



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE
HUANCVELICA**

(creada por Ley N° 25265)



**ESCUELA DE POSGRADO
FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA
UNIDAD DE POSGRADO**

TESIS

**ANÁLISIS TEMPORAL DEL NIVEL DE LA
EROSIÓN HÍDRICA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO
ICHU 2013 Y 2017.**

Línea de Investigación: Tecnología y Producción

Presentado por:

Bach. ALVAREZ TICLLASUCA; ADIEL

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO
EN CIENCIAS DE INGENIERÍA**

**MENCIÓN: PLANEACIÓN ESTRATÉGICA Y
GESTIÓN EN INGENIERÍA DE PROYECTOS**

HUANCAVELICA – PERÚ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA

(Creado por Ley N° 25265)

ESCUELA DE POSGRADO

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERIA

UNIDAD DE POSGRADO

(APROBADO CON RESOLUCIÓN N° 736-2005-ANR)



"Año de la Lucha Contra la Corrupción e Impunidad"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Ante el Jurado conformado por los docentes: Dr. Manuel Jesus BASTO SAEZ, M.Sc. Fernando Martín TORIBIO ROMAN, M.Sc. Ivan Arturo AYALA BIZARRO

Asesor (a): Mg. Victor Guillermo SANCHEZ ARAUJO

De conformidad al Reglamento para Optar el Grado Académico de Magister, de la Escuela de Posgrado, aprobado mediante Resolución Directoral N° 148-2016-EPG-R/UNH.

El candidato al GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE INGENIERÍA MENCIÓN: PLANEACIÓN ESTRATÉGICA Y GESTIÓN EN INGENIERÍA DE PROYECTOS

Don, ADIEL ALVAREZ TICLLASUCA, procedió a sustentar su trabajo de Investigación titulado "ANÁLISIS TEMPORAL DEL NIVEL DE LA EROSIÓN HÍDRICA DE LA SUB CUENCA DEL RIO ICHU 2013 Y 2017".

Luego de haber absuelto las preguntas que le fueron formulados por los Miembros del Jurado, se dio por concluido al ACTO de sustentación, realizándose la deliberación y calificación, resultando:

Con el calificado

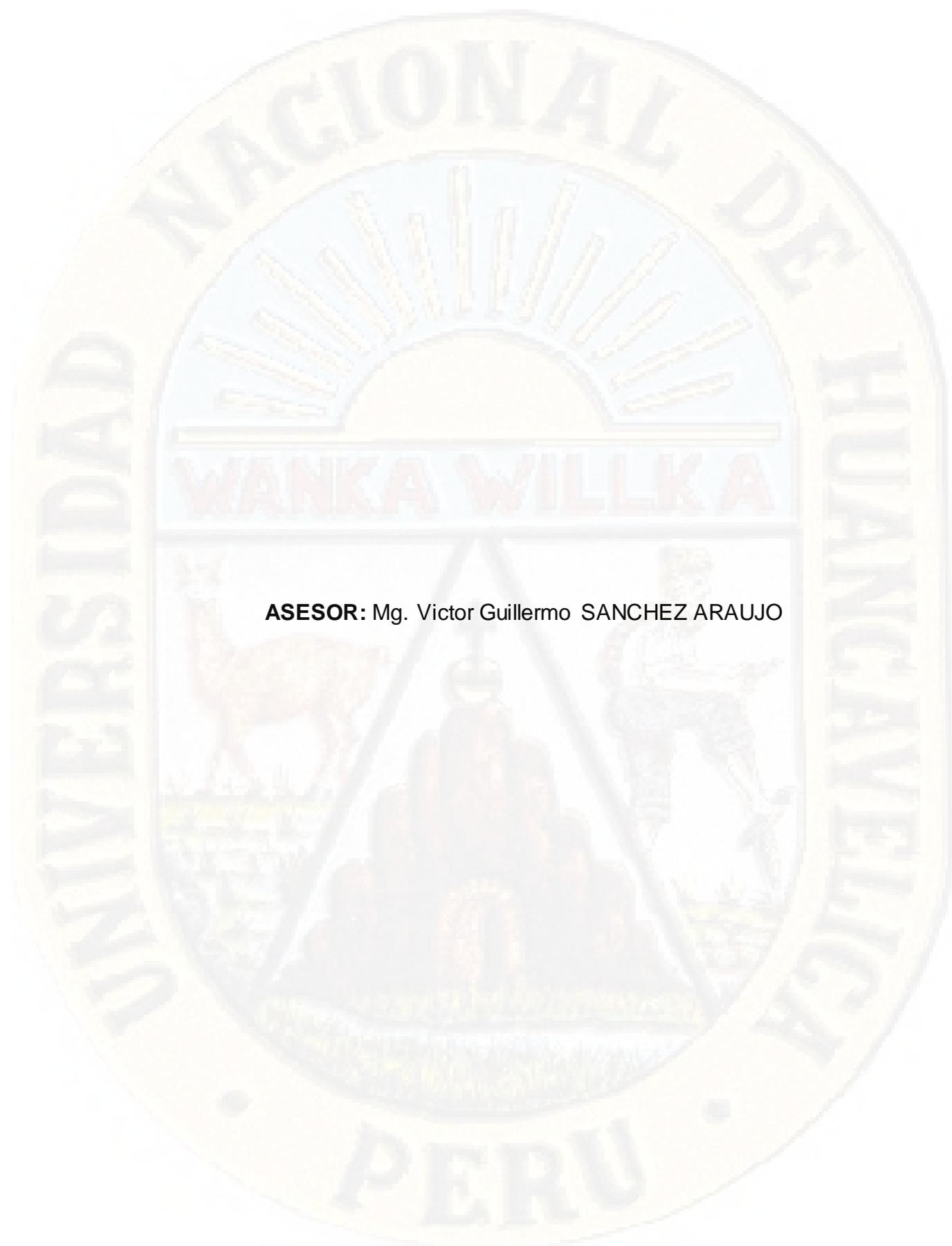
.....
Aprobado por mayoría
.....

Y para constancia se extiende la presente ACTA, en la ciudad de Huancavelica, a los veinticinco días del mes de abril del año 2019.

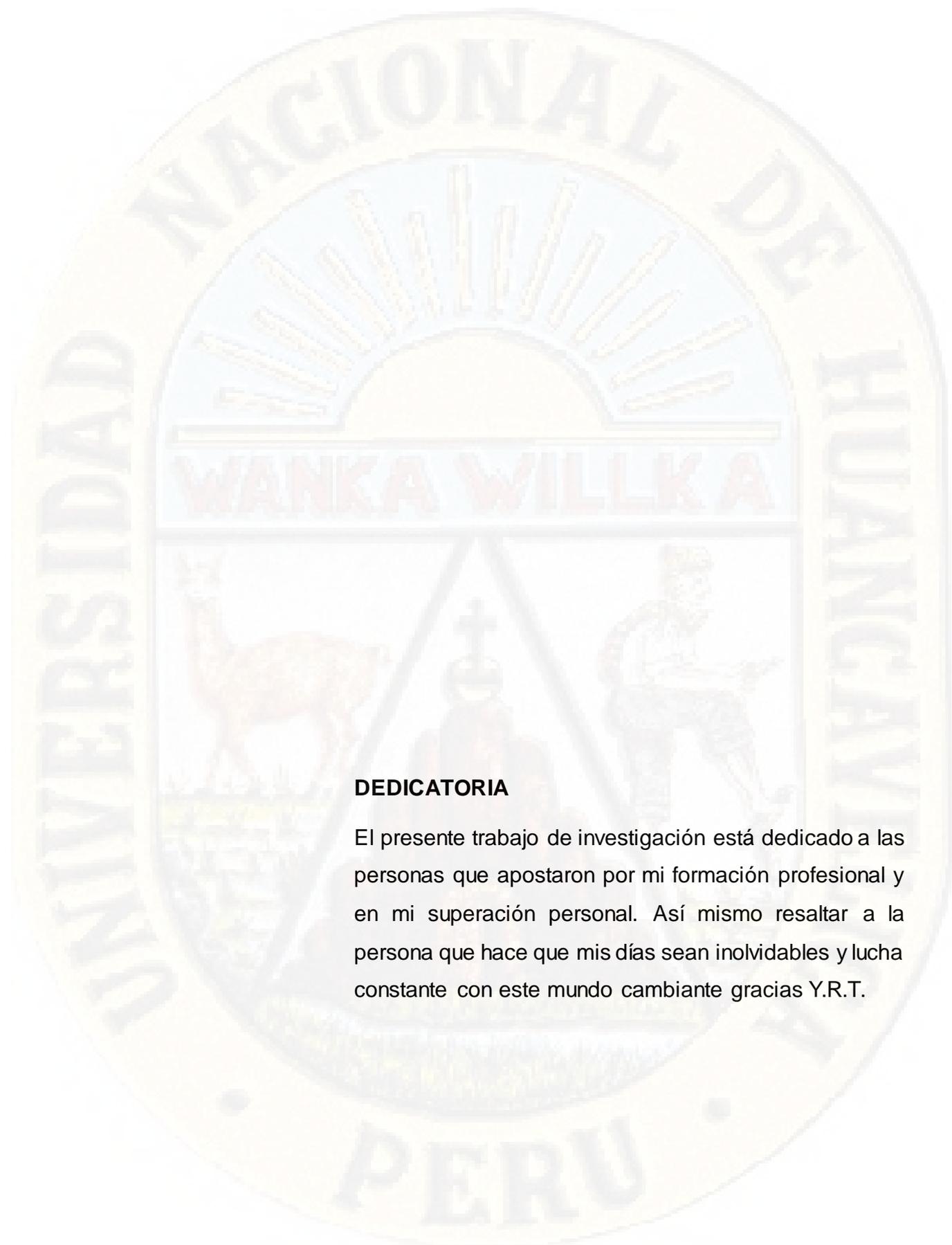
.....
Dr. Manuel Jesus BASTO SAEZ
Presidente del Jurado.

.....
M.Sc. Fernando Martín TORIBIO ROMAN
Secretario del Jurado

.....
M.Sc. Ivan Arturo AYALA BIZARRO
Vocal del Jurado



ASESOR: Mg. Víctor Guillermo SANCHEZ ARAUJO



DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación está dedicado a las personas que apostaron por mi formación profesional y en mi superación personal. Así mismo resaltar a la persona que hace que mis días sean inolvidables y lucha constante con este mundo cambiante gracias Y.R.T.

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en la subcuenca del río Ichu con una superficie de 138,317.2 ha y se encuentra ubicada entre las coordenadas geográficas UTM 501381.5 m (X) y 8586997.9 m (Y). El objetivo general fue estimar el nivel de erosión hídrica de la Subcuenca del río Ichu 2013 y 2017; como objetivos específicos, a) cuantificar la erosividad de la lluvia de la subcuenca del río Ichu para los años 2013 y 2017, b) estimar la erodabilidad del suelo de la subcuenca del río Ichu, c) determinar la longitud y pendiente de la subcuenca del río Ichu y d) determinar los cambios de la erosión hídrica producto de la cobertura vegetal para el año 2013 y 2017. Se utilizó como métodos generales el análisis y la síntesis de la metodología de Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE) y el análisis espacial con herramientas de sistemas de información geográfica (SIG). La tasa de erosión hídrica promedio más alta que se dio en el año 2013 fue de 406.98 ton/ha/año con un área de 18.1 ha correspondiente a 0.013 % de la superficie total, la mínima fue de 0.46 del nivel de erosión de la superficie de la subcuenca del río Ichu y la erosión hídrica promedio más alta se dio para el 2017 con 554.36 ton/ha/año con un área de 25 ha correspondiente a 0.018 % de la superficie total, la mínima fue de 0.39 ton/ha/año del nivel de erosión de la subcuenca del río Ichu. Con estos resultados se concluye que hubo una variación extremada del 2013 al 2017 por dos factores muy importantes la cobertura vegetal y la precipitación pluvial.

Palabras clave: Erosión hídrica, pérdida de suelo, propiedades del suelo, modelado de la erosión; escorrentía superficial.

ABSTRACT

The present investigation was developed in the sub-basin of the Ichu River with an area of 138,317.2 ha and is located between the geographical coordinates UTM 501381.5 m (X) and 8586997.9 m (Y). The general objective was to estimate the level of water erosion of the Ichu River Sub-basin 2013 and 2017; as specific objectives, a) quantify the erosivity of the rain of the Ichu sub-basin for the years 2013 and 2017, b) estimate the soil erodability of the Ichu sub-basin, c) determine the length and slope of the sub-basin of the Ichu river and d) determine the changes in water erosion resulting from the vegetation cover for 2013 and 2017. The analysis and synthesis of the Universal Soil Loss Equation (USLE) methodology and the spatial analysis were used as general methods with geographic information systems (GIS) tools. The highest average water erosion rate that occurred in 2013 was 406.98 ton / ha / year with an area of 18.1 ha corresponding to 0.013% of the total surface, the minimum was 0.46 of the level of erosion of the surface of the sub-basin of the Ichu River and the highest average water erosion occurred for 2017 with 554.36 ton / ha / year with an area of 25 ha corresponding to 0.018% of the total area, the minimum was 0.39 ton / ha / year of the erosion level of the Ichu sub-basin. With these results it is concluded that there was an extreme variation from 2013 to 2017 due to two very important factors: vegetation cover and rainfall.

Keywords: Water erosion; loss of soil; soil properties; erosion modeling; surface runoff.

ÍNDICE

PORTADA

DEDICATORIA

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1	FUNDAMENTACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2	FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.4	JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	4
1.5	FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO.....	6

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	8
2.2	BASES TEÓRICAS	39
2.3	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS.....	60
2.4	FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS	64
2.5	HIPÓTESIS GENERAL	64
2.6	IDENTIFICACIÓN DE LAS VARIABLES	65
2.7	DEFINICIÓN OPERATIVA DE VARIABLES E INDICADORES	66

CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1	TIPIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	67
3.2	NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	67
3.3	MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	68
3.4	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	69
3.5	POBLACIÓN, MUESTRA, MUESTREO.....	69
3.6	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	70
3.7	TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS.....	72
3.8	DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA DE HIPÓTESIS.....	75

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1	PRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE DATOS	76
4.2	PRUEBA DE HIPÓTESIS	94
4.3	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	95
4.4	CONCLUSIONES	99
4.5	RECOMENDACIONES	101

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

ANEXO 102

INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS 114

MATRIZ DE CONSISTENCIA..... 114

BASE DE DATOS 118

INDICE DE TABLA

Tabla 1. Dimensionales de los factores de usle	54
Tabla 2. Factor P de prácticas de conservación.....	60
Tabla 3. Estaciones metereologicas.....	76
Tabla 4. Precipitación media anual por estación meteorológica (mm) - 2013	77
Tabla 5. Índice modificado de fournier y valores del factor de R de las estaciones (mj.mm/ha.año) - 2013.....	77
Tabla 6. Precipitación media anual por estación meteorológica - 2017	79
Tabla 7. Índice modificado de fournier y valores del factor de R de las estaciones (mj ha-1 mm-1 año-1) - 2017	79
Tabla 8. Análisis mecánico de los suelos superficiales de la subcuenca del río ichu.....	81
Tabla 9. Determinación del factor de erosionabilidad del suelo F.....	82
Tabla 10. Resultados del factor LS.....	85
Tabla 11. Caracterización del NDVI y rangos de densidad de cobertura vegetal.....	86
Tabla 12. Valores del factor C por tipo de cobertura vegetal y uso de suelos	87
Tabla 13. Cobertura vegetal para el año 2013.....	88
Tabla 14. Cobertura vegetal para el año 2017.....	88
Tabla 15. Erosión hídrica potencial para el año 2013.....	91
Tabla 16. Erosión hídrica potencial para el año 2017.....	91
Tabla 17. Estimación de la erosión hídrica potencial para el año 2013.....	93
Tabla 18. Estimación de la erosión hídrica potencial para el año 2017.....	93

INDICE DE GRÁFICOS

Figura 1. Factor R de las estaciones (mj.mm/ha.año) - 2013.....	78
Figura 2. Factor R de las estaciones (mj.mm/ha.año) - 2017	80
Figura 3. Variación de la cobertura vegetal 2013 y 2017	89
Figura 4. Comparación de la erosión potencial del año 2013 y 2017	92
Figura 5. Estimación de la erosión hídrica potencial para el año 2013 y 2017	94

INTRODUCCIÓN

La erosión del suelo por escurrimiento hídrico, cuyo origen está en la acción del agua sobre una superficie desprovista de cobertura vegetal, es quizás el proceso más importante de degradación de suelos, dado que es irreversible y generalmente de gran magnitud (Honorato et al, 2001). Son múltiples los factores que favorecen e incrementan la erosión hídrica: las lluvias, el suelo, la pendiente, el tipo de vegetación y la presencia o ausencia de medidas de conservación; además del hombre que actúa como uno de los principales factores, al alterar las condiciones ecológicas del lugar, ya sea por necesidad, por ignorancia o por aplicar técnicas inadecuadas en el uso de los recursos naturales renovables (Ocampo et al, 1996).

Morgan (1997) nos dice que, la consecuencia directa de la erosión del suelo es una disminución de la productividad agrícola, debido a la pérdida de nutrientes, a su deterioro físico, a la pérdida de profundidad y en casos extremos a la pérdida total del suelo. De esto se desprende la necesidad de medir o estimar la erosión potencial de los suelos para aplicar medidas que eviten la pérdida de este recurso (Pando et al, 2003).

En la estimación de este proceso degradativo, en términos de pérdida de suelo, se han desarrollado y diseñado una serie de procedimientos y modelos. Un modelo paramétrico que pretende interpretar los mecanismos erosivos por causas y efectos, de mayor aceptación y más amplia aplicación es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) (Rodríguez et al., 2004).

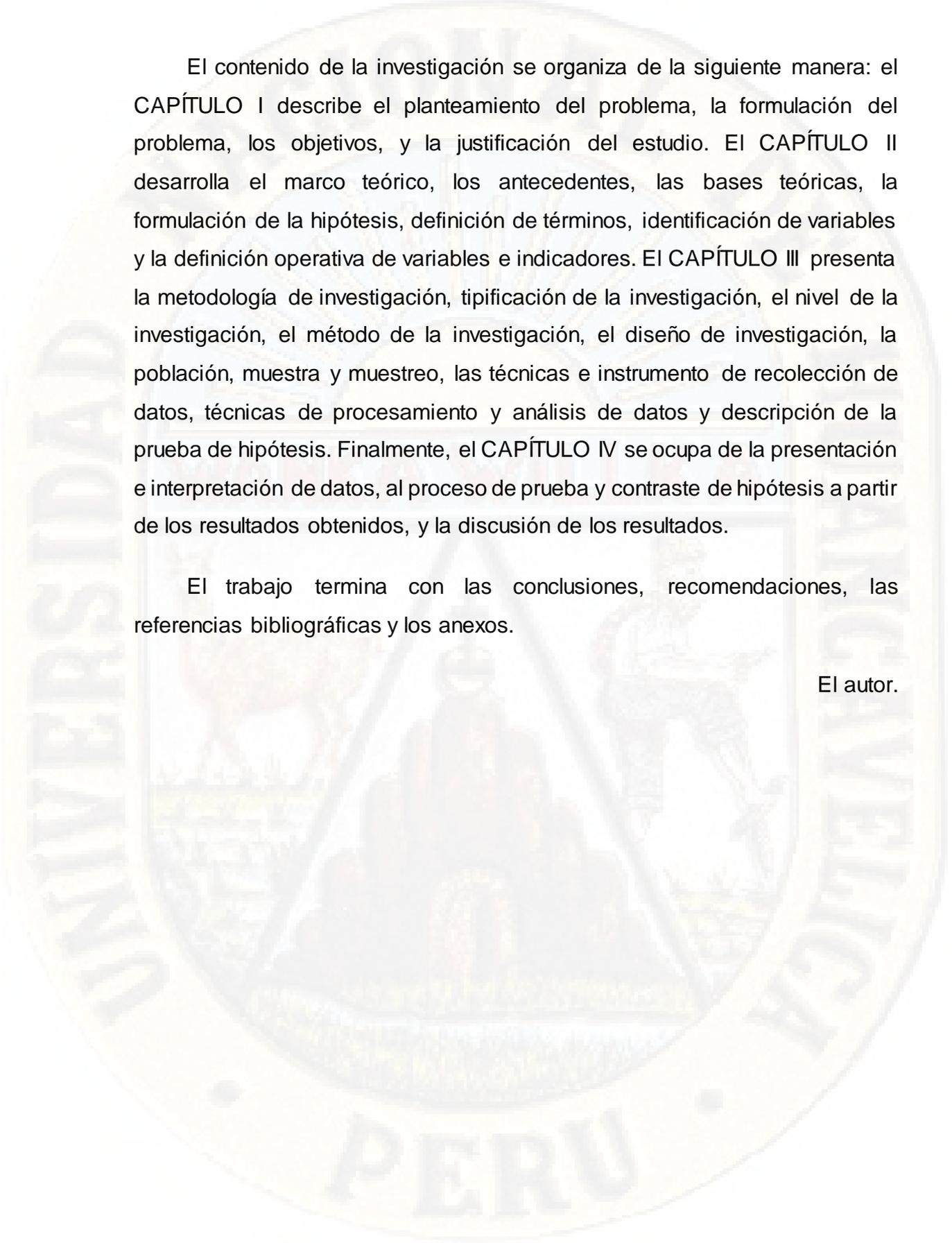
En el Perú a pesar de tener muy escasas tierras agrícolas y pecuarias, se produce una continua degradación por la combinación de factores naturales y las malas técnicas empleadas en la agricultura y la ganadería, es así que una de las regiones que presenta las más altas tasas de pérdidas de suelos por erosión hídrica es la sierra, en tal sentido según el estudio realizado en el año 1996 por el INRENA en donde se determinó que en el 41.40% del territorio nacional se genera una erosión hídrica nula o ligera de las cuales solo el 1.20% corresponde a la sierra, así también el 27.40% del territorio

nacional generan erosión moderada de los cuales el 11.00% corresponde a la sierra, el 24.40% erosión alta de los cuales el 11.50% corresponde a la sierra y 6.4% del territorio nacional con erosión hídrica muy alta de los cuales 4.20% pertenecientes a la sierra.

La subcuenca del Ichu, no es ajena a esta alarmante realidad, ya que se evidencia el cambio de la cobertura vegetal y la precipitación pluvial, todo esto sumado a las condiciones propias de la sierra central, como son pendientes pronunciadas, altas e intensas precipitaciones y suelos ácidos con bajo contenido de materia orgánica, generan la necesidad de aplicar una metodología que nos permita estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica y así establecer zonas de mayor riesgo para posteriormente proponer medidas y prácticas de conservación que permitan reducir dicha erosión.

Por lo antes expuesto se plantea la siguiente hipótesis: La pérdida de suelos por erosión hídrica de la subcuenca del río Ichu incremento de 2013 al 2017. Tomando como efecto el cambio de usos de suelos y coberturas vegetales, debido a que en la parte baja y media de la subcuenca del río Ichu se desarrollan diversos cultivos establecidos en casi el 10% de la subcuenca, considerándolos a estos los principales generadores de erosión hídrica, en tal sentido en la presente investigación se planteó como objetivo general. El objetivo general fue estimar el nivel de erosión hídrica de la Subcuenca del río Ichu 2013 y 2017; como objetivos específicos tenemos: a) cuantificar la erosividad de la lluvia de la subcuenca del río Ichu para los años 2013 y 2017, b) estimar la erodabilidad del suelo de la subcuenca del río Ichu, c) determinar la longitud y pendiente de la subcuenca del río Ichu.y d) determinar los cambios de la erosión hídrica producto de la cobertura vegetal para el año 2013 y 2017.

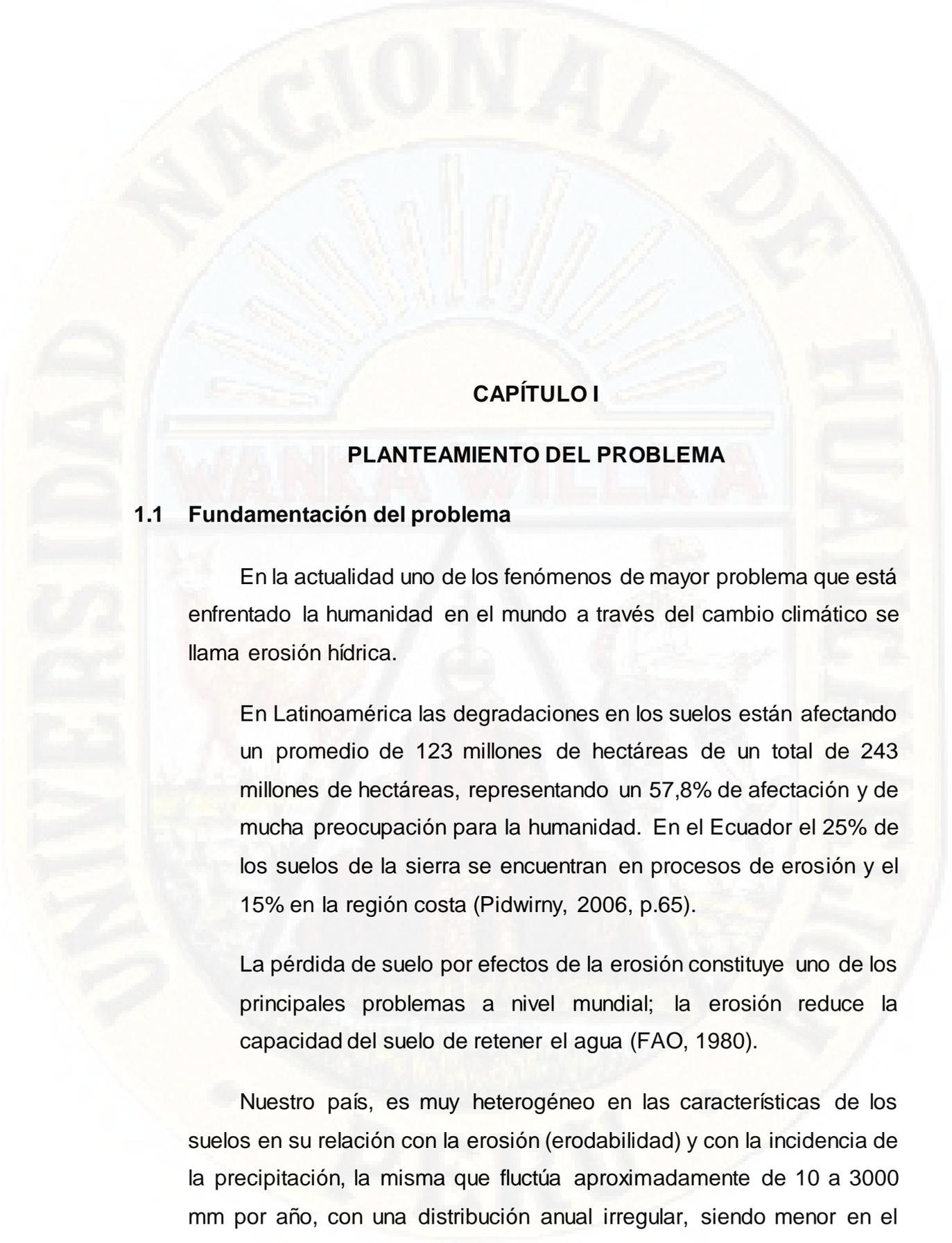
Para el desarrollo del trabajo se utilizó el tipo de investigación aplicada, nivel descriptivo, método cuantitativo y el diseño de investigación fue longitudinal. Como técnica se empleó análisis de suelo y precipitación promedio anual de los años 2013 y 2017.



El contenido de la investigación se organiza de la siguiente manera: el CAPÍTULO I describe el planteamiento del problema, la formulación del problema, los objetivos, y la justificación del estudio. El CAPÍTULO II desarrolla el marco teórico, los antecedentes, las bases teóricas, la formulación de la hipótesis, definición de términos, identificación de variables y la definición operativa de variables e indicadores. El CAPÍTULO III presenta la metodología de investigación, tipificación de la investigación, el nivel de la investigación, el método de la investigación, el diseño de investigación, la población, muestra y muestreo, las técnicas e instrumento de recolección de datos, técnicas de procesamiento y análisis de datos y descripción de la prueba de hipótesis. Finalmente, el CAPÍTULO IV se ocupa de la presentación e interpretación de datos, al proceso de prueba y contraste de hipótesis a partir de los resultados obtenidos, y la discusión de los resultados.

El trabajo termina con las conclusiones, recomendaciones, las referencias bibliográficas y los anexos.

El autor.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Fundamentación del problema

En la actualidad uno de los fenómenos de mayor problema que está enfrentado la humanidad en el mundo a través del cambio climático se llama erosión hídrica.

En Latinoamérica las degradaciones en los suelos están afectando un promedio de 123 millones de hectáreas de un total de 243 millones de hectáreas, representando un 57,8% de afectación y de mucha preocupación para la humanidad. En el Ecuador el 25% de los suelos de la sierra se encuentran en procesos de erosión y el 15% en la región costa (Pidwirny, 2006, p.65).

La pérdida de suelo por efectos de la erosión constituye uno de los principales problemas a nivel mundial; la erosión reduce la capacidad del suelo de retener el agua (FAO, 1980).

Nuestro país, es muy heterogéneo en las características de los suelos en su relación con la erosión (erodabilidad) y con la incidencia de la precipitación, la misma que fluctúa aproximadamente de 10 a 3000 mm por año, con una distribución anual irregular, siendo menor en el período de abril a noviembre y mayor de diciembre a marzo. Esta

situación afecta a su duración como a su intensidad (erosividad). El agua proveniente de la precipitación, no infiltra en su totalidad por lo que una parte se queda en la superficie originando el agua de escorrentía, que al desplazarse sobre la superficie del suelo origina la erosión laminar, en surcos y posteriormente en cárcavas.

A lo largo de gran parte de la sierra peruana, durante la etapa de consolidación y florecimiento de la cultura incaica, se llegó a construir sistemas de andenería en más de dos millones de hectáreas ubicadas en las laderas de dicha región. Estas áreas eran dedicadas para el desarrollo de la producción agrícola, ya sea bajo riego o en secano; constituyéndose en efectivas prácticas de conservación de suelos y aguas, y que recibían un mantenimiento permanente por parte de las propias comunidades campesinas.

En el Perú existe muy poca información cuantitativa sobre la medición de la erosión hídrica. Por otro lado es de resaltar que la erosión hídrica es un fenómeno de importancia y que poca atención se le ha prestado desde la época de la colonia por parte de las diferentes instituciones oficiales del Estado, salvo el caso de que desde hace unas tres décadas, el Programa Nacional de Manejo de Cuencas (ex- Pronamachs), hoy Programa Agro Rural, el cual ha llevado a cabo algunas mediciones en algunas microcuencas del país y apoyado el desarrollo de algunos trabajos de investigación liderados por algunas universidades del Estado, cabe resaltar que en la región de Huancavelica aún no se han realizado trabajos de esta naturaleza (Llerena,1988, p.37).

Según Figueroa (1991): “Gracias a la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS), USLE por sus siglas en inglés, se diseñó como una herramienta de trabajo para los conservacionistas” (p.4).

Se buscaba con esta ecuación que el cálculo de la pérdida de suelo se estandarizara a la vez que resultara más sencillo; sin embargo, existen limitaciones en su uso ya que la ecuación se desarrolló con datos de parcelas experimentales en condiciones de longitud y pendiente controladas, además que considera lluvias, cobertura vegetal y tipo de suelo uniformes y todo en el contexto de Estados Unidos.

En función de lo anteriormente expuesto, y dado que no existen referencias de estudios similares que aborden la temática de la erosión hídrica en el país, este estudio se enmarca en Análisis Temporal del Nivel de la Erosión Hídrica de la Subcuenca del río Ichu 2013 y 2017.

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema General

¿Cuál es el nivel de variación de la erosión hídrica de la subcuenca del río Ichu período 2013 y 2017?

1.2.2 Problemas Específicos

1. ¿Cuál será el nivel de erosividad de la lluvia de la subcuenca del río Ichu para los años 2013 y 2017?
2. ¿Cuál será el grado de erodabilidad del suelo de la subcuenca del río Ichu para los años 2013 y 2017?
3. ¿Cuál será la longitud y pendiente de la subcuenca del río Ichu para los años 2013 y 2017?
4. ¿Cuáles serán los cambios de erosión hídrica producto de la cobertura vegetal para el año 2013 y 2017?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Estimar el nivel de variación de la erosión hídrica de la subcuenca del río Ichu período 2013 y 2017.

1.3.2 Objetivos específicos

1.4 Justificación del estudio

1.4.1 Justificación teórica

Como es bien sabido Huancavelica se caracteriza por lo accidentado de su geografía. Su territorio es atravesado por la cordillera de los andes, que divide la región en tres sectores. En el centro del departamento se encuentra la zona interandina, formada por las grandes elevaciones de la cordillera, que conforman la mayor parte del territorio. Hacia el oeste se encuentra la vertiente occidental, donde las montañas descienden sobre la costa formando una pendiente pronunciada.

Acotado a lo mencionado la alteración de la vegetación natural y la compactación del suelo por sobrepastoreo, modifican el proceso de infiltración del agua evitando la incorporación de humedad al suelo y la percolación hacia los acuíferos, y favoreciendo la escorrentía superficial. El agua que no se infiltra, circula rápidamente por la superficie del terreno constituyéndose en erosión laminar que, encauzada en regueros y cárcavas, van aumentando el potencial erosivo del agua en función del incremento de gradientes y de la carga de sedimentos.

La investigación propuesta busca la estimación de la erosión hídrica de la subcuenca del río Ichu y su relación con la cobertura

vegetal para los años 2013 y 2017, los resultados de la presente tesis se difundirán a nivel de gobiernos locales, comunidades campesinas, diversas instituciones públicas y privadas, a fin de informar y concientizar sobre los efectos de los usos de suelos inadecuados en zonas potencialmente desfavorables por la erosión hídrica a su vez servirá como línea de base para la propuesta de proyectos de conservación y protección del suelo.

1.4.2 Justificación metodológica

De lo antes mencionado no existen estudios enfocados a la cuantificación de pérdidas del suelo debido a la erosión hídrica en la subcuenca del río Ichu ya que la erosión hídrica afecta mayormente la parte baja de la sub cuenca disminuyendo la capa arable tomando en cuenta que el suelo es un recurso renovable que merece ser conservado adecuadamente, para mantener sus niveles de fertilidad y profundidad por consiguiente existe pérdidas de suelos agrícolas, conllevando consigo problemas en la agricultura en tal sentido se hizo el estudio correspondiente de la zona para que permita en lo posterior aprovechar el recurso suelo en la producción agrícola, utilizando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE), efectuando la multiplicación de todos los factores que la conforman: $R * K * LS * C * P$ (erosividad de la lluvia (R), susceptibilidad de erosión del suelo (K), largo de la pendiente (L), magnitud de la pendiente (S), cobertura vegetal (C), y prácticas de conservación (P). En cuanto a la erosión potencial se puede obtener a través de las dos metodologías; a partir de la USLE se obtiene multiplicando sólo tres de sus factores $R * K * LS$.

1.4.3 Justificación práctica

Los niveles de erosión encontrados en la subcuenca del río Ichu son altos por encima del patrón de erosión (mayores 11.2 T/ha/año

según FAO y 12.5 ICONA; por ausencia de cobertura vegetal, pendiente fuerte, sobrepastoreo y otros; siendo transportados una parte de los mismos al embalse, poniendo en serio riesgo su operación (más del 40 por ciento del volumen útil sedimentado) y limitando el tiempo de servicio al sistema hídrico para lo cual fue diseñada. Por otro lado, la presente tesis tiene como propósito dar un manejo adecuado a los recursos naturales, tratando de ejercer sobre ellos la menor presión posible, proporcionando información suficiente con la cual se pueda direccionar los programas y proyectos de una manera adecuada, obteniendo como resultado un plan basado no solo en la información recolectada de fuentes primarias y secundarias, sino también con datos técnicos que ayuden a una mejor toma de decisiones.

1.5 Limitaciones del estudio

1.5.1 Selección de muestra

Para la selección de muestra se tuvo en cuenta la escala de trabajo geográfica así mismo se tuvieron en cuenta una serie de criterios para la selección de la muestra, los criterios seleccionados son:

- Estaciones meteorológicas con información de precipitación pluvial del año 2013 y 2017.
- Tipos de suelo.
- Vegetación existente.
- Tipo de pendiente.

Para poder superar este inconveniente se recurrió a la información que maneja diversas instituciones tales como: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), Zonificación Económica Ecológica de la región de Huancavelica (ZEE-

HVCA), Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación – FAO y Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS).

1.5.2 Instrumentos de medición

Para la generación de los instrumentos de medición se tuvo como principal limitación especialistas en sistemas de información geográfica (SIG) para la orientación y supervisión de los trabajos realizados ya que la universidad no cuenta con profesionales con esta característica.

1.5.3 Corroboración de resultado

Para la corroboración de los resultados se trató de contrastar la información obtenida con Instrumentos hidrométricos ubicadas dentro de la subcuenca del río Ichu las cuales pertenecen a la EMPRESA ELECTROPERU del cual no se pudo obtener información por motivos de confidencialidad y tiempo.



CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 A nivel internacional

Suárez (2012) en su trabajo de investigación “*Estimación actual y potencial de la erosión hídrica con RUSLE3D en la provincia de Castellón (España)*” la cual tuvo como objetivo la estimación de las tasas de erosión hídrica, actual y potencial, en la Provincia de Castellón (España) utilizando el modelo RUSLE3D (Revised Universal Soil Loss Equation-3D), y el apoyo de Sistemas de Información Geográfica (SIG). RUSLE3D utiliza una nueva metodología para la estimación del factor topográfico (factor LS) basado en el impacto de la convergencia del flujo lo cual permite una mejor evaluación del movimiento de sedimentos. En RUSLE3D, el efecto de la cobertura vegetal sobre la tasa de erosión lo refleja el factor C. La erosión potencial representa la tasa de erosión sin considerar el factor C en RUSLE3D. Los resultados mostraron que el 57% de la erosión actual no supera las 10 t/ha. año (erosión baja). En el caso de la versión potencial, el 5% del área de la provincia es inferior a 10 t/ha. año, pero un 55% supera las 200 t/ha. año (erosión muy alta). En base a estos resultados, la actual cobertura

vegetal de la provincia de Castellón es adecuada, pero tiene que ser conservada y protegida para evitar un aumento en las actuales tasas de erosión, tal como lo indican los valores de erosión potencial.

Patricio (2008) en su trabajo de investigación *“Evaluación de la erosión hídrica superficial por parcelas experimentales en suelos desnudos de la región de Coquimbo”*, que realizó la erosión hídrica superficial junto al conglomerado de procesos erosivos que toman lugar en la IV Región de Coquimbo, a través del método de parcelas de clavos de erosión. Los datos fueron obtenidos mediante mediciones realizadas en parcelas experimentales, en 30 sectores a lo largo de la Región, durante los años 2007 y 2008, en el marco del proyecto *“Restauración Hidrológico Forestal y Oasificación: Herramientas Claves para el aumento de la productividad de suelos degradados de la Región de Coquimbo”*, desarrollado por el Instituto Forestal y la Universidad de Talca. Junto a esto, se obtuvieron las densidades aparentes y texturas de cada suelo, además de las lecturas de 18 pluviógrafos instalados en la región. En este sentido, se demostró a nivel general que las densidades de los suelos no difieren en demasía entre el total de sectores, sin embargo, se observó un amplio mosaico de texturas, predominando los suelos del tipo franco arenoso. Los resultados pluviométricos evidenciaron una amplia variabilidad para los pedos considerados, asimismo, se observó un leve aumento en la cuantía e intensidad de las precipitaciones al avanzar hacia el sur. Respecto a los procesos erosivos considerados (erosión, sedimentación, erosión neta y suelo movilizado) se observó una pérdida de suelo neta decreciente de Norte a Sur, lo que no fue representativo para el total de procesos, los cuales presentaron fluctuaciones. Finalmente, es importante señalar que en este estudio se trazaron los primeros lineamientos, con el fin de lograr la modelación de los procesos erosivos para la Región de Coquimbo y sus provincias, lo cual se puede lograr relacionando gráficamente los procesos

analizados, con las variables pluviométricas consideradas. Debido a lo anteriormente señalado, en este estudio se deja de manifiesto que resulta de suma importancia seguir recopilando información durante los años siguientes, mediante la metodología aquí propuesta.

Mendoza (2013) en su trabajo de investigación *“Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica en microcuenca de presa Madín, México”*. Uno de los factores que afectan el funcionamiento hidrológico de la microcuenca es la pérdida de suelo por erosión hídrica, lo cual disminuye la calidad y cantidad del recurso agua captado por la microcuenca y almacenado en la presa Madín. El cambio de uso de suelo, en detrimento de la cubierta vegetal, es la principal causa de erosión hídrica en la microcuenca. Se calcula que la tasa promedio anual de erosión actual es de 7.58 t/ha/año basándose en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS) concentrándose en la parte media y baja de la microcuenca.

Rodríguez et al (2004) En su trabajo de investigación *“Erosión hídrica de los suelos de un área de la Provincia de Badajoz España”*, cuyo objetivo general fue la de evaluar la erosión hídrica de los suelos de un área de la Provincia de Badajoz España, con la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), que permite calcular los distintos niveles de pérdidas en Mg /ha1/año1. Se definieron ocho unidades de suelo tomando en cuenta el paisaje, considerando la litología y las regiones fisiográficas. Los factores considerados fueron: la erosividad de la lluvia (factor R), la erosionabilidad del suelo (factor K), la longitud y grado de la pendiente (factor LS) y la cobertura y manejo del suelo (factor C). Se utilizaron los SIG ARC/INFO v. 3,4 e IDRISI v. 2,0; como herramientas para el análisis y representación de la erosión en dichas unidades. Se evidenciaron pérdidas de suelos inferiores a 25 Mg/ha1/año1 en 79,8% de la superficie. La aplicación de la USLE muestra que 53% de la zona en estudio tiene una tasa de

erosión de 10 Mg/ha/año por debajo del nivel de tolerancia, según lo establecido por el ICONA en el año 1991, el cual es de 12,5 Mg/ha/año. La superficie que corresponde a Sierras y Montes (27%), tiene una tasa de erosión entre 10 y 25 Mg/ha/año; el 20% restantes corresponde a pérdidas por erosión mayores de 25 Mg/ha/año. El empleo de los SIG demostró la utilidad de esta tecnología en el análisis, evaluación y representación de la distribución espacial de la erosión hídrica de estos suelos.

Marisela et al (2003) en su trabajo de investigación "*Erosión hídrica mediante un método directo y mediante la ecuación RUSLE*", cuyo objetivo general fue la de estimó la erosión hídrica mediante un método directo y mediante la ecuación RUSLE, utilizando dos variantes (FAO e índice P/2), en una microcuenca en el noreste de Mexico. La microcuenca, de 22.32 km², se estratifico en unidades geomorfológicas para el metodo directo y en unidades ambientales para los métodos indirectos; estas últimas fueron agrupadas al interior de las unidades geomorfológicas a fin de comparar los resultados obtenidos por uno y otro método. Los valores de erosion 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 erosion. 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. Por tanto, se sugiere incorporar a la ecuación RUSLE un factor de ponderación para areas con cárcavas.

Mármol (2007) en su trabajo de investigación *“Efecto de la cobertura vegetal de cultivos agrícolas principales sobre el proceso de erosión en suelos de la cuenca del río Cuyaguaje”*, cuyo objetivo general fue establecer que los suelos junto a la cobertura vegetal juegan un papel fundamental en el régimen hidrológico de las aguas superficiales, sus evaluaciones permiten establecer medidas que garanticen la conservación de las cuencas. Con la finalidad de establecer áreas críticas sobre las que es necesario aplicar prácticas de conservación de suelos y aguas, se realizaron levantamientos con fines de erosión, la zona de estudio comprende la microcuenca de las quebradas Roja y Colorada, pertenecientes a la cuenca del Pueblo Viejo, estado Zulia, Venezuela. Se analizaron imágenes aerofotográficas a escala 1:25.000 y se realizó la interpretación de los cambios de tonos y densidad de drenaje, a fin de clasificar el área de estudio de acuerdo al tipo y grado de erosión hídrica presente. Posteriormente se confirmó esta información con los respectivos chequeos de campo y finalmente se generó el mapa de erosión actual. Del presente estudio se concluye que el uso de la tierra sin considerar su capacidad de uso es uno de los factores más importantes que promueven la erosión en el área bajo estudio, presentándose 872,27 ha (22,24%) sin erosión, 371,08 ha (9,46%) con erosión ligera, 1.908,34 ha (48,66%) con erosión moderada, 707,03 ha (18,04%) con erosión fuerte y 62,81 ha (1,60%) con erosión severa.

Eltaif (2011) en su trabajo de investigación *“Aplicación de un modelo matemático para predecir y reducción de la erosión eólica en tierras áridas no protegidas”* cuyo objetivo general fue aplicar un modelo matemático para predecir y reducción de la erosión eólica en tierras áridas no protegidas también menciona que la erosión eólica es uno de los problemas más graves de la degradación del suelo en zonas áridas y semiáridas del mundo. El cálculo de la erosión potencial para el área de estudio, es en un promedio de 70.2 mg·ha⁻¹·año⁻¹. En un

intento por reducir la erosión eólica se utilizó un modelo matemático. Los resultados mostraron que, al utilizar longitudes pequeñas subsiguientes predeterminadas, se reduciría en gran medida la erosión eólica, pero no lo suficiente. ¿La erosión eólica tiende a disminuir con la reducción de la distancia del campo; sin embargo, el nivel aceptable de pérdida de suelo no se obtuvo aplicando una longitud pequeña del campo de 50 metros y un valor de cresta de 0.5. El modelo utilizado permite extraer algunas conclusiones preliminares sobre las prácticas de conservación posibles (cubierta vegetal) para mitigar la erosión eólica. Los cálculos indican que el uso de 250 a 500 kg·ha⁻¹ de residuos vegetales parecen ser suficiente para disminuir la pérdida de suelo a un nivel aceptable (~ 2 mg·ha⁻¹), independientemente de los valores de K y L.

María Alejandrina et al (2011) en su trabajo de investigación "*Mapa Nacional de Erosión Potencial*", cuyo objetivo general fue elaborar el Mapa Nacional de Erosión Potencial de México pues también menciona que la erosión ocasiona un sinnúmero de problemas, como pérdida de tierras para cultivo, pérdida de nutrientes en la tierra, acumulación de material hacia zonas urbanas, azolvamiento de cauces y embalses, así como pérdida de capacidad en obras hidráulicas, entre otros. Este Mapa Nacional de Erosión Potencial se construyó utilizando la información más reciente, lo cual dará pie a identificar las zonas más susceptibles de sufrir el problema de la erosión potencial, y en las cuales pueden implementarse planes de conservación u otras medidas que mitiguen este efecto en los sitios donde la pérdida de suelo sea alta o extrema.

Caballero (2015) en el presente trabajo de investigación "*Determinación del Desgaste por Erosión en Materiales Recubiertos*" cuyo objetivo general fue de determinar la tasa de erosión de recubiertos cerámicos, mediante el uso de una aplicación de software

que involucra parámetros relacionados con el proceso de desgaste erosivo. La aplicación fue realizada en SharpDevelop 4.2, un entorno de desarrollo integrado libre para lenguaje C#. Adicionalmente el programa hace uso de las librerías de código abierto, MySql para hacer gestión de una base de datos que contiene los parámetros de erosión y ZedGraph para graficar los datos. Para contrastar lo obtenido de forma experimental con lo calculado por el software, se estudió la erosión en capas de nitruro de titanio (TiN) y nitruro de cromo (CrN) depositadas sobre sustratos de acero AISI 4140. Se determinó que la tasa de erosión adquiere su valor máximo cuando el ángulo de incidencia es 90° y que los valores de desgaste experimental y calculado correlacionan de forma aceptable.

Casson et al (2018) en su trabajo de investigación *“Erodibilidad del suelo en condiciones de precipitación natural como el factor K de la ecuación universal de pérdida de suelo y la aplicación del nomograma para un ultisol subtropical”* cuyo objetivo fue determinar la erosionabilidad representa la susceptibilidad intrínseca del suelo al proceso de erosión, representado por el factor K en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE). En Brasil, hay pocos experimentos de campo determinados con una serie de datos de más de diez años, que son los más confiables para cuantificar el factor K. El objetivo de este estudio fue determinar el factor K del USLE por el método directo, relacionando las pérdidas de suelo determinadas en el campo en condiciones estándar con la erosión de las lluvias, y por el método analítico, aplicando el nomograma de Wischmeier. Los datos sobre la pérdida de suelo por erosión hídrica se obtuvieron en un experimento de campo bajo condiciones de lluvia natural de 1976 a 1989 en un Ultisol en la Estación Experimental Agronómica en Eldorado do Sul, RS, Brasil. El valor del factor K por el método directo fue $0.0338 \text{ Mg hah ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, que es alto, mostrando una considerable susceptibilidad del suelo a la erosión. Del método

analítico, el factor K obtenido fue $0.0325 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, un valor muy cercano al que se determinó experimentalmente. Por lo tanto, el nomograma de Wischmeier demostró ser válido para la determinación del factor K del Ultisol en estudio. Este método demostró ser válido para este tipo de suelo. Estos resultados se pueden usar para modelos de calibración basados en el USLE.

Botelho et al (2017) en su trabajo de *investigación "Uso de la tecnología USLE/ GIS para identificar criterios para el monitoreo de las pérdidas de la erosión del suelo"*, cuyo objetivo fue evaluar el uso de la tierra y la ocupación es esencial para predecir la pérdida de suelo debido a la erosión hídrica. El objetivo de este estudio fue determinar los criterios para monitorear la pérdida de suelo en áreas agrícolas usando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE). Los datos de pérdida de suelo se cruzaron con los factores USLE y la pendiente usando técnicas de geoprocésamiento para la cuenca del Samambaia, ubicada en Cristalina, estado de Goiás, Brasil. Se encontró una pendiente del 3% al 8% en aproximadamente el 50% del área de estudio. Sin embargo, las pérdidas medias de suelo $<10 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ se observaron en pendientes $\leq 3\%$, donde la longitud media del suelo (L) y la pendiente de la pendiente (S) fueron ≤ 2 y 0.2 , respectivamente. La intersección de los datos de pérdida de suelo con los factores USLE fue útil para identificar los criterios de seguimiento de la pérdida de suelo. El factor topográfico promedio (LS) en cultivos no irrigados, pasto y silvicultura fue 0.4 ± 0.4 , 0.4 ± 0.7 y 2.2 ± 2.6 , respectivamente. Por lo tanto, los valores de LS indicaron adecuadamente el tipo de uso y ocupación de la tierra considerando que solo la silvicultura podría mantener las pérdidas de suelo por debajo del límite tolerable de $10 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ para una media de LS de 2.2 .

Garcia et al (2017) en su trabajo de investigación *"Mejora de las estimaciones con USLE/RUSLE empleando resultados de parcelas de*

escurrimiento para considerar el efecto del agua del suelo”, cuyo objetivo fue de estimar la erosión hídrica por el método de USLE/RUSLE empleando resultados de parcelas de escurrimiento para considerar el efecto del agua del suelo. Cuya información experimental obtenida en parcelas de escurrimiento bajo lluvia natural en tres sitios con Argiudolesen Uruguay: 1) Aguas Blancas, 1982-1986, cinco Usos y Manejos (UyM), 89 tormentas erosivas, 2) La Estanzuela, 1984-1989, seis UyM, 144 tormentas erosivas y 3) Palo a Pique, 1994-1999, seis UyM, 137 tormentas erosivas, completando el ciclo de la rotación más larga en cada sitio. La regresión lineal entre la erosión promedio anual estimada con USLE/RUSLE y la medida fue: $EroEst = 0,958EroMed + 1,485$, $r^2 = 0,96$, cercana a 1:1. Tres de los UyM correspondieron a suelo permanentemente desnudo, generando la mayor erosión, aproximadamente 40, 50 y 90 Mg.ha-1.año-1, respectivamente, mientras los demás UyM no superaron 20 Mg.ha-1.año-1. En suelo desnudo el contenido de agua fue siempre cercano a capacidad de campo porque sin transpiración, al secarse pocos centímetros superficiales, se minimiza la evaporación. Descartando esos tres casos y considerando los 14 restantes, la regresión lineal fue $EroEst = 1,447EroMed + 0,709$, $r^2 = 0,89$, diferente de la relación 1:1, mostrando sobrestimación creciente con la magnitud de la erosión: si la estimación fue 4 Mg.ha-1, el valor medido fue 3,25 (23 % de sobrestimación), si la estimación fue 8 Mg.ha-1, el valor medido fue 6,02 (33 % de sobrestimación). La sobrestimación del modelo sin corrección por el contenido de agua en el suelo es relevante alrededor de 7 Mg.ha-1, el valor de tolerancia más frecuente de los suelos agrícolas (Argiudoles); se propone corregirla usando la regresión obtenida en este trabajo.

Bidegain et al (2017) en su trabajo de investigación “Actualización del factor erosividad de la lluvia en Uruguay”, cuyo objetivo fue determinar por intermedio de la Ecuación Universal de Pérdida de

Suelos (USLE) y su versión revisada (RUSLE) son los modelos de estimación de pérdidas de suelos incorporados en el programa EROSION 6.0. Este último es la herramienta empleada para planificar el uso del suelo y cumplir con la reglamentación vigente en términos de conservación de suelos en Uruguay. El objetivo de esta nota técnica fue emplear la metodología propuesta por Renard y Freimund (1994) para actualizar los valores de factor R en el programa EROSION 6.0. Asimismo, persigue los siguientes objetivos específicos: evaluar el efecto del largo de la serie empleada en la estimación del factor R y comparar los nuevos valores estimados con los que actualmente se emplean. La base de datos empleada para la estimación del Factor R cubre los registros pluviométricos mensuales del periodo 1980-2009 en diferentes localidades de Uruguay. Las ecuaciones empleadas en este trabajo permitieron actualizar los valores de factor R y obtener magnitudes del mismo que concuerdan con valores de factor R publicados en la bibliografía especializada de la región limítrofe. El intercepto y la pendiente de la línea de regresión entre el factor R promedio de 30 años empleando las Ecuaciones 1 y 2 no fue distinto de cero ($P < 0,29$) y uno ($P < 0,70$), respectivamente. El largo de la serie pluviográfica empleada afecta el valor de factor R estimado. Dada la alta variabilidad interanual de las precipitaciones se recomienda emplear las estimaciones basadas en 30 años de información pluviométrica.

Gvozdenovich et al (2017) en su trabajo de investigación "*Validación del generador climático cligen para predecir la erosión hídrica en el norte de la región pampeana, Argentina*". Cuyo objetivo fue determinar a través de las actividades agropecuarias están generalmente orientadas al aumento de los rendimientos de los cultivos, maximizando el uso del recurso suelo. En este escenario, el clima juega un rol muy importante. Por esto es necesario contar con modelos que simulen adecuadamente los patrones climáticos, tanto para el crecimiento de los cultivos como para el estudio de los procesos

erosivos. El generador climático CLIGEN genera patrones de tormenta, insumo necesario para muchos modelos físicos hidrológicos como el Water Erosion Prediction Project (WEPP). Este modelo puede ser aplicado a una amplia gama de topografías, escenarios de vegetación, condiciones del suelo y climas, para estimar producción de sedimentos y escurrimiento. La validación del modelo CLIGEN es una condición primordial para su posterior inclusión y correcto funcionamiento del modelo WEPP. El objetivo de este estudio fue validar el generador climático CLIGEN para la estación meteorológica de Paraná, Entre s con datos de precipitación y temperatura. Los resultados indican que la precipitación promedio anual, mensual y diaria son satisfactoriamente simuladas por CLIGEN. Para las temperaturas máxima anual, máxima mensual y mínima mensual, no se observó diferencia significativa entre los datos medidos y los generados por el modelo. El modelo climático CLIGEN reprodujo en forma satisfactoria los parámetros promedios de todas las variables de precipitación y temperatura. Esto nos permite establecer que CLIGEN podría utilizarse con un elevado nivel de confianza para simular en forma diaria, mensual o anual distintos escenarios climáticos futuros que alimenten modelos que estiman la pérdida de suelos como USLE, RUSLE o WEPP en nuestra región. El uso de CLIGEN en el modelo WEPP podría contribuir a generar distintos escenarios climáticos para poder predecir situaciones de riesgo de erosión hídrica.

Beretta-Blanco et al (2017) en su trabajo de investigación *“Factores K de USLE / RUSLE asignados a través de un modelo lineal mixto a suelos de Uruguay”*, cuyo objetivo fue determinar el factor K de USLE / RUSLE asignados a través de un modelo lineal mixto a suelos de Uruguay; La erosión del suelo es un proceso que demanda gestión, tanto para la prevención de excesos de erosión como para la protección de la calidad de los cuerpos de agua dulce. Los coeficientes de erosión (factores K) del modelo (USLE) / USLE revisado (RUSLE) de la

ecuación universal de pérdida de suelos fueron asignados a 99 tipos de suelos uruguayos cartografiados a una escala de 1: 1,000,000. Este trabajo desarrollo un modelo lineal mixto (LMM) con 79 suelos con factores K asignados, en los cuales se consideran las siguientes variables: taxonomía del suelo, composición química y material parental. El LMM desarrollado tuvo un $R^2 = 0.86$, donde la taxonomía de suelos ($p < 0.0001$), el material parental ($p = 0.0174$), los contenidos de arcilla ($p = 0.0005$) y arena ($p = 0.017$) con efectos estadísticos significativos. La capacidad de predicción de este modelo fue evaluada con 10 suelos con factores K asignados, que no se usaba previamente en el desarrollo del LMM. La evaluación de la predicción tuvo una $R^2 = 0,84$ y un error medio de 9,08% del valor medio del factor K. El LMM se utilizó para la asignación de los factores K para suelos cartografiados con una resolución de 1: 20,000. De esta manera, la aplicación del LMM incrementó el área del suelo con factores K asignados desde 111,822 km² (con una escala de 1: 1,000,000) a 174,132 km² (con una escala de 1: 20,000).

Bagio et al (2017) en su trabajo de investigación "*Erosión de agua en diferentes longitudes de taludes en suelo desnudo*". El objetivo de este estudio fue cuantificar las pérdidas de suelo (SL) y agua (WL) en un cambisol húmico en un experimento de campo en condiciones de lluvia natural desde el 4 de julio de 2014 hasta el 18 de junio de 2015 en eventos individuales de 41 lluvias erosivas en el Meseta Sur de Santa Catarina y estimar las pérdidas de suelo a través de los modelos USLE y RUSLE. Los tratamientos consistieron en longitudes de pendiente de 11, 22, 33 y 44 m, con un grado promedio de inclinación del 8%, en suelo desnudo y no cultivado que se había cultivado con maíz antes del estudio. Al final del ciclo del maíz, el residuo del tallo se eliminó de la superficie, dejando las raíces del cultivo en el suelo. La pérdida de suelo por erosión hídrica está relacionada linealmente y positivamente con el aumento en la longitud de la pendiente en el lapso

entre 11 y 44 m. Las pérdidas de suelo estuvieron relacionadas con las pérdidas de agua y el Índice de erosividad, mientras que las pérdidas de agua se relacionaron con la profundidad de la lluvia. Las pérdidas de suelo estimadas por el modelo USLE y RUSLE mostraron valores inferiores a los valores observados experimentalmente en el campo, especialmente los valores estimados por el USLE. Los valores del factor L calculados para la longitud de pendiente de 11, 22, 33 y 44 m para las dos versiones (USLE y RUSLE) del modelo de predicción de pérdida de suelo mostraron resultados satisfactorios en relación con los valores de las pérdidas de suelo observadas.

Carrasco-Letelier et al (2017) en su trabajo de investigación "*Erosión hídrica del suelo estimada para 99 cuencas uruguayas*". El objetivo fue de determinar la erosión hídrica del suelo estimada para 99 cuencas uruguayas; La erosión del suelo puede ser acelerada por la intensificación agrícola, y el sedimento generado puede alterar la calidad de los cuerpos de agua. Por lo tanto, la producción agrícola sostenible en términos de erosión y contaminación potencial del agua requiere una capacidad para manejar la erosión. En Uruguay, donde hay un uso intensivo del suelo por la agricultura, es necesario desarrollar y actualizar continuamente las políticas de manejo de la erosión. En este marco, estimamos la erosión en 99 cuencas de drenaje analizando y manejando la información requerida (K, L, S, C y R) por la ecuación universal de pérdida de suelos (USLE/RUSLE) en un sistema de información geográfica (SIG). Las cuencas estudiadas abarcan el 73% de la superficie del Uruguay. Los resultados incluyen los siguientes valores: los factores K van desde 0.0073 hasta 0.088 ($t\ ha\ h)(ha\ MJ\ mm)^{-1}$, los factores R van desde 3,547 a 9,342 ($MJ\ mm)(ha\ h\ año)^{-1}$, los factores C van desde 0 a 0.155, las pendientes son menores al 4.3% en el 78% de los suelos y los productos de L y S son menores a 0.73 en el 75% de los casos. Las características de las cuencas de drenaje permitieron identificar 4 regiones homogéneas en

base a su comportamiento erosivo. Las agrupaciones norte-oestesur y Sierras del Este apuntan a la posibilidad de manejar su erosión a través del control de la cubierta vegetal, representada por el factor C. En general, este pronóstico de erosión hidráulica (92.9% de los polígonos del suelo analizados y 99.9% de las cuencas de drenaje) indica una pérdida media de sedimentos de menos de 7 t (ha año)⁻¹ correspondiente a la cubierta del suelo estudiada en 2011.

Medeiros et al (2016) en su trabajo de investigación *“Estimaciones de las tasas anuales de pérdida de suelo en el estado de São Paulo, Brasil”*. El objetivo fue estimar las tasas anuales de pérdida de suelo en el estado de São Paulo, Brasil; El suelo es un recurso natural que se ha visto afectado por presiones humanas más allá de su capacidad de renovación. Por esta razón, grandes áreas agrícolas que fueron productivas han sido abandonadas debido a la degradación del suelo, principalmente causada por el proceso de erosión. El objetivo de este estudio fue aplicar la ecuación universal de pérdida de suelo para generar estimaciones más recientes de las tasas de pérdida de suelo para el estado de São Paulo utilizando una base de datos con información de resolución media (30 m). Los resultados mostraron que muchas áreas del estado tienen niveles altos (críticos) de degradación del suelo debido al predominio de actividades humanas consolidadas, especialmente en el cultivo de caña de azúcar y el uso de pastos. La tasa promedio estimada de pérdida de suelo es 30 Mg ha⁻¹ año⁻¹ y el 59% del área del estado (a excepción de cuerpos de agua y áreas urbanas) tenía tasas estimadas superiores a 12 Mg ha⁻¹ año⁻¹, considerado como el límite de tolerancia promedio en la literatura. Las tasas promedio de pérdida de suelo en áreas con cultivos agrícolas anuales, cultivos agrícolas semiperennes (caña de azúcar) y cultivos agrícolas permanentes fueron 118, 78 y 38 Mg ha⁻¹ año⁻¹ respectivamente. El estado de São Paulo requiere atención a la

conservación de los recursos del suelo, ya que la mayoría de los suelos generaron estimaciones más allá del límite de tolerancia.

Medeiros et al (2016) en su trabajo de investigación "*Diagnóstico de la erosión acelerada del suelo en el estado de São Paulo (Brasil) según la metodología del índice Soil Lifetime*". El objetivo fue diagnosticar la erosión acelerada del suelo en el estado de São Paulo (Brasil) según la metodología del índice Soil Lifetime; El suelo es un componente clave del Sistema de la Tierra, y actualmente se encuentra bajo alta presión, debido a las crecientes demandas globales de alimentos, energía y fibra. Además, el manejo de los sistemas agrícolas a menudo es inadecuado e ignora la idoneidad agrícola de las tierras, y particularmente la vulnerabilidad de los suelos. Este documento demuestra la aplicación del concepto del Índice de vida del suelo (SLtl) para todo el estado de São Paulo, con una resolución espacial de 30 m. La metodología SLtl representa un criterio de tolerancia y una herramienta de diagnóstico para evaluar el nivel de degradación del suelo por la erosión hídrica, en función de las tasas estimadas de pérdida de suelo y de una tasa promedio de renovación del suelo. Se aplicaron dos enfoques para determinar: i) el tiempo restante (años) hasta el solum (horizontes A + B) se elimina por erosión hídrica a una profundidad crítica de 1,0 m (enfoque original); ii) el tiempo restante (años) hasta que los primeros 0,25 m de la superficie del suelo rica en nutrientes se elimina por erosión hídrica (nuevo enfoque). Varias áreas en el estado han alcanzado un nivel muy crítico de agotamiento del suelo, debido al predominio de actividades agrícolas consolidadas, principalmente de caña de azúcar y producción ganadera (como en las mesorregiones de Ribeirão Preto, Bauru, Assis, Itapetininga y Araraquara). Solo el 35% del área de estudio se encuentra en estado conservado; El 65% del área de estudio se encuentra en estado de degradación de recursos, requiriendo intervención para disminuir las tasas de pérdida de suelo, y de este total, SLtl es cero en 1 y 0.25%

del área de estudio, respectivamente, para el original (profundidad crítica de 1) m) y el nuevo enfoque (0.25 m).² del área total del estado de São Paulo (248,209 km²) habrán alcanzado la profundidad crítica de 1.0 m, y los primeros 0.25 m de la superficie del suelo de un área de aproximadamente 76,000 km² habrán sido completamente removidos si el ritmo actual de explotación de recursos se mantiene.

Wei et al (2016) en su trabajo de investigación *“El factor cobertura-manejo (C) en áreas de vegetación leñosa de las zonas montañosas del Loess Plateau en el Norte de China”*. Los objetivos de este estudio fueron cuantificar la influencia de la vegetación boscosa en la erosión del suelo en las áreas de pendientes del Loess Plateau. Esto se hizo utilizando el método del subfactor para calcular el factor de manejo de la cobertura vegetal (C) de la ecuación de pérdida de suelo universal (USLE). Se obtuvieron valores adecuados de los parámetros locales para el subfactor para ofrecer una base teórica y guía práctica para estudiar la relación entre la vegetación y la erosión del suelo en la meseta de Loess. Se observaron tres subfactores incluyendo el uso de la tierra (PLU), la cobertura vegetal (CC), la superficie del suelo (SR), humedad del suelo (SM), y factor cobertura-manejo (C) en tres estados de crecimiento vegetal: inicial, floración y final de la estación de crecimiento. Todas las observaciones y mediciones se hicieron en 13 parcelas de escorrentía en la Cuenca Caijiachuan. El volumen del sedimento de escorrentía anual y los métodos del subfactor e indirectos se adoptaron separadamente para calcular el factor de manejo y de cobertura vegetal C de cada sitio de muestreo, y luego efectuar pruebas comparativas y análisis comprensivos. Los resultados mostraron que los valores obtenidos para el factor de cobertura-manejo (C) los cálculos indirectos y del subfactor fueron similares. El orden de alimentación fue bosque < floración y final de la estación de crecimiento. Todas las observaciones y mediciones se hicieron en 13 parcelas de escorrentía en la Cuenca

Caijiachuan. El volumen del sedimento de escorrentía anual y los métodos del subfactor e indirectos se adoptaron separadamente para calcular el factor de manejo y de cobertura vegetal C de cada sitio de muestreo, y luego efectuar pruebas comparativas y análisis comprensivos. Los resultados mostraron que los valores obtenidos para el factor de cobertura-manejo (C) los cálculos indirectos y del subfactor fueron similares. El orden alimenta fue bosque < floración y final de la estación de crecimiento. Todas las observaciones y mediciones se hicieron en 13 parcelas de escorrentía en la Cuenca Caijiachuan. El volumen del sedimento de escorrentía anual y los métodos del subfactor e indirectos se adoptaron separadamente para calcular el factor de manejo y de cobertura vegetal C de cada sitio de muestreo, y luego efectuar pruebas comparativas y análisis comprensivos. Los resultados mostraron que los valores obtenidos para el factor de cobertura-manejo (C) los cálculos indirectos y del subfactor fueron similares. El orden alimenta fue bosque < El volumen del sedimento de escorrentía anual y los métodos del subfactor e indirectos se adoptaron separadamente para calcular el factor de manejo y de cobertura vegetal C de cada sitio de muestreo, y luego efectuar pruebas comparativas y análisis comprensivos. Los resultados mostraron que los valores obtenidos para el factor de cobertura-manejo (C) los cálculos indirectos y del subfactor fueron similares. El orden alimenta fue bosque < El volumen del sedimento de escorrentía anual y los métodos del subfactor e indirectos se adoptaron separadamente para calcular el factor de manejo y de cobertura vegetal C de cada sitio de muestreo, y luego efectuar pruebas comparativas y análisis comprensivos. Los resultados mostraron que los valores obtenidos para el factor de cobertura-manejo (C) los cálculos indirectos y del subfactor fueron similares. El orden alimenta fue bosque < Robinia pseudoacacia < Robinia pseudoacacia & Oriental arborvitae < Pinus tabulaeformis < huerta. Los subfactores de PLU, CC, SC, SR y SM para las tasas de pérdida de suelo de diferentes tipos de lugares de

muestreo no fueron los mismos, y el pedido fue $PLU < SC < SR < SM < CC$. Esto indicó que las raíces vegetales, los organismos del suelo en las capas superficiales del mismo y la cobertura de la superficie tuvieron un mayor impacto en la probabilidad de pérdida de suelo que los otros subfactores. La densidad del lugar de muestreo se correlacionó negativamente con la cobertura vegetal y el factor de manejo C, sugiriendo que solo la densidad del soporte influyó en la erosión del suelo. La densidad del lugar de muestreo de Robinia pseudoacacia varió de 1200 a 2204 tallos / ha. El factor de manejo C varió de 0.020 a 0.037. El método de subfactor se puede adoptar para registrar la cantidad de erosión del suelo en la meseta de Loess, siendo los parámetros $C_b = 0,951$, $C_{ur} = 0,004513 \text{ kg / (ha.cm)}$, $C_{us} = 0,001887 \text{ kg / (ha. cm)}$, $C_{uf} = 0,5$, $b = 0,025$. La cobertura vegetal y el factor de manejo C de los diferentes sitios de muestreo en el Loess Plateau varían entre 0,009 y 0,062.

Mancassola et al (2009) en su trabajo de investigación *“Estimación de la relación de pérdida de suelo (RPS) para cultivos hortícolas en el sur de Uruguay”*. La mayoría de los sistemas de producción hortícola del sur de Uruguay son poco sustentables, debido fundamentalmente a problemas de erosión hídrica. La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) es una herramienta que permite estimar pérdidas de suelo. Ha sido adaptada y validada para algunos sistemas extensivos, forestales y pastoriles en Uruguay, pero no para sistemas hortícolas. A través de la versión revisada RUSLE (Renard et al., 1997), se estimaron las relaciones de pérdida de suelo (RPS) para horticultura. Las mediciones se realizaron en tres predios hortícolas (rotación hortícola-ganadera, rotación hortícola y hortícola convencional) durante los años 2008 y 2009. El objetivo de este trabajo fue estimar las RPS de 16 cultivos hortícolas, de sistemas productivos convencionales y conservacionistas. Los valores de RPS variaron dependiendo del cultivo, siendo que los más altos (máximo 0,5) se

encontraron en los pedos USLE 0, 1 y 4 (para cultivos en que se extrae la planta entera o se voltea el camellón), y en cultivos que no cubren el camellón y el entresurco. Los valores más bajos estuvieron asociados a cultivos de ciclo corto y rápido crecimiento, que cubren el camellón y el entresurco, y en que la planta permanece luego de la cosecha hasta el laboreo siguiente. Los valores de RPS estimados se podrán emplear para la estimación del Factor C de los distintos sistemas hortícolas a ser utilizados en el programa EROSION 6.0, para calcular la pérdida de suelo por erosión hídrica. Esta herramienta facilita la toma de decisiones y evaluación de sistemas productivos existentes y alternativos, en condiciones de cambio climático, para un manejo sostenible.

Silva et al (2016) En su trabajo de investigación *“Pérdidas de suelo y agua en plantaciones de eucalipto y bosque nativo y determinación de los factores de la USLE en subcuenca hidrográfica piloto en Río Grande do Sul, Brasil”*. El monitoreo de la erosión hídrica y el conocimiento de los factores que causan pérdidas de suelo y agua son esenciales para la planificación conservacionista del suelo. El objetivo de este trabajo es evaluar las pérdidas de suelo y agua por erosión hídrica, bajo lluvia natural, en plantíos de eucalipto establecidos en 2001 (FE2) y 2004 (FE1), bosque nativo (FN) y suelo descubierto (SD) pedo de 2007 a 2012; y determinar los factores de la USLE: erosividad de la lluvia (R), erodibilidad (K) de un Argissolo Rojo y el factor de cobertura vegetal (C) para FE1, FE2, FN, en subcuenca hidrográfica piloto, en Eldorado do Sul, RS. El factor R se calcula por el índice de la IE 30a partir de datos pluviométricos obtenidos en la estación climatológica instalada en la subcuenca. La pérdida de suelo y el agua se monitorizaron en parcelas experimentales, proporcionando datos consistentes para factores de K y C. Estimación de la sub-cuenca promedió erosividad $4.228.52 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ años}^{-1}$. El suelo pérdidas anuales promedio en FE1, FE2 (doce y doce y $0,81 \text{ Mg ha}^{-1}$

año -1 , respectivamente) fueron muy por debajo del límite de tolerancia de 12,9 t ha⁻¹ año⁻¹. Los valores porcentuales de pérdidas de agua relativas a la precipitación pluvial total decrecieron anualmente, aproximándose a los valores observados en FN. A partir del quinto año después de la implantación de los sistemas de eucalipto el comportamiento de los mismos fue similar al de la FN, en lo que se refiere a la erosión hídrica. La erosionabilidad ArgissoloVermelho era 0,0026 Mg ja h⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹ y el factor C mostró valores de 0,121, 0,016 y 0,015 para FE1, FE2 y FN, respectivamente.

Ferreira et al (2015) en su trabajo de investigación “*Aplicación de un modelo de erosión hídrica del suelo a escala de la unidad de intervención forestal con la utilización de un Sistema de Información Geográfica*”. Este estudio tuvo como objetivo el desarrollo de una metodología para la producción de cartografía de evaluación de la erosión hídrica del suelo para uso operativo en el contexto de la gestión forestal a través de la utilización de un Sistema de Información Geográfica (SIG). Se desarrolló un modelo basado en los principios la ecuación de pérdida de suelo universal (USLE) de Wischmeier y Smith (1965, 1978), se aplica a un área de bosque cerca de la localidad de Azambuja, en el distrito de Lisboa, Portugal. Para una validación cualitativa de los resultados de modelado, se realizó un levantamiento cartográfico de la erosión observada en esa área. Las pruebas efectuadas demostraron una adherencia razonable de los resultados del modelo a la realidad observada.

Graça et al (2015) en su trabajo de investigación “*Análisis multitemporal de la pérdida estimada de suelo para la cuenca del Mourão, Paraná - Brasil*”. Se analiza el comportamiento multitemporal de la pérdida de suelo por erosión de agua superficial en la cuenca hidrográfica del Mourão en la región centro-oeste del estado de Paraná, Brasil. El pronóstico se basó en la aplicación de la ecuación universal

de pérdida de suelo (USLE) con la integración de datos y las estimaciones dentro de un entorno de sistema de información geográfica (GIS). Los resultados mostraron una erosión anual media de la lluvia (10,000 MJ.mm. ha⁻¹ .h⁻¹ .año⁻¹), con gran concentración en enero y diciembre. Como regla, los suelos tienen erosiones promedio, a excepción del Latisol Rojo Distroférico (clase baja) y el Argisol Rojo Distrófico (clase alta). Aunque el factor topográfico fue alto (> 20), las tasas inferiores a 1 fueron predominantes. Los principales usos de la tierra comprenden cultivos temporales y pastos a lo largo de los años. La cuenca mostró un potencial natural para la erosión superficial baja. Cuando se relaciona con los tipos de uso, la pérdida anual de suelo también fue baja (<50 ton. ha⁻¹ .Año⁻¹), con puntajes más críticos que alcanzan tasas superiores a 150 ton.ha⁻¹ .año⁻¹. La pérdida de suelo a lo largo de los años no proporcionó grandes distinciones en los estándares de distribución, aunque se intensificó bastante en algunos sectores, especialmente en las secciones centro-este y sudoccidental de la cuenca.

Miqueloni et al (2015) en su trabajo de investigación "*Variabilidad espacial de atributos y pérdida de suelo en la definición de zonas de manejo*". Las zonas de manejo son el resultado de una planificación adecuada de uso y ocupación del suelo, que reduce los impactos del hombre sobre el medio ambiente. Este trabajo objetivó caracterizar el suelo químico y físicamente, así como verificar posibles zonas de manejo, por medio de la variabilidad espacial de estimaciones de pérdida de suelo y de atributos limitantes al desarrollo de cultivos, determinando los factores de mayor actuación en el proceso erosivo. Se muestrearon 258 puntos georreferenciados de suelo, los cuales tuvieron sus atributos químicos y físicos determinados. Las pérdidas de suelo fueron estimadas por medio del modelo USLE; potencial natural, riesgo y expectativa de erosión; y el factor antrópico de pérdida de suelo. La variabilidad espacial de estos atributos fue analizada por

medio de estadística descriptiva y geoestadística. Los resultados indicaron una alta pérdida de suelo, bajo potencial natural de erosión y moderado riesgo de erosión, para la mayor parte del área, con pérdidas mayores en la pedoforma convexa. El factor antrópico y la expectativa de erosión indican uso y ocupación inadecuados, principalmente en cuanto al manejo del pH del suelo, para el cultivo de cítricos. Los factores antrópicos fueron determinantes en el análisis espacial de la expectativa de erosión, sugiriendo zonas de manejo específico.

Schick et al (2014) en su trabajo de investigación "*Erodibilidad de un Cambiós Húmico bajo la lluvia natural*". La estimación de pérdidas de suelo es fundamental para la planificación conservacionista. Con esta finalidad, se destaca en Brasil el uso de la Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo (USLE), para cuya utilización hay escasez de datos obtenidos de acuerdo con el método estándar de ese modelo. Entre los factores que componen la USLE, la erosión del suelo (factor K) es de difícil obtención debido a la necesidad de conducir experimentos en campo por largo tiempo bajo lluvia natural. Con el fin de cuantificar la erosionabilidad del suelo en un Haplumbrept en Lages, SC, utilizando el método estándar de USLE y erosividad cuantificó (El 30 de las lluvias naturales y sus pérdidas de suelo durante el pedo de 1993 a 2012. La erodibilidad se determinó por el cociente entre estas variables y por la regresión lineal simple de éstas. El valor anual estimado por el cociente y erosionabilidad por regresión lineal simple entre las pérdidas de suelo y erosividad fueron, respectivamente, $0,0175$ y $0,0172 \text{ Mg ja h}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. La erodibilidad en los pedos de primavera-verano y otoño-invierno presentó pequeñas variaciones en relación a la media anual. La erosionabilidad mensual varió de $0,0083 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ en diciembre a $0,0241 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ en el mes de abril. A lo largo del pedo de tiempo evaluado, la erodibilidad anual evidenció mayor incremento en los años iniciales y menor incremento en los años finales.

Cândido et al (2014) En su trabajo de investigación "*Erosión hídrica post-plantación en bosques de eucalipto en la cuenca del Paraná, en el este de Mato Grosso do Sul*". En las regiones tropicales, el desgaste provocado en el suelo por acción de las aguas de lluvia, es decir, la erosión hídrica es la forma más importante de degradación del suelo. Dado que las plantaciones forestales de eucalipto están insertadas en ecosistemas sensibles a las perturbaciones antrópicas debido a la ocurrencia de plantaciones en suelos con bajos niveles de arcilla, con baja fertilidad natural y gran parte de las plantaciones establecidas en antiguas áreas agrícolas y de pastizales degradados, necesidad del entendimiento de los procesos que rigen la erosión hídrica y sus relaciones con las pérdidas de suelo y agua en los sistemas forestales. Su objetivo con este trabajo para calcular los valores de erosividad de la lluvia (factor R - EI 30), estimar la tolerancia de pérdida de suelo (T) para las clases representativas en las áreas de estudio, evaluar las pérdidas de suelo y agua por erosión hídrica y verificar la influencia, por medio de análisis de componentes principales (ACP), de atributos físicos y materia orgánica del suelo sobre la erosión hídrica en bosques de eucalipto en el estadio de post-plantación. Los tratamientos constituyeron de diferentes sistemas de manejo de los residuos y de la disposición de plantío (nivel y desnivel), en dos biomas distintos, Cerrado y Bosque, y suelo descubierto. Los suelos se clasificaron como Latossolo Rojo distrófico típico textura media-alta fase de bosque (LVd1) y Latossolo Rojo distrófico típico textura media-baja fase cerrada (LVD2). El estudio fue realizado en áreas experimentales de plantación de eucalipto ubicadas en el municipio de Três Lagoas, -1 h⁻¹ años⁻¹. Los valores de T variaron desde 9,0 hasta 11,0 t ha⁻¹ años⁻¹, y para LVD2 LVD1 respectivamente. Las pérdidas de suelo mostraron valores alrededor de 0 a 0,505 Mg ha⁻¹ en LVD1 y de 0 a 0.853 Mg ha⁻¹ en LVD2. La ACP se evidenció eficiente en la discriminación de los sistemas de manejo en razón de la interacción entre los atributos físicos y materia orgánica del suelo y sus relaciones

con la erosión hídrica, posibilitando visualizar de forma clara la influencia del manejo sobre esos atributos y la relación de ambos con las pérdidas de suelo y agua.

Valvassori et al (2014) en su trabajo de investigación "*Evaluación de la posible erosión de las lluvias en Urussanga, Carolina del Sur, 1980-2012*". El conocimiento del potencial erosivo de las lluvias y su distribución a lo largo del año contribuyen a la planificación de prácticas de manejo y conservación del suelo, que apuntan a la reducción de la erosión hídrica, disminuyendo las pérdidas de suelo y aumentando la producción agrícola. Este estudio tuvo como objetivo caracterizar las lluvias de la región Urussanga, Carolina del Sur, con respecto al potencial erosivo, la determinación del índice mensual y anual de erosividad (IE 30) y estableciendo así el factor "R" para uso en la ecuación universal de pérdidas de suelo, pedo de retorno y probabilidad de ocurrencia de las lluvias erosivas, a partir de los datos de lluvia de diagramas diarios del pluviógrafo de la Estación Meteorológica de Urussanga, de octubre de 1980 a marzo de 2012. Las lluvias fueron digitalizadas en segmentos con intensidad constante. Se elaboró un programa computacional para la lectura de los datos digitalizados, identificación de las lluvias erosivas y realización de los cálculos de erosividad. La precipitación pluvial media anual fue de 1.781,8 mm, de los cuales 1.502,6 mm fueron de lluvias erosivas y 279,1 mm, de no erosivas. Se producen en promedio 184,9 lluvias al año, siendo 77,7% no erosivas y 22,3%, erosivas. El índice promedio anual de la IE 30MJ es 5665,10 mm ha $-1 h^{-1}$, con una erosividad de la lluvia ranking promedio fuerte. La época del año con mayor erosividad es de diciembre a marzo. El factor "R" de USLE, para regiones del entorno con características similares de Urussanga, puede ser estimado con datos de pluviometría utilizando la ecuación lineal ajustada.

Lima et al (2014) en su trabajo de investigación "*Pérdida de suelo por erosión hídrica en áreas bajo cultivo de maíz y judías intercaladas y monocultivos*". Un manejo adecuado del suelo puede crear condiciones favorables para reducir la erosión y la escorrentía del agua, y consecuentemente aumentar la recarga del suelo de agua. Entre los sistemas de manejo, el cultivo asociado es muy utilizado, especialmente para los agricultores medianos y pequeños. Es un sistema donde dos o más cultivos con diferentes arquitecturas y ciclos vegetativos se exploran simultáneamente en el mismo lugar. Esta investigación investigó los efectos del maíz intercalado con judía en las pérdidas de suelo debido a la erosión hídrica, estimó el factor C de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE) y cómo puede verse afectada por la cobertura del suelo. Los resultados obtenidos también contribuyen a la generación de bases de datos, importante para modelar y estimar la erosión del suelo. La pérdida total de suelo por erosión causada por la lluvia natural, en Lavras, Minas Gerais, Brasil, fue: 4.20, 1.86, 1.38 y 1.14 Mg ha⁻¹, respectivamente, para suelo desnudo, maíz, alubia y el cultivo intercalado de ambas especies, durante el pedo evaluado. Los valores del factor C de USLE fueron: 0.039, 0.054 y 0.077 Mg ha Mg⁻¹ ha⁻¹ para maíz, juncia y cultivos intercalados entre ambos cultivos, respectivamente. El maíz presentó un menor índice de cobertura vegetal, seguido de alubias y el consorcio de las especies estudiadas. Los cultivos intercalados entre especies mostraron un mayor potencial en el control de la erosión del suelo, ya que su cultivo dio como resultado menores pérdidas de suelo que el cultivo de cultivos individuales, y este aspecto es realmente importante para los pequeños y medianos agricultores en la región estudiada.

Silva et al (2014) en su trabajo de investigación "*Predicción del riesgo de erosión hídrica en plantaciones de eucalipto*". Las plantaciones de eucalipto se encuentran normalmente en ecosistemas vulnerables, como la pendiente empinada, el suelo con baja fertilidad

natural y las tierras degradadas por la agricultura. El objetivo de este estudio fue obtener factores de Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) y usarlos para estimar el riesgo de erosión hídrica en regiones con plantaciones de eucalipto. Los factores USLE se obtuvieron en parcelas de campo bajo lluvia natural en la Cuenca del Doce, MG, Brasil, y el modelo aplicado para evaluar el riesgo de erosión utilizando USLE en un Sistema de Información Geográfica. El área de estudio mostró valores de erosión de escorrentía de lluvia de 10,721 a 10,642 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ año⁻¹. Algunos suelos (Latosoles) tenían valores de erosionabilidad muy bajos (2.0×10^{-4} y 1.0×10^{-4} t h MJ⁻¹ mm⁻¹), el factor topográfico varió de 0.03 a 10.57 y los valores de los factores de cultivo y manejo obtenidos para bosque nativo, eucalipto y pasturas sembradas fueron 0.09, 0.12 y 0.22, respectivamente. Las estimaciones del riesgo de erosión hídrica para el uso actual de la tierra indicaron que las áreas en las que debería recibir más atención eran principalmente áreas con mayores factores topográficos y aquellas con Cambisoles. La planificación de las actividades forestales en esta región debe considerar la implementación de otras prácticas de conservación más allá de las ya utilizadas, reduciendo las áreas con mayor riesgo de erosión del suelo y aumentando las áreas con muy bajo riesgo.

2.1.2 A Nivel Nacional

Vásquez & Tapia (2011) en su trabajo de investigación "*Erosión hídrica en la sierra del Perú*", cuyo objetivo general fue determinar la erosión hídrica en la sierra del Perú para la conservación de suelos en 22 microcuencas alto andinas de 12 regiones del país. La finalidad fue cuantificar la pérdida de suelo por erosión hídrica y el efecto de la construcción de zanjas de infiltración en el control de la misma. La región es semiárida, con una topografía accidentada, una precipitación promedio anual que varía entre 350- 1200 mm/año, con los más altos

índices de pobreza y pobreza extrema del país y con altas tasas de erosión hídrica. Los resultados encontrados muestran que la tasa promedio de erosión en las laderas de la sierra es de 45.04 ton/ha-año, que representa una lámina de pérdida suelo de 3.20 mm/año. Asimismo, se encontró que la construcción de zanjas de infiltración, redujo la pérdida de suelo en 20.60 ton/ha-año lo que significa 1.47 mm/año. Estos resultados son de mucha utilidad, pues por primera vez se ha cuantificado las pérdidas de suelo. Ello servirá de base para la planificación de trabajos de conservación de suelos que podrán llevarse a cabo en esta importante región.

Huerta & Figueroa (2014) en su trabajo de investigación "*Erosión hídrica en la cuenca alta del río moche*", cuyo objetivo del trabajo fue estudiar la pérdida de suelo y la incidencia de las precipitaciones pluviales como factor en la erosión hídrica. Se cuantificaron la escorrentía superficial y la pérdida de suelo bajo condiciones de uso del suelo en las microcuencas de Huangamarca y Pollo de la cuenca alta del Moche. Para este efecto, se determinaron los caudales de los ríos y se utilizó el registro de lluvias de un pedo de 24 años (1988-2011) de la Estación Meteorológica del SENAMHI. Este dato permitió estimar el poder erosivo de las precipitaciones como factor determinante de la erosión en términos de degradación específica en t/ha/año mediante el método de Fournier, basado en la función fundamental del coeficiente p^2/P , siendo p la precipitación del mes más lluvioso y P la precipitación total anual. Se registró pérdidas de suelo por erosión hídrica, en Huangamarca y Pollo, en el orden de 7.29 y 33.40 t/ha/año, respectivamente. Estas pérdidas por erosión son consideradas valores altos, comparados con el rango permisible por la FAO (0.4-1.8 t/ha/año) que afectan los agroecosistemas.

Vásquez (2011) en su trabajo de investigación "*Cuantificación de la erosión hídrica superficial en las laderas semiáridas de la Sierra*

Peruana”, cuyo objetivo general fue la conservación de suelos en 22 microcuencas alto andinas de 12 regiones del país. La finalidad fue cuantificar la pérdida de suelo por erosión hídrica y el efecto de la construcción de zanjas de infiltración en el control de la misma. La región es semiárida, con una topografía accidentada, una precipitación promedio anual que varía entre 350–1200 mm/año, con los más altos índices de pobreza y pobreza extrema del país y con altas tasas de erosión hídrica. Los resultados encontrados muestran que la tasa promedio de erosión en las laderas de la sierra es de 45.04 ton/ha- año, que representa una lámina de pérdida suelo de 3.20 mm/año. Asimismo, se encontró que la construcción de zanjas de infiltración, redujo la pérdida de suelo en 20.60 ton/ha-año lo que significa 1.47 mm/año. Estos resultados son de mucha utilidad, pues por primera vez se ha cuantificado las pérdidas de suelo. Ello servirá de base para la planificación de trabajos de conservación de suelos que podrán llevarse a cabo en esta importante región.

Domingo (2014) en su trabajo de investigación: *“Estimación de la Pérdida de Suelos por Erosión Hídrica en la Cuenca del Río Siguas Utilizando Geoinformática”*, cuyo objetivo fue mostrar el gran potencial de los SIG, a través de la implementación de una aplicación práctica, para el estudio de la erosión en la parte alta de la cuenca del río Siguas en Arequipa, la cual se basó en modelos de erosión conjuntamente con las aplicaciones de Sistemas de Información Geográfica (SIG) constituyen herramientas eficaces para los estudios de la pérdida de suelo por erosión, el mismo que constituye un problema medioambiental grave. Se utilizó el modelo USLE (Universal Soil Loss Equation) como método para el cálculo de las tasas de pérdida de suelo, posibilitando la elaboración de una cartografía de estados erosivos, que permite la identificación de las áreas de especial sensibilidad a la erosión.

Julca (2014) en su tesis titulado: *“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”*, cuyo objetivo fue la evaluación del índice de riesgo de erosión potencial de los suelos y cobertura vegetal en la zona de Tucuran y Marap- Yungay para dos períodos de 1986 hasta 1993 y 2002 hasta 2011; con 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 founier modificado), pendientes (topografía) y la cobertura vegetal. Como resultado y conclusión fundamental se ha comprobado que los índices de riesgo de erosión actual de los suelos para el periodo 1986-1993 es 40.10% bajo, 57.62% moderado, 2.28 %alto y para el periodo 2002-2011 un 33.84% bajo, 36.24% moderado y 29.92% alto; habiendo un aumento considerable del índice alto en un 27.64 % del área total.

Ojeda et al (2018) en su trabajo de investigación: *“Influencia de la Cobertura Vegetal en la Erosión Hídrica del Suelo en la Comunidad San Mateo, Perú”*, El objetivo del presente estudio fue evaluar los niveles de pérdida de masa de suelo por la erosión hídrica. El trabajo se realizó en una ladera de la comunidad de San Mateo, Lima; ubicada entre las coordenadas UTM 358 153,502 a 358 159,545 Este y 8 699 926,305 a 8 699 941,252 Norte, con una altitud de 3320 m.s.n.m., desde setiembre del 2015 a agosto del 2016., con cuatro tratamientos, en cuatro bloques, con 16 varillas por parcela, que sirvieron de indicador de pérdida de masa de suelo, midiéndose la erosión laminar sobre las varillas, en un área total de 129,96 m². El tipo de estudio fue experimental, longitudinal, prospectivo, utilizando el diseño completamente al azar y la prueba de Tukey al nivel de confianza de

95 por ciento para determinar las diferencias entre los tratamientos. Los resultados indican que las parcelas con cobertura vegetal nativa (*Festuca amethystina* L.) produjeron una menor pérdida de suelo, 10,901 t/ha-año, en comparación a las pérdidas de suelo de las parcelas con mulch, 17,18 t/ha-año; las parcelas con cobertura natural, 28,651 t/ha-año; y, las parcelas con suelo desnudo, 44,85 t/ha-año, esta última cifra es once veces mayor a la tasa considerada máxima permisible por la FAO (4 t/ha-año, para suelos de escasa profundidad). La cobertura vegetal, actuó como un eficiente protector del suelo, disminuyendo considerablemente la erosión hídrica.

Tapia et al (2016) en su trabajo de investigación: *“Estimación de la erosión hídrica mediante la aplicación de la metodología RUSLE en la cuenca del río Piura”*. Cuyo objetivo fue estimar la tasa de erosión de la cuenca hidrográfica del río Piura dentro de un período de estudio comprendido entre los años 1981 y 2016, aplicando la metodología conocida como Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) como modelo matemático que nos permitió estimar y cuantificar la erosión hídrica mediante diferentes factores, utilizando como herramienta principal los Sistemas de Información Geográfica (SIG). Los factores que permitieron estimar la tasa de erosión hídrica de la cuenca del río Piura fueron evaluados de la siguiente manera: el factor R (Erosividad de la lluvia) basado en la interpolación de los datos de precipitación mensual del producto PISCO precm (Peruvian Interpolation data of the SENAMHI'S Climatological and Hidrological Observations); el factor K (Erodabilidad del suelo) basado en las propiedades físicas del suelo, es decir textura, estructura y capacidad de drenaje, con apoyo de la plataforma virtual SOILGRID; el factor LS (Longitud y pendiente de la cuenca) mediante la representación de un Modelo Digital del Terreno (DEM); el factor C (Cobertura Vegetal) representado por la vegetación natural que cubre a nuestro país basado en los estudios del Ministerio del Ambiente; y por último el factor P (Prácticas de conservación del

suelo) determinados con valores de ensayos experimentales oscilados entre 0 y 1. Finalmente se procedió con la integración de todos los factores y utilizando la metodología RUSLE, se generaron mapas de erosión de suelos de la cuenca hidrográfica del río Piura, comprendidos entre los años 1981 y 2016. Culminado el procedimiento y ya con resultados geográficos digitales, se realizó el análisis e interpretación de los mismos, logrando estimar las tasas de erosión de la cuenca hidrográfica del río Piura y así poder determinar zonas con potencial y bajo riesgo a la erosión hídrica.

Puerta (2018) en su trabajo de tesis: *“Estimación de Pérdida de Suelo por Erosión Hídrica Usando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (U.S.L.E) En La Subcuenca Chinata, Amazonas, 2018”*, cuyo objetivo fue realizar un análisis de la pérdida de suelo en la Subcuenca Chinata, mediante aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE) y Sistemas de Información geográfica (SIG). Los factores de erosión de USLE evaluados fueron: la erosividad de las lluvias (R), la erodabilidad del suelo (K), el factor topográfico (LS) el factor prácticas de conservación (P) y el factor de cobertura (C). Se elaboró una geodatabase con datos de precipitaciones, datos de suelos, datos de topografía y cobertura del suelo a partir de imágenes de satélite Landsat 8 y la cartografía nacional. La Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica (SIG), hicieron posible la evaluación de los factores de erosión mencionados y la elaboración de los respectivos mapas. Los resultados muestran que el valor de la precipitación oscila de los 714,71 a 1075,53mm, el Factor R de 3465,7 MJ.mm.ha-1.año-1 a 7669,24 MJ.mm.ha-1.año-1; la erodabilidad de 0,011 (t/ha/h) (MJ/mm/ha)-1 hasta un valor de 0,038 (t/ha/h) (MJ/mm/ha)- 1, el factor topográfico con valores de más de 20%, el factor prácticas de conservación igual a 1 y el factor cobertura con un valor mínimo de 0.0001 hasta 1. Por lo tanto la pérdida de suelo en la Subcuenca Chinata fue de 8, 891 t.ha-1año-1 que afecta al 5,41% del

área de la subcuenca y por lo contrario el 93,85 % presenta erosión de tipo ligera, con una pérdida inferior a 10 t.ha-1año-1.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Erosión del suelo

Morgan (citado en Nelson, 2015) destaca la siguiente conceptualización:

La erosión del suelo se da en un proceso con dos fases, el desprendimiento de partículas individuales de la aglomeración del suelo y su transporte por los agentes erosivos, como las corrientes de agua y el viento. Cuando la energía de estos agentes no es suficiente para transportar las partículas, se produce una tercera fase: su deposición (p. 2).

Ya hace muchos años cuando la tierra fue cultivada por primera vez, la erosión del suelo por el agua y el viento ha sido un inconveniente constante. Las consecuencias de la erosión del suelo se manifiestan tanto en el lugar donde se produce como fuera de él (erosión difusa). Es así como el suelo pierde sus principales propiedades, así como lo reafirma Morgan (citado por Del Aguila, 2007) quien indica que:

Los efectos in situ son particularmente importantes en las tierras de uso agrícola, donde la redistribución y la pérdida de suelo, la degradación de su estructura y el arrastre de materia orgánica, y nutrientes, llevan a la pérdida del perfil cultural y al descenso de la fertilidad. La erosión reduce también la humedad disponible en el suelo, acentuando la aridez.

Vásquez (citado en Nelson, 2015) también hace mención que:

Según la ciencia de la tierra la erosión del suelo tiene una característica principal la cual es que transporta nutrientes y

sedimentos dando así lugar al equilibrio sedimentario en las playas y causas así mismo mantiene espacios fértiles. Existen diversos factores como el clima, las pendientes pronunciadas la característica del suelo, su uso, tipo y cobertura vegetal.

Morgan (citado en Nelson, 2015) destaca la siguiente premisa. “los indicadores de los factores que determinan la tasa de erosión son la lluvia, la escorrentía, el viento, el suelo, la pendiente, la cobertura vegetal y la presencia o ausencia de medidas de conservación”.

2.2.1.1 Agentes erosivos

Según Núñez Solís (citado en Nelson, 2015) hace mención a los principales factores que contribuyen a los procesos erosivos las cuales:

- **El agua de lluvia y sus peculiaridades hidrodinámicas asociadas:** la precipitación pluvial específicamente la dimensión de la gota de lluvia y su velocidad de caída tienen un impacto en el suelo que carece de cobertura vegetal.
- **Particularidades de fuerza, o cuantía de precipitación por unidad de tiempo:** consiste en la duración de la precipitación, frecuencia, repetición con características similares de intensidad y duración.
- **La pendiente de los terrenos medida en porcentaje:** según su ángulo de inclinación (terrenos planos, ligeramente ondulados moderadamente ondulados, etc) forman pendientes simples y complejas y estas a su vez dan lugar al arrastre de partículas finas de forma laminar.

- **La desaparición de vegetación en los terrenos (cobertura vegetal):** esta característica hace que el impacto de la precipitación pluvial acelere los procesos erosivos.
- **La situación textural del suelo y su desarrollo estructural:** las son las más resistentes a la erosión hídrica son las que predominan las arcillas y limos (franco limoso, franco arcilloso y franco arcillo limosos) y las más susceptibles son los arenosos francos o el franco arenoso.
- **El uso de la tierra:** para la siembra de algunas plantas que beneficien a la sociedad se necesita que se elimine la cobertura vegetal originaria del lugar. Este tipo de trabajos realizados hacen que aumente la erosión hídrica.

2.2.2 Tipos de erosión hídrica

La segregación, sedimentación y transporte de las partículas del suelo son por las partículas de lluvia y el escurrimiento superficial, definen el proceso de erosión hídrica Rivera (citado en Nelson, 2015) hace mención lo siguiente:

Lo anómalo de la erosión hídrica lo definen como un proceso de desgaste, deposición y transporte de las partículas de la masa de suelo. El material transportado y erosionado dan lugar a la sedimentación el cual puede darse lejos del lugar de origen.

La causa que más provoca este tipo de erosión es la falta de cobertura vegetal. Es así que cuando existe vegetación protegen el suelo y absorben agua gracias a las raíces. Pues de lo contrario se formarían cárcavas o algún tipo de erosión hídrica del suelo.

Existen autores que hacen mención a dos factores que producen erosión, es el caso de Rivera y Escalante (citado en Nelson, 2015) hace mención lo siguiente:

El primer factor es por el impacto de la precipitación sobre la superficie del suelo el cual hace posible la pérdida de agregados cuando esta descubierta de cobertura vegetal haciendo que el material fino cubra los poros del suelo impermeabilizándolo y este provoca más el lavado del suelo.

El segundo factor es cuando el agua fluye sobre la superficie del suelo, debido al ángulo de la pendiente transportando así nutrientes, partículas, materia orgánica entre otros.

Según Núñez (citado en Nelson, 2015) hace mención a los procesos de erosión hídrica el cual se clasifican en: erosión laminar, la erosión pluvial, la erosión en cárcavas y la erosión en surcos, se materializan en razón al escurrimiento del flujo agua.

Cabe mencionar que estos procesos son influenciados por diversos aspectos tales como la estructura, textura y contenido de materia orgánica además del dominio de la pendiente y las condiciones climáticas. Entre ellas, destaca la fuerza de precipitación, sumado a la conservación de los suelos y la cobertura vegetal.

A continuación, se hace mención a los tipos de erosión:

2.2.2.1 Erosión pluvial

Según Núñez (citado en Nelson, 2015) lo define de la siguiente manera:

Esta erosión es consecuencia directa del impacto de las gotas de lluvia en el suelo sin cobertura vegetal. Las gotas de lluvia desprenden las partículas del suelo, gracias a la energía cinética

asociada a ellas. La erosión pluvial se identifica en el campo, porque el envés de las hojas bajas de los cultivos, tiene adherida (en formas agrupadas) pequeñas partículas de suelo que se pueden definir como grumos, ya que inicialmente es una mezcla viscosa de agua y coloides que, al deshidratarse, se adhieren firmemente al envés de la superficie foliar. Otra forma de identificar el proceso de erosión pluvial es la formación de pedestales. Así, los fragmentos de gravillas y pequeñas astillas de madera o fragmentos de ramas de árboles, protegen el suelo situado en su parte inferior, generando una típica formación de pedestales, con un patrón visual que presenta una base angosta y una cornisa en la parte superior. (p.7)

2.2.2.2 Erosión laminar:

Según Núñez Solis (citado en Nelson, 2015) lo define de la siguiente manera:

Es el arrastre de partículas de suelo suspendidas en el agua de lluvia, que se desplaza en sentido de la pendiente. El traslado de las partículas del suelo puede ocurrir en forma difusa o uniforme. Cuando ocurre en forma difusa, se considera como un tipo de erosión poco perceptible. Sin embargo, una inspección cuidadosa en el campo, revela que los residuos de cosecha se encuentran orientados en el sentido de escurrimiento del agua de lluvia, o en el sentido de la pendiente, si los terrenos están situados en áreas de laderas. Además, las pequeñas raíces absorbentes de plantas agrícolas, arbustos y árboles quedan expuestas en la superficie del suelo (p.8)

2.2.2.3 Erosión en surcos

Según Yapur (citado en Nelson, 2015) lo define de la siguiente manera:

Este proceso erosivo se debe al escurrimiento o flujo concentrado del agua, incluso en terrenos ligeramente ondulados, con 3 a 8 por ciento de pendiente. El agua que escurre por la superficie de los terrenos, es el mecanismo de transporte de las partículas de suelo, que fluyen mezclados heterogéneamente y concentran su flujo, a lo largo de pequeñas depresiones del terreno. Por esta razón, la característica de los surcos es su paralelismo en el sentido de la pendiente. El proceso de erosión en surcos es más activo en condiciones de suelo desnudo y con texturas finas, francos arcillosos, franco limosos y arcillosos, y menos activos en suelos de texturas gruesas (p.8).

2.2.2.4 Erosión en cárcavas

Según Valentín (citado en Nelson, 2015) lo define de la siguiente manera:

Esta formación es resaltante en el proceso erosivo, por los espacios que puede alcanzar tanto en profundidad como en longitud, y el volumen de suelo que se disipa. La erosión en cárcavas, es el proceso que sigue normalmente el transcurso de erosión en surcos, o procesos combinados de erosión en surcos y en terracetos.

2.2.2.5 Erosión en terracetos

Según Núñez (citado en Nelson, 2015) lo define de la siguiente manera:

Es ocasionada por el ganado vacuno que camina en terrenos de ladera. Cuando el ganado es pastoreado en estos terrenos, camina en forma instintiva, siguiendo curvas de nivel. El paso continuo del ganado, añadido su peso ejercido en el área de desplazamiento, produce una compactación y genera un modelo erosivo en forma trapezoidal invertida, de diversos tamaños.

2.2.2.6 Remoción en masa

Según Núñez (citado en Nelson, 2015) lo define de la siguiente manera:

Es el movimiento de inclinación por el cual las rocas y el suelo son removidos por la gravedad es así que dan lugar a la forma de la soliflucción este es el desplazamiento masivo y lento por gravedad de formaciones arcillosas u otro tipo de suelo sobre el permafrost.

2.2.2.7 Erosión por escurrimiento

Según Prieto (citado en Nelson, 2015) lo define de la siguiente manera:

Cuando la precipitación no llega infiltrarse ya sea por la pendiente elevada, saturación o poca infiltración segrega las superficies arrastrando el suelo desprendido esto depende de pendiente, cantidad de agua tipo de suelo es así como dan a los tipos de escurrimiento:

- **Forma difusa:** Consiste en desplazamientos cortos de pequeñas partículas, o en la formación de surquillos temporales, aún en terrenos con buena cobertura vegetal (Prieto Bolivar, 2004).

- **Forma laminar:** este tipo de erosión es una de las más peligrosas o traicioneras, ya que se vienen a notar cuando sólo queda una capa muy delgada del suelo, las raíces de las plantas se ven desnudas o aparece el subsuelo (Prieto Bolívar, 2004).
- **Forma de surcos:** este tipo es a razón de la infiltración del agua en surcos paralelos, independientes y durables. La formación de surcos es frecuente en suelos susceptibles a la erosión o donde se hacen cultivos en sentido de la pendiente (Prieto Bolívar, 2004).
- **Forma de calva:** este tipo se forma a causa de la compactación del suelo. El cual incesantemente usado por las animales personas o maquinas es así como se da lugar a pendientes o formas de erosión.
- **Forma de zanjas o zanjones (cárcavas):** esta se forma por la mayor fluidez de la precipitación y el terreno irregular el cual da lugar a las zanjas o cárcavas.

2.2.2.8 Erosión eólica

Según Núñez (citado en Nelson, 2015) lo define de la siguiente manera:

La erosión eólica es causada por la velocidad del aire sobre el suelo, roca y arena la cual genera polvo el cual es transportado a distancias relativamente cortas. Generalmente este fenómeno se da en los desiertos y montañas

2.2.3 Métodos de estimación de la erosión hídrica

Para la estimación y simulación de la erosión del suelo y los factores que la controlan, pueden tomarse en campo y en laboratorio. El conocimiento de la tasa de erosión en un sitio es fundamental para decidir el manejo y las medidas de preservación de suelo más adecuados; por ello, es importante adquirir datos confiables acerca del proceso y la velocidad a la que se está disipando el suelo (Pando, 2003, p.35).

2.2.3.1 Métodos cualitativos

Los métodos cualitativos no recurren a valoraciones cuantitativas es así como la cartografía de unidades homogéneas, como lo indica:

Los estados de la erosión real pueden ser determinados mediante la observación con sensores remotos y contrastes de campo. Los arroyos, cárcavas abarrancamientos y movimientos de masa pueden ser detectados por la cartografía y después dan lugar a los mapas cualitativos de erosión hídrica Rodríguez (citado en Nelson, 2015).

a) Modelo cualitativo de erosión-deposición

Rodríguez (citado en Nelson, 2015) menciona que el “modelo cualitativo de erosión-deposición para suelos cultivados, se apoya en el principio de que la erosión es más activa que la edafización, lo que provoca la disipación de los horizontes superficiales del perfil, en la parte alta de las laderas y su depósito, al menos parcial, en la base”.

Las deposiciones se pueden apreciar en zonas de acumulación o arroyos. El efecto es el acortamiento de los

suelos cultivados en la parte alta de la ladera y su depósito, al menos parcial, en la base; siendo el proceso más acusado cuando mayor es la pendiente. La repartición de las zonas de erosión y acumulación es tremendamente complicada, pero es posible su cartografiado detallado por medio de sensores remotos.

Los métodos de sensores remotos presentan un cierto grado de incertidumbre u subjetividad ya que pueden presentar varios errores como pueden ser meteorológicos, año, litología y técnicos. Por lo que el estudio de las imágenes ha de ser completado forzosamente con el trabajo de campo. De forma que después de una primera interpretación se tiene que contrastar la información.

2.2.3.2 Métodos cuantitativos

Este método permitirá la estimación numérica de la erosión, así lo menciona Rafaelli (citado en Nelson, 2015) quien indica:

No solo se pueden determinar los valores de pérdidas de suelo estimadas; sino también que, mediante rangos cuantitativos, se pueden establecer diferentes grados erosivos, es así que este método puede ser utilizado por el método cualitativo.

a) Evaluación directa

Las mediciones de campo pueden clasificarse en dos grupos: el diseño para áreas pequeñas estas para un experimento. Y la segunda es para áreas más extensas como una cuenca hidrográfica.

i. Parcelas de erosión

Estas parcelas generalmente se utilizan para trabajos de investigación estacionales o permanentes y así determinar los factores que traen como consecuencia la erosión. Cabe mencionar que cada parcela tiene definido sus datos como son grado de pendiente, longitud, tipo de suelo, tamaño y pérdida de suelo. Así mismo el número de parcelas depende del número de experimentos el cual deberá de permitir dos repeticiones.

Las dimensiones de la parcela pueden variar según las áreas fisiográficas de la microcuenca, pero se han utilizado parcelas de 8 m de ancho por 15 m de largo (Vallejos & Velásquez, 1998).

Su tamaño más frecuente es de 44 m² (2x22 m); así Morgan (1986), indica unas dimensiones de 22 m de largo por 1,8 m de ancho, aunque otros tamaños de parcelas son utilizados.

La medida de los sedimentos impedidos y acopiados en los tanques, se realizan habitualmente y dependerá de la frecuencia de la precipitación pluvial.

Para determinar los sólidos en suspensión, se tendrá que tomar una muestra de agua de 1 Lt. El cual se tendrá que filtrar con un papel filtro y sometida a un horno de convección a 60°C por 12 horas. Después de ello se determinará su peso con una balanza analítica.

La parcela tiene las dimensiones de 22 por 1.8 metros de ancho, el tamaño puede variar. Estas parcelas pueden retener el agua con cualquier material ya sea de metal o madera la finalidad es no dejar que se muevan por humedad, congelación, sequía o deshielo del suelo. Al final se tiene que colocar un colector esta evitara el ingreso de la precipitación

las que conducen sedimentos y escorrentía hasta los recolectores.

Cuándo se han de utilizar parcelas de escorrentía: es para demostrar prácticamente hechos conocidos como el lavado de suelos o por lo contrario cuando exista cobertura vegetal

ii. Medidas en cuenca

La escorrentía y los sedimentos son medidos por estaciones de aforo, estas registran el caudal y escorrentía para conocer su concentración y con ello la pérdida de suelo. Esta estación mide los procesos de erosión, deposición de materiales y flujo de escorrentía. La degradación de una cuenca se tiene que determinar el volumen de solidos producidos, área de una cuenca por unidad de superficie y tiempo el cual se determina en el aforo de la cuenca. El proceso hidromorfologicos vistos en una cuenca experimental es similar a un proceso de sedimentación.

iii. Mediciones volumétricas

Rafaelli (citado en Nelson, 2015) quien indica que la la medida del volumen se determinar por sencillos instrumentos como son: varillas, estacas, agujas de erosión entre otros. Estas técnicas permiten el cálculo del volumen del suelo removido.

b) Evaluación indirecta: modelos de erosión paramétricos

A continuación, se muestra la lámina real del suelo por erosión:

Los modelos generaran predicción de los fenómenos físicos, a corto mediano o largo plazo. De la misma manera se

pueden determinar relaciones causa efecto. Estos modelamientos serán de uso importante para planificar, conservar el suelo y agua de la misma manera también se determinarán inventarios de carga de sedimentos, planificación y diseño de obras de conservación. Como el monitoreo y medición demanda dinero y tiempo estos modelos matemáticos son de mucha ayuda. Estos modelos pueden relacionarse con uno de los tres grupos:

El proceso de transporte y deposición no son determinados por la ecuación universal de suelo solo pueden calcular la pérdida de suelo.

- Las ecuaciones de los modelos de erosión son empíricas estas son utilizadas desde la modificación de la ecuación universal de pérdida de suelo.
- Estos modelos simulan los procesos de precipitación, escurrimiento y otros procesos.

2.2.3.3 Ecuación universal de la pérdida de suelo (USLE)

La primera forma de desarrollar una ecuación de pérdida de suelo fue en una ladera, el cual reaccionó de acuerdo a la longitud el % de pendiente. El factor de erosividad pluvial, conservación y erosionabilidad del suelo dio lugar a la Universal Soil Loss Equation (USLE) a la cual se le añadió el uso del suelo.

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

Ecuación 1: Ecuación universal de la pérdida de suelo

Esta ecuación (USLE) se desarrolló para la predicción de pérdida de suelo del año. Según Wischmeier (citado en Nelson, 2015) la EUPS puede utilizarse adecuadamente para:

- Pronosticar la pérdida anual de suelo, de un área en condiciones específicas para uso del suelo.
- Elección de sistemas de manejo del suelo con la conservación para los pendientes.
- Determinar las pérdidas de suelo en áreas con un uso de suelo distinto del agrícola.

La capacidad predictiva de la USLE es muchas veces ha sido mal manejada en los trópicos, generando predicciones erróneas. A continuación, se detallan los principales problemas por la utilización:

- Factores erróneos en la cual no fueron determinadas.
- Esta ecuación no se puede aplicar en cuencas complejas en la se determinaron la longitud e inclinación, así como también los factores K y C.
- Se tiene que determinar las limitaciones longitud y laderas para considerar los factores C y P; y
- Uso de la ecuación (USLE) en cárcavas y/o deposición de sedimentos.

La ecuación universal (USLE) presagia la pérdida de suelos, debido a procesos erosivos, principalmente de origen hídrico. cuya fórmula es:

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

Donde:

A: La pérdida del suelo por erosión hídrica.

R: Es el factor de erosividad por la precipitación pluvial. Este factor está unido a la cantidad, duración e intensidad de la lluvia, vale decir que de

acuerdo a su característica dimensional sumado a ello la energía cinética por su caída.

K: es la erodabilidad del suelo. Es decir, la debilidad del suelo ya sea por su condición textural sumado a ello la composición física, química o biológica del suelo.

L: este factor está ligado a su longitud. La cual cumple el siguiente enunciado entre mayor es la longitud hay mayor susceptibilidad a sufrir la erosión.

S: este factor está ligado al grado de pendiente representado por el %. Así mismo también se deduce que entre mayor sea el grado hay mayor grado de erosión.

C: es el factor que representa a la cobertura vegetal. Cabe decir el manejo que se da a las áreas de ganadería, agrícolas y parcelas de forestación.

P: este factor está relacionado a las prácticas de conservación del suelo. Es decir, prácticas agronómicas u obras físicas.

Las unidades de los factores A, R y K son longitud, volumen, área y tiempo. Y los factores S, C y P son adimensionales. El factor S de pendiente es en porcentaje (longitud del terreno y su grado de inclinación).

Tabla 1*Dimensionales de los factores de USLE*

Factor	Símbolo	Dimensiones	Sistema Internacional
Intensidad de lluvia (mm)	I	$\frac{\text{longitud}}{\text{tiempo}}$	$\frac{\text{mm}}{\text{h}}$
Energía de la lluvia por lluvia unitaria	e	$\frac{\text{longitud} * \text{fuerza}}{\text{área} * \text{longitud}}$	$\frac{\text{megajulios}}{\text{ha} * \text{mm}}$
Erosividad de las tormentas	EI	$\frac{\text{Longitud} * \text{fuerza} * \text{longitud}}{\text{Área} * \text{tiempo}}$	$\frac{\text{Megajulios} * \text{mm}}{\text{Ha} * \text{h}}$
Perdida de suelo	A	$\frac{\text{Mas}}{\text{Tiempo} * \text{área}}$	$\frac{\text{Kg}}{\text{Ha} * \text{año}}$
Erosividad anual	R	$\frac{\text{Longitud} * \text{fuerza} * \text{longitud}}{\text{Tiempo} * \text{tiempo} * \text{area}}$	$\frac{\text{Longitud}}{\text{tiempo}}$
Erodabilidad del suelo	K	$\frac{\text{Masa} * \text{area} * \text{tiempo}}{\text{Area} * \text{longitud} * \text{fuerza} * \text{longitud}}$	$\frac{\text{T} * \text{ha} * \text{h}}{\text{Ha} * \text{megajulios} * \text{mm}}$
Longitud de la pendiente	L	$(\text{longitud} / \text{longitud})^M$	
Pendiente	P	Adimensional	
Manejo de cobertura	C	Adimensional	
Practica de conservación	P	Adimensional	

Fuente: Nuñez Solis, 2001

Los factores tienen en una gran influencia en la determinación de la pérdida del suelo así mismo este dependerá del clima relieve propiedades físicas del suelo uso y manejo Núñez (citado en Nelson, 2015).

2.2.3.3.1 Erosividad causada por la lluvia (factor R):

Este proceso está ligado a la hidrodinámica de la lluvia. Está a su vez tiene un impacto en el suelo la cual hace que se desprenda partículas de 0.05 mm en limos y arcillas, según Núñez (citado en Nelson, 2015).

2.2.3.3.1.1 Factor (R) método del índice modificado de fournier.

El Índice Modificado de Fournier (IMF) propuesto por Arnoldus (1980), se constituye un requisito básico para la elaboración del mapa del factor R, según Echeverri (citado en Nelson,2015).

La Ecuación para su cálculo es:

$$IMF = \frac{\sum_{i=1}^{12} (P_i)^2}{P}$$

Dónde:

IMF = Índice de Fournier modificado, en (mm)

Pi = Precipitación media mensual del mes (mm)

P = Precipitación media anual (mm)

La correlación entre IMF y el factor R muestra mejor ajuste después de una repartición de potencial, misma que ha sido usado para varios estudios de área según Apayandin (citado en Nelson,2015). Los valores del factor R pueden ser encontrados a partir de la Ecuación:

$$R = 21,56 IMF^{0,927}$$

2.2.3.3.2 Erodabilidad del suelo (factor K):

El factor K de erodabilidad representa la susceptibilidad del suelo a ser erosionado Vásquez (citado en Nelson,2015) es así que también sostiene que:

Suelos con textura donde los valores del limo o arena son altos son susceptibles a la erosión. Esta erosión se ve limitada cuando la arcilla y el limo incrementan. El factor K se ve limitado por la presencia de arcilla. Suelos con texturas medias como los

francos, tienen un valor moderado de K, cerca de 0,25 a 0,4 ya que son moderadamente susceptible. Y suelos con textura de limo son más erodables.

La cobertura vegetal está influenciada por la presencia de materia orgánica, el cual mejora la infiltración, estructura, agregación y disminuye la erodabilidad, sin embargo.

Estimación de los indicadores de susceptibilidad del suelo a la erosión del agua según USLE – K_{USLE} . Según la ecuación para estimar los valores K_{USLE} dados por Williams:

$$K_{USLE} = K_w = f_{csand} \cdot f_{cl-si} \cdot f_{orgc} \cdot f_{hisand}$$

dónde:

f_{csand} : Este es un factor que reduce el indicador K en suelos con alto contenido de arena gruesa y más alto en suelos con poca arena.

f_{cl-si} : Proporciona bajos factores de erosionabilidad del suelo en suelos con altas proporciones de arcilla a limo.

f_{orgc} : Reduce los valores de K en suelos con alto contenido de carbono orgánico.

f_{hisand} : Disminuye los valores de K para suelos con un contenido de arena extremadamente alto:

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

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

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

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

dónde:

ms : contenido de fracción de arena (0,05-2,00 mm de diámetro) [%];

msilt : contenido de fracción de sedimento (0.002-0.05 mm de diámetro) [%];

mc : contenido de fracción de arcilla (<0,002 mm de diámetro) [%];

orgC : contenido de carbono orgánico (SOC) [%].

2.2.3.3.3 Longitud y grado porcentual de la pendiente (Factores L y S)

Los factores L(pendiente) y S (gradiente, según barrios (citado en Nelson,2015) menciona que:

El cálculo obtenido con la EUPS se basó en una parcela modelo o normalizada, de 22.13 metros de longitud. Para definir L se usa la ecuación:

$$L=(\lambda/22.13)^m$$

Ecuación Factor de longitud Donde:

L= Factor de longitud de la pendiente

x= longitud de la pendiente en metros

m= un exponente que depende del porcentaje de pendiente

Donde: λ es la longitud de la pendiente(m), mes el exponente de la longitud de la pendiente y β es el ángulo de la pendiente. La longitud de la pendiente se define como la distancia horizontal desde donde se origina el flujo superficial al punto donde comienza la deposición o donde la escorrentía fluye aun canal definido.

$$m = \frac{F}{(1+F)} \quad F = \frac{\sin \beta / 0,0896}{3(\sin \beta)^{0,8} + 0,56}$$

Wischmeier y Smith, (citado en Nelson,2015), dan recomendaciones para el valor del exponente m. Estas son consideradas adecuadas por Mitchell y Bubenzer (1984), y las acogen en su documento (Núñez Solis, 2001) los valores son.

m= 0.5 si la pendiente es mayor o igual a 5%

m= 0.4 si la pendiente es > 3 y < 5%

m= 0.3 si la pendiente es >1 y <3%

m= 0.2 si la pendiente es < 1%

El factor L con el área de drenaje aportadora (Desmet & Govers,1996, citado por VELÁSQUEZ, 2008).

$$L_{(i,j)} = \frac{(A_{(i,j)} + D^2) - A_{(i,j)}^{m+1}}{x^m \cdot D^{n+2} \cdot (22,13)^m}$$

Dónde: $A_{(i,j)}$ [m] es el área aportadora unitaria a la entrada de un pixel (celda), D es el tamaño del pixel y x es el factor de corrección de forma.

El factor S : El ángulo β se toma como el ángulo medio a todos los subgrids en la dirección de mayor pendiente (McCOOL et al., 1987, 1989, citado por BARRÍOS y QUINONEZ, 2000).

$$S_{(i,j)} = \begin{cases} 10,8 \sin \beta_{(i,j)} + 0,03 & \tan \beta_{(i,j)} < 0,09 \\ 16,8 \sin \beta_{(i,j)} - 0,5 & \tan \beta_{(i,j)} \geq 0,09 \end{cases}$$

VELÁSQUEZ (2008) menciona que: “cuando se aplica esta fórmula en el Raster Calculator de ArcGIS se debe tomar en cuenta que el ángulo deberá ser convertido a radianes (1 grado sexagesimal = 0,01745 radianes), para que pueda ser multiplicado por los demás componentes de las ecuaciones”.

2.2.3.3.4 Manejo de cultivos (Factor C)

Este factor C varía de 0 a 1 y está en función de los parámetros: protección contra erosión; clase y porcentaje de cobertura vegetal encontrada en campo, siendo uno de los aspectos más relevantes para contrarrestar la erosión de suelos en el ámbito de estudio, más aún en zonas desérticas, como muestra la tendencia de la cuenca aportante de Aguada Blanca.

Los coeficientes del factor C se determinaron según la cobertura distribuida en campo de manera geoespacial, apoyadas con la metodología índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y con una serie de procesos adicionales, partiendo de los respectivos mapas digitales de cobertura vegetal que fueron desarrollados en base a imágenes satelitales Landsat del área de

estudio en el 2013 y 2017, hasta obtener los coeficientes del factor C en base a evaluaciones realizadas en campo.

2.2.3.3.5 Métodos de control de erosión (Factor P)

La conservación conocida como el factor P es la proporción de la pérdida del suelo, así lo menciona Núñez (citado en Nelson,2015), también hace énfasis a:

El factor P en la USLE, es la relación que hay entre las pérdidas de suelo que ocurren en un suelo bajo una determinada práctica de conservación de suelo y las pérdidas de suelo que ocurren en la misma área sin prácticas de conservación.

Tabla 2

Factor P de prácticas de conservación

Pendiente %	Cultivo A nivel	Cultivo en Faja	Cultivo en terraza	
			a	b
1-2	0.60	0.30	0.12	0.05
3-8	0.80	0.25	0.10	0.05
9 - 12	0.60	0.30	0.12	0.05
13-16	0.70	0.35	0.14	0.05
17-20	0.80	0.40	0.16	0.06
21- 25	0.90	0.45	0.18	0.06

Fuente: Wischmeier y Smith (1978), citados por el Grupo TRAGSA, 1998

A = Terrazas de desagüe encespadas

B = Terrazas de infiltración con contrapendiente

2.3 Definición de Términos

- **Banda:** distribución energética del conjunto de ondas electromagnéticas, así como también el rango de frecuencias del

espectro electromagnético, por ejemplo, la banda 1 del sensor TM se define en el rango 0.45-0.52 mm.

- **Base de Datos:** es un almacén que nos permite guardar grandes cantidades de información otros lo mencionan como un conjunto de datos relativas a un mismo contexto y acumulados sistemáticamente para su posterior uso
- **Cuenca Hidrográfica:** Área delimitada por un parte aguas, surcada por un sistema de corrientes formadas por escurrimientos producto de la precipitación que fluyen hacia un cauce común, obedeciendo a las variaciones topográficas del terreno.
- **Depresión:** Área hundida de la corteza terrestre, de origen tectónico.
- **Desertificación.** Sinónimo de degradación de suelos inducida por el hombre y se refiere al empobrecimiento del suelo por causas humanas.
- **Deslizamientos de Masa Someros:** Desplazamiento de suelo y a veces regolito que deja una cicatriz en hondonada y un lóbulo frontal sobresaliente. A menudo, muchos deslizamientos someros evolucionan hacia flujos de clastos (piedras, cantos bloques de rocas). En principio, si no actúan otros procesos erosivos se puede hablar más de desplazamiento que de pérdida del recurso.
- **Erosión en Cárcavas:** Suelo arrastrado por el agua que al generar cárcavas (estas suelen comenzar en forma de surcos)
- **Erosión en Surcos:** Suelo arrastrado por el flujo del agua que se canaliza y jerarquiza generando surcos
- **Erosión Eólica:** Desprendimiento de partículas (abrasión) debido al impacto de partículas previas suspendidas o arrastradas por el viento que genera modelados o esculpidos muy característicos y a veces bellos que reciben diversas denominaciones.

- **Erosión Glaciar:** Génesis de los paisajes frías, glaciares y periglaciares a causa de los flujos de hielo. Su avance suele acarrear la pérdida total de los suelos.
- **Erosión Laminar:** Pérdida de suelo generada por circulación superficial difusa del agua de escorrentía
- **Georreferenciar:** asignar coordenadas geográficas a un objeto o estructura el concepto aplicado a una imagen digital implica un conjunto de operaciones geométricas que permiten asignar a cada pixel de la imagen un par de coordenadas (x,y) en un sistema de proyección
- **Gis:** Geographic Information System o SIG, sistema de información geográfica. Un SIG captura, almacena, analiza, gestiona y representa datos vinculados a una locación.
- **Gps:** acrónimo de global positioning system, o sistema de localización global hace referencia a un sistema mediante el cual es posible estimar las coordenadas actuales de una estación en tierra mediante la recepción simultánea de señales emitidas por varios satélites (llamados en conjunto constelación GPS).
- **Imagen Digital:** representación gráfica de un objeto mediante una matriz regular que recoge valores de reflectancia los valores de reflectancia suelen medirse mediante sensores sensibles a ciertos rangos de longitudes de onda de la luz; ejemplos de estos sensores son los transportados por plataformas aéreas (aviones o satélites) o los integrados en un escáner para la digitalización de documentos impresos.
- **Imagen Multiespectral:** estructura de datos formada por varias imágenes digitales correspondientes a diferentes rangos de frecuencias, es decir, una imagen multiespectral no es una imagen sino un conjunto de ellas, con las mismas propiedades geométricas, y cada

una de las cuales recoge la reflectancia en un diferente rango de longitudes de onda del espectro electromagnético.

- **Levantamiento Fisiográfico.** Es un sistema de Clasificación de tierras en donde el paisaje se divide en facetas o sistemas terrestres para cartografiar la degradación de suelos en un área.
- **Lomerío.** Elevaciones naturales del terreno, suaves y prolongadas.
- **Manantial.** Afloramiento en superficie de un manto acuífero subterráneo.
- **Modelo Digital del Terreno:** estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa se trata, por tanto, de un modelo digital que representa una propiedad cuantitativa topográfica (por ejemplo, elevación, pendiente) o no (temperatura de la superficie del terreno, reflectancia) NODO vértice inicial o final de una línea se aplica por extensión a las entidades puntuales que están interconectadas en una estructura en red. El orden de los nodos (inicial \pm final) permite asignar a la línea un sentido y dejar definidos los conceptos topológicos de izquierda/derecha
- **Ortofoto:** fotografía aérea modificada geoméricamente para ajustarla a un sistema de proyección geográfica en una ortofoto(grafía) se han eliminado las distorsiones debidas a la perspectiva, al movimiento de la cámara y al relieve de forma que posee las mismas propiedades métricas que un mapa.
- **Pendiente:** ángulo entre la línea normal a la superficie del terreno y la vertical la pendiente o inclinación del terreno es la derivada primera de la altitud y puede estimarse directamente a partir del modelo digital de elevaciones mediante filtros.

- **Pixel:** cada elemento discreto en los que se divide una imagen digital tecnicismo de origen inglés que procede de la contracción de picture element
- **Satélite.** Cuerpo artificial celeste el cual cuenta con sensores remotos que permiten obtener imágenes de objetos a distancia sin estar en contacto con estos.
- **Sedimento.** Material que se deposita en las partes bajas al ser arrastrado por el agua.
- **Sistemas de Información Geográfica.** Es una colección organizada de hardware, software, datos geográficos y personal capacitado para hacer eficiente la captura, almacenamiento, actualización, manipulación, análisis y despliegue de todas las formas de información geográfica georreferenciada.
- **Textura.** Es la composición del suelo de arenas, arcillas y limos, expresada en porcentaje.
- **Tributarios.** Sinónimo de arroyos los cuales son el medio de captación de una cuenca.

2.4 Formulación de Hipótesis

2.5 Hipótesis General

Existe una variación catastrófica en la escala del nivel de la erosión hídrica de la subcuenca del río Ichu período 2013 y 2017.

2.6 Hipótesis Especificas

- La escala de erosividad producto de la lluvia es muy alto en la subcuenca del río Ichu incremento en los años 2013 y 2017.

- La escala de erodabilidad del suelo de la subcuenca del río Ichu es alto.
- La longitud y pendiente de la subcuenca del río Ichu fueron factores muy altos.
- Los cambios de erosión hídrica fue producto de la cobertura vegetal para el año 2013 y 2017.

2.7 Identificación de las Variables

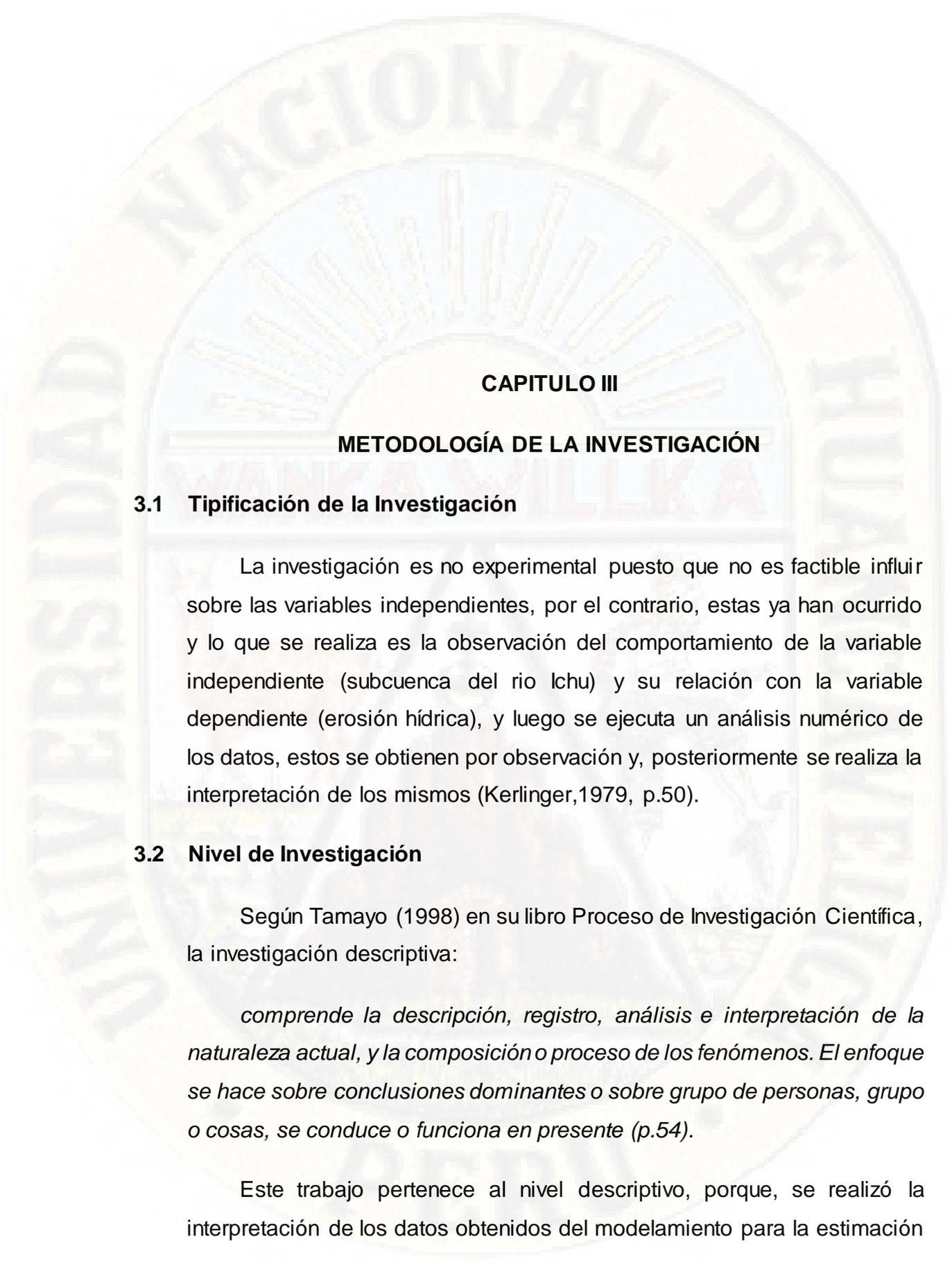
2.7.1 Variable estudio

Nivel de erosión hídrica Subcuenca del río Ichu período 2013 y 2017

2.8 Operacionalización de variables e indicadores

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	REACTIVOS	INSTRUMENTO
Nivel de erosión hídrica subcuenca del río lchu período 2013 y 2017	NORMAL	< 0,5 Ton/ha/año	¿El nivel de variación de la erosión hídrica de la subcuenca del río lchu es inferior a 0,5 Ton/ha/año?	Factores de la Ecuación universal de la pérdida de suelo - USLE: R: El factor asociado a la erosividad de la lluvia. K: Es el factor asociado a la erodabilidad del suelo L: Es el factor asociado con la longitud de la pendiente. S: Es el factor asociado al grado de la pendiente. C: Es el factor involucrado en la cobertura del suelo. P: Es el factor relacionado con las prácticas de conservación de suelos.
	LIGERA	0,5-5 Ton/ha/año	¿El nivel de variación de la erosión hídrica de la subcuenca del río lchu es igual a 0,5 Ton/ha/año y menor a 5 Ton/ha/año?	
	MODERADA	5 - 15 Ton/ha/año	¿El nivel de variación de la erosión hídrica de la subcuenca del río lchu es igual a 5 Ton/ha/año y menor a 15 Ton/ha/año?	
	SEVERA	15-50 Ton/ha/año	¿El nivel de variación de la erosión hídrica de la subcuenca del río lchu es igual a 5 Ton/ha/año y menor a 15 Ton/ha/año?	
	MUY ALTO	50-200 Ton/ha/año	¿El nivel de variación de la erosión hídrica de la subcuenca del río lchu es igual a 5 Ton/ha/año y menor a 15 Ton/ha/año?	
	CATASTROFICA	>200 Ton/ha/año	¿El nivel de variación de la erosión hídrica de la subcuenca del río lchu es igual a 5 Ton/ha/año y menor a 15 Ton/ha/año?	

FUENTE: la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (Universal Soil Loss Equation) (USLE, Wischmeier y Smith, 1978)



CAPITULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Tipificación de la Investigación

La investigación es no experimental puesto que no es factible influir sobre las variables independientes, por el contrario, estas ya han ocurrido y lo que se realiza es la observación del comportamiento de la variable independiente (subcuenca del río Ichu) y su relación con la variable dependiente (erosión hídrica), y luego se ejecuta un análisis numérico de los datos, estos se obtienen por observación y, posteriormente se realiza la interpretación de los mismos (Kerlinger,1979, p.50).

3.2 Nivel de Investigación

Según Tamayo (1998) en su libro Proceso de Investigación Científica, la investigación descriptiva:

comprende la descripción, registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual, y la composición o proceso de los fenómenos. El enfoque se hace sobre conclusiones dominantes o sobre grupo de personas, grupo o cosas, se conduce o funciona en presente (p.54).

Este trabajo pertenece al nivel descriptivo, porque, se realizó la interpretación de los datos obtenidos del modelamiento para la estimación

de la erosión hídrica, se basó en conocimientos y formulas en conocimientos teóricos- conceptuales.

3.3 Métodos de Investigación

a) Método general

En esta investigación se ha utilizado el método científico como método general. Respecto a este método Ruíz (2007) explica:

El método científico es el procedimiento planteado que se sigue en la investigación para descubrir las formas de existencia de los procesos objetivos, para desentrañar sus conexiones internas y externas, para generalizar y profundizar los conocimientos así adquiridos, para llegar a demostrarlos con rigor racional y para comprobarlos en el experimento y con las técnicas de su aplicación (p. 6).

b) Método específico

En el presente estudio se empleó el método descriptivo, sobre el cual Sánchez y Reyes (1996) dicen:

Consiste en describir, analizar e interpretar sistemáticamente un conjunto de hechos relacionados con otras variables tal como se dan en el presente. El método descriptivo apunta a estudiar el fenómeno en su estado actual y en su forma natural; por tanto, las posibilidades de tener un control directo sobre las variables de estudio son mínimas, por lo cual su validez interna es discutible (p. 33).

Así mismo, Hernández et al (2010, p. 80) “busca especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice. Describe tendencias de un grupo o población”.

3.4 Diseño de Investigación

El diseño de investigación es transversal o transeccional-correlacional, ya que se centra en analizar cuál es el nivel o estado de las diversas variables (escalas de erosión hídrica) en un momento dado o bien en cuál es la relación entre un conjunto de variables en un punto en el tiempo (año 2013 y 2017). En la cual se recolectan datos en dos tiempos. Posteriormente se describió las variables y se analizó su incidencia e interrelación (Hernández, et al, 2003, p.15).

Erosión hídrica del 2013		Erosión hídrica del 2017
Factor R – 2013	↔	Factor R - 2017
Factor K – 2013	↔	Factor K - 2017
Factor C – 2013	↔	Factor C – 2017
Factor LS – 2013	↔	Factor LS - 2017

3.5 Población, Muestra, Muestreo

La subcuenca del río Ichu está ubicado en la Región Huancavelica, en la zona suroccidental del Perú. En su parte alta es formado por los ríos Cachimayo y Astobamba, los mismos que se forman por la escorrentía en las laderas producidas por los deshielos de los Nevados Antarazo, Huamanrazo y Carhuarazo (pertenecientes al relieve de la Cordillera de Chonta) de la provincia de Castrovirreyna, y en su recorrido cruza varios distritos, el mismo que pasa por la ciudad de Huancavelica, Yauli y Acoria; para después adentrarse al distrito de Mariscal Cáceres y luego desembocar en el caudaloso río Mantaro.

3.5.1 Universo

Cuenca

3.5.2 Población

15,410.0000 km² cuenca del Mantaro

3.5.3 Muestra

1383.172082 Km² subcuenca del río Ichu.

3.5.4 Muestreo

El muestreo fue no probabilístico, intencional o criterial.

Para Sánchez y Reyes (1996, p. 116) el muestreo no probabilístico "es aquel en el cual no se conoce la probabilidad o posibilidad de cada uno de los elementos de una población de poder ser seleccionado en una muestra".

Así mismo, para Sánchez y Reyes (1996, p.117) el muestreo es intencional porque "quien selecciona la muestra lo que busca es que ésta sea representativa de la población de donde es extraída".

Lo importante es que dicha representatividad se da en base a una opinión o intención particular de quien selecciona la muestra y por lo tanto la evaluación de la representatividad es subjetiva.

3.6 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

3.6.1 Técnicas Recolección de Datos

La técnica que se utilizo en el presente trabajo de investigación se utilizo la observación porque se conocio la realidad mediante la percepción directa de los datos y fenómenos asi como lo menciona:

Que, a través de los sentidos, el hombre capta la realidad que lo rodea, que luego organiza intelectualmente y agrega: La observación puede definirse, como el uso sistemático de nuestros

sentidos en la búsqueda de los datos que necesitamos para resolver un problema de investigación (Sabino, 1992, p.111-113).

Para la técnica de Observación se utilizan los siguientes instrumentos de evaluación:

- Registros de estaciones pluviográficas para determinar la intensidad con la cual se precipita la lluvia en un determinado tiempo. Así mismo se utilizó el Índice de Fournier Modificado (IFM) o también llamado índice de agresividad de la lluvia, ya que estos se pueden calcular tomando en cuenta el registro de precipitación en base a estaciones pluviométricas, en tal sentido se obtuvo información de precipitación mensual de 5 años, de 6 estaciones cercanas al área de estudio.
- Ficha de muestreo de suelos tomadas en la zona de estudio, los cuales se analizaron en laboratorio para obtener datos de textura, estructura, permeabilidad y porcentaje de materia orgánica. Así mismo se constató con mapas de suelo de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura).

3.6.2 Instrumentos de Recolección de Datos

Los instrumentos de recolección para dos factores específicos fueron:

- Protocolo de recolección de suelo
 - Ficha de recolección de muestra del suelo.

Este documento permitió recoger información levantada en campo, el cual incluye los siguientes aspectos:

- Datos generales del sitio en estudio (por ejemplo, razón social, ubicación, uso principal).

- Datos del punto de muestreo (por ejemplo, clave del punto, coordenadas, técnica de muestreo, instrumentos usados, profundidad final, profundidad de la napa freática, operador, etc.).
 - Datos de las muestras tomadas (por ejemplo, clave de muestra, profundidad, características organolépticas, textura, cantidad de la muestra tomada, compactación/consistencia, humedad, etc.).
 - Comentarios adicionales y ubicación de los puntos de muestreo en un Croquis.
- Registro precipitación.
 - Registro de precipitación del año 2013 y 2017 del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Estos datos tomados de precipitación fueron utilizados para determinar el factor R, cuyos datos provenientes de los registros pluviométricos fueron de nueve estaciones cercanas a la zona de estudio como son Ascencion, Lircay, Choclococha, Vilca, Acobamba, Pilchaca de los cuales se obtuvo la precipitación media mensual y media anual de cada estación.

Así mismo es menester mencionar que para los demás factores se obtuvieron a través de imágenes satelitales y shapefile las cuales fueron procesados en gabinete a través del software Arcsig 10.3.

3.7 Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos

Para el procesamiento y análisis de datos se basó en el desarrollo de tres fases como se muestra en el siguiente esquema.

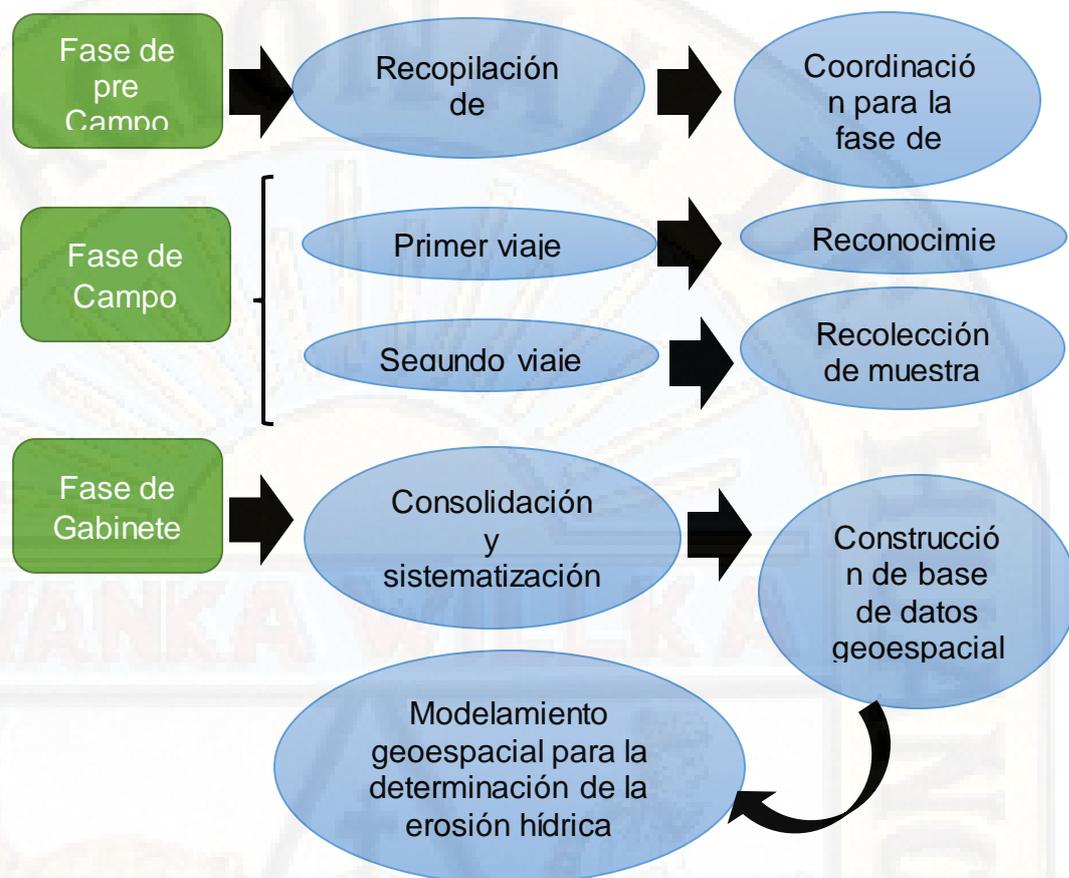


Figura 1. Esquema metodológico del estudio.

3.7.1 Fase Pre-Campo

Fue la primera fase de todo el estudio consistiendo en la recopilación de información necesaria con el fin de conocer las características físicas y socioeconómicas de la zona de estudio, se obtuvo información en formato Raster y Vectorial como el Modelo Digital de Elevación, geología, fisiografía, suelos, cobertura vegetal, así como también información acerca del empleo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE).

Los mapas temáticos de suelos, geología, fisiografía y cobertura vegetal que se utilizaron para la investigación fueron seleccionados de una base de datos del estudio Mesozonificación Ecológica Económica de

la Región Huancavelica, los mismos que fueron consolidados y ajustados para la elaboración de este trabajo de tesis.

Se recopiló información histórica de la base de datos de los servidores como SENAMHI e INEI, con el fin de obtener datos históricos de precipitación de las estaciones Ascencion, Lircay, Choclococha, Vilca, Acobamba y Pilchaca. Se adquirió información hidrográfica y topográfica (curvas de nivel cada 50 metros) de la zona con ayuda del geoservidor del Ministerio de Educación.

3.7.2 Fase de Campo

Esta fase consistió en dos viajes, el primero que tuvo una duración de aproximadamente 24 días donde se realizó el reconocimiento in situ de la zona de estudio y actualizar la información obtenida durante la fase de pre campo. El segundo viaje consistió en aproximadamente 7 días, se realizó después de procesar la información recopilada durante la primera visita, se tuvo un primer modelo ya procesado lo cual sirvió como base para realizar una validación de campo. Se levantaron datos nuevos de infraestructura rural como nuevas vías de transporte, etc. los cuales sirvieron para ajustar los pesos de las variables para la elaboración de los modelos. También se extrajeron muestras de suelo de diferentes puntos con el fin de realizar estudios de textura y materia orgánica para procesar la cuantificación de la erosión.

3.7.3 Fase de Gabinete

En la fase de gabinete se procesó toda la información recopilada durante las fases de pre-campo y campo para así poder obtener los modelos de erosión. La determinación de la erosión del suelo de la microcuenca se obtuvo mediante dos métodos, en primer lugar, el modelamiento geoespacial, donde se determinaron las áreas vulnerables a erosión integrando las variables que influyen en el modelo para la

determinación de la erosión del suelo, en segundo lugar se realizó el modelamiento cuantitativo de la erosión utilizando la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo (USLE), calculando cada uno de los factores necesarios para su determinación.

3.7.4 Procesamiento

Para el procesamiento y análisis de datos se utilizó el paquete estadístico IBM SPSS statistics versión 22 y el programa Microsoft Office Excel 2016.

- Microsoft Office Excel 2016 se utilizó para la generación de gráficos de barra de los datos obtenidos del tratamiento de datos en software del arcgis 10.4 de los factores de la Ecuación universal de la pérdida de suelo - USLE.

3.7.5 Representación

Para la representación estadística de los datos, se empleó la estadística descriptiva desarrollando tablas de contingencia y gráficos de barras para explicar los datos obtenidos.

3.8 Descripción de la prueba de hipótesis

Para el presente trabajo de investigación no se realizará ninguna prueba de hipótesis puesto que es una hipótesis descriptiva la cual involucra una sola variable. Se caracteriza por señalar la presencia de ciertos hechos o fenómenos en la población objeto de estudio (Sampieri 2006, p. 73 -101).

La hipótesis descriptiva como su nombre lo indica describe una situación relacional entre las variables que se someten a estudio. Se utiliza en investigaciones de tipo descriptivo.

CAPÍTULO IV RESULTADOS

4.1 Presentación e interpretación de datos

4.1.1 Factor de erosividad (R)

Para poder hallar el factor R primero se procedió a adquirir los datos de la precipitación anual de los años 2013 y 2017 para de esa manera hallar la precipitación media anual ya que son requisitos indispensables para poder aplicar el Índice Modificado de Fournier (IMF) propuesto por Arnoldus (1980) se constituye un requisito básico para la elaboración del mapa del factor R (Echeverri y Obando, 2010, p.35).

Tabla 3

Estaciones meteorológicas

ESTA.	LAT.	LOG.	ALT.	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO
1	496081	8587162	3860	HUANCAVELCA	HUANCAVELICA	ASCENCION
2	530574	8564844	3860	HUANCAVELCA	ANGARAES	LIRCA Y
3	492255	8550852	4547	HUANCAVELCA	CASTROVIRREYNA	CHOCLOCOCHA
4	474289	8613783	3450	HUANCAVELCA	HUANCAVELICA	VILCA
5	547712	8579073	3236	HUANCAVELCA	ACOBAMBA	ACOBAMBA
6	490037	8627984	3880	HUANCAVELCA	HUANCAVELICA	PILCHACA

Fuente: SENAMHI

Tabla 4*Precipitación media anual por estación meteorológica (mm) - 2013*

EST	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	P MEDIA ANUAL
1	169	216	216	61	23	19	10	33	35	81	31	191	1085
2	147	128	128	24	33	12	11	25	14	46	29	176	775
3	213	191	191	64	107	11	29	26	65	92	82	251	1322
4	114	110	110	34	37	41	29	52	28	101	47	89	793
5	139	90	90	13	20	5	7	43	8	46	29	138	629
6	169	145	145	43	46	25	0	23	25	79	64	139	906

Fuente: SENAMHI**Tabla 5***Índice modificado de founier y valores del factor de r de las estaciones (Mj.mm/ha. año) - 2013*

EST	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	FACTOR R
1	26	43	43	3	0	0	0	1	1	6	1	34	160
2	20	15	15	1	1	0	0	1	0	2	1	28	84
3	42	34	34	4	10	0	1	1	4	8	6	58	201
4	12	11	11	1	1	2	1	3	1	9	2	7	61
5	18	8	8	0	0	0	0	2	0	2	1	18	56
6	26	19	19	2	2	1	0	0	1	6	4	18	98

Fuente: Elaboración propia

En el Gráfico 1 se representa la agresividad de la lluvia por sus características hidrodinámicas para la subcuenca del río Ichu en la cual se puede apreciar que en los meses de enero, febrero y marzo es donde hay mayor presencia de precipitación pluvial, pero la estación de Choclococha es la que registro mayor precipitación pluvial (201 Mj.mm/ha.año) a comparación de las demás estaciones meteorológicas ya esto se debe a que se encuentra en la cabecera de cuenca donde se ve la recarga hídrica de la sub cuenca.

En base a datos anuales de factor de erosividad R promedio obtenidas por cada estación se obtuvo valores para todo el ámbito de estudio mediante la

metodología de Wischmeier & Smith (1978) donde se generó líneas imaginarias a nivel de la subcuenca llamados isoerodentas, donde estas líneas contienen datos de factor de erosividad R (ver anexo 1), para tal fin se hará uso de herramientas de sistemas de información geográfica SIG con la utilización del modelo de interpolación “Spline” donde este método nos sirve para generar valores para superficies entre datos puntuales tales como el análisis de variables climáticas.

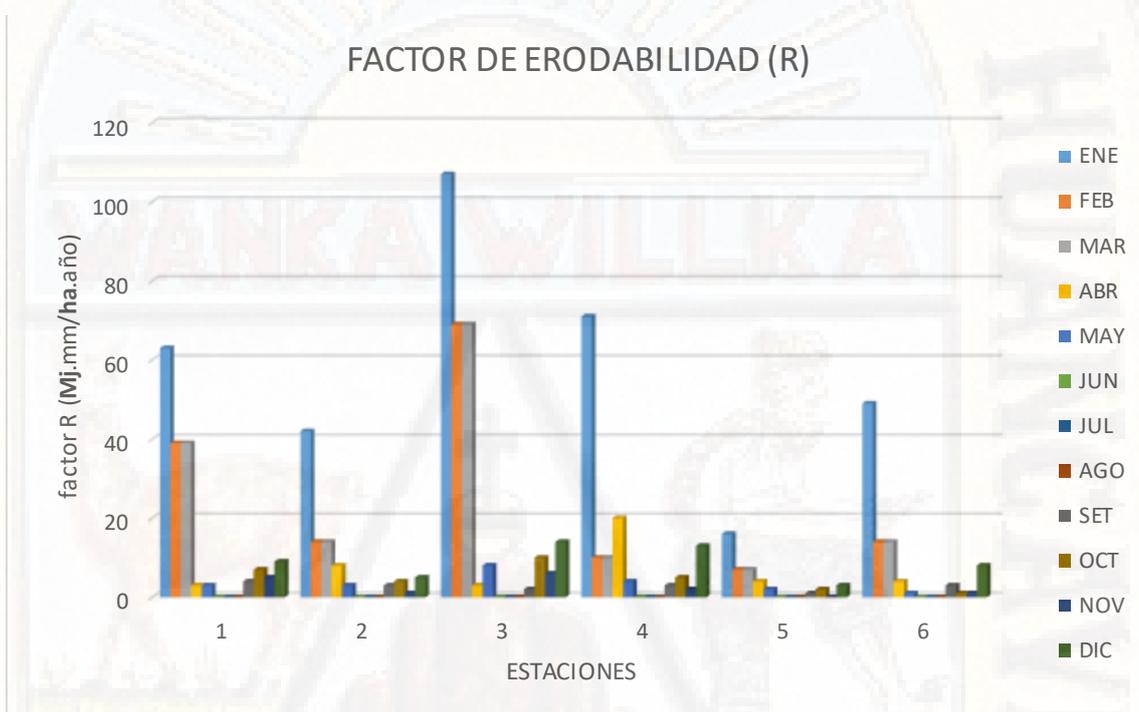


Figura 2. Factor r de las estaciones (Mj.mm/ha.año) – 2013.

Para el año 2017 hubo un incremento de la precipitación pluvial tal cual como se puede apreciar en el cuadro 1 esto a causa del fenómeno del niño por la presencia de estas aguas cálidas a lo largo de las costas peruanas, es un fenómeno recurrente que tiene una duración de varios meses.

Tabla 6*Precipitación media anual por estación meteorológica (mm) - 2017*

EST	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	P MEDIA ANUAL
1	274	214	214	61	55	10	14	6	67	92	77	101	1186
2	223	128	128	97	63	8	16	10	57	67	41	76	913
3	356	285	285	64	96	7	18	4	51	109	83	130	1489
4	290	110	110	154	69	7	0	2	56	78	49	123	1048
5	139	90	90	67	43	9	5	5	39	44	21	60	613
6	240	129	129	67	35	4	4	18	55	28	41	94	845

Fuente: SENAMHI**Tabla 7***Índice modificado de founrier y valores del factor de r de las estaciones (MJ ha⁻¹ mm⁻¹ año⁻¹) - 2017*

EST	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	FACTOR R
1	63	39	39	3	3	0	0	0	4	7	5	9	171
2	42	14	14	8	3	0	0	0	3	4	1	5	94
3	107	69	69	3	8	0	0	0	2	10	6	14	288
4	71	10	10	20	4	0	0	0	3	5	2	13	138
5	16	7	7	4	2	0	0	0	1	2	0	3	42
6	49	14	14	4	1	0	0	0	3	1	1	8	94

Fuente: Elaboración propia

Y como sabido se puede apreciar en el Gráfico 2 se puede evidenciar la agresividad de la precipitación pluvial para el año 2017.

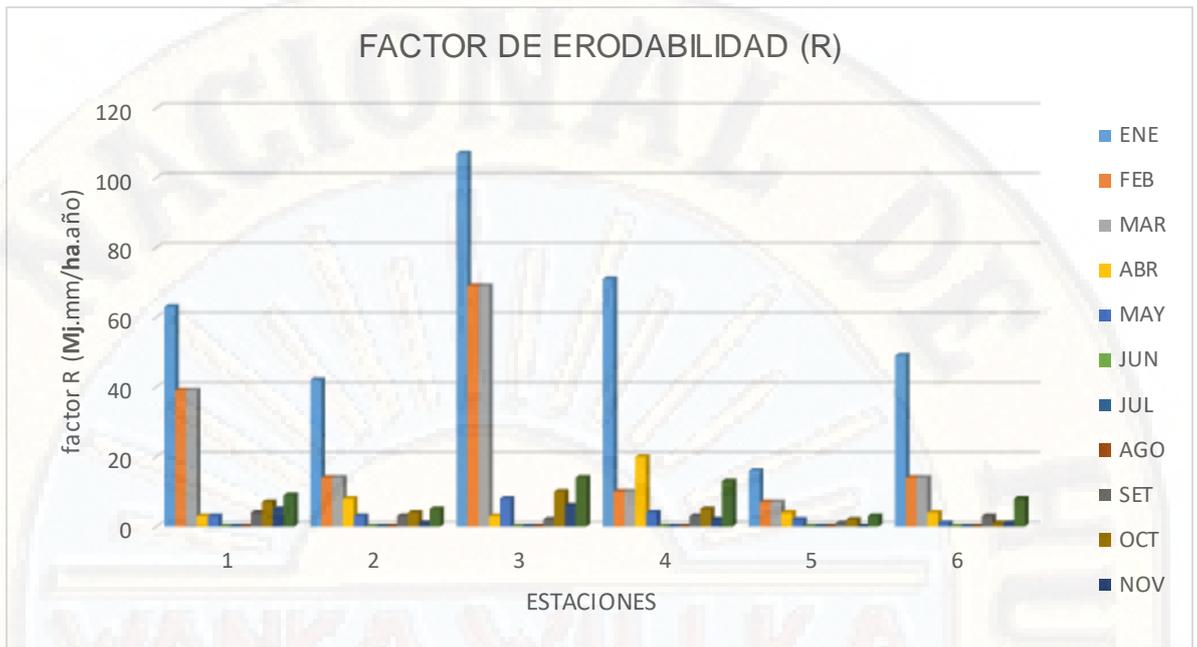


Figura 3. Factor r de las estaciones (Mj.mm/ha. año) – 2017.

Este análisis se realizó para cada año de estudio obteniendo información en base a datos puntuales obtenidas de las estaciones meteorológicas, posterior a ello se generó información a nivel de la subcuenca del río Ichu para finalmente generar el mapa del factor de erosividad R.

4.1.2 Factor de erosionabilidad (K)

El factor de erosionabilidad K, se determinó en base a muestras de suelos tomadas en la zona de estudio, los cuales se analizaron en laboratorio para obtener datos de textura, estructura, permeabilidad y porcentaje de materia orgánica.

En este caso el muestreo es de tipo intencional dirigido en referencia a las unidades de los sub grupos de la clasificación taxonómica establecida según la zonificación ecológica y económica (ZEE Huancavelica 2013) basados ellos en el Soil Taxonomy del USDA, para tal sentido se utilizó un mapa base de campo para la recolección de las muestras, a estas muestras se les determinó una clave de campo tal y como se muestra en el cuadro 6. Ahora el método de obtención de

muestras fue de acuerdo a Gutiérrez (2011), donde nos indica que se tiene que sustraer la capa superficial arable de los suelos entre 0.-40 cm de profundidad con un ancho de 0.15m x 0.15m aproximado, obteniendo así un 1kg de peso promedio por muestra.

Tabla 8

Análisis mecánico de los suelos superficiales de la subcuenca del río ichu

ID	SERIE	SIM B	CLASIFICACION NATURAL		PRO F (cm)	ANALISIS MECANICO			
			SOIL TAXONOMY	FAO		Arena %	Limo %	Arcilla %	Carbono orgánico
1	HUANCA	HC	Ustocrptandico	cambisol	0-40	50	36	14	4,04
2	ICHUPATA	IC	Críortent	Regosol	0-40	48	34	18	1,52
3	AREAS URBANAS	URB	AREAS URBANAS	AREAS URBANAS	-----	0	0	0	0
4	ASTOBAMBA	AS	Criembreptandico	Paramosol	0-40	66	32	2	11,4
5	CHOCLOCOCHA	CH	Críofibríst	Histosol	0-40	72	15	13	43,4
6	SAN JUAN	SJ	Ustortent	Regosol	0-40	38	40	22	1,22
7	MARCAS	MA	Haplustel	Kastanoze n	0-40	44	36	20	2,37
8	PACOCOCHA	PH	Críofluvent	Fluvisol	0-40	68	28	4	4,88
9	LAGUNAS	LAG	laguna	laguna	-----	0	0	0	0
10	TOTAL	TO	Ustifluent	Fluvisol	0-40	78	20	2	4,32
11	YANAPAMPA	YA	Críocrept	Paramosol	0-40	50	42	8	4,32

FUENTE: ZEE-ONERN

Una vez analizado las muestras de suelo se estimó los indicadores de susceptibilidad del suelo a la erosión del agua según USLE – KUSLE. Según la ecuación para estimar los valores KUSLE dados por Wiliams:

$$K_{USLE} = K_w = f_{csand} \cdot f_{cl-si} \cdot f_{orgc} \cdot f_{hisand}$$

Cabe resaltar que para poder reducir el rango de error se multiplico los datos por una contante de 0.1317 esto según la recomendación de Williams.

Tabla 9

Determinación del factor de erosionabilidad del suelo K.

ID	SIMB	CLASIFICACION NATURAL		Fcsand	F cl-si	F orgc	F hisand	K usle	K
		SOIL TAXONO MY	FAO						
1	HC	Ustocrptandico	cambisol	0,2001	0,9061	0,7500	0,9991	0,1359	0,0179
2	IC	Criorient	Regosol	0,2001	0,8803	0,8086	0,9994	0,1424	0,0187
3	URB	Areas Urbanas	Areas Urbanas	0,5000	0,0000	1,0000	1,0000	0,0000	0,0000
4	AS	Criembrepandico	Paramosol	0,2000	0,9820	0,7500	0,9764	0,1438	0,0189
5	CH	Criofibríst	Histosol	0,2000	0,8292	0,7500	0,9286	0,1155	0,0152
6	SJ	Ustortent	Regosol	0,2009	0,8768	0,8701	0,9999	0,1532	0,0202
7	MA	Haplustel	Kastanozen	0,2002	0,8759	0,7539	0,9997	0,1322	0,0174
8	PH	Criofluvent	Fluvisol	0,2000	0,9607	0,7500	0,9654	0,1391	0,0183
9	LAG	laguna	laguna	0,5000	0,0000	1,0000	1,0000	0,0000	0,0000
10	TO	Ustifluvent	Fluvisol	0,2000	0,9718	0,7500	0,8175	0,1192	0,0157
11	YA	Criocrept	Paramosol	0,2002	0,9490	0,7500	0,9991	0,1424	0,0187

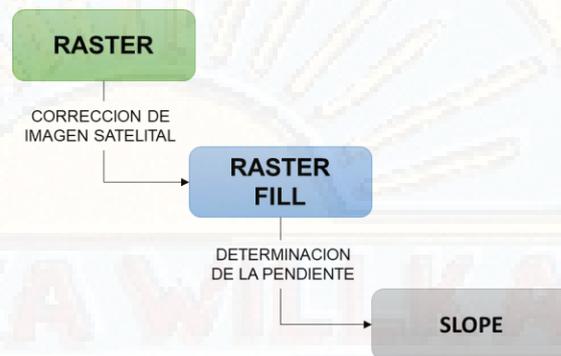
FUENTE: Elaboración Propia

Para terminar el proceso se utilizó las herramientas de sistemas de información geográfica SIG, para el análisis y la generación del mapa del factor K (ver anexo 2) en base a la información del mapa de taxonomía de suelos del ZEE Huancavelica (2013), así mismo posterior a ello se realizó la siguiente clasificación según la Soil and Water Conservation Society (1995) de la cuadro 6, donde nos muestra el grado de erosionabilidad de acuerdo al factor K del suelo y para tal resultado se elaboró su respectivo mapa.

4.1.3 Factor de longitud e inclinación de la pendiente (LS).

4.1.3.1 Determinación del Sub factor L longitud de la pendiente

Para determinar la pendiente (β) se tuvo que seguir el siguiente proceso:



Una vez determinado la pendiente (SLOPE- β). Se pasó a programar en el software del Arcsig 10.3 teniendo en cuenta la multiplicación de 0.01745 a β (factor de corrección). La relación erosión en surco a erosión en entresurco utilizando la siguiente formula:

$$F = \frac{\sin \beta / 0,0896}{3(\sin \beta)^{0,8} + 0,56}$$

Una vez determinado la relación erosión en surco a erosión en entresurco (F) se procedió a determinar la exponente variable según β (m), también programando en software antes mencionado cuya fórmula es:

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

Y finalmente para poder determinar la longitud de la pendiente se utilizó la siguiente formula:

$$L_{(i,j)} = \frac{(A_{(i,j)} + D^2)^{m+1} - A_{(i,j)}^{m+1}}{x^m \cdot D^{m+2} \cdot (22,13)^m}$$

Donde:

$A_{(i,j)}$: Es el área aportadora unitaria a la entrada de un pixel (celda).

D : Es el tamaño del pixel ($D=70 \times 70$)

X : Es el factor de corrección de forma. ($X=1$, sistemas pixelados)

Del cual se halló el $A_{(i,j)}$ siguiendo el siguiente proceso:



4.1.3.2 Determinación del Sub factor S inclinación de la pendiente

Para determinar el factor S se basó en la siguiente formula:

$$s_{(i,j)} = \begin{cases} 10,8\sin \beta_{(i,j)} + 0,03 & \tan \beta_{(i,j)} < 0,09 \\ 16,8\sin \beta_{(i,j)} - 0,5 & \tan \beta_{(i,j)} \geq 0,09 \end{cases}$$

El ángulo β se toma como el ángulo medio a todos los sub grids en la dirección de mayor pendiente (McCOOL et al.,1987,1989, citado por BARRÍOS y QUINONEZ,2000, p.87).

Y para determinar el FACTOR LS solo se tuvo que multiplicar el sub factor L por el Sub factor S. El factor LS es el producto del Factor L y el Factor S, refiriéndose el primero a la longitud de la pendiente y el segundo a su inclinación; fue clasificado en cinco rangos que van en ascenso; se observa que gran parte del territorio, un 2.12-0.07% (2934.1 ha), presentan valores elevados de este factor, esto debido a las fuertes

pendientes que posee la microcuenca, mientras que un 49.9 % (68,964.6 ha) del territorio presenta bajos valores del factor LS.

Tabla 10

Resultados del factor LS

ID	RANGO	ÁREA (Ha)	%	GRADO DE SUSCEPTIBILIDAD
1	0,03-6,5	68984,6	49,90%	muy bajo
2	6,5-49,7	48651,1	35,19%	bajo
3	49,7-149.03	17585,6	12,72%	medio
4	149,03-319,6	2934,1	2,12%	alto
5	319,6-550,7	102,9	0,07%	muy alto

Fuente: Elaboración propia

4.1.4 Factor de cobertura vegetal (C).

Para determinar la cobertura vegetal en diferentes años (2013 y 2017) se basó en el NDVI no es más que el índice es derivado de la combinación de las reflectancias captadas en el rango espectral del rojo e infrarrojo cercano.

Para el proceso de NDVI se utilizaron imágenes satelitales de Landsat 8 descargados de los servidores de USGS (Servicio Geológico de los Estados Unidos), la cual se seleccionó para ambos años el 30 de abril por el porcentaje de nubosidad que presentaba el área de estudio así mismo se realizó las correcciones de las imágenes, cabe resaltar que las imágenes de Landsat 8 cuentan con corrección geométrica y radiométrica; por lo cual fue necesario realizar una corrección atmosférica para poder analizar las imágenes de manera temporal. Es así que este proceso se realizó en el software de ArcGis al cual se agregó una herramienta llamada "Landsat 8", en el cual se siguió el siguiente proceso primero se aplicó la herramienta de PANSARPEN, que no es otra cosa más que fusionar la banda pancromática con el resto para luego calcular la radiancia y generar la corrección atmosférica Arteaga (2017).

La fórmula utilizada fue:

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

Donde:

NIR : reflectancia corregida atmosféricamente correspondiente al infrarrojo cercano

R : reflectancia corregida atmosféricamente correspondiente al rojo.

Tabla 11

Caracterización del NDVI y rangos de densidad de cobertura vegetal

CARACTERÍSTICA DE LA COBERTURA VEGETAL	TIPO DE COBERTURA SEGÚN DENSIDAD	RANGOS DE NDVI
cuerpos sin cobertura vegetal	áreas urbanas lagunas áreas sin cobertura vegetal	< 0
áreas rocosas, arenosas con mínima cobertura vegetal	pajonal	0 – 0.1
áreas pobres con arbustos o pastura natural	matorral	0.1 – 0.2
áreas con árboles y arbustos	áreas forestales	0.2 – 0.3
áreas donde la vegetación se encuentra en un estado de gran vigor y densidad	áreas forestales bofedales	> 0.3

FUENTE: Rouse et al. 1974

4.1.4.1 Estimación de valores para el factor C

La cuadro 9, muestra los valores estimados del factor C por tipo de cobertura vegetal y uso de suelos, donde; los valores varían desde 0.014

hasta 1.00, esta codificación está basada en torno al tipo de protección que pueda ejercer un tipo de cobertura vegetal o uso, al suelo, frente a la fuerza erosiva de la lluvia, es por eso que áreas sin vegetación tienen una codificación de 1.00 por no ofrecer ningún tipo de protección, del mismo modo las coberturas con plantaciones forestales tienen un factor C igual a 0.014 esto en favor de que las plantaciones por ser vegetación más frondosa tienen mayor capacidad de interceptación de las gotas de lluvia, ofreciendo de esta manera mayor protección al suelo.

Tabla 12

Valores del factor c por tipo de cobertura vegetal y uso de suelos

CARACTERÍSTICA DE LA COBERTURA VEGETAL	TIPO DE COBERTURA SEGÚN DENSIDAD	Factor C
cuerpos sin cobertura vegetal	áreas urbanas lagunas áreas sin cobertura vegetal	1
áreas rocosas, arenosas con mínima cobertura vegetal	pajonal	0.038
áreas pobres con arbustos o pastura natural	matorral	0.076
áreas con árboles y arbustos	áreas forestales	0.014
áreas donde la vegetación se encuentra en un estado de gran vigor y densidad	áreas forestales bofedales	0.050

FUENTE: JCONA (1982)

Una vez hallada el tipo de cobertura vegetal y determinada el factor según los muchos investigadores. Se procedió a determinar el área de cobertura vegetal para el año 2013 y 2017 tal como se puede apreciar en el cuadro 10 Y 11.

Tabla 13*Cobertura vegetal para el año 2013*

CARACTERÍSTICA DE LA COBERTURA VEGETAL	TIPO DE COBERTURA SEGÚN DENSIDAD	AREA (Ha)	%
cuerpos sin cobertura vegetal	áreas urbanas lagunas áreas sin cobertura vegetal	15254	11,03%
áreas rocosas, arenosas con mínima cobertura vegetal	pajonal	39062	28,24%
áreas pobres con arbustos o pastura natural	matorral	48305	34,93%
áreas con árboles y arbustos	áreas forestales	24666	17,83%
áreas donde la vegetación se encuentra en un estado de gran vigor y densidad	áreas forestales bofedales	11021	7,97%

FUENTE: Elaboración Propia**Tabla 14***Cobertura vegetal para el año 2017*

Característica de la cobertura vegetal	Tipo de cobertura según densidad	Area (Ha)	%
cuerpos sin cobertura vegetal	áreas urbanas lagunas áreas sin cobertura vegetal	16644	12,03%
áreas rocosas, arenosas con mínima cobertura vegetal	pajonal	33831	24,46%
áreas pobres con arbustos o pastura natural	matorral	47913	34,64%
áreas con árboles y arbustos	áreas forestales	27806	20,10%
áreas donde la vegetación se encuentra en un estado de gran vigor y densidad	áreas forestales bofedales	12116	8,76%

FUENTE: Elaboración Propia

En el Gráfico 3 se puede evidenciar lo que está plasmado en el cuadro 10 Y 11. Del cual los cuerpos sin cobertura vegetal tienen un incremento de 15254 ha a 16644, de las áreas rocosas, arenosas con mínima cobertura vegetal hay una reducción de 39062 ha-33831 ha, de las áreas pobres con arbustos o pastura natural hay una ligera reducción de 48305 ha a 47913 ha, de las áreas con árboles y arbustos se ve un incremento de 24666 ha – 27806 ha y por ultimo de las áreas donde la vegetación se encuentra en un estado de gran vigor y densidad también presenta un ligero incremento de 11021 ha a 12116 ha.

Posteriormente se elaboró con la misma metodología los mapas de cobertura vegetal para el año 2013 y 2017 (anexo 3 y 4) elaborados en gabinete con la metodología mencionada anteriormente, se pasó a realizar la validación de campo tomando muestras georeferenciadas en campo para realizar los ajustes necesarios y obtener de esta manera una mayor aproximación.

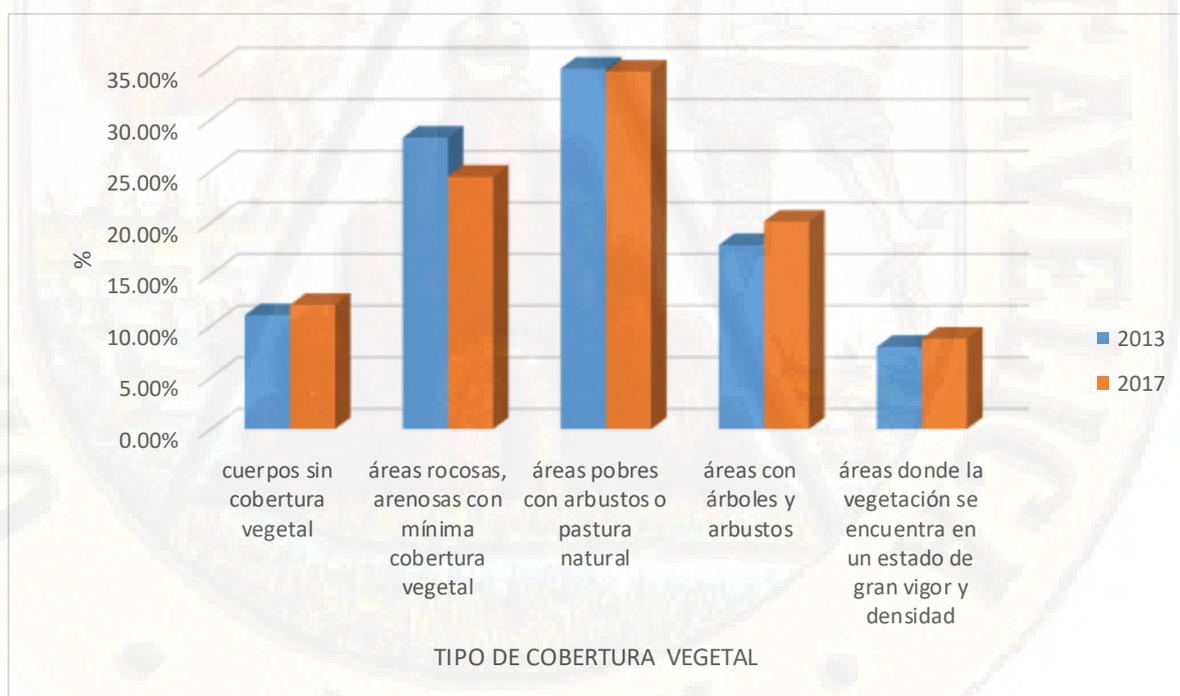


Figura 4. Variación de la cobertura vegetal 2013 y 2017.

4.1.5 Factor de prácticas de conservación de suelos (P).

En este caso se estimó como único valor constante de “1” para el factor P para todos los casos, debido a que a nivel de la subcuenca del río Ichu no se encontró lugares donde se realice estas prácticas ni tampoco información secundaria con respecto al tema, por lo tanto, no se ha tenido en cuenta este factor en el cálculo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos.

4.1.6 Calculo de la erosión hídrica 2013 y 2017

Una vez determinada los factores se realizó el proceso de cuantificación de la erosión basándose en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE).

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

A: La pérdida del suelo por causa de la erosión.

R: El factor asociado a la erosividad de la lluvia.

K: Es el factor asociado a la erodabilidad del suelo.

L: Es el factor asociado con la longitud de la pendiente.

S: Es el factor asociado al grado de la pendiente

C: Es el factor involucrado en la cobertura del suelo.

P: Es el factor relacionado con las prácticas de conservación de suelo.

La cual nos da una estimación del valor numérico de la pérdida de suelo que ocurre dentro de la microcuenca analizada. Para lo cual se establecieron factores influyentes; dicha información fue procesada, obteniéndose así los mapas de la erosión hídrica potencial para el año 2013 y 2017 (anexo N° 6 y 7), así como resultado valores en unidades de toneladas por hectárea al año de pérdida de suelo, se clasifico en seis rangos y se determinó su valor promedio. Del cuadro 12 se puede observar que el área que predomina mas es la del nivel de erosión normal con 81,761.5, la cual hace referencia que la subcuenca del río Ichu no tiene una erosión significativa a comparación de la erosión catastrófica

que solo es un 18.1 ha que representa un 0.013% de todo la sub cuenca esto debido a que las zonas empinadas son poquísimas de encontrar.

Tabla 15

Erosión hídrica potencial para el año 2013

NIVEL DE EROSIÓN	Ton/ha/año	ÁREA - 2013	
		ÁREA (HA)	%
NORMAL	< 0,5	81,761.5	59.112%
LIGERA	0,5-5	33,717.5	24.377%
MODERADA	5-15	15,799.1	11.422%
SEVERA	15-50	5,844.5	4.225%
MUY ALTO	50-200	1,176.6	0.851%
CATASTRÓFICA	>200	18.1	0.013%
TOTAL		138,317.2	100%

FUENTE: Elaboración propia

Del cuadro 12 se puede observar que el área que predomina mas es la del nivel de erosión normal con 79,524.3, la cual hace referencia que la subcuenca del río Ichu no tiene una erosión significativa a comparación de la erosión catastrófica que solo es un 25 ha que representa un 0.018% de todo la sub cuenca esto debido a que las zonas empinadas son poquísimas de encontrar.

Tabla 16

Erosión hídrica potencial para el año 2017

NIVEL DE EROSIÓN	Ton/ha/año	ÁREA - 2013	
		ÁREA (ha)	%
NORMAL	< 0,5	79,524.3	57.494%
LIGERA	0,5-5	34,727.9	25.107%
MODERADA	5-15	16,811.2	12.154%
SEVERA	15-50	5,950.6	4.302%
MUY ALTO	50-200	1,278.3	0.924%
CATASTRÓFICA	>200	25.0	0.018%
TOTAL		138,317.2	100%

FUENTE: Elaboración propia

Según el Gráfico 4 se puede ver con claridad la variación que se ha suscitado a lo largo del pasar del tiempo 2013 y 2017, tal es el caso de la reducción de la erosión hídrica normal de 81,761.5 ha a 79,524.3 ha, el aumento de la erosión hídrica ligera de 33,717.5 ha (2013) a 34,727.9 ha (2017), erosión moderada 15,799.1 ha (2013) a 16,811.2 ha (2017), erosión severa 5,844.5 ha (2013) a 5,950.6 ha (2017), erosión hídrica muy alto 1,176.6 ha (2013) a 1,278.3 ha (2017), erosión hídrica catastrófica 18.1 ha (2013) a 25 ha (2017).

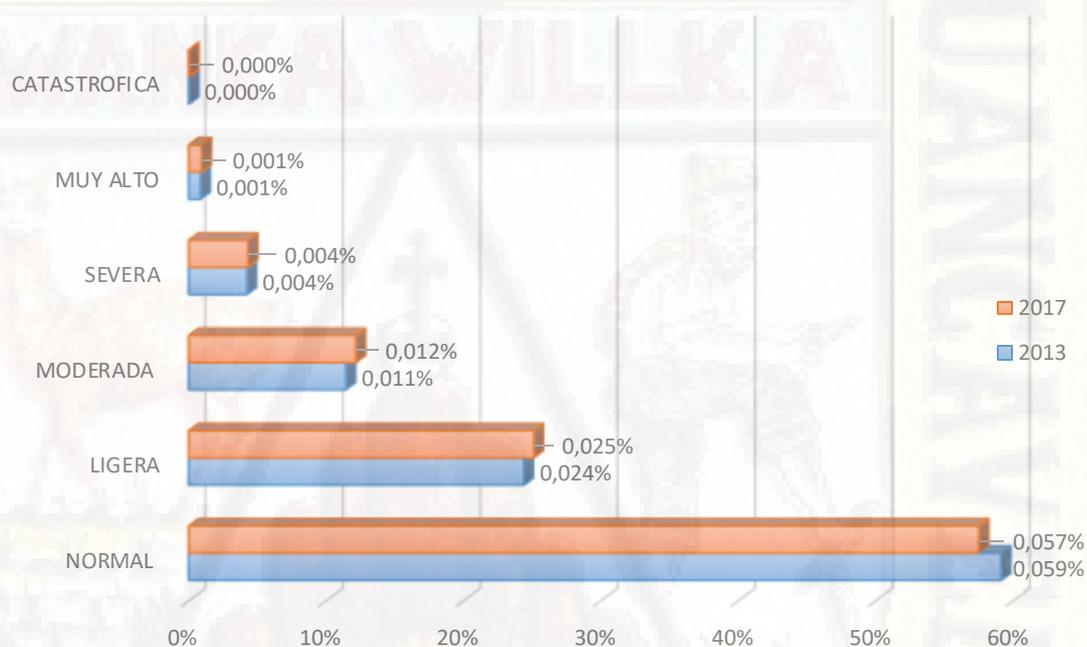


Figura 5. Comparación de la erosión potencial del año 2013 y 2017.

En el cuadro 14 se visualiza en la columna de ton/ha/año la cantidad de erosión potencial para el año 2013 las cuales se compararon con el rango de Erosión Potencial Hídrica estipuladas por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación – FAO. De las cuales se pueden apreciar que hay una variación desde los 0.46 a 406.98 Ton/ha/año

Tabla 17*Estimación de la Erosión hídrica potencial para el año 2013*

NIVEL DE EROSION	RANGO DE EHP Ton/ha/año	Ton/ha/año
NORMAL	< 0,5	0.46
LIGERA	0,5-5	3.989
MODERADA	5-15	14.03
SEVERA	15-50	40.87
MUY ALTO	50-200	189.65
CATASTROFICA	>200	406.98
TOTAL		655.979

Fuente: elaboración propia

En el cuadro 15 se visualiza en la columna de ton/ha/año la cantidad de erosión potencial para el año 2017 las cuales se compararon con el rango de Erosión Potencial Hídrica estipuladas por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación – FAO. De las cuales se pueden apreciar que hay una variación desde los 0.39 a 554.36 Ton/ha/año

Tabla 18*Estimación de la Erosión hídrica potencial para el año 2017*

NIVEL DE EROSION	RANGO DE EHP Ton/ha/año	Ton/ha/año
NORMAL	< 0,5	0.39
LIGERA	0,5-5	4.89
MODERADA	5-15	14.65
SEVERA	15-50	43.89
MUY ALTO	50-200	190.26
CATASTROFICA	>200	554.36
TOTAL		808.448

Fuente: elaboración propia

Del Gráfico 5 se puede apreciar que la variación de la estimación de la erosión hídrica potencial a lo largo del tiempo 2013 y 2017, que viene desde la reducción de la erosión hídrica normal de 0.46 a 0.39 Ton/ha/año

hasta aumentos tales como la erosión hídrica ligera de 3.989 a 4.89 Ton/ha/año, erosión hídrica moderada de 14.03 a 14.65 Ton/ha/año, erosión hídrica severa de 47.87 a 43.89 Ton/ha/año, erosión hídrica muy alto de 189.65 a 190.26Ton/ha/año, erosión hídrica catastrófica de 406.98 a 554.36 Ton/ha/año.

El aumento progresivo de acuerdo al tipo de erosión hídrica se puede interpretar por la creciente precipitación pluvial y por la variación de la cobertura vegetal a lo largo del tiempo de estudio tal y como se puede apreciar en los mapas tipo RASTER de cada uno de los mencionados.

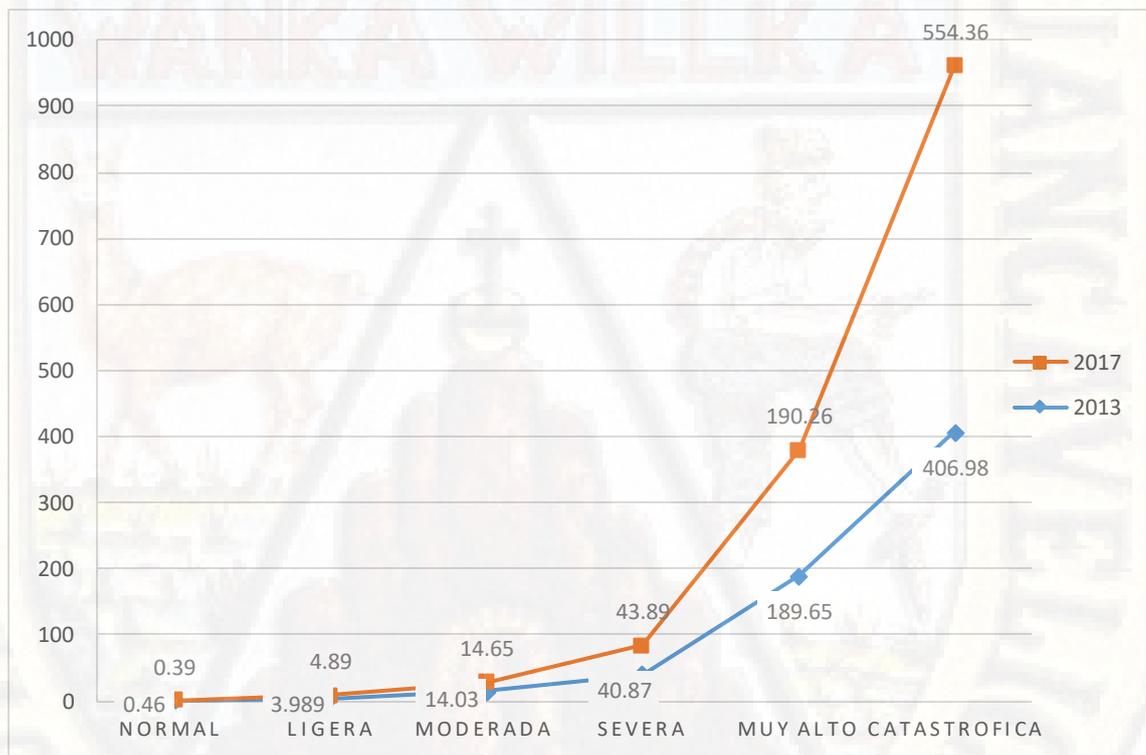


Figura 6. Estimación de la erosión hídrica potencial para el año 2013 y 2017.

4.2 Prueba de hipótesis

Dado los resultados la tasa de erosión hídrica promedio más alta que se dio en el año 2013 fue de 406.98 ton/ha/año con un área de 18.1 ha correspondiente a 0.013 % de la superficie total, la mínima fue de 0.46 del

nivel de erosión de la superficie de la subcuenca del río Ichu y la erosión hídrica promedio más alta se dio para el 2017 con 554.36 ton/ha/año con un área de 25 ha correspondiente a 0.018 % de la superficie total, la mínima fue de 0.39 ton/ha/año del nivel de erosión de la subcuenca del río Ichu, con estos resultados podemos afirmar la hipótesis afirmativa ya que hay un incremento de erosión hídrica del año 2013 a comparación del 2017, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula.

4.3 Discusión de resultados

4.3.1 Estimación de la erosión hídrica aplicando la ecuación universal de pérdida de suelos USLE.

El Índice de Fournier Modificado IFM es considerado como uno de los buenos estimadores de la erosividad de la lluvia, en tal sentido a nivel de la subcuenca del Ichu se obtuvo valores de erosividad R desde 51 hasta 201 MJ*cm/ha*h (Tabla 5 y 7), del mismo modo con el análisis espacial con un SIG se pudo determinar que en más del 90% de la superficie de la subcuenca se genera un nivel de erosividad alto de la lluvia, así también en el estudio realizado por Flores (2012) para la subcuenca del Shambillo en el departamento de Ucayali, obtuvo valores para el factor de erosividad R de 380.88 – 451.84 MJ*cm/ha*h debido a que en la zona de estudio presenta altas precipitaciones por encontrarse en una zona tropical, en tanto se puede inferir que los mayores índices de erosividad se registran en zonas con mayor precipitación.

Con respecto al factor de erosionabilidad K, los valores de los suelos arcillo arenoso y franco arcillo arenoso son de un índice de erosionabilidad menor, debido a que dichos suelos permiten el paso del agua a través del perfil y por lo tanto el escurrimiento es también menor, mientras que los suelos francos son moderadamente erosionables por presentar cierta resistencia al desprendimiento y generan una escorrentía moderada, en el caso de los suelos de textura franco limosa el factor K es mayor, ya que

son fácilmente desprendibles y susceptibles a procesos erosivos porque producen encostramiento y alto escurrimiento, coincidiendo con Velázquez (2008) y Flores (2012). En tanto a nivel de la subcuenca del Ichu el valor más bajo determinado es de $0.0152 \text{ ton*ha*h/MJ*ha*cm}$ (tabla 6), el cual se caracteriza por ser un suelo franco arenoso y de permeabilidad moderada siendo del grupo el menos sensible a la erosión hídrica coincidiendo así con Velázquez (2008) y Flores (2012), ahora el valor más alto es de $0.0202 \text{ ton*ha*h/MJ*ha*cm}$, caracterizándose este por ser de textura franco arcilloso y de permeabilidad lenta, así mismo Flores (2012) obtuvo valores de erosionabilidad para la subcuenca Shambillo con valores que oscilan entre $0,027 - 0,048 \text{ ton*ha*h/MJ*ha*cm}$ donde, los valores más bajos de erosionabilidad corresponden a suelos de textura arcillo arenoso y franco arcillo arenoso y los valores medios a suelos de textura franco.

El método de Renard et al. (1997) considera que los valores del factor LS más altos se encuentran en las zonas de mayor longitud y pendiente, ya que mientras mayor sea la longitud, mayor será el recorrido de una gota de lluvia hasta llegar al punto donde se concentra el flujo junto al suelo desprendido; lo mismo sucede con la pendiente ya que, la pérdida de suelo se incrementa más rápidamente con pendientes muy escarpadas en comparación con el incremento en longitud de la pendiente, es así que a nivel de la subcuenca los valores bajos del factor LS se encuentran en zonas con pendientes de hasta $2.12-0.07\%$ (2934.1 ha) del territorio presentan valores altos de hasta (Tabla 11), lo cual concuerda con el estudio de Ramos (2001) donde determino valores del factor de longitud e inclinación de la pendiente LS que van desde 1.5 hasta 28.5, donde los valores más altos se generaron en zonas con pendientes mayores a 30%.

EL factor C depende del tipo de uso y cobertura vegetal, ya que las zonas de bosque o plantaciones forestales presentan el menor valor debido a que esta cobertura supone un mejor amortiguamiento de las

gotas de lluvia e intercepción, una mejor distribución de raíces que además tienen mayor profundidad y por tanto mejor sostén para el suelo; mientras que los valores más altos se da en los suelos que no presentan cubierta vegetal, donde el valor C es máximo (1), esto se debe a que el suelo está desprovisto de protección y el daño que provocan las gotas de lluvia será el que determinen los demás factores, coincidiendo con Flores (2012), donde en su estudio estimo valores para el factor de cobertura vegetal y uso de suelos C, teniendo en cuenta la densidad de vegetación que proteja el suelo, donde obtuvo valores de 0.0047 para bosques densos y valores de 1 para superficies con poca o sin vegetación. En el estudio realizado se estimó valores en base a las tablas de Wischmeier & Smith (1978), ICONA, CATIE, FAO entre otros, donde se obtuvo valores bajos de 0.014 (tabla 13 Y 14) correspondiente a superficies con plantaciones forestales y valores altos de 1.00 en superficies que no contengan ningún tipo de cobertura vegetal.

En el estudio realizado a nivel de la subcuenca del Ichu se logró estimar una tasa promedio de erosión hídrica para el año 2013 de 109 ton/ha/año y una tasa estimada promedio de 134.74 ton/ha/año para el año 2013 (Tabla 16 y 17), teniendo en cuenta que la subcuenca del río Ichu se encuentra ubicada en los andes peruanos, así mismo Vásquez y Tapia (2002) en su estudio "Cuantificación de la Erosión Hídrica Superficial en las Laderas Semiáridas de la Sierra Peruana", donde uno de sus objetivos fue cuantificar la erosión hídrica superficial en laderas semiáridas de la sierra peruana, determinó que, la tasa promedio en las laderas de la sierra es de 45.04 ton/ha/año.

Ramos (2001) nos dice que el límite de erosión hídrica aceptado internacionalmente como admisible oscila en torno a las 10 - 12 ton/ha/año, aunque en zonas húmedas esta cifra puede elevarse hasta las 25 ton/ha/año; Morgan (1997) afirma que por encima de esta cifra no se puede garantizar la conservación de los suelos, ya que la destrucción

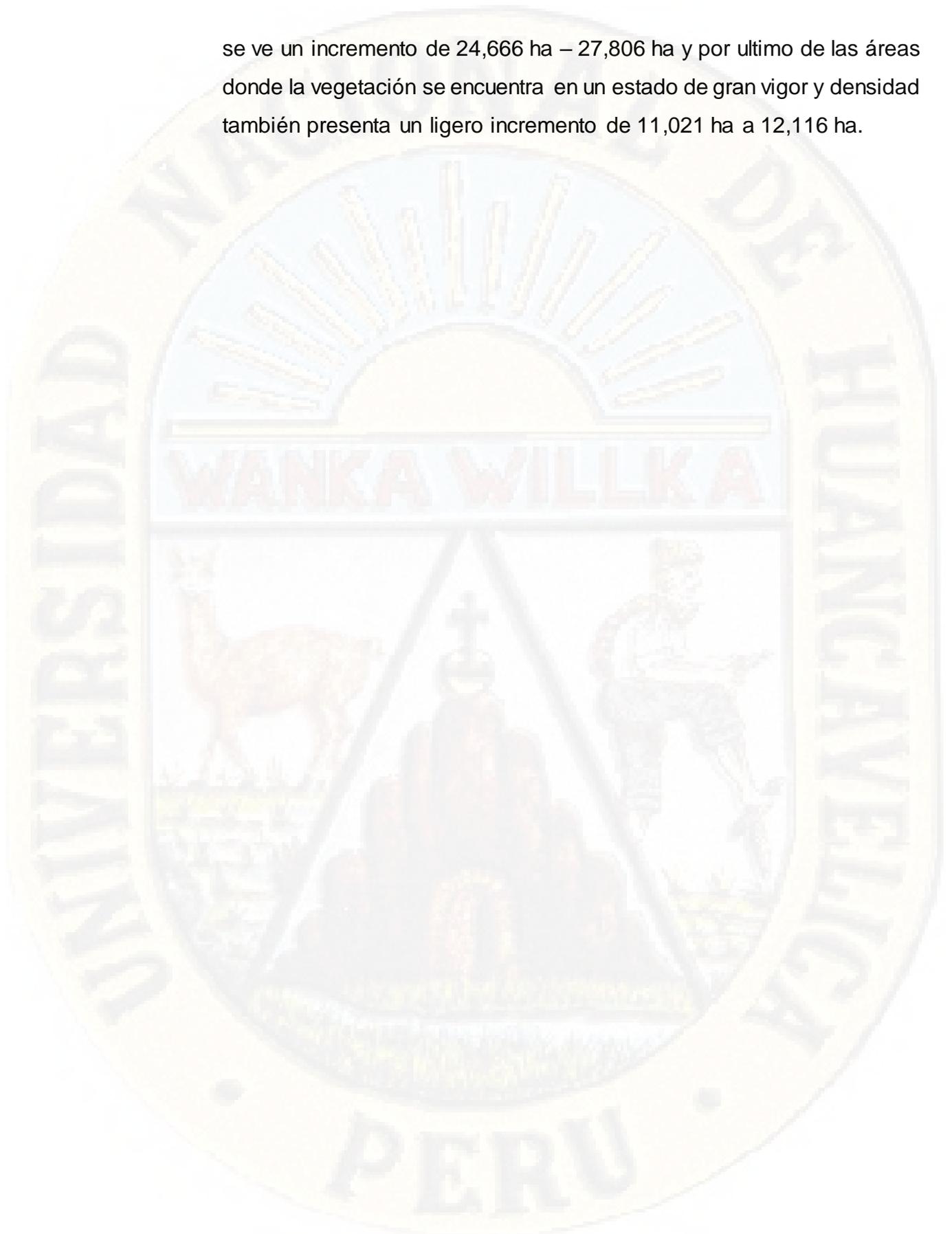
es más rápida que la creación del suelo, en tal sentido a nivel de la subcuenca existen superficies cubiertas con plantaciones forestales (Pf), pajonales (Pj), bofedales (Bf) entre otros quienes disminuyen notablemente la erosión hídrica real a pesar de encontrarse en lugares con pendientes fuertes, de esta manera no llegando a sobrepasar los límites permisibles, coincidiendo así con Dumas (2010) donde destaca que no encontró prácticamente superficie donde la tasa de erosión sea superior a 10 ton/ha/año (erosión no permisible) que se encuentre recubierta por bosques, lo que indica que los bosques frenan la erosión hídrica incluso en zonas donde la erosión potencial sería muy fuerte. Y así mismo en el estudio de Flores (2010) determinó que un 0.2% del área total de la subcuenca Shambillo, presentan una erosión que sobrepasa los límites permisibles, dichas áreas tienen como cubierta vegetal de pastos, purmas o cultivos, como también zonas de suelo desnudo, es decir, desprovistas de cualquier tipo de cubierta, mientras que un 89.3% presentan una erosión baja o casi nula, esto se debe principalmente a que esas zonas tienen como cubierta vegetal bosque o arbolado denso, que interceptan las gotas de lluvia y evitan la pérdida del suelo.

En el estudio realizado en la subcuenca del Ichu para los años 2013 y 2017, se encontraron cambios a nivel de superficie en zonas donde la erosión hídrica no es permisible (> 10 ton/ha/año), para tal fin se determinó los usos de suelos y coberturas vegetales quienes estén inmersos dentro de este análisis, llegando así a determinar que durante el transcurso del año 2013 al 2017 en gran parte de la subcuenca se encontró un gran cambio que oscila de 406.98 Ton/ha/año a 554 Ton/ha/año (tabla 18 y 19) de la superficie de la subcuenca del Ichu.

4.4 Conclusiones

1. Se estimó el nivel de erosión hídrica de la Subcuenca del río Ichu 2013 y 2017 tal y como se puede apreciar en el Gráfico 5 la variación de la estimación de la erosión hídrica potencial a lo largo del tiempo 2013 y 2017, que viene desde la reducción de la erosión hídrica normal de 0.46 a 0.39 Ton/ha/año hasta aumentos tales como la erosión hídrica ligera de 3.989 a 4.89 Ton/ha/año, erosión hídrica moderada de 14.03 a 14.65 Ton/ha/año, erosión hídrica severa de 47.87 a 43.89 Ton/ha/año, erosión hídrica muy alto de 189.65 a 190.26Ton/ha/año, erosión hídrica catastrófica de 406.98 a 554.36 Ton/ha/año.
2. Se cuantificó la erosividad de la lluvia de la Subcuenca del río Ichu para los años 2013 y 2017 las cuales fueron 56 – 201 Mj.mm/ha.año para el 2013 y 42 a 288 Mj.mm/ha.año respectivamente, cabe mencionar que los valores calculados se realiza por el índice modificado de furier
3. Se estimó la erodabilidad del suelo de la sub cuenca del Ichu de acuerdo a los tipos de usos de suelos y coberturas vegetales las cuales fueron determinantes a la hora de estimar las tasas de erosión hídrica.
4. Se determinó la longitud y pendiente (LS) de la subcuenca del río Ichu con la cual se evaluó el efecto del relieve la cual tuvo una influencia tanto del porcentaje de inclinación del terreno como de la longitud del declive sobre las pérdidas de suelo ocasionadas por la escorrentía laminar y entre-regueros.
5. Se determinó los cambios de la erosión hídrica producto de la cobertura vegetal para el año 2013 y 2017 las cual se puede evidenciar en el Gráfico 3 del cual los cuerpos sin cobertura vegetal tienen un incremento de 15,254 ha a 16,644, de las áreas rocosas, arenosas con mínima cobertura vegetal hay una reducción de 39,062 ha-33,831 ha, de las áreas pobres con arbustos o pastura natural hay una ligera reducción de 48,305 ha a 47,913 ha, de las áreas con árboles y arbustos

se ve un incremento de 24,666 ha – 27,806 ha y por ultimo de las áreas donde la vegetación se encuentra en un estado de gran vigor y densidad también presenta un ligero incremento de 11,021 ha a 12,116 ha.



4.5 Recomendaciones

1. Instalar más estaciones meteorológicas a nivel regional para el monitoreo de las precipitaciones y así poder obtener mayor información de los eventos de lluvia, así mismo realizar estudios de suelos para determinar sus grados de erosionabilidad.
2. Considerar el mapa de erosión hídrica potencial de la subcuenca del río Ichu, como una herramienta técnica a la hora de llevar a cabo cualquier tipo de planificación territorial y de esta manera poder evitar implantar usos de suelos agresivos sobre los territorios más sensibles.
3. Implementar el modelo de la Ecuación Universal de Perdida de Suelos en un SIG (Sistemas de Información Geográfica), ya que nos permite generar y manipular gran cantidad de datos para el análisis y proceso de erosión hídrica en grandes unidades de territorio, llegando a estimar las tasas de erosión hídrica promedio anual y detectando las zonas más sensibles y los usos del suelo o coberturas vegetales que ayudan a controlar este riesgo.
4. Difundir los resultados de la presente tesis a nivel de gobiernos locales, comunidades campesinas, diversas instituciones públicas y privadas, a fin de informar y concientizar sobre los efectos de los usos de suelos inadecuados en zonas potencialmente desfavorables por la erosión hídrica.
5. Elaborar un plan de restauración y conservación de la cobertura vegetal mediante el enriquecimiento forestal con la instalación de especies de rápido crecimiento (heliófilas nativas), manejo silvopastoril y programas de reforestación que constituyen obras biológicas de restauración.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anaya.1977. Manual de conservación del suelo y del agua. Colegio de postgraduados. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo. México.
- Arnoldus, H.M. 1980. "Una Aproximación del Factor de Lluvias en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo". En De Boodt. M. and Gabriels, D. (Eds.). "Evaluación de la Erosión". John Wileyand Sons, Inc.Chichester, West Sussex, Uk.
- Bagio, Bárbara, Bertol, Ildgardis, Wolschick, Neuro Hilton, Schneiders, Danieli Y Santos, Maria. (2017). Erosión de agua en diferentes longitudes de pendiente en suelo desnudo. Revista Brasileira de Ciência do Solo , 41 , e0160132. Epub 09 de marzo de 2017.
- Barríos R., A.G. 2000. "Distribución Espacial del factor LS (RUSLE) usando procedimientos SIG compatibles con IDRISI. Aplicación en una cuenca andina. 2000". Revista Forestal Venezolana 44(1): 57-63.
- Barríos, A. y Quiñóñez, E. 2000. "Evaluación de la erosión utilizando el modelo R (USLE) con apoyo de SIG. Aplicación en una microcuenca de los Andes Venezolanos". Rev. Forest. Ven. Trujillo, Venezuela. 7 p.
- Becerra Moreno, A. 2005. Escorrentía, erosión y conservación de suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. México. 375p.
- Beretta-Blanco, Andrés, & Carrasco-Letelier, Leonidas. (2017). USLE/RUSLE K-factors allocated through a linear mixed model for Uruguayan soils. Ciencia e investigación agraria, 44(1), 100-112.
- Bidegain, Marió Pérez, Piaggio, Juan Manuel, Baethgen, Walter, & García-préchac, Fernando. (2017). Actualización del factor erosividad de la lluvia en Uruguay. Agrociencia Uruguay, 21(2), 91-99.

- Botelho, Thiago Ha, Jácomo, Simone De A., Almeida, Rherison Ts, Y Griebeler, Nori P .. (2018). Uso de la tecnología usle / gis para identificar los criterios para el monitoreo de las pérdidas de la erosión del suelo en áreas agrícolas. *Engenharia Agrícola* , 38 (1), 13-21.
- Cândido, Bernardo Moreira, Silva, Marx Leandro Naves, Curi, Nilton, & Batista, Pedro Velloso Gomes. (2014). Erosão hídrica pós-plantio em florestas de eucalipto na bacia do rio Paraná, no leste do Mato Grosso do Sul. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 38(5), 1565-1575.
- Carrasco-Letelier, Leonidas, & Beretta-Blanco, Andrés. (2017). Soil erosion by water estimated for 99 Uruguayan basins. *Ciencia e investigación agraria*, 44(2), 184-194.
- Cassol, Elemar Antonino, Silva, Tiago Stumpf Da, Eltz, Flávio Luiz Foletto, Y Levien, Renato. (2018) Erodibilidad del suelo en condiciones de precipitación natural como el factor K de la ecuación universal de pérdida de suelo y la aplicación del nomograma para un ultisol subtropical. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* , 42 , e0170262. Epub 14 de mayo de 2018.
- Castillo P, E. 1989. Proyecciones de los principales indicadores forestales de México a largo plazo (1988-2012), subsecretaría forestal, Cooperación México-Finlandia. SARH. México.
- Castillo V, M. 2004. La estrategia temática para la protección del suelo: Un instrumento para el uso sostenible de los suelos en Europa. (En línea) *Revista Ecosistemas* 13(1):17-19. Consultado 07 ene 2010. Disponible en <http://www.aeet.org/ecosistemas>.
- Catie, (2003): "Caracterización y Diagnóstico de las Subcuencas Tributarias del Sistema Hidroeléctrico Birrís". Informe de consultoría presentado a la Junta Administrativa del Servicio Eléctrico de Cartago (JASEC). Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 33 p.

- CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres, MX). 2010. Erosión. (en línea) consultado 28 ene 2010. Disponible en www.cenapred.gob.mx
- Clérici Y García (2000): "Aplicaciones del Modelo USLE Para Estimar Pérdidas de Suelo por Erosión Hídrica en Uruguay y la Región Sur de la Cuenca de la Plata" Investigación de tesis.
- Cisneros, J. M. et al. 2012. Erosión hídrica, principios y técnicas de manejo. Ed. UniRío. Córdoba, Argentina. 290 p.
- Colter, H. (2010): "Estimación de Pérdida de Suelo por Erosión Hídrica en la Microcuenca de Presa Madín, México".
- CONAFOR-SEMARNAT (Comisión Nacional Forestal, MX). 2004. Manual de protección, restauración y conservación de suelos forestales. 2a edición. Jalisco. México. 298 p.
- Corma. (12 de Abril de 2008). Corporación Chilena de la Madera. Obtenido de <http://www.chilepaisforestal.cl/Profesores/>
- Cortés T, H. 1991. Caracterización de la erosividad de la lluvia en México utilizando métodos multivariados. Tesis M.C. México, MX: Colegio de postgraduados. Montecillo.168 pp.
- Cotler, H. 2007. La conservación de suelos, un asunto de interés público. Gaceta ecológica. INE-SEMARNAT, Número 83, Abril-Junio. México 13-15p
- Dissmeyer, G. And Foster, G., (1984). "A guide for predicting sheet and rill erosion on forestland". USDA Forest Service. R8-TP 6.
- Dumas, (2012), "Riesgo de erosión hídrica en la cuenca hidrográfica del mundo".
- Eltaif, G. M. (2011). Aplicación de un modelo matemático para predecir y reducción de la erosión eólica en tierras áridas no protegidas. Chapingo vol.17, 1-4.

FAO (Food and Agriculture Organization). 1988. An intern on the state of forest resorcesing the developing countries, forest resource division, Forestry department, Roma. Italia.

FAO (Food and Agriculture Organization). 1993. Erosión de Suelos en América Latina. Santiago, de Chile.

FAO (Food and Agriculture Organization). 1995. Evaluación de los recursos forestales en países tropicales. Estudios FAO Montes. Roma. Italia.

FAO (Food and Agriculture Organization). 1997. State of the world Forest in 1997. Roma. Italia.

FAO, (1997). "Medición sobre el terreno de la Erosión Hídrica del Suelo y de la Escorrentía" Boletín N° 68 de Suelos de la FAO.

FAO, 1984. "Metodología Provisional Para la Evaluación de la Degradación de los Suelos". Roma, Italy. 86 p. FAO, Food and Agriculture Organization. (1992). "Erosión de suelos en América Latina". Consultado: 3/11/2014. Disponible en línea: <http://www.fao.org/docrep/T2351S/T2351S00.HTM#contents>.

Farfán, (2002): "Determinación del índice de erosividad pluvial (R) de la ecuación universal de pérdida de suelos, para dos estaciones pluviográficas de la VII región del Maule". Chile: Investigación de tesis de ingeniería forestal.

Fernández L, E. 1943. Conservación de suelos. Tesis lic. Escuela Nacional de Agricultura. Departamento de irrigación. México. 120 p.

Ferrán Conill, A (2007) "Modelización de la erosión hídrica en los suelos. El enfoque de sistemas en las CTMA". Didáctica Ambiental S.L. ISSN: 1698-5893.

Ferreira, Luis Miguel; Y en el caso de las mujeres. Aplicación de un modelo de erosión hídrica del suelo a escala de la unidad de intervención forestal con

la utilización de un Sistema de Información Geográfica. Rev. de Ciencias Agrícolas , Lisboa, v. 38, n. 4, p. 587-597, diez. 2015.

Feyen et. al. 2007. Biodiversidad y conservación y conservación de bosques nativos. Congreso Internacional sobre Desarrollo, Medio Ambiente y

Figuroa et al, A. A. (1991). Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión. Secretaría de Agricultura y de Recursos Hidráulicos. Secretaría de Agricultura y de Recursos Hidráulicos. Colegio de Postgraduados (CREZAS). México., 40-45.

Flores J, F. 1993. Evaluación de impactos de la erosión hídrica durante el proceso de arrime con motogrúa. Tesis lic. DICIFO-UACH, Chapingo. México. 112p.

Flores. (2013) "Aproximación de riesgo por erosión hídrica aplicando un sistema de información geográfica en la subcuenca del Shambillo, distrito de Padre Abad". Trabajo de investigación de Tesis.

Fournier, F. (1972) "Conservación de suelos". Naturaleza y medio Ambiente. Serie Nº 5, Consejo de Europa, Estrasburgo.

García Préchac, Fernando, Terra, José, Sawchik, Jorge, & PérezBidegain, Mario. (2017). Mejora de las estimaciones con USLE/RUSLE empleando resultados de parcelas de escurrimiento para considerar el efecto del agua del suelo. Agrociencia Uruguay, 21(2), 100-104.

Graça, CH, Passig, FH, Kelniar, AR, Piza, MA, Carvalho, KQ, y Arantes, EJ. (2015). Análisis multitemporal de la pérdida estimada de suelo para la cuenca del Mourão, Paraná - Brasil. Brazilian Journal of Biology , 75 (4, Supl. 2), 120-130. Epub 27 de noviembre de 2015.

Guanca, (2010): "Determinación de la Erosión Hídrica de los Suelos de la Cuenca del Río Pilcomayo – Salta".

- Gvozdenovich, Jorge Jesus, Bidegain, Marío Pérez, Barbagelata, Pedro, & Novelli, Leonardo. (2017). Validación del generador climático cligen para predecir la erosión hídrica en el norte de la región pampeana, Argentina. *Ciencia del suelo*, 35(1), 105-116.
- Huerta Fernández, P., & Loli Figueroa, O. (2014). Erosión hídrica en la cuenca alta del Moche. *Ecología Aplicada*, 1-4.
- Icona (1988): "Mapas de estados erosivos de la Cuenca Hidrográfica del Segura"0. Madrid. España.
- José L. Caballero, W. A. (2015). Determinación del Desgaste por Erosión en Materiales Recubiertos. *Información Tecnológica* vol.26, 1-4.
- L. Mármol, J. D. (2007). Evaluación de la erosión hídrica en la microcuenca de las quebradas Roja y Colorada en el municipio Valmore Rodríguez, estado Zulia. *Fac. Agron. (LUZ)*, 1-3.
- Lima, Pedro Luiz Terra, Silva, Marx Leandro Naves, Curi, Nilton, y Quinton, John. (2014). Pérdida de suelo por erosión hídrica en áreas bajo cultivo de maíz y judías intercaladas y monocultivos. *Ciência e Agrotecnologia* , 38 (2), 129-139.
- Mancassola, Victoria, Hill, Mariana, Clérici, Carlos, & Sánchez, Gabriela. (2016). Estimación de la relación de pérdida de suelo (RPS) para cultivos hortícolas en el sur de Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 20(2), 95-108.
- Mancilla, G., (1995). "Erosión bajo cubiertas vegetales en la Cordillera de Nahuelbuta (VIII Región)". Tesis Ingeniería Forestal, Departamento de Silvicultura, Universidad de Chile, 177 p.
- Mancilla, G.A. (2008): "Apuntes docentes: Uso de la ecuación universal de pérdidas de suelo en el campo forestal". Facultad de ciencias forestales. Departamento de Silvicultura. Universidad de Chile.

María Alejandrina et al, E. M. (2011). Mapa Nacional de Erosión Potencial. Agroasemex, S.A., 1-4.

María F. Rodríguez, A. F. (2004). Sistemas de Información geográfica En La Evaluación De La Erosión Hídrica En Badajoz España. Agronomía Tropical, 1-3.

Marisela et al, M. G. (2003). Comparación de métodos en la estimación de erosión hídrica. Investigaciones Geográficas, 1-3.

Medeiros, Grasiela de Oliveira Rodrigues, Giarolla, Angélica, Sampaio, Gilvan, y Marinho, Mara de Andrade. (2016). Estimaciones de Tasas Anuales de Pérdida de Suelos en el Estado de São Paulo, Brasil. Revista Brasileira de Ciência do Solo , 40 , e0150497. Epub 19 de diciembre de 2016.

Medeiros, Grasiela de Oliveira Rodrigues, Giarolla, Angélica, Sampaio, Gilvan, y Marinho, Mara de Andrade. (2016). Diagnóstico de la erosión acelerada del suelo en el estado de São Paulo (Brasil) según la Metodología del índice Soil Lifetime. Revista Brasileira de Ciência do Solo , 40 , e0150498. Epub 19 de diciembre de 2016.

Mendoza, I. C. (2013). Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica en microcuenca de presa Madín, México. Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 1-3.

Miqueloni, Daniela Popim, Gianello, Eduardo Mônaco, & Bueno, Célia Regina Paes. (2015). Variabilidade espacial de atributos e perda de solo na definição de zonas de manejo. Pesquisa Agropecuária Tropical, 45(1), 18-28.

Morgan, R.P.C. (1997). "Erosión y Conservación del Suelo", edi. Mundi Prensa.

Pidwirny, M. (2006). Physical Geography. Obtenido de <http://www.physicalgeography.net/fundamentals/10w.html>

- Pizarro et al, R. M. (2010). Evaluación de la Erosión Hídrica Superficial en Zonas Áridas y Semiáridas de Chile Central. Aqua-LAC, 1-3.
- Ramírez, L. (2010): "Estimación de la Pérdida de Suelos por Erosión Hídrica en la Cuenca del Juramento-Salta". Tesina Profesional. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta. Argentina. 104 p.
- Ramos, (2001): "Modelamiento Ambiental Para Análisis de Susceptibilidad Erosiva en la Cuenca Media y Alta del Río Cañete y Determinación del Mapa de Erosión Lima – Perú".
- Recursos Naturales: Sostenibilidad a múltiples niveles y escalas. Bolivia. 327 p.
- Regoyos, D. (2003). Metodología para la evaluación de la erosión hídrica con modelos informáticos. Aplicación del modelo geowepp a dos pequeñas cuencas en Madrid. Universidad Politécnica de Madrid, 70-80.
- Renard, K.G, Foster, G.R. et al. (1997): "Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)." US Department of Agriculture, Washington, DC, vol.703.
- Rodríguez, M (2007):"Potencialidad de las técnicas SIG para la gestión medioambiental: aplicación al estudio de la erosión" Instituto de Investigación y Formación Agraria y pesquera.
- Rodríguez, M.F (2004): "Sistemas de Información Geográfica en la evaluación de la erosión hídrica en Badajoz –España aplicando la metodología USLE". Revista de Agronomía Tropical Vol. 54(4): ISSN: 391-409.
- Schick, Jefferson, Bertol, Ildgardis, Cogo, Neroli Pedro, & González, Antonio Paz. (2014). Erodibilidade de um Cambissolo Húmico sob chuva natural. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 38(6), 1906-1917.
- SENAMHI, (2010): "Guía Práctica para la Creación de Mapas Temáticos Utilizando la Variable Altitud". Folleto de divulgación 007-2010.

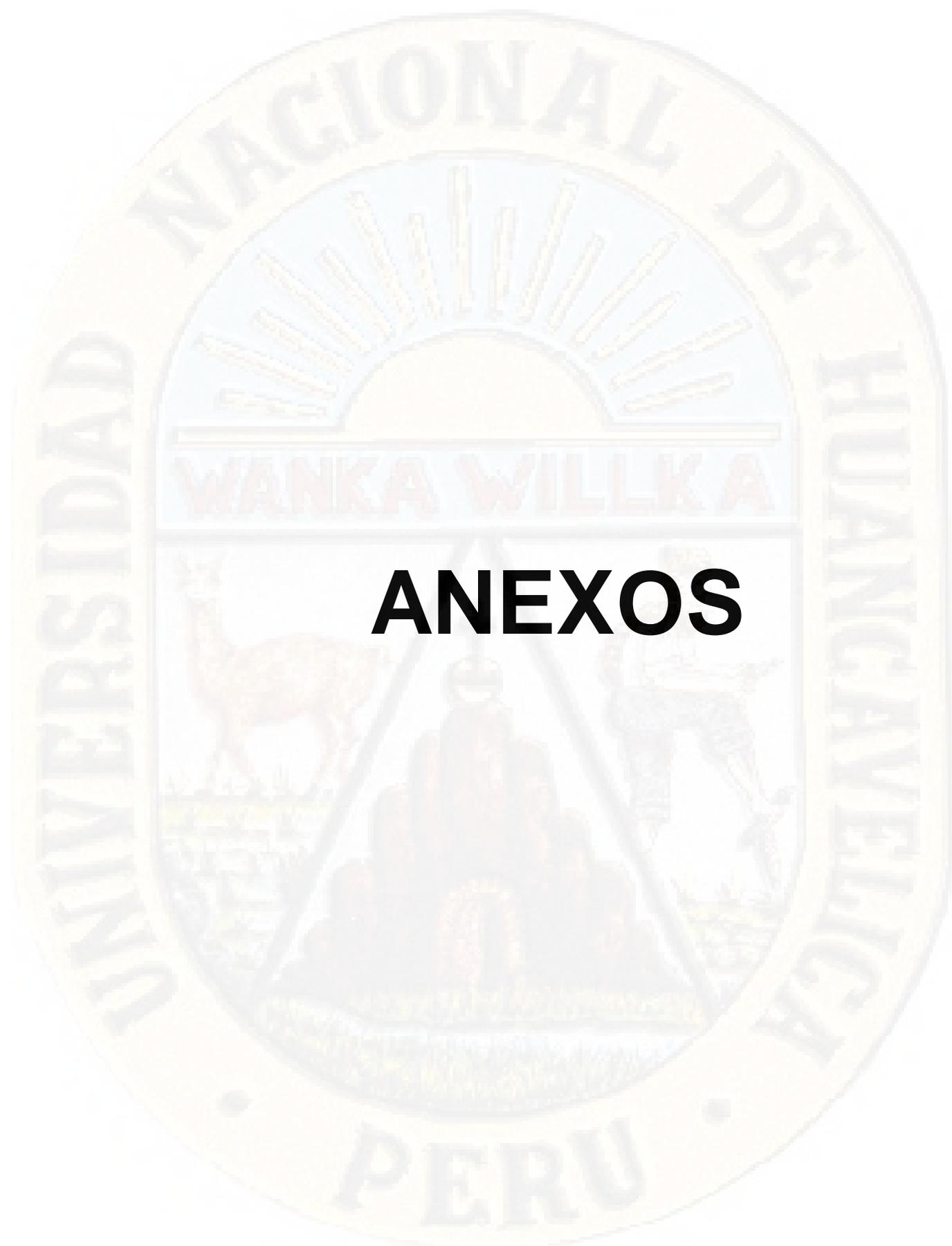
- Silva, Bárbara Pereira Christofaro, Silva, Marx Leandro Naves, Batista, Pedro Velloso Gomes, Pontes, Lucas Machado, Araújo, Elías Frank y Curi, Nilton. (2016). Pérdidas de suelo y agua en plantaciones de eucalipto y bosques naturales y determinación de los factores USLE en una subcuenca piloto en Río Grande do Sul, Brasil. *Ciência e Agrotecnologia* , 40 (4), 432-442.
- Silva, Mayesse Aparecida da, Silva, Marx Leandro Naves, Curi, Nilton, Oliveira, Anna Hoffmann, Avanzi, Junior Cesar, y Norton, Lloyd Darrell. (2014). Predicción del riesgo de erosión hídrica en plantaciones de eucalipto. *Ciência e Agrotecnologia* , 38 (2), 160-172.
- Suárez, M. C. (2012). Estimación de la erosión hídrica actual y potencial con RUSLE3D en la provincia de Castellón (España). *FCA UNCUIYO*, 1-2.
- Valladares, F. (2004) en el libro “Ecología del Bosque Mediterráneo en un Mundo Cambiante”, en el capítulo 11 denominado “Interacciones entre la vegetación y la erosión hídrica”
- Valvassori, Morgana Levati, & Back, Álvaro José. (2014). Evaluación del potencial de erosión de las lluvias en Urussanga, Carolina del Sur, de 1980 a 2012. *Journal of Soil Science* , 38 (3), 1011-1019.
- Valentin, C., J. Poesen, and Y. Li. 2005. Gully erosion: Impacts factors and control. *Catena* 63: 132-153.
- Vásquez V, A., & Tapia M, M. (2011). Cuantificación de la erosión hídrica superficial en las laderas semiáridas de la sierra peruana. *Revista Ingeniería UC*, Vol 18, 1-4.
- Vazques y Tapia, (2002): “Cuantificación de la Erosión Hídrica Superficial en las Laderas Semiáridas de la Sierra Peruana”.

Velásquez, S. (2008): "Erosión de Suelos Utilizando la EUPSR (RUSLE)". Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Cantón de Coronado, Costa Rica. 54 p.

Wei, TX, y Liu, YH. (2016). El factor de gestión de cobertura (C) en los bosques de las áreas montañosas de la meseta de Loess en el norte de China. *Phyton (Buenos Aires)* , 85 (2), 305-313.

Wischmeier, W. y. (1978). Predicting Rainfall Erosion Losses. Agriculture Handbook. United States Department of Agriculture. Science and Education Administration, 40-58.

Wischmeier, W.H. & Smith, D.D. (1978): "Predicting rainfall erosion losses. A guide for conservation planning". U.S. Department of Agriculture. Manual 537



ANEXOS

ANEXO 1: Matriz de consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVOS GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLE	MÉTODOS Y TÉCNICAS
¿Cuál es el nivel de variación de la erosión hídrica de la subcuenca del río Ichu período 2013 y 2017?	Estimar el nivel de variación de la erosión hídrica de la subcuenca del río Ichu período 2013 y 2017.	Existe una variación catastrófica en la escala del nivel de la erosión hídrica de la subcuenca del río Ichu período 2013 y 2017.	Nivel de erosión hídrica Subcuenca del río Ichu período 2013 y 2017	TIPO: No experimental
				NIVEL: Descriptivo
				MÉTODO: Científico- Descriptivo
ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS	ESPECÍFICOS		DISEÑO: Transversal
¿Cuál será la erosividad de la lluvia de la subcuenca del río Ichu para los años 2013 y 2017?	Cuantificar la erosividad de la lluvia de la subcuenca del río Ichu para los años 2013 y 2017.	La escala de erosividad producto de la lluvia es muy alto en la subcuenca del río Ichu incremento en los años 2013 y 2017.		POBLACIÓN Y MUESTRA
¿Cuál será la erodabilidad del suelo de la subcuenca del río Ichu?	Estimar la erodabilidad del suelo de la subcuenca del río Ichu.	La escala de erodabilidad del suelo de la subcuenca del río Ichu es alto.		Población
¿Cuál será la longitud y pendiente de la subcuenca del río Ichu?	Determinar la longitud y pendiente de la subcuenca del río Ichu.	La longitud y pendiente de la subcuenca del río Ichu fueron factores muy altos.	15,410.0000 km ² cuenca del Mantaro	
¿Cuáles serán los cambios de la erosión hídrica producto de la cobertura vegetal para el año 2013 y 2017?	Determinar los cambios de la erosión hídrica producto de la cobertura vegetal para el año 2013 y 2017	Los cambios de erosión hídrica fue producto de la cobertura vegetal para el año 2013 y 2017.	Muestra	
			1,383.17 Km ² subcuenca del río Ichu.	
			Muestreo	
			No probabilístico	

ANEXO 2: Analisis de suelo de la subsuenca del río Ichu



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMÍA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTA AGUAS Y FERTILIZANTES



ANÁLISIS DE SUELO: CARACTERIZACIÓN

SOLICITANTE : ADIEL ALVAREZ TICLLASUCA
 DEPARTAMENTO : HUANCVELICA
 PROVINCIA : HUANCVELICA

FECHA : 22/02/18

N° DE MUESTRA	DIST.	REF.	COORD.		SERIE	SIMB	CLASIFICACION NATURAL		pH (1:1)	C.E (1:1) dS/m	CaCO3 %	C.O %	P ppm	K ppm	ANÁLISIS MECÁNICO			CLASE TEXTURAL
			X Latitud	Y Longitud			SOIL TAXONOMY	FAO							ARENA %	LIMO %	ARCILLA %	
Muestra 1	Acoria	C.P Huancahuanca	513169.149	8546788.909	HUANCA	HC	USTOCRPTANDICO	CAMBISOL	5.06	0.24	0.00	4.04	7.3	5.4	50	36	14	Fr
Muestra 2	Acoria	CP. Ichupata	522462.235	8596337.423	ICHUPATA	IC	CRIORIENT	REGOSOL	7.89	017	26.20	1.52	3.0	186	48	34	18	Fr.A
Muestra 3	Hvca	CP Santa Barbara	501890.097	8563542.095	ASTOBAMBA	AS	CRIEMBREPTANDICO	PARAMOSOL	7.89	0.17	26.20	11.4	3.0	186	66	32	2	Fr.A

A=Arena; A.Fr=Arena Franca; Fr.A=Franco Arenoso; Fr.L= Franco Limoso; L=Limoso; Fr.Ar.A= Franco Arcillo Limoso; Fr.AR=Franco Arcilloso; Fr.Ar.L=Franco Arcillo Limoso; Ar.A.= Arcillo Limoso; Ar= Arcillosos

[Signature]
 Dr. Sady García Bendejú
 Jefe del Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMÍA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTA AGUAS Y FERTILIZANTES



ANÁLISIS DE SUELO: CARACTERIZACIÓN

SOLICITANTE : ADIEL ALVAREZ TICLLASUCA
 DEPARTAMENTO : HUANCVELICA
 PROVINCIA : HUANCVELICA

FECHA : 22/02/18

N° DE MUESTRA	DIST.	REF.	COORD.		SERIE	SIMB	CLASIFICACION NATURAL		pH (1:1)	C.E (1:1) dS/m	CaCO3 %	C.O %	P ppm	K ppm	ANÁLISIS MECÁNICO			CLASE TEXTURAL
			X Latitud	Y Longitud			SOIL TAXONOMY	FAO							ARENA %	LIMO %	ARCILLA %	
Muestra 4	Santa Ana	C.P. Astobamba	489983.823	8565484.246	CHOCLOCOCHA	CH	CRIOFIBRIST	HISTOSOL	7.91	0.15	34.80	43,4	16.2	153	72	15	13	Fr.A
Muestra 5	Yauli	CP. Accocancha	518228.151	8591810.34	SAN JUAN	SJ	USTORTENT	REGOSOL	7.87	0.25	62.5	22	4.0	144	38	40	22	Fr.A
Muestra 6	Palca	CP. Badopampa	500772.9824	8586101.965	MARCAS	MA	HAPLUSTEL	KASTANOZEN	6.27	0.18	0.00	2,37	16.3	191	44	20	20	Fr

A=Arena; A.Fr=Arena Franca; Fr.A=Franco Arenoso; Fr.L= Franco Limoso; L=Limoso; Fr.Ar.A= Franco Arcillo Limoso; Fr.Ar= Franco Arcilloso; Fr.Ar.L=Franco Arcillo Limoso; Ar.A.= Arcillo Limoso; Ar= Arcillosos



Dr. Sady García Bendezú
 Jefe del Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMÍA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTA AGUAS Y FERTILIZANTES



ANÁLISIS DE SUELO: CARACTERIZACIÓN

SOLICITANTE : ADIEL ALVAREZ TICLLASUCA
 DEPARTAMENTO : HUANCVELICA
 PROVINCIA : HUANCVELICA

FECHA : 22/02/18

N° DE MUESTRA	DIST.	REF.	COORD.		SERIE	SIMB	CLASIFICACION NATURAL		pH (1:1)	C.E (1:1) dS/m	CaCO3 %	C.O %	P ppm	K ppm	ANÁLISIS MECÁNICO			CLASE TEXTURAL
			X	Y			SOIL TAXONOMY	FAO							ARENA %	LIMO %	ARCILLA %	
			Latitud	Longitud														
Muestra 7	Ascensión	C.P Ranracancha	493099.6945	8583723.4659	PACOCOCHA	PH	CRIOFUVENT	FLUVISOL	8.14	0.13	16.70	2,37	16.3	83	68	28	4	Fr.A
Muestra 8	Ascensión	CP. Chayhua Puquio	497220.616	8567813.8683	TOTAL	TO	USTIFUVENT	FLUVISOL	5.41	0.04	0.00	4,32	15.4	75	78	20	2	Fr
Muestra 9	Mariscal Cáceres	Dist. Mariscal Cáceres	507185.082	8612315.59	YANAPAMPA	YA	CRIOCREPT	PARAMOSOL	8.16	0.12	20.50	4,32	1.7	104	50	42	8	Fr.A

A=Arena; A.Fr=Arena Franca; Fr.A=Franco Arenoso; Fr.L= Franco Limoso; L=Limoso; Fr.Ar.A= Franco Arcillo Limoso; Fr.AR=Franco Arcilloso; Fr.Ar.L=Franco Arcillo Limoso; Ar.A.= Arcillo Limoso; Ar= Arcillosos


 Dr. Sady García Bendejú
 Jefe del Laboratorio

ANEXO 3: Precipitación media anual del año 2013 y 2017

Datos de precipitación media anual del año 2013

ID	Latitud	Longitud	Altitud	Departamento	Provincia	Distrito	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Precipitación Media Anual
1	496081	8587162	3860	HUANCAVELCA	HUANCAVELICA	ASCENCION	169	216	216	61	23	19	10	33	35	81	31	191	1085
2	530574	8564844	3860	HUANCAVELCA	ANGARAES	LIRCAY	147	128	128	24	33	12	11	25	14	46	29	176	775
3	492255	8550852	4547	HUANCAVELCA	CASTROVIRREYNA	CHOCLOCOCHA	213	191	191	64	107	11	29	26	65	92	82	251	1322
4	474289	8613783	3450	HUANCAVELCA	HUANCAVELICA	VILCA	114	110	110	34	37	41	29	52	28	101	47	89	793
5	547712	8579073	3236	HUANCAVELCA	ACOBAMBA	ACOBAMBA	139	90	90	13	20	5	7	43	8	46	29	138	629
6	490037	8627984	3880	HUANCAVELCA	HUANCAVELICA	PILCHACA	169	145	145	43	46	25	0	23	25	79	64	139	906

Datos de precipitación media anual del año 2017

ID	Latitud	Longitud	Altitud	Departamento	Provincia	Distrito	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	Precipitación Media Anual
1	496081	8587162	3860	HUANCAVELCA	HUANCAVELICA	ASCENCION	274	214	214	61	55	10	14	6	67	92	77	101	1186
2	530574	8564844	3860	HUANCAVELCA	ANGARAES	LIRCAY	223	128	128	97	63	8	16	10	57	67	41	76	913
3	492255	8550852	4547	HUANCAVELCA	CASTROVIRREYNA	CHOCLOCOCHA	356	285	285	64	96	7	18	4	51	109	83	130	1489
4	474289	8613783	3450	HUANCAVELCA	HUANCAVELICA	VILCA	290	110	110	154	69	7	0	2	56	78	49	123	1048
5	547712	8579073	3236	HUANCAVELCA	ACOBAMBA	ACOBAMBA	139	90	90	67	43	9	5	5	39	44	21	60	613
6	490037	8627984	3880	HUANCAVELCA	HUANCAVELICA	PILCHACA	240	129	129	67	35	4	4	18	55	28	41	94	845

ANEXO 4: Validación de instrumentos

Precipitación media anual por estación meteorológica (mm) - 2013

EST	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	P MEDIA ANUAL
1	169	216	216	61	23	19	10	33	35	81	31	191	1085
2	147	128	128	24	33	12	11	25	14	46	29	176	775
3	213	191	191	64	107	11	29	26	65	92	82	251	1322
4	114	110	110	34	37	41	29	52	28	101	47	89	793
5	139	90	90	13	20	5	7	43	8	46	29	138	629
6	169	145	145	43	46	25	0	23	25	79	64	139	906

Fuente: SENAMHI

Índice modificado de founier y valores del factor de R de las estaciones (Mj.mm/ha.año) – 2013

EST	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	FACTOR R
1	26	43	43	3	0	0	0	1	1	6	1	34	160
2	20	15	15	1	1	0	0	1	0	2	1	28	84
3	42	34	34	4	10	0	1	1	4	8	6	58	201
4	12	11	11	1	1	2	1	3	1	9	2	7	61
5	18	8	8	0	0	0	0	2	0	2	1	18	56
6	26	19	19	2	2	1	0	0	1	6	4	18	98

Fuente: Elaboración propia


 ROMERO TABOADA Yojana
 INGENIERO EN
 CIP 11

Precipitación media anual por estación meteorológica (mm) - 2017

EST	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	P MEDIA ANUAL
1	274	214	214	61	55	10	14	6	67	92	77	101	1186
2	223	128	128	97	63	8	16	10	57	67	41	76	913
3	356	285	285	64	96	7	18	4	51	109	83	130	1489
4	290	110	110	154	69	7	0	2	56	78	49	123	1048
5	139	90	90	67	43	9	5	5	39	44	21	60	613
6	240	129	129	67	35	4	4	18	55	28	41	94	845

Fuente: Elaboración propia

Índice modificado de founier y valores del factor de R de las estaciones (MJ ha-1 mm-1 año-1) - 2017

EST	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	FACTOR R
1	63	39	39	3	3	0	0	0	4	7	5	9	171
2	42	14	14	8	3	0	0	0	3	4	1	5	94
3	107	69	69	3	8	0	0	0	2	10	6	14	288
4	71	10	10	20	4	0	0	0	3	5	2	13	138
5	16	7	7	4	2	0	0	0	1	2	0	3	42
6	49	14	14	4	1	0	0	0	3	1	1	8	94

Fuente: Elaboración propia



ROMERO TABOADA, Yojana
 ING. AMBIENTAL
 CIP N° 176753

Fichas de muestreo de suelo

FICHA 001			
Datos Generales: Provincia de Huancavelica, Distrito de Santa Ana, Centro Poblado: Astobamba.			
Datum: WGS 84	Coordenadas UTM: 8565484.246	Norte: 489983.823	Este:
Número de muestras: 4		Fecha: 05 / 12 / 2017	
Serie: Castrovirreyna		de Fotografía: 01 – 02	
Clasificación taxonómica: CRIOFIBRIST (SOIL TAXONOMY) HISTOSOL (FAO)		Nombre de Calicata: Hv – 04	
Ecología: PARAMO			
Clima: pp(mm), 600 - 800		T°C: 12 – 15	
Vegetación o cultivo: Presencia de cultivos de pastos y papa en las laderas y presencia de herbáceas.			
Material Parental: Aluvial - Areniscas, lutitas, conglomerados y lavas acidas.			
Fisiografía: Relieve Montañoso Estructural erosional		Permeabilidad: (D) Moderada	
Distribución de raíces: Presenta una profundidad de 30 cm, profundidad efectiva superficial (25-50cm)			
Pendiente: Comprende el rango de 25 – 50 %		Drenaje: (D) Moderada	
Altitud: 3932 m.s.n.m.			
Napa Freática: No visible		Erosión: Presenta erosión ligera (1).	
Humedad:		Notas adicionales: Suelo superficial y pedregoso.	



ROMERO TABOADA, Yojana
ING. AMBIENTAL
CIP N° 17000

FICHA 002

Datos Generales: Provincia de Huancavelica, Distrito De Huancavelica, Centro Poblado: Santa Barbara.	
Datum: WGS 84	Coordenadas UTM: Norte: 8583542.095 Este: 501890.097
Número de muestras: 3	Fecha: 07/12/17
Serie: ASTOBAMBA	de Fotografía: 03-04
Clasificación taxonómica: CRIEMBREPANDICO (SOIL TAXONOMY) PARAMOSOL (FAO)	Nombre de Calicata: Hv - 05
Ecología: paramo muy húmedo - subalpino tropical	
Clima: pp(mm), 700 - 800	T°C: 03 - 06
Vegetación o cultivo: Presencia de herbáceas y pastos naturales.	
Material Parental: Coluvial - Brechas y derrames andesíticos, vinculados a aparatos volcánicos	
Fisiografía: Altiplanicie Lacustre	Permeabilidad: (C) Moderadamente lenta
Distribución de raíces: Presenta una profundidad de 30 cm, profundidad efectiva superficial (25 - 50 cm)	
Pendiente: Comprende el rango de 25 - 50 %	Drenaje: (E) Imperfecto
Altitud: 4407 m.s.n.m.	
Napa Freática: Mayor a 100 cm	Erosión: Presenta erosión ligera (1).
Humedad:	Notas adicionales: Suelo con turberas y bofedales alrededor de punto muestreado.



[Signature]
 ROMERO TABOADA Tojano
 ING. AMBIENTAL
 CIP N° 174753

FICHA 003

Datos Generales: Provincia de Huancavelica, Distrito de Ascensión, Centro Poblado: Ranracancha		
Datum: WGS 84	Coordenadas UTM: 497220.616	Norte: 8587813.8683 Este:
Número de muestras: 7	Fecha: 12 / 12 / 2017	
Serie: pacococha	de Fotografía: 05 - 06	
Clasificación taxonómica: USTIFLUVENT (SOIL TAXONOMY) FLUVISOL (FAO)		Nombre de Calicata: HU - 06
Ecología: paramo muy humedo - subalpino tropical.		
Clima: pp (mm): 700 - 800	T°C: 03 - 06	
Vegetación o cultivo: La presencia de cultivos como oca, cebada y habas, en una vista general herbáceas.		
Material Parental: Coluvial - Brechas y derrames andesíticos, vinculados a aparabs volcánicos.		
Fisiografía: Altiplanicie Lacustre	Permeabilidad: (C) Moderadamente Lenta	
Distribución de raíces: Presenta una profundidad de 60 cm, profundidad efectiva moderadamente profundo (50 - 100cm).		
Pendiente: Comprende el rango de 25 - 50 %	Drenaje: (E) Imperfecto	
Altitud: 4116 m.s.n.m.		
Napa Freática: Mayor a 100 cm.	Erosión: Es ligera (1).	
Humedad:	Notas adicionales: Suelos profundos.	



[Signature]
 ROMERO TABOADA, Yojana
 ING. AMBIENTAL
 CIP N° 176753

FICHA 004

Datos Generales: Provincia de Huancavelica, Distrito de Yauli, Centro Poblado: Villa Accocancha .	
Datum: WGS 84	Coordenadas UTM: Norte: 8591810.34 Este: 518228.151
Número de muestras: 5	Fecha: 15 / 12 / 2017
Serie: SAN JUAN	de Fotografía: 07-08
Clasificación taxonómica: USTORTENT (SOIL TAXONOMY) REGOSOL (FAO)	
Ecología: bosque húmedo - montano subtropical	
Clima: pp(mm), 600 - 800	T°C: 06 -10
Vegetación o cultivo: El área presenta cultivos y pastos con espacios naturales.	
Material Parental: Coluvial - Brechas y derrames andesíticos iridicentes vinculados	
Fisiografía: Relieve Montañoso Estructural - erosional	Permeabilidad: (D) Moderada
Distribución de raíces: Presenta una profundidad de mayor a 40 cm, profundidad efectiva superficial (25 - 50 cm).	
Pendiente: Comprende el rango de 25 - 50 %	Drenaje: (D) Moderada
Altitud: 3480 m.s.n.m.	
Napa Freática: No visible	Erosión: Presenta erosión muy ligera (0).
Humedad:	Notas adicionales: Suelo profundo.



Romero Taboada
 ROMERO TABOADA, Yojana
 ING. AMBIENTAL
 CIP N° 116753

FICHA 005	
Datos Generales: Provincia de Huancavelica, Distrito de Palca, Centro Poblado: Puente Badopampa .	
Datum: WGS 84	Coordenadas UTM: Norte: 8598101.965 Este: 500772.9824
Número de muestras: 6	Fecha: 18 / 12 / 2017
Serie: MARCAS	de Fotografía: 09 – 10
Clasificación taxonómica: HAPLUSTEL (SOIL TAXONOMY) KASTANOZEN (FAO)	Nombre de Calicata: Hv – 08
Ecología: bosque húmedo - montano subtropical	
Clima: pp(mm), 600 - 800	T°C: 06 -10
Vegetación o cultivo: El área presenta cultivos y pastos con espacios naturales .	
Material Parental: Coluvial - Calizas y margas brechoides calizas bituminosas; areniscas.	
Fisiografía: Paisaje Montañoso Erosional	Permeabilidad: (C) Moderadamente Lenta
Distribución de raíces: Presenta una profundidad de mayor a 40 cm, profundidad efectiva superficial (25 - 50cm).	
Pendiente: Comprende el rango de 25 – 50 %	Drenaje: (D) Moderado
Altitud: 3543 m.s.n.m.	
Napa Freática: No visible.	Erosión: Presenta erosión muy ligera (0).
Humedad:	Notas adicionales: Suelo profundo, moderadamente pedregoso.




 ROMERO TABOADA, Yojana
 ING. AMBIENTAL
 CIP N° 175753

FICHA 006

Datos Generales: Provincia de Huancavelica, Distrito de Mariscal Cáceres , Centro Poblado: Mariscal Cáceres	
Datum: WGS 84	Coordenadas UTM: Norte: 8612315.59 Este: 507185.082
Número de muestras: 9	Fecha: 18/12/17
Serie: YANAPAMPA	de Fotografía: 11-12
Clasificación taxonómica: USDA (Soil Taxonomy) (2010) - Lithic Cryorthents	Nombre de Calicata: Hv - 09
Ecología: bosque húmedo - montano subtropical	
Clima: pp(mm), 600 - 800	T°C: 06 - 10
Vegetación o cultivo: El área presenta cultivos y pastos como la alfalfa, cebada entre otros.	
Material Parental: Coluvial - Calizas y margas brechoides-calizas bituminosas; areniscas.	
Fisiografía: Relieve Montañoso Estructural - erosional	Permeabilidad: (D) Moderado
Distribución de raíces: Presenta una profundidad de 40 cm, profundidad efectiva superficial (25 - 50 cm)	
Pendiente: Comprende el rango de 25 - 50 %	Drenaje: (D) Moderado
Altitud: 3692 m.s.n.m.	
Napa Freática: No visible.	Erosión: Presenta erosión muy ligera (0).
Humedad:	Notas adicionales: Suelo poco profundo, con alto porcentaje de humedad.



[Signature]
 INGENIERO TABCADA, Yojana
 ING. AMBIENTAL
 SIP N° 175753

FICHA 007			
Datos Generales: Provincia de Huancavelica, Distrito de Ascensión, Centro Poblado de PACOCOCHA			
Datum: WGS 84	Coordenadas UTM: Norte: 497220.616	Este: 8587813.868	
Número de muestras: 8	Fecha: 20/12/17		
Serie: Santa Ana	de Fotografía: 13-14		
Clasificación taxonómica: USTIFLUVENT (SOIL TAXONOMY) FLUVISOL (FAO)		Nombre de Calicata: c- 10	
Ecología: paramo muy húmedo -subalpino subtropical			
Clima: pp (mm): 700 - 800		T°C: 1.5 – 03	
Vegetación o cultivo: Cultivo de Maíz, Cebada, Alverja, Haba, Papa			
Material Parental: Coluvial - Calizas y margas brechoides-calizas bituminosas; areniscas lumaquelos			
Fisiografía: Altiplanicie Estructural		Permeabilidad: (B) Lenta	
Distribución de raíces: Presenta una profundidad de 30 cm, profundidad efectiva superficial (25-50 cm).			
Pendiente: Comprende el rango de 25 – 50 %		Drenaje: (E) – Imperfecto	
Altitud: 4058 m.s.n.m.			
Napa Freática: No visible		Erosión: Es ligera (1).	
Humedad:		Notas adicionales: Suelos arenosos.	





ROMERO TABACADA, Yojana
 ING. AMBIENTAL
 CIP N° 179753

Precipitación media anual por estación meteorológica (mm) - 2013

EST	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	P MEDIA ANUAL
1	169	216	216	61	23	19	10	33	35	81	31	191	1085
2	147	128	128	24	33	12	11	25	14	46	29	176	775
3	213	191	191	64	107	11	29	26	65	92	82	251	1322
4	114	110	110	34	37	41	29	52	28	101	47	89	793
5	139	90	90	13	20	5	7	43	8	46	29	138	629
6	169	145	145	43	46	25	0	23	25	79	64	139	906

Fuente: SENAMHI

Indice modificado de fournier y valores del factor de R de las estaciones (Mj.mm/ha.año) - 2013

EST	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	FACTOR R
1	26	43	43	3	0	0	0	1	1	6	1	34	160
2	20	15	15	1	1	0	0	1	0	2	1	28	84
3	42	34	34	4	10	0	1	1	4	8	6	58	201
4	12	11	11	1	1	2	1	3	1	9	2	7	61
5	18	8	8	0	0	0	0	2	0	2	1	18	56
6	26	19	19	2	2	1	0	0	1	6	4	18	98

Fuente: Elaboración propia




MEDANO CARHUATOMA, Alcides
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 203183

Precipitación media anual por estación meteorológica (mm) - 2017

EST	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	P MEDIA ANUAL
1	274	214	214	61	55	10	14	6	67	92	77	101	1186
2	223	128	128	97	63	8	16	10	57	67	41	76	913
3	356	285	285	64	96	7	18	4	51	109	83	130	1489
4	290	110	110	154	69	7	0	2	56	78	49	123	1048
5	139	90	90	67	43	9	5	5	39	44	21	60	613
6	240	129	129	67	35	4	4	18	55	28	41	94	845

Fuente: Elaboración propia

Índice modificado de founrier y valores del factor de R de las estaciones (MJ ha-1 mm-1 año-1) - 2017

EST	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	FACTOR R
1	63	39	39	3	3	0	0	0	4	7	5	9	171
2	42	14	14	8	3	0	0	0	3	4	1	5	94
3	107	69	69	3	8	0	0	0	2	10	6	14	288
4	71	10	10	20	4	0	0	0	3	5	2	13	138
5	16	7	7	4	2	0	0	0	1	2	0	3	42
6	49	14	14	4	1	0	0	0	3	1	1	8	94

Fuente: Elaboración propia



MERYNO CAROLINA TORRES Alcázar
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N. 203163

Fichas de muestreo de suelo

FICHA 001			
Datos Generales: Provincia de Huancavelica, Distrito de Santa Ana, Centro Poblado: Astobamba.			
Datum: WGS 84	Coordenadas UTM: 8565484.246	Norte: 489983.823	Este:
Número de muestras: 4		Fecha: 05 / 12 / 2017	
Serie: Castrovirreyna		de Fotografía: 01 – 02	
Clasificación taxonómica: CRIOFIBRIST (SOIL TAXONOMY) HISTOSOL (FAO)		Nombre de Calicata: Hv – 04	
Ecología: PARAMO			
Clima: pp(mm), 600 - 800		T°C: 12 – 15	
Vegetación o cultivo: Presencia de cultivos de pastos y papa en las laderas y presencia de herbáceas.			
Material Parental: Aluvial - Areniscas, lutitas, conglomerados y lavas acidas.			
Fisiografía: Relieve Montañoso Estructural erosional		Permeabilidad: (D) Moderada	
Distribución de raíces: Presenta una profundidad de 30 cm, profundidad efectiva superficial (25-50cm)			
Pendiente: Comprende el rango de 25 – 50 %		Drenaje: (D) Moderada	
Altitud: 3932 m.s.n.m.			
Napa Freática: No visible		Erosión: Presenta erosión ligera (1).	
Humedad:		Notas adicionales: Suelo superficial y pedregoso.	



MARTINO CARRERA POMA, Alcedo
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 203183

FICHA 002	
Datos Generales: Provincia de Huancavelica, Distrito De Huancavelica, Centro Poblado: Santa Barbara.	
Datum: WGS 84	Coordenadas UTM: Norte: 8583542.095 Este: 501890.097
Número de muestras: 3	Fecha: 07/12/17
Serie: ASTOBAMBA	de Fotografía: 03-04
Clasificación taxonómica: CRIEMBREPTANDICO (SOIL TAXONOMY) PARAMOSOL (FAO)	Nombre de Calicata: Hv - 05
Ecología: paramo muy húmedo - subalpino tropical	
Clima: pp(mm), 700 - 800	T°C: 03 - 06
Vegetación o cultivo: Presencia de herbáceas y pastos naturales.	
Material Parental: Coluvial - Brechas y derrames andesíticos, vinculados a aparatos volcánicos	
Fisiografía: Altiplanie Lacustre	Permeabilidad: (C) Moderadamente lenta
Distribución de raíces: Presenta una profundidad de 30 cm, profundidad efectiva superficial (25 - 50 cm)	
Pendiente: Comprende el rango de 25 - 50 %	Drenaje: (E) Imperfecto
Altitud: 4407 m.s.n.m.	
Napa Freática: Mayor a 100 cm	Erosión: Presenta erosión ligera (1).
Humedad:	Notas adicionales: Suelo con turberas y bofedales alrededor de punto muestreado.



MORINO CARHON, Alicia
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 203183

FICHA 003	
Datos Generales: Provincia de Huancavelica, Distrito de Ascensión, Centro Poblado: Ranracancha	
Datum: WGS 84	Coordenadas UTM: Norte: 8587813.8683 Este: 497220.616
Número de muestras: 7	Fecha: 12 / 12 / 2017
Serie: pacococha	de Fotografía: 05 - 06
Clasificación taxonómica: USTIFLUVENT (SOIL TAXONOMY) FLUVISOL (FAO)	Nombre de Calicata: HU - 06
Ecología: paramo muy humedo - subalpino tropical.	
Clima: pp (mm): 700 - 800	T°C: 03 - 06
Vegetación o cultivo: La presencia de cultivos como oca, cebada y habas, en una vista general herbáceas.	
Material Parental: Coluvial - Brechas y derrames andesíticos, vinculados a aparabs volcánicos.	
Fisiografía: Altiplanicie Lacustre	Permeabilidad: (C) Moderadamente Lenta
Distribución de raíces: Presenta una profundidad de 60 cm, profundidad efectiva moderadamente profundo (50 - 100cm).	
Pendiente: Comprende el rango de 25 - 50 %	Drenaje: (E) Imperfecto
Altitud: 4116 m.s.n.m.	
Napa Freática: Mayor a 100 cm.	Erosión: Es ligera (1).
Humedad:	Notas adicionales: Suelos profundos.





 MERINO CARRILLO DMA. Acreditado
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 203183

FICHA 004	
Datos Generales: Provincia de Huancavelica, Distrito de Yauli, Centro Poblado: Villa Accocancha .	
Datum: WGS 84	Coordenadas UTM: Norte: 8591810.34 Este: 518228.151
Número de muestras: 5	Fecha: 15 / 12 / 2017
Serie: SAN JUAN	de Fotografía: 07-08
Clasificación taxonómica: USTORTENT (SOIL TAXONOMY) REGOSOL (FAO)	Nombre de Calicata: Hv - 07
Ecología: bosque húmedo - montano subtropical	
Clima: pp(mm), 600 - 800	T°C: 06 - 10
Vegetación o cultivo: El área presenta cultivos y pastos con espacios naturales.	
Material Parental: Coluvial - Brechas y derrames andesíticos iridicentes vinculados	
Fisiografía: Relieve Montañoso Estructural - erosional	Permeabilidad: (D) Moderada
Distribución de raíces: Presenta una profundidad de mayor a 40 cm, profundidad efectiva superficial (25 - 50 cm).	
Pendiente: Comprende el rango de 25 - 50 %	Drenaje: (D) Moderada
Altitud: 3480 m.s.n.m.	
Napa Freática: No visible	Erosión: Presenta erosión muy ligera (0).
Humedad:	Notas adicionales: Suelo profundo.





 MARIO SAN JUAN, Acreditado

 INGENIERO CIVIL

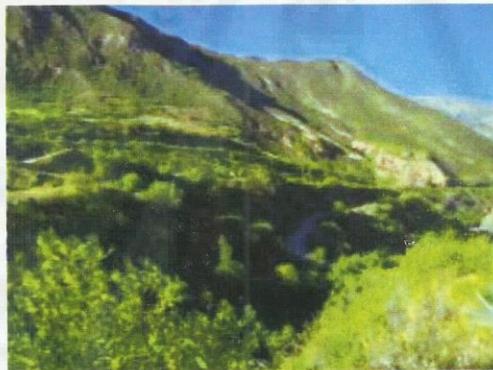
 Reg. CIP N° 203183

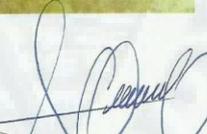
FICHA 005	
Datos Generales: Provincia de Huancavelica, Distrito de Palca, Centro Poblado: Puente Badopampa .	
Datum: WGS 84	Coordenadas UTM: Norte: 8598101.965 Este: 500772.9824
Número de muestras: 6	Fecha: 18 / 12 / 2017
Serie: MARCAS	de Fotografía: 09 - 10
Clasificación taxonómica: HAPLUSTEL (SOIL TAXONOMY) KASTANOZEN (FAO)	Nombre de Calicata: Hv - 08
Ecología: bosque húmedo - montano subtropical	
Clima: pp(mm), 600 - 800	T°C: 06 -10
Vegetación o cultivo: El área presenta cultivos y pastos con espacios naturales .	
Material Parental: Coluvial - Calizas y margas brechoides calizas bituminosas; areniscas.	
Fisiografía: Paisaje Montañoso Estructural-erosional	Permeabilidad: (C) Moderadamente Lenta
Distribución de raíces: Presenta una profundidad de mayor a 40 cm, profundidad efectiva superficial (25 - 50cm).	
Pendiente: Comprende el rango de 25 - 50 %	Drenaje: (D) Moderado
Altitud: 3543 m.s.n.m.	
Napa Freática: No visible.	Erosión: Presenta erosión muy ligera (0).
Humedad:	Notas adicionales: Suelo profundo, moderadamente pedregoso.



BERINO CARHUAPOMA, Alcides
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 203183

FICHA 006	
Datos Generales: Provincia de Huancavelica, Distrito de Mariscal Cáceres , Centro Poblado.: Mariscal Cáceres	
Datum: WGS 84	Coordenadas UTM: Norte: 8612315.59 Este: 507185.082
Número de muestras: 9	Fecha: 18/12/17
Serie: YANAPAMPA	de Fotografía: 11-12
Clasificación taxonómica: USDA (Soil Taxonomy) (2010) - Lithic Cryorthents	Nombre de Calicata: Hv - 09
Ecología: bosque húmedo - montano subtropical	
Clima: pp(mm), 600 - 800	T°C: 06 - 10
Vegetación o cultivo: El área presenta cultivos y pastos como la alfalfa, cebada entre otros.	
Material Parental: Coluvial - Calizas y margas brechoides-calizas bituminosas; areniscas.	
Fisiografía: Relieve Montañoso Estructural - erosional	Permeabilidad: (D) Moderado
Distribución de raíces: Presenta una profundidad de 40 cm, profundidad efectiva superficial (25 - 50 cm)	
Pendiente: Comprende el rango de 25 - 50 %	Drenaje: (D) Moderado
Altitud: 3692 m.s.n.m.	
Napa Freática: No visible.	Erosión: Presenta erosión muy ligera (0).
Humedad:	Notas adicionales: Suelo poco profundo, con alto porcentaje de humedad.





 MERINO SULLA, OMA, AICD 0001
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP N° 203184

FICHA 007			
Datos Generales: Provincia de Huancavelica, Distrito de Ascensión, Centro Poblado de PACOCOCHA			
Datum: WGS 84	Coordenadas UTM: Norte: 497220.616	Este: 8587813.868	
Número de muestras: 8	Fecha: 20/12/17		
Serie: Santa Ana	de Fotografía: 13-14		
Clasificación taxonómica: USTIFLUVENT (SOIL TAXONOMY) FLUVISOL (FAO)		Nombre de Calicata: c- 10	
Ecología: paramo muy húmedo -subalpino subtropical			
Clima: pp (mm): 700 - 800		T°C: 1.5 - 03	
Vegetación o cultivo: Cultivo de Maíz, Cebada, Alverja, Haba, Papa			
Material Parental: Coluvial - Calizas y margas brechoides-calizas bituminosas; areniscas lumaquelos			
Fisiografía: Altiplanicie Estructural		Permeabilidad: (B) Lenta	
Distribución de raíces: Presenta una profundidad de 30 cm, profundidad efectiva superficial (25-50 cm).			
Pendiente: Comprende el rango de 25 - 50 %		Drenaje: (E) - Imperfecto	
Altitud: 4058 m.s.n.m.			
Napa Freática: No visible		Erosión: Es ligera (1).	
Humedad:		Notas adicionales: Suelos arenosos.	



MIRINO CARHUAFUMA, Alcides
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP N° 203183

ANEXO 5: Imagen satelital land SAT 8 ETM+ - 2013

Banda 4

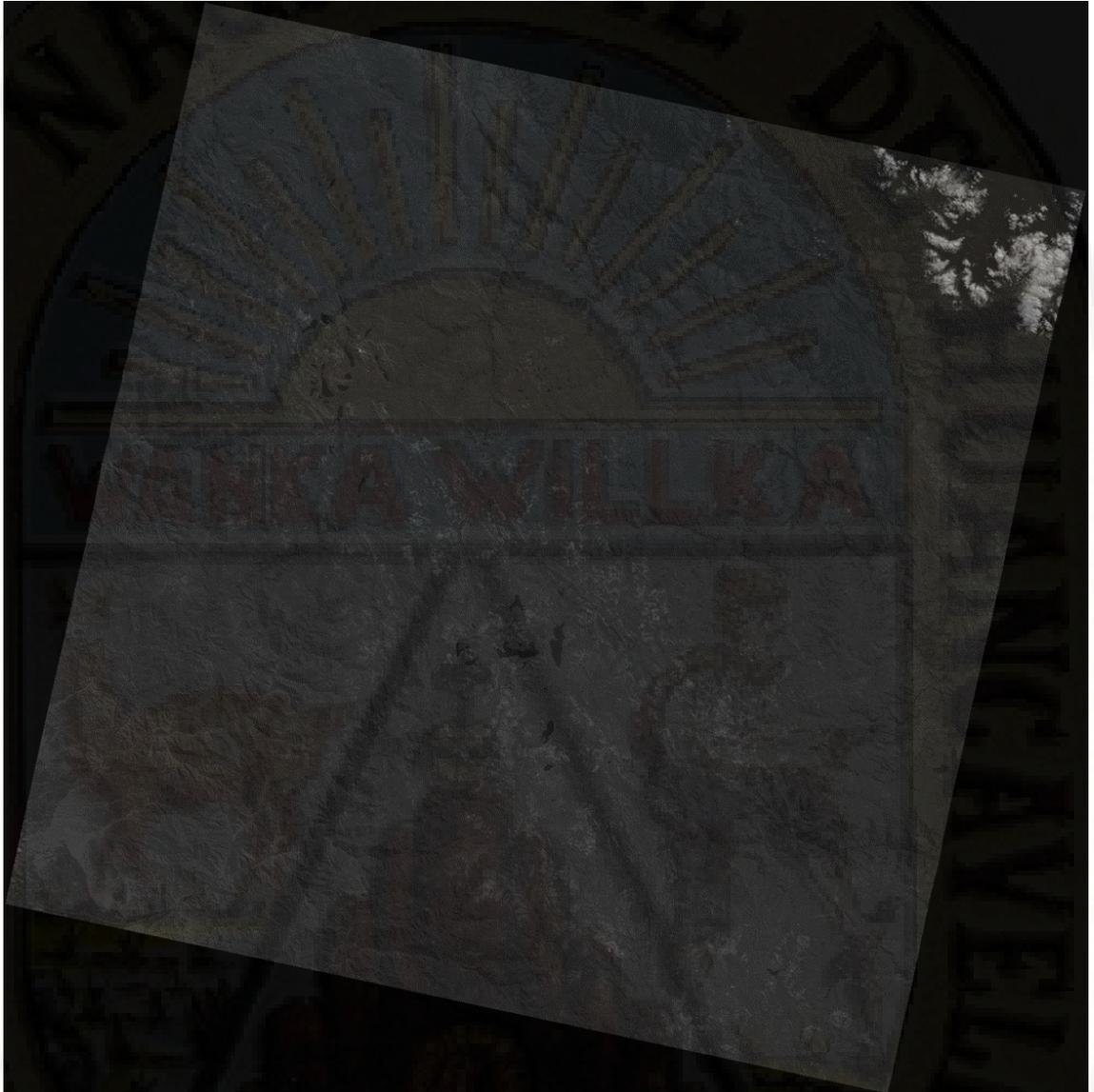


Banda 5

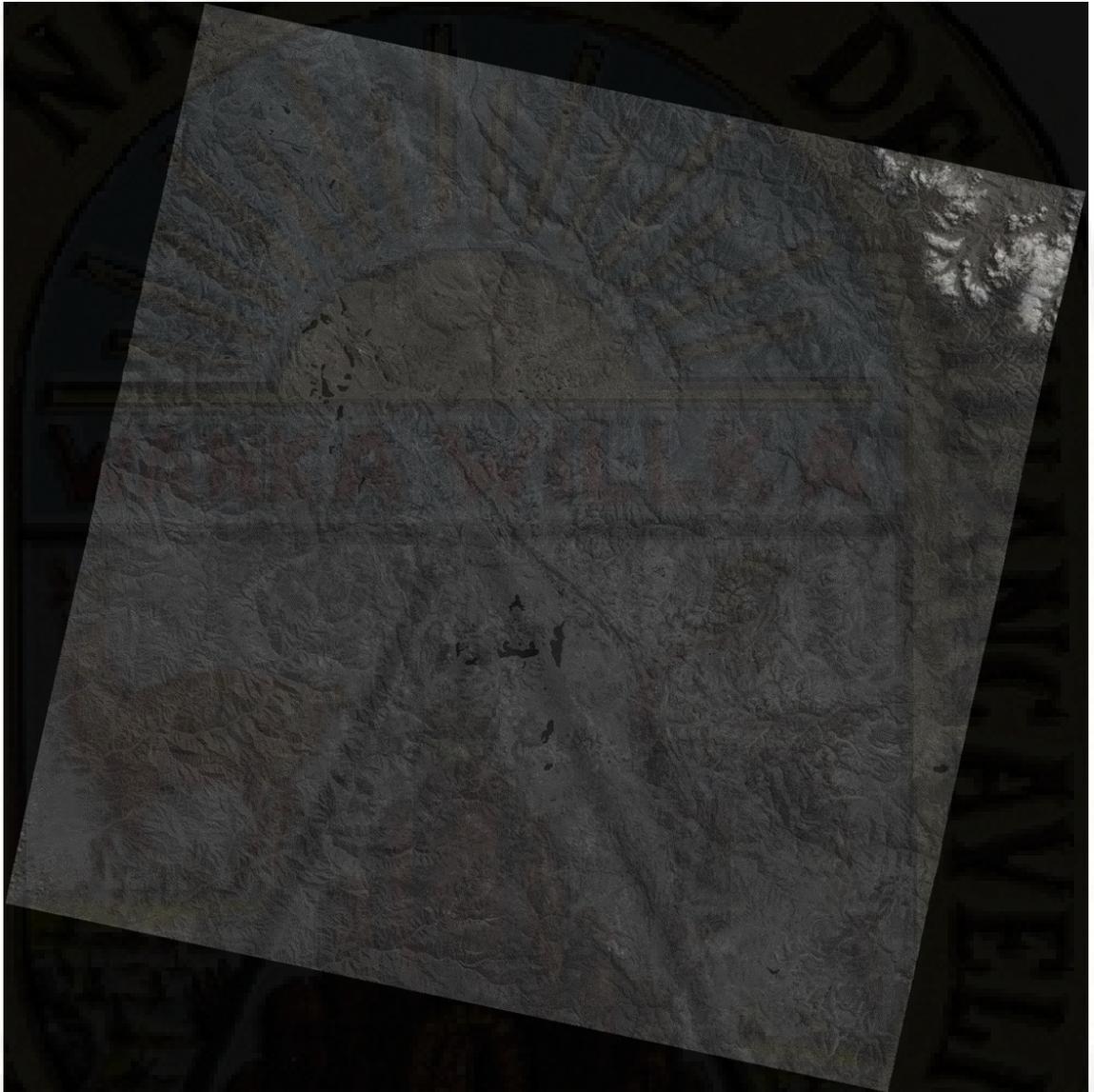


ANEXO 6: Imagen satelital land SAT 8 ETM+ - 2017

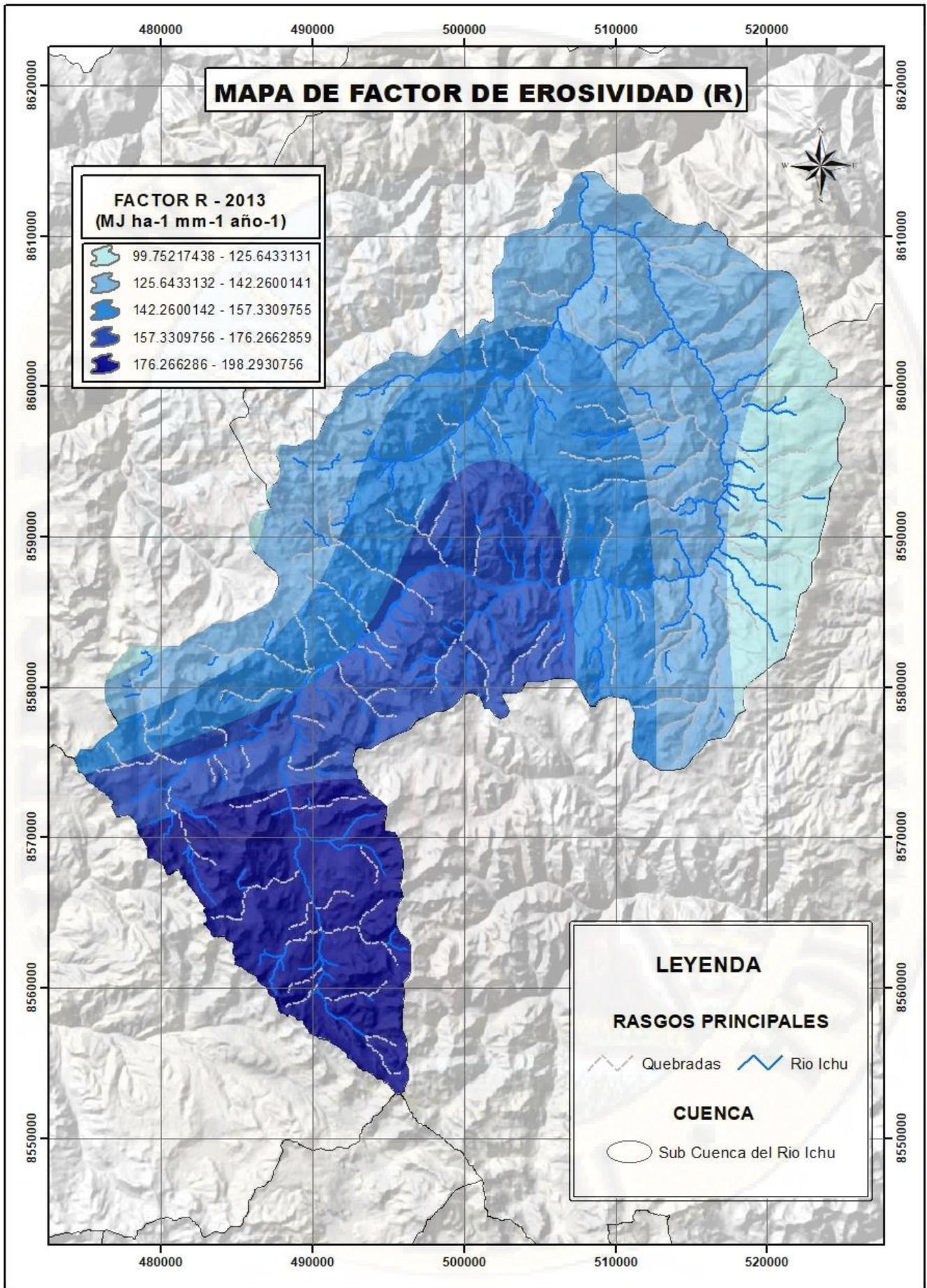
Banda 4

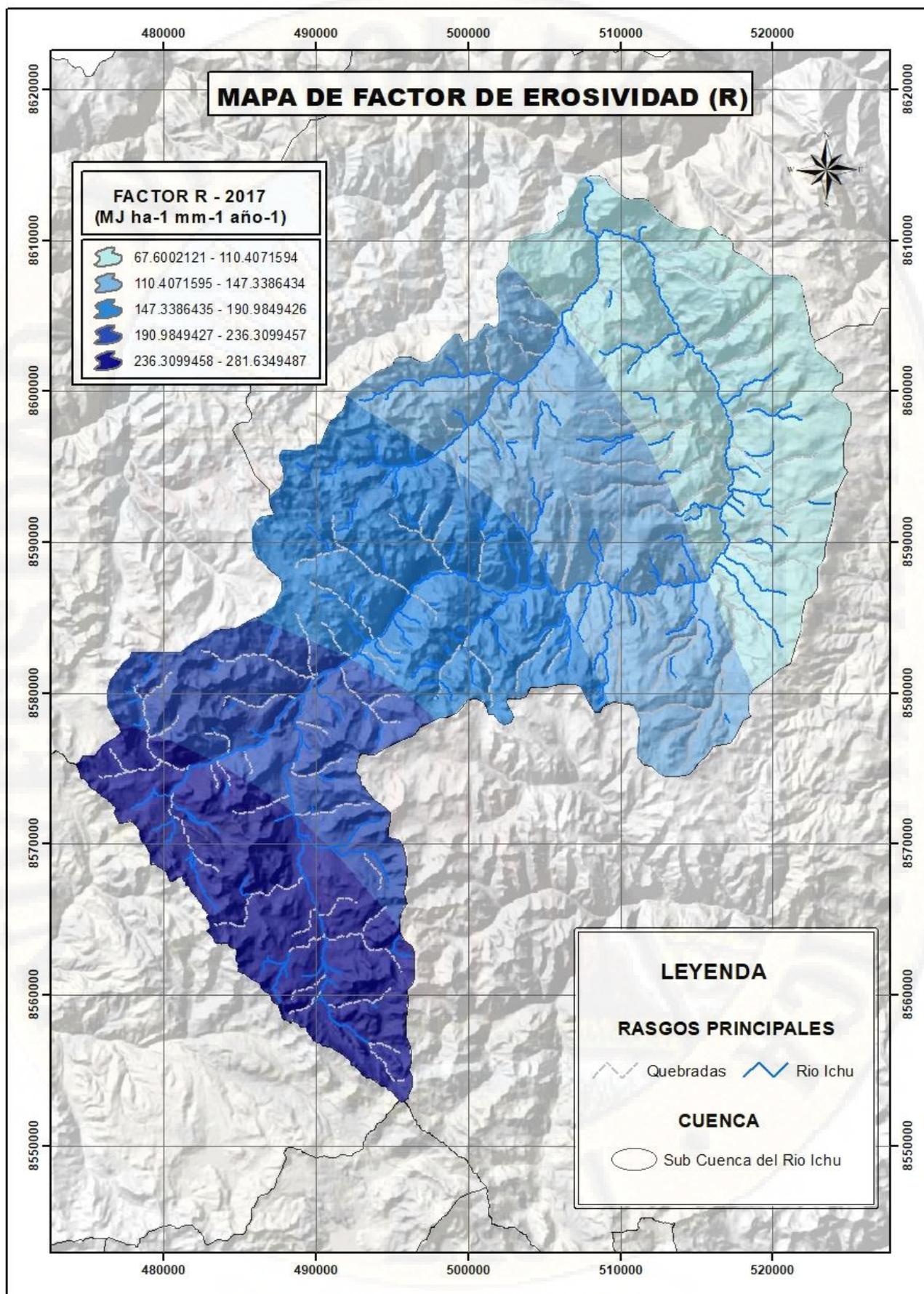


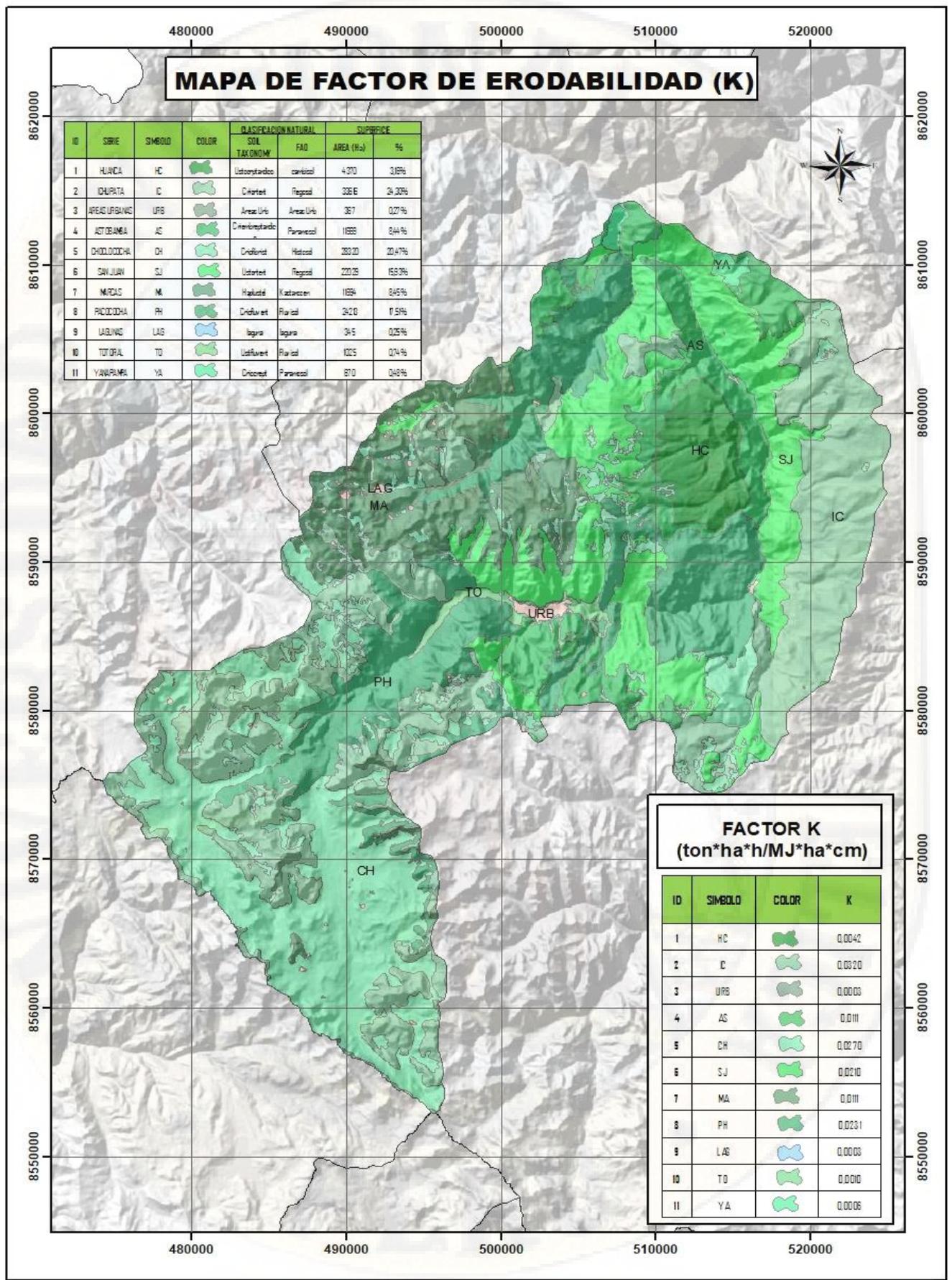
Banda 5

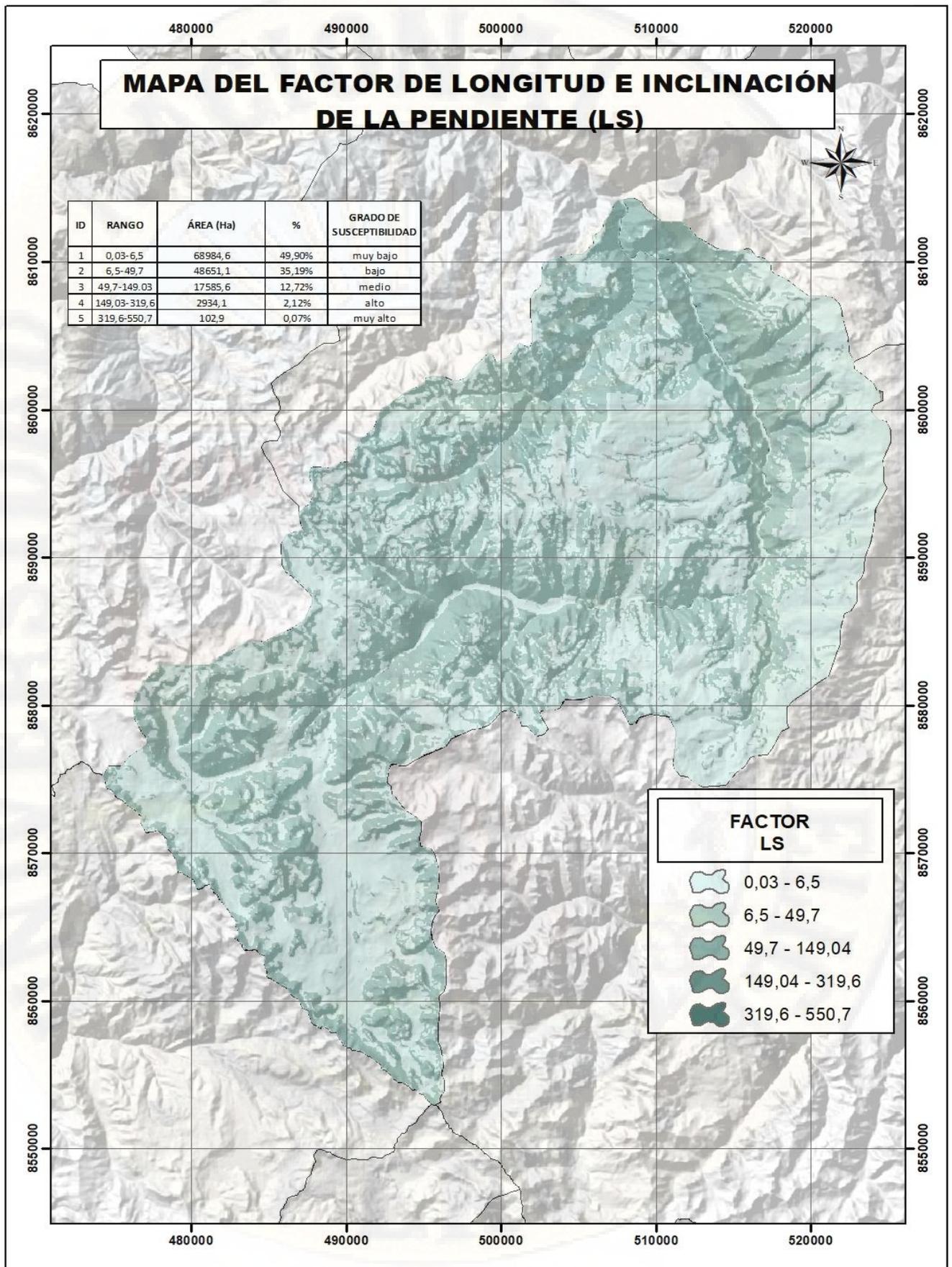


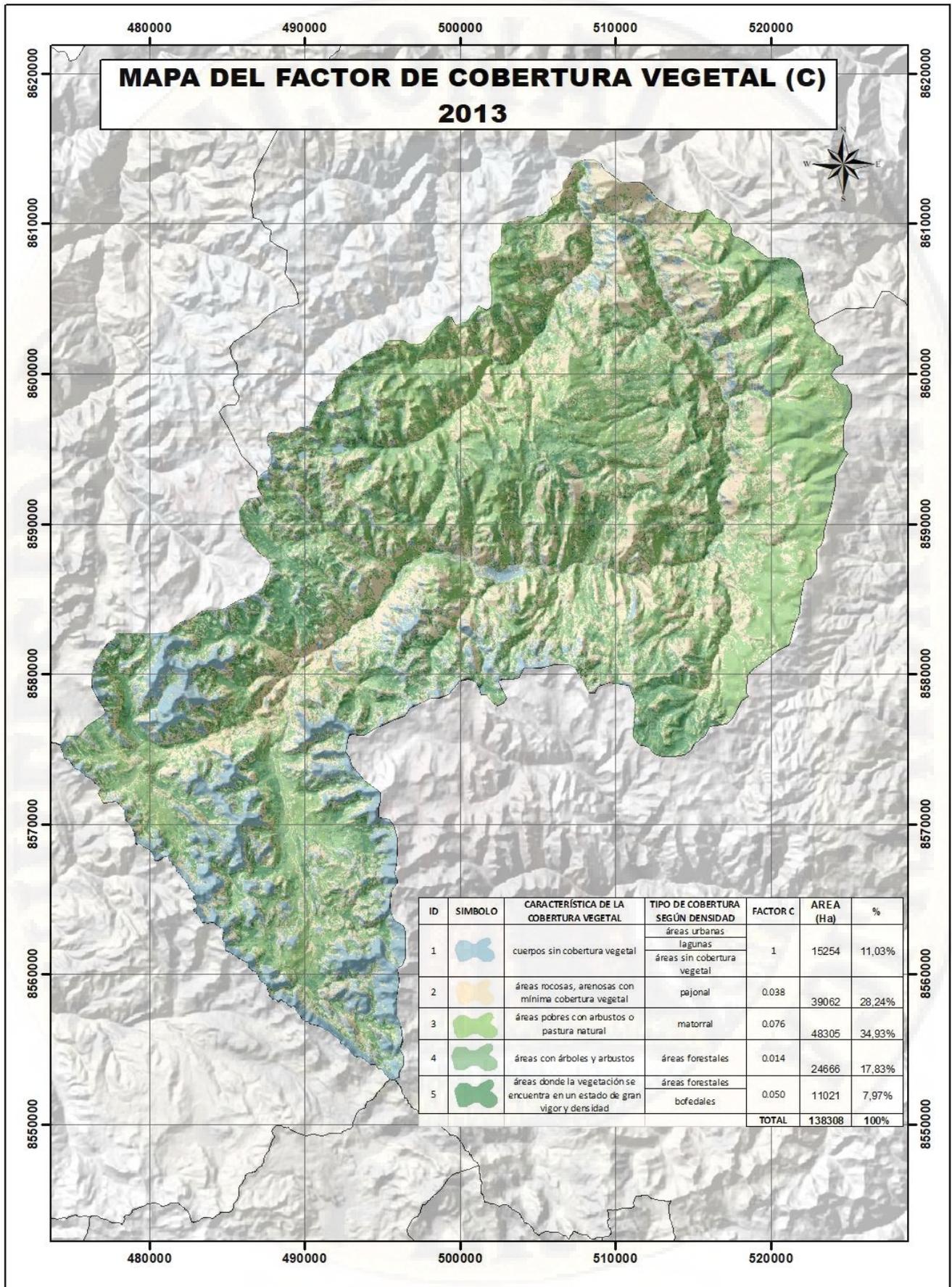
ANEXO 7: Mapas temáticos

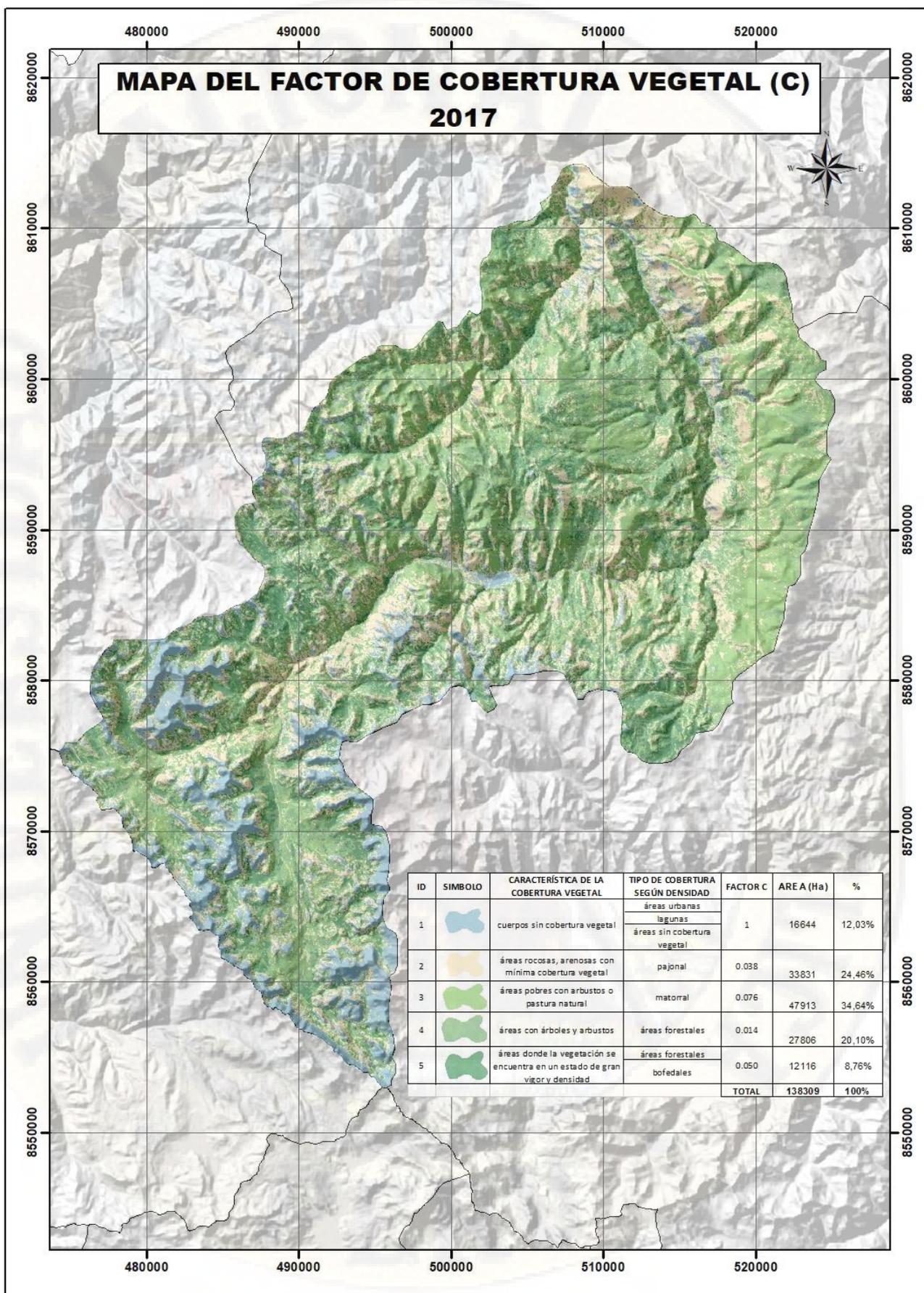


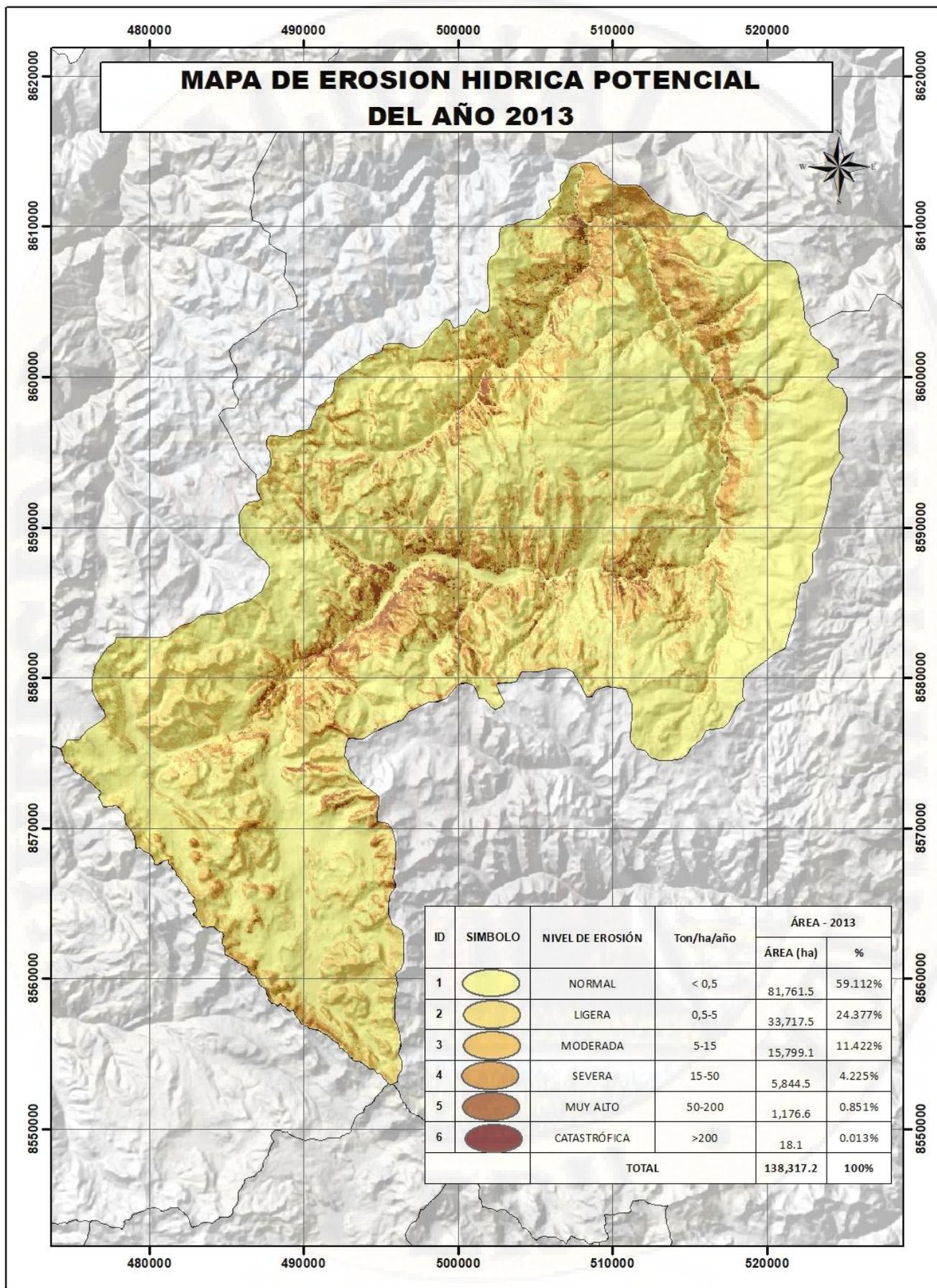


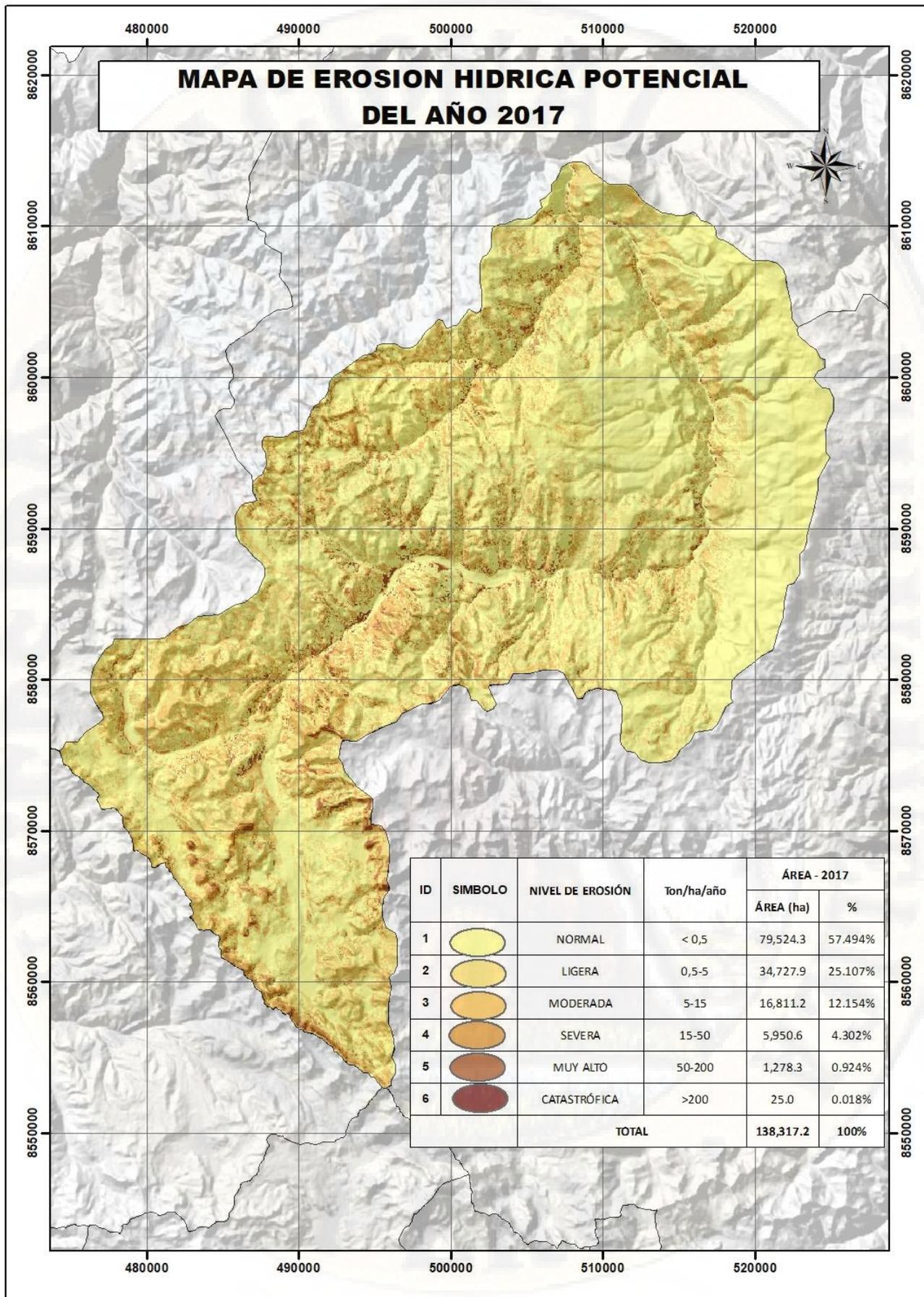












ANEXO 7: Panel fotográfico de las áreas de intervención

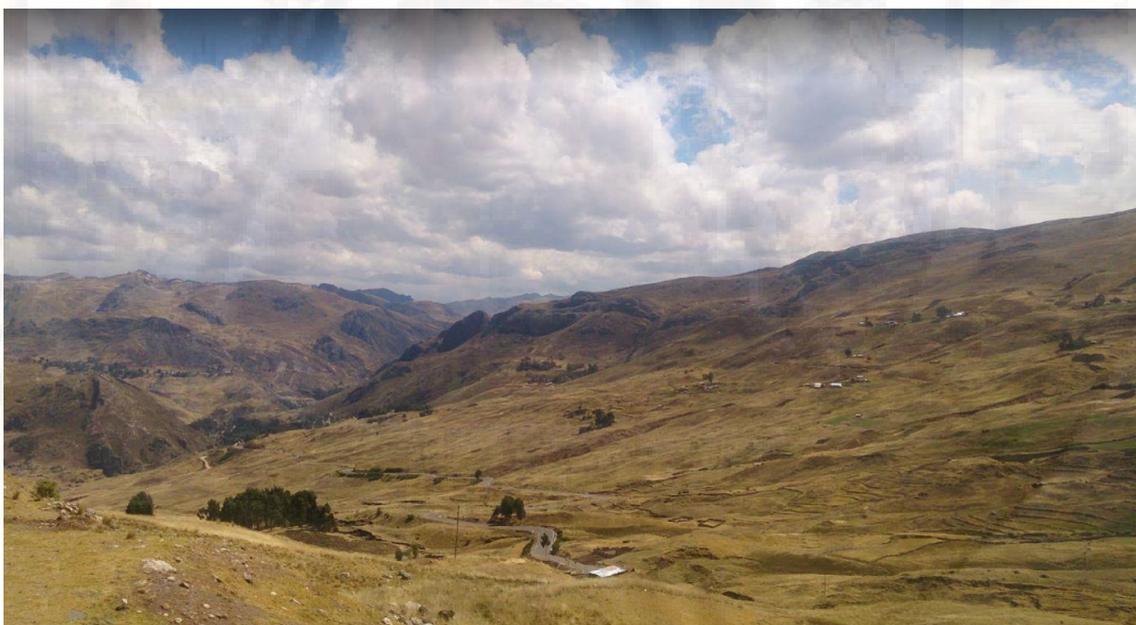
Fotografía 1.

C.P Ccaccasiri – Acoria – Huancavelica



Fotografía 2.

C.P. Sachapite Ccaccasiri – Huancavelica



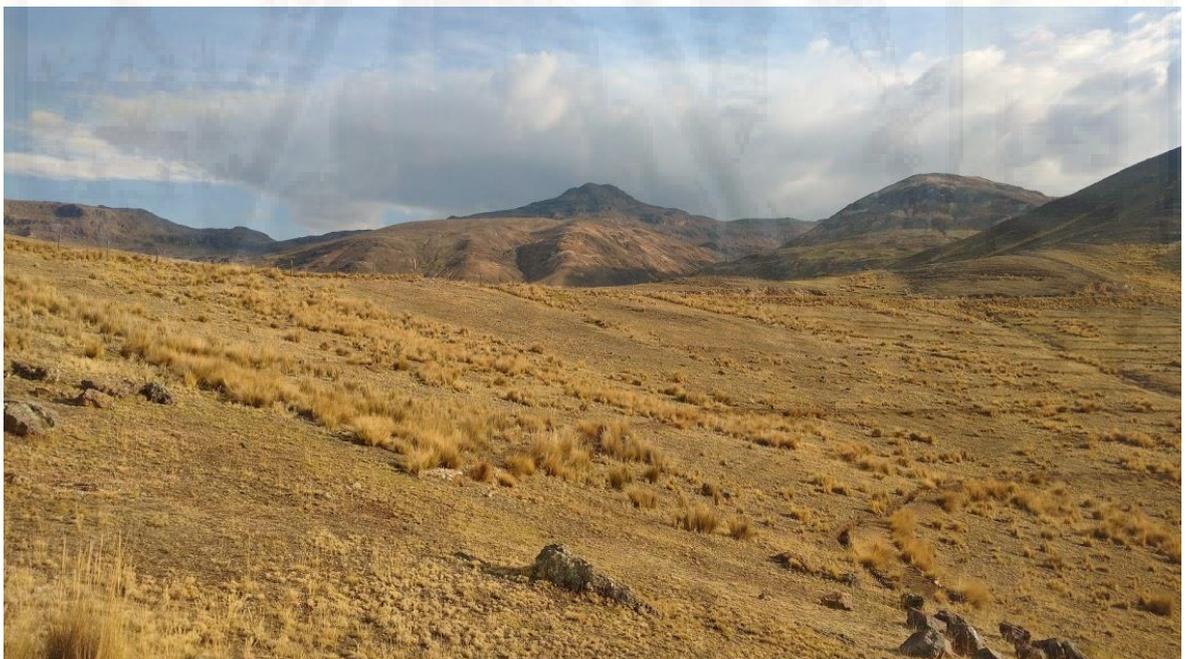
Fotografía 3.

C.P Astobamba – Huancavelica



Fotografía 4.

Paraje Manchaylla –Distrito de Palca - Huancavelica



Fotografía 5.

C.P Pucarumi – Huancavelica



Fotografía 6.

C.P Pueblo Libre – Huancavelica

