



Universidad
Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Determinación del riesgo de erosión hídrica en la
cuenca alta del río Rímac durante el Fenómeno
El Niño 2016-2017**

para optar el Título Profesional de
Ingeniera Ambiental

Katherin Luz Egusquiza Velasquez

Huancayo, 2019



Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

AGRADECIMIENTOS

El desarrollo de una tesis es un trabajo constante de investigación, dedicación y mucha perseverancia, es así que éste trabajo se culminó con la grandiosa esencia de cada uno de estos ingredientes necesarios para cumplir con ésta meta, pero no pudo haberse culminado satisfactoriamente sin el aporte, apoyo, y mucha motivación de instituciones y personas a quienes quiero dedicarles este espacio y mostrarles mi agradecimiento y gratitud.

Empezaré con las instituciones que son primordiales para el soporte de la investigación. Al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, por su importante sitio web, de donde pudo ser posible la obtención de datos de precipitación, al Servicio Geológico de los Estados Unidos o USGS, herramienta importante para la obtención de imágenes satelitales, también al INIA-Junín y a la Universidad Continental por brindarme ambientes, materiales y equipos para el desarrollo de laboratorios necesarios para el desarrollo de la tesis.

Agradezco infinitamente a mi asesor, el ingeniero Jacinto Arroyo Aliaga, por su orientación, sugerencias, correcciones, paciencia y apoyo incondicional en el desarrollo de la tesis, por darme la oportunidad de aprender de él y mostrarme que con perseverancia todo es posible y sobre todo por su gran motivación. De igual manera agradezco a la ingeniera Elizabeth Machuca Manrique, por sus orientaciones, ayudarme a aclarar muchas dudas y dedicarme parte de su tiempo, además de catedráticos de la universidad por su apoyo.

Agradezco a la señorita Sabino, ingeniera geógrafa desempeñándose como investigador en SENAMHI, por su apoyo con datos históricos, a mi madre y amigos que me ayudaron con la recolección de muestras de suelo en las salidas a campo.

DEDICATORIA

Éste trabajo se lo dedico a mi madre Vilma, por el sacrificio para mis estudios profesionales, por enseñarme que todo sacrificio vale la pena, por su inmenso amor, su apoyo incondicional y no dejarme caer en el proceso; a mi hermano Isaac de quien aprendí la perseverancia y el cumplimiento de metas personales y a mi familia por su fuerte motivación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA	i
AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN	xiii
CAPÍTULO I.....	15
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.1 Planteamiento y formulación del problema	15
1.1.1 Planteamiento del problema	15
1.1.2 Formulación del problema	19
1.2 Objetivos.....	19
1.3 Justificación e importancia.....	19
1.4 Variables y operacionalización.....	20
CAPÍTULO II.....	21
MARCO TEÓRICO	21
2.1 Antecedentes de la investigación.....	21
2.2 Bases teóricas.....	33
2.2.1 Fundamentos teóricos	33
2.2.2 Metodologías existentes	60
2.2.3 Técnicas de investigación.....	65
2.2.4 Diseño de modelo teórico conceptual	65

2.3	Definición de términos básicos	66
CAPÍTULO III.....		73
METODOLOGÍA.....		73
3.1	Método y alcances de la investigación.....	73
3.1.1	Método de la investigación	73
3.1.2	Alcances de la investigación.....	81
3.2	Diseño de la investigación	81
3.2.1	Tipo de diseño de investigación.....	81
3.3	Población y muestra	82
3.3.1	Población.....	82
3.3.2	Muestra	82
3.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	83
3.4.1	Técnicas utilizadas en la recolección de datos	83
3.4.2	Instrumentos utilizados en la recolección de datos	84
CAPÍTULO IV		85
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		85
4.1	Resultados del tratamiento y análisis de la información	85
4.1.1	Caracterización de las precipitaciones.....	85
4.1.2	Descripción de los resultados de los índices de la aplicación del modelo CORINE.....	92
4.1.3	Riesgo de erosión hídrica potencial y actual	96
4.2	Discusión de resultados.....	98
CONCLUSIONES		105
RECOMENDACIONES.....		106
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		107
ANEXOS.....		117

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cambio observado en la temperatura de la superficie, 1901-2012.....	34
Figura 2. Mapas de los cambios observados en la precipitación, entre 1901y2010. ...	34
Figura 3. Corte transversal de una típica nube convectiva de latitudes medias 33° sur. Elevaciones expresadas en metros sobre el nivel del mar (la Figura no está a escala).	36
Figura 4. Tipos de precipitaciones frontales.	38
Figura 5. Fases de una tormenta.	38
Figura 6. Las cuatro regiones del Océano Pacífico en las que los científicos centran su atención para estudiar los vientos, las temperaturas de la superficie del mar y las precipitaciones.	41
Figura 7. Mapa de la anomalía de la temperatura superficial del mar en el Océano Pacífico durante un fuerte “El Niño” (diciembre de 1997).	41
Figura 8. Mapa de la anomalía de la temperatura superficial del mar en el Océano Pacífico durante una fuerte La Niña (diciembre de 1988).	42
Figura 9. Posible interacción entre los procesos de transporte y de desprendimiento.	44
Figura 10. Factores que intervienen el proceso de erosión hídrica.	46
Figura 11. Tipos de Unidades Hidrográficas.	54
Figura 12. Cuenca, subcuenca y microcuenca.....	55
Figura 13. Partes de una cuenca.	56
Figura 14. La cuenca hidrográfica como sistema.	57
Figura 15 .Peligros.....	58
Figura 16. Modelos de erosión y transporte de sedimentos.	60
Figura 17. Etapas de estimación CORINE.	61
Figura 18. Diseño de modelo teórico conceptual.	65
Figura 19. Obtención de datos de precipitación.	74
Figura 20. Portal USGS.	74
Figura 21. Salida a campo y obtención de datos de laboratorio.	75
Figura 22. Obtención de datos del portal Soil Grids.	75

Figura 23. Procedimiento con SIG para determinar el mapa de Índice de Fournier Modificado.	76
Figura 24. Determinación de Índices de erodabilidad, aplicando análisis SIG.	77
Figura 25. Procedimiento con SIG para determinar el Índice de pendiente.	77
Figura 26. Análisis SIG para obtener Índices de cubierta vegetal.	77
Figura 27. Análisis SIG para la determinación del Índice de erosión potencial.	78
Figura 28. Análisis SIG para la determinación de Índices de erosión actual.	78
Figura 29. Aplicación del Modelo CORINE en la investigación (Metodología específica).	80
Figura 30. Mapa de cuenca Río Rímac.	82
Figura 31. Mapa Zona de Estudio.	83
Figura 32. Distribución de la precipitación Estación Río Blanco (Chicla).	86
Figura 33. Distribución de la precipitación Estación Casapalca (Chicla).	87
Figura 34. Distribución de la precipitación Estación San Mateo de Huanchor (S.M). ..	88
Figura 35. Distribución de la precipitación Estación San José de Parac (S. Mateo). ..	89
Figura 36. Distribución de la precipitación Estación Matucana (Matucana).	90
Figura 37. Distribución de la precipitación en la Cuenca Alta del Río Rímac.	91
Figura 38. Promedio de las precipitaciones en la Cuenca Alta del Río Rímac.	91
Figura 39. Mapa de Erosividad Climática.	92
Figura 40. Mapa de Erodabilidad del Suelo.	93
Figura 41. Mapa de Pendientes.	94
Figura 42. Mapa de Cubierta Vegetal.	95
Figura 43. Gráfico Índice de Erosión Potencial.	96
Figura 44. Mapa de Erosión Potencial.	96
Figura 45. Gráfico Índice de Erosión Actual.	97
Figura 46. Mapa de Erosión Actual.	97
Figura 47. Resultados de Análisis de Laboratorio Universidad Continental.	122
Figura 48. Resultados Análisis de Erodabilidad del Suelo.	123
Figura 49. Portal SOIL GRIDS.	124

Figura 50. Portal SENAMHI	125
Figura 51. Portal USGA.	126
Figura 52. Mapa de Cuencas Hidrográficas MINAM.	132
Figura 53. Cuenca Rímac.	133
Figura 54. Modelo general de la metodología CORINE.....	133
Figura 55. Bolivia registra 15 muertos y 22,500 familias afectadas por lluvias y sequías.	135
Figura 56. La erosión es un daño ambiental que vuelve a aumentar.	135
Figura 57. Colombia se queda sin piel: erosión afecta casi medio país.....	135
Figura 58. El Niño Costero.....	136
Figura 59. Mapa temático de Peligros Hidrológicos.	136
Figura 60. Perjudicados y daños materiales.....	137
Figura 61. El desborde del río Rímac afectó centros campestres en Lurigancho- Chosica.....	137
Figura 62. Damnificados por deslizamientos de rocas en Chicla piden ayuda.	138
Figura 63. Chosica es vulnerable por Fenómeno de El Niño.....	138

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Energía y eficiencia de cada forma de erosión hídrica.	44
Tabla 2. Principales consecuencias de los procesos de erosión y sedimentación.	49
Tabla 3. Zonificación de la cuenca.....	56
Tabla 4. Sistema TM y ETM.....	64
Tabla 5. Características técnicas LANDSAT 8.	64
Tabla 6. Ubicación de puntos de muestreo.	83
Tabla 7. Resultados obtenidos de Índice de Fournier Modificado (IFM)	92
Tabla 8. Resultados obtenidos de Índice de Erodabilidad de Suelos.	93
Tabla 9. Resultados obtenidos de Índice de Pendiente.....	94
Tabla 10. Resultados obtenidos de Índice de Cobertura Vegetal.....	95
Tabla 11. Diferencias de los modelos USLE y CORINE	98
Tabla 12. Valores asignados para índice de Fournier modificado (IFM).	127
Tabla 13. Valores asignados según el Índice de erodabilidad.....	127
Tabla 14. Clase de erodabilidad según clase textural.	127
Tabla 15. Clase de erodabilidad según profundidad del suelo.	127
Tabla 16. Clase de erodabilidad según pedregosidad del suelo.....	127
Tabla 17. Valores asignados según pendiente.....	128
Tabla 18. Valores asignados según cubierta vegetal.	128
Tabla 19. Clasificación de índice de erosión potencial.	128
Tabla 20. Clasificación de índice de erosión actual.....	128
Tabla 21. Operacionalización de Variables	129

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Reconocimiento del lugar.....	118
Fotografía 2. Tomando coordenadas UTM, usando el GPS.....	118
Fotografía 3. Realizando las calicatas, empleando pico y pala.	118
Fotografía 4. Tomando las medidas de pedregosidad.	118
Fotografía 5. Calicatas terminadas.	119
Fotografía 6. Tomando muestras de aproximadamente 2kg por punto de muestreo.	119
Fotografía 7. Tomando datos de cada punto, empleando la ficha de muestreo.	119
Fotografía 8. Muestras de suelos.....	119
Fotografía 9. Proceso completo de la salida a campo para la toma de muestras de suelo.....	120
Fotografía 10. Práctica de determinación de textura del suelo.....	121
Fotografía 11. Ficha de registro de muestreo de suelos.....	130
Fotografía 12. Registro de muestreo de suelos.....	131
Fotografía 13. Documento de Validación por Juicio de Expertos 1a.	139
Fotografía 14. Documento de Validación por Juicio de Expertos 1b.	140
Fotografía 15. Documento de Validación por Juicio de Expertos 2a.	141
Fotografía 16. Documento de Validación por Juicio de Expertos 2b.	142
Fotografía 17. Documento de Validación por Juicio de Expertos 3a.	143
Fotografía 18. Documento de Validación por Juicio de Expertos 3b.	144

RESUMEN

La erosión hídrica es un grave problema de la degradación de suelos, tiene como consecuencia las pérdidas de suelo agrícola y deslizamientos. La cuenca alta del río Rímac se caracteriza por precipitaciones constantes por esta razón el objetivo de la investigación fue determinar el riesgo de erosión hídrica en ésta zona, durante el fenómeno “El Niño” 2016-2017. Se utilizó el modelo CORINE para determinar el riesgo de erosión actual y potencial a través de cuatro índices relacionados con su comportamiento: erosividad climática, erodabilidad del suelo, topografía y cubierta vegetal, además, se utilizaron imágenes satelitales para construir mapas mediante el QGIS. La zona de estudio posee una extensión total de 121 831 ha; los resultados obtenidos fueron: el riesgo de erosión potencial es de índice ALTO en un 63 % del área total, MODERADO en un 16 % y BAJO en un 21 %. El riesgo de erosión actual es de índice ALTO en un 43 % del área total, 33 % de índice MODERADO y 24 % de índice BAJO. Por tanto, se concluye que el modelo CORINE permite modelar de forma confiable los índices de riesgo de erosión actual y potencial. Se determinó que la precipitación es un factor importante en el proceso de erosión, la cercanía de la zona de estudio a la Cordillera de los Andes hace que se encuentre expuesta a lluvias aún sin la presencia de algún fenómeno climático.

Palabras clave; erosividad, erodabilidad, pendiente, cubierta vegetal, erosión potencial, erosión actual, riesgo de erosión, erosión hídrica.

ABSTRACT

Water erosion is a serious problem of soil degradation, resulting in the loss of agricultural land and landslides. The upper basin of the Rímac River is characterized by constant rainfall, for this reason the objective of the investigation was to determine the risk of water erosion in this area, during the "El Niño" phenomenon 2016-2017. The CORINE model was used to determine the risk of current and potential erosion through four indices related to its behavior: climatic erosivity, soil erodability, topography and vegetation cover, and satellite images were used to construct maps using the QGIS. The study area has a total area of 121,831 ha; The results obtained were: the potential erosion risk is HIGH index in 63% of the total area, MODERATE in 16% and LOW in 21%. The current risk of erosion is a HIGH index of 43% of the total area, 33% of the MODERATE index and 24% of the LOW index. Therefore, it is concluded that the CORINE model allows reliable modeling of current and potential erosion risk indices. It was determined that precipitation is an important factor in the erosion process, the proximity of the study area to the Andes mountain range makes it exposed to rains even without the presence of any climatic phenomenon.

Keywords; erosivity, erodability, slope, vegetation cover, potential erosion, current erosion, risk of erosion, water erosion.

INTRODUCCIÓN

El suelo representa un recurso fundamental para la vida y para sostenerla, pues provee de alimentos a los seres vivos, es el medio donde viven y se relacionan. La degradación de los suelos es un problema mundial porque reduce la capacidad potencial y actual de producción, en muchos países son el sustento de gran parte de su economía. En la degradación de suelos, la erosión es un proceso irreversible que afecta gran extensión del territorio y el fenómeno más significativo es la erosión hídrica. Las condiciones físicas del suelo como la textura, profundidad, porosidad entre otras tienen mucha importancia en este proceso; tiene causas de origen antropogénico como el uso inadecuado y las malas prácticas, además tiene causas de origen natural como las pendientes y precipitaciones, éste el principal agente de erosión ya que depende de la cantidad e intensidad, éstos están influenciados por el sistema climático mundial.

El cambio climático trae consigo diversos fenómenos naturales como el fenómeno “El Niño” y otros ocasionados por la acción del hombre. El fenómeno “El Niño” afecta a nuestro país y es capaz de modificar los patrones meteorológicos normales, alterando los periodos de precipitación. Durante los meses de enero, febrero y marzo se registraron lluvias torrenciales en la costa a éste fenómeno se denominó “El Niño Costero”. Además, en la parte sierra del país, la cuenca del río Rímac fue afectada por las intensas precipitaciones y provocaron desprendimientos de terreno a lo largo de la carretera central, se activaron quebradas las cuales ocasionaron inundaciones y desprendimientos en Chosica, Santa Eulalia y otros. Asimismo, en el año 2016 el caudal del río Rímac excedió los niveles normales a causa de precipitaciones en la sierra central y ocasionaron el desborde del río.

Por las razones expuestas, es necesario conocer el riesgo de erosión hídrica de la cuenca del río Rímac, del cual se tiene escasa información, se utilizó el modelo CORINE y el Sistema de Información Geográfica (SIG) para la obtención de mapas de los índices de erosividad, erodabilidad, pendiente, cubierta vegetal, erosión actual y potencial. Se evaluaron los años 2016 y 2017, porque son los años más cercanos con registros de la gran actividad del fenómeno “El Niño”.

La presente investigación consta de cuatro capítulos. El Capítulo I presenta el planteamiento del problema, formulación del problema, objetivos, justificación e importancia, y la descripción de variables; la importancia de ésta investigación parte en lo siguiente: la erosión hídrica es un problema mundial que ocasiona pérdidas de suelo definitivas.

El Capítulo II abarca el marco teórico, los antecedentes de investigación, se presentan artículos científicos, tesis y artículos de divulgación, metodologías existentes en el cual se hace mención al modelo CORINE, las técnicas e instrumentos de investigación, el diseño teórico conceptual y la definición de términos básicos.

El Capítulo III describe la metodología, se detalla el método y alcance de la investigación, el diseño de la investigación, la población, muestra y las técnicas e instrumentos de recolección de datos. Se muestra de manera gráfica como se obtuvieron cada uno de los índices del modelo CORINE; por tratarse de una investigación descriptiva.

El Capítulo IV detalla los resultados del tratamiento y análisis de la información, se detalla la caracterización de las precipitaciones de los años 2016 y 2017, se presentan mapas de los índices de erosividad, erodabilidad, pendiente y cubierta vegetal, además el resultado del riesgo de erosión potencial, las conclusiones y la discusión de los resultados.

Los resultados más importantes de la investigación son: riesgo de erosión potencial tiene un índice alto del 63 % del área total, índice moderado 16 % del área total e índice bajo con un 21 % del área total; y el riesgo de erosión actual tiene un índice alto del 43 % del área total, índice moderado un 33 % del área total e índice bajo con un 24 % del área total.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Planteamiento y formulación del problema

1.1.1 Planteamiento del problema

El aumento gradual de las temperaturas de los océanos y la atmósfera ocasionadas por el calentamiento del sistema climático del planeta ha desencadenado desastres de incidencia mundial y diversos fenómenos anómalos se van produciendo desde décadas atrás, el fenómeno “El Niño” muy sonado en estos últimos siglos, debido a que su presencia ha traído consecuencias como pérdidas humanas, bienes materiales hasta daños en el ambiente, bienes culturales y medios de producción , ubicándonos en situaciones de peligro, éstos peligros pueden ser de origen natural, clasificado como hidro - meteorológicos y oceanográficos en la que ubicamos las inundaciones, lluvias intensas, heladas, sequías entre otros y por el proceso en la superficie de la tierra en donde se ubican deslizamientos, huaycos, derrumbes y otros, los cuales aumentan la vulnerabilidad física, ambiental, económica y social.

El calentamiento global por el cual se está atravesando hace que los fenómenos meteorológicos sean más frecuentes, severos, y menos previsibles.

La erosión hídrica afecta gran proporción del planeta y es el más importante de la degradación de suelos; por causas de origen antropogénico como las malas prácticas de suelo, su uso inadecuado y de origen natural como pendientes del terreno y las precipitaciones pues éstas son influenciadas por el sistema climático del planeta además de su formación tras millones de años. Las consecuencias van desde pérdidas de suelo agrícola y deslizamientos que afectan viviendas, hasta procesos de sedimentación por erosión que colma cauces reduciendo el ancho natural de los

cuerpos de agua y produciendo desbordes. Lo cual involucra una gran pérdida de tierras del planeta.

El suelo representa un recurso fundamental para la vida y para sostenerla, la erosión es un problema a nivel mundial que sigue un proceso y es irreversible. “Más de 60 millones de hectáreas en Argentina están sujetas a procesos de erosión de suelos, que van de moderados a graves” 2015, advirtió el experto Benjamín Kiersch, de la Oficina Regional de la FAO (1). Pero no solo Argentina tiene problemas de erosión, también Colombia cuenta con una extensión de 45'461.000 hectáreas de suelo erosionado, siendo El Caribe y la región Magdalena-Cauca las más degradadas (2).

El fenómeno “El Niño”, puede ocasionar grandes sequías por la escasez de lluvias y aumento de temperaturas, lluvias intensas e inundaciones, Bolivia también se ha visto afectado, se han registrado en el mes de enero del 2016 pérdidas humanas y más de 22,500 damnificados debido a lluvias, sequías hasta tormentas eléctricas, y en la parte Amazónica se registraron alzas en la temperatura, es decir este fenómeno provoca diversos efectos según el área geográfica en dónde se ubiquen.

Entre los años 1925 y 1926 se registró uno de los más intensos fenómenos “El Niño” de todo el siglo XX en el Perú. Su gran magnitud es únicamente equiparable a los eventos ocurridos en 1982-1983 y 1997-1998. Las intensas lluvias e inundaciones ocasionaron cuantiosas pérdidas humanas, materiales y económicas (3). En el 2016, el fenómeno “El Niño” afectó a parte de Sudamérica y Centroamérica con inundaciones, sequías, destrucción de áreas de cultivo y muerte de animales.

El fenómeno “El Niño” ha traído consecuencias año tras año a nuestro país , el 2016 el fenómeno no mostró todo su poder (4), es así que la OPS Y OMS acerca del fenómeno de “El Niño Costero” mencionó que entre diciembre del 2016 y los primeros meses del 2017 se han tenido pérdidas humanas como también gran pérdida de materiales en departamentos de Piura, Loreto, Tumbes, Lambayeque, Ica, Cajamarca, Ancash, Huancavelica y otras provincias de Lima, declaradas por el gobierno en Estado de Emergencia. Las lluvias, inundaciones y deslizamientos han reportado 231 874 damnificados; 1 129 013 afectados y 143 fallecidos. Han colapsado 25 700 viviendas, 258 545 están afectadas y 23 280 están inhabitables. Según el reporte del Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación - SINPAD, actualizado al 17 de mayo de 2017 (5).

La cuenca del río Rímac por su extensión, presencia de montañas además de su cercanía a la Cordillera de los Andes se encuentra expuesta a procesos de erosión

en este caso la erosión hídrica por las constantes lluvias de la zona de estudio. En el Perú, las evidencias sugieren que ante la ocurrencia de eventos extremos por efecto de la variabilidad climática se vienen intensificando estos procesos erosivos (6).

En el transcurso del río Rímac se han registrado inundaciones y deslizamientos, Chosica el distrito más afectado cada vez que se presenta alguno de estos efectos del cambio del sistema climático, el incremento de la intensidad de las precipitaciones ha sido la más recurrente ya que cuenta con 40 quebradas, que suelen activarse sin tener en cuenta medidas de prevención, desde años anteriores se tiene información sobre su vulnerabilidad. La jefa de proyectos del Instituto Geofísico del Perú (IGP) Sandra Villacorta advirtió que Chosica es altamente vulnerable y se decretó como zona de emergencia para ese año. Y hasta el 2017 no se implementaron medidas de prevención, pues las consecuencias hablan por sí solas (7).

En el año 2017 el diario El Comercio (8), publicó el informe de emergencia de INDECI donde se señala las zonas de alto peligro hidrológico, alrededor de 20 huaycos violentos han afectado Chaclacayo y Chosica en la cuenca del Río Rímac desde el año 1909, es así que fuertes precipitaciones han activado diferentes quebradas a lo largo de los años, El Instituto de Investigaciones de la facultad de minas, geología, metalurgia y ciencias geográficas de la UNMSM indica que las quebradas han sido pobladas sin ningún tipo de planificación, es por ello que al paso de huaycos muchas zonas se ven afectadas, hay deslizamientos e inundaciones. Las intensas precipitaciones y la falta de cubierta vegetal debilitan los suelos, provocando erosión.

La zona de Carapongo - Huachipa por donde transcurre el cauce del río Rímac se ha desbordado inundando calles y avenidas importantes, por el aumento del caudal que han debilitado estructuras que se deslizaron y que en su paso destruyeron viviendas, centros campestres, de la misma forma las zonas de Santa Eulalia se vieron afectadas, muchos de estos desbordes destruyeron casas, se perdieron animales que los pobladores criaban a orillas en donde vivían y que era su sustento familiar.

Varios distritos a lo largo del río Rímac y de otros ríos como las del Cañete se han visto afectadas. Es el caso también de los deslizamientos que han ocurrido a lo largo de la carretera central y localidades aledañas a ella como es el caso de Chicla dejando damnificados pues sus casas terminaron por destruirse. Estas situaciones pueden darse si no se toman medidas de prevención. La erosión debilita el suelo, por el cual se encuentran vulnerables a deslizamientos.

Es así que Ojo-Publico.com revisó las estadísticas del COEN, donde se muestra una visión general de los estragos de los huaicos, derrumbes inundaciones que ocurrieron en nuestro país en el año 2017 y muestran la siguiente información.

Además, cifras del COEN registra que a nivel nacional se han visto afectadas más de 1900 kilómetros de carreteras y 159 puentes. La región con más daño es Lima con aproximadamente 1300 kilómetros de carreteras dañadas, éstos datos obtenidos al 19 de marzo (9), en la infografía presentada en el Anexo N°13 - Figura 60.

De ésta forma se puede conocer del poder destructivo de éste fenómeno, y lo que las precipitaciones abundantes pueden ocasionar a nivel socioeconómico, estructural, y de pérdidas humanas. Por esta razón, teniendo en cuenta los años de 2016 y 2017 donde se registraron fuertes precipitaciones y conociendo que el factor importante para el proceso de erosión hídrico es la precipitación, se considera necesario el estudio de riesgo de erosión hídrica en la cuenca del río Rímac.

Teniendo en consideración que el proceso erosivo por los que atraviesa territorios de nuestro país es inevitable, el modelo CORINE, permite analizar el riesgo de erosión a través de índices permitiéndonos obtener escenarios para prevenir y mitigar sus efectos. La importancia del estudio del clima, las precipitaciones como principal factor; la erodabilidad del suelo, la pendiente y la cubierta vegetal; ésta última indispensable por su capacidad protectora del suelo. Éste modelo es una herramienta importante para la detección de cambios por las cuales atraviesa el suelo, se puede realizar el seguimiento de uso de suelo, cubierta vegetal, procesos erosivos, entre otros. Varios estudios pudieron llevarse a cabo gracias a éste importante modelo que hace uso de imágenes satelitales obtenidas a tiempo real. Entre los diversos usos de éste método se encuentran: el MINAM y algunos gobiernos regionales aplicaron éste método en “la cobertura y uso de tierras para el ordenamiento territorial”, el Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana (IIAP) buscó “Analizar la deforestación e identificar la cobertura y uso de tierra en el departamento de Loreto”. Y países como Colombia que emplea este modelo para hacer seguimiento de la cubierta vegetal de su territorio.

1.1.2 Formulación del problema

1.1.2.1 Problema general

¿Cuál es el riesgo de erosión hídrica en la cuenca alta del río Rímac, durante el fenómeno “El Niño” 2016-2017?

1.1.2.2 Problema específico

- A. ¿Cuáles fueron las características de la precipitación en la cuenca alta del río Rímac, durante el fenómeno “El Niño” 2016-2017?
- B. ¿Cuáles son los Índices de la aplicación del modelo CORINE en la cuenca alta del río Rímac, durante el fenómeno “El Niño” 2016-2017?

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Determinar el riesgo de erosión hídrica en la cuenca alta del río Rímac durante el fenómeno “El Niño” 2016-2017.

1.2.2 Objetivo específico

- A. Describir las características de la precipitación en la cuenca alta del río Rímac, durante el fenómeno “El Niño” 2016-2017.
- B. Aplicar del modelo CORINE y explicar los valores de los índices.

1.3 Justificación e importancia

1.3.1 Justificación

Justificación científica

Esta investigación permite determinar el riesgo de erosión hídrica en la cuenca alta del río Rímac considerando el fenómeno “El Niño”, además de entender la influencia de los diversos índices: erodabilidad, pendiente y cobertura vegetal. Esta información aportará conocimiento sobre el riesgo de erosión en la cuenca alta del río Rímac.

Justificación Académica

La investigación sirve de punto de partida para nuevas investigaciones que pueden realizarse a nivel pregrado y postgrado, además de un tema de un gran interés para profesionales e interesados en temas sobre el estudio del clima, meteorología y afines. Se tiene registro de información con fines académicos, para proponer, buscar soluciones y medidas que pueden ser anticipadas antes de la ocurrencia de los

diferentes fenómenos, desastres por los cuales atraviesa nuestro planeta, como el de pérdida de suelos por procesos de erosión.

Justificación Tecnológica

En la presente investigación se utilizó Sistemas de Información Geográfica, que facilitan la obtención de mapas de erosión, además el modelo CORINE permite el estudio de áreas a través de imágenes satelitales, es una tecnología de mucha ayuda para éste tipo de estudios. El aprovechar las condiciones naturales del planeta el uso de tecnologías para estudios de cubierta vegetal y el seguimiento de procesos de erosión, éstos modelos permiten realizar un monitoreo constante para tomar medidas de prevención.

1.3.2 Importancia

El proceso de erosión podría significar una pérdida definitiva de los suelos, teniendo en consideración que el suelo es de vital importancia para sostener la vida en el planeta; conocer del riesgo de erosión de nuestros suelos significa un gran aporte para la toma de medidas de prevención. El modelo CORINE nos permite conocer el riesgo de erosión actual y potencial que gracias a imágenes satelitales facilita el estudio de áreas de mayor extensión. Ésta investigación sirve a las instituciones implicadas en la conservación de suelos para tomar medidas preventivas.

1.4 Variables y operacionalización

Variables:

- Riesgo de erosión potencial y actual.
- Precipitación (erosividad climática).
- Suelo (erodabilidad del suelo).
- Topografía (pendiente).
- Cobertura vegetal.

Para visualizar la operacionalización de variables (Ver Anexo N°08).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Artículos de investigación

En el artículo científico titulado “Evaluación de la erosión potencial de los suelos mediante el modelo CORINE en distritos pecuarios de la provincia Mayabeque, Cuba”, cuyo objetivo fue evaluar cualitativamente la erosión potencial en los suelos, utilizó el modelo CORINE que consistió en evaluar cuatro índices de diagnóstico: erodabilidad, erosividad, topográfico y de protección del suelo. Estos datos se procesaron mediante el álgebra de mapas en el SIG y permitieron obtener mapas de los índices de erosión potencial y actual. Para calcular la erosividad se utilizó el índice modificado de Fournier, para la erodabilidad del suelo se basó en la textura, profundidad y pedregosidad, también se determinó pendiente y protección del suelo. Entre sus resultados indican, en el distrito Guayabal predomina la clase de erodabilidad baja, mientras que, en Nazareno, la moderada, en el mapa del IMF se corrobora el grado de agresividad climática que caracteriza la región estudiada, con valores que fluctúan entre 180 y 220 para ambos distritos. Esos valores, según el modelo CORINE, se evalúan como muy altos e indican que la erosividad pluvial es, en general, elevada con influencia significativa en la generación del proceso erosivo. El mapa del índice topográfico muestra que en la región del distrito Guayabal predomina la categoría 1 (muy suave), por el contrario, en Nazareno están representadas las clases muy suave, suave e inclinada. La integración de los índices de erodabilidad, erosividad y topográfico aportó los valores de erosión potencial para la región investigada ya que en el mapa del índice de erosión potencial el distrito Guayabal, con primacía de los

suelos ferralíticos rojos, se clasificó con predominio de la categoría baja. El estudio aporta a la investigación con la modelo CORINE, que se encarga de unir diversos factores para determinar cualitativamente la erosión de los suelos (10).

En el artículo científico titulado “Estimación del aporte de la erosión hídrica al azolve del embalse Mampostón”, cuyo objetivo fue identificar los sectores más susceptibles a la erosión hídrica. Se seleccionó el embalse Mampostón en la provincia Mayabeque, Cuba, para estimar las pérdidas de suelo producto de la erosión hídrica de su cuenca tributante, que contribuyen a su azolvamiento donde se aplicó el modelo CORINE para obtener el mapa del Índice de Erosión Actual e identificar los sectores con categorías elevadas donde se trazaron perfiles para cuantificar, con el modelo MMF, el volumen de sedimentos que llega al embalse. Presenta como resultado que: las laderas Norte y Sur como las más susceptibles a la erosión hídrica con pérdidas de suelo anual de 388,7 kg/m² (3887 t/ha), contribuyendo al azolvamiento del embalse en un 0,9 % anual. A la investigación aporta con la metodología en donde los índices de erodabilidad, erosividad, topográfico y de protección del suelo y seguidamente una modelación cartográfica en SIG muestran los resultados de erosión (11).

En el artículo científico titulado “Determinación de Índices de Erosión De Suelos Aplicando Análisis SIG para la localidad de San Andrés en la provincia de Pinar del Río”, cuyo objetivo general consiste en hacer disponibles estos resultados en forma de mapas de suelo para su uso por decisores de diferentes ámbitos como autoridades políticas y proyectos de investigación en ejecución. Utilizó el modelo CORINE el cual aporta un modelo del cual se utiliza el procedimiento para calcular cuatro índices relacionados con el comportamiento de los elementos: erosividad (a partir de la intensidad y cantidad de precipitaciones), erodabilidad (a partir de la profundidad, textura y pedregosidad de los suelos), topografía (a partir de las pendientes) y cubierta vegetal. A partir de ellos se calculan los índices de riesgo de erosión actual y riesgo de erosión potencial. Presenta como resultado: en el índice de erosividad de los suelos donde el comportamiento de las precipitaciones en los periodos 1979- 1989 y 1990-2006 se observa un ligero incremento en los valores medios anuales (150.85 y 157.62, respectivamente). El Índice de Fournier modificado se incrementa en un 8.8 % (183.96 y 200.27, respectivamente), para el índice de erodabilidad de los suelos que para 1989 algo más de las dos terceras partes de los suelos clasificaban como moderadamente erodibles y menos de un tercio como altamente erodibles. Para 2005 no clasifican áreas de erodabilidad alta y aparece cerca del 50 % con erodabilidad baja. Los índices de riesgo de erosión potencial en los periodos evaluados cambiaron fundamentalmente debido a las modificaciones en la erodabilidad. Los índices de

riesgo de erosión actual sufrieron modificaciones en el área estudiada debido a los cambios en los índices de riesgo de erosión potencial y el resultado fundamental del estudio realizado es la obtención de los mapas de suelo de la localidad de San Andrés (parte occidental de la Sierra de los Órganos), los mapas abarcan los periodos hasta 1989 y hasta 2005. A la investigación el estudio aporta con la metodología y el objetivo de presentar mapas como resultado donde se puedan visualizar las áreas con susceptibilidad a erosionar (12).

En el artículo científico titulado “Mapa de erosión potencial en la cuenca hidrológica Grijalva-Usumacinta México mediante el uso de SIG”, cuyo objetivo fue generar mapas temáticos de los factores que provocan la erosión en la cuenca Grijalva-Usumacinta, utilizando como método de la investigación el procesamiento y generación de mapas temáticos a través de un Sistema de Información Geográfica (SIG), donde se interpolan los mapas de precipitación (PMA), uso actual de suelos (UAS), pendiente de las geomorfias (PPG) y clases de suelos (CS) obteniendo un mapa de erosión potencias (EP) donde se establecieron niveles de riesgo alto (A), medio (M) y bajo (B). Presenta como resultado que más del 50 % de la cuenca tienen geomorfias onduladas y escarpadas, los suelos son predominantemente someros, los cuales son fácilmente erosionables cuando son asociadas a precipitaciones intensas además se identificaron áreas de cubierta vegetal selvática es así que el mapa de (EP) de la cuenca indicó que más de 7 millones de hectáreas (83 %) presentan riesgo de erosión de Medio a Alto, acentuándose en la parte Centro y Suroeste, mientras que en la parte Norte y Noreste se localizan 1.5 millones de hectáreas (17 %) que presentan riesgo bajo de erosión. El estudio aporta con la metodología para el procesamiento y generación de los mapas temáticos en donde su interpolación genera un mapa de riesgo de erosión. Además del uso necesario de Sistemas de Información Geográfica para determinar extensiones grandes de terreno usando solamente imágenes satelitales e información ya existente (13).

En el artículo científico titulado “Estimación espacial, temporal y económica de la pérdida de suelo por erosión hídrica superficial” en la cuenca hidrográfica localizada en el Partido de Tornquist, al sudoeste de la Provincia de Buenos Aires, cuyo objetivo fue realizar un diagnóstico espacial, temporal y económico de la pérdida de suelo por erosión hídrica superficial, utilizando como herramienta un Sistema de Información Geográfica, Utilizando el método de estimación cuantitativa fue el modelo USLE (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo), donde :A= pérdida de suelo por erosión pluvial ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$); R = factor índice de erosión pluvial o de erosionabilidad del aguacero ($\text{J cm m}^{-2} \text{ h}^{-1}$); K = factor de erodabilidad del suelo ($\text{Mg m}^2 \text{ h ha}^{-1} \text{ J}^{-1} \text{ cm}^{-1}$).

1); LS = factor topográfico, donde L: factor longitud de pendiente; S = factor pendiente; C = factor ordenación de cultivos; P = factor de control de erosión mediante prácticas de cultivo; valorándose el diferencial de margen bruto en una situación con y sin manejo sustentable, además para el diagnóstico espacial, temporal y económico de la erosión de la cuenca del arroyo Ventana se realizó mediante el uso de cartografía base y su incorporación en un GIS, para generar diferentes mapas temáticos, que fueron digitalizados a partir de dicha información analógica de referencia. Presenta como resultado que el material rocoso con una marcada impermeabilidad, las pronunciadas pendientes y la ausencia de prácticas agroforestales adecuadas, aumentó considerablemente los valores de escurrimiento, propiciando el consecuente incremento de la erosión hídrica superficial. Los resultados económicos mostraron que debido al elevado monto de quebranto anual regional (US\$ 217 000 000), se refuerza la importancia de generar un plan de ordenamiento territorial. Las consecuencias negativas de la pérdida de suelo no se plasmaron únicamente a nivel ecológico, sino también en el económico, ya que la productividad de los cultivos también sufrió una disminución de ingresos en los distintos sectores involucrados. El estudio aporta a la investigación con la metodología para la estimación cuantitativa de pérdida de suelos a través de USLE, además de la información de cómo la erosión puede afectar económicamente y donde se muestran escenarios de pérdida en s (US\$ $ha^{-1} \cdot año^{-1}$) (14).

En el artículo científico titulado “Erosión Actual y Potencial en Suelos Ácidos del Sur de España”, cuyos objetivos fueron conocer la situación actual de esta área natural frente a un problema tan común en áreas mediterráneas como es la erosión y saber en qué grado se agrava la erosión al variar las condiciones actuales (y por tanto los factores erosivos: erosionabilidad del suelo, cubierta vegetal y prácticas de conservación de forma individual o conjunta). Utilizando como metodología de investigación la estimación actual mediante RUSLE para la erosión actual y para la erosión potencial se aplicó el mismo método adaptada al área de estudio, siempre asignándoles valores máximos en cada factor. Presenta como resultado que el área de estudio no presenta tasas actuales de pérdida de suelo elevadas, el 93.2 % de la superficie tiene una pérdida de suelo inferior a $25 Mg ha^{-1}$, mientras que en el caso de una situación potencial, la pérdida de suelo sí sería importante ya que el 60.3 % de la superficie sufriría una erosión mayor de $25 Mg ha^{-1}$. De los tres factores potenciales estudiados, la cubierta vegetal constituye el factor potencial más sensible, convirtiéndose en el elemento que más peso aporta en el total. El estudio aporta a la investigación con la metodología para el análisis de datos, además de las formas de

calcular la erosión actual y potencial, ésta última que nos permite desarrollar una tendencia de cómo serían los resultados en un escenario futuro (15).

En el artículo científico “Evaluación del modelo USLE en la estimación de la erosión en seis localidades entre la IV y IX región de Chile”, cuyo objetivo de investigación fue estudiar la exactitud de la predicción de la erosión hídrica del modelo USLE, en diferentes situaciones agroecológicas, comprendidas entre la IV y IX Región de Chile, comparando las estimaciones de erosión proporcionadas por el modelo, con las respectivas mediciones de erosión obtenidas en parcelas experimentales por diferentes investigadores. La metodología empleada es USLE aplicado a datos de erosión medidos experimentalmente por diversos investigadores a partir de parcelas de erosión determinando los diversos factores de erosión y para probar la exactitud del modelo USLE en la predicción de la erosión hídrica, se comparó sus estimaciones con la erosión real, determinada experimentalmente en parcelas de erosión. Se utilizó como método de comparación la prueba de χ^2 de varianza hipotética, en que el requerimiento de exactitud se expresó en términos relativos (50 %) al valor real de erosión y con una probabilidad de 0,05 que esto no ocurra. Esta prueba de χ^2 rechaza las técnicas inexactas, independiente de la fuente de discrepancia o error (sesgo, falta de precisión o ambos). Para mejorar la forma en que se evaluó la exactitud del modelo USLE, la prueba de χ^2 se ajustó para hacer frente a dos situaciones. La primera correspondió con un ajuste en que se eliminó la presencia de un sesgo único o común a todos los valores de las estimaciones. La segunda, consideró que, en alguna situación particular, la magnitud del sesgo podría no ser constante sino aumentar o disminuir directamente en función del valor real, en cuyo caso la prueba de exactitud de una técnica libre de sesgo requirió un ajuste de regresión. Presenta como resultado en una primera etapa, la capacidad predictiva del modelo USLE se evaluó considerando simultáneamente las 42 situaciones agroecológicas. De esta evaluación se infirió que el modelo no proporcionó la exactitud requerida, (valor $p < 0.01$). Este resultado concordó con lo señalado por Morgan (1997), dado el alto número de situaciones agroecológicas con erosión inferior al umbral de $1,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ año}$. Posteriormente se evaluó la capacidad predictiva de USLE, considerando sólo aquellas situaciones agroecológicas en las cuales la erosión observada fue superior a $2,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ año}$, así de las 42 situaciones agroecológicas originales, sólo 19 cumplieron con la condición señalada. A la investigación aporta con algunos aspectos de la metodología USLE (16).

En el artículo científico titulado “Comparación de métodos en la estimación de erosión hídrica”, cuyo objetivo fue comparar los resultados obtenidos por ambos

métodos: directo e indirecto, para un área específica, y evaluar la precisión de este último; además, comparar los resultados obtenidos por el método indirecto con dos variantes en la estimación del factor de erosividad de la precipitación (R), utilizó un método directo y mediante la ecuación RUSLE: directo donde el diseño experimental utilizado fue un muestreo sistemático estratificado, con base en una clasificación geomorfológica; la cual se realizó mediante interpretación de las formas del relieve en fotografías aéreas y para estimar la pérdida de suelo superficial, se utilizó el método de los clavos con rondanas que consiste en utilizar clavos de 30 centímetros de largo con rondanas holgadas que se colocan cuidadosamente a lo largo de un transecto a intervalos regulares, de manera que la rondana descansa sobre la superficie del suelo y la cabeza del clavo la toque ligeramente y el método indirecto el cual se basó en la delimitación de unidades geomorfológicas, el método indirecto partió de la delimitación de unidades homogéneas en cuanto a tipo de suelo, pendiente, uso de suelo y vegetación, ya que éstas son las variables requeridas para aplicar las ecuaciones de estimación de pérdida de suelo que se utilizaron. La identificación y delimitación de los usos de suelo y vegetación se hizo utilizando las fotografías aéreas ya mencionadas; mientras que el mapa topográfico se utilizó para generar el mapa de pendientes. Presenta como resultado que: Los valores de erosión obtenidos por el método indirecto variante FAO, para la microcuenca en su conjunto, fueron estadísticamente iguales a los obtenidos por el método directo; a diferencia del método indirecto variante P/2, el cual resultó estadísticamente diferente de los otros dos, sobrestimando los valores de erosión. Sin embargo, al nivel de unidad geomorfológica, se observó que el método propuesto por FAO tiende a sobrestimar los valores reales en pendientes altas y a subestimarlos en pendientes bajas. Las diferencias más notorias se dan en las unidades donde se presentan cárcavas, las cuales no son consideradas en el método indirecto utilizado. A la investigación aporta con información sobre los métodos usados y las diferencias de sus aplicaciones (17).

En el artículo científico titulado “La lluvia y los deslizamientos de tierra en Antioquia: Análisis de su ocurrencia en las escalas interanual, intraanual y diaria” Colombia, cuyo objetivo fue estudiar la influencia de la precipitación, en las escalas interanual, intraanual y diaria, sobre el desencadenamiento de movimientos en masa, explorando la posible influencia de las dos fases del ENSO (El Niño y La Niña) sobre la variabilidad interanual para lograr avances significativos en los sistemas de alerta temprana y prevención de desastres, utilizando como método de investigación la dinámica lluvia-suelo que genera este tipo de eventos y avanzar hacia una aproximación matemática del fenómeno físico. Presenta como resultados

contundentes evidencias de la influencia del ENSO sobre la hidrología colombiana; el efecto de dicho fenómeno macroclimático como condición propicia y desencadenante sobre el número y magnitud de deslizamientos de tierra por año en Antioquia. Un análisis del número de deslizamientos de los años con eventos ENSO y sin ellos (denominados normales) ilustra una mayor cantidad de deslizamientos durante La Niña, mientras que “El Niño” reporta lo contrario. El estudio aporta una metodología de umbrales de lluvia antecedente que mediante una ecuación se mide el índice de riesgo para la ocurrencia de los deslizamientos, ocasionado por las precipitaciones. Pues la precipitación acumulada es importante a la hora de desencadenarse un deslizamiento (18).

En el artículo científico titulado “Los efectos del fenómeno El Niño en la ocurrencia de una alta tasa de erosión costera en el sector de Punta Gorda, Esmeraldas”, cuyo objetivo fue cuantificar el retroceso de la línea de costa en un periodo de 30 años en el área de Punta Gorda, estudiar la formación de la plataforma de abrasión relacionada con este retroceso y el proceso de erosión para establecer su continuidad y características, utilizando como método de estudio la comparación de la posición de las líneas de costas de los años 1971, 1983 y 2001 para este último año fue establecida por dos métodos independientes: con GPS diferencial y distanciómetro de geodesia láser. Para las líneas de costa en 1971 y 1983 fueron determinadas con fotografías aéreas, además de llevarse a cabo salidas a campo para observar la morfología, la litología y las estructuras geológicas también se levantaron secciones topográficas de la plataforma de abrasión y de la zona de playa de arena formada después de 1975. Presenta como resultado que la erosión costera y el retroceso de la línea de costa en el área de estudio están en relación directa con la construcción de la plataforma de abrasión. La pendiente del acantilado varía entre 45 a 60 grados y es mantenida en desequilibrio por la erosión marina (la pendiente máxima de las colinas más adentro es del orden de los 30 grados, y son inestables solo en épocas de “El Niño”, con fuertes y prolongadas lluvias). Los parámetros que influyen en la erosión del acantilado son los deslizamientos, la litología, las fracturas y más localmente el viento y las olas. Los deslizamientos no están directamente relacionados a la erosión marina, pero sí a las precipitaciones y a la infiltración del agua en la parte más alta del acantilado, lo que aparece principalmente en épocas de “El Niño”. El estudio aporta con información relevante sobre el comportamiento compensatorio del fenómeno “El Niño” pues rompe las estructuras y estabilidad del acantilado, ayudando a limpiar más fácilmente y más rápidamente el material derrumbado (19).

En el artículo científico titulado “Impactos de El Niño Y La Niña en las Lluvias del Perú (1965-2007)”, cuyo objetivo fue describir los impactos de la TSM en el pacífico ecuatorial en los patrones de lluvia tanto a escala anual (año hidrológico) como a escala estacional, a través de todo el territorio peruano considerando una gran red de estaciones (155) analizadas por su distribución en vertientes hidrológicas. La metodología utilizada en este estudio comprende las siguientes etapas: a) Para la relación entre el ENSO y las anomalías de precipitación b) Para la identificación de los principales modos de variabilidad pluviométrica y su relación con la TSM del pacífico ecuatorial. Presenta como resultado que los impactos de ENF describen fuertes anomalías positivas de precipitación en la zona norte de la VP, así como anomalías negativas en el sur de la VP y la VT. Los trimestres que presentaron estaciones con anomalías significativas en mayor número fueron DEF y MAM (estaciones lluviosas) ambos también para los eventos ENF y LNF, pero sobre todo en la VP y VT. Adicionalmente se identificaron los principales modos de variabilidad pluviométrica en el Perú mediante la técnica de funciones ortogonales empíricas. La señal del IOS, no es relevante en caracterizar las lluvias, excepto en algunas estaciones y para algunas zonas características como el norte y sur de la VP y la VT. Este trabajo aporta como perspectiva tratar de manera conjunta la variabilidad de la TSM en el Pacífico ecuatorial y en el Atlántico tropical, sugiriendo el análisis de la circulación atmosférica y sus mecanismos relacionados con las lluvias en el Perú. Además, con información sobre el impacto del “El Niño” y “La Niña” en las lluvias del Perú (20).

2.1.2 Tesis de investigación

En la tesis titulada “Evaluación y Análisis del Riesgo de Erosión Hídrica en la Microcuenca Abastecedora Quebrada La Esperanza Municipio de Ocaña, Norte de Santander”, realizado en la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña-Colombia. La investigación parte del conocimiento de áreas susceptibles al problema de erosión en la microcuenca quebrada La Esperanza, por acción antropogénica en su mayor proporción. Su objetivo fue realizar la evaluación y el análisis del riesgo de erosión hídrica en la microcuenca abastecedora Quebrada la Esperanza municipio de Ocaña, Norte de Santander, además de determinar los mecanismos y factores que se presentan en el área geográfica mencionada anteriormente. El método utilizado en la tesis fue la ecuación universal de pérdida del suelo (USLE), para determinar la erosión del suelo en función a sus factores de erosividad, susceptibilidad de erosión del suelo, longitud de pendiente, magnitud de la pendiente, cobertura vegetal y prácticas de apoyo de conservación del suelo. El estudio tiene aporte teórico y metodológico pues explica lo siguiente (21):

- La forma correcta de la USLE – RUSLE, como ecuación empírica que busca establecer el comportamiento erosivo de un lugar específico, por medio de la implementación de los sistemas de información geográfica.
- De la metodología, aplica factores que afectan la erosión las cuales son: relieve, clima, suelo y uso del suelo.

La tesis ofrece los siguientes resultados que bajo las anteriores condiciones el cálculo de la USLE, incorporada al software SIG, la tasa erosiva media es de 85tm/Ha/año, oscilando entre las 3 y las 220tm , las pendientes elevadas que caracterizan el lugar, junto con las condiciones climáticas propias de la zona y el mal manejo de los suelos por parte de los habitantes y productores de la zona determinaron medianas tasas erosivas aproximadamente del 61,30 % del territorio de la microcuenca presenta perdidas de suelo mientras que la erosión nula o moderada afecta al 4,5 %. En tal sentido el aporte que ofrece en su marco teórico y metodológico para el estudio del factor de erodabilidad el cual aplicaré en la investigación que realizo.

En la tesis titulada “Evaluación del Riesgo de Erosión Potencial y la Cobertura Vegetal para Estimar el Riesgo de Erosión Actual con el uso del SIG de los Suelos de la zona de Tucuran y Marap- Yungay” Realizado en la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo"- Huaraz. La investigación parte del problema de erosión de los suelos ya que es uno de los procesos más relevantes en la pérdida de la capacidad productiva de la tierra, las causas principales son por diversos factores como naturales y antrópicos. El objetivo de estimar el índice de riesgo de erosión actual de los suelos. La metodología utilizada fue el método cualitativo de determinación de riesgos de erosión CORINE utilizando el Sistema de Información Geográfica (SIG); el método nos permite la evaluación de cuatro índices como la erodabilidad de los suelos (textura, pedregosidad y profundidad), erosividad climática (Índice de Fournier modificado), pendientes (topografía) y la cobertura vegetal. El estudio aporta con una metodología apropiada para la determinación del riesgo de erosión hídrica. Además, la metodología tiene las siguientes características(22):

- La estimación de la erosión según este método CORINE se efectúa en dos etapas: En primer lugar, se calcula el riesgo de erosión potencial adicionando los índices de erodabilidad del suelo, erosividad climática y pendiente, obteniéndose la susceptibilidad potencial del terreno frente a la erosión sin considerar la cobertura vegetal; a continuación, el riesgo de erosión potencial se modifica según el índice de cobertura del suelo, obteniéndose el índice de erosión actual

- Para el índice de erosividad climática se determina calculando el índice de Fournier modificado y a través de valores asignados para éste para determinar su clase.

La tesis ofrece los siguientes resultados, los índices de riesgo de erosión actual para el periodo 1986-1993 donde el 40.10 % del área de estudio la erosión actual es baja, el 57.62 % es moderado y el 2.28 % es alto, además en los índices de riesgo de erosión actual para el periodo 2002-2011, el 33.84 % del área de estudio es de riesgo bajo, 36.24 % es moderado y 29.92 % es alto; estos resultados son visualizados en los planos adjuntos en la tesis. El estudio aporta con la metodología para determinar el riesgo de erosión hídrica, el cual será utilizado en el desarrollo de la tesis.

En la tesis titulada “Estado Actual y Potencial de degradación física de la tierra por procesos de Erosión Hídrica en el Parque Nacional El Leoncito, San Juan, Argentina.”, realizado en la Universidad Nacional de Cuyo-Argentina. La investigación parte del problema Las tierras semiáridas con un uso histórico agrícola o pecuario intensivo y que ahora poseen un uso restringido como es el caso del Parque Nacional El Leoncito, pueden ser vulnerables a la erosión. El objetivo general de este trabajo es evaluar el estado actual y potencial de degradación física de la tierra por procesos de erosión hídrica causados por el uso histórico agropecuario, en el Parque Nacional El Leoncito y proponer pautas de manejo para el control y mitigación de la erosión hídrica. La metodología aplicada involucró la recopilación bibliográfica, la adquisición e interpretación de imágenes satelitales y de modelos digitales de elevación, la adquisición de bases de datos geográficas de suelo, el muestreo a campo para la caracterización de las condiciones edáficas en laboratorio (granulometría, materia orgánica y calcáreo), la observación de elementos del paisaje (cobertura vegetal y pedregosidad superficial), y la presencia y magnitud de signos de erosión. Se realizaron análisis estadísticos de las variables edáficas. A partir de la información obtenida se crearon mapas temáticos y se evaluó el riesgo de erosión aplicando el método CORINE-CEC (1992) a escala de la zona de uso histórico lindante a El Leoncito y a nivel de todo el Parque Nacional. El estudio aporta con un marco teórico y una metodología apropiada para la determinación del riesgo de erosión hídrica. Además, la metodología tiene las siguientes características (23):

- El método aplicado para la valoración de la erosión está basado en los criterios utilizados dentro del Programa CORINE-CEC de tipo cualitativo, los cuales tienen como fin la previa identificación de sectores con características y grados de intensidad erosiva semejantes, a los fines de priorizar las actuaciones en las áreas más críticas.

- Para calcular el riesgo de erosión el método requiere tener en cuenta el factor topográfico y la cobertura vegetal. Con respecto a la pendiente, en el método de medición de erosión CORINE, la misma se define únicamente en términos del valor medio del ángulo de la pendiente en cada unidad homogénea.

Los resultados arrojaron que, del total de la superficie considerada relacionada con la zona de uso histórico, el 83 % se clasifica como con riesgo potencial de erosión moderado y 17 % con riesgo potencial de erosión alto. Si tenemos en cuenta el riesgo real, el 70 % presenta un riesgo bajo, el 25 % un riesgo moderado y el 5 % un riesgo alto. Con respecto al análisis del total del parque se encontró que la zona central presenta un riesgo moderado de erosión, mientras que el resto exhibe un alto riesgo potencial de erosión y lo mismo se mantiene para el riesgo real de erosión. El estudio aporta con la metodología para determinar el riesgo de erosión hídrica, el cual será utilizado en el desarrollo de la tesis.

En la tesis titulada “Análisis de Pérdida de Suelos por Erosión Hídrica en la Subcuenca Conduriri mediante la metodología RUSLE, 1980 – 2014”, realizado en la UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO- Puno. La tesis parte del problema de la pérdida actual del recurso suelo por acción de la erosión hídrica en la subcuenca Conduriri. El objetivo fue estimar la pérdida de suelos por erosión hídrica en la subcuenca Conduriri, mediante la aplicación de la metodología RUSLE durante el periodo 1980 - 2014. El estudio tiene aporte teórico sobre la metodología, pues menciona lo siguiente (24):

- Uno de los factores que determinan la erosión es la agresividad o erosividad de la lluvia; se define como la capacidad potencial de la precipitación, de causar erosión en un período determinado de tiempo
- El factor K representa el efecto de las propiedades y de las características del perfil del suelo en la pérdida del mismo, dependiendo marcadamente de la capacidad de infiltración y de la resistencia del suelo a la degradación estructural que puede conducir a la reducción de infiltración, ya que el suelo es menos capaz de absorber el agua suministrada en la superficie de la tierra, el escurrimiento superficial es acrecentado y la erosión hídrica se presenta. A la vez, la capacidad de infiltración y la resistencia a la degradación estructural de la superficie están influenciadas por muchas propiedades del suelo como la porosidad, resultado de la formación de la estructura del suelo que se presenta estable y desarrollada por la presencia de moderadas cantidades de arcilla, materia orgánica y por óxidos de hierro.

La tesis presenta los siguientes resultados el índice de erosividad o factor R, oscila entre 95.247 – 109.766 $Mj \cdot mm/ha \cdot h \cdot año$ para toda la subcuenca Conduriri, obteniéndose los valores más altos en las zonas de mayor altura y mayor precipitación. El estudio aporta con la información importante sobre el factor de erosividad hídrica, el cual sirve de gran ayuda en el desarrollo de la tesis.

En la tesis titulada “Análisis Espacio - Temporal de Erosión de Suelos por Regiones Hidrológicas en el Perú (1981 - 2014)”, realizado en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. La tesis se basa en el problema de la degradación de suelos por erosión hídrica elimina la capa superficial del suelo, reduce los niveles de materia orgánica y contribuye a la destrucción de la estructura del suelo, aumentando el riesgo por erosión. El objetivo de este estudio fue analizar espacial y temporalmente la erosión de suelos por Regiones Hidrológicas. La metodología aplicada para esta investigación es la Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), su aplicación hace uso de factores que fueron obtenidos y procesados a través de sistemas de Información Geográfica (SIG). El estudio aporta con fuentes de información , a continuación los siguiente (25):

- SoilGrids1km esta es una colección de mapas sobre propiedades y clase de suelos actualizable del mundo con una resolución de 1km y 250 m (incorporado recientemente este año 2016) de resolución espacial producida utilizando la cartografía automatizada del suelo basada en algoritmos de aprendizaje automático.
- PISCO – precipitación v0.1 es el producto resultado de la combinación (“merging”) entre los datos de precipitación estimados por el satélite del producto CHIRPS (“Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations”) y los datos de precipitación observada de la red de estaciones meteorológicas del SENAMHI (25).

La tesis presenta el siguiente resultado en relación a la cuenca del río Rímac: La Región Hidrológica Pacífico 6, los valores que llegan hasta los 110 $Tn/ha/año$ aproximadamente para el año 1998, y su promedio multianual es de 30.9 $Tn/ha/año$ para todo el periodo de estudio (1981-2014). A la investigación aporta con información de fuentes de recolección de datos para poder corroborar los datos en campo, de gran utilidad para la presente tesis.

2.1.3 Artículos de divulgación científica

En el trabajo de Piscitelli (26), realizado sobre Degradación de suelos. Este estudio sobre el proceso de degradación menciona lo siguiente: “Si cambiamos las interrelaciones de un ambiente, generamos otras, que pueden conducir a que se

favorezcan procesos a “ritmos” o “velocidades” que el suelo no está en condiciones de soportar y conducimos al mismo a su degradación.” Lo que conlleva a disminuir su capacidad productiva inicial, entre ellos se encuentra el de erosión, el cual explica que éste proceso se produce pérdida de suelo, y ésta puede ser mínimamente imperceptible o bien de gran envergadura cada vez que ocurre el proceso. El agente del clima que “mueve” al suelo desde su lugar original puede ser el agua y en este caso nos referimos al proceso de “erosión hídrica” o bien el viento y entonces nos referimos a “erosión eólica”. Además, es uno de los procesos más frecuentes y de mayor relevancia debido a que el tiempo que se necesita para volver a generar unos pocos centímetros de suelo perdidos suele ser similar al de una generación humana. El suelo perdido es la fracción más superficial y por ende la más rica en nutrientes. Tanto la erosión hídrica como eólica se encuentran ampliamente generalizados en las tierras agrícolas de nuestra República Argentina.

En el trabajo sobre la distribución de las lluvias en la vertiente del Pacífico peruano y su relación con “El Niño” (27). Explica cómo son las consecuencias del aumento de gases contaminantes que ha contribuido al cambio climático, el aumento de las temperaturas del aire, así también la del océano que ha desencadenado deshielo del Antártida como también el aumento del promedio mundial del nivel del mar, estas consecuencias también generan fenómenos tal como el de “EL Niño” que desencadena muy probablemente precipitaciones recurrentes e intensas, olas de calor que afectan sistemas naturales y humanos. Aun se mantengan acuerdos y políticas de mitigación del cambio climático deberían de ser sostenibles, pero también las emisiones de los GEI están aumentando a pasos acelerados.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Fundamentos teóricos

2.2.1.1 La atmosfera

La atmosfera terrestre ha sufrido a lo largo de milenios un calentamiento anormal y tiene una tendencia positiva, es decir que el lugar donde se producen la gran parte de los procesos físicos y meteorológicos que altera el comportamiento normal de la tierra.

Además de registrar un calentamiento multidecenal notable, la temperatura media global en superficie muestra una variabilidad decenal e interanual considerable. Debido a la variabilidad natural, las tendencias basadas en períodos de registros cortos son muy sensibles a las fechas de inicio y final, y no reflejan en general las tendencias climáticas a largo plazo. Por ejemplo, la

tasa de calentamiento durante los últimos 15 años (0,05 [−0,05 a 0,15] °C por decenio, entre 1998 y 2012), que comienza con un fuerte efecto del fenómeno El Niño, es menor que la tasa registrada desde 1951 (0,12 [0,08 a 0,14] °C por decenio, entre 1951 y 2012) (28).

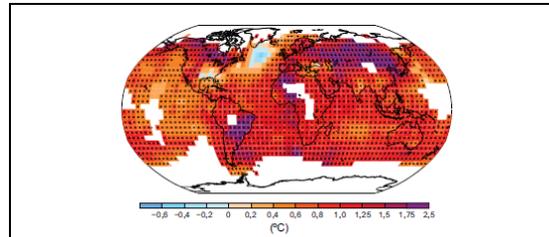


Figura 1. Cambio observado en la temperatura de la superficie, 1901-2012.

Fuente: (28)

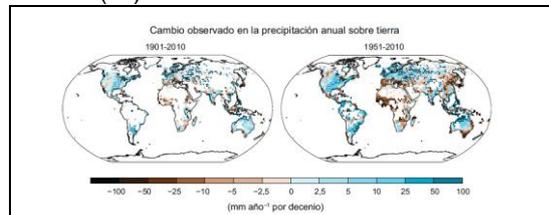


Figura 2. Mapas de los cambios observados en la precipitación, entre 1901y2010.

Fuente: (28)

2.2.1.2 Precipitación

Se define precipitación a toda forma de humedad, que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie terrestre. De acuerdo a esta definición, las lluvias, las granizadas, las garuas y las nevadas son formas distintas del mismo fenómeno de la precipitación. En Estados Unidos, la lluvia se identifica según su intensidad, en: ligera, para tasas de caída de hasta 2.5 mm/h - moderada, desde 2.5 hasta 7.6 mm/h - fuerte, por encima de 7.6 mm/h (29).

Las nubes son arrastradas por los vientos, algunas permanecen sobre los océanos y, otras, son trasladadas hacia los continentes. En estos movimientos pueden enfriarse, por medio de los cuales las gotitas que forman las nubes se pueden agrandar, ya sea porque se juntan entre ellas o porque se aglomeran alrededor de partículas que flotan en la atmósfera. Al agrandarse, las gotas de agua caen por su propio peso hacia la superficie de la Tierra, provocando las precipitaciones. Las precipitaciones que se producen con temperaturas sobre 0°C, caen en forma de lluvia. Las gotas de lluvia se congelan si la temperatura es bajo 0°C y la precipitación es en forma de nieve o de granizo, estado sólido del agua. En relación al diseño hidrológico, la lluvia y la nieve tienen mayor importancia (30).

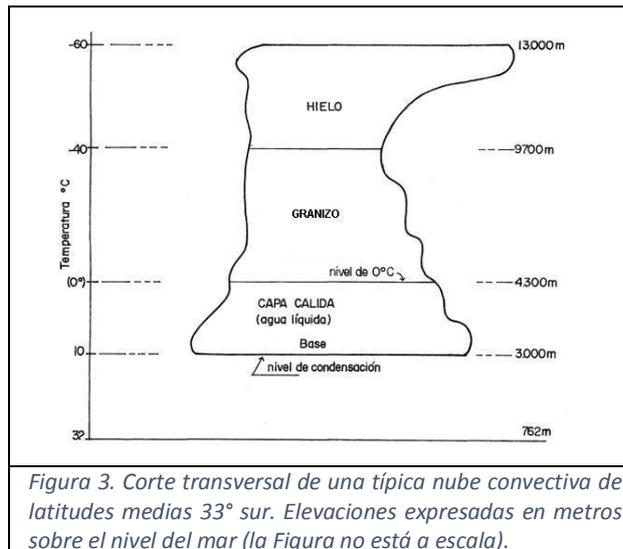
2.2.1.2.1 Tipos de precipitación

Las precipitaciones se clasifican en tres grupos según el factor responsable del levantamiento del aire que favorece el enfriamiento necesario para que se produzcan cantidades significativas de precipitación (29).

a) Precipitaciones convectivas

Son causadas por el ascenso de aire cálido más liviano que el aire frío de los alrededores. Las diferencias de temperatura pueden ser sobre todo el resultado de calentamientos diferenciales en la superficie o en la capa superior de la capa de aire. La precipitación convectiva es puntual y su intensidad puede variar entre aquella correspondiente a lloviznas ligeras y aguaceros (29).

El ascenso es causado por la elevación de aire cálido y húmedo, como resultado de una inestabilidad vertical en un centro de baja presión. Es decir, es un movimiento ascendente de una masa de aire sobrecalentado. Estas precipitaciones son muy localizadas y erráticas; se producen por nubes convectivas (cúmulo y cúmulonimbo) de gran desarrollo vertical. Estas nubes a menudo, se extienden a lo largo de la tropósfera y a veces penetran en la estratósfera. Dado que la altura de la tropósfera es menor a latitudes mayores (al acercarse a los polos), la altura de estas celdas o nubes convectivas varía con la latitud. En latitudes de 30° a 35° pueden variar de 15 a 23 km de altura sobre el nivel del mar mientras que en latitudes de 40° ó 45° presentan elevaciones menores. Las corrientes ascendentes en el interior de la nube pueden llegar a velocidades de 30 a 100 km/hora. Por ascenso convectivo se producen lluvias localizadas (chaparrones) de alta intensidad (40-120 mm/hora) y corta duración (30 minutos a 2 horas) con una típica distribución espacial de fuerte gradiente; son las típicas lluvias que producen granizo. La Figura 3 muestra el corte de una nube convectiva típica en Mendoza (Argentina) a 33° de latitud sur, con alta intensidad de lluvia y/o granizo. En realidad no siempre estos tipos de lluvias se presentan solas, frecuentemente vienen interrelacionadas, siendo difícil la identificación del tipo de lluvia que se presenta (30).



Fuente: (30)

b) Precipitaciones orográficas

Resultan del ascenso del aire cálido hacia una cadena de montañas. Las regiones que quedan del otro lado de las montañas pueden sufrir la ausencia de lluvias," puesto que todas las nubes son interceptadas y precipitadas en el lado de don de ellas provienen. Es el caso de la Selva Alta de nuestro país, la región más lluviosa, donde las nubes provienen de la Selva Baja (29).

Resulta del avance de aire húmedo (generalmente desde el mar) que es obligado a ascender por efecto de una cadena montañosa. La mayor parte de la precipitación se produce a barlovento de la cadena. Este efecto es muy notable en la zona central de Chile y Argentina. Los vientos húmedos del Pacífico al ascender, por efecto de la Cordillera de los Andes, se enfrían y condensan su humedad, siguiendo el gradiente adiabático húmedo, producen lluvia y nieve en valores que superan los 800 a 1000 mm anuales. El mismo viento desprovisto de buena parte de su humedad desciende por el lado argentino de sotavento siguiendo el gradiente adiabático seco, adquiriendo entonces mayor temperatura e induciendo en los valles argentinos de La Rioja, San Juan y Mendoza (principalmente) condiciones de viento seco y cálido, tipo Föhn que recibe el nombre local de "Viento Zonda". Estos valles de sotavento tienen precipitaciones entre 150 y 250 mm anuales. Este efecto es muy frecuente en numerosas regiones del mundo, como la parte frontal de Los Alpes de Italia, la parte occidental de las Montañas Rocallosas en Canadá y en Estados Unidos. En general, y salvo condiciones afectadas por

fenómenos locales, las vertientes de barlovento de zonas montañosas tienen mayor nubosidad y lluvia y rangos de temperaturas menores. Las regiones de sotavento por el contrario, tienen climas más áridos y mayores rangos de temperaturas (30).

c) Precipitaciones ciclónicas.

Se producen cuando hay un encuentro de nubes de diferentes temperaturas: las más calientes son impulsadas a las partes más altas donde precipitan (29).

Resulta del ascenso de la masa de aire cálido como consecuencia de la colisión de aire cálido y liviano con aire frío y más pesado. Este proceso está asociado a zonas de baja presión atmosférica, las cuales se convierten en centros de atracción de vientos. La precipitación ciclónica puede ser no frontal y frontal. • La precipitación ciclónica no frontal resulta de una convergencia y ascenso de la masa de aire, asociada a un área de baja presión atmosférica que produce lluvia (o nieve) de moderada intensidad, pero de considerable duración. En regiones extratropicales estas precipitaciones pueden tener una duración de 24 a 72 horas con una lluvia total de hasta 150 mm. En el caso de regiones tropicales su duración puede ser entre 12 y 24 horas con una lluvia total de hasta 350 mm. • La precipitación ciclónica frontal está relacionada con el avance, hacia una región, de masas de aire frío (frente frío) o cálido (frente cálido). Existe también, el encuentro de dos frentes fríos que producen el ascenso del aire cálido (frente ocluido). Un frente se define como la superficie de separación entre masas de aire de diferente temperatura y densidad. La Figura 4 explica esquemáticamente los diferentes tipos de frentes y sus características en relación con la precipitación (30).

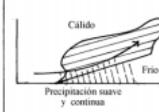
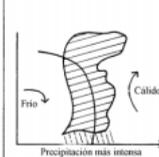
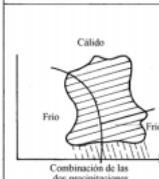
Nombre	Esquema	Velocidad	Pendiente	Extensión
Frente Cálido		15-45 km/h	1 : 100 1 : 400	300 a 500 km
Frente Frio		30-80 km/h	1 : 25 1 : 100	200 a 250 km
Frente Ocluido		10-45 km/h	ambos	600 a 800 km

Figura 4. Tipos de precipitaciones frontales.

Fuente: (30)

2.2.1.2.2 Fenómeno violento; Tormentas

Las tormentas son fenómenos convectivos que producen precipitaciones intensas de gran intensidad, baja frecuencia temporal y aparente distribución espacial. Por su formación son procesos hidrometeorológicos que provocan peligros naturales del tipo geomorfológico, como procesos de erosión superficial, movimientos de masa, inundaciones fluviales, arroyamiento torrencial, y cambio en los cauces y en las llanuras aluviales, que desencadenan desastres, afectando a la población, vivienda e infraestructura (31).

Las tormentas son consideradas como un fenómeno violento, pueden dividirse en tormentas organizadas y tormentas locales, éstas últimas son de duración corta entre una o dos horas y se forman por pocas células convectivas, sus fases son tres y se muestran a continuación:

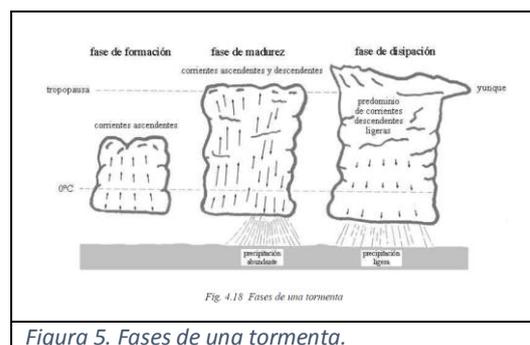


Figura 5. Fases de una tormenta.

Fuente: (30)

En una atmosfera inestable o condicionalmente inestable, cuando un volumen de aire alcanza una velocidad inicial ascendente a causa de la acción de un frente, de una barrera orográfica, o por causas térmicas, se pone en movimiento una corriente convectiva. El aire es acelerado hacia arriba y llega a su nivel de condensación por elevación. A medida que la condensación comienza a formar gotitas de las nubes, el calor latente se desprende y el empuje ascendente que la partícula de aire tenía inicialmente aumenta por la expansión y por la disminución de su densidad, hasta que toda la masa puede estar en desequilibrio térmico con el aire que la rodea. Estamos en la fase de formación de la tormenta, donde predominan las corrientes ascendentes, las cuales alcanzan normalmente velocidades de 10 m/s y pueden llegar a los 30 m/s o más. El desprendimiento constante de calor latente es una aportación continua de energía que acelera el movimiento ascendente. Mientras el aire continua ascendiendo aumentan las dimensiones de la nube, la cual se encuentra aún en estado de cúmulo, con gotitas de agua que están creciendo (32).

A medida que la nube va aumentando de tamaño, las corrientes ascendentes se van haciendo mas intensas. Al llegar al nivel de la isoterma de 0°C por el crecimiento vertical de la célula comienzan a formarse cristallitos de hielo que se desarrollan muy rápidamente a costa de las gotitas de agua sobreenfriada(en estado de subfusión, liquidas por debajo de los 0°C) y pueden aún ser sostenidos por las corrientes ascendentes (32).

En la parte superior de la célula, donde el empuje ascendente es pequeño y existen grandes cantidades de agua líquida y de cristales de hielo, comienza un movimiento descendente que se va extendiendo progresivamente. Entonces se dice que la nube ha alcanzado el estado de madurez. En este estado coexisten las corrientes ascendentes y descendentes y en la superficie llueve intensamente (32).

El grosor de la nube convectiva depende del gradiente de temperatura del ambiente, de la humedad de la atmosfera y del volumen de la masa de aire que se eleva. Si existe una inversión de temperatura en altura, puede actuar como una barrera estable y evitar que la convección continúe. En algunos casos, la corriente ascendente se acelera hasta que se encuentra con la capa de estabilidad situada en la base de la

estratosfera, a una altura de unos 15 km. Lo mas frecuente es que la cima de las nubes de tormenta, los cumulonimbos, se encuentre a unos 10km, con la parte superior en forma de yungue, formada por cristales de hielo (32).

La fase de disipación comienza cuando disminuye el suministro de calor latente porque la humedad de la célula ya que se ha condensado. Las corrientes frías descendentes comienzan a predominar sobre las ascendentes y la nube acaba por disiparse. En su estado final, la nube presenta sólo débiles corrientes descendentes y en la superficie la lluvia es ligera (32).

2.2.1.3 Eventos climáticos

2.2.1.3.1 Fenómeno “El Niño”

2.2.1.3.1.1 Evolución de la definición de “El Niño”-ENOS

El significado del fenómeno “El Niño” ha ido cambiando a lo largo de los años. En algunos países de Sudamérica como Perú y Ecuador, se denomina “El Niño” al incremento de la Temperatura Superficial del agua del Mar (TSM) en el litoral de la costa oeste de Sudamérica con ocurrencia de lluvias intensas. Antes, era considerado como un fenómeno local. Actualmente, se le reconoce como el principal modulador de la variabilidad climática interanual en todo el mundo. El término “El Niño” comprende los cambios observados en la TSM en el Pacífico ecuatorial central, así como los cambios de la presión atmosférica en el Pacífico, desde Australia (Darwin) hasta Tahití (Pacífico tropical central – oriental) (33).

“El Niño” es la resultante de la interacción de dos fenómenos, el oceánico, la corriente de “El Niño” (originada por ciertas variaciones de la temperatura superficial del mar), y el atmosférico, la llamada Oscilación Sur (debida a cambios en la presión atmosférica), que explican la denominación actual del fenómeno: “El Niño”, Oscilación Sur (ENOS). Los cambios relacionados con ENOS producen grandes variaciones en las condiciones del tiempo y del clima en todo el planeta. A su vez, en algunas ocasiones estas repercuten profundamente sobre la sociedad al causar sequías, inundaciones, olas de calor y

otros meteoros que pueden desorganizar gravemente la agricultura, la pesca, las condiciones ambientales en general y, por ende, la salud, el suministro de energía y la calidad del aire (34).

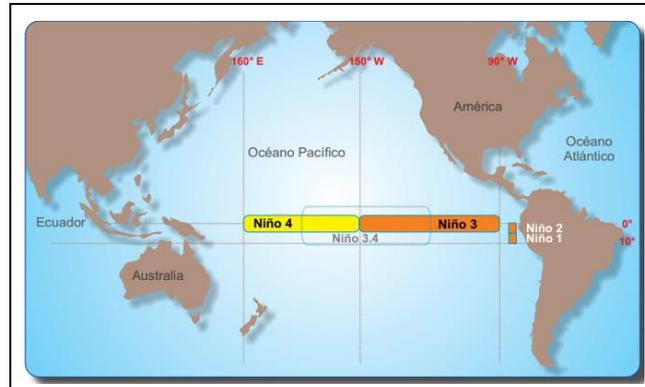


Figura 6. Las cuatro regiones del Océano Pacífico en las que los científicos centran su atención para estudiar los vientos, las temperaturas de la superficie del mar y las precipitaciones.

Fuente: (34).

2.2.1.3.1.2 Fases

a) El Niño

Un calentamiento de la superficie del océano, o temperaturas superiores a la media de la superficie del mar (SST), en el Océano Pacífico tropical central y oriental. Sobre Indonesia, las precipitaciones tienden a ser reducidas mientras que las precipitaciones aumentan sobre el Océano Pacífico tropical. Los vientos superficiales de bajo nivel, que normalmente soplan de este a oeste a lo largo del ecuador ("vientos del este"), se debilitan o, en algunos casos, comienzan a soplar en la otra dirección (de oeste a este o "vientos del oeste") (35).

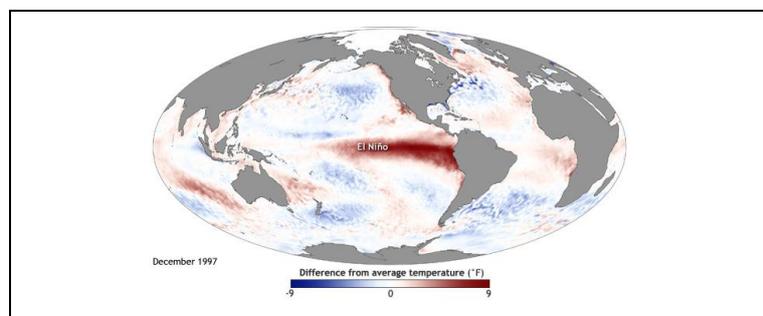
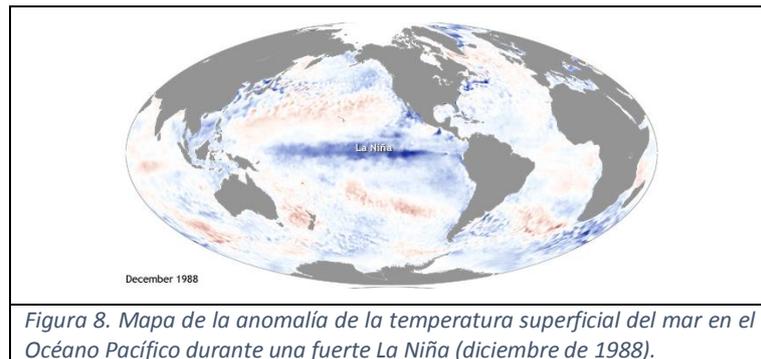


Figura 7. Mapa de la anomalía de la temperatura superficial del mar en el Océano Pacífico durante un fuerte "El Niño" (diciembre de 1997).

Fuente: (35)

b) La Niña

Un enfriamiento de la superficie del océano, o temperaturas por debajo de la media de la superficie del mar (SST), en el Océano Pacífico tropical central y oriental. Sobre Indonesia, las precipitaciones tienden a aumentar mientras que las precipitaciones disminuyen sobre el Océano Pacífico tropical central. Los vientos normales del este a lo largo del ecuador se vuelven aún más fuertes (35).



Fuente: (35)

c) Neutral

Ni “El Niño” ni “La Niña”. A menudo, las TSM tropicales del Pacífico están generalmente cerca del promedio. Sin embargo, hay algunos casos en que el océano puede parecer que está en un estado de “El Niño” o “La Niña”, pero la atmósfera no está jugando a lo largo (o viceversa) (35).

2.2.1.4 Erosión

Es el desgaste que se produce en la superficie del suelo por la acción de agentes externos (como el viento o agua) o por la fricción continua de otros cuerpos; no obstante, ciertas actividades humanas pueden agravar y acelerar en gran medida (22).

2.2.1.4.1 Tipos de erosión

- a) Erosión Natural o Geológica: Es aquella que ocurre como consecuencia solamente de las fuerzas de la naturaleza y cuyas tasas de ocurrencia generalmente bajas. Los principales tipos de erosión son: hídrica (Pluvial, fluvial, marina, glacial, cársica), eólica y gravitacional (25).

b) Erosión Acelerada o Inducida (Antrópica): Es aquella en la se agrega la acción del hombre a la acción de los agentes naturales. Este tipo de erosión es propiciado por el mal manejo del suelo (25).

2.2.1.4.2 El proceso de erosión

Del latín “*erosio*”, la erosión es el desgaste que se produce en la superficie del suelo por la acción de agentes externos (como el viento o el agua) o por la fricción continua de otros cuerpos. La erosión hídrica es el proceso por el cual se produce el desprendimiento, transporte y deposición de las partículas de suelo por acción de los siguientes agentes principales (36).

A. La energía cinética de la gota de lluvia

La energía de las lluvias se disipa sobre la superficie del suelo produciendo la ruptura de los terrones y agregados, generando una salpicadura (erosión por salpicadura) que desprende partículas que luego son arrastradas pendiente abajo. Este fenómeno de disipación de la energía de la lluvia está relacionado a la pérdida de infiltración del suelo (36).

B. La escorrentía en movimiento

Este agente erosivo produce el desprendimiento de nuevo suelo y el transporte del suelo removido, en una magnitud proporcional al caudal escurrido y a la velocidad que adquiere el flujo de agua sobre la superficie. Este agente produce los fenómenos erosivos más visibles (por ejemplo, cárcavas), y es el responsable del movimiento de las partículas de suelo removidas. Pueden distinguirse dentro de la escorrentía dos tipos de flujo: el flujo laminar (erosión laminar o mantiforme), que se mueve con una velocidad lenta, y el flujo turbulento/concentrado o flujo en surcos (erosión en surcos), con una velocidad que puede llegar a 4 m/s, y que es el responsable de la mayor parte del transporte de sedimentos. La energía puesta en juego en cada tipo de erosión, y la magnitud del transporte de sedimentos generada por cada una de ellas se indica en la Tabla 1 (36).

Tabla 1. Energía y eficiencia de cada forma de erosión hídrica.

Forma de erosión	Masa*	Velocidad típica (m/s)	Energía cinética **	Energía para erosión***	Transporte de sedimentos observado (g/cm)****
Salpicadura (gota de lluvia)	R	9	40.5 R	0,081 R	20
Mantiforme (laminar)	0.5 R	0.01	$2.5 \times 10^{-5} R$	$7.5 \times 10^{-7} R$	400
Surcos (turbulento)	0.5 R	4	4R	0,12 R	19000

*Se asume que la masa es igual a la lluvia R, y que el escurrimiento es el 50 % de la lluvia (0.5 R)

** Basada en $\frac{1}{2} m V^2$

*** Se asume que el 0,2 % de la energía de la gota y el 3 % de la energía cinética del escurrimiento es utilizada para causar erosión.

**** Valores medidos durante 900 días, para un suelo arenoso, en una pendiente del 19 %.

Fuente: (36)

C. La gravedad

La sola acción de la gravedad es capaz de mover el suelo, especialmente cuando está mojado y en ambientes de altas pendientes. Los movimientos en masa, deslizamientos de laderas, erosión lateral de meandros de ríos, avalanchas de nieve son ejemplos de la acción de la gravedad en procesos erosivos (36).

En la Tabla 1 se explica que las gotas de lluvia influyen en el desprendimiento mucho más que al transporte. La erosión hídrica además de los procesos de desprendimiento, transporte y sedimentación son un fenómeno complejo y dinámico en el tiempo, además de ser estudiado a diversas escalas. El escurrimiento y la lluvia influyen en la capacidad de transporte de sedimentos y desprendimiento del suelo los cuales pueden explicar y determinar la cantidad de suelo que tiende a perderse (36).

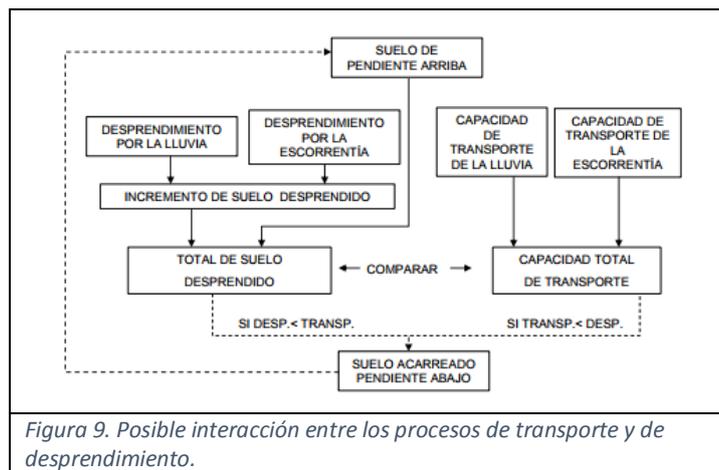


Figura 9. Posible interacción entre los procesos de transporte y de desprendimiento.

Fuente: (36).

El desprendimiento por la lluvia

Se da principalmente en la erosión por salpicadura, la cual actúa sobre los agregados del suelo, desestabilizándolos y generando costras y sellos

superficiales, afectando principalmente a la tasa de infiltración. El sellado superficial se produce en momento que la gota impacta contra el suelo, generando una desorganización de las partículas de suelo; mientras que el encostramiento es un proceso que se da una vez que deja de llover y las partículas sufren una sedimentación diferencial por su peso, reacomodando la superficie, una vez que el suelo se va secando. Este proceso se da en los microrelieves producidos por la labranza, en los que ha habido retención superficial del agua. La cantidad de suelo desprendido por lluvia es directamente proporcional a la energía cinética y a la pendiente, e inversamente proporcional a la lámina de agua sobre la superficie (efecto protector del agua acumulada). Este proceso de erosión es el que predomina en las partes altas de las pendientes (36).

El desprendimiento por la escorrentía

Comienza cuando se han superado la retención y el detenimiento superficial. La capacidad de desprendimiento de la escorrentía está determinada por el tipo de flujo: laminar o turbulento. En el flujo laminar cada capa de flujo se mueve uniformemente, a una velocidad lenta (Ver Tabla 1), mientras que en el flujo turbulento el agua forma un complejo patrón de rulos y las capas de agua se mezclan unas con otras, debido a su velocidad. El desprendimiento por escorrentía comienza cuando las fuerzas de tracción del agua superan la resistencia al corte del suelo. La resistencia tractiva del agua depende de su velocidad y viscosidad, mientras que la resistencia al corte del suelo depende del grado y estabilidad de la estructura y del tamaño de partículas. Existe un tamaño de partículas de máxima susceptibilidad al desprendimiento, de alrededor de 200 micrones (arena muy fina y fina), es decir, en la cual la velocidad del agua necesaria es mínima. Partículas de mayor tamaño son más pesadas, y las de menor tamaño tienen mayores fuerzas de cohesión (36).

El comportamiento de los tipos de suelos

Frente a estos procesos es variable, ya que en algunos suelos la erosión estará limitada por la capacidad de desprendimiento, y en otros por la capacidad de transporte. En suelos arcillosos, de alta cohesión y adhesión de partículas, la erosión estará limitada por la capacidad de desprendimiento de suelo, tanto por lluvia como por escorrentía. En este

caso, si bien la generación de escorrentía puede ser alta, la resistencia del suelo hace que la tasa de erosión quede limitada por el desprendimiento. En el caso extremo de los suelos arenosos, con muy baja estabilidad del material, la erosión estará limitada por la capacidad de transporte, ya que los suelos presentan alta permeabilidad, con lo cual el caudal será bajo, a pesar de que las partículas pueden ser desprendidas fácilmente. En el caso de los suelos limosos o franco arenosos finos, las tasas de erosión son máximas ya que, por un lado las partículas pueden ser fácilmente desprendidas por su tamaño y relativamente baja estabilidad, y por otro son suelos que al sufrir encostramiento pueden generar grandes volúmenes de escorrentía, con lo cual la erosión no estará limitada por ninguno de ambos procesos (36).

2.2.1.4.3 Principales causas y consecuencias de la erosión hídrica

La erosión hídrica es un proceso complejo, multicausal, dinámico, de tipo episódico y sujeto a un conjunto de causas que ocurren en el ámbito de una cuenca hidrográfica Figura 10.

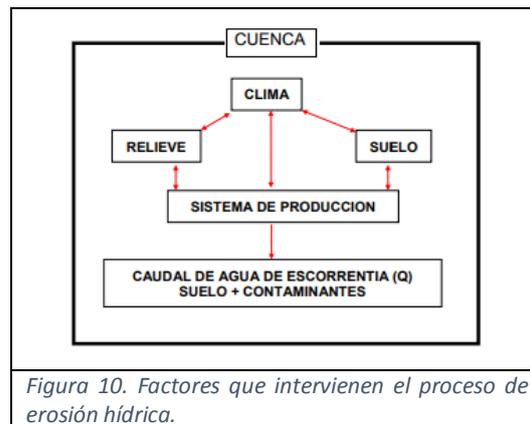


Figura 10. Factores que intervienen el proceso de erosión hídrica.

Fuente: (36).

La complejidad del proceso deriva de que puede ser visto a diferentes escalas de tiempo y espacio.

En la escala temporal

El proceso se da por eventos, es decir en forma episódica, con un grado de probabilidad determinado por el comportamiento del factor climático y la ocurrencia de tormentas de alta energía, coincidentes con momentos de alta susceptibilidad del suelo y relieve a la ocurrencia del fenómeno (36).

En una escala de tiempo mayor la paulatina pérdida de suelo genera efectos de retroalimentación en la erosión a través de la pérdida de horizontes de suelo de mayor resistencia, lo cual hace que el proceso no sea lineal en el tiempo, sino que frecuentemente es acelerado en el tiempo (36).

Es el caso de la erosión de laderas de montaña, en la cual a medida que se pierde el suelo sobre la roca, se incrementan las tasas de escorrentía y por lo tanto se acelera la pérdida de suelo en un ciclo de retroalimentación positiva, hasta que el suelo desaparece por completo y queda la roca expuesta. Otro ejemplo es la retroalimentación que ocurre con la erosión en cárcavas, que van creciendo en profundidad, en ancho y en ramificaciones, a medida que el proceso avanza (36).

En la escala espacial

La erosión puede ser considerada a escala de lote o parcela, en la cual se pueden analizar las formas más elementales de erosión: salpicadura, mantiforme y en surcos (36).

En una escala de cuenca pueden visualizarse otros procesos erosivos como cárcavas y erosión de márgenes de ríos y arroyos, y es necesario considerar una visión más amplia del problema, no registrable sólo a escala de lote. La resolución de estos procesos requiere una mayor participación de los involucrados en la cuenca, como así también del conjunto de decisores con incumbencia en el ámbito de la cuenca (poblaciones, organismos públicos y consorcios) (36).

En una escala aún mayor la erosión se relaciona con los procesos de inundación-sedimentación, de la cual forma parte esencial, por ocurrir en los sectores altos de las cuencas. El control de la erosión a esta escala, permite el abordaje de los efectos extra-prediales del fenómeno y que generan daños (externalidades negativas) que pueden observarse cíclicamente en fenómenos de rotura de infraestructura de rutas y caminos, desborde de arroyos y sedimentación de depresiones (36).

2.2.1.4.3.1 Causas de la erosión hídrica

a) Clima

La precipitación es el factor climático más importante que influye en la erosión hídrica además de su energía cinética. Las precipitaciones según su origen se clasifican en ciclónicas, convectivas orográficas, que anteriormente han sido explicadas, es determinante considerar la cantidad y distribución éstas obtenidas de estaciones meteorológicas, la información que nos brinden las estaciones podrán determinar lo periodos críticos en cuanto a la ocurrencia de tormentas erosivas. También la intensidad de las precipitaciones define la energía cinética que desencadena los procesos de escurrimiento y desprendimiento (36).

b) Relieve

Dentro del relieve el principal parámetro a tener en cuenta en los procesos de erosión hídrica es el grado o inclinación de la pendiente, la que se puede expresar en porcentaje o en grados sexagesimales, siendo el porcentaje de pendiente igual a la tangente del ángulo de inclinación de la misma (una pendiente del 5 % corresponde a un ángulo de inclinación de aproximadamente 3° ; una pendiente de 100 % corresponde a una inclinación de 45°). La longitud de la pendiente es otro factor que define la cantidad de erosión de una ladera y la velocidad terminal de la esorrentía. La exposición solar de la pendiente tiene importancia en zonas de montaña, ya que influye sobre la insolación, temperatura y humedad del suelo y por lo tanto, sobre la posibilidad de instalación de la vegetación y la susceptibilidad a erosión (36).

c) Suelo

La erosionabilidad o erodabilidad del suelo es una medida de la susceptibilidad al desprendimiento y transporte por los agentes de la erosión. La erodabilidad es un efecto integrado de los procesos que regulan la absorción de la lluvia y la resistencia de las partículas del suelo al desprendimiento y posterior transporte. Estos procesos están influidos por las

propiedades del suelo tales como tamaño de partículas, estabilidad de agregados, materia orgánica, cantidad y tipo de arcillas o por características edáficas que afectan la estructura del suelo y la transmisión de agua. Algunos parámetros que cuantifican la erodabilidad se discuten más adelante (36).

d) Sistema de producción

Se refiere a la forma en la que la sociedad hace uso de los recursos naturales de la cuenca o cuando hablamos del uso y manejo de las tierras, también puede determinarse los sectores en los que se encuentre la zona de estudio, es decir la interacción de todos estos determina los componentes del sistema. Cuando nos referimos a uso y manejo de tierras también estamos hablando si son ambientes naturales o seminaturales, o en esta se encuentran zonas construidas o están empleadas para actividades como industria, minería entre otras (36).

2.2.1.4.3.2 Consecuencias de los procesos de erosión

Tabla 2. Principales consecuencias de los procesos de erosión y sedimentación.

Erosión – escurrimiento	Sedimentación
Destrucción de tierras productivas (cárcavas)	Pérdida de capacidad productiva de los suelos (por deposición de sedimentos)
Pérdida de capacidad productiva del suelo (erosión laminar y en surcos)	Tapado y desborde de canales por obturación con sedimentos
Pérdida de agua para los cultivos (productividad de corto plazo)	Colmatación de embalses (reducción de vida útil y funcionalidad)
Destrucción de infraestructura vial y urbana (puentes, alcantarillas, caminos rurales y rutas)	Sedimentación de depresiones naturales (pérdida de funcionalidad)
Deterioro de ecosistemas de ribera (bordes de ríos y arroyos)	Contaminación de aguas por sedimentos (mayores costos de potabilización)
Contaminación de aguas superficiales (P, herbicidas, insecticidas)	Pérdida de calidad visual y paisajística.
Inundación de depresiones, poblaciones, caminos y tierras productivas	Aumento de costos de dragado de puertos.
Mayor inestabilidad y riesgos productivos	Aislamiento de poblaciones.

Fuente: (36)

2.2.1.4.4 Formas de erosión hídrica

a) Erosión por salpicadura

Se debe al impacto de las gotas de lluvia sobre los agregados de un suelo desnudo. Se producen pequeños cráteres de impacto, con liberación de partículas, que se desplazan en un radio máximo de 150 cm, siendo las

arenas finas las más afectadas. Puede dar origen a un sello o costra superficial que influirá negativamente en las velocidades iniciales de infiltración. Se relaciona directamente con la intensidad de la lluvia y su energía cinética, e inversamente con la estabilidad de los agregados superficiales y la cobertura de residuos o canopeo. La presencia de vegetación arbórea puede incrementar este tipo de erosión por la formación de gotas más grandes a partir del flujo de hojas (36).

b) Erosión laminar

Es una forma de erosión superficial que se produce por acción del escurrimiento, perdiéndose una fina y uniforme capa de toda la superficie del suelo en forma de lámina. Algunos autores denominan sheet erosión a la combinación de erosión por salpicadura y erosión laminar, mientras que otros denominan a esta combinación como interrill erosión. Este proceso produce una mayor pérdida neta de suelo que la erosión por salpicadura, siendo el tamaño de partículas más afectado el que se desprende debido a la energía de la lluvia. Algunos autores postulan que el flujo laminar no existe, y que en realidad son flujos turbulentos poco perceptibles, que van organizándose e incrementando su potencial erosivo a medida que se incrementa la velocidad del escurrimiento. Es un tipo de erosión poco perceptible por el productor, no obstante es una importante vía de pérdida de suelo en condiciones de baja pendiente y suelos con infiltración disminuida (36).

c) Erosión por surcos

Conforme se incrementan los caudales, la altura del agua y su velocidad, se pasa de un flujo de tipo laminar a uno concentrado, definido por la microtopografía del lote. Este tipo de escorrentía concentrada tiene una mayor capacidad de desprendimiento y de transporte que el flujo laminar, con lo cual las tasas de erosión por este mecanismo se incrementan, pasando el flujo de tipo subcrítico a supercrítico. Suele denominarse a la erosión en surcos como aquella que el productor puede “borrar” con los implementos de labranza, luego de que ocurre, definición que intenta clarificar la diferencia entre erosión en surcos y en cárcavas. El mecanismo de erosión en surcos requiere la formación de una pequeña “cabecera” que produce una erosión retrocedente (en sentido contrario al flujo). La velocidad de avance del surco depende de la cohesividad del

material de suelo, la altura del salto de agua en la cabecera del surco y el caudal y velocidad del flujo. La erosión en surco es la predominante en la mayor parte de los suelos (36).

d) Erosión en cárcavas

Las cárcavas (también llamadas barrancas, o simplemente zanjas) son la manifestación más visible y llamativa del proceso erosivo. Se desarrollan a partir de la acción del escurrimiento sobre la superficie, luego de que se alcanza un cierto caudal y velocidad del flujo, y se considera una cárcava como aquella forma de erosión que no puede ser borrada por las labranzas. La tasa de erosión en cárcavas depende del potencial de generación de escurrimiento de la cuenca, del área de drenaje que recibe la cárcava, del material del suelo y subsuelo, de la forma que toma la sección y de la pendiente del terreno (36).

La forma y profundidad que adoptan las cárcavas está determinada por el tipo de material del suelo y su grado de cohesión. Para materiales poco cohesivos, la forma tiende a ser en “u”, mientras que para materiales más resistentes la forma típica es en “v”. Frecuentemente el piso de la cárcava asienta sobre mantos de tosca calcárea cementados, retardando su avance en profundidad y dificultando la estabilización mediante vegetación (36).

e) Erosión por movimientos en masa

Implica el desplazamiento de grandes volúmenes de material en condiciones especiales de humedad, pendiente y tipo de suelo. Los movimientos en masa se producen frecuentemente en suelos someros, asentados sobre un material impermeable, como rocas graníticas, bajo fuertes pendientes. En estas condiciones el material “fluye” sobre la interfase suelo-roca por un efecto mecánico de disminución de la resistencia al corte, aumento del peso y lubricación del contacto entre ambas capas. Las condiciones de manejo influyen además sobre este tipo de pérdida de suelo, en especial el desmonte de áreas en pendiente, con la consiguiente pérdida de propiedades mecánicas del sistema suelo-planta, por falta de anclaje y reforzamiento del volumen de suelo por las raíces. El fuego y el sobrepastoreo son factores que inciden en la eliminación de la vegetación, y en la generación de escurrimientos, y, por lo tanto, en los riesgos de ocurrencia de estos fenómenos. Este tipo de

fenómeno ha dado lugar a eventos catastróficos en cuencas torrenciales de todo el mundo, en donde recibe variadas denominaciones: coladas de barro, flujos de lodo, desprendimientos de ladera, aluviones, remoción en masa, etc. (36).

f) Erosión de cursos permanentes

Los bordes y fondos de ríos y arroyos son las zonas de la cuenca más susceptibles a la erosión en virtud de su proximidad al cauce y a que deben soportar la máxima energía de las crecientes, ya que son los lugares de traslado y concentración de escurrimientos. La erosión de márgenes se produce en el pie del río debido a la acción erosiva de la corriente que desestabiliza la base y produce el desmoronamiento del resto de la margen, en forma similar al mecanismo descrito para la erosión en cárcavas. Este mecanismo se da típicamente en los sectores cóncavos de meandros o curvas de ríos de llanura, y es responsable del avance (también llamado corrimiento de meandros) del meandro sobre otras tierras (36).

Es un fenómeno relacionado estrechamente a la eliminación de la vegetación de la zona de riberas de la mayor parte de los ríos de la región, causada por el avance de la frontera agrícola y la sobreexplotación del recurso forestal, arbustivo y herbáceo de los denominados bosques en galería. Otros aspectos que regulan la magnitud de este tipo de erosión son la presencia de materiales poco cohesivos en las márgenes y la frecuencia y caudal de las crecientes ocurridas en la cuenca de aporte (36). Tipos de erosión de los cursos:

- Erosión transversal: se produce en todas aquellas secciones donde se reduce el ancho del río
- Erosión en las curvas: consiste en la profundización del cauce en la zona cercana a la orilla cóncava (meandro)
- Erosión al pie de obras: se produce cuando el flujo rodea a alguna obra realizada en el lecho del río.
- Erosión local en estribos o al pie de obras unidas a la margen: similar a la anterior para obras en la margen.

- Erosión aguas abajo de presas: ocurren cuando se reduce la carga de sedimentos de la corriente por acción de las presas (“aguas claras”).
- Erosión local aguas debajo de obras de desagüe: se producen al pie de obras de descarga desde la margen al río.
- Erosión aguas arriba de cortes de meandros y rectificaciones: se producen al alterar la forma de un meandro por canalización y rectificación, hay aumento de la pendiente de fondo, de la velocidad y de la carga de sedimentos, que puede incrementar la erosión de fondo aguas abajo de la obra.
- Erosión bajo tubería: se produce cuando se colocan tubos en el lecho del río.

La erosión de fondo de los cauces (disminución del nivel de base) es un fenómeno relacionado a la pérdida paulatina de material del lecho, a causa de los caudales erogados en la cuenca, a la carga de sedimentos y al tipo de material del fondo. Es un fenómeno que afecta a la mayoría de los cursos permanentes del centro argentino, en especial aquellos que han sufrido degradación biológica de sus márgenes o degradación de su estado geomórfico (36). Entre las principales causas antrópicas de la erosión de fondo de los cauces pueden citarse:

- Extracción de áridos (arena) del lecho,
- Construcción de embalses (“aguas claras”),
- Deforestación de márgenes,
- Rectificación de meandros.

2.2.1.5 Hidrología

2.2.1.5.1 Unidades hidrográficas

La Metodología de Codificación Pfafstetter fue desarrollado por el ingeniero brasileño Otto Pfafstetter en 1989, el mismo que difundido a partir de 1997 por la científica Kristine Verdin y adoptado a partir de entonces por la United State Geological Survey (USGS – Servicio Geológico de los Estados Unidos) como estándar internacional (37).

Las Unidades Hidrográficas son espacios geográficos limitados por líneas divisorias de aguas, relacionadas espacialmente por sus códigos, donde

el tamaño de sus áreas de drenaje es el único criterio de organización jerárquica. El Sistema de delimitación y codificación de Pfafstetter considera tres tipos de unidades de drenaje: cuencas, intercuenas y cuencas internas. (37)

A. Cuenca: Es la unidad hidrográfica que no recibe drenaje de ninguna otra área, pero si contribuye con flujo a otra unidad de drenaje.

B. Intercuenca: Es la unidad hidrográfica que recibe el drenaje de otra unidad que se ubica aguas arriba, mediante el curso del río principal, y permite el drenaje del flujo propio y del que ha ingresado a esta unidad hacia la unidad de drenaje que se ubica hacia aguas abajo. En tal sentido una unidad de drenaje tipo intercuenca es una unidad hidrográfica de tránsito del río principal.

C. Cuenca Interna. Es la unidad hidrográfica que no recibe flujo de agua de otra unidad ni contribuye con flujo de agua a otra unidad de drenaje o cuerpo de agua Figura 11.



Figura 11. Tipos de Unidades Hidrográficas.

Fuente: (38)

2.2.1.5.2 Cuenca hidrográfica

La cuenca hidrográfica es aquella superficie en la cual el agua precipitada se transfiere a las partes topográficas bajas por medio del sistema de drenaje, concentrándose generalmente en un colector que descarga a otras cuencas aledañas, o finalmente al océano. La cuenca hidrológica, junto con los acuíferos, son las unidades fundamentales de la hidrología. Desde el punto de vista de su salida existen dos tipos de cuencas: endorreicas (cerradas) y exorreicas (abiertas) (39).

2.2.1.5.2.1 Componentes de una cuenca

Dentro de los términos que generalmente se utilizan, para definir e identificar los componentes que identifican las características de una cuenca tenemos (39):

- Cuenca: Sistema integrado por varias subcuencas o microcuencas.
- Subcuencas: Conjunto de microcuencas que drenan a un solo cauce con caudal fluctuante pero permanente.
- Microcuencas: Una micro cuenca es toda área en la que su drenaje va a dar al cauce principal de una subcuenca; es decir, que una subcuenca está dividida en varias microcuencas.
- Quebradas: Es toda área que desarrolla su drenaje directamente a la corriente principal de una microcuenca.

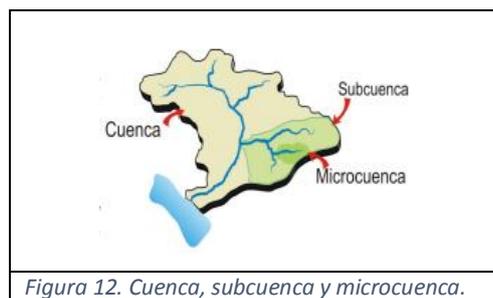


Figura 12. Cuenca, subcuenca y microcuenca.

Fuente: (39)

2.2.1.5.2.2 Partes de una cuenca

- Cuenca alta: Corresponde generalmente a las áreas montañosas o cabeceras de los cerros, limitadas en su parte superior por las divisorias de aguas.
- Cuenca media: Donde se juntan las aguas recogidas en las partes altas y en donde el río principal mantiene un cauce definido.
- Cuenca baja o zonas transicionales: Donde el río desemboca a ríos mayores o a zonas bajas tales como estuarios y humedales (39).

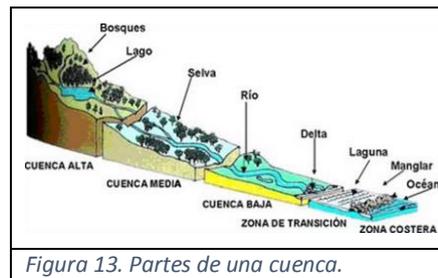


Figura 13. Partes de una cuenca.

Fuente: (39)

2.2.1.5.2.3 Zonificación de una cuenca

Esta división por zonas resulta útil en el análisis del comportamiento de los diferentes componentes del balance hídrico, sino que también apoya en la delimitación de las zonas funcionales de la cuenca, que en términos generales coinciden con la caracterización del ambiente fluvial de Robertson (1992), quien define un sistema fluvial generalizado basado en Schumm (1977) con la zonificación que se muestra en la Tabla 3 (39).

Tabla 3. Zonificación de la cuenca.

	Zona Alta	Zona Media	Zona Baja
	Montaña y Colinas	Valle Aluvial	Delta
Procesos Dominantes	Erosión	Transporte	Sedimento
Influencia	Lito/Relieve	Erosión-Sedimentación	Fluvio-Marina

Fuente: (39)

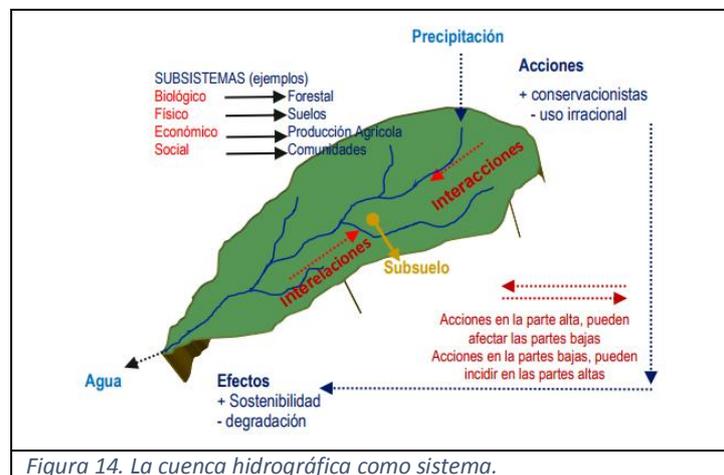
2.2.1.5.2.4 La cuenca hidrográfica como sistema

En una cuenca hidrográfica interactúan una serie de ecosistemas naturales, cuyo grado de complejidad aumenta en relación directa con el tamaño de la cuenca. Estos ecosistemas tienen elementos como el aire, el clima, el suelo, el subsuelo, el agua, la vegetación, la fauna, el paisaje, entre otros, los cuales, en conjunto, conforman lo que se denomina la oferta de bienes y servicios ambientales, o base natural de sustentación; oferta que es necesario conocer, para lograr una utilización sostenible de la misma (39). Para comprender por qué la cuenca hidrográfica es un sistema, es necesario explicar que:

- En la cuenca hidrográfica existen entradas y salidas, por ejemplo, el ciclo hidrológico permite cuantificar que a la cuenca ingresa una cantidad de agua, por medio de la precipitación y otras formas; y luego existe una cantidad

que sale de la cuenca, por medio de su río principal en las desembocaduras o por el uso que adquiera el agua (39).

- En la cuenca hidrográfica se producen interacciones entre sus elementos, por ejemplo, si se deforesta irracionalmente en la parte alta, es posible que en épocas lluviosas se produzcan inundaciones en las partes bajas (39).
- En la cuenca hidrográfica existen interrelaciones, por ejemplo, la degradación de un recurso como el agua, está en relación con la falta de educación ambiental, con la falta de aplicación de leyes, con las tecnologías inapropiadas, etc (39).



Fuente: (39)

El sistema de la cuenca hidrográfica, a su vez está integrado por los subsistemas siguientes (39):

- Biológico, que integran esencialmente la flora y la fauna, y los elementos cultivados por el hombre.
- Físico, integrado por el suelo, subsuelo, geología, recursos hídricos y clima (temperatura, radiación, evaporación entre otros).
- Económico, integrado por todas las actividades productivas que realiza el hombre, en agricultura, recursos naturales, ganadería, industria, servicios (camino, carreteras, energía, asentamientos y ciudades).
- Social, integrado por los elementos demográficos, institucionales, tenencia de la tierra, salud, educación,

vivienda, culturales, organizacionales, políticos, y legal. Los elementos que integran los subsistemas variarán de acuerdo al medio en el que se ubique la cuenca y al nivel de intervención del factor humano.

2.2.1.6 Peligros

El peligro, es la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural o inducido por la actividad del hombre, potencialmente dañino, de una magnitud dada, en una zona o localidad conocida, que puede afectar un área poblada, infraestructura física y/o el medio ambiente. El peligro, según su origen, puede ser de dos clases: por un lado, de carácter natural; y, por otro de carácter tecnológico o generado por la acción del hombre. La Figura 15, que a continuación se presenta, detalla los principales peligros que ocurren en nuestro país (40).

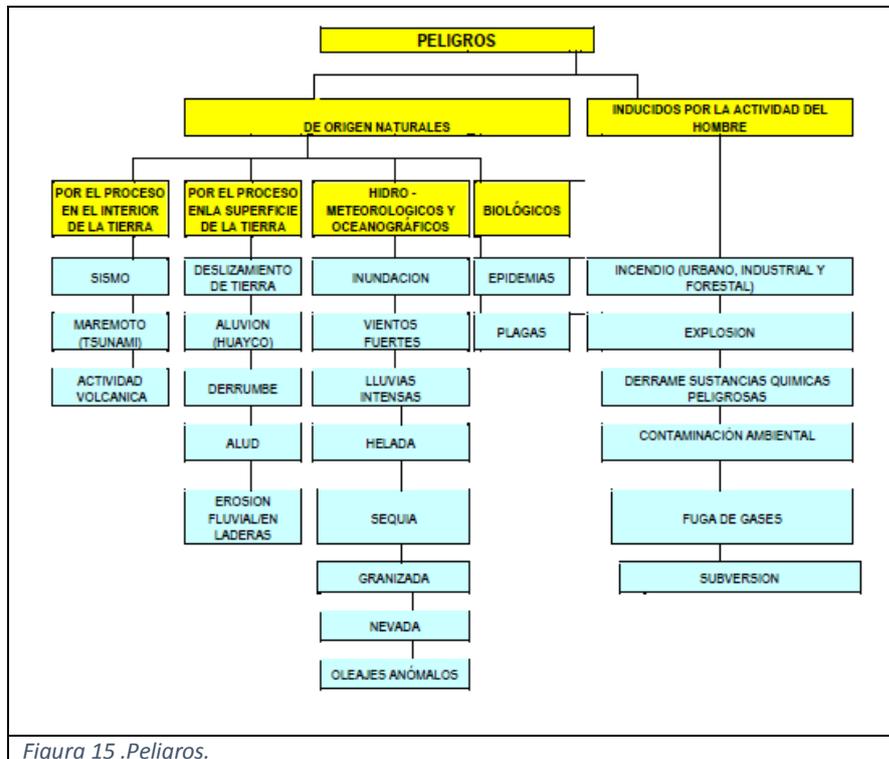


Figura 15. Peligros.

Fuente: (40)

2.2.1.6.1 Generados por procesos en la superficie de la tierra

a) Deslizamiento de tierra

Es el desplazamiento lento y progresivo de una porción de terreno, más o menos en el mismo sentido de la pendiente, que puede ser producido por diferentes factores como la erosión del terreno o filtraciones de agua (40).

b) Aluvión

Es el desprendimiento de grandes masas de nieve y rocas de la cima de grandes montañas. Se desplazan con gran velocidad a través de quebradas o valles en pendiente, debido a la ruptura de diques naturales y/o artificiales o desembalses súbitos de lagunas o intensas precipitaciones en las partes altas de valles y quebradas. El “huayco”, es un término peruano de origen quechua, que significa quebrada. El huayco es un tipo de aluvión de baja magnitud, que se registran con frecuencia en las cuencas hidrográficas del país, generalmente durante el periodo de lluvias. “Lloclla”, término quechua, es más apropiado que “huayco” (40).

c) Derrumbe

Es la caída de una franja de terreno, porción del suelo o roca que pierde estabilidad o la de una estructura construida por el hombre, ocasionada por la fuerza de la gravedad, socavamiento del pie de un talud inferior, presencia de zonas de debilidad (fallas o fracturas), precipitaciones pluviales e infiltración del agua, movimientos sísmicos y vientos fuertes, entre otros. No presenta planos y superficie de deslizamiento. Este peligro, puede estar condicionado por la presencia de discontinuidades o grietas, generalmente ocurren en taludes de fuerte pendiente (40).

d) Alud

Es el desprendimiento violento en un frente glaciar y pendiente abajo, de una gran masa de nieve o hielo, acompañado en algunos casos de fragmentos rocosos de diversos tamaños y sedimentos de diferente granulometría (40).

e) Erosión Fluvial/de Laderas

La erosión es la desintegración, desgaste o pérdida de suelo y/o rocas como resultado de la acción del agua y fenómenos de intemperismo. La erosión fluvial es el desgaste que producen las fuerzas hidráulicas de un río en sus márgenes y en el fondo de su cauce, con variados efectos colaterales. Mientras que por erosión de laderas, se entiende a todos los procesos que ocasionan el desgaste y traslado de los materiales de superficie (suelo o roca), por el continuo ataque de agentes erosivos (40).

2.2.2 Metodologías existentes

Existen diferentes modelos para poder determinar y calcular la erosión: Los modelos empíricos que son los más sencillos se obtienen a través de la suma o multiplicación de sus factores los datos son obtenidos por la observación. Los modelos conceptuales, son semidistribuidos pues establece relaciones matemáticas simplificadas. Los modelos matemáticos se basan en leyes físicas la representación es espacial distribuidas mediante grid o TIN, permiten la predicción de la erosión bajo escenarios de uso de suelo y climáticos (25).

<i>Modelo</i>	<i>Tipo</i>	<i>Escala temporal</i>	<i>Base de datos</i>	<i>Resultados</i>	<i>Referencia (año)</i>
USLE	Empírico	Anual	Alta	Erosión	Wischmeier y Smith, 1978
HSPF	Conceptual	Continuo	Alta	Escorrentía, sedimentos	Johanson et. al., 1980
CREAMS	Físico	Evento/continuo	Alta	Erosión, depositación	Knisel, 1980
EPIC	Físico	Continuo	Alta	Erosión	William et. al., 1983
MMF	Empírico/conceptual	Anual	Moderada	Escorrentía, erosión	Morgan et. al., 2001
PERSERA	Físico	Continuo	Alta	Escorrentía, erosión, sedimentos	Kirkby et. al., 2000
WEPP	Físico	Continuo	Alta	Escorrentía, pérdida de suelo	Nearing et. al., 1989
RUSLE	Empírico	Anual	Alta	Erosión	Renard et.al., 1991 y 1994
SWAT	Conceptual	Continuo	Alta	Escorrentía, erosión, sedimentos	Arnold et. al., 1995
EROSIÓN 3D	2D-Físico	Evento	Alta	Escorrentía, erosión, sedimentos	von Werner, 2000
RUSLE 3D	Empírico/conceptual	Anual	Moderada	Erosión	Mitasova et. al., 1998
EUROSEM	Físico	Evento	Alta	Escorrentía, erosión, sedimentos	Morgan et. al., 1998
WATEM	Conceptual	Anual	Moderada	Erosión	Van Oost et. al., 2000
SEDNET	Conceptual/ Empírico	Anual/ Continuo	Alta	Sedimentos en suspensión, rills y gullies	Wilkinson et. al., 2004
STREAM	Conceptual	Evento	Moderada	Erosión y erosión	Cerdan et. al., 2002
SEAGIS	Empírico/conceptual	Anual	Alta	Erosión, producción de sedimentos	DHI, 2003

Figura 16. Modelos de erosión y transporte de sedimentos.

Fuente: (25).

2.2.2.1 Modelo CORINE

Este modelo trata de crear sistemas de información sobre el estado del medio y de los recursos naturales en los estados de la unión europea; aunque ha habido muchas actualizaciones, revisiones y nuevas aplicaciones, el modelo se incluye por su gran divulgación e interés didáctico (41).

El resultado de la aplicación del modelo nos permite la definición de las áreas con niveles (bajo, moderado y alto) de riesgos de erosión, donde resultan necesarias prácticas activas de control.

La estimación de la erosión según este modelo CORINE se efectúa en dos etapas.

En primer lugar se calcula el riesgo de erosión potencial adicionando los índices de erodabilidad del suelo, erosividad climática y pendiente, obteniéndose la susceptibilidad potencial del terreno frente a la erosión sin considerar la cobertura vegetal; a continuación el riesgo de erosión potencial se modifica según el índice de cobertura del suelo, obteniéndose el índice de erosión actual (41).

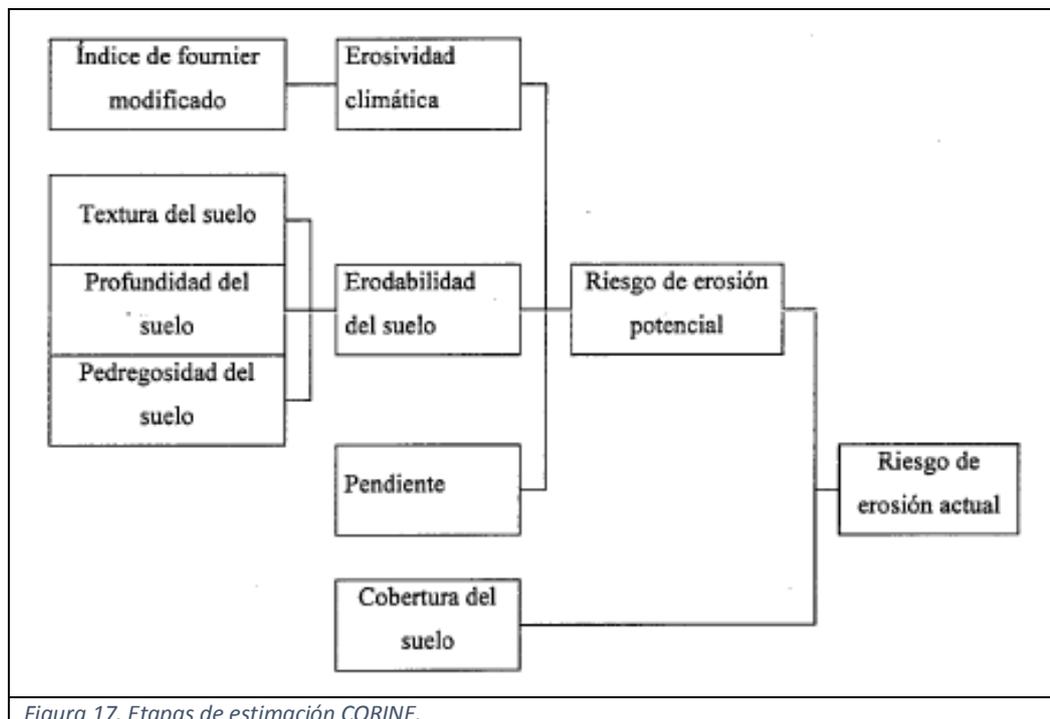


Figura 17. Etapas de estimación CORINE.

Fuente: (41).

A. Índice de erosividad climática

Definida como la agresividad de la lluvia sobre el suelo, representa la energía con que las gotas de lluvia impactando el suelo a determinada intensidad para

romper los agregados superficiales en partículas de tamaño transportable; en este sentido, la precipitación constituye el agente activo del proceso de erosión, que actuará sobre el suelo(41).

Se determina calculando el índice de founier modificado (Arnoldus, 1978).

Se calcula con la fórmula:

$$IFM = \sum_{i=1}^{12} \frac{Pi^2}{P}$$

Dónde:

IFM: Índice de founier modificado mm

Pi: Precipitación total en el mes i (mm)

P: Precipitación total media anual (mm)

B. Índice de erodabilidad de los suelos

El índice de erodabilidad del suelo se evalúa considerando la granulometría, la profundidad y la pedregosidad superficial(41).

$$\text{Índice de erodabilidad} = \text{Clase de textura} \times \text{Clase de profundidad} \\ \times \text{Clase de pedregosidad}$$

Donde:

–La clase textural del suelo se define según textura USDA.

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

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

C. Índice de pendiente

A cada punto del terreno se le calcula el índice de pendiente, que es la pendiente en el punto expresada en por ciento (41). Para ello se hace uso del modelo digital DEM, y el ArcGis.

D. Cubierta vegetal

Para la cubierta vegetal se efectúa una clasificación binaria en función al tipo de vegetación, se consideran dos clasificaciones, las que se encuentran completamente protegido y las que no (41).

E. Índice de riesgo de erosión potencial

El índice de riesgo de erosión potencial se calcula multiplicando los índices de erodabilidad, erosividad y pendiente (41).

$$\begin{aligned} \text{Índice de riesgo de erosión potencial} &= \text{Índice de erodabilidad} \\ &\times \text{índice de erosividad} \\ &\times \text{Índice de pendiente} \end{aligned}$$

F. Índice de riesgo de erosión actual

Se calcula interpolando el índice de cubierta vegetal con el índice de riesgo de erosión potencial (41).

Su cálculo comprende la aplicación del álgebra con una matriz en el SIG.

2.2.2.2 Imágenes satelitales

Las imágenes satelitales son una representación gráfica visual, recopiladas por un sensor perteneciente a algún satélite.

Los Landsat son una serie de satélites construidos y puestos en órbita por EE. UU. Para la observación en alta resolución de la superficie terrestre. Los Landsat orbitan alrededor de la Tierra en órbita circular heliosincrónica, a 705 km de altura, con una inclinación de 98.2° respecto del Ecuador y un período de 99 minutos. La órbita de los satélites está diseñada de tal modo que cada vez que éstos cruzan el Ecuador de Norte a Sur lo hacen entre las 10:00 y las 10:15 de la mañana hora local. Los Landsat están equipados con instrumentos específicos para la teledetección multispectral. El primer satélite Landsat (en principio denominado ERTS-1) fue lanzado el 23 de julio de 1972. El último de la serie es el Landsat 8, puesto en órbita el 11 de febrero de 2013 (42).

A. LANDSAT 7

Una imagen LANDSAT 7 ETM+ está compuesta por 8 bandas espectrales que pueden ser combinadas de distintas formas para obtener variadas composiciones de color u opciones de procesamiento (43).

Tabla 4. Sistema TM y ETM.

BANDAS	LONGITUD DE ONDA μm	APLICACIONES
1	0,45-0,52(azul)	mapeo de aguas costeras diferenciación entre suelo y vegetación diferenciación entre vegetación conífera y decidua
2	0,52-0,60(verde)	mapeo de vegetación calidad de agua
3	0,63-0,90(rojo)	absorción de la clorofila diferenciación de especies vegetales áreas urbanas, uso del suelo agricultura calidad de agua
4	0,76-0,90 (infrarrojo cercano)	delineamiento de cuerpos de agua mapeo geomorfológico mapeo geológico áreas de incendios áreas húmedas agricultura vegetación
5	1,55-1,75 (infrarrojo medio)	uso del suelo medidas de humedad de la vegetación diferenciación entre nubes y nieve agricultura vegetación
6	10,40-12,50 (infrarrojo termal)	mapeo de stress térmico en plantas corrientes marinas propiedades térmicas del suelo otros mapeos térmicos o otros
7	2,08-2,35 (infrarrojo medio)	identificación de minerales mapeo hidrotermal
8	0,52 – 0,90 μm (Pancromatico)	Canal pancromático, resolución 15mts Catastro rural, infraestructuras Ubicación de centros poblados, hidrología, vías.

Fuente: (43)

B. LANDSAT 8

Lanzado al espacio en agosto de 2012, por sus 11 bandas y amplias posibilidades de combinación lo que permite un mayor aprovechamiento Se incluyen de manera general sus características técnicas:

Tabla 5. Características técnicas LANDSAT 8.

Atributo	Descripción
Tipo de Producto	Imagen L1T (Precision, Terrain Corrected) - ortorrectificada
Formato de Imagen	Archivo GeoTIFF Metadato en formato texto
Espaciamiento de pixel	15 m Pancromático 30 m Multiespectral
Tamaño de Producto	185 x 185 km
Correcciones Geométricas	Proyectadas a un datum y proyección cartográfica, usando un Modelo Digital de Elevación (SRTM) y puntos de control terrestre (GCP)
Datum Horizontal	WGS84
Proyección Cartográfica	UTM (Universal Transversa de Mercator)
Bandas Espectrales	11 bandas: Aerosol costero (Coastal Aerosol) 430 – 450 nm Azul (Blue) 450 – 510 nm Verde (Green) 530 – 590 nm Rojo (Red) 640 – 670 nm Infrarrojo cercano (NIR) 850 – 880 nm SWIR 1 (SWIR 1) 1570 –1650 nm SWIR 2 (SWIR 2) 2110 – 2290 nm Pancromático (Pan) 500 – 680 nm Cirrus (Cirrus) 1360 – 1380 nm Infrarrojo térmico (TIRS) 1 10600 – 11190 nm Infrarrojo térmico (TIRS) 2 11500 – 12510 nm
Resolución Radiométrica	12 bits

Fuente: (44)

2.2.3 Técnicas de investigación

2.2.3.1 Técnica de teledetección

Teledetección es la técnica que permite obtener información a distancia de objetos sin que exista un contacto material. Para que ello sea posible es necesario que, aunque sin contacto material, exista algún tipo de interacción entre los objetos observados; situados sobre la superficie terrestre, marina o en la atmósfera; y un sensor situado en una plataforma (45).

2.2.3.2 Muestreo de suelos

El muestreo de suelos determina la visita al lugar de trabajo, en donde se toman datos de campo además de muestras que es una proporción mínima de las características del terreno para su posterior análisis.

2.2.3.3 Análisis de suelos

El análisis de suelo corresponde al uso de un laboratorio para la determinación de parámetros necesarios para el estudio.

2.2.3.4 Análisis de datos hidrológicos y meteorológicos SENAMHI

Los análisis hidrológicos y meteorológicos, consiste en recurrir a portales del SENAMHI, para la obtención de datos para su posterior análisis en los que se discrimina según el tiempo de estudio, además de datos vacíos o no registrados.

2.2.4 Diseño de modelo teórico conceptual

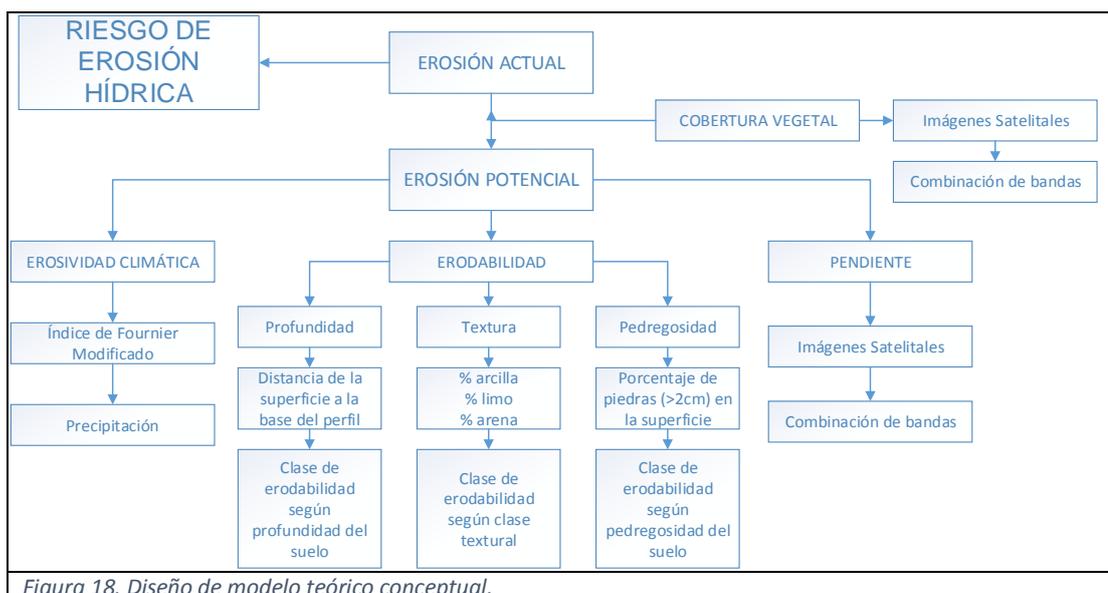


Figura 18. Diseño de modelo teórico conceptual.

Fuente: Elaboración Propia.

2.3 Definición de términos básicos

- Clima

Es el tiempo medio de ese lugar a largo plazo: refleja sus condiciones atmosféricas incluyendo las variaciones estacionales y las extremas de éstas (como son las sequías, lluvias prolongadas, huracanes, etc.) y dando su media a lo largo de un extenso período de tiempo que ha de ser de 30 años como mínimo (46).

- Climatología

Es la ciencia que estudia la serie de estados atmosféricos que se suceden habitualmente en un determinado lugar. Está basada en el estudio de datos meteorológicos (47).

- Cuenca

Sistema integrado por varias subcuencas o microcuencas (39).

- Cuenca hidrográfica

Se refiere a la definición geográfica de la misma, es el contorno o límite de la misma que drena agua en un punto en común (39).

Una cuenca hidrográfica es definida como el área geográfica natural o unidad de territorio delimitada por una divisoria topográfica (Divortium Aquarum), que capta las precipitaciones y drena el agua de escorrentía hacia un colector común, denominado río principal (48).

- Cuenca Hidrológica

Se suele entender como una unidad para la gestión que se realiza dentro de la cuenca hidrográfica (39).

- Cuenca alta

Corresponde generalmente a las áreas montañosas o cabeceras de los cerros, limitadas en su parte superior por las divisorias de aguas (39).

- Cuenca media

Donde se juntan las aguas recogidas en las partes altas y en donde el río principal mantiene un cauce definido (39).

- Cuenca baja o zonas transicionales

Donde el río desemboca a ríos mayores o a zonas bajas tales como estuarios y humedales (39).

- CORINE

Modelo que trata de crear sistemas de información sobre el estado del medio y de los recursos naturales en los estados de la unión europea; aunque ha habido muchas actualizaciones, revisiones y nuevas aplicaciones, el modelo se incluye por su gran divulgación e interés didáctico.

- Detención superficial

La detención superficial hace referencia al agua detenida temporariamente sobre la superficie, es decir que una vez puesta en movimiento es frenada por obstáculos. Su movimiento es necesario para que ocurra el escurrimiento, por lo tanto podría ser considerada como una componente del escurrimiento, más que como un proceso separado, pero a los fines de clarificar el tema se discuten por separado (36).

- Erodabilidad

Es un índice que indica la vulnerabilidad o susceptibilidad a la erosión y que depende de las propiedades intrínsecas del suelo (22).

Es una medida de la susceptibilidad al desprendimiento y transporte por los agentes de la erosión. La erodabilidad es un efecto integrado de los procesos que regulan la absorción de la lluvia y la resistencia de las partículas del suelo al desprendimiento y posterior transporte (36).

- Erosión

La erosión es el desprendimiento y arrastre (lavado) del suelo de un lugar a otro causado por la lluvia, el viento, o por, malas prácticas que realiza el hombre en su chacra. Por éstas pérdidas disminuye poco o poco la profundidad del suelo y hace que pierda su fertilidad (49).

La erosión es el desgaste que se produce en la superficie del suelo por la acción de agentes externos (como el viento o el agua) o por la fricción continua de otros cuerpos (36).

- Erosividad

Capacidad potencial de la lluvia para provocar la erosión (22).

- Erosión actual

Pronóstico o medida de la pérdida de suelos que exista en un determinado lugar, en el momento presente. No indica el estado de degradación en que se encuentra

el suelo y, si bien se suele expresar cuantitativamente, es también frecuente su expresión en términos cualitativos (22).

- Erosión potencial:

Pronóstico de pérdida de material en un suelo como consecuencia de la influencia del relieve, tipo de los suelos y la erosividad de las lluvias. Supone el territorio desprovisto de cubierta vegetal protectora homogénea (22).

- Erosión laminar

Es una forma de erosión superficial que se produce por acción del escurrimiento, perdiéndose una fina y uniforme capa de toda la superficie del suelo en forma de lámina (36).

- Erosión por salpicadura

Se debe al impacto de las gotas de lluvia sobre los agregados de un suelo desnudo. Se producen pequeños cráteres de impacto, con liberación de partículas, que se desplazan en un radio máximo de 150 cm, siendo las arenas finas las más afectadas (36).

- Erosión Acelerada o Inducida (Antrópica)

Es aquella en la que se agrega la acción del hombre a la acción de los agentes naturales. Este tipo de erosión es propiciado por el mal manejo del suelo y en términos (25).

- Erosión Natural o Geológica

Es aquella que ocurre como consecuencia solamente de las fuerzas de la Naturaleza y cuyas tasas de ocurrencia son generalmente bajas. Los principales tipos de erosión son: hídrica (pluvial, fluvial, marina, glacial, cárstica), eólica y gravitacional (25).

- Erosión hídrica

Es el proceso por el cual se produce el desprendimiento, transporte y depositación de las partículas de suelo (36).

- Escurrimiento superficial

La diferencia entre la precipitación total y la interceptada es la precipitación que llega al suelo. Si ésta supera la capacidad de infiltración y retención se forma una delgada lámina de agua que comienza a correr por gravedad a través de la pendiente (36).

- Imagen digital

Es la representación de un objeto real mediante una matriz numérica bidimensional. Las propiedades medidas en un rango continuo de valores se convierten a otro expresado por un número finito de enteros. Normalmente se registra en un byte o en código binario (50).

- Infiltración

La infiltración es el componente hidrológico más importante y es determinante de la forma del hidrograma de una creciente (gráfico de coordenadas (x,y) en donde se representa el caudal escurrido en relación al tiempo) (36).

- La energía cinética de la gota de lluvia

La energía de las lluvias se disipa sobre la superficie del suelo produciendo la ruptura de los terrones y agregados, generando una salpicadura (erosión por salpicadura) que desprende partículas que luego son arrastradas pendientes abajo. Este fenómeno de disipación de la energía de la lluvia está relacionado a la pérdida de infiltración del suelo (36).

- La escorrentía en movimiento

Este agente erosivo produce el desprendimiento de nuevo suelo y el transporte del suelo removido, en una magnitud proporcional al caudal escurrido y a la velocidad que adquiere el flujo de agua sobre la superficie. Este agente produce los fenómenos erosivos más visibles (por ejemplo, cárcavas), y es el responsable del movimiento de las partículas de suelo removidas. Pueden distinguirse dentro de la escorrentía dos tipos de flujo: el flujo laminar (erosión laminar o mantiforme), que se mueve con una velocidad lenta, y el flujo turbulento/concentrado o flujo en surcos (erosión en surcos) y que es el responsable de la mayor parte del transporte de sedimentos. (36).

- Longitud de pendiente

Se define como la distancia desde el punto de origen del flujo sobre la superficie hasta el punto donde la pendiente disminuye lo bastante como para que ocurra la deposición o hasta el punto en el que el escurrimiento entra en un canal definido (36).

- Microcuencas

Una micro cuenca es toda área en la que su drenaje va a dar al cauce principal de una Subcuenca; es decir, que una Subcuenca está dividida en varias microcuencas (39).

- Meteorología

Es la ciencia que estudia los fenómenos que tienen lugar en la atmosfera terrestre (47).

- Modelos cualitativos

Este tipo de modelos suele ser común en estudios a nivel de reconocimiento o diagnóstico, constituyendo una opción bastante ágil para una futura toma de decisiones respecto al problema de la erosión (51)

- Pérdida de suelos

Cantidad de material edáfico, expresado en unidad de peso por unidad de superficie, que es trasladada de lugar (22).

- Pendiente

Es la relación que existe entre el desnivel (Y) y la distancia en horizontal (X) que debemos recorrer. Se expresa normalmente en % o en grados (52).

- Precipitación

Precipitación es el agua procedente de la atmósfera que cae sobre la superficie terrestre, ya sea en forma líquida o sólida. La precipitación se mide por la altura, usualmente en mm, que alcanzaría su equivalente en agua en un superficie plana y horizontal (53).

Agregado de partículas acuosas, líquidas o sólidas, cristalizadas o amorfas, que caen de la nube o grupo de nubes y alcanzan el suelo (54).

- Pluviómetro

Aparto que mide la precipitación caída en el suelo en forma de lluvia, nieve o granizo (47)

- Quebradas

Es toda área que desarrolla su drenaje directamente a la corriente principal de una microcuenca (39).

- Retención superficial

El proceso de retención superficial hace referencia al agua retenida en microdepresiones de la superficie del suelo. Al final de la lluvia, el agua puede infiltrar o evaporarse. El agua retenida forma parte del escurrimiento superficial en caso de existir flujos hipodérmicos dentro del perfil que pasen a formar parte del flujo superficial o cuando la lámina de agua supere las dimensiones de la depresión y la pendiente regional sea pronunciada (36).

- Río principal

El río principal suele ser definido como el curso con mayor caudal de agua (medio o máximo) o bien con mayor longitud. La mayoría de cuencas de drenaje presentan un río principal bien definido desde la desembocadura hasta cerca de la divisoria de aguas. El río principal tiene un curso, que es la distancia entre su nacimiento y su desembocadura (39).

- Riesgo

Es la probabilidad de daños y pérdidas debido a la ocurrencia de un evento (22).

- Subcuencas

Conjunto de microcuencas que drenan a un solo cauce con caudal fluctuante pero permanente (39).

- Textura

Es la composición del suelo de arenas, arcillas y limos, expresada en porcentaje (22).

- Teledetección

Se define como la capacidad de obtener información de un objeto, sin mantener contacto físico con él. El término teledetección se restringe a aquellos métodos que emplean la energía electromagnética reflejada o irradiada por los objetos, lo que excluye las investigaciones eléctricas, magnéticas y gravimétricas (50).

- Tiempo

Es el valor del conjunto de estas características para un lugar determinado pero en un momento también determinado, es decir, a corto plazo (46).

- Tiempo atmosférico

Se define como el estado en que se encuentra en la atmósfera en un determinado lugar y momento (47).

- Topografía

Es una variable muy importante al momento de predecir la erosión y sedimentación en un sitio dado. Factores como inclinación y largo de la pendiente determinan la cantidad y velocidad del escurrimiento superficial que se generarán producto de una tormenta dada (55).

- Uso de suelos

El uso del suelo se refiere al estado y tipo de cobertura que tienen los suelos de la cuenca, incluyendo los distintos tipos de vegetación (cultivos, pasturas y bosques), barbechos y usos no agrícolas del suelo (lagunas, caminos, entre otros). El manejo o tratamiento del suelo se refiere fundamentalmente a la forma de realizar las labranzas: en surcos rectos a favor de la pendiente o en contorno (36).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Método y alcances de la investigación

3.1.1 Método de la investigación

A) Método general o teórico de la investigación

La investigación presenta como método general el deductivo; “Este método de razonamiento consiste en tomar conclusiones generales para obtener explicaciones particulares. El método se inicia con el análisis de los postulados, teoremas, leyes, principios, etcétera, de aplicación universal y de comprobada validez, para aplicarlos a soluciones o hechos particulares” (56). Esta investigación parte del modelo CORINE que sigue una metodología y que tiene índices establecidos para la determinación del riesgo de erosión de áreas específicas, en esta investigación se estudia la cuenca alta de río Rímac por su cercanía a la Cordillera de los Andes y presenta precipitaciones constantes que con la presencia del Fenómeno “El Niño” fueron más intensas.

B) Método específico de la investigación

I. Desarrollo de la base de datos:

Para el estudio es necesario contar con datos:

- a) Precipitación media mensual y anual para los años 2016 y 2017, para esto se utilizó el portal de SEMANHI- Datos históricos, descargables en el sitio web (<http://www.senamhi.gob.pe/?p=data-historica>), los cuales fueron llevados a hojas de cálculo de Excel, para su posterior desarrollo.



Figura 19. Obtención de datos de precipitación.

Fuente: Elaboración Propia.

- b) Para la obtención de información sobre los tipos de cobertura vegetal se utilizó imágenes satelitales descargadas de portal de USGS El Servicio Geológico de los Estados Unidos o USGS por sus siglas en inglés (United States Geological Survey) (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) de las cuales mediante la combinación de bandas se obtiene la información requerida, además para comprobar la información.

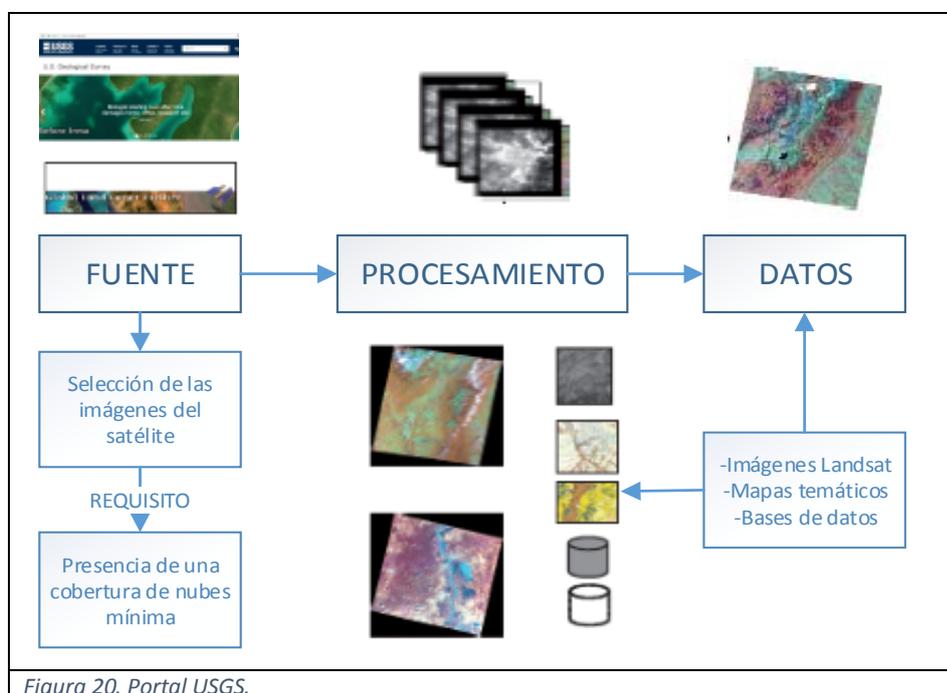


Figura 20. Portal USGS.

Fuente: Elaboración Propia.

- c) Para obtener datos de las clases texturales del suelo, materia orgánica y su taxonomía se realizó una visita a campo para obtención de muestras que más tarde fueron analizadas en el laboratorio para la determinación de % de arcilla,

limo, arena, además se corroboró la información del portal SoilGrids 1km el cual se cuenta como información libre, ésta es una colección de mapas doble las clases de suelo y sus propiedades, que son actualizadas recurrentemente con una resolución de 1km, los datos WorlSoil se obtiene del siguiente enlace(<http://soilgrids.org>) de donde se obtiene mapas de las unidades de suelo (World References Base for Soil Resources - WRB) además de las clases texturales para los porcentajes de arcilla, limo y arena en formato ráster.



Figura 21. Salida a campo y obtención de datos de laboratorio.

Fuente: Elaboración Propia.

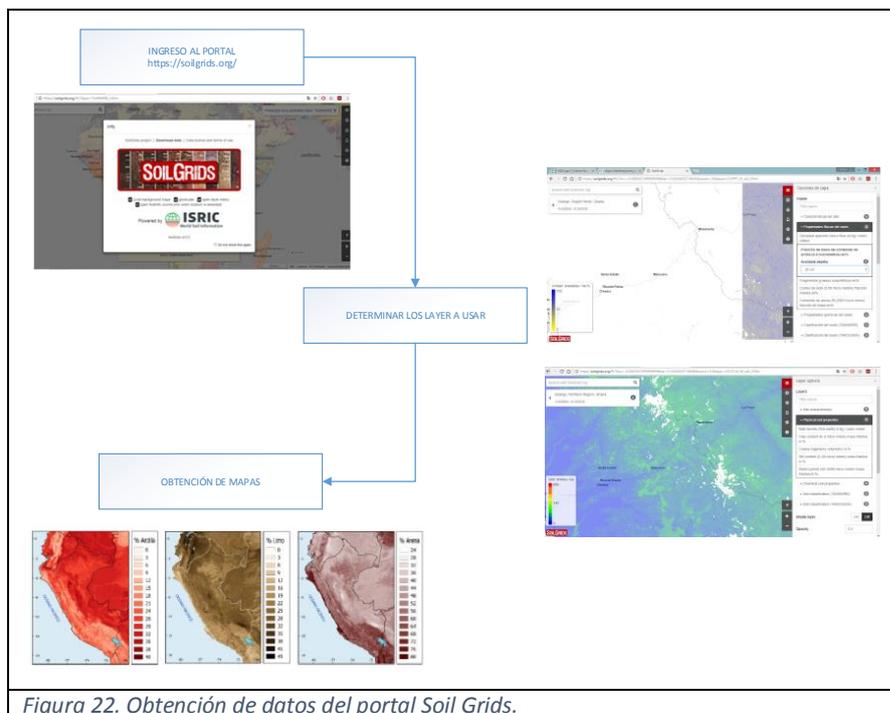


Figura 22. Obtención de datos del portal Soil Grids.

Fuente: Elaboración Propia.

II. Aplicación de la metodología:

El método CORINE es usada para estimar el riesgo de erosión hídrica actual y potencial, para ello fue necesario estimar cuatro índices relacionados a la erosión:

- a) Factor de erosividad: Para determinar el factor de erosividad de lluvia, éste fue determinado calculando el índice de Fourier modificado utilizando información de precipitaciones totales anuales y mensuales de registros históricos del portal del SENAMHI, obtenidos de los años 2016 y 2017. La rasterización del índice de Fournier modificado, es el proceso principal para la obtención del mapa que explica este factor.

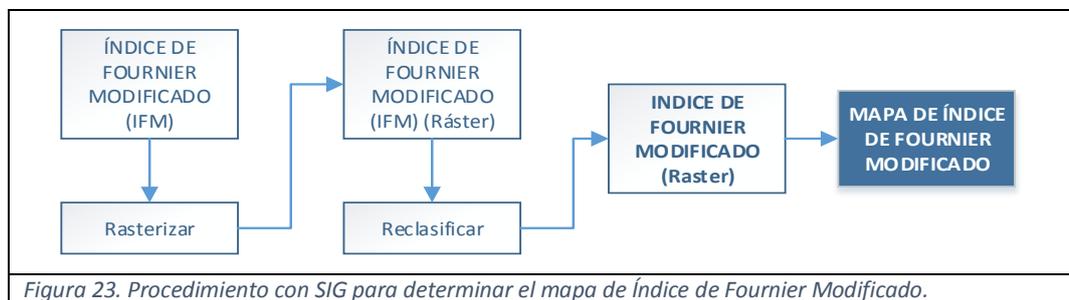


Figura 23. Procedimiento con SIG para determinar el mapa de Índice de Fournier Modificado.

Fuente: Elaboración Propia.

- b) Factor de erodabilidad: Para determinar la erodabilidad del suelo se realizó salidas a campo, en donde se tomaron muestras de los distritos de Chicla, San Mateo, Matucana y San Jerónimo de Surco, en donde se tomaron sus respectivas coordenadas UTM, muestras de suelo de 2kg c/u aproximadamente y hasta 30 cm de profundidad. (Ver Anexo N°01 y N°02)
 - Determinación de textura (Ver Anexo N°03 y N°04)

Para determinar el % arcilla, %limo y % arena se utilizó el método de Bouyoucos- hidrómetro, en los laboratorios de la Universidad Continental.
 - Determinación de pedregosidad

La visita a campó sirvió para tomar evidencias además de información sobre el estado de pedregosidad, se registró la información en la ficha de campo.
 - Profundidad

Fue necesario realizar calicatas de hasta 1m de profundidad, éste criterio se basó en medir la distancia desde la superficie hasta la base (siendo la base en punto en donde se hallan rocas), se registró la información en la ficha de campo.

A todos los criterios anteriormente mencionados se les asigna una valoración para determinar el índice de erodabilidad. Se aplica el análisis SIG, para la determinación de índices de erodabilidad de suelos, a continuación, se muestra el procedimiento para la obtención de mapa del factor de erodabilidad.

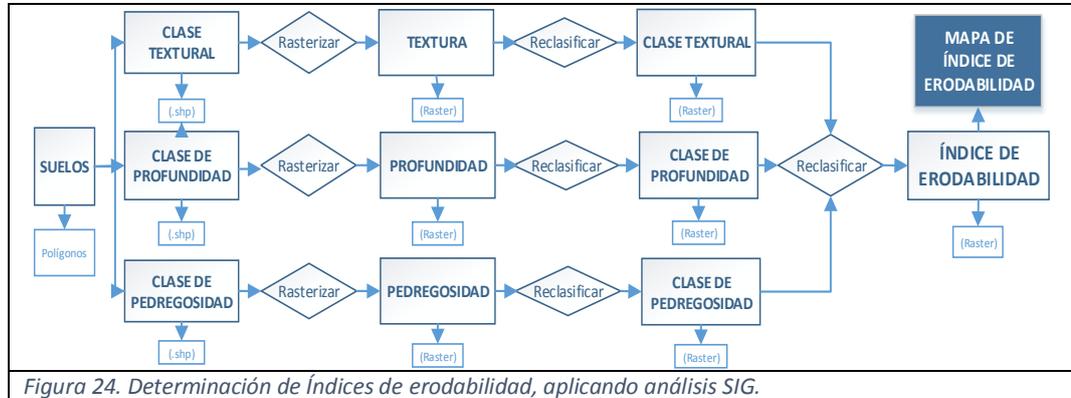


Figura 24. Determinación de Índices de erodabilidad, aplicando análisis SIG.

Fuente: Elaboración Propia.

c) Factor topográfico

Se obtuvo información de imágenes satelitales GOES y se usó programas de sistemas de información geográfica Qgis y un modelo Digital Elevation Model (DEM).

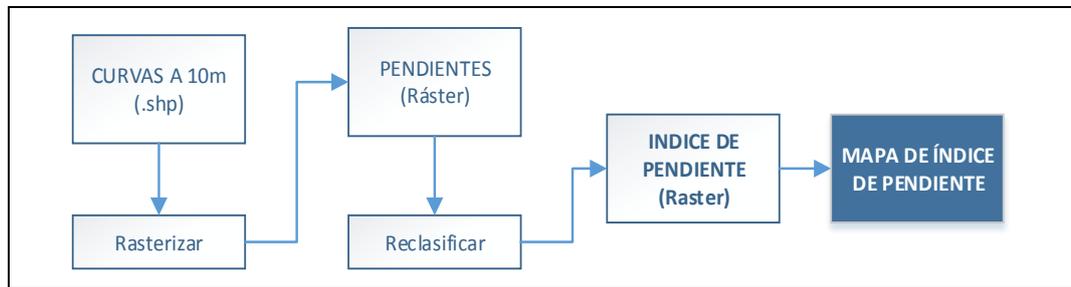


Figura 25. Procedimiento con SIG para determinar el Índice de pendiente.

Fuente: Elaboración Propia.

d) Factor cobertura vegetal

Para la determinación de este factor se utilizaron imágenes satelitales LandSat 8 y la combinación de bandas., las cuales se rasterizan y reclasifican para obtener el Índice de cubierta vegetal. Mediante el análisis SIG.

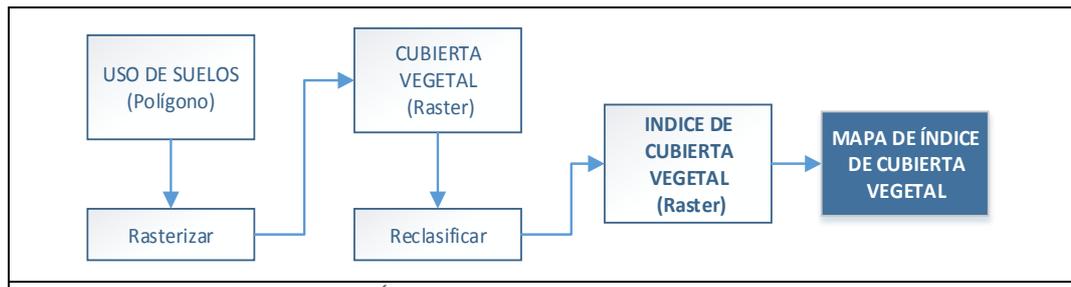


Figura 26. Análisis SIG para obtener Índices de cubierta vegetal.

Fuente: Elaboración Propia.

e) Índice de riesgo de erosión potencial

La erosión potencial es el resultado de la multiplicación de los índices de erodabilidad, erosividad y pendiente en la siguiente forma:

Índice de riesgo de erosión potencial=Índice de erosividad * Índice de erodabilidad * Índice de pendiente.

En la que con los mapas anteriormente obtenidos son calculados y se obtiene el mapa de Índice de riesgo de erosión potencial, aplicando el análisis SIG.

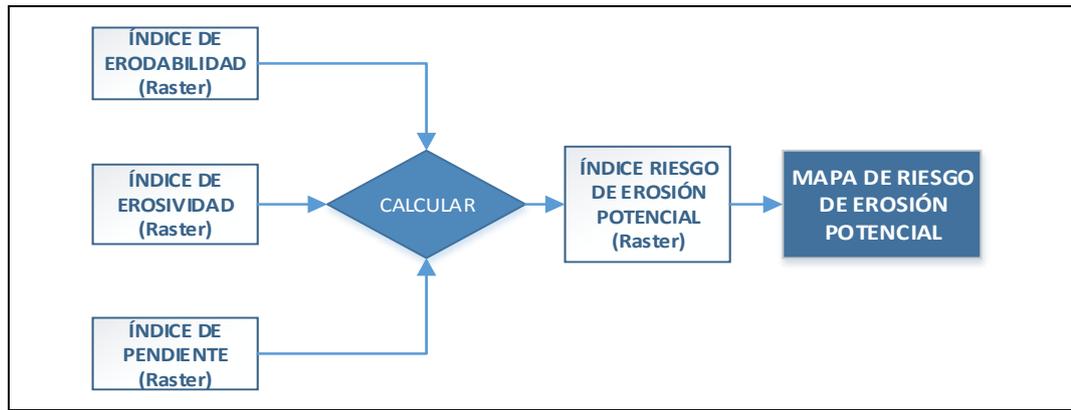


Figura 27. Análisis SIG para la determinación del Índice de erosión potencial.

Fuente: Elaboración Propia.

f) Índice de riesgo de erosión actual

El Índice de erosión actual es el resultado de la multiplicación de Índice de cubierta vegetal por los Índices de erosión potencial. Para el cual se calculó interpolando ambos índices.

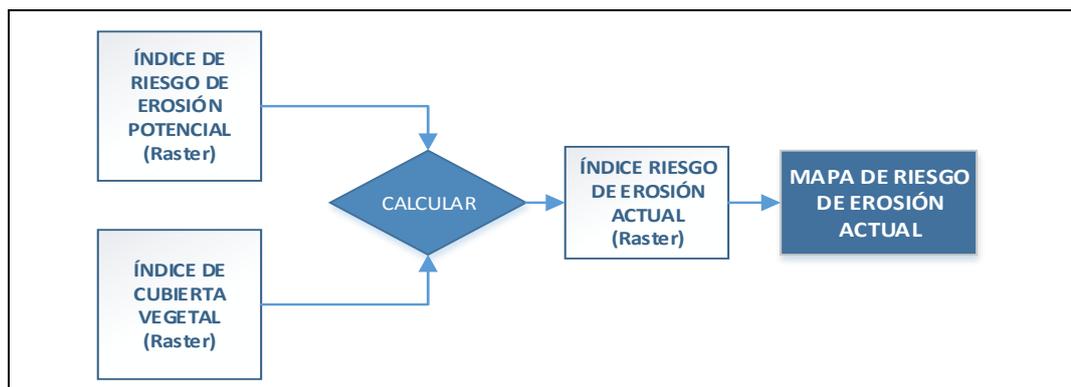


Figura 28. Análisis SIG para la determinación de Índices de erosión actual.

Fuente: Elaboración Propia.

*(Ver valores de índices en Anexo N°07)

IMPORTANTE:

*Para las muestras de suelo se utilizaron las guías de muestreo de suelos de MINAGRI, SERFOR y FAO.

*Se realizaron cortes de pendiente, por la forma del terreno siguiendo como referente el video de la Universidad Politécnica de Valencia (57)

Se adaptó la Ficha de Muestreo de la GUÍA DE MUESTREO DE SUELOS, MINAM 2014 (58),y algunos criterios básicos, pues ésta guía está dirigida para el muestreo de suelos contaminados que no es objeto de estudio en la presente investigación. (Ver Anexo N°09)

*La metodología del modelo CORINE hace uso especial de las imágenes satelitales pues permite analizar zonas de amplia magnitud, por tanto, las muestras corresponden a un control de calidad que nos permite corroborar la información de las imágenes satelitales. (Ver Anexo N°11).

METODOLOGÍA ESPECÍFICA: CORINE

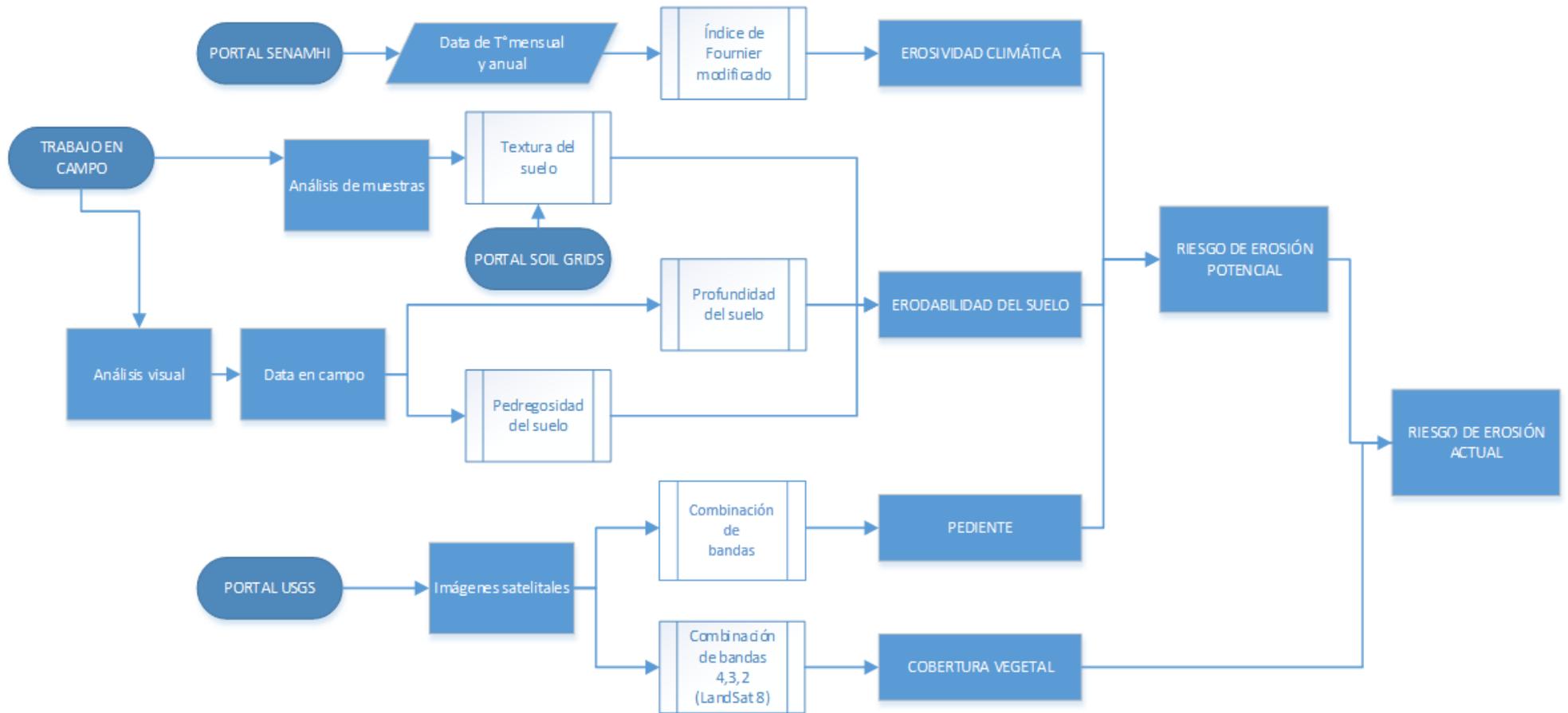


Figura 29. Aplicación del Modelo CORINE en la investigación (Metodología específica).

Fuente: Elaboración Propia.

3.1.2 Alcances de la investigación

A. Tipo de investigación

La presente investigación es Aplicada, “El tipo de investigación aplicada consiste en realizar trabajos aplicados con la finalidad de adquirir nuevos conocimientos, sin embargo, está dirigido fundamentalmente a un objetivo práctico específico. Este tipo de investigación implica la consideración de todos los conocimientos existentes y su profundización, en un intento de solucionar problemas específicos” (59). Es así que la presente investigación hace uso de un modelo, emplea imágenes satelitales además del uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para predecir el riesgo de erosión hídrica en la cuenca alta del río Rímac

B. Nivel de investigación

La presente investigación es de nivel descriptivo, “La investigación descriptiva tiene como objetivo central la descripción de situaciones, fenómenos o eventos” (59). “La investigación descriptiva, aquella que reseña las características o los rasgos de la situación o del fenómeno objeto de estudio (56). De esta forma la presente investigación se encarga de describir el comportamiento de la precipitación, los índices de erosividad, erodabilidad, pendiente y cobertura vegetal además del riesgo de erosión hídrica actual y potencial.

Las investigaciones de tipo descriptivo no requieren formular hipótesis; es suficiente plantear algunas preguntas de investigación que, surgen del planteamiento del problema, de los objetivos y, por supuesto, del marco teórico que soporta el estudio.(56)

3.2 Diseño de la investigación

El tipo de diseño de investigación es no experimental, porque no se realiza manipulación deliberada de variables, es decir se observan situaciones ya existentes.

En la investigación no experimental la variable ocurre y no es posible manipular, no se tiene control directo de dicha variable meteorológica, ni se puede influir sobre ellas, porque ya sucedieron, al igual que sus efectos.

3.2.1 Tipo de diseño de investigación

El tipo de investigación es transeccionales o transversales debido a que la recolección de datos se da en un único momento. “La investigación seccional o transversal, aquella en la cual se obtiene información del objeto de estudio (población o muestra) una única vez en un momento dado” (56).

3.3 Población y muestra

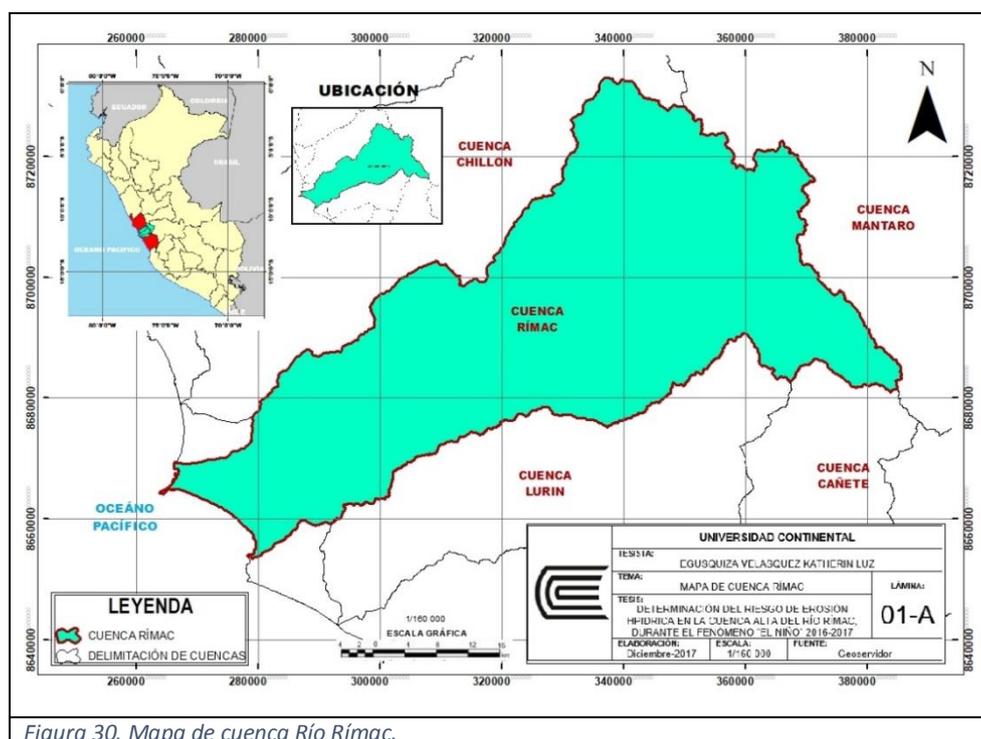
La población y muestra están determinadas por conveniencia, la población está determinada geográficamente por una extensión de mayor longitud y la muestra es parte de la población tomada para fines de la investigación.

3.3.1 Población

La población está determinada por la cuenca del río Rímac Figura 30. “La cuenca del río Rímac posee una extensión de 3503.95 Km^2 , con una longitud de 127.02 Km, la parte húmeda es aproximadamente 2303.1 Km^2 que representa el 65.7 % y corresponde a la parte alta de la cuenca.” (60).

La delimitación de la cuenca del río Rímac corresponde al mapa de Cuencas Hidrográficas, MINAM 2010 y puede visualizarse en el (Ver Anexo N°10)

Como también se muestra en el “Estudio Hidrológico y Ubicación de la Red de Estaciones Hidrométricas en la Cuenca del Río Rímac Ministerio de Agricultura, Autoridad Nacional del Agua, Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos, Administración Local de Agua Chillón Rímac Lurín” (60).



Fuente: Elaboración Propia.

3.3.2 Muestra

La muestra es no probabilística, pues se encuentra definida por el interés del investigador, se encuentra delimitada en la Figura 31, hace referencia a la parte alta de la cuenca del Río Rímac; comprende los distritos de San Jerónimo de Surco

con 102.58 km², Matucana 179.44 km², San Mateo 425.6 km² y Chicla 244.1 km² y otros distritos pequeños con una extensión de 266,59 km² ; se recolectó una muestra de suelo por localidad.

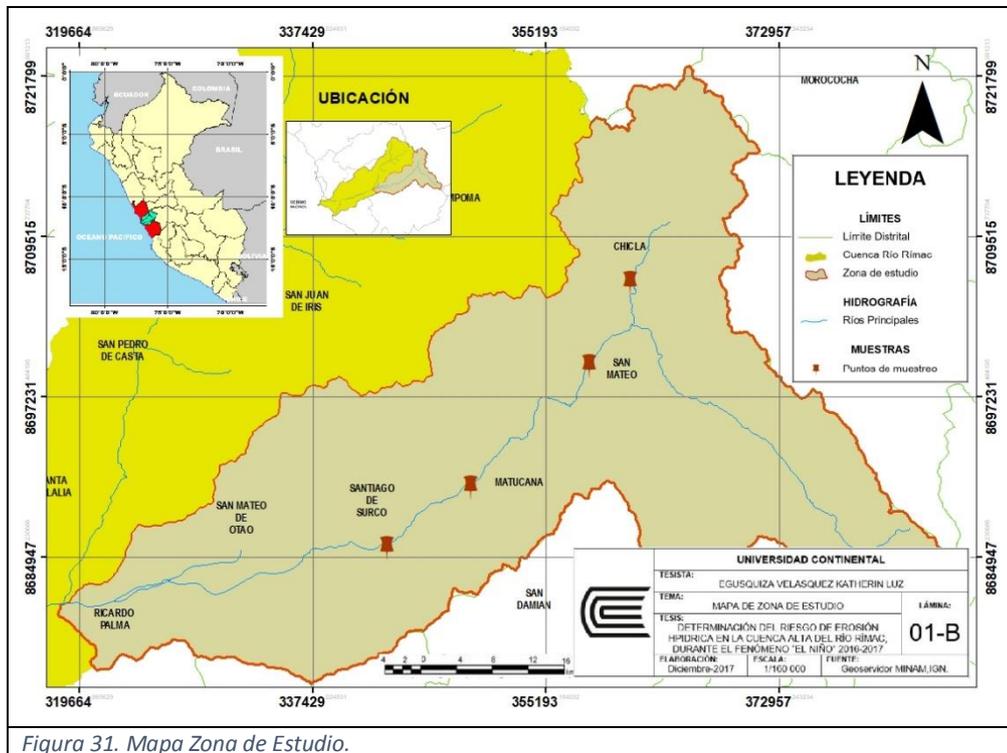


Figura 31. Mapa Zona de Estudio.

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 6. Ubicación de puntos de muestreo.

N°	LUGAR	ESTE (X)	NORTE (Y)	ALTITUD
01	CHICLA	361604	8705925	3740 msnm
02	SAN MATEO	358468	8699535	3149 msnm
03	MATUCANA	349457	8690259	2378 msnm
04	SAN JERÓNIMO DE SURCO	343133	8685584	2008 msnm

Fuente: Elaboración Propia.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para la realización de esta investigación fue necesaria realizar salidas de campo que a continuación se describen.

3.4.1 Técnicas utilizadas en la recolección de datos

Para ésta investigación se utilizó la técnica de observación directa e indirecta, pues se realizó una visita a campo a los distritos de la cuenca alta del río Rímac y se realizó la apertura de calicatas, muestreo de suelo, recolección de evidencias y obtención de datos de pedregosidad y profundidad. Entre las técnicas de observación indirecta se analizaron las imágenes satelitales para determinar

cobertura vegetal y pendiente. Además, la recopilación de datos se realizó a través de los diferentes portales tales como el SENAMHI, USGS, SOILGRIDS y otros.

También se revisó documentos, tesis e investigaciones, pues fue necesario buscar precedentes de la investigación.

3.4.2 Instrumentos utilizados en la recolección de datos

Los instrumentos empleados fueron la guía del observador, donde se pudo describir las características de las zonas de estudio, pedregosidad, profundidad. Además, se empleó el GPS para establecer nuestra ubicación a través de coordenadas UTM registrándose en una Ficha de campo. El uso de una cámara fotográfica fue necesario para tomar evidencia de nuestros diferentes puntos de muestreo

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información

En el presente capítulo se presentan los resultados de la investigación tomando en cuenta como periodo los años 2016 y 2017 donde la presencia del fenómeno “El Niño” ocasionó desastres en la cuenca del río Rímac, se describe las características de la precipitación, además de los índices que intervienen para la obtención de los índices de riesgo de erosión. Se presentan mapas de erosión potencial y actual de la zona estudiada.

4.1.1 Caracterización de las precipitaciones

En la Figura 32, se muestra la distribución de la precipitación Estación Río Blanco (Chicla). La Figura 32-A) muestra la distribución de la precipitación en el año 2016 donde febrero registra 133.2 mm y marzo 110.7mm siendo éstos los meses con mayor precipitación. La Figura 32-B) muestra la distribución de la precipitación en el año 2017, los meses con mayor precipitación son los meses de enero con 184.2 mm, febrero el más alto con 227.9 mm y marzo con 159.9 mm. La Figura 32-C) muestra la distribución de la precipitación en los años 2016 y 2017 además de la normal climática de los años (1985- 2014), se visualiza que las precipitaciones inician en el mes de octubre y son mayores los meses de enero, febrero y marzo para luego descender en los meses de abril, mayo hasta llegar a los meses donde se presentan escasas precipitaciones, es de esta forma que se sostiene que el año hidrológico inicia en mes de octubre del 2016 y culmina el mes de setiembre del año siguiente. Las precipitaciones más altas se registraron en el año 2017 a consecuencia del paso del fenómeno “El Niño Costero” que alteraron el

comportamiento normal de las precipitaciones, en relación a la normal climática el mes de enero del 2017 es superior por un 76.8 mm, el mes de febrero del 2017 por 128.8 mm, el mes de marzo del mismo año por 25.3 mm, siendo éstas las de mayor las de mayor importancia.

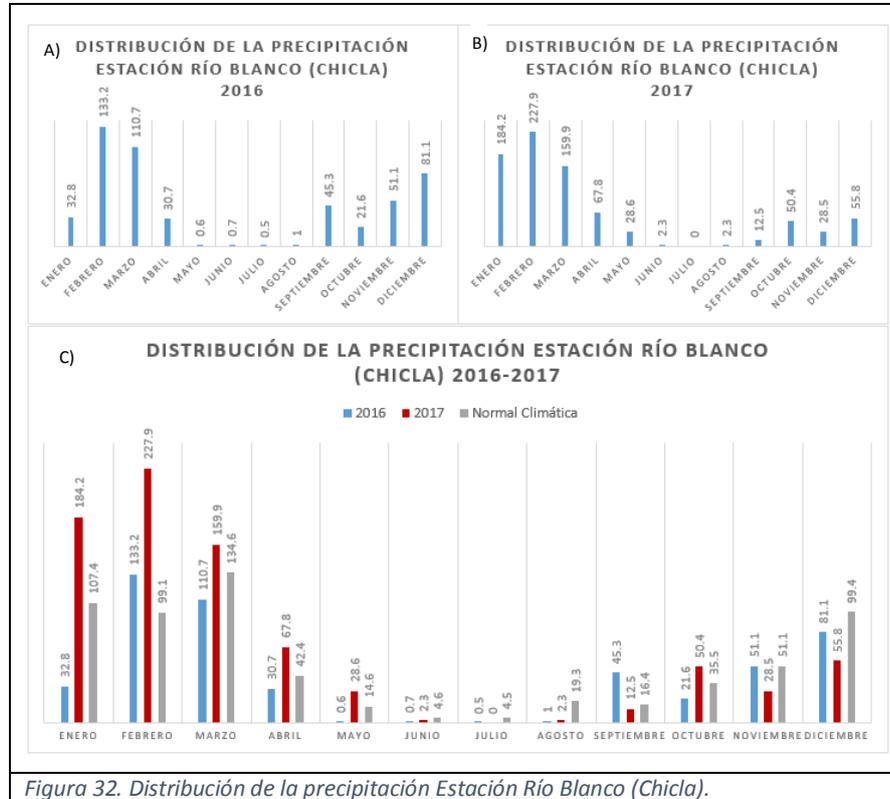


Figura 32. Distribución de la precipitación Estación Río Blanco (Chicla).

Fuente: Elaboración Propia. – A partir de los datos extraídos del SENAMHI, 2017.

En la Figura 33, se muestra la distribución de la precipitación Estación Casapalca (Chicla). La Figura 33-A) muestra la distribución de la precipitación en el año 2016 donde enero registra 79.6 mm, los meses con precipitación más altas son febrero con 160.0 mm, marzo 109.3 mm y abril con 80.7 mm. La Figura 33-B) muestra la distribución de la precipitación en el año 2017, los meses con mayor precipitación son los meses de enero con 222.1 mm, febrero con 173.4 mm, marzo con 134.9 mm y abril con 74.6 mm. La Figura 33-C) muestra la distribución de la precipitación en los años 2016 y 2017 además de la normal climática de los años (2012- 2015), se visualiza que las precipitaciones inician en el mes de setiembre y octubre, los meses que registraron mayores precipitaciones son: enero, febrero y marzo para luego descender en los meses de abril, mayo hasta llegar a los meses donde se presentan escasas precipitaciones, es de esta forma que se sostiene que el año hidrológico inicia en mes de setiembre del 2016 y culmina el mes de agosto del año siguiente. Las precipitaciones más altas se registraron en el año 2017 a consecuencia del paso del fenómeno “El Niño” que alteraron el comportamiento

normal de las precipitaciones, en relación a la normal climática el mes de enero del 2017 es superior por un 81.3 mm, el mes de febrero del 2017 por 29.5 mm. Se observa también que la normal climática es mayor en los meses de diciembre y marzo en ambos años de estudio, además la precipitación del año 2017 es mayor que la del 2016 un claro ejemplo el mes de enero de 2017 es mayor al del 2016 por 142.5 mm. El comportamiento de las precipitaciones es de tendencia oscilatoria, es decir tiene periodos de precipitaciones altas seguidamente de periodos de precipitaciones bajas.

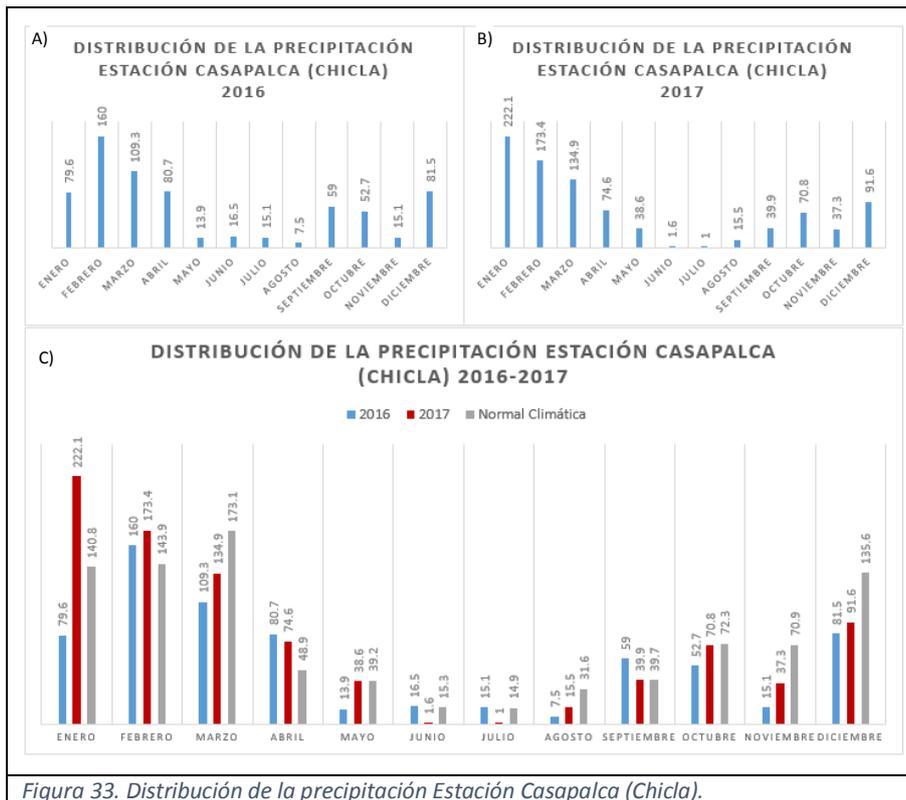


Figura 33. Distribución de la precipitación Estación Casapalca (Chicla).

Fuente: Elaboración Propia. – A partir de los datos extraídos del SENAMHI, 2017.

En la Figura 34, se muestra la distribución de la precipitación en el distrito de San Mateo tomada de la estación de San Mateo de Huanchor (San Mateo). La Figura 34-A) muestra la distribución de la precipitación en el año 2016 donde los meses con mayor precipitación son: febrero es el más alto y registra 103.9 mm, marzo 78.9 mm y diciembre con 79.3 mm. La Figura 34-B) muestra la distribución de la precipitación en el año 2017, los meses con altas precipitaciones son los meses de enero con 163.2 mm, febrero con 165.7 mm y marzo con 161.7 mm. La Figura 34-C) muestra la distribución de la precipitación en los años 2016 y 2017 además de la normal climática de los años (2012- 2015), se visualiza que las precipitaciones inician en el mes de setiembre y octubre siendo los meses con mayor precipitación: enero, febrero y marzo para luego descender en los meses de

abril, mayo hasta llegar a los meses donde se presentan escasas precipitaciones, es de esta forma que se sostiene que el año hidrológico inicia en mes de octubre del 2016 y culmina el mes de setiembre del año siguiente. Las precipitaciones más altas se registraron en el año 2017 a consecuencia del paso del fenómeno “El Niño” que alteraron el comportamiento normal de las precipitaciones, en relación a la normal climática se muestra una muy marcada diferencia en los meses de enero, febrero y marzo; es así que el mes de enero del 2017 es superior por un 87.5 mm, el mes de febrero del 2017 por 81.6 mm, el mes de marzo del mismo año por 54.7 mm, siendo éstas las de mayor diferencia.

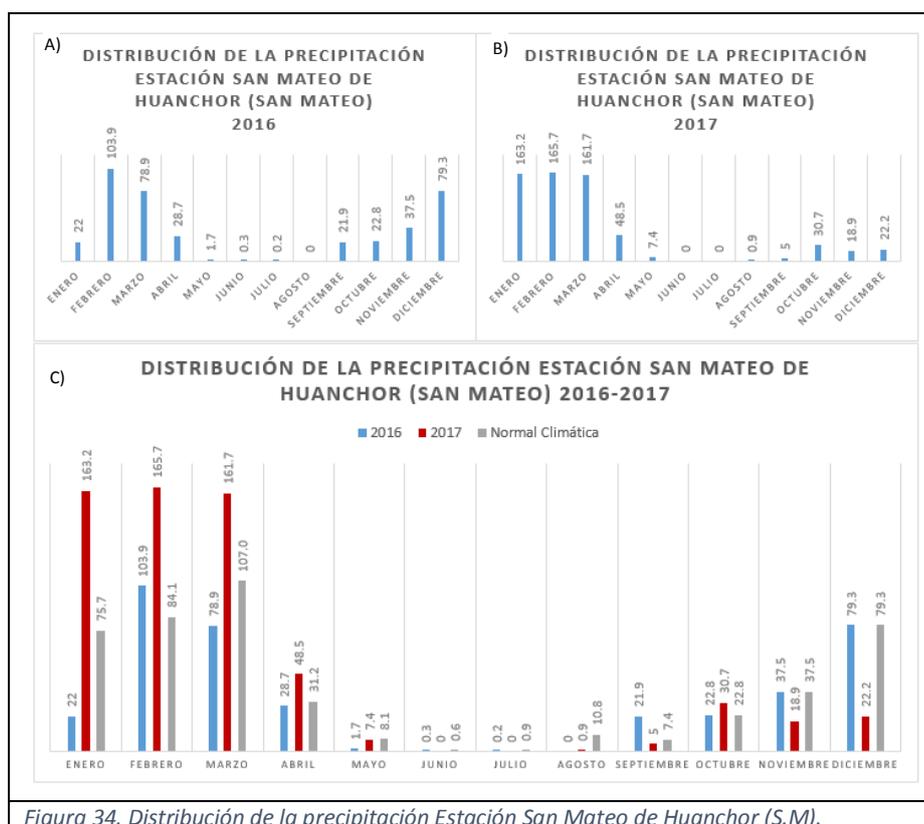


Figura 34. Distribución de la precipitación Estación San Mateo de Huanchor (S.M).

Fuente: Elaboración Propia. – A partir de los datos extraídos del SENAMHI, 2017.

En la Figura 35, se muestra la distribución de la precipitación Estación San José de Parac (San Mateo). La Figura 35-A) muestra la distribución de la precipitación en el año 2016 donde los meses que registraron mayor precipitación fueron: enero con 112.4 mm, febrero con 161.9 mm, marzo 119.6 mm y diciembre con 123.5 mm. La Figura 35-B) muestra la distribución de la precipitación en el año 2017, los meses con altas precipitaciones son : enero con 218.8 mm, febrero con 199.1 mm y marzo con 214.7 mm. La Figura 35-C) muestra la distribución de la precipitación en los años 2016 y 2017 además de la normal climática de los años (2012- 2015), se visualiza que las precipitaciones inicia el mes de octubre siendo los meses con mayor precipitación: diciembre, enero, febrero y marzo para luego

descender en los meses de abril, mayo hasta llegar a los meses donde se presentan escasas precipitaciones, es de esta forma que se sostiene que el año hidrológico inicia en mes de octubre del 2016 y culmina el mes de setiembre del año siguiente. Las precipitaciones más altas se registraron en el año 2017 a consecuencia del paso del fenómeno “El Niño” que alteraron el comportamiento normal de las precipitaciones, en relación a la normal climática se muestra una muy marcada diferencia en los meses de enero, febrero y marzo del 2017, de esta forma el mes de enero es superior por 106.4 mm, el mes de febrero por 72.7 mm y el mes de marzo por 66.6 mm, siendo éstas las de mayor diferencia. Además, cabe resaltar que las precipitaciones del año 2017 son mayores que las del 2016.

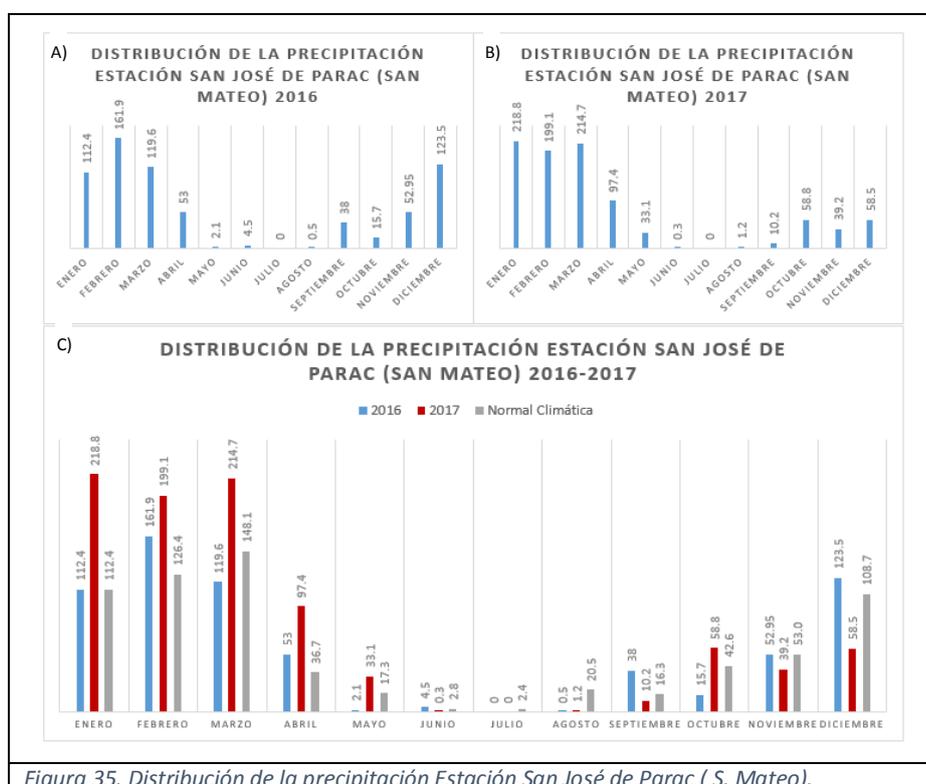


Figura 35. Distribución de la precipitación Estación San José de Parac (S. Mateo). Fuente Elaboración Propia. – A partir de los datos extraídos del SENAMHI, 2017.

En la Figura 36, se muestra la distribución de la precipitación Estación Matucana (Matucana). La Figura 36-A) muestra la distribución de la precipitación en el año 2016 donde los meses con mayor precipitación fueron: enero con 48.8 mm, febrero es el más alto con 65.5 mm, marzo 53.8 mm y diciembre con 42.8 mm. La Figura 36-B) muestra la distribución de la precipitación en el año 2017, los meses con altas precipitaciones son: enero con 119.0 mm, febrero con 106.0 mm y marzo con 119.0 mm. La Figura 36-C) muestra la distribución de la precipitación en los años 2016 y 2017 además de la normal climática de los años (1964- 2015), se visualiza que las precipitaciones inicia el mes de octubre siendo los meses con mayor precipitación: diciembre, enero, febrero y marzo para luego descender en los

meses de abril, mayo hasta llegar a los meses donde se presentan escasas precipitaciones, es de esta forma que se sostiene que el año hidrológico inicia en mes de noviembre del 2016 y culmina el mes de octubre del año siguiente. Las precipitaciones más altas se registraron en el año 2017 a consecuencia del paso del fenómeno “El Niño” que alteraron el comportamiento normal de las precipitaciones, en relación a la normal climática el año 2017 muestra una muy marcada diferencia es así que el mes de enero es superior por 70.2 mm, el mes de febrero por 69.9 mm y el mes de marzo por 29.2 mm, siendo éstas las de mayor diferencia. Además, cabe resaltar que las precipitaciones del año 2017 son mayores hasta por un 50 % que las del 2016.

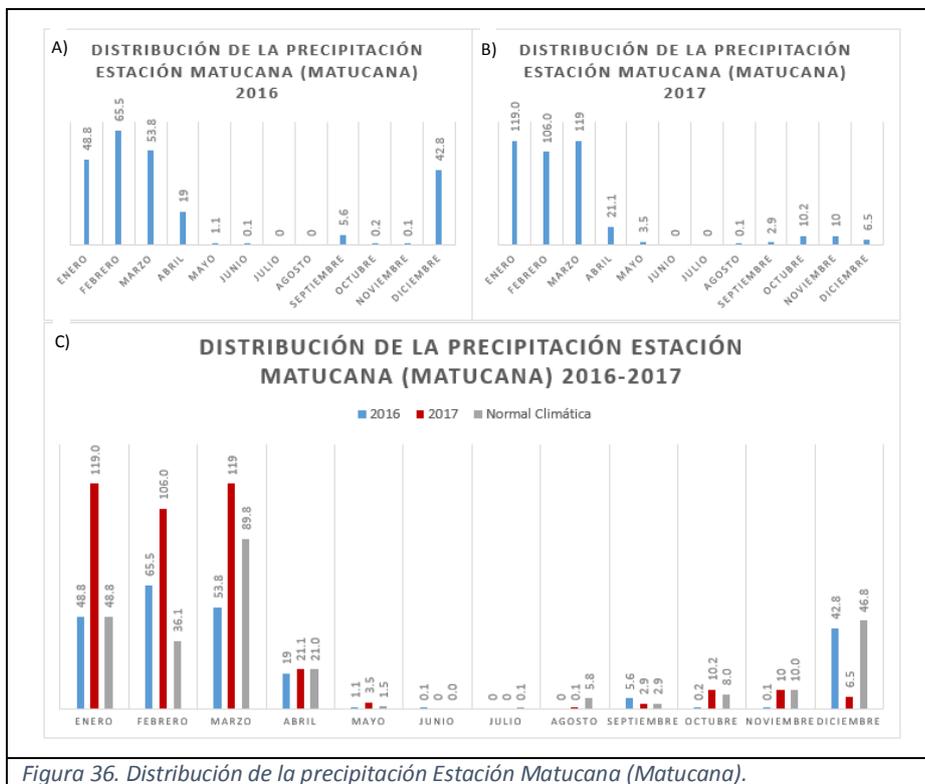


Figura 36. Distribución de la precipitación Estación Matucana (Matucana).

Fuente: Elaboración Propia. – A partir de los datos extraídos del SENAMHI, 2017.

En la Figura 37, se muestra la distribución de la precipitación de todas las estaciones ubicadas en la Cuenca Alta del Río Rímac. La Figura 37-A) muestra la distribución de la precipitación en el año 2016 de todos los registros de las estaciones de Río Blanco, Casapalca, San Mateo de Huanchor, San José de Parac y Matucana donde los niveles más altos se encuentran en el rango de 100 mm-200 mm. La Figura 37-B) muestra la distribución de la precipitación en el año 2017 de la misma forma, en todas las estaciones meteorológicas consideradas en la zona de estudio, donde los niveles más altos se encuentran entre 150 mm-250 mm y por último la Figura 37-C) muestra la distribución de la precipitación de la normal climática donde los niveles más altos se encuentran entre 100 mm-200 mm de la

misma forma de los datos registrados en el año 2016. La diferencia resalta en que los niveles de la precipitación en el año 2017 son superiores a los de la normal climática y los del 2016.

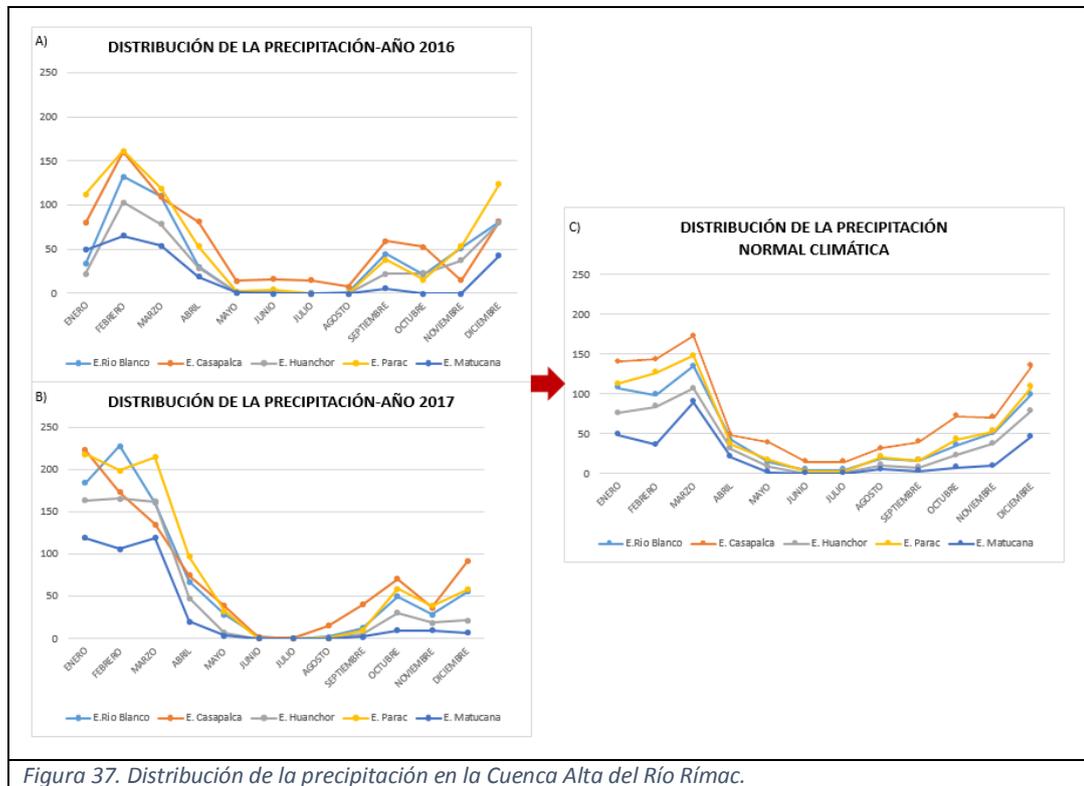


Figura 37. Distribución de la precipitación en la Cuenca Alta del Río Rímac.

Fuente: Elaboración Propia. – A partir de los datos extraídos del SENAMHI, 2017.

En la Figura 38, se muestra el promedio de la precipitación por cada año de estudio incluyendo la normal climática donde el promedio del año 2017 es de 61.3mm siendo el 40 %, superior al del año 2016 con 42.0mm siendo 27 % y al de la normal climática con 49.6mm siendo el 33 %.

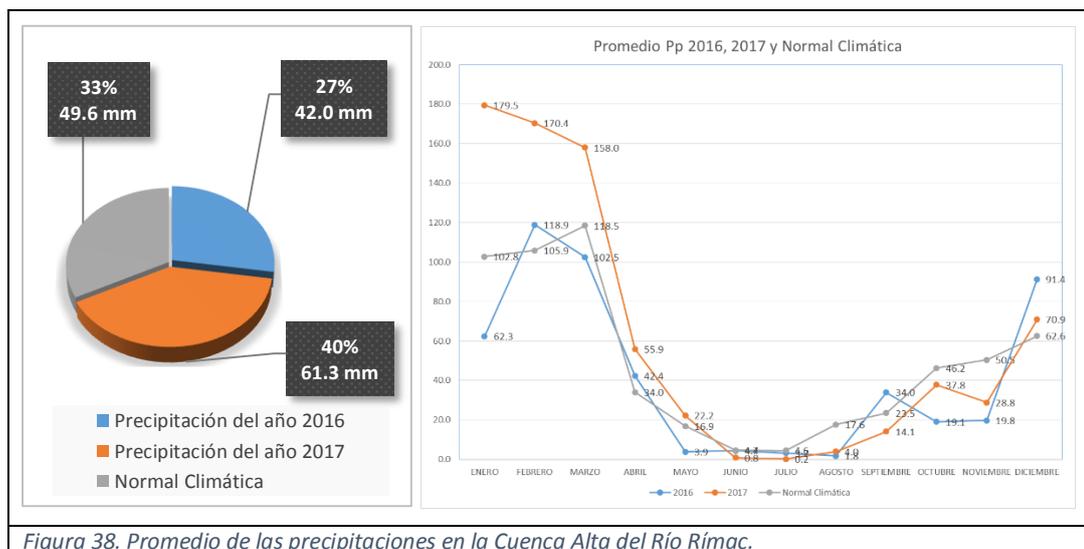


Figura 38. Promedio de las precipitaciones en la Cuenca Alta del Río Rímac.

Fuente: Elaboración Propia. – A partir de los datos extraídos del SENAMHI, 2017.

4.1.2 Descripción de los resultados de los índices de la aplicación del modelo CORINE.

- Índice de Erosividad Climática- índice de Fournier Modificado

Tabla 7. Resultados obtenidos de Índice de Fournier Modificado (IFM)

Periodo	Índice de Fournier Modificado (IFM)			Área(ha)	Área %
	Clase	Rango	Descripción		
2016-2017	2	Bajo	60-90	38051	31
	4	Alto	120-160	26337	22
	5	Muy Alto	>160	57443	47
TOTAL				121 831 ha	100 %

Fuente: Elaboración Propia.

En el mapa de Erosividad Climática se muestra el índice de Fournier Modificado (IFM) para los años 2016 y 2017 (Figura 39), dónde el 31 % del área en estudio presenta Clase 2 (Bajo) involucra los distritos de Matucana, Surco, Ricardo Palma y San Bartolomé, el 22 % presenta Clase 4 (Alto) e involucra los distritos de San Mateo de Otao y San Mateo y el 47 % presenta Clase 5 (Muy Alto) e involucra los distritos de Chicla, Casapalca y distritos cercanos a la Cordillera de los Andes.

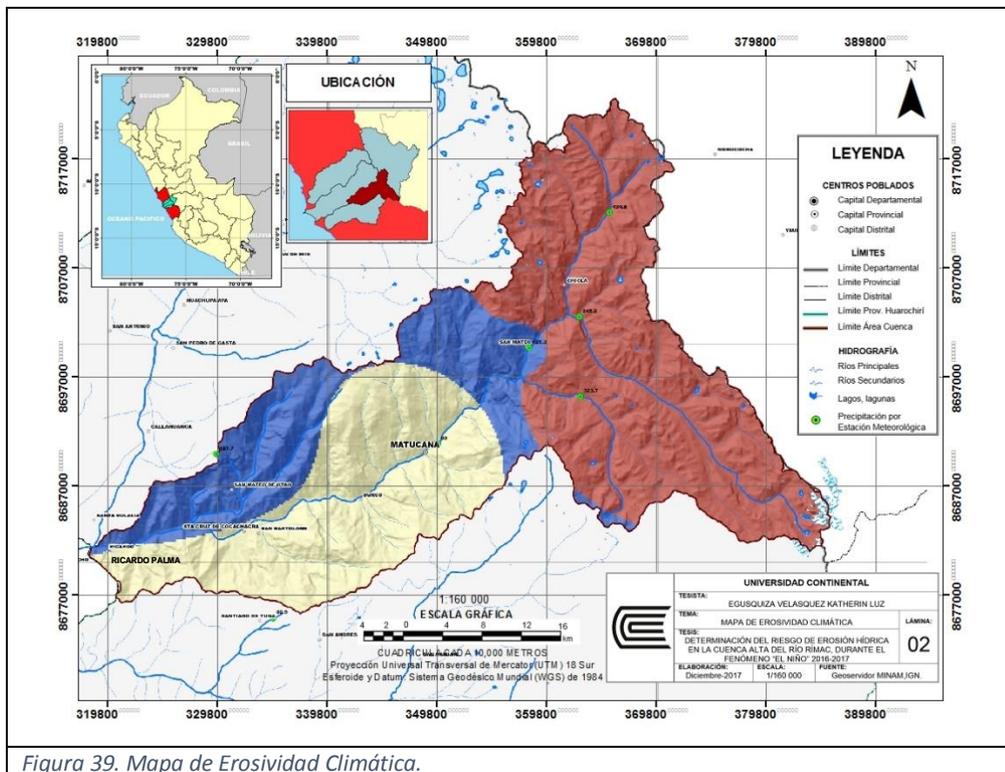


Figura 39. Mapa de Erosividad Climática.
Fuente: Elaboración Propia - Elaborado a partir de datos obtenidos del SENAMHI, portal de CPTEC y USGS, 2017.

- Índice de Erodabilidad del suelo

Tabla 8. Resultados obtenidos de Índice de Erodabilidad de Suelos.

Índice	Descripción	Área (ha)	Porcentaje (%)
1	Bajo	57409	47
2	Moderado	64422	53
TOTAL=		121831 ha	100 %

Fuente: Elaboración Propia.

En el mapa de Erodabilidad se muestra el índice de Erodabilidad del Suelo para los años 2016 y 2017 (Figura 40), se visualiza que el 47 % del área total es bajamente erodible e involucra los distritos de Chicla y San Mateo; y el 53 % del área total es moderadamente erodible e involucra los distritos de Matucana, Santiago de Surco, San Mateo de Otao y Ricardo Palma todas éstas ubicadas en la parte alta de la cuenca alta del río Rímac.

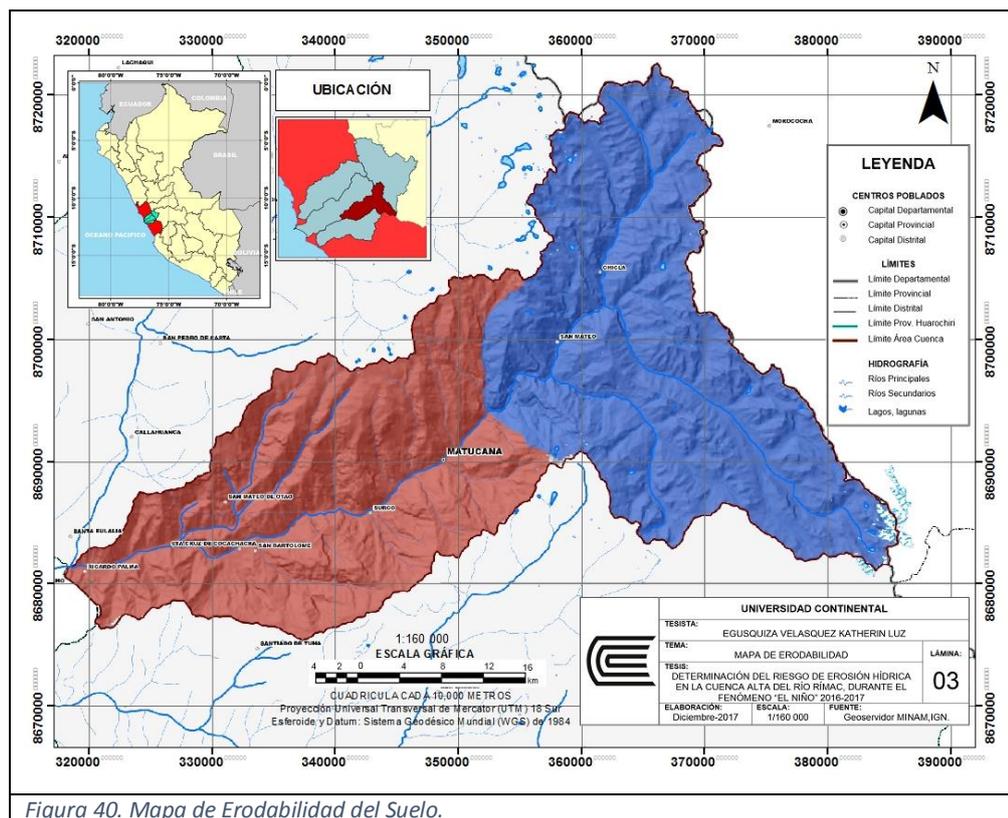


Figura 40. Mapa de Erodabilidad del Suelo.

Fuente: Elaboración Propia - Elaborado a partir de imágenes satelitales obtenidos de USGS e información del portal SOILGRIDS, 2017.

- Índice de Pendiente

Tabla 9. Resultados obtenidos de Índice de Pendiente.

Índice		Descripción	Área (ha)	Porcentaje (%)
1		Suave o Llano	9410	8
2		Llano	2512	2
3		Pendiente	7207	6
4		Mucha pendiente	102702	84
TOTAL=			121 831 ha	100 %

Fuente: Elaboración Propia.

En el mapa de Pendiente se muestra el índice de Pendiente del Suelo para los años 2016 y 2017 (Figura 41), se visualiza que el 8 % del área total es ondulado a plano, el 2 % del área total es ondulado, el 6 % del área total es empinado y el 84 % del área total es muy empinado.

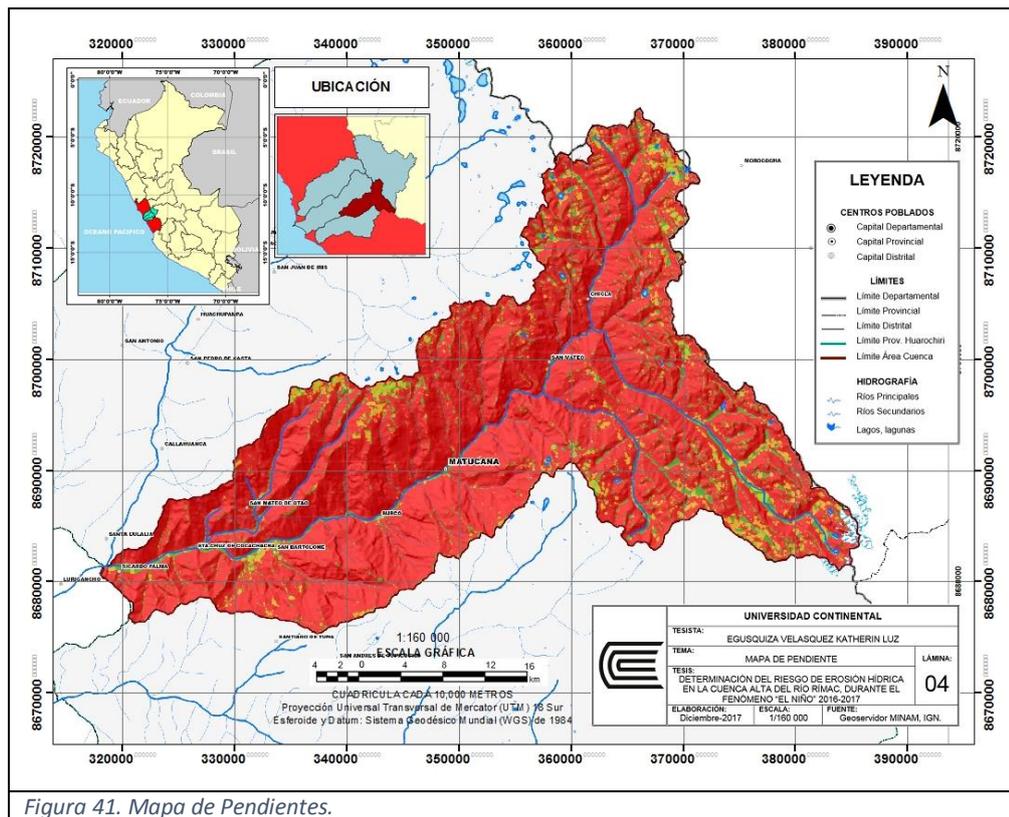


Figura 41. Mapa de Pendientes.

Fuente: Elaboración Propia - Elaborado a partir de imágenes satelitales obtenidos de USGS, 2017.

- Índice de Cubierta Vegetal

Tabla 10. Resultados obtenidos de Índice de Cobertura Vegetal.

Índice	Descripción	Área (ha)	Porcentaje (%)
1	Completamente Protegido	90520	74
2	No Completamente Protegido	31311	26
TOTAL=		121831 ha	100 %

Fuente: Elaboración Propia.

En el mapa de Cubierta Vegetal se muestra el índice de Cubierta Vegetal para los años 2016 y 2017 (Figura 42), se visualiza que el 74 % del área total como completamente protegido y el 26 % del área total como no completamente protegido, que se encuentra en las partes laterales de la cuenca alta del río Rímac.

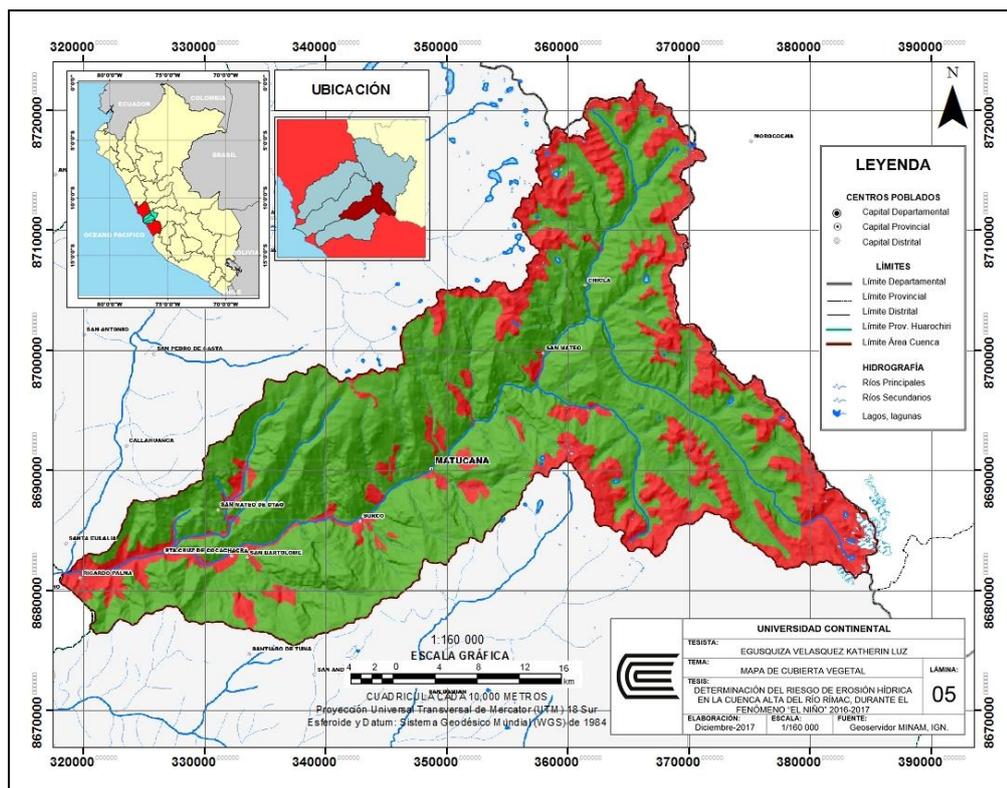


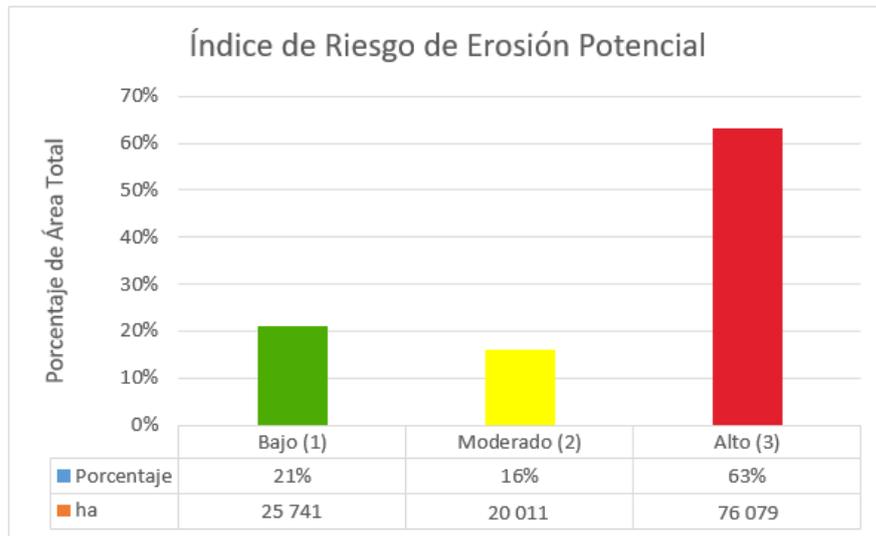
Figura 42. Mapa de Cubierta Vegetal.

Fuente: Elaboración Propia - Elaborado a partir de imágenes satelitales obtenidos de USGS, 2017.

4.1.3 Riesgo de erosión hídrica potencial y actual

- Índice de Riesgo de Erosión Potencial

Figura 43. Gráfico Índice de Erosión Potencial.



Fuente: Elaboración Propia.

En el mapa de Erosión Potencial (Figura 44) y (Figura 43), se muestra el Índice de Riesgo de Erosión Potencial, dónde el 21 % del área total presenta Índice 1 (bajo), el 16 % presenta Índice 2 (moderado) y el 63 % presenta Índice 3 (alto).

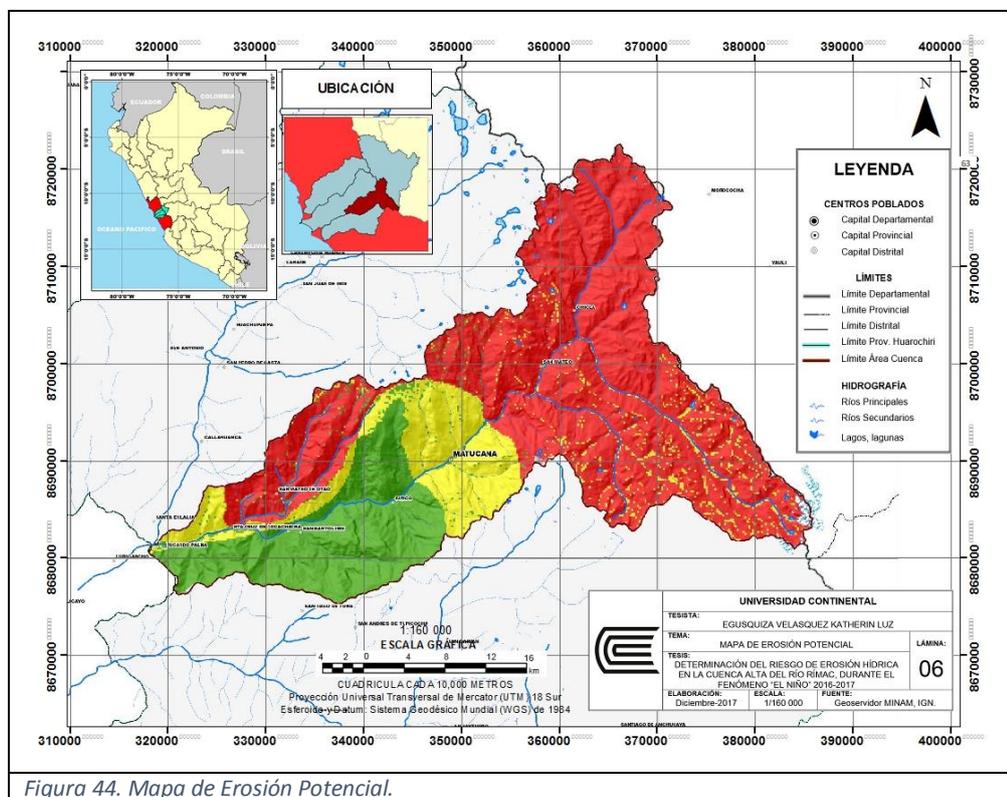
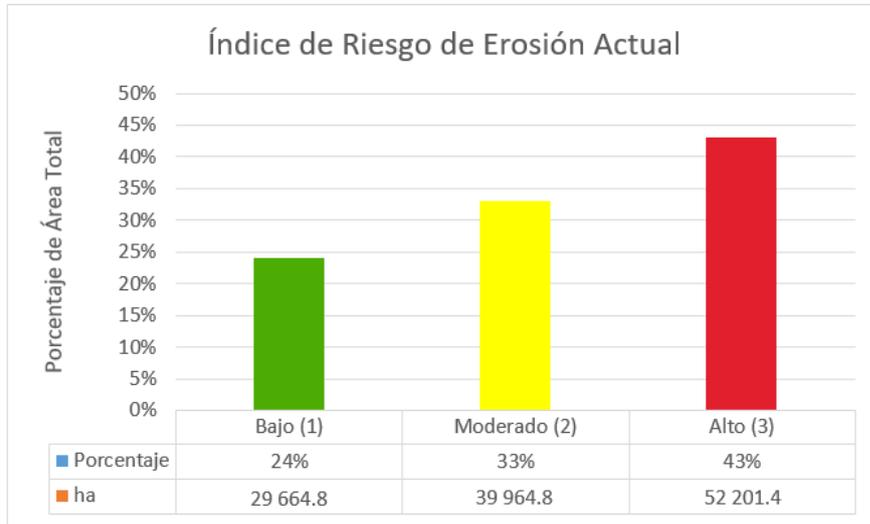


Figura 44. Mapa de Erosión Potencial.

Fuente: Elaboración Propia - Elaborado a partir de imágenes satelitales obtenidos de USGS, 2017.

- Índice de Riesgo de Erosión Actual

Figura 45. Gráfico Índice de Erosión Actual.



Fuente: Elaboración Propia.

En el mapa de Erosión Actual (Figura 46) y (Figura 45), se muestra el Índice de Riesgo de Erosión Potencial, dónde el 24 % del área total presenta Índice 1 (bajo), el 33 % presenta Índice 2 (moderado) y el 43 % presenta Índice 3 (alto).

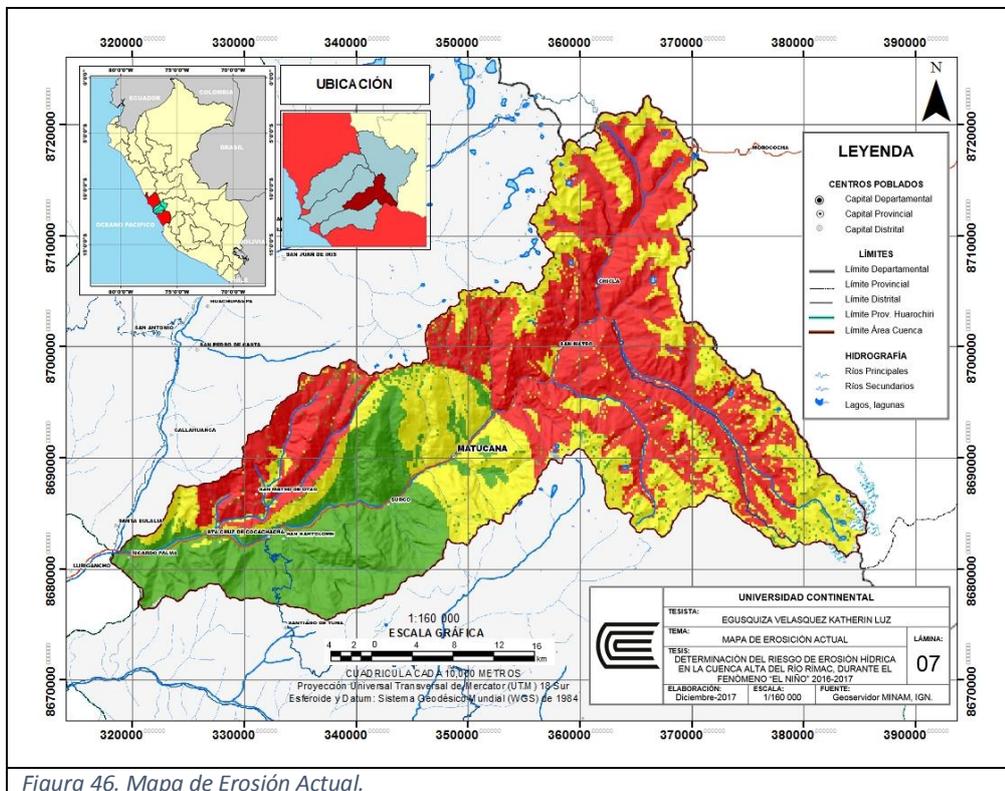


Figura 46. Mapa de Erosión Actual.

Fuente: Elaboración Propia - Elaborado a partir de imágenes satelitales obtenidos de USGS, 2017

4.2 Discusión de resultados

- Para la determinación y cálculo de erosión existen diferentes modelos, el modelo CORINE por su sencillez y fácil de aplicar con SIG, desarrolla una base de datos a partir del procesamiento digital de imágenes satelitales adicionalmente valida la información a través de un control de calidad en campo, éste modelo puede aplicarse a diferentes lugares porque el uso de recursos digitales se encuentra disponibles para todo el planeta. Mientras que el modelo USLE y sus variantes son los más usuales, éstos modelos cuantitativos para la predicción de sedimentos necesitan más variedad de factores y, que a su vez no requieren de un trabajo en campo para validar su información como lo muestra Sabino (25) en su investigación. USLE no es una ecuación universal ya que se encuentra adaptada a condiciones de los Estados Unidos y en sus orígenes sólo medía la erosión en parcelas, por tanto éstos resultados podrían ser desvirtuados ya que se presentarían dificultades y muchas limitaciones. Sin embargo, con el tiempo ha tenido modificaciones y su aplicación se da para áreas de mayor extensión. Por ende, un modelo cuantitativo o cualitativo para la determinación de la erosión con la aplicación de los SIG posee un gran potencial para la producción de modelos eficientes, la reducción de costos de trabajos en campo y la integración de información variada.

Tabla 11. Diferencias de los modelos USLE y CORINE

MODELO	USLE	CORINE
DESCRIPCIÓN	“Universal Soil Loss Equation” ó Ecuación Universal de Pérdida de Suelo	“Coordination of Information on the Environment” ó Coordinación de información sobre el medio ambiente
DESARROLLO	EEUU-1930	UNIÓN EUROPEA-1987
DIRIGIDO POR	Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de EEUU	La Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA)
PROCESO	$A=R.K.L.S.C.P$	Erosión Potencial= Erosividad Climática+Erodabilidad+Pendiente Erosión Actual=Erosión Potencial+Cobertura Vegetal
OBJETIVO	Estimar las tasas de erosión, expresa el promedio de las pérdidas anuales de suelo (en toneladas métricas por hectárea y año, t/ha/año)	Desarrolla la creación de una base de datos sobre la cobertura y uso del territorio
FORMA	CUANTITATIVA	CUALITATIVA

Fuente: Elaboración Propia- Realizada a partir de información recopilada de IDEAM y Wikipedia, 2017.

Además (16) menciona que el modelo USLE, si bien es cuantitativo el modelo no proporciona la exactitud requerida. Se conoce que es un modelo universal para zonas de EE. UU. Por tanto, utilizar otros modelos podrían mejorar el estudio de la erosión de los suelos en zonas con diferentes condiciones.

- La erosividad climática en el modelo CORINE, utiliza el índice de Fournier modificado que corrige las desviaciones del índice de Fournier , además que considera las precipitaciones en todos los meses no sólo las de mayor precipitación sino también las de menor, de esta forma brinda resultados confiables en comparación con Valdez (24), determina el factor de erosividad a partir del Método Wischmeier, donde considera a la energía cinética como mejor estimador de la pérdida de suelo, y su máxima intensidad en un intervalo de 30 minutos, éste método está propuesto para lugares de alta precipitación por lo tanto no brinda resultados representativos en muchas localidades en donde se realice un estudio de erosividad utilizando éste método. Colque (61) utiliza el modelo USLE y presenta un problema en determinar éste factor pues para su cálculo es necesario determinar la intensidad de las lluvias que sólo son registrados por los fluviógrafos, pero la mayoría de estaciones meteorológicas no cuentan con ello, es así que para el cálculo de éste factor emplea el índice de Fournier modificado pues los resultados son confiables, además de ser un método práctico.
- Las precipitaciones influyen de manera significativa en el proceso de erosión de la cuenca alta del río Rímac, ésta es húmeda por las constantes precipitaciones en época lluviosa, Rodríguez (62) considera a la cuenca alta del río Rímac como una zona húmeda pues en épocas lluviosas se registra en promedio 15 días de precipitaciones continuas mientras en época seca no se reporta lluvias por un máximo de 130 días en promedio esto tomando en cuenta un comportamiento normal de las precipitaciones , mas no se realizó el estudio adicional en periodos donde se presenta el fenómeno “El Niño” donde se altera los periodos normales de precipitaciones es así que en épocas secas pueden presentarse anomalías de la precipitación, verse extendidas o disminuidas. La información presentada por Rodriguez es general, sin dar énfasis a lo mencionado. Lavado y Carlo (20) identifican anomalías registradas en estaciones cercanas a la zona de estudio durante la presencia del fenómeno “El Niño Fuerte y Moderado” y clasifica al año hidrológico de setiembre (año k-1) a agosto(año k) para los años de estudio de (1965-2007) éste se acerca al escenario reciente con la presencia de “El Niño Costero”; en el periodo de estudio el año hidrológico inicia el mes de octubre

2016 y termina el mes de setiembre 2017 de esta forma no dista mucho de escenarios de “El Niño Fuerte” y “El Niño Moderado”. El análisis estacional resalta que los meses de DEF y MAM presentan estaciones con anomalías significativas en la Vertiente del Pacífico, donde se destaca los trimestres de MAM para eventos del “El Niño Fuerte” las anomalías llegaron hasta +471mm en la zona norte de la Vertiente del Pacífico; más no se consideró el estudio para la zona centro de la Vertiente del Pacífico ya que ésta se presenta como zona vulnerable a la erosión y deslizamientos, el estudio de las precipitaciones es necesario en temas de erosión hídrica. Las anomalías de la precipitación en la zona centro de la Vertiente del Pacífico significa mayor vulnerabilidad de que los suelos sean erosionados debido a la velocidad de las lluvias y a su distribución; y a su vez la velocidad de la escorrentía probable asociado a los eventos de precipitación.

- La zona de estudio que abarca los distritos de Santiago de Surco y Matucana poseen una altitud superior a los 2000 msnm y menor a los 2400 msnm, mientras que los distritos de San Mateo y Chicla son mayores a 2400msnm. éstas últimas se encuentran ubicadas a una altitud cercana a las de la tesis presentada por Julca (22), donde su zona de estudio fue el distrito de Yungay en Ancash que posee una altitud de 2458 msnm, lo que podría significar que poseen condiciones similares del clima por el piso altitudinal donde se encuentran ubicados. El estudio presentó como resultado que el índice de erosividad climática es MODERADO para los años de estudio de 2002-2011, mientras que para nuestra zona de estudio los distritos ubicados sobre los 2400msnm la erosividad climática fue ALTO Y MUY ALTO para los años 2016-2017. La diferencia de índice de erodabilidad para el mismo piso altitudinal es progresivo por año de estudio, equivale a decir que del 2002-2011 la erosividad climática fue MODERADA y para el año 2016-2017 ALTO y MUY ALTO. Lo que significa que con el paso del tiempo los fenómenos toman peso y los cambios son notorios. El estudio de Julca se realizó en años donde no hubo una notable presencia de éste fenómeno.
- La clase textural del suelo es un importante factor en el índice de erodabilidad que con la erosividad del suelo determinan la capacidad y resistencia del suelo a la acción erosiva del agua. Las tesis presentada por Julca (22) aplicó el modelo CORINE para determinar el riesgo de erosión dentro de ello el índice de erodabilidad del suelo , y Colque (61) aplicó el modelo USLE ambas investigaciones fueron realizados en Yungay-Ancash y sus resultados de tipo de

suelos fueron Franco Arenosos , éste tipo de suelo son de permeabilidad relativamente alta, Julca tiene como resultado que el índice de erodabilidad del suelo es MODERADO en el 53 % de su área total. Si bien nos presenta el resultado del índice no muestra resultados de profundidad y pedregosidad. Mientras que la presente tesis posee el mismo tipo de suelos que las investigaciones anteriores y tiene como resultado índice BAJO y MODERADO; por lo tanto, se pueden comparar dichos resultados en función a los índices de erodabilidad. Por lo tanto, si bien poseen la misma clase textural del suelo los resultados difieren al evaluar los datos de profundidad y pedregosidad, datos que alimentan el modelo para la obtención del índice de erodabilidad.

- Si bien la erodabilidad del suelo muestra la vulnerabilidad del suelo a la acción del agua, como menciona Sánchez (63) en sus resultados que el 50 % de los suelos son predominantemente someros, por lo tanto son fácilmente erosionables cuando son asociadas a precipitaciones intensas; lo que corrobora la importancia de las precipitaciones en el proceso de erosión. La determinación de la erodabilidad del suelo puede realizarse a través de información raster obtenidos portales web como el SOILGRIDS que brinda información de texturas, profundidad y pedregosidad, ésta información debe corroborarse es por ello la importancia del control de calidad en la salida de campo para luego modelar ; el modelo CORINE cumple ello, en comparación con Sabino (25) para la determinación de éste factor no realiza las salidas a campo, necesarias para corroborar la información y utiliza información de portales web y el nomograma de Wischmeier y Smith , que podrían no brindar información verídica pues éste método está ambientado para EEUU. Por lo tanto, realizar muestreos en campo validarán la información y brindarán resultados confiables.
- El modelo CORINE establece 2 índices (Zona protegida y zona no protegida) para la determinación de la cobertura vegetal que facilita el análisis de éste factor, la presente investigación posee el 74 % de área protegida independientemente de tipos de cultivo, valores de cubierta vegetal u otros; mientras que Colque (61) aplica el factor C en relación a tipos de cultivos según el (Instituto para la conservación de la naturaleza) I.C.O.N.A. (1982) que representa el grado de protección del suelo que la cubierta ofrece, mientras Sabino (25) aplica valores de los factores de C, basados en la clasificación del GLC (Global Land Cover) ; los cuales utilizan varios índices que hace más tedioso el procesamiento de la información. La cuenca alta del río Rímac se encuentra protegida en gran extensión pues como menciona Apaella (64) la parte

media de la cuenca, donde la lluvia comienza a ser importante, se mantiene una agricultura de secano con cultivos propios de la zona como maíz, papa, habas, etc; en la parte alta de las cuencas la cobertura se caracteriza por la presencia de bofedales, pastos y lagunas; de tal forma que se valida la información obtenida con el modelo CORINE. En mención a (14) presenta como resultado que el material rocoso con una marcada impermeabilidad, pendientes pronunciadas y ausencia de prácticas agroforestales aumenta considerablemente los valores de escurrimiento, propiciando consecuentemente el incremento de la erosión hídrica superficial; hace referencia a la importancia del estudio de cada índice del modelo pues es necesario para el modelo, además que hace hincapié que la ausencia de las prácticas agroforestales propician la erosión. Como también menciona (15) que la cubierta vegetal constituye el actor potencial más sensible y el peso que más aporta en el estudio. Por tanto, independientemente del tipo de cubierta del suelo lo importante es que el suelo se encuentre protegido, es por esta razón que CORINE trabaja con 2 índices que facilita el estudio.

- Erosión potencial es producto de la influencia del relieve, tipo de los suelos y la erosividad de las lluvias y supone el territorio desprovisto de cubierta vegetal protectora homogénea (22). Para Sanchez y otros (63) afirman que la lluvia en grandes volúmenes e intensidades representan un factor de alta erosividad, asimismo la topografía y el grado de pendiente son otros factores que aceleran la pérdida del suelo; explica que pendientes mayores al 25 % consideradas como escarpadas representan mayores riesgos de erosión y si a los factores antes mencionados se les añade la acción antropogénica se incrementa el riesgo de erosión. La cuenca alta del río Rímac cuenta con gran extensión de pendientes pues se conforma principalmente de zonas montañosas. Yungay- Ancash y su cercanía a la Cordillera de los Andes al igual que la cuenca alta del río Rímac poseen similares condiciones es por ésta razón que comparan ambas tesis que aplicaron el modelo CORINE para la determinación del Riesgo de Erosión; de esta forma el presente estudio tiene como resultado que el índice de erosión actual es ALTO en el 43 % del área de estudio y el índice de erosión potencial es ALTO en el 63 % del área de estudio, con una diferencia del 20 % cuando el suelo no se encuentre protegido siendo estos los valores más significativos; mientras que Julca (22) en su investigación presenta los siguientes resultados: que el índice de erosión actual es ALTO en el 29.92 % del área de estudio y el índice de erosión potencial es ALTO en el 35.47 % del área de estudio con una

diferencia de 5.82 %. Ambos estudios mencionados poseen diferente extensión de su área de estudio lo que explica la diferencia entre ambas tesis. Además, considerando que la presente investigación fue estudiada en presencia del Fenómeno “El Niño” lo cual corrobora la afirmación que la precipitación es un factor importante de la erosión del suelo y explica por qué la diferencia es mayor respecto a la tesis presentada por Julca.

- La erosión actual toma como índice adicional la cubierta vegetal. (22). Sanchez y otros(63) menciona que según la población se extienda y ante una creciente demanda de recursos alimenticios, el aumento de la superficie agrícola es inevitable; en consecuencia el índice de cubierta vegetal tiende a variar, esto significa que existe riesgo de erosión actual y potencial. El riesgo de erosión actual es ALTO en un 43 % y tiene el 74 % de suelo completamente protegido, mientras que el índice de erosión potencial es ALTO en 63 %. El modelo CORINE clasifica los suelos protegidos aquellos que contengan (bosques, pastos permanentes, entre otros) y como no protegidos (aquellos suelos desnudos) se hace uso de imágenes satelitales y la combinación 4,3,2 que hace posible la visualización de los suelos cubiertos por vegetación; observándose variaciones de vegetación en tonos rojos, para reclasificar luego en los índices mencionados. Instituciones como el MINAM presentó la propuesta de clasificación de la Cobertura de la tierra con fines de planificación y ordenamiento territorial, se utilizó el modelo CORINE, para obtener finalmente el mapa nacional de Cubierta vegetal donde se describe los tipos de cubierta en función a las regiones naturales, ésta información fue presentada en el 2015, información importante disponible en el portal del MINAM ; y el Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana (IIAP) aplicó el modelo para analizar la deforestación e identificar la cubierta vegetal para provincias de Alto Amazonas y Ramón Castilla, las fases aplicadas para la obtención de los mapas cualitativos presentados consistieron en la fase de precampo dónde se analiza las imágenes satelitales, la fase de campo que consiste en el control de calidad mencionado en el modelo y la fase de poscampo que es la integración de los puntos de campo en el procesamiento de la información; tales procedimientos contenidos en el modelo CORINE, lo que significa que CORINE es una metodología efectiva y aplicable para los fines propuestos . Existen diferentes formas de evaluar la cubierta vegetal, tal es el caso de NDVI que estima la cantidad de la radiación que está siendo absorbida por la vegetación en relación a la radiación incidente .Mientras que INDECI hace uso de otra metodología y otros factores diferentes a éste, estudia el riesgo en

función al peligro y la vulnerabilidad, ésta referida a la vulnerabilidad ambiental y ecológica, física, económica, social, educativa, cultural, política institucional, científica y por estrato. Haciendo énfasis a la vulnerabilidad Ambiental y Ecológica se limita a la información de condiciones atmosféricas(T°), composición de la calidad de aire y agua (grado de contaminación) y condiciones ecológicas (conservación de recursos naturales, crecimiento poblacional, práctica de deforestación y contaminación). El modelo CORINE en el Perú ha sido aplicado para analizar la cubierta vegetal en la mayoría de las investigaciones; en tesis presentadas a la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" indican el precedente de la aplicación de éste modelo para un estudio más amplio, el de riesgo de erosión hídrica que incluye otros índices para su determinación. La aplicabilidad del modelo CORINE por su estructura simple y fácil de aplicar con SIG por la superposición de capas temáticas acordes a la realidad y proporciona un pronóstico claro sobre la determinación del riesgo de erosión como parte del estudio del suelo, que va a permitir prever la pérdida de suelos, y hasta posibles deslizamientos .Bajo la información de cubierta vegetal como índice importante para la determinación del riesgo de erosión actual, esta investigación muestra que debemos trabajar en la conservación de nuestros suelos pues si bien se tiene pocas extensiones de suelos desprotegidos la poca atención de las autoridades, actividades mineras cercanas, sobrepastoreo y el crecimiento poblacional entre otras podrían afectar los suelos, por lo tanto es necesario que autoridades locales en un corto plazo promuevan las buenas prácticas de cultivo, cubrir nuestros suelos con vegetación, a mediano y largo plazo la formación de miniterrazas para evitar erosión, entre otras que se ambienten a las condiciones del suelo. A las autoridades nacionales aplicar a mediano y largo plazo la propuesta de bioingeniería utilizando la especie vegetal Vetiver para el control de erosión y la conservación de los suelos que reduce el riesgo de erosión en el Rímac presentado como tesis de maestría de la PUCP(65) y replicar éste estudio para otras cuencas que pueden ser adaptables a ésta especie vegetal Vetiver.

CONCLUSIONES

1. La cuenca alta del río Rímac presenta un riesgo de erosión actual BAJO en 24 % del área total, MODERADO en 33 % y abarca el distrito de Matucana; y ALTO en 43 % de su área total que abarca los distritos de San Mateo y Chicla con una extensión de 52 201.4 hectáreas. El riesgo de erosión potencial es BAJO en el 21 % del área total, MODERADO en 16 %, y ALTO en 63 % con una extensión de 76 079 hectáreas que abarcan los distritos de Chicla, San Mateo y San Mateo de Otao.
2. Los meses de enero, febrero y marzo de 2016-2017 registraron datos superiores a la normal climática, siendo el 2017 el más agresivo por la presencia de “El Niño Costero”. Las precipitaciones tienen un comportamiento alternado, es decir los meses con mayor precipitación son de octubre a marzo siendo las más intensas enero, febrero y marzo, y los meses donde se registran menor precipitación son de abril a setiembre. El año hidrológico para esta zona de estudio inicia en octubre (K-1 año) y finaliza en setiembre del (k año). La precipitación es el factor más importante en el proceso de erosión, la cercanía de la zona de estudio a la Cordillera de los Andes evidencia que se encuentra expuesta a lluvias, aún sin la presencia de algún fenómeno climático.
3. El modelo CORINE permitió modelar de forma confiable los índices de riesgo de erosión actual y potencial. Los resultados de la aplicación de modelo CORINE en la determinación de sus índices son los siguientes:
 - La erosividad climática: el 47 % del área total es de Clase 5 (Muy Alto) con rango de $P_p > 160$ en una extensión de 57 443 ha.
 - La erodabilidad del suelo es de Índice 1 (Bajo) en un 47 % del área total con una extensión de 57 409 ha e Índice 2 (Moderado) en un 53 % del área total con una extensión de 64 422 ha.
 - Pendiente, el 84 % del área total presenta Índice 4 considerado muy empinado, en una extensión de 102 702 ha.
 - Cubierta vegetal: el 74 % del área total presenta Índice 1 “Completamente protegido” en una extensión de 90 520 ha e Índice 2 “No Completamente Protegido” en un 26 % del área total con una extensión de 31 311 ha.

RECOMENDACIONES

- Se debe profundizar el estudio de erosión en la cuenca alta del río Rímac además de aplicar otros modelos con el fin de comparar resultados.
- Aumentar la cantidad de muestras en el área de estudio, aunque el uso de portales web puede brindarnos la información necesaria, es importante corroborar esos datos en campo.
- Es necesario el uso tecnologías modernas como las del SIG porque permite el procesamiento ágil de datos e información, también de aprovechar las imágenes satelitales que ofrece información importante de la superficie de la tierra.
- Al momento de realizar los laboratorios necesarios para la investigación es importante revisar que todos los requerimientos estén en la concentración indicada, pues caso contrario los resultados podrían no ser confiables para la investigación.
- Comunicar de estos resultados a las autoridades pertinentes de cada distrito para que puedan tomar medidas de prevención, control y hacer mejor uso del suelo.
- El estudio demostró que existe alto índice de riesgo de erosión potencial lo que significa la pérdida del suelo a largo y mediano plazo; y que además éste podría generar desprendimientos. para lo cual las autoridades pertinentes deben tomar medidas de control
- Ya que el proceso erosivo no puede ser evitado, pero sí ser controlado; es necesario realizar prácticas de control de erosión como terrazas, terraplenes, rotación de cultivos entre otras que contribuyan la conservación del suelo.
- El estudio muestra que existen pendientes pronunciadas, se recomienda que se realicen prácticas de carácter mecánico estructural, es decir zanjas de infiltración o andenes que permitan el transporte del agua producto de la precipitación, además de defensas ribereñas en el margen de río Rímac.
- Evitar que extensiones aun protegidas por la cubierta vegetal sean mal usadas, y en el caso de las áreas que no se encuentran protegidas y no cultivadas, realizar actividades de forestación para evitar que el impacto de la gota de lluvia afecte directamente al suelo.
- La validación por juicio de expertos resulta una herramienta importante para reforzar las afirmaciones expuestas, cuando la investigación es descriptiva.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. LA NACIÓN. La FAO advierte sobre la erosión de los suelos en la Argentina - LA NACIÓN. *Economía* [online]. 2015. [Accessed 27 June 2017]. Available from: <https://www.lanacion.com.ar/1818173-sin-titulo>
2. JAVIER SILVA HERRERA - EL TIEMPO. Colombia se queda sin piel: erosión afecta a casi medio país. *Erosión en Colombia - Archivo Digital de Noticias de Colombia* [online]. 2015. [Accessed 29 June 2017]. Available from: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-15684196>
3. CHANG HUAYANCA, Antonio José. La cobertura periodística del fenómeno del Niño de 1925-1926 en el diario El Comercio de Lima. *Pontificia Universidad Católica del Perú* [online]. 3 October 2014. [Accessed 10 May 2018]. Available from: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/5609Tesis>
4. PERÚ 21. Fenómeno El Niño es fuerte pero no ha mostrado todo su poder, según Senamhi | Lima | Peru21. [online]. 2016. [Accessed 13 July 2017]. Available from: <https://peru21.pe/lima/fenomeno-nino-fuerte-mostrado-senamhi-208987>
5. SINPAD. SINPAD:: Sistema de Información Nacional para la Respuesta y Rehabilitación. [online]. 2017. [Accessed 30 August 2017]. Available from: <http://sinpad.indec.gov.pe/sinpadweb/>
6. FERNÁNDEZ ESPINOZA, Joel Manuel. *Estudio cuantitativo de la erosión hídrica en contextos de limitada información: caso de estudio cuenca del río Rímac* [online]. Pontificia Universidad Católica del Perú, 2018. [Accessed 10 May 2018]. Available from: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/11911>
7. EL POPULAR. Chosica es vulnerable por Fenómeno de El Niño | ElPopular.pe. [online]. 2015. [Accessed 12 August 2017]. Available from: <http://www.elpopular.pe/actualidad-y-policiales/2015-08-22-chosica-es-vulnerable-por-fenomeno-de-el-nino>
8. ISLA ISUIZA, Ronny and PILARES, Angel. Huaicos en Chosica: una zona predispuesta para la catástrofe | Lima | El Comercio Perú. [online]. 2015. [Accessed 27 October 2017]. Available from: <https://elcomercio.pe/lima/huaicos-chosica-zona-predispuesta-catastrofe-346288>
9. OJOPÚBLICO. Las terribles cifras del Niño costero - Actualidad | Ojo Público | Las historias que otros no te quieren contar. [online]. 2017.

- [Accessed 16 September 2017]. Available from: <https://ojo-publico.com/401/las-terribles-cifras-del-nino-costero-nivel-nacional>
10. VEGA CARREÑO, Marina Beatriz, FEBLES DÍAZ, José Miguel, TOLÓN, A and LASTRA, X. Evaluación de la erosión potencial de los suelos mediante la metodología CORINE en distritos pecuarios de la provincia Mayabeque, Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola* [online]. September 2011. Vol. 45, no. 4, p. 465–474. [Accessed 22 July 2017]. DOI 10.1002/ldr.1089. Available from: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193022260013>
 11. FEBLES DÍAZ, José Miguel and VEGA CARREÑO, Marina Beatriz. Estimación del aporte de la erosión hídrica al azolve del embalse Mampostón. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental* [online]. 2016. Vol. XXXVII, no. 3, p. 18–30. [Accessed 22 July 2017]. Available from: <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v37n3/riha02316.pdf>
 12. DÍAZ RIVERA, J.Reynaldo, PÉREZ COSTA, D., RODRÍGUEZ ÁLVAREZ, Y. and FEBLES GONZÁLEZ, J.M. Determinación de Índices de erosión de suelos aplicando análisis SIG para la localidad de San Andrés en la provincia de Pinar del Río. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente Aceptado* [online]. 2008. Vol. 14, no. 1, p. 15–21. [Accessed 16 October 2017]. Available from: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcscfa/v14n1/v14n1a3.pdf>
 13. SÁNCHEZ HERNÁNDEZ, Rufo, MENDOZA PALACIOS, Juan De Dios, DE LA CRUZ REYES, Julio Cesar, MENDOZA MARTÍNEZ, Juan Enrique and RAMOS REYES, Rodimiro. Map of potential erosion in the Grijalva-Usumacinta hydrological basin, Mexico, using GIS. *Universidad y Ciencia* [online]. 2013. Vol. 29, no. 2, p. 153–161. [Accessed 22 November 2017]. Available from: <http://www.scielo.org.mx/pdf/uc/v29n2/v29n2a5.pdf>
 14. GASPARI, Fernanda Julia, DELGADO, María Isabel and DENEGRI, Gerardo Andrés. Estimación espacial, temporal y económica de la pérdida de suelo por erosión hídrica superficial. *Terra Latinoamericana* [online]. 2009. Vol. 27, no. 1, p. 43–51. [Accessed 22 November 2017]. Available from: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0187-57792009000100006&script=sci_arttext
 15. LOZANO GARCÍA, Beatriz and PARRAS ALCÁNTARA, Luis. Erosión actual y potencial en suelos ácidos del sur de España. *Terra Latinoamericana* [online]. 2011. Vol. 29, no. 1. [Accessed 22 November 2017]. Available from: <http://www.redalyc.org/html/573/57319955004/>

16. HONORATO, R., BARRALES, L, PEÑA, I and BARRERA, F. Evaluación del modelo USLE en la estimación de la erosión en seis localidades entre la IV y IX Región de Chile. *Ciencia e Investigación Agraria-Pontificia Universidad Católica de Chile* [online]. 2001. Vol. 28, no. 1, p. 7–14. [Accessed 22 November 2017]. Available from: <https://repositorio.uc.cl/bitstream/handle/11534/8612/000355996.pdf?sequence=1>
17. PANDO MORENO, Marisela, GUTIÉRREZ GUTIÉRREZ, Maritza, MALDONADO HERNÁNDEZ, Alfonso, PALACIO PRIETO, José Luis and ESTRADA CASTILLÓN, Eduardo A. Comparación de métodos en la estimación de erosión hídrica A comparison of methods in estimating soil water erosion. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM* [online]. 2003. Vol. 51, p. 23–36. [Accessed 22 November 2017]. Available from: <http://scielo.unam.mx/pdf/igeo/n51/n51a3.pdf>
18. MORENO, Hernán Alonso, VÉLEZ, María Victoria, MONTOYA, Juan David and RHENALS, Remberto Luis. La lluvia y los deslizamientos de tierra en Antioquia: Análisis de su ocurrencia en las escalas interanual, intraanual y diaria. *Revista EIA* [online]. 2006. Vol. 5, p. 59–69. [Accessed 25 August 2017]. Available from: <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n5/n5a05.pdf>
19. SANTANA, E., DUMONT, J. F. and KING, A. Los efectos del Fenómeno El Niño en la ocurrencia de una alta tasa de erosión costera en el sector de Punta Gorda, Esmeraldas. *Acta Oceanográfica del Pacífico, INOCAR* [online]. 2001. Vol. 11, no. 1. [Accessed 25 August 2017]. Available from: http://www.inocar.mil.ec/web/phocadownloadpap/actas_oceanograficas/acta11/OCE1101_22.pdf
20. LAVADO CASIMIRO, Waldo and ESPINOZA, Jhan Carlo. Impactos de El Niño y La niña en las lluvias del Perú (1965-2007). [online]. 2014. Vol. 29, no. 2, p. 171–182. [Accessed 5 June 2017]. Available from: <http://www.scielo.br/pdf/rbmet/v29n2/a03v29n2.pdf>
21. BAYONA AMAYA, Yency Paola and GALVIS ROJAS, Zamir. *Evaluación y Análisis del Riesgo de Erosión Hídrica en la microcuenca abastecedora Quebrada La Esperanza Municipio de Ocaña, Norte de Santander* [online]. Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, 2012. [Accessed 22 October 2017]. Available from: <http://repositorio.ufpso.edu.co:8080/dspaceufpso/bitstream/123456789/1332/1/2>

9531.pdf

22. JULCA VEGA, Jairo Marcos. *Evaluación del Riesgo de Erosión Potencial y la cobertura vegetal para estimar el Riesgo de Erosión Actual con el uso del SIG de los suelos de la zona de Tucuran y Marap - Yungay*. [online]. Santiago Antúnez de Mayolo, 2014. [Accessed 18 October 2017]. Available from: http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/1174/T_192_2014.pdf?sequence=1
23. FLORENCIA, Yannelli Lucero. *Estado actual y potencial de degradación física de la tierra por procesos de erosión hídrica en el Parque Nacional El Leoncito, San Juan, Argentina*. [online]. Universidad Nacional de Cuyo, 2011. [Accessed 23 November 2017]. Available from: https://www.researchgate.net/profile/Florencia_Yannelli/publication/233755168_Estado_actual_y_potencial_de_degradacion_fisica_de_la_tierra_por_procesos_de_erosion_hidrica_en_el_Parque_Nacional_El_Leoncito_San_Juan_Argentina/links/0912f50b371729b797000000.
24. VALDEZ TUMI, Elar Harry. *Análisis de pérdida de suelos por erosión hídrica en la subcuenca Conduriri mediante la metodología RUSLE, 1980 - 2014*. [online]. Universidad Nacional del Antiplano, 2014. [Accessed 14 November 2017]. Available from: http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/4588/Valdez_Tumi_Elard_Harry.pdf?sequence=1&isAllowed=y
25. SABINO ROJAS, Evelin Daysi. *Análisis espacio - temporal de erosión de suelos por regiones hidrológicas en el Perú (1981 - 2014)* [online]. Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2016. [Accessed 30 August 2017]. Available from: <http://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/cybertesis/5812?mode=fullTesis>
26. PISCITELLI, Marcela. Degradación de suelos. *UNICEN* [online]. 2015. [Accessed 30 November 2017]. Available from: <https://www.unicen.edu.ar/content/degradación-de-suelos>
27. GUTIÉRREZ, Wilfredo Bulege. Cambio climático en el Perú: logro de compromisos al 2012. *Apuntes de Ciencia & Sociedad*. 2012. Vol. 2, no. 2.
28. GRUPO DE TRABAJO I. *CAMBIO CLIMÁTICO 2013 Bases físicas* [online]. Suiza, 2013. [Accessed 4 September 2017]. Available from: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_brochure_es.pdf

29. CHEREQUE MORÁN, Wendor. *Hidrología* [online]. Segunda Ed. Lima : Pontificia Universidad Católica del Perú, 1989. [Accessed 4 September 2017]. Available from:
<http://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/123456789/28689/hidrologia.pdf>
30. FATTORELLI, Sergio and FERNÁNDEZ, Pedro. *Diseño Hidrológico* [online]. Segunda Ed. Zaragoza : Water Assessment & Advisory Global Network-WASAGN, 2011. [Accessed 4 September 2017]. ISBN 978-987-05-2738-2. Available from: https://www.ina.gov.ar/pdf/Libro_diseno_hidrologico_edicion_digital.pdf
31. ARROYO, Jacinto, MACHUCA, Elizabeth and GURMENDI, Pedro. Caracterización espacial de la frecuencia e intensidad de tormentas desde el satélite GOES-2 y la Estación Meteorológica del Observatorio de Huancayo. *Apuntes de Ciencia & Sociedad* [online]. 30 June 2014. Vol. 04, no. 01, p. 44–56. [Accessed 6 September 2017]. DOI 10.18259/acs.2014005. Available from: <http://journals.continental.edu.pe/index.php/apuntes/article/view/231>
32. CASAS CASTILLO, M. Carmen. and ALARCÓN JORDÁN, Marta. *Meteorología y clima* [online]. Barcelona : Edicions UPC, 1999. [Accessed 2 September 2017]. ISBN 84-8301-355-X. Available from:
[https://books.google.com.pe/books?id=YteA9mrl6skC&pg=PA63&lpg=PA63&dq=dinamica+atmosferica+ccasas+y+alarcon&source=bl&ots=LkRaZj3j0f&sig=IAZi9hOmeCVBpd5ksxkFB4rVTwc&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj104aBhlfWAhVIZCYKHTSZD_kQ6AEIJzAA#v=onepage&q=dinamica atmosferica](https://books.google.com.pe/books?id=YteA9mrl6skC&pg=PA63&lpg=PA63&dq=dinamica+atmosferica+ccasas+y+alarcon&source=bl&ots=LkRaZj3j0f&sig=IAZi9hOmeCVBpd5ksxkFB4rVTwc&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj104aBhlfWAhVIZCYKHTSZD_kQ6AEIJzAA#v=onepage&q=dinamica%20atmosferica)
33. DEWITTE, B., TAKAHASHI, K. and GOUBANOVA, K. *Las diversas facetas de El Niño y sus efectos en la costa del Perú* [online]. 2014. Lima : Ministerio del Ambiente y Instituto Geofísico del Perú. [Accessed 5 June 2017]. Available from: http://www.met.igp.gob.pe/publicaciones/2014/2014_Dewitte-etal_LibroIRD-MINAM_FacetaNinho-EfectosCostaPeru.pdf
34. ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD. *Crónicas de Desastres-Fenómeno El Niño, 1997-1998* [online]. Washington, D.C., 2000. [Accessed 4 September 2017]. ISBN 92 75 32318 6. Available from: <http://repo.floodalliance.net/jspui/bitstream/44111/1806/1/EINino.pdf>
35. L'HEUREUX, Michelle. ¿Qué es el Niño-Oscilación Sur (ENOS) en pocas palabras? | NOAA Climate.gov. [online]. 2014. [Accessed 4 September 2017]. Available from: <https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/what-el-niño-southern-oscillation-enso-nutshell>

36. CISEROS, José, CHOLAKY, Carmen, CANTERO GUTIÉRREZ, Alberto, GONZÁLEZ, Jorge, REYNERO, Miguel, DIEZ, Alejandro and BERGESIO, Leonardo. *EROSION HIDRICA Principios y técnicas de manejo* [online]. Argentina, 2012. [Accessed 7 September 2017]. ISBN 978-987-88 024-4. Available from: http://www.todoagro.com.ar/documentos/2013/Erosion_Hidrica.pdf
37. BENITES RAMOS, Juan Manuel, SEVILLA GILDEMEISTER, Juan Carlos, ECHEVARRÍA SUÁREZ, Wilfredo Jazer and CAMPOS DELGADILLO, Alberto. *Actualización de Unidades Hidrográficas y Codificación de Fuentes de Agua Superficial en Ámbitos de Administraciones Locales de Agua* [online]. Lima, 2015. [Accessed 7 September 2017]. Available from: http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/memoria_descriptiva_a_uh_cas_ala_barranca.pdf
38. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO and AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA. *Priorización de Cuencas para la Gestión de recursos hídricos*. [online]. 2016. [Accessed 7 September 2017]. Available from: http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/priorizacion_de_cuencas_para_la_gestion_de_los_recursos_hidricos_ana.pdf
39. ORDOÑEZ, Julio. *¿Qué es una cuenca hidrológica?* [online]. Lima, 2011. [Accessed 7 September 2017]. ISBN 978-9972-602-76-5. Available from: http://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf
40. SANZ, Alberto Bisbal. *Manual Basico Para La Estimacion Del Riesgo*. *Indeci*. 2006. Vol. 319, p. 75.
41. ALMOROX ALONSO, Javier, LÓPEZ BERMÚDEZ, Francisco and RAFAELLI, Silvia. *La degradación de los suelos por erosión hídrica : métodos de estimación* [online]. Universidad de Murcia, 2010. [Accessed 17 October 2017]. ISBN 9788483716267. Available from: https://books.google.com.pe/books?id=bSpiNY_nwOIC&pg=PA73&lpg=PA73&dq=riesgo+de+erosion+corine&source=bl&ots=180GSACPrH&sig=6d4U4rp3rL6Rw3ZgoSfqnsYpEjY&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi-yOyL_fbWAhUMfZAKHSz5AlcQ6AEIUTAj#v=onepage&q=riesgo de erosion corine&f=false 1a. ed.
42. LANDSAT- Wikipedia, la enciclopedia libre. [online]. 2016. [Accessed 4 January 2018]. Available from: <https://es.wikipedia.org/wiki/Landsat>

43. PERÚ, GeoService. *INFORMACIÓN TÉCNICA RESUMIDA-LANDSAT 7 ETM* [online]. Lima. [Accessed 4 January 2018]. Available from: http://gspperu.com/pdf/res_landsat7etm.pdf
44. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y GEOGRAFÍA. (INEGI). *Imágenes de satélite - LANDSAT*. [online]. [Accessed 4 January 2018]. Available from: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/imgpercepcion/imgsatelite/landsat.aspx>
45. Teledetección. [online]. [Accessed 30 January 2018]. Available from: http://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario_10.pdf
46. CABILDO MIRANDA, M. del Pilar and CORNAGO RAMÍREZ, M. del Pilar. *Bases químicas del medio ambiente* [online]. Madrid, 2013. [Accessed 30 November 2017]. ISBN 978-84-362-6805-8. Available from: <http://librosdepoder.club/download/8436250702-bases-quimicas-del-medio-ambiente-unidad-didactica>
47. ANDRADES RODRÍGUEZ, Marisol and MÚÑEZ LEÓN, Carmen. *Fundamentos de climatología* [online]. La Rioja : Universidad de La Rioja, Servicio de Publicaciones, 2012. [Accessed 30 November 2017]. ISBN 978-84-695-2799-3. Available from: <https://www.casadellibro.com/libro-fundamentos-de-climatologia/9788495301932/984596>
48. VÁSQUEZ VILLANUEVA, Absalón, MEJÍA MARCACUZCO, Abel, FAUSTINO MANCO, Jorge, TERÁN ADRIAZOLA, Ruben, VÁSQUEZ R., Issaak, DÍAZ RIMARACHIN, Jorge, VÁSQUEZ R., Cristian, CASTRO A., Andrés, TAPIA MUÑOZ, Manuel and ALCÁNTARA RAMOS, Julio. *Manejo y gestión de cuencas hidrográficas* [online]. Primera ed. Lima : Universidad Agraria La Molina, 2016. [Accessed 30 November 2017]. ISBN 978-612-4147-5-55. Available from: <https://es.scribd.com/document/354875336/LIBRO-MANEJO-DE-CUENCAS-pdf>
49. MINAGRI. Programa Presupuestal 0089 Reducción de la Degradación de los Suelos Agrarios. *Ministerio de Agricultura y Riego* [online]. MINAGRI. 2014. P. 16. [Accessed 30 November 2017]. Available from: http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletines/suelos/2014/erosion_suelo.pdf
50. ARANDA MONTESINOS, Salomón and DE GILZANZ PEDRAZA, Javier. *Desarrollo metodológico para la evaluación del riesgo de erosión hídrica en el área mediterránea utilizando técnicas de teledetección y GIS*. [online]. Universidad Complutense de Madrid, 1995. [Accessed 30 November 2017]. Available from: <http://biblioteca.ucm.es/tesis/19911996/X/4/X4003601.pdf>

51. PIZARRO, Roberto, MORALES, Carolina, VEGA, Leonardo, OLIVARES, Claudio, VALDÉS, Rodrigo and BALOCCHI, Francisco. *Propuesta de un modelo de estimación de erosión hídrica para la región de Coquimbo, Chile*. [online]. Chile : Programa Hidrológico Internacional (PHI), 2009. [Accessed 30 November 2017]. ISBN 978-92-9089-137-6. Available from: <http://unesdoc.unesco.org/images/0021/002163/216337s.pdf>
52. IBAÑEZ ASENSIO, Sara, GISBERT BLANQUER, Juan Manuel and MORENO RAMÓN, Héctor. *La pendiente del terreno* [online]. 2011. Universidad Politécnica de Valencia. [Accessed 24 January 2018]. Available from: [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10776/La pendiente del terreno.pdf](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/10776/La%20pendiente%20del%20terreno.pdf)
53. ROBREDO SÁNCHEZ, JOSÉ CARLOS. *Cálculo de caudales de avenida* [online]. Madrid : Universidad Politécnica del Madrid. [Accessed 30 November 2017]. Available from: <http://www.hidrojing.com/wp-content/uploads/2014/04/CALCULO-DE-CAUDALES-DE-AVENIDA.pdf>
54. MONSALVE SÁENZ, Germán. *Hidrología en la ingeniería* [online]. 2a ed. México D.F., 1999. [Accessed 30 November 2017]. ISBN 970-15-0404-6. Available from: <http://www.elibros.cl/detalle/hidrologia-en-la-ingenieria/>
55. BREA, José Daniel and BALOCCHI, Francisco. *Procesos de erosión - sedimentación en cauces y cuencas* [online]. I. Uruguay : Programa Hidrológico Internacional, 2010. [Accessed 7 September 2017]. ISBN 978-92-9089-152-9. Available from: http://eias.entalca.cl/isi/publicaciones/erosion_y_sedimentacion_vol1.pdf
56. BERNAL TORRES, César Augusto. *Metodología de la investigación*. Tercera Ed. Colombia : Pearson Educación, 2010. ISBN 9789586991285.
57. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA. *Cómo describir el perfil de un suelo*. [online]. 2011. [Accessed 4 April 2018]. Available from: <https://www.youtube.com/watch?v=QSUf4t6iEy4>
58. MINISTERIO DEL AMBIENTE. *GUÍA PARA EL MUESTREO DE SUELOS* [online]. Lima, 2014. [Accessed 4 April 2018]. Available from: <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELOS-final.pdf>
59. ARROYO ALIAGA, Jacinto Venancio. *Manual de Investigación* [online]. Huancayo, 2012. [Accessed 29 March 2018]. Available from:

<https://drive.google.com/file/d/0B4MdQCIR0y1PbzR4ODJsWGZHNE0/view>

60. DIRECCIÓN DE CONSERVACIÓN Y PLANEAMIENTO DE RECURSOS HÍDRICOS ÁREA DE AGUAS SUPERFICIALES. *Evaluación de los Recursos Hídricos en la Cuenca del Río Rímac* [online]. 2010. Lima. [Accessed 10 December 2017]. Available from: http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/1_estudio_hidrologico_cuenca_rimac_-_volumen_i_-_texto_-_final_2010_0.pdf
61. COLQUE VALENTÍN, Isabel. *Categorización de la erosión hídrica en la microcuenca de Ranrahirca, aplicando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), Yungay, Ancash, 2014* [online]. Universidad Navional Santiago Antúnez de Mayolo, 2015. [Accessed 19 September 2017]. Available from: http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/1185/T_245_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y
62. RODRÍGUEZ ZIMMERMANN, Diego. *Evaluación Climática de la Precipitación en la cuenca del río Rímac y establecimiento de Umbrales Dirección Regional Lima* [online]. 2013. Lima : SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ – SENAMHI –. [Accessed 27 January 2018]. Available from: http://www.senamhi.gob.pe/pdf/estudios/meteo_2013_Eva_cli_pre_cue_rio_Rim_est_umb.pdf
63. SÁNCHEZ HERNÁNDEZ, Rufo, MENDOZA PALACIOS, Juan de Dios, DE LA CRUZ REYES, Julio Cesar, MENDOZA MARTÍNEZ, Juan Enrique and RAMOS REYES, Rodimiro. *Mapa de erosión potencial en la cuenca hidrológica Grijalva-Usumacinta México mediante de uso de SIG.* [online]. La Universidad, 1984. [Accessed 20 November 2017]. Available from: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0186-29792013000200005&script=sci_arttext
64. APACLLA NALVARTE, Ricardo. *Estudio de máximas avenidas en las cuencas de la zona centro de la vertiente del Pacífico.* [online]. 2010. Lima. [Accessed 10 December 2017]. Available from: http://www.ana.gob.pe/media/390377/informe_final_zona_centro.pdf
65. FERNANDEZ ESPINOZA, Juan Manuel. Aplicación de bioingeniería reduce riesgo de erosión del Rímac. *PUCP Facultad de Ciencias e Ingeniería* [online]. 2018. [Accessed 31 October 2018]. Available from: <http://facultad.pucp.edu.pe/ingenieria/alumnos/aplicacion-de-bioingenieria->

reduce-riesgo-de-erosion-del-rimac/

66. CUENCAS HIDROGRAFICAS MINAM. 2010. Lima : MINISTERIO DEL AMBIENTE.
67. IDEAM - INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, Meteorología y Estudios Ambientales. METODOLOGÍA CORINE LAND COVER - IDEAM. [online]. 2014. [Accessed 4 April 2018]. Available from: <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/metodologia-corine-land-cover>
68. EL NUEVO DIARIO. Bolivia registra 15 muertos y 22,500 familias afectadas por lluvias y sequía. [online]. 2016. [Accessed 22 June 2017]. Available from: <https://www.elnuevodiario.com.ni/internacionales/383307-bolivia-registra-15-muertos-22-500-familias-afecta/>
69. CLARÍN RURAL. La erosión, un daño ambiental que vuelve a aumentar. *Agricultura* [online]. 2015. [Accessed 27 March 2018]. Available from: https://www.clarin.com/agricultura/erosion-agricultura-argentina-suelos_0_H1eshUYwQe.html
70. LA REPÚBLICA. El Niño Costero | LaRepublica.pe. [online]. 2017. [Accessed 15 July 2017]. Available from: <http://larepublica.pe/sociedad/1023603-el-nino-costero>
71. RPP NOTICIAS. El desborde del río Rímac afectó centros campestres en Lurigancho-Chosica. [online]. [Accessed 21 November 2017]. Available from: <http://rpp.pe/lima/desastres-naturales/fotos-el-desborde-del-rio-rimac-afecto-centros-campestres-en-lurigancho-chosica-noticia-1037698>
72. RPP NOTICIAS. Damnificados por deslizamientos de rocas en Chicla piden ayuda. [online]. 2012. [Accessed 29 August 2017]. Available from: <http://rpp.pe/peru/actualidad/damnificados-por-deslizamientos-de-rocas-en-chicla-piden-ayuda-noticia-446283>

ANEXOS

ANEXO N°01

Salida a Campo





Fotografía 5. Calicatas terminadas.

Fuente: Elaboración Propia.



Fotografía 6. Tomando muestras de aproximadamente 2kg por punto de muestreo.

Fuente: Elaboración Propia.



Fotografía 7. Tomando datos de cada punto, empleando la ficha de muestreo.

Fuente: Elaboración Propia.

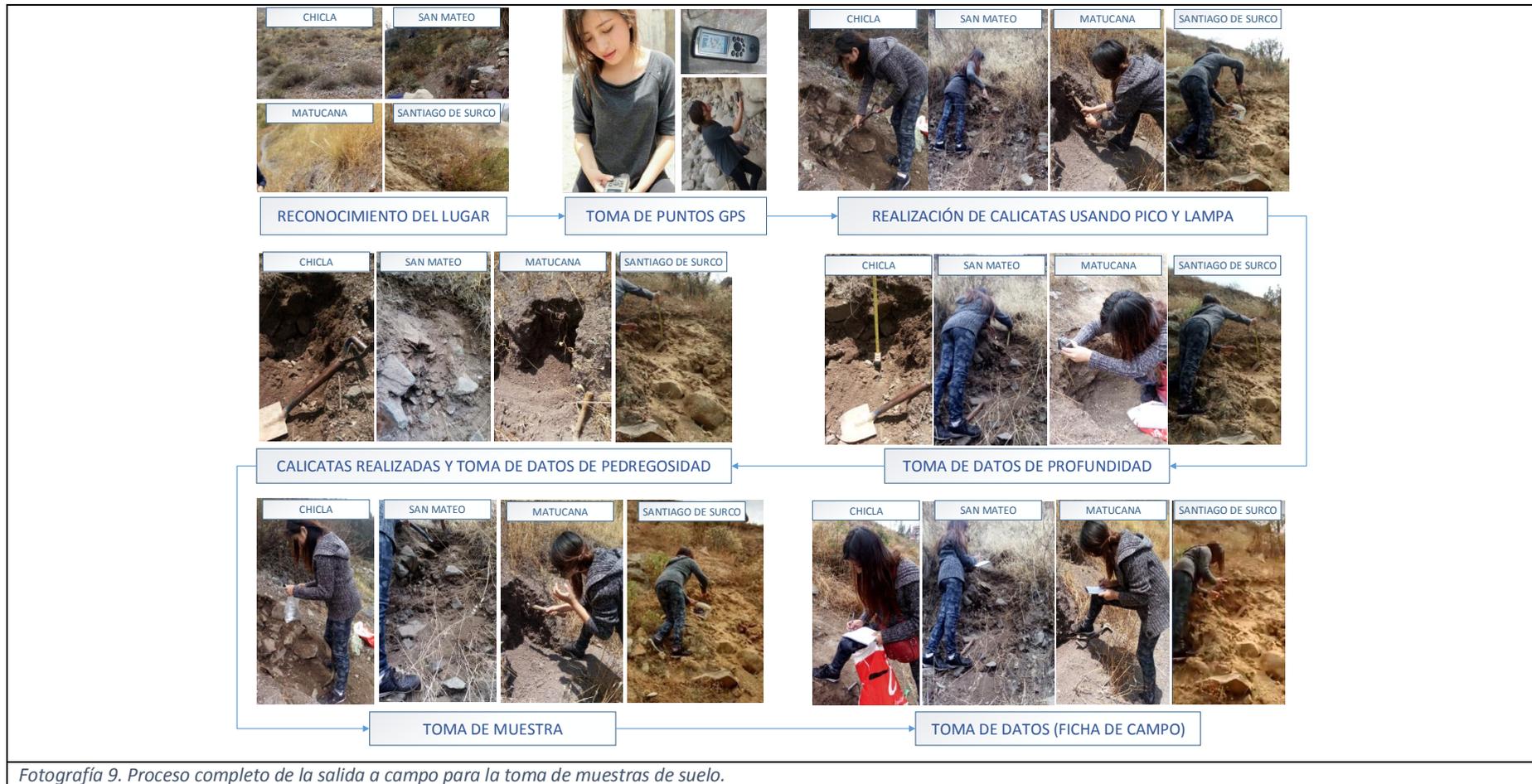


Fotografía 8. Muestras de suelos.

Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO N°02

Proceso de Salida de Campo

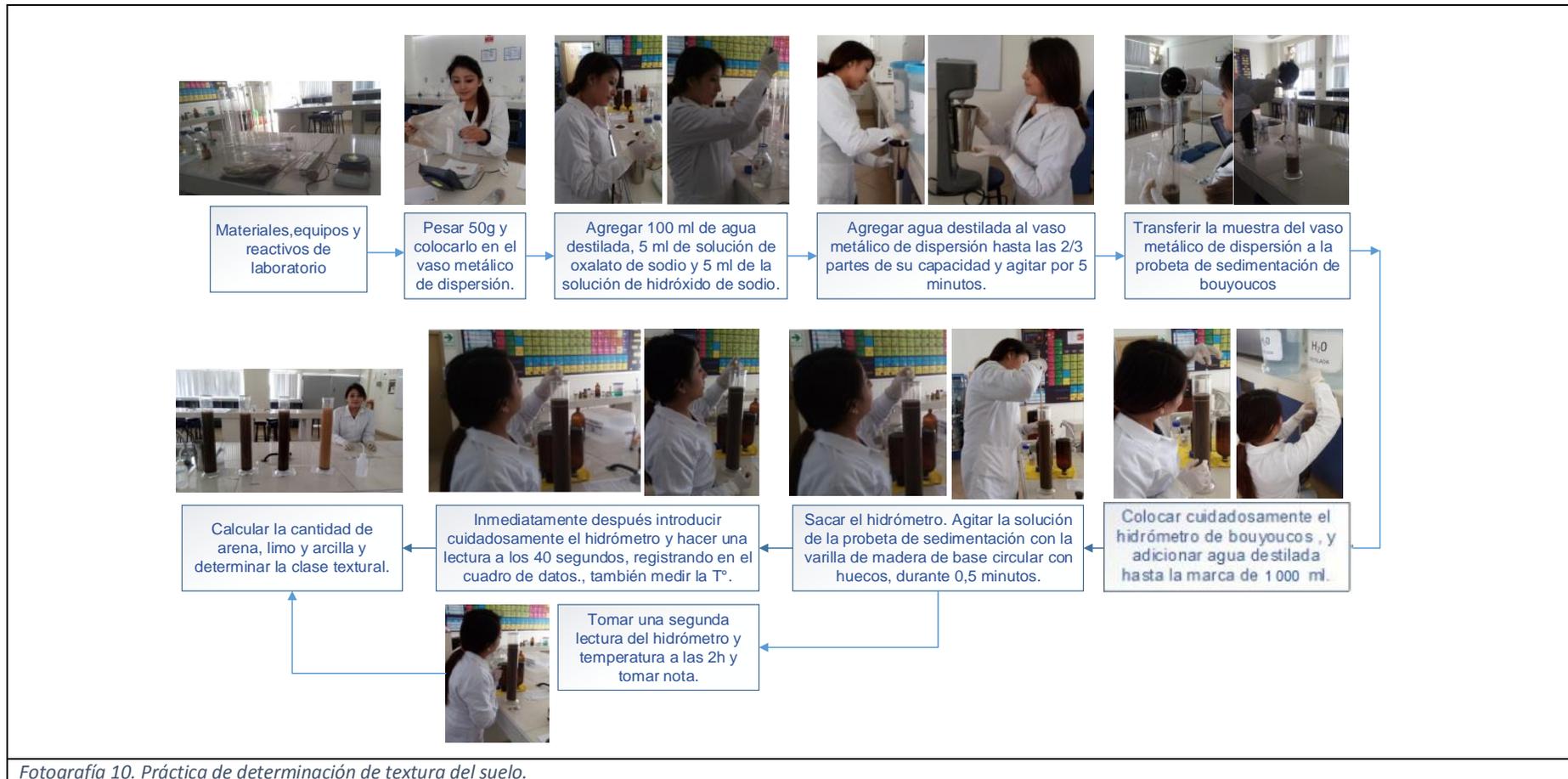


Fotografía 9. Proceso completo de la salida a campo para la toma de muestras de suelo.

Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO N°03

Proceso de Laboratorio: Práctica de determinación de textura del suelo.



Fotografía 10. Práctica de determinación de textura del suelo.

Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO N°05

Resultados de Análisis de Erodabilidad Aplicando Índices.

FACTOR (K) ERODABILIDAD DEL SUELO

- Ubicación de los puntos de muestreo

N°	LUGAR	ESTE (X)	NORTE(Y)
01	CHICLA	361604	8705925
02	SAN MATEO	358468	8699535
03	MATUCANA	349457	8690259
04	SAN JERÓNIMO DE SURCO	343133	8685584

- Datos de pedregosidad

N°	LUGAR	PEDREGOSIDAD
01	CHICLA	>10%
02	SAN MATEO	>10%
03	MATUCANA	>10%
04	SAN JERÓNIMO DE SURCO	>10%

- Datos de profundidad y descripción

N°	LUGAR	PROFUNDIDAD	DESCRIPCIÓN
01	CHICLA	78cm	Pendiente
02	SAN MATEO	76cm	Pendiente
03	MATUCANA	72cm	Pendiente
04	SAN JERÓNIMO DE SURCO	34cm	Pendiente

- Datos de textura del suelo

N°	LUGAR	%Arena	%Arcilla	%Limo	Clase textural (USDA)
01	CHICLA	62.4	11.2	26.4	Franco arenoso
02	SAN MATEO	66.0	10.8	23.2	Franco arenoso
03	MATUCANA	68.4	9.2	22.4	Franco arenoso
04	SAN JERÓNIMO DE SURCO	50.4	15.6	34.0	Franco

ANÁLISIS DE ERODABILIDAD DEL SUELO

N°	LUGAR	PONDERACIÓN			TOTAL	ÍNDICE DE ERODABILIDAD	DESCRIPCIÓN DEL ÍNDICE DE ERODABILIDAD
		Clase de erodabilidad según clase textural	Clase de erodabilidad según profundidad del suelo	Clase de erodabilidad según pedregosidad del suelo			
01	CHICLA	3	1	1	3	1	BAJO
02	SAN MATEO	3	1	1	3	1	BAJO
03	MATUCANA	3	2	1	6	2	MODERADO
04	SAN JERÓNIMO DE SURCO	3	2	1	6	2	MODERADO

Figura 48. Resultados Análisis de Erodabilidad del Suelo.

Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO N°06

Portales WEB.

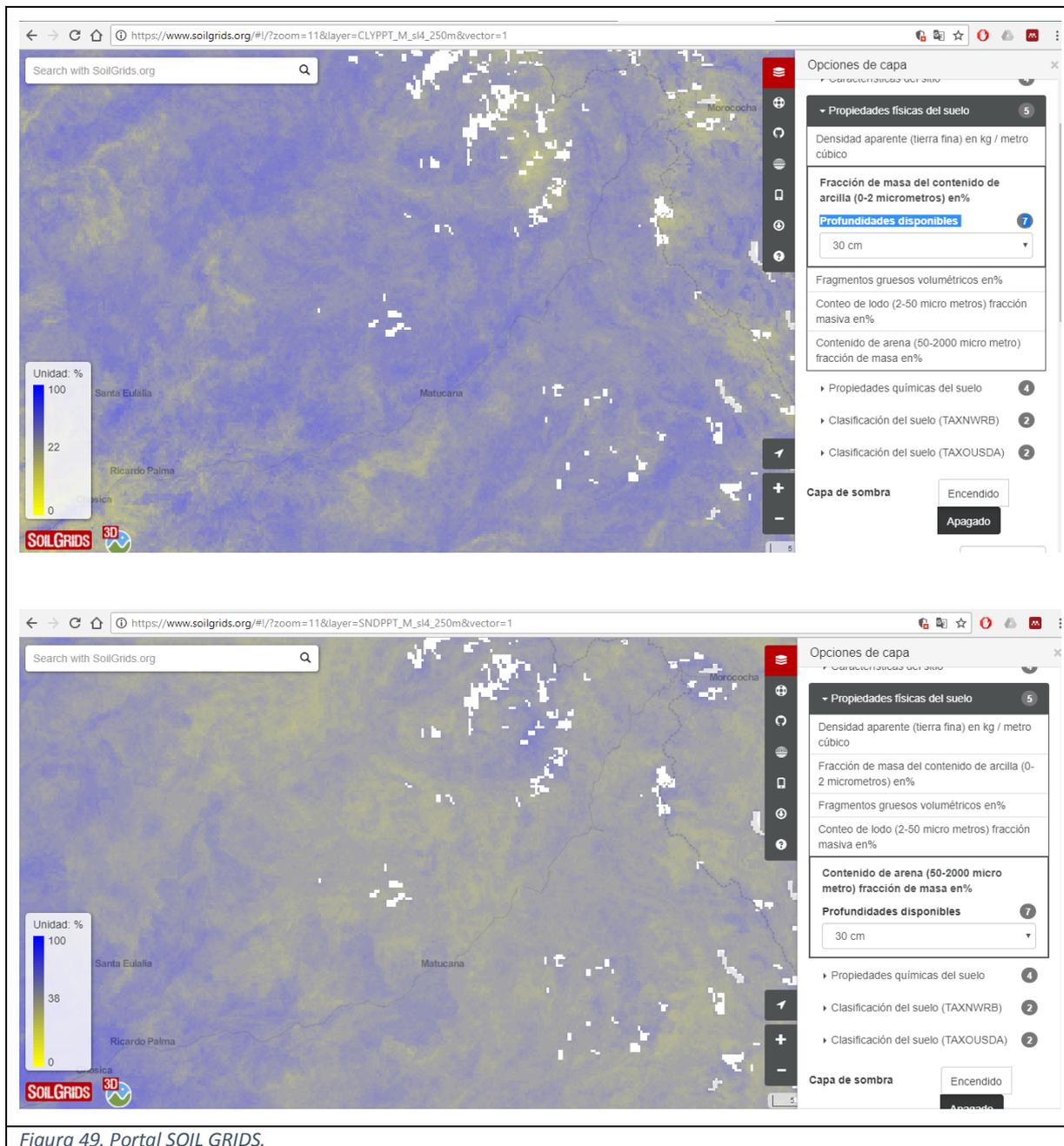


Figura 49. Portal SOIL GRIDS.

Fuente: Elaboración Propia.

www.senamhi.gob.pe/?p=data-historica

Pronóstico: (01) 614 1407

Datos históricos

- Imágenes de satélite
- Temperatura del agua del mar
- Perfil vertical de la atmósfera
- Observación de inundaciones
- Monitoreo decadalario de precipitación
- Modelos numéricos
- Análisis meteorológico
- Gestión de datos
- Datos históricos
- Descarga de datos hidrometeorológicos
- Estaciones automáticas
- Estaciones convencionales
- Lluvia acumulada

- Publicaciones
- Acceso a la información pública
- Descarga de datos hidrometeorológicos
- Datos históricos
- Transparencia
- Aprendiendo
- Productos y servicios
- TUPA
- Visitas guiadas
- Biblioteca
- Libro de reclamaciones

Descarga de datos hidrometeorológicos

- CUSCO
- HUANCVELICA
- HUANUCO
- ICA
- JUNIN
- LA LIBERTAD
- LAMBAYEQUE
- LIMA
- GORGOR
- CANTA
- ARAHUAY
- ÑAÑA
- CHOSICA
- HUARANGAL
- ANDAJES
- OYON
- SANTA ROSA

Figura 50. Portal SENAMHI
 Fuente: Elaboración Propia.

Seguro | https://earthexplorer.usgs.gov

USGS
science for a changing world

USGS Home
Contact USGS
Search USGS

EarthExplorer Page Expires In 1:56:39

Home Login Register RSS Feedback Help

Search Criteria Data Sets Additional Criteria Results

1. Enter Search Criteria

To narrow your search area: type in an address or place name, enter coordinates or click the map to define your search area (for advanced map tools, view the [help documentation](#)), and/or choose a date range.

Address/Place Path/Row Feature Circle

Coordinates Predefined Area Shapefile KML

Degree/Minuta/Second Decimal

1. Lat: 11° 53' 44" S, Lon: 076° 27' 23" W

Date Range Result Options

Search from: mm/dd/yyyy to: mm/dd/yyyy

Search months: (all)

Search Criteria Summary (Show) Clear Criteria

Mapa Satélite (12° 08' 04" S, 076° 40' 19" W) Options Overlays

Seguro | https://earthexplorer.usgs.gov

USGS
science for a changing world

USGS Home
Contact USGS
Search USGS

EarthExplorer Page Expires In 1:56:39

Home Login Register RSS Feedback Help

Search Criteria Data Sets Additional Criteria Results

4. Search Results

If you selected more than one data set to search, use the dropdown to see the search results for each specific data set.

Note: You must be logged in to download and order scenes

Show Result Controls

Data Set Click here to export your results

Landsat 7 ETM+ C1 Level-1

7	ID:LE07_L1TP_007068_20170923_20171020_01_T1 Acquisition Date:23-SEP-17 Path:7 Row:68
8	ID:LE07_L1TP_007068_20170907_20171003_01_T1 Acquisition Date:07-SEP-17 Path:7 Row:68
9	ID:LE07_L1TP_007068_20170822_20170917_01_T1 Acquisition Date:22-AUG-17 Path:7 Row:68
10	ID:LE07_L1TP_007068_20170806_20170901_01_T1 Acquisition Date:06-AUG-17 Path:7 Row:68

Search Criteria Summary (Show) Clear Criteria

Mapa Satélite (11° 40' 40" S, 076° 58' 07" W) Options Overlays

Figura 51. Portal USGA.
Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO N°07

Tablas de valores de los índices del modelo CORINE.

ÍNDICE DE EROSIVIDAD CLIMÁTICA

Tabla 12. Valores asignados para índice de Fournier modificado (IFM).

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

Fuente: (41).

ÍNDICE DE ERODABILIDAD DEL SUELO

Tabla 13. Valores asignados según el Índice de erodabilidad.

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

Fuente: (41).

Tabla 14. Clase de erodabilidad según clase textural.

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

Fuente: (41).

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

Tabla 15. Clase de erodabilidad según profundidad del suelo.

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

Fuente: (41).

Tabla 16. Clase de erodabilidad según pedregosidad del suelo.

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

Fuente: (41).

ÍNDICE DE PENDIENTE DEL SUELO

Tabla 17. Valores asignados según pendiente.

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

Fuente: (41).

ÍNDICE DE CUBIERTA VEGETAL

Tabla 18. Valores asignados según cubierta vegetal.

Índice	Descripción	Suelo
1	Completamente protegido.	Bosques y pastos permanentes (Malezas).
2	No completamente protegido.	Terreno cultivado o desnudo.

Fuente: (41).

ÍNDICE DE EROSIÓN POTENCIAL

Tabla 19. Clasificación de índice de erosión potencial.

Índice	Descripción	Resultado
0	Nulo	0
1	Bajo	0 – 5
2	Moderado	5 – 11
3	Alto	>11

Fuente: (41).

ÍNDICE DE EROSIÓN ACTUAL

Tabla 20. Clasificación de índice de erosión actual.

Índice de Cubierta Vegetal	Índice de riesgo de erosión potencial			
	Nulo (0)	Bajo (1)	Moderado (2)	Alto (3)
1	0	1	1	2
2	0	1	2	3

Fuente: (41).

ANEXO N°08

Operacionalización de Variables

Tabla 21. Operacionalización de Variables

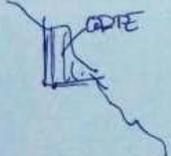
TIPO	VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	INDICADORES	UNIDAD DE MEDIDA
Dependiente	Riesgo de erosión actual y potencial	Erosión potencial: Pronóstico de pérdida de material en un suelo como consecuencia de una influencia del relieve, tipo de suelos y la erosividad de las lluvias. Supone el territorio desprovisto de cubierta vegetal protectora. Erosión Actual: Pronóstico o medida de pérdida de suelos que exista en un determinado lugar, en el momento presente (22)	Riesgo	Alta, media, baja (Índices)
	Erosividad Climática (Precipitación)	Índice que expresa la capacidad de la lluvia para erosionar el suelo (25).	Precipitación	mm (Índices)
Independiente	Erodabilidad del Suelo (Suelo)	Índice que indica la vulnerabilidad o susceptibilidad a la erosión y que depende de las propiedades intrínsecas del suelo (22)	Textura, Pedregosidad, Profundidad	(%arena, %limo, %arcilla), >10% ó <10%, cm (Índices)
	Topografía (Pendiente)	Índice que indica el grado de pendiente del terreno que en condiciones normales, conforme aumente el grado y longitud de pendiente, se incrementa la velocidad y volumen de escorrentía por tanto la erosión.	Pendiente-Longitud	Adimensional (Índices)
	Cobertura vegetal	Índice que presenta la efectividad de las plantas como cubierta del suelo protectora del suelo frente a la energía de impacto de las gotas de lluvia y a la fuerza de flujo superficial. (25)	Vegetación	Clase 1=Completamente Protegido Clase 2 =No Completamente Protegido (Índices)

Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO N°09

Ficha de muestreo de suelos

FICHA DE MUESTREO DE SUELOS PARA TESIS DE PREGRADO UC
ADAPTADO DE GUÍA DE MUESTREO DE SUELOS MINAM 2014

DATOS GENERALES				
Nombre del sitio en estudio: CUENCO ALTA RIO RÍMAC		Departamento: LIMA		
Razón social:		Provincia: HUACHOCHILI		
Lugar principal:		Dirección del Predio: CARBETERA CENTRAL		
DATOS DEL PUNTO DE MUESTREO:				
Nombre del punto de muestreo:		Operador: TESISTA: KATHERIN FELISQUIZA		
Coordenadas: X: V:	Descripción de la superficie: PENDIENTE			
Temperatura (°C):	Precipitación: (sí/no, intensidad):			
Técnica de muestreo: (señalar si manual, mecánico, magnético, etc.):	Instrumentos usados: PALA, PICO, BOLSAS HERMÉTICAS, BARRENO			
Profundidad final: (en metros bajo la superficie):	Napa freática: (sí/no, profundidad en m):			
Instalación de un pozo en el agujero: (sí/no, descripción):	Relleno del agujero después del muestreo: (sí/no, descripción):			
BASES DE LAS MUESTRAS:				
	CHICLA	SAN MATEO	MATUCONA	S.D. SURCO
Clave de la muestra:	25-10-17	26-10-17	27-10-17	28-10-17
Fecha:				
Hora:	12:25m	3:34pm	11:06am	2:23pm
Profundidad desde: (en metros bajo la superficie):				
Profundidad hasta: (en metros bajo la superficie):	78cm	76cm	72cm	34cm
Características organolépticas:	>10%	>10%	>10%	>10%
Color:	361K04	35B468	34Y457	34J63
Olor:	87A05925	8690535	8690259	84R3384
Textura:	Análisis lab UC - INIA			
Compactación/Consistencia:				
Humedad:				
Componentes antropogénicos:				
Estimación de la fracción > 2 mm (%):				
Cantidad de la muestra (gramos o kilos):	2kg aprox	2kg aprox	2kg aprox	2kg aprox
Métodos de conservación:				
Tipo de muestra: (simple/compuesta):	simple	simple	simple	simple
PARA MUESTRAS SUPERFICIALES COMPUESAS:				
Área de muestreo (m²):				
Número de sub-muestras:				
Comentarios:		Croquis:		
<p>• Se realizó un corte en pendiente - se quita la parte superficial aprox 30 cm.</p> <p>- Se retiró una muestra por cada lugar pues se corrieron líneas de comprobación según modelo</p> 				

Fotografía 11. Ficha de registro de muestreo de suelos.

Fuente: Elaboración Propia.

Muestreo de Suelos

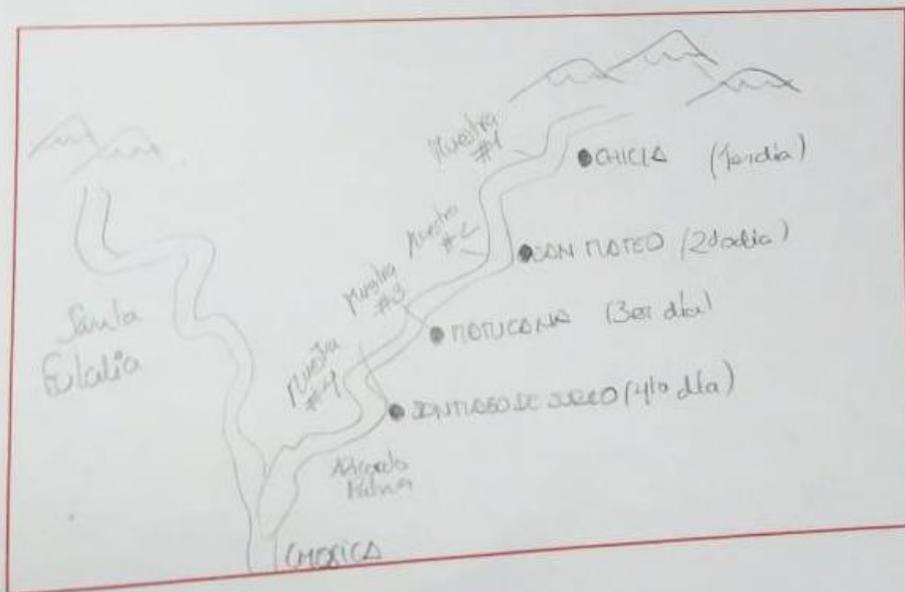
Testa: Registro de acciones hidrológicas en la cuenca alta del Rio Plumas, durante el fenómeno "El Niño" 2016-2017.

Objetivo del muestreo: Realizar muestras de suelo para medir como la textura del suelo.

Lugar: Huarechivi - Jirica

N° del punto	N° de foto	Fecha	Coordenadas	Descripción del punto	Observaciones
Chicla 1	201705-12340	25-10-17	261604 8105925	pendiente	pedras en b.s. profeta abunde vegetación SI
San Mateo 2	201705-12341	26-10-17	358468 8699635	pendiente	pedras muera. abunde vegetación SI
Mahonawa 3	201705-12342	27-10-17	399457 8699259	pendiente	pedras superficie
Santiago Jirica 4	201705-12343	28-10-17	342133 8685584	pendiente	nucle roca -
5					
6					

Ruta del muestreo:



Fotografía 12. Registro de muestreo de suelos.

Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO N°10

Mapa de Cuencas Hidrográficas MINAM.

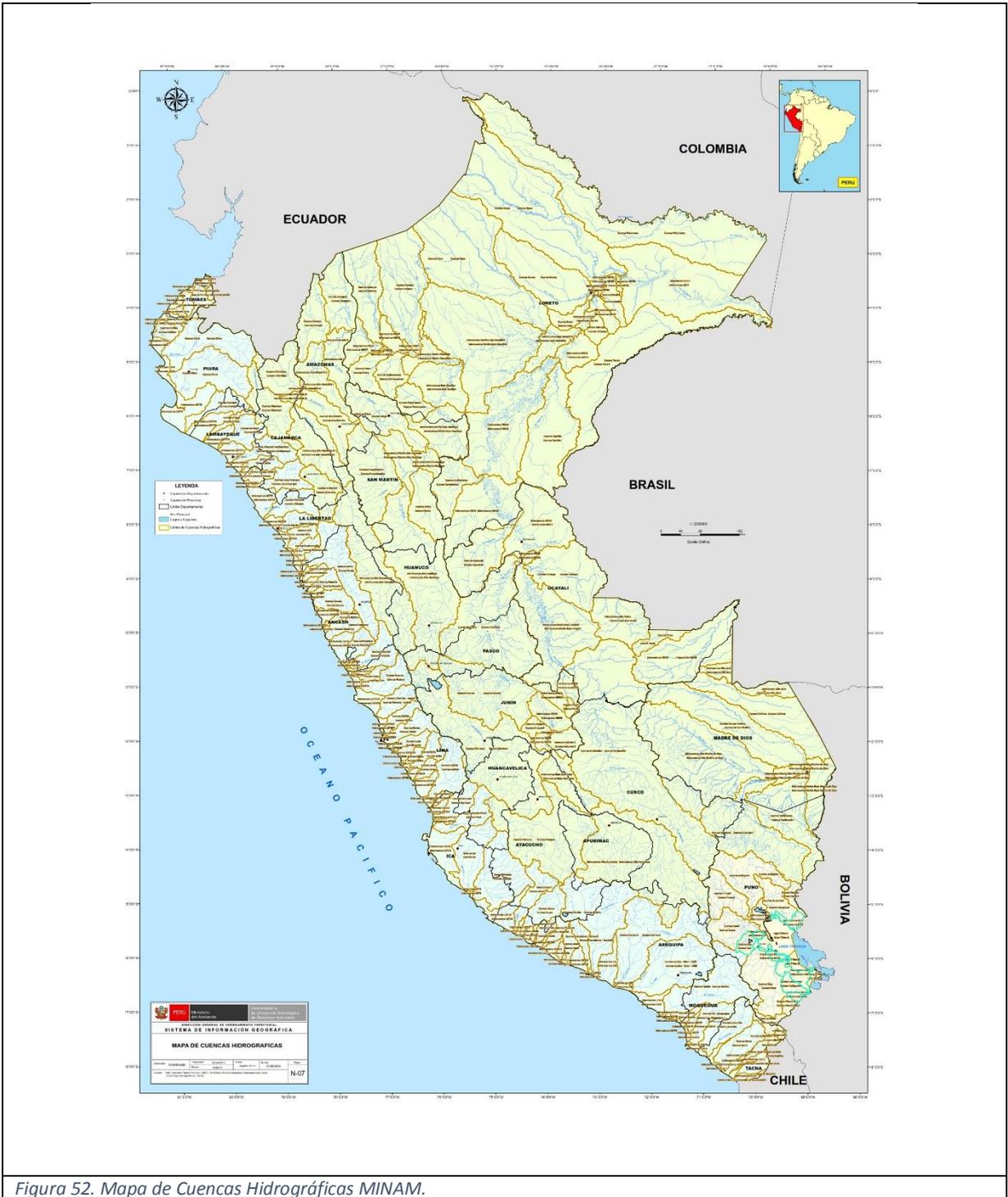


Figura 52. Mapa de Cuencas Hidrográficas MINAM.

Fuente: (66)

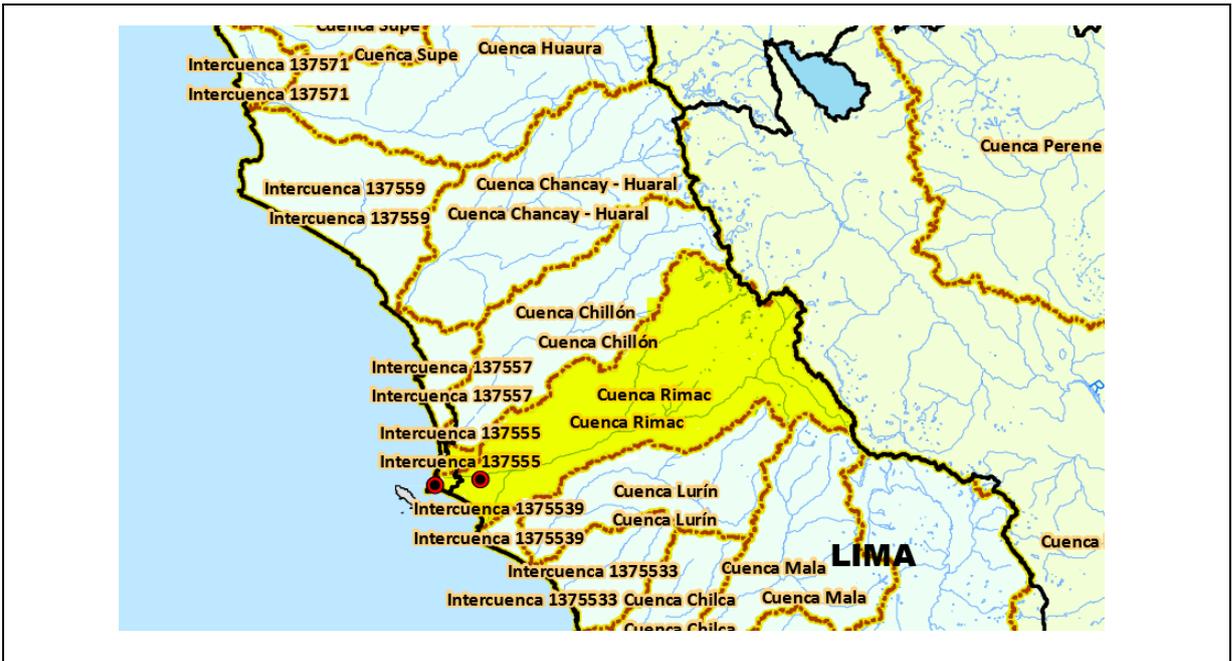


Figura 53. Cuenca Rímac.

Fuente: (66)

ANEXO N°11

Modelo general de la metodología CORINE

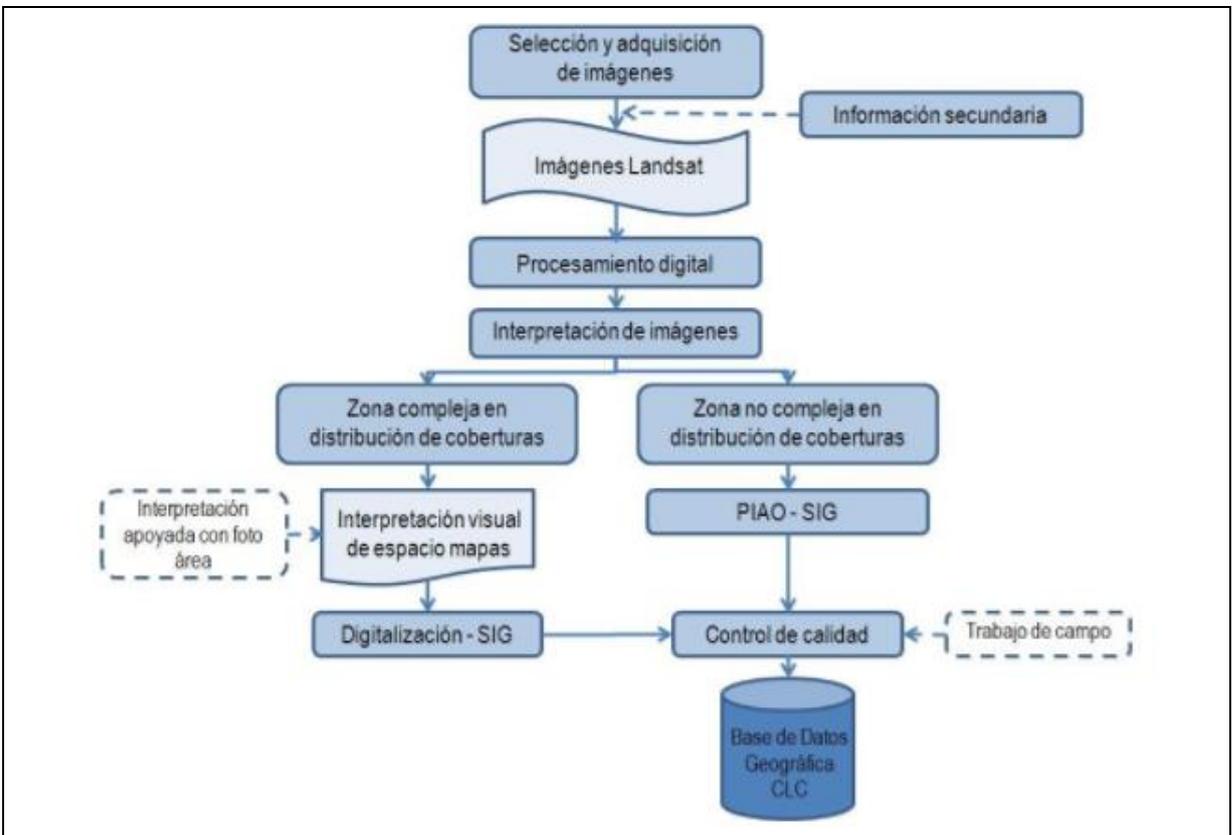


Figura 54. Modelo general de la metodología CORINE.

Fuente: (67)

ANEXO N°12

GLOSARIO DE TÉRMINOS

- CORINE: Coordination of information on the environment (Coordinación de información sobre el medio ambiente).
- SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
- USGS: United States Geological Survey (Servicio Geológico de los Estados Unidos).
- INIA: Instituto Nacional de Innovación Agraria.
- SIG: Sistemas de Información Geográfica.
- UTM: Universal Transverse Mercator.
- GPS: Global Positioning System (sistema de posicionamiento global).
- USLE: Universal Soil Loss Equation (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo).
- RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation (Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelos).
- ONU: Organización de las Naciones Unidas.
- OPS: Organización Panamericana de la Salud.
- OMS: Organización Mundial de la Salud.
- FAO: Food and Agriculture Organization (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura).
- ENSO: El Niño-Southern Oscillation.
- COEN: Centro de Operaciones de Emergencia Nacional.
- INDECI: Instituto Nacional de Defensa Civil.
- USDA: United States Department of Agriculture (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos).

ANEXO N°13

NOTICIAS SOBRE EROSIÓN



Figura 55. Bolivia registra 15 muertos y 22,500 familias afectadas por lluvias y sequías.

Fuente: (68) (68)



Figura 56. La erosión es un daño ambiental que vuelve a aumentar.

Fuente: (69)



Figura 57. Colombia se queda sin piel: erosión afecta casi medio país.

Fuente: (2)

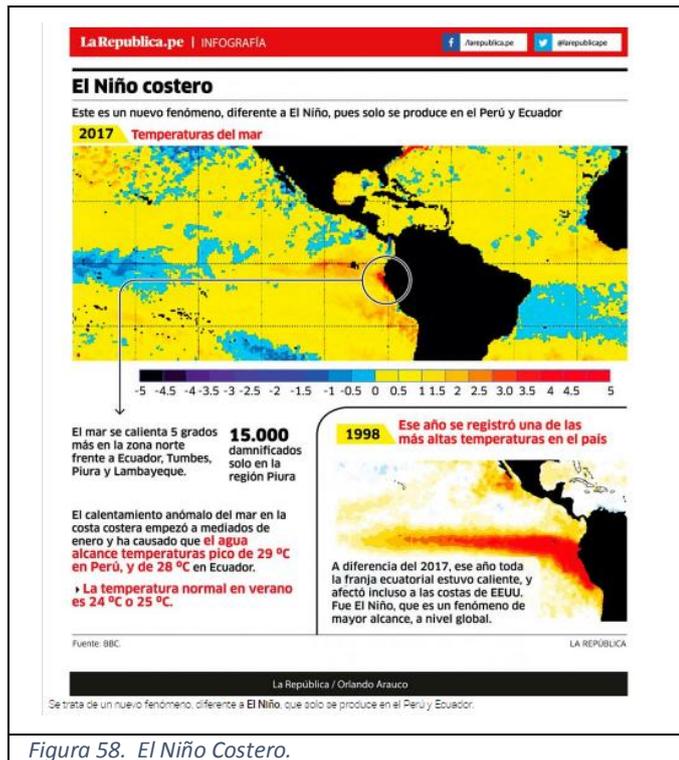


Figura 58. El Niño Costero.

Fuente: (70)

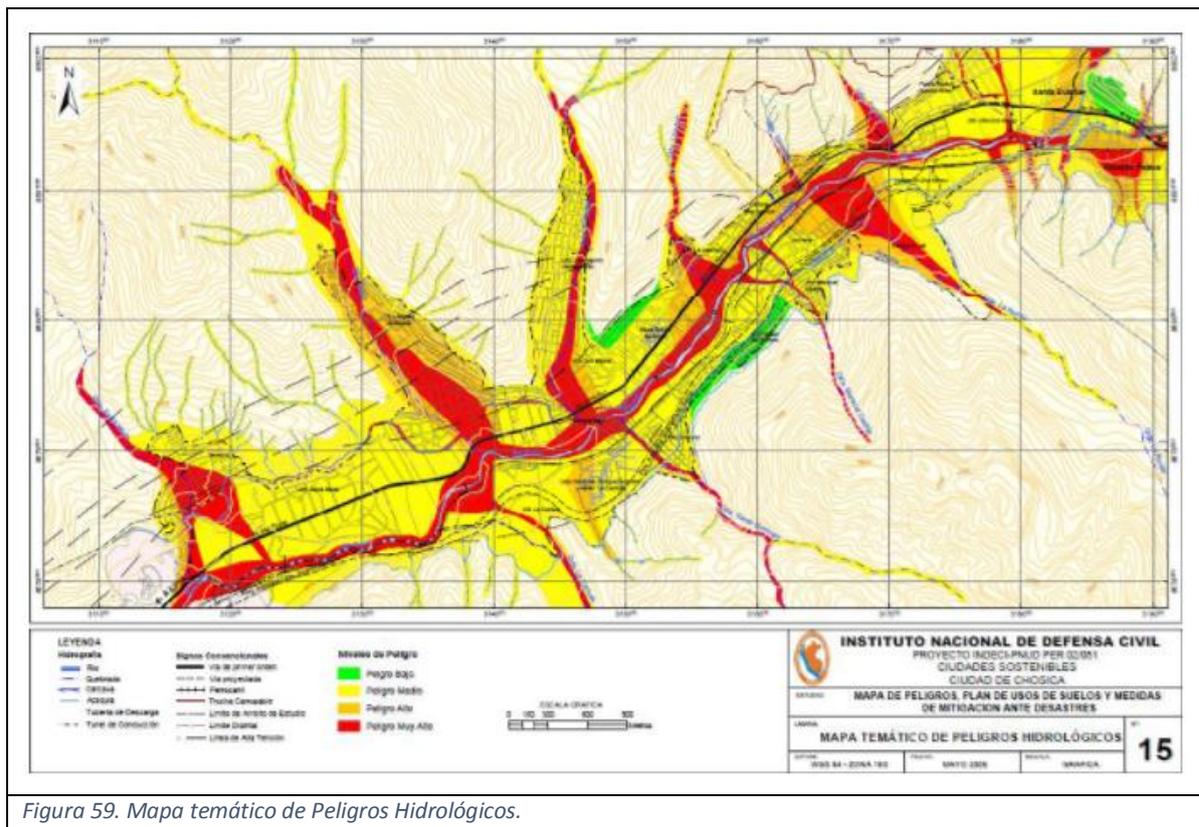


Figura 59. Mapa temático de Peligros Hidrológicos.

Fuente: (8)



Figura 60. Perjudicados y daños materiales

Fuente: (9)



Fuente: (71)



Figura 62. Damnificados por deslizamientos de rocas en Chicla piden ayuda.

Fuente: (72)



Figura 63. Chosica es vulnerable por Fenómeno de El Niño.

Fuente: (7)

ANEXO N°14

DOCUMENTOS DE JUICIO DE EXPERTOS



FICHA DE VALIDACIÓN DE EXPERTO

Considerando que la estudiante Katherin Luz Egusquiza Velasquez, realizó su tesis titulado "Determinación del Riesgo de Erosión Hídrica en la Cuenca Alta del Río Rímac, durante el fenómeno El Niño 2016 – 2017", se solicita la validación de los resultados en función de la metodología respectiva, para la cual la estudiante debe solicitar que expertos o entendidos en el tema debe validar los resultados:

Instrucciones: Marque con una "X" según considere la valoración de acuerdo a cada ítem.

PARA: Congruencia y claridad del método, los instrumentos de recogida de datos	PARA: Tendenciosidad (propensión hacia determinados fines)
5 = Optimo	5 = Mínimo
4 = Satisfactorio	4 = Poca
3 = Bueno	3 = Regular
2 = Regular	2 = Bastante
1 = Deficiente	1 = Fuerte

Criterios de Evaluación	Congruencia					Claridad					Tendenciosidad				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1. Los trabajos de campo responden al método aplicado en la Tesis					✓					✓					✓
2. El análisis de datos a partir del portal web del SENAMHI, ofrece validez interna a la metodología.				✓						✓					✓
3. El muestreo realizado para el análisis de suelos es el indicado.					✓					✓					✓
4. El proceso de análisis realizado en el laboratorio se sujeta al método.					✓					✓					✓
5. El uso de imágenes satelitales LANDSAT permite determinar pendientes y cobertura vegetal.					✓					✓					✓
6. El método CORINE es un método computarizado para determinar erosión.					✓					✓					✓
7. La determinación del índice de fournier es un resultado coherente.					✓					✓					✓
8. El mapa de erorabilidad es propio del método y responde a los objetivos.					✓					✓					✓
9. La determinación de la pendiente y la cobertura vegetal responden al método.					✓					✓					✓
10. Los resultados responden a los objetivos y son confiables.					✓					✓					✓
Sumatoria Parcial				4	45				8	40				8	40
Sumatoria Total															

Observaciones: *Los resultados son indicadores del grado de erosión que presenta la zona de estudio de acuerdo al método.*

Nombres y Apellidos del Experto: *Rivero Yucanqui, Freddy F.* Especialidad:

DNI: *20681980* Nro. Celular: *964925344*

Firma: *[Firma manuscrita]*

Fotografía 13. Documento de Validación por Juicio de Expertos 1a.

Fuente: Elaboración Propia.

ESCALA DICOTÓMICA PARA JUICIO DE EXPERTOS

Apreciación del experto sobre el Resultado:

El trabajo cumple con la rigurosidad del método científico.

Criterios de Evaluación	Correcto	Incorrecto
1. El Método CORINE permite determinar la Erosión Hídrica potencial y actual.	✓	
2. La secuencia de trabajos de campo y de laboratorio son los indicados para el método.	✓	
3. Los instrumentos de muestreo de campo son los indicados para determinar la textura de suelos.	✓	
4. La secuencia de aplicación del Modelo en un software de GIS, son congruentes con los datos recopilados.	✓	
5. Los lugares seleccionados para el muestreo de suelos son representativos a la población del estudio.	✓	
6. El instrumento abarca en su totalidad el problema de investigación.	✓	
7. Las salidas del modelo son objetivos y responden a la realidad.	✓	
8. Los datos obtenidos de precipitación a partir de la web del SENAMHI, son representativos para el estudio del fenómeno El Niño.	✓	
9. La salida del análisis hidrológico se asocia con la determinación de la erosión.	✓	
10. Los resultados obtenidos de la aplicación del Método CORINE son objetivos y reales.	✓	

Nombres y Apellidos del Experto: *Rivas Yupanqui Fredy J.*

Teléfono: *964925344*

DNI: *20681980*

Firma: 

Fotografía 14. Documento de Validación por Juicio de Expertos 1b.

Fuente: Elaboración Propia.

FICHA DE VALIDACIÓN DE EXPERTO

Considerando que la estudiante Katherin Luz Egusquiza Velasquez, realizó su tesis titulado "Determinación del Riesgo de Erosión Hídrica en la Cuenca Alta del Río Rímac, durante el fenómeno El Niño 2016 – 2017", se solicita la validación de los resultados en función de la metodología respectiva, para la cual la estudiante debe solicitar que expertos o entendidos en el tema debe validar los resultados:

Instrucciones: Marque con una "X" según considere la valoración de acuerdo a cada ítem.

PARA: Congruencia y claridad del método, los instrumentos de recogida de datos	PARA: Tendenciosidad (propensión hacia determinados fines)
5 = Optimo 4 = Satisfactorio 3 = Bueno 2 = Regular 1 = Deficiente	5 = Mínimo 4 = Poca 3 = Regular 2 = Bastante 1 = Fuerte

Criterios de Evaluación	Congruencia					Claridad					Tendenciosidad				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1. Los trabajos de campo responden al método aplicado en la Tesis					✓					✓					✓
2. El análisis de datos a partir del portal web del SENAMHI, ofrece validez interna a la metodología.				✓						✓					✓
3. El muestreo realizado para el análisis de suelos es el indicado.					✓					✓					✓
4. El proceso de análisis realizado en el laboratorio se sujeta al método.					✓					✓					✓
5. El uso de imágenes satelitales LANDSAT permite determinar pendientes y cobertura vegetal.					✓					✓					✓
6. El método CORINE es un método computarizado para determinar erosión.					✓					✓					✓
7. La determinación del índice de fornier es un resultado coherente.					✓					✓					✓
8. El mapa de erorabilidad es propio del método y responde a los objetivos.					✓					✓					✓
9. La determinación de la pendiente y la cobertura vegetal responden al método.					✓					✓					✓
10. Los resultados responden a los objetivos y son confiables.					✓					✓					✓
Sumatoria Parcial				4	45				8	40				8	40
Sumatoria Total															

Observaciones:

La metodología utilizada reúne con todos los elementos informáticos y representa un modelo para el cálculo de erosión.

Nombres y Apellidos del Experto: Román Rojas Pérez Especialidad: Ing. Informática

DNI: 47112056

Nro. Celular: 956291190

Firma: 

Fotografía 15. Documento de Validación por Juicio de Expertos 2a.

Fuente: Elaboración Propia.

ESCALA DICOTÓMICA PARA JUICIO DE EXPERTOS

Apreciación del experto sobre el Resultado:

Los índices de erosión potencial son una representación del proceso matemático mediante el uso de imágenes satelitales, por lo que se valida los resultados.

Criterios de Evaluación	Correcto	Incorrecto
1. El Método CORINE permite determinar la Erosión Hídrica potencial y actual.	✓	
2. La secuencia de trabajos de campo y de laboratorio son los indicados para el método.	✓	
3. Los instrumentos de muestreo de campo son los indicados para determinar la textura de suelos.	✓	
4. La secuencia de aplicación del Modelo en un software de GIS, son congruentes con los datos recopilados.	✓	
5. Los lugares seleccionados para el muestreo de suelos son representativos a la población del estudio.	✓	
6. El instrumento abarca en su totalidad el problema de investigación.	✓	
7. Las salidas del modelo son objetivos y responden a la realidad.	✓	
8. Los datos obtenidos de precipitación a partir de la web del SENAMHI, son representativos para el estudio del fenómeno El Niño.	✓	
9. La salida del análisis hidrológico se asocia con la determinación de la erosión.	✓	
10. Los resultados obtenidos de la aplicación del Método CORINE son objetivos y reales.	✓	

Nombres y Apellidos del Experto: Ramiro Rojas Pérez

Teléfono: 956 29 119 0

DNI: 43112056

Firma: 

Fotografía 16. Documento de Validación por Juicio de Expertos 2b.

Fuente: Elaboración Propia.

FICHA DE VALIDACIÓN DE EXPERTO

Considerando que la estudiante Katherin Luz Egusquiza Velasquez, realizó su tesis titulado "Determinación del Riesgo de Erosión Hídrica en la Cuenca Alta del Río Rímac, durante el fenómeno El Niño 2016 – 2017", se solicita la validación de los resultados en función de la metodología respectiva, para la cual la estudiante debe solicitar que expertos o entendidos en el tema debe validar los resultados:

Instrucciones: Marque con una "X" según considere la valoración de acuerdo a cada ítem.

PARA: Congruencia y claridad del método, los instrumentos de recogida de datos	PARA: Tendenciosidad (propensión hacia determinados fines)
5 = Óptimo 4 = Satisfactorio 3 = Bueno 2 = Regular 1 = Deficiente	5 = Mínimo 4 = Poca 3 = Regular 2 = Bastante 1 = Fuerte

Criterios de Evaluación	Congruencia					Claridad					Tendenciosidad				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1. Los trabajos de campo responden al método aplicado en la Tesis					/					/		/			
2. El análisis de datos a partir del portal web del SENAMHI, ofrece validez interna a la metodología.					/					/	/				
3. El muestreo realizado para el análisis de suelos es el indicado.					/					/	/				
4. El proceso de análisis realizado en el laboratorio se sujeta al método.					/					/	/				
5. El uso de imágenes satelitales LANDSAT permite determinar pendientes y cobertura vegetal.					/					/	/				
6. El método CORINE es un método computarizado para determinar erosión.					/					/		/			
7. La determinación del índice de founier es un resultado coherente.					/					/		/			
8. El mapa de erorabilidad es propio del método y responde a los objetivos.					/					/	/				
9. La determinación de la pendiente y la cobertura vegetal responden al método.					/					/	/				
10. Los resultados responden a los objetivos y son confiables.					/					/		/			
Sumatoria Parcial															
Sumatoria Total															

Observaciones:

El método no solamente se usa en Europa, países como Colombia y Perú de la comunidad Andina están haciendo uso de este método por las ventajas que ofrece

Nombres y Apellidos del Experto: Elizabeth Madueca Manrique **Especialidad:** Ing. Agrónoma

DNI: 19856626

Nro. Celular: 964261876

Firma: 
Firmado el 11 de Noviembre del 2018

ESCALA DICOTÓMICA PARA JUICIO DE EXPERTOS

Apreciación del experto sobre el Resultado:

La Metodología CORINE Land Cover no solo identifica cambios en la cobertura y uso de tierras, este método también identifica erosión y los resultados encontrados en el presente informe están de acuerdo a la metodología aplicada.

Criterios de Evaluación	Correcto	Incorrecto
1. El Método CORINE permite determinar la Erosión Hídrica potencial y actual.	✓	
2. La secuencia de trabajos de campo y de laboratorio son los indicados para el método.	✓	
3. Los instrumentos de muestreo de campo son los indicados para determinar la textura de suelos.	✓	
4. La secuencia de aplicación del Modelo en un software de GIS, son congruentes con los datos recopilados.	✓	
5. Los lugares seleccionados para el muestreo de suelos son representativos a la población del estudio.	✓	
6. El instrumento abarca en su totalidad el problema de investigación.	✓	
7. Las salidas del modelo son objetivos y responden a la realidad.	✓	
8. Los datos obtenidos de precipitación a partir de la web del SENAMHI, son representativos para el estudio del fenómeno El Niño.	✓	
9. La salida del análisis hidrológico se asocia con la determinación de la erosión.	✓	
10. Los resultados obtenidos de la aplicación del Método CORINE son objetivos y reales.	✓	

Nombres y Apellidos del Experto: Elizabeth Machuca Marriquet

Teléfono: 964261876

DNI: 19856626

Firma: 

Firmado el 11 de Noviembre del 2018

Fotografía 18. Documento de Validación por Juicio de Expertos 3b.

Fuente: Elaboración Propia.

ANEXO N°15

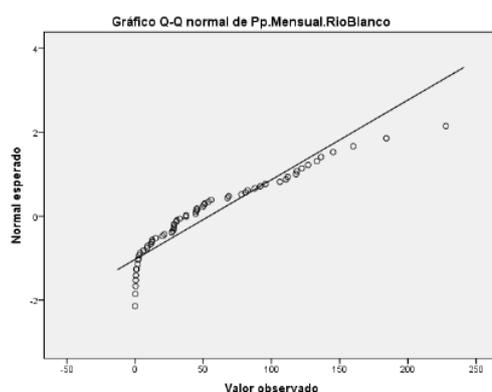
VALIDACIÓN DE LOS DATOS DE PRECIPITACIÓN

- Pp.Mensual Estación Río Blanco:
 H0: Los datos de precipitación de la estación de Río Blanco presentan distribución normal.
 H1: Los datos de precipitación de la estación de Río Blanco no presentan distribución normal.

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Pp.Mensual.RioBlanco	,153	62	,001	,879	62	,000

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Al tener un valor de significancia estadística menor que el valor crítico de prueba: $0.001 < 0.05$, recae en una zona de aceptación de hipótesis nula, es decir: H0: Los datos de precipitación de la estación de Río Blanco presentan **distribución normal**.

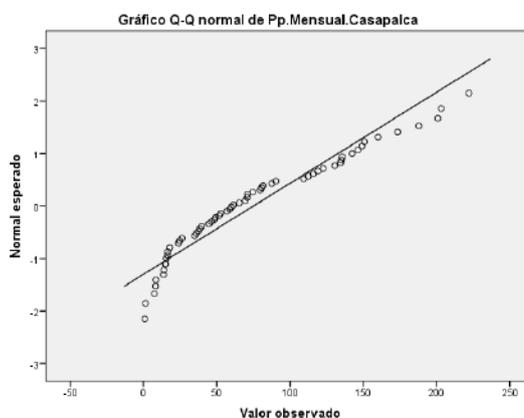


- Pp.Mensual.Casapalca:
 H0: Los datos de precipitación de la estación de Casapalca presentan distribución normal.
 H1: Los datos de precipitación de la estación de Casapalca no presentan distribución normal.

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Pp.Mensual.Casapalca	,126	62	,016	,920	62	,001

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Al tener un valor de significancia estadística menor que el valor crítico de prueba: $0.016 < 0.05$, recae en una zona de aceptación de hipótesis nula, es decir: H0: Los datos de precipitación de la estación de Casapalca presentan **distribución normal**.



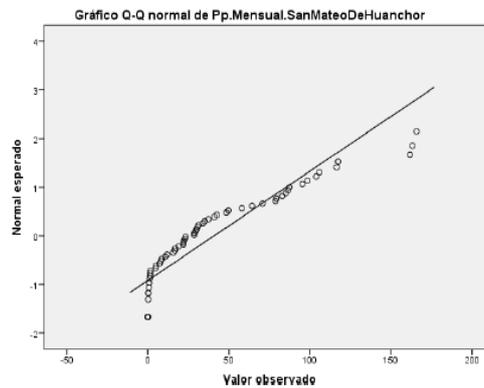
- Pp Mensual Estación San Mateo De Huanchor:
 H0: Los datos de precipitación de la estación de San Mateo de Huanchor presentan distribución normal.
 H1: Los datos de precipitación de la estación de San Mateo de Huanchor no presentan distribución normal.

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Pp Mensual. SanMateoDeHuanchor	,182	62	,000	,837	62	,000

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Al tener un valor de significancia estadística menor que el valor crítico de prueba: $0.000 < 0.05$, recae en una zona de aceptación de hipótesis nula, es decir: H0: Los datos de precipitación de la estación de San Mateo de Huanchor presentan **distribución normal**.



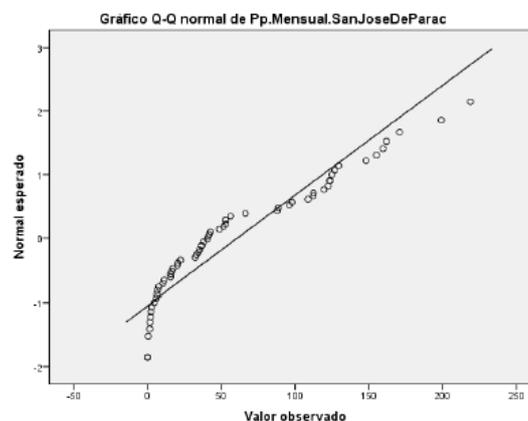
- Pp.Mensual Estación San Jose de Parac:
 H0: Los datos de precipitación de la estación de San José de Parac presentan distribución normal.
 H1: Los datos de precipitación de la estación de San José de Parac no presentan distribución normal.

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Pp.Mensual. SanJoseDeParac	,183	62	,000	,880	62	,000

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Al tener un valor de significancia estadística menor que el valor crítico de prueba: $0.000 < 0.05$, recae en una zona de aceptación de hipótesis nula, es decir: H0: Los datos de precipitación de la estación de San José de Parac presentan **distribución normal**.



- Pp.Mensual Estación Matucana:
 H0: Los datos de precipitación de la estación de Matucana presentan distribución normal.
 H1: Los datos de precipitación de la estación de Matucana no presentan distribución normal.

Pruebas de normalidad

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Pp.Mensual.Matucana	,239	53	,000	,726	53	,000

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Al tener un valor de significancia estadística menor que el valor crítico de prueba: $0.000 < 0.05$, recae en una zona de aceptación de hipótesis nula, es decir: H0: Los datos de precipitación de la estación de Matucana presentan **distribución normal**.

