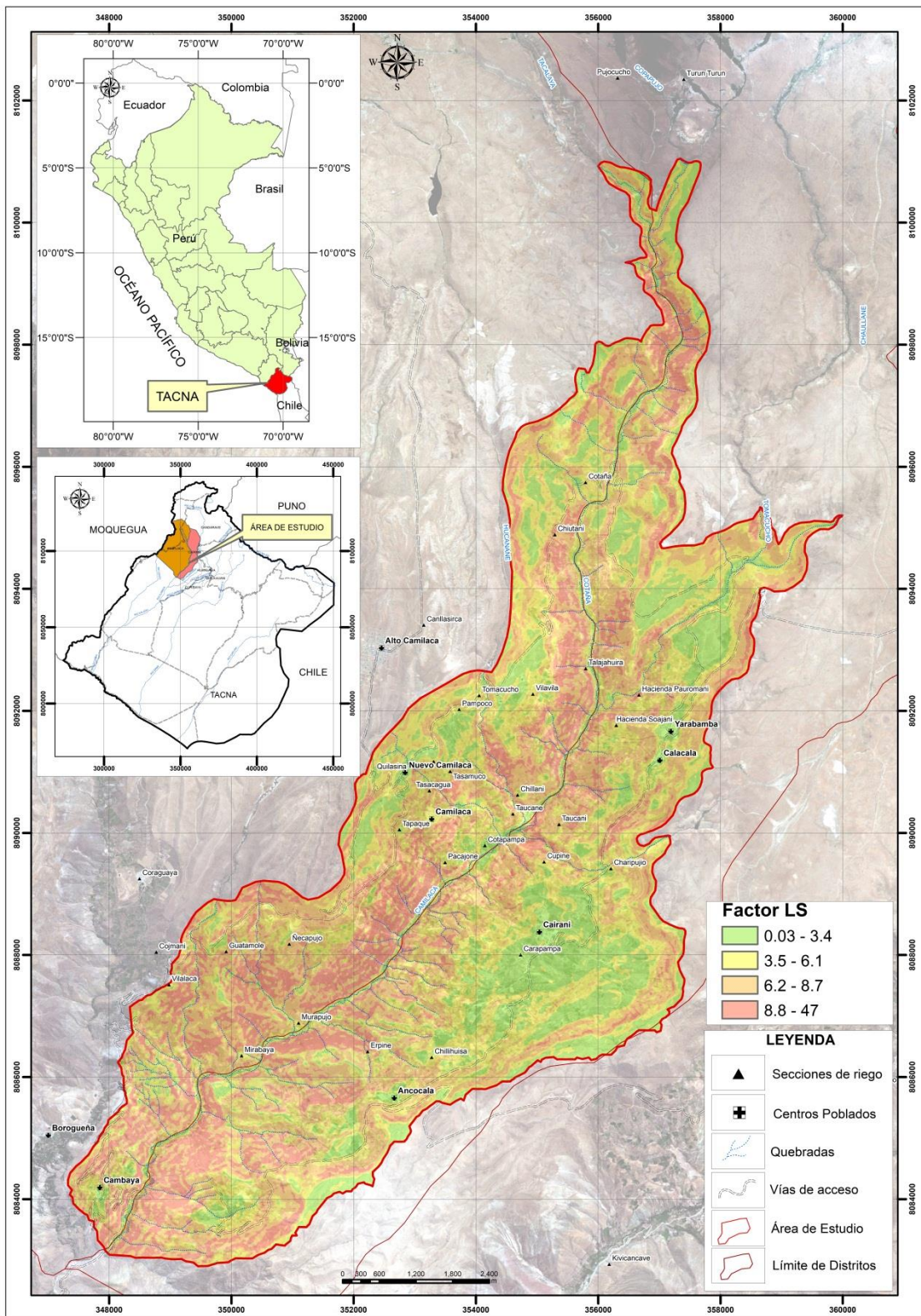


Figura 16 . Distribución espacial del Factor LS en la sub cuenca Cairani-Camilaca.

5.1.4. Factor cobertura y manejo de vegetación (C)

La presencia de un mayor o menor porcentaje de cobertura vegetal (Factor C) sobre los suelos de la sub cuenca Cairani-Camilaca, influye de manera directa en el proceso de degradación y desertificación de los suelos (Pérez Nieto, Valdés Velarde, y Ordaz Chaparro, 2012), además es una variable que puede ser utilizado para estimar el comportamiento del ciclo hidrológico de la cuenca, así como la evapotranspiración y el balance de radiación y energético de la sub cuenca (Alcántara, 2014).

Para el presente estudio, se ha desarrollado un muestreo para determinar la cobertura de las áreas naturales de vegetación, así como en las áreas agrícolas, utilizando para el efecto, el método del cuadrángulo (Ruiz, Aspiazu, y Coronel, 2016) y contrastado este resultado con análisis de imágenes satelitales, a través del cálculo de *Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada* (DNVI), y la diversidad vegetal se determinó a través de un inventario e identificación taxonómica de las especies de la sub cuenca y mediante el índice de diversidad de Shannon-Weaver.

a) Cobertura vegetal

La cobertura vegetal en áreas de desarrollo natural, así como en las áreas de cultivo de la sub cuenca Cairani-Camilaca, difiere según la temporalidad. En épocas de lluvia (noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo), la cobertura de áreas naturales y de cultivos es mayor respecto a épocas de estiaje (abril-octubre); sin embargo, esta variación es más notoria en las áreas con cultivo, debido a que están establecidos los calendarios de inicio y final de campaña agrícola (tablas 26 y 27).

Tabla 26*Calendario de siembras de la cédula de cultivos en el sector Cairani (2018)*

Cultivos	has	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Haba grano verde	10	10	10	8	5					2	5	10	10
Maíz Amiláceo	34	34	34	24	4						10	15	30
Maíz Choclo	3	3	2	1					1	2	3	3	3
Papa	53	53	53	33	13						20	40	53
Alfalfa	1,169	1,169	1,169	1,169	1,169	1,169	1,169	1,169	1,169	1,169	1,169	1,169	1,169
Orégano	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88	88
TOTAL	1,356	1,356	1,355	1,322	1,278	1,256	1,256	1,256	1,257	1,260	1,294	1,324	1,352

Fuente:(DRA-Tacna, 2019)

Tabla 27*Calendario de siembras de la cédula de cultivos en el sector Camilaca (2018)*

Cultivos	has	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Haba grano verde	5	5	5	3	2					1	2	5	5
Maíz Amiláceo	24	24	24	24	12						12	24	24
Maíz Choclo	2	1	1						1	2	2	2	2
Papa	23	23	23	18	15						5	10	22
Alfalfa	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294	294
Orégano	506	506	506	506	506	506	506	506	506	506	506	506	506
TOTAL	853	853	853	845	829	800	800	800	801	803	821	841	853

Fuente: (DRA-Tacna, 2019)

Debido a que ambas zonas Cairani y Camilaca mantienen el mismo régimen climático, fisiográfico, cédula de cultivos, costumbres y tradiciones, la cobertura vegetal muestra el mismo comportamiento temporal, destacando dos momentos definidos: época de lluvias desde noviembre hasta marzo del año siguiente y época seca, desde abril-mayo hasta octubre.

En la época lluviosa como es natural, se desarrollan todos los cultivos, por lo tanto la cobertura vegetal está en su máximo nivel (enero, febrero y marzo, con 73 % ,81 % y 90 %), mientras que, en la época seca, solo se mantienen los cultivos permanentes como el orégano y la alfalfa en sus diferentes estados de desarrollo; por lo tanto, los valores de la cobertura vegetal son menores (mayo, junio, julio 19 %).

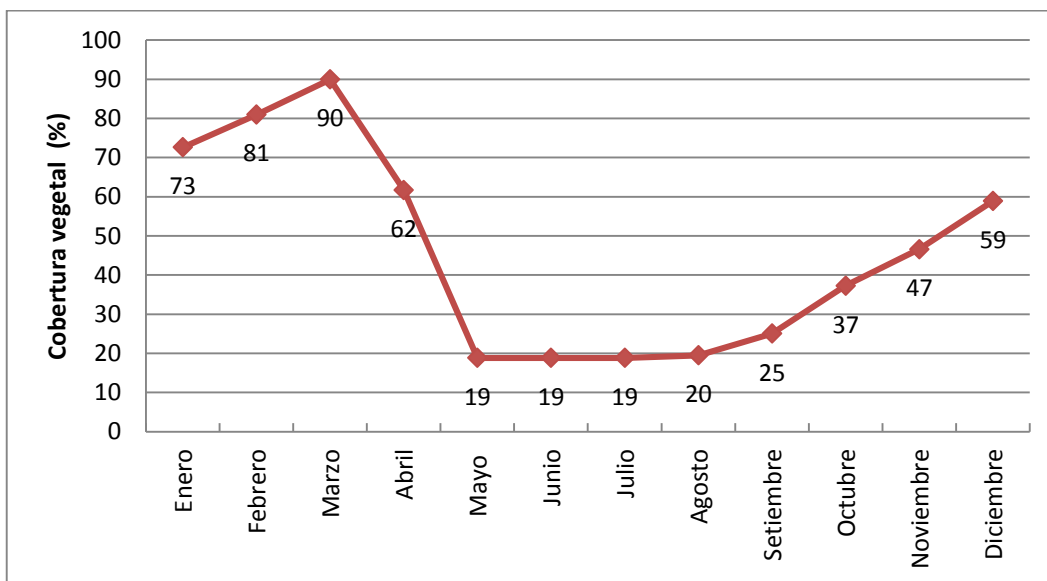


Figura 17 . Comportamiento de la cobertura vegetal áreas agrícolas según la temporalidad.

Se realizó un muestreo de cobertura vegetal de suelos no agrícolas de la sub cuenca Cairani-Camilaca, localizada en las partes altas de ladera, meseta del valle, en los márgenes del lecho de río y cárcavas que desembocan al cauce de río; manifiestan el mismo comportamiento que las especies cultivadas. Mayor cobertura en épocas de lluvias y menor cobertura en épocas secas. Los resultados que se muestran en la tabla 28 corresponden al mes de noviembre,

época seca, donde se observó un conjunto de especies que mantienen permanencia todo el año (época de lluvia y época seca), lo cual indica que son especies típicas de suelos áridos. De estas especies, entre las más importantes por su relativa abundancia son: Mila Sp., Ambrosia sp., Festuca ortophylla, Grindelia biliviana.

El resultado de cobertura vegetal de las muestras analizadas en el ámbito de la subcuenca Cairani-Camilaca.

Tabla 28

Cobertura vegetal de muestras analizadas en la sub cuenca Cairani-Camilaca correspondiente al mes de noviembre del 2019

Muestra	Cobertura vegetal (%)
Ancocala	32,81
Anc-1	36,62
Anc-2	18,95
Anc-3	42,85
Cairani	33,86
Cair-1	50,81
Cair-2	16,91
Calacala	40,44
Camilaca	39,00
Cam-1	33,89
Cam-2	57,09
Cam-3	23,00
Cam-4	39,00
Promedio	36,53

Fuente: Elaboración propia, 2019

b) Diversidad

La diversidad de especies vegetales, se terminó a través de un inventario e identificación taxonómica de las especies encontradas en las áreas no agrícolas y agrícolas de la sub cuenca Cairani-Camilaca, utilizando el índice de Shannon-Weaver (H'), descrito por Ruiz y Coronel (2016). El índice de Shannon-Weaver (H'), establece categorías de diversidad, donde valores entre 1 a 1,25

corresponde a la categoría poco diversa de especies vegetales. Los resultados del análisis de las muestras de campo se muestran en la tabla 29.

Tabla 29

Diversidad vegetal, medido por el índice de Shannon-Weaver en la sub cuenca Cairani-Camilaca.

Muestra	Índice Shannon-Weaver (H')
Ancocala	0,90
Anc-1	0,898
Anc-2	0,523
Anc-3	1,280
Cairani	0,97
Cair-1	0,86
Cair-2	1.07
Calacala	1,24
Camilaca	1,24
Cam-1	1,14
Cam-2	1,53
Cam-3	1,28
Cam-4	1,02
Promedio	1,09

Fuente: Elaboración propia, 2019

Los valores parciales de cada zona, como Ancocala, Cairani, Calacala y Camilaca, los valores del índice de Shannon-Weaver (H') se localizan mayormente en la categoría poco diverso (1-1,25), con excepción de la muestra Anc-3, Cam-2 y Cam-3, que se localizan en la categoría algo diverso (1,26-2,50). Estos valores contrastan con la temporada seca del año, pudiendo tomar valores más altos en temporadas de lluvias.

Las especies vegetales identificadas en áreas de terreno no agrícola, tanto para Cairani y Camilaca, se presentan en la Tabla 30 y 31.

Tabla 30*Especies de vegetación natural en sector Cairani*

N°	Especie	Frecuencia	%
1	<i>Mila Sp.</i> (espina de perro)	50	24,63
2	<i>Ambrosia sp.</i> (Romerillo)	49	24,14
3	<i>Festuca ortophylla</i> (gramínea)	39	19,21
4	<i>Grindelia biliviana</i> (chiñe)	34	16,75
5	<i>Ephedra breana</i> (pingo pingo)	7	3,45
6	<i>Baccharis scandens</i> (chilca)	6	2,96
7	<i>Tarasa operculata</i>	6	2,96
8	<i>Parastrephia</i> (tola)	4	1,97
9	<i>Stipa ichu</i> (ichu)	4	1,97
10	<i>Opuntia</i> (cactus)	2	0,99
11	<i>Balbisia microphylla</i>	1	0,49
12	<i>Ademia spinosissima</i>	1	0,49
TOTAL		203	100%

Fuente: Elaboración propia, 2019

Tabla 31*Especies de vegetación natural en sector Camilaca*

N°	Especie	Frecuencia	%
1	<i>Mila Sp.</i> (espina de perro)	54	31,95
2	<i>Tarasa operculata</i>	29	17,16
3	<i>Balbisia microphylla</i>	25	14,79
4	<i>Ambrosia sp.</i> (Romerillo)	20	11,83
5	<i>Parastrephia</i> (tola)	13	7,69
6	<i>Festuca ortophylla</i> (gramínea)	12	7,10
7	<i>Baccharis scandens</i> (chilca)	9	5,33
8	<i>Opuntia</i> (cactus)	3	1,78
9	<i>Ephedra breana</i> (pingo pingo)	2	1,18
10	<i>Festuca ortophylla</i> (gramínea)	1	0,59
TOTAL		169	100,00

Fuente: Elaboración propia, 2019

c) Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (DNVI)

El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), se obtuvo a través del análisis de imágenes satelitales obtenidas del sensor LandStat 8, con

resolución espacial de 10 m utilizando para el análisis el software EMVI v.5,0, extensión map-layer stacking. El software permitió discriminar entre suelos descubiertos y suelos con vegetación, así como el vigor de la vegetación del ámbito de estudio.

Los valores del DNVI fluctúan entre -1 a +1. Un DNVI más cercano a 1, representa mayor densidad de la cobertura vegetal (MELO, Ewerton Torres; SALES, Marta Celina Linhares; OLIVEIRA, 2011), en contraste los valores mostrados en la tabla 32, indican una homogeneidad espacial y escasa cobertura vegetal (valor mínimo 0,2081; máximo 0,3648). Estos valores son típicos de la época de ausencia de lluvias, en épocas lluviosas enero, febrero y marzo, los valores de DNVI son mayores.

Tabla 32

Valores DNVI representativos calculados para la sub cuenca Cairani-Camilaca

N°	Código	Norte	Este	B5	B4	NDVI
1	ANC-01-EV	8085724	353467	0,29	0,18	0,2427
2	ANC-02-EV	8085865	353507	0,30	0,18	0,2521
3	ANC-03-EV	8085904	353622	0,20	0,11	0,3099
4	CAI-04-EV	8089330	356651	0,13	0,06	0,3648
5	CAI-05-EV	8089529	356689	0,19	0,11	0,2712
6	YAR-06-EV	8093211	357645	0,19	0,11	0,2734
7	CAM-07-EV	8094288	355157	0,26	0,15	0,2699
8	CAM-08-EV	8093011	354968	0,25	0,16	0,2081
9	CAM-09-EV	8090662	352623	0,24	0,14	0,2646
10	CAM-10-EV	8088764	350342	0,30	0,17	0,2825

B4: Banda roja visible

B5: Banda infrarrojo cercano

Fuente: Elaboración propia, 2019

d) Comportamiento y distribución del factor C

Teniendo en cuenta el porcentaje de cobertura vegetal y el índice normalizado de diferencias de vegetación (NDVI), se procedió a determinar el factor C para el cálculo de la pérdida de suelos por erosión hídrica. Respecto a

los valores del factor C, Mancilla Escobar, 2008 señala que los valores cercanos a 0 significan presencia de coberturas vegetadas, mientras que los cercanos a 1 denotan superficies desprovistas de vegetación en su mayor medida.

Los valores del factor C (tabla 33), muestran una relativa homogeneidad (CV=29 %), teniendo como valor mínimo 0,23, máximo 0,86 y una media de 0,57. Estos valores según (Pacheco Henry, 2014), corresponden el mínimo a zonas de matorrales y pastizales, el máximo a zonas de vegetación escasa a vegetación semi árida y terrenos de cultivo.

En términos generales el valor medio del factor C (0,57), corresponde a zonas de cultivos y arbustos. Este valor contrasta con el uso de los suelos en la sub cuenca, donde el 70 % de la superficie está dedicado a cultivos transitorios y permanentes y el restante ocupado por vegetación silvestre en las partes altas de las laderas, y matorrales en las quebradas perpendiculares al lecho de río.

Tabla 33

Valores Factor C por localidades representativas en la cuenca Cairani-Camilaca.

DISTRITO	LOCALIDAD DE REFERENCIA	Este	Norte	Cota	FACTOR C
CAMILACA	Cotaña	355612	8095146	3494	0,72
	Vilavila	354990	8092166	3628	0,77
	Tasamuco	353667	8090726	3384	0,86
	Chillani	354386	8090784	3209	0,54
	Nuevo Camilaca	352988	8090798	3586	0,47
	Antiguo Camilaca	353470	8090115	3297	0,78
	Cambaya	347956	8084099	2608	0,48
CAIRANI	Ancocala	352451	8085864	3350	0,61
	Erpine	352183	8086473	3046	0,72
	Cairani	354678	8088533	3362	0,23
	Calacala	356694	8091326	3518	0,49
	Yarabamba	356816	8091867	3521	0,57
	Hacienda Paurumani	356650	8092255	3336	0,61

Fuente: Elaboración propia, 2019

En la tabla 34, se muestra la distribución espacial del factor C respecto a la cobertura vegetal. Se ha determinado que áreas sin vegetación representan el 1 %, estas áreas están localizadas mayormente en los flancos de fuerte pendiente adyacentes al cauce del río principal (Cotaña) y en zonas rocosas localizados próximos a las cotas más altas del perfil transversal del valle. En la sub cuenca Cairani-Camilaca, predominan áreas de suelo con vegetación ligera a vegetación mediana que en suma representan el 93 %, las áreas con vegetación mediana corresponden a las zonas de cultivo.

Tabla 34

Distribución espacial de los valores del Factor C en la sub cuenca Cairani-Camilaca.

Factor C	Cobertura	Cairani (ha)	Camilaca (ha)	Total (ha)	%
> 0,4	Suelo sin vegetación	12	54	66	1,00
0,4 – 0,2	Suelo con vegetación ligera	2167	1925	4091	53,00
0,2 – 0,1	Suelo con vegetación mediana	2098	973	3071	40,00
0,1 – 0,01	Suelo con vegetación alta	305	127	432	6,00

Fuente: Elaboración propia, 2019

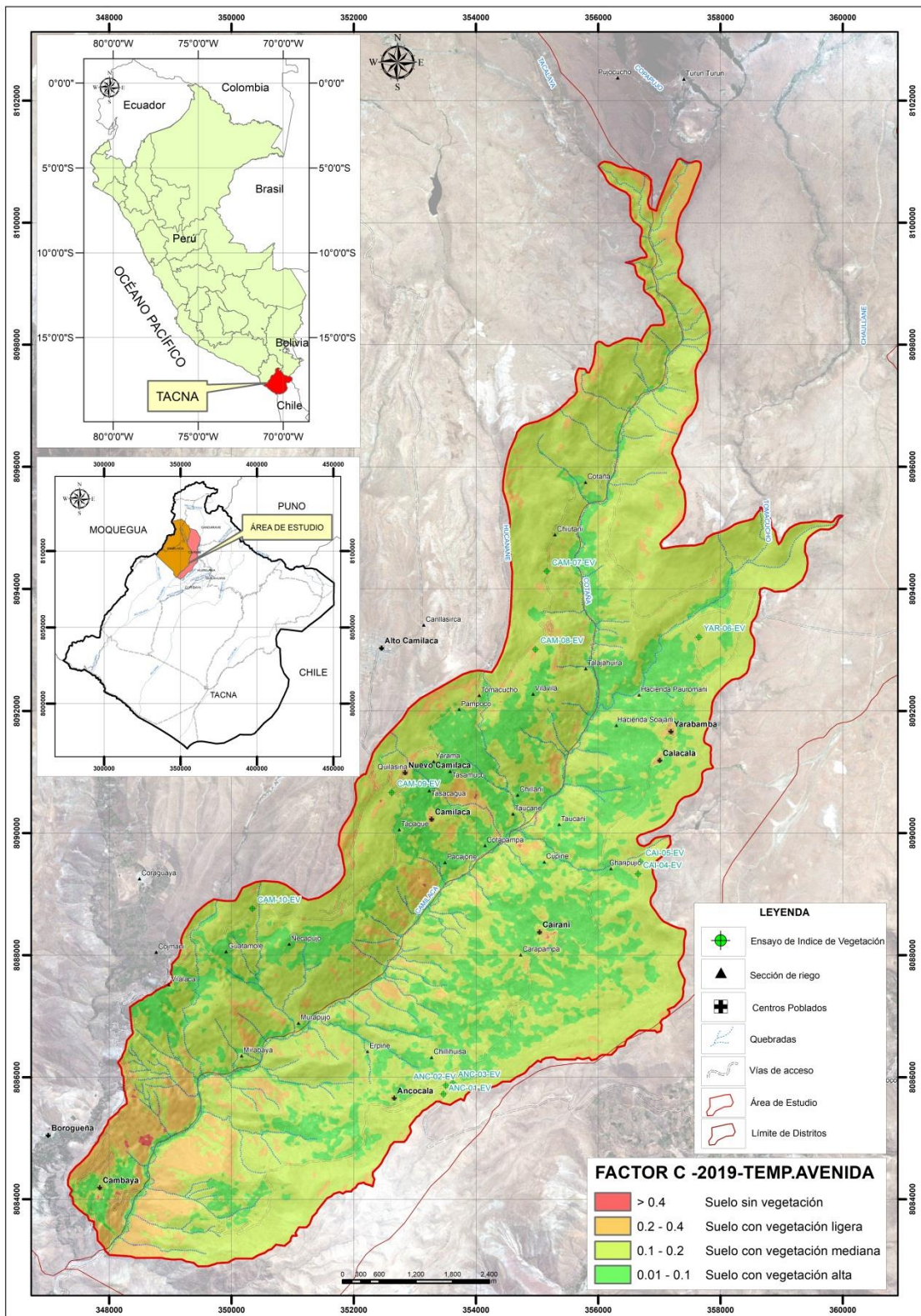


Figura 18. Distribución espacial del Factor C en la sub cuenca Cairani-Camilaca

5.1.5. Factor prácticas de conservación (P).

a) Prácticas de conservación

La sub cuenca Cairani Camilaca, es un valle típico de zonas interandinas, con suelos agrícolas dispuesto en una topografía agreste, accidentada, de fuertes pendientes, tanto en el flanco derecho e izquierdo del perfil del valle (figura 19), sobre todo en las partes altas (3600 msnm) y bajas del perfil (3200 msnm). En esta configuración, los suelos que se aprovechan para la agricultura están en la parte media, debido a que la pendiente en esta parte es promedio moderada, y son aprovechados bajo un sistema de andenería, una infraestructura agrícola que data desde los periodos pre- incas (Mayorga, 2016). Es importante resaltar que en las cotas altas del valle, se ha observado andenes abandonados que según la información recogida de los propios agricultores fueron abandonados hace 4 a 5 décadas por déficit de agua de riego, se ha estimado que la proporción de andenes abandonados representan del 20 a 30 % de la andenería existente, tanto por el lado de Cairani así como en Camilaca.

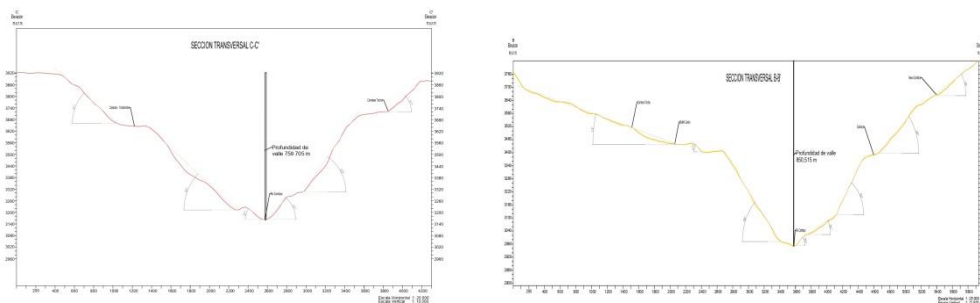


Figura 19 . Perfil representativo de la cuenca Cairani- Camilaca

La explotación de estas tierras se realiza bajo una estructura minifundista, donde el 79 % de las propiedades en Cairani y 86 % en Camilaca las parcelas familiares son menores a 01 ha., por lo que la producción (papa, maíz, haba) es solo para autoconsumo, solo la producción de orégano y pequeña crianza de animales (ovinos y vacunos) son orientados al mercado.

Estos andenes por falta de conservación en la línea del tiempo, se observó que perdieron sus características técnicas originales como consecuencia de procesos erosivos provocados por agentes hídricos, eólicos y antrópicos (manejo del agua de riego y pastoreo sobre andenes), estas características están relacionados a un proceso de debilitamiento del muro de los andenes, derrumbe parcial y total debido a factores ya señalados (Llerena, 2003); por otra parte, los procesos de rehabilitación practicados por los agricultores no logran restituir la altura de muro de andenes originales, por lo que la pendiente de la terraza es cada vez mucho mayor que su estado original.

Una encuesta aplicada a los agricultores de las zonas de Cairani y Camilaca, donde se preguntó “*si realizaban prácticas de conservación de andenes*”, las respuestas se muestran en la tabla 35.

Tabla 35

Si realizan prácticas de conservación de andenes

Respuestas	Porcentaje (%)	
	Cairani	Camilaca
Si	94,1	92,8
No	5,9	7,2
Total	100	100

Fuente: Elaboración propia, 2019

En ambas zonas, los agricultores indicaron que si realizan prácticas de conservación de andenes. Estas prácticas lo realizan de una a dos veces al año, generalmente antes de empezar la campaña agrícola (agosto-diciembre) y en algunos casos al finalizar la campaña (abril-mayo), pero estas labores de conservación solo se reducen a pequeños arreglos que consisten en restituir rocas de pequeño a mediano diámetro (10 a 20 cm) desplazados de su lugar del muro y generalmente lo realizan con la mano de obra familiar.

Las acciones de conservación y rehabilitación de los andenes, demandan elevar la altura del muro de los andenes, de tal manera que la pendiente de las terrazas se reduzca de 5 a 20 % actualmente existente, de 2 a 5 %. Solo de esta manera las terrazas podrían constituir un verdadero sistema de drenaje y un

elemento para reducir los fuertes procesos erosivos existentes (Scotta *et al.*, 1989).

El restablecimiento de las características técnicas de los andenes, evidentemente demanda de grandes inversiones en mano de obra y acarreo de material (rocas de 20 a 30 cm de diámetro), costos que actualmente no pueden ser asumidos por los pequeños agricultores, más aún cuando en la zona se evidencian fuertes procesos migratorios de manera permanente en el caso de jóvenes y de manera temporal de la población adulta, debido a la reducción sistemática de la producción y rentabilidad de la actividad agrícola y pecuaria.

La evaluación realizada sobre el estado de conservación de los andenes en la Microcuenca Cairani Camilaca (Tabla 36), se observa que, en ambas zonas, andenes en estado de conservación entre regular y mal conservado representan el 82,4 % y 71,4 % respectivamente. Los andenes en buen estado de conservación manifestado por los agricultores, son aquellos que están localizados en zonas de poca pendiente; por lo tanto, la poca altura del muro (30 a 50 cm) y el ancho de las terrazas hace que no requieran un mantenimiento al igual que los andenes localizados en zonas con fuerte pendiente, por lo que muestran apariencia de estar en buen estado.

Tabla 36

Estado de conservación de andenes sub cuenca Cairani-Camilaca

Estado de conservación	Hectáreas (ha)		Total	%
	Cairani	Camilaca		
Bueno	236	244	479	22
Regular	943	487	1430	65
Malo	157	122	279	13
Total	1336	853	2189	100

Fuente: Elaboración propia, 2019

Finalmente, las acciones de conservación de suelos en la sub Cuenca Cairani-Camilaca, se traducen a acciones rutinarias como limpieza del terraplén del andén, arreglos primarios de muro de contención, acciones que realizan con la mano de obra familiar.

b) Comportamiento y distribución del Factor P

En tabla 37, muestra los valores del factor P, que cuantifica el impacto de las prácticas de protección contra la erosión, en el caso de que no existen obras de protección, el valor para este factor es de 1 (Llerena, 2003). No obstante que los agricultores manifiestan realizar labores de conservación de andenes, estas prácticas no se realizan con criterios técnicos con el claro propósito de reducir el efecto de la erosión. Por esta razón los valores del factor P en las zonas de Cotaña, Tasamuco y Antigua Camilaca, se asignó valor 1,00 y en zonas como Vilavila, Chillani, Cambaya, etc., se asignaron valores cercanos a 1,00; debido a que los andenes están en general en regular estado de conservación.

En Cairani la mayoría de las zonas realizan de alguna manera actividades de conservación de andenes, por lo que los valores son cercanos a 1,00.

Tabla 37

Valores Factor P por localidades representativas en la Cuenca Cairani-Camilaca.

DISTRITO	LOCALIDAD DE REFERENCIA	Este	Norte	Cota	FACTOR P
CAMILACA	Cotaña	355612	8095146	3494	1,00
	Vilavila	354990	8092166	3628	0,90
	Tasamuco	353667	8090726	3384	1,00
	Chillani	354386	8090784	3209	0,91
	Nuevo Camilaca	352988	8090798	3586	0,70
	Antiguo Camilaca	353470	8090115	3297	1,00
	Cambaya	347956	8084099	2608	0,70
CAIRANI	Ancocala	352451	8085864	3350	0,90
	Erpine	352183	8086473	3046	1,00
	Cairani	354678	8088533	3362	0,90
	Calacala	356694	8091326	3518	0,90
	Yarabamba	356816	8091867	3521	0,90
	Hacienda Pairumani	356650	8092255	3336	0,90

Fuente: Elaboración propia, 2019

La tabla 38, muestra la distribución espacial de los suelos conservados y sin conservación. Los suelos con prácticas de conservación (6 %) y moderadas

prácticas, corresponden a áreas dedicadas a cultivos (19 %). Las sin prácticas de conservación corresponden a superficies de andenes abandonadas y áreas naturales con vegetación silvestre, áreas de quebradas, cárcavas y lecho de río (75 %). Cairani es el flanco con mayor área dedicada a cultivos; en consecuencia, con algún grado de prácticas de conservación (1170 ha), a comparación de Camilaca que tiene un área de 731 has mayormente con cultivos permanentes, donde las prácticas de conservación son incipientes.

La mayor área conservada en Cairani, se debe a que un 50 % del área bajo riego, está con cultivos permanentes (alfalfa y orégano), a estos suelos por si aplican prácticas de conservación de manera permanente y consisten solo en arreglo de muro de andenes, manteniendo las terrazas con pendientes mayores al 10 %. Los suelos restantes son para cultivos transitorios, donde cada inicio de campaña junto a la preparación del terreno, realizan arreglos generalmente relacionados al muro de contención de las terrazas. Este tipo de prácticas de conservación no contribuye a reducir de manera efectiva la erosión hídrica.

Tabla 38

Distribución espacial del Factor P en la sub cuenca Cairani-Camilaca.

Nivel de protección	Cairani (ha)	Camilaca (ha)	Total (ha)	%
Con prácticas de conservación	236	244	480	6
Moderada prácticas de conservación	943	487	1430	19
Sin prácticas de conservación	3403	2350	5753	75
Total	4582	3081	7663	100

Fuente: Elaboración propia, 2019

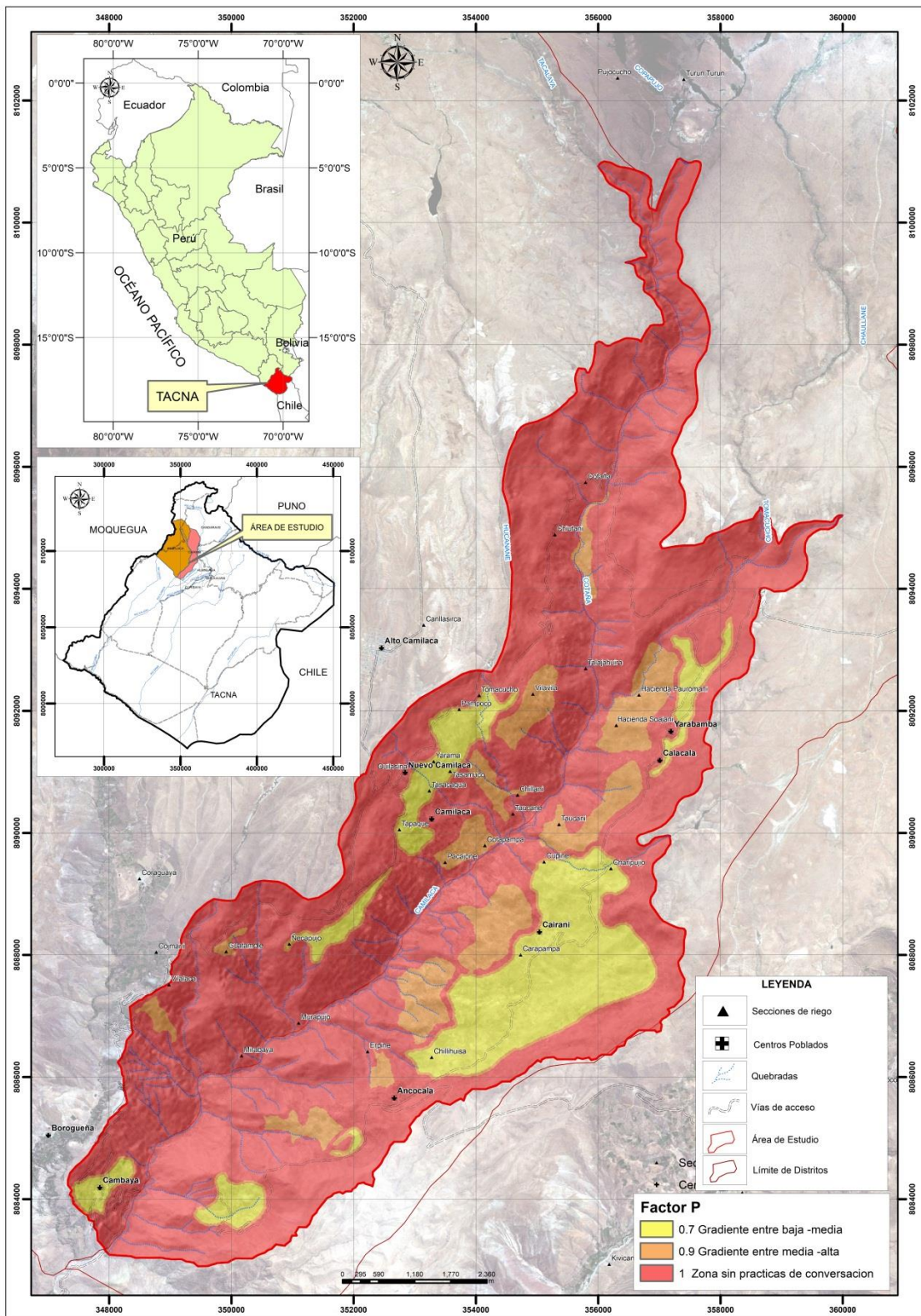


Figura 20. Distribución espacial del Factor P en la sub cuenca Cairani-Camilaca

5.2. Erosión actual

Según (Wischmeier, W. H., and Smith, 1978), los factores que componen el modelo USLE son: R, K, LS, P y C, la integración de estos factores determinan la erosión actual y la intervención solo de los factores R, K, LS la erosión potencial, ambos expresados en t/ha/año. El factor erosibilidad (R) se calculó con una serie de precipitaciones de 55 años periodo 1964-2019 (anexo 1 y 2).

Una vez calculados los factores que componen el modelo USLE en este estudio, se procesó la información en tablas y se obtuvieron las cartografías de erosión hídrica actual y potencial, que vienen a reflejar las pérdidas en toneladas por hectárea anuales producidas por la erosión hídrica en la sub cuenca Cairani-Camilaca.

En la tabla 39, muestra el comportamiento de la erosión actual en el ámbito de estudio, los valores mínimos de erosión en Cairani están en planicies de baja pendiente (2 a 5 %) con pequeñas áreas entre 1 a 3 ha de las secciones de riego como Achahuenco, Cotapampa, Ladera, Cupine con 1,9 a 6,4 t/ha/año; mientras que los mayores valores de erosión están en zonas de fuerte pendiente >20 % hasta 95 % de todas las secciones de riego, generalmente en las cotas altas de la ladera y zonas de fuerte pendiente convexas próximas al lecho de río. Por la topografía del valle, la erosión es muy irregular o heterogénea CV=82 %.

En el flanco Camilaca, los menores valores de erosión están localizados en las pequeñas planicies de Cambaya, Borogueña, zonas adyacentes del poblado nueva Camilaca y Paramarca con 5,4 a 8,2 t/ha/año; mientras que los mayores valores de erosión están en las secciones de riego próximos al poblado antigua Camilaca, Tasamuco, Huatamolle, Tantani, Cahuallpaya, Cotaña con 18 hasta 39 t/ha/año. En términos generales los mayores niveles de erosión actual, están en el flanco Camilaca con promedio de 15,5 t/ha/año, frente al flanco Cairani donde el promedio de la erosión es de 10,3 t/ha/año.

Tabla 39*Erosión actual de zonas representativas de la Sub Cuenca Cairani-Camilaca*

DISTRITO	Localidad de referencia	FACTOR R MJ.mm/ha.hr	FACTOR K t.ha.hr/MJ.mm.ha	FACTOR LS	FACTOR P	FACTOR C	Erosión Actual (t/ha/año)
CAMILACA	Cotaña	109,0932	0,0284	8,37	1,00	0,72	18,6
	Vilavila	101,2227	0,0193	6,10	0,90	0,77	8,2
	Tasamuco	98,5290	0,0434	10,68	1,00	0,86	39,2
	Chillani	98,5141	0,0209	7,97	0,91	0,54	8,1
	Nuevo Camilaca	98,8002	0,0204	8,08	0,70	0,47	5,4
	Antiguo Camilaca	97,9406	0,0374	9,41	1,00	0,78	26,8
	Cambaya	89,5464	0,0359	2,19	0,70	0,48	2,4
CAIRANI	Ancocala	97,2756	0,0315	6,34	0,90	0,61	10,7
	Erpine	97,3154	0,0392	8,11	1,00	0,72	22,1
	Cairani	96,6397	0,0206	4,60	0,90	0,23	1,9
	Calacala	101,4044	0,0196	7,31	0,90	0,49	6,4
	Yarabamba	103,0225	0,0196	9,98	0,90	0,57	10,3
	Hda. Pairumani	103,6991	0,0196	9,40	0,90	0,61	10,5

Fuente: Elaboración propia, 2019

5.3. EROSIÓN POTENCIAL

La tabla 40 muestra la erosión hídrica potencial ocurrida en la sub cuenca Cairani-Camilaca, los valores máximos fueron de 45,7 t/ha/año, la mínima de 7 t/ha/año, una media de 20,9 t/ha/año, con una desviación estándar de 10,9 t/ha/año. Según la escala de citado por (Gaitán *et al.*, 2017), corresponde a un nivel de erosión moderada. Al igual que la erosión actual, la erosión potencial mostró una heterogeneidad en la sub cuenca con CV=52 %.

Los mayores valores de erosión potencial se observaron en el flanco Camilaca con promedio de 22,5 t/ha/año, respecto a Cairani que mostró un valor de 18,9 t/ha/año. Esta variación podría estar explicado en razón a que Camilaca tiene laderas con mayor inclinación de pendiente (promedio 83 %), en relación a Cairani (promedio 66 %), en cuanto a las prácticas de conservación en Camilaca

no son muy habituales a comparación de Cairani, donde la conservación es periódica, hasta 2 veces al año.

Tabla 40

Erosión potencial de zonas representativas de la sub cuenca Cairani-Camilaca

DISTRITO	Localidad de referencia	FACTOR R MJ.mm/ha.hr	FACTOR K t.ha.hr/MJ.mm.ha	FACTOR LS	Erosión potencial (t/ha/año)
CAMILACA	Cotaña	109,0932	0,0284	8,37	25,9
	Vilavila	101,2227	0,0193	6,10	11,9
	Tasamuco	98,5290	0,0434	10,68	45,7
	Chillani	98,5141	0,0209	7,97	16,4
	Nuevo Camilaca	98,8002	0,0204	8,08	16,3
	Antiguo Camilaca	97,9406	0,0374	9,41	34,5
	Cambaya	89,5464	0,0359	2,19	7,0
CAIRANI	Ancocala	97,2756	0,0315	6,34	19,4
	Erpine	97,3154	0,0392	8,11	30,9
	Cairani	96,6397	0,0206	4,60	9,2
	Calacala	101,4044	0,0196	7,31	14,5
	Yarabamba	103,0225	0,0196	9,98	20,1
	Hda. Pairumani	103,6991	0,0196	9,40	19,1

Fuente: Elaboración propia, 2019

La tabla 41 muestra la distribución espacial de los niveles de erosión actual y potencial de suelos en la sub cuenca Cairani-Camilaca. Los niveles de erosión ligera (< 10 t/ha/año) representan el 31,35 % con 2398,86 has, tal como se indicó anteriormente, estos suelos están localizados en zonas de menor pendiente, mayormente en el flanco Cairani. Los niveles de erosión moderados (10 – 50 t/ha/año) son los predominantes con el 68,56 % que representa 5246,76 has; mientras que los niveles de erosión alta, corresponden a zonas de fuerte pendiente fundamentalmente los localizados en zonas de cotas altas >3500 msnm y fuertes pendientes próximos al cauce del río. La distribución de la erosión hídrica actual y potencial se muestra en las figuras 21 y 22.

Tabla 41

Distribución espacial de los niveles de erosión actual y potencial (t/ha/año) en la sub cuenca Cairani-Camilaca.

Clase de erosión	Nivel perdido de suelo (t/ha/año)	ha	%
leve	< 10	2398,86	31,35
Moderada	10 - 50	5246,76	68,56
Alta	50 - 200	7,17	0,09
Muy alta	> - 200	0,00	0,00
Total		7652,79	100,00

Fuente: Elaboración propia, 2019

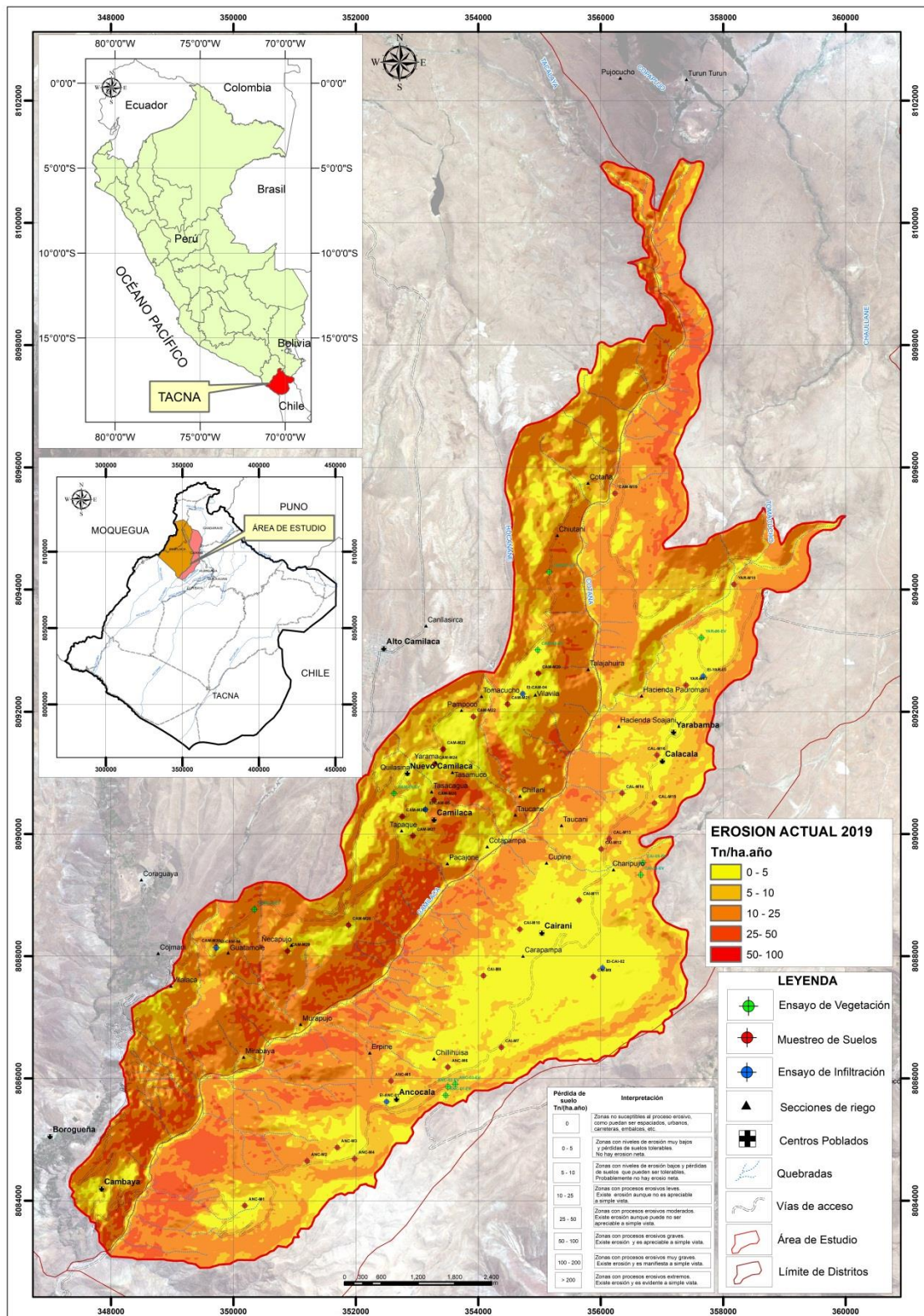


Figura 21: Distribución espacial de la erosión hídrica actual en la sub cuenca Cairani-Camilaca.

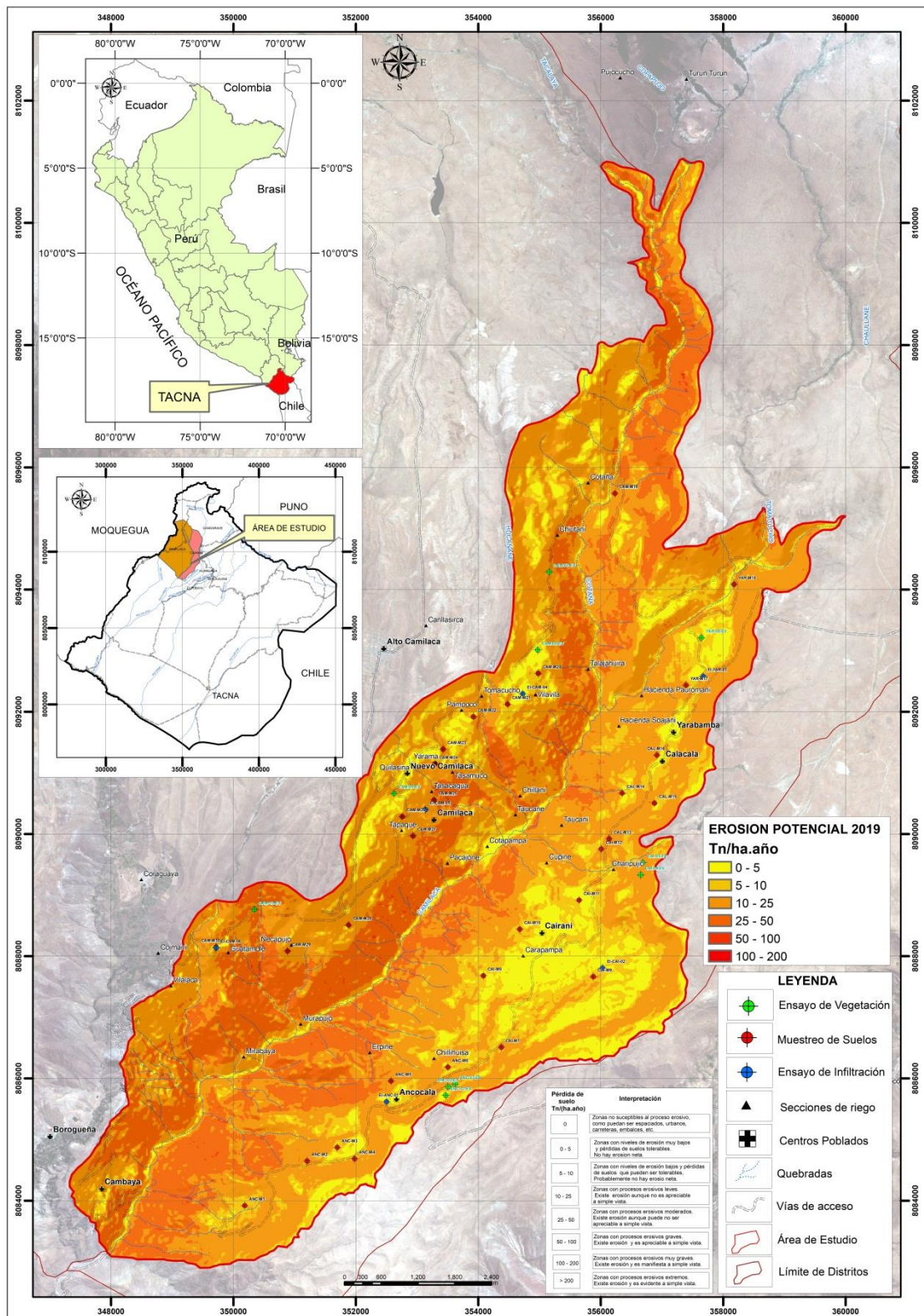


Figura 22. Distribución espacial de la erosión hídrica potencial en la sub cuenca Cairani-Camilaca.

5.4. CONTRASTE DE LAS HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

5.4.1. Contraste de hipótesis para objetivo 1:

Los factores: erosividad (R), erodabilidad (K), pendiente, longitud de la pendiente (LS), manejo de vegetación (C) y prácticas mecánicas de manejo de la vegetación agrícola (P), tienen una participación directa en la erosión hídrica de los suelos de Cairani-Camilaca.

La relación de dependencia lineal entre las variables (R, K, SL, C, P) con la erosión actual y potencial (t/ha/año), estas relaciones se determinaron a través del cálculo del coeficiente de correlación de Pearson, con nivel de significación $\alpha=0,05$. Para todos los casos, se plantearon las siguientes hipótesis:

H_0 : $P = 0$; No existe correlación lineal

H_1 : $P \neq 0$; Existe correlación lineal

La regla de decisión estadística para aceptar o rechazar la hipótesis, se utilizó como estadístico de prueba la T-Student, el mismo que se comparó con los valores críticos obtenidos de la tabla de distribución t, $gl= n - 2$ y $\alpha=0,05$ bilateral. La regla de decisión estadística para aceptar o rechazar la hipótesis H_0 fue planteado de la siguiente manera:

Si $[T] >$ al valor crítico, se rechazó H_0

Si $[T] <$ al valor crítico, no se rechazó H_0

Las tablas 42 y 43 muestran los valores del coeficiente de correlación de Pearson, para las relaciones entre los factores y la erosión, así como las decisiones de aceptar o rechazar la H_0 , en base a los estadísticos de prueba. Los factores K, LS, C, P tienen una relación directa con la erosión actual y potencial, de manera positiva y significativa $\alpha=0,05$. El factor R, es el factor que no alcanzó la significación con la erosión actual ($r=0,237$) y ($r=0,275$) con la erosión

potencial, pero según (Hernández Lalinde *et al.*, 2018) y (Ortega *et al.*, 2009), señalan que, no obstante los valores r ($0,10 \leq [r_{xy}] < 0,30$) existe correlación pero con una consistencia débil (anexos 3,4,5,6 y 7).

Tabla 42

Valores de coeficiente de correlación entre Factores (R, K, LS, C, P) versus la erosión actual (t/ha/ha).

Factor	r	n	gl	T-calculado	T-tabla	Conclusión
Factor R	0,237	19	17	0,9429	2,110	No rechaza H_0
Factor K	0,651	19	17	3,3194	2,110	Rechaza H_0
Factor LS	0,704	19	17	3,8386	2,110	Rechaza H_0
Factor C	0,677	19	17	3,5622	2,110	Rechaza H_0
Factor P	0,671	19	17	3,5064	2,110	Rechaza H_0

Fuente: Elaboración propia, 2019

Tabla 43

Valores de coeficiente de correlación entre Factores (R, K, LS, C, P) versus la erosión potencial (t/ha/ha).

Factor	r	n	gl	T-calculado	T-tabla	Conclusión
Factor R	0,275	19	17	0,8778	2,110	No rechaza H_0
Factor K	0,642	19	17	3,2459	2,110	Rechaza H_0
Factor LS	0,786	19	17	4,9179	2,110	Rechaza H_0
Factor C	0,565	19	17	2,6555	2,110	Rechaza H_0
Factor P	0,682	19	17	3,6150	2,110	Rechaza H_0

Fuente: Elaboración propia, 2019

5.4.2. Contraste de hipótesis para objetivo 2:

La erosión hídrica ocasiona alta cantidad de pérdida de suelo (50 – 200 t/ha/año) en la sub cuenca Cairani-Camilaca.

La hipótesis del objetivo 2, se desarrolló en dos partes; la primera para establecer la diferencia de erosión actual y potencial entre los flancos Cairani y Camilaca, y segundo la verificación probabilística respecto si la erosión determinada en el estudio corresponde al nivel alto (50 – 200 t/ha/año).

a) Diferencia de medias de erosión actual y potencial entre Cairani y Camilaca.

La diferencia estadística de los valores medios de erosión potencial y actual entre los flancos Cairani y Camilaca (tabla 44), se probó a través de prueba de T de muestras relacionadas, con significancia de $\alpha=0,05$.

Tabla 44

Estadística de muestras emparejadas, flancos Cairani y Camilaca

	Distrito	Media	N	Desv. Desviación	CV
Cairani	Erosión Actual	8,48	9,00	6,09	72%
	Erosión Potencial	15,83	9,00	7,59	48%
Camilaca	Erosión Actual	12,66	10,00	11,95	94%
	Erosión Potencial	20,33	10,00	11,93	59%

Fuente: Elaboración propia, 2019

Para el cual, se planteó la siguiente hipótesis:

H₀: La erosión potencial (t/ha/año), son igual en los flancos Cairani y Camilaca.

H₁: La erosión potencial (t/ha/año), son diferentes en los flancos Cairani y Camilaca.

Realizada la prueba T para muestras relacionadas, el P-valor o Sig= 0,00 < a $\alpha = 0,05$, se rechazó la H_0 ; en este sentido, se concluye que la erosión en los flancos Cairani y Camilaca son diferentes; es decir, el flanco Camilaca tiene los mayores valores de erosión potencial y actual con 20,33 t/ha/año y 12,66 t/ha/año respectivamente, respecto al flanco Cairani con valor de erosión potencial de 15,83 t/ha/año y erosión actual de 8,48 t/ha/ha.

b) Probabilidad estadística que la erosión actual y potencial corresponden al nivel alto de erosión (50 – 200 t/ha/año), en la sub cuenca Cairani- Camilaca.

Para el contraste se planteó la siguiente hipótesis:

H_0 : La erosión hídrica tiene niveles erosivos menores al rango 50 – 200 t/ha/año en los suelos de la sub cuenca Cairani-Camilaca.

H_1 : La erosión hídrica tiene niveles de erosión mayor-igual a 50 – 200 t/ha/año, en los suelos agrícolas de la sub cuenca Cairani-Camilaca.

Para el efecto se ha determinado la media de la erosión actual y potencial, con las respectivas desviaciones standart (s) Tabla 45 y 46.

Tabla 45

Estadística de muestras emparejadas sub cuenca Cairani-Camilaca

Variables	Media	n	Desviación estándar
Erosión Actual	10,68	19	9,6198
Erosión Potencial	18,20	19	10,1050

Fuente: Elaboración propia, 2019

Con los valores de la media, n y desviación estándar, se calculó el estadístico t con nivel de confianza $\alpha = 0,05$; sin embargo, en probabilidades y estadística, la distribución-t o distribución t de Student es una distribución de probabilidad que surge del problema de estimar la media de una población normalmente distribuida cuando el tamaño de la muestra es pequeño ($n < 30$).

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s/\sqrt{n}}$$

Donde:

μ = media de la población

\bar{x} = media de la distribución de los datos

n = tamaño de la muestra

s = error estándar de la muestra

Tabla 46

Estadísticos de prueba para contrastar hipótesis

VARIABLES	Media	n	t (cal)	Vc (tabla)	Decisión
Erosión Actual	10,68	19	-17.340	1,734	Acepta H_0
Erosión Potencial	18,20	19	-13.352	1,734	Acepta H_0

Fuente: Elaboración propia, 2019

Haciendo contraste entre valor $t = -17,340 < vc = 1,734$, se concluye que, t está en zona de aceptación dentro de la curva de distribución normal (figura 23), por lo que no se puede rechazar H_0 ; en consecuencia, se afirma con nivel de confianza del 95 % que, estadísticamente las erosiones actual y potencial tienen niveles de erosión menores a 50 t/ha/año; por lo tanto, corresponden al nivel de erosión moderado.

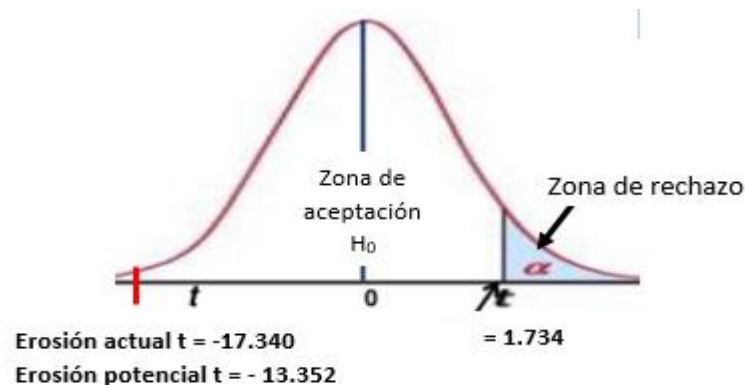


Figura 23. Curva de distribución normal con valores de t calculado en zona de aceptación de H_0 .

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), desarrollado por Wischmeier, W. H., y Smith, 1978, para su aplicación en regiones poco desarrolladas como el nuestro; Renard and Foster, 1994, citado por (Almoza, *et al.*, 2009), han introducido variaciones sobre todo en el cálculo del factor erosividad de la lluvias o factor R. Este aspecto es muy bien discutido por Mancilla Escobar, 2008. De esta manera autores como, Sabino Rojas, Evelin; Obando, Oscar; Lavado Casimiro, 2017, sostienen que el modelo original USLE debido a su variación toma el nombre de Ecuación universal revisada de pérdida de suelos (RUSLE). Es a través de este modelo que se ha estimado la pérdida de suelos por erosión hídrica en el Perú y países de Latinoamérica.

Considerando que la erosión es uno de los principales mecanismos responsables de la degradación de los suelos; en nuestro país, se han aplicado el modelo RUSLE, para estimar la pérdida de suelos por erosión hídrica mayormente en cuencas, sub cuencas y microcuencas alto andinas (Tapia M. and Vásquez, 2011).

Los resultados de la aplicación del modelo USLE, según (Flores López *et al.*, 2003), este es un modelo matemático multifactorial que, aplicado en la sub cuenca Cairani-Camilaca, se verifica la existencia de una asociación directa y positiva, entre la erosión con cada uno de los cinco factores (R, K, SL, C y P), con alto nivel de significancia en el modelo de regresión general (p -valor = 0.000 < α = 0,05); sin embargo, en la correlación individual del factor R con la erosión actual y potencial, la correlación fue positiva, pero sin significación estadística. Este comportamiento posiblemente se deba a que el número de estaciones pluviométricas existentes en el ámbito de estudio no fueron los suficientes; al respecto Fournier, 1960 y Arnoldus, 1978, citado en (Gvozdenovich, 2016) señalan que, cuando existe limitante de registros pluviométricos, no es fácil estimar el factor R; asimismo (Almoza *et al.*, 2009) recomienda que, factor R es

mejor en la medida que la interpolación sea producto entre varias estaciones pluviométricas.

La integración o el producto de la multiplicación de los factores (R, K, SL, C y P), permitió estimar la erosión actual (t/ha/año) y el producto de los factores (R, K, SL) genera como resultado la erosión potencial (t/ha/año). Para determinar los niveles de erosión, se utilizaron las clases de erosión establecidos por la FAO, citado por Sabino Rojas *et al.*, 2017, y bajo los mismos niveles, citado por Gaitán *et al.*, 2017.

Del área total de la sub cuenca Cairani-Camilaca (7653 ha), el 31 % de esta superficie esta con erosión leve (< a 10 t/ha/año), 69 % de la superficie de la sub cuenca, esta con erosión moderada (10 a 50 t/ha/año) y solo el 0.09 % se encuentra con erosión alta (50 a 200 t/ha/año), no se encontraron niveles de erosión muy alta (> a 200 t/ha/año). Según (Huerta y Loli, 2014), estos niveles de erosión están por encima de los valores permisibles establecidos por la FAO (0,4 – 1,8 t/ha/año), otros autores como Stutzel, 2019 citado por (Gaitán *et al.*, 2017) sostienen que este límite podría ser de 1 a 2 t/ha/año; sin embargo, (Loredo Ostí *et al.*, 2007) precisa que para suelos con profundidad < a 25 cm con textura gruesa, el límite permisible es de 2,2 a 4,5 t/ha/año. Por lo tanto, valores de erosión por encima de lo indicado, en definitiva, vienen reduciendo la capacidad productiva de los suelos de la sub cuenca. La información levantada en campo indica suelos poco profundos (< a 30 cm), suelos mayormente de textura franco arenoso, bajo contenido de materia orgánica (< a 3 %), alto porcentaje de modificador textural, características físicas típicas de suelos erosionados, lo que se traduce en baja capacidad productiva de los suelos.

Son muchos los estudios realizados para determinar la erosión hídrica a nivel de cuencas, sub cuencas y microcuencas andinas e interandinas (Tapia y Vásquez, 2011), en un estudio de 22 microcuencas en doce regiones del país, determinó niveles de erosión promedios entre 24,44 a 45,04 t/ha/año, pero en estos lugares tuvieron precipitaciones promedio anuales entre 350 a 1200 mm/año, mayores al ámbito de la sub cuenca Cairani-Camilaca que, tuvo valores

de precipitación en la estación Cairani 112,66 mm/año y la estación más húmeda o con mayor precipitación fue la estación pluviométrica Humalzo con 370,33 mm/año. Otros estudios a nivel de tesis de pregrado realizado en las localidades de Huaraz en el Departamento de Ancash, cuenca del río Shullcas en Huancayo, microcuenca Ranrahirca en Yungay-Ancash, realizados por (Moreno Roldan, 2017), (Solano, 2016), (Colque Valentin, 2015), obtuvieron valores de erosión hídrica entre 5 a 50 t/ha/año. Estos valores de erosión contrastan con los obtenidos en la sub cuenca Cairani-Camilaca. Es importante resaltar que, el modelo USLE permitió la estimación de la erosión hídrica producida por las lluvias, mas no la erosión hídrica producida por el agua de riego en condiciones de ladera con fuerte pendiente, prolongado tiempo del agua en las parcelas (riego gravedad, sistema manto) y la erosión eólica que ocurre en periodos de invierno, cuando los suelos están sin cobertura vegetal y removidos por efecto de las cosechas. Por las consideraciones señaladas, se presume que la erosión real es mucho mayor al determinado en el presente estudio.

Estudios más próximos sobre estimación de la erosión hídrica en la región Tacna, fueron realizados por (Sabino Rojas, Evelin; Obando, Oscar; Lavado Casimiro, 2017), en 159 unidades hidrográficas, dentro de estos estuvo considerada la cuenca del río Locumba. Los resultados muestran que, los niveles de erosión anual promedio para toda la región (Cuencas Caplina, Sama y Locumba), fueron de 50 t/ha/año como promedio. Este valor ratifica y valida los resultados obtenidos de la presente investigación (imágenes en anexo 8).

CONCLUSIONES

1. Se ratifica la existencia de una relación directa y positiva y altamente significativa entre los factores de erosión del modelo USLE: erosividad (R), erodabilidad (K), pendiente, longitud de la pendiente (LS), manejo de vegetación (C) y prácticas mecánicas de manejo de la vegetación agrícola (P); con la erosión actual y potencial en la sub cuenca Cairani-Camilaca.
2. Los niveles de erosión hídrica determinados en la sub cuenca Cairani-Camilaca, en promedio son del nivel moderado (erosión actual 10,68 t/ha/año) y erosión potencial 18,20 t/ha/año), sin embargo estos valores pueden ser mayores si se considera la erosión hídrica producida por el agua de riego y la erosión eólica que son evidentes, pero que en el presente estudio no está considerado.
3. Los niveles de erosión determinados, en la actualidad para la sub cuenca Cairani-Camilaca, tienen un impacto real en la capacidad productiva de los suelos y tiene un efecto socio económico directo y puede ser la razón central de la migración no solo de personas jóvenes, sino de familias para desarrollar actividades agrícolas en valles de costa y actividades económicas no agrícolas en la ciudad de Tacna.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda desarrollar estudios complementarios para determinar la erosión hídrica producida por el agua de riego y la erosión eólica. De esta manera determinar la magnitud real de la erosión de los suelos en la sub cuenca Cairani Camilaca.
2. Es fundamental realizar estudios para cuantificar la magnitud del impacto socio económico producido por la erosión de los suelos de la sub cuenca Cairani-Camilaca, función del cual, sensibilizar a los agentes tomadores de decisiones para que puedan implementar acciones para revertir este fenómeno medio ambiental.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abraham, Elena María; Torres, L. M. (2007). Estado del arte en el uso de indicadores y puntos de referencia en la lucha contra la desertificación y la sequía en América Latina y el Caribe. *ISSN 0378-1844, vol.32, n., 827-833.*
- Almoza, Y., Alonzo, Gustavo., Elena, M. y Medina, A. (2009). Cambios climáticos y sus efectos en las pérdidas de suelo en la cuenca del río Cuyaguaje. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias, 18(2), 32–39.*
- Alcántara, G. (2014). Estudio especializado: análisis de los cambios de la cobertura y uso de la tierra. *Gobierno Regional de Cajamarca, 180.*
- Alvarado C., Miguel; Colmenero R., Aurelio; Valderrábano A., M. de la L. (2007). La erosión hídrica del suelo en un contexto ambiental, en el estado de Tlaxcala, México. *Ciencia Ergo Sum, 14, 317–326.*
- Antelo, M. R., y Fernández Long, M. E. (2014). Estimación de datos faltantes de precipitación diaria para las distintas ecorregiones de la República Argentina. *Facultad de Agronomía, Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas, 1952, 78.*
- Arce Rojas, R. (2010). Perú: Por una gestión integral del suelo. *Servicios de Comunicación Intercultural.Org, 2003, 1–5.*
- Arden-Clarke, C., y Evans, R. (1993). Soil Erosion and Conservation in the United Kingdom. *World Soil Erosion and Conservation, 193–215.*
- Barturén, R. (2016). Cuantificación de la erosión hídrica en el Perú y los costos ambientales asociados. *Pontificia Universidad Católica Del Perú, 41.*
- Besteiro, S., y Delgado, M. (2011). Evaluación de la agresividad de las precipitaciones en la cuenca del Arroyo El Pescado, provincia de Buenos Aires (Argentina). *Revista de La Facultad de Agronomía, 110(2), 82–90.*
- Betancourt, M. (2015). Semana de la ciencia y tecnología, jornada de puertas abiertas.

Inia Tacuarembó, 2, 3–19.

Bolaños C., E. A. (1930). David Ricardo. *Notes and Queries*, 159(NOV22), 369.

Botana, M. I., y Fernández, S. E. (2019). Teledetección como experiencia de aprendizaje: Una mirada desde Geografía Física I, Geografía de los Espacios Marítimos y Cartografía. *XXI Jornada de Geografía de La Universidad Nacional de La Plata*.

Castellanos, J. Z. (2010). Guía para la interpretación del análisis de suelo y agua. *Intagri*, 20p.

Castro Mendoza, I. (2013). Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica en microcuenca de presa Madín, México Soil loss estimate by hydric erosion at Madin dam watershed, state of Mexico, Mexico. *Ingeniería Hidráulica Y Ambiental*, XXXIV(2), 3–16.

CEPES. (2015). Los suelos en el Perú. *La Revista Agraria, Centro Peruano de Estudios Sociales*, 170, 16.

Cervantes, R. (1999). *Disminución de la escorrentía superficial debido a variaciones en el uso del suelo*.

Chuvieco, E. (2008). *Teledetección ambiental* (3a ed. rev). Ciencia, Ariel.

Ciseros, J., Cholaky, C., Cantero Gurtiérrez, A., González, J., Reynero, M., Diez, A., y Bergesio, L. (2012). *Erosión Hídrica, Principios y técnicas de manejo* (p. 290).

Colín-García, G., Ibáñez-Castillo, L. A., Reyes-Sánchez, J., y Arteaga-Ramírez, R. (2013). Diagnóstico De La Erosión Hídrica De La Cuenca Del Río Pichucalco. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 5(1), 23–31.

Colque Valentin, M. (2015). Categorización de la erosión hídrica en la microcuenca de Ranrahirca, aplicando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE). In

Universidad nacional "santiago antunez de mayolo."

Contreras, J., Bonilla, C. A., y Troncoso, J. (2012). Nuevo método de evaluación del riesgo de erosión hídrica en operaciones forestales basado en la variabilidad de las precipitaciones. *Bosque (Valdivia)*, 33(1), 17–18.

Correa, F. (2015). Una Revisión Analítica Sobre El Papel De La Tierra En La Teoría Económica De David Ricardo. *Revista Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión*, 23(1), 103–114.

Correa Restrepo, Francisco; Vasco Ramirez, Andrés Felipe; Perez Montoya, C. (2005). La curva medioambiental de Kuznets: Evidencia empírica para Colombia grupo de economía ambiental (GEA). *Semestre Económico*, 8.

Cortolima, C. (1996). Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE – MUSLE) - Plan de Ordenación y manejo de la Cuenca Hidrográfica mayor del Río Totare. *Perdida De Suelos*, 1–10.

De Regoyos, M. (2003). *Metodología para la evaluación de la erosión hídrica con modelos informáticos. Aplicación del modelo GEOWEPP a dos pequeñas cuencas de Madrid*. 421.

Díaz R. Jorge. (2015). Diagnóstico del potencial de erosión hídrica mediante técnicas de geoprocésamiento en la sub-cuenca del río Angasmarca, La Libertad, Perú. *Anales Científicos*, 76(2), 283–293.

DRA-Tacna. (2019). Encuesta Nacional de Intenciones de Siembra Principales cultivos Transitorios. *Dirección de Estadística Agraria*.

Duflho, A. C., Frugoni, M. C., Macchi, P., y Thot, A. (2011). Estimación de Erosión Hídrica de Suelos para plan de Manejo del Campo Forestal Aguas Frías, Patagonia Argentina. *Boletín Geográfico, ISSN 0326-1735, ISSN-e 2313-903X, N.º. 33*.

Echeverri, L., Humberto, F., y Moncayo, O. (2010). Rainfall Erosivity in the South Center

- Zone of the Department of Caldas, Colombia Erosividad De Las Lluvias En La Región Centro-Sur Del Departamento De Caldas, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 63(1), 5307–5318.
- Falasca, S. y B. M. (2002). Rasgos fisiograficos y edaficos del área aledaña a la ciudad de Tandil, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Espacio y Desarrollo*, N° 14, 2002.
- FAO. (1993). El estado mundial de la agricultura y la alimentación. In *Las políticas de recursos hidricos y la agricultura* (Vol. 26).
- Flores-López, H. E., de la Mora-Orozco, C., Ruíz-Corral, J. A., y Chávez-Durán, Á. A. (2013). Efecto De La Cobertura De Suelo De Tres Cultivos Sobre La Erosión Hídrica. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, XII(1), 19–25.
- Flores-Ruiz, E., Miranda-Navales, M. G., y Villasís-Keever, M. Á. (2017). El protocolo de investigación VI: cómo elegir la prueba estadística adecuada. *Estadística inferencial. Revista Alergia México*, 64(3), 364.
- Flores López, H. E., Martínez Menes, M., Oropeza Mota, J. L., Mejía Saens, E., y Carrillo Gonzáles, R. (2003). Integración de la EUPS a un SIG para estimar la erosión hídrica del suelo en una cuenca, hidrográfica de Tepatitlán, Jalisco, México. *Terra Latinoamericana*, 21, 233–244.
- Franco Torres Omar, Sanchez Lopez REinaldo, Gomez Sanchez Carlos Eduardo, Garcia Otero Javier, S. G. J. (2015). *Estudio Nacional de la Degradación de Suelos por Erosión en Colombia* (M. y E. A.-I. Instituto de Hidrologia (ed.)
- Gaitán, J., Navarro, M., Tenti, L., Pizarro, M., y Rigo, P. (2017). Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la República Argentina. In *INTA-Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria*.
- García, Y., Ramírez, W., y Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos : una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos Y Forrajes*, 35(2), 125–137.

- Geler, T., Penteadó, A., y Pérez, A. (2017). LS-Factor analysis in different prediction models of water soil erosion. *Observatorio Geográfico América Latina*, 5, 226–233.
- Gisbert, J., Ibañez, S., y Moreno, H. (2008). El Factor K de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE). *Departamento de Producción Vegetal, Universidad Politécnica de Valencia*, 9.
- Giudice Baca, V. (1987). Teoría de los ciclos económicos. *Madrid. Alianza Editorial*, 1–21.
- González Mateos, Ricardo; Volke Haller, Víctor; González Ríos, Jesús; Ocampo Portillo, Minerva; Ortíz Solorio, Carlos; Manzo Ramos, F., y EFECTO. (2007). Efecto De La Erosión Del Suelo Sobre El Rendimiento De Maíz De Temporal. *Terra Latinoamericana*, 25, 408.
- GTIS, F. y. (2015). Estado Mundial del Recurso Suelo. *Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y Agricultura y Grupo Técnico Intergubernamental Del Suelo, Roma, Italia, September*, 64.
- Gvozdenovich, J. (2016). *Calculo del factor R de la USLE a través del índice modificado de Fournier. June 2016*, 9.
- Hernández Lalinde, J., Espinosa Castro, J., Peñaloza Tarazona, M., Fernández González, J., Chacón Rangel, J., Toloza Sierra, C., Arenas Torrado, M., Carrillo Sierra, S., y Bermúdez Pirela, V. (2018). Sobre El Uso Adecuado Del Coeficiente De Correlación De Pearson: Definición, Propiedades Y Suposiciones. *AVFT – Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 37(5).
- Huerta Fernandez, P.; Loli Fgueroa, O. (2014). Erosión Hídrica En La Cuenca Alta Del Río Moche. *Departamento Académico de Biología, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima – Perú.*, 13(1).
- Ibañez, C., Palomeque, S., y Fontúrbel, F. (2004). Elementos principales del suelo, geodinámica y dinámica de los principales componentes del suelo. *Isbn*, 99905–0.

- Ibáñez, S., Gisbert, J. M. y Moreno, H. (2011). *Mollisoles*. 6 (2011). 10.
- Ibáñez, S., Gisbert, J. M. y Moreno, H. (2011). 1. *Ibáñez, S., Gisbert, J. M. y Moreno, H. Entisol*. 10 (2011).
- Blanquer, G., Manuel, J., Ramón, M. y Vegetal, D. P. *Histosoles*. (2012). 6 (2011). 10.
- Ilbay-yupa, M., Barragán, R. Z., y Waldo, L. C. (2019). Regionalización de la precipitación, su agrecividad y concentración en la cuenca del río Guayas, Ecuador. *La Granja: Revista de Ciencia de La Vida*, 30(2), 57–76.
- Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores Monterrey. (2010). *Elementos técnicos para la elaboración de programas estatales de acción ante el cambio climático*. 33.
- JRCB. (2016). *Epediente tecnico: "Creación de la infraestructura de riego represamiento Cularjahuira para la Comisión de regantes Camilaca- Distrito de Camilaca-Candarave-Tacna"*. (ed.); pp. 0–101).
- Lara, E. L. (1990). *Los sistemas de información geográfica*. 789–804.
- Lince-Salazar, L., y Castro-Quintero, A. (2015). Erosividad de la lluvia en la región cafetera de Quindío, Colombia. *Revista Cenicafé*, 66(1), 25–31.
- Llerena, C. A. (2003). *Servicios Ambientales de las cuencas y producción de agua, conceptos, valoración, experiencias y sus posibilidades de aplicación en el Perú*. 9–12.
- Loaiza, S., y Silva, M. Da. (n.d.). *implementadas en los Territorios Sostenibles Adaptados al Clima (TeSAC)*. 2015.
- López, A. J. (2006). Manual De Edafología. *Media*, 806(Enero), 1–92.
- Loredo Ostí, C., Beltrán Lopez, S., Moreno Sánchez, F., y Casiano Domínguez, M. (2007). *Riesgo de la erosión hídrica y proyección de acciones de manejo y conservación del suelo en 32 microcuencas de San Luis Potosí* (L. tecnico N. 3. I.-C.-C. E. S. Luis (ed.); Issue 3).

- Loyola Gómez, C., Rivas Maldonado, J., y Gacitúa Rojas, M. J. (2014). Permeabilidad del suelo de la cuenca del río Chillán, entre Estero Peladillas y río Ñuble, Chile. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 24(1), 73–86.
- Luque Poma, G. (2019). Zonas críticas por peligros geológicos en la Región Tacna. *Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico-INGEMMET*, 53(9), 1689–1699.
- Mancilla Escobar, G. (2008). *Uso y conservación de suelos: Uso de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE) en el campo forestal*.
- Mayorga, J. (2016). Recuperación del sistema de andenería en el ámbito de la microcuenca Chucumayo, distrito de Matucana, provincia de Huarochirí, departamento de Lima. *Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 17(33), 67–71.
- Mazuela, P. C. (2013). Agricultura en zonas áridas y semiáridas. *Idesia (Arica)*, 31(2), 3–4.
- MELO, Ewerton Torres; SALES, Marta Celina Linhares; OLIVEIRA, J. G. B. de. (2011). Application of the Normalized Difference Vegetation Index (Ndvi) in the Analysis of the Environmental Degradation of the Microbasin of Riacho Dos Cavalos, Crateús – Ce. *Ra´E Ga* 23, 23, 520–533.
- Mendoza, R. B., y Espinoza, A. (2017). Guía Técnica para Muestreo de Suelos. *Universidad Nacional Agraria y Catholic Relief Services (CRS)*, 52.
- Mendoza, R., y Espinoza, A. (2017). Guía Técnica para muestreo de suelos. *Asa*, 13–21.
- Minagri. (2016). *Decreto supremo que aprueba la política nacional agraria*.
- MINAGRI. (2014). Programa Presupuestal 0089 Reducción de la Degradación de los Suelos Agrarios. *Ministerio de Agricultura y Riego*, 16.

Minam. (2009). *Ds 012-2009-Minam* (p. 25). Ministerio del Ambiente.

MINAM. (2014). *La Estrategia Nacional sobre Diversidad Biológica, al 2021 y su plan de acción 2014-2018* (C. N. del Ambiente (ed.)). Ministerio del Ambiente: Dirección General de Diversidad Biologica.

Morán, W. C. (2010). *Hidrología* (P. U. C. del Perú (ed.)).

Moreno Roldan, H. L. (2017). Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando el método usle y haciendo uso del sig en la subcuenca del río olleros-districto de olleros periodo 2015. *Repositorio Institucional Digital - UNASAM*.

Ojeda, A., McLeod, C., Águila, K., y Pino, M. T. (2018). *Bases para la determinación de las necesidades hídricas del cultivo del calafate in situ, para su adaptación al manejo agronómico*. 1–6.

Ordóñez, J. (2011). ¿Qué Es Cuenca Hidrológica? *Sociedad Geológica de Lima*, 1, 1–44.

Orenzetti, L., y Luis, R. (2010). , *Ricardo Luis*,. *ci*, 1443–1450.

Ortega, R. M. M., Pendás, L. C. T., Ortega, M. M., Abreu, A. P., y Cánovas, A. M. (2009). El coeficiente de correlación de los rangos de spearman caracterización. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 8 (2).

Pacheco, H., Cevallos, R., y Vincés, C. J. (2019). Cálculo del factor C de la RUSLE, en la cuenca del río Carache, Trujillo-Venezuela usando imágenes del Satélite Miranda VRSS-1. *Espacios*, 40(3), 1–11.

Pacheco Henry, M. A. y C. S. (2014). Memorias. *XVI Simposio Internacional Selper*, 20.

Parado Hernandez Jorge Victor, Aguilar Flores Iris Margarita, Melendez Garcia Erika Irais, Miranda Martinez Maria Eugenia, C. A. D. (2016). *Valores del factor de cultivo c de la eups en tres sitios del centro occidente de México*. May 2017.

- Paredes G., L. (2007). *Sistemas de Producción y Economía de la Producción*. 15, 265–277.
- Pat, V. G., Caamal, I., y Ávila, J. A. (2009). Análisis de los niveles y enfoques de la competitividad. *Política Públicas y Economía*, 53, 63–77.
- Pereira, C. (2015). Semana de la Ciencia y Tecnología Jornada de Puertas Abiertas INIA Tacuarembó 20 de mayo de 2015. *Inia*.
- Pérez, M., y García, M. (2013). Aplicaciones De La Teledetección En Degradación De Suelos. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 0212–9426, 24.
- Pérez Nieto, J., Valdés Velarde, E., y Ordaz Chaparro, V. (2012). Vegetal Cover and Soil Erosion in Shaded Coffee Agroforestry Systems. *Terra Latinoamericana*, 30(3), 249–259.
- Peruano, E. (2009). Reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor. In *Normas legales: Decreto supremo N° 017-2009-AG* (pp. 401820–401837).
- Pinedo, J. B., Pineda, C. D., Rural, A., y Saman, R. (1984). *Agricultura de laderas a través de andenes, Perú*. 195–216.
- Porter Michael, E. (1987). *La ventaja competitiva de las naciones* (Primera Ed). Grupo Editorial Patria, S.A. de C.V.
- Portuguez M., D. M. (2015). Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Sigüas utilizando geoinformática. *Anales Científicos*, 76(2), 324.
- Quintero Soto, M. L., Fonseca Hernández, C., y Garrido Segura, J. F. (2008). Revisión de las corrientes teóricas sobre el medio ambiente y los recursos naturales. *Revista Digital Universitaria*, 9(3).
- Quiroga, A., Fernández, R., y Anguil, E. E. A. I. (2018). *Análisis y evaluación de*

propiedades físico hídrica de los suelos.

Quispe, S. (2013). Percepción ambiental del proceso de desertificación en el Perú. *Investigaciones Sociales*, 17(30), 47–57.

Ramírez-ortiz, F. A., y Hincapié-gómez, E. (2007). *Central Y Occidental Del Departamento De*. 58(1), 40–52.

Ramos, G. y N. (2019). Evaluación de peligros geológicos y geohidrológicos de los centros poblados Chagual y Juan El Oso. Región La Libertad, Provincia Pataz, Distrito de Pataz. *Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Dirección de Geología Ambiental y Riesgo Geológico*.

Repano, W., Antonio, H., y Gil, P. (2012). *del Waraira Repano , estado Vargas , Venezuela*. 21, 85–97.

Rodríguez, D. M. (2013). *Diseño de estrategias de gestión con base en la teledetección, para situaciones de amenaza producidas por fenómenos naturales en territorio argentino*.

Rubio.J. (2015). Degradación De Suelos. *Portal de Suelos de La FAO*, 28, 5.

Rueff, H., Rahim, I. ur, y Rodríguez, A. K. and A. (2010). Review of Desarrollo y Perspectivas de los Sistemas de Andener#x2013;as en los Andes Centrales del Per#x2013;a; (Development and Perspectives of Irrigated Terrace Systems in the Peruvian Central Andes), Ann Kendall and Abelardo Rodr#x2013;guez. *Mountain Research and Development*, 30(2), 186–187.

Ruiz, E. J., Aspiazu, M. M., y Coronel, P. W. (2016). *Diagnostico De La Cobertura Vegetal De La Cuenca Hidrografica Del Rio California – Valdivia*. 1, 1–7.

Sabino Rojas, Evelin; Obando, Oscar; Lavado Casimiro, W. (2017). *Nota tecnica : atlas de erosión de suelos por regiones hidrologicas del peru*. *Nota Techni*, 50.

- Salas, J. D. (2000). Hidrología de zonas áridas y semiáridas. *Ingeniería Del Agua*, 7(4), 409.
- Salinas Chávez, E., García, A. E., Miravet Sánchez, B. L., Remond Noa, R., y Cruañas López, E. (2019). Delimitación, clasificación y cartografía de los paisajes de la cuenca Ariguanabo, Cuba, mediante el uso de los SIG. *Revista Geográfica*, 154, 9–30.
- Scota Edigio S., Nani Luis A., Conde Alvaro A., Rojas Alicia C., Castañeda Horacio, P. O. (1989). *Manual de sistematización de tierras para control de erosión hídrica y aguas superficiales excedentes* (S. D. n° 17 Estación Experimental Agropecuaria Paraná (ed.); Segunda ed). INTA- Entre Rios. Rpublica Argentina.
- SEMARNAT. (2009). Cambio climático. Ciencia, evidencia y acciones. In *Naciones Unidas*.
- Silva-García, J. T., Cruz-Cárdenas, G., Ochoa-Estrada, S., Estrada-Godoy, F., Nava-Velázquez, J., y Álvarez-Bernal, D. (2017). Pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del lago de Chapala, Michoacán, México. *Tecnología y Ciencias Del Agua*, 8(6), 117–128.
- Solano, P. R. (2016). *Estimación De La Pérdida De Suelos Por Erosión Hídrica En La Subcuenca Del Río Shullcas 2000 – 2013, Huancayo*. 111.
- Suarez, J. (1987). La Geología. *Deslizamientos: Analisis Geotecnico*, 339–388.
- Sullivan, A. (2002). Bourdieu and education: How useful is Bourdieu's theory for researchers? *The Netherlands' Journal of Social Sciences*, 38(2), 144–166.
- Suñol, S. (2006). Aspectos Teóricos de la Competitividad. *Ciencia y Sociedad*, XXXI(2), 179–198.
- Tapia M., M., y Vásquez, A. (2011). Cuantificación de la erosión hídrica superficial en las laderas semiáridas de la Sierra Peruana. *Ingeniería UC*, VOL. 18, N(ISSN 1316-6832), 42–50.

UNCCD. (2014). La desertificación, esa línea de frente. *Convención de Las Naciones Unidas de Lucha Contra La Desertificación, DESERTIFICATION*, 17.

Urbano, J., y Meneses, L. D. E. (1989). *La desertificación en la planificación del mediofísico*. 375–385.

Wischmeier, W. H., and Smith, D. D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses* (U. S. D. of Agriculture (ed.); Issue December).

Yocelvezky, R. A. (2004). Las contribuciones de Enzo Faletto al pensamiento latinoamericano. *Red de Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España y Portugal, XXII*, 185–201.

ANEXOS

Anexo 1: Precipitaciones medio anuales por estaciones climatológicas sub cuenca Cairani
Camilaca

AÑO	Estación	Estación	Estación	Estación	Estación
	Cairani	Candarave	Ilabaya	Tacalaya	Umalso
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1964	98,7	102,5	0,0	86,2	290,5
1965	38,3	98,9	6,4	9,5	274,8
1966	27,4	112,0	0,5	26,1	232,6
1967	9,7	229,2	1,4	159,9	502,0
1968	115,3	186,5	2,8	112,2	371,1
1969	114,4	163,1	0,5	93,0	482,5
1970	40,7	311,2	0,0	47,5	734,6
1971	98,3	106,3	5,5	117,7	143,0
1972	187,6	218,4	10,0	170,4	598,6
1973	142,9	248,9	28,0	148,1	631,2
1974	189,6	211,5	16,5	180,3	723,0
1975	159,8	205,4	23,0	119,9	851,2
1976	183,7	113,3	22,2	143,6	696,1
1977	125,4	179,9	13,0	153,5	554,9
1978	53,7	117,7	0,0	43,7	313,8
1979	57,9	146,7	2,9	59,9	299,5
1980	10,8	74,4	0,2	31,5	142,3
1981	116,2	246,6	14,6	84,2	470,0
1982	96,7	155,7	9,4	42,2	237,9
1983	8,4	80,9	10,8	0,5	96,2
1984	175,6	365,6	2,3	134,1	396,3
1985	118,3	196,1	1,9	181,4	155,1
1986	172,2	208,7	30,4	244,7	172,3
1987	6,4	112,8	9,0	68,5	192,6
1988	53,9	74,1	1,0	88,1	273,7
1989	153,6	112,4	23,1	161,6	408,3
1990	133,4	83,7	2,7	14,3	188,3
1991	65,8	17,2	0,6	11,1	272,6
1992	40,7	81,5	22,3	9,9	43,8
1993	104,7	146,9	47,4	131,3	159,2
1994	122,7	247,6	1,3	96,9	282,4
1995	112,7	133,1	23,9	88,2	150,0
1996	46,7	75,7	4,6	45,0	249,9
1997	193,9	215,8	24,9	218,9	509,4
1998	81,3	146,6	17,7	118,6	292,0
1999	176,6	319,7	25,5	316,7	507,0
2000	187,5	292,9	21,0	174,2	450,0
2001	281,9	360,8	27,7	285,4	620,0

2002	102,8	192,5	19,4	102,7	716,3
2003	49,1	94,8	2,9	51,5	368,6
2004	114,5	130,5	8,5	69,2	439,6
2005	69,6	103,5	5,0	83,0	432,9
2006	92,3	178,0	6,5	104,3	507,9
2007	58,6	102,2	6,0	62,1	212,1
2008	121,5	124,4	20,5	105,4	242,5
2009	67,9	221,4	2,0	66,7	216,9
2010	30,9	54,8	0,0	23,0	294,4
2011	197,4	349,6	37,9	157,5	563,8
2012	290,2	467,5	49,0	208,8	396,2
2013	144,9	251,5	27,1	52,7	404,6
2014	41,3	96,4	2,6	21,6	213,6
2015	222,1	258,2	56,5	181,3	464,2
2016	56,9	110,2	9,2	64,6	311,3
2017	192,6	283,1	29,2	167,6	432,9
2018	69,2	133,8	6,1	61,0	252,3
2019	140,8	277,8	59,8	136,8	288,4

Fuente: SENAMHI-Tacna

Anexo 2: Promedio mensual de precipitaciones por estaciones climatológicas sub cuenca
Cairani-Camilca

Mes/Estación	Promedio de Precipitación Multianual (mm)				
	Cairani	Candarave	Ilabaya	Tacalaya	Humalzo
Enero	38,91	58,66	4,78	34,88	95,17
Febrero	38,03	61,08	5,97	40,73	93,19
Marzo	18,58	34,23	2,16	19,45	84,20
Abril	1,60	2,44	0,11	0,03	20,73
Mayo	0,69	0,28	0,05	0,00	4,28
Junio	0,38	0,73	0,04	0,08	1,89
Julio	1,03	0,88	0,05	0,04	1,40
Agosto	0,91	1,09	0,06	0,00	4,14
Septiembre	1,17	1,52	0,16	0,00	4,13
Octubre	0,68	1,53	0,02	1,34	5,82
Noviembre	1,15	1,62	0,00	0,85	15,23
Diciembre	9,54	13,29	0,95	8,65	39,95
Total	112,66	177,33	14,34	106,05	370,13

Fuente: SENAMHI-Tacna

Anexo 3: Correlaciones entre factor R versus la Erosión potencial y actual

DISTRITO	Localidad de referencia	FACTOR R 2019 (MJ.mm/ha.hr)	Erosión potencial (t/ha/año)	Erosión actual (t/ha/año)
CAMILACA	Cotaña	109,09	25,94	18,59
	Vilavila	101,22	11,92	8,22
	Tasamuco	98,53	45,69	39,24
	Chillani	98,51	16,41	8,08
	Nuevo Camilaca	98,80	16,29	5,40
	Antiguo Camilaca	97,94	34,46	26,76
	Ñecapujo	97,74	19,75	8,81
	Yarama	99,16	10,03	4,01
	Pacajone	97,44	15,75	5,16
	Cambaya	89,55	7,03	2,36
CAIRANI	Ancocala	97,28	19,43	10,67
	Erpine	97,32	30,92	22,12
	Cairani	96,64	9,17	1,87
	Calacala	101,40	14,53	6,38
	Yarabamba	103,02	20,15	10,35
	Hacienda Paucarani	103,70	19,12	10,51
	Chillihuisa	97,26	9,35	4,00
	Carapampa	96,59	5,84	3,07
	Taucani	97,79	13,99	7,38

Cálculo de nivel de significación de la correlación:

r(R-Erosión actual)	0,24	r(R-Erosión potencial)	0,28
GL= n-2	17	GL= n-2	17
α	0,05	α	0,05
dos colas	0,025	dos colas	0,025
Valor crítico	2,11	Valor crítico	2,11
t(Stat.prueba)	0,063	t(Stat.prueba)	0,073
t(Stat.prueba)	0,943	t(Stat.prueba)	0,878
t Calculado	V. crit Tabla	t Calculado	V. crit Tabla
0,943	2,11	0,878	2,11
Acepta H_0 , no existe correlación		Acepta H_0 , no existe correlación	

Anexo 4: Correlaciones entre factor K versus la Erosión potencial y actual

DISTRITO	Localidad de referencia	FACTOR K (Tn.ha.hr/MJ.mm.ha)	Erosión potencial (t/ha/año)	Erosión actual (t/ha/año)
CAMILACA	Cotaña	0,03	25,94	18,59
	Vilavila	0,02	11,92	8,22
	Tasamuco	0,04	45,69	39,24
	Chillani	0,02	16,41	8,08
	Nuevo Camilaca	0,02	16,29	5,40
	Antiguo Camilaca	0,04	34,46	26,76
	Ñecapujo	0,03	19,75	8,81
	Yarama	0,02	10,03	4,01
	Pacajone	0,04	15,75	5,16
	Cambaya	0,04	7,03	2,36
CAIRANI	Ancocala	0,03	19,43	10,67
	Erpine	0,04	30,92	22,12
	Cairani	0,02	9,17	1,87
	Calacala	0,02	14,53	6,38
	Yarabamba	0,02	20,15	10,35
	Hacienda Paucarani	0,02	19,12	10,51
	Chillihuisa	0,02	9,35	4,00
	Carapampa	0,02	5,84	3,07
	Taucani	0,02	13,99	7,38

Cálculo de nivel se significación de la correlación:

r(K-Erosión actual)	0,65	r(K-Erosión potencial)	0,64
GL= n-2	17	GL= n-2	17
α	0,05	α	0,05
dos colas	0,025	dos colas	0,025
Valor critico	2,11	Valor critico	2,11
t(Stat.prueba)	0,038	t(Stat.prueba)	0,039
t(Stat.prueba)	3,319	t(Stat.prueba)	3,246
t Calculado	V. crit Tabla	t Calculado	V. crit Tabla
3,319	2,11	3,246	2,11
Rechaza H ₀ existe correlación		Rechaza H ₀ existe correlación	

Anexo 5: Correlaciones entre factor LS versus la Erosión potencial y actual

DISTRITO	Localidad de referencia	FACTOR LS	Erosión potencial (t/ha/año)	Erosión actual (t/ha/año)
CAMILACA	Cotaña	8,37	25,94	18,59
	Vilavila	6,10	11,92	8,22
	Tasamuco	10,68	45,69	39,24
	Chillani	7,97	16,41	8,08
	Nuevo Camilaca	8,08	16,29	5,40
	Antiguo Camilaca	9,41	34,46	26,76
	Ñecapujo	7,66	19,75	8,81
	Yarama	4,98	10,03	4,01
	Pacajone	4,14	15,75	5,16
	Cambaya	2,19	7,03	2,36
CAIRANI	Ancocala	6,34	19,43	10,67
	Erpine	8,11	30,92	22,12
	Cairani	4,60	9,17	1,87
	Calacala	7,31	14,53	6,38
	Yarabamba	9,98	20,15	10,35
	Hacienda Paucarani	9,40	19,12	10,51
	Chillihuisa	4,29	9,35	4,00
	Carapampa	2,63	5,84	3,07
	Taucani	7,23	13,99	7,38

Cálculo de nivel de significación de la correlación:

r(LS-Erosión actual)	0,70	r(LS-Erosión potencial)	0,79
GL= n-2	17	GL= n-2	17
α	0,05	α	0,05
dos colas	0,025	dos colas	0,025
Valor crítico	2,11	Valor crítico	2,11
t(Stat.prueba)	0,034	t(Stat.prueba)	0,026
t(Stat.prueba)	3,839	t(Stat.prueba)	4,918
t Calculado	V. crit Tabla	t Calculado	V. crit Tabla
3,839	2,11	4,918	2,11
Rechaza H_0 existe correlación		Rechaza H_0 existe correlación	

Anexo 6: Correlaciones entre factor P versus la Erosión potencial y actual

DISTRITO	Localidad de referencia	FACTOR P	Erosión potencial (t/ha/año)	Erosión actual (t/ha/año)
CAMILACA	Cotaña	1,00	25,94	18,59
	Vilavila	0,90	11,92	8,22
	Tasamuco	1,00	45,69	39,24
	Chillani	0,91	16,41	8,08
	Nuevo Camilaca	0,70	16,29	5,40
	Antiguo Camilaca	1,00	34,46	26,76
	Ñecapujo	0,70	19,75	8,81
	Yarama	0,70	10,03	4,01
	Pacajone	0,90	15,75	5,16
	Cambaya	0,70	7,03	2,36
CAIRANI	Ancocala	0,90	19,43	10,67
	Erpine	1,00	30,92	22,12
	Cairani	0,90	9,17	1,87
	Calacala	0,90	14,53	6,38
	Yarabamba	0,90	20,15	10,35
	Hacienda Paucarani	0,90	19,12	10,51
	Chillihuisa	0,70	9,35	4,00
	Carapampa	0,70	5,84	3,07
	Taucani	0,90	13,99	7,38

Cálculo de nivel de significación de la correlación:

r(P-Erosión actual)	0,671	r(P-Erosión potencial)	0,682
GL= n-2	17	GL= n-2	17
α	0,05	α	0,05
dos colas	0,025	dos colas	0,025
Valor crítico	2,11	Valor crítico	2,11
t(Stat.prueba)	0,037	t(Stat.prueba)	0,036
t(Stat.prueba)	3,506	t(Stat.prueba)	3,615
t Calculado	V. crit Tabla	t Calculado	V. crit Tabla
3,506	2,11	3,615	2,11
Rechaza H0 existe correlación		Rechaza H0 existe correlación	

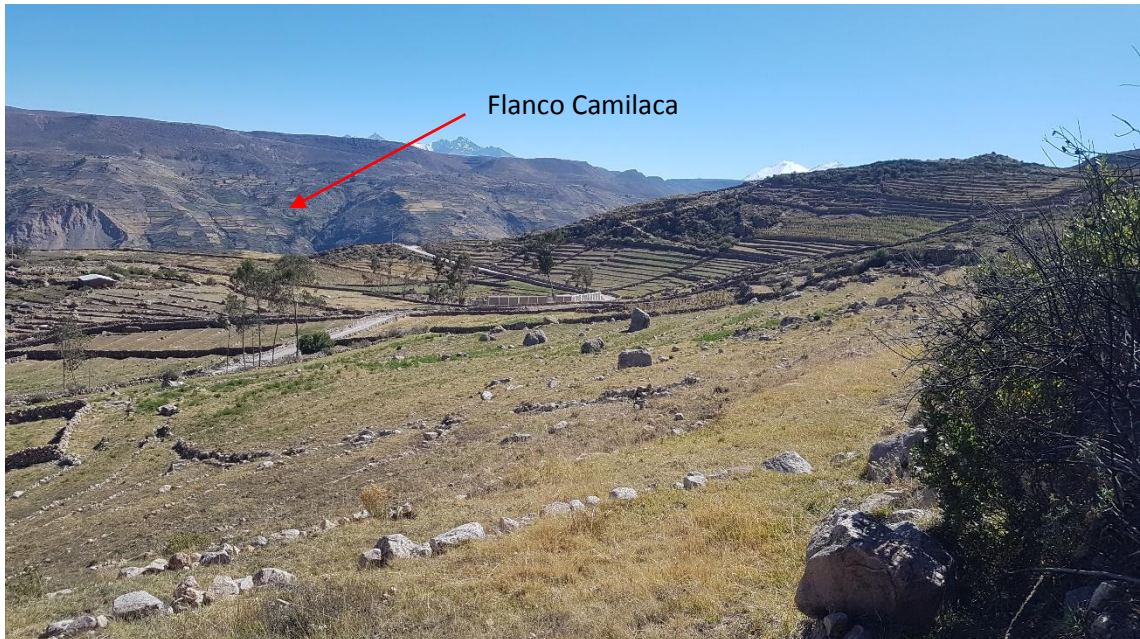
Anexo 7: Correlaciones entre factor P versus la Erosión potencial y actual

DISTRITO	Localidad de referencia	FACTOR C	Erosión potencial (t/ha/año)	Erosión actual (t/ha/año)
CAMILACA	Cotaña	0,72	25,94	18,59
	Vilavila	0,77	11,92	8,22
	Tasamuco	0,86	45,69	39,24
	Chillani	0,54	16,41	8,08
	Nuevo Camilaca	0,47	16,29	5,40
	Antiguo Camilaca	0,78	34,46	26,76
	Ñecapujo	0,64	19,75	8,81
	Yarama	0,57	10,03	4,01
	Pacajone	0,36	15,75	5,16
	Cambaya	0,48	7,03	2,36
CAIRANI	Ancocala	0,61	19,43	10,67
	Erpine	0,72	30,92	22,12
	Cairani	0,23	9,17	1,87
	Calacala	0,49	14,53	6,38
	Yarabamba	0,57	20,15	10,35
	Hacienda Paucarani	0,61	19,12	10,51
	Chillihuisa	0,61	9,35	4,00
	Carapampa	0,75	5,84	3,07
	Taucani	0,59	13,99	7,38

Cálculo de nivel de significación de la correlación:

r(C-Erosión actual)	0,677	r(C-Erosión potencial)	0,57
GL= n-2	17	GL= n-2	17
α	0,05	α	0,05
dos colas	0,025	dos colas	0,025
Valor crítico	2,11	Valor crítico	2,11
t(Stat.prueba)	0,036	t(Stat.prueba)	0,045
t(Stat.prueba)	3,562	t(Stat.prueba)	2,655
t Calculado	V. crit Tabla	t Calculado	V. crit Tabla
3,562	2,11	2,655	2,11
Rechaza H ₀ existe correlación		Rechaza H ₀ existe correlación	

Anexo 8: Panel fotográfico de aspectos relevantes en la sub cuenca Cairani-Camilaca



Se divisa el flanco Camilaca, se muestra comportamiento de las pendientes y su longitud



Comportamiento de la pendiente y longitud de la pendiente, se aprecia que en partes altas y partes medias de la ladera, sub cuenca Cairani.



Suelos en ladera bajo sistema de andenería con fuerte pendiente, actualmente abandonados por efecto de la erosión; vista corresponde a la zona de Calacala-Cairani.



Suelos con niveles críticos de degradación; se observa textura gruesa con abundante modificador textural. Suelos con poca capacidad productiva.



Suelos extremadamente erosionados por acción de lluvia, agua de riego y viento (Camilaca)



Planta de alfalfa, mostrando raíz desnuda expuesta a la superficie a 15 cm de la corona o zona de macollamiento. Este indica que, el nivel del suelo existente originalmente, fue erosionado.



Suelos en proceso de erosión por inadecuada aplicación de agua de riego



Suelo con afloramiento de sales, producto de fertilización excesiva