



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE EROSIÓN HÍDRICA
APLICANDO EL MODELO RUSLE EN LA CUENCA
JEQUETEPEQUE, PERÍODO 1997-2017”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Autores:

Bach. Nadia Dayana Suyon Solorzano

Bach. Lesly Maricela Moreno Avalos

Asesor:

M.Sc. Elvar Renato Miñano Mera

Trujillo - Perú

2020

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a nuestros padres, quienes son nuestro apoyo incondicional en esta ruta de aprendizaje que hoy nos toca recorrer, a los docentes que compartieron con nosotros sus conocimientos y sabiduría de la vida; encaminándonos de tal forma, en la culminación exitosa de este estudio.

AGRADECIMIENTO

Agradecemos al Dios Todopoderoso por ser nuestro inspirador, darnos la vida, salud y bienestar, porque nos da la fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados y porque en su infinita sabiduría permite la existencia en nuestras vidas de seres increíbles llamados padres, los que nos acompañan y hacen de nosotros cada día; ser mejores personas.

A nuestros docentes, que formarán parte de nuestro eterno recuerdo; a los que siempre llevaremos porque se encargan de orientarnos, brindarnos y compartir con nosotros sus conocimientos y experiencias de vida.

Tabla de contenidos

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ECUACIONES	9
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	12
1.1. Formulación del problema	42
1.2. Objetivos.....	42
CAPÍTULO II. MÉTODO	43
2.1. Diseño de investigación	43
2.2. Tipo de diseño de investigación.....	43
2.3. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)	44
2.3.1. Población	44
2.3.2. Muestra	44
2.4. Recursos de información, búsqueda y selección.....	44
2.4.1. Recursos de información.....	44
2.4.2. Búsqueda y selección de información.....	45
2.5. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	47
2.5.1. Técnicas	47
2.5.2. Instrumentos de recolección de datos	47
2.6. Aspectos éticos	47
2.7. Método de Análisis	48
CAPÍTULO III. RESULTADOS	52
Caracterización del área de estudio	52
A. Aspectos físicos	55
B. Aspectos Biológicos	90
Determinación de los factores de la RUSLE	95
Estimación de la tasa de erosión hídrica en la cuenca Jequetepeque	125
Propuesta Ambiental	130
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	157
REERENCIAS	178

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Rangos para determinar la textura del suelo, según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA)	19
Tabla 2 Directrices para la clasificación de la erosión según la pérdida de suelos	25
Tabla 3 La clasificación textural de suelos de acuerdo con el porcentaje de arena, limo y arcilla. .	33
Tabla 4 Clasificación textural de suelos de acuerdo con el porcentaje de arena, limo y arcilla.....	35
Tabla 5 Valores asignados al factor LS.....	38
Tabla 6 Valores de los factores de C, basados en la clasificación del GLC y una reclasificación de los valores del factor.	40
Tabla 7 Valores de los factores de P, basados en la clasificación del GLC y una reclasificación de los valores.	41
Tabla 8 Provincias y distritos de la región Cajamarca, que comprende la cuenca Jequetepeque	52
Tabla 9 Tipos de clima en la cuenca Jequetepeque.....	55
Tabla 10 Estaciones meteorológicas en la cuenca Jequetepeque (Región Cajamarca).....	56
Tabla 11 Subcuencas que conforman la cuenca Jequetepeque	60
Tabla 12 Estratigrafía de la cuenca del río Jequetepeque	65
Tabla 13 Características fisiográficas de la cuenca Jequetepeque	69
Tabla 14 Unidades geomorfológicas que componen la cuenca Jequetepeque	74
Tabla 15 Tipos de suelos en la cuenca Jequetepeque.....	81
Tabla 16 Clasificación de los suelos de acuerdo con los grupos de capacidad de uso mayor	85
Tabla 17 Capacidad de uso mayor (CUM) de suelos de la cuenca Jequetepeque.....	86
Tabla 18 Zonas de vida de la cuenca Jequetepeque	90
Tabla 19 Tipos de cobertura vegetal en la cuenca Jequetepeque	93
Tabla 20 Análisis de datos dudosos y confiables - Estación Asunción.....	105
Tabla 21 Prueba de T de student - Estación Asunción.....	105
Tabla 22 Prueba F de Fisher - Estación Asunción	105
Tabla 23 Análisis de datos dudosos y confiables - Estación Chilete	105
Tabla 24 Prueba de T de student - Estación Chilete.....	106
Tabla 25 Prueba F de Fisher - Estación Chilete	106
Tabla 26 Análisis de datos dudosos y confiables - Estación San Pablo.....	106
Tabla 27 Prueba de T de student - Estación San Pablo	106
Tabla 28 Prueba F de Fisher - Estación San Pablo.....	107
Tabla 29 Análisis de datos dudosos y confiables - Estación Lives	107
Tabla 30 Prueba de T de student - Estación Lives	107
Tabla 31 Prueba F de Fisher - Estación Lives.....	107
Tabla 32 Análisis de datos dudosos y confiables - Estación Llapa.....	108
Tabla 33 Prueba de T de student - Estación Llapa.....	108
Tabla 34 Prueba F de Fisher - Estación Llapa.....	108
Tabla 35 Análisis de datos dudosos y confiables - Estación Augusto Weberbauer	108
Tabla 36 Prueba de T de student - Estación Augusto Weberbauer	109
Tabla 37 Prueba F de Fisher - Estación Monte Grande	109
Tabla 38 Análisis de datos dudosos y confiables - Estación Monte Grande.....	109
Tabla 39 Prueba de T de student - Estación Monte Grande.....	109
Tabla 40 Prueba F de Fisher - Estación Monte Grande	110
Tabla 41 Análisis de datos dudosos y confiables - Estación Contumazá.....	110
Tabla 42 Prueba de T de student - Estación Contumazá.....	110
Tabla 43 Prueba F de Fisher - Estación Contumazá	110
Tabla 44 Análisis de datos dudosos y confiables - Estación Granja Porcón.....	111
Tabla 45 Prueba de T de student - Estación Granja Porcón	111
Tabla 46 Prueba F de Fisher - Estación Granja Porcón	111
Tabla 47 Análisis de datos dudosos y confiables - Estación Quilcate	111
Tabla 48 Prueba de T de student - Estación Quilcate.....	112

Tabla 49 Prueba F de Fisher - Estación Quilcate	112
Tabla 50 Análisis de datos dudosos y confiables - Estación Magdalena	112
Tabla 51 Prueba de T de student - Estación Magdalena	112
Tabla 52 Prueba F de Fisher - Estación Magdalena	113
Tabla 53 Análisis de datos dudosos y confiables - Estación San Miguel	113
Tabla 54 Prueba de T de student - Estación San Miguel.....	113
Tabla 55 Prueba F de Fisher - Estación San Miguel	113
Tabla 56 Análisis de datos dudosos y confiables - Estación San Juan.....	114
Tabla 57 Prueba de T de student - Estación San Juan.....	114
Tabla 58 Prueba F de Fisher - Estación San Juan	114
Tabla 59 Factor R de las estaciones meteorológicas.....	115
Tabla 60 Obtención del factor K según el tipo de suelo	117
Tabla 61 Porcentaje de área según el tipo de suelo y factor K.....	118
Tabla 62 Valoración de la longitud y gradiente de la pendiente	121
Tabla 63 Valores correspondientes al tipo de cobertura vegetal.....	123
Tabla 64 Cuantificación de la erosión potencial en la cuenca Jequetepeque	125
Tabla 65 Cuantificación de la erosión actual en la cuenca Jequetepeque	126
Tabla 66 Programas que componen el Plan de Manejo Ambiental.....	133
Tabla 67 Metas de las acciones del Plan de Manejo Ambiental	134
Tabla 68 Fortalecimiento organizacional e institucional de los actores principales de la cuenca..	137
Tabla 69 Concientización sobre uso y cuidado de recursos naturales de la cuenca.....	140
Tabla 70 Educación en gestión de riesgos erosivos.	141
Tabla 71 Manejo adecuado de Áreas Naturales de la cuenta Jequetepeque.....	143
Tabla 72 Conservación de suelos con prácticas mecánicas.....	146
Tabla 73 Reforestación de la cuenca Jequetepeque	149
Tabla 74 Manejo de los residuos sólidos en la cuenca.....	152

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Triángulo de las clases texturales básicas del suelo, según el tamaño de partículas	33
Figura 2. Tipo de investigación según su clasificación.....	43
Figura 3. Fases de la Metodología de la presente investigación	49
Figura 4. Diagrama de flujo del factor de erosividad de lluvias (R).....	50
Figura 5. Diagrama de flujo del factor de erodabilidad del suelo (K).....	50
Figura 6. Diagrama de flujo del factor de longitud y gradiente de pendiente (LS).....	51
Figura 7. Diagrama de flujo del factor cobertura vegetal (C)	51
Figura 8. Mapa de ubicación política de la cuenca Jequetepeque.....	53
Figura 9. Mapa de climatología de la cuenca Jequetepeque	58
Figura 10. Mapa de precipitación de la cuenca Jequetepeque	59
Figura 11. Mapa de hidrografía de la cuenca Jequetepeque.....	62
Figura 12. Mapa de topografía de la cuenca Jequetepeque.....	64
Figura 13. Mapa de geología de la cuenca Jequetepeque	67
Figura 14. Mapa de Fisiografía de la cuenca Jequetepeque.....	73
Figura 15. Mapa de geomorfología de la cuenca Jequetepeque.....	77
Figura 16. Suelos de la cuenca Jequetepeque	83
Figura 17. Mapa de uso mayor de suelos de la cuenca Jequetepeque.....	89
Figura 18. Mapa de zonas de vida de la cuenca Jequetepeque.....	92
Figura 19. Mapa de la cobertura vegetal en la cuenca Jequetepeque.....	94
Figura 20. Análisis de consistencia visual de precipitación de la estación “Granja Porcón”	95
Figura 21. Análisis de consistencia visual de precipitación de la estación “San Juan”	96
Figura 22. Análisis de consistencia visual de precipitación de la estación “Asunción”	96
Figura 23. Análisis de consistencia visual de precipitación de la estación “Magdalena”	96
Figura 24. Análisis de consistencia visual de precipitación de la estación “Contumazá”	97
Figura 25. Análisis de consistencia visual de precipitación de la estación “Chilete”	97
Figura 26. Análisis de consistencia visual de precipitación de la estación “San Pablo”.....	97
Figura 27. Análisis de consistencia visual de precipitación de la estación “Llapa”.....	98
Figura 28. Análisis de consistencia visual de precipitación de la estación “San Miguel”	98
Figura 29. Análisis de consistencia visual de precipitación de la estación “Lives”.....	98
Figura 30. Análisis de consistencia visual de precipitación de la estación “Monte Grande”	99
Figura 31. Análisis de consistencia visual de precipitación de la estación “Quilcate”	99
Figura 32. Análisis de consistencia visual de precipitación de la estación “Augusto Weberbauer”.....	99
Figura 33. Determinación de la estación base.....	100
Figura 34. Análisis doble masa de la estación Monte Grande	101
Figura 35. Análisis doble masa de la estación Granja Porcón	101
Figura 36. Análisis doble masa de la estación Asunción	101
Figura 37. Análisis doble masa de la estación San Juan.....	102
Figura 38. Análisis doble masa de la estación Chilete	102
Figura 39. Análisis doble masa de la estación Lives.....	102
Figura 40. Análisis doble masa de la estación San Llapa	103
Figura 41. Análisis doble masa de la estación Contumazá	103
Figura 42. Análisis doble masa de la estación San Miguel.....	103
Figura 43. Análisis doble masa de la estación San Pablo	104
Figura 44. Análisis doble masa de la estación Quilcate	104
Figura 45. Análisis doble masa de la estación Augusto Weberbauer	104
Figura 46. Mapa de erosividad hídrica o factor R.....	116
Figura 47. Mapa de erodabilidad del suelo o factor K	120
Figura 48. Porcentaje de área según longitud y gradiente de pendiente	121
Figura 49. Mapa de longitud y gradiente de pendiente o factor LS	122
Figura 50. Mapa de cobertura vegetal o factor C.....	124
Figura 51. Porcentaje de erosión potencial en la cuenca Jequetepeque	126

Figura 52. Porcentaje de erosión actual en la cuenca Jequetepeque	127
Figura 53. Mapa del nivel de erosión potencial de la cuenca Jequetepeque	128
Figura 54. Mapa de erosión actual de la cuenca Jequetepeque	129
Figura 55. Cronograma de los programas y proyectos.....	156
Figura 56. Costos de Programas y Proyectos del Plan de Manejo	156

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Modelo de la Ecuación de Pérdida de Suelo Universal Revisada (RUSLE)	26
Ecuación 2. Fórmula erosión potencial	27
Ecuación 3. Factor de erosividad de la lluvia R	28
Ecuación 4. Energía cinética de la lluvia	28
Ecuación 5. Factor R - Método de Wischmeier y Smith (1978)	29
Ecuación 6. Factor R- Método de Morgan (1977)	29
Ecuación 7. Factor R – Método de Foster	29
Ecuación 8. Factor R – Método Roose	29
Ecuación 9. Factor R - IMF.....	30
Ecuación 10. Facto K – Método de Mannerts	30
Ecuación 11. Media geométrica del diámetro de las partículas (mm)	31
Ecuación 12. Factor K – Método Wischmeier y Smith (1978)	31
Ecuación 13. Determinación de factor K	31
Ecuación 14. Determinación del factor K (% arena).....	32
Ecuación 15. Determinación del factor K	32
Ecuación 16. Determinación del factor K (% materia orgánica).....	32
Ecuación 17. Determinación del factor K (% alto de arena)	32
Ecuación 18. Factor L- Método Renard	39
Ecuación 19. Determinación de exponente m	39
Ecuación 20. Determinación de exponente B	39
Ecuación 21. Factor S	39
Ecuación 22. Factor S (<9%)	39
Ecuación 23. Factor S (≥9%)	39
Ecuación 24. Factor LS	39

RESUMEN

En la actualidad la pérdida de suelo por acción de la erosión hídrica es considerada un problema medioambiental a nivel mundial, debido a los efectos adversos que genera, tales como, la pérdida de la biodiversidad y productividad de los suelos es por ello que en esta investigación se determinó el nivel de erosión hídrica en la cuenca Jequetepeque durante el periodo 1997- 2017, utilizando como modelo la ecuación universal rectificada de pérdida de suelos (RUSLE). La metodología consistió en la recolección de los datos principales siendo estos: la precipitación, modelo digital de elevación (DEM), shp de tipo de suelos y cobertura vegetal; primero se realizó una caracterización física-biótica de la cuenca, luego se procedió a determinar los factores influyentes en el proceso de erosión (R, K, LS y C) mediante SIG, se estimó la erosión potencial/actual y finalmente se planteó una propuesta de conservación. Se concluye que el nivel de erosión hídrica actual es de tipo normal (42%), ligera (12%), moderada (11%), severa (24%), muy severa (11%) y catastrófica (0.09%).

Palabras clave: Erosión, suelo, Modelo Rusle, Sistemas de información geográfica (SIG)

ABSTRACT

At present, the loss of soil due to the action of water erosion is considered an environmental problem worldwide, due to the adverse effects it generates, such as the loss of biodiversity and soil productivity, which is why in this research the level of water erosion in the Jequetepeque basin was determined during the period of 1997 to 2017, using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) as a model. The methodology consisted of the collection of data such as: precipitation, Digital Elevation Model (DEM), shapefile of soil type and plant cover; first, an agro-pedological characterization of the basin was carried out, then the influencing factors in the erosion process (R, K, LS and C) were determined using GIS, the potential/current erosion was estimated and finally a proposal was made for conservation of the soil. It is concluded that the current level of water erosion is normal (42%), slight (12%), moderate (11%), severe (24%), very severe (11%) and catastrophic (0.09%).

Keywords: erosion, soil, RUSLE model, geographic information systems (GIS)

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La erosión es un proceso natural que consiste en la remoción o desprendimiento del suelo de la superficie de la tierra, este fenómeno contribuye a la formación del suelo cuando se da a tasas bajas; sin embargo, cuando estas se incrementan debido a las acciones antrópicas se generan impactos negativos en este recurso, tales como, la destrucción y pérdida de suelos; los principales causantes pueden ser el agua (erosión hídrica), viento (erosión eólica) y labranza (Oliveira y Teixeira, 2014, p. 12).

En lo que respecta a la erosión hídrica, esta tiene origen en la precipitación, ya que el flujo superficial generado por este fenómeno natural transporta partículas de suelo que han sido desprendidas por el impacto de gotas de lluvia o la escorrentía superficial (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2015); los efectos generados por esta acción presentan diversos niveles de intensidad, incluso en ocasiones pueden ser irreversibles (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú [SENAMHI], 2017, p. 4).

En la actualidad la pérdida de suelo por acción de la erosión hídrica es considerada un problema medioambiental a nivel mundial, debido a que ocasiona efectos como la pérdida de la biodiversidad y productividad de los suelos. Según la FAO (2015) la erosión de suelos ocasiona una pérdida media mundial de 0.3% del rendimiento anual de los cultivos, por lo que se estima que para el 2050 esta tasa sea del 10%, lo que equivaldría a 150 millones de hectáreas de producción perdidas.

Los principales factores naturales que intervienen en el fenómeno de la erosión hídrica son: las lluvias (precipitaciones), las características del suelo (textura, materia orgánica, carbono, etc.), la pendiente del terreno, el tipo de vegetación y la

aplicación de medidas de conservación (Ocampo, Medina y Lovaton; 1996 en Del Águila, 2010, p.1)

La pérdida de suelos en Perú es un problema recurrente que necesita ser estudiado para prevenir problemas ambientales; sin embargo, la información con la que se cuenta en la actualidad es limitada, según Barturén (2016) los últimos estudios fueron realizados por el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA) en 1996, pero de manera cualitativa. Por otro lado, se estima que en nuestro país existe un total de 8 millones de hectáreas que han sido clasificadas como severamente erosionadas y 31 millones de tipo moderadamente erosionadas, esta problemática genera efectos adversos en la productividad agrícola y ganadera; sobre todo en las partes altas, y, por ende, el decrecimiento de la economía [Ministerio de Agricultura y Riego (MINAGRI), s.f].

Tal es el caso de la Cuenca Jequetepeque que se encuentra situada entre las coordenadas 720945.88 m latitud Sur y 9225781.03 m de Longitud Oeste, abarcando territorios de las regiones La Libertad y Cajamarca en un 33% y 67%, respectivamente. Según SENAMHI (2017) dicha área pertenece a la región hidrológica Pacífico 5 y es muy vulnerable a los impactos naturales y antrópicos vinculados con el recurso hídrico, por lo que ha sido considerada con riesgo de erosión alto (30.9 ton/ha/año), en función a la clasificación de la FAO. Además, desde tiempos muy remotos ha presentado problemas por erosión hídrica, un ejemplo claro de ello, son los registrados en los periodos 1982-83 y 1997-98; puesto que en estos periodos se suscitó el fenómeno el Niño, caracterizándose por presentar lluvias intensas y la generación de grandes cantidades de sedimentos (Stern y Echavarría, 2013, p.1).

Con el desarrollo de los sistemas de información geográfica (SIG) se facilitó el cálculo de la estimación de pérdida de suelo anual, ya que es posible el análisis de

datos geoespaciales mediante la aplicación de modelos que permiten estimar dichos resultados, uno de estos es la Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelos (RUSLE) establecida por Wischmeier y Smith en 1978. Esta expresión matemática es el producto de los siguientes factores: erosividad de lluvia (R), erodabilidad del suelo (K), pendiente de terreno (LS), cobertura vegetal (C) y protección y/o conservación (P).

En la actualidad, la pérdida de suelos por erosión hídrica es un tema de relevancia social, ambiental y económica en el Perú, por lo que el desarrollo de este tipo de estudios resultaría oportuno. La importancia social radica en que el desarrollo de esta investigación permite estimar los efectos de los fenómenos meteorológicos/antrópicos y plantear medidas de conservación, con el objetivo de amortiguar estos procesos; evitando la migración y garantizando los medios de subsistencia necesarios.

En lo que concierne a los aspectos ambientales y económicos, este estudio posibilita el planteamiento de prácticas de conservación que atenúen la degradación de la capa superior del suelo y por consiguiente la de los ecosistemas aledaños que puedan verse afectados mediante la disminución de los recursos naturales que sirven como fuente de ingresos para las poblaciones, además de brindar servicios ecosistémicos.

Antecedentes

Ezequiel et al., (2020) evaluaron la posible erosión e inundación de suelo del estado de Ekiti (Nigeria), aplicando la metodología RUSLE y HAND, respectivamente. Para ello, realizaron un estudio físico de la zona de estudio, se calculó el factor R con datos de lluvia mensual de 37 años; el factor K fue obtenido mediante el análisis de muestras de suelo de 150 ubicaciones, el factor topográfico (LS) fue calculado a través de un ráster con el software ArcGIS, para el factor C se le asignó valores estándares según el tipo de cultivo, y el factor P fue considerado 1 debido a que actualmente no hay prácticas de conservación de suelo. Se concluye que la tasa de pérdida de suelo total anual fue alrededor de 1.5 millones de toneladas; a su vez, 7508 hectáreas se perdieron a un ritmo mayor que la tasa de pérdida de suelo tolerable.

Blanco (2019) determinó la tasa de erosión hídrica en la microcuenca del cauce 31 de diciembre (Nicaragua) mediante la aplicación del modelo RUSLE. En primer lugar se caracterizó físicamente la zona de estudio, para el cálculo del factor de erosividad de lluvia (R) se tomó datos de 7 estaciones pluviométricas y se utilizó el Índice Modificado de Fourier (IFM), el factor K fue determinado mediante el análisis de muestras de suelo, la longitud y gradiente de la pendiente (LS) se calculó a través de una capa ráster, para el obtención del factor C (cobertura de suelo) se utilizó capas vectoriales, en el caso del factor P se sumió que no existen prácticas de conservación, por lo tanto este fue 1. El autor concluye que la tasa de erosión promedio anual alta representa 25-100 ton/ha/año, mientras que, 6 a 25 ton/ha/año son de tipo moderada.

Mukanov et al., (2019) detectaron, estimaron y mapearon áreas de terreno vulnerables a la erosión del suelo utilizando el modelo RUSLE a través de un SIG (Arc GIS 10.2). La información de entrada requerida para el cálculo de los factores fue: datos de precipitación (R) con estaciones georreferenciadas, mapa de suelos de la zona

de estudio (K), procesamiento NDVI (C) y mapas de gestión de tierras (P). La erosión total del suelo fue 565368.7 ton/año, la pérdida promedio anual de suelo varía de 0 a 32 (Ton/año), el 48% de la cuenca no presenta erosión; mientras que, en el 52% restante la erosión oscila entre 1 a 32 ton/año; por otro lado, se considera que la erosión es relativamente moderada debido a la baja inclinación de la colina y la baja precipitación anual.

Fayas et al., (2019) evaluaron la gravedad de la erosión de la cuenca del río Kelani en Sri Lanka utilizando el modelo RUSLE con un SIG. La información pluviométrica se tomó de 14 estaciones seleccionando un periodo de 20 años, los datos para el factor K fueron obtenidos del mapa de suelos de la cuenca, se utilizó un DEM para la determinación del factor topográfico LS, el factor de cobertura se calculó a través de capas shapefiles y el P en base a mapas de uso del suelo y cobertura. Se identificó un 70% de gravedad de erosión de tipo baja- moderada (12 ton/ha/año), además; la pérdida de suelo anual promedio varió de 20-103.7 ton/ha/año con una pérdida media anual de 10.9 ton/ha/año.

Castro et al., (2017) estimaron la erosión hídrica potencial de la zona cafetera del Quindío-Colombia mediante los modelos USLE/RUSLE. El factor de erosividad hídrica (R) fue calculado de 19 estaciones meteorológicas tomando datos de un periodo de 11 años, para la determinación de la erodabilidad (K) se tomó muestras de suelo del lugar de estudio, las cuales fueron cuantificadas usando un simulador de lluvia, el factor topográfico (LS) fue calculado a través de una imagen ASTER GDEM, finalmente se trabajó con el álgebra de mapas del software ArcGIS. El estudio demostró que más del 27% (100 ton/ha/año) de la zona estudiada presenta pérdida de suelo de tipo moderada, alta y muy alta, mientras que, el 73% restante (10-25 ton/ha/año) erosión de tipo ligera a baja.

Chen et al., (2017) simularon la tasa de erosión del suelo en una cuenca kárstica del suroeste de China aplicando el modelo RUSLE y tomando como base SIG y teledetección. La investigación inició con la caracterización de la zona de estudio y luego se procedió con el cálculo de los factores; los datos meteorológicos tuvieron un periodo de 20 años (factor R), el mapa de uso de suelo fue elaborado en base a imágenes satelitales (factor C), en el topográfico se utilizó un DEM (factor LS) y para la estimación del factor K se tomaron muestras de suelo. Se logró distinguir 6 niveles de erosión: mínimo, bajo, medio, alto, muy alto y extremadamente alto; por otro lado, la tasa de erosión anual fue 30.24 Mg/ha/año.

Ostovari et al. (2017) evaluaron la erosividad del suelo mediante la integración del modelo RUSLE, SIG y teledetección. El factor de erosividad hídrica (R) se calculó utilizando el IFM, la erodabilidad (K) se estimó mediante gráficos de erosión, el factor de cobertura (C) se trabajó usando el NDVI, el factor topográfico se elaboró en base a un DEM, finalmente el factor P fue considerado 1. El promedio del factor K estimado fue 0.014 th/MJ/mm, este presenta alta influencia en el modelo RUSLE, ya que la pérdida de suelo fue 11 ton/ha/año; además el % correspondiente de clasificación de la erosión fue 73.64% muy bajo, 14.79% bajo, 10.19% moderado y 1.25% grave.

Ganasri y Remash (2015) estimaron la pérdida de suelo de la cuenca Nethravathi mediante la aplicación del modelo RUSLE y utilizando un SIG. Para el cálculo del factor de erosividad hídrica se tomaron datos de 12 estaciones meteorológicas correspondientes a un periodo de 10 años, las características del suelo fueron tomadas del mapa de suelos de la zona de estudio y a su vez se recolectaron y analizaron muestras, el factor topográfico fue calculado a través de un DEM, el factor C a través de imágenes satelitales y el factor de conservación fue tomado como 1. La

pérdida de suelo potencial anual estimada fue 473.339 ton/año la cual guarda relación con el sedimento medido (441.870 ton/año), además se concluye que si aumenta el área agrícola la tasa de erosión es 14673.5 ton/año.

Dioses y Pérez (2018) estimaron la tasa de erosión de suelos de la cuenca hidrográfica del río Piura mediante la metodología RUSLE y un SIG. El factor de precipitación (R) se calculó a través de la interpolación de la precipitación mensual (1981-2016), los datos para calcular el factor de erodabilidad (K) fueron obtenidos de SOILDGRID, el factor topográfico (LS) se estimó mediante un DEM, para el factor de cobertura vegetal (C) se utilizó el shape del Ministerio del Ambiente (MINAM), finalmente el factor de prácticas de conservación (P) tomó valores entre 0 y 1. La tasa de erosión de grado severa estimada en un escenario normal representa el 7.81% del área de la cuenca, mientras que, en un escenario crítico corresponde al 14.91%.

Nakaya (2018) estimó la pérdida de suelo media anual de la cuenca del río Tingo mediante el uso del modelo RUSLE y un SIG. La investigación fue desarrollada en tres etapas; la primera consistió en la recopilación de información temática de la zona de estudio, la segunda fue realizada en campo, por lo que se tomaron muestras de suelo e identificó la cobertura vegetal y las prácticas de conservación, la tercera etapa se basó en el análisis de muestras y procesamiento de información y modelamiento de información geoespacial. Los autores concluyen que la tasa de pérdida de suelo media anual estimada es menor a 10 ton/ha/año, además la mayor erosión se da en zonas con alta pendiente y poca cobertura vegetal.

Bases Teóricas

El suelo

El suelo es la capa superior de la corteza terrestre que está compuesta por partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y microorganismos. Su formación

es un proceso continuo en el que intervienen el substrato de rocas, los microorganismos y las condiciones climáticas. La presencia de los diversos nutrientes en el suelo se debe a la descomposición de plantas y animales por acción de los microorganismos, estos a su vez, producen ácidos que inducen el rompimiento de las rocas, lo que justifica la existencia de algunos minerales (Solís y López, 2003, p. 10).

Propiedades físicas del suelo

- **Textura:** Son aquellas proporciones (porcentaje en peso) en las que se encuentran los constituyentes del suelo, tales como, la arena (gruesa, media y fina), limo y arcilla. De acuerdo con la ciencia que estudia los suelos (edafología) las partículas que lo conforman son clasificadas en elementos gruesos ($d > 2\text{mm}$) y finos ($d < 2\text{mm}$). Por otro lado, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA) lo clasifica de la siguiente manera (Gisbert et al., 2010):

Tabla 1

Rangos para determinar la textura del suelo, según el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA)

Fracción del suelo	Diámetro límite (mm)
Arena muy gruesa	2.00 - 1.00
Arena gruesa	1.00 - 0.50
Arena Media	0.50 - 0.25
Arena fina	0.25 - 0.10
Arena muy fina	0.10 - 0.05
Limos	0.05 - 0.002
Arcilla	Menos de 0.002

Fuente: Tomada de "La textura del suelo" por Gisbert et al., 2010

- **Porosidad:** Hace referencia al porcentaje de volumen que no está relleno de material sólido, algunos suelos pueden presentar dos tipos de poros: macroporos y microporos; los primeros son responsables de la filtración del agua y aireación,

mientras que, los segundos se encargan de la retención de nutrientes (Rucks et al., 2004).

- **Estructura:** Es considerada como “el arreglo de las partículas del suelo”, mediante esta característica se determina el espacio entre ellas, se clasifica en macro y microestructura, la primera se compone de partículas secundarias y primarias y son visibles a simple vista, por otro lado, la segunda se refiere al arreglo de partículas primarias para dar origen a las secundarias (Rucks et al., 2004).
- **Consistencia:** Atributo que explica la resistencia que presenta un suelo a una fuerza que pretenda deformarlo o generar una ruptura. Se encuentra estrechamente relacionado con la humedad, de acuerdo con ello, puede ser dura, muy dura y suave (FAO, s.f.).
- **Color:** Es variado y depende de los componentes y propiedades que posee el suelo, por ejemplo, el contenido de materia orgánica, el porcentaje de humedad o el grado de oxidación de los minerales presentes, es utilizado usualmente para diferenciar los perfiles del suelo (FAO, s.f.).

Erosión

Es un proceso natural producto de la incidencia de agentes externos en la “Edafósfera” debido a que es la zona de la corteza más sensible. Dichos factores, intervienen buscando eliminar el exceso de energía potencial de las zonas continentales; dando lugar a la formación y modelamiento del suelo, a través del sol y la lluvia como se cree desde el siglo XII; no obstante, este proceso puede acelerarse con las actividades humanas (Almorox et al., 2011, p. 9).

La Investigación sobre la erosión hídrica

Los primeros estudios sobre la erosión fueron realizados entre los años 1877 y 1895 por un edafólogo alemán llamado Wollny, quien utilizó pequeñas parcelas para analizar la influencia de la vegetación en la protección del deterioro de la estructura del suelo. Este tipo de estudios también se incrementaron en los EE. UU desde 1850, hasta que, en 1907, se decide declarar la política de protección del suelo por parte de USDA (Hudson, 2006, p.10).

Los primeros estudios cuantitativos sobre erosión fueron llevados a cabo en 1915 por el Forest Service, seguidos por Miller en 1917; logrando publicar resultados en 1923. A estos, siguieron trabajos que utilizaron el mismo método; siendo respaldados por el Congreso en 1928 (Hudson, 2006, p.10).

Todas estas investigaciones fueron de tipo aplicada y permitieron a BENNET, establecer inicialmente una red de diez estaciones experimentales, para posteriormente ampliar a cuarenta y cuatro; incluyendo experimentos sobre el control de la erosión y escorrentía de pequeños desagües; sin embargo, no se analizaron los procesos de erosión.

Fue en la década de los años 1930, que por primera vez Borst, Woodburn y Musgrave; realizaron a detalle un estudio sobre la precipitación y análisis de la acción mecánica de la misma sobre el suelo (Hudson, 2006, p.10).

A partir de ello, el descubrimiento acerca de la importancia del factor “impacto de las gotas de lluvia” en el proceso de erosión del suelo, no solo permite explicar por qué la erosión es casi nula en tierras con amplia cobertura vegetal y porqué los esfuerzos llevados a cabo durante 7000 años para proteger a la tierra de la erosión; fueron fallidos, sino que da paso a la formulación de posibles soluciones. Sin embargo, Ellison descubrió el verdadero rol de la lluvia en los procesos de

erosión hídrica, demostrando que la presencia de una amplia cobertura vegetal evita el impacto de la energía cinética de las gotas de la lluvia (Hudson, 2006, p.10).

Erosión Hídrica:

La erosión hídrica es el proceso por el cual se produce el desprendimiento, transporte y deposición de las partículas de suelo, esta se puede originar de manera natural o acelerada.

- **Erosión Natural:** Ocasionada por la acción de los fenómenos naturales, se caracteriza por ser lenta, lo que significa que se requerirían miles de años para producir efectos negativos en la superficie terrestre, además, sería prácticamente imposible, puesto que el suelo se regenera regularmente, a través de procesos de descomposición (Rodríguez et al., 2004).
- **Erosión acelerada:** Ocasionada por la acción antrópica, debido a que se hace uso inadecuado del suelo, practicando actividades como: la deforestación, sobrepastoreo, cultivos en limpio, etc.); que conllevan al desprendimiento del suelo por acción del agua (Rodríguez et al., 2004).

Agentes que intervienen en la erosión hídrica

- **La energía cinética de la gota de lluvia:** La energía de las lluvias impacta el suelo provocando erosión por salpicadura, cuyas partículas desprendidas son arrastradas pendientes abajo. Dicho fenómeno depende en gran parte de la capacidad de filtración que presenta el suelo (Cisneros et al., 2012).
- **La escorrentía en movimiento:** Este proceso hidrológico desprende y transporta una determinada cantidad de suelo dependiendo del caudal y velocidad del agua. Según el movimiento del fluido se distinguen dos tipos de flujo: laminar y turbulento; el primero ocasiona la erosión laminar, mientras que el segundo la

erosión en surcos, transportando a la vez la mayor cantidad de sedimentos (Ares y Varni, 2016).

- **La gravedad:** La gravedad influye en mayor magnitud en suelos con pendientes elevadas o que se encuentran mojados. Algunos ejemplos del efecto de la gravedad son los deslizamientos de laderas y/o nieve, movimientos en masa y erosión lateral de la sinuosidad de cuerpos lóticos (Troeh et al., 1991).

Principales formas de erosión hídrica

- **Erosión Laminar:** Se origina cuando la lluvia impacta en el suelo ocasionando el esparcimiento de este, dando lugar a la formación de una delgada capa sobre la superficie y cuando la cantidad de la lluvia excede la capacidad de infiltración del suelo; además, este proceso conlleva a la pérdida de arcilla, humus y algunos nutrientes del suelo (Vásquez, 2000, citado en Nakaya, 2018).
- **Erosión en surcos:** Tiene origen en el escurrimiento superficial de las aguas, es el tipo de erosión más visible y se concentra en pequeños canales irregulares del suelo que presentan inadecuado manejo o falta de cobertura vegetal (FAO, 2000).
- **Erosión en cárcavas:** Es similar a la erosión en surcos, se diferencia porque es más intensa, las grandes concentraciones de agua incrementan el área de los surcos hasta convertirlo en zanjas denominadas cárcavas (FAO, 2000).
- **Erosión por salpicadura:** Se origina cuando las gotas de lluvia impactan en agregados inestables de suelo desnudo, generando pequeñas aberturas y liberación de partículas que a la larga pueden formar una costra superficial que impide la infiltración. Las arenas finas son más susceptibles a este proceso (Del Águila, 2010).

Factores determinantes en la erosión hídrica

Según Tayupanta (1993) son aquellos que aceleran la pérdida del suelo y generan la disminución de su productividad. Resaltando los siguientes:

- **Precipitación:** Es un factor natural producto de la condensación de las nubes, y se relaciona con la cantidad de suelo erosionado; a través de la incidencia de sus características como la intensidad, cantidad, duración, distribución y frecuencia.
- **Características del suelo:** La distribución de las partículas según su tamaño, aspereza superficial, humedad inicial y la profundidad del perfil son las más resaltantes. De tal forma, los suelos arenosos y limosos, al ser de textura gruesa están más expuestos a la erosión.
- **Topografía:** El relieve, el ángulo y la longitud de pendiente influyen en gran medida en el proceso de la erosión. El ángulo y la longitud de la pendiente guardan una relación directamente proporcional con la cantidad de suelo transportado hacia abajo, en el caso de las pendientes del 5 al 10%, la erosión incrementa considerablemente.
- **Cobertura Vegetal:** La vegetación cumple un rol muy importante en la prevención de la erosión, debido a que disipa la energía cinética de las gotas de lluvia, evitando que impacten directamente al suelo. La densidad y el tipo de vegetación son características de este factor y guardan una relación inversa con el proceso erosivo.
- **Manejo:** Las malas prácticas de uso del suelo aceleran el proceso erosivo, siendo las de mayor impacto el empleo de la maquinaria agrícola, excesivo laboreo, preparación del terreno en sentido de la pendiente y la inadecuada aplicación del agua para riego.

- **Costumbres tradicionales:** La tumba, roza y quema generan efectos no favorables en el suelo, dentro de los cuales se encuentra la erosión.

Tasas de erosión

Cisneros et al. (2012) sostienen que “Una tasa de erosión tolerable sería aquella pérdida de suelo anual equivalente a la tasa de formación del mismo suelo”

Existen directrices para las tasas de erosión que han sido establecidas por la FAO hace varios años pero que aún se usan:

Tabla 2

Directrices para la clasificación de la erosión según la pérdida de suelos

Erosión Clases	Pérdida de suelos	
	[t/ha/año]	[mm/año]
Nula o Ligera	< 10	< 0.6
Moderada	10-50	0.6 – 3.3
Alta	50-200	3.3 – 13.3
Muy alta	> 200	> 13.3

Nota: Estos valores pueden ser tomados como referencia en países que no tengan establecido un rango de tasa de erosión moderada.

Modelos para estimar la pérdida de suelo

Son aquellos que nos permiten predecir la intensidad de la erosión por acción hídrica y se clasifican de diversas formas:

Por un lado, tenemos a los tipos de modelos según la escala de análisis; pudiendo ser de escala espacial, parcela experimental y continental. También están los modelos clasificados según la forma del sistema físico; como la representación de la topografía. Además, es posible clasificar los modelos respecto a la forma de las relaciones que fundamentan los procesos de erosión; dentro de ellos tenemos a los modelos base física y empíricos (Montoya, 2009, pp. 52 y 53).

Modelo de la Ecuación de Pérdida de Suelo Universal Revisada (RUSLE)

Es un método diseñado para solucionar las limitaciones de la metodología del modelo original (USLE), predecir la erosión del suelo y posteriormente planificar su conservación. Además, mediante su uso es posible determinar el rendimiento de los sedimentos en las cuencas. Sin embargo, solo puede ser utilizado en los casos que se requiera estimar la pérdida de suelo por erosión laminar y erosión en surcos, mas no en cárcavas (FAO, s.f).

Este modelo se sustentó en el análisis estadístico de 10 000 campos-año y de los factores que representan la erosividad de las precipitaciones, vegetación, erodabilidad del suelo y la topografía (Wischmeier y Smith, 1978 citado en Almoza et al., 2007).

El modelo matemático de este método se indica en la siguiente ecuación (FAO, s.f):

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad \text{Ecuación 1. Modelo de la Ecuación de Pérdida de Suelo Universal Revisada (RUSLE)}$$

Donde:

A: Pérdida media anual de suelo anual [ton/ha/año]

R: Factor de erosividad de la precipitación [MJ*mm/ha*hr*año]

K: Erodabilidad del suelo [t*ha*hr/ha*MJ*mm], refiere a la tasa de pérdida de suelo por unidad del índice de erosión.

LS: El factor “L” refiere a la longitud de la pendiente mientras que el factor “S” mide la relación de pérdida de suelo de la inclinación de la pendiente. El facto LS es adimensional y refiere al factor topográfico, producto de la multiplicación de los factores que lo componen (L y S).

C: Factor vegetación (adimensional).

P: Factor de control de la erosión mediante prácticas de cultivo (adimensional).

Si se busca estimar la erosión efectiva (suelos que no se encuentran desnudos), la ecuación no variará; sin embargo, si lo que se quiere es determinar la erosión potencial, la ecuación será modificada.

Erosión Actual: Es la que en realidad se produce, teniendo en consideración los factores de cobertura vegetal (C) y las prácticas de conservación (P) que se realizan en el área de estudio, calculándose a través de la ecuación original del modelo RUSLE.

Erosión Potencial: Aquella que se presenta cuando el suelo está desnudo; por tanto, concebimos que no existe ninguna cobertura vegetal y no hay prácticas que pudieran incidir en ella. Bajo estas condiciones, su cálculo será realizado considerando a los factores C y P con valores de 1.

$$A = R \times K \times LS \qquad \text{Ecuación 2. Fórmula erosión potencial}$$

Cambios que se hicieron a los parámetros de la USLE

Según Flores (2016) las modificaciones más resaltantes que se hicieron a la ecuación propuesta por Wischmeier y Smith en 1978, fueron las siguientes:

- El cálculo del factor K se realiza teniendo en cuenta el diámetro de las partículas y considerando los fragmentos rocosos del suelo.
- Se modificó la erosionabilidad del suelo respecto a las variaciones estacionales, además se incluyó una nueva metodología cuando no sea posible aplicar el nomograma.
- El factor “LS” indica la erosión en surcos, incluso se toma en cuenta la forma de la pendiente.
- El valor del factor “C” es calculado según el uso principal de la tierra, copa de cultivo, cobertura superficial y rugosidad del suelo.

Factores que componen la RUSLE

- **Factor de erosividad de la lluvia R**

Es un índice numérico denominado índice de erosión (IE), que expresa la capacidad de la lluvia para erosionar el suelo (Wischmeier y Smith, 1978). La erosión efectiva (en suelos desnudos) es directamente proporcional al producto de la energía cinética de la lluvia por su intensidad máxima en un periodo de 30 minutos. En este caso, corresponde al promedio de los valores individuales R correspondientes entre 20 a 25 años (Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres [CENEPRED], 2013).

Según SENAMHI (2017), menciona que la energía cinética, la intensidad de la lluvia, el tamaño de las gotas, la duración y la altitud guardan una relación muy estrecha, es así como se propuso el índice del método R.U.S.L.E, el cual es calculado de la siguiente manera:

$$R = E \times I_{30} \quad \text{Ecuación 3. Factor de erosividad de la lluvia R}$$

Donde:

R: Índice de erosividad de la lluvia (J/cm³)

I₃₀: Intensidad máxima en treinta minutos de lluvia constante (cm/ha)

E: Energía cinética de la lluvia (J/cm²), estimada con la ecuación:

$$E = 210.2 + 89 \log I \quad \text{Ecuación 4. Energía cinética de la lluvia}$$

De acuerdo con lo propuesto se evidencia que se necesitaría disponer de un registro actualizado de intensidades y tiempos de precipitación, sin embargo, en ocasiones no es posible acceder a ese tipo de información; es por ello, en la actualidad existen diversas formulaciones propuestas por investigadores para calcular este factor, las cuales mencionamos a continuación:

A. Método de Wischmeier y Smith (1978): representado por la siguiente

ecuación (Quiñones, 2019, p. 43):

$$R = \sum_{i=1}^{i=12} 1.735 \times 10^{(1.5 \log\left(\frac{P_i^2}{P}\right) - 0.08188)}$$

Ecuación 5. Factor R - Método de Wischmeier y Smith (1978)

R: Es el factor de erosividad y está expresado en MJ× mm/ha/hr/año

P_i: Precipitación mensual en mm

P: Precipitación anual en mm

B. Método de Morgan (1977): Propuesto para ser aplicado en lugares que presentan alta precipitación, está dado por la siguiente ecuación (Morgan, 1977, en Flores, 2016, p.30):

$$R = \frac{I_{30} \times (9.28P - 8383)}{1000} \quad \text{Ecuación 6. Factor R- Método de Morgan (1977)}$$

I₃₀= 75 m/h (valor recomendado por Wischmeier)

P= Precipitación promedio anual en mm

C. Método de Foster: Representado por la siguiente fórmula (Morgan, 1977):

$$R = 0.276P \times \frac{I_{30}}{100} \quad \text{Ecuación 7. Factor R - Método de Foster}$$

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

P= Precipitación promedio anual en mm

Componente I₃₀ de la ecuación Morgan y Foster:

Para calcular la energía de las precipitaciones pluviales Wischmeier y Smith sugieren que se considere un límite superior, siendo este, 76.2 mm/h y un límite inferior de 63,5 mm/h, además recomiendan usar 75 mm/h, para zonas de alta precipitación (Elías y Castellvi, 2001, en Valdez, 2014, p. 36).

D. Método de Roose: Toma en cuenta a la precipitación promedio anual, y para calcularlo se utiliza la siguiente ecuación (Morgan, 1977):

$$R = 1.73 \times 0.5 \times P \quad \text{Ecuación 8. Factor R - Método Roose}$$

P: Precipitación promedio anual en mm

E. Índice Modificado de Fourier (IMF): Fue modificado por Arnoldus en 1978 con el fin de corregir desviaciones del índice estimado por Fourier, se diferencia del original, puesto que, considera las precipitaciones de todos los meses del año y no solo del mes que presenta mayor precipitación, se expresa mediante la siguiente fórmula (Pizarro, 2007, en Valdez, 2014, p. 37):

$$R = \sum_{i=1}^{i=12} \frac{P_i^2}{P} \quad \text{Ecuación 9. Factor } R - IMF$$

i: Número del mes

P_i: Precipitación mensual en mm

P: Precipitación promedio anual en mm

- **Factor de erodabilidad del suelo K**

Es una medida empírica determinada por las propiedades del suelo, influenciadas por su textura (porcentaje de arena, limo y arcilla). Este factor expresa la susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica, siendo los suelos arcillosos poco erosionables a diferencia de los suelos limosos considerados todo lo contrario (SENAMHI, 2017).

Por otro lado, su calificación se da a una escala de 0 a 1, donde 0 indica baja susceptibilidad frente a la erosión, mientras que 1; indica lo contrario (SENAMHI, 2017).

El factor K contiene valores únicos para cada lugar de estudio y está expresado en Ton*ha*hr/MJ*mm*ha; además existen diferentes métodos para su cálculo, los cuales se detallan a continuación:

A. Método de Mannerts (1999): se expresa mediante la siguiente ecuación (Valdez, 2014):

$$K = 0.034 + 0.0405 \times e^{\left[-0.5 \left(\frac{\log Dg + 1.659}{0.7101}\right)^2\right]} \quad \text{Ecuación 10. Facto } K - \text{Método de Mannerts}$$

$Dg = e^{(0.01 \times \sum Fi \times \ln(Mi))}$ *Ecuación 11. Media geométrica del diámetro de las partículas (mm)*

K: Factor de erodabilidad del suelo (Ton*ha*hr/MJ*mm*ha)

Dg: Media geométrica del diámetro de las partículas (mm)

Fi: Fracción de las partículas primarias (%)

Mi: Promedio aritmético de los límites de tamaño de partícula

B. Método Wischmeier y Smith (1978): Representado mediante la siguiente

ecuación (Quiñones, 2019, p. 45):

$$K = \frac{[10^{-4} \times 2.71 \times M^{1.14} \times (12 - MO) + 4.20 \times (s - 2) + 3.23 \times (p - 3)]}{100}$$

Ecuación 12. Factor K – Método Wischmeier y Smith (1978)

K: Factor de erodabilidad del suelo (Ton. Ha. año/ MJ mm ha)

MO: Materia Orgánica (%)

s: Código de estructura del suelo

p: Código de permeabilidad

M: es el producto de las fracciones del tamaño de las partículas primarias o
(% limo + % arena muy fina) × (100 - % arcilla)

En tanto, si bien existen varios métodos para determinar dicho factor; el más sencillo es el que establece la FAO, en el que utiliza la unidad de clasificación del suelo y la textura (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007), detallamos en la siguiente ecuación (Álvarez, 2019, p. 68):

$$K_{USLE} = K_{W=f_{sand}} \times f_{cl-si} \times f_{org} \times f_{hisand}$$

Ecuación 13. Determinación de factor K

f_{csand}: El indicador K se reduce en suelos que presentan arenas gruesas e incrementa en aquellos que no contienen mucha arena.

f_{cl-si}: Brinda bajos factores de erosionabilidad a suelos arcillosos y limosos

f_{orgc} : El valor de K disminuye en aquellos suelos que presentan alto contenido de carbono orgánico.

f_{hisand} : El factor K se reduce en suelos que presentan gran contenido de arena.

$$f_{csand} = \left(0.2 + 0.3 \times \exp \left[-0.256 \times m_s \times \left(1 - \frac{m_{silt}}{100} \right) \right] \right)$$

Ecuación 14. Determinación del factor K (%arena)

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

Ecuación 15. Determinación del factor K

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

Ecuación 16. Determinación del factor K (% materia orgánica)

$$f_{hisand} = \left(1 - \frac{0.7 \times \left(1 - \frac{m_s}{100} \right)}{\left(1 - \frac{m_s}{100} \right) + \exp[5.51 * + 22.9 \times 0.7 \times \left(1 - \frac{m_s}{100} \right)]} \right)$$

Ecuación 17. Determinación del factor K (% alto de arena)

Donde:

m_s : % de arena (0.05-2 mm de diámetro)

m_{silt} : % de sedimento (0.002-0.05 mm de diámetro)

m_c : % de arcilla (<0.002 mm de diámetro)

C_{org} : % de carbono orgánico (SOC)

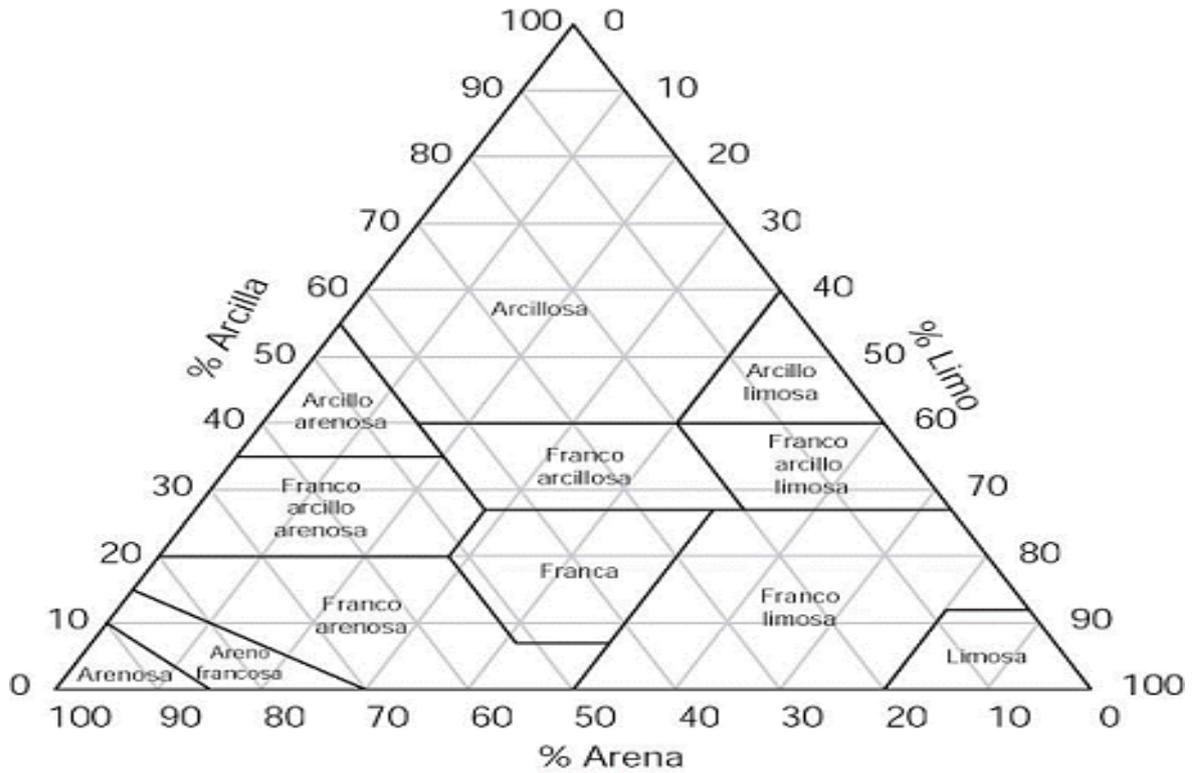


Figura 1. Triángulo de las clases texturales básicas del suelo, según el tamaño de partículas
 Fuente: United States Department of Agriculture (USDA)

Tabla 3

La clasificación textural de suelos de acuerdo con el porcentaje de arena, limo y arcilla.

Nombres de los suelos (textura general)	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	Clase textural	Nº	Textura
Suelos francos (textura moderadamente fina)	0-45	0-40	40-100	Arcilloso	1	Fina
	0-20	40-60	40-60	Arcilloso limoso	2	
	45-65	0-20	35-55	Arcilloso arenoso	4	
Suelos arcillosos (textura fina)	0-20	40-73	27-40	Franco limoso arcilloso	3	
	45-80	0-28	20-35	Franco arenoso arcilloso	5	
	20-45	15-52	27-40	Franco arcilloso	6	

	0-20	88-100	0-12	Limoso	7	
Suelos francos (textura mediana)	20-50	74-88	0-27	Franco limoso	8	Media
	23-52	28-50	7-27	Franco	9	
Suelos arenosos (textura gruesa)	86-100	0-14	0-10	Arenoso	10	
	50-70	0-50	0-20	Franco arenoso	11	
Suelos francos (textura moderadamente gruesa)						Gruesa
	70-86	0-30	0-15	Franco arenoso	12	

Fuente: Tomado del Atlas de erosión de suelos por regiones hidrológicas del Perú. SENAMHI (2017).

Tabla 4

Clasificación textural de suelos de acuerdo con el porcentaje de arena, limo y arcilla.

Unidades de suelo de acuerdo con la clasificación de Grupos de Suelos de Referencia (GSR)			Textura		
Cód.	Tipo de Suelo	Breve descripción	Gruesa	Media	Fina
AC	ACRISOLES	Muy ácido. Suelos fuertemente meteorizados con baja saturación con bases en alguna profundidad.	0.026	0.04	0.013
AL	ALISOLES	Suelo con baja saturación con bases en alguna profundidad.	0.026	0.04	0.013
AN	ANDOSOLES	Suelos negros de paisajes volcánicos, se desarrollan en eyecciones o vidrios volcánicos bajo casi cualquier clima.	0.026	0.04	0.013
AR	ARENOSOLES	En la zona seca hay poco desarrollo del perfil. Los Arenosoles en los trópicos perhúmedos desarrollan horizontes eluviales albos.	0.013	0.02	0.007
CL	CALCISOLES	Suelos con sustancial acumulación de calcáreo secundario. Los Calcisoles típicos tienen un horizonte superficial pardo pálido.	0.053	0.079	0.026
CM	CAMBISOLES	Suelos con por lo menos un principio de diferenciación de horizontes en el subsuelo evidentes por cambios en la estructura y color.	0.026	0.04	0.013
CH	CHERNOZEM	Suelos negros ricos en materia orgánica. Horizonte superficial mólico pardo oscuro a negro.	0.013	0.02	0.007
DU	DURISOLES	Suelos fuertemente meteorizados con una capa dura de sílice secundaria (horizonte petrodúrico) o nódulos de sílice secundaria (horizonte dúrico).	0.053	0.079	0.026
FR	FERRALSOLES	Suelos rojos y amarillos tropicales con alto contenido de sesquióxidos.	0.013	0.02	0.007
GL	GLEYSOLES	Suelos con signos claros de influencia del agua freática. Evidencia de procesos de reducción con segregación de compuestos de Fe.	0.026	0.04	0.013
HS	HISTOSOLES	Suelos de turba y pantanos. La mineralización es lenta y la transformación de restos vegetales a través de la desintegración bioquímica crea una capa superficial de moho.	0.053	0.02	0.007

Unidades de suelo de acuerdo con la clasificación de Grupos de Suelos de Referencia (GSR)			Textura		
Cód.	Tipo de Suelo	Breve descripción	Gruesa	Media	Fina
F	KASTANOZEMS	Suelos pardos oscuros ricos en materia orgánica. Los Kastanozems tienen un perfil similar a los Chernozems, pero el horizonte superficial rico en humus es más delgado.	0.026	0.04	0.013
KS	KASTANOZEMS	Suelos pardos oscuros ricos en materia orgánica. Los Kastanozems tienen un perfil similar a los Chernozems, pero el horizonte superficial rico en humus es más delgado.	0.026	0.04	0.013
LP	LEPTOSOLES	Suelos someros, finos. Los Leptosoles son suelos azonales y particularmente comunes en regiones montañosas.	0.013	0.02	0.007
LX	LIXISOLES	Suelos con diferenciación pedogenética de arcilla (migración de arcilla) entre el suelo superficial con menor y el subsuelo con mayor contenido de arcilla.	0.013	0.02	0.007
LV	LUVISOLES	Diferenciación pedogénica del contenido de arcilla.	0.026	0.04	0.013
NT	NITISOLES	Suelos tropicales rojos, profundos, bien drenados con un horizonte subsuperficial arcilloso nítico que tiene elementos estructurales de bordes planos o muciformes.	0.013	0.02	0.007
PH	PHAEOZEMS	Suelos ricos en materia orgánica. Los Phaeozems son muy parecidos a Chernozems y Kastanozems, pero están más intensamente lixiviados.	0.013	0.02	0.007
PL	PLANOSOLES	Suelos con un horizonte superficial de textura gruesa abruptamente sobre un subsuelo denso y de textura más fina, típicamente en tierras planas.	0.053	0.079	0.026
PT	PLINTOSOLES	Fuerte meteorización con segregación subsecuente de plintita a la profundidad de fluctuación del agua freática o drenaje superficial impedido.	0.026	0.04	0.013
PZ	PODZOLES	Suelos con un horizonte aluvial spódico debajo de un horizonte subsuperficial con apariencia de ceniza y cubierta por una capa orgánica.	0.053	0.079	0.026
RG	REGOSOLES	Suelos débilmente desarrollados en material no consolidado, que no tienen un horizonte mólico o úmbrico, no son muy someros.	0.026	0.04	0.013

Unidades de suelo de acuerdo con la clasificación de Grupos de Suelos de Referencia (GSR)			Textura		
Cód.	Tipo de Suelo	Breve descripción	Gruesa	Media	Fina
LX	SOLONCHAKS	Suelos salinos. Desde débil a fuertemente meteorizados, muchos Solonchaks tienen un patrón de color gléyico a cierta profundidad.	0.053	0.04	0.013
LV	SOLONETZ	Suelos con alto contenido de Na y/o Mg intercambiables.	0.053	0.079	0.026
UM	UMBRISOLES	Suelo superficial oscuro. Horizonte superficial úmbrico o cámbico con baja saturación de bases.	0.026	0.04	0.013
VR	VERTISOLES	Suelos muy arcillosos, que se mezclan, con alta proporción de arcillas expansibles. Estos suelos forman grietas anchas y profundas cuando se secan.	0.053	0.079	0.026
FL	FLUVISOLES	Suelos desarrollados en depósitos aluviales. Perfiles con evidencia de estratificación; débil diferenciación de horizontes.	0.026	0.04	0.013

Fuente: Tomado del Atlas de erosión de suelos por regiones hidrológicas del Perú. SENAMHI (2017).

- **Factor topográfico LS**

Son factores dependientes que explican el efecto de la topografía como factor en la erosión, pues la pendiente y la longitud influyen considerablemente. Con relación a la pendiente, se debe tener en cuenta que la parte alta es considerada como una zona sin erosión, mientras que la aparición de los fenómenos de erosión se suscita en la parte media y la sedimentación en la parte baja donde la pendiente disminuye (SENAMHI, 2017). A continuación, se detallan algunos métodos para la determinación de estos factores:

A. Método Mintegui (1983): Este método se basa en la utilización de una tabla que contiene valores correspondientes al factor LS teniendo en cuenta a la pendiente (Ramos, 2001, en Flores, 2016, p. 23)

Tabla 5

Valores asignados al factor LS.

Gradiente de pendiente (%)	Factor LS
0-3	0.3
3-12	1.5
12-18	3.4
18-24	5.6
24-30	8.7
30-60	14.6
60-70	20.2
70-100	25.2
Más de 100	28.5

Fuente: Tomado de Aproximación de riesgo por erosión hídrica aplicando un sistema de información geográfica en la subcuenca Shambillo, distrito de padre abad Mintegui (Ramos, 2001, en Flores, 2016, p. 41).

B. Método Renard: Según Castillo y Estrada (2016), el cálculo del factor L se obtiene mediante la ecuación:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^m \quad \text{Ecuación 18. Factor L- Método Renard}$$

Dónde:

λ : Longitud de la pendiente en metros y se asocia al tamaño del píxel.

m : Exponente adimensional que depende del grado de la pendiente y se define a continuación:

$$m = \frac{\beta}{1+\beta} \quad \text{Ecuación 19. Determinación de exponente } m$$

β se define en la siguiente ecuación:

$$\beta = \frac{\sin \theta / 0.0896}{3(\sin \theta)^{0.8} + 0.56} \quad \text{Ecuación 20. Determinación de exponente } B$$

Donde:

θ : Ángulo de la pendiente en grados

En cuanto al factor “S”, se determina:

$$S = (0.065 + 0.045s + 0.0065s^2) \quad \text{Ecuación 21. Factor } S$$

Siendo “S” la pendiente del terreno expresada en porcentaje.

Por otro lado, según Nakaya (2019) el valor de S toma la siguiente forma:

$$S = 10.8 \times \sin \theta + 0.03 \quad \text{Si: } s < 9\% \quad \text{Ecuación 22. Factor } S (<9\%)$$

$$S = 16.8 \times \sin \theta - 0.5 \quad \text{Si: } s \geq 9\% \quad \text{Ecuación 23. Factor } S (\geq 9\%)$$

C. Método Wischmeier y Smith en 1978: Se representa mediante la siguiente

ecuación (Dioses y Pérez, 2018, p. 93):

$$LS = \frac{L^{0.5}}{22} * (0.065 + 0.045s + 0.0065s^2) \quad \text{Ecuación 24. Factor } LS$$

Siendo:

$$L = 30 \text{ m}$$

S: pendiente en %

- **Factor del manejo de vegetación, cobertura y uso del suelo C**

Es el factor que considera a la vegetación como la más grande defensa frente al proceso erosivo. Su cálculo implica el uso de las tablas de valores de C, disponibles para condiciones de sitios de construcción, pastizales y bosque ya que no existe evaluaciones de valores de C experimentadas en condiciones locales (CENEPRED, 2013).

Tabla 6

Valores de los factores de C, basados en la clasificación del GLC y una reclasificación de los valores del factor.

Cód.	Tipo	Contenido	Factor C
10	Tierra Cultivada	Las tierras utilizadas para la agricultura, horticultura y jardines.	0.63
20	Bosque	Tierras cubiertas de árboles, con cubierta vegetal más del 30%.	0.003
30	Pradera	Terrenos cubiertos de césped natural con una cubierta más del 10%.	0.09
40	Matorral	Tierras cubiertas de arbustos con una cubierta de más del 30%.	0.22
50	Humedal	Tierras cubiertas de plantas de humedales y cuerpos de agua.	0
60	Cuerpos de agua	Las masas de agua en la superficie terrestre.	0
70	Tundra	Hierbas y arbustos en las regiones polares.	-
80	Las superficies Artificiales	Tierras modificadas por las actividades humanas.	0.09
90	Tierra Desolada	Tierras con cubierta vegetal inferior al 10%.	0.5
100	Nieve y Hielo Permanente	Tierras cubiertas por la nieve permanente, y la capa de hielo.	0

Fuente: Tomado del Atlas de erosión de suelos por regiones hidrológicas del Perú. SENAMHI (2017).

- **Factor de prácticas de conservación P**

Es el último factor en el modelo RUSLE y recoge la influencia que tienen las prácticas de conservación de suelos sobre las tasas de erosión. “La influencia de la práctica de conservación consiste en disminuir la longitud del declive efectivo para la escorrentía” (SENAMHI, 2017).

Tabla 7

Valores de los factores de P, basados en la clasificación del GLC y una reclasificación de los valores.

Pendiente (%)	Contorno	Cultivo en franjas	Terraza
0.0 - 7.0	0.55	0.27	0.10
7.0 - 11.3	0.60	0.30	0.12
11.3 - 17.6	0.80	0.40	0.16
17.6 - 26.8	0.90	0.45	0.18
26.8 >	1.00	0.50	0.20

Fuente: Tomado de Factor de Prácticas de Conservación. (Kim, 2006)

1.1. Formulación del problema

¿Cuál es el nivel de erosión hídrica en la Cuenca Jequetepeque, según el modelo RUSLE, durante el periodo 1997-2017?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar el nivel de erosión hídrica en la Cuenca Jequetepeque, aplicando el modelo RUSLE, durante el periodo 1997-2017.

1.2.2. Objetivos específicos

Caracterizar físico y bióticamente el área de estudio (Cuenca Jequetepeque); determinar los factores de erosividad de las precipitaciones (R), erodabilidad del suelo (K), longitud y gradiente de la pendiente (LS) y cobertura vegetal o uso actual del suelo (C) en la cuenca Jequetepeque durante el periodo 1997-2017, estimar la erosión hídrica potencial y actual de la cuenca Jequetepeque y proponer alternativas de protección y/o conservación para las zonas más afectadas por la erosión hídrica.

CAPÍTULO II. MÉTODO



Figura 2. Tipo de investigación según su clasificación

2.1. Diseño de investigación

No experimental: La investigación fue de tipo no experimental; pues, no se intervino directamente en la variable de estudio. En este caso, no es posible el control de la variable meteorológica ni de los efectos que ésta origina, porque ya ocurrieron (Egusquiza, 2019), sin embargo; permite plantear posibles soluciones a fin de evitar que los daños a futuro sean colaterales.

2.2. Tipo de diseño de investigación

Este estudio comprende una investigación de tipo longitudinal; puesto que se realizó la recolección de datos de precipitación de diferentes periodos, esto con la finalidad de analizar las causas, efectos y la manera en que evoluciona el problema de investigación (Hernández et al., 2014).

2.3. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

La población y muestra, han sido establecidas de modo que, la población posea mayor longitud y la muestra sea parte de la población.

2.3.1. Población

La población está conformada por la región hidrográfica del pacífico, la cual posee un área total de 200 517 km² (MINAGRI, 2015) y la componen 62 unidades hidrográficas entre ríos y quebradas, aportando en conjunto el 2.2% del volumen total del agua que hay en Perú (FAO, 2016) (Ver Anexo 7).

2.3.2. Muestra

Fue determinada mediante el método no probabilístico o también llamado método intencional, en el que la muestra seleccionada debe ser representativa de la población (Sánchez et al., 2018, p. 94). En este método, dicha representatividad se da en función al criterio de quien selecciona la muestra, siendo ésta subjetiva (Álvarez, 2019, p. 70).

Es así, que la muestra está definida por parte de la cuenca Jequetepeque (solo la que abarca la región Cajamarca). Esta posee una extensión de 3740.26 km² y se encuentra ubicada geográficamente en la región de Cajamarca, cuyas coordenadas UTM corresponden a 720945.88 S y 9225781.03 OE, en la zona 17 (SEDALIB, 2018).

2.4. Recursos de información, búsqueda y selección

2.4.1. Recursos de información

Se utilizaron recursos de diversas instituciones reconocidas a fin de obtener información de calidad. Para la obtención de la información geográfica requerida (geodatos) se optó por trabajar con los geoportales del MINAM, Alaska Satélite Facility (ASF), FAO, Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET) y la Zonificación Ecológica de Cajamarca; mientras que para los datos meteorológicos se emplearon los portales del SENAMHI y ANA; finalmente, para los precedentes de la investigación se utilizaron bases de datos como: Science Direct, Dialnet, y repositorios de universidades.

2.4.2. Búsqueda y selección de información

La primera actividad realizada fue la búsqueda de datos relacionados con las características físicas de interés de la cuenca de estudio, esto con la finalidad de la elaboración posterior de los mapas (capacidad de uso mayor, geología, fisiografía, tipo de suelos, uso actual, zonas de vida, entre otros).

Los archivos shp fueron obtenidos de fuentes confiables, tales como, el MINAM, ANA, SENAMHI y El Gobierno Regional de Cajamarca (ZEE), mientras que, el ráster utilizado (Landsat 8) fue descargado de la plataforma USGS.

Por otro lado, para el método RUSLE, fue necesaria la búsqueda y selección de los siguientes datos:

- a. **Precipitación:** Este dato fue necesario para el cálculo del Factor de Erosividad (R); por lo tanto, se visitó el portal del SENAMHI y en el sitio de “Descarga de Datos Meteorológicos” se seleccionó el departamento de Cajamarca, para luego realizar un filtro de las estaciones meteorológicas que se encontraban dentro de la Cuenca Jequetepeque y alrededores, los datos fueron obtenidos de manera gratuita de: <https://web2.senamhi.gob.pe/?p=estaciones--automáticas> (Ver Anexo 3).
- b. **Textura y Taxonomía de suelos:** Para determinar el Factor de Erodabilidad (K), fue necesario descargar los archivos en formato shp de la zonificación ecológica económica del departamento de Cajamarca y el mapa mundial de suelos procedente del portal oficial de la FAO (Ver Anexo 4).
- c. **Modelo Digital de Elevación (DEM):** A razón de estimar el Factor Topográfico, se realizó la búsqueda del DEM de la cuenca seleccionada, a través de sus coordenadas y fue descargado en formato Geotiff con una resolución de 12.5 m.

El modelo seleccionado corresponde al satélite ALOS-PALSAR, debido a que este rectifica las imágenes y presenta altas resoluciones. Asimismo, su

obtención fue a través del portal del Servicio Alaska Satelity Facility (ASF), de manera gratuita en: <https://search.asf.alaska.edu/#/?dataset=ALOS> (Ver Anexo 5).

- d. Cobertura vegetal:** La capa de vegetación natural que cubre la superficie terrestre permite calcular el factor C, por lo que se realizó su búsqueda en el portal del MINAM y su formato de descarga fue en formato shapefiles, a una escala de: 1/100 000, de manera gratuita en: <https://www.gob.pe/minam> (Ver Anexo 6).

Por otro lado, al estar disponible la capa de todo el Perú y no ser posible la selección de un área en específico, tuvo que ser recortado para su uso.

2.5. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.5.1. Técnicas

Para esta investigación se utilizó la técnica de “observación indirecta”, puesto que para el método RUSLE fue necesario analizar la información espacial mediante el uso de imágenes satelitales con alta resolución. Esta técnica consiste en la ampliación de los datos; sobre un procedimiento que se sigue a través de un adecuado muestreo de expedientes o formatos empleados (Kramis, 1994, p. 63).

Otra técnica empleada fue la “investigación bibliográfica”, para lo cual se recurrió a fuentes estandarizadas como libros especializados en el tema de investigación, artículos de revistas indexadas y documentos oficiales que hicieron posible la comprensión de los fundamentos teóricos empleados para el dominio de las variables. Esta técnica garantiza la calidad de los fundamentos teóricos y tiene como finalidad solucionar problemas planteados mediante la relación de datos existentes de diversas fuentes o a través de la proporción de una visión clara sobre la cuestión planteada (Martínez, 2004, p. 125).

2.5.2. Instrumentos de recolección de datos

Los datos fueron recolectados mediante la herramienta ofimática Excel; para los registros de precipitación, los datos geoespaciales en formato shape, tiff, DEM, KML, entre otros, fueron almacenados y procesados en el software ArcGIS 10.5 y Qgis; también se usó cartografía básica (mapas cartográficos).

2.6. Aspectos éticos

Es importante recalcar que la información recabada de otros estudios para llevar a cabo esta investigación ha sido citada y referenciada como muestra de respeto a la

autoría de los investigadores.

2.7. Método de Análisis

El análisis de los datos se realizó mediante el geoprocesamiento utilizando los softwares ArcGIS 10.5, Qgis 3.14, Saga Gis y a través de la estadística descriptiva e inferencial.

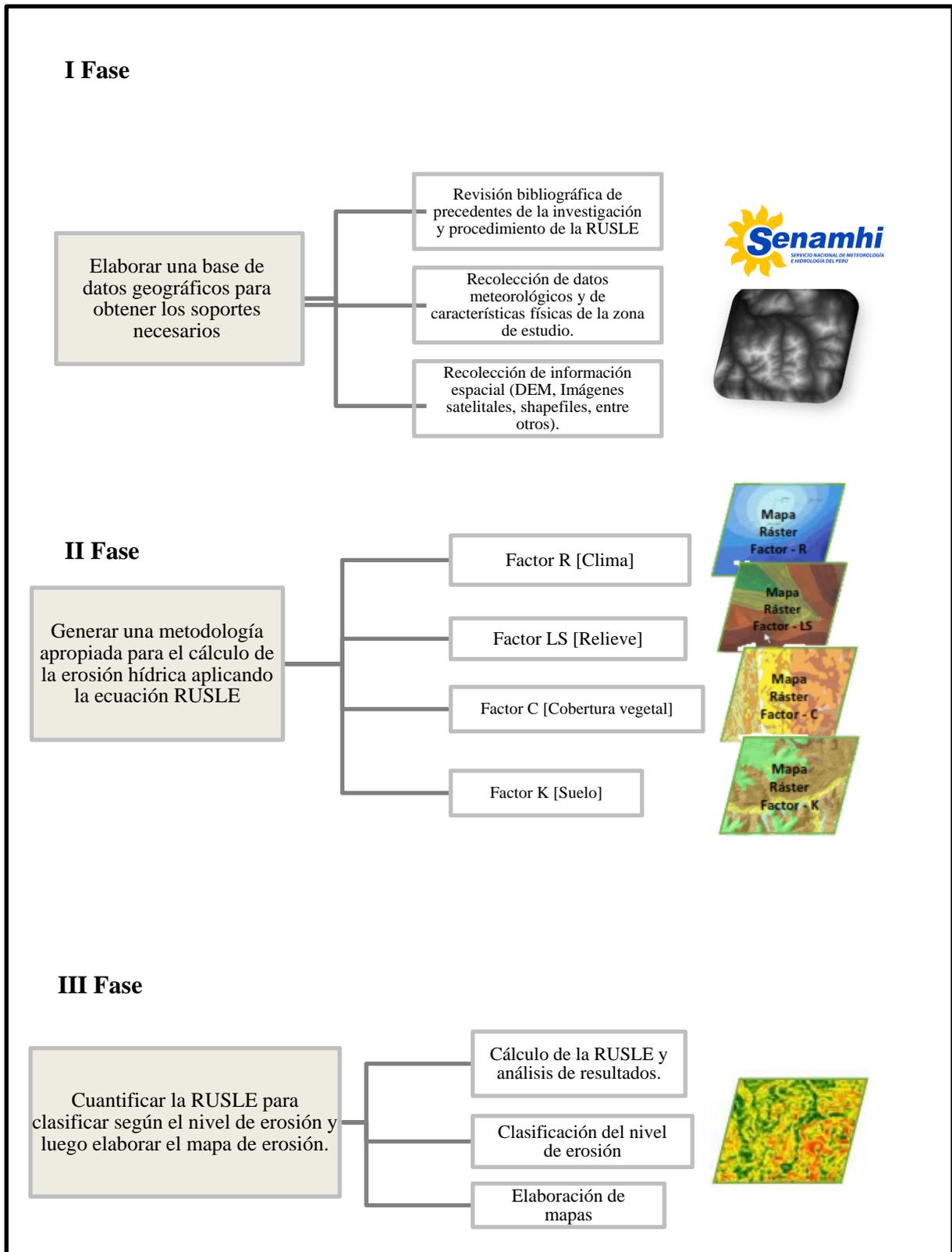


Figura 3. Fases de la Metodología de la presente investigación

A. Cálculo del factor R

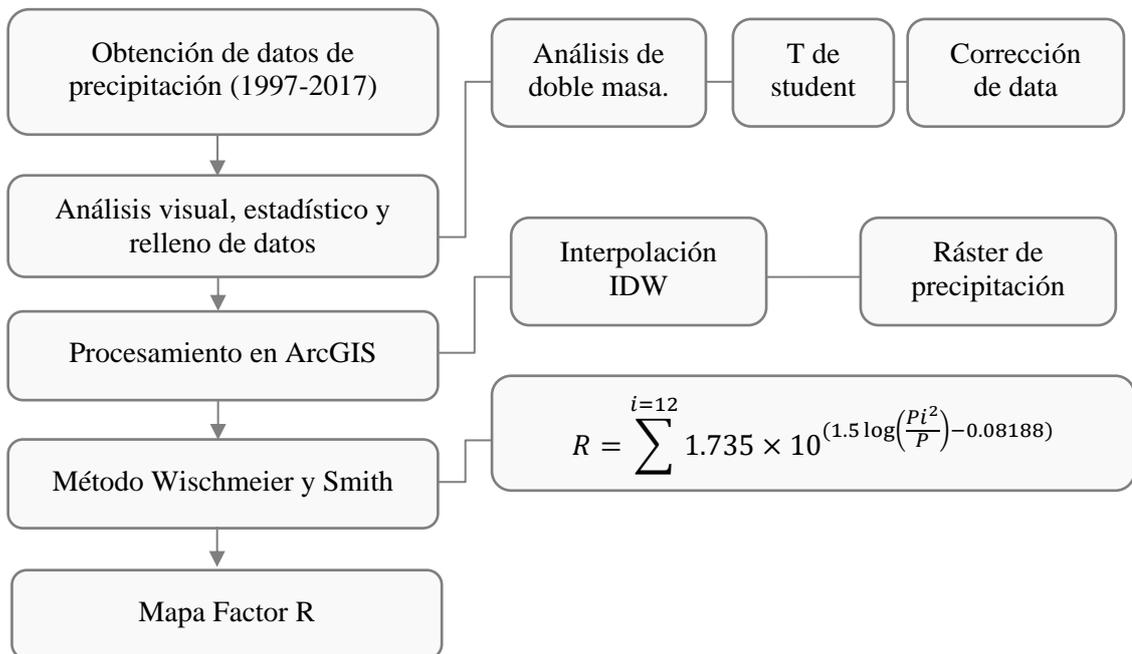


Figura 4. Diagrama de flujo del factor de erosividad de lluvias (R)

B. Cálculo del factor K

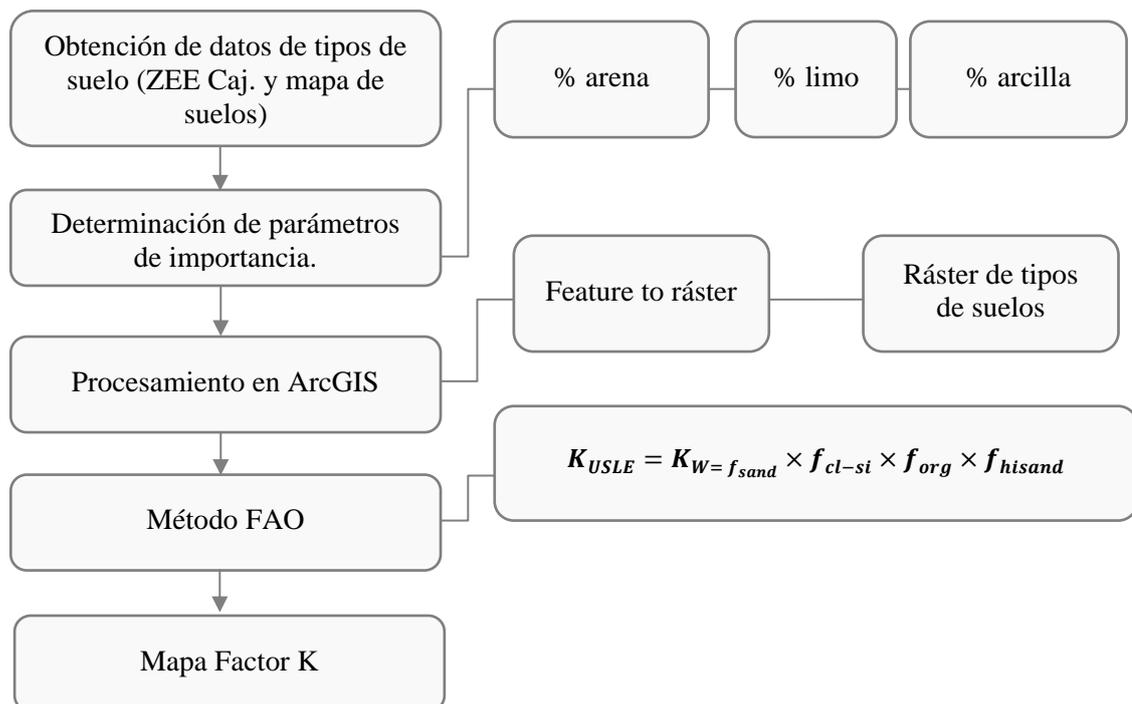


Figura 5. Diagrama de flujo del factor de erodabilidad del suelo (K)

C. Cálculo del factor LS

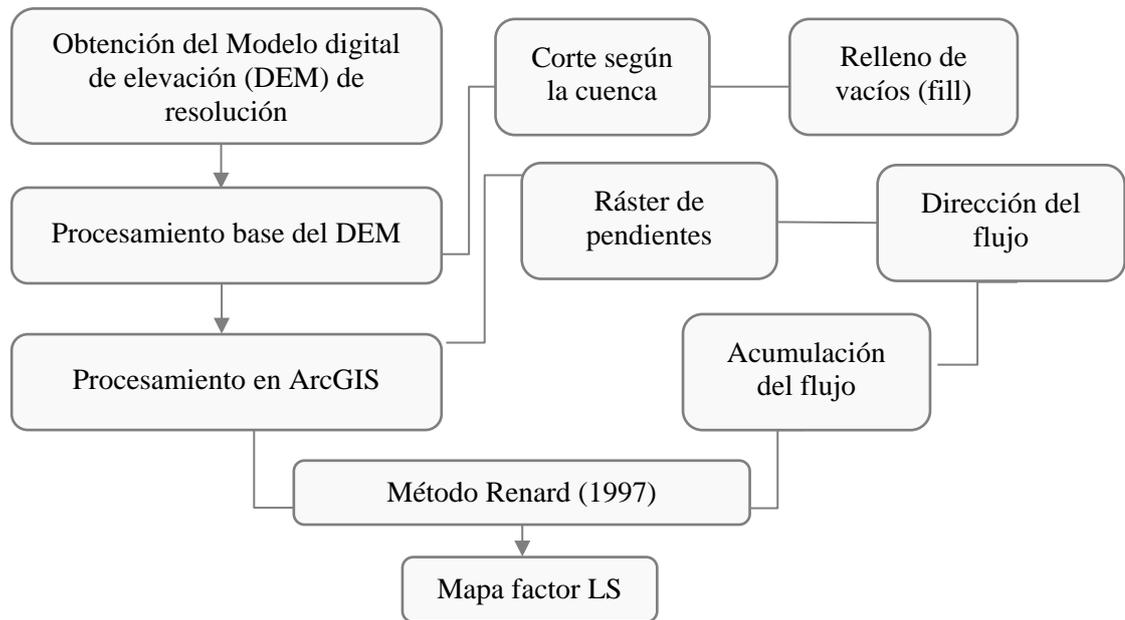


Figura 6. Diagrama de flujo del factor de longitud y gradiente de pendiente (LS)

D. Cálculo del factor C

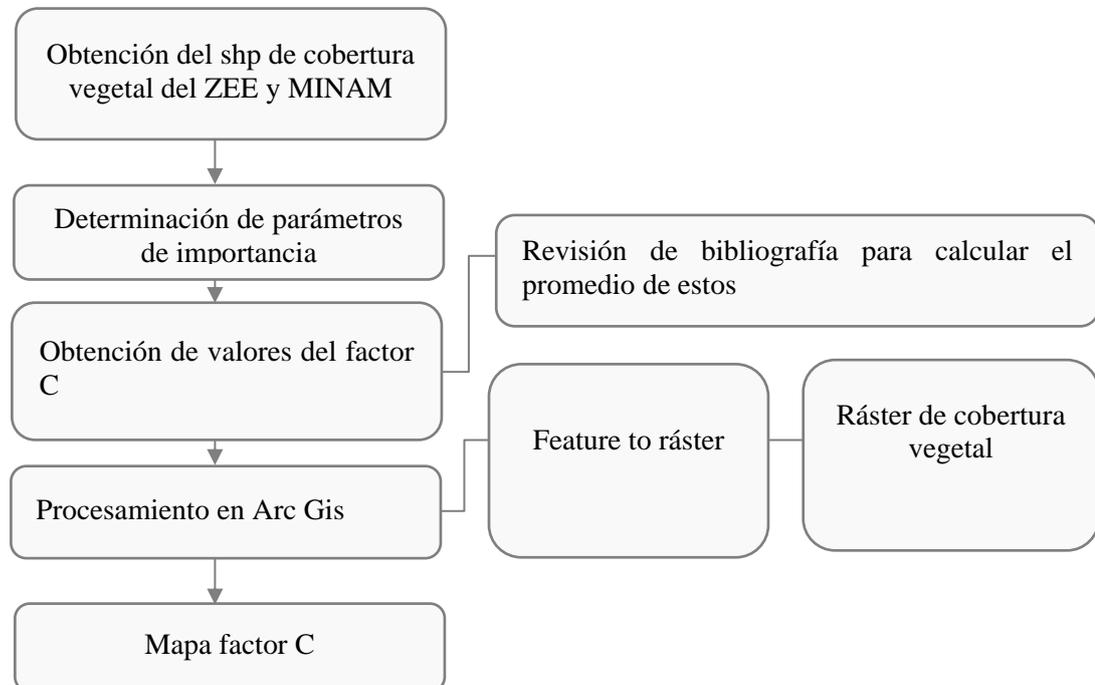


Figura 7. Diagrama de flujo del factor cobertura vegetal (C)

E. Cálculo del factor P

Se asumió un valor de 1 para este factor, puesto que en la cuenca de estudio no se realizan prácticas de conservación del suelo.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

En este capítulo se exponen los resultados obtenidos en la presente investigación, la organización en el que se presentan guarda relación con el capítulo anterior y con los objetivos específicos planteados.

Caracterización del área de estudio

Ubicación política

La cuenca Jequetepeque se encuentra ubicada políticamente en las regiones de Cajamarca, con una extensión del 67% y La Libertad con 33%. Este estudio se centrará en la región Cajamarca, en la cual, dicha unidad hidrográfica comprende 04 provincias y 25 distritos (SEDALIB, 2018).

Tabla 8

Provincias y distritos de la región Cajamarca, que comprende la cuenca Jequetepeque

Departamento	Provincia	Distrito	
Cajamarca	Cajamarca	Chetilla	
		Asunción	
		San Juan	
		Magdalena	
		Jesús	
		Cajamarca	
		Cospán	
		San Pablo	
		Tumbaden	
		San Bernardino	
	San Pablo	San Luis	
		San Miguel	
		Calquis	
		San Silvestre de Cochán	
		Llapa	
	San Miguel	San Gregorio	
		El Prado	
		Unión Agua Blanca	
		Contumazá	
		Cupisnique	
		Chilete	
		Contumazá	Guzmango
			Santa Cruz Toledo
			Tantarica
			Yonan

Fuente: Adaptado de: Diagnóstico hídrico rápido de la cuenca del río Jequetepeque como fuente de agua y servicios ecosistémicos hídricos para la EPS SEDALIB S.A. (SEDALIB, 2018)

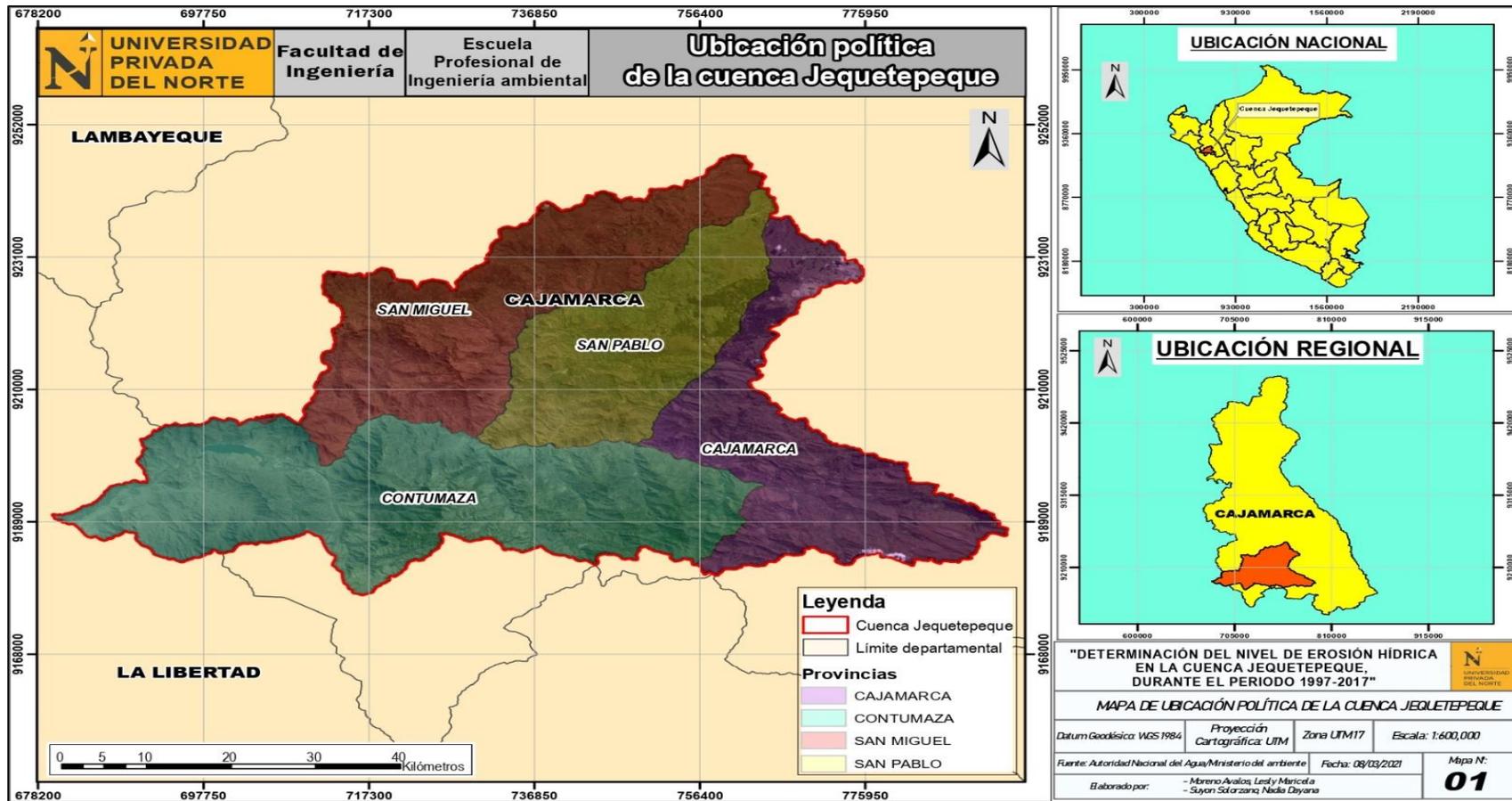


Figura 8. Mapa de ubicación política de la cuenca Jequetepeque

Ubicación geográfica

La ubicación geográfica de la cuenca Jequetepeque, corresponde a la vertiente occidental de la Cordillera de los Andes. Se encuentra situada en la región costa del Norte de Perú, explícitamente en los paralelos 720945.88 S (Latitud Sur) y los meridianos 9225781.03 (Longitud Oeste), del meridiano de Greenwich (Vásquez, 2018).

Además, tiene un área total de 374026.23 ha y geoméricamente presenta dimensiones de 406.38 km de perímetro, 26 km de ancho, una altura promedio de 2158 m.s.n.m. y una pendiente de 1.7% (INGEMMET, 1994).

Ubicación hidrográfica

La cuenca del río Jequetepeque pertenece a la Vertiente del Pacífico y se encuentra delimitada hidrográficamente de la siguiente forma (Ver figura 11):

- Norte: Cuenca Zaña y cuenca Chancay-Lambayeque.
- Sur: Cuenca Chicama.
- Este: Cuenca Crisnejas e intercuenca Alto Marañón IV.
- Oeste: Intercuenca 13773

A. Aspectos físicos

Climatología

Según el INGEMMET (1994), el clima de la cuenca Jequetepeque varía según (04) tipos de regiones geográficas, siendo éstas:

- Región Costera: En esta zona, el clima es subtropical debido a sus condiciones.
- Región Árida Andina: Esta región se caracteriza porque la sequedad del aire y por encontrarse rezagos de un desierto.
- Región andina: Cuenta con un clima templado.
- Región Andina Superior: De acuerdo con sus características, el clima de esta región es frío-templado.

Según la zonificación ecológica económica (ZEE) desarrollada por el Gobierno Regional de Cajamarca en el 2011, dicho departamento se encuentra clasificado de acuerdo a la siguiente climatología.

Tabla 9

Tipos de clima en la cuenca Jequetepeque

Código	Tipo de clima	Descripción	Área (has)
BSw	Estepa	Lluvias escasas en el verano R menor o igual 2(t+14)	47808.4
BW	Desierto	Prácticamente sin lluvias	123190
Cw	Templado Moderado Lluvioso	Invierno seco, cantidad de las lluvias del mes más lluvioso, 10 veces mayor que el mes más seco	77436.9
Dwb	Frio (Boreal)	Seco en invierno. Temperatura media superior a +10 grados Celsius, por lo menos durante 4 meses	125550

Fuente: Gobierno Regional de Cajamarca (ZEE)

i) Precipitación

La precipitación promedio multianual en la cuenca Jequetepeque según el método de isoyetas es de 746.57 mm/año, además, esta aumenta a medida que la altitud

lo hace, lo cual justifica que en la parte baja de la cuenca; la precipitación oscile entre 90 – 240 mm/año, mientras que a altitudes mayores, esta es mayor a 1590 mm/año (ver figura N° 9).

Cabe resaltar que se trabajó con 13 estaciones, puesto que contaban con la mayor cantidad de datos del periodo estudiado. Además, 11 se encuentran dentro del área de estudio y 2 alrededor (Ver anexo N°15 -25).

Tabla 10

Estaciones meteorológicas en la cuenca Jequetepeque (Región Cajamarca)

Estaciones meteorológicas			
Estación	Este	Norte	Altitud
Asunción	774181.24	9190487.39	2229
Chilete	737412.82	9201739.47	850
Contumazá	741024.03	9186971.85	2452
Granja Porcón	761454.82	9221904.81	3000
Hacienda Cadena	750111.86	9207012.44	2900
Hacienda Llagaden	766846.07	9196059.71	2000
Hacienda Tunad	752171.05	9207199.50	2000
Laguna Compuertas	741139.22	9210940.85	3740
Las Paltas	731779.41	9204592.78	750
Lives	717223.27	9216579.09	2000
Llapa	741216.96	9227534.63	2798
Magdalena	759360.78	9227447.36	1316
Monte Grande	703913.68	9200964.63	489
Quebrada Honda	759685.97	9236665.70	3550
Rupahuasi	744943.52	9240067.81	2850
San Juan	776501.86	9193345.44	2353
San Miguel	737532.59	9227551.58	2590
San Pablo	739323.57	9216480.74	2290
Tembladera	706099.15	9198190.55	450
Yumagual	774435.39	9199317.61	3450

Fuente: Autoridad Nacional del Agua (ANA)

ii) Temperatura

En la cuenca Jequetepeque, las temperaturas se incrementan a medida que la altitud disminuye. En tal sentido, la temperatura en las parte media y alta de la cuenca Jequetepeque oscila entre los 22 °C y 11 °C, respectivamente, dando lugar a

precipitaciones desde 470 mm (parte media) hasta 1 150 mm (parte alta) (SENAMHI, 2017).

La gradiente térmica de dicha cuenca se encuentra alrededor de 0.5°C por cada 100 metros de ascenso (SEDALIB, 2018). En relación al tipo de región geográfica, la región costera posee una temperatura máxima de 28 °C (febrero) y mínima de 14 °C (julio), en contraste; la región árida andina cuenta con temperaturas de 20 °C a 27 °C durante el día y por las noches de 12 °C, también tenemos a la región andina, cuyas temperaturas (máxima y mínima) son 22 °C y 29 °C (mayo a agosto); por último, en la región andina superior las temperaturas van desde los 13 °C hasta 0 °C (mínimas) hasta los 16 °C a 24 °C (máximas) (INGEMMET, 1994).

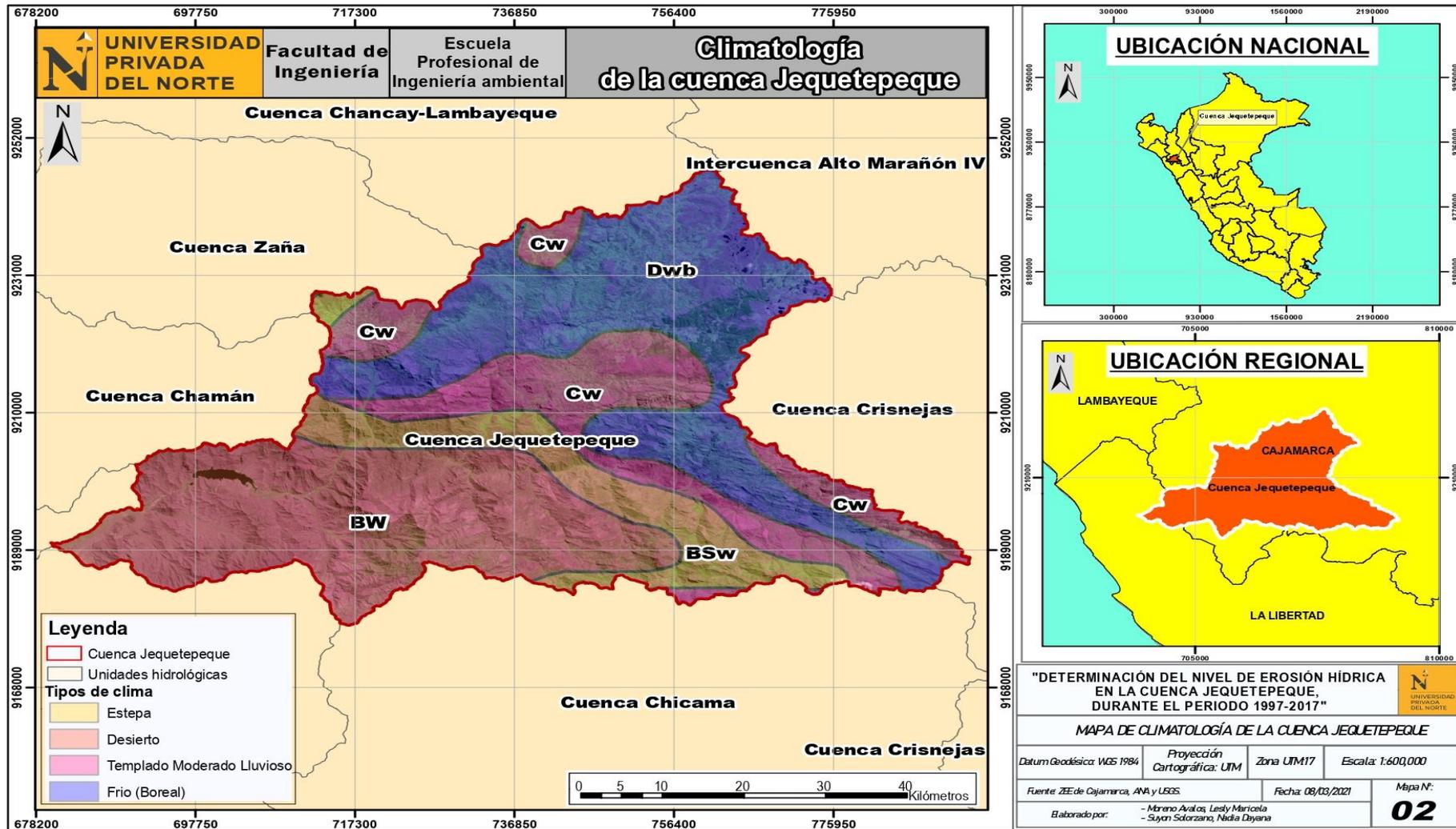


Figura 9. Mapa de climatología de la cuenca Jequetepeque

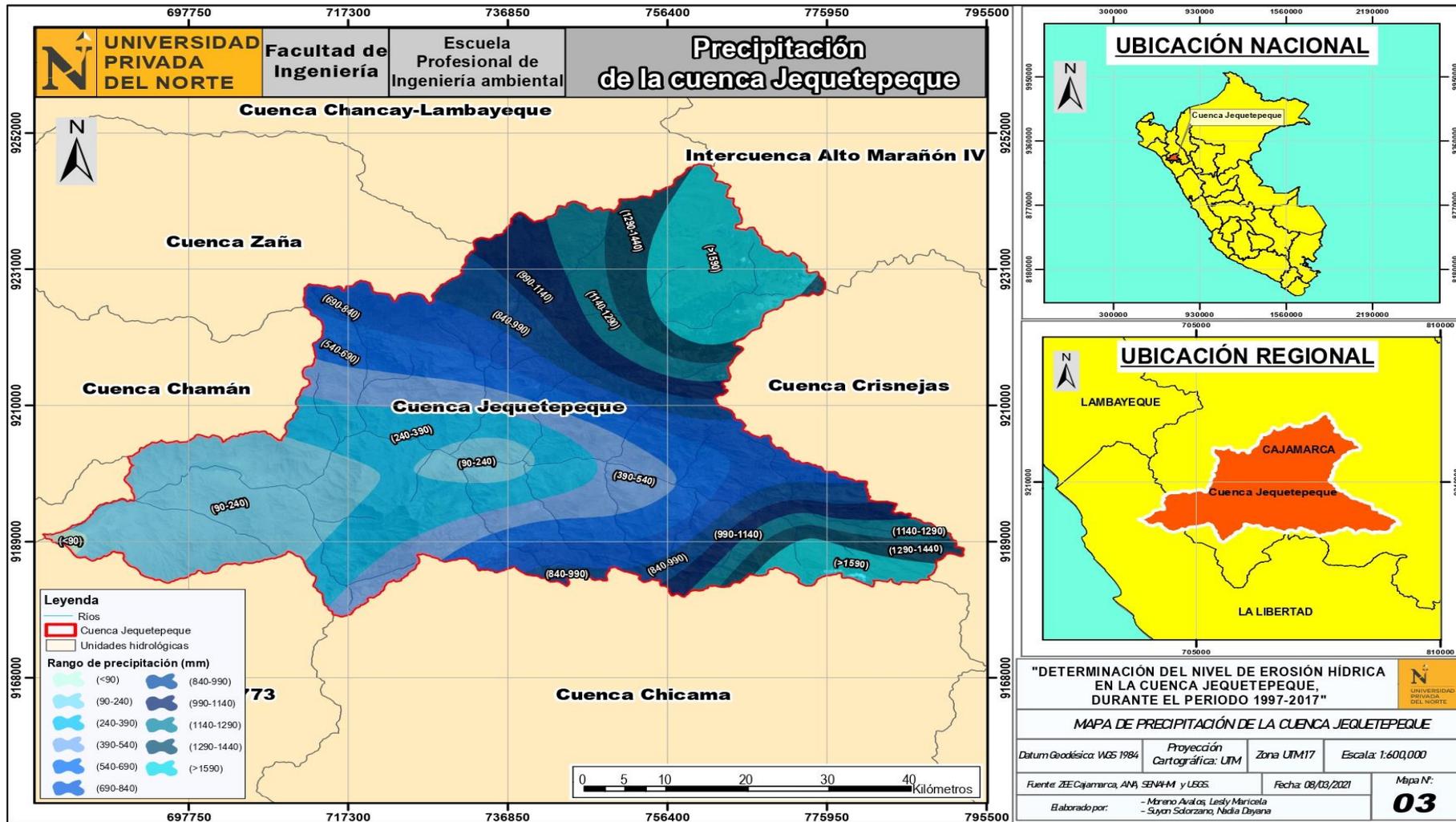


Figura 10. Mapa de precipitación de la cuenca Jequetepeque

Hidrología

La ANA en su Estudio de Evaluación de los Recursos Hídricos en la cuenca del río Jequetepeque (2015), cita que la cuenca tiene un área total de 4,295.3 km², el perímetro tiene una longitud total de 195 Km y la altitud varía de 0 a 4 188 m.s.n.m. Sin embargo, el área estudiada en esta investigación cuenta con una extensión de 3740.26 Km².

Considerando las estaciones de control hidrológico y la divisoria natural de aguas, se encuentra dividida en nueve subcuencas (Figura 11); mencionadas a continuación:

Tabla 11

Subcuencas que conforman la cuenca Jequetepeque

Cuenca	Subcuencas	Extensión (Km²)	%	Río principal
Jequetepeque	Bajo Jequetepeque	660.5	16.7%	Tramo del río Jequetepeque
	Medio Bajo Jequetepeque	153.3	3.9%	Tramo del río Jequetepeque
	Medio Jequetepeque	144.3	3.6%	Tramo del río Jequetepeque
	Medio Alto Jequetepeque	3.6	0.1%	Tramo del río Chilote
	Alto Jequetepeque	1322.2	33.4%	Río Magdalena
	Chausis	205.9	5.2%	Quebrada Chiminote
	Contumazá	187.70	4.7%	Río Contumazá
	Pallac	236.9	6.0%	Río Pallac
	San Miguel	1041.9	26.3%	Río San Miguel
	TOTAL	3956.3	100.0%	-

Fuente: Tomado del geo servidor del MINAM.

Hidrografía

Considerada un macrosistema, cuya extensión va desde la línea divisoria continental de las vertientes del Pacífico y Atlántico hasta el litoral marino en el Océano Pacífico. Por tanto, la cuenca Jequetepeque posee un gran sistema hidrográfico, cuya red de drenaje, comprende 30 ríos secundarios; de tal forma, posee un gran número de riachuelos y quebradas menores (ANA, 2015).

Según Aponte (2018), el río Jequetepeque recibe en su recorrido el aporte de los siguientes ríos:

- Margen izquierdo: Los ríos Chonta, Contumazá y quebrada Chausis.
- Margen derecho: Los ríos Chetillano, San Miguel y Pallac, y la quebrada Llamichan.

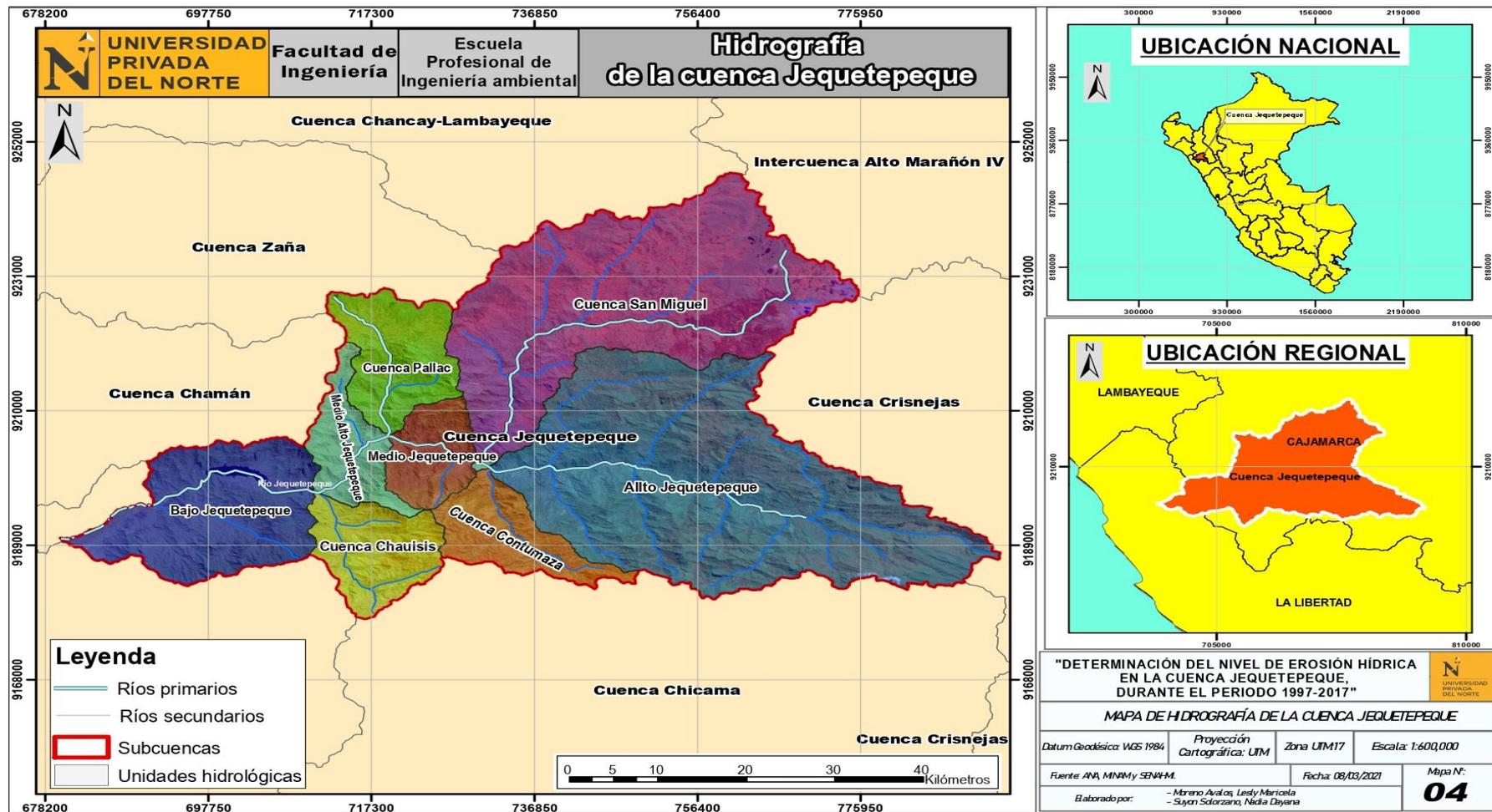


Figura 11. Mapa de hidrografía de la cuenca Jequetepeque

Topografía

Según ANA (2015), la pendiente en la parte alta de la cuenca Jequetepeque es muy fuerte y variada. Del mismo modo, se han establecido ciertos pisos altitudinales, basados en criterios geológicos; siendo estos los siguientes:

- **Región Costa o Chala:** El relieve es variado con llanuras, colinas bajas y cerros escarpados.
- **Región Yunga o Quebrada:** Posee valles estrechos, quebradas profundas y su relieve es accidentado.
- **Región Quechua:** Posee un relieve muy inclinado.
- **Región Suni o Jalca:** Encierra valles con fondos estrechos, posee frecuentes acantilados y su relieve es quebrado.

El relieve de la cuenca Jequetepeque, según el INGEMMET (1994), es entre accidentado medio y accidentado. También el bajo valor de la altura media de la cuenca, indica que posee una tendencia a una erosión muy alta. En cuanto a la pendiente, posee una pendiente promedio de 38.75% y referente al perfil longitudinal, indica la susceptibilidad de las rocas a la erosión; ya que no existen saltos.

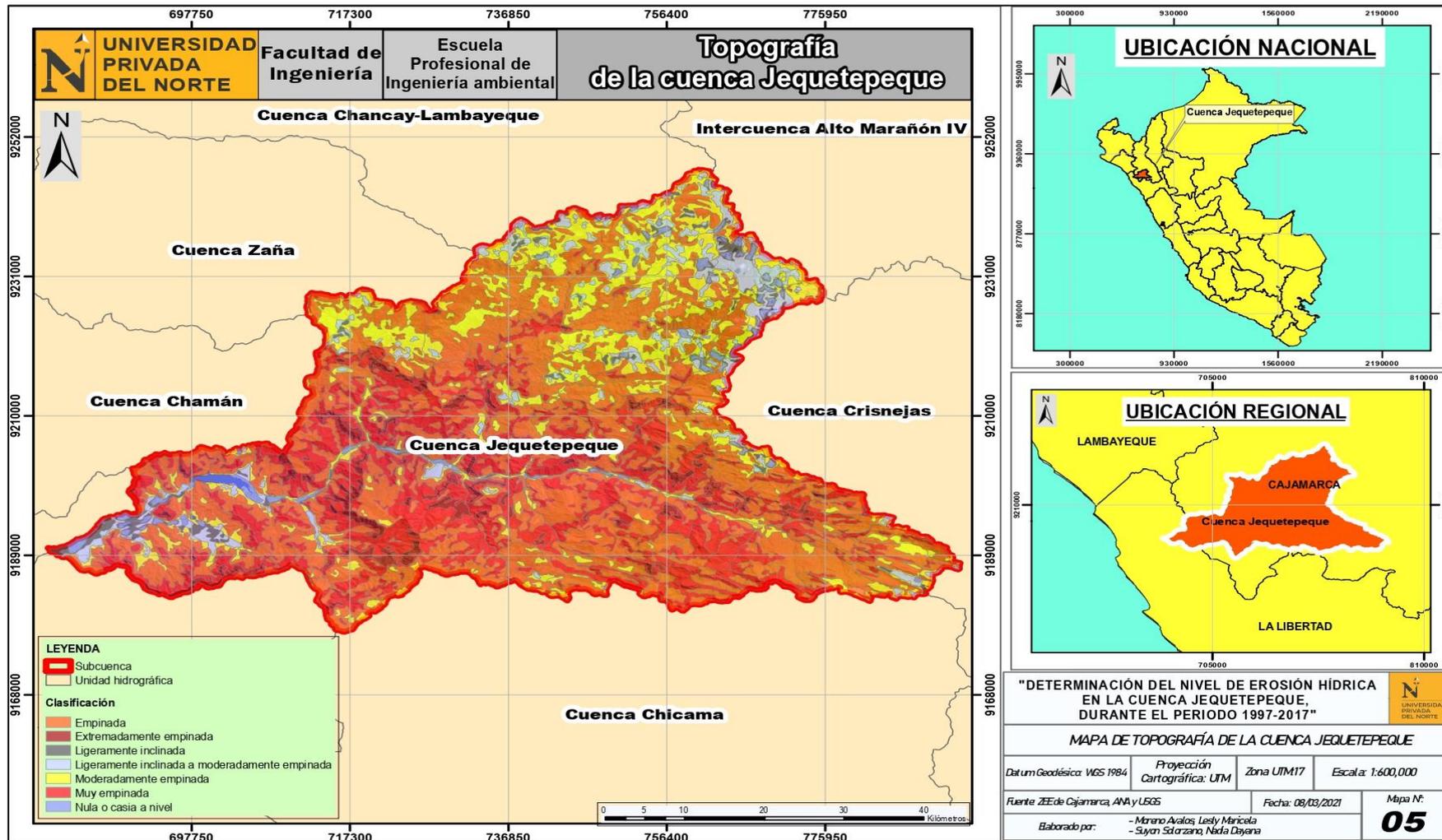


Figura 12. Mapa de topografía de la cuenca Jequetepeque

Geología

La formación de la cuenca Jequetepeque es el resultado de la convergencia entre la placa tectónica Sudamericana y la placa de Nazca [Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), 2000]. Según la ZEE realizada por el gobierno regional de Cajamarca, la cuenca se encuentra mayormente cubierta por rocas volcánicas sedimentarias, de las épocas oligocena, pliocena y eocena, pertenecientes al periodo paleógeno y a las eras Cenozoico y Mesozoico. En menor proporción se distingue a la roca de tipo plutónica del cretáceo superior.

En cuanto a las características litoestratigráficas destacan las pertenecientes al grupo volcánico San Pablo (tobas, aglomerados y brechas) y volcánico llama (Andesita, tobas, areniscas, calizas). También resaltan las cuarcitas y areniscas de roca tipo sedimentaria.

Tabla 12

Estratigrafía de la cuenca del río Jequetepeque

ERA	PER.	ÉPOCA	TIPO DE ROCA	UNID_HIDRO	CÓD	LITO	DESCRIP
Cenozoico	Paleógeno	Eocena	Plutónica	Acuífero intrusivo	Pe-di/to	Diorita, tonalita	Diorita, Tonalita
		Oligocena	Volcánica	Acuitardo volcánico	Po-vsp	Tobas, aglomerados, brechas	Volcánico San Pablo
		Pliocena	Sedimentaria	- sedimentario	Pp-vt	Tobas, aglomerados	Volcánico Tembladera
	Cuaternario	Holoceno	Sedimentaria	Acuífero poroso no consolidado	Qh-fl	Gravas, arenas, limos	Depósitos Fluviales
					Qh-al	Arenas, gravas, arcillas	Depósitos Aluviales
		Pleistoceno			Qp-fg	Gravas subredondeadas a subangulosas, arena	Depósitos Fluvioglaciares
Mesozoico	Cretáceo	Inferior	Sedimentaria	Acuífero fisurado sedimentario	Ki-chim	Areniscas, lutitas	Formación Chimú
					Ki-f	Cuarcitas, areniscas	Formación Farrat
					Ki-g	Cuarcitas, areniscas	Grupo Goyllarisquizga
				Acuitardo sedimentario	Ki-chu	Calizas, lutitas, margas	Formación Chulec
					Ki-ca	Areniscas, lutitas	Formación Carhuaz
					Ki-in	Calizas, lutitas, margas	Formación Inca

Paleógeno	Superior	Sedimentaria	Acuitardo sedimentario	Ki-in/chu/pa	Calizas, lutitas, margas	Fms. Inca, Chulec, Pariatambo	
				Ki-pa	Dolomitas bituminosas, margas, calizas	Formación Pariatambo	
				Ki-sa	Calizas, lutitas, margas	Formación Santa	
				Ks-ca	Calizas, margas	Formación Cajamarca	
				Ks-qm	Calizas, lutitas, margas	Formación Quilquiñan/Mujarrun	
	Eocena	-	-	-	Ks-yu	Calizas, lutitas, margas	Formación Yumagual
					Ks-gd	Granodiorita	Granodiorita
					Kti-gd	Granodiorita	Granodiorita
					Pe-an	Andesita	Andesitas
					Pe-vch	Tobas, aglomerados, brechas	Volcánico Chilete
				Pe-vll	Andesita, tobas, areniscas, calizas	Volcánico Llama	

Fuente: Gobierno Regional de Cajamarca (ZEE)

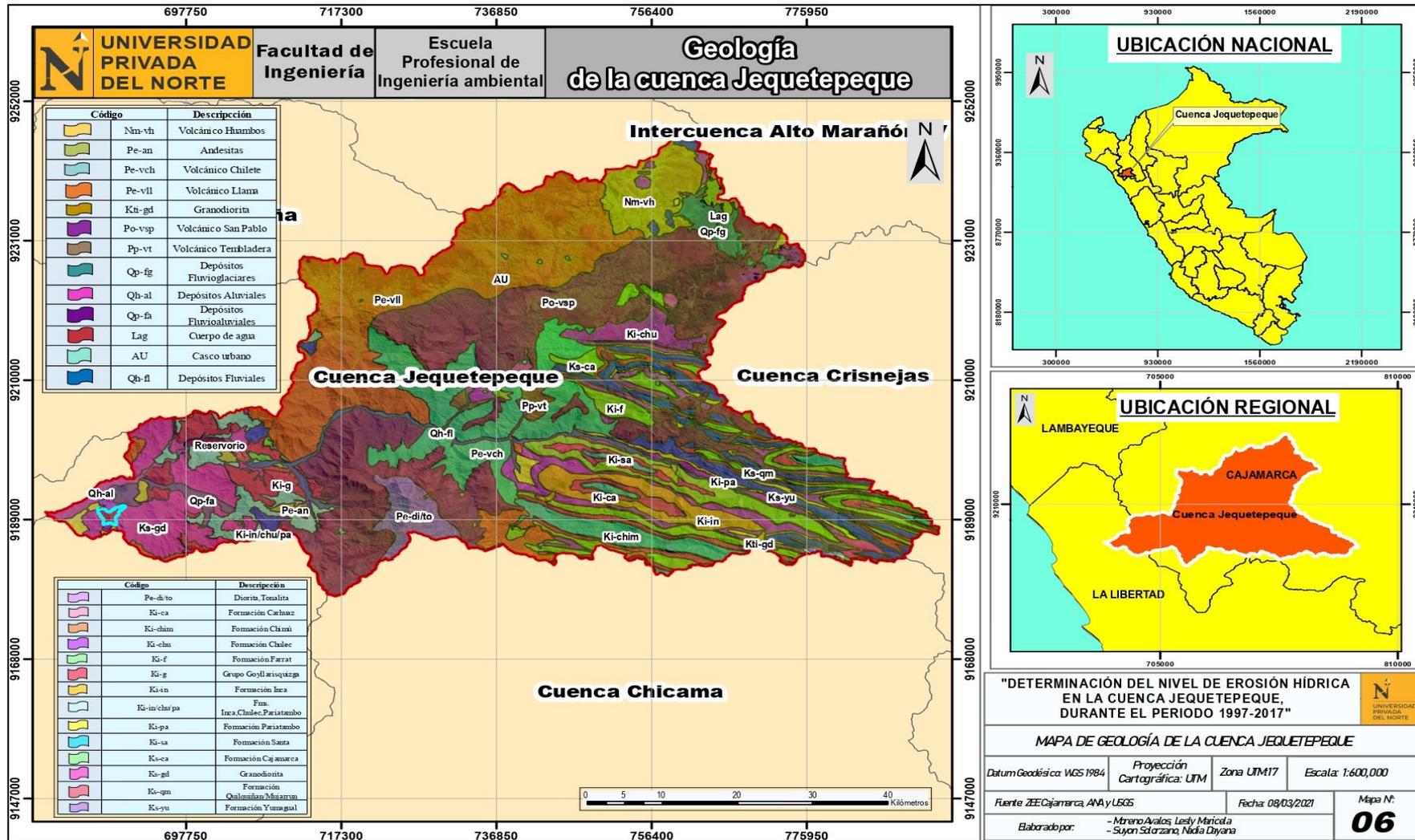


Figura 13. Mapa de geología de la cuenca Jequetepeque

Fisiografía

Según MINAGRI y PEJEZA (2014), las condiciones fisiográficas de la cuenca Jequetepeque, están definidas por El Gavilán, Porcón, y Lagunas Compuerta; y los dos ramales de derivación hacia el Oeste: Yanahuanca, Pedregal, Livis y San Gregorio en el lado Norte, el Salto, Contumazá y Trinidad en el lado Sur; todos ellos se extienden hacia la costa, demarcando las cuencas denominadas Chamán y Cupisnique.

En función a su fisiografía, se han establecido tres partes de la cuenca con características significativamente diferenciadas, las cuales se mencionan a continuación:

- **Bajo Jequetepeque:** abarca desde el litoral hasta Ventanillas (0 a 225 m.s.n.m.), predominan las planicies desérticas y la formación de taludes. Esta zona posee vastas áreas de agricultura, ya que el río Jequetepeque es su principal fuente de abasto de agua.
- **Medio Jequetepeque:** Inicia en Ventanillas hasta llegar a Quindén (225 a 600 m.s.n.m.), está conformado por espolones andinos, ríos temporales y diversas quebradas secas que en su mayoría son de recorrido corto. Debido a su irregular cantidad de agua, esta zona hace poco uso de la agricultura.
- **Alto Jequetepeque:** Comprende desde Quindén hasta la divisoria (600 a 4 183 m.s.n.m.). Su clima va desde semiárido hasta pluviales y periglaciales. Se pueden encontrar numerosos ríos continuos, riachuelos y lagunas. Es una zona que desarrolla un uso agropecuario intenso en secano, y lo complementa con riego.

De acuerdo con la ZEE de Cajamarca, la cuenca Jequetepeque ha sido clasificada según 4 grandes paisajes (Montañoso, Planicie; altiplanicie y colinoso), también se tuvo en cuenta al subpaisaje y la formación. Resalta el gran paisaje Montañoso y el sub paisaje laderas.

Tabla 13

Características fisiográficas de la cuenca Jequetepeque

Gran Paisaje	Paisaje	Sub Paisaje	Formación	Código	Elementos
Montañoso	Montañas sedimentarias formadas sobre areniscas blancas de grano medio a grueso Montañas sedimentarias formadas sobre una secuencia de margas y calizas gris parduzcas en bancos más o menos uniformes Montañas intrusivas formadas sobre granodiorita Montañas sedimentarias formadas sobre una intercalación de areniscas con lutitas grises Montañas intrusivas formadas sobre gruesos estratos de rocas volcánicas como los piroclásticos Montañas sedimentarias formadas sobre areniscas calcáreas, lutitas ferruginosas Montañas extrusivas formadas sobre materiales volcánicos mayormente andesíticos	Laderas	Farrat	MSabLF	Superficie empinada
				MSabLG	Superficie fuertemente empinada
				MSabLE	Superficie moderadamente empinada
				MSsmkLF	Superficie empinada
			Yumagu al	MSsmkLG	Superficie fuertemente empinada
				MSsmkLE	Superficie moderadamente empinada
			Granodi orita	MIgrLF	Superficie empinada
				MIgrLG	Superficie fuertemente empinada
			Carhuaz	MSalgLF	Superficie empinada
				MSalgLG	Superficie fuertemente empinada
			Volcáni co San Pablo	MIgepLD	Superficie fuertemente inclinada
				MIgepLF	Superficie empinada
				MIgepLG	Superficie fuertemente empinada
			Inca	MIgepLE	Superficie moderadamente empinada
MSaclfLH	Superficie muy fuertemente empinada				
Volcani co Chilete	MSaclfLG	Superficie fuertemente empinada			
	MEaLE	Superficie moderadamente empinada			
	MEaLG	Superficie fuertemente empinada			
	MEaLF	Superficie empinada			

Montañas sedimentarias formadas sobre una secuencia fosilífera de calizas arenosas, lutitas calcáreas y margas	MSkalcLF	Superficie empinada
Montañas sedimentarias formadas sobre areniscas cuarzosas bien clasificadas de grano medio a grueso	MSkalcLE	Superficie moderadamente empinada
Montañas extrusivas formadas sobre una brecha andesítica bien compacta	MEbaLG	Superficie fuertemente empinada
Montañas sedimentarias formadas sobre una alternancia de areniscas cuarzosas y lutitas	MEbaLE	Superficie empinada
Montañas sedimentarias formadas sobre lutitas, margas y calizas nodulares	MEbaLF	Superficie empinada
Montañas sedimentarias formadas sobre calizas gris oscuras o azuladas, con delgados lechos de lutitas y margas	MSaclG	Superficie fuertemente empinada
Montañas sedimentarias formadas sobre una secuencia de calizas nodulares, seguida de una intercalación de margas y lutitas amarillentas	MSaclLF	Superficie empinada
	MSaclLE	Superficie moderadamente empinada
	MSlmknLF	Superficie empinada
	MSlmknLG	Superficie fuertemente empinada
	MSkLF	Superficie empinada
	MSkLE	Superficie moderadamente empinada
	MSkLG	Superficie fuertemente empinada
	MSknLF	Superficie empinada
	MSknLD	Superficie fuertemente inclinada

Planicie	Montañas sedimentarias formadas sobre areniscas, lutitas y margas con intercalaciones calcáreas		Inca, Chulec, Pariatambo	MSalmLG	Superficie fuertemente empinada
				MSalmLF	Superficie empinada
	Montañas extrusivas formadas sobre tobas dacíticas y brechas de composición acida		Volcanicos Huambos	MEdLG	Superficie fuertemente empinada
				MEdLF	Superficie empinada
	Montañas intrusivas formadas sobre Diorita y Tonalita		Diorita-Tonalita	MIdtLG	Superficie fuertemente empinada
		Terraza alta	Depositos Fluvioaluviales	PFATaC	Superficie moderadamente inclinada
	Fluvioaluvial	Terraza baja inundable		PFATbiB	Superficie ligeramente inclinada
		Terraza baja inundable		PATbiB	Superficie ligeramente inclinada
		Aluvial	Cono de deyección	PACdC	Superficie moderadamente inclinada
			Terraza alta	PATaD	Superficie fuertemente inclinada
Altiplanicie	Altiplanicies intrusivas formadas sobre gruesos estratos de rocas volcánicas como los piroclásticos	Altiplanicie disectada	Volcanico San Pablo	AIgepDE	Superficie moderadamente empinada
				AIgepDD	
		Altiplanicie ondulada		AIgepOD	Superficie fuertemente inclinada
				AIgepD	
	Altiplanicie formada sobre deposito Fluvio-Glacial	Altiplanicie disectada	Depositos fluvio-glacial	AFgDE	Superficie moderadamente empinada
				AFgDE	Superficie fuertemente inclinada
	Altiplanicie formada sobre depósitos aluviales	Altiplanicie ligeramente ondulada	Depósitos aluviales	AALoC	Superficie moderadamente inclinada

Colinoso	Altiplanicies extrusivas formadas sobre tobas dacíticas y brechas de composición acida	Altiplanicie ondulada	Volcánico Huambos	AEdOD	Superficie fuertemente inclinada
	Colinas sedimentarias formadas sobre areniscas blancas de grano medio a grueso		Farrat	CSacLF	
	Colinas sedimentarias formadas sobre lutitas, margas y calizas nodulares		Chulec-Pariatambo	CSImknLF	
	Colinas intrusivas formadas sobre granodiorita	Laderas	Granodiorita	CIgrLF	Superficie empinada
	Colinas sedimentarias formadas sobre areniscas cuarzosas bien clasificadas de grano medio a grueso		Grupo Goyllari squizsga	CSacLF	
	Colinas extrusivas formadas sobre una brecha andesítica bien compacta		volcánico Llama	CEbaLE	Superficie moderadamente empinada

Fuente: Gobierno Regional de Cajamarca (ZEE)

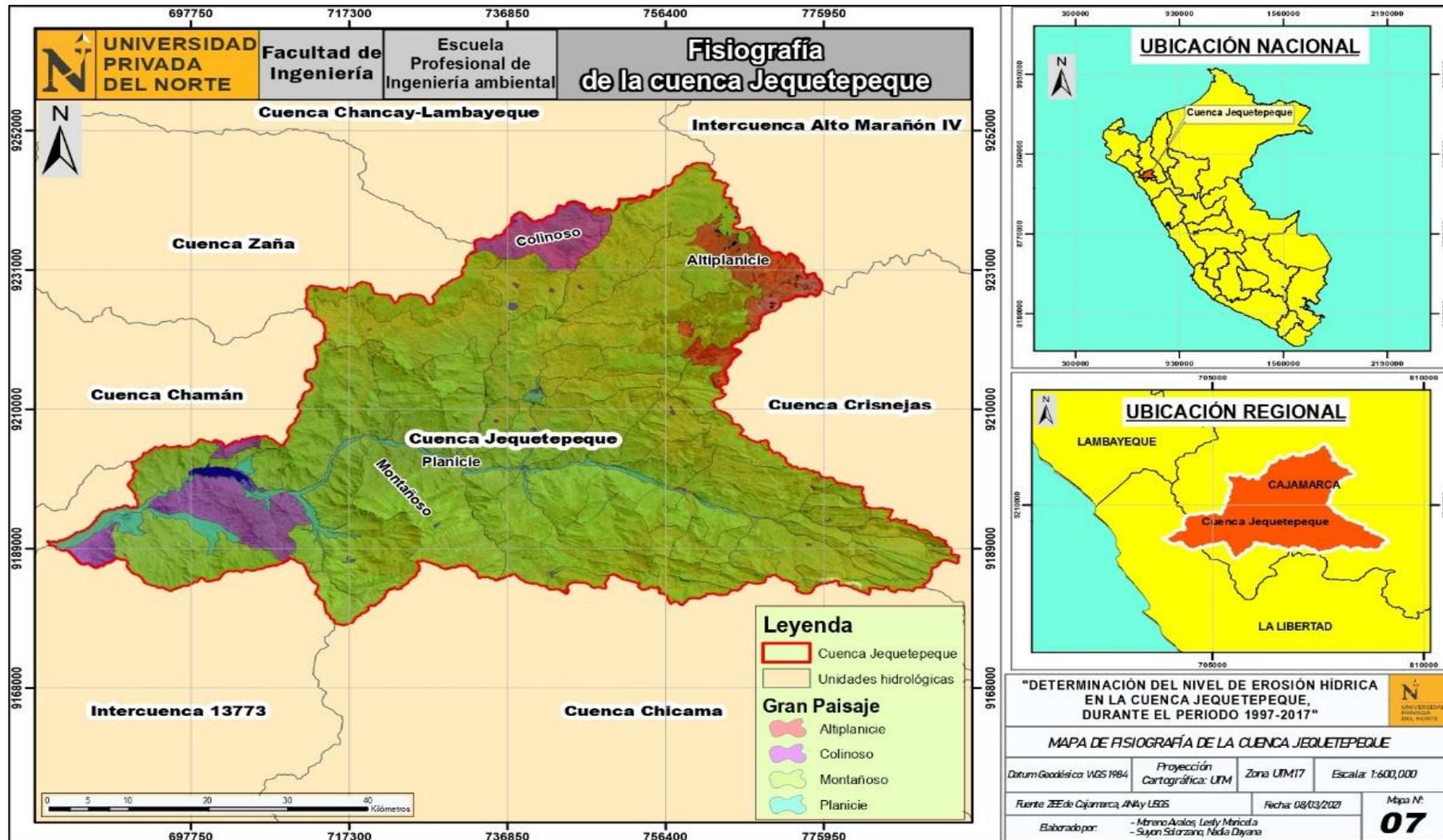


Figura 14. Mapa de Fisiografía de la cuenca Jequetepeque

Geomorfología

Las variadas morfologías de la cuenca Jequetepeque son el resultado de los procesos geológicos- geodinámicos permanentes, cuyo agente activo es el agua. Estos procesos alimentan los sistemas acuíferos, intervienen en la interacción con la napa freática, y dan lugar a la erosión, transporte y deposición de materiales (ANA, 2015). De tal forma, son 03 las unidades geomorfológicas que actúan en los procesos hidrodinámicos de la cuenca de estudio.

Sobresale la de origen estructural erosional, es decir hay alta presencia de paisajes montañosos, debido al plegamiento de las rocas que aún mantienen su estado original, pese a que han sufrido otros procesos, como la denudación.

También se aprecia la de origen agradacional, la cual se ubica principalmente alrededor de los ríos principales, puesto que esta unidad geomorfológica depende de factores de desplazamiento, como el agua, viento, etc.

En menor proporción se encuentra la de origen denudacional, la cual es producto de procesos exógenos, como la erosión y meteorización.

Tabla 14

Unidades geomorfológicas que componen la cuenca Jequetepeque

Origen	Paisaje Dominante	Símbolo	Unidad Geomorfológica
Estructural-erosional	Montañoso	ME-rci	Montaña empinada en rocas del cretáceo inferior
		ME-rcii	Montaña empinada en rocas del cretáceo inferior e intrusivas.
		MFE-rp	Montaña fuertemente empinada en rocas del paleogeno.
		LME-rp	Ladera de montaña empinada en rocas del paleogeno.
		MFE-rci	Montaña fuertemente empinada en rocas del cretáceo inferior.
		MME-rp	Montaña moderadamente empinada en rocas del paleogeno.
		LMFE-rs	Ladera de montaña fuertemente empinada en rocas del cretáceo superior.
		MFD-rp	Montaña fuertemente disectada en rocas del paleogeno.

Denudacional

Altiplanicie

MME-rcs	Montaña moderadamente empinada en rocas del cretáceo superior.
MME-rcip	Montaña moderadamente empinada en rocas del cretáceo inferior y del paleogeno.
VMFE-rp	Vertiente montañosa fuertemente empinada en rocas del paleogeno.
LME-rcs	Ladera de montaña empinada en rocas del cretáceo superior.
LMFE-rp	Ladera de montaña fuertemente empinada en rocas del paleogeno.
ME-rp	Montaña empinada en rocas del paleogeno.
ME-rcs	Montaña empinada en rocas del cretáceo superior
LMFE-rcip	Ladera de montaña fuertemente empinada en rocas del cretáceo inferior y del paleogeno.
ME-rcsp	Montaña empinada en rocas del cretáceo superior y del paleogeno.
VME-rci	Vertiente montañosa empinada en rocas del cretáceo inferior.
LMFE-rci	Ladera de montaña fuertemente empinada en rocas del cretáceo inferior.
MFE-rcsp	Montaña fuertemente empinada en rocas del cretáceo superior y del paleogeno.
MME-rpn	Montaña moderadamente empinada en rocas del paleogeno y del neogeno.
LME-rci	Ladera de montaña empinada en rocas del cretáceo inferior.
ME-rcis	Montaña empinada en rocas del cretáceo inferior y superior.
VMFD-rci	Vertiente montañosa fuertemente disectada en rocas del cretáceo inferior.
MME-rpn	Montaña moderadamente empinada en rocas del paleógeno y del neogeno.
MFE-rci	Vertiente montañosa fuertemente empinada en rocas del cretáceo inferior.
MME-rn	Montaña moderadamente empinada en rocas del neógeno.
ME-rn	Montaña empinada en rocas del neógeno.
LME-rcis	Ladera de montaña empinada en rocas del cretáceo inferior y superior.
Ame-Rp	Altiplanicie moderadamente empinada en rocas del paleógeno.
Afi-Rncs	Altiplanicie fuertemente inclinada en rocas del neógeno y del cretáceo superior.
Afi-Rpn	Altiplanicie fuertemente inclinada en rocas del paleógeno y del neógeno.
Afi-Rp	Altiplanicie fuertemente inclinada en rocas del paleógeno.

Agradacional	Colinoso	Ame-Rp	Altiplanicie moderadamente empinada en rocas del paleógeno.
		Ami-Rp	Altiplanicie moderadamente inclinada en rocas del paleógeno.
		CAE-rci	Colina alta empinada en rocas del cretáceo inferior.
	Planicie	Ci-rp	Colinas Inter montañosas en rocas del paleógeno.
		CAE-ri	Colina alta empinada en rocas intrusivas.
	Altiplanicie	P-at	Piedemonte aluvio torrencial.
		Ct-ini	Complejo de terrazas inundable y no inundable.
		Afi-Df	Altiplanicie fuertemente inclinada en depósitos fluvioglaciares.
		Ame-da	Altiplanicie moderadamente empinada en depósitos aluviales.
			Afi-Df

Fuente: Gobierno Regional de Cajamarca (ZEE)

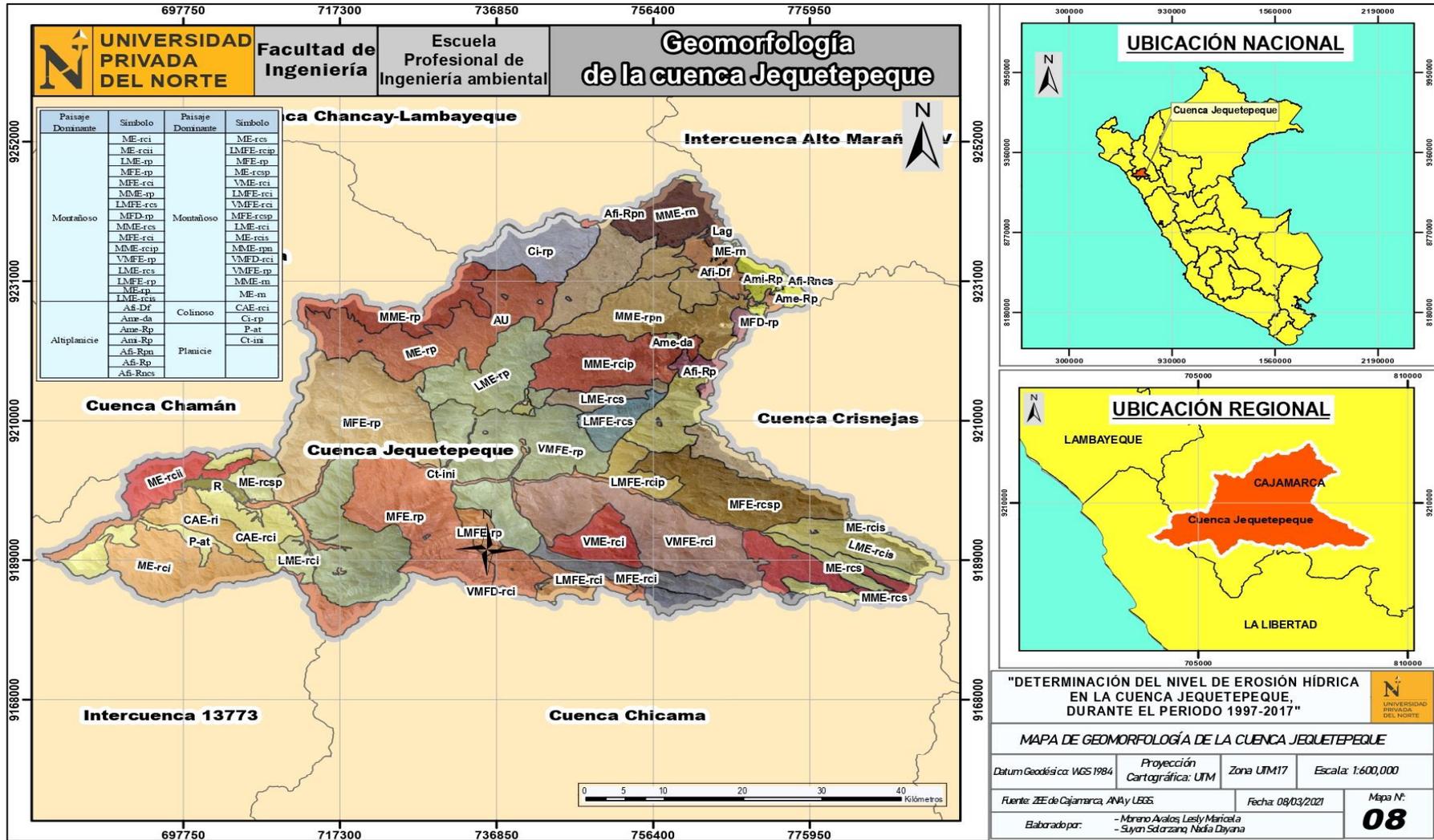


Figura 15. Mapa de geomorfología de la cuenca Jequetepeque

Suelos

Por otro lado, los suelos de la cuenca pueden clasificarse en función a su origen, pudiendo ser fluviales, aluviales, coluvio – aluviales y residuales.

Los tipos de suelos fluviales, se originan mediante el proceso de arrastre de sedimentos que realizan los ríos Jequetepeque, Pallac y San Miguel (Puclush); llegando a formar terrazas en pendientes suaves; en tanto, la formación de los suelos aluviales es dada por corrientes de agua de poco recorrido; en contraste, los suelos coluvio – aluviales se originan por el arrastre en pendientes pronunciadas y forman depósitos llamados piedemontes y conos de deyección; finalmente están los suelos residuales generados por la meteorización de las rocas por acción de temperatura (Vásquez, 2018).

En la cuenca Jequetepeque se han identificado 19 unidades de suelos, de los cuales 8 corresponden a unidades puras y 11 resultan de asociaciones. Prevalece el suelo de tipo andosol-leptosol (T-L). A continuación se describen las unidades puras de suelos, encontradas en la cuenca Jequetepeque:

- Andosol (T): Se caracterizan por presentar desarrollo moderado y relieve ondulado, se encuentra ocupado principalmente por pastos, bosques y vegetación arbustiva, en menor proporción se aprecian cultivos agrícolas, debido a que cuenta con pendientes empinadas. Este tipo de suelos poseen buena capacidad de retención de humedad y drenaje, la erosión es moderada (Gobierno Regional de Cajamarca, 2011).
- Paramosol (PS): Se encuentran ocupados por vegetación escasa, pastos naturales y afloramientos rocosos, agentes climáticos (heladas, granizadas, sequías, etc) impiden el desarrollo de la agricultura. Cuentan con drenaje bueno y alta retención de humedad, pendientes empinadas a muy empinadas y la erosión va de moderada a severa (Gobierno Regional de Cajamarca, 2011).

- Phaeozem (H): Cubierto mayormente por cultivos agrícolas, debido a que presenta una fertilidad media. Se encuentran principalmente en planicies y laderas suaves, tienen buena capacidad de retención de humedad y drenaje, pendientes ligeramente inclinadas y erosión moderada (Gobierno Regional de Cajamarca, 2011).
- Leptosol (L): Se origina a partir de rocas areniscas cuarcíticas, calizas y volcánicas; presenta fertilidad baja y deben ser considerados tierras de protección (refugio de fauna silvestre), cuenta con escasa retención de humedad, drenaje mayormente excesivo y pendientes inclinadas a fuertemente empinadas (Gobierno Regional de Cajamarca, 2011).
- Regosol (R): El paisaje es de tipo ondulado y está cubierto por vegetación arbustiva, la fertilidad natural es baja. Son suelos superficiales y están constituidos por surcos y cárcavas, cuentan con drenaje excesivo, pendientes inclinadas y erosión moderada a severa (Gobierno Regional de Cajamarca, 2011).
- Paramoandosol (PA): Pertenece a la jalca, por lo que se encuentran ocupados por vegetación escasa, pastos naturales, y afloramientos rocosos, no se practica la agricultura debido a factores climatológicos, poseen drenaje bueno y alta capacidad de retención de humedad, las pendientes son empinadas y la erosión moderada a severa (Gobierno Regional de Cajamarca, 2011).
- Rendzina (E): Son poco desarrollados y no recomendables para construcciones edáficas, están cubiertos por vegetación arbustiva, pastos, y en algunas áreas se encuentran cultivos de pan llevar. Son superficiales y de relieve ondulado, presentan drenaje bueno, pendientes inclinadas a empinadas y erosión severa (Gobierno Regional de Cajamarca, 2011).

- Fluvisol (J): Utilizado mayormente para el manejo de cultivos intensivos (maíz, arroz, cereales, alfalfa, frutales, pastos, entre otros), se ubican en zonas bajas y cercanas a los ríos, presentan buena capacidad de retención de humedad y drenaje, las pendientes oscilan en un rango de planas a ligeramente inclinadas (Gobierno Regional de Cajamarca, 2011).

Tabla 15

Tipos de suelos en la cuenca Jequetepeque

Código	Descripción	Pendiente	Drenaje	Permeabilidad	Fertilidad	Pedregosidad
T	Andosol	Superficie empinada/moderadamente empinada/fuertemente empinada	Excesivo/Algo Excesivo	Moderada	Media	Ligeramente pedregoso
T-L	Andosol-Leptosol	Superficie empinada/moderadamente empinada/fuertemente empinada	Excesivo/Algo Excesivo	Moderada	Media	Moderadamente pedregoso
PS	Paramosol	Superficie empinada/moderadamente empinada/fuertemente empinada	Moderado/Excesivo/Algo Excesivo	Moderada	Baja	Ligeramente pedregoso
H	Phaeozem	Superficie empinada/moderadamente empinada/fuertemente empinada	Bueno/Algo Excesivo	Moderadamente lenta	Alta	Ligeramente pedregoso
B-L	Cambisol-Leptosol	Superficie fuertemente empinada	Excesivo	Moderada	Media	Ligeramente pedregoso
T-R	Andosol-Regosol	Superficie empinada/ fuertemente empinada	Excesivo/Algo excesivo	Moderada	Media	Moderadamente pedregoso
L	Leptosol	Superficie empinada/ fuertemente empinada	Excesivo/Algo excesivo	Moderadamente rápida	Baja	Moderadamente pedregoso
R	Regosol	Superficie empinada/ fuertemente empinada	Excesivo/Algo excesivo	Moderadamente rápida	Baja	Moderadamente pedregoso
L-R	Leptosol-Regosol	Superficie empinada/ fuertemente empinada	Excesivo/Algo excesivo	Moderadamente rápida	Baja	Moderadamente pedregoso

PA	Paramo andosol	Superficie empinada/moderadamente empinada/fuertemente empinada/fuertemente inclinada	Bueno/Excesivo/Algo excesivo	Moderada/Moderadamente rápida	Baja/Media	Ligeramente pedregoso
L-X	Leptosol-Xerosol	Superficie empinada/fuertemente empinada	Excesivo/Algo excesivo	Moderadamente rápida	Baja	Ligera y Moderadamente pedregoso
PS-L	Paramosol-Leptosol	Superficie empinada/moderadamente empinada/fuertemente empinada	Excesivo/Algo excesivo	Moderadamente rápida	Baja/Media	Ligera y Moderadamente pedregoso
E	Rendzina	Superficie fuertemente empinada	Excesivo	Moderada	Media	Ligeramente pedregoso
H-L	Phaeozem-Leptosol	Superficie empinada/moderadamente empinada/fuertemente empinada	Excesivo/Algo excesivo	Moderadamente rápida	Baja/Media	Ligera y Moderadamente pedregoso
E-L	Rendzina-Leptosol	Superficie empinada	Algo excesivo	Moderadamente rápida	Media	Moderadamente pedregoso
PA-L	Paramo andosol-Leptosol	Superficie empinada/moderadamente empinada	Algo excesivo	Moderadamente rápida	Baja/Media	Ligera y Moderadamente pedregoso
J-H	Fluvisol-Phaeozem	Superficie ligera y moderadamente inclinada	Moderado e imperfecto	Moderada	Media	Ligeramente pedregoso
J	Fluvisol	Superficie fuertemente inclinada	Bueno	Moderada	Media	Ligeramente pedregoso
L-X	Leptosol-Xerosol	Superficie empinada	Algo excesivo	Moderadamente rápida	Baja	Ligeramente pedregoso

Fuente: Gobierno Regional de Cajamarca (ZEE)

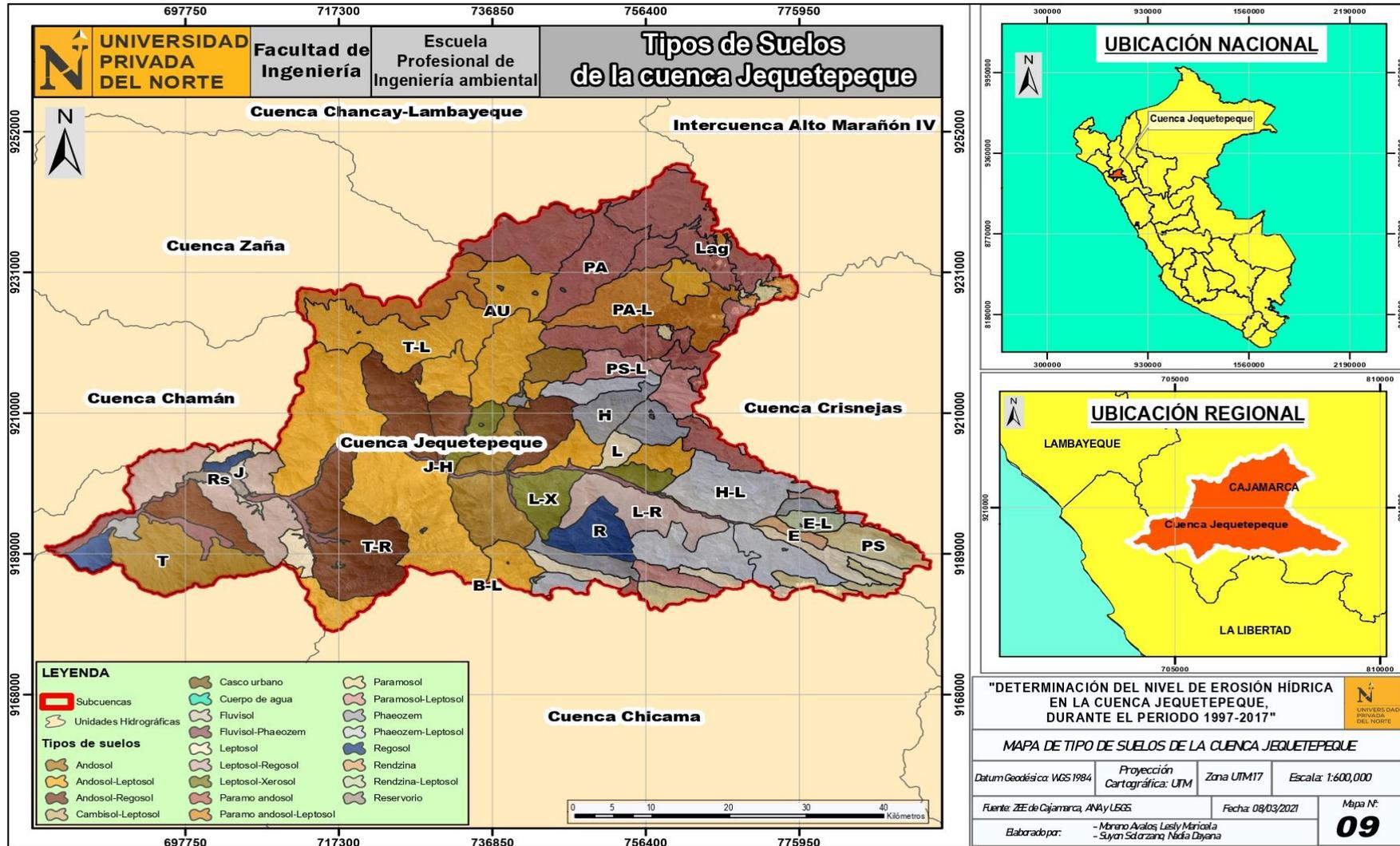


Figura 16. Suelos de la cuenca Jequetepeque

Uso mayor de suelos

La clasificación de los suelos según su capacidad de uso mayor, es un ordenamiento sistemático basado en la aptitud natural que presenta el suelo para producir constantemente. El criterio básico que rige esta clasificación está determinado fundamentalmente por las características ecológicas, así como por la naturaleza y grado de limitaciones que impone el uso del suelo. El MINAGRI (2009) promulgó el DS N°017-2009-AG, en este documento legal se expone como han sido clasificadas las tierras de acuerdo a su uso mayor.

- **Grupos de capacidad de uso mayor:** Tierras aptas para Cultivo en Limpio (A), Tierras aptas para Cultivo Permanente (C), Tierras aptas para Pastos (P), Tierras aptas para Forestales (F) y Tierras de Protección (X).
- **Clases de capacidad de uso mayor:** Clase de calidad agrológica alta (1), Clase de calidad agrológica media (2), Clase de calidad agrológica baja (3).
- **Subclases de capacidad de uso mayor:** Se tiene en cuenta los factores limitantes y riesgos que presenta un suelo.

Factores limitantes:

- Limitación por suelo (s)
- Limitación por sales (l)
- Limitación por topografía – riesgo de erosión (e)
- Limitación por drenaje (w)
- Limitación por riesgo de inundación (i)
- Limitación por clima (c)

Condiciones especiales:

- Uso Temporal
- Terraceo o andenería
- Riego permanente o suplementario.

La cuenca Jequetepeque se ha clasificado en concordancia con los grupos de capacidad de uso mayor, por lo que se aprecia que predominan las tierras aptas para pastos.

Tabla 16

Clasificación de los suelos de acuerdo con los grupos de capacidad de uso mayor

Código	Definición	Descripción	Área (has)	%
X	Tierras de protección	Poseen limitaciones tan severas de orden edáfico, climático o de relieve, lo que impide la producción sostenible de cultivos, pastos o producción forestal	72560.20	26.98
P	Tierras aptas para pastos	Tierras que no reúnen las condiciones ecológicas mínimas requeridas para cultivo en limpio o permanente; pero si permiten la instalación de pastos o permiten el mejoramiento de pastos naturales orientados a un uso continuado o temporal para el pastoreo.	96364.82	35.83
A	Tierras aptas para Cultivo en limpio	Tierras que presentan buenas características edáficas, topográficas y climáticas, ideal para una agricultura intensiva, incluye suelos bien desarrollados, con buenas características físicas, químicas y biológicas.	5602.04	2.08
F	Tierras aptas para forestales	Presentan limitaciones climáticas, edáficas y topográficas, que no permiten la actividad agropecuaria, pero que sí son aptas para la producción de especies forestales.	89136.55	33.15
C	Tierras aptas para cultivo permanente	Permiten la producción de cultivos permanentes, tales como, arbustivos o arbóreos (frutales principalmente); también pueden ser destinados para pastos o producción forestal.	5264.92	1.96

Fuente: Gobierno Regional de Cajamarca (ZEE) y MINAGRI.

Tabla 17

Capacidad de uso mayor (CUM) de suelos de la cuenca Jequetepeque

Descripción	Código	Áreas (has)	%
Tierras de protección con limitaciones de suelo, erosión y clima	Xsec/E	16854.84	6.87
	Xsec/F	2289.49	0.93
	Xsec/G	4558.80	1.86
Tierras de protección con limitaciones de suelo y erosión	Xse/F	2699.67	1.10
	Xse/G	2272.99	0.93
Tierras aptas para pastos, calidad agrologica baja, con limitaciones de suelo, erosión y pastoreo temporal-Tierras de protección con limitaciones de suelo y erosión	P3se(t)-Xse/F	6635.54	2.70
Tierras aptas para pastos, calidad agrologica baja, con limitaciones de suelo, erosión, clima y pastoreo temporal-Tierras de protección con limitaciones de suelo, erosión y clima	P3sec(t)-Xsec/G	13403.14	5.46
Tierras aptas para pastos, calidad agrologica media, con limitaciones de suelo, erosión, clima y pastoreo temporal-Tierras de protección con limitaciones de suelo, erosion y clima	P2sec(t)-Xsec/F	5716.32	2.33
Tierras aptas para pastos, calidad agrologica media, con limitaciones de suelo, erosion, clima y pastoreo temporal	P2sec(t)/F	5547.70	2.26
Tierras aptas para pastos, calidad agrologica media, con limitaciones de suelo, erosion y pastoreo temporal-Tierras de protección con limitaciones de suelo y erosion	P2se(t)-Xse/F	2675.94	1.09
Tierras aptas para pastos, calidad agrologica baja, con limitaciones de suelo, erosión, clima y pastoreo temporal	P3sec(t)/F	8794.57	3.58
Tierras aptas para pastos, calidad agrologica media, con limitaciones de suelo, erosion, clima y pastoreo temporal-Tierras de protección con limitaciones de suelo, erosion y clima	P2sec(t)-Xsec/G	11207.18	4.57
	P2sec(t)-Xsec/E	3855.65	1.57

Tierras aptas para pastos, calidad agrologica media, con limitaciones de suelo, erosion, clima y pastoreo temporal	P2sec(t)/E	2428.04	0.99
	P2sec(t)/G	1558.97	0.64
	P2sec(t)/D	987.36	0.40
Tierras aptas para pastos, calidad agrologica baja, con limitaciones de suelo, erosion, clima y pastoreo temporal	P3sec(t)/G	4558.24	1.86
	P3sec(t)/E	9748.72	3.97
Tierras aptas para pastos, calidad agrologica media, con limitaciones de suelo, erosion y pastoreo temporal-Tierras de protección con limitaciones de suelo y erosion	P2se(t)-Xse/G	1037.89	0.42
	P3sec(t)-Xsec/E	20789.42	8.47
Tierras aptas para pastos, calidad agrologica baja, con limitaciones de suelo, erosion, clima y pastoreo temporal-Tierras de protección con limitaciones de suelo, erosion y clima	P3sec(t)-Xsec/F	4778.06	1.95
	F2sec/E	3115.24	1.27
Tierras aptas para producción forestal, calidad agrologica media, con limitaciones de suelo, erosion y clima	F2sec/F	1192.83	0.49
	F2se/E	1395.75	0.57
Tierras aptas para producción forestal, calidad agrologica media, con limitaciones de suelo y erosion	F3sec/F	2786.55	1.14
	F3sec-Xsec/F	22326.19	9.10
Tierras aptas para producción forestal, calidad agrologica baja, con limitaciones de suelo, erosion y clima-Tierras de protección, con limitaciones de suelo, erosion y clima	F3sec-Xsec/G	17600.74	7.17
	F2se-Xse/E	2978.39	1.21
Tierras aptas para producción forestal, calidad agrologica media, con limitaciones de suelo y erosion-Tierras de protección con limitaciones de suelo y erosion	F2se-Xse/F	2114.98	0.86
	F3se-Xse/F	2433.26	0.99
Tierras aptas para producción forestal, calidad agrologica baja, con limitaciones de clima-Tierras aptas para pastos, calidad agrologica baja, con limitaciones de clima	F3c-P3c/D	2836.94	1.16
	F2se-P2se(t)/F	21132.07	8.61
Tierras aptas para producción forestal, calidad agrologica media, con limitaciones de suelo y erosion-Tierras aptas para pastos, calidad agrologica media, con limitaciones de suelo, erosion y pastoreo temporal			

Tierras aptas para producción forestal, calidad agrologica baja, con limitaciones de suelo, erosión y clima-Tierras aptas para pastos, calidad agrologica media, con limitaciones de suelo, erosion, clima y pastoreo temporal	F3sec- P2sec(t)/E	9483.69	3.87
Tierras aptas para producción forestal, calidad agrologica media, con limitaciones de suelo, erosión y clima-Tierras aptas para pastos, calidad agrologica media, con limitaciones de suelo, erosion, clima y pastoreo temporal	F2sec- P2sec(t)/E	14042.99	5.72
Tierras aptas para cultivo en limpio, calidad agrologica media, con limitaciones de inundación y requiere riego	A2i(r)/C	1763.36	0.72
Tierras aptas para cultivo en limpio, calidad agrologica media, con limitaciones de suelo, erosion, clima y requiere riego	A2sec(r)/D A2sec(r)/B	451.54 2043.58	0.18 0.83
Tierras aptas para cultivo permanente, calidad agrologica media, con limitaciones de suelo, erosión, clima y requiere riego	C2sec(r)/D C2sec(r)/B	291.53 4973.39	0.12 2.03

Fuente: Gobierno Regional de Cajamarca (ZEE)

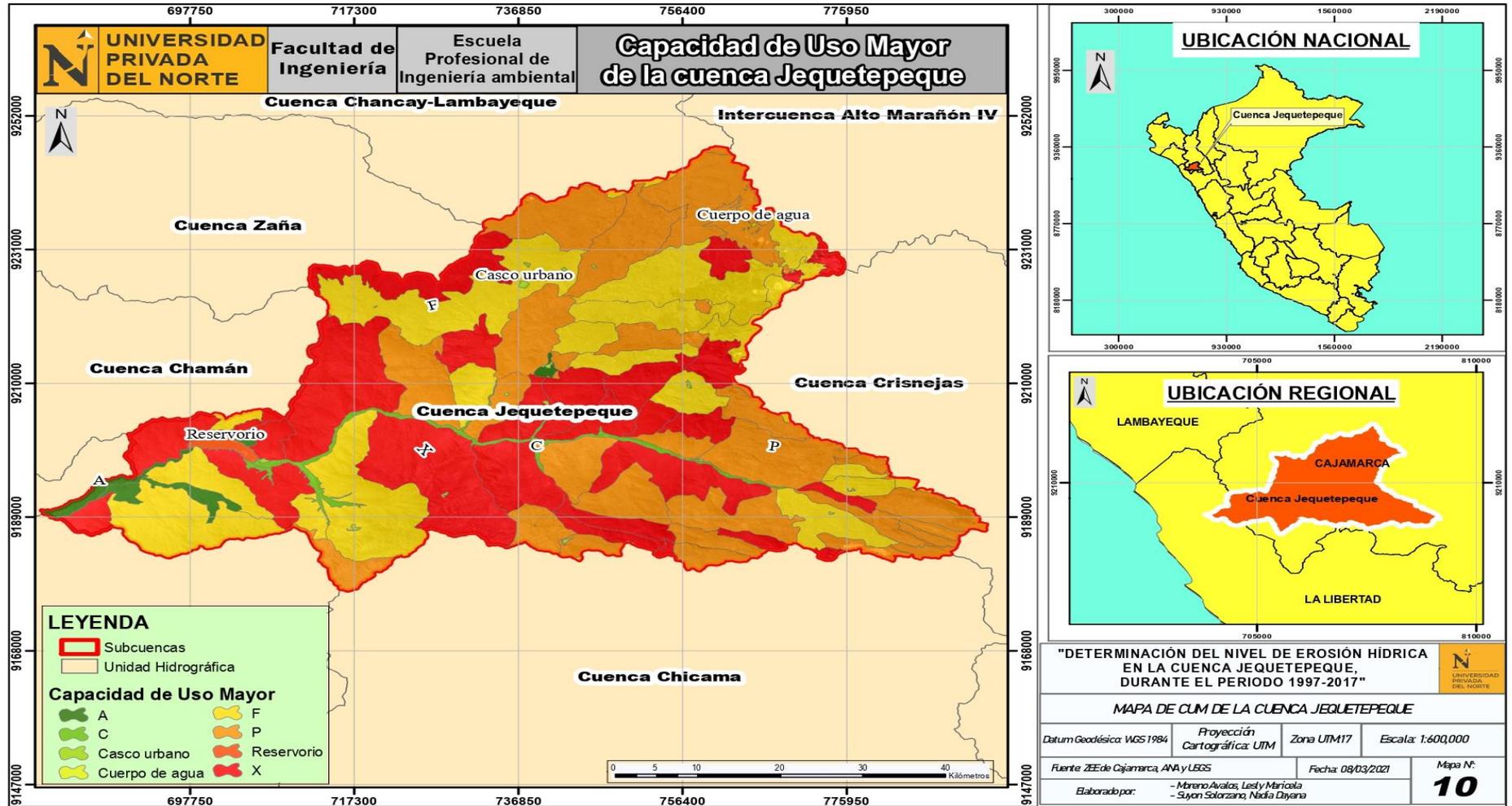


Figura 17. Mapa de uso mayor de suelos de la cuenca Jequetepeque

B. Aspectos Biológicos

Ecología

Los factores climáticos definen el tipo de zona de vida en determinados espacios físicos; en tal sentido, el Gobierno regional de Cajamarca (2011) y la ANA (2015), tomando como referente el Sistema de Clasificación de Holdbridge, identificaron 16 zonas de vida en la cuenca Jequetepeque:

Tabla 18

Zonas de vida de la cuenca Jequetepeque

Código	Zona de vida	Descripción	Área (has)	%
dsa-T	desierto superárido Tropical	Vegetación escasa, presencia de arbustos xerofíticos, graminales (de forma estacional), destacan el algarrobo y sapote.	516.34	0.14
md-MBT	matorral desértico Montano Bajo Tropical	Las tierras se usan para cultivos de subsistencia y los pastos para el pastoreo durante el verano.	5949.95	1.60
bh-MT	bosque húmedo Montano Tropical	Posee una topografía accidentada con suelos superficiales y de mediana profundidad.	303.56	0.08
bs-MBT	bosque seco Montano Bajo Tropical	En esta zona, la cobertura vegetal es más densa y se practica la agricultura de secano.	63032.25	16.95
bs-PT	bosque seco Premontano Tropical	Su cubierta vegetal es típica a la sabana con árboles pequeños, arbustos y un manto de grama.	49723.59	13.37
dsa-PT	desierto superárido Premontano Tropical	La vegetación predominante es el algarrobo y la agricultura solo es posible con riegos adecuados.	15364.98	4.13

e-MT	estepa Montano Tropical	Se encuentra formada por grama y la agricultura se desarrolla en lugares con disponibilidad de agua.	9082.52	2.44
ee-MBT	estepa espinos Montano Bajo Tropical	Predomina la vegetación herbácea y la agricultura se lleva a cabo en lugares con disponibilidad de agua.	14120.00	3.80
md-PT	matorral desértico Premontano Tropical	Los pastos crecen en periodos de lluvias y son usadas para el pastoreo del ganado caprino y vacuno.	13284.89	3.57
md-T	matorral desértico Tropical	Durante las lluvias de verano, crece una cubierta de gramíneas. Esta zona produce frutas tropicales en tierras con agua.	22099.96	5.94
pmh-SAT	paramo muy húmedo Subalpino Tropical	Su vegetación la conforman los pastos naturales típicos de la pradera altoandina. Se desarrolla la ganadería de camélidos americanos.	5176.20	1.39
tp-AT	tundra pluvial Alpino Tropical	La cubierta vegetal es más abundante y florísticamente diversificada. Hay presencia de matas gramíneas, plantas arrosietadas, almohadillos (<i>Destichia muscoides</i>), líquenes y musgos. Las tierras de esta zona son utilizadas para el pastoreo trashumante.	38.95	0.01
bh-MBT	bosque húmedo Montano Bajo Tropical	El clima en esta zona es bastante favorable para la agricultura, ganadería, producción de madera y establecimiento humano.	52336.10	14.07
pp-SAT	paramo pluvial Subalpino Tropical	Se caracteriza por presentar precipitaciones altas, temperaturas bajas y topografía accidentada lo que impide que esta zona sea de uso agropecuario.	6241.04	1.68
me-PT	monte espinoso Premontano Tropical	El excesivo pastoreo afecta la zona; sin embargo, emergen arbustos cactáceos, gramíneas, cultivos tropicales y subtropicales.	39842.06	10.71
bmh-MT	bosque muy húmedo Montano Tropical	Tiene las condiciones ideales para la actividad agropecuaria.	74824.69	20.12

Fuente: Gobierno Regional de Cajamarca (ZEE) y ANA (2015)

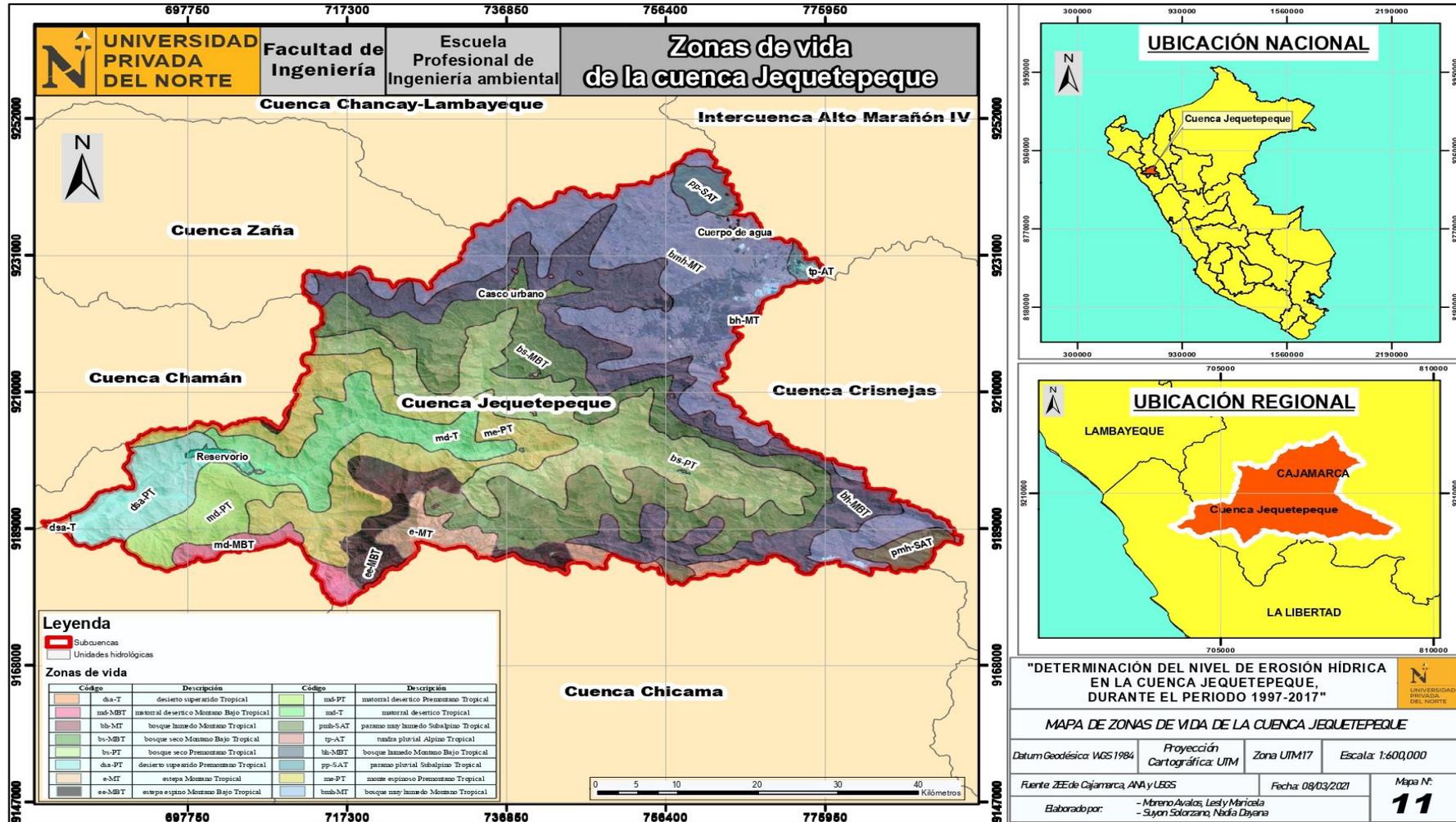


Figura 18. Mapa de zonas de vida de la cuenca Jequetepeque

Cobertura vegetal

La cobertura consta de todo rasgo o cuerpo presente sobre la superficie terrestre que es aprovechada por la población, según sus necesidades de supervivencia; como la vegetación natural, cultivos, centros poblados, entre otros (ANA, 2015), cuya distribución se muestra a continuación:

Tabla 19

Tipos de cobertura vegetal en la cuenca Jequetepeque

símbolo	Cobertura Vegetal	Área (has)	%
Agri	Agricultura costera y andina	129225.90	34.55
U	Área urbana	647.84	0.17
Bo	Bofedal	326.88	0.09
Bm-oca	Bosque montano occidental andino	1667.78	0.45
Bsm	Bosque seco de montaña	87588.46	23.42
Bspm	Bosque seco de piedemonte	191.40	0.05
Bss	Bosque seco tipo sabana	965.87	0.26
Car	Cardonal	397.33	0.11
Mi	Centro minero	2274.97	0.61
Dc	Desierto costero	689.86	0.18
L/Co	Lagunas, lagos y cochas	131.81	0.04
Ma	Matorral arbustivo	53042.34	14.18
Pj	Pajonal andino	20118.99	5.38
PF	Plantación Forestal	20610.72	5.51
Re	Represa	1480.72	0.40
Ma	Matorral arbustivo	30694.14	8.21
Pj	Pajonal andino	23971.23	6.41

Fuente: MINAM (2015)

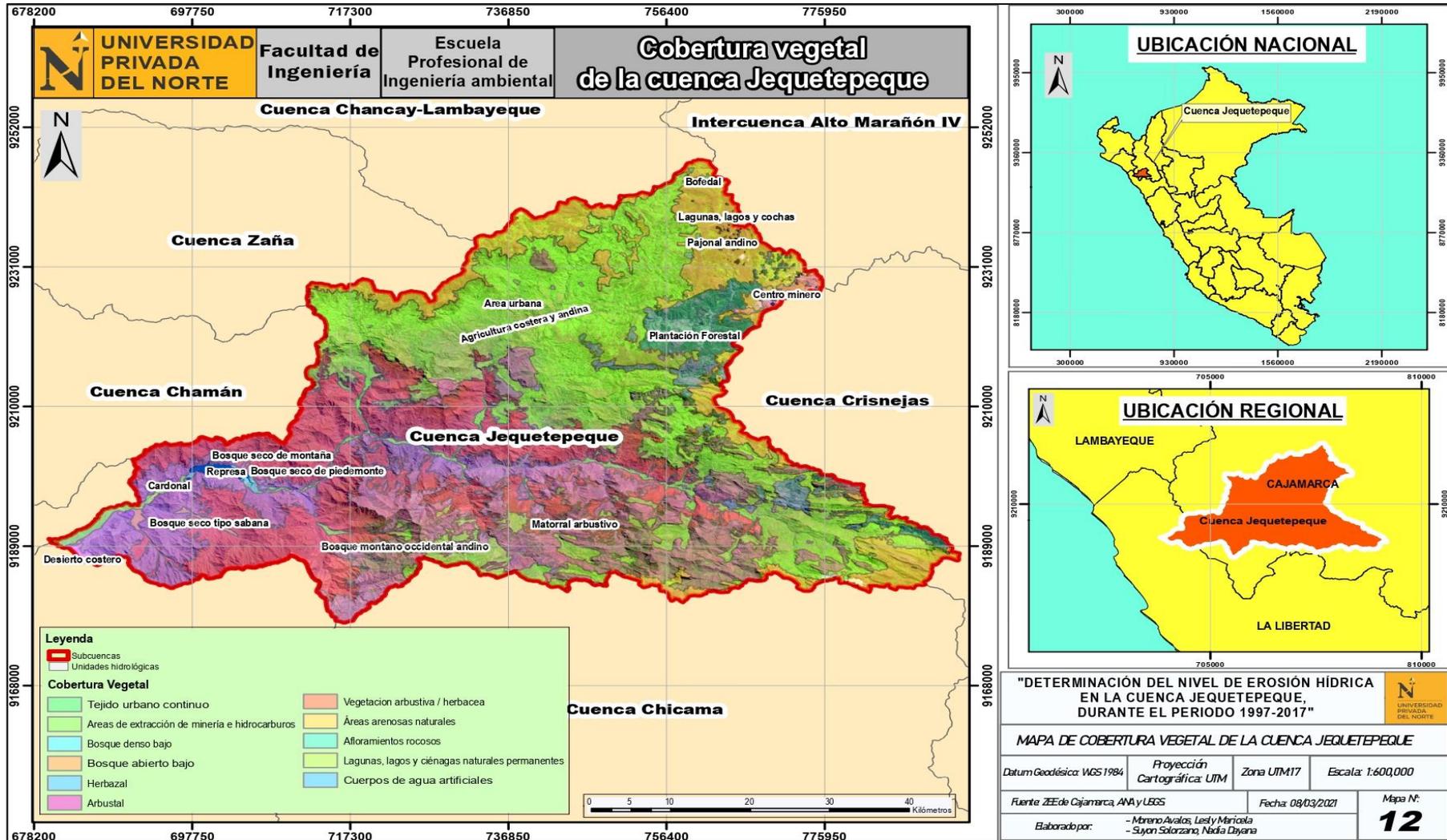


Figura 19. Mapa de la cobertura vegetal en la cuenca Jequetepeque

Determinación de los factores de la RUSLE

A. Factor de erosividad hídrica (R)

Para determinar el factor R primero se procedió a adquirir los datos de la precipitación concernientes a los años 1997 y 2017 proporcionados por el SENAMHI, ya que son considerados requisitos indispensables para este proceso. Se trabajó con un total de 13 estaciones meteorológicas que pertenecen a la cuenca de estudio o son aledañas, los datos recopilados fueron analizados antes de su utilización.

El primer análisis empleado fue el de consistencia visual para determinar saltos o anomalías, el segundo fue el de doble masa y el tercero el estadístico finalmente se procedió con la corrección de datos para ser posteriormente introducidos en los softwares de sistemas de información geográfica. Finalmente, para el cálculo del factor R se trabajó con la fórmula propuesta por Wischmeier y Smith (1978) y la cual se indica en la metodología.

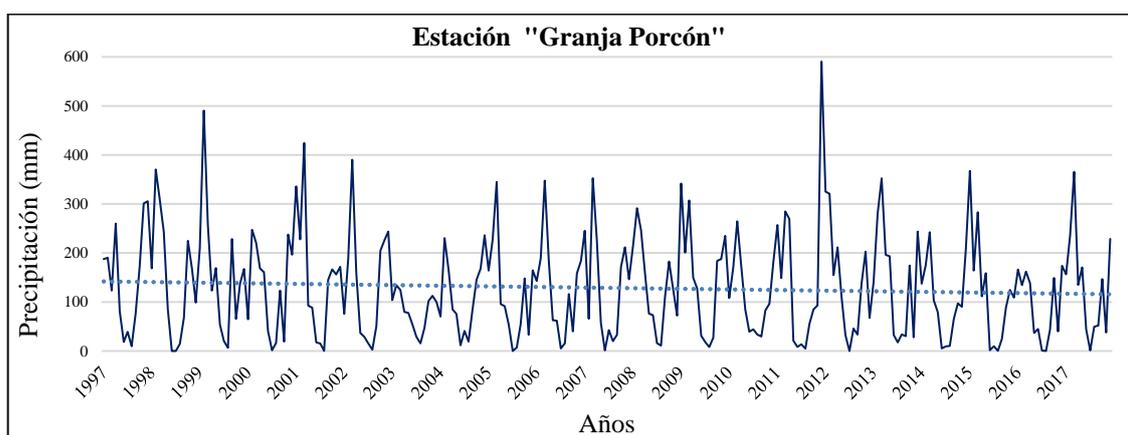


Figura 20. Análisis de consistencia visual de precipitación de la estación “Granja Porcón”

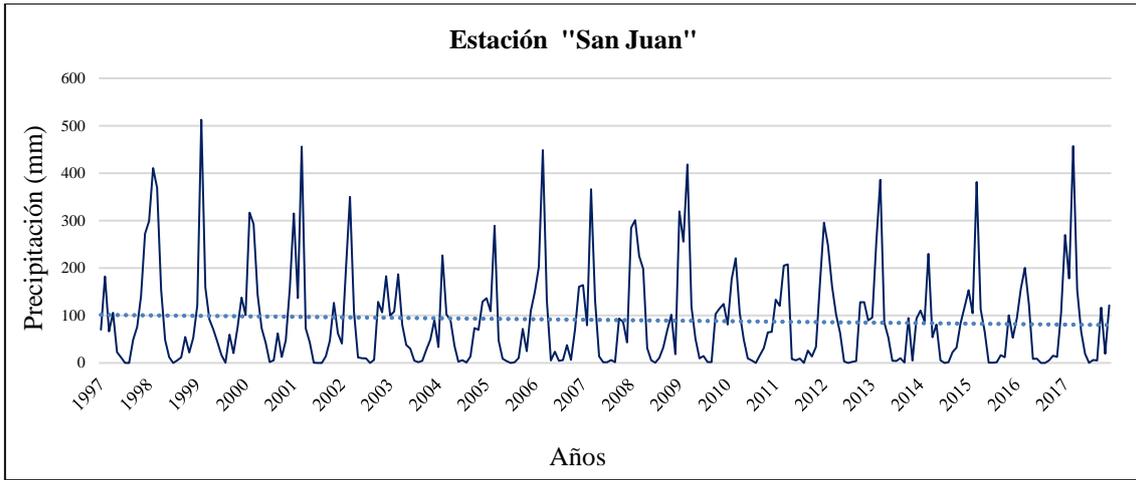


Figura 21. Análisis de consistencia visual de precipitación de la estación “San Juan”

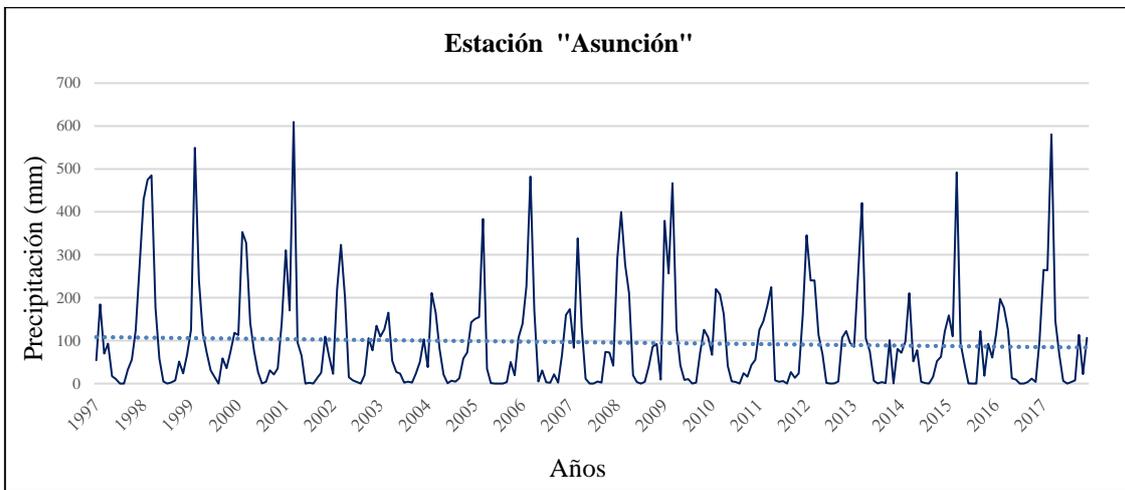


Figura 22. Análisis de consistencia visual de precipitación de la estación “Asunción”

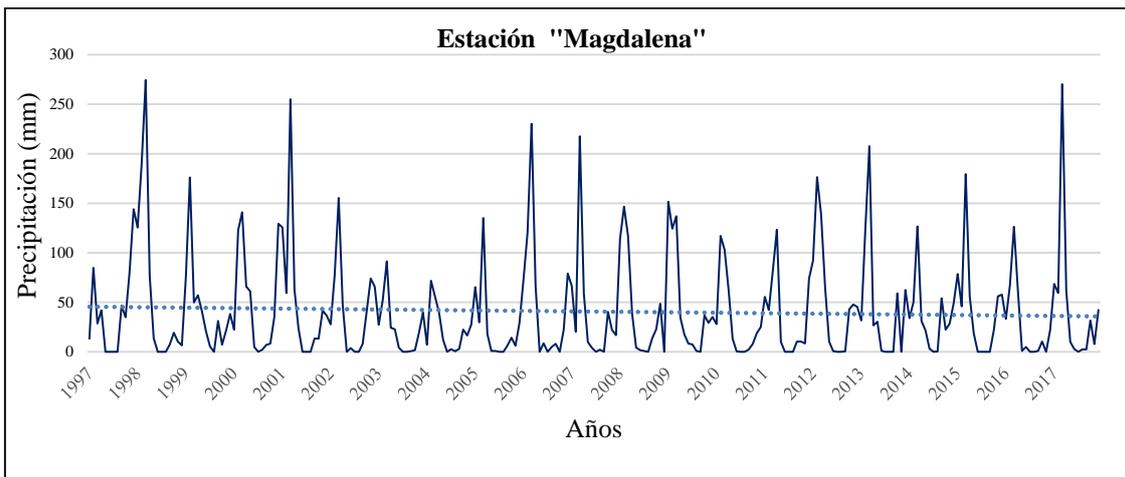


Figura 23. Análisis de consistencia visual de precipitación de la estación “Magdalena”

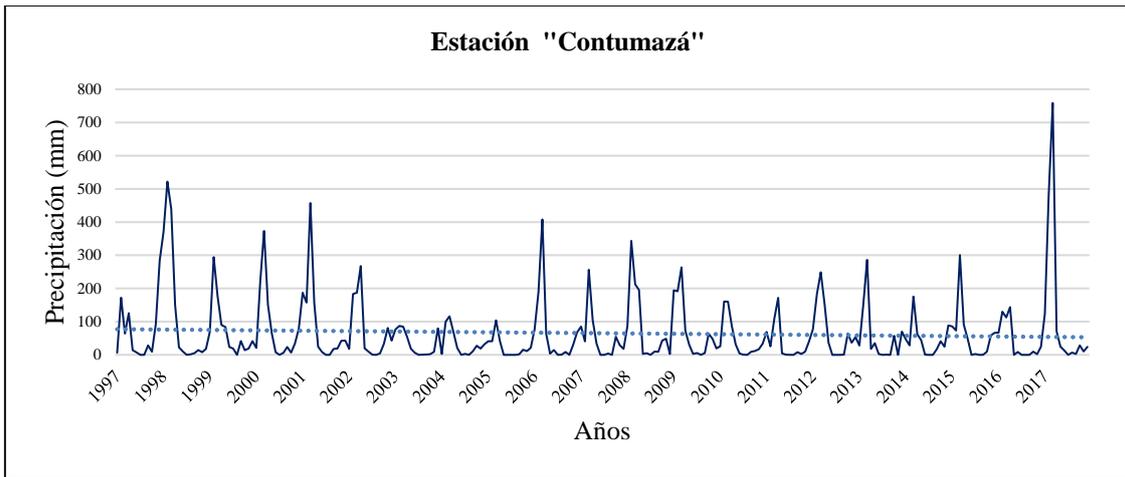


Figura 24. Análisis de consistencia visual de precipitación de la estación "Contumazá"

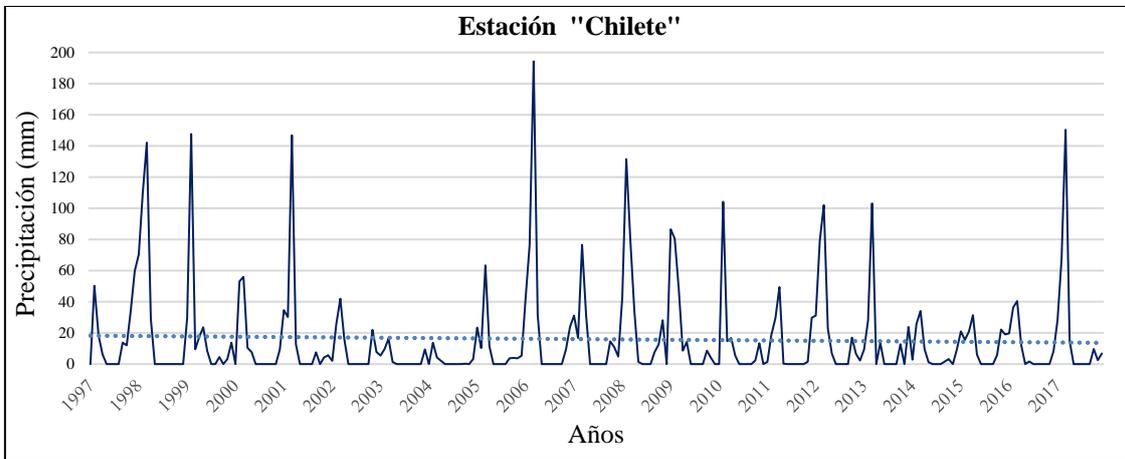


Figura 25. Análisis de consistencia visual de precipitación de la estación "Chilte"

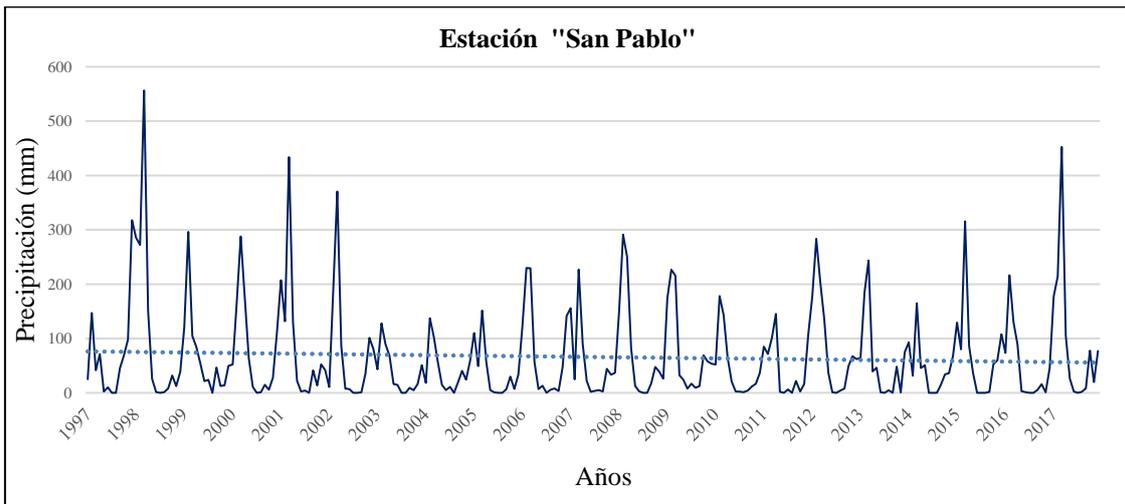


Figura 26. Análisis de consistencia visual de precipitación de la estación "San Pablo"

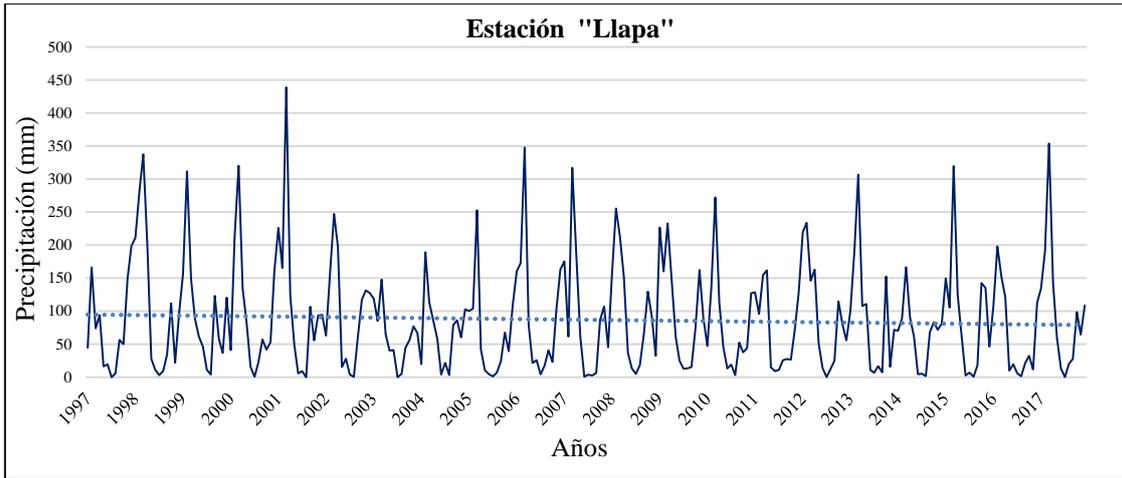


Figura 27. Análisis de consistencia visual de precipitación de la estación “Llapa”

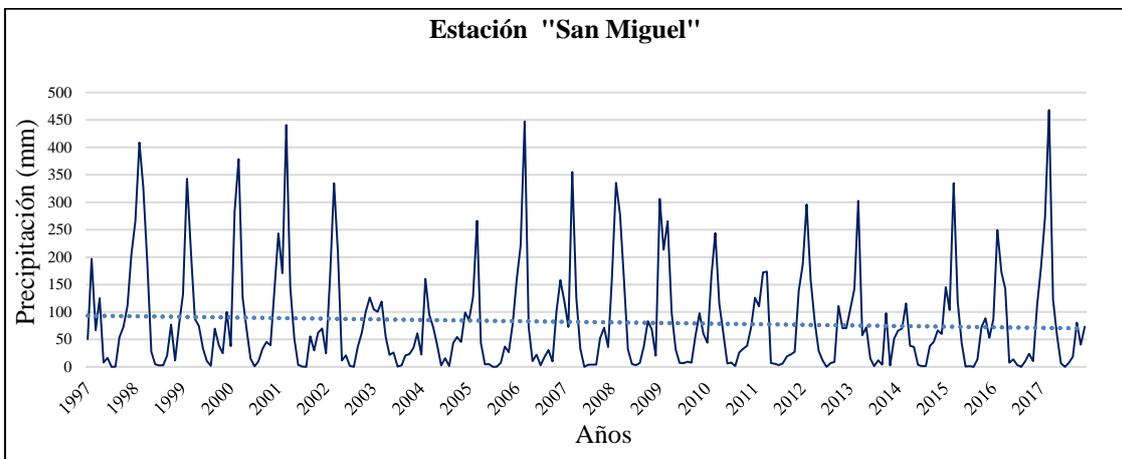


Figura 28. Análisis de consistencia visual de precipitación de la estación “San Miguel”

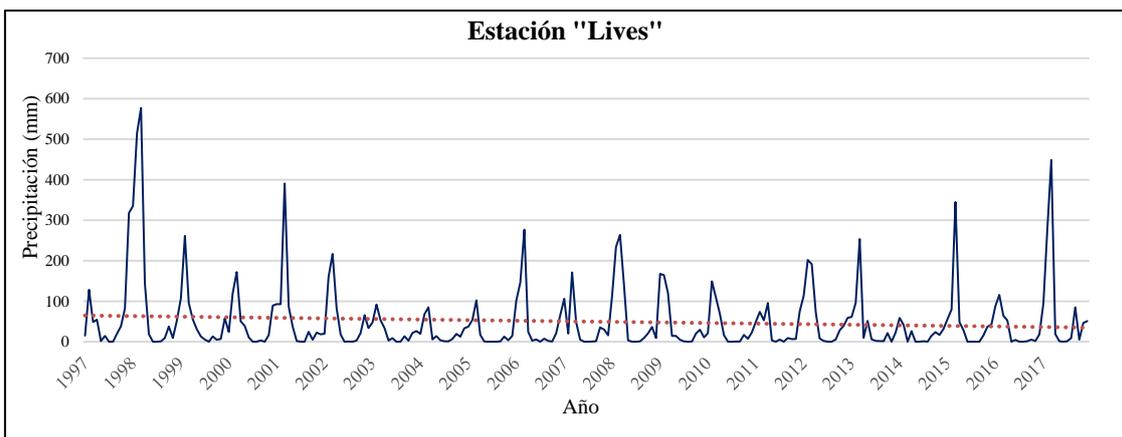


Figura 29. Análisis de consistencia visual de precipitación de la estación “Lives”

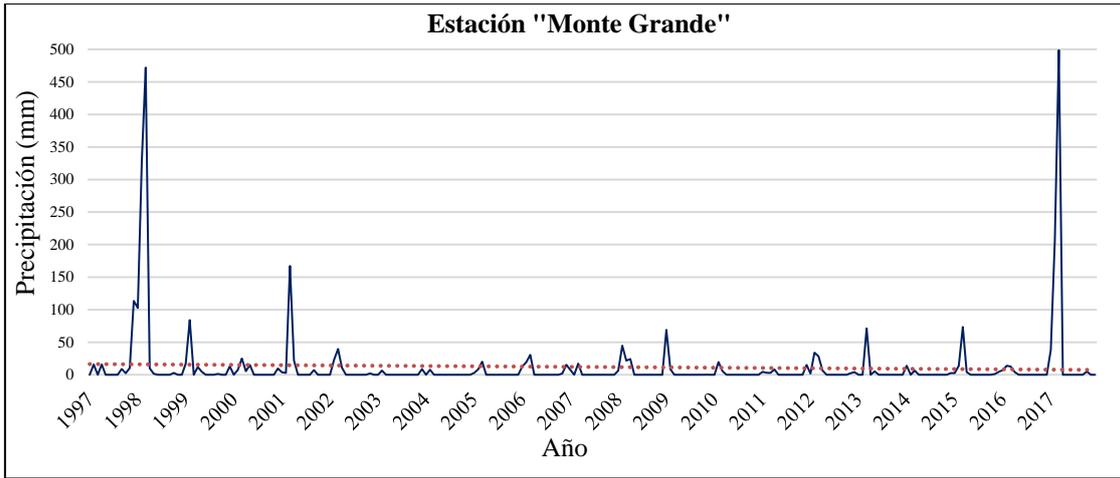


Figura 30. Análisis de consistencia visual de precipitación de la estación “Monte Grande”

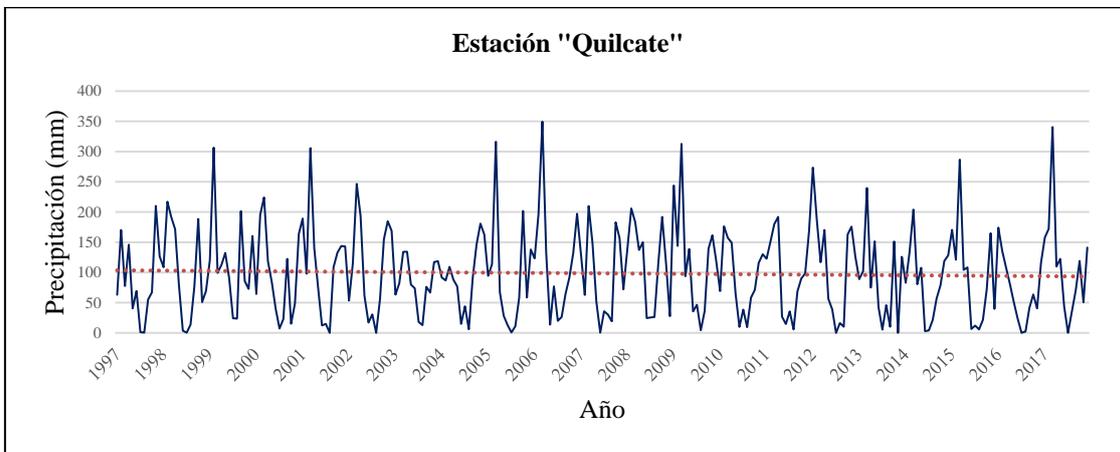


Figura 31. Análisis de consistencia visual de precipitación de la estación “Quilcate”

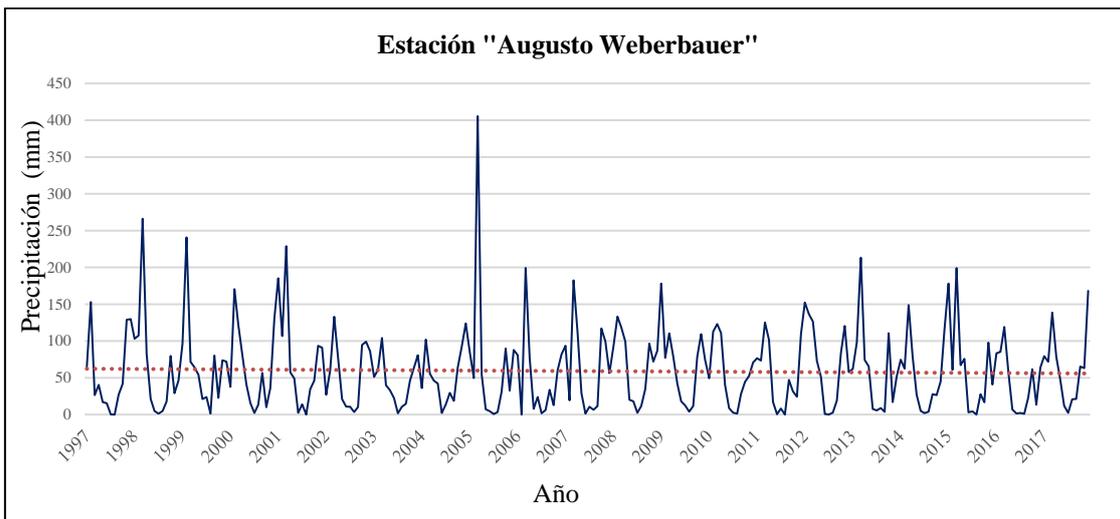


Figura 32. Análisis de consistencia visual de precipitación de la estación “Augusto Weberbauer”

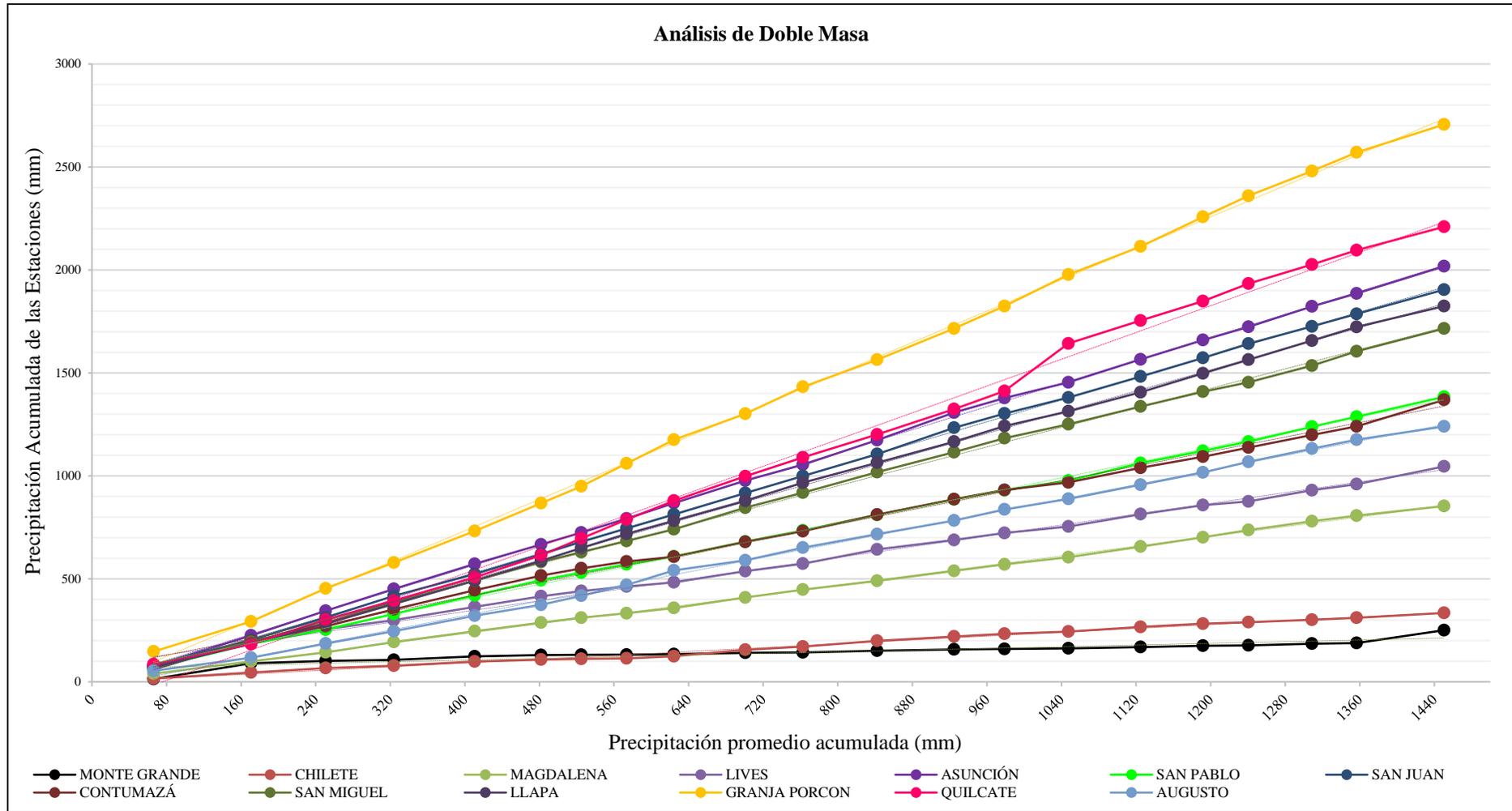


Figura 33. Determinación de la estación base

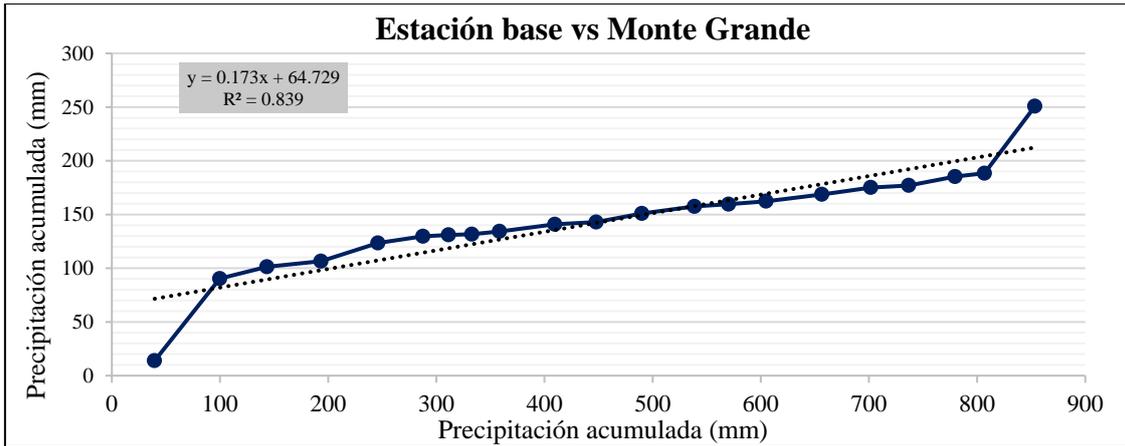


Figura 34. Análisis doble masa de la estación Monte Grande

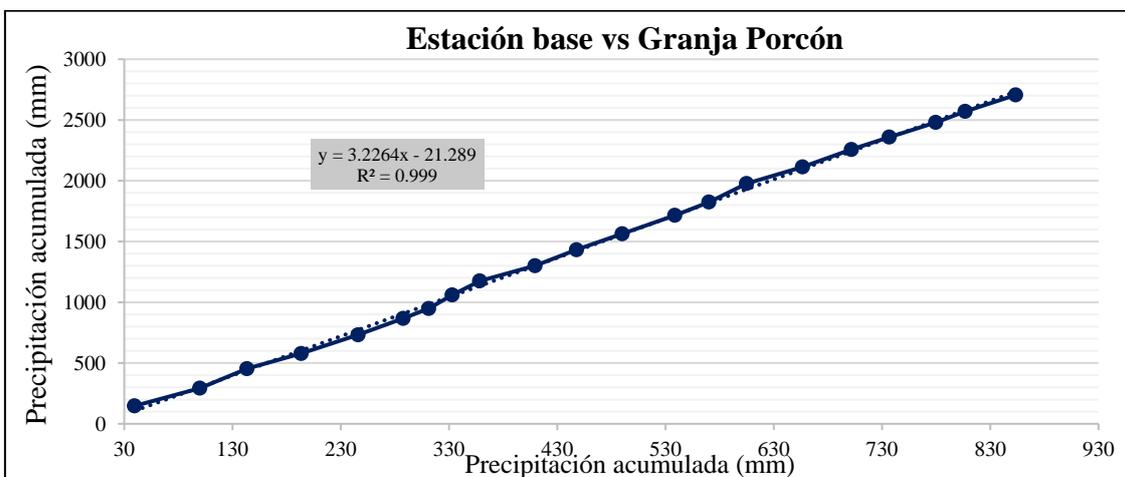


Figura 35. Análisis doble masa de la estación Granja Porcón

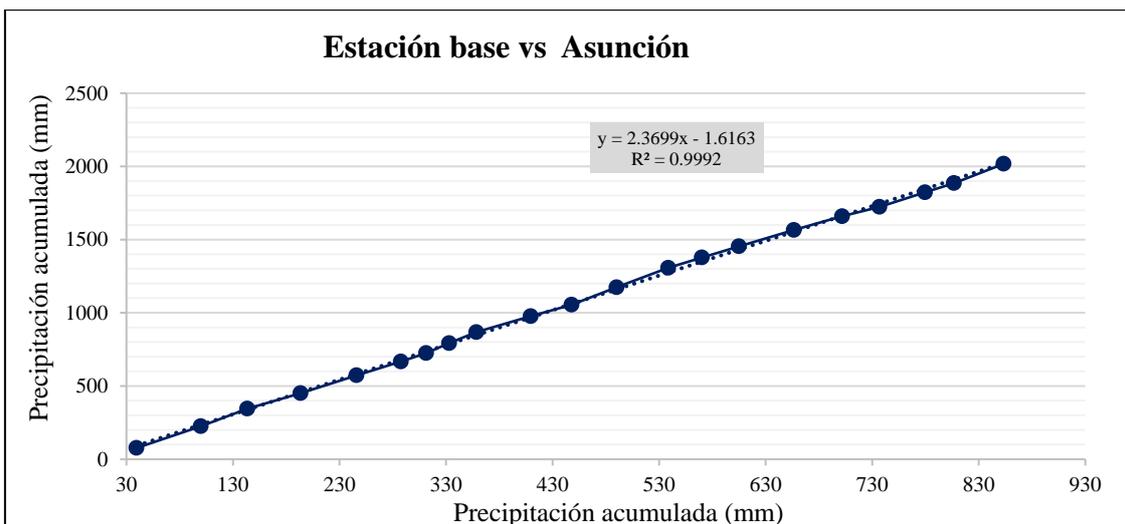


Figura 36. Análisis doble masa de la estación Asunción

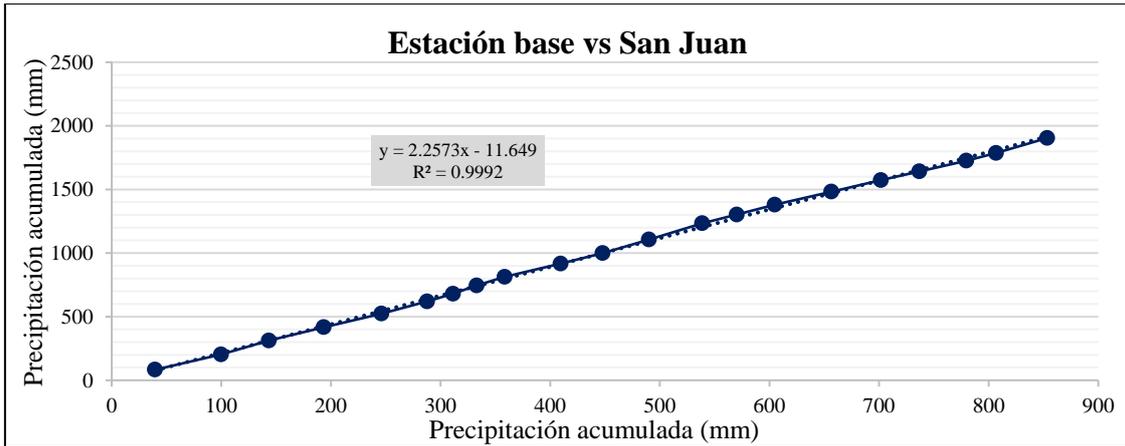


Figura 37. Análisis doble masa de la estación San Juan

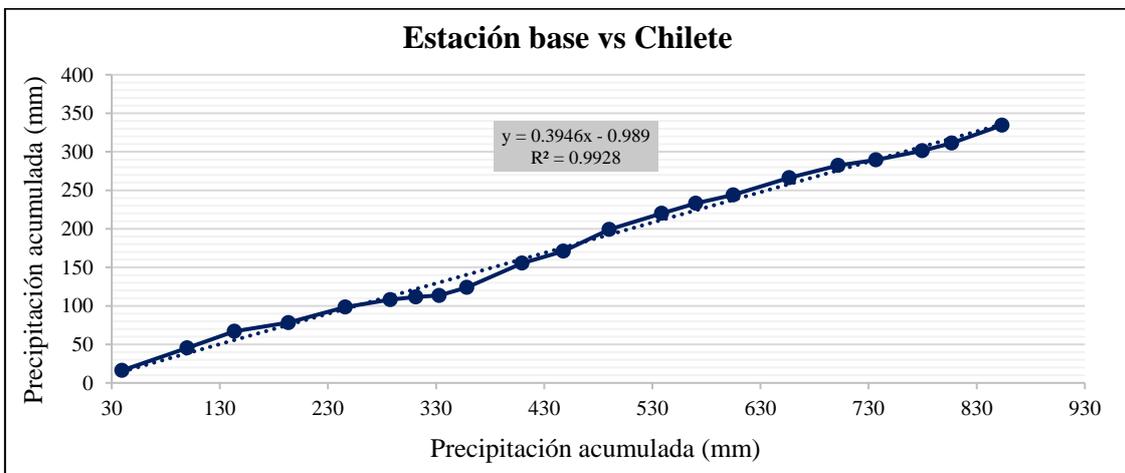


Figura 38. Análisis doble masa de la estación Chilete

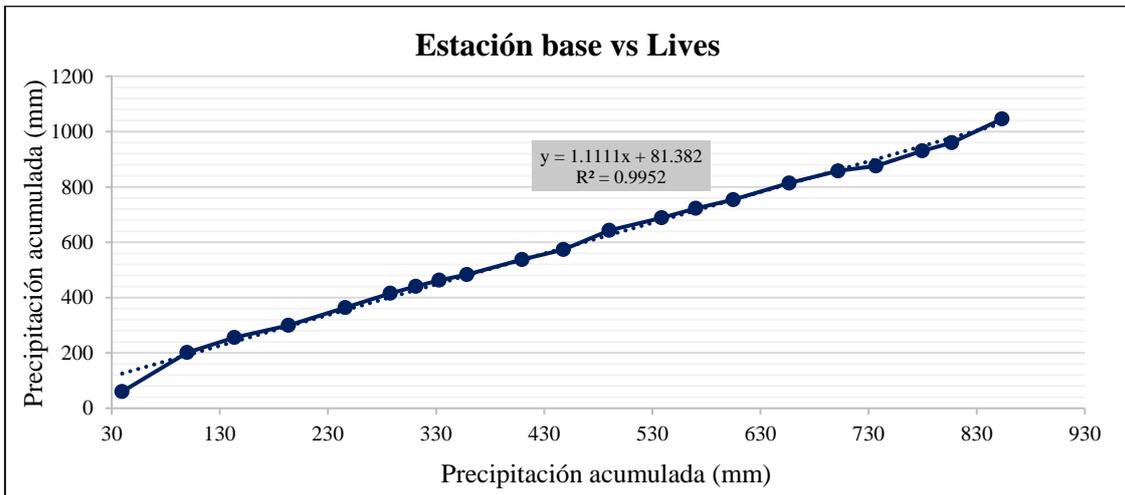


Figura 39. Análisis doble masa de la estación Lives

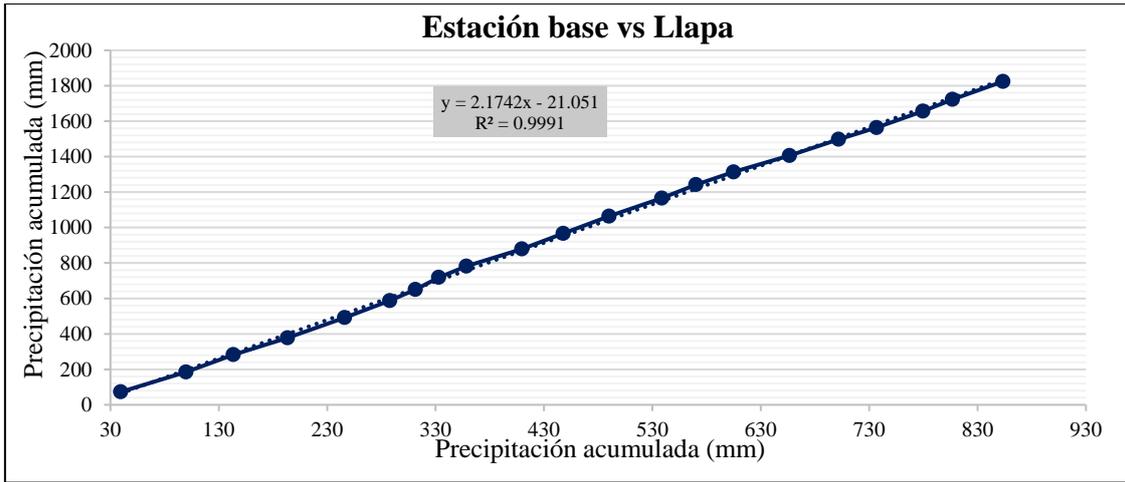


Figura 40. Análisis doble masa de la estación San Llapa

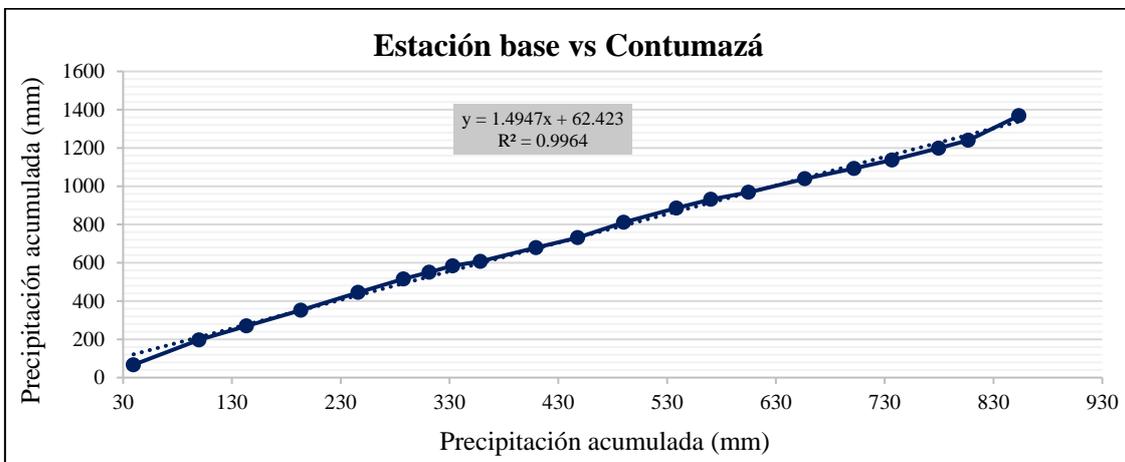


Figura 41. Análisis doble masa de la estación Contumazá

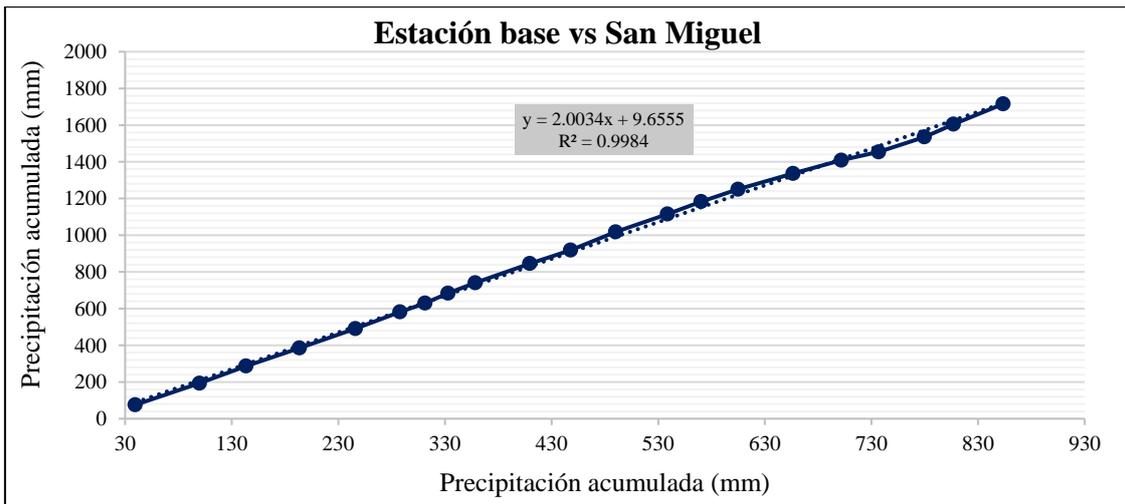


Figura 42. Análisis doble masa de la estación San Miguel

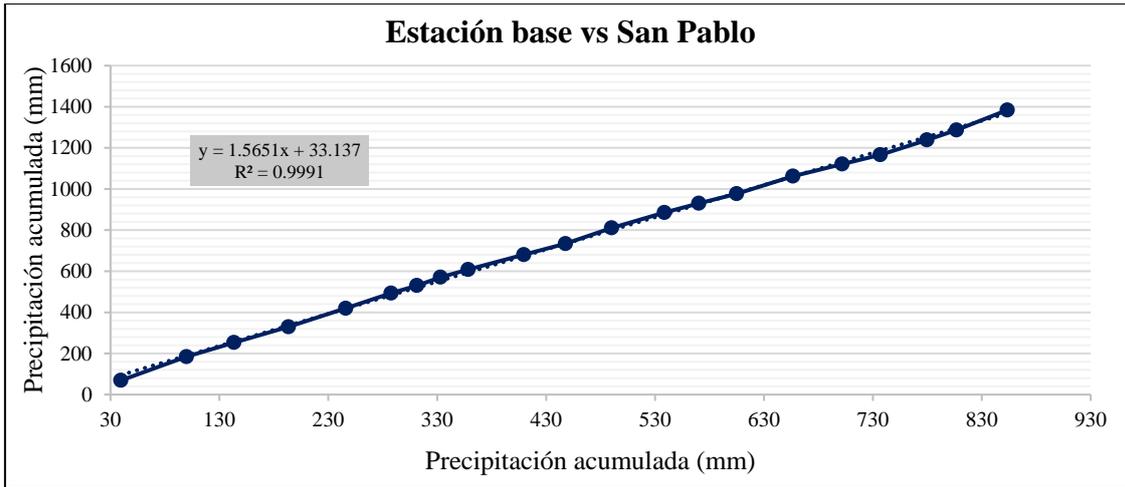


Figura 43. Análisis doble masa de la estación San Pablo

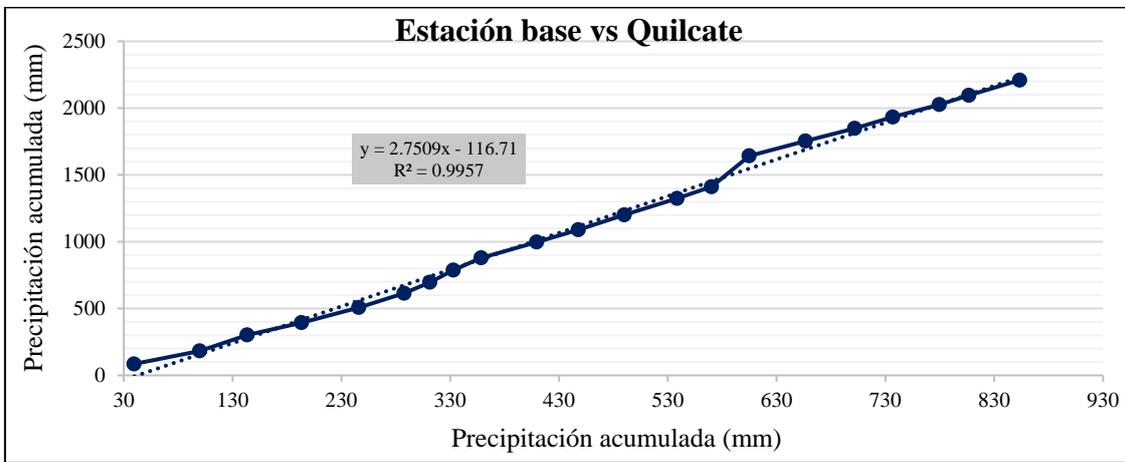


Figura 44. Análisis doble masa de la estación Quilcate

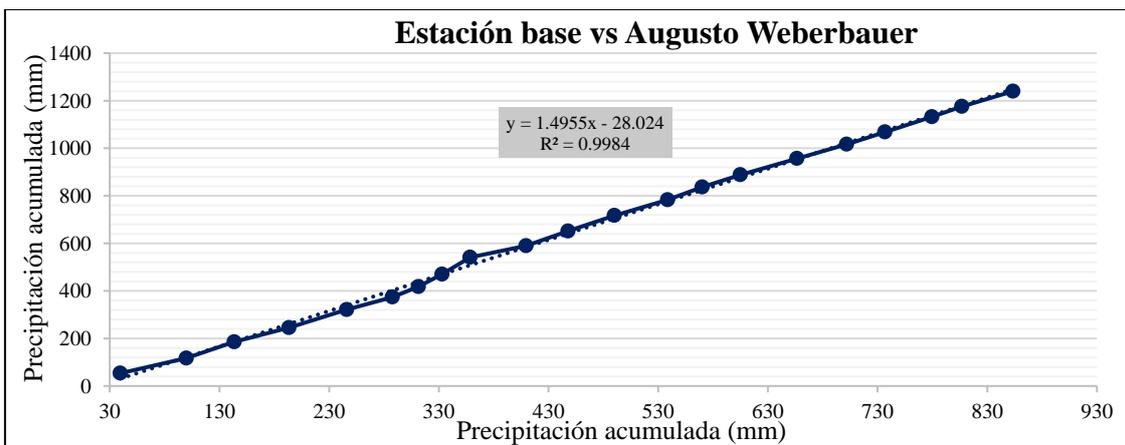


Figura 45. Análisis doble masa de la estación Augusto Weberbauer

Tabla 20

Análisis de datos dudosos y confiables - Estación Asunción

VARIABLES	Datos dudosos (1997-2009)	Datos Confiables (2009-2017)
Tamaño de la muestra	148	104
Media de la muestra	103.50	85.51
Desviación Stand.	130.01	106.19
Grados de libertad	147	103

Tabla 21

Prueba de T de student - Estación Asunción

Prueba de T de student	
Desviación estándar ponderada	120.77
Desviación de las diferencias de los promedios	15.45
Cálculo del T, calculado (Tc) según:	1.16
Cálculo del valor crítico de t, tabular Tt:	1.97
Tc=1.16 < Tt=1.9695	HOMOGENEIDAD

Tabla 22

Prueba F de Fisher - Estación Asunción

Prueba de F de Fisher	
Cálculo de F calculado (Fc) según:	1.5
Cálculo del F tabular (valor crítico de Ft) Ft	1.3562
Fc=1.50 > Ft=1.3562	NO HOMOGENEIDAD (CORREGIR LA PRECIPITACIÓN)

Tabla 23

Análisis de datos dudosos y confiables - Estación Chilete

VARIABLES	Datos dudosos (1997-2008)	Datos Confiables (2008-2017)
Tamaño de la muestra	134	118
Media de la muestra	16.62	15.16
Desviación Stand.	33.20	26.51
Grados de libertad	133	117

Tabla 24

Prueba de T de student - Estación Chilete

Prueba de T de student	
Desviación estándar ponderada	30.25
Desviación de las diferencias de los promedios	3.82
Cálculo del T, calculado (Tc) según:	0.38
Cálculo del valor crítico de t, tabular Tt:	1.97
Tc=0.38 < Tt=1.9695	HOMOGENEIDAD

Tabla 25

Prueba F de Fisher - Estación Chilete

Prueba de F de Fisher	
Cálculo de F calculado (Fc) según:	1.5
Cálculo del F tabular (valor crítico de Ft) Ft	1.3562
Fc=1.50 > Ft=1.3562	NO HOMOGENEIDAD (CORREGIR LA PRECIPITACIÓN)

Tabla 26

Análisis de datos dudosos y confiables - Estación San Pablo

Variables	Datos dudosos (1997-2002)	Datos Confiables (2002-2017)
Tamaño de la muestra	63.00	189
Media de la muestra	88.97	58.22
Desviación Stand.	118.78	74.85
Grados de libertad	62	188

Tabla 27

Prueba de T de student - Estación San Pablo

Prueba de T de student	
Desviación estándar ponderada	87.82
Desviación de las diferencias de los promedios	12.78
Cálculo del T, calculado (Tc) según:	2.41
Cálculo del valor crítico de t, tabular Tt:	1.97
Tc=2.41 > Tt=1.9695	NO HOMOGENEIDAD (CORREGIR LA PRECIPITACIÓN)

Tabla 28

Prueba F de Fisher - Estación San Pablo

Prueba de F de Fisher	
Cálculo de F calculado (Fc) según:	2.52
Cálculo del F tabular (valor crítico de Ft) Ft	1.3850
Fc=2.52 > Ft=1.3850	NO HOMOGENEIDAD (CORREGIR LA PRECIPITACIÓN)

Tabla 29

Análisis de datos dudosos y confiables - Estación Lives

Variables	Datos dudosos (1997-2008)	Datos Confiables (2008-2017)
Tamaño de la muestra	139	113
Media de la muestra	54.96	43.47
Desviación Stand.	94.60	71.83
Grados de libertad	138	112

Tabla 30

Prueba de T de student - Estación Lives

Prueba de T de student	
Desviación estándar ponderada	85.01
Desviación de las diferencias de los promedios	10.77
Cálculo del T, calculado (Tc) según:	1.07
Cálculo del valor crítico de t, tabular Tt:	1.97
Tc=1.07 < Tt=1.9695	HOMOGENEIDAD

Tabla 31

Prueba F de Fisher - Estación Lives

Prueba de F de Fisher	
Cálculo de F calculado (Fc) según:	1.73
Cálculo del F tabular (valor crítico de Ft) Ft	1.3494
Fc=1.73 > Ft=1.3494	NO HOMOGENEIDAD (CORREGIR LA PRECIPITACIÓN)

Tabla 32

Análisis de datos dudosos y confiables - Estación Llapa

Variablen	Datos dudosos (1997-2001)	Datos Confiables (2008-2017)
Tamaño de la muestra	60	192
Media de la muestra	98.38	83.27
Desviación Stand.	97.07	76.77
Grados de libertad	59	191

Tabla 33

Prueba de T de student - Estación Llapa

Prueba de T de student	
Desviación estándar ponderada	82.01
Desviación de las diferencias de los promedios	12.13
Cálculo del T, calculado (Tc) según:	1.25
Cálculo del valor crítico de t, tabular Tt:	1.97
Tc=1.25 < Tt=1.9695	HOMOGENEIDAD

Tabla 34

Prueba F de Fisher - Estación Llapa

Prueba de F de Fisher	
Cálculo de F calculado (Fc) según:	1.60
Cálculo del F tabular (valor crítico de Ft) Ft	1.3912
Fc=1.60 > Ft=1.3912	NO HOMOGENEIDAD (CORREGIR LA PRECIPITACIÓN)

Tabla 35

Análisis de datos dudosos y confiables - Estación Augusto Weberbauer

Variablen	Datos dudosos (1997-2005)	Datos Confiables (2006-2017)
Tamaño de la muestra	108	144
Media de la muestra	60.13	58.23
Desviación Stand.	62.27	50.81
Grados de libertad	107	143

Tabla 36

Prueba de T de student - Estación Augusto Weberbauer

Prueba de T de student	
Desviación estándar ponderada	56.00
Desviación de las diferencias de los promedios	7.13
Cálculo del T, calculado (Tc) según:	0.27
Cálculo del valor crítico de t, tabular Tt:	1.97
Tc=0.27 < Tt=1.9695	HOMOGENEIDAD

Tabla 37

Prueba F de Fisher - Estación Augusto Weberbauer

Prueba de F de Fisher	
Cálculo de F calculado (Fc)según:	1.50
Cálculo del F tabular (valor crítico de Ft) Ft	1.3429
Fc=1.50 > Ft=1.3429	NO HOMOGENEIDAD (CORREGIR LA PRECIPITACIÓN)

Tabla 38

Análisis de datos dudosos y confiables - Estación Monte Grande

Variables	Datos dudosos (1997-2001)	Datos Confiables (2002-2017)
Tamaño de la muestra	60	192
Media de la muestra	24.69	7.96
Desviación Stand.	77.62	40.13
Grados de libertad	59	191

Tabla 39

Prueba de T de student - Estación Monte Grande

Prueba de T de student	
Desviación estándar ponderada	51.50
Desviación de las diferencias de los promedios	7.62
Cálculo del T, calculado (Tc) según:	2.20
Cálculo del valor crítico de t, tabular Tt:	1.97
Tc=2.20 < Tt=1.9695	NO HOMOGENEIDAD (CORREGIR LA PRECIPITACIÓN)

Tabla 40

Prueba F de Fisher - Estación Monte Grande

Prueba de F de Fisher	
Cálculo de F calculado (Fc) según:	3.74
Cálculo del F tabular (valor crítico de Ft) Ft	1.3912
Fc=3.74 > Ft=1.3912	NO HOMOGENEIDAD (CORREGIR LA PRECIPITACIÓN)

Tabla 41

Análisis de datos dudosos y confiables - Estación Contumazá

Variables	Datos dudosos (1997-2008)	Datos Confiables (2008-2017)
Tamaño de la muestra	134	106
Media de la muestra	68.73	53.54
Desviación Stand.	104.83	70.95
Grados de libertad	133	105

Tabla 42

Prueba de T de student - Estación Contumazá

Prueba de T de student	
Desviación estándar ponderada	91.44
Desviación de las diferencias de los promedios	11.89
Cálculo del T, calculado (Tc) según:	1.28
Cálculo del valor crítico de t, tabular Tt:	1.97
Tc=1.28 < Tt=1.97	HOMOGENEIDAD

Tabla 43

Prueba F de Fisher - Estación Contumazá

Prueba de F de Fisher	
Cálculo de F calculado (Fc) según:	2.18
Cálculo del F tabular (valor crítico de Ft) Ft	1.3608
Fc=1.50 > Ft=1.3562	NO HOMOGENEIDAD (CORREGIR LA PRECIPITACIÓN)

Tabla 44

Análisis de datos dudosos y confiables - Estación Granja Porcón

Variables	Datos dudosos (1997-2012)	Datos Confiables (2012-2017)
Tamaño de la muestra	181	71
Media de la muestra	132.87	118.63
Desviación Stand.	107.38	96.10
Grados de libertad	180	70

Tabla 45

Prueba de T de student - Estación Granja Porcón

Prueba de T de student	
Desviación estándar ponderada	104.34
Desviación de las diferencias de los promedios	14.61
Cálculo del T, calculado (Tc) según:	0.97
Cálculo del valor crítico de t, tabular Tt:	1.97
Tc=0.97 < Tt=1.97	HOMOGENEIDAD

Tabla 46

Prueba F de Fisher - Estación Granja Porcón

Prueba de F de Fisher	
Cálculo de F calculado (Fc) según:	1.25
Cálculo del F tabular (valor crítico de Ft) Ft	1.4095
Fc=1.25 > Ft=1.3562	HOMOGENEIDAD

Tabla 47

Análisis de datos dudosos y confiables - Estación Quilcate

Variables	Datos dudosos (1997-2006)	Datos Confiables (2007-2017)
Tamaño de la muestra	120	131
Media de la muestra	99.79	97.89
Desviación Stand.	74.08	72.32
Grados de libertad	119	130

Tabla 48

Prueba de T de student - Estación Quilcate

Prueba de T de student	
Desviación estándar ponderada	73.17
Desviación de las diferencias de los promedios	9.25
Cálculo del T, calculado (Tc) según:	0.21
Cálculo del valor critico de t, tabular Tt:	1.97
Tc=0.21 < Tt=1.9695	HOMOGENEIDAD

Tabla 49

Prueba F de Fisher - Estación Quilcate

Prueba de F de Fisher	
Cálculo de F calculado (Fc) según:	1.05
Cálculo del F tabular (valor critico de Ft) Ft	1.3433
Fc=1.05 < Ft=1.3433	HOMOGENEIDAD

Tabla 50

Análisis de datos dudosos y confiables - Estación Magdalena

Variables	Datos dudosos (1997-2007)	Datos Confiables (2007-2017)
Tamaño de la muestra	122	130
Media de la muestra	41.00	40.31
Desviación Stand.	54.23	52.12
Grados de libertad	121	129

Tabla 51

Prueba de T de student - Estación Magdalena

Prueba de T de student	
Desviación estándar ponderada	53.15
Desviación de las diferencias de los promedios	6.70
Cálculo del T, calculado (Tc) según:	0.10
Cálculo del valor critico de t, tabular Tt:	1.97
Tc=0.10 < Tt=1.9695	HOMOGENEIDAD

Tabla 52

Prueba F de Fisher - Estación Magdalena

Prueba de F de Fisher	
Cálculo de F calculado (Fc) según:	1.08
Cálculo del F tabular (valor crítico de Ft) Ft	1.3427
Fc=1.08 < Ft=1.3427	HOMOGENEIDAD

Tabla 53

Análisis de datos dudosos y confiables - Estación San Miguel

Variables	Datos dudosos (1997-2006)	Datos Confiables (2006-2017)
Tamaño de la muestra	120	132
Media de la muestra	84.54	79.09
Desviación Stand.	100.35	91.25
Grados de libertad	119	131

Tabla 54

Prueba de T de student - Estación San Miguel

Prueba de T de student	
Desviación estándar ponderada	95.69
Desviación de las diferencias de los promedios	12.07
Cálculo del T, calculado (Tc) según:	0.45
Cálculo del valor crítico de t, tabular Tt:	1.97
Tc=0.45 < Tt=1.9695	HOMOGENEIDAD

Tabla 55

Prueba F de Fisher - Estación San Miguel

Prueba de F de Fisher	
Cálculo de F calculado (Fc) según:	1.21
Cálculo del F tabular (valor crítico de Ft) Ft	1.3424
Fc=1.21 < Ft=1.3424	HOMOGENEIDAD

Tabla 56

Análisis de datos dudosos y confiables - Estación San Juan

Variables	Datos dudosos (1997-2007)	Datos Confiables (2007-2017)
Tamaño de la muestra	126	126
Media de la muestra	93.31	88.04
Desviación Stand.	109.26	99.85
Grados de libertad	125	125

Tabla 57

Prueba de T de student - Estación San Juan

Prueba de T de student	
Desviación estándar ponderada	104.66
Desviación de las diferencias de los promedios	13.19
Cálculo del T, calculado (Tc) según:	0.40
Cálculo del valor critico de t, tabular Tt:	1.97
Tc=0.40 < Tt=1.9695	HOMOGENEIDAD

Tabla 58

Prueba F de Fisher - Estación San Juan

Prueba de F de Fisher	
Cálculo de F calculado (Fc) según:	1.2
Cálculo del F tabular (valor critico de Ft) Ft	1.3436
Fc=1.20 < Ft=1.3436	HOMOGENEIDAD

En la tabla 59 se observa los valores obtenidos para el factor R de cada una de las estaciones, la modelación espacial de los datos de precipitación fue procesada en el software Arc gis 10.5 mediante el método de interpolación “Ponderación de distancia inversa” (IDW). Se aprecia que las estaciones con mayor altitud presentan el R más elevado.

Tabla 59

Factor R de las estaciones meteorológicas

ESTACIÓN	COORDENADAS		ALTITUD	IMF	R (Mj*mm/ha*h*año)
	Este (m)	Norte (m)			
SAN JUAN	776501.86	9193345.44	2353	171.2 9	3221.15
SAN MIGUEL	737532.59	9227551.58	2590	157.4 6	2839.14
QUILCATE	749347.09	9245566.24	3100	130.3 7	2138.96
GRANJA PORCÓN	761454.82	9221904.81	3000	179.4 6	3454.49
MAGDALENA	759208.97	9197562.91	1316	85.31	1132.21
SAN PABLO	739323.57	9216480.74	2290	120.8 9	1909.95
LLAPA	741216.96	9227534.63	2798	132.2 3	2184.78
LIVES	717223.27	9216579.09	2000	102.6 9	1495.34
CONTUMAZÁ	741024.03	9186971.85	2452	111.4 6	1690.79
CHILETE	737412.82	9201739.47	850	38.12	338.16
AUGUSTO	776113.91	9207074.74	2536	84.63	1118.59
ASUNCIÓN	774181.24	9190487.39	2229	172.8 0	3264.01
MONTE GRANDE	703913.68	9200964.63	489	36.59	318.08

En la figura 46 se observa de manera gráfica la representación del factor estudiado, el cual oscila entre 318.08 y 3454.49 Mj*mm/ha*hr*año

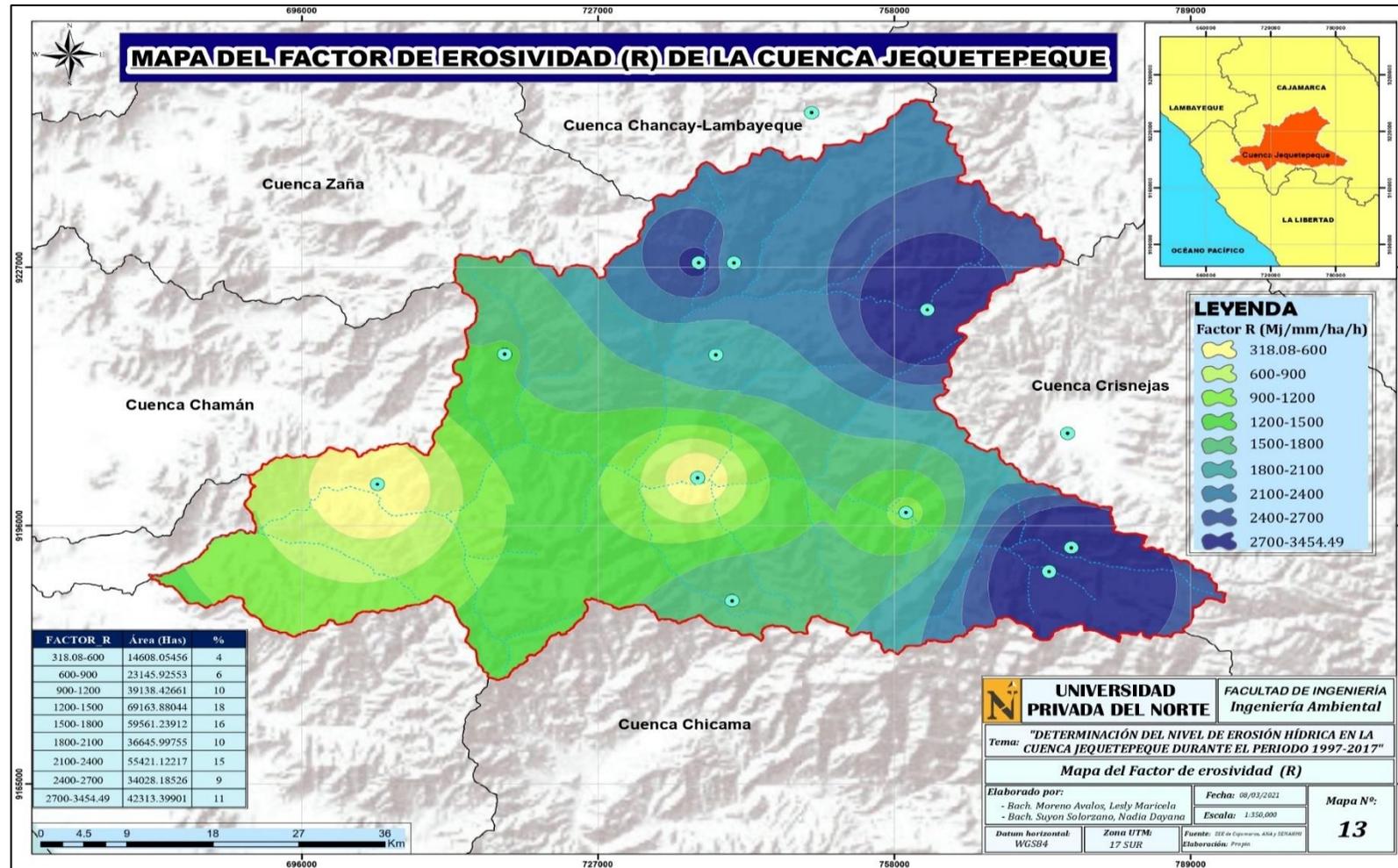


Figura 46. Mapa de erosividad hídrica o factor R

B. Factor de erodabilidad del suelo (K)

Para la obtención del factor K se trabajó con la información proporcionada por la FAO y la ZEE del departamento de Cajamarca, de igual modo se aplicó la fórmula propuesta por Wischmeier y Smith (1978), por lo que se tuvo en cuenta datos sobre el contenido de porcentaje de materia orgánica, limo, arena y arcilla.

En el caso de los suelos de tipo PA, PAL, PS y PS-L se les asignó valores de acuerdo al trabajo realizado por Nakaya (2018) en el departamento de Cajamarca, puesto que, la FAO no considera a este tipo de suelos en su base de datos.

Por otro lado, áreas como cascos urbanos o cuerpos acuáticos han sido considerados con el valor de 0.

Tabla 60

Obtención del factor K según el tipo de suelo

Código	Descripción	% arena	% limo	% arcilla	% materia orgánica	Clase Textural	Kf	K_usle
AU	Casco urbano	0	0	0	0	-	0	0
B-L	Cambisol-Leptosol	65.4	13.65	20.9	0.84	Franco arcillo arenoso	0.1474	0.0194
E	Rendzina	48.5	30.8	20.7	1.74	Franco	0.1675	0.0221
E-L	Rendzina-Leptosol	59.45	20.55	20	1.125	Franco arenoso	0.1603	0.0211
H	Phaeozem	37.3	25.7	37	1.57	Franco arcilloso	0.1501	0.0198
H-L	Phaeozem-Leptosol	53.85	18	28.15	1.04	Franco arcillo arenoso	0.1491	0.0196
J	Fluvisol	55.8	22.2	22	1.32	Franco arcillo arenoso	0.1596	0.0210
J-H	Fluvisol-Phaeozem	46.55	23.95	29.5	1.445	Franco arcilloso	0.1543	0.0203
L	Leptosol	70.4	10.3	19.3	0.51	Franco arenoso	0.1377	0.0181
L-R	Leptosol-Regosol	70.5	12.2	17.35	0.54	Franco arenoso	0.1448	0.0191

L-X	Leptosol-Xerosol	71.6	10.4	18.05	0.435	Franco arenoso	0.1379	0.0182
Lag	Cuerpo de agua	0	0	0	0	-	0	0
R	Regosol	70.6	14.1	15.4	0.57	Franco arenoso	0.15106	0.01989
Rs	Reservorio	0	0	0	0	-	0	0
T	Andosol	42.1	38.1	19.8	5.23	Franco	0.17218	0.02268
T-L	Andosol-Leptosol	56.25	24.2	19.55	2.87	Franco arenoso	0.16263	0.02142
T-R	Andosol-Regosol	70.5	12.2	17.35	0.54	Franco arenoso	0.14475	0.01906
PA	Paramo andosol	31.2	52.3	19.5	3.63	Franco limoso	0.05389	0.00710
PA-L	Paramo andosol-Leptosol	27.2	55.1	20.4	3.63	Franco limoso	0.23785	0.03132
PS	Paramosol	29.9	51.1	22.3	4.28	Franco limoso	0.25345	0.03338
PS-L	Paramosol-Leptosol	28.3	58.4	19.6	376	Franco limoso	0.01427	0.00188

Tabla 61

Porcentaje de área según el tipo de suelo y factor K

Descripción de tipo de suelos	Área (has)	% Área (has)	Factor K
Casco urbano	637.97	0.2%	0
Cambisol-Leptosol	139.04	0.0%	0.01942
Rendzina	1377.72	0.4%	0.02206
Rendzina-Leptosol	2140.19	0.6%	0.02111
Phaeozem	14209.97	3.8%	0.01977
Phaeozem-Leptosol	31016.20	8.2%	0.01964
Fluvisol	712.47	0.2%	0.02102
Fluvisol-Phaeozem	8764.26	2.3%	0.02032
Leptosol	13433.61	3.6%	0.01813
Leptosol-Regosol	25109.36	6.6%	0.01906
Leptosol-Xerosol	11383.80	3.0%	0.01816
Cuerpo de agua	86.33	0.0%	0
Paramo andosol	52489.20	13.9%	0.00710
Paramo andosol-Leptosol	24902.00	6.6%	0.03132
Paramosol	12302.98	3.3%	0.03338
Paramosol-Leptosol	9953.59	2.6%	0.00188

Regosol	9174.30	2.4%	0.01989
Reservorio	1324.41	0.4%	0.00000
Andosol	28378.15	7.5%	0.02268
Andosol-Leptosol	88844.03	23.5%	0.02142
Andosol-Regosol	41388.87	11.0%	0.01906

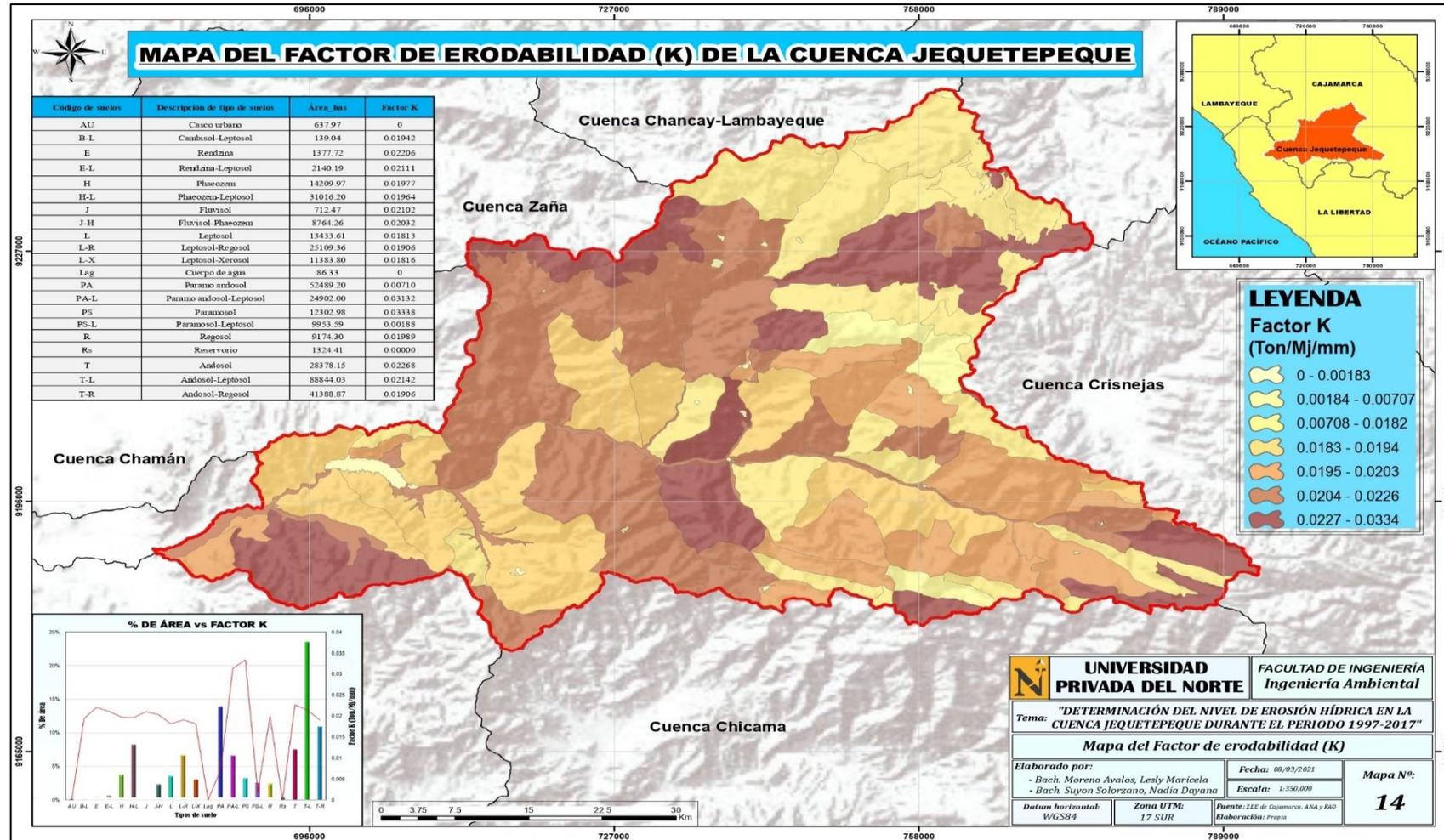


Figura 47. Mapa de erodabilidad del suelo o factor K

C. Longitud y gradiente de la pendiente o factor LS

El factor LS representa el producto de la longitud y gradiente de pendientes, las cuales fueron estimadas con los softwares Arc gis y Qgis aplicando la ecuación propuesta por Renard (1977), lográndose identificar que longitud y gradiente más representantes de la cuenca son de tipo muy baja, baja y moderada, sin embargo, también se aprecia, aunque en minoría, altas y muy altas. Para ello, luego del geoprocesamiento aplicado al MDE se le realizó una reclasificación, la cual se aprecia a continuación

Tabla 62

Valoración de la longitud y gradiente de la pendiente

NIVEL	RANGO	CALIFICACIÓN	Área (has)	% de área
1	0-1	Muy bajo	131966	35%
2	1-2	Bajo	88254	24%
3	2-3	Moderado	76834	21%
4	3-4	Alto	51233	14%
5	4-8	Muy alto	25685	6.9%

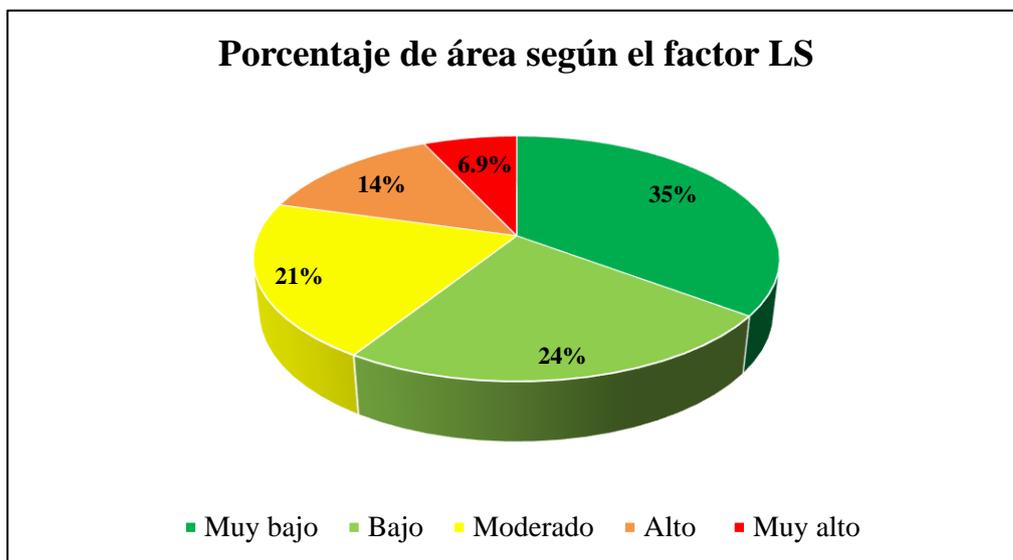


Figura 48. Porcentaje de área según longitud y gradiente de pendiente

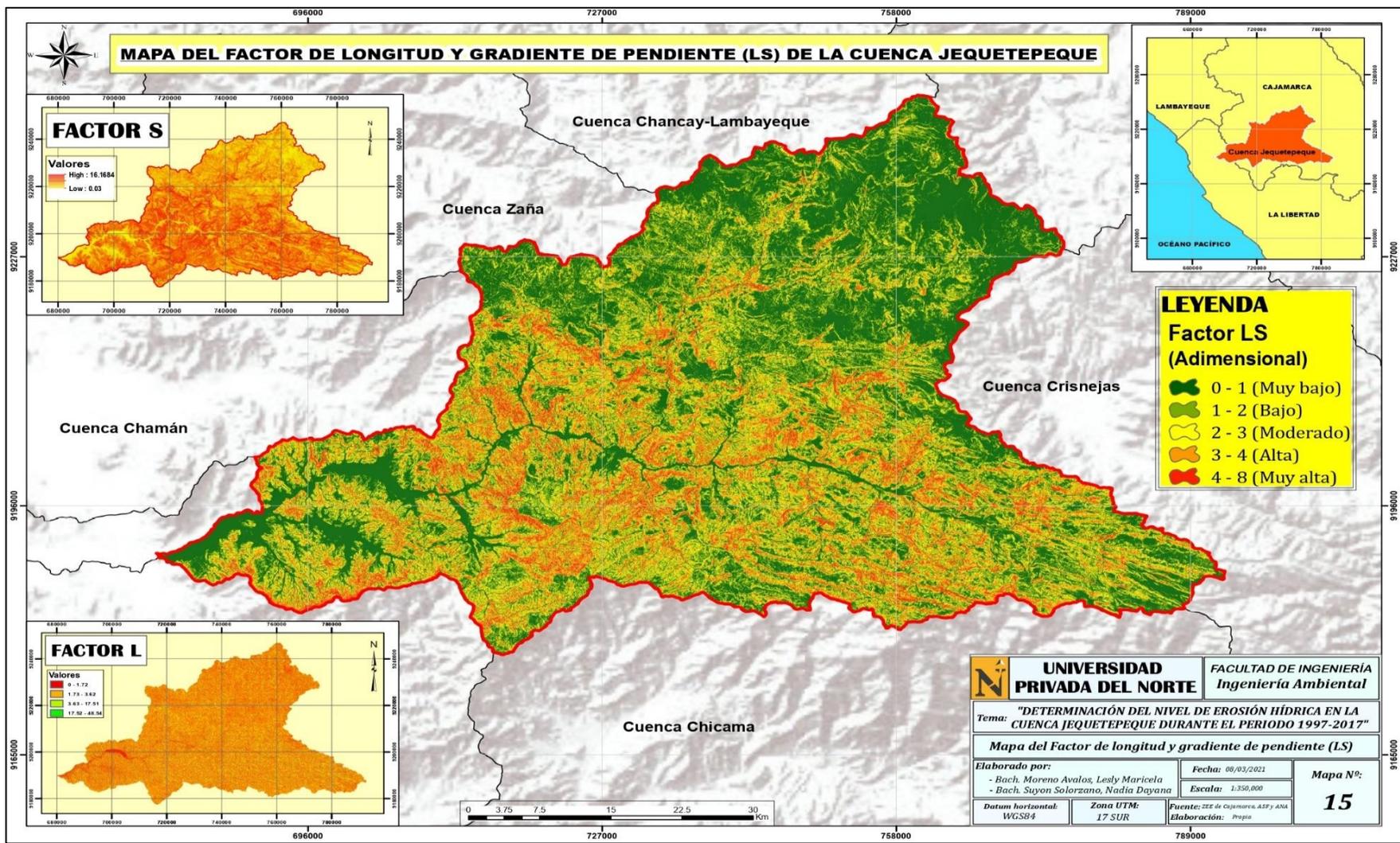


Figura 49. Mapa de longitud y gradiente de pendiente o factor LS

D. Cobertura vegetal o factor C

Según el ZEE de Cajamarca la cuenca Jequetepeque presenta 15 tipos de cobertura vegetal, de acuerdo con ello se le atribuyó valores que representan al factor C, tomando como base diversos estudios de investigadores, por lo que el valor del factor considerado en este trabajo corresponde al promedio (Ver anexo 26).

La información obtenida fue procesada en formato shp y posteriormente se convirtió a formato tipo ráster, ya que de esta manera es posible la aplicación de la ecuación RUSLE.

Tabla 63

Valores correspondientes al tipo de cobertura vegetal

Cobertura Vegetal	Área (has)	Porcentaje	Factor C
Cultivos transitorios	3695.002	0.99%	0.4420
Pastos	18832.725	5.04%	0.1904
Áreas agrícolas heterogéneas	93368.120	24.97%	0.4883
Bosques plantados	13053.495	3.49%	0.0685
Tejido urbano continuo	412.230	0.11%	0.0825
Áreas de extracción de minería e hidrocarburos	1588.836	0.42%	0.0450
Bosque denso bajo	8.937	0.00%	0.0046
Bosque abierto bajo	27947.108	7.47%	0.0140
Herbazal	59794.873	15.99%	0.1000
Arbustal	41424.802	11.08%	0.2300
Vegetación arbustiva herbácea	109678.240	29.33%	0.0085
Áreas arenosas naturales	2520.900	0.67%	0.9983
Afloramientos rocosos	98.820	0.03%	0.8667
Lagos, lagunas y ciénagas naturales	158.580	0.04%	0.0017
Cuerpos de agua artificiales	1403.010	0.38%	0.0025

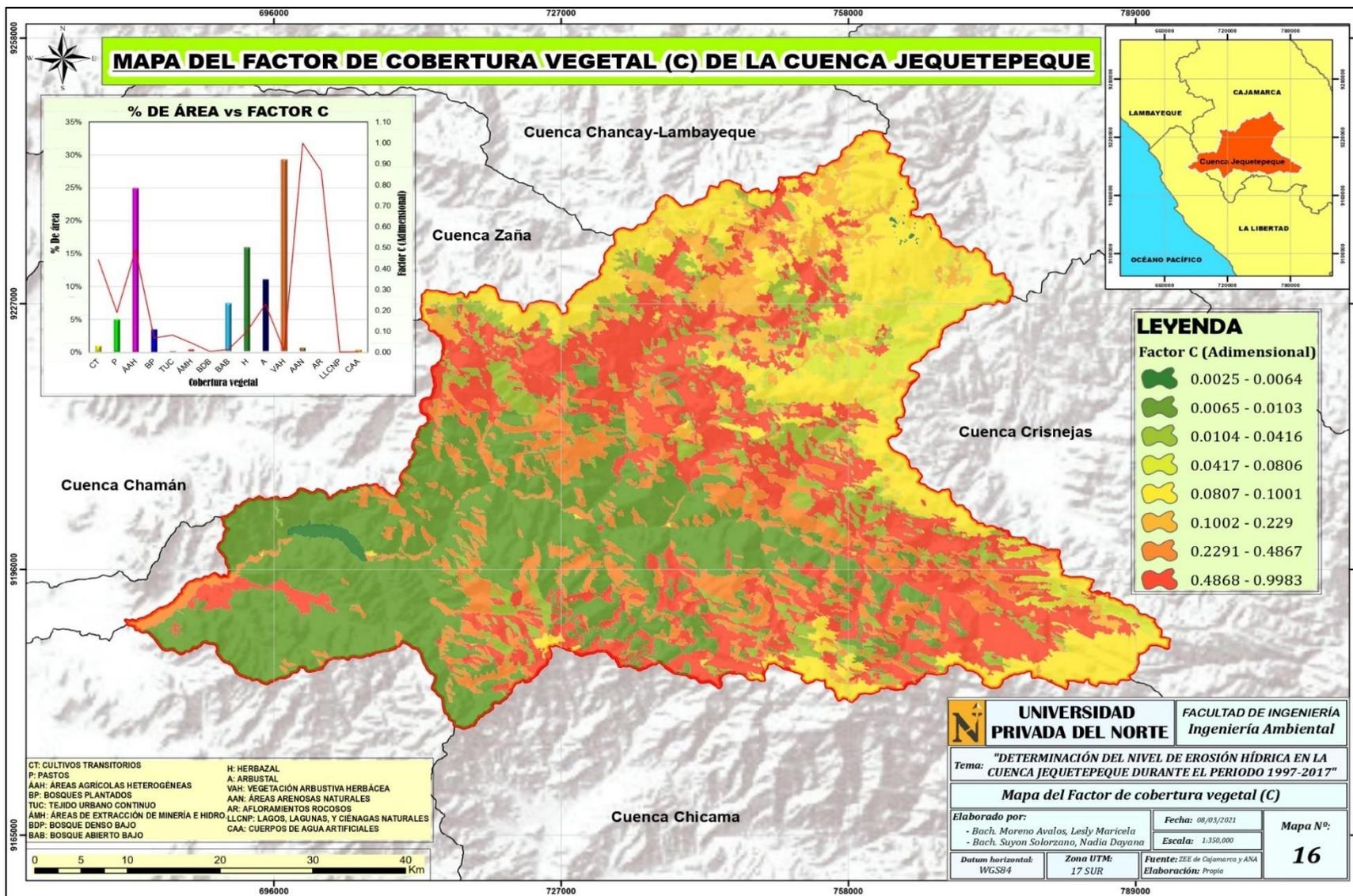


Figura 50. Mapa de cobertura vegetal o factor C

Estimación de la tasa de erosión hídrica en la cuenca Jequetepeque

Erosión potencial

El cálculo de la erosión hídrica potencial fue realizado en el software Arc gis a través del álgebra de mapas (raster calculator), para ello fue necesario introducir los archivos en formato raster de los factores R, K y LS; no se tuvo en cuenta al factor C puesto en esta ecuación no debe influir la cobertura vegetal.

El producto final obtenido indica la cantidad de suelo erosionado si no existiese algún tipo de cobertura vegetal, el rango de valores que arroja el software es de tipo decimal por lo que fueron convertidos a enteros (Math-int), posteriormente, se reclasificó de acuerdo con los valores propuestos por la FAO y se calculó la cantidad de área según el tipo de erosión. Cabe resaltar que se acondicionó algunos valores propuestos por la FAO, sin embargo, esto no influye en la cuantificación de la erosión.

Tabla 64

Cuantificación de la erosión potencial en la cuenca Jequetepeque

Nivel	Pérdida de suelo (Ton/ha/año)	Dimensión	Área (ha)	Porcentaje
1	<0.5	Normal	6257	2%
2	0.5-5	Ligera	9404	3%
3	5-15	Moderada	28472	8%
4	15-50	severa	86494	23%
5	50-200	Muy severa	216757	58%
6	>200	Catastrófica	26556	7%

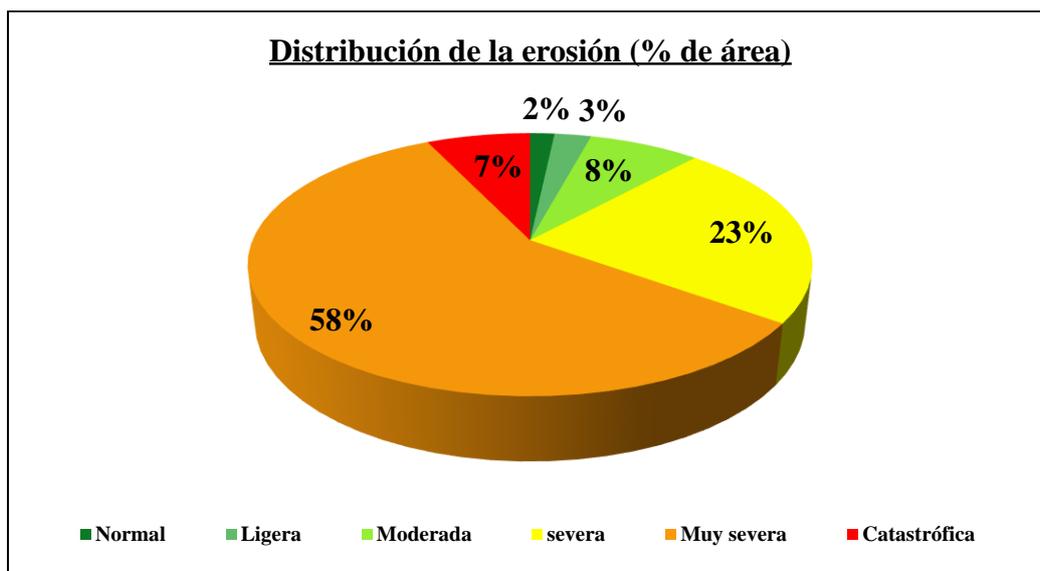


Figura 51. Porcentaje de erosión potencial en la cuenca Jequetepeque

Erosión actual

La erosión hídrica actual fue calculada del mismo modo que la potencial, con la diferencia de que en este sí se tuvo en cuenta al factor de cobertura vegetal (C). En la tabla N° 65 se expresa la cantidad de áreas según su tipo de erosión en la que predomina la de tipo normal. Sin embargo, también la destaca la de tipo Severa.

En las figuras N° 54 se observa de manera gráfica como se representa la erosión actual dentro de la cuenca Jequetepeque, además se ha superpuesto la capa shp de distritos que se vería afectados por la progresiva erosión del área estudiada.

Tabla 65

Cuantificación de la erosión actual en la cuenca Jequetepeque

Nivel	Pérdida de suelo (Ton/ha/año)	Dimensión	Área (has)	Porcentaje
1	<0.5	Normal	156692	42%
2	0.5-5	Ligera	44209	12%
3	5-15	Moderada	42025	11%
4	15-50	severa	88431	24%
5	50-200	Muy severa	42257	11%
6	>200	Catastrófica	318	0.09%

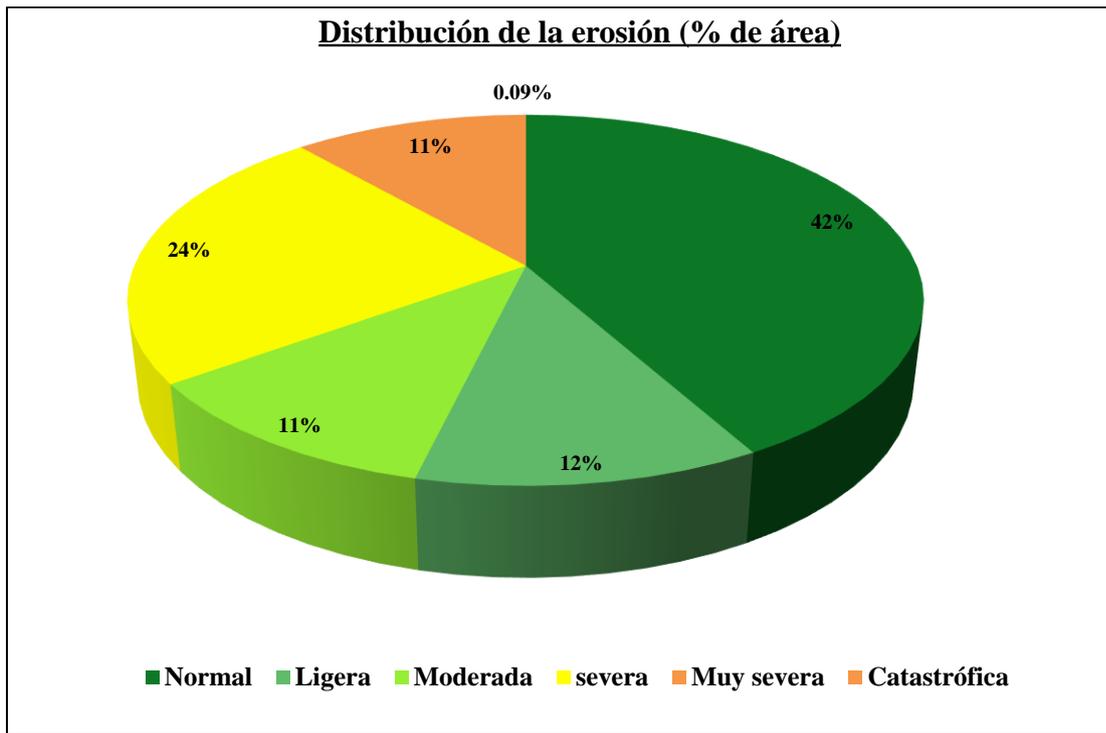


Figura 52. Porcentaje de erosión actual en la cuenca Jequetepeque

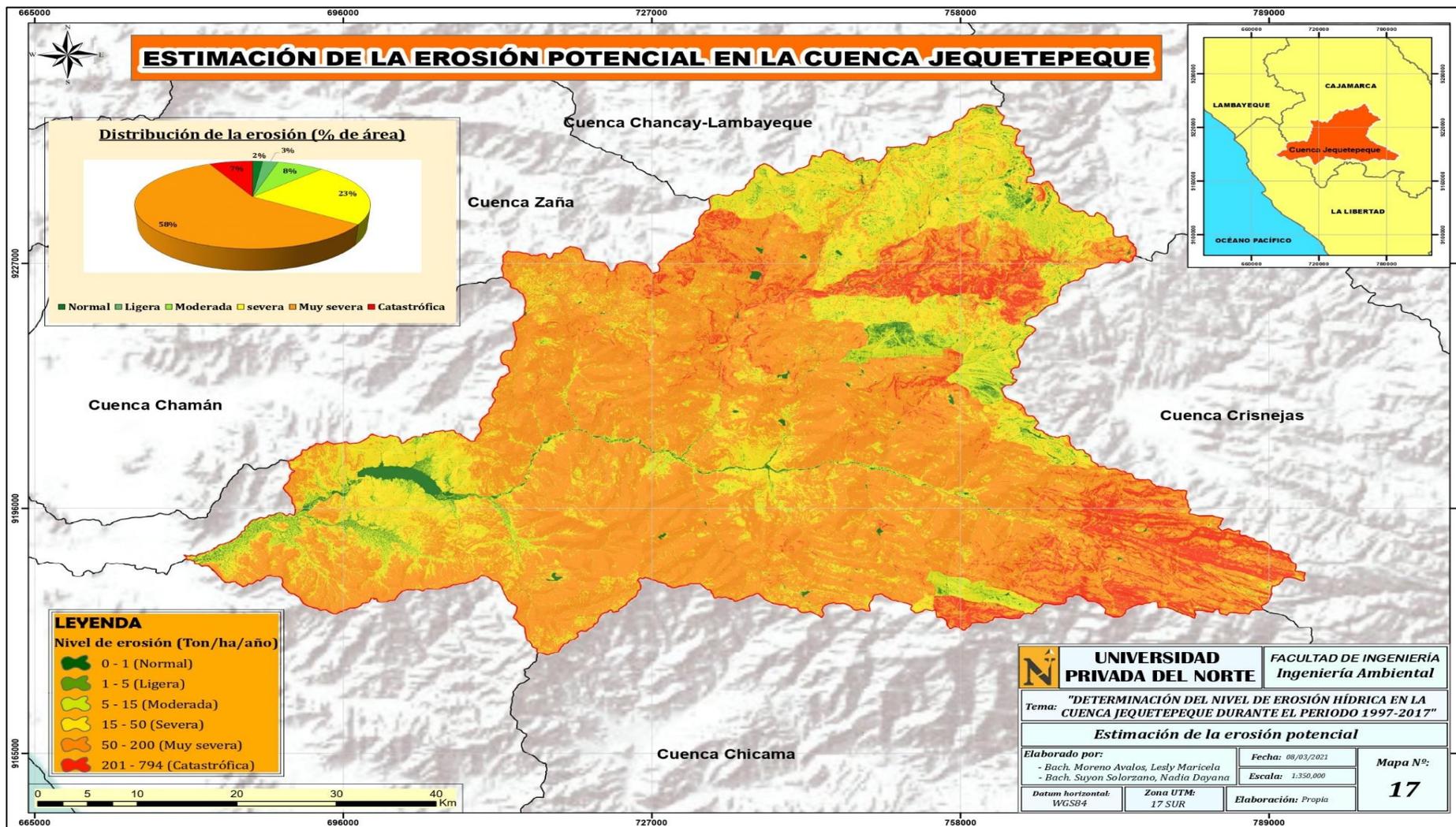


Figura 53. Mapa del nivel de erosión potencial de la cuenca Jequetepeque

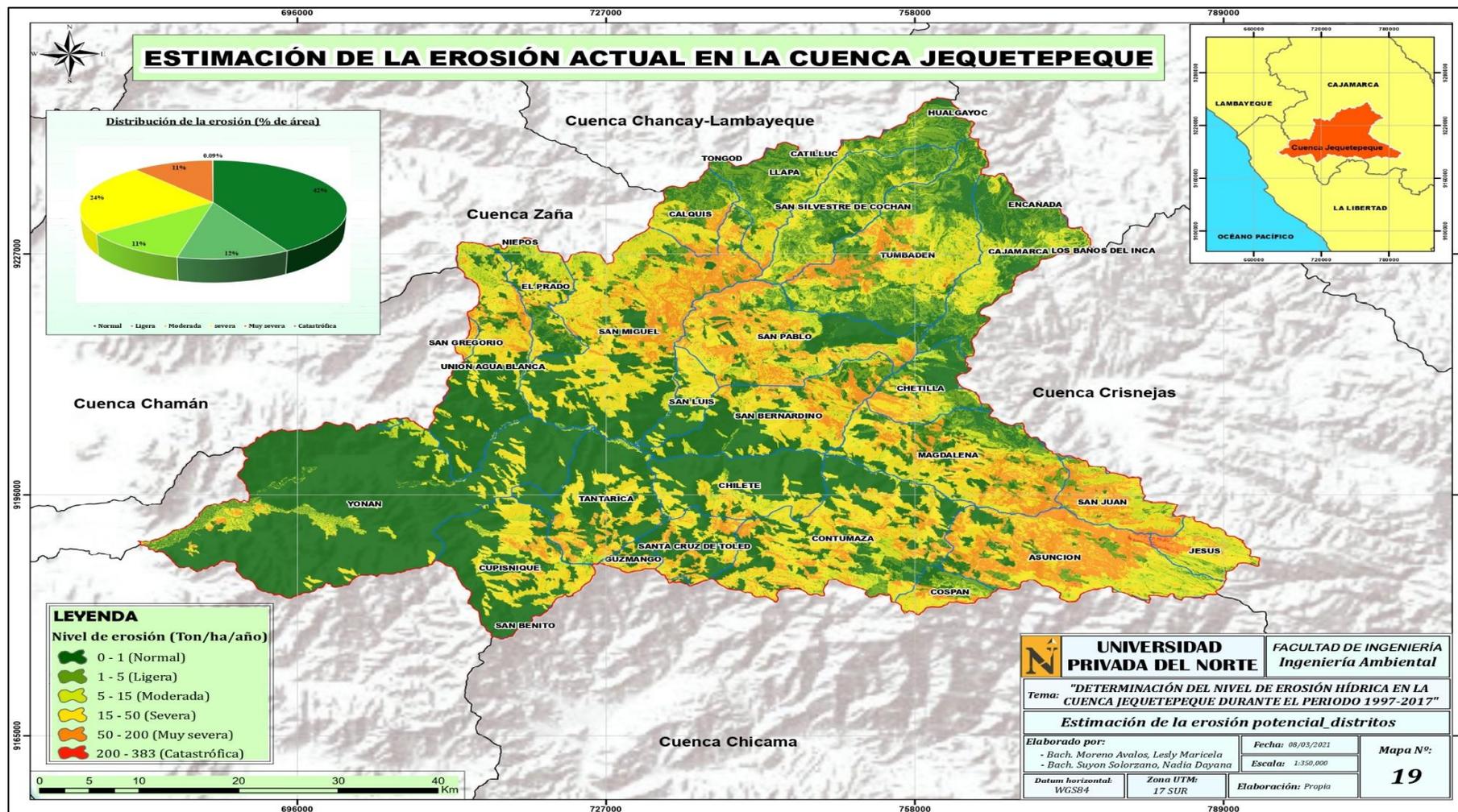


Figura 54. Mapa de erosión actual de la cuenca Jequetepeque

Propuesta Ambiental

a) Situación actual de la cuenca Jequetepeque

La problemática que se está dando en la cuenca Jequetepeque principalmente en la parte alta y media, es la erosión hídrica. Las actividades antrópicas son las que más inciden o aceleran este fenómeno, siendo una de ellas la deforestación de cobertura vegetal natural; razón por la que se observa en la actualidad problemas de erosión en las laderas de la cuenca. Esta acción suele darse a fin de destinar esas áreas para el desarrollo de ciertas actividades económicas como las de tipo agrícolas, agropecuarias, y satisfacer las necesidades de madera para uso doméstico (leña), construcciones, etc.

De continuar con esta problemática, no pasará muchos años para poder ver los efectos de la erosión potencial en todas las actividades económicas, la calidad del suelo y el agua incluso. Por ello, aún estamos a tiempo de implementar una propuesta ambiental de recuperación del suelo erosionado combinado con algunas medidas de prevención y atenuación.

Con la aplicación de la metodología del Modelo de la Ecuación de Pérdida de Suelo Universal Revisada (RUSLE), propuesto por Wischmeier y Smith y respaldado por diversas instituciones de renombre, para el periodo 1997-2017, se determinó que a pesar de que la erosión actual está clasificada como erosión moderada representando un 42% (156 692 Has), las zonas del área de la cuenca Jequetepeque que presentan erosión potencial muy severa representan el 58% (216 757 Has) y comprenden tierras de protección según la clasificación de la capacidad de uso mayor de suelos.

Además, se sabe que del área total de la cuenca Jequetepeque, 88 431 Has están siendo afectadas con erosión severa, 42 257 Has con erosión muy severa y 318 Has de tipo catastrófica.

Ante este contexto, no basta con evitar ciertas prácticas, sino que también se necesita formular medidas preventivas, atenuantes y que inicien la recuperación del suelo erosionado en la cuenca Jequetepeque, por lo que se propone un Plan de Manejo Ambiental.

El Plan de Manejo Ambiental es un instrumento de gestión destinado a proporcionar programas, planes, procedimientos, etc.; orientadas a prevenir, controlar, corregir, eliminar y minimizar aquellos impactos ambientales negativos y maximizar los positivos. Está es una herramienta sujeta a cambios debido a factores internos o externos en la cuenca, por lo tanto, este es variable en el tiempo y deberá tener actualizaciones o mejoras según las necesidades (León, 2014). El presente Plan de Manejo Ambiental está dirigido a las entidades del Sector público y demás empresas interesadas en la lucha contra los efectos del cambio climático y desertificación, debido a que se desarrolla en base a la problemática identificada.

b) Justificación.

Esta propuesta de plan de manejo surge ante las necesidades de recuperar las áreas afectadas por la erosión hídrica en la cuenca Jequetepeque, identificadas a través del método RUSLE.

Las actividades irán orientadas a mejorar controlar y rehabilitar áreas frágiles o en estado avanzado de erosión, cuyo efecto se encuentra estrechamente relacionado con la deforestación y otras actividades agroproductivas; agropecuarias; sobrepastoreo; el desarrollo urbano e industrial no planificado; la construcción de vías de comunicación y transporte sin normativa ambiental regulatoria considerando los diferentes ecosistemas,

finalmente la falta de tratamiento de los efluentes y residuos de las fábricas y áreas urbanas también inciden directamente. Esto, con la finalidad de lograr el fortalecimiento institucional en materia de recursos naturales y la cuenca hidrográfica.

c) Objetivo General

Conservar y aprovechar sosteniblemente los recursos naturales dentro de un enfoque de integración con énfasis en el control de erosión, a través de los diferentes programas que integran el Plan de Manejo.

d) Lineamientos y Estrategias

A fin de alcanzar el objetivo global, se proponen las siguientes estrategias que permitan orientar las acciones a seguir; siendo ellas las siguientes:

- a) Buscar la mejora en el uso de los recursos naturales renovables del área de interés, determinando alternativas sostenibles.
- b) Mejorar las características físicas y la capacidad productiva del suelo de la cuenca de estudio.
- c) Formular planes detallados y proyectos de conservación, manejo, control y rehabilitación de áreas degradadas por la erosión hídrica, de forma escalonada.
- d) Utilizar en forma muy selectiva las técnicas mecánicas compatibles con las características físicas de los suelos.
- e) Establecer programas de educación y concientización de la población urbana y rural de áreas priorizadas, buscando la incorporación de la comunidad, en general, dentro del proceso conservacionista de manera participativa y activa.
- f) Fomentar la inversión hacia proyectos de conservación, manejo, rehabilitación y control de las zonas erosionadas de la cuenca.

e) Beneficiarios del Plan

- ✓ Gobierno Regional (Cajamarca) y Gobiernos Provinciales (Cajamarca, San Pablo, San Miguel y Contumazá).
- ✓ Gobiernos distritales (Chetilla, Asunción, San Juan, Magdalena, Jesús, Cajamarca, Cospán, San Pablo, Tumbaden, San Bernardino, San Luis, San Miguel, Calquis, San Silvestre de Cochán, Llapa, San Gregorio, El Prado, Unión Agua Blanca, Contumazá, Cupisnique, Chilete, Guzmango, Santa Cruz Toledo, Tantarica y Yonan) y demás localidades dentro de los distritos antes mencionados, pero principalmente de los distritos con mayor tasa de erosión actual y potencial).
- ✓ Población que habita dentro de la cuenca.
- ✓ Empresas privadas.
- ✓ Agricultores locales y externos.
- ✓ Instituciones públicas, privadas y universidades.
- ✓ Organizaciones sociales locales.

f) Estructura

El siguiente Plan de Manejo Ambiental, está compuesto de una matriz con perfiles de proyectos, beneficiario y costo. Para lo cual, se formularon 6 programas (Tabla 66), según la clasificación impuesta por Rodgers (2000), cuyas acciones están orientadas a la obtención de 4 grandes metas (Tabla 67); con 07 proyectos, con un costo aproximado de inversión de S/ 155,158, 000, 000 soles en un tiempo estimado de 10 años a implementarse.

Tabla 66

Programas que componen el Plan de Manejo Ambiental

PLAN DE RECUPERACIÓN Y MANEJO DE ZONAS AFECTADAS POR LA EROSIÓN EN LA CUENCA JEQUETEPEQUE	
Tipos de programas	Ítems considerados
1. Programa de Fortalecimiento de Capacidades.	Proyecto

2. Programa de Capacitación y Educación Ambiental.	Objetivo
3. Programa de Protección de Áreas Naturales.	Beneficiario
4. Programa de Conservación de suelos.	Costo
5. Programa de Gestión de Residuos Sólidos en la Cuenca	
6. Programa de Monitoreo y Evaluación de la propuesta.	

Tabla 67

Metas de las acciones del Plan de Manejo Ambiental

Nivel	Meta	Acciones
1	Fortalecimiento de capacidades	<ul style="list-style-type: none"> - Administrar de manera adecuada las subcuencas. Para ello se deberá analizar acerca del uso recomendable de los suelos y las áreas identificadas para la planificación del uso de las tierras. - Hacer una Re identificación a nivel de subcuencas que conforman la cuenca Jequetepeque. - Adoptar sistemas agroforestales y agrícolas conservacionistas y en áreas aptas para estas actividades.
2	Agroproductividad	<ul style="list-style-type: none"> - Elaborar planes específicos de manejo para las áreas con pastos de uso intensivo, y aquellas con pastos mejorados que estén en consonancia con los planes de conservación y manejo. - Establecer, manejar y proteger las 131006 hectáreas de suelo erosionado e impactado. - Proteger la cobertura vegetal en 142 423.24 hectáreas de páramos y áreas erosionadas en la cuenca de estudio. - Diseño y ubicación de obras de control de erosión para atender las áreas afectadas. - Establecimiento de obras de control de erosión en ríos y dique de retención de sedimentos aguas arriba de las infraestructuras de desarrollo.
3	Conservación de suelos	<ul style="list-style-type: none"> - Utilización de prácticas de conservación de suelos de carácter cultural con agricultura intensiva y prácticas mecánicas con agricultura moderada.
4	Capacitación y Educación Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> - Formulación de un programa y proyecto orientado a la capacitación campesina sobre la importancia de la conservación y manejo de los recursos naturales renovables para el control y

rehabilitación de áreas de la cuenca más
erosionadas.

g) Programas

Como parte del Plan de Manejo Ambiental, se ha planteado 6 programas, de los cuales según su naturaleza 7 contemplan proyectos que fueron seleccionados considerando la problemática ambiental identificada.

7.1. Programa de Fortalecimiento de capacidades.

a. Justificación

Este programa se justifica debido a que algunas de las causas que más influyen en la erosión hídrica son las de tipo antrópicas como las principales actividades económicas de la cuenca (Agricultura, minería, las agroindustrias y la ganadería), involucrando así al estado y la sociedad civil.

En ese sentido, para superar el problema de erosión actual y potencial en la cuenca de estudio es prioritario fortalecer los conocimientos y capacidades de gestión en el desarrollo participativo y técnico de los diversos actores de la cuenca con enfoque a la institucionalidad, y la participación articulada.

b. Objetivo

Capacitar técnica y administrativamente a los principales actores del Estado y la sociedad civil para garantizar la sostenibilidad del Plan de Recuperación y Manejo de áreas afectadas por la erosión en la cuenca Jequetepeque.

c. Alcance

El Programa de Fortalecimiento de Capacidades, se encuentra orientado a los principales actores de la cuenca de interés.

d. Proyectos

Tabla 68

Fortalecimiento organizacional e institucional de los actores principales de la cuenca.

Proyecto 1: Fortalecimiento organizacional e institucional de los actores principales de la cuenca.						
Objetivo	Implementar actividades de conservación del suelo dentro de la cuenca. Asimismo, fortalecer las capacidades sobre la recuperación y manejo de áreas afectadas por la erosión.					
Responsable	Autoridad Local del Agua Jequetepeque (ALA Jequetepeque), Autoridad Nacional del Agua (ANA), Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), Gobiernos Regionales (Cajamarca), Gobiernos Provinciales (Cajamarca, San Pablo, San Miguel y Contumazá) y Distritales (Chetilla, Asunción, San Juan, Magdalena, Jesús, Cajamarca, Cospán, San Pablo, Tumbaden, San Bernardino, San Luis, San Miguel, Calquis, San Silvestre de Cochán, Llapa, San Gregorio, El Prado, Unión Agua Blanca, Contumazá, Cupisnique, Chilete, Guzmango, Santa Cruz Toledo, Tantarica y Yonan), Ministerio de Economía y Finanzas (MEF), Fondo Nacional del Ambiente (FONAM).					
Ubicación	Podrá llevarse a cabo mediante la modalidad presencial o virtual en un determinado lugar, según el contexto.					
Beneficiarios	Juntas de agua, patronatos, comités ambientales, asociación de productores, ganaderos, cajas rurales, grupos de mujeres					
Unidad	Organizaciones sociales y consejo de cuenca.					
Aspecto	Impacto	Medidas propuestas	Indicadores	Medio de verificación	Plazo (años)	Costo (soles)
Suelo	Erosión hídrica	<p>Contrastar los conocimientos de los actores con la realidad situacional de la cuenca.</p> <hr/> <p>Brindar asistencia técnica y herramientas necesarias para el adecuado desarrollo de las diferentes actividades de Recuperación y Manejo de áreas afectadas por la erosión hídrica.</p>	<p>Porcentaje de eventos realizados</p> <p>Número de visitas guiadas.</p> <hr/> <p>Porcentaje de Actores Capacitados</p>	<p>- Registro de firmas</p> <p>- Fotografías</p> <p>- Registros de Asistencia</p>	3 años	345 000

Fortalecimiento institucional a la unidad
municipal ambiental y consejo de cuenca del
Rio Jequetepeque.

7.2. Programa de capacitación y educación ambiental.

a. Justificación

La falta de promoción y capacitación en temas ambientales a la población representa un gran problema, pues el hombre es el agente principal en cualquier proceso erosivo debido a su rol en el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales (RR. NN). En efecto, sin educación y toma de conciencia ambiental no podría haber desarrollo o algún análisis exacto acerca del problema que acarrea el aprovechamiento desmesurado de los RR. NN, siendo así un pilar en cualquier política de Estado. En ese sentido, el programa de capacitación y educación ambiental busca formar y guiar a futuros líderes interesados en la prevención, mitigación y manejo de áreas de la cuenca Jequetepeque, afectadas por erosión hídrica.

b. Objetivo

Fomentar en la población de interés, aptitudes y actitudes orientadas a comprender las interrelaciones entre la población, su cultura y el ambiente en que se desarrollan, así como los problemas que se encuentran asociados. Todo ello, a través de talleres de capacitación ambiental.

c. Alcance

Crear conciencia ambiental en los pobladores dentro de la cuenca de estudio, en el uso adecuado y conservación de los recursos naturales enfocado en el componente suelo.

d. Proyectos

Tabla 69

Concientización sobre uso y cuidado de recursos naturales de la cuenca.

Proyecto	2:	Concientización sobre uso y cuidado de recursos naturales de la cuenca.				
Objetivo	Capacitar a los líderes de los lugares cercanos a la cuenca de estudio con el fin de motivarlos a practicar técnicas de conservación y producción amigable con el ambiente.					
Responsable	Autoridad Local del Agua Jequetepeque, MINAM, MINEDU, Voluntariados, Ingenieros Ambientales, Fundaciones y ONGs comprometidos con el cuidado del medio ambiente, MEF, FONAM, Personal del Proyecto, Gobiernos Locales, etc.					
Ubicación	Organizaciones locales, colegios, universidades, municipalidades, entre otros.					
Beneficiarios	Familias que viven dentro de la cuenca Jequetepeque y líderes de los lugares cercanos a la cuenca de estudio.					
Unidad	Organizaciones Sociales, gobiernos locales y colegios.					
Aspecto	Impacto	Medidas propuestas	Indicadores	Medio de verificación	Plazo (años)	Costo (soles)
Suelo y ecosistemas	Contaminación del suelo, agua y aire	Capacitar a los principales actores de la cuenca o externa a ella sobre la importancia del recurso suelo, biodiversidad y su conservación (Fertilidad, erosión y sedimentación). Asimismo, sobre los impactos de las actividades humanas al ambiente, ordenamiento ambiental y participación.	Porcentaje de capacitaciones efectuadas Nivel de conocimiento de los actores capacitados	- Certificados de asistencia. - Registro de firmas. - Fotografías - Aplicación de cuestionarios.	de de de	3 años 1 000 000
		Formar un grupo de promotores juveniles ecosistémicos para que desarrollen excelente capacidad de toma de decisiones en la gestión adecuada de los ecosistemas.	Porcentaje de promotores juveniles ecosistémicos acreditados	- Registro de participación - Certificado de acreditación y participación - Registro fotográfico	de de y	1 año 80 000

Tabla 70

Educación en gestión de riesgos erosivos.

Proyecto 3: Capacitación en gestión de riesgos en la cuenca Jequetepeque.						
Objetivo	Brindar conocimientos e internalizar actitudes favorables por parte de los agricultores, usuarios, productores y pobladores cercanos a la cuenca, sobre la gestión de riesgo en la cuenca Jequetepeque.					
Responsable	Autoridad Local del Agua Jequetepeque, ANA, Especialistas en catastro, Comité Local de Gestión del Riesgo Local, CENEPRED, INDECI, ING, MEF, FONAM, Gobiernos Locales, Ministerio de Vivienda, Dirección Regional de Educación, Medios de Comunicación, entre otros.					
Ubicación	Organizaciones locales, colegios, ministerio de educación y gobiernos locales.					
Beneficiarios	Estudiantes, productores, agricultores, usuarios, Organizaciones locales involucradas en el manejo ambiental y gestión de riesgos y familias que se ubican en las áreas de riesgo de la cuenca.					
Unidad	Sociedad Civil y el Estado.					
Aspecto	Impacto	Medidas propuestas	Indicadores	Medio de verificación	Plazo (años)	Costo (soles)
Infraestructuras y equipamiento	Prejuicio a viviendas, terrenos agrícolas y demás bienes materiales.	Capacitar a los actores de interés sobre la Cultura de Gestión del Riesgo para actuar antes, durante y después de un desastre natural o antropogénico en el área de la cuenca.	Porcentaje de Personas capacitadas	- Programación de capacitaciones. - Registro de asistencia. - Fotografías.	1 año	140 000
		Promover la investigación científica orientados a la gestión y manejo de riesgos a nivel de cuenca.	Porcentaje de proyectos de investigación obtenidos	- Publicación de los Proyectos Científicos	4 años	1 000 000

7.3. Programa de Protección de Áreas Naturales

a) Justificación

El estado ha formulado y aprobado diversos instrumentos normativos orientados a evitar la pérdida de ecosistemas y su biodiversidad; no obstante, en los últimos años se ha intensificado la práctica de algunas actividades (Como la agricultura, ganadería, agroindustria, entre otras.), que han degradado los componentes naturales como sucede en la cuenca Jequetepeque. De ahí la importancia de elaborar un programa que permita la restauración y conservación de áreas naturales remanentes en la cuenca Jequetepeque.

b) Objetivo

Contribuir a la conservación de muestras representativas de la diversidad biológica de la cuenca.

c) Alcance

El programa esta direccionado a tener un adecuado manejo de las áreas naturales presentes en la cuenca y así lograr un desarrollo sostenible.

d) Proyectos

Tabla 71

Manejo adecuado de Áreas Naturales de la cuenta Jequetepeque.

Proyecto 4: Manejo adecuado de áreas naturales de la cuenca Jequetepeque.						
Objetivo	Promover el desarrollo sostenible de los recursos naturales de la cuenca, mediante el mejoramiento de la administración, manejo y conservación de las áreas naturales y los bosques nativos remanentes.					
Responsable	Autoridad Local del Agua Jequetepeque, ANA, Ministerio de Desarrollo Agrario (MIDAGRI), Ministerio del Ambiente (MINAM), SERNAMP, Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA), Voluntariados, Ingenieros Ambientales, MEF, FONAM, Gobierno Regional y Gobierno Local					
Ubicación	Áreas con recursos más afectados a lo largo de la cuenca.					
Beneficiarios	Agricultores y pobladores de las áreas afectadas, Organizaciones locales involucradas en el manejo ambiental y gestión de recursos naturales.					
Unidad	Agricultura sostenible.					
Aspecto	Impacto	Medidas propuestas	Indicadores	Medio de verificación	Plazo (años)	Costo (soles)
Áreas Naturales	Pérdida del suelo y biodiversidad local	Realizar un diagnóstico rural participativo de áreas naturales más afectadas y sin atención.	Porcentaje de pérdida de biodiversidad y recursos naturales local	- Geo data - Imágenes Satelitales - Informe de Diagnóstico	1 año	50 500
		Establecimiento de áreas naturales locales que requieran protección	Porcentaje de áreas propuestas que fueron protegidas	- Partidas Registrales de áreas naturales protegidas de la cuenca.	2 años	90 000
		Realizar un inventario de recursos forestales nativos locales y su clasificación.	Cantidad de recursos forestales nativos inventariados y clasificados	- Inventario	1 año	230 000

Dejar los terrenos marginados físicamente para las actividades agroproductivas como zonas protectoras bajo regímenes especiales de administración. Implementar agroforestería en tierras de uso agropecuario; y estudios de mercado de productos forestales y no forestales.	Cantidad de áreas bajo régimen especial de administración	- Certificado de aprobación. - Informes trimestrales. - Fotografías.	1 año	14 700
Fomentar la formación y actuación de promotores locales de ecoturismo.	Porcentaje de áreas agropecuarias implementadas con agroforestería	- Registro fotográfico - Informe trimestral	4 años	375 500
	Cantidad de promotores locales de ecoturismo debidamente acreditados	- Registro inscripción - Registro de participación	1 año	7 800

7.4. Programa de Conservación de Suelos

a) Justificación

En la parte alta y media de la cuenca Jequetepeque, la principal actividad económica es la agricultura de subsistencia de lluvia intensa aumenta la velocidad y volumen de la escorrentía; potenciando su capacidad de causar erosión, mientras que en la parte baja la población vive de la agricultura de riego intensivo.

Entonces, al ser la erosión un fenómeno acelerado por el ser humano, debido al mal manejo de los suelos es necesario implementar este programa para tomar acciones orientadas al manejo y control de áreas degradadas por la erosión hídrica, conservación de tierras productivas y prácticas de conservación de suelos. Todo ello, teniendo en cuenta que éstas son muy diversas y su selección depende de la pendiente del terreno, de la vegetación existente en cada lugar, y del costo.

b) Objetivo

Controlar efectivamente la acción erosiva de las lluvias a través de la implantación de un conjunto de prácticas de conservación de suelos.

c) Alcance

El programa esta direccionado a evitar la pérdida de los suelos por causa de la erosión hídrica en la cuenca.

d) Proyectos

Tabla 72

Conservación de suelos con prácticas mecánicas

Proyecto	5: Conservación de suelos en la cuenca con prácticas culturales y mecánicas.					
Objetivo	Implementar prácticas mecánicas y agronómicas en la parte alta y media de la cuenca					
Responsable	Autoridad Local del Agua Jequetepeque, ANA, Ministerio del Ambiente (MINAM), Ministerio de Desarrollo Agrario (MIDAGRI), Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS), Voluntariados, Ingenieros Ambientales, MEF, FONAM.					
Ubicación	Para brindar las capacitaciones a la población de manera presencial o virtual, y para los agricultores ubicados en las zonas que presentan erosión severa, muy severa y catastrófica, se definirá en un determinado lugar (San Juan, Jesús, Asunción, Magdalena, Contumazá, Chetilla, San Bernardino, San Pablo, San Miguel, Tumbaden, Calquis y San Gregorio).					
Beneficiarios	Agricultores, familias que viven dentro de la cuenca, usuarios actuales y potenciales.					
Unidad	Agricultura sostenible.					
Aspecto	Impacto	Medidas propuestas	Indicadores	Medio de verificación	Plazo (años)	Costo (soles)
Suelo y Agua	Erosión hídrica	Capacitar a gran parte de los agricultores acerca del uso de	Porcentaje de capacitaciones efectuadas	- Registro de firmas.	1 año	70 000

técnicas e insumos orgánicos en la agricultura.

- Certificado de aprobación y participación.

- Fotografías.

Incorporar restos vegetales en las superficies para aumentar la porosidad total.

Cantidad de restos orgánicos empleados en la actividad agrícola

- Ficha de pesaje

- Análisis de suelo 2 años 80 500

- Cálculo de la erosión post

Promover la sistematización de tierras, el uso de labranza vertical y siembra directa en la parte baja de la cuenca

Porcentaje de sistemas agrícolas efectuadas

- Registro fotográfico

- Supervisiones efectuadas 5 años 100 000

Emplear la rotación de cultivos y diversificación de cultivos, en la parte media de la cuenca para cuidar los suelos y recuperar su fertilidad.

Porcentaje de rotaciones agrícolas efectuadas

- Registro local de unidades agrícolas mejoradas

5 años 137 000

Cambiar la forma de pastoreo, a través de la técnica "celdas rotativas" y con la cantidad adecuada de animales.

Porcentaje de rotaciones o aplicación de nuevas técnicas

- Registro local de unidades de pastoreo mejoradas

5 años 137 000

Promover el cultivo de pastos con especies mejoradas y

control de pastoreo con cercos eléctricos.

Mejorar la geomorfología por una más estable, implementando zanjas de infiltración y terraceo en conjunto con diques con el fin de retener los sedimentos provocados por la erosión.

Implementación de canales para captar y derivar agua producto de la escorrentía, la cual puede ser almacenada en estanques y posteriormente ser utilizada en el riego agrícola y forestación.

Implementación de drenes pluviales de coronación, los cuales deben ser periféricos a las masas de suelo susceptibles de ser erosionadas, con el fin de impedir el ingreso del agua producto de la escorrentía.

% de áreas mejoradas con la implementación de técnicas geodinámicas.	- Registro de áreas mejoradas.		
	-Expedientes técnicos	10 años	12 500 000
	- Acta de finalización de obra		

Biodiversidad	Pérdida de Biodiversidad	Construir canales colectores en la zona media de la cuenca para asegurar una cobertura vegetal adecuada al conectar las terrazas.	Porcentaje de incremento de heterogeneidad ambiental a escala local	- Expedientes - Registro fotográfico - Acta de finalización de obra	10 años	12 500 000
		Construir terrazas de banco vegetadas en diferentes zonas media y baja de la cuenca con mayor pendiente y considerando las condiciones geomorfológicas y topográficas. (Por ser más de 2,5 Tn/ha/año la erosión severa).	Porcentaje de terrazas implementadas	- Expedientes - Registro fotográfico - Acta de finalización de obra	12 años	8 500 000

Tabla 73

Reforestación de la cuenca Jequetepeque

Proyecto	6: Reforestación de la cuenca del río Jequetepeque.					
Objetivo	Recuperar la cobertura arbórea para la protección contra la erosión hídrica.					
Responsable	Gerencia regional de Recursos Naturales y Gestión Ambiental Gobierno Regional, Gobierno Distrital, Provincial (viveros), ING, ANA, MEF, Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA), MINAM, FONAM.					
Ubicación	Zonas de la cuenca que no presentan cobertura arbórea.					
Beneficiarios	Población dentro del área de la cuenca.					
Unidad	Áreas erosionadas de la cuenca.					
Aspecto	Impacto	Medidas propuestas	Indicadores	Medio de verificación	Plazo (Años)	Costo (soles)

Suelo	Pérdida de flora local, espacios naturales y erosión hídrica	<ul style="list-style-type: none"> - Identificar mediante sistemas de información geográfica las áreas para reforestación. - Realizar plantaciones en masas compactas de vegetación arbórea nativa en las subcuencas más afectadas (Áreas > 50 Has). - Plantar en línea especies forestales potenciales para producción (<i>Eucaliptus sp.</i>, <i>Pinus radiata</i>) y protección (<i>Acacia sp.</i>, <i>Caesalpinia spinosa</i>, <i>Acacia melanxilon</i>, <i>Prunus capulí</i>, etc.) en áreas < 5 Has. 	Porcentaje de especies de plantas nativas forestadas.	<ul style="list-style-type: none"> - Programación de especies plantadas. - Fotografías. 	3 años	4 000 000 (Varía de acuerdo con el área por reforestar y a la especie escogida)
-------	--	---	---	---	--------	--

7.5. Programa de Gestión de Residuos Sólidos en la cuenca.

a. Justificación

Una grave problemática que también afronta el río Jequetepeque es el arrojamiento de residuos sólidos a sus aguas, ya sea por la falta de un área temporal para almacenamiento de residuos sólidos según la NTP 900.058.2019, y un área de disposición final adecuada como un relleno sanitario. También, existe el problema que generan los pasivos ambientales en diferentes zonas de la cuenca, alterando de esta manera la calidad del suelo y agua.

Por ese motivo, el presente programa consiste en el manejo adecuado de los residuos sólidos.

b. Objetivos

Fomentar el manejo adecuado de los residuos sólidos generados por la población y demás actores dentro de la cuenca.

c. Alcance

Este programa está direccionado al manejo adecuado de los residuos sólidos.

d. Proyectos

Tabla 74

Manejo de los residuos sólidos en la cuenca.

Proyecto 7: Manejo de los residuos sólidos en la cuenca Jequetepeque.						
Objetivo	Implementar acciones de un Manejo y Disposición Adecuada de Residuos Sólidos en cada distrito dentro de la cuenca Jequetepeque.					
Responsable	Gobiernos Distritales, Provincial y Municipios, MINAM, OEFA, FONAM, Entidades de Fiscalización Ambiental (EFAs), ONGs, Voluntarios e Ingenieros					
Ubicación	Las diferentes zonas de cada localidad o distrito destinadas para el almacén o disposición final de los residuos sólidos.					
Beneficiarios	Población dentro de la cuenca del río Jequetepeque.					
Unidad	Centros de almacenaje temporal.					
Aspecto	Impacto	Medidas propuestas	Indicadores	Medio de verificación	Plazo (Años)	Costo (soles)
Calidad del agua y del suelo	Contaminación del agua y del suelo.	Realizar campañas de limpieza de ríos y áreas verdes	Porcentaje de campañas de limpieza efectuada	✓ Registro fotográfico	2 años	800 000
				✓ Listado de puntos críticos		
		Sensibilizar a los pobladores cercanos a la cuenca y a los agricultores de	Porcentaje de población sensibilizada	✓ Programa de segregación en la fuente y recolección selectiva	1 año	600 000

Impulsar la Valorización de Residuos a través de alianzas estratégicas	Porcentaje de residuos valorizados	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Registro de municipalidades comprometidas. ✓ Registro fotográfico ✓ Ordenanza Municipal 	1 año	20 000
Implementar puntos de almacén temporal	Porcentaje de puntos de almacenamiento temporal	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Programación de puntos de almacenaje. ✓ Fotografías. 	2 años	180 000
Determinar un área específica y adecuada para el tratamiento y disposición final de los residuos.	Porcentaje de lugares para tratamiento y disposición de residuos	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Registro por parte de los municipios del lugar donde tratan los residuos. ✓ Registro por parte de los municipios de la cantidad de residuos tratados. ✓ Informe técnico de la planta de tratamiento de residuos. ✓ Fotografías. 	1 año	5800

7.6. Programa de Monitoreo y evaluación.

a. Justificación

El monitoreo tanto interno como externo, es un elemento central en el enfoque de este Plan, pues, por un lado, las herramientas de seguimiento y evaluación se implementarán de manera participativa y, por otro lado, permitirá determinar si los proyectos y sus actividades propuestas está funcionando. De esta forma, se podrá tomar futuras decisiones acertadas considerando que se trata de un Plan de manejo con múltiples actores y sectores.

Adicionalmente, para el monitoreo del Plan se contará con el registro de información mediante indicadores y la generación de reportes para su posterior análisis. Asimismo, el monitoreo y evaluación de la sostenibilidad de la cuenca está asociado a las actividades de organización.

b. Objetivos

- Hacer un seguimiento a todos los programas del Plan de Manejo Ambiental propuesto; antes, durante y después de su ejecución.
- Determinar e identificar el nivel de los impactos que se darán con la ejecución del plan de manejo de la cuenca, relacionados a los recursos naturales: Agua, suelo, bosque y biodiversidad.
- Valorar los resultados concernientes a la producción, productividad y rentabilidad de las actividades agropecuarias sostenibles implementadas.
- Determinar la capacidad de respuesta ante los diferentes posibles escenarios de riesgo.
- Evaluar el nivel organizacional y la capacidad de gestión de las organizaciones locales.

c. Responsables

Los responsables en este programa, dependerá según el proyecto y las líneas estratégicas a ejecutar, por lo que se puede proponer son los siguientes:

- Consejo de Cuenca
- Responsable del Proyecto
- Personal de Apoyo
- Consultoras externas, entre otros.

d. Actividades

Diversos estudios realizados, proponen efectuar las siguientes actividades en un programa como este:

- Efectuar auditorías internas y externas
- Programar reuniones anuales con amplia participación de los actores locales, a fin de presentar los avances, limitaciones, problemas identificados, así como sus posibles soluciones.
- Reunir información que permita medir, los logros ambientales y sociales de la propuesta.
- La entidad ejecutora deberá remitir informes trimestrales y anuales sobre los resultados del cumplimiento de objetivos y metas, para luego ser presentado al Consejo de Cuenca, a los actores locales y demás interesados.
- Durante el plazo de ejecución es recomendable efectuar evaluaciones a cargo del equipo técnico.

PROGRAMAS	PROYECTOS	EJECUCIÓN DE ACTIVIDADES (Años)												COSTO TOTAL (SOLES)		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
Programa de Fortalecimiento de Capacidades	Fortalecimiento organizacional e institucional de los actores de la sociedad civil y del estado.	X	X	X											S/ 45,000	
	Concientización sobre uso y cuidado de recursos naturales de la cuenca.	X	X	X											S/ 1,000,000	
Programa de capacitación y educación ambiental.	Capacitación en gestión de riesgos en la cuenca Jequetepeque.	X													S/ 80,000	
		X	X	X	X										S/ 140,000	
Programa de Protección de Áreas Naturales	Manejo adecuado de áreas naturales de la cuenca Jequetepeque.	X													S/ 50,500	
		X	X												S/ 90,000	
		X													S/ 230,000	
		X													S/ 14,700	
		X	X	X	X											S/ 375,500
		X														S/ 7,800
		X	X	X	X	X										S/ 137,000
		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				S/ 125,000,000
Programa de Conservación de Suelos	Conservación de suelos con prácticas mecánicas y culturales	X													S/ 70,000	
		X	X												S/ 80,500	
		X	X	X	X	X									S/ 100,000	
		X	X	X	X	X									S/ 137,000	
		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				S/ 12,500,000
	Reforestación de la cuenca del río Jequetepeque.	X	X	X										S/ 8,500,000		
Programa de Gestión de Residuos Sólidos en la cuenca	Manejo de los residuos sólidos en la cuenca Jequetepeque.	X	X												S/ 4,000,000	
		X													S/ 800,000	
		X													S/ 600,000	
		X	X											S/ 20,000		
		X	X											S/ 180,000		

Figura 55. Cronograma de los programas y proyectos

COSTO GLOBAL DEL PLAN

Para determinar el costo total del Plan de Manejo, se ha realizado el sumatorio total de los costos por proyecto planteado según el programa al que pertenece. Es decir, son estimaciones de los perfiles de proyectos.

Programas	Proyectos	Costo Total	%
Fortalecimiento de capacidades	1	S/ 45,000.00	0.03
Capacitación y educación ambiental.	2	S/ 2,220,000.00	1.43
Protección de Áreas Naturales	1	S/ 125,905,500.00	81.15
Conservación de Suelos	2	S/ 25,387,500.00	16.36
Gestión de Residuos Sólidos en la cuenca	1	S/ 1,600,000.00	1.03
TOTAL		S/ 155,158,000.00	100.00

Figura 56. Costos de Programas y Proyectos del Plan de Manejo

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En el primer objetivo específico se planteó realizar una caracterización de los aspectos físicos y biológicos de la cuenca estudiada, con el fin de relacionarlos con los factores de erosión. En lo que concierne al primer aspecto, se analizaron variables como: climatología (precipitación y temperatura), hidrología, hidrografía, topografía, geología, fisiografía, geomorfología, suelos y uso mayor de suelos; por otro lado, en el segundo se profundizó en la ecología, cobertura vegetal y flora/fauna.

En el caso de la climatología según el INGEMMET (1994) se identificó que esta varía de acuerdo a 4 regiones geográficas; es decir, es de tipo sub tropical en la región costera, presenta sequedad de aire en la región árida andina, el clima es templado en la región andina y frío-templado en la región andina superior; por otro lado, el Gobierno Regional de Cajamarca (2011) realizó la ZEE en la que se determinó cuatro climas (Tabla y figura 9); el primero es Estepa, el cual abarca 47808.4 has, este se caracteriza por presentar lluvias escasas en verano, el segundo es Desierto y se encuentra ocupando 123190 has, en este no se registran lluvias, el tercero es Templado Moderado Lluvioso, se extiende alrededor de 77436.90 has y las lluvias son 10 veces mayor que el mes más seco, finalmente encontramos al Frío (Boreal), se diferencia por ser seco en invierno y la temperatura media es mayor a 10°C.

Para el cálculo de la precipitación se trabajó con información proporcionada por el SENAMHI, para ello se trabajó con 13 estaciones meteorológicas (Tabla y figura 10), con los datos previamente corregidos se determinó la precipitación promedio multianual (método isoyetas), siendo esta 746.57 mm/año, vale recalcar que de acuerdo a la altitud tiende a aumentar o disminuir, por lo que en la parte baja de la cuenca la precipitación se encuentra en un rango de 90-240 mm/año y en la parte alta es mayor a 1590; dicha afirmación

concuera con lo propuesto por la ANA (2015), en la que sostiene que el clima depende de la influencia de factores como la orografía, gradiente altitudinal y los vientos húmedos, es por eso que la cuenca es dividida en dos partes; alta y baja, la primera presenta clima húmedo debido a las altas precipitaciones y la segunda es árida, excepto en áreas ubicadas dentro del valle. Es importante añadir que se decidió trabajar con el método de isoyetas, ya que este permite determinar la precipitación media de un área de estudio, cuando la información obtenida de las estaciones meteorológicas sufre variaciones o porque presenta topografía accidentada (Vásquez, 2018).

En el caso de la temperatura también se tiene en cuenta lo expuesto en el párrafo anterior, puesto que el SENAMHI (2017), expresa que en la cuenca alta la temperatura se encuentra alrededor de 11°C y en la parte media a 22°C, SEDALIB (2018), coincide con lo fundamentado, que la gradiente térmica en la cuenca oscila entre 0.5°C por cada 100 metros de ascenso.

En cuanto a la hidrología e hidrografía se determinó según la ANA (2015) que la mencionada cuenca está compuesta por 7 subcuencas (Bajo Jequetepeque, Medio Bajo Jequetepeque, Medio Jequetepeque, Medio Alto Jequetepeque, Alto Jequetepeque, Chausis, Contumazá, Pallac y San Miguel), de las cuales se puede apreciar (Tabla 11) que la “Alto Jequetepeque” es la que mayor proporción presenta (33.4%) respecto a las demás. Asimismo, por la cuenca estudiada se encuentran cruzando 30 ríos secundarios, siendo los principales los ríos Chonta, Contumazá, Chetillano, San Miguel, Pallac y las quebradas Chausis y Llamichan (Figura 11).

La topografía que presenta la cuenca Jequetepeque es muy fuerte y variada; es por eso que ha sido clasificado de acuerdo a 4 pisos altitudinales; en la región costa o chala se caracteriza por contar con un relieve variado (llanuras y cerros escarpados), La región yunga o quebrada cuenta con relieve inclinado (valles estrechos y quebradas profundas), la región

yunga posee un relieve muy inclinado y en la región suni o Jalca el relieve es quebrado (ANA, 2015). Como se puede observar en la figura 12, Según el Gobierno regional de Cajamarca (2011) la topografía de la cuenca ha sido dividida en espínada, extremadamente empínada, ligeramente inclinada, ligeramente inclinada a moderadamente empínada, moderadamente empínada, muy empínada y nula, de acuerdo a la ilustración se aprecia que la predominantes son la empínada y extremadamente empínada. Lo mencionado concuerda con Alcántara (2019) pues severa que el gradiente de la pendiente predominante en la cuenca Jequetepeque son los siguientes: inclinada en el Norte, fuertemente inclinada en el centro y moderadamente escarpada en el sur.

La geología que presenta la cuenca Jequetepeque según el Gobierno Regional de Cajamarca (2011) pertenece a la era Cenozoico (periodo paleógeno y cuaternario) y Mesozoico (periodo cretáceo y paleógeno), además se logró identificar diversas formaciones geológicas, como; formación Chimú, Farrat, Goylloriquizga, Yumagual, depósitos Fluvoglaciares, rocas intrusivas, volcánico Llama, volcánico Porculla, Carhuaz, Pariatambo, Granodiorita, volcánico Chilete, volcánico San Pablo y volcánico Huambos.

En la figura 13 se observa que las formaciones predominantes en la cuenca Jequetepeque son volcánico Llama, San Pablo y Granodiorita; de acuerdo a la investigación realizada por Alcántara (2015) en la misma cuenca, la unidad geológica volcánico Llama se encuentra compuesta por andesitas, tobas, areniscas y calizas; además se caracteriza por estar formada con escarpas y/o farallones; la unidad San Pablo está conformada por areniscas rojizas y rocas extrusivas (dacita y andesita), por lo que predominan los suelos anaranjado claros; finalmente, la granodiorita, está constituida por rocas intrusivas (gris oscuro a gris blanquecino), no cuenta con mucha vegetación, debido a sus suelos arenosos.

En cuanto a la fisiografía de la cuenca Jequetepeque, MINAGRI Y JEPEZA (2014) la clasificaron en tres grandes grupos; Bajo, medio y alto. La primera agrupación se

caracteriza por presentar planicies desérticas y taludes, además destacan extensas áreas de agricultura; la segunda está compuesta por espolones andinos, ríos temporales y quebradas secas; la tercera cuenta con ríos continuos, riachuelos y lagunas. Por otro lado, el Gobierno Regional de Cajamarca (2011) ha identificado 4 grandes paisajes; montañoso, planicie, altiplanicie y colinoso, siendo el predominante el montañoso (figura 14), Sardón y Mamani (2014) consideran que este tipo de paisaje están constituido por rocas de origen metamórfico, estructurales sedimentarias, plutónicas, volcánicas y degradacional.

Según el Gobierno Regional de Cajamarca (2011) la geomorfología de la cuenca Jequetepeque está definida en tres unidades principales; la erosional, agradacional y denudacional (Tabla 14 y figura 15). La que se presenta en mayor proporción es la erosional, y se caracteriza por contar con paisajes montañosos, seguido encontramos a la agradacional, ubicada cercana a los ríos, finalmente la denudacional que depende de factores como la erosión y meteorización. Del mismo modo el INADE en Alcántara (2015) sostiene que en el margen izquierdo de la parte alta de la cuenca se evidencia edificación estructural sedimentaria lineal y en el derecho, cuellos volcánicos; asimismo, argumenta que en esta zona se presenta el fenómeno glaciario, lo cual se demuestra por la presencia de lagunas.

Los suelos con los que cuenta la cuenca Jequetepeque han sido clasificados en fluviales, aluviales, coluvio-aluviales y residuales (Vásquez, 2018). Por otro parte, el Gobierno Regional de Cajamarca (2011) los ha dividido en las siguientes unidades: Andosol (T), Paramosol (PS), Phaeozem (H), Leptosol (L), Regosol (R), Paramoandosol (PA), Rendzina (E) y Fluvisol (J). Los suelos predominantes (figura 16) en la cuenca son los de tipo Andosol-leptosol (T-L) y Paramosol-leptosol (PAL); el primero, suele presentar superficie empinada/moderadamente empinada/fuertemente empinada y su permeabilidad es moderada, en el caso del segundo, las condiciones son parecidas a T-L, con la diferencia que su permeabilidad es moderadamente rápida (Tabla 15).

Según el MINAGRI (2009) la capacidad de uso mayor de suelos (CUM) que presenta la cuenca Jequetepeque ha sido clasificado de la siguiente manera: Tierras de protección (X), Tierras aptas para pastos (P), Tierra aptas para cultivo en limpio (A), Tierras aptas para forestales (F) y tierras aptas para cultivo permanente (C). En la zona de estudio la CUM predominante es la tierra apta para pastos (Tabla 16 y Figura 17), abarca un área de 96364.82 has (35.83%) y la más escasa es la tierra apta para cultivo permanente, puesto que solo ocupa 5264.92 has (1.96 %). Lo descrito coincide con la UNI (2000), quien sostiene que el uso de las tierras en la cuenca varía de acuerdo a las características de la zona, de tal forma que en la parte baja se identifican grandes superficies agrícolas (41.1%), mientras que en la parte alta sobresalen los pastos naturales (36.1%); por otro lado, las tierras forestales predominan en la parte baja (57.8%). Asimismo, según el Gobierno Regional de Cajamarca (2011) la clase de CUM sobresaliente son las Tierras aptas para producción forestal, calidad agrologica baja, con limitaciones de suelo, erosión y clima (Tabla 17).

Cuando hacemos referencia a la ecología, específicamente a las zonas de vida, el Gobierno Regional de Cajamarca (2011) y ANA (2015) los han clasificado en 16 tipos, los cuales se detallan a continuación: desierto superárido tropical, matorral desértico, montano bajo tropical, bosque húmedo montano tropical, bosque seco montano bajo tropical, bosque seco premontano tropical, desierto superárido premontano tropical, estepa montano tropical, estepa espino montano bajo tropical, matorral desértico premontano tropical, matorral desértico tropical, paramo muy húmedo subalpino tropical, tundra pluvial alpino tropical, bosque húmedo montano bajo tropical, paramo pluvial subalpino tropical, monte espinoso premontano tropical y bosque muy húmedo montano tropical. De los tipos de zonas de vida detallados anteriormente, el último es el predominante (20.12%), puesto que abarca 74824.69 has del total de la cuenca estudiada, además es importante recalcar que se

caracteriza por presentar condiciones óptimas para la actividad agropecuaria (Tabla 18 y figura 18).

Según el MINAM (2015) en la cuenca Jequetepeque se ha identificado 17 tipos de cobertura, incluyendo a las vegetales y áreas urbanas. De acuerdo a ello, podemos mencionar a las siguientes (Tabla 19): Agricultura costera y andina, Área urbana, Bofedal, Bosque montano occidental andino, Bosque seco de montaña, Bosque seco de piedemonte, Bosque seco tipo sabana, Cardonal, Centro minero, Desierto costero, Lagunas, lagos y cochas, Matorral arbustivo, Pajonal andino, Plantación Forestal, Represa, Matorral arbustivo y Pajonal andino. La cobertura predominante es la agricultura costera y andina, pues se encuentra ocupando un área de 129225.90 has (34.55%), dicha información es verificada por el MINAGRI (2021) quien sostiene que, en el departamento de Cajamarca, gran parte de la población se dedica al cultivo de papa, arroz, maíz amarillo duro, ají, ajo, arveja, cebada, camote, cebolla, entre otros.

La flora y la fauna también fueron estudiados en esta investigación, puesto que, están bastante relacionados con la erosión. En el caso de la flora, esta influye directamente en el impacto de las gotas de lluvia sobre la superficie terrestre, mientras que la fauna, al no existir flora va a tender a migrar a otras zonas, de igual modo es importante destacar la fauna doméstica, pues muchas veces son llevados al campo para pastoreo. Predominan en la cuenca diversidad de aves y en la parte baja algunos peces de agua dulce, en lo que respecta a la flora, destacan la totora, el pauco, el quinal, el cedro, el eucalipto, el pino, entre otros (ANA, 2015).

Las características locales de la cuenca, donde priman condiciones adversas de extrema aridez (cuenca media y baja), topografía de relieve irregular y escarpado, suelos inestables, escasa cobertura vegetal, con un área de cabecera receptora de precipitaciones (85%) limitada a un 40% del área total; determina una cuenca con potencial altamente

degradable a la erosión hídrica. Asimismo, la extrema variabilidad temporal y espacial de las precipitaciones pluviales, desde láminas casi nulas a niveles del mar (costa), hasta altas láminas de cabecera (a más de 3000 msnm), determina una baja lámina distribuida multianual alrededor de 615 mm/año.

Para determinar la pérdida de suelo anual en un área específica mediante la Ecuación Universal de pérdida de suelos rectificadas (RUSLE) es necesario que previamente sean calculados factores, tales como, el factor de erosividad hídrica (R), que representa a la intensidad con que la precipitación intercepta a un suelo; el factor de erodabilidad (K) también juega un papel muy importante, ya que de acuerdo a su composición o características va a depender el nivel de erosión; la longitud y gradiente de la pendiente (LS); el factor de cobertura vegetal (C) que permite amortiguar la erosividad y el factor de prácticas de conservación (P).

Según la RUSLE para el cálculo del factor R es necesario contar con datos de precipitaciones cada 30 minutos y de un cierto periodo de tiempo; sin embargo, en el Perú no es posible el acceso a ese tipo de información ya que no se procesa de esta manera, debido a que los datos son tomados de manera diaria cada 12 horas. En este estudio se trabajó con datos de 13 estaciones meteorológicas pertenecientes al SENAMHI, estas se caracterizan por ser de tipo convencional-climática, es decir los datos de precipitación son tomados de manera manual, por lo que es muy probable la existencia de errores. Es por eso, que antes de utilizar dicha información para el cálculo del factor R se procedió a realizar un análisis; así lo manifiestan Castro y Carvajal (2010), indicando que en un estudio hidrológico es indispensable que previamente la información sea explorada y para ello se puede utilizar diversos métodos, ya sea de tipo gráficos y estadísticos cuantitativos; de no ejecutarse este tipo de análisis conlleva a que se planteen suposiciones y por ende el modelo procesado tenderá a ser incorrecto.

Primero fue necesario realizar un análisis exploratorio, siendo este el de consistencia visual de todas las estaciones meteorológicas; ya que, es el primer paso antes de un análisis confirmatorio, así lo sostienen Smith y Campuzano (2000), puesto que, la aplicación de gráficas de serie de tiempo facilita la visualización de algunas características tales como las periodicidades, estructura de dependencia, grado de variabilidad y aleatoriedad en adición a cambios y tendencias.

De igual modo Villón (2005) indica que el primer análisis nos permite identificar periodos que presentan información dudosa, esto se demuestra a través de picos, valores bajos, saltos y/o tendencias; los cuales pueden derivar de fenómenos naturales o errores sistemáticos, originando a su vez no homogeneidad e inconsistencia de datos. La no homogeneidad es considerada como el cambio de datos vírgenes en el tiempo y es ocasionada principalmente por dos factores: humanos (tala indiscriminada y/o construcción de estructuras hidráulicas, etc.) y naturales (inundaciones, derrumbes, etc.). Por otro lado, la inconsistencia se manifiesta como saltos y/o tendencias, además es producida por el déficit en la toma de datos, cambio de estación de registro, etc.

En el análisis de consistencia visual de las estaciones meteorológicas (figura 20 – 32) se observa que no existen saltos de información, sin embargo, algunas estaciones no presentan tendencia, tal es el caso de la “Granja Porcón”, pues en el año 2012 se aprecia un pico elevado, de igual modo “Asunción”, “Contumazá”, “Chilete”, “San Pablo”, “Llapa”, “Lives”, “Montegrando”, “Quilcate” y “Augusto Weberbauer”. Una característica importante que se evidencia en este análisis, es que todas las estaciones cuentan con picos elevados durante los años 1997, 1998 y 2017; contrastando esta información se puede inferir que dichas anomalías se debieron a que en este periodo se suscitó el fenómeno natural el niño, el cual se caracterizó por presentar extremadas precipitaciones (SENAMHI, 2017).

La afirmación descrita en el párrafo anterior es confirmada por el INDECI (2017), pues manifiesta que en febrero se produjeron intensas lluvias en 13 provincias de Cajamarca, principalmente en zonas cercanas a la costa (Yonan, Chilete, San Benito, Cupisnique, Guzmango, Catan y Santa Cruz de Toledo), ocasionando extensos deslizamientos y huaycos en las carreteras, y por ende el aislamiento de la población debido a la erosión.

El segundo análisis de los datos de precipitación consistió en gráficas de doble masa, según el Grupo de Investigación en Transporte de Sedimentos (2007) este tipo de proceso se aplica para saber si la estación estudiada es homogénea o no, y por ende para determinar la confianza en los datos, para ello, primero fue necesario calcular la precipitación acumulada de todas las estaciones, finalmente se procedió a graficarlas y se determinó la estación base, en la figura 33 se identifica que la estación que mayor linealidad presenta es “Magdalena”, por lo que fue definida como la estación de referencia, luego se procedió a graficar cada una de las estaciones, mediante estas gráficas se confirma la inexistencia de homogeneidad en algunas estaciones (Monte Grande, Chilete, Lives, Llapa, Contumazá, Quilcate y Augusto). Se concluyó con el análisis estadístico, puesto que según Castro y Carvajal (2010) esto permite determinar la estacionalidad de la serie y la estabilidad en la varianza y la media, se trabajó mediante el método de T de student y f de Fisher; con los cuales se confirman que 8 estaciones (Asunción, Chilete, San Pablo, Lives, Llapa, Augusto Weberbauer, Monte Grande y Contumazá / Tabla 20-42) presentaron no homogeneidad en sus datos por lo que se les aplicó la corrección. Con los datos ya preparados se procedió al cálculo del factor R.

Según Nakaya (2018) El factor R permite cuantificar la sumatoria de energía cinética de los eventos lluviosos anuales, es decir la intensidad que estas presentan en un tiempo de 30 minutos. Sin embargo, en muchos lugares no se cuenta con esta información al detalle, tal es el caso de Perú, es por ello que investigadores modificaron o adaptaron esta fórmula con datos más factibles; siendo una de estas el índice de agresividad climática desarrollada

por Fournier y modificada posteriormente por Arnoldus en 1978, debido a que solo se consideraba al mes que presentaba la mayor precipitación; desde ese entonces se denominó “Índice Modificado de Fournier” (IMF); la ecuación en mención ha sido utilizado por muchos investigadores hasta la actualidad, Ramírez (2010) afirma que la FAO utilizó dicha fórmula para la elaboración del mapa universal de degradación de suelos.

De acuerdo a lo mencionado en el párrafo anterior se optó por trabajar con la fórmula del IMF, por lo que el factor R calculado para cada estación oscila entre 318.08 y 3454.49 $Mj*mm/ha*hr*año$ (Tabla 59), se trabaja con estas unidades, ya que se pretende indicar la cantidad de energía producida por mm de precipitación en una hectárea de superficie durante un año, se observa que el mínimo valor corresponde a la estación Monte Grande, esto se debe a que esta se encuentra ubicada a una altitud de 489 m.s.n.m, por lo que la precipitación no es muy recurrente, a diferencia de la estación Granja Porcón ubicada a 3000 m.s.n.m, y así disminuye de manera gradual dicho factor. Si bien es cierto no podemos hacer una comparación de este estudio con otra cuenca, ya que las características no son las mismas, además no se realizó este tipo de investigaciones en esta zona; sin embargo, Perales (2019) también sostiene que este factor depende o guarda relación con la altitud de la zona. En la figura 46 se distingue la interpolación de los datos del factor R, la información de precipitación, por lo que se infiere un aumento gradual, siendo la parte alta, la que presenta mayor valor.

La erosividad hídrica, es un factor importante en la erosión de suelos, puesto que el fenómeno ocurre una vez que la lluvia llega a la superficie terrestre, ya que, de acuerdo a como se encuentre esta, el agua se puede infiltrar, correr como flujo sobre la superficie, acumularse en las hojas o encharcarse, la que logra infiltrarse es consumida por las plantas o pasa a formar parte de los acuíferos subterráneos, no obstante, la que escurre hacia los cursos de agua llevan consigo partículas de suelo que terminan depositadas en los sistemas

lóticos o lénticos, si esta es excesiva contribuye al aumento de sedimentos, además, muchas veces causa inundaciones o daña los caminos y las tierras agrícolas (FAO, s.f).

Pourrut y Orstom (1982) sostienen que cuando el agua logra entrar en contacto con la superficie terrestre, la magnitud de la acción de las gotas de lluvia presenta una relación directamente proporcional a la cantidad de las mismas y a su fuerza de impacto, asimismo, esta depende de su diámetro y velocidad de caída. Muchas veces el impacto de las gotas es lo suficientemente fuerte, lo que ocasiona que la textura del suelo sea destruida; especialmente las partículas finas, puesto que, son desplazadas mientras los elementos más gruesos se aglomeran entre sí por el fenómeno de cohesión, lo que conduce a una nueva organización de las capas superficiales. El escurrimiento se origina cuando las intensidades son superiores a la capacidad de absorción del terreno, en otras palabras, durante los picos de intensidad cuyo valor total corresponde a la "lluvia eficaz".

Por otro lado, López (2012) manifiesta que el proceso erosivo de la lluvia tiene su origen en el efecto de la salpicadura de las gotas, es decir; cuando estas logran impactar contra la superficie de un suelo desnudo desencadenan dos tipos de fenómenos: el primero; la compactación y la formación de una costra incipiente, y el segundo; la desagregación de las partículas del suelo y por ende su transporte de acuerdo al grado de pendiente que presente, mediante los procesos de difusión o escorrentía; dicha afirmación contrasta con la de Rodríguez (2012), pues dicho autor sostiene que la erosión hídrica sigue cinco pasos: el impacto de las gotas de lluvia en la superficie, la ruptura de los agregados del suelo, desagregación de las partículas, traslado o arrastre de las partículas hacia las posiciones topográficas más bajas del terreno y finalmente la sedimentación o deposición, cuando disminuye la velocidad del escurrimiento superficial.

Por otra parte, Colotti (1999) sostiene en su investigación que el efecto de la agresividad de la lluvia sobre la susceptibilidad del suelo a la erosión, origina el rompimiento

del equilibrio natural del suelo, por lo que se genera la pérdida de la capa superficial o capa arable. Además, manifiesta que la erosividad presenta atributos complejos, y se encuentra relacionado a través de propiedades como la cantidad, duración, diámetro y velocidad de las gotas de lluvia; es por eso que, este fenómeno explica la magnitud de la erosión en climas templados y tropicales. En el caso del primero, del total de lluvias producidas solo el 5% (aproximadamente) influirá en la erosión, debido a la poca cantidad, baja intensidad y energía cinética, en lo que concierne al segundo clima el 40% (aproximadamente) de la precipitación aumentará los niveles de erosión.

Así también lo denota la Organización Meteorológica Mundial (2006), afirmando que el impacto producido por la precipitación puede ser muy perjudicial para la superficie terrestre, por ejemplo, cuando se produce granizo este ocasiona considerables efectos en el suelo, esto se debe a que la energía cinética es muy superior a la de la lluvia, y por consiguiente se destruirá mayor superficie y mayor cantidad de partículas serán arrastradas. Sumado a ello, muchas veces este fenómeno natural es complementado con tormentas, por lo que se pierden grandes cantidades de suelos agrícolas, antes de que los cultivos hayan estabilizado la superficie.

El factor de erodabilidad del suelo (K) se determinó a partir de la información obtenida de la zonificación ecológica económica del departamento de Cajamarca y del mapa mundial de suelos publicados por la FAO, para el cálculo de dicho factor existen muchos métodos, uno de ellos, es tomando muestras de calicatas en campo y analizando la composición física del suelo; sin embargo, en este estudio se trabajó de manera descriptiva, tomando como base el tipo de suelo identificado y la tabla de valores de porcentajes de arena, limo, arcilla y materia orgánica proporcionados por la FAO.

El cálculo del factor K, nos permite indicar el grado de susceptibilidad a erosionarse que presenta un determinado tipo de suelo, esto significa que, cuanto mayor sea la capacidad

de suelo para transmitir agua, menor será el volumen de escurrimiento generado, lo que implica que su capacidad erosiva disminuya. Esta característica (capacidad de almacenar y transmitir agua) está estrechamente relacionada con a la textura y la estructura del suelo (Flores, 2016).

En el párrafo 10 se hace mención que en la cuenca Jequetepeque se logró identificar 17 tipos de suelo, siendo los principales de tipo; Andosol (T), Paramosol (PS), Phaeozem (H), Leptosol (L), Regosol (R), Paramoandosol (PA), Rendzina (E) y Fluvisol (J); nomenclatura proporcionada por la FAO. Para el cálculo del factor K se trabajó con la información proporcionada por la FAO y se aplicó la fórmula de Wischmeier y Smith (1978), de acuerdo a ese proceso se puede apreciar en la tabla 60 valores que oscilan entre 0 a 0.03338, la atribución del número 0 correspondió a cuerpos de agua presentes en el área de estudio y al casco urbano que compone o forma parte de la cuenca hidrográfica. De igual modo en la figura 47 y tabla 60 se observa que el tipo de suelo (Paramosol) con mayor K, se encuentra ocupando un área de 12302.98 has (3% del total de la cuenca) y el de menor valor con 0.00188 es Paramosol leptosol. A su vez este tipo de suelo se encuentra abarcando 9953.59 has (2% aprox).

Este tipo de suelo con elevado valor de K, según Poma y Alcántara (2011), se caracterizan por ser de tipo profundos a muy profundos; sin embargo, también se suelen identificar suelos superficiales; su textura es media y la permeabilidad moderada, presentan pendientes empinadas, su aptitud se enfoca a tierras de protección, puesto que la erosión puede ser moderada a severa, en la tabla 60 se aprecia que la clase textural corresponde a un suelo franco limoso; comparando con los otros suelos identificados presentan menor K y mayormente son arenosos o franco arenosos. Este análisis contrasta con lo expresado por Álvarez (2019) quien afirma que los valores de los suelos francos son menores, ya que, se caracterizan por ser moderadamente erosionables y manifiestan cierta resistencia al

desprendimiento por lo que generan una escorrentía moderada, caso contrario sucede con los suelos franco limosos, el valor K que le corresponde es más alto debido a que son fácilmente desprendibles y susceptibles a procesos erosivos, característicos por producir encostramiento y alto escurrimiento. De igual manera, Del Águila (2010), manifiesta que se ha demostrado experimentalmente que los suelos que presentan texturas intermedias son considerados más erosionables, además aquellos que contienen arcillas superiores al 30 % son poco erosionables.

También se puede apreciar que el suelo de tipo Regosol presenta un valor del factor K bajo, esto se debe a que estos suelos tienen origen en material aluvio coluvial o de rocas calizas, areniscas, cuarcitas y lutitas.; son suelos jóvenes, superficiales, pedregosos de texturas ligeras, drenaje excesivo localizados en terrazas medias o como deposiciones en laderas (Gobierno Regional de Cajamarca, 2010), de igual modo, lo afirma el MINAGRI (s.f) ya que afirma que este tipo de suelos es característico de los desiertos, por ende, presenta alta capacidad de infiltración lo que permite que el nivel de erosión hídrica sea menor. Además se recalca, que aquellos suelos que presentan valor de K oscilando entre 0.018 y 0.026, se podría implementar producción agrícola de cultivos anuales, sin embargo, se debe tener en cuenta rotaciones de cultivos semestrales, cuando K está entre 0.026 y 0.036 se debe priorizar con las especies perennes y dedicar menos tiempo a cultivos anuales, en el caso de valores entre factor 0.036 y 0.050 se pueden aplicar cultivos de especies perennes, pero sumado a ello se debe considerar prácticas de conservación que reducen la escorrentía superficial (Beretta y Carrasco, 2017).

La longitud y gradiente de la pendiente (factor LS) fue calculado a partir de un modelo de elevación digital (DEM) con una resolución de 12.5 m, el proceso fue realizado en los softwares Arcgis y QGis y se trabajó con la ecuación propuesta por Renard (1977) las herramientas utilizadas para el geoprocésamiento fueron hidrology, slope, Flow direction,

Flow accumulation y map algebra; las cuales facilitaron el proceso, existen diversos métodos para realizarlo; sin embargo, se seleccionó este. Luego de procesar el ráster definitivo se procedió a reclasificarlo según los rangos de longitud y grado de la pendiente propuesta por la FAO.

En la tabla 62 se puede apreciar los rangos en los que se encuentran las áreas que ocupan la cuenca hidrográfica, de acuerdo a ello se puede inferir que dicha unidad hidrológica no presenta pendientes muy empinadas, ya que solo 25685 has (6.9%) presentan longitud y gradiente de pendiente con rango muy alto; además se aprecia que la mayor parte del área que corresponde a 131966 has (35%) cuenta con una valoración de tipo baja. Por otro lado, en la figura 48, se aprecia el porcentaje correspondiente de cada área según su calificación o rango de pendiente, de esta se puede inferir que el 21% presenta longitud y gradiente de pendiente de tipo moderada, y el 14% alta, las cuales podrían influir en el proceso de erosión hídrica; para facilitar el entendimiento se presenta la figura 49, en la que se corrobora según la leyenda, que la cuenca presenta de baja a alta longitud y gradiente de pendiente, de manera distribuida en el área de estudio, a su vez, se evidencia que en la parte central es más predecible que haya erosión.

Este factor es de gran importancia al igual que los demás, ya que, las zonas que presentan mayores pendientes son más susceptibles de sufrir el fenómeno natural-antrópico de la erosión hídrica, así lo sostiene Quispe (2018) pues considera que la inclinación de la pendiente es el factor topográfico más influyente en el proceso de erosión, aseverando en base a Kirby y Morgan (1984) lo siguiente: cuando la inclinación de la pendiente estudiada aumenta al doble, la erosión aumentaría en una proporción mucho más mayor, es decir que cuando la pendiente es de tipo empinada conlleva al aumento del coeficiente de escurrimiento, la energía cinética, la capacidad de acarreamiento del flujo superficial y la erosión por salpicadura. De lo expuesto se puede inferir que cuando el grado de longitud y

gradiente de la pendiente aumente, la velocidad y la fuerza con la que impactaría la lluvia sería mayor y por ende el nivel de erosión o pérdida de suelo también.

Por otro lado, Pastor (1992) afirma que la longitud de la pendiente genera diversos efectos, pero además está relacionada con el tipo de suelo que posea el área estudiada, de acuerdo a ello asevera que aquellas pendientes que presenten mayor longitud tendrán menos escorrentía que las cortas; sin embargo, la erosión aumenta con la longitud de la pendiente. De igual modo, el suelo llega a un punto de saturación, motivo por el cual el agua de escurrimiento tiende a acumularse a lo largo de la superficie, aumentando su volumen y su velocidad, y por ende el nivel de erosión. Por otro lado, Geler, Penteadó y Pérez (2015) sostienen que la longitud de la pendiente (L) es un factor de gran importancia, puesto que influye de manera directa en la manera del comportamiento de la inundación, determinando la velocidad del flujo y en el grado de confluencia de la escorrentía. Además, los autores indican que la capacidad de desprendimiento y transporte de las partículas del suelo por el flujo superficial se encuentran estrechamente relacionados con la longitud de la ladera. Montes, Uribe y García (2011) consideran que la longitud de una pendiente, viene a ser la distancia desde el punto donde da inicio es el escurrimiento hasta donde decrece la pendiente, o se origina la sedimentación.

En lo que respecta al factor S o gradiente de la pendiente, su estudio también es de gran importancia, ya que al aumentar el ángulo, la eficacia de erosión por fragmentación lo hará de igual forma, lo que explica que mayor será la cantidad de suelo erosionado que se perderá en el precipicio, además, a medida que se aumente el ángulo de la pendiente el agua producto de la precipitación o cualquier otro fenómeno, fluirá con mayor velocidad, ocasionando que el tiempo de infiltración sea mucho menor, lo que conlleva a que la escorrentía siga su cauce arrastrando partículas de suelo en todo su recorrido y a su vez

originándose nuevos depósitos de sedimentos en los cuerpos acuáticos (FAO, 1983 en Pastor, 1992).

En lo que concierne a la cobertura vegetal o factor C, esta se determinó mediante la información proporcionada por el MINAM y la zonificación ecológica económica del departamento de Cajamarca, para la atribución del factor C correspondiente a cada tipo de vegetación encontrada en la zona de estudio se tuvo en cuenta a los valores propuestos por diversos autores (Ver anexo N° 26), a los cuales se les aplicó el promedio, luego estos datos fueron convertidos en formato *.shp y posteriormente transformados a formato raster para hacer posible el cálculo de la erosión según la RUSLE, finalmente esta fue representada en una mapa temático que facilita la visualización.

Este factor permite mitigar los efectos de la erosión hídrica, ya que intercepta el agua precipitada contribuyendo a la disminución de la energía cinética, en la cuenca Jequetepeque se logró identificar 15 tipos de cobertura vegetal, los cuales fueron posteriormente valorados, de tal forma, en la tabla 63 se aprecia que el rango de valoración de dicho factor oscila entre 0 y 0.9983, 0 es considerada a aquellas masas o áreas que no intervienen en la cobertura vegetal, es por ello que cuerpos de aguas superficiales y el tejido urbano continuo se les asignó este valor; por otro lado, el valor 0.9983 significa que el suelo estudiado no presenta ningún o muy poco tipo de cobertura vegetal, tal como sucede con los afloramientos rocosos y desiertos costeros. De igual forma, se aprecia en la tabla que los cultivos transitorios y áreas agrícolas heterogéneas presentan altos valores en comparación con los demás esto se debe a que dichos cultivos no contribuyen a la mitigación de la erosión, puesto que, no presentan las características correspondientes, al contrario, influyen en el proceso de erosión debido a las inadecuadas prácticas agrícolas. Lo contrario ocurre con los bosques densos, estos presentan un factor C relativamente bajo, pues debido a la densidad de copa apaciguan

el efecto de la energía cinética. Además, es necesario aclarar que al factor P se le consideró con el valor de 1, por el motivo de que la población no practica una cultura de conservación.

El párrafo anterior se respalda con lo dicho por Angulo (2012) pues afirma que el potencial o nivel de erosión de una lluvia se mitiga por la cubierta vegetal sobre el suelo, ya sea disminuyendo el golpe directo de las gotas de lluvia que llegan al suelo o interrumpiendo el flujo de escurrimiento sobre él, por lo que disminuirá la energía cinética que está presente, además sostiene que la cubierta vegetal cumple la función de amortiguamiento cuando la copa, la capa de hojarasca y su sistema radicular minimizan totalmente el grado de erosión, en ocasiones el agua logra infiltrar en la napa freática.

En la figura 50 se aprecia de manera dinámica el ráster que representa el factor C, en el que se puede observar que gran parte de la cuenca presenta valores de 0.025 a 0.9983, en las partes de amarillo a rojo se indica que en dichas zonas la población se dedica a la agricultura o la cobertura vegetal no es la más apropiada, es importante añadir también que la erosión está estrechamente ligada con las actividades antrópicas, cuando en los suelos se desarrollan inadecuadas prácticas de cultivo, deforestación o sobrepastoreo se agudiza el proceso de degradación de los suelos. De igual modo, se infiere que las áreas agrícolas heterogéneas se encuentran abarcando una extensión de 93368.120 has (24.94%), gran parte de la cuenca estudiada en comparación con la proporción que los otros tipos de cobertura vegetal ocupan; se deduce por lo tanto la importancia de la existencia de cobertura vegetal y sobre todo el tipo y manejo que se le da a esta. Hernández (2011) sostiene que la presencia de vegetación ayuda a resguardar la superficie terrestre del impacto que provocan las gotas de lluvia, contribuye en la disminución de la velocidad del escurrimiento del agua por aumento de la rugosidad, facilita la infiltración por huecos (raíces, animales, etc.), permite el control del contenido de agua en la parte superior del suelo debido a la evapotranspiración de las plantas.

Se determinó la erosión potencial de la cuenca hidrográfica, cuando hacemos referencia a este término se hace mención a cómo sería el nivel de erosión hídrica si no existiera ningún tipo de cobertura vegetal, de acuerdo a ello se puede apreciar que la erosión más resaltante sería de tipo muy severa lo que corresponde a 216757 has de toda la cuenca y al 58% del total, en menor proporción encontramos a la erosión severa ocupando 86494 has (23%), además la erosión normal y ligera sería relativamente baja en comparación con los demás (Figura 51). En la figura 53 se logra diferenciar que la parte intermedia de la cuenca Jequetepeque se vería altamente afectada, si la cobertura vegetal disminuye en el tiempo y las precipitaciones aumentan.

También se calculó la erosión actual que presenta la cuenca Jequetepeque (Tabla 65), en la que se presentan mejores escenarios respecto a la anterior, puesto que, la mayor parte del área, es decir 156692 has (42%) presenta una erosión de tipo normal; sin embargo la erosión de tipo ligera representa 44209 has (12%), la moderada 42025 (11%), la severa 88431 has (24%), muy severa 42257 (11%) y catastrófica 318 has (0.09%) (Figura 52). Además, es importante recalcar que para el cálculo de la pérdida total de suelo se tuvo en cuenta a la valoración propuesta por la FAO, de acuerdo a ello se distingue que anualmente se pierden entre 15 a 50 toneladas por hectárea al año de suelo, en las áreas donde la erosión es severa. Del Águila (2010) sostiene que hay un límite internacional aceptado como admisible para el caso de la erosión, sería cuando esta oscile entre 10-12 toneladas por hectárea al año, aunque en zonas altamente húmedas se pueden producir hasta 25 ton/ha/año, cuando se supere este rango no se garantiza la conservación de los suelos, puesto que la destrucción sería más rápida que la auto regeneración del suelo. En la figura 54 se distingue los distritos más afectados por la erosión hídrica serían: San Gregorio, El Prado, San Miguel, Calquis, San Luis, San Pablo, San Bernardino, Magdalena, San Juan, Jesús, Contumazá,

Asunción y Cospan; es por eso, que se ha planteado la propuesta “Plan de recuperación y manejo de zonas afectadas por la erosión en la cuenca Jequetepeque”.

Limitaciones

En cuanto a las limitaciones encontradas en el desarrollo de esta investigación, se tiene a bien mencionar a la escasa o deficiente información de precipitación, ya que algunas estaciones meteorológicas presentan información hasta años muy antiguos (1980, 1991, 1992, por mencionar algunos).

La determinación del factor K se trabajó de manera descriptiva, debido a que no fue posible la salida a campo para la obtención de datos más exactos y reales.

Conclusiones

- Se determinó el nivel de erosión hídrica que presenta la cuenca Jequetepeque, siendo esta de tipo normal, ligera, moderada, severa, muy severa y catastrófica, lo que corresponde a un total de 42 % (<0.5 ton/ha/año), 12% (0.5-5 ton/ha/año), 11% (5-15 ton/ha/año), 24% (15-50 ton/ha/año), 11% (50-200 ton/ha/año) y 0.09% (>200 ton/ha/año), respectivamente, del área total.
- Se logró caracterizar a la unidad hidrográfica; en lo que corresponde al análisis físico, se estudió la climatología, geología, hidrología, hidrografía, topografía, geomorfología y tipo de suelos; mientras que, el análisis biótico incluyó la ecología, cobertura vegetal, flora y fauna de la zona.
- Se determinaron los factores que influyen en el proceso de erosión, el factor R osciló en 318.08 – 3454.49 (Mj*mm/ ha*hora*año), el factor K en 0 – 0.0338 (ton*ha*h/ha*Mj*mm), el factor LS fue reclasificado en Muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto siendo predominante el de tipo bajo, finalmente el factor C abarcó un rango de 0.025 – 0.9983.
- La erosión potencial estimada fue de tipo normal, ligera, moderada, severa, muy

severa y catastrófica resaltando la de tipo muy severa con un 58%; por otro lado, se determinó un 24% de erosión severa actual.

- Se propuso una alternativa de protección y/o conservación para las zonas afectadas por la erosión hídrica, siendo esta un plan de recuperación y manejo de zonas afectadas por la erosión el cual consta de 7 proyectos.

REFERENCIAS

- Angulo, M. (2012). El factor climático en la erosión del suelo: erosividad de la lluvia en la cuenca del Ebro [Tesis de maestría, Universidad de Zaragoza]. Repositorio institucional de la Universidad de Zaragoza. <https://zaguan.unizar.es/record/9576/files/TESIS-2012-094.pdf>
- Alcántara, F. (2015). Modelo de geo formaciones cóncavas para recargas de agua subterránea en cabeceras de cuenca del río Jequetepeque, Cajamarca [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Cajamarca]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Cajamarca. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2156/P10-A42-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Alcántara, A. (2019). Influencia de la Geomorfología y la Meteorización en la Humedad del suelo y recargas de agua en la cabecera de cuenca del río Jequetepeque. *Revista del Instituto de investigación de la Facultad de minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 22(43), <https://doi.org/10.15381/iigeo.v22i43.16694>
- Almorox, J., López, F. & Rafaelli, S. (2010). La degradación de los suelos por erosión hídrica. Métodos de estimación. (1a. ed.). Universidad de Murcia. https://books.google.es/books?id=bSpiNY_nwOIC&pg=PA9&vq=que+es+la+erosion+de+suelos+libro&dq=que+es+la+erosion+de+suelos+libro&lr=&hl=es&source=gbs_toc_r&cad=3
- Almoza, Y.; Ruiz, M.; Medina, H. & Alonso, G. (2007). Determinación de la Erosividad de las precipitaciones en el oeste de Cuba. *Zonas Áridas* 11(1): 139-149, <http://www.lamolina.edu.pe/zonasaridas/za11/pdfs/ZA11%2000%20art10.pdf>
- Álvarez, A. (2019). Análisis temporal del nivel de la erosión hídrica de la subcuenca del río Ichu 2013- 2017. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Huancavelica.

<http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2603>

ANA (2015). Estudio: Evaluación de los Recursos Hídricos en la cuenca del río Jequetepeque. [Archivo PDF]. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/1932>

Aponte, C. (2018). Factibilidad de aplicar la metodología de descolmatación UDEP en el embalse Gallito Ciego [Tesis de licenciatura, Universidad de Piura]. Repositorio institucional de la Universidad de Piura. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/3689/ICI_262.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Ares, M., & Varni, M. (2016). ¿Qué es la erosión hídrica y cómo la estudiamos en el IHLA? <https://www.unicen.edu.ar/content/%C2%BFqu%C3%A9-es-la-erosi%C3%B3n-h%C3%ADdrica-y-c%C3%B3mo-la-estudiamos-en-el-ihlla>

Barturén, M. (2016). Cuantificación de la erosión hídrica en el Perú y los costos ambientales asociados [Tesis de maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio institucional de la Pontificia Universidad Católica del Perú. https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/6822/ROSA_S_MILUSKA_CUANTIFICACION_EROSION_HIDRICA_PERU.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Blanco, M. (2019). Erosión Hídrica en la microcuenca del cauce 31 de Diciembre, Nicaragua. *Revista Científica NEXO*, 32 (2), 94-105, <https://www.camjol.info/index.php/NEXO/article/view/9261>

Beretta, A., & Carrasco, L. (2017). Factores K de USLE/RUSLE asignados a través de un modelo lineal mixto a suelos de Uruguay. *Ciencia e investigación agraria*, 44(1), 100-112. <https://dx.doi.org/10.7764/rcia.v44i1.1622>

Castro, L., & Carvajal, Y. (2010). Análisis de tendencia y homogeneidad de serie climatológicas. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, (9), 15-25.

<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=2311/231116434002>

- Castillo, J. & Estrada, J. (2016). Determinación de zonas de erosión hídrica a partir de la ecuación universal de la pérdida del suelo (R.U.S.L.E), sistemas de información geográfica y técnicas de teledetección en la ciudad de Bogotá D.C para el año 2013. [Tesis de licenciatura, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. Repositorio institucional de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/3042/LizarazoSalcedoIvanAlberto2016.pdf;jsessionid=5D5B3BF3B31CACD24D1DC441D8590280?sequence=1>
- Castro, A., Lince, L., & Riaño, O. (2017). Determinación del riesgo a la erosión potencial hídrica en la zona cafetera del Quindío, Colombia. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 8(1), 17 – 26, <https://doi.org/10.22490/21456453.1828>
- CENEPRED (2013). Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales. (2da Versión). https://www.cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia_Manuales/Manual-Evaluacion-de-Riesgos_v2.pdf
- Cisneros, J.; Cholaky, C.; Gutiérrez, A.; González, J.; Reynero, M.; Diez, A. & Bergesio, L. (2012). Erosión hídrica: principios y técnicas de manejo. (1a. ed.). http://www.todoagro.com.ar/documentos/2013/Erosion_Hidrica.pdf
- Chen, H. Oguchi, T. & Wu, P. (2017). Assessment for soil loss by using a scheme of alterative sub-models based on the RUSLE in a Karst Basin of Southwest China [Evaluación de la pérdida de suelo mediante el uso de un esquema de modelos sub- alternativos basados en RUSLE en la cuenca Karst del suroeste de China]. *Journal of Integrative Agriculture*, 16(2), 377–388, [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61507-1](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61507-1)
- Colotti, E. (1999). La erosividad: cualidad de la lluvia poco conocida. *Terra. Nueva Etapa*,

XV (24),99-116, <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72102406>

Del Águila, M. (2010). Aplicación del modelo Usle/Rusle para estimar la pérdida de suelos por erosión hídrica en la microcuenca Puente Pérez - Tingo María [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. <https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/420/T.CSA-36.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Dioses, J. & Pérez, C. (2018). Estimación de la erosión hídrica mediante la aplicación de la metodología RUSLE en la cuenca del río Piura. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/10055>

Egusquiza, K. (2019). Determinación del riesgo de erosión hídrica en la cuenca alta del río Rímac durante el Fenómeno El Niño 2016-2017. [Tesis de licenciatura, Universidad Continental]. Repositorio institucional de la Universidad Continental. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/5376>

Ezequiel, I., Adesuji, A., Toyin, J., Akinlabi, A. y Olumide, S. (2020). A GIS-based assessment of the potential soil erosion and flood hazard zones in Ekiti State, Southwestern Nigeria using integrated RUSLE and HAND models [Una evaluación basada en SIG de las zonas de peligro potencial de erosión del suelo e inundaciones en el estado de Ekiti, suroeste de Nigeria, utilizando modelos integrados RUSLE y HAND]. *Revista CADENA*, 194(1), pp. 15, <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104725>

FAO. (2000). Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Boletín de tierras y aguas de la FAO N°8.

- <https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/ais-2015/manual-pract-integradas.pdf>
- FAO (2015). Estado mundial del recurso suelo. <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>
- FAO. (2016). Perú: Recursos Hídricos. http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/Profile_segments/PER-WR_eng.stm
- FAO (s.f). Degradación de suelos. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/es/>
- FAO. (s.f). Predicción de la erosión de suelos. <http://www.fao.org/3/t2351s/t2351s03.htm>
- FAO. (s.f). Propiedades físicas del suelo. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- FAO. (s.f). Hidrología, arquitectura del suelo y movimiento del agua. Recuperado de <http://www.fao.org/3/y4690s/y4690s06.htm>
- Fayas, C., Abeysingha, N., Shyamala, K., Samaratunga, D. & Mallawatantri, A. (2019). Soil Loss Estimation Using Rusle Model to Prioritize Erosion Control in KELANI River Basin in Sri Lanka Basin [Estimación de pérdida de suelo utilizando el modelo de Rusle para priorizar el control de la erosión en la cuenca del río KELANI en la cuenca de Sri Lanka]. *International Soil and Water Conservation Research*. 7 (1), 130-137, <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2019.01.003>
- Flores, A. (2016). Aproximación de riesgo por erosión hídrica aplicando un sistema de información geográfica en la subcuenca Shambillo, distrito de Padre Abad [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1477>
- Ganasri, B., & Ramesh, H. (2016). Assessment of soil erosion by RUSLE model using

- remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin [Evaluación de la erosión del suelo mediante el modelo RUSLE mediante teledetección y SIG: un estudio de caso de la cuenca Nethravathi]. *Geoscience Frontiers*, 7(1), 953–961, <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2015.10.007>
- Geler, T., Penteado, A., & Pérez, A. (2015). Análisis del factor-ls en diferentes modelos de predicción de la erosión hídrica del suelo. <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal15/Nuevastecnologias/Sig/18.pdf>
- Gisbert, J., Ibáñez, A. & Moreno, H. (2010). La textura del suelo. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7775/Textura.pdf>
- Gobierno Regional de Cajamarca (2011). Zonificación Ecológica Y Económica base para el Ordenamiento Territorial del departamento de Cajamarca. https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/archivos/public/docs/estudio_de_la_propuesta_de_zee_1.pdf
- Grupo de Investigación en Transporte de Sedimentos. (2007). Hidrología básica aplicada. <https://www.upct.es/~minaees/hidrologia.pdf>
- Hernández, D. (2011). Influencia de la pendiente y la precipitación en la erosión de taludes desprotegidos [Tesis de licenciatura, Universidad del Bio Bio]. Repositorio Institucional de la Universidad del Bio Bio. http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/2284/1/Hernandez_Herrera_Daniel_Alejandro.pdf
- Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (2014). Metodología de la Investigación: Concepción o elección del diseño de investigación. McGRAW-HILL. <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wpcontent/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>

- Hudson, N. (2006). Conservación del suelo. (1a. ed.). Editorial REVERSÉ S.A.
https://books.google.es/books?id=u137pQPxYGAC&pg=PA13&vq=que+es+la+erosion+de+suelos+libro&dq=que+es+la+erosion+de+suelos+libro&lr=&hl=es&source=gbs_selected_pages&cad=2
- INDECI (2017). Compendio estadístico del Indeci 2017 gestión reactiva.
<https://www.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2019/01/201802271714541.pdf>
- INGEMMET. (1994). Estudio Geodinámica de la cuenca del río Jequetepeque. [Archivo PDF].
<http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/INGEMMET/Estudio%20geodinamico%20Cuenca%20Rio%20Jequetepeque.pdf>
- IUSS Grupo de Trabajo WRB. (2007). Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma.
<http://www.fao.org/3/a0510s/a0510s00.pdf>
- Kim, H. (2006). Soil erosion modeling using RUSLE and gis on the imha watershed, South Korea [Tesis de maestría, Universidad Estatal de Colorado]. Repositorio Institucional de la Universidad Estatal de Colorado.
https://www.engr.colostate.edu/~pierre/ce_old/resume/Theses%20and%20Dissertations/KIMHYOENSIK-Thesis.pdf
- Kramis, J. (1994). Sistemas y Procedimientos Administrativos: Metodología para su aplicación en instituciones privadas y públicas. México, D.F.: Universidad Iberoamericana, A.C. <https://harteaga.files.wordpress.com/2009/09/sistemas-y-procedimientos.pdf>
- López, R. (2012). Degradación del suelo: causas, procesos, evaluación e investigación. (2a. ed.). <http://www.serbi.ula.ve/serbiula/libros-electronicos/Libros/degradacion/pfd/librocompleto.pdf>

Martínez, V. (2004). Fundamentos teóricos para el proceso del diseño de un protocolo en investigación. México, D. F.: Plaza y Valdés, S.A. de C.V.

MINAGRI. (2009). DS N°017-2009-AG (Aprueban el reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor).
[https://www.serfor.gob.pe/pdf/normatividad/2009/decreto/DS%20N%C3%82%20BA%20017-2009-AG\(Reglamento%20de%20Clasif%20de%20Tierras\).pdf](https://www.serfor.gob.pe/pdf/normatividad/2009/decreto/DS%20N%C3%82%20BA%20017-2009-AG(Reglamento%20de%20Clasif%20de%20Tierras).pdf)

MINAGRI & PEJEZA. (2014). Instalación de los servicios de protección en sectores críticos del río Jequetepeque, provincias de Pacasmayo y Contumazá, departamentos de La Libertad y Cajamarca. [Archivo PDF].
http://ofi5.mef.gob.pe/appFs/Download.aspx?f=2632_OPIAGRIC_2014530_171348.pdf

MINAGRI. (s.f). La Zonificación Ecológica Económica potencial de los suelos.
<https://Www.Minagri.Gob.Pe/Portal/43-Sector-Agrario/Suelo>

MINAGRI. (s.f). Clasificación de tipos de suelo. <http://minagri.gob.pe/portal/objetivos/43-sector-agrario/suelo/330-clasificacion>

MINAGRI. (2021). Perfil productivo y competitivo de los principales cultivos del sector.
<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiYzE2YzA3YWUtZGZiZi00NDZmLTliYWYtOTI1MTU5MWQ2YjQzIiwidCI6IjdmMDg0NjI3LTdmNDAtNDg3OS04OTE3LTk0Yjg2ZmQzNWYzZiJ9>

MINAM. (2015). Mapa nacional de cobertura vegetal.
<https://www.minam.gob.pe/patrimonio-natural/wp-content/uploads/sites/6/2013/10/MAPA-NACIONAL-DE-COBERTURA-VEGETAL-FINAL.compressed.pdf>

Montes, L., Uribe, E., & García., E. (2011). Mapa Nacional de Erosión Potencial.

- Tecnología y Ciencias del Agua, antes Ingeniería hidráulica en México*, 2(1), 5-17, <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v2n1/v2n1a1.pdf>
- Montoya, J. (2009). Marco histórico y estado del arte de los modelos de evolución del paisaje y de erosión. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8 (15), 47-57. <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15s1/v8n15s1a06.pdf>
- Morgan (1977). *Slope Stabilization and Erosion Control- A Bioengineering Approach*. (2a. ed.). Inglaterra: E & FN SPON. <https://www.semanticscholar.org/paper/Slope-Stabilization-and-Erosion-Control%3A-A-Approach-Morgan-Rickson/5bb972173c87ebd306e326c7aece6f74f04c1e05>
- Mukanov, Y., Chen, Y., Baisholanov, S., Chukwudi, A., C., Issanova, G., Abenova, A., Gonghuan, C. & Abayev, N. (2019). Estimation of annual average soil loss using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) integrated in a Geographical Information System (GIS) of the Esil River basin (ERB), Kazakhstan [Estimación de la pérdida de suelo promedio anual utilizando la Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelo (RUSLE) integrada en un Sistema de Información Geográfica (SIG) de la cuenca del río Esil (ERB), Kazajstán]. *Acta Geophys.* 67, 921–938, <https://doi.org/10.1007/s11600-019-00288-0>
- Nakaya, D. (2018). Estimación de la pérdida de suelo media anual mediante el modelo R.U.S.L.E., en la cuenca del río Tingo – Cajamarca [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3591>
- Oliveira, M. y Teixeira A. (2014). *Procesos erosivos y recuperación de zonas degradadas*. (2da ed.). https://www.researchgate.net/publication/279545400_Processos_Erosivos_e_Re

cuperacao_de_Areas_Degradadas

Organización Meteorológica Mundial. (2006). El clima y la degradación de las tierras.

https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5098

Ostovari, Y. & Dashtaki, G, Bahrami, H., Naderi, M., Melo, J. (2017). Soil loss estimation using RUSLE model, GIS and remote sensing techniques: A case study from the Dembecha Watershed, Northwestern Ethiopia [Estimación de la pérdida de suelo usando el modelo RUSLE, SIG y técnicas de teledetección: un estudio de caso de la cuenca de Dembecha, en el noroeste de Etiopía]. *Geoderma Regional*, 11 (1), 28-36, <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2017.06.003>

Pastor, R. (1992). Evaluación de la erosión hídrica en la zona de Chanchamayo-Junín. Utilizando como cobertura vegetal el cultivo de camote [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria la Molina]. Repositorio institucional de Universidad Nacional Agraria La Molina. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/1840/P36.P3-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Perales, A. (2019). Pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando el modelo RUSLE en la cuenca del río Sutpe grande, Provincia de Leoncio Prado, Huánuco [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio institucional de la Universidad Agraria de la Selva. <https://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1720>

Poma, W., & Alcántara, G. (2011). Estudio de suelos y capacidad de uso mayor del departamento de Cajamarca. <https://zeeot.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/INFSUELOSZEE091.pdf>

Pourrut, P., & Orstom, H. (1982). Papel de las precipitaciones en la degradación de los suelos. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers08-

01/23661.pdf

Quiñones, J. (2019). Estimación de la erosión hídrica potencial en la cuenca media y alta del río Rímac, aplicación del modelo Rusle [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Mayo de San Marcos]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
<https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/10762>

Quispe, T. (2018). Influencia de la cobertura vegetal en la erosión hídrica del suelo en la comunidad de san mateo, Perú [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria la Molina]. Repositorio institucional de Universidad Nacional Agraria La Molina.
[https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3600/quispe-
ojeda-teodosio-celso.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3600/quispe-ojeda-teodosio-celso.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Ramírez, L. 2010. Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la cuenca del río Juramento-Salta. Salta, Argentina [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Salta]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Salta
[https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-
estima_perdida_suelo_erosionh_cca_juramento_salta.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-estima_perdida_suelo_erosionh_cca_juramento_salta.pdf)

Rodríguez, M., Florentino, A., Gallardo, J. & García R. (2004). Sistemas de Inmación geográfica En La Evaluación De La Erosión Hídrica En Badajoz-España Aplicando La Metodología Usle. *Agronomía Tropical*, 54(4), 391-410.
http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002192X2004000400003&lng=es&tlng=es.

Rodríguez, R. (2012). Erosividad de la lluvia en el departamento de alto Paraná, Paraguay [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Asunción]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Asunción.
<https://www.conacyt.gov.py/sites/default/files/TES-BN-015.pdf>

- Rucks, L., García, F., Kaplan, A., Ponce de León, J. & Hill, M. (2004). Propiedades físicas del suelo. Universidad de la República: Facultad de agronomía. Montevideo, Uruguay. <http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>
- Sánchez, H., Reyes, C. & Mejía, K. (2018). Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística. Lima, Perú: Universidad Ricardo Palma. <https://www.urp.edu.pe/pdf/id/13350/n/libro-manual-de-terminos-en-investigacion.pdf>
- Sardón, S., & Mamani, H. (2014). Ordenamiento geográfico (Puno). http://geoservidorperu.minam.gob.pe/geoservidor/Archivos/Mapa/puno/Memoria_Descriptiva_Fisiografia.pdf
- SEDALIB. (2018). Diagnóstico hídrico rápido de la cuenca del río Jequetepeque como fuente de agua y servicios ecosistémicos hídricos para la EPS SEDALIB S.A. <http://www.sedalib.com.pe/upload/drive/32019/20190305-5941539840.pdf>
- SENAMHI. (2017). Atlas de erosión de suelos por regiones hidrológicas del Perú. http://idesep.senamhi.gob.pe/portaldesepp/files/tematica/atlas/erosi%C3%B3n_de_suelo/Atlas_Erosion_Suelos_por_Regiones_Hidrologicas_Peru.pdf
- SENAMHI. (2017). Modelamiento hidrológico para pronóstico estacional de caudales del río Jequetepeque. [Archivo PDF]. <https://web2.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-41.pdf>
- Smith, R., & Campuzano, C. (2000). Análisis exploratorio para la detección de cambios y tendencias en series hidrológicas. <http://bdigital.unal.edu.co/4423/1/AA3324.pdf>
- Solano, R. (2016). Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la sub cuenca del río Shullcas 2000- 2013, Huancayo [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio de la Universidad Nacional del Centro del Perú.

- <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/3486/Solano%20Peralta.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Solís, L. M. & López, J. A. (2003). Principios básicos de contaminación ambiental. (2a. ed.). Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM).
https://books.google.es/books?id=pKP2BHi8FVsC&pg=PA2&dq=+Principios+b%C3%A1sicos+de+contaminaci%C3%B3n+ambiental&lr=&hl=es&source=gbs_toc_r&cad=3
- Stern, M. y Echavarría, M. (2013). Mecanismos de retribución por servicios hídricos para la cuenca del Jequetepeque, Departamentos de Cajamarca y La Libertad, Perú. Mecanismos de Retribución por Servicios Hídricos del Perú. Washington, DC: Forest Trends, 2013. https://www.forest-trends.org/wp-content/uploads/imported/jequetepeque-mrsh_esp_4-7-14-pdf.pdf
- Tayupanta, J. (1993). La Erosión Hídrica: Procesos, Factores y Formas. Quito, Ecuador: INIAP. Estación Experimental santa Catalina. Boletín Divulgativo No. 229.
https://books.google.com.pe/books?id=a7EzAQAAMAAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=true
- Troeh, F., Hobbs, J. & Donahue, R. (1991). Soil and Water Conservation. (2a. ed.). N J: Prentice Hall.
- UNI. (2000). Estudio de Evaluación Ambiental Territorial y de Planteamientos para la Reducción de la Contaminación de origen minero en la cuenca del río Jequetepeque. [Archivo PDF].
<http://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/dgaam/publicaciones/evats/jequetepeque/jequete.pdf>
- Valdez, E. (2014). Análisis de pérdida de suelos por erosión hídrica en la subcuenca Conduriri mediante la metodología RUSLE, 1980 – 2014 [Tesis de licenciatura,

- Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4588>
- Vásquez, F. (2018). Valoración económica del agua y pago por servicios ambientales hídricos aplicado a la cuenca regulada del río Jequetepeque, Cajamarca- Perú. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Cajamarca]. Repositorio institucional de la Universidad Nacional de Cajamarca. https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/2046/TESIS_VALORACION%20ECONOMICA%20DEL%20AGUA_FVT_.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Villon, M. (2005). Hidrología Estadística. (3ra. Edición). Editor: Lima-Perú Villon 2005.
- Wischmeier, W. & Smith, D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. Agriculture Handbook 537 [Predicción de pérdidas por erosión por lluvia. Manual de Agricultura 537]. <https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF>

Anexo 1. Matriz de consistencia

ESTUDIANTE(S): Nadia Dayana Suyon Solorzano y Lesly Maricela Moreno Avalos

TÍTULO:

“Determinación del nivel de erosión hídrica de la Cuenca Jequetepeque, durante el periodo 1997-2017”

PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
¿Cuál es el nivel de erosión hídrica en la Cuenca Jequetepeque, según el modelo RUSLE, durante el periodo 1997-2017?	-	<p>General: Determinar el nivel de erosión hídrica en la Cuenca Jequetepeque, aplicando el modelo RUSLE, durante el periodo 1997-2017</p> <hr/> <p>Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Caracterizar físico y biotícamente el área de estudio. • Determinar los factores de erosividad de las precipitaciones (R), erodabilidad del suelo (K), longitud y gradiente de la pendiente (LS) y cobertura vegetal o uso actual del suelo (C). • Estimar la erosión hídrica potencial y actual de la cuenca Jequetepeque. • Proponer alternativas de protección y/o conservación para las zonas afectadas por la erosión hídrica. 	<p>Variable: Nivel de erosión hídrica</p>	<p>Tipo de investigación: Aplicada Descriptiva</p> <p>Diseño: No experimental – longitudinal.</p> <p>Técnica: Observación indirecta</p> <p>Instrumento: -Revisión bibliográfica -Imágenes satelitales</p> <p>Método de análisis de datos: Estadística descriptiva</p>	<p>Población Todas las cuencas pertenecientes a la regiones hidrográficas: Pacífico y Amazonas</p> <hr/> <p>Muestra: Parte de la Cuenca Jequetepeque, perteneciente a la región Cajamarca</p>

Anexo 2. Matriz de operacionalización de variables

TÍTULO: Determinación del nivel de erosión hídrica de la Cuenca Jequetepeque, durante el periodo 1997- 2017				
VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
VARIABLE: Nivel de erosión hídrica	“Grado de susceptibilidad que posee una determinada área a erosionarse por el agua y las características físicas de clima, suelo y relieve” (Yapur, 2010).	El nivel de erosión hídrica actual de un determinado lugar, se realiza a partir del cálculo de la tasa de erosión (FAO, 1980 en Solano, 2016). El método más usado para la tasa de erosión; corresponde a la del modelo de tipo cuantitativo RUSLE, el cual es una versión mejorada del modelo original: “Universal Soil Loss Equation” (USLE). Dicho modelo matemático es el producto de los factores que representan la erosividad de la precipitación, vegetación, erodabilidad del suelo y la topografía (Wischmeier & Smith, 1978 en Almoza et al., 2007).	Normal	< 0.5 Ton/ha/año
			Ligera	0.5– 5.5 Ton/ha/año
			Moderada	5 – 15 Ton/ha/año
			severa	15-50 Ton/ha/año
			Muy severa	50-200 Ton/ha/año
			Catastrófica	>200 Ton/ha/año

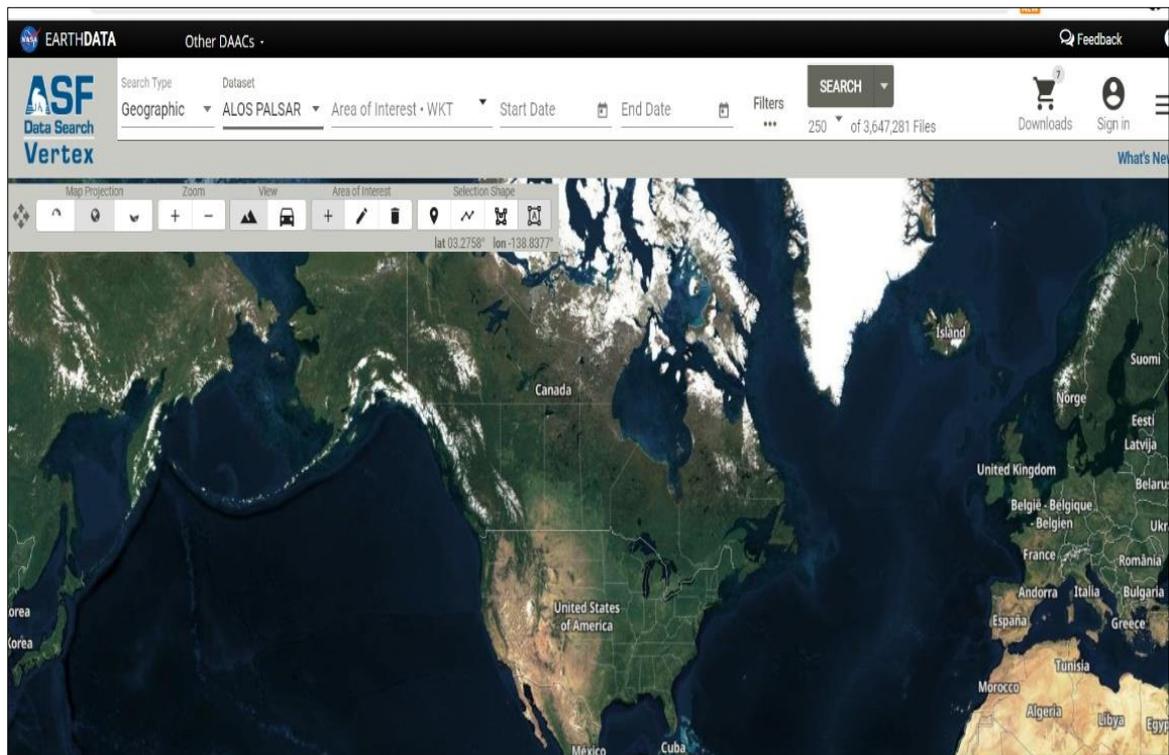
Anexo 3. Plataforma de búsqueda de datos de precipitación



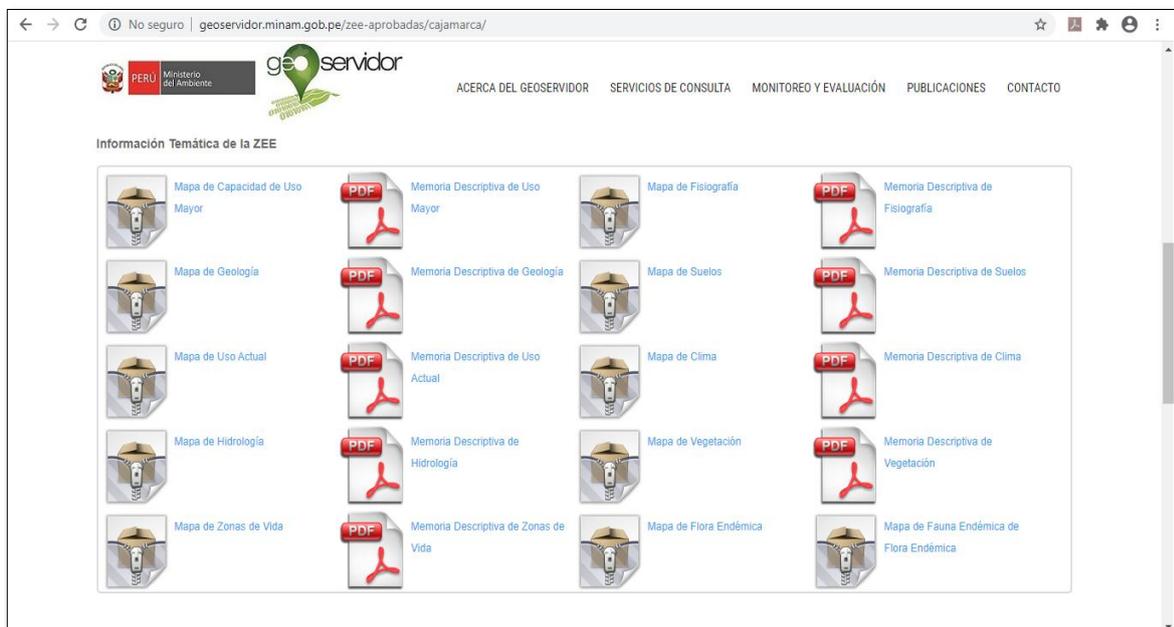
Anexo 4. Plataforma de búsqueda de datos de tipo de suelos



Anexo 5. Plataforma de búsqueda de MDE



Anexo 6. Plataforma de búsqueda de cobertura vegetal



Anexo 7. Mapa Nacional de cuencas hidrográficas



Anexo 8. Fauna de las lagunas de la cuenca Jequetepeque

Espacio	Nombre Común	Nombre Científico	Imagen
	Pato colorado	<i>Anas cyanoptera</i>	
	Gaviota andina	<i>Larus serranus</i>	
	Pato cabecinegra andino	<i>Anas flavirostris</i>	
Lagunas	Pato jerga	<i>Anas georgica</i>	
	Ibis de puna	<i>Plegadis ridgwayi</i>	
	Quecheche chico	<i>Gallinago andina</i>	
	Trucha	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	

Anexo 9. Fauna de los humedales de la cuenca Jequetepeque

Espacio	Nombre Común	Nombre Científico	Imagen
	Chinalinda	<i>Phalcoboenus megalopterus</i>	
	"Cargacha y cortarrera"	<i>Colaptes rupicola</i>	
Humedales	"Fringilo pechicenizo"	<i>Phrygilus plebejus</i>	
	"Colibrí y quinde"	<i>Colibri coruscans</i>	
	Sapo	<i>Bufo cophotis</i>	
	Vivuña	<i>Vicugna</i>	

Anexo 10. Fauna de los ríos de la parte alta de la cuenca Jequetepeque

Espacio	Zona	Nombre Común	Nombre Científico	Imagen
		Cernícalo americano	<i>Falco sparverius</i>	
		Gorrión andino	<i>Zonotrichia capensis</i>	
Ríos	Parte alta de cuenca	Chiguaco	<i>Turdus chiguanco</i>	
		Huaco común	<i>Nycticorax</i>	
		Trucha	<i>Oncorhynchus mykiss</i>	

Anexo 11. Fauna de los ríos de la parte baja de la cuenca Jequetepeque

Espacio	Zona	Nombre Común	Nombre Científico	Imagen
Ríos	Zona baja de cuenca	Garza chica	blanca <i>Egretta thula</i>	
		Garza grande	blanca <i>Ardea alba</i>	
		Garza azul	<i>Egretta caerulea</i>	
		Chisco	<i>Mimus longicaudatus</i>	
		Cascafe	<i>Brycon atrocaudatus</i>	
		Life	<i>Pygidium punctulatum</i>	

Anexo 12. Flora de las lagunas de la cuenca Jequetepeque

Espacio	Nombre Común	Nombre Científico	Imagen
	Junco	<i>Juncus involucratus</i>	
Lagunas	Cachamino	<i>Lilaea scilloides</i>	
	Totora	<i>Cyperus sp</i>	

Anexo 13. Flora de los humedales de la cuenca Jequetepeque

Espacio	Nombre Común	Nombre Científico	Imagen
	Rosácea	<i>Alchemilla diplophylla</i>	
	Sillu sillu	<i>Alchemilla pinnata</i>	
	Totora	<i>Cyperus sp</i>	
Humedales	Pastizal	<i>Scirpus rigidus</i>	
	Llantén	<i>Plantago major</i>	
	Flora del Noroeste	<i>Calamagrostis curvula</i>	
	Mala yerba	<i>Rumex crispus</i>	

Anexo 14. Flora de los ríos de la cuenca Jequetepeque

Espacio	Nombre Común	Nombre Científico	Imagen
Ríos	Pauco	<i>Escallonia pendula</i>	
	Quinual	<i>Polylepis racemosa</i>	
	Aliso	<i>Alnus acuminata</i>	
	Chachacoma	<i>Escallonia paniculata</i>	
	Sauce	<i>Salix humboldtiana</i>	
	Cedro	<i>Cedrella montana</i>	
	Eucalipto	<i>Eucalyptus globulus</i>	
	Pino	<i>Pinus spp</i>	

Anexo 15. Datos de precipitación estación Quilcate

ESTACIÓN: QUILCATE													
LATITUD	-6.82		LONGITUD	-78.743889		ALITUD	3100						
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1997	63.10	170.30	77.50	146.00	40.60	69.30	1.30	0.40	55.00	67.20	210.20	126.50	1027.4
1998	108.80	217.10	191.60	171.50	78.20	3.60	0.40	13.60	77.20	188.50	50.80	69.20	1170.5
1999	120.00	306.40	99.30	112.50	132.20	90.40	24.20	23.60	201.30	85.70	72.80	160.20	1428.6
2000	64.20	195.50	224.20	118.60	84.00	40.20	7.20	22.80	122.40	15.10	48.70	163.70	1106.6
2001	189.30	97.80	305.70	140.10	74.70	12.20	14.80	0.00	108.70	132.70	143.90	143.10	1363
2002	53.40	115.40	246.60	193.10	61.40	17.00	30.60	0.00	56.50	155.00	184.80	168.80	1282.6
2003	63.30	82.30	134.00	134.30	80.00	73.80	18.10	12.90	76.20	66.60	117.20	118.70	977.4
2004	91.50	86.80	109.10	88.10	76.80	15.00	44.00	5.90	90.40	146.20	180.70	162.70	1097.2
2005	94.40	113.40	316.30	67.00	28.10	12.90	0.60	11.00	57.90	201.60	58.60	137.90	1099.7
2006	123.10	196.10	349.60	131.90	13.60	76.90	20.00	26.30	64.20	91.50	131.90	197.10	1422.2
2007	130.70	62.80	209.90	148.00	51.20	0.50	35.80	30.30	19.10	183.00	156.70	71.90	1099.9
2008	137.30	206.00	183.70	137.10	149.90	24.30	25.60	26.30	115.20	191.90	114.90	27.50	1339.7
2009	243.90	143.90	312.80	93.70	138.90	35.60	46.30	4.30	35.70	139.30	161.40	118.80	1474.6
2010	69.10	176.30	157.20	149.10	65.60	10.00	38.50	9.40	58.20	71.30	115.80	130.10	1050.6
2011	122.60	150.80	180.10	192.00	26.90	14.70	35.50	5.60	68.90	90.00	98.40	167.80	1153.3
2012	273.40	187.80	116.90	170.10	56.30	39.00	0.00	16.10	10.10	162.90	175.70	125.74	1334.04
2013	89.00	101.90	239.80	74.80	151.40	42.50	5.30	45.90	10.20	151.30	30,7	125.74	1037.84
2014	82.80	133.90	204.10	80.40	107.60	2.70	4.10	21.60	57.00	78.60	119.00	128.30	1020.1
2015	170.50	121.20	286.80	104.10	108.50	6.50	11.90	5.60	21.50	72.60	165.00	39.70	1113.9
2016	174.10	135.50	107.90	80.80	50.90	23.70	0.10	2.30	41.20	63.40	40.60	115.70	836.2
2017	157.70	172.00	340.70	109.70	122.40	43.80	0.20	35.20	70.50	118.90	50.50	141.30	1362.9
PROMEDIO	124.9	151.1	209.2	125.9	80.9	31.2	17.4	15.2	67.5	117.8	119.9	125.7	1180.9
MÁXIMO	273.4	306.4	349.6	193.1	151.4	90.4	46.3	45.9	201.3	201.6	210.2	197.1	
MÍNIMO	53.4	62.8	77.5	67.0	13.6	0.5	0.0	0.0	10.1	15.1	40.6	27.5	
DESVIACION	59.60	56.74	85.30	37.69	41.14	26.85	16.03	12.81	44.11	52.31	52.54	42.88	

Anexo 16. Datos de precipitación estación Granja Porcón

ESTACIÓN: GRANJA PORCÓN														
LATITUD	-7.033333			LONGITUD	-78.633333			ALTITUD	3000					
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL	
1997	187.50	190.30	123.20	260.00	81.00	18.50	39.00	9.90	76.80	172.90	301.10	305.60	1765.8	
1998	168.50	370.30	308.90	243.20	85.40	0.00	0.00	14.80	67.60	224.90	168.60	99.00	1751.2	
1999	210.30	490.50	257.20	123.50	169.20	53.90	20.30	6.40	228.30	65.30	137.40	167.30	1929.6	
2000	64.90	247.20	221.10	168.60	160.70	40.70	1.60	16.30	123.20	19.30	237.60	196.55	1497.745	
2001	335.80	227.80	424.40	92.60	88.70	17.60	15.20	0.40	145.20	166.70	156.10	171.80	1842.3	
2002	76.00	188.90	390.20	159.00	36.90	29.00	15.20	2.60	50.70	204.70	225.90	243.60	1622.7	
2003	103.80	134.40	124.54	79.60	77.90	54.40	28.90	15.60	47.20	101.80	112.60	100.00	980.74	
2004	70.30	230.40	165.60	85.00	75.40	11.70	41.00	19.10	84.80	145.60	167.80	236.20	1332.9	
2005	164.10	227.10	344.90	95.60	91.60	53.70	0.00	7.10	54.40	148.10	33.30	164.80	1384.7	
2006	142.90	189.00	347.40	184.70	62.80	62.00	5.10	15.70	116.20	40.20	158.50	183.60	1508.1	
2007	245.40	65.70	352.30	226.30	57.50	1.30	42.60	20.10	32.80	171.50	211.40	146.40	1573.3	
2008	214.60	291.20	246.00	156.50	76.20	73.30	16.00	11.00	110.90	182.60	127.30	72.30	1577.9	
2009	341.60	200.70	307.30	149.60	127.40	31.30	18.10	8.00	27.00	184.00	187.60	235.10	1817.7	
2010	108.00	169.70	264.50	173.20	84.60	39.40	44.30	33.60	29.60	82.70	96.50	182.60	1308.7	
2011	257.00	148.90	284.60	269.40	21.20	8.50	13.70	4.80	55.40	84.50	93.00	590.50	1831.5	
2012	325.10	320.80	154.80	211.60	109.60	32.40	0.00	45.80	33.70	137.30	202.90	67.60	1641.6	
2013	141.00	279.90	352.40	196.20	193.40	32.80	17.70	33.80	30.40	174.50	28.00	243.70	1723.8	
2014	137.40	174.90	242.40	103.40	79.30	5.10	9.60	10.50	65.80	97.40	90.30	209.20	1225.3	
2015	367.40	164.00	283.20	111.80	158.70	1.70	9.70	0.40	24.60	88.40	124.50	108.90	1443.3	
2016	166.30	134.30	162.20	138.40	36.80	44.90	1.10	0.00	43.40	149.20	39.90	173.80	1090.3	
2017	156.60	235.60	365.60	134.90	170.70	43.90	1.20	49.90	51.70	146.80	37.70	228.90	1623.5	
PROMEDIO	189.7	222.9	272.5	160.2	97.4	31.2	16.2	15.5	71.4	132.8	139.9	196.6	1546.3	
MÁXIMO	367.4	490.5	424.4	269.4	193.4	73.3	44.3	49.9	228.3	224.9	301.1	590.5		
MÍNIMO	64.9	65.7	123.2	79.6	21.2	0.0	0.0	0.0	24.6	19.3	28.0	67.6		
DESVIACION	92.16	92.20	88.93	57.87	48.38	21.74	14.96	14.25	49.90	55.08	73.66	109.60		

Anexo 17. Datos de precipitación estación Magdalena

ESTACIÓN: MAGDALENA														
LATITUD	-7.253444			LONGITUD	-78.652528			ALTITUD	1316					
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL	
1997	13.30	84.80	28.60	41.90	0.00	0.00	0.00	0.00	46.60	34.90	80.80	144.00	474.90	
1998	125.40	189.70	274.40	77.00	13.60	0.00	0.00	0.00	7.40	19.20	10.30	6.50	723.50	
1999	76.00	176.00	49.90	57.10	40.90	20.60	5.30	0.00	31.20	7.10	21.50	38.20	523.80	
2000	22.30	122.80	141.00	66.00	60.90	4.80	0.00	2.20	7.00	8.20	35.30	129.30	599.80	
2001	125.60	59.30	255.00	62.80	23.50	0.00	0.00	0.00	13.40	13.30	41.70	36.60	631.20	
2002	27.80	77.40	155.50	47.40	0.00	3.70	0.00	0.00	7.90	40.90	74.10	65.80	500.50	
2003	27.30	52.50	91.20	24.20	22.80	4.20	0.00	0.00	0.70	1.70	19.30	39.70	283.60	
2004	7.10	71.70	55.70	39.60	12.20	0.00	2.70	0.60	2.90	22.50	16.50	27.40	258.90	
2005	65.40	29.70	135.20	18.10	0.80	0.80	0.00	0.00	6.30	14.30	6.20	29.30	306.10	
2006	73.10	120.50	230.30	66.40	0.00	8.60	0.00	4.90	8.10	0.00	22.40	79.10	613.40	
2007	66.40	20.20	217.70	59.10	9.80	4.10	0.00	2.20	0.00	40.30	22.20	16.80	458.80	
2008	114.10	146.50	116.60	38.80	4.30	1.70	0.90	0.00	13.60	22.70	48.50	0.00	507.70	
2009	151.60	124.30	136.90	34.60	17.50	8.20	7.40	0.90	0.00	36.80	29.20	35.20	582.60	
2010	28.00	117.00	103.10	62.60	13.10	0.30	0.00	0.00	2.30	8.00	18.80	25.10	378.30	
2011	55.50	42.30	82.10	123.40	10.00	0.00	0.00	0.00	10.30	10.40	8.50	74.00	416.50	
2012	92.10	176.40	138.90	64.80	10.40	0.70	0.00	0.00	0.60	43.00	47.70	45.40	620.00	
2013	31.60	123.90	207.60	26.70	30.30	1.00	0.00	0.00	0.00	59.00	0.00	62.50	542.60	
2014	34.00	49.80	126.60	31.20	21.70	3.10	0.00	0.30	54.00	22.32	28.34	48.85	420.20	
2015	78.60	45.80	179.50	55.90	18.50	0.00	0.00	0.00	0.00	21.90	55.90	57.80	513.90	
2016	33.20	67.40	126.30	60.40	1.00	4.90	0.00	0.00	0.80	10.40	0.00	22.10	326.50	
2017	68.60	59.40	270.20	62.00	10.00	2.80	0.00	2.50	2.40	31.70	7.80	42.20	559.60	
PROMEDIO	62.7	93.2	148.7	53.3	15.3	3.3	0.8	0.7	10.3	22.3	28.3	48.9		
MÁXIMO	151.6	189.7	274.4	123.4	60.9	20.6	7.4	4.9	54.0	59.0	80.8	144.0		
MÍNIMO	7.1	20.2	28.6	18.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
DESVIACION	40.89	50.75	71.73	22.90	15.01	4.76	1.98	1.27	15.19	15.65	22.68	35.74		

Anexo 18. Datos de precipitación estación San Pablo

ESTACIÓN: SAN PABLO													
LATITUD	-7.083333		LONGITUD	-78.833333		ALTITUD	2290						
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1997	18.04	94.79	28.25	47.02	3.67	8.59	2.16	2.16	30.64	45.70	64.10	202.29	547.40
1998	182.13	173.56	352.77	97.50	18.35	2.98	2.16	2.98	7.20	22.13	10.03	26.48	898.27
1999	78.09	188.81	68.07	55.34	36.12	15.71	17.22	2.16	31.46	10.22	10.79	33.54	547.53
2000	35.05	106.70	183.51	112.94	42.36	9.15	2.16	2.79	11.48	5.69	19.55	71.98	603.36
2001	132.66	85.15	275.39	83.70	16.08	3.67	4.74	2.16	28.18	10.73	35.18	28.50	706.13
2002	8.90	120.75	235.75	85.90	7.80	7.00	0.00	0.00	1.00	34.90	101.20	80.30	683.50
2003	43.30	127.80	89.50	67.90	16.30	14.50	0.00	0.00	9.20	4.90	16.30	50.80	440.50
2004	18.20	137.20	102.00	55.40	14.50	5.20	10.90	0.00	19.40	40.30	24.30	59.10	486.50
2005	110.00	49.20	151.30	58.00	5.10	1.10	0.00	0.00	6.70	29.70	7.20	33.60	451.90
2006	122.20	229.80	229.27	56.80	6.90	13.10	0.00	5.60	8.00	3.30	47.10	141.60	863.67
2007	155.80	24.70	226.80	89.60	21.80	2.00	3.70	5.00	2.60	44.10	33.30	36.90	646.30
2008	148.70	291.20	250.50	81.80	12.60	2.80	0.00	0.00	17.30	47.80	38.90	25.90	917.50
2009	173.90	226.60	215.70	32.30	24.00	7.70	16.80	9.20	12.40	69.20	58.00	53.70	899.50
2010	52.00	178.00	143.60	64.30	20.70	2.40	2.30	1.30	4.20	11.70	16.70	36.40	533.60
2011	85.10	71.40	101.00	145.10	1.90	0.00	6.40	0.00	21.70	2.40	16.30	106.70	558.00
2012	176.60	283.60	203.60	134.30	37.10	1.10	0.00	4.20	7.80	49.00	67.40	62.00	1026.70
2013	64.00	185.10	243.60	39.50	46.20	0.90	0.00	4.80	0.00	48.20	0.70	74.90	707.90
2014	92.90	31.50	164.80	45.70	50.80	0.00	0.00	0.00	15.00	33.90	36.30	68.00	538.90
2015	129.50	79.90	315.70	86.60	36.00	0.00	0.00	0.00	1.50	52.50	59.90	107.80	869.40
2016	73.60	216.20	130.20	89.20	2.90	1.40	0.00	0.00	5.60	16.10	1.00	45.60	581.80
2017	177.5	214.2	452.6	106	26.6	2.5	0	1.8	8.2	77.7	19.8	77.095	1164.00
PROMEDIO	99.0	148.4	198.3	77.9	21.3	4.9	3.3	2.1	11.9	31.4	32.6	67.8	
MÁXIMO	182.1	291.2	452.6	145.1	50.8	15.7	17.2	9.2	31.5	77.7	101.2	202.3	
MÍNIMO	8.9	24.7	28.3	32.3	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4	0.7	25.9	
DESVIACION	57.56	78.80	101.04	30.20	15.03	4.90	5.34	2.49	9.61	22.27	25.89	43.21	

Anexo 19. Datos de precipitación estación Llapa

ESTACIÓN: LLAPA													
LATITUD	-6.983333		LONGITUD	-78.816667		ALTITUD	2798						
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1997	40.90	136.99	63.91	79.73	18.44	20.89	5.47	10.14	50.23	44.94	122.75	162.37	756.78
1998	172.57	227.93	272.30	165.46	27.38	14.65	8.00	12.83	32.52	93.97	22.95	82.26	1132.81
1999	129.00	251.97	123.54	75.70	53.95	42.17	14.41	8.72	102.98	51.42	34.58	100.77	989.20
2000	37.98	173.21	258.69	111.60	71.74	17.97	6.03	23.50	50.71	38.53	47.31	132.40	969.67
2001	184.28	136.12	352.57	102.98	44.46	10.06	12.67	5.47	89.85	49.68	79.49	80.21	1147.84
2002	63.10	156.50	247.20	197.80	15.40	28.00	4.10	0.50	60.70	117.50	131.40	127.50	1149.70
2003	119.00	85.30	147.90	65.10	40.40	41.10	0.00	5.10	44.70	56.10	77.10	67.20	749.00
2004	19.80	189.20	113.30	85.80	58.20	4.20	21.80	3.30	78.70	86.20	60.50	102.80	823.80
2005	100.20	104.00	252.80	42.10	10.40	4.50	1.20	7.00	23.90	67.60	39.40	109.40	762.50
2006	160.50	172.70	347.70	78.90	21.40	25.80	4.40	17.70	40.80	23.30	104.20	163.00	1160.40
2007	175.40	61.60	317.00	186.00	61.50	0.80	3.80	2.70	6.30	86.70	107.10	45.10	1054.00
2008	155.80	255.40	211.80	151.40	36.90	13.10	5.00	18.20	65.00	129.40	93.10	32.30	1167.40
2009	226.70	160.30	232.90	147.50	61.20	24.90	12.70	13.60	15.40	74.30	162.40	89.90	1221.80
2010	47.30	137.80	272.20	113.50	45.60	13.20	19.10	3.40	52.40	37.60	44.30	127.00	913.40
2011	128.50	95.90	154.60	161.90	15.00	9.20	11.10	25.50	27.60	26.50	70.80	128.70	855.30
2012	219.51	233.70	146.10	162.90	50.95	13.90	0.20	12.50	24.80	114.70	80.00	55.90	1115.16
2013	100.10	191.00	306.70	107.80	110.90	10.90	6.80	16.80	7.40	152.50	15.80	71.70	1098.40
2014	70.30	89.20	166.60	89.90	62.30	4.70	5.30	1.80	68.30	83.00	71.70	81.10	794.20
2015	149.60	105.40	319.80	124.80	61.20	2.70	7.10	0.80	18.10	142.50	135.40	46.50	1113.90
2016	107.50	198.20	152.10	121.70	10.10	19.60	6.00	1.40	21.50	32.30	11.80	112.90	795.10
2017	134.10	190.60	353.80	142.70	60.30	13.00	0.20	19.70	27.80	98.60	64.60	108.70	1214.10
PROMEDIO	121.1	159.7	229.2	119.8	44.7	16.0	7.4	10.0	43.3	76.5	75.1	96.6	
MÁXIMO	226.7	255.4	353.8	197.8	110.9	42.2	21.8	25.5	103.0	152.5	162.4	163.0	
MÍNIMO	19.8	61.6	63.9	42.1	10.1	0.8	0.0	0.5	6.3	23.3	11.8	32.3	
DESVIACION	59.30	56.68	87.56	42.03	25.03	11.45	5.96	7.84	26.87	38.85	41.34	36.58	

Anexo 20. Datos de precipitación estación Lives

ESTACIÓN: LIVES													
LATITUD	-7.083333	LONGITUD			-79.033333	ALTITUD		2000					
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1997	13.12	99.22	38.70	43.04	3.00	12.51	1.63	1.63	16.93	30.63	64.20	243.54	568.16
1998	256.87	393.28	440.85	111.17	15.79	1.63	1.63	2.24	8.63	30.17	8.71	41.21	1312.18
1999	83.46	200.54	74.33	43.65	25.23	11.52	5.66	1.63	11.52	5.36	6.88	45.55	515.33
2000	20.13	92.52	132.63	39.84	31.32	9.93	1.63	1.63	3.99	1.63	13.88	69.38	418.50
2001	72.35	72.12	299.04	67.78	29.95	3.00	1.63	1.63	20.28	5.43	18.76	15.56	607.51
2002	16.55	123.50	166.66	64.81	15.25	1.63	2.09	1.63	3.68	17.77	51.41	27.28	492.26
2003	37.63	71.59	42.28	27.13	3.76	8.40	1.63	1.63	11.83	3.46	17.92	21.73	248.98
2004	16.32	53.16	66.10	5.97	12.13	4.37	2.54	2.31	6.65	16.32	10.99	26.75	223.63
2005	29.87	42.43	79.43	14.57	2.09	1.63	1.63	1.63	2.31	11.37	4.37	12.59	203.91
2006	78.74	112.77	212.41	20.43	3.38	5.82	1.63	7.26	3.15	2.01	17.46	51.26	516.32
2007	82.32	16.93	131.80	38.55	5.51	1.63	1.63	2.09	2.47	28.50	24.47	13.66	349.53
2008	89.02	179.91	202.44	106.60	4.22	1.63	1.63	0.70	9.00	20.40	36.20	9.20	660.94
2009	167.50	164.30	120.30	14.20	14.20	4.80	0.80	0.00	0.60	20.00	29.60	10.80	547.10
2010	20.80	148.90	109.30	68.20	16.10	0.00	0.00	0.60	0.30	16.50	7.00	22.40	410.10
2011	48.80	73.90	52.90	95.60	3.10	0.00	5.20	0.00	9.00	6.40	6.70	74.80	376.40
2012	113.90	201.80	191.60	72.10	8.10	2.10	0.00	0.00	5.40	28.60	39.20	58.90	721.70
2013	61.20	95.80	253.40	9.60	51.40	5.80	2.00	1.50	1.10	21.20	0.00	22.60	525.60
2014	58.90	41.40	0.00	25.90	0.00	0.00	1.30	0.00	14.50	23.60	16.70	31.60	213.90
2015	56.10	79.60	345.20	48.60	28.40	0.00	0.00	0.00	0.00	15.40	37.10	42.80	653.20
2016	88.70	115.70	64.30	52.60	0.10	4.40	0.20	0.00	1.10	5.20	1.80	18.40	352.50
2017	94.60	274.70	448.70	19.00	1.40	0.00	1.30	9.00	84.70	5.20	46.30	50.74	1035.64
PROMEDIO	71.8	126.4	165.4	47.1	13.1	3.9	1.7	1.8	10.3	15.0	21.9	43.4	
MÁXIMO	256.9	393.3	448.7	111.2	51.4	12.5	5.7	9.0	84.7	30.6	64.2	243.5	
MÍNIMO	13.1	16.9	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	9.2	
DESVIACION	57.18	87.99	128.98	31.29	13.47	3.89	1.43	2.29	17.99	9.91	17.83	49.78	

Anexo 21. Datos de precipitación estación Contumazá

ESTACIÓN: CONTUMAZÁ														
LATITUD	-7.35	LONGITUD				-78.816667	ALTITUD			2452				
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL	
1997	11.49	123.51	50.47	91.97	16.50	12.03	7.02	7.02	26.38	13.18	69.83	199.25	628.64	
1998	257.66	360.41	304.16	108.35	22.25	13.99	7.02	8.24	10.40	16.90	12.16	19.07	1140.61	
1999	54.33	206.49	126.96	67.87	63.81	23.13	19.81	7.02	35.24	16.56	19.95	35.04	676.22	
2000	20.96	155.32	259.56	109.50	51.02	12.30	7.22	10.88	23.13	11.55	30.37	60.49	752.30	
2001	133.66	113.42	316.55	113.22	23.60	12.91	7.02	7.02	19.27	19.88	35.72	36.12	838.39	
2002	19.20	131.09	133.86	188.08	20.49	13.52	7.49	7.02	10.20	29.63	61.64	35.92	658.15	
2003	59.00	66.04	64.49	43.91	19.41	11.42	7.02	7.49	7.83	8.31	13.25	61.03	369.20	
2004	8.85	74.84	85.47	53.99	21.10	7.02	9.12	7.02	14.19	25.77	19.74	28.54	355.66	
2005	34.64	34.64	77.35	35.45	7.02	7.02	7.02	7.02	8.10	17.44	14.53	21.30	271.53	
2006	59.27	135.49	283.31	49.66	9.46	16.90	7.02	7.43	12.84	7.02	27.93	53.11	669.45	
2007	64.69	34.43	180.63	77.95	29.97	7.02	7.02	9.80	7.02	43.98	26.85	19.20	508.56	
2008	65.84	239.52	212.50	195.20	3.00	4.90	0.00	9.70	9.10	42.90	48.70	2.60	833.96	
2009	194.50	191.60	263.50	72.90	30.40	2.90	5.20	0.00	5.60	63.70	48.40	19.20	897.90	
2010	25.50	161.00	160.50	86.70	31.40	4.20	0.60	0.00	9.40	11.90	16.80	34.00	542.00	
2011	68.70	25.80	108.40	171.60	4.70	0.60	0.30	0.00	8.30	2.50	9.70	40.30	440.90	
2012	76.90	183.60	248.90	151.60	36.70	0.00	0.00	0.00	0.50	64.10	36.60	53.30	852.20	
2013	27.80	149.90	286.40	17.80	35.30	2.50	0.00	0.50	0.00	57.30	0.00	70.00	647.50	
2014	47.20	28.30	175.80	62.40	44.60	0.60	0.00	0.00	16.80	41.20	24.70	88.40	530.00	
2015	85.70	73.10	300.70	91.20	48.80	0.00	2.50	0.00	0.30	9.80	58.50	66.40	737.00	
2016	66.40	130.20	112.80	143.90	0.00	8.70	0.00	0.00	0.00	9.90	2.20	24.80	498.90	
2017	123.50	153.38	231.05	37.41	24.40	21.11	17.42	19.33	18.15	25.39	20.26	24.20	715.61	
PROMEDIO	71.7	132.0	189.7	93.8	25.9	8.7	5.7	5.5	11.6	25.7	28.5	47.3		
MÁXIMO	257.7	360.4	316.6	195.2	63.8	23.1	19.8	19.3	35.2	64.1	69.8	199.3		
MÍNIMO	8.9	25.8	50.5	17.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.5	0.0	2.6		
DESVIACION	61.68	80.69	88.02	51.33	16.87	6.81	5.45	5.11	9.15	19.11	19.44	40.72		

Anexo 22. Datos de precipitación estación Chilete

ESTACIÓN: CHILETE														
LATITUD	-7.216667	LONGITUD			-78.85	ALTITUD		850						
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL	
1997	1.89	41.98	16.58	6.84	1.89	1.89	1.89	1.89	12.91	11.47	29.12	49.56	177.93	
1998	58.03	89.65	115.44	24.97	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	303.22	
1999	25.61	119.83	9.48	15.79	20.74	8.52	1.89	1.89	5.57	1.89	4.45	12.91	228.56	
2000	1.89	44.21	46.61	10.28	7.96	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	9.40	131.70	
2001	29.52	26.01	119.19	12.03	1.89	1.89	1.89	1.89	7.88	1.89	5.25	6.44	215.78	
2002	3.57	22.33	35.43	14.59	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	19.46	8.04	114.77	
2003	6.28	9.56	14.91	3.01	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	9.40	56.40	
2004	1.89	12.83	5.25	3.57	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	2.13	1.89	4.45	41.47	
2005	20.58	10.12	52.52	11.00	1.89	1.89	1.89	1.89	4.85	5.01	4.85	6.20	122.68	
2006	35.75	62.98	157.04	27.12	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	9.48	20.98	324.70	
2007	26.73	15.23	62.98	27.04	1.89	1.89	1.89	1.89	1.89	13.55	10.60	5.80	171.39	
2008	36.07	106.89	79.90	34.30	1.40	0.00	0.00	0.00	7.70	12.50	28.10	0.00	306.86	
2009	86.50	80.50	48.40	8.70	14.20	0.00	0.00	0.00	0.00	8.70	4.00	0.00	251.00	
2010	0.00	104.10	14.70	16.70	5.50	0.00	0.00	0.00	0.00	2.30	13.40	0.00	156.70	
2011	1.40	18.90	29.50	49.40	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.50	29.80	130.80	
2012	31.10	79.30	102.00	22.80	6.70	0.00	0.00	0.00	0.00	16.90	6.50	2.30	267.60	
2013	9.30	28.00	103.10	0.00	13.70	0.00	0.00	0.00	0.00	12.70	0.00	23.80	190.60	
2014	2.80	25.90	34.10	9.70	1.20	0.00	0.00	0.00	1.60	3.20	0.00	9.50	88.00	
2015	20.90	15.50	20.80	31.40	6.10	0.00	0.00	0.00	0.00	5.80	22.20	19.00	141.70	
2016	19.70	36.30	40.40	12.20	0.00	1.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.20	118.50	
2017	28.30	67.60	150.50	14.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.70	2.50	6.80	280.20	
PROMEDIO	21.3	48.5	59.9	17.0	4.5	1.4	1.0	1.0	2.6	5.6	8.1	11.2		
MÁXIMO	86.5	119.8	157.0	49.4	20.7	8.5	1.9	1.9	12.9	16.9	29.1	49.6		
MÍNIMO	0.0	9.6	5.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
DESVIACION	21.56	35.70	47.02	12.02	5.49	1.88	0.97	0.97	3.41	5.19	9.17	11.93		

Anexo 23. Datos de precipitación estación Augusto Weberbauer

ESTACIÓN: AUGUSTO WEBERBAUER													
LATITUD	-7.166667		LONGITUD	-78.5		ALTITUD	2536						
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1997	61.22	133.92	30.78	42.13	23.03	21.73	9.33	9.16	31.36	43.27	114.26	114.99	635.17
1998	93.20	96.79	226.29	76.31	26.46	13.08	10.22	13.00	23.69	74.11	32.91	46.94	733.00
1999	87.82	205.56	67.50	61.71	53.47	26.30	28.66	10.14	74.68	27.77	69.30	67.99	780.89
2000	40.00	148.28	108.63	75.17	42.86	21.89	10.88	20.10	55.34	17.24	38.70	115.72	694.81
2001	160.28	96.30	195.93	56.08	49.22	11.04	20.50	9.16	37.23	46.78	85.45	83.33	851.31
2002	31.19	58.12	117.68	72.23	26.30	17.97	17.89	11.94	17.57	86.35	90.02	79.41	626.68
2003	50.86	58.77	94.18	41.72	36.01	27.36	10.63	17.81	21.24	46.70	61.22	75.01	541.50
2004	38.62	92.39	54.45	46.61	43.76	10.88	20.42	33.15	24.42	61.14	84.64	110.18	620.64
2005	78.44	49.63	340.03	53.39	15.04	12.83	9.65	12.02	34.62	82.43	35.68	80.80	804.56
2006	80.70	0.00	199.30	77.60	7.70	23.90	1.80	6.10	33.60	12.70	60.40	81.70	585.50
2007	93.60	19.30	182.40	111.50	29.00	1.40	10.70	6.40	11.60	117.20	99.30	56.50	738.90
2008	92.50	133.30	118.40	99.10	20.20	17.90	2.30	11.70	34.70	96.50	72.00	86.95	785.55
2009	178.10	77.20	110.50	78.80	42.20	17.90	12.30	3.90	11.80	78.50	109.40	74.20	794.80
2010	49.50	112.90	123.10	110.90	40.00	8.60	2.60	1.30	27.90	44.40	52.50	70.80	644.50
2011	76.60	73.30	125.20	101.60	17.10	0.40	8.30	0.00	47.10	31.50	24.40	109.70	615.20
2012	152.30	136.60	126.40	72.80	51.50	0.80	0.00	2.50	19.10	83.20	120.40	57.70	823.30
2013	62.10	98.00	213.30	74.10	65.60	7.50	5.70	8.90	3.70	110.70	17.00	51.90	718.50
2014	74.70	62.40	148.80	78.80	26.90	5.00	2.00	3.90	27.70	26.50	44.90	115.70	617.30
2015	178.20	60.80	199.10	67.20	75.80	3.00	4.40	0.10	27.80	16.80	97.90	40.80	771.90
2016	83.30	85.30	119.00	58.50	7.00	1.60	2.10	1.10	23.40	61.70	13.50	63.80	520.30
2017	79.40	71.90	138.70	78.80	47.20	12.00	2.30	20.90	21.20	65.30	63.20	168.10	769.00
PROMEDIO	87.7	89.1	144.8	73.1	35.5	12.5	9.2	9.7	29.0	58.6	66.1	83.4	
MÁXIMO	178.2	205.6	340.0	111.5	75.8	27.4	28.7	33.2	74.7	117.2	120.4	168.1	
MÍNIMO	31.2	0.0	30.8	41.7	7.0	0.4	0.0	0.0	3.7	12.7	13.5	40.8	
DESVIACION	43.85	46.11	68.89	20.28	18.22	8.72	7.56	8.21	15.72	31.00	32.39	30.14	

Anexo 24. Datos de precipitación estación Asunción

ESTACIÓN: ASUNCIÓN														
LATITUD	-7.316667			LONGITUD	-78.516667			ALTITUD	2229					
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL	
1997	45.24	151.74	58.22	76.85	14.93	9.38	0.97	0.97	27.35	46.63	102.00	229.26	763.54	
1998	351.36	388.77	397.10	145.37	48.59	4.89	0.97	3.09	7.01	42.95	20.57	55.45	1466.13	
1999	103.15	449.70	198.55	97.84	58.88	26.29	13.06	0.97	48.91	30.13	61.16	97.59	1186.22	
2000	93.18	289.29	268.30	116.30	62.80	22.20	1.38	4.48	26.29	18.20	29.72	117.19	1049.33	
2001	254.66	140.23	498.79	79.46	54.14	0.97	2.52	0.97	11.83	21.71	90.16	52.83	1208.27	
2002	19.67	180.09	265.03	165.38	13.22	6.93	3.99	0.97	17.30	87.22	64.10	110.99	934.90	
2003	90.32	104.37	135.82	44.01	23.27	19.75	2.68	4.56	2.85	20.08	42.38	85.10	575.19	
2004	32.41	173.14	135.74	67.04	17.96	1.46	6.60	4.64	11.42	48.59	60.35	117.77	677.12	
2005	124.14	127.49	314.04	29.31	1.87	1.13	0.97	0.97	3.83	42.13	16.65	88.44	750.96	
2006	114.91	185.64	394.98	140.64	4.81	25.80	3.50	2.44	18.53	2.93	55.12	131.49	1080.77	
2007	142.43	68.92	277.53	106.90	10.12	0.97	0.97	5.05	2.93	61.25	60.18	35.03	772.28	
2008	238.16	327.35	227.05	173.14	16.65	3.83	0.97	4.32	34.21	71.05	76.27	8.73	1181.73	
2009	310.77	210.47	382.16	105.19	42.40	8.40	10.30	0.00	2.30	72.30	125.50	108.60	1378.38	
2010	67.00	220.30	208.10	161.30	40.80	5.30	3.80	0.00	24.20	15.90	43.20	55.50	845.40	
2011	124.90	145.20	179.90	224.70	7.40	4.10	5.90	0.00	26.80	13.30	23.90	159.40	915.50	
2012	345.70	240.40	240.20	113.30	67.90	1.70	0.00	0.30	4.70	106.90	122.40	94.70	1338.20	
2013	85.50	246.80	420.50	105.20	74.70	6.20	0.40	3.50	1.20	101.20	0.30	80.80	1126.30	
2014	71.70	97.70	210.60	51.80	77.70	4.30	1.00	0.00	15.60	52.11	62.50	121.60	766.61	
2015	158.70	110.00	492.10	94.00	44.60	0.50	0.00	0.00	122.40	18.30	92.50	60.70	1193.80	
2016	115.30	197.30	176.00	125.20	12.30	9.30	0.00	0.00	3.50	11.50	3.60	100.30	754.30	
2017	264.70	264.00	580.60	147.00	67.10	6.50	0.00	3.40	7.60	113.50	21.90	106.50	1582.80	
PROMEDIO	150.2	205.7	288.6	112.9	36.3	8.1	2.9	1.9	20.0	47.5	55.9	96.1		
MÁXIMO	351.4	449.7	580.6	224.7	77.7	26.3	13.1	5.1	122.4	113.5	125.5	229.3		
MÍNIMO	19.7	68.9	58.2	29.3	1.9	0.5	0.0	0.0	1.2	2.9	0.3	8.7		
DESVIACION	102.08	97.55	136.55	47.49	25.59	8.21	3.52	1.90	26.64	33.66	36.28	46.51		

Anexo 25. Datos de precipitación estación Monte Grande

ESTACIÓN: MONTE GRANDE													
LATITUD	-7.225		LONGITUD	-79.153222				ALTITUD	489				
AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
1997	4.81	3.41	4.81	3.31	4.81	4.81	4.81	4.81	0.15	3.57	0.57	53.87	166.90
1998	48.24	164.97	239.21	0.31	3.98	4.81	4.81	4.81	4.81	3.36	4.81	4.81	917.30
1999	3.98	38.67	4.81	1.40	2.48	4.81	4.81	4.81	4.81	4.81	4.81	1.86	131.80
2000	4.81	0.93	8.07	1.91	2.95	4.81	4.81	4.81	4.81	4.81	4.81	0.21	315.59
2001	2.84	3.41	81.63	6.46	4.81	4.81	4.81	4.81	1.08	4.81	4.81	4.81	655.81
2002	0.00	22.80	39.70	11.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	346.70
2003	0.00	6.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.60	199.92
2004	0.00	7.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	181.69
2005	2.90	8.30	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	239.04
2006	12.50	19.30	30.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.90	15.40	356.91
2007	7.50	0.00	17.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	223.00
2008	6.20	44.70	21.60	24.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	397.98
2009	69.10	8.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	352.29
2010	0.00	19.60	5.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	223.98
2011	4.60	3.00	2.80	8.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.00	244.63
2012	1.80	34.00	28.30	6.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.20	4.00	349.86
2013	0.00	0.00	71.30	0.00	5.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	349.13
2014	13.80	0.00	6.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.50	218.63
2015	2.50	13.90	73.50	4.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	4.40	404.78
2016	7.30	13.80	12.60	4.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	254.84
2017	38.20	206.20	498.70	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	0.00	1981.21
PROMEDIO	11.0	29.5	55.6	3.4	1.2	1.1	1.1	1.1	0.8	1.3	1.3	5.5	
MÁXIMO	69.1	206.2	498.7	24.1	5.2	4.8	4.8	4.8	4.8	5.0	4.8	53.9	
MÍNIMO	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
DESVIACION	18.20	53.87	114.69	5.74	1.95	2.10	2.10	2.10	1.72	2.06	1.89	12.03	

Anexo 26. Valores de factor C propuesto por diversos autores

Cobertura Vegetal			Factor C según autores																		Factor C				
Nivel I	Nivel II	Nivel III	Morgan (1997) en Vargas Lomelin José Guillermo	Flores y de Lara (2015) en Quiñones (2019)	Senahmí (2017)	Lizarazo (2016)	Singh y Kumar (2017)	Pacheco, Cevallos y Vines (2019)	Gaspari, Delgado y Denegri (2009)	Rhoder, García y Villaseñor (2006) en Raymundo	Valdez (2014)	Wischmeier y Smith (1978) en Arzamendia (2018)	Magap (2012) en Lopez (2017)	Paredes (2019)	Córdova (2015)	Flores (2016)	Cayo (2011)	Flores y De Lara (2015)	Saborio (2002) en Flores (2015)	ICE (1999) en Flores (2015)	FAO (1989) en Flores (2015)	Marcham alo (2004) en Flores (2015)	Morgan (1977) en Flores (2015)	Promedio	
Áreas agrícolas	Cultivos transitorios	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.394	-	0.425	-	-	-	-	-	-	0.507	-	-	-	0.442
Áreas agrícolas	Pastos	-	-	-	-	-	-	0.2	0.25	-	-	0.11	-	0.2	0.15	0.273	0.15	-	-	-	-	-	-	-	0.190
Áreas agrícolas	Áreas agrícolas heterogéneas	-	-	0.435	0.63	-	-	0.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.488
Bosques y áreas mayormente naturales	Bosques plantados	-	-	-	-	0.13	-	-	-	-	-	-	0.007	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.069
Áreas artificializadas	Áreas urbanizadas	Tejido urbano continuo	-	0.0093	-	-	0.5	-	-	-	0.003	-	0.015	0.1	-	-	-	0.0093	0.008	-	-	0.015	-	-	0.082
Áreas artificializadas	Áreas de extracción de minería e hidrocarburos y escombreras	Áreas de extracción de minería e hidrocarburos	-	0	0.09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.045
Bosques y áreas mayormente naturales	Bosques	Bosque denso bajo	-	0.0047	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.001	0.0047	0.008	0.008	-	-	0.001	-	0.005
Bosques y áreas mayormente naturales	Bosques	Bosque abierto bajo	-	-	-	-	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.008	-	-	-	-	0.014
Bosques y áreas mayormente naturales	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	Herbazal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.035	-	0.0225	-	-	-	-	-	-	0.0225	0.027
Bosques y áreas mayormente naturales	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	Arbustal	-	0.22	0.22	-	-	-	-	-	-	-	0.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.230
Bosques y áreas mayormente naturales	Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	Vegetación arbustiva / herbácea	-	-	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	-	0.003	-	-	-	-	-	-	-	0.007
Bosques y áreas mayormente naturales	Áreas sin o con poca vegetación	Áreas arenosas naturales	1	0.99	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	0.998
Bosques y áreas mayormente naturales	Áreas sin o con poca vegetación	Afloramientos rocosos	-	-	-	1	-	0.6	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.867
Superficies de Agua	Aguas continentales	Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes	-	0.0001	0	-	0	-	-	-	-	-	-	0.01	-	-	-	-	0.0001	-	-	0.0001	-	-	0.002
Superficies de Agua	Aguas continentales	Cuerpos de agua artificiales	-	-	0	-	0	-	-	-	-	-	-	0.01	-	-	-	-	-	-	-	0.0001	-	-	0.003