

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



T E S I S

**Estimación de los factores que influyen en la pérdida de los suelos mediante
la USLE en la microcuenca San Alberto del distrito de Oxapampa.**

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autor: Bach. Maria Fernanda AGAMA MELENDEZ

Asesor: Dr. Hitlser Juan CASTILLO PAREDES

Oxapampa – Perú – 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



T E S I S

**Estimación de los factores que influyen en la pérdida de los suelos mediante la
USLE en la microcuenca San Alberto del distrito de Oxapampa.**

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Luis Alberto PACHECO PEÑA
PRESIDENTE

Mg. Anderson MARCELO MANRIQUE
MIEMBRO

Mg. Jesús Marino GOMEZ MIGUEL
MIEMBRO

DEDICATORIA

El presente trabajo de tesis está dedicado a todas aquellas personas que con su apoyo, cariño y esfuerzo hicieron posible la culminación de mi carrera y próxima titulación,
gracias.

Mis padres Roger y Milka, hermanos Luis Fernando e Isabel, familiares y amigos por haber estado presentes durante este proceso siendo fortaleza para mi y palabra de aliento en momentos en los que quizá desee dejarlo todo, a cada uno de ellos mil
gracias por todo.

RECONOCIMIENTO

La realización de esta investigación de tesis fue posible, en primer lugar, a la colaboración brindada por la Bach. Ing. Jennyfer Bottger Herrera, quien con su apoyo y ánimos contribuyó en el momento de elaboración del proyecto de investigación, recolección de muestras y culminación de la misma. De igual modo se agradece a los pobladores de la Microcuenca San Alberto por su buena disposición, apoyo y confianza, que sin ellos no se hubiera podido recoger los datos necesarios en este estudio.

Un agradecimiento especial a los docentes, Dr. Hitlser Juan Castillo Paredes por su dirección y ayuda, orientación metodológica y por su continuo estímulo durante todo el proceso hasta al final del mismo, de igual modo al Ing. Yoseph Ojeda Enriquez, especial por su enfoque teórico en el pensamiento crítico lo cual fundamentó el marco conceptual de esta investigación.

Se agradece a todas aquellas personas que en forma directa o indirecta contribuyeron a que este trabajo de investigación pudiera llevarse a cabo.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación busca la estimación real y potencial de la pérdida de suelo mediante la Ecuación Universal de Erosión del Suelo (USLE) y modelamiento geoespacial en la microcuenca San Alberto, aplicando técnicas SIG y teledetección, evaluando la interacción entre los factores principales causantes de la erosión como son: la erosividad de lluvia (factor R), la erodabilidad del suelo (factor K), la topografía (factor LS) y la cobertura vegetal (factor C).

El factor R promedio se calculó para todo el periodo de estudio, caracterizando la fuerza erosiva de la lluvia, obteniéndose valores que oscilan entre 227.85 a 489.48. $Mj*mm/ha*h*año$; el factor K varía entre 0.04035 y 0.04711 $T ha. H/MJ MM ha.$, clasificadamente como Fuertemente erodable, el factor LS se obtuvo directamente del mapa de pendientes, oscilan entre los valores de 0.030 a 255.66 (adimensional) para toda la microcuenca, así mismo, se determinó el factor C, se determinó los valores que oscilan de 0.001 en bosque abierto alto, 0.003 para Bosques fragmentado y Bosques plantados, 0.035 Bosque abierto alto, 0.15 pastos y 0.25 para cultivos en general. Se estimó la erosión potencial de 0.03204 a 3 109.79 $TM/ha/año$ y una erosión real de 0.3204 a 176.3826 $TM/ha/año$ para la microcuenca San Alberto.

Finalmente se logró estimar y validar la pérdida actual de los suelos por acción hídrica de la microcuenca San Alberto mediante la metodología Corine Land Cover seis tipos de cobertura en el nivel 3, como son: Bosque abierto alto (2.81 % de la superficie), Bosque denso alto (51.17%), Bosque fragmentado (8.21 %), Bosques plantados (3.23 %), Cultivos (5.59 %) y Pastos (27.74 %).

Palabras claves: Microcuenca San Alberto, erosión, pérdida de suelo, Corine Land Cover.

ABSTRACT

This research work seeks the real and potential estimation of soil loss through the Universal Soil Erosion Equation (USLE) and geospatial modeling in the San Alberto micro-basin, applying GIS and remote sensing techniques, evaluating the interaction between the main causative factors of erosion such as: rain erosivity (R factor), soil erodibility (K factor), topography (LS factor) and plant cover (C factor).

The average R factor was calculated for the entire study period, characterizing the erosive force of the rain, obtaining values that ranged from 227.85 to 489.48. $\text{Mj} * \text{mm} / \text{ha} * \text{h} * \text{year}$; the K factor varies between 0.04035 and 0.04711 $\text{T ha. H} / \text{MJ MM ha.}$, Classified as Strongly erodable, the LS factor was obtained directly from the slope map, ranging from 0.030 to 255.66 (dimensionless) for the entire micro-basin, likewise, the C factor was determined, it was determined The values range from 0.001 in high open forest, 0.003 for fragmented forests and planted forests, 0.035 high open forest, 0.15 pastures and 0.25 for crops in general. The potential erosion of 0.03204 to 3 109.79 $\text{MT} / \text{ha} / \text{year}$ and a real erosion of 0.3204 to 176.3826 $\text{MT} / \text{ha} / \text{year}$ was estimated for the San Alberto micro-basin.

Finally, it was possible to estimate and validate the current loss of soils due to water action in the San Alberto micro-basin through the Corine Land Cover methodology six types of cover at level 3, such as: High open forest (2.81% of the surface), Forest high dense (51.17%), Fragmented forest (8.21%), Planted forests (3.23%), Crops (5.59%) and Pastures (27.74%).

Keywords: Micro basin, USLE, erosion, loss of soil.

INTRODUCCIÓN

La erosión hídrica es el problema más significativo de degradación del suelo en el mundo, que provoca serios impactos ambientales y altos costos económicos, a través de sus efectos sobre la producción agrícola, la infraestructura y la calidad del agua que, a su vez, afectan la calidad de la población, llegando a amenazar la seguridad alimentaria y representar un serio problema para el desarrollo sustentable (Mejía *et al.*, 2010); además, está asociado a la emisión de carbono orgánico del suelo a la atmósfera en forma de CO₂ y, con ello, al calentamiento global (Zhang *et al.*, 2010).

La erosión del suelo es un proceso natural generalmente lento; sin embargo, actualmente se ha vuelto un problema de deterioro, debido a la aceleración provocada por el hombre, estimando que a lo largo de la historia ha afectado cerca de 2000 millones de hectáreas de tierras en el mundo (Hernández *et al.*; Volk *et al.*, 2010); en los últimos 40 años, cerca de un tercio de las tierras arables del mundo se han perdido por este fenómeno y continúa perdiéndose a tasas mayores de 10 millones de hectáreas por año. Al respecto, se estima que el 80 % de la superficie del planeta presenta este fenómeno (Sánchez *et al.*, 2010) y aproximadamente el 66 % de las tierras cultivables se encuentran degradadas por erosión hídrica (Ramírez e Hincapié, 2009); casos particulares han estimado tasas de pérdida de suelo del orden de las 17 t ha⁻¹ año⁻¹ para USA; de 30 a 40 t ha⁻¹ año⁻¹ para Asia, África y Sudamérica, principalmente por prácticas agrícolas inapropiadas (Metternicht y González, 2005); 5,5 t ha⁻¹ año⁻¹ en tierra arables de Alemania (Volk *et al.*, 2010) y tasas por encima de 50 t ha⁻¹ año⁻¹ para España (Duran *et al.*, 2012), situación que ha llegado al abandono de tierras agrícolas a lo largo de Europa (Bienes *et al.*, 2012).

Similar situación se presenta en la microcuenca San Alberto, ubicada en los valles interandinos de la provincia de Oxapampa, Departamento de Pasco., donde la ampliación

de la frontera agropecuaria, tala ilegal y selectiva, deforestación y quema, han reducido la masa forestal propia de la zona, que según el tipo de bosque denominado Montanos son captadores y reguladores de agua. En la parte baja de la microcuenca San Alberto se encuentra ubicada la ciudad de Oxapampa, con una población aproximada de 18 mil habitantes; la microcuenca San Alberto provee directamente de agua potable para la ciudad de Oxapampa, pero en épocas de alta precipitación el agua tiene alta carga de sedimento, turbiedad que necesariamente necesitan más tratamiento y gasto adicional para la empresa prestadora de del servicio de agua potable.

Ante ello la presente investigación tuvo por objetivo general estimar la pérdida de suelos por erosión hídrica de la microcuenca San Alberto mediante la aplicación de la metodología USLE y de los Sistemas de Información Geográfica, SIG.

ÍNDICE

DEDICATORIA

RECONOCIMIENTO

RESUMEN

ABSTRAC

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE MAPAS

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1. Identificación y determinación del problema	1
1.2. Delimitación de la investigación.....	3
1.2.1. Delimitación espacial	3
1.2.2. Delimitación temporal.....	3
1.2.3. Delimitación conceptual	3
1.3. Formulación del problema	3
1.3.1. Problema principal	3
1.3.2. Problemas específicos	3
1.4. Formulación de Objetivos.....	4

1.4.1. Objetivo general	4
1.4.2. Objetivos específicos.....	4
1.5. Justificación de la investigación	4
1.6. Limitaciones de la investigación.....	5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes de estudio.....	6
2.1.1. Antecedentes internacionales	6
2.1.2. Antecedentes nacionales	6
2.2. Bases teóricas – científicas	9
2.2.1. Erosión Hídrica	9
2.2.2. Variables influyentes en la tasa de erosión.....	10
2.2.3. Agentes erosivos	10
2.2.4. Tipos de erosión hídrica.....	12
2.2.5. Metodologías para cuantificar la erosión hídrica.....	13
2.2.6. Límite de tolerancia de pérdida de suelo.	26
2.3. Definición de términos básicos.....	27
2.3.1. Cuenca Hidrográfica.....	27
2.3.2. Erosión Hídrica	27
2.3.3. Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE).....	28
2.3.4. Sistema de información geográfica (SIG)	28

2.4.	Formulación de Hipótesis	29
2.4.1.	Hipótesis general.....	29
2.4.2.	Hipótesis específicas	29
2.5.	Identificación de Variables	30
2.5.1.	Variables independientes	30
2.5.2.	Variables dependientes.....	30
2.5.3.	Variables Intervinientes	30
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores	31

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN.....	32	
3.1.	Tipo de Investigación.....	32
3.2.	Métodos de Investigación	32
3.3.	Diseño de la Investigación.....	32
3.4.	Población y muestra.....	33
3.4.1.	Población.....	33
3.4.2.	Muestra.....	33
3.5.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	33
3.5.1.	Factor de erosividad (R).....	34
3.5.2.	Factor de erosionabilidad (K).....	36
3.5.3.	Factor de longitud e inclinación de la pendiente (LS)	39
3.5.4.	Factor de cobertura vegetal y uso de suelos (C)	42

3.5.5. Factor de prácticas de conservación de suelos (P)	46
3.5.6. Determinación de los niveles de erosión hídrica real y potencial	46
3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos	48
3.7. Tratamiento estadístico	48

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
4.1. Descripción del trabajo de campo	49
4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados	52
4.2.1. Delimitación de la microcuenca San Alberto	52
4.2.2. Estimación de la erosividad de las Precipitaciones (Factor R)	56
4.2.3. Estimación indirecta de erodabilidad de los suelos (K)	58
4.2.4. Estimación LS o Longitud y gradiente de la pendiente	59
4.2.5. Estimación de la cobertura vegetal o Factor C	60
4.2.6. Estimación de prácticas de conservación de suelos o Factor P	62
4.2.7. Estimación de la Erosión Potencial	62
4.2.8. Estimación de la tasa de erosión hídrica real o Factor A (TM/ha/año) ..	64
4.3. Prueba de Hipótesis	65
4.3.1. Hipótesis	65
4.3.2. Nivel de significancia	65
4.3.3. Estadístico de Prueba	65
4.3.4. Decisión	66

4.4. Discusión de Resultados	66
4.4.1. Erosión hídrica USLE	66

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Nomograma para la determinación de Erodabilidad del suelo (adaptado desde Wischmeier y Smith, 1978).....	21
Figura 2 Nomograma de determinación del factor combinado LS (adaptado desde Wischmeier y Smith, 1978).....	22
Figura 3 Esquema metodológico de la erosión hídrica real y potencial.....	34
Figura 4 Triángulo de permeabilidad de suelos.	38
Figura 5 Nomograma del factor K.....	38
Figura 6 Esquema metodológico para obtener el factor LS.	41
Figura 7 Nomograma del factor LS.....	42
Figura 8 Análisis de correlación (IMF vs Altura).	57

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1 Ubicación política de distrito de Oxapampa.....	53
Mapa 2 Límites de distritos de Oxapampa.	54
Mapa 3 Microcuenca San Alberto.	55
Mapa 4 Erosividad: Factor R.	58
Mapa 5 Erodabilidad: Factor K.	59
Mapa 6 Longitud y gradiente de pendiente: Factor LS.....	60
Mapa 7 Producto obtenido por la metodología Corine Land Cover en la Microcuenca de San Alberto.	61
Mapa 8 Factor C de la microcuenca San Alberto.	62
Mapa 9 Nivel de erosión potencial en la microcuenca San Alberto, Oxapampa, Pasco – Perú. 63	
Mapa 10 Nivel de erosión real en la microcuenca San Alberto, Oxapampa, Pasco - Perú.	64

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Códigos USLE de permeabilidad de suelos.....	19
Tabla 2 Factor LS según grupos de pendientes.....	24
Tabla 3 Valores de cobertura vegetal Factor C.....	25
Tabla 4 Factor P de prácticas de conservación de Wischmeier y Smith, 1978.....	26
Tabla 5 Operacionalización de las variables.....	31
Tabla 6 Clasificación del Factor de Erosividad R.....	36
Tabla 7 Grado de erosionabilidad de acuerdo al factor K.....	39
Tabla 8 Esquema de la Leyenda utilizada según el sistema de clasificación Corine Land Cover adaptada para Perú.	45
Tabla 9 Niveles de la erosión hídrica real y potencial.	47
Tabla 10 Parámetros morfométricos de la microcuenca San Alberto.....	56
Tabla 11 Estaciones Meteorológicas.....	56
Tabla 12 Cobertura o uso actual del suelo de la microcuenca San Alberto.	61
Tabla 13 Niveles de la erosión hídrica potencial en la microcuenca San Alberto.	63
Tabla 14 Niveles de la erosión hídrica real en la microcuenca San Alberto.....	64
Tabla 15 Prueba de T Student.....	66

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Identificación y determinación del problema

El suelo es un recurso no renovable que sirve como soporte de una gran cantidad de actividades productivas esenciales para el hombre, lo que hace que exista un estrecho vínculo de dependencia entre ambos. La degradación de la tierra está ocurriendo en todo el mundo y en casi todos los ecosistemas, este proceso tiene consecuencias severas sobre el medioambiente y el potencial biológico y económico de la tierra para soportar la población y su bienestar.

Uno de los mecanismos más importantes de la degradación de la tierra que envuelve a todo el ecosistema es la erosión del suelo. La degradación de los suelos por erosión hídrica es uno de los procesos más importantes en la pérdida de la capacidad productiva de la tierra, pues en Asia es responsable de la erosión de 440 millones de has, en África de 227 millones de has, en América del Sur de 123 millones de has, en Europa de 115 millones de has y 106 millones en América del Norte.

La pérdida de suelos por erosión hídrica en el Perú es un grave problema ambiental que afecta y pone en riesgo la seguridad hídrica y alimentaria; debido a la variabilidad del clima y el relieve del territorio el fenómeno erosivo muestra características diferenciadas según la región de análisis; siendo más alta la tasa de erosión en la región andina, donde la fuerte pendiente del terreno y lluvia son factores condicionantes para la ocurrencia de dicho fenómeno.

La microcuenca San Alberto ubicada en el distrito y provincia de Oxapampa no es ajena a la erosión hídrica de los suelos, pues las actividades económicas que se desarrollan como la ganadería extensiva, agricultura migratoria y tala indiscriminada, carentes de principios de conservación de suelos, desconocimientos de las potencialidades y limitaciones naturales de los suelos, entre otros, impactan negativamente el ecosistema y contribuyen a la degradación general del medio ambiente.

El presente estudio abordó la problemática de erosión de suelos en la microcuenca San Alberto con la estimación de las tasa de erosión hídrica potencial y actual, utilizando la Ecuación Universal de Perdida de Suelos (USLE, por sus siglas en ingles), y los SIG para la obtención de datos cuantitativos de erosión, la distribución espacial de las mismas y la representación cartográfica de los datos obtenidos, los cuales constituyen una herramienta eficaz para los estudios de este fenómeno, y conllevar a la proposición de medidas y prácticas de conservación de suelos en las zonas de mayor riesgo.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación espacial

El ámbito en el cual se desarrollará la investigación comprende la microcuenca San Alberto, del distrito y provincia de Oxapampa, Región Pasco.

1.2.2. Delimitación temporal

El periodo que comprendió el estudio fue entre los meses de enero a julio del 2019.

1.2.3. Delimitación conceptual

Se estudiará la relación existente entre la precipitación, tipo de suelo, pendiente, cobertura y manejo del suelo para determinar el grado de erosión basado en modelo matemático paramétrico (USLE).

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema principal

¿Cuál es grado de erosión o pérdida del suelo por factores naturales y antrópicos en la microcuenca San Alberto, distrito y provincia de Oxapampa mediante la aplicación Ecuación Universal de Erosión del Suelo para el año 2018?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el grado de erosividad (R) de las precipitaciones en la pérdida de suelos de la microcuenca San Alberto para el año 2018?
- ¿Cuál es el grado de erodabilidad (K) en la pérdida de suelos de la microcuenca San Alberto para el año 2018?
- ¿Cómo influye la longitud e inclinación de la pendiente (LS) en la pérdida de suelos de la microcuenca San Alberto para el año 2018?
- ¿Cómo influye la cobertura vegetal y uso de suelos (C) en la pérdida de suelos de la microcuenca San Alberto para el año 2018?

1.4. Formulación de Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Estimación real y potencial de la pérdida de suelo mediante la Ecuación Universal de Erosión del Suelo (USLE) en la microcuenca San Alberto, distrito y provincia de Oxapampa para el año 2018.

1.4.2. Objetivos específicos

- Estimar el grado de erosividad de las precipitaciones (R) según el índice modificado de Fournier para la microcuenca San Alberto.
- Estimar el grado de erodabilidad del suelo (K) en la microcuenca San Alberto.
- Estimar la influencia de la longitud e inclinación de la pendiente (LS) en la erosión del suelo de la microcuenca San Alberto.
- Estimar influencia de la cobertura vegetal y uso del suelo en la erosión del suelo de la microcuenca San Alberto.

1.5. Justificación de la investigación

La erosión es un fenómeno natural, sin embargo, el deterioro de la cobertura vegetal lo acelera; unos de los causantes más importantes de degradación de la vegetación son los manejos inadecuados del hombre.

El suelo es la base de todos los ecosistemas terrestres por lo que la degradación del suelo debido a la erosión hídrica causa el deterioro ecosistémico. De la misma manera, el suelo posee la mayor reserva de carbono en los ecosistemas terrestres. El arrastre de materia orgánica y minerales provoca la alteración de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos.

La microcuenca San Alberto presenta una extrema reducción de la masa forestal nativa debido a la tala, quema y expansión de la frontera agropecuaria, conllevando a la erosión hídrica de sus suelos y repercutiendo en las cadenas

productivas de este sector. La disminución de la capacidad productiva de los ecosistemas forestales repercute en la captura de carbono de la atmosfera.

Aun no se han realizado estudios puntuales de erosión de suelos en la microcuenca. El desconocimiento de las tasas de erosión de la microcuenca San Alberto, así como el de los sitios que presentan una mayor degradación física por pérdida de suelo puede repercutir en la toma de decisiones desfavorables para el desarrollo sustentable y para la mitigación de los efectos del cambio climático en el área de estudio.

1.6. Limitaciones de la investigación.

Dentro de las limitaciones que pude encontrar, primero serían las de clima, debido a que se nos hizo un poco dificultoso el avance en la recolección de muestras, otro seria la falta de implementación del laboratorio en la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, razón por la cual se tuvieron que hacer los análisis en los laboratorios de Ciencias Agropecuarias y tuvimos que esperar a la disponibilidad de los mismos para poder hacer nuestros análisis.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

2.1.1. Antecedentes internacionales

Flores (2016), para optar el título de Ingeniero Civil, sustentó en la Universidad Nacional Autónoma de México, la tesis titulada: “Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en tres cuencas de la República Mexicana, utilizando la ecuación universal de pérdida de suelo”, cuyo objetivo general fue analizar tres cuencas de la República Mexicana que están bajo diferentes condiciones climáticas, geográficas, fisiográficas y geológicas. La metodología aplicada fue la descrita por la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Zúñiga (2017), para optar grado de Magister Scientie en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas, sustentó en la Universidad Nacional Agraria La Molina, la tesis titulada: “Determinación de la pérdida de suelos en la cuenca aportante del embalse Aguada Blanca-Arequipa, aplicando USLE y técnicas geoespaciales”,

cuyo fin fue hallar la pérdida de suelo, en la cuenca aportante del embalse Aguada Blanca aplicando el método USLE y técnicas geoespaciales. Para determinar los objetivos se establecieron dos modelos, el primero denominado MC78, apropiadamente graduado y basado en el método USLE y NDVI de imagen satelital 2014 y el segundo modelo denominado MC80 basado en USLE e imágenes Landsat del 2001. Los resultados muestran los coeficientes consistentes del factor de: lluvia R, erodabilidad K y cobertura vegetal C (calibrados con $r^2 > 80$ por ciento). El segundo modelo dio como resultado una tasa promedio anual de 128.96 T/ha/año, a diferencia del primer modelo, MC78, una tasa promedio de 145.50 T/ha/año; manifestándose como una cuenca erosiva con tendencia a la desertificación, por arriba del patrón de erosión recomendada por ICONA (1991) de 12.5 T/ha/año y la FAO 11.2 T/ha/año. Los niveles de erosión se pudieron diferenciar en las tres etapas del proceso de erosión de la cuenca aportante del embalse, la fase I alcanzó una tasa de erosión media de 125.15 T/ha/año, la fase II 154.94 T/ha/año y la fase III 162.73 T/ha/año; mostrando propensión al crecimiento de un 30 por ciento y concluyendo en un contexto esperado, con el aumento de su cobertura vegetal (M78C1), su tasa media de erosión se reduciría en un 28% (116.74 T/ha/año); disminuyendo así la tasa media anual de sedimentación del embalse de 0.42 Hm³/año a 0.30 Hm³/año y extendiendo su funcionamiento de 17 a 23 años (con 75 por ciento del volumen útil).

Solano (2016), para optar el título de Ingeniero Forestal y Ambiental, sustentó en la Universidad Nacional del Centro del Perú, la tesis: “Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la subcuenca del río Shullcas 2000 – 2013, Huancayo”, menciona que sus objetivos específicos fueron estimar la erosión hídrica aplicando la ecuación universal de pérdida de suelos, estableciendo los

niveles de erosión hídrica real y potencial y estipulando los cambios de la erosión hídrica resultado de los usos de suelos y coberturas vegetales. Adoptó los métodos generales de análisis y síntesis, y como específicos, el análisis de series temporales de datos mensuales de precipitación, la metodología de Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE) y el análisis espacial con herramientas de sistemas de información geográfica (SIG); de esta manera se concluye que la investigación revela que la tasa de erosión hídrica promedio más alta se dio el 2013 con 163.13 ton/ha/año originada en zonas sin vegetación (Sv) y la más baja en el año 2000 en zonas con bofedales (Bf) con 1.69 ton/ha/año, a nivel de subcuenca se generó 29.29 ton/ha/año y 30.91 ton/ha/año promedio para el año 2000 y 2013; en el 47.20% de la subcuenca se genera una erosión hídrica alta potencial (50 - 200 ton/ha/año), caso contrario solo el 3.51% y 4.35% generan una erosión hídrica real del mismo nivel para el año 2000 y 2013 respectivamente, así también el 13.14% y 13.91% de la subcuenca en el año 2000 y 2013 generaron erosión hídrica no permisible (> 10 ton/ha/año) de los cuales las superficies sin vegetación (Sv) ocupan mayor porcentaje y finalmente entre el año 2000 y 2013 las zonas con erosión no permisible vio incrementarse su superficie en 2.87% a nivel de la subcuenca, gran parte debido al incremento de cultivos en secano (Ces) con 1.96%.

Cabrejos (2016), para optar el título de Ingeniero Agrícola, sustentó en la Universidad Nacional Agraria La Molina, la tesis: “Modelamiento geoespacial en la determinación del riesgo, vulnerabilidad y de la cuantificación de la erosión hídrica en la microcuenca del río Atuén – Amazonas”, en que el objetivo general fue estimar la erosión hídrica de la microcuenca del río Atuén, usando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos, por medio del uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG). A través de un modelo geoespacial y gracias al SIG (Sistema de

Información Geográfica) para la ubicación de zonas erosionadas y/o vulnerables, de acuerdo al grado de intensidad dentro del ámbito de estudio; posteriormente se ponderó mediante uso de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos. Se recopiló para el estudio información tanto digital como física, se demandó de información temática como cobertura vegetal, suelos, precipitaciones, fisiografía, geología, pendiente clasificada e información socioeconómica, para dicho proceso se realizó un trabajo de campo en la zona de estudio para de esta forma conseguir información sobre necesidades básicas insatisfechas, actividades económicas realizadas en la zona y un reconocimiento in situ del área. Con la información recopilada en campo y utilizando el SIG, en primer lugar se procedió a procesar de forma digital de imágenes satelitales y el modelamiento geoespacial interrelacionándose de ésta manera la parte física, biótica y social, calificando y ponderando a cada unidad de las variables según el grado de incidencia que presenten para el estudio; en segundo lugar, se elaboró un modelo cuantificado, con cada una de las variables implicadas al modelo de la ecuación USLE. Al finalizar el procedimiento; se pudo apreciar, que las zonas que presentan mayores incidencias erosivas son las que se encuentran en las zonas más altas del territorio y en las riberas de los ríos; las cuales, a su vez, presentan bajos niveles socioeconómicos.

2.2. Bases teóricas – científicas

2.2.1. Erosión Hídrica

Hudson (1981) y Paulet (1974) indican que la erosión hídrica es un proceso físico definido como el desprendimiento y arrastre de partículas de suelo por acción del agua. Las gotas de lluvia disgregan el suelo y el agua de escorrentía realiza el traslado de partículas y posterior sedimentación.

(FAO, 1990) menciona que la erosión hídrica es un fenómeno natural y lento, no obstante, a razón del uso intensivo de tierras agrícolas y manejo inadecuado, este proceso ha sido acelerado a causa de dichas actividades.

2.2.2. Variables influyentes en la tasa de erosión

Los factores que afectan la erosión y la sedimentación están en función del tipo de erosión en cuestión. Sin embargo, como regla general, se puede decir que la erosión que ocurrirá en un suelo específico va a depender directamente de ciertas variables, las cuales se enumeran a continuación (Morgan, 1997).

- Clima.
- Vegetación.
- Hojarasca.
- Tipo de suelo.
- Topografía.
- Velocidad del flujo.
- Uso de la tierra.

2.2.3. Agentes erosivos

Los principales factores que contribuyen para que se presenten los procesos erosivos en los suelos son:

- **El agua de lluvia y sus características hidrodinámicas asociadas:** como el tamaño de la gota de lluvia y la velocidad de caída terminal, al impactar en el suelo, especialmente aquel que carece de cobertura vegetal, según Hudson, citado por Núñez (2001). También influyen las características de intensidad, o cantidad de milímetros de lluvia caída por unidad de tiempo: el tiempo que dura el evento pluvial desde que se inicia hasta que concluye, y la frecuencia o regularidad con la que se presenta un evento pluvial en una región particular, o

número de veces que se repite una tormenta con características similares en intensidad y duración durante un largo período de registro: 10, 20, 50 o más años (Núñez, 2001).

- **La pendiente de los terrenos medida en porcentaje:** equivale a la tangente del ángulo de la pendiente. Estas medidas permiten calificarlos en terrenos planos, ligeramente ondulados, moderadamente ondulados, ondulados, etc. En la medida en que se incrementa el ángulo de la pendiente, así como su longitud y su conformación fisiográfica (pendientes simples y complejas), se incrementa la susceptibilidad de las partículas finas del suelo de ser arrastradas por el agua de lluvia, en forma laminar (Núñez, 2001).
- **La ausencia de vegetación en los terrenos (cobertura vegetal):** favorece el impacto directo de las gotas de lluvia en los suelos, acelerando los procesos erosivos por salpique de agua de lluvia y por escorrentía laminar (Núñez, 2001).
- **La condición textural del suelo y su desarrollo estructural:** los suelos en los que predomina gran cantidad de partículas finas como limos y arcillas, calificados sobre su base porcentual como franco arcillo limosos, francos arcillosos y francos limosos, son más susceptibles a la erosión hídrica por el impacto de gotas de lluvia que los suelos de texturas gruesas como los arenosos francos o los francos arenosos. A su vez, el desarrollo estructural del suelo ayuda a evitar los procesos erosivos. Si un suelo tiene un buen desarrollo estructural, tiene espacios porosos y grietas que favorecen la penetración del agua de lluvia o del agua de riego por aspersión, en forma vertical descendente (infiltración), y se evita parcialmente el arrastre de las partículas del suelo por erosión laminar hídrica. Pero la compactación de suelos y el deterioro estructural asociado, contribuyen a que se presenten los procesos erosivos (Núñez, 2001).

- **El uso de la tierra:** algunos cultivos hortícolas favorecen los procesos erosivos. Por ejemplo, las parcelas donde se siembra cebolla requieren que se elimine la cobertura vegetal, para un mejor control fitosanitario de los cultivos. Este sistema de uso de la tierra deja la parte superior del suelo desprovista de la protección que brinda la cobertura vegetal. La capa superior del suelo se convierte en sujeto pasivo de los procesos ligados a los parámetros de erosividad de las lluvias, que causan erosión (Núñez, 2001).

2.2.4. Tipos de erosión hídrica

2.2.4.1. Erosión Laminar

La erosión laminar está relacionada con la caída de gotas provenientes de la lluvia, sumado a que en las laderas la salpicadura de dichas gotas descienda a través de ella.

Si la corriente de agua hace que se desprenda como una delgada lámina, el tipo de erosión dada en este caso se denomina como erosión laminar.

La erosión laminar y en surcos son los que más afectan a la agricultura por la degradación y pérdida del horizonte más rico en materia orgánica, el horizonte A, consecuentemente a la sedimentación de sólidos en los lechos fluviales. (Vahrson y Cervantes, 1991).

La caída de las gotas de lluvia contra la superficie descubierta del suelo hace que se dé el desprendimiento de las partículas que lo componen, al estar sueltas son trasladadas, “sellan” los poros del suelo, dando por resultado una capa delgada o costra poco permeable, cuando la cantidad de lluvia que cae excede a la tasa de infiltración del suelo, el agua empieza a correr por la superficie, como escorrentía en el suelo de la pendiente,

transportando las partículas finales del suelo que inicialmente ya fueron desprendidas, (Vásquez, 2000).

2.2.4.2. Erosión por Surcos

La erosión en surcos es la forma de degradación más simple a simple vista, se origina a razón del escurrimiento del agua por la superficie, ésta se reúne en las partes irregulares del terreno o en depresiones del suelo falto de vegetación o trabajado de manera inadecuada, (FAO, 2000).

En las partes onduladas del terreno se reúne el agua de esorrentía, posteriormente, por efecto de la pendiente, el suelo y dependiendo del estado de la cobertura vegetal, se da el movimiento del agua a favor de la pendiente y como resultado el arrastre y traslado de partículas del suelo, formando pequeñas zanjas o surcos, (Vásquez, 2000).

2.2.4.3. Erosión por cárcavas

De acuerdo a la inclinación de la pendiente y longitud de la ladera, el flujo concentrado de agua provoca el crecimiento de los surcos formados al inicio, hasta transformarse en grandes zanjas denominadas cárcavas, (FAO, 2000).

Al formarse los pequeños surcos o zanjas, las mismas que por efecto de la esorrentía se van ensanchando a causa del arrastre de las partículas del suelo en el lecho de los surcos o zanjas y el consecuente desprendimiento en los taludes, con lo cual se van agrandando los surcos hasta que se convierten en verdaderos zanjones o cárcavas, (FAO, 2000).

2.2.5. Metodologías para cuantificar la erosión hídrica

2.2.5.1. Método de Clavos

Vásquez y Tapia (2011) indican que el método de los clavos es uno de los más fáciles, mientras Haig (1977) señala que una varilla de erosión esencialmente es un benchmark, y que para tal caso se puede usar varillas de soldadura o alambre grueso, también estacas de madera u otro material que cumpla su función.

La metodología mencionada en el párrafo anterior es la que más acogida y aplicación práctica ha obtenido en la medición de la erosión.

Llerena et al (1987) sustenta que el método de clavos o también llamado varillas de erosión es un método útil y prometedor. Entre sus ventajas tenemos:

- Sencilla y directa medición,
- Inversión mínima, materiales en el mercado y tiempo de vida de los mismos, aceptable,
- Riesgo de pérdida bajo, y
- Multiusos, puede utilizarse también para medir erosión eólica, fluvial, etc.

Como desventajas están que:

- Las varillas alteran el microambiente a su alrededor,
- Peligro potencial de alteración del suelo al momento de la instalación de las varillas y la medición por parte del operador,
- La fauna o animales domésticos podrían ocasionar cambios,
- Riesgo de que la varilla origine un cambio en el suelo a causa de la variación del porcentaje de humedad.

La dimensión en las varillas de erosión varía entre 25 a 50 cm de largo y de 4 a 8 mm de espesor. La ubicación de las varillas en el área

experimental dependerá del entorno del terreno y del tipo de erosión predominante en el área.

2.2.5.2. Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE)

La USLE corresponde al resultado de múltiples esfuerzos teóricos y de campo incentivados por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (U.S. Department of Agriculture USDA), en la primera mitad del siglo 20. Dichos estudios fueron recopilados por los investigadores Walter Wischmeier y Dwight Smith, quienes presentaron el modelo elaborado de USLE en 1954. (Mancilla, 2008).

Wischmeier y Smith (1978) llevaron a la formulación del modelo de predicción de pérdida de suelo. La investigación realizada para la predicción de erosión se arraigó en el esfuerzo conjunto fue el de prevalecer sobre las desventajas propias de los proyectos de investigación local o regional.

Se recopilaron datos de investigación de la erosión en las 8250 parcelas-año de 36 localidades de EEUU.

Al realizar una estimación de los distintos elementos que afectan la degradación del suelo, en la llamada ecuación universal de pérdida de suelo. La cual es representada por:

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

Dónde:

A: Pérdida media anual de suelo expresado en [t/ha/año].

R: Erosividad de la lluvia medido en MJ*cm/ha*h

K: Erodabilidad del suelo expresado en ton*ha*h/MJ*ha*cm

L: Longitud de la pendiente en metros.

S: Pendiente en m/m.

C: Cubierta vegetal y manejo del recurso, sin unidades de medida.

P: Prácticas de conservación aplicada, sin unidades de medida.

a. Determinación del Factor R

El factor R de Erosividad afecta a la sumatoria de los productos de las energías de todos los sucesos de las lluvias erosivas anuales con sus respectivas intensidades en un tiempo máximo de 30 minutos, lo que nos muestra la agresividad con la que la precipitación cae y degrada el suelo. Wischmeier y Smith (1959) muestran que el índice de erosividad o factor R basado en la relación que existe entre la energía cinética (E) y la intensidad de la lluvia (I).

- Energía Cinética (E): La energía cinética es la fuerza de agua por golpeo y salpicadura de las gotas de lluvia caídas en la superficie del suelo, consiguieron una alta correlación entre la intensidad de las lluvias y su energía.
- Máxima intensidad en 30 minutos: Indican que cuando el valor de energía de la lluvia, es multiplicada por la máxima intensidad de las

lluvias con duración de 30 minutos, se obtienen altas correlaciones con las pérdidas de suelo.

Una vez conocida la energía cinética total y la máxima intensidad en 30 minutos de la lluvia se calcula el índice EI30 de acuerdo a la siguiente expresión.

$$EI_{30} = Ec * I_{30}$$

Donde:

Ec: Energía cinética de la lluvia en Kg/m²

I₃₀: Máxima intensidad en 30 minutos e mm/h

Al producto de ambos se le llama índice de erosividad lo cual resulta del potencial erosivo de la caída de las gotas de agua y de su máxima velocidad de impacto sobre la superficie del suelo.

Otro de los métodos para la determinación de la erosividad R es el propuesto por (Morgan, 1974 citado por Cayo Ramos) usado para lugares con precipitaciones altas.

$$R = I_{30} * \frac{9.28P - 8.393}{1000}$$

Donde:

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

P: Precipitación media anual.

Finalmente, el propuesto por Foster usando las mismas variables.

$$R = \frac{0.276P * I_{30}}{100}$$

b. Determinación del Factor K

El valor del factor de Erodabilidad se determina de dos formas, la primera a través de la ecuación de Erodabilidad o bien de manera gráfica.

Para lo cual es necesario obtener para ambas maneras ciertas propiedades del suelo.

Textura: el análisis textural del suelo es para obtener los porcentajes de arena, limo, arcilla y arenas finas. De acuerdo a los manuales originales de USLE, para efectos de la erosión del suelo la arena muy fina se comporta similar al limo.

Materia Orgánica: Se precisa su porcentaje proporcional en el suelo, para ello se desarrolla un análisis de muestras extraídas en campo. Según USLE, el valor porcentual de materia orgánica varía entre 0 y 4%, con valores enteros.

Estructura del suelo: Su valor se calcula por medio de la observación y tacto. Para ello es aconsejable utilizar un manual de comparación, de acuerdo a lo que establece la USLE, las categorías y códigos empleados son solo cuatro.

Permeabilidad del suelo: Para hallar la permeabilidad se establecen valores o códigos de acuerdo a la velocidad de infiltración de cada suelo. Estos códigos son asignados por la USLE.

Tabla 1 Códigos USLE de permeabilidad de suelos.

Código USLE	Tipo de estructura	
1	Granular muy fina	
2	Granular fina	
3	Granular media a gruesa	
4	Bloques	
	Laminar	
	Masiva	

Fuente: (Mancilla, 2008)

El factor K en el Sistema Internacional de Unidades está expresado en ton-ha-h/ha-MJ-cm, que expresa la resistencia del suelo en superficie y tiempo, respecto a la energía de la lluvia.

i. Método de la Ecuación: Después de obtener el análisis completo de textura de las muestras y determinar los códigos de estructura y permeabilidad, se procede a utilizar la siguiente ecuación que establece la USLE, señalando que es válida solo para suelos con presencia de 70% o menos de fracción limosa.

$$K = \frac{1.313 * [2.1 * 10^{-4} * (12 - MO) * M^{1.14} + 3.25 * (S - 2) + 2.5 * (p - 3)]}{100}$$

Donde:

MO: Porcentaje de materia orgánica de las muestras

s: Código de estructura del suelo.

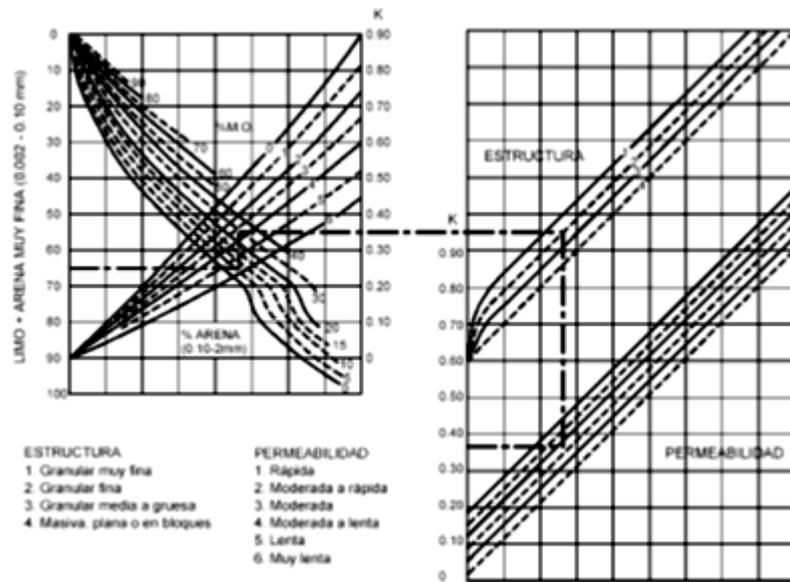
p: Código de permeabilidad.

M: Factor dado por el producto de la suma de los porcentajes de limo y arena muy fina con la suma de los porcentajes de arena y limos. Es decir $(\% \text{ limo} + \text{arena muy fina}) * (100 - \% \text{ arcilla})$.

ii. Método Gráfico: La utilización de monograma de Erodabilidad de Wischmeier y Smith es un método que, a pesar de constituir la misma ecuación del método anterior, tiene menos precisión, debido al sesgo visual que presenta en el que puede incurrir el interesado. Para ello, es aconsejable contar con una regla u otro objeto recto con el que apoyarse. El factor de Erodabilidad se determina gráficamente proyectando líneas rectas al interior de monograma.

Primero se ingresa el porcentaje de limo más arena muy fina en el gráfico izquierdo. Posteriormente, este valor se proyecta una línea recta hasta interceptar la curva correspondiente al porcentaje de arena del suelo en cuestión. De ahí, se proyecta verticalmente la línea hasta interceptar con la curva perteneciente al porcentaje de materia orgánica del suelo. Desde este punto, se continua hacia la derecha, atravesando la primera aproximación del valor K, la que es útil si no se dispone de los antecedentes de estructura o permeabilidad. De forma, se ingresa al gráfico derecho, continuando con la proyección, hasta interceptar la línea correspondiente al código de estructura del suelo en el cual se realiza el estudio. Posteriormente, se desciende por el gráfico hasta llegar a la línea que representa el código de permeabilidad adecuado al suelo en cuestión. Finalmente, desde ese punto se traza la línea recta hacia la izquierda del gráfico, hasta encontrar el factor correspondiente de Erodabilidad del suelo (K).

Figura 1 Nomograma para la determinación de Erodabilidad del suelo (adaptado desde Wischmeier y Smith, 1978).



Fuente: (Mancilla, 2008)

c. Determinación del Factor LS

Es el efecto de la topografía en la erosión, el factor L que viene a ser la longitud promedio del declive del terreno y el factor S que viene a ser la pendiente. (Wischmeier y Smith, 1978). Originalmente ambos factores fueron determinados en conjunto como:

$$LS = \left(\frac{\lambda}{72.6} \right) m * (65.41 * \sin^2 \alpha + 4.56 * \sin \alpha + 0.065)$$

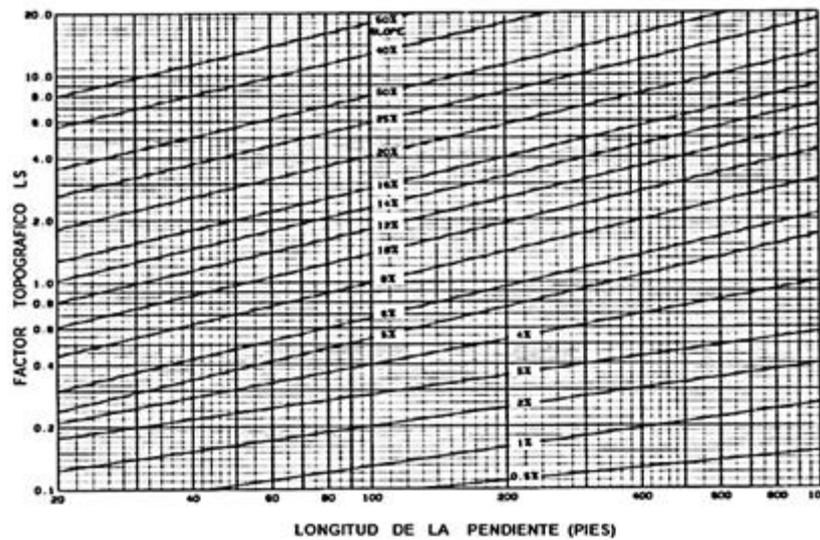
Donde:

λ : Longitud de la pendiente en pies

α : Ángulo de pendiente

m: un coeficiente que toma valores de: 0.5 (pendiente es mayor a 5%), 0.4 (pendiente esta entre 3.5 y 4.5%), 0.3 (pendiente está entre 1 y 3%) y 0.2 (pendiente es menos a 1%). Esta fórmula también fue esquematizada en un gráfico que permite su estimación directa.

Figura 2 Nomograma de determinación del factor combinado LS (adaptado desde Wischmeier y Smith, 1978).



Fuente: (Mancilla, 2008)

Debido al sistema de unidades que se emplea en este país se consideran utilizar las siguientes fórmulas:

- **Longitud de la pendiente (L)**

Según Wischmeier y Smith (1978), citado por TRAGSA (1998), el factor L, es la longitud del declive, se determina de la siguiente forma:

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^m$$

Donde:

L = Factor de longitud de pendiente

λ = Longitud de la pendiente [m]

m = Exponente de la longitud de la pendiente

22.13 = Longitud de parcela unitaria RUSLE

Donde λ es la longitud del declive en metros y “m” un exponente influenciado principalmente por la interacción entre la longitud del declive y la pendiente. La longitud se define como la distancia desde el origen de la escorrentía superficial hasta el inicio del depósito de sedimentos, o que la escorrentía se concentre en un cauce. El

exponente de longitud de pendiente “m”, determina la relación entre erosión en surcos (causada por flujo) y erosión entre surcos (causado por impacto de gotas de lluvia), puede ser calculado con la siguiente ecuación:

$$m = 0.1342 * (\ln(\theta)) + 0.192$$

Dónde:

m = Exponente de la longitud de la pendiente

Θ = Ángulo de pendiente [%]

▪ **Inclinación de la Pendiente (S)**

Wischmeier (1982), citado por el Grupo TRAGSA (1998), logró el factor topográfico en base a las siguientes ecuaciones:

$$S = 10.8 * \sin\theta + 0.03 \quad \text{Sí: } s < 9\%$$

$$S = 16.8 * \sin\theta - 0.5 \quad \text{Si: } s \geq 9\%$$

Donde:

S = Factor de inclinación de pendiente

s = Inclinación de pendiente [%]

Θ = Ángulo de pendiente [o]

Otro método es un procedimiento sencillo de cálculo mediante una tabla que permite determinar directamente a una ladera el valor del factor LS en función de la pendiente. El cálculo es el utilizado por la Facultad de Hidráulica e Hidrología de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes (Madrid). Este estudio ha permitido la elaboración de esta tabla que permite asignar directamente a una ladera el valor del factor L.S en función de la pendiente.

Tabla 2 Factor LS según grupos de pendientes.

Grupos de Pendientes en %	Factor LS
0 - 3	0,3
3 - 12	1,5
12 - 18	3,4
18 - 24	5,6
24 - 30	8
30 - 60	14,6
60 - 70	20,2
70 - 100	25,2
> 100	28,5

Fuente: (Cayo, 2011)

d. Determinación del Factor C

La vegetación funciona como una capa amortiguadora o protectora entre la atmósfera y el suelo. Los componentes aéreos, tales como hojas y tallos, absorben una porción de la energía de la caída de las gotas de lluvia, del agua en movimiento y del viento, por ello su efecto es menor que si caerían directamente sobre el suelo, mientras que los componentes subterráneos, como los sistemas radicales, contribuyen a la resistencia mecánica del suelo (Morgan, 1997).

El factor C es determinado por la relación entre la pérdida de suelo en un terreno cultivado en ciertas condiciones y la pérdida correspondiente del suelo en barbecho continuo. Este paralelo se determina admitiendo que las condiciones de suelo son semejantes, lluvia y pendiente. Entonces, el factor C se define como la relación entre las pérdidas de suelo que se producen bajo una alternativa y con unas determinadas técnicas de cultivo, y las pérdidas correspondientes al barbecho continuo. (Grupo TRAGSA, 1998).

Para la determinación de este factor se estudian las distintas coberturas que cuenta la zona de estudio, para lo cual se tiene una tabla publicada

por Wischmeier, (1978), donde se definen los valores de C para los tipos más comunes de cultivos y coberturas.

Tabla 3 Valores de cobertura vegetal Factor C.

Cultivo y Práctica	Media anual del factor C
Suelo desnudo	1.00
Bosque o matorral denso (alto mulch)	0.001
Pradera herbácea en buenas condiciones	0.01
Pradera sobre pastoreada	0.10
Pradera herbácea	0.01 – 0.025
Albolado denso	0.01 – 0.003
Albolado forestal clareado	0.003 – 0.009
Matorral con buena cobertura	0.003 – 0.013
Matorral ralo y eriales	0.20 – 0.013
Frutales con cobertura vegetal	0.01 – 0.8
Cultivos anuales y herbáceos	0.25
Pasturas	0.15
Cubierta escasa (60%)	0.15 – 0.09
Cubierta inapreciable	0.45

Fuente: Wischmeier y Smith (1978), citado por Ramos (2001).

e. Determinación del Factor P

Numerosas veces la manifestación de vegetación no impide que se dé el escurrimiento superficial. Por ello, el uso de prácticas de conservación en el suelo mengua el efecto del flujo de agua. Al respecto, USLE incluye el factor P de prácticas de conservación para tres situaciones:

- El uso de la labranza conforme a las curvas de nivel (cultivo en contorno)
- El uso de fajas de cultivo en contorno
- El uso de terrazas

Tabla 4 Factor P de prácticas de conservación de Wischmeier y Smith, 1978.

Pendiente (%)	Cultivo en contornos o curvas de nivel		P para cultivos en terrazas
	P*	Longitud máxima de ladera (m)	
1 – 2	0.60	122	0.12
3 – 5	0.50	91	0.10
6 – 8	0.50	61	0.10
9 – 12	0.60	37	0.12
13 – 16	0.70	24	0.14
17 – 20	0.80	18	0.16
21 – 25	0.90	15	0.18

* Se pondrá por 0.8 si considera contornos realizados con pilas de residuos
 FUENTE: (Cayo, 2011)

La faja de cultivos en contorno radica en establecer de fajas de cultivo de interés intercaladas con otras de residuos o pastos. El uso de terrazas es también efectuado de manera preferente en los cultivos agrícolas.

2.2.6. Límite de tolerancia de pérdida de suelo.

El límite de pérdida de suelo es la tasa máxima de erosión de suelo que permite que sostenga un alto nivel de productividad y la actualidad no existe una base satisfactoria para determinar los valores adecuados de la tolerancia a la pérdida de suelos (Kirby y Morgan, 1984).

La tolerancia a la pérdida de suelo para un suelo específico se utiliza como una guía para la planificación en la conservación de suelos. La ecuación universal de pérdida de suelos se utiliza para estimar la pérdida de suelo real y para evaluar cómo los cambios en las prácticas pueden aplicarse para reducir la pérdida de suelo por debajo del nivel de tolerancia (Kirby y Morgan, 1984).

De acuerdo a lo descrito por el Grupo TRAGSA (1998), la evaluación de tolerancias de pérdidas de suelos en un terreno, factor básico para la utilización del modelo en la ordenación, depende de diversos factores tales como profundidad del

suelo, sus propiedades físicas, desarrollo de los sistemas radicales de la vegetación, reducción de la materia orgánica, pérdidas de nutrientes y sementeras, etc.

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Cuenca Hidrográfica

La cuenca hidrográfica es definida como un territorio y un área geográfica (suelo, agua, clima, precipitación pluvial, escorrentía subterránea, etc.) son delimitados por la colección de agua que conduce a una fuente de agua. Una cuenca alberga ciertos recursos naturales que brindan posibilidades a la vida humana y animal. Se basa en el ciclo hidrológico y la cultura de población que reside y se relaciona con la naturaleza. Este hilo se encuentra constantemente generando, regenerándose o degradándose, con la intervención del hombre y la sociedad, los cuales forman juntos un todo indivisible con la naturaleza, interrelacionándose en forma sistemática y deviniendo así en una determinada dinámica en la cuenca que fomenta su preservación o deterioro (Vásquez, 2000).

2.3.2. Erosión Hídrica

La erosión hídrica es el proceso de disgregación y transporte de las partículas del suelo por acción del agua. Se trata de un fenómeno natural, sin embargo, debido al uso intensivo de las tierras agrícolas y al manejo inadecuado, ha sido acelerado como consecuencia de tales actividades (FAO, 1990). Hudson (1981) y Paulet (1974) nos dicen que la erosión hídrica es un proceso físico definido como el desprendimiento y arrastre de partículas de suelo por acción del agua. Las gotas de lluvia desprenden el suelo y el agua de escorrentía es la encargada de realizar el transporte y la sedimentación.

El riesgo de erosión o erosión potencial se interpreta como la medida de máxima pérdida de suelos posible en ausencia de una cobertura vegetal y de

prácticas de conservación, en el entendido que solamente se toman en consideración la interacción de factores físicos de la tierra: el suelo, el clima, la topografía y el paisaje (Lagos, 2005).

2.3.3. Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE)

La USLE es una ecuación empírica para determinar la pérdida media anual de suelo, resultando ser un modelo práctico y accesible que ha sido utilizado a diferentes escalas en el mundo entero.

Wischmeier y Smith (1958) indican que el Departamento de Agricultura de los EEUU (USDA), comenzó un programa en 1933, con 10 estaciones experimentales de erosión de suelos y 40 proyectos para el control de la erosión en todo el país. Las estaciones experimentales median la escorrentía y la erosión del suelo en parcelas uniformes y en pequeñas cuencas con un amplio rango de suelos y técnicas de cultivo. Todos los datos recogidos en estas estaciones aportaron el conocimiento suficiente sobre los procesos erosivos, con el resultado de la USLE (Universal Soil Loss Equation).

En 1935 se creó el Servicio de Conservación de Suelos de EE.UU. (SCS), con el objetivo principal de asegurar que la erosión del suelo sería controlada para prevenir los impactos que sobre la agricultura se estaban produciendo, iniciando con algunos modelos para determinar la erosión de los suelos basados en la USLE.

2.3.4. Sistema de información geográfica (SIG)

Un SIG, según Wikipedia (2016), es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión. Es una herramienta que permite a los usuarios crear consultas interactivas, analizar

la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones.

Berry (1990), menciona que el SIG alude a un sistema de información espacial automatizado e internamente referenciado, diseñado para la gestión y análisis de datos espaciales y la elaboración de cartografía. Los mapas digitales pueden ser manipulados automáticamente o manualmente, mientras que su referencia con respecto al sistema de información espacial puede ser externa o interna. Un sistema externamente referenciado utiliza el ordenador para almacenar la información de distintas áreas geográficas y los sistemas internamente referenciados poseen un enlace automático entre la componente temática (atributos alfanuméricos) y la espacial (localización geográfica y propiedades espaciales de los objetos).

2.4. Formulación de Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

La erosión real y potencial estimada mediante la Ecuación Universal de Erosión del Suelo en la microcuenca San Alberto del distrito Oxapampa en el año 2018 son influenciados por las actividades antrópicas.

2.4.2. Hipótesis específicas

- La erosividad de las precipitaciones incrementan el grado de erosión del suelo en la microcuenca San Alberto.
- La erodabilidad del suelo incrementan el grado de erosión del suelo en la microcuenca San Alberto.
- La longitud e inclinación de la pendiente influyen en el grado erosión del suelo en la microcuenca San Alberto.

- La cobertura vegetal y uso del suelo influyen en el grado de erosión del suelo en la microcuenca San Alberto.

2.5. Identificación de Variables

2.5.1. Variables independientes

- Factor de Erosividad
- Factor de Erosionabilidad

2.5.2. Variables dependientes

- Factor de cobertura vegetal y uso de suelos
- Factor de prácticas de conservación de suelos.

2.5.3. Variables Intervinientes

- Factor de longitud e inclinación de la pendiente.

2.6. Definición operacional de variables e indicadores

Se indica en la siguiente Tabla:

Tabla 5 Operacionalización de las variables

Variable	Sub Variable	Instrumentos	Técnicas
Factor de erosividad (R)	Precipitación	Pluviómetro	<ul style="list-style-type: none"> – Análisis de series temporales. – Índice de Fournier modificado (IFM). – Relación del IFM con el factor de erosividad R. – Análisis espacial para la obtención de isoerodentas para la microcuenca San Alberto.
Factor de erosionabilidad (K)	Suelo	Cilindros de acero inoxidable de 100 cc con tapas herméticas	<ul style="list-style-type: none"> – Densidad y tipo de muestreo. – Determinación del factor de erosionabilidad (K). Triángulo de permeabilidad de suelos. Nomograma del factor K. – Análisis espacial y generación del mapa del factor de erosionabilidad K.
Factor de longitud e inclinación de la pendiente (LS)	Fisiografía	Parcelas o áreas de erosión	<ul style="list-style-type: none"> – Análisis espacial y generación del mapa del factor (LS). – Validación y generación del mapa del factor LS. – Nomograma del factor LS.
Factor de cobertura vegetal y uso de suelos (C)	Cobertura del suelo	Imágenes satelitales	<ul style="list-style-type: none"> – Elaboración y validación del mapa de cobertura vegetal y uso de suelos para el año 2018. – Estimación de valores para el factor C.
Factor de prácticas de conservación de suelos (P).	Conservación de suelos	Se asumirá un valor del factor P igual a "1", debido a que en las zonas agrícolas de la microcuenca San Alberto no se aplican prácticas de conservación de suelos.	

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de Investigación

El tipo de investigación es aplicada también conocida como práctica o empírica, debido a que este tipo de investigación buscará la generación de conocimiento con aplicación directa a los problemas de la sociedad y es de enfoque cuantitativo debido a que se utilizó un modelo matemático.

3.2. Métodos de Investigación

El método investigación que se usó en la presente investigación fue Analítico – Sintético.

3.3. Diseño de la Investigación

Diseño no experimental de corte transversal: Debido a que no se manipuló ninguna de las variables independientes y la toma de datos se realizó para el año 2018 mediante imágenes satelitales y toma de datos en campo, así mismo el nivel de la investigación es descriptivo, debido a la descripción del estudio en base al comportamiento de sus factores.

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

La cuenca andino amazónica del río Pachitea

3.4.2. Muestra

Estará constituida por la microcuenca San Alberto la cual está constituida por tipos de cobertura vegetal y/o usos de suelos, variabilidad topográfica, precipitación y edáfica.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

A continuación, se detalla las técnicas e instrumentos utilizados para la determinación de la erosión hídrica del suelo según la metodología de la ecuación universal de pérdida de suelos EUPS o sus siglas en inglés (USLE - Universal Soil Loss Equation):

$$A = R * K * LS * C * P \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

A = Pérdida anual de suelo (ton/ha/año)

R = Factor de erosividad de la lluvia (MJ*cm/ha*h)

K = Factor de erosionabilidad del suelo (ton*ha*h/MJ*ha*cm)

LS = Longitud e inclinación de la pendiente (adimensional)

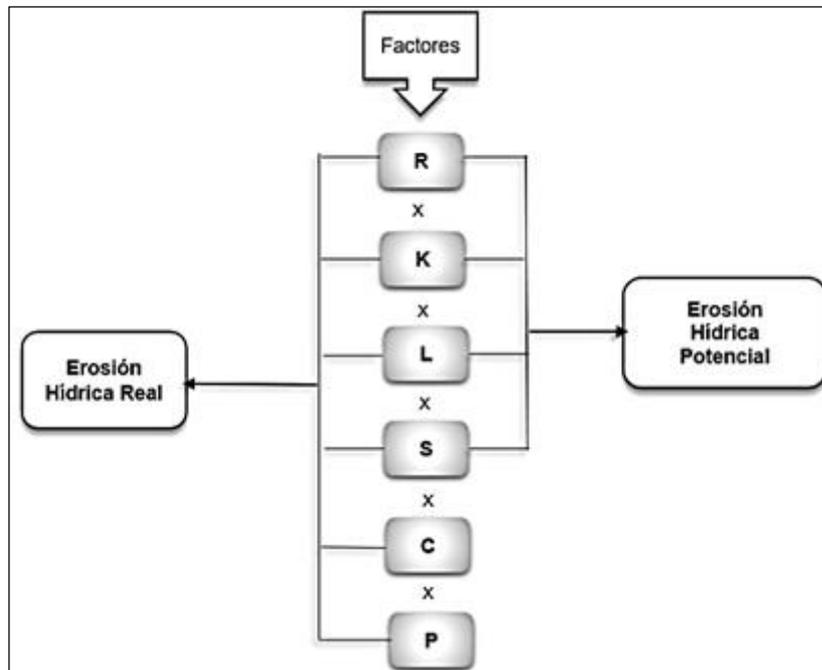
C = Cobertura vegetal y uso de suelos (adimensional)

P = Prácticas de conservación de suelos (adimensional)

De acuerdo a Wischmeier et al., (1970) con el producto de los factores R, K, L, S, C y P se estima la erosión hídrica real teniendo en cuenta todos los factores. Ahora también esta metodología indica que al realizar el producto con solamente los factores R, K, L y S, donde se establecen la influencia de los factores físicos del lugar, poco modificables por el hombre, nos representan la pérdida de suelos

que ocurriría en un sitio si todo el año el suelo estuviese desnudo, es decir se daría una erosión potencial.

Figura 3 Esquema metodológico de la erosión hídrica real y potencial.



Fuente. Elaboración propia.

3.5.1. Factor de erosividad (R)

Este factor fue estimado en base a registros de estaciones pluviográficas para determinar la intensidad con la cual se precipita la lluvia en un determinado tiempo. Sin embargo, por la falta de información de datos pluviográficos, algunos estudios estimaron relaciones entre el factor de erosividad pluvial o factor R con 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.

a. Análisis de series temporales

Según FAO (1980) para mejores resultados se pueden utilizar registros de datos mensuales de precipitación de al menos 10 años, sin embargo, para el presente estudio solo se estableció para el año 2018, para determinar el factor de erosividad R promedio.

b. Índice de Fournier modificado (IFM)

Según Arnoldus (1980) mediante el método del IFM se logra determinar el índice de agresividad de la lluvia o índice de erosividad, con el cual la lluvia actúa sobre la superficie del suelo. El cálculo de este método se basa en el uso de registros de precipitación mensual y la precipitación total anual.

$$IFM = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

IFM = Índice de Fournier Modificado (mm)

p_i = Precipitación del mes i , o de cada mes del año (mm)

P = Precipitación total anual (mm)

c. Análisis espacial para la obtención de isoerodentas para la microcuenca San Alberto

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 generaron líneas imaginarias a nivel de la microcuenca llamadas isoerodentas, donde estas líneas contienen datos de factor de erosividad R , para tal fin se usó las herramientas de los sistemas de información geográfica SIG con la utilización del modelo de interpolación “Spline” en el Software ArcGIS 10.5.

— Este método es generado en base a datos puntuales generando una superficie con una curva suave entre los puntos de apoyo de tal manera que se genere información para espacios entre los datos puntuales.

Este análisis se realizará para cada año de estudio obteniendo información en base a datos puntuales obtenidas de las estaciones

meteorológicas, posterior a ello se generará información a nivel de la microcuenca de la quebrada San Alberto para finalmente generar el mapa del factor de erosividad R promedio la cual se le caracterizará de acuerdo a la siguiente Tabla N° 6 establecida por FAO (1980).

Tabla 6 Clasificación del Factor de Erosividad R.

Rango Factor R	Clasificación
0 – 60	Muy bajo
60 – 90	Bajo
90 – 120	Moderado
120 – 160	Alto
> 160	Muy alto

Fuente: FAO (1980).

3.5.2. 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 el laboratorio de suelos de la Escuela de Formación Profesional de Agronomía Oxapampa para obtener datos de textura, estructura, permeabilidad y porcentaje de materia orgánica.

a. Densidad y tipo de muestreo

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, para tal sentido se utilizó un mapa base de campo para la recolección de las muestras, a estas muestras se les determinará una clave de campo. El método de obtención de muestras será de acuerdo a Gutiérrez (2011), donde nos indica que se tiene que sustraer la capa superficial arable de los suelos entre 0.15 – 0.20 m de profundidad con un ancho de 0.15m x 0.15m aproximado, obteniendo así un 1kg de peso promedio por muestra.

b. Determinación del factor de erosionabilidad (K)

- Este factor se determinó en base a los resultados de los análisis de las muestras de suelos obtenidas en la zona de estudio, para ello se utilizó el triángulo de permeabilidad de la figura 4 para contrastar los datos de permeabilidad, de igual modo el nomograma de factor K de la figura 5, para estimar el factor K según Wischmeier & Smith, (1978).
- Posterior a la utilización de los nomogramas de permeabilidad y factor K, con los resultados de suelos obtenidos se emplearon la ecuación 5 propuesta por Wischmeier (1971), donde de igual manera se calcula el factor K.

$$K = [(10 - 4 * 2.71 * M1.14(12 - a))] + 4.2(b - 2) + 3.2(c - 3)$$

.....(Ecuación 3)

Donde:

M = Factor representativo de la textura (100 -% arcilla) x (% limo + arena muy fina).

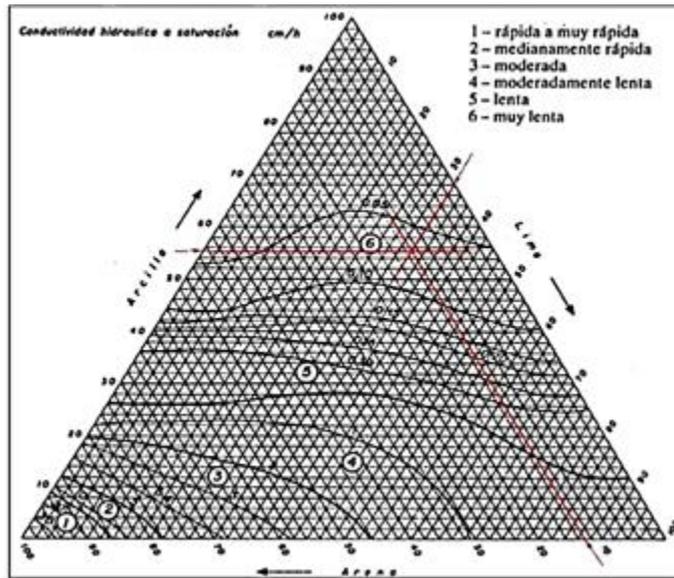
a = % de materia orgánica.

b = N° correspondiente a la estructura (nomograma).

c = clase de permeabilidad del perfil (nomograma).

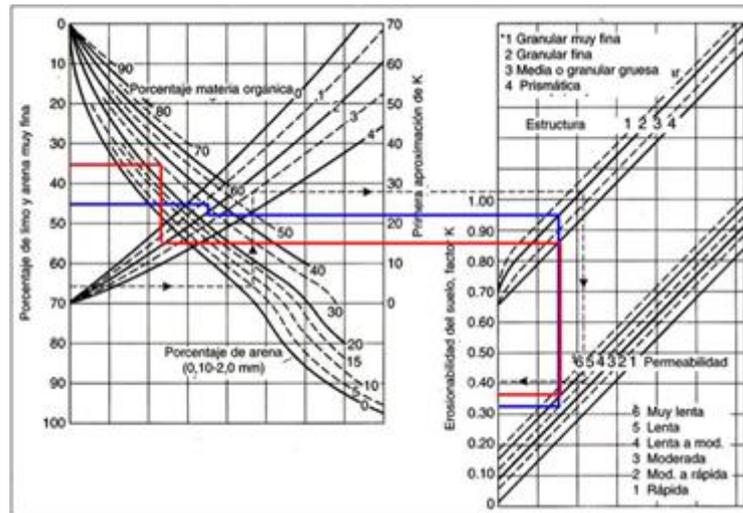
- Finalmente se promedió los resultados obtenidos por el nomograma y la ecuación de regresión.

Figura 4 Triángulo de permeabilidad de suelos.



FUENTE: Soil Taxonomy del USDA

Figura 5 Nomograma del factor K.



Fuente. Wischmeier & Smith, (1978).

c. Análisis espacial y generación del mapa del factor de erosionabilidad K.

Este proceso se realizó mediante la utilización de herramientas de sistemas de información geográfica SIG, para el análisis y la generación del mapa del factor K en base a la información del mapa de taxonomía de suelos de la ZEE Oxapampa del año 2017 y la codificación establecida en la Figura 5 Nomograma factor K; posterior a ello se realizó la siguiente clasificación

según la Soil and Water Conservation Society (1995) de la tabla 6, donde nos muestra el grado de erosionabilidad de acuerdo al factor K del suelo y para tal resultado se elaborará su respectivo mapa.

Tabla 7 Grado de erosionabilidad de acuerdo al factor K.

Textura	K	Grado	Motivo
Finas	0.05 – 0.15	Bajo	Resistencia al desprendimiento
Gruesas	0.15 – 0.25	Bajo	Escaso escurrimiento
Medias	0.25 – 0.45	Moderado	Moderada Susceptibilidad al escurrimiento
Limosas	0.45 – 0.65	Alto	Susceptibilidad a la erosión

Fuente. Soil and Water Conservation Society (1995)

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

a. Análisis espacial y generación del mapa del factor (LS)

Según Renard et al. (1997), para calcular el factor topográfico LS, en territorios donde las parcelas o áreas a evaluar no sean estándares en relación a los 22.13 m de longitud y 9% de pendiente, se utilizó los sistemas de información geográfica, debido que a nivel de la microcuenca San Alberto se muestra variabilidad de inclinaciones y longitudes de pendientes, en base a los siguientes procesos.

- En primer lugar, se generó un Modelo de Elevación Digital (DEM, por sus siglas en ingles) en base a las curvas de nivel utilizando las herramientas de sistemas de información geográfica SIG, ArcGIS 10.5, estas curvas de nivel cada 50 m se obtuvo de la carta nacional del IGP Instituto Geofísico del Perú.
- Posterior a ello, para estimar el sub factor “L” se utilizó la herramienta “Raster Calculator” del programa Arc Gis 10.5. para su utilización en las siguientes formulas mediante la metodología de (Foster et al, 1977 citado por Barrios y Quiñones, 2000) y (Desmet & Govers, 1966 citado por

Velázquez, 2008), donde considera el área aportadora unitaria a la entrada o tamaño de un pixel del Raster.

$$L = \frac{(A_{(i,j)}+D^2)^{m+1}-A_{(i,j)}^{m+1}}{D^{m+2}*(22.13)^m} \quad (\text{Ecuación 4})$$

$$m = \frac{F}{(1+F)} \quad (\text{Ecuación 5})$$

Donde:

L = Factor de longitud de la pendiente, m = Exponente adimensional, (i,j) = es el área aportadora unitaria a la entrada de un pixel (celda), D es el tamaño del pixel del Raster y F = se define en la ecuación 6.

$$F = \frac{\frac{\sin\beta}{0.086}}{3(\sin\beta)^{0.8}+0.56} \quad (\text{Ecuación 6})$$

Donde:

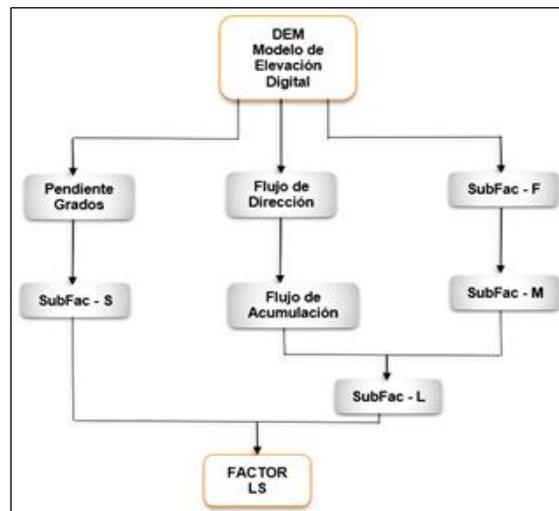
β = Pendiente en grados, el cual lo multiplicaremos por “0.01745” para obtener información en radianes, tal como lo solicita la ecuación.

- Luego se generará el Raster de pendiente del terreno en grados, haciendo uso de la herramienta de Slope del programa de sistemas de información geográfica ArcGIS 10.5.
- Ahora una vez obtenida la información de pendientes en grados, nuevamente se utilizó la herramienta “Raster Calculator” para calcular el sub factor “S” de inclinación de la pendiente, a nivel de la microcuenca San Alberto, mediante la condición propuesta por (McCool et al, 1987, 1989, citado por Barrios y Quiñonez, 2000), donde compara la pendiente de cada pixel con la pendiente unitaria de valor 9%.

$$S_{(i,j)} = \begin{cases} 10.8\sin\beta_{(i,j)} + 0.03 & \dots \tan\beta_{(i,j)} < 0.09 \\ 16.8\sin\beta_{(i,j)} - 0.5 & \dots \tan\beta_{(i,j)} \geq 0.09 \end{cases} \quad (\text{Ecuación 7})$$

- Finalmente, con la utilización de la herramienta “Raster Calculator” del programa de sistemas de información geográfica ArcGIS 10.5 se multiplicará los sub factores “L” y “S” para obtener una capa Raster con valores del factor topográfico “LS” a nivel de la microcuenca San Alberto.

Figura 6 Esquema metodológico para obtener el factor LS.

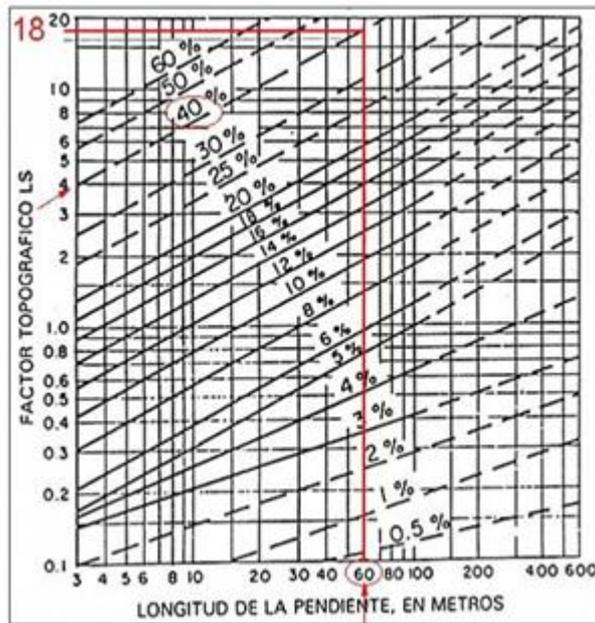


Fuente. Elaboración propia.

b. Validación y generación del mapa del factor LS

- Se realizó la validación en campo en base a la información obtenida anteriormente, haciendo uso del nomograma para el factor LS establecido por Wischmeier y Smith (1978), de esta manera logrando contrastar los datos generados en gabinete con la información de campo, para finalmente obtener el mapa del factor de longitud e inclinación de la pendiente LS o también llamado factor topográfico.

Figura 7 Nomograma del factor LS.



Fuente. Wischmeier y Smith (1978).

3.5.4. Factor de cobertura vegetal y uso de suelos (C)

La metodología CORINE Land Cover (CLC) es una metodología para la construcción de mapas de cobertura y uso de la tierra. Emplea una leyenda jerárquica, que vincula distintos niveles de detalle espacial (escala espacial) con distintos niveles de detalle temático (niveles de la leyenda jerárquica).

Desde el año 2008-2009, a través del Proyecto “Dinámicas de Cambio de Cobertura de la Tierra en la Comunidad Andina” integrado por la Comunidad Andina y apoyado técnicamente por CONDESAN, se desarrolló una Leyenda para representar cartográficamente patrones de cobertura de la tierra y de diversidad biológica a nivel de ecosistemas, según el acuerdo regional de trabajar con el esquema de Clasificación CORINE Land Cover (IDEAM, 2010).

El esquema metodológico Corine Land Cover contempla las siguientes etapas:

a) *Adquisición y preparación de la información*

Para generar la información de coberturas de la Tierra se emplean imágenes Landsat TM, teniendo estas se procede a orto rectificarlas.

b) *Análisis e interpretación de las coberturas*

La interpretación de las imágenes de satélite se realiza inicialmente a través de la visualización en computador, empleando el software ArcGIS 10.5.

c) *Verificación de campo*

Para la verificación de campo se seleccionan zonas piloto teniendo en cuenta la diversidad de coberturas de la Tierra y la toma representativa de diferentes sectores del área de estudio.

d) *Control de calidad*

El control de calidad hace referencia a un proceso de revisión y corrección continuo y sistemático de seguimiento del avance de las diferentes actividades que se deben adelantar en cada una de las etapas del proceso, con el propósito de garantizar la calidad geométrica, temática y topológica de la base de datos del proyecto.

La metodología desarrollada para el proceso de control de calidad temática comprende dos procedimientos que se aplican para la revisión y corrección de las planchas interpretadas.

e) *Generación de la capa temática escala 1:100.000*

Con la información generada por cada intérprete, se obtienen coberturas o shapefiles, las cuales contienen los atributos y códigos definidos en la nomenclatura Corine; las coberturas se ensamblan en una base de datos geográfica (geodatabase), la cual permite estandarizar y articular los objetos

bajo un esquema único, garantizando la portabilidad, interoperabilidad y la generación de reportes de información.

El sistema CORINE Land Cover (CLC) es una metodología para la construcción de Mapas de Cobertura y Uso de la Tierra que emplea una leyenda jerárquica que vincula distintos niveles de detalle espacial con distintos niveles de detalle temático. Para la construcción de este esquema se partió de los acuerdos regionales que planteaban emplear la metodología CORINE Land Cover como base para el desarrollo de la propuesta regional (IDEAM, IGAC y CORMAGDALENA, 2008).

Tabla 8 Esquema de la Leyenda utilizada según el sistema de clasificación Corine Land Cover adaptada para Perú.

NIVEL I	NIVEL II	NIVEL III
1. Áreas Artificializadas	1.1 Áreas urbanizadas	1.1.1 Tejido urbano continuo
		1.1.2 Tejido urbano discontinuo
	1.2 Áreas industriales e infraestructura	1.2.1 Áreas industriales o comerciales
		1.2.2 Red vial, ferroviaria y terrenos asociados
		1.2.3 Áreas portuarias
		1.2.4 Aeropuertos
		1.2.5 Obras hidráulicas
	1.3 Áreas de extracción de minería e hidrocarburos y escombreras	1.3.1 Áreas de extracción de minería e hidrocarburos
		1.3.2 Áreas de disposición de residuos
	1.4 Áreas verdes artificializadas, no agrícolas	1.4.1 Áreas verdes urbanas
1.4.2 Instalaciones recreativas		
2. Áreas Agrícolas	2.1 Cultivos transitorios	
	2.2 Cultivos permanentes	
	2.3 Pastos	
	2.4 Áreas agrícolas heterogéneas	
3. Bosques y áreas mayormente naturales	3.1 Bosques	3.1.1 Bosque denso bajo
		3.1.2 Bosque abierto bajo
		3.1.3 Bosque denso alto
		3.1.4. Bosque abierto alto
		3.1.5. Bosque fragmentado
	3.2 Bosques plantados	
	3.3 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustivo	3.3.1 Herbazal
		3.3.2 Arbustal
		3.3.3 Vegetación secundaria o en transición
		3.3.4 Vegetación arbustiva/herbácea
		3.3.5 Arbustal/área intervenida
		3.3.6. Herbazal / área intervenida
		3.3.7 Arbustal – Herbazal/ara intervenida
	3.4 Áreas sin o poca vegetación	3.4.1. Áreas arenosas naturales
		3.4.2 Afloramientos rocosos
		3.4.3 Tierras desnudas (incluye áreas erosionadas naturales y también degradadas)
3.4.4 Áreas quemadas		
3.4.5 Glaciares		
3.4.6 Salares		
4. Áreas Húmedas	4.1 Áreas húmedas continentales	4.1.1 Áreas Pantanosas
		4.1.2 Tuberías y bofedales

		4.1.3 Vegetación acuática sobre cuerpos de agua
	4.2 áreas húmedas costeras	4.2.1 Pantanos costeros
		4.2.2 Salitral
4.2.3 Sustratos y sedimentos expuestos en bajamar		
	5.1 Aguas continentales	5.1.1 Ríos (50m)
		5.1.2 Lagunas, lagos y ciénagas naturales permanentes
		5.1.3 Lagunas, lagos y ciénagas naturales estacionales
		5.1.4 Canales
		5.1.5 Cuerpos de agua artificiales
	5.2 Aguas costeras	5.2.1 Lagunas costeras
		5.2.2 Mares y océanos
		5.2.3 Estanques para acuicultura marina

Fuente: MINAM

f) Estimación de valores para el factor C

- Finalmente se usarán las tablas publicadas por investigadores que definen los valores del factor “C” para los diversos usos y coberturas vegetales adaptados a las zonas, en este caso a la microcuenca San Alberto, para mayor detalle se puede apreciar en la Tabla 3: Valores de cobertura vegetal Factor C.

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

Las prácticas de conservación de suelos minimizan el efecto del flujo del agua sobre el suelo de tal manera que resta el efecto erosivo, para este caso se asumió un valor del factor P igual a “1”, debido a que en las zonas agrícolas de la microcuenca San Alberto no se aplican prácticas de conservación de suelos.

3.5.6. Determinación de los niveles de erosión hídrica real y potencial

En base a los valores de los factores R, K, L, S y C de la ecuación universal de pérdida de suelos USLE, se realizó la multiplicación de las capas obtenidas para la microcuenca San Alberto, de esta manera estimándose la erosión en ton/ha/año

para la erosión hídrica real, en tanto para obtener la erosión hídrica potencial se multiplicará los factores R, K, L y S.

Posterior a la obtención de la capa resultante de erosión hídrica real y potencial, según la metodología aplicada por la FAO (1980), se clasificó de la siguiente manera:

Tabla 9 Niveles de la erosión hídrica real y potencial.

Símbolo	Nivel Erosivo	Rango (ton/ha/año)
1	Erosión nula o ligera	< 10
2	Erosión moderada	10 – 50
3	Erosión alta	50 – 200
4	Erosión muy alta	>200

Fuente. FAO (1980), Citado por Ramos (2001), Guanca (2010).

- **Erosión nula o ligera (<10 ton/ha/año):** Correspondiente a zonas con pérdidas de suelos permisibles, puesto que una vez sobre pasado este nivel las pérdidas de suelos sería más rápidas que la recuperación natural, en este nivel se dan los tipos de erosión hídrica laminar.
- **Erosión moderada (10 – 50 ton/ha/año):** Correspondiente a zonas con procesos erosivos donde ya existe una erosión no permisible y es posible ser apreciado a simple vista, tales casos se muestran en erosiones hídricas laminares con posibles formaciones de surcos.
- **Erosión alta (50 – 200 ton/ha/año):** Correspondiente a zonas con erosión bastante apreciables tales como zonas con posibles formaciones de surcos y en algunos casos cárcavas y definitivamente son zonas con erosión hídrica no permisible.
- **Erosión muy alta (>200 ton/ha/año):** correspondiente a zonas donde los procesos erosivos son graves y la erosión se aprecia a simple vista, debido a esto hay posibles formaciones de surcos y cárcavas.

3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

- Tratamiento estadístico de los datos de precipitación.
- Corrección de imágenes de satélite en Erdas Imagine 2015
- Análisis digital utilizando un modelo DEM para delimitar pendientes.
- Geoprocesamiento con ArcGIS 10.5 para la obtención de mapas temáticos y generar una base de datos en una tabla de atributos.

3.7. Tratamiento estadístico

Las técnicas estadísticas están basadas en la estadística descriptiva y procesadas en el MS Excel y la geoestadística, específicamente interpolación espacial.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Descripción del trabajo de campo

Fase de Pre – campo

- a. Se recopiló datos históricos de precipitación mensual del año 2018 de estaciones cercanas al área de estudio del Servicio Nacional de Hidrología y Meteorología – SENAMHI.
- b. Se recopiló información sobre metodologías para el muestreo de suelos y de tipos de coberturas vegetales.
- c. Se generó y corrigió la base de datos y mapas base, con un sistema de información geográfico SIG, empleando base de datos de la Carta Nacional digital, ZEE, Imágenes satelitales e información recopilada.
- d. Se delimitó la microcuenca con el Software ArcGIS 10.5, contrastando con la información preliminar de la Zonificación Ecológica y Económica de la provincia de Oxapampa y mapa de Cuencas Hidrográficas del Perú en formato shapefile adquirido de la Autoridad Nacional de Agua.

- e. Se realizó la clasificación de cobertura vegetal y uso actual de suelos mediante la metodología establecida por el protocolo CORINE LAND COVER, para ello previamente se procesó y corrigió las imágenes satelitales con el uso de herramientas ERDAS IMAGINE 2015.
- f. Se elaboró las fichas de levantamiento de información de campo y las etiquetas para las muestras de suelo.
- g. Se seleccionó los puntos de muestreo y validación de campo para el levantamiento de información de suelos (muestras) con ayuda de Google Earth Pro, tomando como referencia los mapas bases elaborados previamente.

Fase de campo

- a. Se validó en campo la delimitación de la microcuenca que en un principio se generó en ArcGIS.
- b. Se validó el mapa del factor C de coberturas vegetales y uso de suelos.
- c. También se hizo el levantamiento de información de las longitudes e inclinaciones de pendientes de manera indistinta en puntos de muestreo para la validación del mapa del factor LS.
- d. Se tomaron muestras de suelos de la capa arable (15 - 20cm) de profundidad en base a la cartografía de taxonomía de suelos clasificada por el ZEE de la provincia de Oxapampa.

Fase de gabinete

- a. Se calculó el factor R promedio para todo el periodo de estudio, caracterizando la fuerza erosiva de la lluvia.
- b. Se procesó el Raster del factor R para generar las isoerodentas con la metodología utilizada por Wischmeier & Smith, (1978), mediante la utilización de herramientas de sistemas de información geográfica SIG.

- c. En base al Raster del factor erosivo R anual y promedio, se confeccionó el mapa del factor R mostrándose las isoerodentas, así mismo se determinó los niveles de erosividad de la lluvia de acuerdo a la clasificación establecida por la FAO (1980).
- d. Las muestras de suelo obtenidas de campo fueron analizadas en el laboratorio de Suelos de la Escuela de Formación Profesional Agronomía Oxapampa. Determinándose la textura, estructura, materia orgánica, etc.
- e. Con la utilización de los datos obtenidos del análisis de suelos, los nomogramas y la ecuación de regresión de Wischmeier & Smith (1978) se calculó el factor K de erosionabilidad del suelo para cada zona.
- f. En base a los factores K determinados para cada zona dentro de la microcuenca se confeccionó un mapa de factor de erosionabilidad K.
- g. Con los valores de longitud e inclinación pendiente obtenidos en campo y el uso del nomograma se validó el mapa base elaborado del factor LS y de esta manera se determinó los valores del factor LS para toda la microcuenca.
- h. Con los resultados del levantamiento de información en campo se validó el mapa de cobertura vegetal y uso de suelos del año 2018 y finalmente se confeccionaron los mapas del factor C del año.
- i. Una vez obtenida la información espacial de los factores R, K, LS y C se estimaron valores de erosión hídrica por tipo de usos de suelos y cobertura vegetal y los niveles de erosión hídrica real y potencial.
- j. Así mismo con los resultados obtenidos de los niveles de erosión hídrica real, se realizó la reclasificación de la información para determinar las superficies con erosión hídrica permisible y no permisible para el periodo de estudio.

- k. Así mismo con los resultados de las zonas con erosión hídrica no permisible (>10 ton/ha/año) para el año 2018, se determinó cual tipo de uso de suelos o cobertura vegetal influyó más sobre la erosión hídrica o pérdida de suelos.
- l. En base a la información de las tasas de erosión se generó tablas, gráficos y mapas, de los niveles de erosión hídrica real, niveles de erosión hídrica potencial, cambios de estados erosivos, zonas con erosión hídrica no permisible y los usos de suelos o coberturas vegetales en zonas con erosión no permisible.

4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Delimitación de la microcuenca San Alberto

4.2.1.1. Ubicación Política, Geográfica y Administrativa

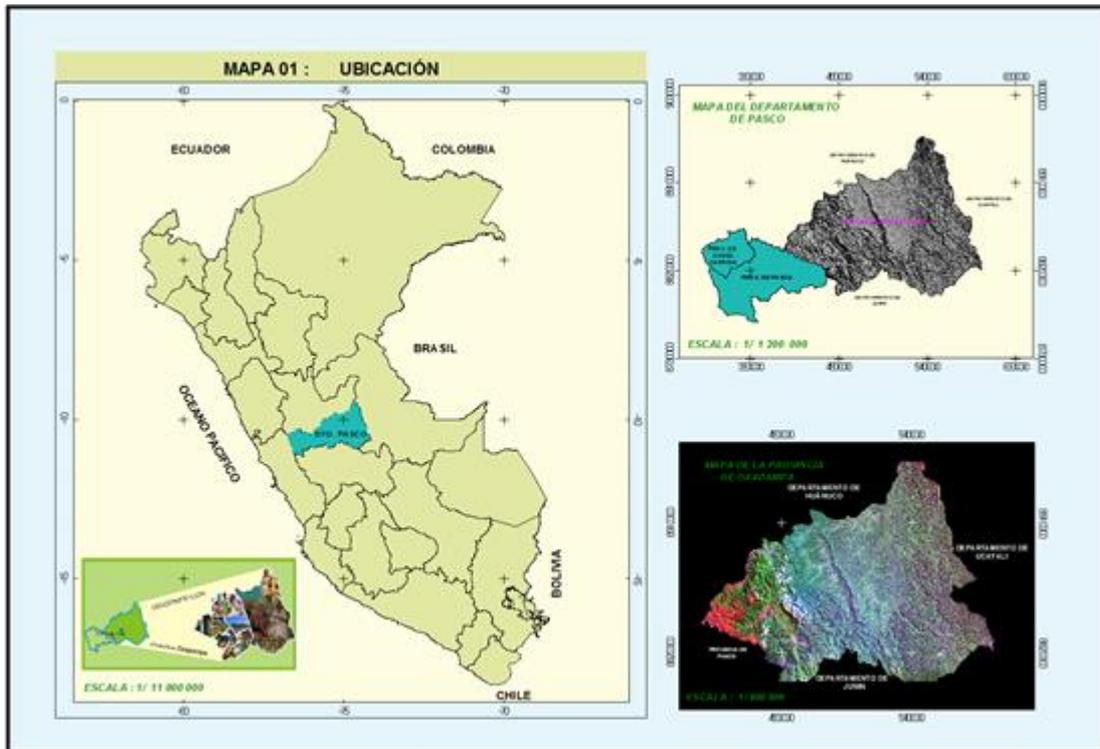
La Microcuenca de la quebrada San Alberto, de acuerdo a la ubicación geopolítica pertenece a:

- Departamento : Pasco
- Provincia : Oxapampa
- Distrito : Oxapampa

Geográficamente UTM WGS 84, 18 son; Centroides este: 459429;

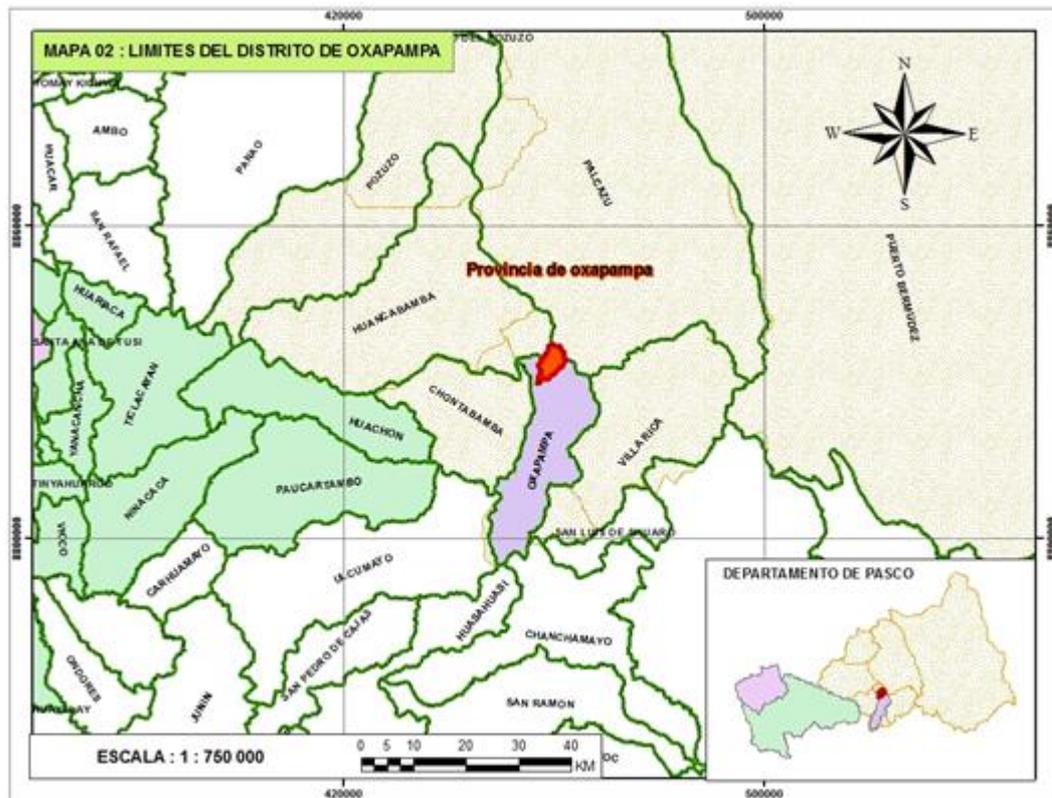
Norte: 8834172.

Mapa 1 Ubicación política de distrito de Oxapampa.



Administrativamente la microcuenca San Alberto pertenece a la Administración Local de Agua ALA Perene, y Autoridad Administrativa del Agua IX Ucayali, cuya sede está en la ciudad San Ramón (Av. Ejército 441 San Ramon – Chanchamayo – Junín), la cual tiene un área de 42 101.17 km² que representa el 18.09 % del área total de la Autoridad Administrativa. La Administración Local de Agua Perene cuenta con dos oficinas de enlace ubicada en ciudad de Oxapampa y Satipo.

Mapa 2 Límites de distritos de Oxapampa.



La extensión superficial de la microcuenca equivale 2 167.39 hectáreas, lo cual representa el 5.28 % del territorio del Distrito de Oxapampa.

Los límites del área de estudio son:

- **Por el Norte:** Parque Nacional Yanachaga Chemillen
- **Por el Sur:** CP La Esperanza y el Distrito de Oxapampa.
- **Por el Este:** Centro Poblado San Alberto
- **Por el Oeste:** Caserío San Pedro.

Tabla 10 Parámetros morfométricos de la microcuenca San Alberto.

PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS DE LA MICROCUENCA SAN ALBERTO			
Área de la cuenca	:	2125.	ha
Perímetro de la cuenca	:	22.74	Km
Longitud de la cuenca	:	7.54	Km
Ancho de la cuenca	:	3.94	Km
Longitud del cauce principal	:	7.67	Km
Cota superior d. cuenca	:	3267.00	m.s.n.m.
Cota inferior d. cuenca	:	1890.00	m.s.n.m.
Cota superior d. cauce	:	2651.00	m.s.n.m.
Longitud de la curva	:	7.102	km
longitud total de las corrientes	:	14.781	km
Factor de forma (F)	:	0.52	
Coefficiente de compacidad (Kc)	:	1.51	
Pendiente de la cuenca	:	18.251	%
Pendiente del cauce principal	:	9.922	%
Altura promedio de la cuenca	:	2578.5	m.s.n.m.

FUENTE: Elaboración propia

4.2.2. Estimación de la erosividad de las Precipitaciones (Factor R)

Para la determinación del índice de erosividad se trabajó con los registros de precipitación de 4 estaciones cercanas a la zona de estudio del periodo enero – diciembre del año 2018. Las estaciones utilizadas y sus datos básicos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 11 Estaciones Meteorológicas.

Mes	Estación	POINT_X	POINT_Y	Altitud	T °C	PP mm
e_d2018	Oxapampa	457711.8643	8830719.508	1850	18	2668.23
e_d2018	Huancabamba	440646.2051	8858897.689	1605	19.8	2516.47
e_d2018	Pozuzo	439455.5777	8879535.23	1138	22.8	2826.55
e_d2018	Villa Rica	470321.80	8812840.78	1467	20	1389.6

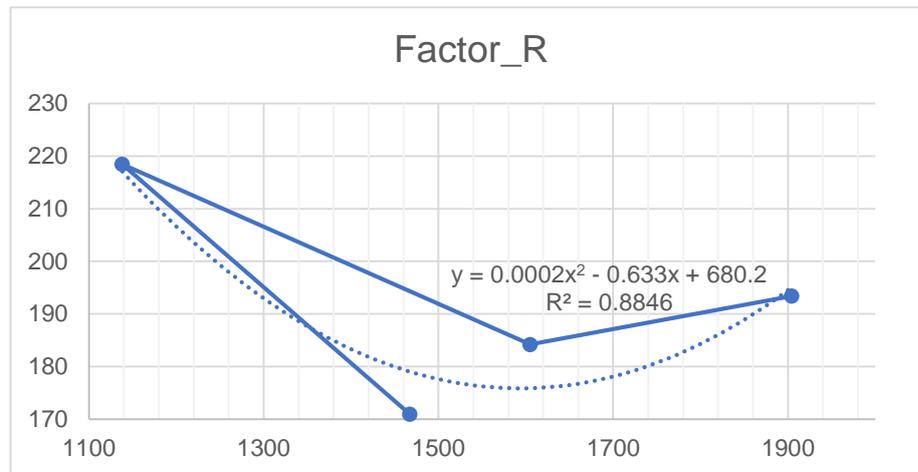
Fuente: Elaboración propia

a. Método de índice de Agresividad Modificado de Fournier (IMF)

Se aplicó la metodología del Índice Modificado de Fournier (Arnoldus, 1978, citado por Ramírez, 2010) y se determinó un valor de R para cada estación.

Al no contar con alguna estación meteorológica dentro de la misma microcuenca se tuvo que aplicar un modelo de correlación entre altura y precipitación basada en los datos meteorológicos de las estaciones existentes alrededor de la microcuenca, las cuales se detallaron líneas arriba. Las alturas se determinaron con un DEM (Modelo de Elevación digital, siglas en ingles). Con los valores obtenidos se realizó el análisis de correlación (precipitación vs altura), ajustándolo a una ecuación polinómica con $R^2=0.8846$, ver figura 8, Análisis de correlación.

Figura 8 Análisis de correlación (IMF vs Altura).

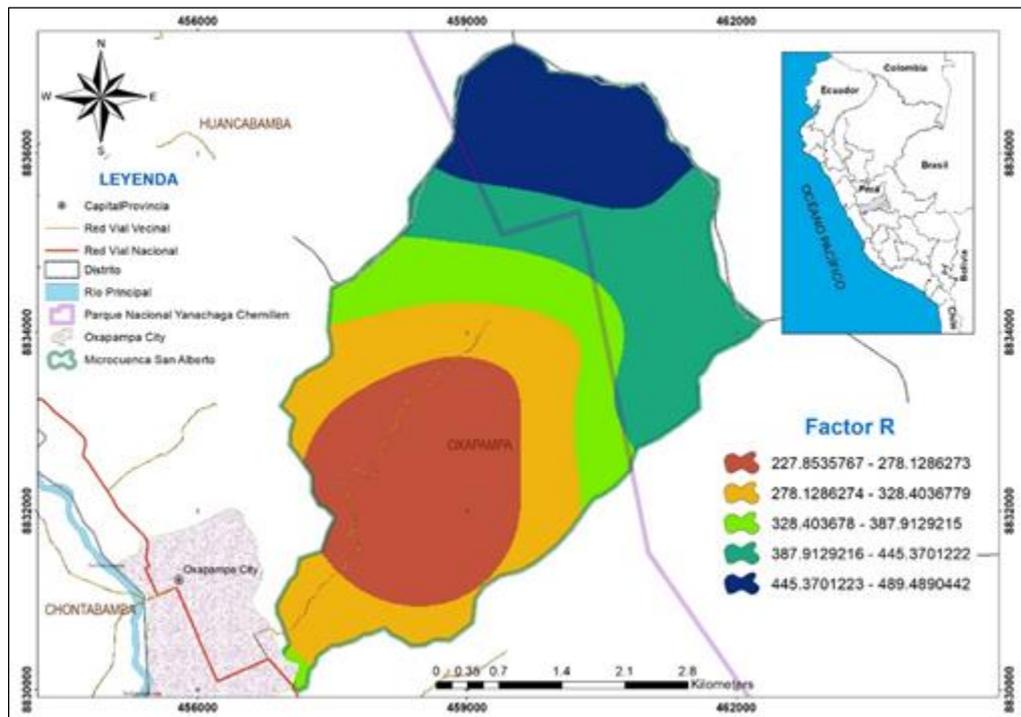


Fuente: Elaboración propia

Con la ecuación obtenida se procedió a generar 10 estaciones dentro de la microcuenca con la herramienta Raster Calculator del ArcGIS 10.5 y generar un shape de puntos (formato vector), con los cuales mediante interpolación (Kringing), se creó un Raster de IMF para toda la microcuenca, creando un mapa de Isoyetas.

Se observa en el siguiente mapa de isoyetas, que el índice de erosividad o factor R, oscila entre 227.85 y 489.48 $Mj*mm/ha*h*año$ para toda la microcuenca, obteniéndose los valores más altos en las zonas de mayor altura y mayor precipitación.

Mapa 4 Erosividad: Factor R.

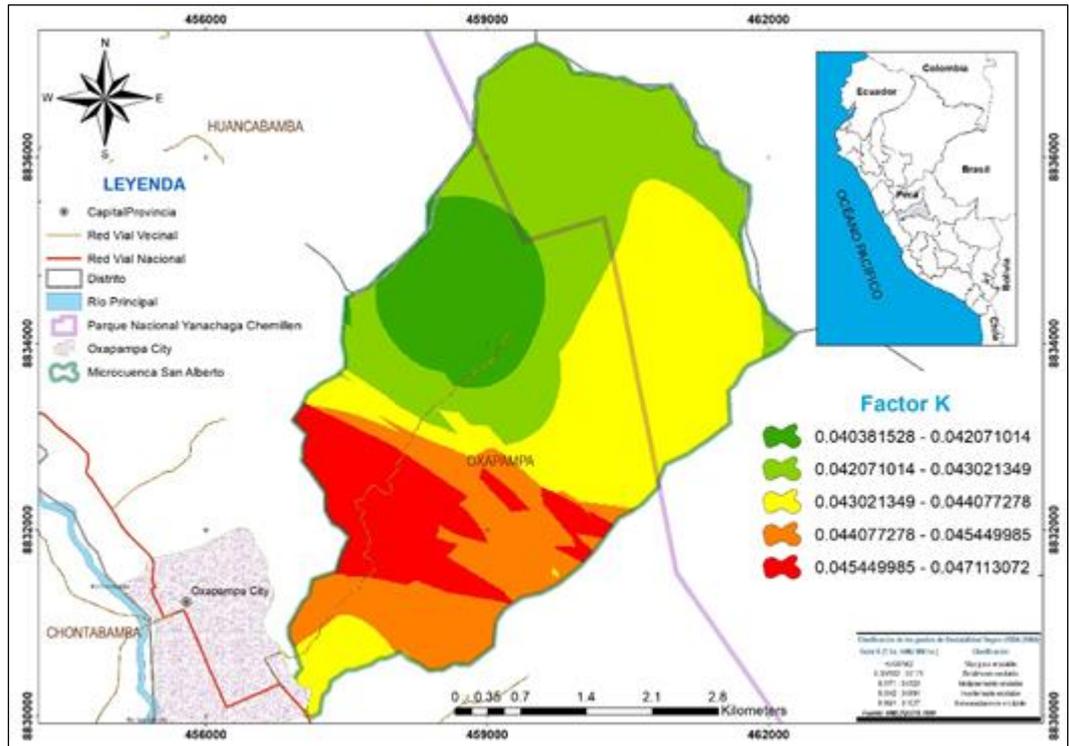


4.2.3. Estimación indirecta de erodabilidad de los suelos (K)

La determinación de Erodabilidad (K) se basó en la metodología propuesta por Wischmeier y Smith (1978), donde se analizaron 4 componentes: estructura, permeabilidad, textura y porcentaje de materia orgánica (Anexo N° 2). Los componentes fueron determinados del muestreo aleatorio de 24 parcelas en función de la cobertura, obteniendo valores que después se procedió a calcular la erodabilidad para toda la microcuenca mediante interpolación en el software ArcGIS 10.5.

En el Mapa 5 se muestran los valores de erodabilidad para la microcuenca que oscila entre 0.04038 – 0.04711 T ha. H/MJ MM ha.

Mapa 5 Erodabilidad: Factor K.

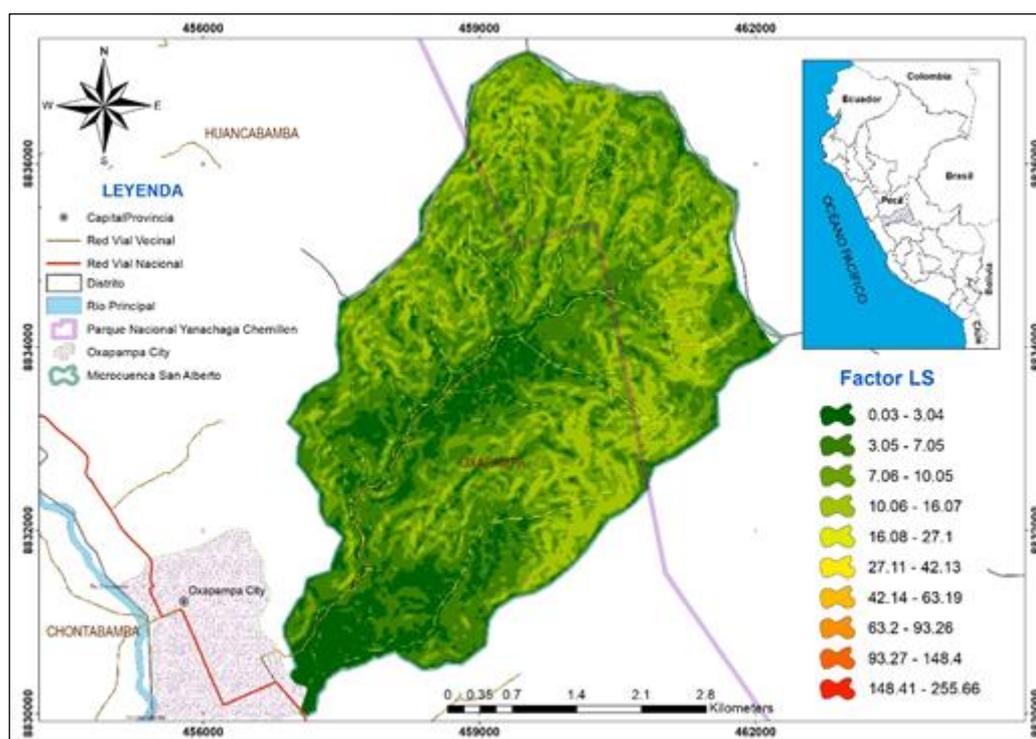


4.2.4. Estimación LS o Longitud y gradiente de la pendiente

Esta variable se obtuvo a partir del mapa de pendientes en porcentaje, productor del DEM ALOS PALSAR de 12,5 m de resolución espacial, al cual se clasificó según rangos propuestos por este método y luego se asignó un valor para el factor LS en función de los mismos.

Se aprecia en el Mapa 6, que los rangos de LS varían de 0.030 a 255.66 (adimensional), los valores altos de LS, corresponde a las zonas de mayor pendiente, ya que la pérdida de suelo se incrementa más rápidamente con pendientes muy escarpadas.

Mapa 6 Longitud y gradiente de pendiente: Factor LS.



4.2.5. Estimación de la cobertura vegetal o Factor C

El factor C se determinó con la metodología recomendada por el MINAM, Corine Land Cover, las cuales fueron validadas mediante el trabajo en campo. Y para la valoración del factor C se basó en tabla publicada por Wischmeier (1978).

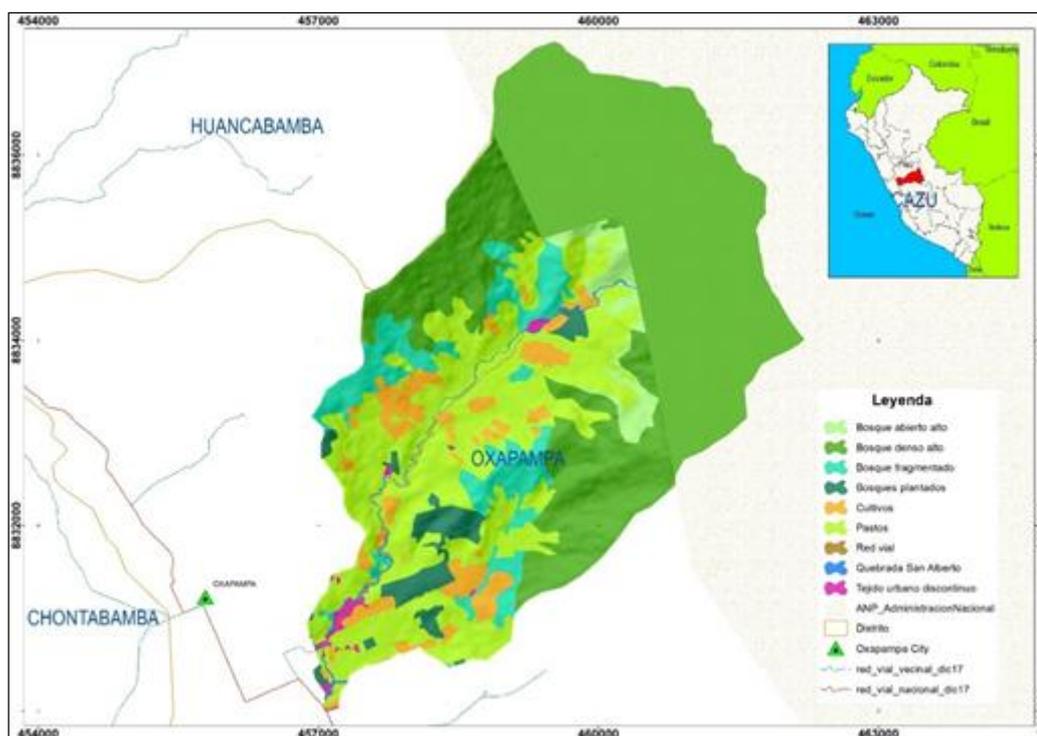
Como se observa en el Mapa 7, el 51.17 % de la superficie total de la microcuenca está bajo la cobertura de Bosque denso alto, el cual equivale a 1094.55 has, seguida por el cultivo de pastos con el 27.74 % o 593.35 has. En general la superficie de bosque nativo (denso alto, abierto alto y fragmentado) conforman unas 1330.38 has, y a nivel de cobertura exótica o de intervención antropogénica incluye pastos, cultivos (rocoto y granadilla principalmente) y bosques plantados (pino y eucalipto) con un total de 781.97 has. Asimismo, en la Tabla 12, se observa los valores adaptados de la tabla de Wischmeier (1978) a las coberturas encontradas en la microcuenca, siendo los cultivos con mayor valor de media anual (0.25), seguida por pastos (0.15).

Tabla 12 Cobertura o uso actual del suelo de la microcuenca San Alberto.

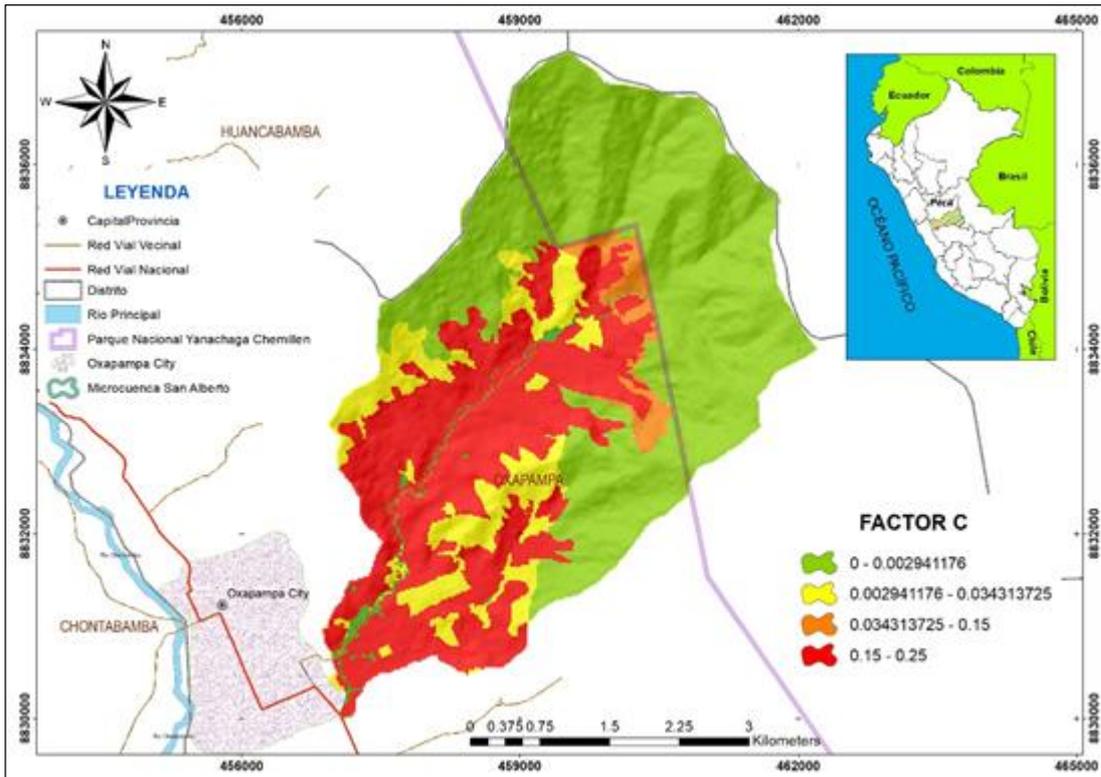
Cobertura	Media anual del factor C	Área (has)	%
Bosque abierto alto	0.035	60.13	2.81
Bosque denso alto	0.001	1094.55	51.17
Bosque fragmentado	0.003	175.70	8.21
Bosques plantados	0.003	69.00	3.23
Cultivos	0.25	119.62	5.59
Pastos	0.15	593.35	27.74
Red vial	No aplica	4.44	0.21
Quebrada San Alberto	No Aplica	10.01	0.47
Tejido urbano discontinuo	No Aplica	12.06	0.56
Total		2138.86	100.00

En el siguiente Mapa, se muestra a detalle el producto obtenido por la metodología Corine Land Cover, haciendo uso de imágenes satelitales del Land Sat 5 del año 2018 y valida en trabajo de campo.

Mapa 7 Producto obtenido por la metodología Corine Land Cover en la Microcuenca de San Alberto.



Mapa 8 Factor C de la microcuenca San Alberto.



4.2.6. Estimación de prácticas de conservación de suelos o Factor P

Durante el proceso de trabajo de campo no se observó ninguna práctica de conservación de suelos en las zonas agrícolas de la microcuenca San Alberto, por lo que se le asignó el valor del factor 1.

4.2.7. Estimación de la Erosión Potencial

La Erosión Potencial se determinó multiplicando los factores R, K y LS, sin considerar el factor C, ni P. En el Tabla 13, se observa que los valores estimados oscilan desde los 0.03204 a 3 109.79 TM/ha/año. La erosión hídrica potencial fue agrupada en niveles de acuerdo a las tablas adaptadas de la FAO (1980). El 70.9429 % de la superficie de la microcuenca presentaría Erosión Alta correspondiendo a 1515.0940 has, seguida por una erosión moderada que representa el 18.3636 % ó 392.1840 has.

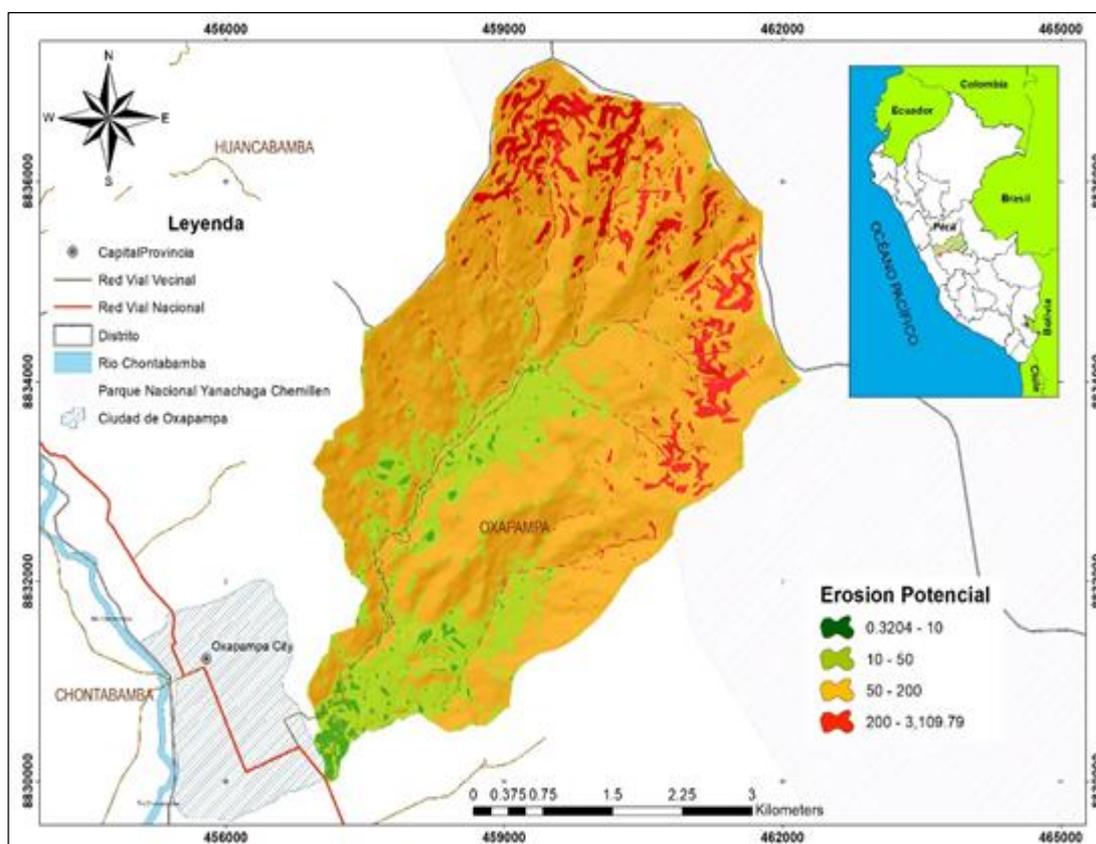
Tabla 13 Niveles de la erosión hídrica potencial en la microcuenca San Alberto.

Símbolo	Nivel de Erosivo	Rango (TM/ha/año)	Área (has)	%
1	Erosión nula o ligera	0.3204 - 10	42.3856	1.9846
2	Erosión moderada	10 - 50	392.1840	18.3636
3	Erosión alta	50 - 200	1515.0940	70.9429
4	Erosión muy alta	200 - 3,109.79	185.9873	8.7086
Total			2135.6509	100

FUENTE: Elaboración propia, adaptado de FAO (1980).

En el Mapa 9, se presenta el mapa generado para la erosión hídrica potencial, donde se puede ver que las zonas de color rojo presentan una erosión muy alta de entre 200 a 3,109.79 TM/ha/año, las de color anaranjado representan a la erosión alta con un rango de erosión de 50 a 200 TM/ha/año de suelo, seguida por las zonas de verde fosforescente que representan a la erosión moderada y verde oscuro a las zonas de erosión nula o ligera.

Mapa 9 Nivel de erosión potencial en la microcuenca San Alberto, Oxapampa, Pasco – Perú.



4.2.8. Estimación de la tasa de erosión hídrica real o Factor A (TM/ha/año)

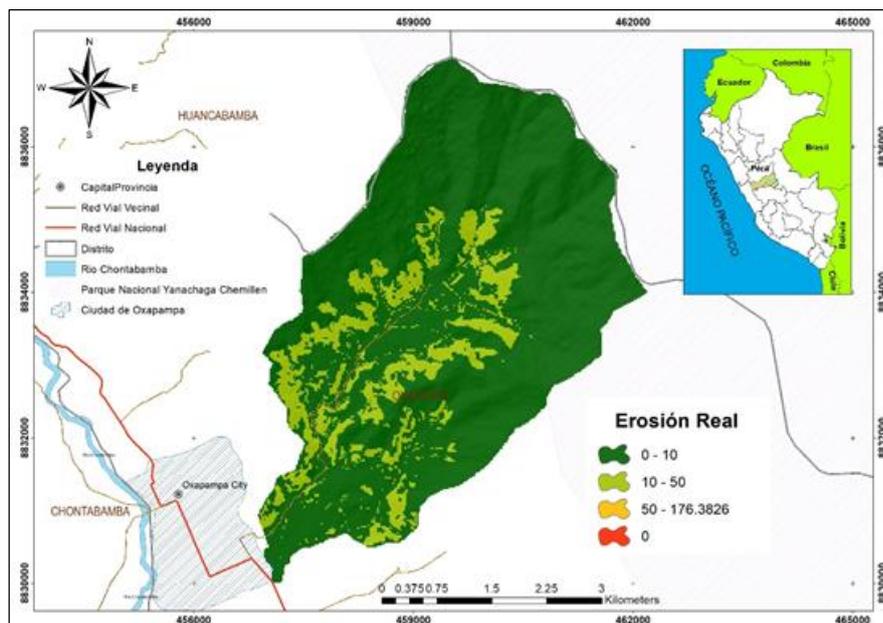
La erosión hídrica real en la microcuenca San Alberto oscila entre 0.3204 a 176.3826 TM/ha/año según el Tabla 14. La erosión hídrica real fue agrupada en niveles de acuerdo a las tablas adaptadas de la FAO (1980). El 85.08 % del territorio de la microcuenca presenta una erosión nula o ligera correspondiendo a 1817.1490 has, seguidamente de una erosión moderada con el 14.80 % ó 316.1952 has bajo ese nivel erosivo; además, no presenta erosión muy alta con 0% de la superficie.

Tabla 14 Niveles de la erosión hídrica real en la microcuenca San Alberto.

Símbolo	Nivel Erosivo	Rango (TM/ha/año)	Área (has)	%
1	Erosión nula o ligera	0.3204 - 10	1817.1490	85.0864241
2	Erosión moderada	10 - 50	316.1952	14.8055657
3	Erosión alta	50 - 176.3826	2.3067	0.10800997
4	Erosión muy alta	0	0	0
Total			2135.6509	100

En el Mapa 11 se muestra la Erosión Real, donde se puede inferir que gran parte de la microcuenca presenta erosión nula o ligera, esto es debido a los distintos tipos de uso de uso o cobertura presente en la zona de estudio.

Mapa 10 Nivel de erosión real en la microcuenca San Alberto, Oxapampa, Pasco - Perú.



4.3. Prueba de Hipótesis

4.3.1. Hipótesis

- Hipótesis general

La erosión real y potencial estimada mediante la Ecuación Universal de Erosión del Suelo en la microcuenca San Alberto del distrito Oxapampa en el año 2018 son influenciados por las actividades antrópicas.

- Hipótesis específicas:

- La erosividad de las precipitaciones incrementan el grado de erosión del suelo en la microcuenca San Alberto.
- La erodabilidad del suelo incrementan el grado de erosión del suelo en la microcuenca San Alberto.
- La longitud e inclinación de la pendiente influyen en el grado erosión del suelo en la microcuenca San Alberto.
- La cobertura vegetal y uso del suelo influyen en el grado de erosión del suelo en la microcuenca San Alberto.

4.3.2. Nivel de significancia

- Nivel de significancia (α): 0.05 (5%)
- Nivel de confianza (z): $1-\alpha \rightarrow 1-0.05= 0.95$ (95%)

4.3.3. Estadístico de Prueba

Para la determinación y elección del estadístico de prueba se procedió a creación arbitraria de 36 puntos de muestreo mediante el software ArcGIS. De las 36 muestras se extrajo los valores de la erosión potencial y de la erosión real.

Para el presente estudio se vio por conveniente utilizar la prueba estadística de T Student por ser la que más se ajusta a los datos de geomodelamiento.

Tabla 15 Prueba de T Student.

	<i>Erosión Potencial</i>	<i>Erosión Real</i>
Media	73.3024	3.2372
Varianza	1718.2534	15.7211
Observaciones	36	36
Varianza agrupada	866.9873	
Grados de libertad	70	
Estadístico t	10.0956	
Valor crítico de t (dos colas)	1.9944	

4.3.4. Decisión

Se rechaza Hipótesis nula y se acepta la alternativa, esto se debe a que el Estadístico t $10.0956 >$ al valor absoluto del valor crítico de t (dos colas) 1.9944.

Aceptamos esta prueba con una probabilidad de equivocarnos con un valor de 0.0000.

Por lo tanto, estadísticamente sí hay diferencia entre la erosión potencial y la erosión real.

4.4. Discusión de Resultados

4.4.1. Erosión hídrica USLE

— La metodología del Índice de Fournier Modificado (IMF) es un buen estimador de la erosividad de las precipitaciones y es el más aceptado y utilizado en lugares donde no se cuente con información pluviométrica detallada, dado cuenta que este índice obtiene resultados muy cercanos al factor R (Farfán, 2002), tal es el caso de la zona de estudio de la microcuenca San Alberto, donde no existe una estación meteorológica, por lo que se tuvo que realizar interpolación con estación de otras zonas cercanas para obtener valores en función de la precipitación vs altura. Además, según Arnoldus (1980) y Hoyos *et al.*, (2005) citado por Ramírez *et al.*, (2007) la metodología IFM es considerada como un eficiente estimador del Factor R para zonas tropicales

como la microcuenca. Asimismo, según la clasificación climática del área de estudio con la metodología de Thornthwaite, la Microcuenca San Alberto cuenta con dos tipos de clima: A(r) B*3 H4 corresponde a un clima muy lluvioso (A), y semi frío (B*3), con precipitaciones abundantes todas las estaciones (r) y muy húmedo (H4). Este tipo de clima se ubica en la cabecera de la Microcuenca San Alberto que es parte también del Parque Nacional Yanachaga Chemillen, y B(r) B*2 H4 que expresa un clima lluvioso (B), y templado (B*2), con precipitaciones abundantes en todas las estaciones (r), y muy Húmedo (H4), este tipo de clima se ubica en la parte baja de la microcuenca san Alberto, y según como manifiesta Mancilla (2008) el IFM es propicia para las zonas cuyo régimen de precipitaciones presentan más de una máxima mensual como el caso de la microcuenca San Alberto.

- Los valores de erosividad R en el presente estudio varía desde oscila entre 227.85 y 489.48 $Mj*mm/ha*h*año$; pero para las condiciones del departamento de Ucayali, Flores (2012) en la subcuenca del Shambillo obtuvo valores de 308.88 – 451.84 $MJ*cm/ha*h año$; asimismo Del Águila (2010) para la microcuenca Puente Pérez, del distrito de Mariano Dámaso Beraún, provincia de Leoncio Prado, Región Huánuco, reporta valores de 347 a 430 $Mj*mm/ha*h*año$, lo cual es razonable sabiendo que la precipitación media anual de esas zonas son superiores a las nuestras; sin embargo Solano (2016) manifiesta que en la subcuenca Shullcas de los distritos de El Tambo y Huancayo, provincia de Huancayo, Región Huancayo la erosividad según el IFM fue de 114.79 hasta 135.28 $MJ*cm/ha*h año$ lo cual también es razonable debido a su ubicación geográfica y bajas precipitaciones. Ante lo expuesto se

puede inferir que los valores de erosividad R se incrementarán en zonas donde las lluvias son mayores y distribuidas en todo el año.

- En cuanto a la erodabilidad o factor K la microcuenca presenta valores que oscilan de 0.04038 a 0.04711 T ha. H/MJ MM ha, que según la clasificación de los grados Erodabilidad según USDA 1962 citado por Amezquita (1990) se denotan como suelos fuertemente erodables, y está relacionada a los suelos de textura franco arcillo limosa que se determinó en la microcuenca, pues según indican Velázquez (2008) y Flores (2012) suelos con texturas medias como los francos, tienen un valor moderado de K, ya que son moderadamente susceptibles al desprendimiento y producen una escorrentía moderada y suelos que contienen un alto contenido de limo son los más erodables, ya que son fácilmente desprendibles, tienden a formar una costra y producir altas tasas de escorrentía. Los resultados tienen relación con los obtenidos por Flores (2012) en la subcuenca Shambillo donde suelos de textura arcillo arenoso presentaron valores de 0.027 T ha. H/MJ MM ha, ya que los suelos con alto contenido de arcilla tienen bajos valores de K, por su resistencia al desprendimiento de las partículas, y suelos con texturas gruesas, como los arenosos, tienen también bajos valores de erodabilidad, aunque estos suelos son fácilmente erodables.
- Los valores calculados para la variable LS oscila de 0.030 a 255.66, siendo los valores de menor rango los que presentan menor pendiente, ubicados en la parte baja de la microcuenca, y los valores de rangos mayores se infiere que son las de mayor pendiente o inclinación sumado a la longitud de esta y se ubica en la parte media y en gran parte en la cabecera de cuenca, esto es confirmado con lo que manifiesta Renard et al., (1997) donde los valores más altos se encuentra 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.

- La metodología Corine Land Cover permitió describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la microcuenca San Alberto, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite de resolución media (Landsat), para la construcción de mapas de cobertura. Asimismo, la metodología fue utilizada debido a que fue validada y recomendada para su uso a nivel nacional según el Ministerio del Ambiente (MINAM, 2014).
- Los valores obtenidos del factor C para el presente estudio varían de 0.001 a 0.25, siendo los valores más cercanos a cero (0.001, 0.003 y 0.035) representados por los distintos tipos de bosques (Tabla 13), los cuales por su densidad foliar y arquitectura de las especies amortiguan las gotas de las lluvias, así como la distribución y profundidad de sus raíces permiten un eficiente mantenimiento o sostén de los suelos; mientras que los valores más altos corresponden a los cultivos y pastos (0.25 y 0.15, respectivamente) infieren una menor protección de la energía cinética de las gotas de lluvia, permitiendo un desprendimiento de las partículas del suelo que luego según el grado de pendiente pueden ser arrastradas a las partes bajas de la microcuenca. Los principales cultivos en la zona son el cultivo de granadilla y rocoto. En el caso de la granadilla se realizan las podas en los meses de noviembre y diciembre dejando desprotegido el suelo en la época de mayores precipitaciones, en cambio en el cultivo de rocoto se trata de eliminar la

competencia con las arvenses todo el periodo productivo de la planta, conllevando a una mayor erosión. Asimismo, el Tabla 14 muestra mayores sin cobertura frente a los suelos protegidos por cobertura sea bosques o cultivos.

- La estimación de la tasa de erosión hídrica real para el presente estudio fue de 0 a 176.382 TM/ha/año y una tasa promedio de 88.191 TM/ha/año, mientras que la erosión potencial o en el supuesto que la microcuenca no cuente con ninguna protección o cobertura, los valores van de 0.320 a 3,109.80 TM/ha/año con un promedio anual de 1555.058 TM/ha/año. Los valores muy altos de la erosión potencial se deben principalmente al tipo de suelo, pendientes y altas precipitaciones distribuidas en el año de la zona de estudio y los valores inferiores que presenta la erosión real se debe principalmente a la cobertura o Factor C.
- Si bien la erosión real es significativamente inferior a la erosión potencial, Ramos (2001) indica que el límite de erosión aceptado internacionalmente como como admisible oscila en torno a las 10 – 12 tm/ha/año, sin embargo, en zonas húmedas esta cifra puede elevarse hasta las 25 tm/ha/año y 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 de suelo.
- En los últimos 30 años la ampliación de la frontera agrícola en la microcuenca está eliminando la masa forestal nativa lo cual a largo plazo pudieran desestabilizar los servicios ecosistémicos que provee la microcuenca a la ciudad de Oxapampa, principalmente agua, pues la creación del Parque Nacional Yanachaga Chemillen en el 1986 permitió frenar la deforestación, sobre todo en las partes altas o cabecera de la microcuenca.

CONCLUSIONES

- Se determinó que el índice de erosividad de las precipitaciones o Factor R, mediante el IMF, oscilan entre 227.85 a 489.48. $Mj \cdot mm/ha \cdot h \cdot año$.
- Asimismo, el índice de erodabilidad del suelo o factor K, varía entre 0.04035 y 0.04711 $T ha. H/MJ MM ha.$, clasificadamente como Fuertemente erodable.
- El factor de longitud y gradiente de la pendiente o factor LS, oscilan entre los valores de 0.030 a 255.66 (adimensional) para toda la microcuenca.
- Se terminó mediante la metodología Corine Land Cover seis tipos de cobertura en el nivel 3, como son: Bosque abierto alto (2.81 % de la superficie), Bosque denso alto (51.17%), Bosque fragmentado (8.21 %), Bosques plantados (3.23 %), Cultivos (5.59 %) y Pastos (27.74 %).
- Para el factor de cobertura vegetal o factor C se determinó los valores que oscilan de 0.001 en bosque abierto alto, 0.003 para Bosques fragmentado y Bosques plantados, 0.035 Bosque abierto alto, 0.15 pastos y 0.25 para cultivos en general.
- Se estimó una erosión potencial de 0.03204 a 3 109.79 $TM/ha/año$ y una erosión real de 0.3204 a 176.3826 $TM/ha/año$ para la microcuenca San Alberto.

RECOMENDACIONES

- Determinar la erosión bajo esta metodología en microcuencas vecinas y bajo mayor impacto antropogénico para comparar datos en condiciones ambientales similares.
- Concientizar a los actores de la microcuenca acerca de los servicios ecosistémicos que ofrece la microcuenca San Alberto, además de impulsar conservación, uso sostenible y preservación del territorio como sistema.
- Instalar parcelas de erosión en las distintas coberturas que presenta la microcuenca y relacionarlas con su pendiente, tipo de suelo y precipitación con el fin de tener datos más exactos del factor C.

BIBLIOGRAFÍA

- Antezana, J. 2001. Calibración de los factores de erosión utilizando la ecuación universal de pérdida de suelo revisado "RUSLE" en sistemas de producción agrícola de la cuenca Taquiña. Centro de Levantamientos Aeroespaciales y aplicaciones SIG para el Desarrollo Sostenible de los Recursos. Taquiña-Bolivia. 77 pp.
- Barrios, A y Quiñónez, E. 2000. Evaluación de la erosión utilizando el modelo R (USLE) con apoyo de SIG. Aplicación en una microcuenca de los Andes Venezolanos. Revista Forestal Venezolana. Trujillo - Venezuela. 7 pp.
- Bienes, A. R.; Pérez María José Marqués y Ruíz, C. M. 2012. “Cultivos herbáceos, viñedos y olivares: el manejo tradicional del suelo y sus consecuencias en la erosión hídrica”. *Cuadernos de investigación geográfica*, no. 38, pp. 49-74, ISSN 0211-6820.
- Cabrejos, M. 2016. Modelamiento geoespacial en la determinación del riesgo, vulnerabilidad y de la cuantificación de la erosión hídrica en la microcuenca del río Atuén – Amazonas. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrícola. Universidad Nacional Agraria La Molina. 145 p.
- Duran, Z. V. H.; Francia, M. J. R.; García, T. I.; Arroyo, P. L. y Martínez, R. A. 2012. “Mitigación de la erosión de suelos en plantaciones de almendro por cubiertas vegetales: implicaciones para la agricultura sostenible de montaña (SE España)”. *Comunicata Scientiae*, vol. 3, no. 2, pp. 123-129, ISSN 2177-5133.
- FAO, 2016. “Conservación de Suelos”. Portal de Suelos 2016. Disponible en: <http://www.fao.org/soils-portal/manejo-del-suelo/conservacion-del-suelo/es/>
- Flores, E. 2016. Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en tres cuencas de La República Mexicana, utilizando la Ecuación Universal de Pérdida

de Suelo. Tesis para optar el título de Ingeniero Civil. Universidad Nacional Autónoma de México. D.F. México. 146 p.

- GRUPO TRAGSA y Ministerio de Medio Ambiente, 1998. Restauración hidrológica forestal de cuencas y control de la erosión. Ed. Mundi-prensa. España. 945 p.
- Haig, M. (1977). The use of erosion pins in the study of slope evolution. Technical Bulletin N°18:31-49. Department of Geography University of Chicago. USA.
- Hernández, J. A.; Ascanio, G. M. O.; Morales, D. M.; Bojórquez, S. J. I.; García, C. M. E. y García, P. J. D. 2008. *El suelo: Fundamentos sobre su formación, los cambios globales y su manejo*. edit. Universidad Autónoma de Nayarit, México, 264 p., ISBN 978-968-833-072-2.
- Hudson, N. 1981. Soil Conservation, Ithaca, New York, Cornell University Press, 324 p. Instituto Caribeño de Recursos Naturales. 2008, Cambio climático y reducción de riesgos de desastres. Reporte técnico N° 386. Disponible en: <http://www.canari.org/documents/TechDocno386-Spn.pdf>.
- Hudson, N. 1981. Soil Conservation, Ithaca, New York, Cornell University Press, 324 p. Instituto Caribeño de Recursos Naturales. 2008, Cambio climático y reducción de riesgos de desastres. Reporte técnico N° 386.
- IDEAM, 2010. Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C., 72p.
- IDEAM, IGAC y CORMAGDALENA. 2008. Mapa de Cobertura de la Tierra Cuenca Magdalena-Cauca: Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia a escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios

Ambientales, Instituto Geográfico Agustín Codazzi y Corporación Autónoma Regional del río Grande de La Magdalena. Bogotá, D.C., 200p. + 164 hojas cartográficas.

- Kirby, M. y Morgan, R. 1984. Erosión de suelos. Ed. Limusa. México. 375p.
LAL y STEWART, 1995 citados por Rivera, Sinisterra, & Calle, 2004.
Disponible en:
http://datateca.unad.edu.co/contenidos/30160/procesos_de_degradacion_de_suelos.html
- Llerena, C.; Rothwell, R.; Zhang, H. 1987. Test of erodability rating system for the foothills of Alberta, Canadá. In: Forest hidrology and watershed management. Publ. IAHS.
- Mancilla, G. (2008). “Uso de la Ecuación Universal de Perdida de Suelo en el Campo Forestal”.
- Mejía, J.; Dal Pozzo, F.; Montilla, P. y Torres, G. 2010. “Evaluación cuali-cuantitativa de la erosión hídrica en la microcuenca Aguas Calientes, estado Mérida-Venezuela”. Revista Geográfica Venezolana, vol. 51., no. 2, pp. 203-223, ISSN 1012-1617, 2244-8853.
- Metternicht, G. y González, S. 2005. “FUERO: foundations of a fuzzy exploratory model for soil erosion hazard prediction”. *Environmental Modelling & Software*, vol. 20, no. 6, pp. 715-728, ISSN 1364-8152, DOI 10.1016/j.envsoft.2004.03.015.
- Morgan, R. 1997. Erosión y conservación de suelos. Ediciones Mundi-Prensa Libros S.A. Editorial Aedos. Madrid - España. 306 pp.
- Morgan, R. 1997. Erosión y conservación de suelos. Madrid, España.
Consultado el 05 de julio 2019, disponible en:

http://books.google.cl/books?id=jcFqaFIu1UC&printsec=frontcover&dq=morga&source=gbs_summary_r&cad=0#PPP1,M1

- Morgan, R.P.C. 1997. Erosión y conservación de suelos. Madrid, España. Consultado el 5 de julio 2019, disponible en: http://books.google.cl/books?id=jcFqaFIu1UC&printsec=frontcover&dq=morga&source=gbs_summary_r&cad=0#PPP1,M1
- Núñez, J. 2001. Manejo y conservación de suelos. San José, Costa Rica: EUNED (Editorial Universidad Estatal a Distancia). 267 p.
- Paulet, I. M. (1974). Guía para el planeamiento del uso de las tierras agrícolas en las zonas de lluvia del Perú. Universidad Agraria La Molina. Depto. de Recursos de Agua y Tierra. Publicación N°5, 55 p.
- Paulet, M. (1974). Guía para el planeamiento del uso de las tierras agrícolas en las zonas de lluvia del Perú. Universidad Agraria La Molina. Depto. de Recursos de Agua y Tierra. Publicación N°5, 55 p.
- Pérez, S. 2001. Modelo para evaluar la erosión hídrica en Colombia utilizando sistemas de información geográfica. Universidad Industrial de Santander. Bogotá - Colombia. 77 pp.
- Perú. Ministerio del Ambiente. 2014. Informe Final del Proyecto: Análisis de las Dinámicas de Cambio de Cobertura de la Tierra en la Comunidad Andina Dirección General de Ordenamiento Territorial - Lima. 78 p.
- Ramírez, F. A. e Hincapie G., E. 2009. “Riesgo a la erosión en la zona cafetera central del departamento de Caldas”. *Cenicafé*, vol. 60, no. 2, pp. 173-189, ISSN 0120-0275.

- Ramírez, F., Hincapié, E., Sadeguián, S., Pérez, U. 2007. Erosividad de las lluvias en la zona cafetera central y occidental del Departamento de Caldas. Caldas- Colombia. 14 pp.
- Ramírez, L. 2010. Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la cuenca del río Juramento - Salta. Universidad Nacional de Salta. Salta- Argentina. 104 pp.
- Ramos, C. 2001. Modelamiento ambiental para análisis de susceptibilidad erosiva en la cuenca media y alta del río Cañete y determinación del mapa de erosión. Universidad Nacional Agraria La Malina. Lima - Perú. 30 pp.
- Sánchez, H. R.; Mendoza, P. J. de D.; De la Cruz, R. J. C.; Mendoza, M. J. E. y Ramos, R. R. “Mapa de erosión potencial en la cuenca hidrológica Grijalva-Usumacinta México mediante el uso de SIG”. *Universidad y ciencia*, vol. 29, no. 2, agosto de 2013, pp. 153-161, ISSN 0186-2979.
- Solano, R. 2016. Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la subcuenca del río Shullcas 2000 – 2013, Huancayo. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Forestal y Ambiental. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú. 111 p.
- Vahrson, W; Cervantes, C. 1991. Escorrentía superficial y erosión laminar en Puriscal Costa Rica. In. Vahrson, W; Alfaro, M; Palacios, G. Memoria del Taller de Erosión de Suelos. Heredia, CR, UNA.
- Vásquez y Tapia. 2011. “Cuantificación de la Erosión Hídrica Superficial en las laderas Semiáridas de la Sierra Peruana”
- Vásquez, A. 2000. “Manejo de Cuencas Altoandinas”. Tomo I.
- Vásquez, A. 2000. “Manejo de Cuencas Altoandinas”. Tomo I.

- Velásquez, S. 2008. Erosión de suelos utilizando la EUPSR (RUSLE). Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza. Cantón de Coronado- Costa Rica. 54 pp.
- Volk, M.; Möller, M. y Wurbs, D. 2010. “A pragmatic approach for soil erosion risk assessment within policy hierarchies”. *Land Use Policy*, vol. 27, no. pp. 997-1009, ISSN 0264-8377, DOI 10.1016/j.landusepol.2009.12.011.
- Wischmeier, w. y Smith, A. 1978. Predicting Rainfall erosion Losses. Aguide to Conservation Planning. Agricultura! Handbook N°. 537. United States Department of Agriculture, Washington DC., USA. 258 p.
- Zhang, X.; Wu, B.; Ling, F.; Zeng, Y.; Yan, N. y Yuan, C. 2010. “Identification of priority areas for controlling soil erosion”. *Catena*, vol. 83, no. 1., pp. 76-86, ISSN 0341-8162, DOI 10.1016/j.catena.2010.06.012.
- Zúñiga, J. 2017. Determinación de la pérdida de suelos en la cuenca aportante del Embalse Aguada Blanca-Arequipa, aplicando USLE y técnicas geoespaciales. Tesis para optar el grado en Magister Science en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas. UNALM, Lima, Perú. 150 p.

ANEXOS

ANEXO N° 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: “ESTIMACIÓN DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN LA PERDIDA DE LOS SUELOS MEDIANTE LA USLE EN LA MICROCUENCA SAN ALBERTO DEL DISTRITO DE OXAPAMPA”.					
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General			
¿Cuál es grado de erosión o pérdida del suelo por factores naturales y antrópicos en la microcuenca San Alberto, distrito y provincia de Oxapampa mediante la aplicación Ecuación Universal de Erosión del Suelo para el año 2018?	Estimación real y potencial de la pérdida de suelo mediante la Ecuación Universal de Erosión del Suelo (USLE) en la microcuenca San Alberto, distrito y provincia de Oxapampa para el año 2018.	La erosión real y potencial estimada mediante la Ecuación Universal de Erosión del Suelo en la microcuenca San Alberto del distrito Oxapampa en el año 2018 son influenciados por las actividades antrópicas.	Variables independientes - Factor de Erosividad. - Factor de Erosionabilidad. Variables dependientes - Factor de cobertura vegetal y uso de suelos. - Factor de prácticas de conservación de suelos. Variables Intervinientes - Factor de longitud e inclinación de la pendiente	El método investigación que se usó en la presente investigación fue Analítico – Sintético.	Población: La cuenca andino amazónica del río Pachitea Muestra: Estará constituida por la microcuenca San Alberto la cual está constituida por tipos de cobertura vegetal y/o usos de suelos, variabilidad topográfica, precipitación y edáfica.
Problemas específicos	Objetivo Específicos	Hipótesis Específicas			
<ul style="list-style-type: none"> ▪ ¿Cuál es el grado de erosividad (R) de las precipitaciones en la pérdida de suelos de la microcuenca San Alberto para el año 2018? 	<ul style="list-style-type: none"> • Estimar el grado de erosividad de las precipitaciones (R) según el índice modificado de Fournier para la microcuenca San Alberto. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La erosividad de las precipitaciones incrementan el grado de erosión del suelo en la microcuenca San Alberto. 			
<ul style="list-style-type: none"> ▪ ¿Cuál es el grado de erodabilidad (K) en la pérdida de suelos de la microcuenca San Alberto para el año 2018? 	<ul style="list-style-type: none"> • Estimar el grado de erodabilidad del suelo (K) en la microcuenca San Alberto. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La erodabilidad del suelo incrementan el grado de erosión del suelo en la microcuenca San Alberto. 			
<ul style="list-style-type: none"> ▪ ¿Cómo influye la longitud e inclinación de la pendiente (LS) en la pérdida de suelos de la microcuenca San Alberto para el año 2018? 	<ul style="list-style-type: none"> • Estimar la influencia de la longitud e inclinación de la pendiente (LS) en la erosión del suelo de la microcuenca San Alberto. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La longitud e inclinación de la pendiente influyen en el grado erosión del suelo en la microcuenca San Alberto. 			
<ul style="list-style-type: none"> ▪ ¿Cómo influye la cobertura vegetal y uso de suelos (C) en la pérdida de suelos de la microcuenca San Alberto para el año 2018? 	<ul style="list-style-type: none"> • Estimar influencia de la cobertura vegetal y uso del suelo en la erosión del suelo de la microcuenca San Alberto. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ La cobertura vegetal y uso del suelo influyen en el grado de erosión del suelo en la microcuenca San Alberto. 			

ANEXO N° 2: INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

a. Cuadro de Estaciones meteorológicas utilizadas para el presente estudio

Mes/Año	Estación	POINT_X	POINT_Y	Altitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	PP_Anual	T °C
e_d2018	Oxapampa	457711.86	8830719.51	1904	201	279	216	190	53	33	41	70	130	194	207	210	1821.7	18
e_d2018	Huancabamba	440646.21	8858897.69	1605	206	259	201	180	48	28	37	71	132	183	196	198	1737.3	19
e_d2018	Pozuzo	439455.58	8879535.23	1138	246	280	246	206	71	46	49	76	186	216	250	252	2121.5	23
e_d2019	Villa Rica	470321.80	8812840.78	1467	174	274	154	52.9	32	20	27	81	144	97.7	91.3	242	1389.6	20

b. Determinación de la tasa de erosión de la microcuenca San Alberto

Muestra	x	y	Cobertura	Clase Textural	%Arena	% Limo	% Arcilla	Estructura	MO	Permeabilidad			factor_k	K_KyM	K_prom	Clasificación
1	457164	8830671	Pastizal	Franco arcillo arenosa	52	25	25	3 granular y migajosa media	2.655	4	0.049	Lenta a moderada	0.05775541	0.03680726	0.04728133	Fuertemente erodable
2	457432	8830829	Pastizal	Franco arcillo arenosa	55	28	17	3 granular y migajosa media	2.442	4	0.049	Lenta a moderada	0.0703309	0.03678698	0.05355894	Fuertemente erodable
3	457451	8831052	Cultivo	Franco arcillo arenosa	62	20	18	3 granular y migajosa media	3.459	4	0.096	Lenta a moderada	0.06212459	0.03680021	0.0494624	Fuertemente erodable
4	456982	8831015	Cultivo	Franco arcillosa	31	33	36	3 granular y migajosa media	2.012	4	0.11	Lenta a moderada	0.04382825	0.03827718	0.04105272	Fuertemente erodable
5	457158	8831247	Cultivo	Franco arcillosa	45	32	23	3 granular y migajosa media	2.263	4	0.11	Lenta a moderada	0.06145294	0.03822774	0.04984034	Fuertemente erodable
6	457730	8831251	Palto	Franco arcillosa	52	31	17	3 granular y migajosa media	2.77	4	0.11	Lenta a moderada	0.06817724	0.03820887	0.05319306	Fuertemente erodable

7	457550	8831459	Pastizal	Franco arcillosa	38	35	27	3	granular y migajosa media	1.775	4	0.11	Lenta a moderada	0.05767353	0.03823835	0.04795594	Fuertemente erodable
8	457521	8831791	Granadilla	Franco Arcillo limosa	18	35	47	3	granular y migajosa media	2.66	4	0.053	Lenta a moderada	0.02962744	0.06453275	0.0470801	Fuertemente erodable
9	457873	8831783	Pastizal	Franco Arcillo limosa	11	35	54	3	granular y migajosa media	2.84	4	0.053	Lenta a moderada	0.02323263	0.06476222	0.04399742	Fuertemente erodable
10	457786	8832177	Granadilla	Franco Arcillo limosa	15	42	43	3	granular y migajosa media	2.58	4	0.053	Lenta a moderada	0.03383008	0.06438222	0.04910615	Fuertemente erodable
11	457598	8832164	Pastizal	Franco Arcillo limosa	40	30	30	3	granular y migajosa media	3.56	4	0.053	Lenta a moderada	0.04515398	0.06397766	0.05456582	Fuertemente erodable
12	457491	8832453	Pastizal	Franco arcillosa	43	28	29	3	granular y migajosa media	2.89	4	0.053	Lenta a moderada	0.04947067	0.03826136	0.04386602	Fuertemente erodable
13	458134	8832556	Purma	Franco arcillosa	28	30	42	3	granular y migajosa media	3.25	4	0.053	Lenta a moderada	0.03294909	0.03830769	0.03562839	Fuertemente erodable

14	457977	8832764	Purma	Franco arcillosa	45	33	22	3	granular y migajosa media	2.45	4	0.053	Lenta a moderada	0.06199596	0.03822622	0.05011109	Fuertemente erodable
15	458361	8833186	Granadilla	Franco arcillosa	36	31	33	3	granular y migajosa media	2.65	4	0.053	Lenta a moderada	0.04524896	0.0382732	0.04176108	Fuertemente erodable
16	458070	8833338	Granadilla	Franco arcillosa	40	30	30	3	granular y migajosa media	2.66	4	0.053	Lenta a moderada	0.04916146	0.03826223	0.04371184	Fuertemente erodable
17	458877	8833444	Granadilla	Franco arcillosa	38	29	33	3	granular y migajosa media	3.21	4	0.059	Lenta a moderada	0.04299242	0.03827953	0.04063597	Fuertemente erodable
18	458530	8833658	Pastizal	Franco arcillosa	41	33	26	3	granular y migajosa media	2.85	4	0.059	Lenta a moderada	0.05381878	0.03824916	0.04603397	Fuertemente erodable
19	459188	8833838	Granadilla	Franco arcillosa	32	33	35	3	granular y migajosa media	2.83	4	0.11	Lenta a moderada	0.04205669	0.03828215	0.04016942	Fuertemente erodable
20	458858	8834149	Granadilla	Franco arcillosa	41	29	30	3	granular y migajosa media	3.8	4	0.11	Lenta a moderada	0.04408532	0.03827646	0.04118089	Fuertemente erodable

21	459765	8833907	Pastizal	Franco arcillosa	40	33	27	3	granular y migajosa media	2.89	4	0.11	Lenta a moderada	0.05221022	0.03825368	0.04523195	Fuertemente erodable
22	459269	8834191	Bosque	Franco arcillosa	43	31	26	3	granular y migajosa media	2.96	4	0.11	Lenta a moderada	0.05326282	0.03825072	0.04575677	Fuertemente erodable
23	459546	8834438	Pastizal	Franco arcillosa	35	32	33	3	granular y migajosa media	2.52	4	0.11	Lenta a moderada	0.0457728	0.03827173	0.04202227	Fuertemente erodable
24	460072	8834231	Bosque	Franco arcillosa	39	32	29	3	granular y migajosa media	2.14	4	0.11	Lenta a moderada	0.05292001	0.03825168	0.04558585	Fuertemente erodable

c. Data para la prueba de Hipótesis

FID	Cobertura	E_Potencia	E_Real
1	Bosque Abierto Alto	129.731	4.3768
2	Bosque Abierto Alto	49.0512	1.5744
3	Bosque Abierto Alto	153.595	5.20275
4	Bosque Abierto Alto	99.7037	2.83766
5	Bosque Abierto Alto	165.12	5.72807
6	Bosque Abierto Alto	88.7563	2.44277
7	Bosque Denso Alto	99.2987	0.09966
8	Bosque Denso Alto	107.127	0.11048
9	Bosque Denso Alto	99.6644	0.0972
10	Bosque Denso Alto	44.0564	0.044744
11	Bosque Denso Alto	89.6198	0.086796
12	Bosque Denso Alto	108.691	0.108731
13	Bosques Fragmentados	135.605	0.388402
14	Bosques Fragmentados	17.701	0.056949
15	Bosques Fragmentados	88.3823	0.240793
16	Bosques Fragmentados	139.769	0.413694
17	Bosques Fragmentados	33.2714	0.081432
18	Bosques Fragmentados	90.8649	0.28402
19	Bosques Plantados	77.7845	0.240067
20	Bosques Plantados	82.3877	0.232097
21	Bosques Plantados	82.2118	0.238055
22	Bosques Plantados	34.2152	0.102917
23	Bosques Plantados	85.0305	0.264896
24	Bosques Plantados	39.7475	0.122552
25	Cultivos	33.4352	8.03978
26	Cultivos	11.995	2.77135
27	Cultivos	20.4414	5.27357
28	Cultivos	33.519	7.44952
29	Cultivos	37.8012	9.46925
30	Cultivos	42.8425	10.944
31	Pastos	48.2067	7.56492
32	Pastos	25.8736	3.57355
33	Pastos	34.538	5.50542
34	Pastos	73.5721	11.1312
35	Pastos	30.2038	4.5745
36	Pastos	105.072	14.8651

ANEXO N° 3: PANEL FOTOGRÁFICO

Fotografía N° 1 Muestreo de suelos - Microcuenca San Alberto.



Fotografía N° 2 Muestreo de suelos - Microcuenca San Alberto.



Fotografía N° 3 Muestreo de suelos - Microcuenca San Alberto.



Fotografía N° 4 Muestreo de suelos - Microcuenca San Alberto.



Fotografía N° 5 Muestreo de suelos - Microcuenca San Alberto.



Fotografía N° 6 Muestreo de suelos - Microcuenca San Alberto.



Fotografía N° 7 Análisis de muestras en laboratorio.



Fotografía N° 8 Análisis de muestras en laboratorio.



Fotografía N° 9 Análisis de muestras en laboratorio.



Fotografía N° 10 Análisis de muestras en laboratorio.

