



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

NIVELES DE EROSIÓN HÍDRICA APLICANDO EL SISTEMA DE
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA EN EL DISTRITO DE YANAOCA –
CUSCO 2020

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Autores:

Nixon Cruz Cruzado

Susan Paola Zurita Ocaña

Asesor:

Ing. Margarita Cateriano Calderón

Trujillo - Perú

2021

DEDICATORIA

A mi Madre por ser una persona maravillosa conmigo, que me apoyó en los momentos más difíciles de mi vida y que me ama con todas sus fuerzas.

A mi hermana que me apoyo para poder terminar la carrera.

A mi sobrino Daniel es un bebe muy hermoso, siempre me saca una sonrisa y llena mi corazón de alegría.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, a Dios por darme la fuerza de seguir adelante después de cada tropiezo y por su amor absoluto. A mis padres por darme la vida, A mi familia por su apoyo incondicional, por confiar en mí y valorar mis logros.

A mi universidad por haberme permitido mi formación como persona y profesional, Agradecer por los conocimientos brindados y finalmente a mis compañeros y amigos que me motivaron a seguir adelante hasta conseguir este gran logro inicial para mi vida.

ÍNDICE

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	9
ÍNDICE DE ECUACIONES	11
RESUMEN	13
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	15
1.1. Marco teorico.....	22
1.1.1. <i>suelo</i>	22
1.1.1.1. <i>Propiedades del suelo: textura, porosidad, estructura, consistencia y color.</i> 23	
1.1.2. <i>Erosión hídrica</i>	24
1.1.2.1. <i>Agentes que intervienen en la erosión hídrica</i>	24
1.1.2.2. <i>Las principales formas de erosión hídrica: erosión laminar, en surcos, en cárcavas y por salpicadura:</i>	25
1.1.3. <i>Ecuación de Pérdida de Suelo Universal Revisada (RUSLE)</i>	26
1.1.3.1. <i>Factor de erodabilidad (R)</i>	29
1.1.3.2. <i>Factor de erodabilidad (K)</i>	32
1.1.3.3. <i>Factor topográfico (LS)</i>	42
1.1.3.4. <i>Factor de cobertura vegetal (C)</i>	45

1.1.3.5. <i>Factor de erosividad (P)</i>	45
1.1.4. <i>Sistema de información geográfica</i>	46
1.2. Formulación del problema.....	46
1.2.1. <i>Problemas específicos</i>	47
1.3. Objetivos.....	47
1.3.1. <i>Objetivo general</i>	47
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	47
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	48
2.1. Ubicación del área de estudio.....	48
2.1.1. <i>Ubicación geográfica</i>	48
2.1.2. <i>Ubicación política</i>	48
2.2. Descripción del área de estudio.....	50
2.3. Climatología y meteorología.....	50
2.3.1. <i>Temperatura</i>	50
2.4. Aspectos biológicos.....	68
2.5. Tipo de investigación.....	71
2.5.1. <i>Diseño de investigación</i>	71
2.5.2. <i>Tipo de diseño de investigación</i>	71
2.6. Unidad de estudio.....	71
2.7. Población.....	71

2.8. Recursos de información, búsqueda y selección	72
2.9. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	72
2.9.1. <i>Técnicas</i>	72
2.9.2. <i>Instrumentos de recolección de datos</i>	73
2.4.1. Aspectos éticos	73
2.10. Método de Análisis.....	73
2.10.1. <i>Metodología (RUSLE) Ecuación de Pérdida de Suelo Universal Revisada</i>	74
2.10.1.1. <i>Factor de erosividad (R)</i>	75
2.10.1.2. <i>Factor de erodabilidad (K)</i>	76
2.10.1.3. <i>Factor topográfico (LS)</i>	78
2.10.1.4. <i>Factor de cobertura vegetal (C)</i>	79
2.10.1.5. <i>Cálculo del factor de prácticas de conservación (P)</i>	81
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	82
3.1. Factores de la ecuación RUSLE	82
3.1.1. <i>Factor de erosividad (R)</i>	82
3.1.2. <i>Determinación de la erosión potencial y actual del distrito de Yanaoca</i>	92
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	96
4.1. Discusión	96
4.2. Conclusiones.....	102
4.3. Recomendaciones	103

REFERENCIAS	104
ANEXOS	113

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 La clasificación textural de suelos de acuerdo al porcentaje de arena, limo y arcilla	40
Tabla 2 Clasificación textural de suelos de acuerdo al porcentaje de arena, limo y arcilla.	41
Tabla 3 Valores correspondientes al factor (LS) teniendo en cuenta a la pendiente	46
Tabla 4 Valores del factores (C), basados en la clasificación del GLC	49
Tabla 5 Datos de precipitación, recogida de la estación meteorológica Sicuani	54
Tabla 6 Valores del factor de erodabilidad (K) según el tipo de suelo	87
Tabla 7 Valoración del factor topográfico (LS)	89
Tabla 8 Valores de los factor (C), basados en la clasificación del GLC	93
Tabla 9 Valores correspondientes al tipo de cobertura vegetal	94
Tabla 10 Cuantificación de la erosión potencial en Yanaoca - Cusco	97
Tabla 11 Cuantificación de la erosión actual en Yanaaoca - Cusco	97

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Triángulo de las clases texturales básicas del suelo, según el tamaño de partículas	39
Figura 2 Ubicación del distrito de Yanaoca	52
Figura 3 Hidrografía del distrito de Yanaoca	56
Figura 4 Ríos y quebradas del distrito de Yanaoca.....	58
Figura 5 Topografía del distrito de Yanaoca	60
Figura 6 Pendientes del distrito de Yanaoca	61
Figura 7 Clasificación de suelos de la region Cusco	62
Figura 8 Suelos del distrito de Yanaoca	65
Figura 9 Capacidad de uso mayor de suelos en el distrito de Yanaoca	69
Figura 10 Cobertura vegetal en el distrito de Yanaoca	72
Figura 11 Metodología a utilizar	76
Figura 12 Descarga de datos meteorológicos	77
Figura 13 Diagrama de flujo del factor de erosividad (R)	78
Figura 14 Mapa mundial de suelos	79
Figura 15 Diagrama de flujo del factor de erodabilidad (K)	80
Figura 16 Modelo digital de elevación (DEM) de la cuenca seleccionada(Urubamba)	81
Figura 17 Diagrama de flujo del factor de longitud y gradiente de pendiente (LS)	81
Figura 18 Capa de vegetación natural	82
Figura 19 Diagrama de flujo del factor de cobertura vegetal (C)	83
Figura 18 Factor erosividad (R) que presenta el Distrito De Yanaoca	85

Figura 19 Factor de erodabilidad (K) que presenta el distrito de Yanaoca...	88
Figura 20 Porcentaje de área según el factor topográfico (LS)	90
Figura 21 Factor topográfico (LS) que presenta el distrito de Yanaoca-Cusco	91
Figura 24 Factor de cobertura vegetal (C) que presenta el distrito de Yanaoca	95
Figura 25 Erosión potencial en el distrito de Yanaoca	99
Figura 26 Erosión total en el distrito de Yanaoca	100

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	31
Ecuación 3	32
Ecuación 4	33
Ecuación 5	33
Ecuación 6	34
Ecuación 7	34
Ecuación 8	35
Ecuación 9	35
Ecuación 10	36
Ecuación 11	36
Ecuación 12	37
Ecuación 13	37
Ecuación 14	38
Ecuación 15	38
Ecuación 16	38
Ecuación 17	38
Ecuación 18	46
Ecuación 19	47
Ecuación 20	47
Ecuación 21	47

Ecuación 22	47
Ecuación 23	47
Ecuación 24	48

ANEXOS

Anexo A Matriz de consistencia	114
Anexo B Matriz de operacionalización	116

RESUMEN

La presente investigación tiene lugar en el distrito de Yanaoca-Cusco. El objetivo es determinar los niveles de erosión hídrica aplicando el sistema de información geográfica en el distrito de Yanaoca – Cusco 2020. Para el desarrollo de la tesis se utilizó un diseño no experimental, de tipo longitudinal descriptiva. La unidad de estudio pertenece al área del distrito de Yanaoca-Cusco con un área total de 292.97 km². Se utilizó la metodología RUSLE, para determinar el nivel de erosión hídrica, asimismo se utilizó el SIG, para gestionar una base de datos de la información recopilada. La técnica fue la observación indirecta, a través de la investigación bibliográfica en fuentes estandarizadas y artículos de revistas indexadas. Como instrumento está los geoportales y ofimática excel. El análisis de los datos fue a través de la consistencia visual para determinar saltos o anomalías, y análisis de doble masa y para el geoprociamiento de la información se utilizó los softwares ArcGIS 10.5, Qgis 3.14. Los resultados indican que el nivel de erosión hídrica es de tipo Normal, Ligera, Moderada, severa, muy severa y catastrófica, lo que corresponde a un total de 8.06%, 21.31%, 3.36%, 18.73%, 12.70% y 35.84%, respectivamente, del área total. Por otro lado. Se determinaron los factores que influyen en el proceso de erosión: factor de erosividad (R), osciló en 109 y 95 (Mj mm/ ha h año), el factor de erodabilidad (K) en 0.02142 - 0.01906 (tm*ha*h/ha*Mj*mm), el factor topográfico (LS) fue reclasificado en muy bajo, moderado, alto y muy alto, siendo predominante el de tipo bajo. El factor de cobertura vegetal (C), abarcó un rango de 0-0.3. finalmente el factor de prácticas de conservación (P), se consideró la unidad, ya que no se realiza. Asimismo la erosión potencial fue de tipo normal, ligera, moderada, severa, muy severa y catastrófica resaltando la de tipo Catastrófica con un 48.01%. En el distrito de Yanaoca-Cusco existe una preocupante erosión del suelo, asimismo existen terrenos con pendiente fuerte, además, son áreas propensas a sufrir eventos naturales severos no recomendables

para el desarrollo urbano. Se recomienda el control y supervisión por parte de las autoridades sobre la gestión del manejo de suelos y toma de decisiones ante el problema de erosión hídrica. Para abordar problemas ambientales, tales como la erosión hídrica; se hace presente el sistema de información geográfica (SIG), como una herramienta orientada hacia la mejor gestión del territorio, haciendo especial hincapié en la mejora de la planificación ambiental, el uso sostenible de los recursos naturales y la prevención de desastres. Asimismo la metodología RUSLE resultó ser muy útil, por su diseño y modificación.

Palabras Claves: Erosión Hídrica , Sistema de Información Geográfica , RUSLE

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La erosión del suelo es un serio problema de mucha preocupación a nivel mundial, que se describe como la remoción superficial del suelo. Este fenómeno natural que produce impactos negativos al medio ambiente, está relacionado con la intervención del hombre, a través de las malas prácticas agrícolas, el sobrepastoreo y la deforestación. Asimismo el cambio climático, que está produciendo enormes transformaciones meteorológicas cuyos efectos podrían amenazar la vida en nuestro planeta. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2017), “Sostiene que el cambio climático seguirá produciendo fenómenos meteorológicos muy intensos, como la degradación de tierras y también desertificación, todo esto contribuyendo a la erosión de suelos” (p. 12).

De acuerdo a un reciente estudio de la (FAO) y sus aliados a mediados de la primera década del siglo XXI la degradación del suelo afecta a más de 1500 millones de personas. Detalla que la erosión es causada principalmente por una mala gestión de la tierra, teniendo sus raíces en la pobreza, la tala abusiva de árboles, el sobrepastoreo y las malas prácticas de irrigación. El resultado final es que los ciudadanos del mundo sufrirán los daños; la pérdida de biodiversidad; una fuerte disminución en la productividad agrícola de las tierras; y por último el hambre, fenómeno que en un futuro causará la emigración de poblaciones humanas hacia zonas menos afectadas, que muchas veces ya se encuentran densamente pobladas.(FAO,s,f, p. 12)

Los casos de erosión del suelo por acción hídrica según el informe técnico “Estado mundial del recurso suelo, de las Naciones Unidas nos refiere una síntesis sobre la erosión del suelo productivo, sugiere que: se ha perdido aproximadamente a nivel mundial 0,3 por ciento de áreas cultivables. Si bien es cierto existe mayores diferencias de erosión en las diferentes regiones. Partes

de Europa, Norteamérica, y el Suroeste del Pacífico, generalmente muestran una tendencia a mejorar, aunque esto viene tras muchas décadas de pérdida significativa del suelo debido a la erosión asociada con la expansión agrícola. África sub-sahariana tiene una tendencia variable a la erosión, mientras que, Asia, Latinoamérica, el Caribe, el Cercano Oriente y Norte de África, tienen condiciones de erosión pobre o muy pobre y una tendencia al deterioro. (FAO, 2015, p.12)

Según Quispe (2018), “La erosión del suelo por acción hídrica consiste en la pérdida de suelo que se inicia desde el momento en que las gotas de lluvia impactan sobre la superficie del suelo”(p.14). Respecto a la erosión del suelo los informes de la FAO (2020), indican que cada año, se estima que entre 20 y 30 Gt (billón de toneladas) de suelo es erosionado por agua, 5 Gt por laboreo y 2 Gt por viento en tierra arable.

Asimismo la erosión hídrica es un fenómeno muy variado, puesto que este retira de a pocos los nutrientes que contiene el suelo, llamado manto orgánico que se encuentra en la superficie del suelo, también altera los niveles de composición de la materia orgánica llevándolos a reducir drásticamente, es decir que la erosión producida por las lluvias genera un ambiente muy poco favorable para el crecimiento de cobertura vegetal, tal y como lo informa el SENAMHI (2017, p. 12)

Además la pérdida de suelo por erosión hídrica es un problema ambiental, que sin duda está afectando la seguridad hídrica y la seguridad alimentaria. Este fenómeno tiene mayor impacto y agresividad en las zonas altoandinas. Zonas que son de vital importancia por su capacidad de proveer alimentos al resto del país. El principal agente que contribuye al proceso de erosión hídrica es la precipitación según el (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del

Perú [SENAMHI], 2017)

No obstante, la erosión hídrica es un proceso que afecta bastante a la sierra peruana y esto debido a las condiciones semiáridas, altas pendientes del terreno, la poca práctica de conservación del suelo, la falta de cubierta vegetal, el sobre pastoreo, y la presencia de lluvias estacionales, pero de alta intensidad. Todo ello contribuye a un serio problema socioeconómico y ambiental. (Solano, 2016, p.16)

Respecto a lo mencionado anteriormente, el pueblo de Yanaoca-Cusco no es ajeno al problema de erosión hídrica; ubicado en la provincia de Canas departamento del Cusco, ha presentado pérdida de suelo, entre los cuales la erosión hídrica constituye una causa importante. Se señala que hay poblados en Yanaoca que se encuentran en el área denominada como zona de Alto Riesgo, y presentan diversos tipos de peligros geológicos; tales como: deslizamientos, inundaciones, huaicos, y erosión de ribera. Existen terrenos con pendientes fuertes, además, son áreas propensas a sufrir eventos naturales severos no recomendables para el desarrollo urbano. Según Gómez (2018). Si bien esta problemática se observa en varias zonas de los andes peruanos. La falta de supervisión y control por parte de las autoridades agravan más el problema.

Ante este serio problema, en la actualidad, se ha considerado al sistema de información geográfica (SIG), y también a las tecnologías de teledetección, como una solución, ya que son técnicas orientadas hacia la mejor gestión del territorio, haciendo especial hincapié en la mejor planificación ambiental, el uso sostenible de los recursos naturales y la prevención de desastres. Los sistemas de información geográfica (SIG), se presentan como una herramienta de gran interés en la integración de datos territoriales, facilitando el análisis en conjunto de variables muy diversas. La teledetección, por su parte, es una técnica de gran interés para recoger información vital sobre fenómenos ambientales de la superficie terrestre, tiene aplicaciones múltiples, como el análisis de procesos de deforestación y desertificación, la dinámica de la cobertura vegetal, entre otros.

En este contexto el principal objetivo de esta investigación será estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica bajo la técnica del sistema de información geográfica (SIG) en el distrito de Yanaoca-Cuzco 2020. El estudio es importante porque gracias a las imágenes satelitales y a la información obtenida será posible contar con un soporte clave para la toma de decisiones respecto al uso de los recursos naturales y el mejoramiento del manejo del terreno. Además, se aplicará la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE), para determinar la erosión hídrica del suelo.

La importancia de esta investigación es generar información geocientífica útil para los gobiernos locales involucrados en la planificación territorial. Por ese motivo, se ha incidido principalmente en la identificación de los peligros geológicos y geohidrológicos que los afectan o pueden causar desastres. Además, el estudio geodinámico y teledetección satelital permitirá identificar peligros geológicos por movimientos en masa, causada por laderas de fuertes pendientes, la actividad antrópica u ocupación inadecuada por el hombre, sumado a todo ello como el principal detonante, la presencia de lluvias intensas y sismos.

Los resultados del estudio contribuirán para la elaboración de tesis posteriores, asimismo, permitirá conocer el potencial de la erosión hídrica como causante de desastres naturales, este conocimiento y base de datos, permitirá a los investigadores estar prevenidos frente a un futuro desastre. Respecto a lo planteado en el presente trabajo de investigación, se tomaron en cuenta algunos estudios previos relacionados. **En tal sentido se tienen los siguientes estudios:**

A Nivel Internacional: Camargo, Pacheco y López (2017):

En su investigación titulada: “Erosión hídrica, fundamentos, evaluación y representación cartográfica: una revisión con énfasis en el uso de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica”, fue una investigación de tipo mixta, su metodología aplicada fue el uso de las Cruzado, Nixon

imágenes de radar, solo cinco sensores han sido aplicados: ERS-1 y 2, JERS1, RADARSAT-1 y ENVISAT. Además, un número de vuelos de trasbordadores espaciales de corta duración han usado instrumentos para estudios de erosión, MOMS-2 (Modular Optoelectronic Multispectral Scanner) y SIR-C/X-SAR (ShuttleImaging Radar-C/X-SAR).

Se tomó en cuenta este antecedente, porque nos muestra ciertas metodologías a utilizar para la identificación de la erosión hídrica de los suelos haciendo uso de Sistemas de Información Geográfica.

Lukyanchuk, Kovalchuk y Pidkova (2020):

En su estudio titulado “Aplicación de una teledetección en el seguimiento de procesos de erosión”, la cual fue una investigación sobre el estudio y monitoreo en los procesos de erosión, bajo el uso de imágenes satelitales, la metodología se basó en la detección de áreas erosionadas, el cual se logró identificando el grado de erosión del suelo y estimando la intensidad de la erosión en base a ecuaciones empíricas (ecuación universal de pérdida de suelo, ecuación universal revisada de pérdida de suelo, etc.). A partir de ello se llegó a la conclusión de que las imágenes satelitales permiten registrar de manera rápida y oportuna la presencia e intensidad de los procesos de erosión, predecir su impacto en la topografía, de los suelos, los terrenos agrícolas y los sistemas de paisaje y aprobar un conjunto de medidas para minimizar su impacto en el medio ambiente.

Se tomó en cuenta este antecedente, porque busca hacer uso de la teledetección para la prevención de problemas ambientales tales como la erosión hídrica de los suelos, el cual es un gran aporte para la presente investigación.

Prieto, Días , Ojeda, y Álvarez (2017):

En su investigación titulada “Tasas de erosión en las playas de Andalucía: el efecto de infraestructuras costeras longitudinales y urbanización”, la cual busca describir las aportaciones de la teledetección y el SIG para la mejora de los modelos de evaluación de las pérdidas de suelo en Andalucía, la metodología aplicada fue el modelo llamado ecuación universal de pérdidas de suelos (USLE). Elegida por su relativa sencillez y universalidad, que la han convertido en el modelo más utilizado en el mundo para evaluar las pérdidas de suelos, se adapta perfectamente a un análisis regional como el que nos ocupa. Se llegó a la conclusión que la concepción de la erosión como un fenómeno dinámico ha determinado el establecimiento de programas periódicos de adquisición de datos permitiendo obtener toda una serie de resultados relativos a las pérdidas de suelo acaecidas en Andalucía.

Se tomó en cuenta este antecedente, porque busca hacer uso de la teledetección para la identificación de problemas tales como la erosión hídrica de los suelos, el cual es un gran aporte para la presente investigación.

Pérez y García (2013):

En su estudio realizado en España, titulado “Mostrar actualmente como la teledetección espacial es una técnica imprescindible para el estudio y seguimiento de algunos de los principales problemas de degradación de suelos”, para la metodología del trabajo se realizó principalmente a partir de imágenes de satélite de resolución espacial y espectral media (Landsat y Spot). Los autores concluyen que los datos de los sistemas de teledetección embarcados en satélite y las imágenes que de ellos se obtienen, son un instrumento muy útil en los estudios de degradación de suelos. Los sistemas de teledetección más empleados en la actualidad para estudios regionales y locales, son los de resolución espacial y espectral media. Con ellos, los problemas de degradación

de suelos que mejor pueden analizar son: el sellado, la contaminación, la erosión y el hidromorfismo.

A nivel nacional se tomaron en cuenta los siguientes estudios:

Ccama (2012):

En su tesis titulada “Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la Cuenca del Río Ilave utilizando técnicas de teledetección y SIG”, que trata sobre la estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Ilave, con la finalidad de obtener un instrumento de gestión para la planificación y conservación de la cuenca. La metodología de esta investigación se realizó en 3 fases, la primera fue en la recopilación de la información, seguido del procesamiento de las variables, y la fase final reconocimiento preliminar de la zona de estudio, se concluyó que el uso de información obtenido por teledetección y la utilización del sistema de información geográfica, se constituyen en herramientas básicas para la obtención y evaluación de las variables que afectan la erosión de los suelos, facilitando al analista la determinación adecuada de las variables, obviando las dificultades y complejidades propias del terreno, de manera eficaz, rápida y de menor costo.

Se tomó en cuenta este antecedente, porque busca hacer uso de la teledetección y sistema de información geográfica para la prevención de problemas ambientales tales como la erosión hídrica de los suelos, el cual es un gran aporte para la presente investigación.

Solano (2016):

En su tesis titulada: “Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la subcuenca del Río Shullcas 2000 – 2013, Huancayo”, se aplicó una metodología de Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE) y el análisis espacial con herramientas de sistema de información geográfica (SIG), donde se llegó a la conclusión implementar el modelo de la Ecuación Universal

de Pérdida de Suelos en un SIG (Sistema de Información Geográfica), nos permite generar y manipular gran cantidad de datos para el análisis y proceso de erosión hídrica en grandes unidades de territorio, llegando a estimar las tasas de erosión hídrica promedio anual y detectando las zonas más sensibles y los usos del suelo o coberturas vegetales que ayudan a controlar este riesgo.

Se tomó en cuenta este antecedente, porque busca hacer uso de nuevas metodologías para la prevención de problemas ambientales tales como la erosión hídrica de los suelos, el cual es un gran aporte para la presente investigación.

Y finalmente el SENAMHI (2017):

En su informe Atlas de erosión de suelos por regiones hidrológicas del Perú, aborda factores como las características del suelo, la vegetación del lugar, su topografía y la pluviosidad representada por la lluvia. Además, teniendo en cuenta que la deposición de los materiales erosionados puede obstruir los caminos o colmatar los cursos de agua y en consecuencia el sedimento puede dañar hábitats acuáticos y degradar la calidad del agua en corrientes, los ríos, y los lagos. Los resultados presentados en este informe o Nota Técnica permitirán a los planificadores que se ven afectados por el fenómeno identificar las zonas de mayor riesgo al fenómeno de erosión hídrica, proponer e implementar acciones de control.

1.1. Marco teorico

1.1.1. suelo

Solís y López (2010):

En su estudio definen al suelo como la capa superior de la corteza terrestre que está compuesta por partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y microorganismos. Su formación

Cruz Cruzado, Nixon

Zurita Ocaña, Susan Paola

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

1.1.1.1. Propiedades del suelo: textura, porosidad, estructura, consistencia y color.

La textura hace referencia a aquellas proporciones (porcentaje en peso) en las que se encuentran los constituyentes del suelo, tales como, la arena (gruesa, media y fina), limo y arcilla. De acuerdo con la ciencia que estudia los suelos (edafología) las partículas que lo conforman son clasificadas en elementos gruesos ($d > 2\text{mm}$) y finos ($d < 2\text{mm}$). (Gisbert, Ibáñez y Moreno, 2010, p. 21).

Según Bernal y Hernández (2017), "La estructura del suelo se define como la capacidad que tiene la masa de suelo de disgregarse por sí misma en separaciones de distintas formas y tamaños, la cual se puede evaluar mediante la estabilidad de los agregados" .(p. 50)

González-Barrios et al. (2012), "La porosidad del suelo superficial determina en gran medida los procesos de infiltración y escurrimiento del agua que influyen en la erosión hídrica y el transporte de agua en el suelo". (p. 21)

Domínguez Soto et al. (2011):

El color es una de las cualidades más útiles para caracterizar y distinguir el suelo. El color del suelo no tiene un efecto directo sobre el crecimiento de las plantas, pero indirectamente afecta la temperatura y la humedad; a través de su efecto sobre la energía radiante, mientras mayor cantidad de energía calorífica esté disponible en el suelo, se causarán mayores grados de evaporación. (p. 93)

1.1.2. Erosión hídrica

Según Almorox, López y Rafaelli, (2011):

La erosión como un proceso natural producto de la incidencia de agentes externos en la “edafosfera” debido a que es la zona de la corteza más sensible. Dichos factores, intervienen buscando eliminar el exceso de energía potencial de las zonas continentales; dando lugar a la formación y modelamiento del suelo, a través del sol y la lluvia como se cree desde el siglo XII; no obstante, este proceso puede acelerarse con las actividades humanas. (p. 23).

1.1.2.1. Agentes que intervienen en la erosión hídrica

la energía cinética de la gota de lluvia: es decir, la energía de las lluvias impacta el suelo provocando erosión por salpicadura, cuyas partículas desprendidas son arrastradas pendientes abajo. Dicho fenómeno depende en gran parte de la capacidad de filtración que presenta el suelo (Cisneros et al., 2012, p. 23)

Otro agente es la gravedad, que influye en mayor magnitud en suelos con pendientes elevadas o que se encuentran mojados. “Algunos ejemplos del efecto de la gravedad son los

deslizamientos de laderas y/o nieve, movimientos en masa y erosión lateral de la sinuosidad de cuerpos lóticos” (Troeh, Hobbs y Donahue, 1991, citado en Cisneros et al., 2012, p. 24)

Otro factor es la topografía, en los que destaca el relieve, el ángulo y la longitud de pendiente influyen en gran medida en el proceso de la erosión. El ángulo y la longitud de la pendiente guardan una relación directamente proporcional con la cantidad de suelo transportado hacia abajo, en el caso de las pendientes del 5 al 10%, la erosión se incrementa considerablemente.

La cobertura vegetal cumple un rol muy importante en la prevención de la erosión, debido a que disipa la energía cinética de las gotas de lluvia, evitando que impacten directamente al suelo. La densidad y el tipo de vegetación son características de este factor y guardan una relación inversa con el proceso erosivo.

El manejo de suelo también es considerado un factor determinante; las malas prácticas de uso del suelo aceleran el proceso erosivo, siendo las de mayor impacto el empleo de la maquinaria agrícola, excesivo laboreo, preparación del terreno en sentido de la pendiente y la inadecuada aplicación del agua para riego. Y por último las costumbres tradicionales, tales como la tumba, roza y quema generan efectos no favorables en el suelo, dentro de los cuales se encuentra la erosión.

1.1.2.2. Las principales formas de erosión hídrica: erosión laminar, en surcos, en cárcavas y por salpicadura:

Según Chagas (2018):

El proceso de erosión laminar comprende principalmente el efecto de las gotas de lluvia de alta intensidad incidiendo sobre suelos seberamente inclinados, con escasa o nula cobertura superficial. La máxima expresión de este proceso se produce en suelos con escasa estabilidad

estructural, muy refinados y lisos en superficie, que se hallan cubiertos por una lámina de agua de escaso espesor, menor o igual al diámetro de las gotas de lluvia incidentes. (p. 9)

Según Chagas (2018):

La erosión en surcos se produce cuando el agua de escurrimiento superficial se desplaza por el terreno pendiente abajo adquiriendo velocidad. El incremento de volumen y velocidad determina que el agua adquiera capacidad de corte. Cuando la misma supera la resistencia al corte que posee el suelo subyacente se hace evidente el proceso de erosión en surcos. Los surcos constituyen pequeños canalículos en el terreno con profundidades de 10 cm y anchos de (20-30) cm aproximadamente. (p. 14)

Según chagas. (2018):

La erosión en cárcavas constituye un proceso degradativo de gran impacto en el terreno que resulta del socavamiento profundo del suelo. Generalmente se asocia a posiciones del relieve en las cuales se concentra un flujo de agua de gran Caudal (p. 20)

según Del Águila (2010):

La erosión por salpicadura, la cual, se origina cuando las gotas de lluvia impactan en agregados inestables de suelo desnudo, generando pequeñas aberturas y liberación de partículas que a la larga pueden formar una costra superficial que impide la infiltración. Las arenas finas son más susceptibles a este proceso.

1.1.3. Ecuación de Pérdida de Suelo Universal Revisada (RUSLE)

Los modelos para estimular la pérdida del suelo, son aquellos que nos permiten predecir la intensidad de la erosión por acción hídrica y se clasifican de diversas formas. Por un lado, tenemos a los tipos de modelos según la escala de análisis; pudiendo ser de escala espacial, parcela

experimental y continental. También están los modelos clasificados según la forma del sistema físico; como la representación de la topografía. Además, es posible clasificar los modelos respecto a la forma de las relaciones que fundamentan los procesos de erosión; dentro de ellos tenemos a los modelos de base física y empíricos (Montoya, 2009, p.26)

Respecto a lo mencionado antes, un método diseñado para solucionar las limitaciones de la metodología del modelo original (USLE) es el Modelo de la Ecuación de Pérdida de Suelo Universal Revisada (RUSLE), el cual puede predecir la erosión del suelo y posteriormente planificar su conservación. Además, mediante su uso es posible determinar el rendimiento de los sedimentos en las cuencas y erosión en surcos, mas no en cárcavas (FAO). Este modelo se sustentó en el análisis estadístico de 10 000 campos-año y de los factores que representan la erosividad de las precipitaciones, vegetación, erodabilidad del suelo y la topografía (Wischmeier y Smith, 1978 citado en Almoza, Ruiz, Medina y Alonso, 2007).

Según Flores (2016), “Las modificaciones más resaltantes que se hicieron a la ecuación propuesta por Wischmeier y Smith en 1978, fueron las siguientes”(p. 27)

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

El modelo matemático del método RUSLE se indica en la siguiente ecuación (FAO, s,f):

Ecuación 1

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

Donde:

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

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

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

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

C: Factor vegetación (adimensional).

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

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

Erosión Potencial: Aquella que se presenta cuando el suelo está desnudo; por tanto, concebimos que no existe ninguna cobertura vegetal y no hay prácticas que pudieran incidir en

ella. Bajo estas condiciones, su cálculo será realizado considerando a los factores C y P con valores de la unidad.

1.1.3.1. Factor de erodabilidad (R)

SENAMHI (2017), “Menciona que la energía cinética, la intensidad de la lluvia, el tamaño de las gotas, la duración y la altitud guardan una relación muy estrecha, es así como se propuso el índice del método R.U.S.L.E, el cual es calculado de la siguiente manera”.(p. 28)

Ecuación 2

$$R = E \times I_{30}$$

Donde:

R: Índice de erosividad de la lluvia (J/cm^3)

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

E: Energía cinética de la lluvia (J/cm^2), estimada con la ecuación:

Ecuación 3

$$E = 210.2 + 89 \text{ Log } I$$

De acuerdo con lo propuesto se evidencia que se necesitaría de un registro actualizado de intensidades y tiempos de precipitación, sin embargo, en ocasiones no es posible acceder a ese tipo

de información; es por ello, en la actualidad existen diversas formulaciones propuestas por investigadores para calcular este factor., p. 29).

Uno de ellos es el método de Wischmeier y Smith (1978): representado por la siguiente ecuación (Quiñones, 2019):

Ecuación 4

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

Donde:

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

P_i: Precipitación mensual en mm

P: Precipitación anual en mm

Método de Morgan (1977), “Propuesto para ser aplicado en lugares que presentan alta precipitación, está dado por la siguiente ecuación” (p. 30) **Ecuación 5**

$$R = \frac{I_{30} \times (9.28P - 8383)}{1000}$$

Donde:

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

P= Precipitación promedio anual en mm

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

Ecuación 6

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

Donde:

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

P= Precipitación promedio anual en mm

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

El método de Roose, toma en cuenta a la precipitación promedio anual, y para calcularlo se utiliza la siguiente ecuación (Morgan, 1977):

Ecuación 7

$$R = 1.73 \times 0.5 \times P$$

Donde:

P: Precipitación promedio anual en mm

Además de ello, se tiene al Índice Modificado de Fournier (IMF), el cual ha sido modificado por Arnoldus en 1978 con el fin de corregir desviaciones del índice estimado por

Fourier, se diferencia del original, puesto que, considera las precipitaciones de todos los meses del año y no solo del mes que presenta mayor precipitación, se expresa mediante la siguiente fórmula (Pizarro, 2007):

Ecuación 8

$$R = \sum_{i=1}^{i=12} \frac{P_i^2}{P}$$

Donde:

i: Número del mes

P_i: Precipitación mensual en mm

P: Precipitación promedio anual en mm

1.1.3.2. Factor de erodabilidad (K)

Respecto al factor de erodabilidad del suelo (K), se puede afirmar que es una medida empírica determinada por las propiedades del suelo, influenciadas por su textura (porcentaje de arena, limo y arcilla). Este factor expresa la susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica, siendo los suelos arcillosos poco erosionables a diferencia de los suelos limosos considerados todo lo contrario (SENAMHI, 2017). Por otro lado, su calificación se da a una escala de 0 a 1, donde 0 indica baja susceptibilidad frente a la erosión, mientras que 1; indica lo contrario (SENAMHI, 2017). El factor K contiene valores únicos para cada lugar de estudio y está expresado en Ton. Ha. año/ MJ mm ha; además existen diferentes métodos para su cálculo, los cuales se detallan a continuación:

Cruz Cruzado, Nixon

Zurita Ocaña, Susan Paola

El método de Mannerts (1999): se expresa mediante la siguiente ecuación (Valdez, 2014):

Ecuación 9

$$K = 0.034 + 0.0405 \times e^{\left[-0.5 \left(\frac{\log Dg + 1.659}{0.7101}\right)^2\right]}$$

Ecuación 10

$$Dg = e^{(0.01 \times \sum Fi \times \ln(Mi))}$$

Donde:

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

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

Fi: Fracción de las partículas primarias (%)

Mi: Promedio aritmético de los límites de tamaño de partícula

Método Wischmeier y Smith (1978): Representado mediante la siguiente ecuación (Quiñones, 2019):

Ecuación 11

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

Donde:

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

ha) **MO:** Materia Orgánica (%) **s:** Código de estructura del

suelo **p:** Código de permeabilidad

M: es el producto de las fracciones del tamaño de las partículas primarias o (% limo + % arena muy fina) $\times (100 - \% \text{ arcilla})$

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

Ecuación 12

$$KUSLE = KW = f_{sand} \times f_{cl-si} \times f_{org} \times f_{hisand}$$

Donde:

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

f_{cl-si} : Brinda bajos factores de erosionabilidad a suelos arcillosos y limosos **f_{org} :** El valor de K disminuye en aquellos suelos que presentan alto contenido de carbono orgánico.

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

13

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

Ecuación

Ecuación 14

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

Ecuación 15

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

Ecuación 16

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

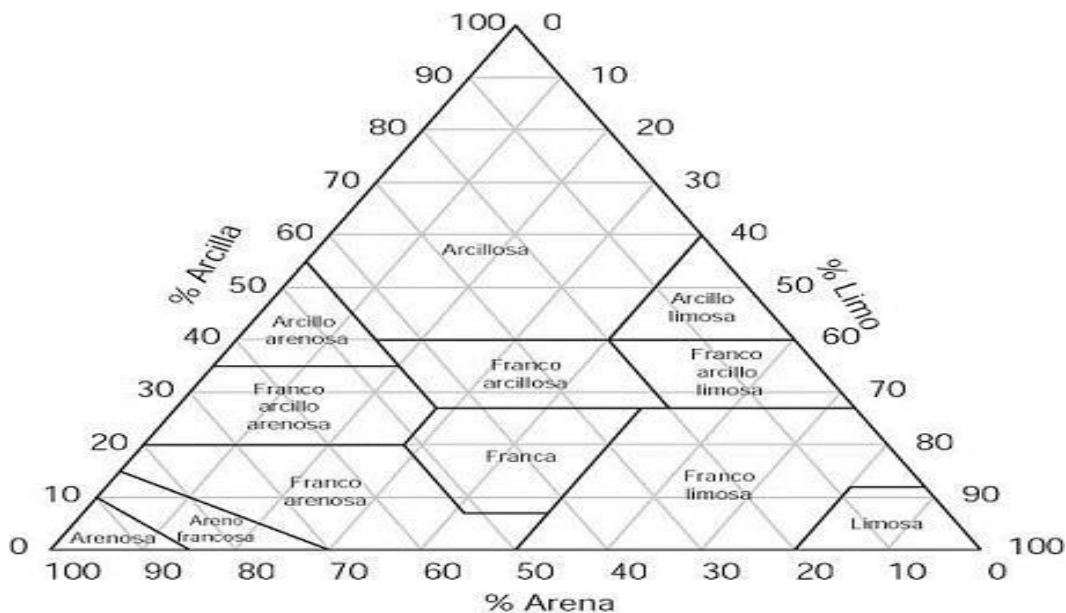
Donde: **m_s**: % de arena (0.05-2 mm de diámetro) **m_{silt}**:

% de sedimento (0.002-0.05 mm de diámetro) **m_c**:

% de arcilla (<0.002 mm de diámetro) **orgC**: % de
carbono orgánico (SOC)

Figura 1

*Triángulo de las clases texturales básicas del suelo, según el tamaño de
partículas*



Nota. La figura muestra el triángulo de las clases textuales del suelo, el cual permite determinar el tipo de suelo por medio del porcentaje de arena, limo y arcilla. Fuente:

United States Department of Agriculture (USDA)

Tabla 1 La clasificación textural de suelos de acuerdo al porcentaje de arena, limo y arcilla

Nombres de los suelos (textura	Arena	Limo	Arcilla	Clase textural N°	Textura general	(%)	(%)	(%)
	(%)	(%)	(%)					

	20-45	15-52	27-40	Franco arcilloso	6	
	0-20	88-100	0-12	Limoso	7	
	20-50	74-88	0-27	Franco limoso	8	
	23-52	28-50	7-27	Franco	9	
	86-100	0-14	0-10	Arenoso	10	
	0-45	0-40	40-100	Arcilloso	1	
Suelos francos (textura 0-20 moderadamente fina)	40-60	40-60		Arcilloso limoso	2	
45-65	0-20	35-55		Arcilloso arenoso	4	
0-20	40-73	27-40		Franco limoso arcilloso	3	
Suelos arcillosos (textura fina)	45-80	0-28	20-35	Franco arenoso arcilloso	5	Fina
Suelos francos Media (textura mediana)						
Suelos arenosos Guesa (textura gruesa)	50-70	0-50	0-20	Franco arenoso	11	

(textura 70-86 0-30 0-15 Franco arenoso 12 moderadamente gruesa)

Nota. La tabla detalla cada tipo de suelo, juntamente con su porcentaje de arena, limo y arcilla.

Permitirá comparar con los resultados del estudio. Fuente: Atlas de erosión de suelos por regiones hidrológicas del Perú. SENAMHI (2017).

Tabla 2 Clasificación textural de suelos de acuerdo al porcentaje de arena, limo y arcilla.

Unidades De Suelo De Acuerdo Con La Clasificación De Grupos De Suelos De Referencia (GSR)			Textura		
Cód.	Tipo De Suelo	Breve Descripción	Gruesa	Media	Fina
AC	ACRISOLES	Muy ácido. Suelos fuertemente meteorizados con baja saturación con bases en alguna profundidad.	0.026	0.04	0.013
AL	ALISOLES	Suelo con baja saturación con bases en alguna profundidad.	0.026	0.04	0.013
AN	ANDOSOLES	Suelos negros de paisajes volcánicos, se desarrollan en eyecciones o vidrios volcánicos bajo casi cualquier clima.	0.026	0.04	0.013
AR	ARENOSOLES	En la zona seca hay poco desarrollo del perfil. Los Arenosoles en los trópicos perhúmedos desarrollan horizontes eluviales álbicos.	0.013	0.02	0.007

Unidades De Suelo De Acuerdo Con La Clasificación De Grupos De Suelos De Referencia (GSR)			Textura		
Cód.	Tipo De Suelo	Breve Descripción	Gruesa	Media	Fina

CL	CALCISOLES	Suelos con sustancial acumulación de calcáreo secundario. Los Calcisoles típicos tienen un horizonte superficial pardo pálido.	0.053	0.079	0.026
CM	CAMBISOLES	Suelos con por lo menos un principio de diferenciación de horizontes en el subsuelo evidentes por cambios en la estructura y color.	0.026	0.04	0.013
CH	CHERNOZEM	Suelos negros ricos en materia orgánica. Horizonte superficial mólico pardo oscuro a negro.	0.013	0.02	0.007
DU	DURISOLES	Suelos fuertemente meteorizados con una capa dura de sílice secundaria (horizonte petrodúrico) o módulos de sílice secundaria (horizonte dúrico).	0.053	0.079	0.026
FR	FERRALSOLES	Suelos rojos y amarillos tropicales con alto contenido de sesquióxidos.	0.013	0.02	0.007
GL	GLEYSOLES	Suelos con signos claros de influencia del agua freática. Evidencia de procesos de reducción con segregación de compuestos de Fe.	0.026	0.04	0.013
HS	HISTOSOLES	Suelos de turba y pantanos. La mineralización es lenta y la transformación de restos vegetales a través de la desintegración bioquímica crea una capa superficial de moho.	0.053	0.02	0.007

**Unidades De Suelo De Acuerdo Con La Clasificación De Grupos De
Suelos De Referencia (GSR)**

Textura

Cód.	Tipo De Suelo	Breve Descripción	Gruesa	Media	Fina
F	KASTANOZEMS	Suelos pardos oscuros ricos en materia orgánica. Los Kastanozems tienen un perfil similar a los Chernozems, pero el horizonte superficial rico en humus es más delgado.	0.026	0.04	0.013
KS	KASTANOZEMS	Suelos pardos oscuros ricos en materia orgánica. Los Kastanozems tienen un perfil similar a los Chernozems, pero el horizonte superficial rico en humus es más delgado.	0.026	0.04	0.013
LP	LEPTOSOLES	Suelos someros, finos. Los Leptosoles son suelos azonales y particularmente comunes en regiones montañosas.	0.013	0.02	0.007
LX	LIXISOLES	Suelos con diferenciación pedogenética de arcilla (migración de arcilla) entre el suelo superficial con menor y el subsuelo con mayor contenido de arcilla.	0.013	0.02	0.007
LV	LUVISOLES	Diferenciación pedogénica del contenido de arcilla.	0.026	0.04	0.013
NT	NITISOLES	Suelos tropicales rojos, profundos, bien drenados con un horizonte subsuperficial arcilloso nítico que tiene elementos estructurales de bordes planos o muciformes.	0.013	0.02	0.007
PH	PHAEZOZEMS	Suelos ricos en materia orgánica. Los Phaeozems son muy parecidos a Chernozems y Kastanozems, pero están más intensamente lixiviados.	0.013	0.02	0.007

PL	PLANOSOLES	Suelos con un horizonte superficial de textura gruesa abruptamente sobre un subsuelo denso y de textura más fina, típicamente en tierras planas.	0.053	0.079	0.026
Unidades De Suelo De Acuerdo Con La Clasificación De Grupos De Suelos De Referencia (GSR)					
			Textura		
Cód.	Tipo De Suelo	Breve Descripción	Gruesa	Media	Fina
		planas.			
PT	PLINTOSOLES	Fuerte meteorización con segregación subsecuente de plintita a la profundidad de fluctuación del agua freática o drenaje superficial impedido.	0.026	0.04	0.013
PZ	PODZOLES	Suelos con un horizonte aluvial spódico debajo de un horizonte subsuperficial con apariencia de ceniza y cubierta por una capa orgánica.	0.053	0.079	0.026
RG	REGOSOLES	Suelos débilmente desarrollados en material no consolidado, que no tienen un horizonte mólico o úmbrico, no son muy someros.	0.026	0.04	0.013
LX	SOLONCHAKS	Suelos salinos. Desde débil a fuertemente meteorizados, muchos Solonchaks tienen un patrón de color gléyico a cierta profundidad.	0.053	0.04	0.013
LV	SOLONETZ	Suelos con alto contenido de Na y/o Mg intercambiables.	0.053	0.079	0.026
UM	UMBRISOLES	Suelo superficial oscuro. Horizonte superficial úmbrico o cámbico con baja saturación de bases.	0.026	0.04	0.013

VR	VERTISOLES	Suelos muy arcillosos, que se mezclan, con alta proporción de arcillas expansibles. Estos suelos forman grietas anchas y profundas cuando se secan.	0.053	0.079	0.026
----	------------	---	-------	-------	-------

Unidades De Suelo De Acuerdo Con La Clasificación De Grupos De Suelos De Referencia (GSR)

Textura

Cód.	Tipo De Suelo	Breve Descripción	Gruesa	Media	Fina
		Suelos desarrollados en depósitos aluviales.			
FL	FLUVISOLES	Perfiles con evidencia de estratificación; débil diferenciación de horizontes.	0.026	0.04	0.013

Nota. La tabla muestra los diferentes tipos de suelos. Permite determinar los tipos de suelo del distrito de Yanaoca. Fuente: Atlas de erosión de suelos por regiones hidrológicas del Perú.

SENAMHI (2017).

1.1.3.3. Factor topográfico (LS)

El factor topográfico (LS), hace referencia a los factores de pendientes que explican el efecto de la topografía como factor en la erosión, pues la pendiente y la longitud influyen considerablemente. Con relación a la pendiente, se debe tener en cuenta que la parte alta es considerada como una zona sin erosión, mientras que la aparición de los fenómenos de erosión se suscita en la parte media y la sedimentación en la parte baja donde la pendiente disminuye (SENAMHI, 2017).

Asimismo, se tienen en cuenta algunos métodos para la determinación de estos factores; así se tiene al método Mintegui que se basa en la utilización de una tabla que contiene valores correspondientes al factor LS teniendo en cuenta a la pendiente (Ramos, 2001)

Tabla 3 Valores correspondientes al factor (LS) teniendo en cuenta a la pendiente

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

Nota. La tabla muestra la variación del factor topográfico (LS), nos permite comparar y asignar valor a los resultados obtenidos del factor topográfico en el presente estudio. Fuente: subcuena Shambillo, distrito de padre abad Mintegui (Ramos, 2001)

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

Ecuación 17

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

Dónde:

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

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

Ecuación 18

$$m = \frac{\beta}{1+\beta}$$

Dónde:

β se define en la siguiente ecuación:

Ecuación 19

$$\beta = \frac{\sin \theta / 0.0896}{3(\sin \beta)^{0.8} + 0.56}$$

Donde:

θ : Ángulo de la pendiente en grados

En cuanto al factor “S”, se determina:

Ecuación 20

$$S = (0.065 + 0.045s + 0.0065s^2)$$

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

Por otro lado, según Nakaya (2017, p. 42) el valor de (S) toma la siguiente forma: **Ecuación**

21

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

Ecuación 22

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

Asimismo, el método Wischmeier y Smith en 1978: Se representa mediante la siguiente ecuación (Dioses, 2018, p. 93):

Ecuación 23

$$LS = \frac{L^{0.5}}{22} * (0.065 + 0.045s + 0.0065s^2)$$

Siendo:

L= 30 m

S: pendiente en %

1.1.3.4. Factor de cobertura vegetal (C)

Factor del manejo de vegetación, cobertura y uso del suelo C es el factor que considera a la vegetación como la más grande defensa frente al proceso erosivo. Su cálculo implica el uso de las tablas de valores de C, disponibles para condiciones de sitios de construcción, pastizales y bosques ya que no existe evaluaciones de valores de C experimentadas en condiciones locales (CENEPRED, 2013, p. 43)

1.1.3.5. Factor de erosividad (P)

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

Tabla 4 Valores del factores (C), basados en la clasificación del GLC

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

Nota. La tabla permite determinar los valores del factor C. en la presente investigación (Kim, 2006)

1.1.4. Sistema de información geográfica

Según Meza (2010):

Los SIG se han convertido en una herramienta esencial para el manejo y tratamiento de datos geográficos en multitud de aplicaciones y problemas prácticos: gestión de grandes infraestructuras físicas, realización y exploración de grandes bases de datos catastrales, planificación urbana, zonificación ecológica y económica, ordenamiento territorial, manejo de problemas del transporte, sistemas de ayuda a la navegación, entre otros.

1.2. Formulación del problema

¿Cuales son los niveles de erosión hídrica aplicando el sistema de información geográfica en el distrito de Yanaoca – Cusco 2020?

1.2.1. Problemas específicos.

¿Cuál es el factor de erosividad (R), factor de erodabilidad (K), factor topográfico (LS), factor de cobertura vegetal (C) y factor de prácticas de conservación (P), aplicando el sistema de información geográfica en el distrito de Yanaoca – Cusco 2020.

¿Cuál es la erosión potencial y actual, aplicando el sistema de información geográfica en el distrito de Yanaoca – Cusco 2020?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar los niveles de erosión hídrica aplicando el sistema de información geográfica en el distrito de Yanaoca – Cusco 2020

1.3.2. Objetivos específicos

Determinar el factor de erosividad (R), factor de erodabilidad (K), factor topográfico (LS), factor de cobertura vegetal (C) y factor de prácticas de conservación (P), aplicando el sistema de información geográfica en el distrito de Yanaoca – Cusco 2020.

Determinar la erosión potencial y actual, aplicando el sistema de información geográfica en el distrito de Yanaoca – Cusco 2020.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Ubicación del área de estudio

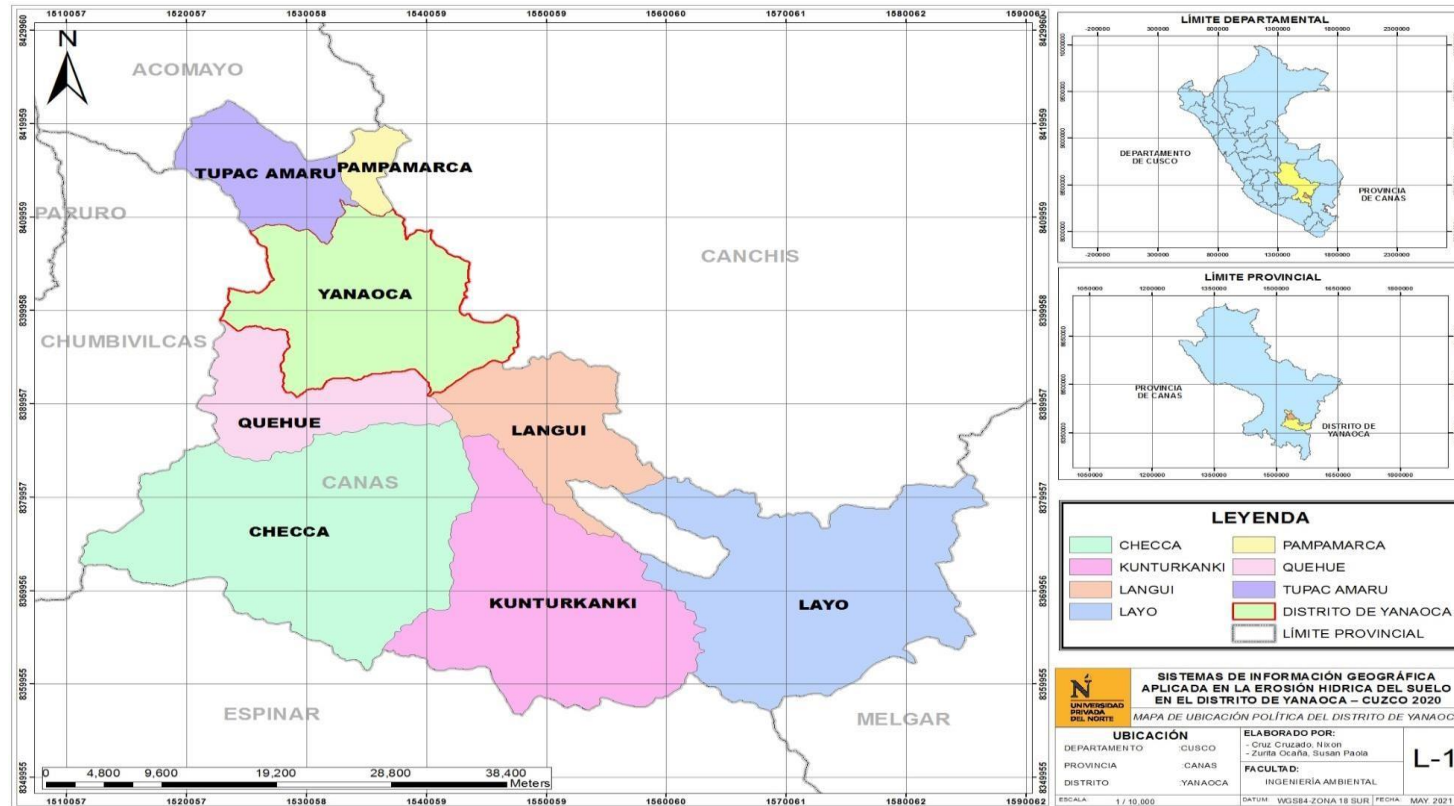
2.1.1. *Ubicación geográfica*

El distrito de Yanaoca se encuentra ubicado entre las coordenadas geográficas 14° 13' 1" de Latitud Sur y 71° 25' 55" Longitud Oeste, a 3914 metros sobre el nivel del mar. Se ubica en la zona sierra sur oriental del Perú, ocupa gran parte del gran nudo orográfico de Vilcanota. Su diversidad y los cambios abruptos de paisaje y ecosistemas están principalmente asociados a la Cordillera de los Andes. Además, tiene un área total de 292.97 km²

2.1.2. *Ubicación política*

El distrito de Yanaoca es uno de los ocho distritos de la Provincia de Canas, ubicada en el Departamento del Cusco, bajo la administración del Gobierno regional de Cuzco.

Figura 2 Ubicación del distrito de Yanaoca



Nota. La figura muestra la delimitación del área del distrito de Yanaoca, con los distritos vecinos de la provincia de Canas-Cusco. Fuente: Elaboración propia

2.2. Descripción del área de estudio

Del área de estudio se muestra las características principales

2.3. Climatología y meteorología

2.3.1. Temperatura

Según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) la temporada templada dura 1.5 meses, desde fines de octubre a inicios de diciembre, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 18 °C. El día más caluroso del año es en la quincena de noviembre, con una temperatura máxima promedio de 22.8 °C y una temperatura mínima promedio de 2.9 °C.

La temporada fría dura 1.5 meses, desde mediados de mayo a fines de julio, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 19.6 °C. El mes más frío del año tiene una temperatura mínima promedio de -4.8 °C y máxima promedio de 20.6 °C.

A. Precipitación

En Yanaoca, la temporada de lluvia dura 7.4 mese, desde el 19 de setiembre hasta el 1 de mayo, con lluvia de 13 mm. El mes con mas lluvias es ebero con un promedio de 93mm de lluvia. Los datos de precipitacion fueron tomados de la estación meteorológica Sicuani, serca al distrito de Yanaoca. Se tomó los datos de 1997 al 2017, para relaizar el estudio, ver tabla

Tabla 5 Datos de precipitación, recogida de la estación meteorológica Sicuani

	SICUANI
año	precipitación (mm)
1997	288.9
1998	259.5
1999	53.4
2000	31.8
2001	103.8
2002	67
2003	259.5
2004	23.7
2005	288.9
2006	91.8
2007	189.7
2008	254.1
2009	174.9
2010	295.3
2011	147.6
2012	53.1
2013	237.6
2014	110.7
2015	259.5
2016	53.4
2017	31.8

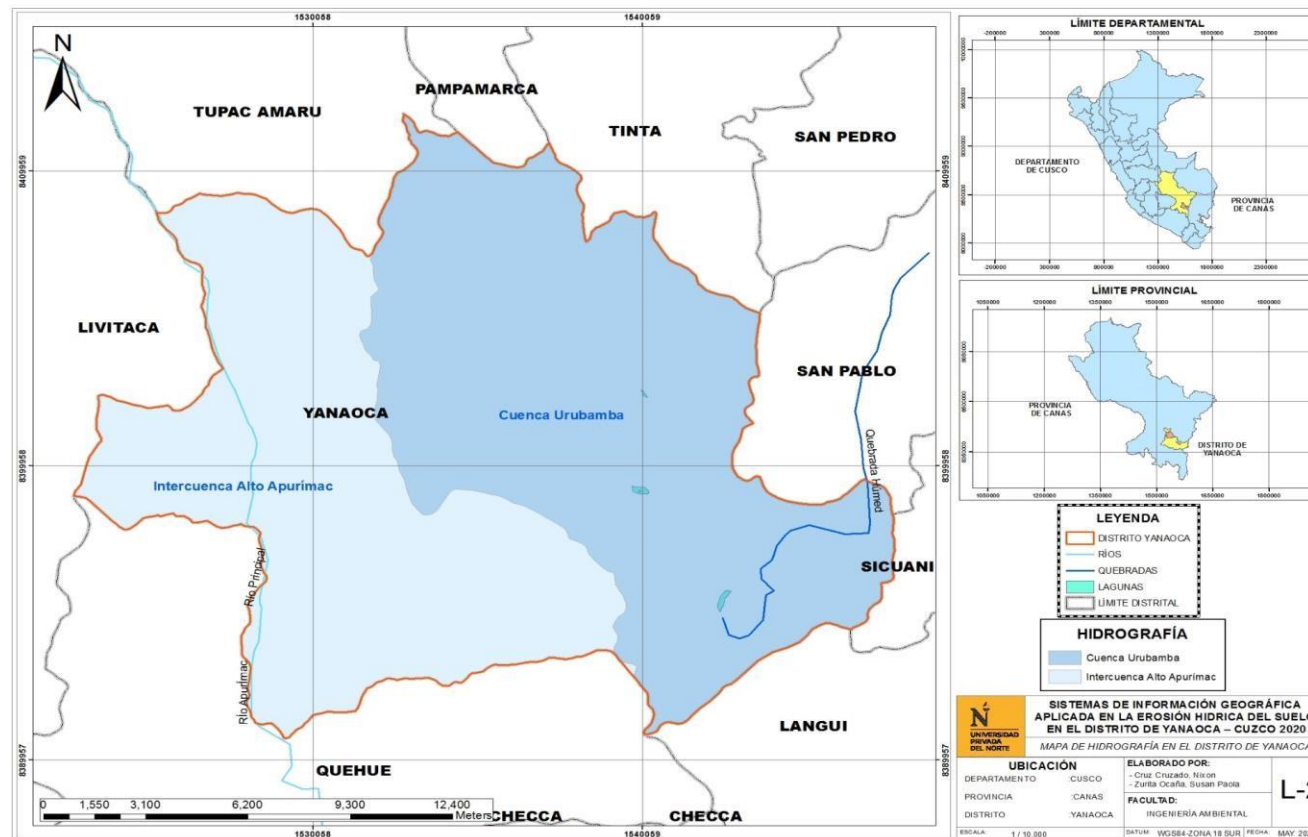
Fuente: Según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

B. Hidrología

El distrito de Yanaoca se ubica principalmente en la cuenca hidrográfica del río Urubamba y la intercuenca del Alto Apurímac, estas cuencas forman parte de la cuenca del río Ucayali, el cual es afluente del río Amazonas en la vertiente del Atlántico. La cuenca

hidrográfica del río Urubamba tiene un área de 58,735 km² y comprende territorialmente a 02 Gobiernos Regionales, siendo Cusco el principal y de mayor extensión, ocupando un 74% de su superficie, en menor proporción se encuentra la Región Ucayali. Las fuentes de agua más importantes son: Bajo Urubamba, Inuya, Medio Bajo Urubamba, Mishahua, Medio Urubamba, Picha, Medio Alto Urubamba, Bajo Mapacho, Quenco Mayo, Medio Bajo Mapacho y Pichihua entre otros. Respecto a la intercuenca del Alto Apurímac, tiene un área de drenaje 16,658.26 km². En su recorrido cruza los departamentos de Cusco y Apurímac en las provincias de Anta, Abancay, Grau, Cotabambas, Paruro, Cusco, Antabamba, Chumbivilcas, Espinar y Condesuyos.

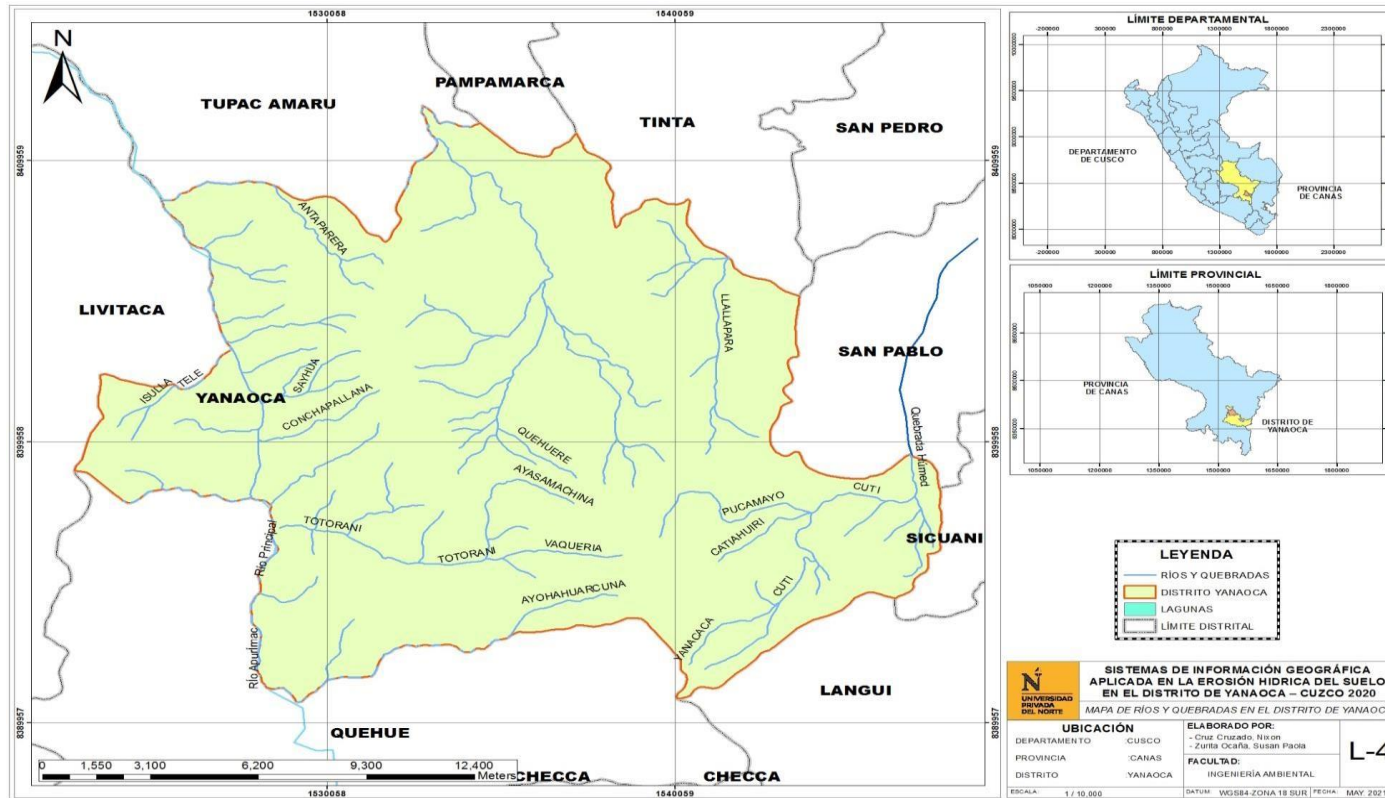
Figura 3 Hidrografía del distrito de Yanaoca



Nota. La figura muestra la delimitación de la cuenta Urubamba y la intercuenca Ato Apurímac. Yanaoca forma parte de ambas. Fuente: Elaboración propia

El distrito de Yanaoca posee un gran sistema hidrográfico, cuya red de drenaje, comprende 22 ríos; tales como: Cuti, Pucamayo, Quehuere, Sayhua, Conchapallana, Ayasamachina, Catiahui, Yanacaca, Ayohahuarcuna, Antaparera, Totorani, Vaqueria, Totorani, Chimcayoc Huayco, Llallapara, Carañahue, Tele, Topillani, Quinura, Isulla, Chocayhua; ver (figura 18). Además posee un gran número de riachuelos y quebradas menores todos pertenecientes a la cuenca hidrográfica del río Urubamba y la intercuenca del Alto Apurímac.

Figura 4 Ríos y quebradas del distrito de Yanaoca

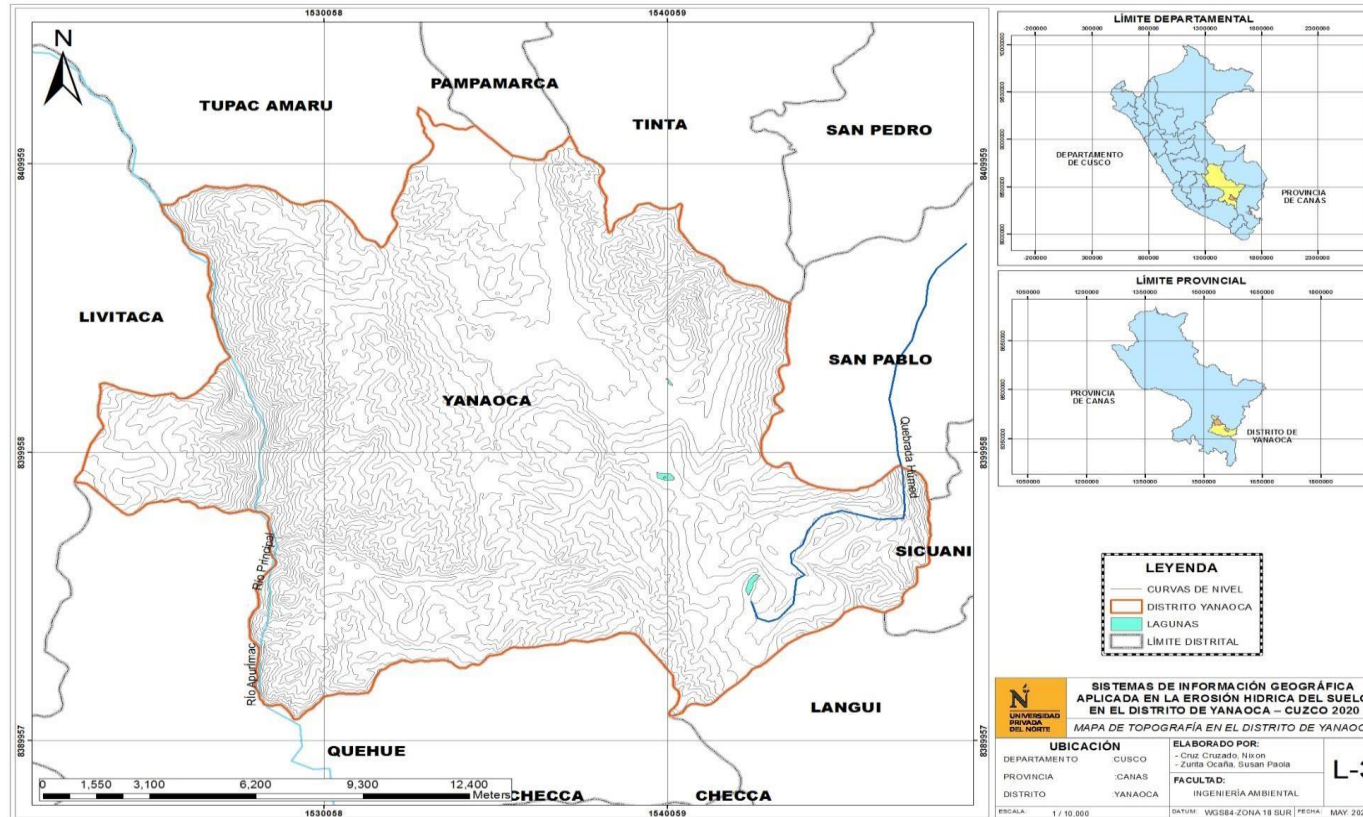


Nota. La figura muestra el mapa de los ríos y quebradas de Yanaoca. Fuente: Elaboración Propia

C. Topografía

El distrito de Yanaoca presenta formas de relieve de gran magnitud, de pendientes muy empinadas, así como, relieves cordilleranos y montañosos, que configuran una topografía muy accidentada. Estas formas de tierra se formaron cuando las corrientes se encajaron en volúmenes rocosos compactos, determinando el modelado agreste y muchas veces encañonado, donde sus relieves son bastantes agrestes. En cuanto a la erosión actual es claramente ostensible y está ligada a la acción natural de la topografía accidentada.

Figura 5 Topografía del distrito de Yanaoca



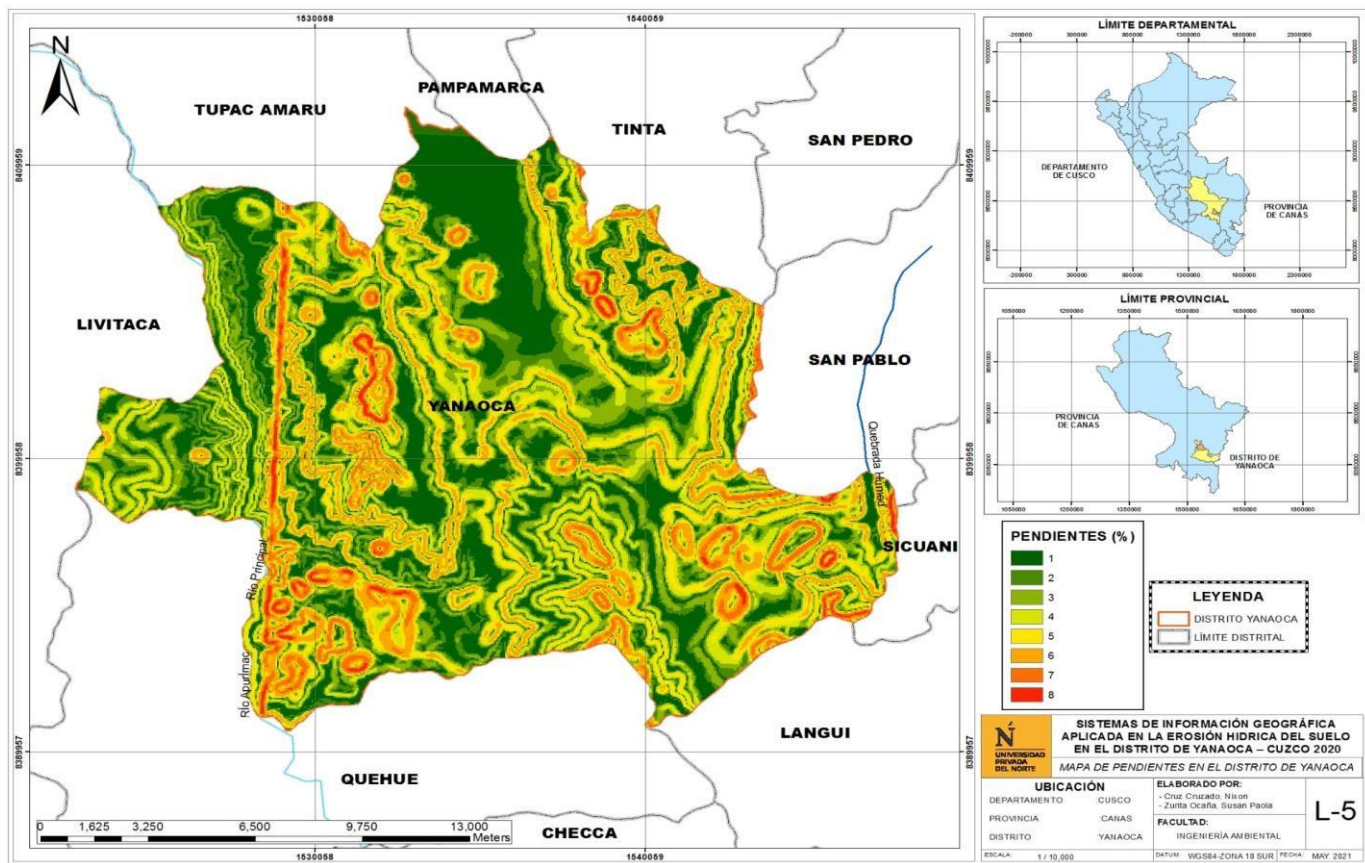
Nota. La figura muestra las curvas de nivel de todo el area del distrito de Yanaoca. Estas curvas representan el relieve y topografía del lugar.

Fuente: Elaboración propia

Cruz Cruzado, Nixon

Zurita Ocaña, Susan Paola

Figura 6 Pendientes del distrito de Yanaoca



Nota. La figura muestra el modelamiento de las pendientes que presenta el terreno del distrito de Yanaoca. Fuente: Elaboración propia

Zurita Ocaña, Susan Paola

Cruz Cruzado, Nixon

Zurita Ocaña, Susan Paola

Taxonomía de suelos

La (figura 9), muestra los tipos de suelo, teniendo en cuenta la clasificación taxonómica del ZEE del departamento del Cusco. El tipo de suelo Etisol- Orthents-Regosol, abarca un área de 19106 km², representando un 26.4 % del total, este tipo de suelo predomina más en el departamento del Cusco, asimismo el de tipo Entisol-Fluents-Fluvisol, abarca un área de 181.98 km² representando un 0.26% del total, este suelo es el que menos predomina. Hay que aclarar que se colocó esta información obtenida del ZEE del Cusco, la cual permitió tener una referencia sobre los tipos de suelo que pueden encontrar en el distrito de Yanaoca.

Figura 7

Clasificación de suelos de la región Cusco

SUELO	CLASIFICACION SOIL TAXONOMY		CLASIFICACION FAO	AREA	
	ORDEN	SUB ORDEN		Km ²	%
Apurimac Mollepata	ENTISOL	ORTHENTS	REGOSOL	968.3	1.34
Catcca	ENTISOL	ORTHENTS	REGOSOL	1067.32	1.47
Cheni Sepahua	ENTISOL	FLUVENTS	FLUVISOL	1693.35	2.34
Cuyo Misceláneo	INCEPTISOL	TROPEPTS	CAMBISOL	6227.01	8.61
Echarate Pachiri	ENTISOL	AQUENTS	GLEYSOL	415.56	0.57
Langui Yauri	INCEPTISOL	TROPEPTS	CAMBISOL	1138.12	1.57
Mahuayani	ENTISOL	ORTHENTS	REGOSOL	845.61	1.17
Maingo Misceláneo	MOLISOL	BOROLLS	PHAEZEM	19106.35	26.4
Mendozayoc Vista	ENTISOL	ORTHENTS	REGOSOL	3014.95	4.17
Florida	INCEPTISOL	TROPEPTS	CAMBISOL	2541.75	3.51
Misceláneo	-----	-----	-----	14527.04	19.37
Pomacanchi	ENTISOL	ORTHENTS	REGOSOL	790.68	1.09
Queros Quincemil	INCEPTISOL	UMBREPTS	PARAMOSOL	7512.12	10.39
Saniriato	ENTISOL	FLUVENTS	FLUVISOL	5400.12	7.46
Sepahua	ENTISOL	ORTHENTS	REGOSOL	181.98	0.26
Sicuani Tinta	INCEPTISOL	TROPEPTS	CAMBISOL	6035.82	8.34
Sicuaní Tinta	ENTISOL	FLUVENTS	FLUVISOL	247.15	0.34
Vilcabamba Coline	MOLISOL	USTOLLS	PHAEZEM	79.57	0.11
Vilcanota	ENTISOL	ORTHENTS	REGOSOL	348.10	0.48
Challabamba	ENTISOL	FLUVENTS	FLUVISOL	223.82	0.31
Islas	INCEPTISOL	TROPEPTS	CAMBISOL		
Ríos	-	-	-	72364.00	100.0
Lagunas	-	-	-		
TOTAL					

Fuente: ZEE del Cusco-2009

Cruz Cruzado, Nixon

Zurita Ocaña, Susan Paola

D. Geología

El estudio geológico - geodinámico de un determinado lugar permite conocer las características que presentan el suelo y los movimientos en masa (deslizamientos, caídas, flujos, etc.), que existen en él. Especialmente luego de un análisis de los factores condicionantes contribuye con la identificación de peligros para que junto a un análisis de vulnerabilidad se puedan determinar zonas seguras y de riesgo necesarias para una adecuada planificación del territorio, además de fortalecer la capacidad de respuesta frente a desastres naturales (Allin Puriy, 2014).

Según el INGEMMET (2011), Las unidades Geológicas presentes en el distrito de Yanaoca son: Depósitos coluviales, eluviales, aluviales, depósitos morrenicos, fluvioglaciares, entre otros”

E. Suelos:

El territorio del distrito de Yanaoca, tiene una mayor vocación agrícola por el tipo de suelos que posee, aunque muchas de ellas tienen ciertas restricciones para su uso, a lo cual se agrega el aspecto del clima frío, que constituye una de sus principales limitaciones sin embargo existen cultivos resistentes a bajas temperaturas. Asimismo, cuenta con significativas áreas de pastos naturales y suelos aptos para pastos cultivados con lo que se puede aumentar la ganadería acompañada de un manejo más técnico. Se tiene áreas aptas para forestación que no están siendo bien aprovechados, mayormente se dispone de plantas arbustivas. Los tipos de suelos hallados son los siguientes:

1. Cuyo Miseláneo:

Presenta en su perfil los horizontes A, C1, C2. Cabe destacar que el horizonte superficial constituye la capa A, de poca profundidad, baja fertilidad, pedregosidad y presencia de rocas. El subsuelo está formado por capas no consolidado de la roca madre (C), indicador de suelos superficiales de poco desarrollo.

La profundidad de su perfil y la textura son recomendables para los cultivos priorizados de la zona, sin embargo el tipo de reacción favorece el cultivo de haba.

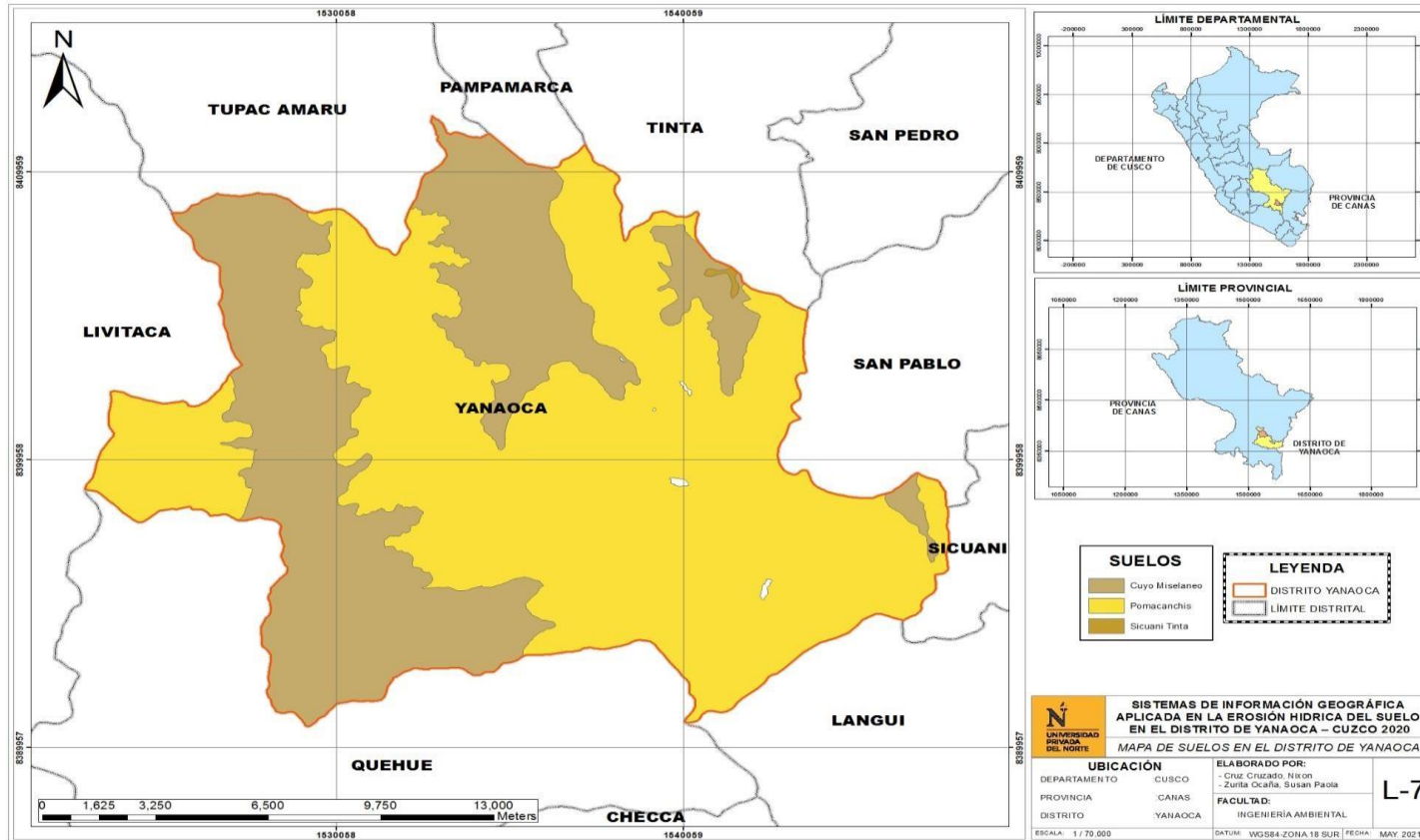
2. Pomacanchis:

Presenta en su perfil los horizontes Ap, A, Bw, C1, C2 El horizonte superficial constituye las capas Ap, A, sin embargo el horizonte Bw representa condiciones alta concentración de arcillas, el subsuelo está formado por capas no consolidadas de la roca madre (C).

3. Sicuani Tinta:

Tiene un perfil profundo, puede desarrollar todos los cultivos priorizados de la zona aunque la capa superficial está constituido por el horizonte A, textura media a moderadamente fina, reacción ligeramente alcalino a moderadamente alcalino y bajo contenido de materia orgánica. La textura es adecuada para los cultivos priorizados, excepto para el trigo. La acidez muestra que son ideales para el cultivo de haba, trigo y cebada, aunque no tanto para la papa y maíz.

Figura 8 *Suelos del distrito de Yanaoca*



Nota. La figura muestra el mapa de los tipos de suelo que existen en el distrito de Yanaoca. Predomina más el suelo Pomacanchis. Fuente:

Elaboración Propia

Cruz Cruzado, Nixon

Zurita Ocaña, Susan Paola

F. Capacidad de Uso Mayor:

La clasificación de los suelos según su capacidad de uso mayor, es un ordenamiento sistemático basado en la aptitud natural que presenta el suelo para producir constantemente. El criterio básico que rige esta clasificación está determinado fundamentalmente por las características ecológicas, así como por la naturaleza y grado de limitaciones que impone el uso del suelo. El mapa de capacidad de uso mayor de suelos nos muestra las clases de suelos que posee el distrito. Cada tipo de tierra tiene una vocación, al no respetarla se generan numerosos problemas como erosión, derrumbes, deslizamientos, huaycos, pérdida de vidas humanas, biodiversidad y de infraestructura, entre otros.

El sistema de clasificación de tierras, anterior, consideró cinco grupos de capacidad de uso mayor y estableció tres categorías: Grupo, Clase y Sub Clase.

1. GRUPO

- Grupo A: Tierras aptas para cultivo en limpio (A)

Las tierras de aptitud para cultivo en limpio, son suelos de calidad agrológica media, con muy pocas limitaciones que restrinjan su uso y sin problemas de manejabilidad, de excelente productividad bajo un manejo acertado y regular fertilidad natural.

- Grupo C: Tierras aptas para cultivo permanente (C)

Suelos cuyas condiciones ecológicas no son adecuadas a la remoción periódica (no arables) y continuada del suelo, pero que permiten la implantación de cultivos perennes, sean herbáceas, arbustivas o arbóreas, estas tierras podrían dedicarse también a otros fines (forestal, protección y pastoreo) siempre y cuando se obtenga rendimientos económicos superiores a su aptitud natural.

- Grupo P: Tierras aptas para pastos (P)

Tierras Aptas para Pastos, son los que no reúnen las condiciones ecológicas mínimas requeridas para el cultivo en limpio o permanente, pero que permiten su uso continuado o temporal para el pastoreo, bajo técnicas económicamente accesibles a los agricultores del lugar, sin deterioro de la capacidad productiva del recurso.

- Grupo F: Tierras aptas para producción forestal (F) Las Tierras Aptas para Producción Forestal, son tierras que no reúnen las condiciones ecológicas requeridas para su cultivo o pastoreo, pero permite su uso para la producción de maderas y otros productos forestales, siempre que sean manejadas en forma técnica para no causar deterioro en la capacidad productiva del suelo, estos suelos pueden soportar plantaciones de cultivos permanentes pero requiere el uso de tecnologías adecuadas para conservar el suelo.

- Grupo X: TIERRAS DE PROTECCION (X)

Son las tierras que no reúnen las condiciones ecológicas mínimas para cultivos intensivos, permanentes en limpio, pastoreo y producción forestal.

2. CLASE

Es una categoría establecida sobre la base de la calidad agrológica del suelo y que refleja la potencialidad y grado de amplitud de las limitaciones para uso agrícola. Es la síntesis que comprende la fertilidad, condiciones físicas del suelo, relaciones suelo-agua y las características climáticas dominantes, se consideran tres clases de capacidad de uso:

- Clase de calidad agrológica baja (1)

Cruz Cruzado, Nixon

Zurita Ocaña, Susan Paola

- **Clase de calidad agrológica media (2)**
- **Clase de calidad agrológica alta (3).**

SUBCLASE: Categoría establecida en función de los factores limitantes y riesgos que restringen el uso del suelo por largo tiempo. Se ha reconocido seis factores limitantes:

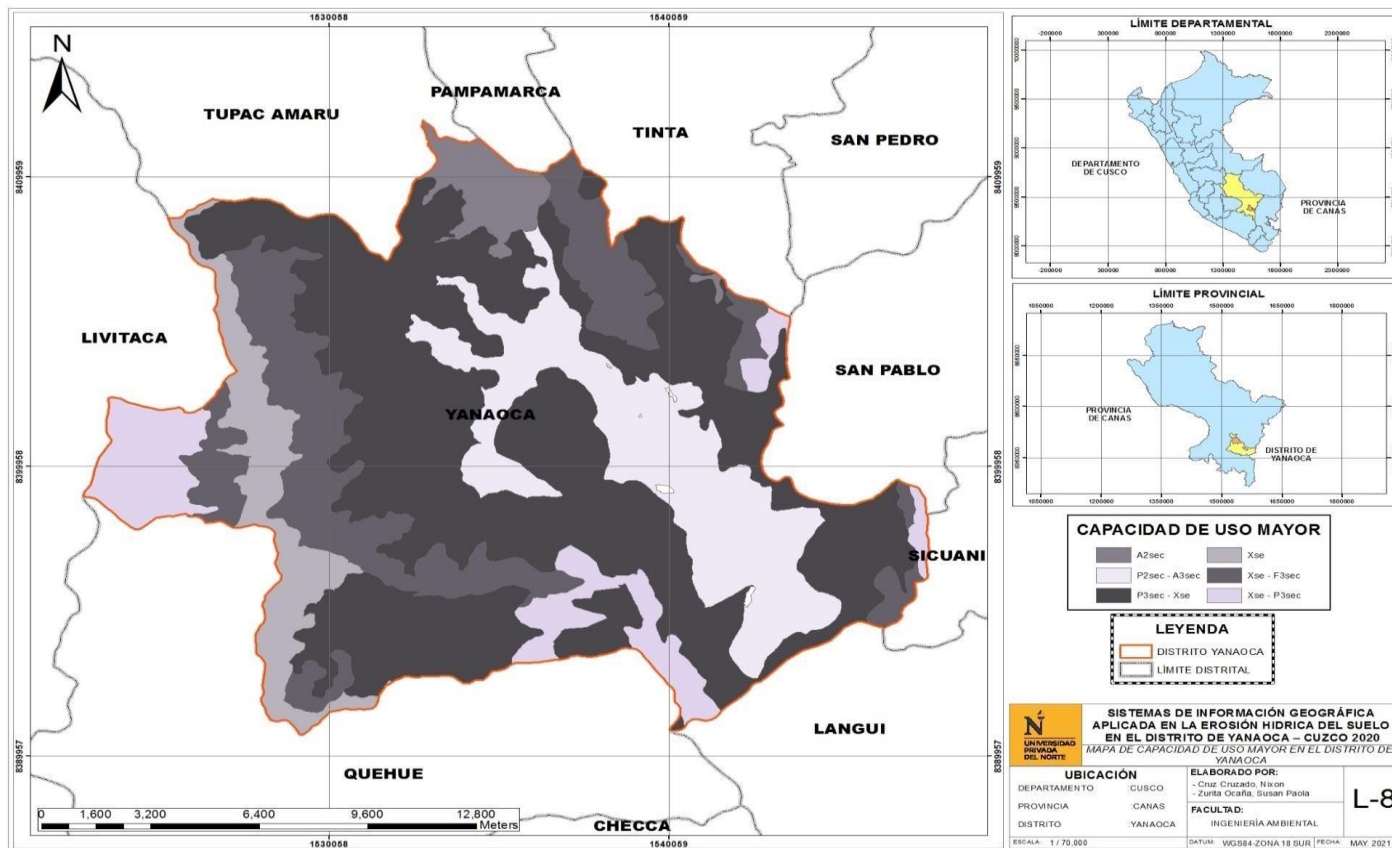
- **Limitación por suelos (s)**
- **Limitación por sales (l)**
- **Limitación por inundación (i)**
- **Limitación por topografía o erosión (e)**
- **Limitación por drenaje (w)**
- **Limitación por clima(c)**

En tal sentido, los tipos de suelo según su capacidad en el distrito de Yanaoca son los siguientes:

- **A2sec:** Cultivo en limpio de calidad agrológica media con limitaciones de suelo, erosión y clima.
- **A3sec - P2sec:** Cultivo en limpio de calidad agrológica baja con limitaciones de suelo, erosión y clima asociado a pastos de calidad agrológica media con limitaciones de suelo, erosión y clima.
- **P3sec – Xse:** Pastos de calidad agrológica baja con limitaciones de suelo, erosión y clima asociado a protección por suelo y erosión.
- **Xse:** Protección por suelo y erosión

- **Xse - F3sec:** Protección por suelo y erosión asociado a forestal de calidad agrológica baja con limitaciones de suelo, erosión y clima.
- **Xse - P3sec:** Protección por suelo y erosión asociado a pastos con limitaciones de suelo, erosión y clima.

Figura 9 Capacidad de uso mayor de suelos en el distrito de Yanaoca



Nota. La figura muestra las clases de suelos que posee el distrito de Yanaoca, teniendo en cuenta su capacidad de uso mayor. Fuente:

Elaboración propia

Cruz Cruzado, Nixon

Zurita Ocaña, Susan Paola

2.4. Aspectos biológicos

A. Cobertura Vegetal:

La cobertura consta de todo rasgo o cuerpo presente sobre la superficie terrestre que es aprovechada por la población, según sus necesidades de supervivencia; como la vegetación natural, cultivos, centros poblados, entre otros (ANA, 2015), a continuación se describen las unidades de cobertura vegetal identificadas, agrupadas según su fisonomía:

1. Areas con intervención antrópica

Son aquellas áreas intervenidas por cualquier acción o intervención realizada por el ser humano sobre la faz del planeta. Son actividades antrópicas, por ejemplo: la deforestación, la pesca, la agricultura, la mayoría de las emisiones de gases de carbono a la atmósfera (de origen fabril, vehicular, etc.)

2. Matorral sub humedo de valles interandinos

La característica principal de este tipo de ecosistemas es tener un clima frío seco con precipitaciones anuales por debajo del promedio para el ámbito de estudio que asociado al tipo de geología, que se caracteriza por ser roca viva y limita el crecimiento de vegetación mayor.

3. Pastizal y Césped de puna

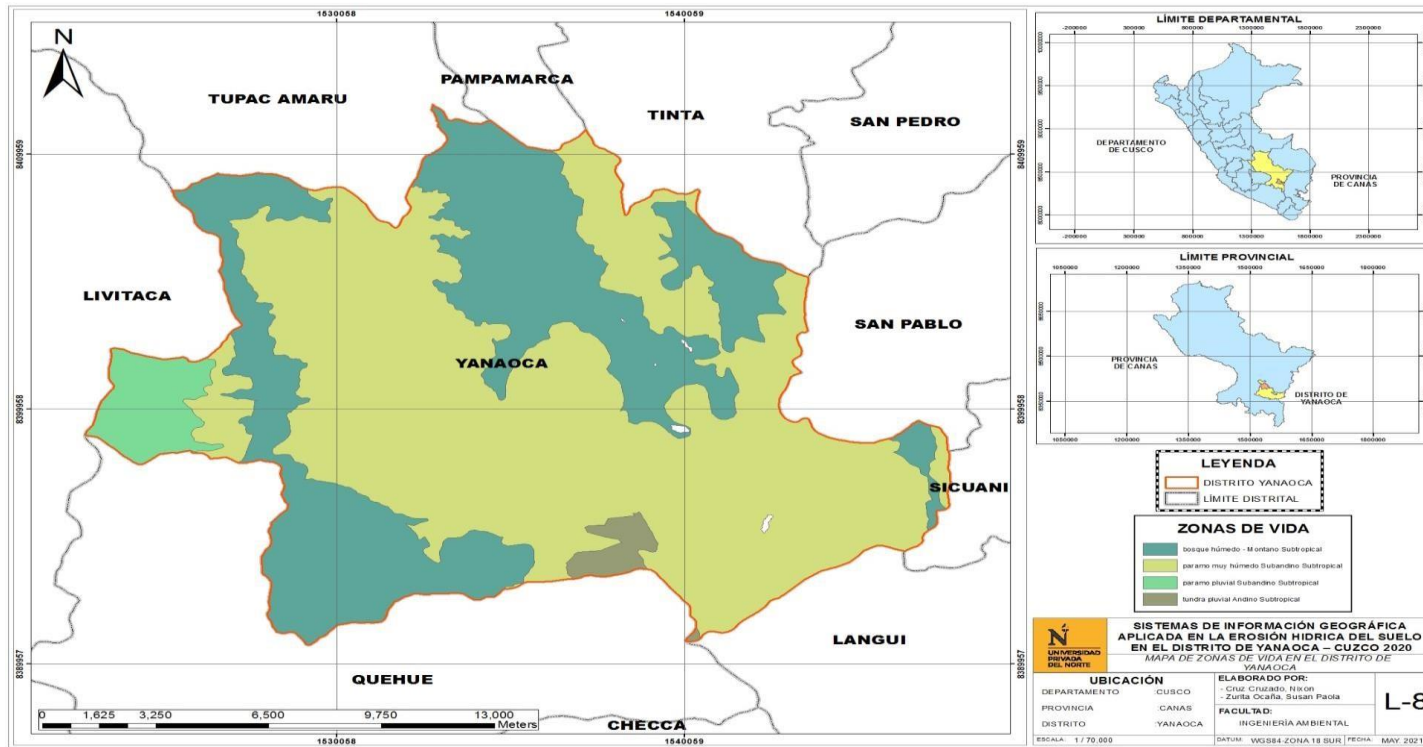
Formación de la zona denominada comúnmente como pampa, está constituida característicamente por plantas de porte reducido, tales como *Calamagrostis vicunarium*,

Geranium sessiliflorum, Scirpus rigida, Lachemilla pinnata y Azorella diapensioides, entre otras (INRENA, 2008)

4. Humedales andinos

También llamados bofedales en Perú, son en gran parte turberas. Los bofedales son reconocidos por los múltiples servicios que provén, sea como pastizales de gran valor para la ganadería altoandina, la regulación hídrica para la cuenca o a un nivel global, el servicio de secuestro de carbono.

Figura 10 Cobertura vegetal en el distrito de Yanaoca



Nota. La figura muestra los tipos de cobertura vegetal encontrados en Yanaoca-Cusco. El que más predomina como se puede apreciar es el de Matorral sub húmedo de valles interandinos. Fuente: Elaboración propia

2.5. Tipo de investigación

La presente investigación por su diseño, es no experimental, tipo de diseño, longitudinal y descriptiva.

2.5.1. Diseño de investigación

No experimental, pues no se intervino directamente en la variable de estudio. En este caso, no es posible el control de la variable meteorológica ni de los efectos que ésta origina, porque ya ocurrieron (Egusquiza, 2019), sin embargo; usamos estos datos recopilados de forma proyectiva a fin de evitar que los daños a futuro sean colaterales.(p. 47)

2.5.2. Tipo de diseño de investigación

Este estudio comprende una investigación de tipo longitudinal; puesto que se realizó la recolección de datos de diferentes periodos, esto con la finalidad de analizar las causas, efectos y la manera en que evoluciona el problema de investigación (Hernández, Fernández y Baptista, 2014). Asimismo es descriptiva debido a la descripción de los factores del estudio. Es por eso que no se considera población, la unidad de estudio con la que se trabajo pertenece al área total de 292.97 km².

2.6. Unidad de estudio

El área del distrito de Yanaoca- Cuzco, el cual posee un área total de 292.97 km².

2.7. Población

Esta constituida por el distrito de Yanaoca el cual esta formado por tipos de cobertura vegetal, tipos de suelos, usos de suelo, topografía y precipitaciones

2.8. Recursos de información, búsqueda y selección

Se utilizaron recursos de diversas instituciones reconocidas a fin de obtener información de calidad. Para la obtención de la información geográfica requerida (geodatos) se optó por trabajar con los geoportales del Ministerio del Ambiente (MINAM), Alaska Satellite Facility (ASF), La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), e Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET); mientras que para los datos meteorológicos se emplearon los portales del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), y la Autoridad Nacional del Agua (ANA); finalmente, para los precedentes de la investigación se utilizaron bases de datos como: Science Direct, Dialnet, y repositorios de universidades.

La primera actividad realizada fue la búsqueda de datos relacionados con las características físicas de interés de la cuenca de estudio, esto con la finalidad de la elaboración posterior de los mapas.

2.9. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.9.1. Técnicas

Técnica de observación indirecta: puesto que para el Modelo de la Ecuación de Pérdida de Suelo Universal Revisada (RUSLE) fue necesario analizar la información espacial mediante el uso de imágenes satelitales con alta resolución. Esta técnica consiste en la ampliación de los datos; sobre un procedimiento que se sigue a través de un adecuado muestreo de expedientes o formatos empleados (Kramis, 1994, p. 52).

Técnica de investigación bibliográfica: para lo cual se recurrió a fuentes estandarizadas como libros especializados en el tema de investigación, artículos de revistas indexadas y documentos oficiales que hicieron posible la comprensión de los fundamentos teóricos

empleados para el dominio de las variables. Esta técnica garantiza la calidad de los fundamentos teóricos y tiene como finalidad solucionar problemas planteados mediante la relación de datos existentes de diversas fuentes o a través de la proporción de una visión clara sobre la cuestión planteada (Martínez, 2004)

2.9.2. Instrumentos de recolección de datos

Los datos fueron recolectados mediante la herramienta ofimática Excel; para los registros de precipitación, los datos geospaciales en formato shape, tiff, DEM, KML, entre otros, fueron almacenados y procesados en el software ArcGIS 10.5 y Qgis 3.14; también se usó cartografía básica (mapas cartográficos).

2.4.1. Aspectos éticos

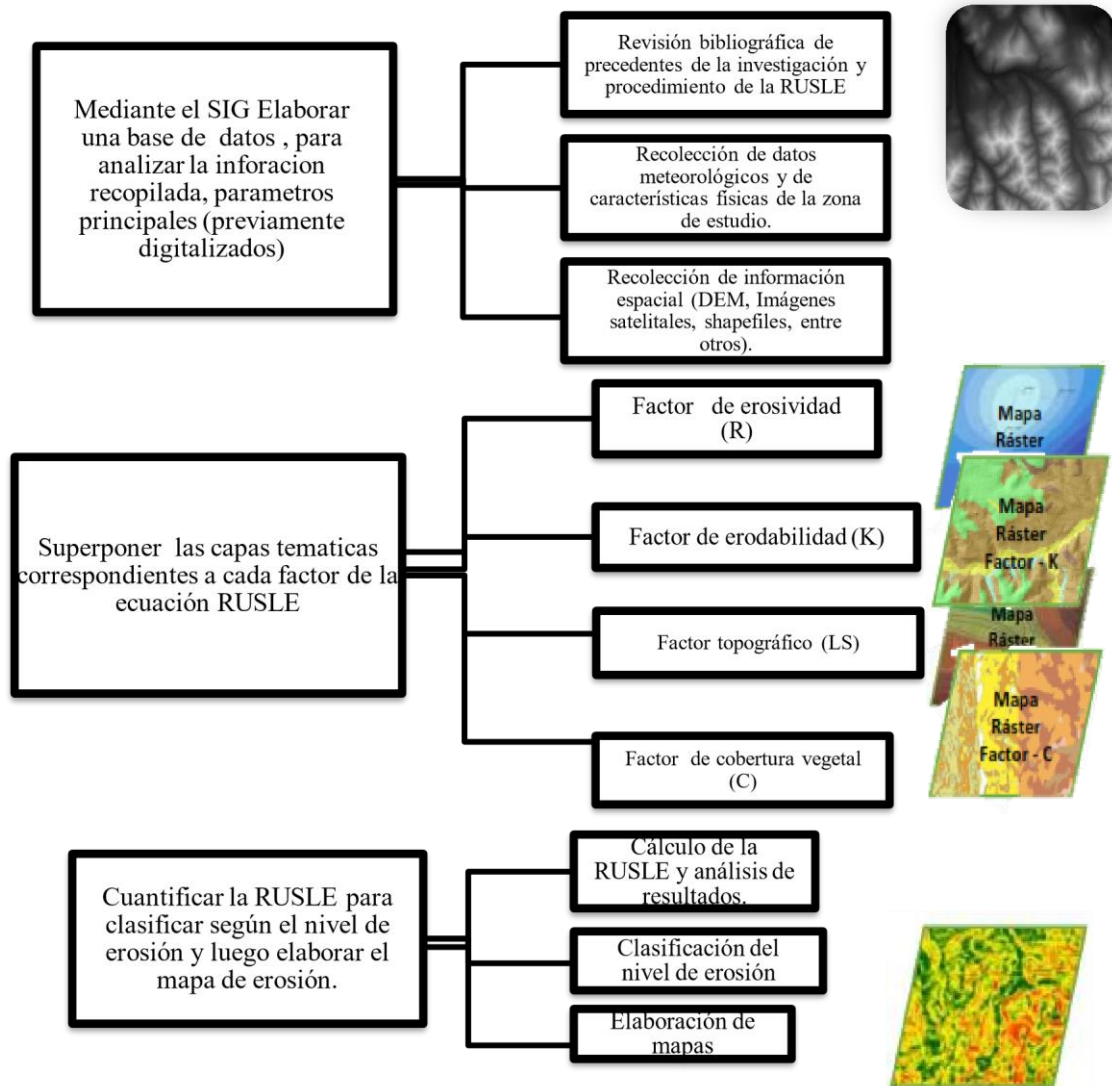
Es importante recalcar que la información recabada de otros estudios para llevar a cabo esta investigación ha sido citada y referenciada como muestra de respeto a la autoría de los investigadores.

2.10. Método de Análisis

El sistema de información geográfica en este presente estudio, nos da la facilidad de gestionar la información requerida para cumplir los objetivos trazados. La versatilidad de esta herramienta hace posible el procesamiento y análisis de los parámetros principales, para poder cuantificar la ecuación RUSLE.

El análisis de los datos se realizó mediante el geoprociamiento utilizando los softwares ArcGIS 10.5, Qgis 3.14.

Figura 11 Metodología a utilizar



Nota. La figura muestra la metodología a seguir para el desarrollo del procedimiento.

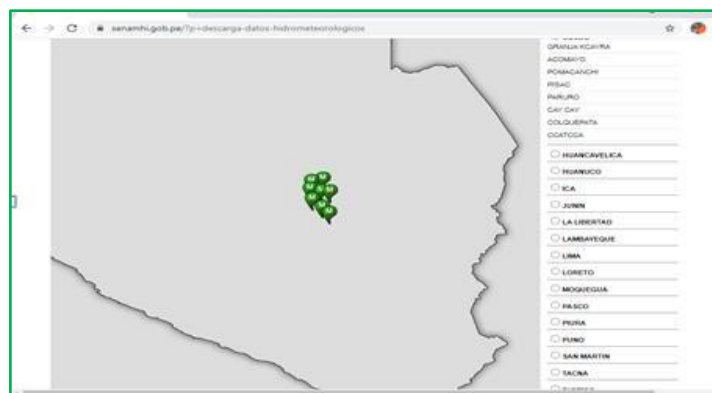
Fuente: Elaboración propia

2.10.1. Metodología (RUSLE) Ecuación de Pérdida de Suelo Universal Revisada

2.10.1.1. Factor de erosividad (R)

Para determinar el factor de erosividad (R), se utilizó información que fue proporcionada por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI). Se seleccionó el departamento de Cuzco, para luego realizar un filtro de las estaciones meteorológicas que se encontraban dentro del distrito de Yanaoca y alrededores, los datos fueron obtenidos de manera gratuita, (ver figura 14).

Figura 12
Descarga de datos meteorológicos



Fuente: Desde el portal del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

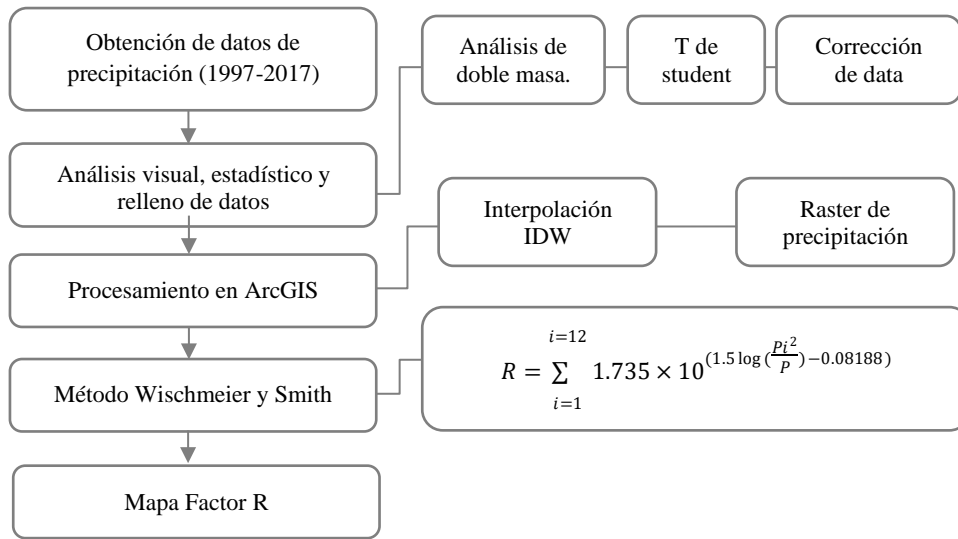
Se trabajó con datos de precipitación de los años (1997-2017), ya que no existe registro de datos de años posteriores fueron analizados antes de su utilización en los softwares del sistema de información geográfica.

El primer análisis empleado fue el de consistencia visual para determinar saltos o anomalías, y el segundo fue el análisis de doble masa, de acuerdo a dichos resultados se

procedió al llenado y corrección de datos y finalmente se aplicó un análisis estadístico, ver figura 15.

Figura 13

Diagrama de flujo del factor de erosividad (R)



Fuente: Elaboración propia

2.10.1.2. Factor de erodabilidad (K)

Para determinar el Factor de Erodabilidad (K), fue necesario descargar los archivos en formato shp. de la zonificación ecológica económica del departamento de Cuzco.

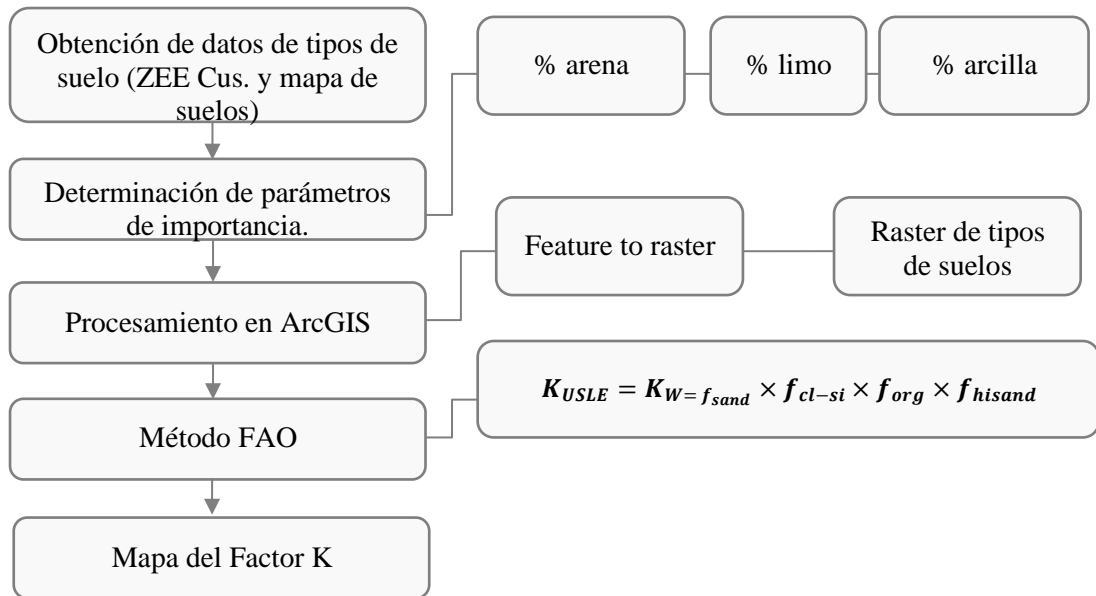
Figura 14
Mapa mundial de suelos



Fuente: Portal oficial de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)

Los datos obtenidos de tipos de suelo de la ZEE de Cusco y mapas de suelo. Se utilizó para determinar los parámetros de importancia, luego se realizó el procesamiento de la información en ArcGIS, ver figura 18.

Figura 15
Diagrama de flujo del factor de erodabilidad (K)

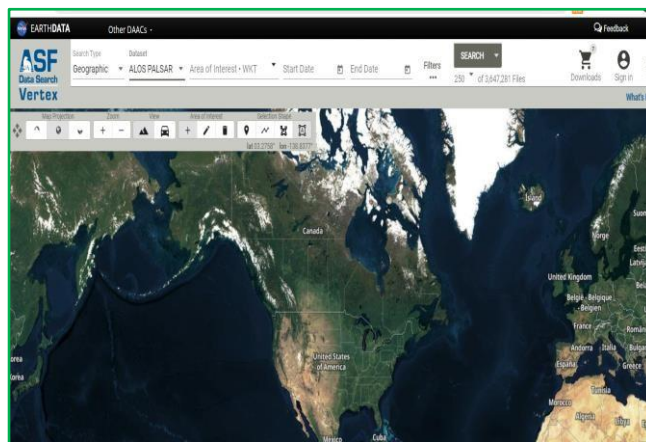


Nota. La figura muestra el procedimiento detallado para determinar el factor de erodabilidad (K). Fuente: Elaboración propia

2.10.1.3. Factor topográfico (LS)

Para estimar dicho factor se realizó la búsqueda del Modelo Digital de Elevación (DEM) de la cuenca seleccionada, a través de sus coordenadas y fue descargado en formato Geotiff con una resolución de 12.5 m, ver figura 19.

Figura 16 Modelo digital de elevación (DEM) de la cuenca seleccionada(Urubamba)

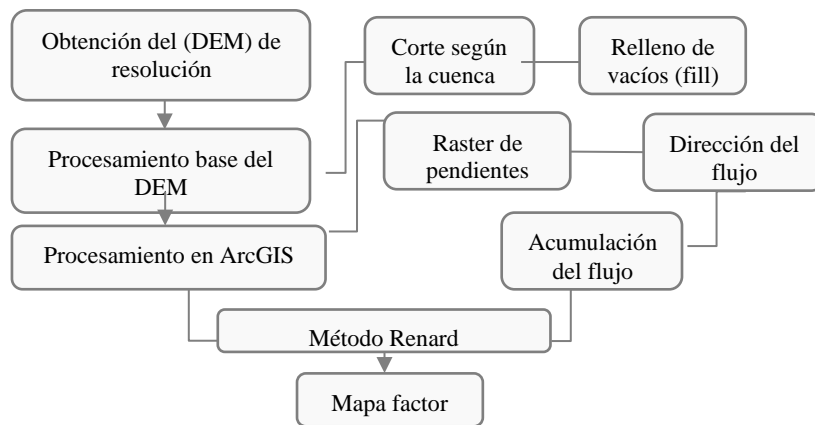


Fuente: Portal del Servicio Alaska Satelity Facility (ASF)

El modelo seleccionado corresponde al satélite ALOS-PALSAR, debido a que este rectifica las imágenes y presenta altas resoluciones. Asimismo, su obtención fue a través del portal del Servicio Alaska Satelity Facility (ASF), de manera gratuita, (ver figura 17)

Figura 17

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



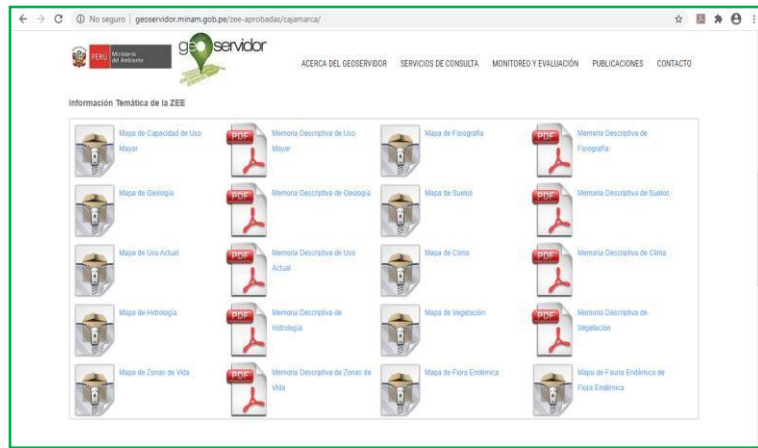
Fuente: Elaboración propia

2.10.1.4. Factor de cobertura vegetal (C)

Para encontrar el siguiente factor, se realizó su búsqueda en el portal del Ministerio del Ambiente (MINAM) y su formato de descarga fue en formato shapefiles, a una escala de: 1/100 000, debido a que permite trabajar con mayor facilidad.

Figura 18

Capa de vegetación natural

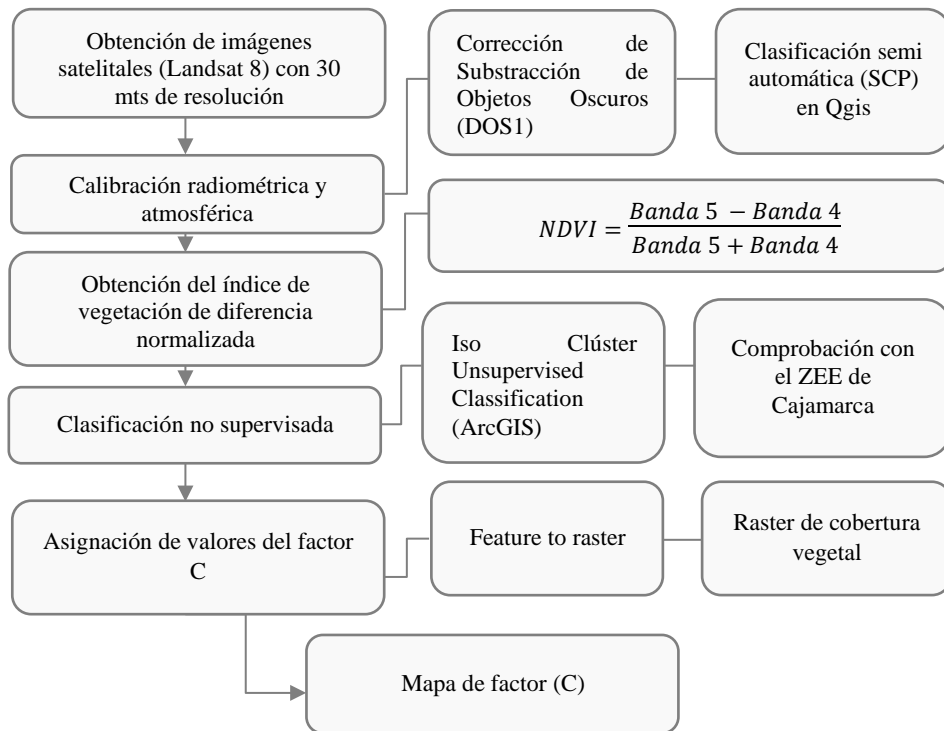


Fuente: Portal del Ministerio del Ambiente (MINAM)

Por otro lado, al estar disponible la capa de todo el Perú y no ser posible la selección de un área en específico, tuvo que ser recortado para su uso, la obtención de las imágenes fue del satélite (Landsat8) con 30 mts de resolución. A continuación el procesamiento en ArcGIS, ver figura 19.

Figura 19

Diagrama de flujo del factor de cobertura vegetal (C)



Fuente: Elaboración propia

2.10.1.5. Cálculo del factor de prácticas de conservación (P)

Se asumió un valor de la unidad para este factor, puesto que en el distrito de Yanaoca no se realizan prácticas de conservación

CAPÍTULO III. RESULTADOS

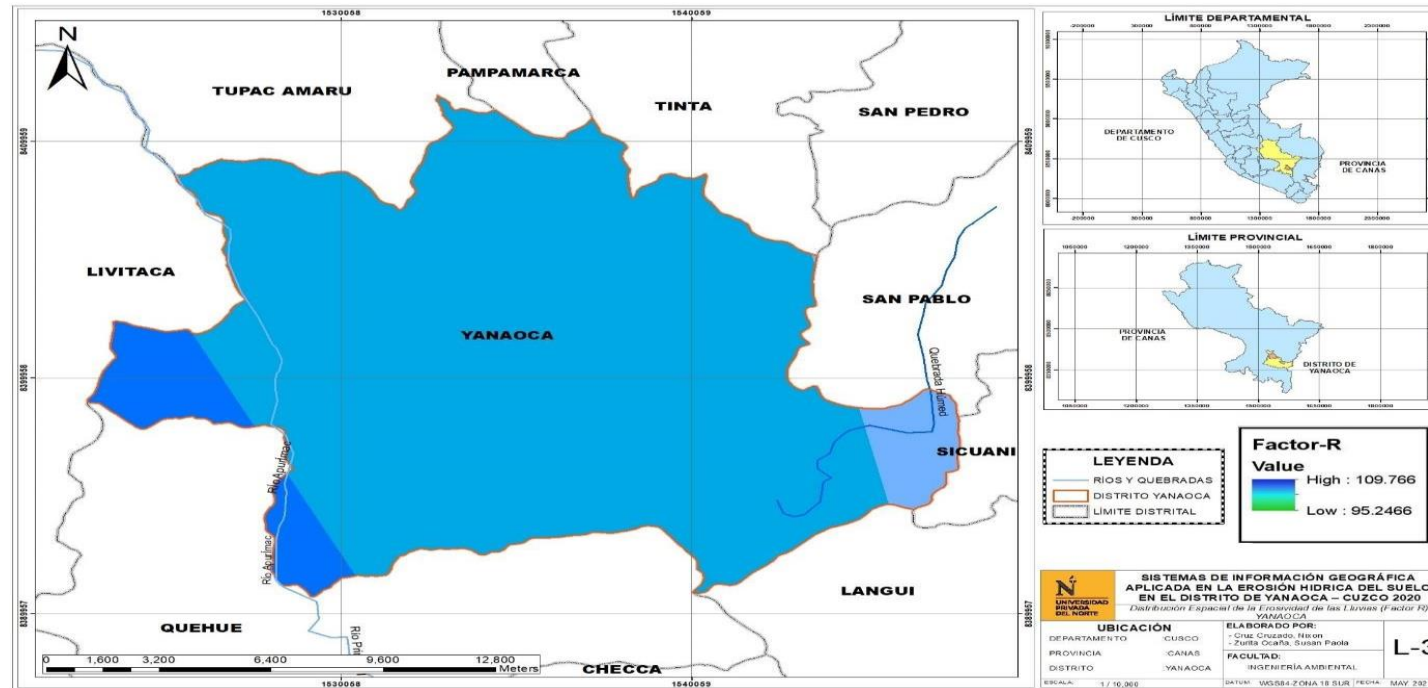
3.1. Factores de la ecuación RUSLE

3.1.1. Factor de erosividad (*R*)

La data de los años 1997 al 2017 de precipitación nos da como resultado la erosividad que presenta el distrito de Yanaoca. Esta varía en diferentes partes. Esto se puede deber a que en algunas partes las precipitaciones son más intensas, ver figura 18; el factor de erosividad (R) osciló en 109 y 95 (Mj mm/ ha h año). El mapa temático presenta el raster de erosividad del distrito de Yanaoca.

Figura 20

Factor erosividad (R) que presenta el Distrito De Yanaoca



Fuente: Elaboración propia

Nota. La figura, muestra la variación del factor de erosividad (R), el color azul mas intenso indica que el factor de erosividad es mayor, juntamente con los demás colores muestran que toda el área del distrito de Yanaoca, presenta erosividad, en algunas partes mas que otras. Esto producto de las precipitaciones.

Cruz Cruzado, Nixon

Zurita Ocaña, Susan Paola

Factor de erodabilidad (K)

Asimismo con la información proporcionada por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), acerca del contenido de materia orgánica, porcentaje de limo, arena y arcilla, se procedió a clasificar los valores del factor de erodabilidad (K), según el tipo de suelo, (ver tabla 12)

Tabla 6 *Valores del factor de erodabilidad (K) según el tipo de suelo*

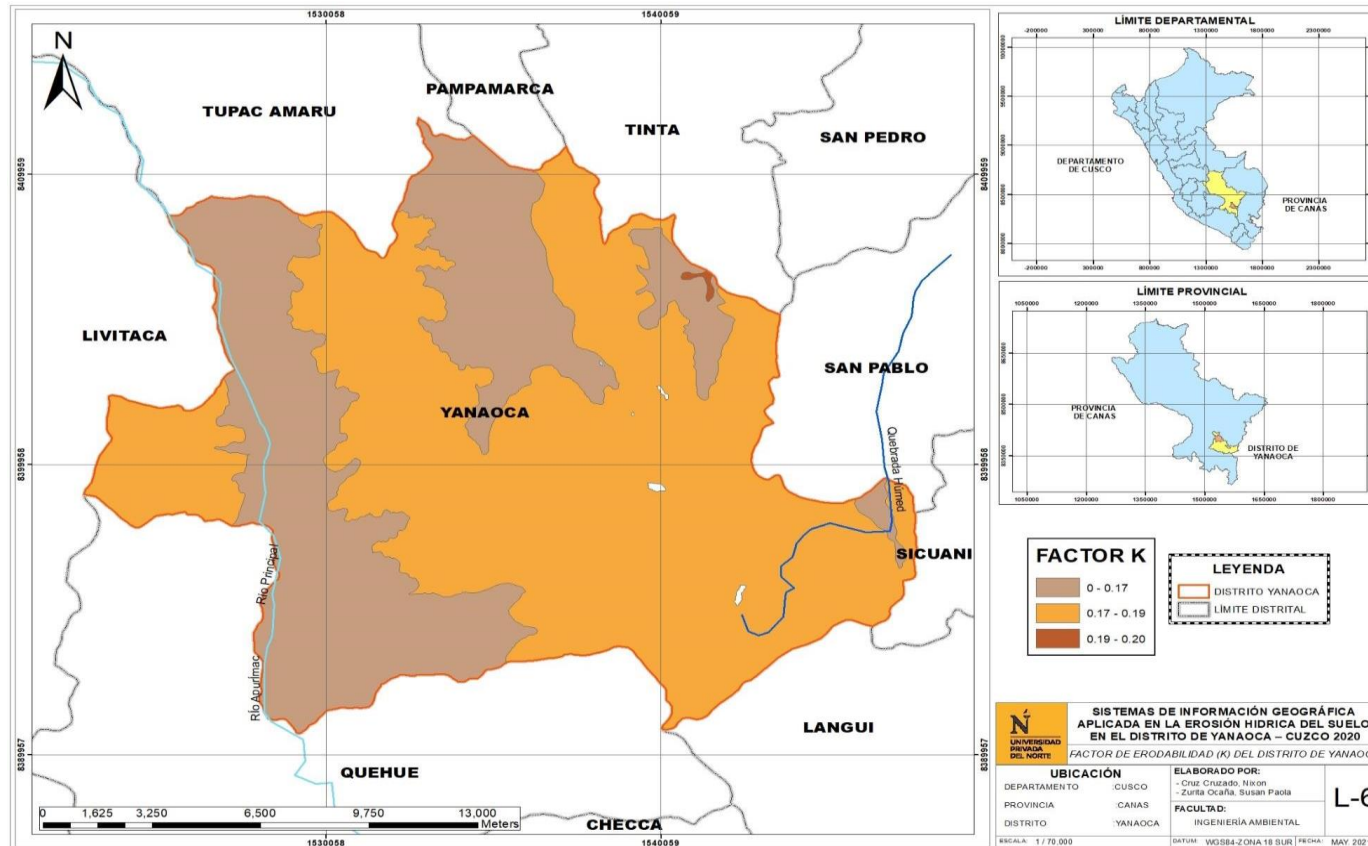
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN (tipos de suelo)	FACTOR_K
T-L	Andosol_Leptosol	0.02142
R	REGOSOL	0.01989
L-R	Leptosol_Regosol	0.01906

Nota. La tabla muestra la variación del factor de erodabilidad (K), en función al tipo de suelo. Fuente: Elaboración propia

El raster obtenido del factor de erodabilidad (K), que muestra los tipos de suelo del distrito de Yanaoca, (ver figura 18)

Figura 21

Factor de erodabilidad (K) que presenta el distrito de Yanaoca



Nota. La figura muestra el raster del factor de erodabilidad (K). Este factor hace referencia a la clase de suelo. Fuente: Elaboración propia

Factor topográfico (LS)

Con los softwares Arc gis y Qgis aplicando la ecuación propuesta por Foster (1977), se pudo identificar que la cuenca Urubamba, a la que pertenece el distrito de Yanaoca-Cusco, presenta pendientes de magnitud baja y moderada, sin embargo, también se aprecia, aunque en minoría pendientes altas, (ver tabla 13)

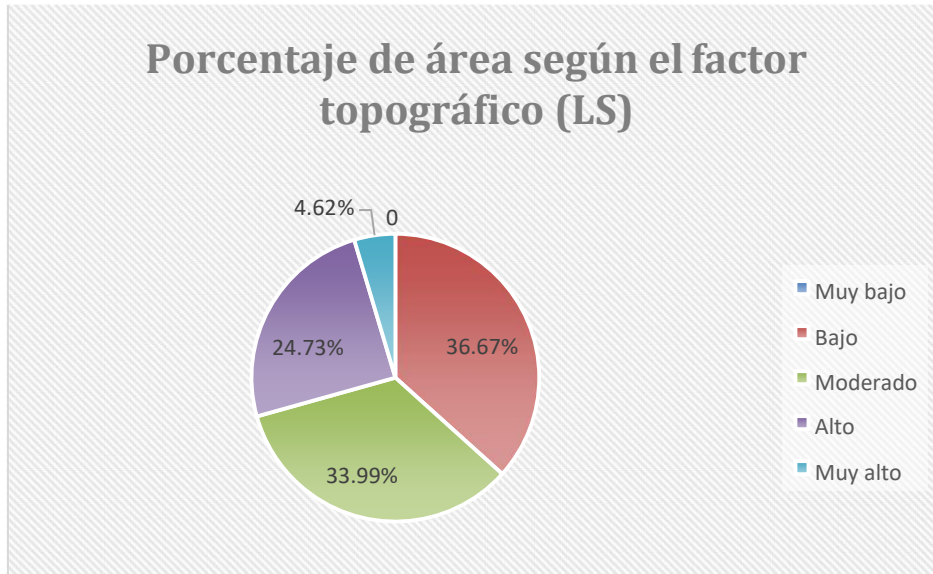
Tabla 7 Valoración del factor topográfico (LS)

NIVEL	RANGO	CALIFICACIÓN	ÁREA	% DE ÁREA
1	< 1	Muy bajo	0	0
2	1 - 3	Bajo	107.4431	36.670%
3	3 - 5	Moderado	99.57898	33.986%
4	5 - 7	Alto	72.44425	24.725%
5	> 7	Muy alto	13.53074	4.618%

Nota. La tabla muestra la variación de la pendiente con respecto al rango de valoración. Se evidencia que el distrito de Yanaoca presenta pendientes de magnitud baja y moderada mayormente. Fuente: Elaboración propia

Figura 22

Porcentaje de área según el factor topográfico (LS)



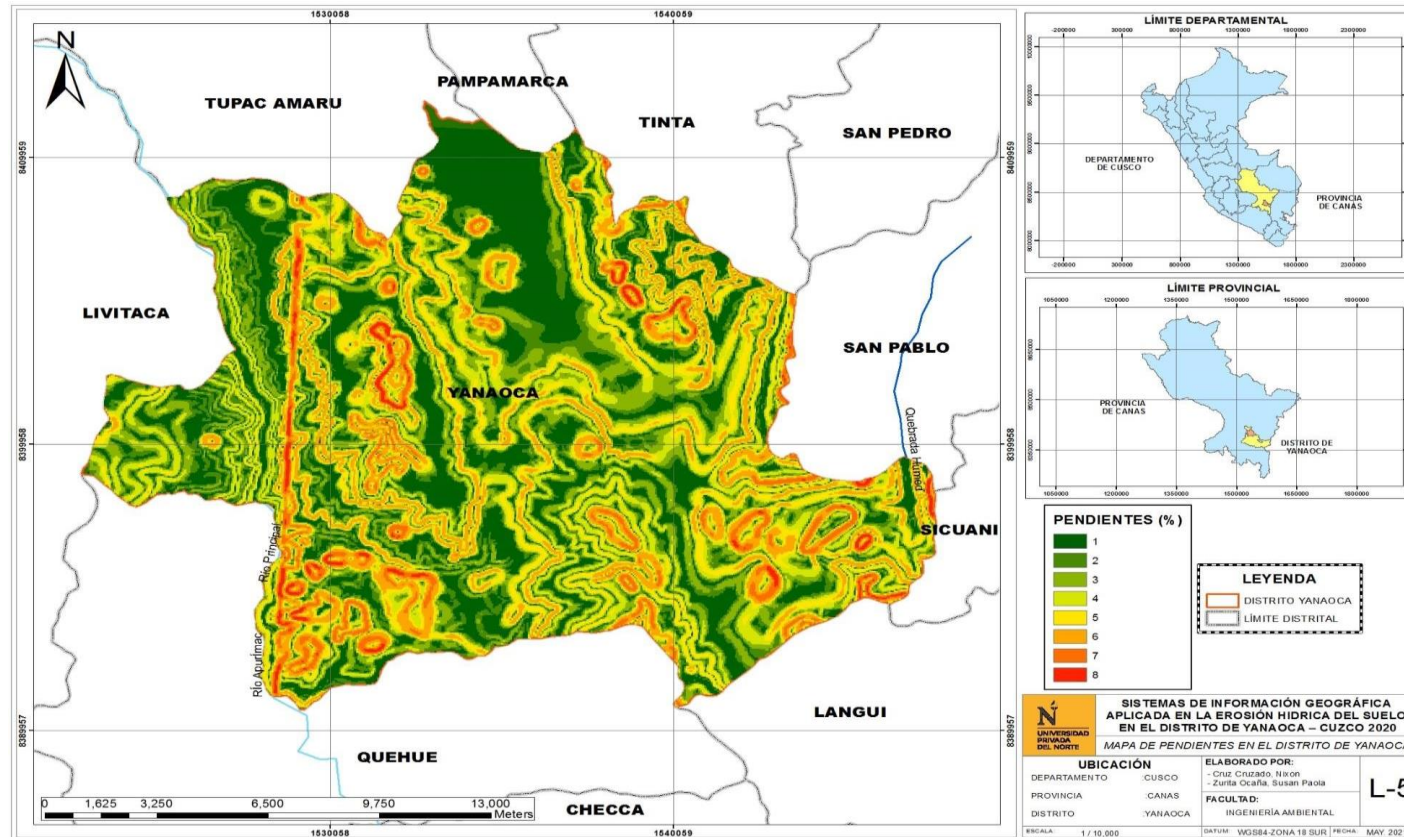
Nota. La figura muestra la cantidad de área según el factor topográfico (LS), se identifica que la mayor área es ocupada por el tipo bajo y moderado. Fuente:

Elaboración propia

El raster del factor topográfico (LS), se aprecia a continuación, (ver figura 21).

Figura 23

Factor topográfico (LS) que presenta el distrito de Yanaoca-Cusco



Nota. La figura muestra las curvas de nivel que dibujan el relieve, descrito por el factor topográfico (LS), las líneas de color rojo indican las fuertes pendientes, que presenta el distrito de Yanaoca-Cusco. Fuente: Elaboración propia

Cruz Cruzado, Nixon

Zurita Ocaña, Susan Paola

Factor de cobertura vegetal (C)

Según el Ministerio del Ambiente (MINAM) y la Zonificación Ecológica y Económica (ZEE), de Cuzco Yanaoca presenta 4 tipos de cobertura vegetal, tomando como base el trabajo realizado por el SENAHMI (2017), (ver tabla 14).

Tabla 8 Valores de los factor (C), basados en la clasificación del GLC

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

Nota. La tabla permite determinar el tipo de cobertura vegetal presente, teniendo en cuenta su valoración. en función al tipo de cobertura vegetal. Fuente: Atlas de erosión de suelos por regiones hidrológicas del Perú. SENAMHI (2017).

De acuerdo con ello se le atribuyó valores que representan al factor (C), (ver tabla

15)

Tabla 9 *Valores correspondientes al tipo de cobertura vegetal*

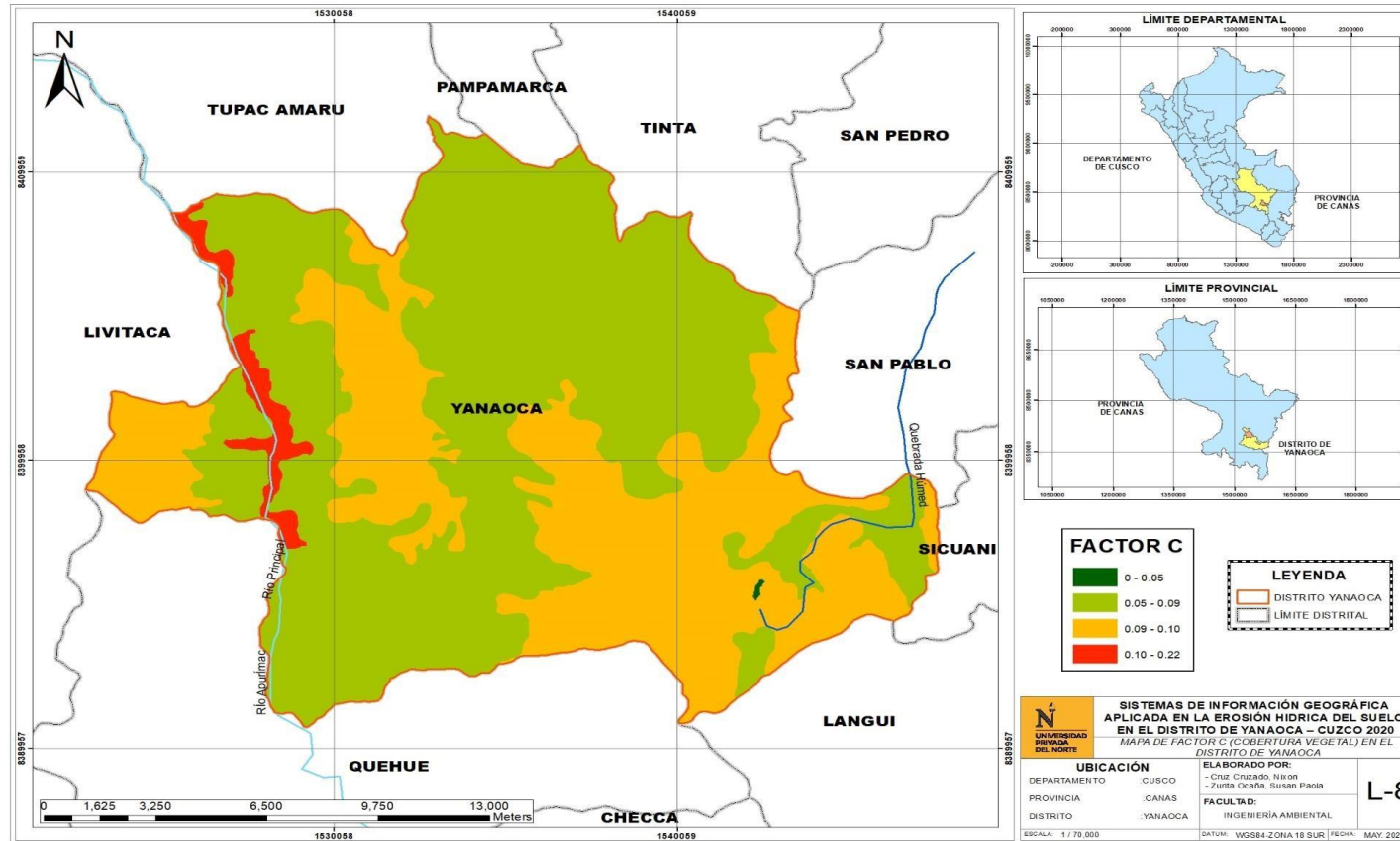
Cobertura vegetal	Factor_C
Areas con intervención antrópica	0
Matorral sub humedo de valles interandinos	0.3
Humedales andinos	0.1
Pastizal y Césped de puna	0.2

Nota. La tabla muestra la variación del factor (C) en cada tipo de cobertura vegetal.

El tipo; Matorral sub humedo de valles interandinos, presenta mayor valor. Fuente:

Elaboración propia

Figura 24 Factor de cobertura vegetal (C) que presenta el distrito de Yanaoca



Nota. La figura permite ubicar los cuatro tipos de cobertura vegetal o factor (C) que existen en el distrito de Yanaoca.

Fuente: Elaboración propia

Cruz Cruzado, Nixon

Zurita Ocaña, Susan Paola

3.1.2. Determinación de la erosión potencial y actual del distrito de Yanaoca

La superposición de las capas temáticas correspondientes a cada factor de la ecuación RUSLE, permitió encontrar los mapas de erosión potencial y actual.

La erosión potencial fue calculada sin tener en cuenta al factor de cobertura vegetal (C); por otro lado, para la erosión actual si es necesario trabajar con el factor de cobertura vegetal (C). Según la ecuación RUSLE, se debe estudiar también al factor de prácticas de conservación del suelo (P), no obstante, en esta investigación, se le consideró con valor de la unidad, lo que indica que no se realizan prácticas de conservación. En las tablas 15 y 16 se refleja el porcentaje de área, que abarca la erosión potencial y actual; se evidencia de manera dinámica el nivel de erosión que ha sido clasificado de acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)

Tabla 10 Cuantificación de la erosión potencial en Yanaoca - Cusco

NIVEL	PÉRDIDA DE SUELO (tn/ha/año)	TIPO DE EROSIÓN	ÁREA (km ²)	% DE ÁREA
1	<0.5	Normal	17.5798	6.06
2	0.5-5	Ligera	59.2147	20.21
3	5 – 15	Moderada	13.0677	4.46
4	15-50	Severa	25.0805	8.56
5	50-200	Muy severa	30.2706	12.70
6	>200	Catastrófica	140.6679	48.01

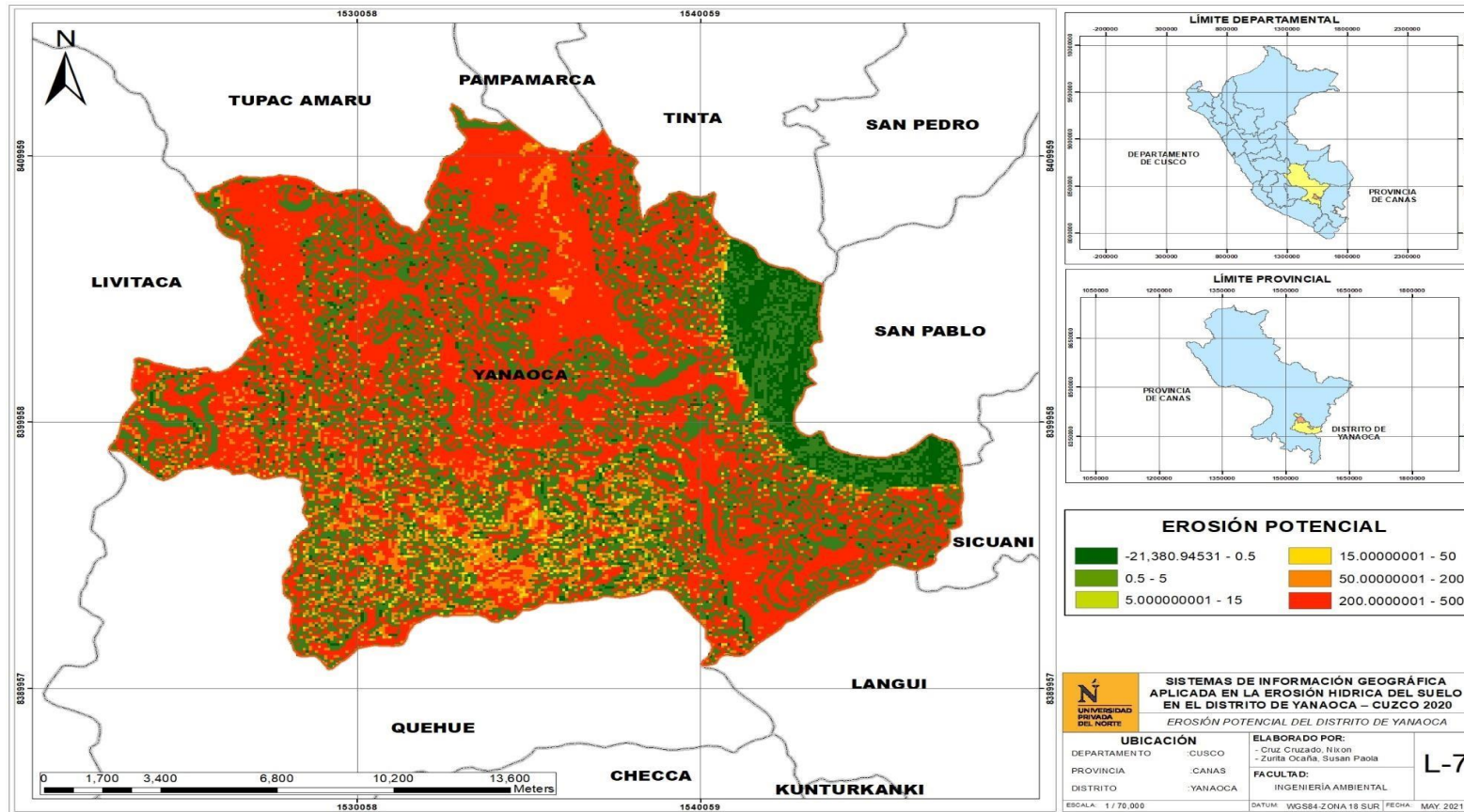
Nota. La tabla detalla los diferentes tipos de erosión potencial que se da en función a la cantidad de toneladas de suelo perdido por año. Asimismo se indica el area de terreno que abarca cada unos de ellos. Fuente: Elaboración propia

Tabla 11 Cuantificación de la erosión actual en Yanaoca - Cusco

NIVEL	PÉRDIDA DE SUELO (tn/ha/año)	TIPO DE EROSIÓN	ÁREA (km ²)	% DE ÁREA
1	<0.5	Normal	11.7042	8.06
2	0.5-5	Ligera	30.9450	21.31
3	5 - 15	Moderada	4.8792	3.36
4	15-50	Severa	27.1985	18.73
5	50-200	Muy severa	18.4421	12.70
6	>200	Catastrófica	52.0444	35.84

Nota. La tabla detalla los diferentes tipos de erosión actual que se da en función a la cantidad de toneladas de suelo perdido por año. Asimismo se indica el area de terreno que abarca cada unos de ellos. Fuente: Elaboración propia

Figura 25 Erosión potencial en el distrito de Yanaoca



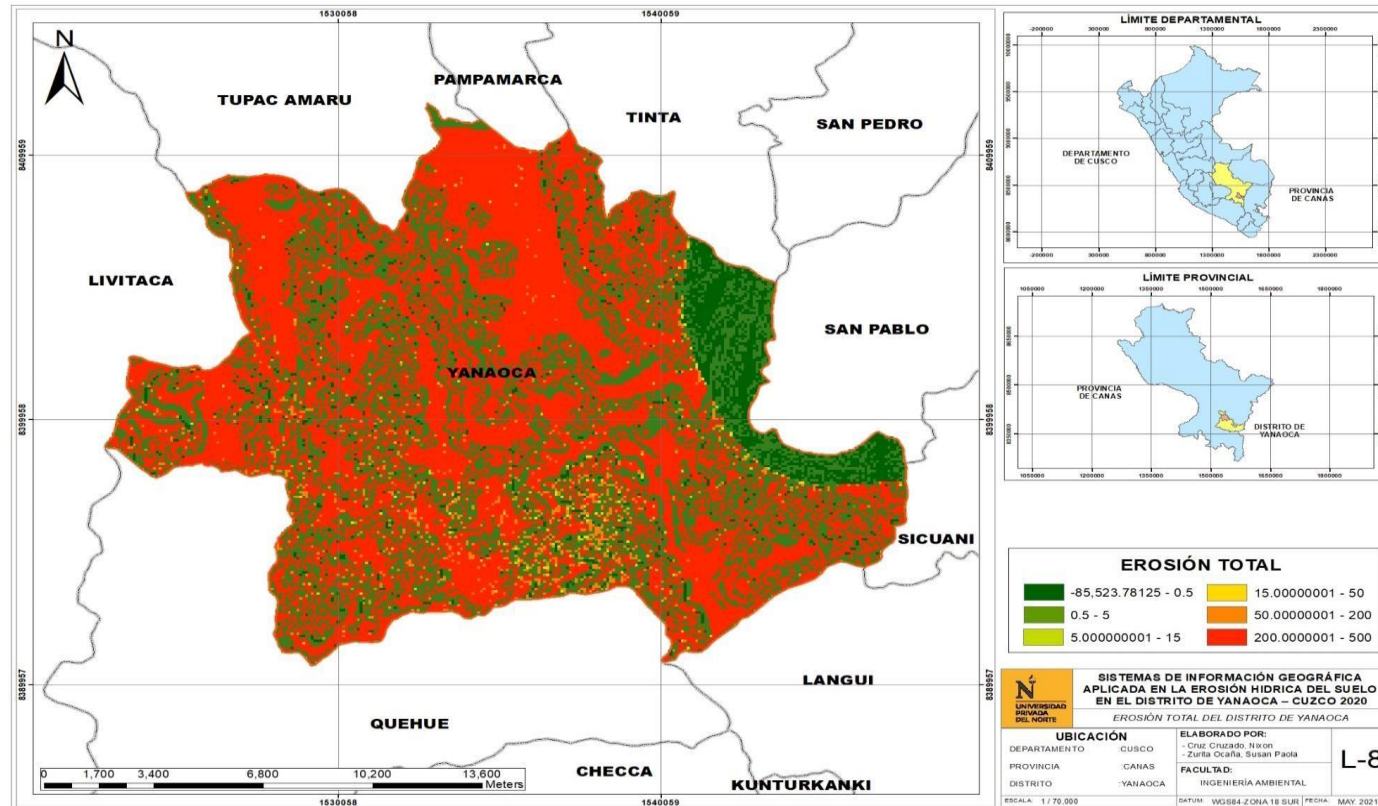
Nota. La figura muestra la erosión potencial que abarca todo la zona de estudio.

Fuente: Elaboración propia

Cruz Cruzado, Nixon

Zurita Ocaña, Susan Paola

Figura 26 Erosión total en el distrito de Yanaoca



Nota. La figura muestra el nivel de erosión de todo el distrito de Yanaoca.
 Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

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

Según la RUSLE para el cálculo del factor de erosividad (R) es necesario contar con datos de precipitaciones cada 30 minutos y de un cierto periodo de tiempo; sin embargo, en el Perú no es posible el acceso a ese tipo de información ya que no se procesa de esta manera, debido a que los datos son tomados de manera diaria, esto concuerda con Nakaya (2017), pues menciona que el factor erosividad (R) permite cuantificar la sumatoria de energía cinética de los eventos lluviosos anuales, es decir la intensidad que estas presentan en un tiempo de 30 minutos. Sin embargo, en muchos lugares no se cuenta con esta información al detalle, tal es el caso de Perú, es por ello que investigadores modificaron o adaptaron esta fórmula con datos más factibles; siendo una de estas el índice de agresividad climática desarrollada por Fournier y modificada posteriormente por Arnoldus en 1978, debido a que solo se consideraba al mes que presentaba la mayor precipitación. Desde ese entonces se denominó “Índice Modificado de Fournier”

(IMF); la ecuación en mención ha sido utilizado por muchos investigadores hasta la actualidad, Ramírez (2010) afirma que la FAO utilizó dicha fórmula para la elaboración del mapa universal de degradación de suelos. Por lo que en el presente estudio, se utilizó el Índice Modificado de Fournier” (IMF), para determinar el factor (R).

Antes de la aplicación de las ecuaciones correspondientes para calcular el factor (R) fue necesario realizar un análisis a la información obtenida del geo portal del SENAHMI y ANA; la data de precipitación de los años (1997-2017), ya que según Castro y Carvajal (1962) en un estudio hidrológico es indispensable que previamente la información sea explorada y para ello se puede utilizar métodos de tipo gráficos y estadísticos cuantitativos; de no realizarse este tipo de análisis conlleva a que se planteen suposiciones y por ende el modelo procesado tenderá a ser incorrecto, es por eso que el primer análisis empleado fue el de consistencia visual para determinar saltos o anomalías, y el segundo fue el análisis de doble masa, de acuerdo a dichos resultados se procedió al llenado y corrección de datos y finalmente se aplicó un análisis estadístico.

Si bien es cierto no podemos hacer una comparación de este estudio con otra cuenca, ya que las características no son las mismas, además no se ha realizado este tipo de investigaciones en esta zona; sin embargo, Perales (2019) también sostiene que este factor depende o guarda relación con la altitud de la zona. Se interpoló la información de precipitación, por lo que se puede apreciar un aumento gradual, siendo la parte alta, la que presenta mayor precipitación. En el presente estudio el factor de erosividad osciló en 109 y 95 Mj mm/ ha h año

Según López (2012) manifiesta que el proceso erosivo de la lluvia tiene su origen en el efecto de la salpicadura de las gotas, es decir; cuando estas logran impactar contra la superficie de un suelo desnudo desencadenan dos tipos de fenómenos: el primero; la compactación y la

formación de una costra incipiente, y el segundo; la desagregación de las partículas del suelo y por ende su transporte de acuerdo al grado de pendiente que presente, mediante los procesos de difusión o escorrentía; dicha afirmación contrasta con la de Rodríguez (2012), pus dicho autor sostiene que la erosión sigue cinco pasos: el impacto de las gotas de lluvia en la superficie, la ruptura de los agregados del suelo, desagregación de las partículas, traslado o arrastre de las partículas hacia las posiciones topográficas más bajas del terreno y finalmente la sedimentación o deposición, cuando disminuye la velocidad del escurrimiento superficial.

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

El cálculo del factor (K), nos permite indicar el grado de susceptibilidad a erosionarse que presenta un determinado tipo de suelo, esto significa que, cuanto mayor sea la capacidad de suelo para transmitir agua, menor será el volumen de escurrimiento generado, lo que implica que su capacidad erosiva disminuya. Esta característica (capacidad de almacenar y transmitir agua) está estrechamente relacionada con a la textura y la estructura del suelo (Flores, 2016). Respecto a ello,

En el distrito de Yanaoca se logró identificar 1 tipo de suelo, siendo de tipo; leptosol regosol; el valor del factor (K) fue de $0.01906 \text{ t*ha}^3/\text{ha*MJ*mm}$, (**tabla 12**), valor determinado más bajo en comparación con los demás valores, esto indica que se trata de un tipo de suelo

menos susceptible a ser erosionado; asimismo Solano (2016), en su estudio de la subcuenca del Shullcas, el valor más bajo que obtuvo fue de: $0.068 \text{ ton} \cdot \text{ha} \cdot \text{h} / \text{MJ} \cdot \text{ha} \cdot \text{cm}$, el cual lo caracteriza por ser un suelo franco arenoso y de permeabilidad moderada siendo del grupo el menos sensible a la erosión hídrica, ahora el valor más alto es de $0.02142 \text{ t} \cdot \text{ha} \cdot \text{h} / \text{ha} \cdot \text{MJ} \cdot \text{mm}$, que se caracteriza por ser un suelo de textura franco arcilloso, pues estos suelos son más susceptibles a la erosión hídrica, coincidiendo así con Solano (2016).

El factor topográfico (LS), fue calculado a partir de un modelo de elevación digital (DEM) con una resolución de 12.5 m, el proceso fue realizado en los softwares Arc gis, se trabajó con la ecuación propuesta por Foster (1977), existen diversos métodos para realizarlo, sin embargo, se seleccionó este. Luego de procesar el raster definitivo se procedió a reclasificarlo según los rangos de longitud grado de la pendiente propuesta por la FAO.

A nivel del distrito de Yanaoca, predomina una topografía moderada y baja, con 33.986% , 36.670% del área total. También existe una topografía muy alta y alto, que ocupa mejor área de terreno.

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

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

En lo que concierne al factor de cobertura vegetal (c), esta se determinó mediante la información proporcionada por el Ministerio del ambiente y la zonificación ecológica económica del departamento de Cusco, para la atribución del factor C correspondiente a cada tipo de vegetación encontrada, se tuvo en cuenta a los valores propuestos por la FAO. Este factor permite mitigar los efectos de la erosión hídrica, ya que intercepta el agua precipitada contribuyendo a la disminución de la energía cinética. En el distrito de Yanaoca se logró identificar 4 tipos de cobertura vegetal, los cuales fueron posteriormente valorados, de tal forma, en la tabla se aprecia que cuando la valoración de dicho factor oscila entre 0 y 1, 0 es considerado a aquellos masas o áreas que no intervienen en la cobertura vegetal, es por ello que cuerpos de aguas superficiales y el tejido urbano continuo se les asignó este valor; por otro lado, el valor 1 significa que el suelo estudiado no presenta ningún tipo de cobertura vegetal, tal como sucede con los afloramientos rocosos y desiertos costeros. De igual forma se aprecia que los cultivos transitorios y agricultura heterogénea, que presenta altos valores en comparación con los demás esto se debe a que dichos cultivos no contribuyen a la mitigación de la erosión, puesto que, no presentan las características correspondientes, al contrario, influyen en el proceso de erosión debido a las inadecuadas prácticas agrícolas. Lo contrario ocurre con los bosques densos, estos presentan un factor C relativamente bajo, pues debido a la densidad de copa apaciguan el efecto de la energía cinética. También Solano (2016), en su estudio determinó valores bajos de 0.014, correspondientes a superficies con plantaciones forestales y valores altos de 1.00 en superficies que no contenían ningún tipo de cobertura vegetal. es necesario aclarar que al factor P se le

consideró con el valor de la unidad por el motivo de que la población no practica una cultura de conservación.

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

No obstante la zona presenta valores de 0 a 0.3 (tabla 15), lo que indica que la población se dedica a la agricultura, la cual no es una cobertura vegetal más apropiada, es importante añadir también que la erosión está estrechamente ligada con las actividades antrópicas, cuando en los suelos se desarrollan inadecuadas prácticas de cultivo, deforestación o sobrepastoreo se agudiza el proceso de degradación de los suelos

Se determinó la erosión potencial. Cuando hacemos referencia a este término se pretende hacer mención a cómo sería el nivel de erosión hídrica si no existiera ningún tipo de cobertura vegetal, de acuerdo a ello se puede apreciar que la erosión más resaltante sería de tipo catastrófica lo que corresponde a 140.6679 km² de toda la cuenca y al 48% del área total, además la erosión normal y moderada sería relativamente baja en comparación con los demás tipos de erosión.

También se calculó la erosión actual, en la que se presentan mejores escenarios respecto a la anterior, puesto que la erosión catastrófica disminuye a 52.044 km² que es el

35.84%, del área total. la erosión de tipo ligera abarca el 21.31% del área total y la severa el 18.44% del área total. Además los tipos de erosión: normal, moderada y muy severa, son bajas en comparación con las anteriores

4.2. Conclusiones

- Se determinó la erosión hídrica que presenta el distrito de Yanaoca - Cusco 2020, el cual es de tipo Normal, Ligera, Moderada, severa, muy severa y catastrófica, lo que corresponde a un total de 8.06%, 21.31%, 3.36%, 18.73%, 12.70% y 35.84%, respectivamente, del área total.
- Se determinó los factores que influyen en el proceso de erosión: el factor de erosividad (R) osciló en 109 y 95 (Mj mm/ ha h año), el factor de erodabilidad (K) en 0.02142 - 0.01906 (tm*ha*h/ha*Mj*mm), el factor topográfico (LS) fue reclasificado en Muy bajo, bajo, moderado, alto y muy alto, siendo predominante el de tipo bajo, finalmente el factor de cobertura vegetal (C) abarcó un rango de 0-0.3.
- Se determinó que la erosión potencial estimada en el distrito de Yanaoca - Cusco 2020, fue de tipo normal, ligera, moderada, severa, muy severa y catastrófica; resaltando la de tipo Catastrófica con un 48.01 % del área total. Sin embargo la erosión actual presenta mejores escenarios respecto a la anterior, puesto que la erosión catastrófica disminuye a 52.044 km² que es el 35.84%, del área total, la erosión de tipo ligera abarca el 21.31% del área total; y la severa el 18.44% del área total.

4.3. Recomendaciones

- Debido a que los resultados demuestran que el distrito de Yanaoca presenta erosión del suelo, a raíz de los efectos hídricos. asimismo existen terrenos con pendiente fuerte, además, son áreas propensas a sufrir eventos naturales severos no recomendable para el desarrollo urbano. Según un el informe técnico N°A6806 por el (Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico [INGEMMET], 2018, p.2). Se recomienda el control y supervisión por parte de las autoridades, asimismo ututilizar el sistema de información geográfica y también las tecnologías de teledeteccion, herramientas destinadas a la mejor gestión del territorio, haciendo especial hincapié en la mejor planificación ambiental, el uso sostenible de los recursos naturales y la prevención de desastres.
- El factor de erosibilidad (R) influye mucho en la erosión hídrica , Asi mismo el factor topográfico (LS), aceleran el proceso de erosión del suelo, A raíz de ello se recomienda realizar prácticas de manejo de suelo , practicar la siembra directa , es decir cultivar el suelo sin labrarla (no usar arado), No usar sembrados repetitivos.
- Los resultados muestran que si en el distrito de Yanaoca no existiera ningún tipo de cobertura vegetal, la erosión potencial abarca un gran porcentaje de terreno. Por lo que se recomienda las buenas prácticas de gestión del suelo y uso sostenible de los suelos, así como Respetar la capacidad de uso mayor del suelo. Disminuir el sobre pastoreo y la deforestacion;

REFERENCIAS

- Águila, M. (2010). Aplicación del modelo Usle/Rusle para estimar la pérdida de suelos por erosión hídrica en la microcuenca Puente Pérez - Tingo María. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Huánuco.
- Almorox, J., López, F. & Rafaelli, S. (2011). *La degradación de los suelos por erosión hídrica. Métodos de estimación*. [Versión Adobe Digital Editions]. (1a. ed.). Murcia: Univerdad de Murcia. Recuperado de: https://books.google.es/books?id=bSpiNY_nwOIC&pg=PA9&vq=que+es+la+erosion+de+suelos+libro&dq=que+es+la+erosion+de+suelos+libro&lr=&hl=es&source=gb_s_toc_r&cad=3.
- Almoza, Y; Ruiz, M.; Medina, H. y Alonso, G. (2007). Determinación de la Erosividad de las precipitaciones en el oeste de Cuba. *Zonas Áridas* 11(1): 139-149. Recuperado de: <http://www.lamolina.edu.pe/zonasaridas/za11/pdfs/ZA11%2000%20art10.pdf>
- Álvarez, A. (2019). Análisis temporal del nivel de la erosión hídrica de la subcuenca del río Ichu 2013- 2017. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Huancavelica.
- ANA (2015). Estudio: Evaluación de los Recursos Hídricos en la cuenca del río Jequetepeque. [Archivo PDF]. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.12543/1932>
- ANA (2017). "Gestión integrada de recursos hídricos en diez cuencas- GIRH". Recuperado de: <http://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/70/ANA0000664.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Angulo, M. (2012). “El factor climático en la erosión del suelo: erosividad de la lluvia en la cuenca del Ebro”. (Tesis Doctoral). Universidad de Zaragoza

- Ares, M. & Varni, M. (2016). “¿Qué es la erosión hídrica y cómo la estudiamos en el IHLLA?”. UNICEN. Consultado el 25 de noviembre del 2021.
<https://www.unicen.edu.ar/content/%C2%BFqu%C3%A9-es-la-erosi%C3%B3n-h%C3%ADrica-y-c%C3%B3mo-la-estudiamos-en-el-ihlla>
- Ascheri, M. & Pizarro, R. (2007). “*Calculo Numérico*”. [Versión Adobe Digital Editions]. (1a. ed.). Argentina: Matemáticas , Análisis. Recuperado de :
<https://repo.unlpam.edu.ar/handle/unlpam/148>
- Bernal-Fundora, A. y Hernández-Jiménez, A. (2017). Influencia de diferentes sistemas de uso del suelo sobre su estructura. cultivos tropicales, 38 (4), 50-57. [Fecha de Consulta 2 de Diciembre de 2021]. ISSN:. Disponible en:
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193254602006>
- Camargo, C., Pacheco, C. & López, R. (2017). “Erosión Hídrica, fundamentos, evaluación y representación cartográfica: una revisión con énfasis en el uso de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica”. *Gestión y Ambiente* 20(2), 265-280 [Fecha de Consulta 20 de Noviembre de 2021].
- Castillo, J. & Estrada, J. (2016). Determinación de zonas de erosión hídrica a partir de la ecuación universal de la pérdida del suelo (R.U.S.L.E), sistemas de información geográfica y técnicas de teledetección en la ciudad de Bogotá D.C para el año 2013.(Tesis de Pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá.
- Castro, L., & Carvajal, Y. (1962). Análisis de tendencia y homogeneidad de serie climatológicas. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, (9), 15-25.
Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=2311/231116434002>
- Ccama, U. (2012). “Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Cruz Cruzado, Nixon

Ilave utilizando técnicas de Teledetección y SIG”. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional del Altiplano, Puno.

CENEPRED (2013). *Manual para la Evaluación de Riesgos Originados por Fenómenos Naturales*. [Versión Adobe Digital Editions]. (2da Versión)

https://www.cenepred.gob.pe/web/wp-content/uploads/Guia_Manuales/Manual-Evaluacion-de-Riesgos_v2.pdf

Cisneros, J.; Cholaky, C.; Gutiérrez, A.; González, J.; Reynero, M.; Diez, A. & Bergesio, L.

(2012). *Erosión hídrica: principios y técnicas de manejo*. [e-book]. (1a. ed.). Argentina: UniRío. Recuperado de:

Chagas, C. I. (2018) Esguerrimiento, erosión del suelo y contaminación de los recursos hídricos superficiales por sedimentos asociados a la actividad agropecuaria extensiva: algunos elementos para su análisis. Editorial facultad de Agronomía. ISBN 978-987-3738-17-3

Dioses, J. & Pérez, C. (2018). “Estimación de la erosión hídrica mediante la aplicación de la metodología RUSLE en la cuenca del río Piura”. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima.

Domínguez-Soto, J. M., Román-Gutiérrez, A. D., Prieto-García, F. y Acevedo-Sandoval, O.

(2011). Evaluación de color en suelos del Cerro de Deganthza, municipio de Francisco I. Madero, Hidalgo. *Acta Universitaria*, 21 (4), 92-100. [Fecha de Consulta 2 de Diciembre de 2021]. ISSN: 0188-6266. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41620852012>

- Egusquiza, K. (2019). Determinación del riesgo de erosión hídrica en la cuenca alta del río Rímac durante el Fenómeno El Niño 2016-2017. (Tesis de Pregrado). Universidad Continental, Huancayo.
- FAO (2015). Estado mundial del recurso suelo. Recuperado de: <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>
- FAO (s.f). Degradación de suelos. Recuperado de: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-degradation-restoration/es/>
- FAO. (2017). Perú: Recursos Hídricos. Recuperado de: http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/Profile_segments/PER-WR_eng.stm
- FAO. (s.f). Hidrología, arquitectura del suelo y movimiento del agua. Recuperado de <http://www.fao.org/3/y4690s/y4690s06.htm>
- FAO. (s.f). Propiedades físicas del suelo. Recuperado de: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- Flores, A. (2016). “Aproximación de riesgo por erosión hídrica aplicando un sistema de información geográfica en la subcuenca Shambillo, distrito de Padre Abad”. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria de la selva
- Gisbert, J., Ibáñez, A. & Moreno, H. (2010). La textura del suelo. Recuperado de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/7775/Textura.pdf>
- Gobierno Regional Cusco (2009) "Zonificación Ecológica Económica de la región Cusco"
DOI: https://www.ima.org.pe/estudios/zee-cusco/intermed_ZEE_documentacion.pdf
- Gómez, H. & Gonzales, J (2018) “Deslizamiento en la comunidad Chucchucalla. Región

Cusco, provincia Canas, distrito Yanaoca, paraje Chucchucalla”. (Informe Técnico N°
A6806 INGEMMET) URI: <https://hdl.handle.net/20.500.12544/1427>

González-Barrios, J. L., González-Cervantes, G. y Chávez-Ramírez, E. (2012). Porosidad del
suelo en tres superficies típicas de la cuenca alta del río Nazas. *Tecnología y Ciencias
del Agua*, III (1), 21-32. [Fecha de Consulta 2 de Diciembre de 2021]. ISSN:.
Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=353531976002>

Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación:
Concepción o elección del diseño de investigación*. Ciudad de México, México.
McGRAW-HILL

http://www.todoagro.com.ar/documentos/2013/Erosion_Hidrica.pdf

<https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF>

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/63917/66463>

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/63917/66463>

Huerta Fernández, Pablo, & Loli Figueroa, Oscar. (2014). Erosión hídrica en la cuenca alta del
río Moche. *Ecología Aplicada*, 13(1), 15-22. Recuperado en 19 de noviembre de
2021, de

http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S172622162014000100002&lng=es&tlng=es.

INGEMMET. (1994). Estudio Geodinámica de la cuenca del río Jequetepeque. [Archivo
PDF]. Recuperado de
<http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/INGEMMET/Estudio%20geodinamico%20Cuenca%20Rio%20Jequetepeque.pdf>

INRENA & PEJEZA. (2008). Actualización del Plan de Ordenamiento Ambiental de la
Cruz Cruzado, Nixon

cuenca del río Jequetepeque para la protección del reservorio Gallito Ciego y su valle agrícola. [Archivo PDF]. Recuperado de:

http://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12543/3623/ANA0002147_3.pdf?sequence=3&isAllowed=y

ISSN:. Disponible en:

<https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/63917/66463>

IUSS Grupo de Trabajo WRB. (2007). Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma. Recuperado de:

<http://www.fao.org/3/a0510s/a0510s00.pdf>

Kim, H. (2006). Soil erosion modeling using RUSLE and gis on the imha watershed, South Korea (Tesis de maestría). EE.UU: Universidad Estatal de Colorado. Recuperado de:

https://www.engr.colostate.edu/~pierre/ce_old/resume/Theses%20and%20Dissertations/KIMHYOENSIK-Thesis.pdf

Kramis, J. (1994). Sistemas y Procedimientos Administrativos: Metodología para su aplicación en instituciones privadas y públicas. México, D.F.: Universidad Iberoamericana, A.C.

Lukyanchuk, K., Kovalchuk. I. & Pidkova. (2020)“Aplicación de una teledetección en el seguimiento de procesos de erosión”. Volumen 2020 ,

P.1-5 DOI:

<https://doi.org/10.3997/2214-4609.2020geo132>

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

Meza-Arquiñigo. C (2010). Aplicación del sistema de información geográfica (SIG) en el modelamiento del río Ucayali. Lima – Perú

- Montoya, J. (2009). Marco histórico y estado del arte de los modelos de evolución del paisaje y de erosión. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8 (15), 47-57. Recuperado de: <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v8n15s1/v8n15s1a06.pdf>
- Morgan. (1997). *Slope Stabilization and Erosion Control- A Bioengineering Approach*. (2a. ed.). Inglaterra: E & FN SPON.
- Nakaya, D. (2017). “Estimación de la pérdida de suelo media anual mediante el modelo R.U.S.L.E., en la cuenca del río Tingo - Cajamarca”. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.
- Perales, A. (2019). “Pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando el modelo RUSLE en la cuenca del río Sutpe grande, Provincia de Leoncio Prado, Huánuco”. (Tesis de pregrado). Universidad Agraria de la Selva
- Pérez, E. & García, P. (2013). “Aplicaciones de la Teledetección en Degradación de Suelos”. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles N.º 61*, págs. 285-308 [Fecha de Consulta 26 de Noviembre de 2021].
- Poma, W. & Alcántara, G. (2012). Estudio de Suelos y Capacidad de uso mayor de las tierras Departamento de Cajamarca. Recuperado de: https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=http://geoservidorperu.mimam.gob.pe/geoservidor/Archivos/Mapa/Cajamarca/Memoria_Descriptiva_Suelos_CUM.pdf&ved=2ahUKEwjU0d7qhMj0AhWISDABHfjkCAYQFnoECAgQAQ&usg=AOvVaw1HLQSy-VBh9SHOm8vTZD-G
- Prieto, A., Díaz, M., Ojeda, J. & Álvarez, J. (2017). “Tasas de erosión en las playas de Andalucía: el efecto de infraestructuras costeras longitudinales y urbanización”. *IX Jornadas de Geomorfología Litoral* [Fecha de Consulta 20 de Noviembre de 2021].

- Puriy, A. (2013) “Estudio Geodinámico del Distrito de San Jerónimo, cusco, Mapa de peligros por movimientos de Remoción de masa”.
https://www.academia.edu/31307275/Mapa_de_Peligros_por_Movimientos_de_Remosi%C3%B3n_en_Masa
- Quiñones, S. (2019). “Ecuaciones diferenciales parciales en problemas de difusión espacial en dinámica de poblaciones en ambiente aleatorio”. (Tesis Maestría). Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Quispe, T. (2018). “Influencia de la cobertura vegetal en la erosión hídrica del suelo en la comunidad de san mateo, Perú”. (Tesis de Prostgrado). Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Ramírez, L. L. (2010). Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la cuenca del río Juramento-Salta. Salta, Argentina.
- Roa, C. E. C., Pacheco, C., y López, R. (2017). Erosión hídrica, fundamentos, evaluación y representación cartográfica: una revisión con énfasis en el uso de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica. *Gestión y Ambiente*, 20(2), 265-280.
- Rodriguez, R. (2012). “Erosividad de la lluvia en el departamento de alto Paraná Paraguay”. (Tesis de postgrado). Universidad Nacional de Asunción
- SENAMHI. (2017). “Atlas de Erosión de Suelos por Regiones Hidrológicas del Perú”.
[Archivo PDF]. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12542/261>
- SENAMHI. (2017). Modelamiento hidrológico para pronóstico estacional de caudales del río Jequetepeque. [Archivo PDF]. Recuperado de <https://web2.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-41.pdf>
- Solano, R. (2016). “Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la sub cuenca

del río Shullcas 2000- 2013, Huancayo”. (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo.

Solís, L. M. & López, J. A. (2010). *Principios básicos de contaminación ambiental*. [Versión Adobe Digital Editions] (2a. ed.). México: Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM). Recuperado de:
https://books.google.es/books?id=pKP2BHi8FVsC&pg=PA2&dq=+Principios+b%C3%A1sicos+de+contaminaci%C3%B3n+ambiental&lr=&hl=es&source=gbs_toc_r&cad=3

Troeh, F., Hobbs, J. & Donahue, R. (1991). *Soil and Water Conservation*. (2a. ed.). N J: Prentice Hall.

Valdez, L., Navarro, S. & Barros, E. (2014). “Implementación de Software para la Enseñanza de Ecuaciones en Diferencias con Valores Iniciales”. *Revista De Educación Matemática*, 29(1), 19-35. Recuperado de:
<http://funes.uniandes.edu.co/17812/1/Valdez2014Implementacion.pdf>

Wischmeier, W. & Smith, D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning*. Agriculture Handbook 537 [Predicción de pérdidas por erosión por lluvia. Manual de Agricultura 537]. Recuperado de:

Zapata-Jaramillo, C. M., Toro-Botero, M. y Marín, M. I. (2011). Análisis Conceptual de la Interoperabilidad entre Sistemas de Información Geográfica. *Lámpsakos*, (6), 68-76. [Fecha de Consulta 18 de Noviembre de 2021]. ISSN:. Disponible en:
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=613965338005>.

ANEXOS

Matriz de consistencia y operacionalización

Anexo A Matriz de consistencia

		Metodología	Unidad de estudio
Problema			Objetivo
¿Cuáles son los niveles de erosión hídrica aplicando el sistema de información geográfica en el distrito de Yanaoca – Cusco 2020?	Determinar los niveles de erosión hídrica aplicando el sistema de información geográfica en el distrito de Yanaoca – Cusco 2020	No experimental, Descriptiva longitudinal	El área del distrito de Yanaoca - Cusco, el cual posee un área total de 292.97 km ² .
	Problemas específicos	Objetivos específicos	
	¿Cuál es el factor de erosividad (R), factor de erodabilidad (K), factor topográfico (LS), factor de cobertura vegetal (C) de prácticas de conservación (P), aplicando el sistema de información geográfica en el distrito de Yanaoca – Cusco 2020.	Determinar el factor de erosividad (K), factor de erodabilidad (K), factor y factor topográfico (LS), factor de cobertura vegetal (C) y factor de prácticas de conservación (P), aplicando el sistema de información geográfica en el distrito de Yanaoca – Cusco 2020.	
	¿Cuál es la erosión potencial y actual, aplicando el sistema de información geográfica en el distrito de Yanaoca – Cusco 2020?	Determinar la erosión potencial y actual, aplicando el sistema de información geográfica en el distrito de Yanaoca – Cusco 2020.	
General	objetivo general		Problema

Nota. La siguiente tabla sintetiza y permite comprender la coherencia que existe entre, problema general, problemas específicos, así también objetivo general, objetivos específicos, metodología y unidad de estudio. Fuente: Elaboración propia

Anexo B *Matriz de operacionalización*

Nota. La siguiente Tabla muestra los elementos llevados a cabo en el proceso de investigación. Fuente:Elaboración propia

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	TENICAS E INSTRUMENTOS
VI: SISTEMA DE INFORMACIÓ N GEOGRÁFICA	Huerta y Loli. (2014), "Son herramientas informáticas que proveen funciones para recuperar, procesar, manipular y visualizar información que incorpora una componente geográfica, utilizadas principalmente para estudios en los dominios de la ciencia de la tierra, la atmósfera y el océano"(P.16)	El sistema de información geográfica, a través de los softwares, realiza el procesamiento y análisis de la información espacial	VID1: Información espacial VID2: softwares para el análisis de los datos	(imágenes satelitales) - ArcGIS 10.5 - Qgis 3.14,	-Investigación bibliográfica -Geoportales: MINAM, FAO, ASF, INGEMMET, SENAMHI, ANA

VII: EROSION HÍDRICA	Zapata et al. (2011), "La erosión hídrica, debida a las precipitaciones, es ocasionada por la dispersión y transporte del suelo a causa del impacto de las gotas de lluvia conjuntamente con escurrimiento superficial del agua"(P.69)	La erosión hídrica está influenciada por factores que van a determinar el grado de erosión del suelo.	V2D1: Factores que influyen en la erosión hídrica.	<ul style="list-style-type: none"> - - Precipitación - Pendiente - Cobertura vegetal - Tipo de suelo 	<ul style="list-style-type: none"> -ofimática excel -estadística descriptiva inferencial -observación indirecta
-------------------------------------	--	---	--	---	--