

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Recursos
Naturales**



TESIS

“Estimación de la pérdida de suelo media anual mediante la ecuación universal de pérdida de suelo revisada, en la cuenca del río Chumbao, Provincias de Andahuaylas y Chincheros - Apurímac – 2019”

Presentado por:

ODILÓN CHIPANA QUISPE

Para optar el título profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Abancay – Apurímac – Perú

2022

Tesis

Estimación de la pérdida de suelo media anual mediante la ecuación universal de pérdida de suelo revisada, en la cuenca del río Chumbao, provincias de Andahuaylas y Chincheros - Apurímac – 2019.

Línea de investigación:

Calidad ambiental

Asesor:

Mag. Anderson Núñez Fernández



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERIA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y RECURSOS
NATURALES**

**“ESTIMACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELO MEDIA ANUAL MEDIANTE LA
ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO REVISADA, EN LA
CUENCA DEL RIO CHUMBAO, PROVINCIAS DE ANDAHUAYLAS Y
CHINCHEROS - APURÍMAC – 2019”**

Presentado por Bach. **ODILÓN CHIPANA QUISPE**, para optar el Título
profesional de: **INGENIERO AMBIENTAL**.

Sustentado y aprobado el 11 de febrero del 2022 ante el jurado:

Presidente : Mag. Vanesa Salas Peña

Primer Miembro : Mag. Anjhela Rosa Callo Mamani

Segundo Miembro : M. Sc. Yhon Fuentes Huamán

Asesor : Mag. Anderson Núñez Fernández

DEDICATORIA

El presente trabajo dedico a Dios, por darme la vida y la salud hasta este momento, asimismo es indudable resaltar esta dedicación a mis queridos padres por darme soporte absoluto en cada etapa de mi preparación profesional. De la misma manera a mis hermanos y de manera especial a mi querida novia quien sin importar los momentos difíciles por las que pasé siempre estuvo en mi lado y todos quienes hoy día forman parte de mi vida. Y finalmente a todos mis amigos a quienes dedico con mucho aprecio este trabajo de investigación.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis queridos padres y mis hermanos, por el gran apoyo brindado durante las diferentes etapas de desarrollo del estudio realizado.

A mis Asesores, el Mag. Anderson Núñez Fernández y el Mag. Carlos Moreano Mayhua por el apoyo incondicional en el asesoramiento en todas las etapas desde la elaboración del proyecto de tesis hasta la sustentación del mismo.

Al M.Sc. Juan Eduardo Gil Mora, quien de paso es Mag. en ciencia y tecnología ambiental. Biólogo en Consultorías en Gestión Ambiental, a quien agradezco por los conocimientos impartidos durante mi formación profesional y por inculcarme la investigación.

ÍNDICE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
POSPORTADA.....	ii
PÁGINA DE JURADOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
INDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
INTRODUCCIÓN	xvi
CAPÍTULO I. PLAN DE INVESTIGACIÓN	1
1.1 Descripción de la realidad problemática.....	1
1.2 Identificación y Formulación del problema.....	4
1.2.1 Problema general.	4
1.2.2 Problemas específicos.....	4
1.3 Justificación de la investigación.....	5
1.4 Objetivos de la Investigación	7
1.4.1 Objetivo general.....	7
1.4.2 Objetivos específicos.....	7
1.5 Delimitaciones de la investigación.....	8
1.6 Limitaciones de la investigación.	9
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	11
2.1 Antecedentes de investigación	11
2.1.1 A nivel internacional.....	11
2.1.2 A nivel nacional.....	15
2.1.3 A nivel local.....	20

2.2 Bases Teóricas	22
2.2.1 El suelo.....	22
2.2.2 Degradación del suelo.....	25
2.2.3 Erosión de suelos.....	30
2.2.4 Agentes de la erosion.....	33
2.2.5 Clases de erosión de suelos.....	34
2.2.6 Factores de la erosión.....	36
2.2.7 Mecanismos de la erosión de suelos.....	37
2.2.8 Erosion hidrica.....	38
2.2.9 Formas de Erosion Hidrica.....	39
2.2.10 Agentes que influyen en el proceso de erosión hidria.....	42
2.2.11 Evaluación de la erosión.....	53
2.2.12 Modelo RUSLE.....	57
2.2.13 Estimación de los factores de la erosión hídrica.....	59
2.2.14 Cuencas hidrográficas.....	65
2.2.15 Gestión y uso sostenible de suelos.....	66
2.3 Marco conceptual	67
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN	72
3.1 Hipótesis.....	72
3.1.1 Hipótesis general.....	72
3.1.2 Hipótesis específicas.....	72
3.2 Tipo de investigación	72
3.3 Nivel de investigación	73
3.4 Diseño de investigación.....	73
3.5 Operacionalización de variables.....	73
3.6 Población, muestra y muestreo	74
3.6.1 Universo o población.....	74
3.7 Técnicas e instrumentos.....	75
3.7.1 Recolección de datos	76
3.8 Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	77
3.8.1 Procesamiento y análisis de datos	78

3.8.2 Delimitación del ámbito de estudio.	78
3.8.3 Procedimientos para la estimacion de los factores de erosion hidrica.....	84
3.8.4 Procedimiento para la estimación de la erosión media anual de la cuenca del rio chumbao.....	116
3.9 Materiales y equipos requeridos	118
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	119
4.1 Resultados.....	119
4.1.1 Delimitación del área de estudio.....	119
4.1.2 Procesamiento de datos según los objetivos de estudio	120
4.2 Prueba de hipótesis.....	143
4.2.1 Prueba de hipótesis General	143
4.2.2 Prueba de hipótesis específicos	143
CONCLUSIONES.....	149
RECOMENDACIONES	151
BIBLIOGRAFÍA	155
ANEXOS.	161
ANEXO 1. Matriz de consistencia	162
ANEXO 2. Instrumentos de recolección de datos	164
ANEXO 1: Información de Base de datos	165

ÍNDICE DE TABLAS

Tablas	Pág.
Tabla 1 Relación entre magnitud de la lluvia entre erosión de suelo	45
Tabla 2 Escorrentía y erosión a diferentes intervalos entre eventos de lluvia	46
Tabla 3 Pérdida promedio de suelo a diferentes longitudes de pendiente y condiciones de pendiente:.....	48
Tabla 4 Infiltración del agua (cm ³) en terrenos con diferentes tipos de cobertura vegetal.....	52
Tabla 5 Grados de erosión según su intensidad	53
Tabla 6 Clasificación de la erosión	54
Tabla 7 Clasificación de erosión de suelos según su erodabilidad	56
Tabla 8 Grado de erosión en función de la pérdida anual de suelo	56
Tabla 9 Clasificación de pérdida de suelo	56
Tabla 10. La clasificación textural de suelos, está clasificada en textural generales de gruesa, media y fina de acuerdo al porcentaje de arena, limo y arcilla.	61
Tabla 11 Coeficientes del factor LS.....	63
Tabla 12. Valores del factor de cobertura vegetal (c).....	64
Tabla 13 Factor de prácticas de conservación (P)	65
Tabla 14 Matriz de variables	74
Tabla 15 Precipitación promedio anual de las estaciones meteorológicas y el factor R.....	90
Tabla 16. Geología de la cuenca del río Chumbao	98
Tabla 17 Coeficientes del factor topográfico (LS).....	103
Tabla 18 Clasificación de los valores de NDVI.....	109
Tabla 19. Valores del factor C para los tipos más comunes de cobertura vegetal	109
Tabla 20. Índices del factor de cobertura vegetal.....	111
Tabla 21 Clasificación de pérdida de suelos según la FAO	117
Tabla 22 Atributos del mapa de la cuenca del río Chumbao.	120
Tabla 23. Representatividad de precipitación en la cuenca del río Chumbao	121
Tabla 24 Resultado del factor de erosividad de la lluvia en la cuenca del río Chumbao.....	124
Tabla 25. Composición Textural del suelo de la cuenca del río chumbao.....	126

Tabla 26 Estimación del factor de erodabilidad	130
Tabla 27 Distribución del factor de erodabilidad en el área de estudio	131
Tabla 28 Resultado del mapa de pendientes de la cuenca del rio Chumbao	133
Tabla 29 Factor LS según el Modelo de elevación digital DEM	136
Tabla 30 NDVI de la cuenca del rio Chumbao	137
Tabla 31 Factor de cobertura vegetal de la cuenca del rio Chumbao	139
Tabla 32 Erosión media anual de la cuenca del rio Chumbao	141
Tabla 33 Erosión hídrica en sin el factor de erosividad de la lluvia en la cuenca del rio Chumbao.....	144
Tabla 34 Erosión hídrica en sin el factor de erodabilidad del suelo en la cuenca del rio Chumbao.....	145
Tabla 35 Erosión hídrica en sin el factor topográfico en la cuenca del rio Chumbao	146
Tabla 36 Erosión hídrica en sin el factor de cobertura vegetal en la cuenca del rio Chumbao.....	147

INDICE DE FIGURAS

Figuras	Pág.
Figura 1 Delimitación geográfica de la cuenca del río Chumbao.....	9
Figura 2 Las causas ambientales, sociales y económicas más importantes de la degradación del recurso suelo.	27
Figura 3 Tipos de degradación de suelos.....	28
Figura 4 Representación gráfica de erosión por salpicadura y escorrentía.....	32
Figura 5 Procesos de erosión Hídrica.	39
Figura 6 Erosión en canalillos	41
Figura 7 Aspecto de una cárcava.....	42
Figura 8 a) Relaciones de precipitación- Escorrentía y b) tipos de mediciones de la intensidad de lluvia, Suárez.....	46
Figura 9 Diagrama triangular de las clases texturales básicas del suelo según el tamaño de partículas.....	61
Figura 10 Diagrama de procedimiento de la delimitación de la cuenca del río chumbao.....	79
Figura 11 DEM brindado por USGS	80
Figura 12 Eliminación de imperfecciones del DEM	80
Figura 13 Dirección de flujo del cuadrante	81
Figura 14 Flujo acumulado del cuadrante	82
Figura 15 Determinar el área contribuyente	83
Figura 16 Conversión de la cuenca delimitada de formato raster a shp.....	84
Figura 17 Procedimiento para determinar el factor de erosividad de la cuenca del río chumbao.....	85
Figura 18 Análisis de Doble Masa de precipitación de la Estación Andahuaylas.	87
Figura 19 Análisis de Doble Masa de precipitación de la Estación Andarapa.	88
Figura 20 Análisis de Doble Masa de precipitación de la Estación Chincheros ...	88
Figura 21 Análisis de Doble Masa de precipitación de la Estación Huancabamba	88
Figura 22 Análisis de Doble Masa de precipitación de la Estación Huancaray	89
Figura 23 Análisis de Doble Masa de precipitación de la Estación Pampas	89
Figura 24 Análisis de Doble Masa de precipitación de la Estación Talavera.....	89
Figura 25 Análisis de Doble Masa de precipitación de la Estación Uripa	90

Figura 26 Cargar los datos de Precipitación media anual en el Arc Gis.....	91
Figura 27 Conversión del archivo con datos de precipitación en formato shp.....	92
Figura 28 Ubicación de las estaciones pluviométricas en el área de estudio.....	92
Figura 29 Interpolación de datos de precipitación en el área de estudio.....	93
Figura 30 Extracción de isoyetas para la cuenca del rio Chumbao.....	94
Figura 31 Calculo de atributos del mapa de isoyetas.....	94
Figura 32 Procedimiento para determinar el índice del factor de erodabilidad del suelo de la cuenca del rio chumbao.....	95
Figura 33 Mapa geológico según IGM.....	96
Figura 34 Geología de la cuenca del rio Chumbao según el ZEE de la región Apurímac.....	101
Figura 35 Procedimiento para determinar los coeficientes del factor topográfico de la cuenca del rio chumbao.....	102
Figura 36 Extracción del DEM dentro del área de estudio	104
Figura 37 Mapa de pendientes dentro del área de estudio	105
Figura 38 Reclasificación del mapa de pendiente	106
Figura 39 Generación de polígonos del mapa de pendiente	107
Figura 40 Polígonos fusionados por tipo de pendiente	107
Figura 41 Procedimiento para determinar los índices del factor de cobertura.....	108
Figura 42 Calculo del NDVI en el cuadrante obtenido del USGS.....	113
Figura 43 Reclasificación del NDVI	113
Figura 44 Extracción del NDVI dentro del área de estudio.....	114
Figura 45 Conversión del raster a polígonos para el cálculo de atributos	115
Figura 46 Calculo del área por cada tipo de cobertura.....	115
Figura 47 Mapa del área de estudio	119
Figura 48 Mapa de isoyetas	120
Figura 49 Áreas de isoyetas.....	122
Figura 50 Mapa del factor de erosividad de la lluvia	123
Figura 51 Resultado del factor de erosividad de la lluvia en la cuenca del rio Chumbao.....	125
Figura 52 Mapa de factor de erodabilidad del suelo.....	131
Figura 53 Distribución de unidades del suelo en el área de estudio	132
Figura 54 Áreas de pendiente según sus rangos de la cuenca del rio Chumbao	134
Figura 55 Mapa de del Factor topográfico (LS) según rango de pendientes de la	

cuenca del rio Chumbao.....	135
Figura 56 NDVI de la cuenca del rio Chumbao	137
Figura 57 Mapa de cobertura Vegetal	138
Figura 58 Mapa de erosión media anual de suelos en la cuenca del rio Chumbao según rangos establecidos por la FAO.....	140
Figura 59 Distribución del grado de erosión en la cuenca del rio Chumbao.....	142
Figura 60 Distribución de la erosión a nivel de distritos de la cuenca del rio Chumbao.....	142
Figura 61 Erosión de suelos en la cuenca del rio chumbao sin el Factor “R”	144
Figura 62 Erosión de suelos en la cuenca del rio chumbao sin el Factor “R”	145
Figura 63 Erosión de suelos en la cuenca del rio chumbao sin el Factor “LS”	146
Figura 64 Erosión de suelos en la cuenca del rio chumbao sin el Factor “LS”	147

RESUMEN

El presente estudio tuvo como propósito la estimación de la pérdida de suelo media anual de la cuenca del río Chumbao, asimismo de manera específica fue determinar los factores de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada-R.U.S.L.E. La metodología usada fue el método R.U.S.L.E. para la estimación de la erosión media anual y para determinar el factor R la ecuación desarrollado por ICONA (1988), para determinar el factor K la ecuación de Williams (2009), para determinar el factor LS asignación de valores de LS según lo propuesto por la ETSIM citado por Ramos (2001), para determinar el factor C el método de NDVI y el método de la observación para el factor R. Como resultado un Factor R que varía de 0 a 6965.87 MJ.mm.ha⁻¹.h⁻¹.año⁻¹. El factor K, se con un 98.1%del área de la cuenca con textura de franco arcilla arenoso y el 1.9% una textura de suelo franco arcilloso. La pendiente varia de 0 a 256% y del total un 40.32% de la superficie presenta una pendiente de 30–60%. Un 50.6% del área de estudio presenta una cobertura con “vegetación ligera”, un 43.2% una “vegetación mediana”. En conclusión, el factor de erosividad, el factor topográfico y el factor de cobertura vegetal que presenta el área de estudio favorecen de manera significativa en la pérdida de suelo media anual de la cuenca del río chumbao, a diferencia del factor de erodabilidad que no influye de manera significativa.

Palabras claves: Erosión hídrica, factores de erosión, medidas de control de erosión

ABSTRACT

The purpose of this study was to estimate the mean annual soil loss of the Chumbao river basin, and specifically to determine the factors of the Revised Universal Soil Loss Equation-R.U.S.L.E. The methodology used was the R.U.S.L.E. method for the estimation of the mean annual soil loss. for the estimation of mean annual erosion and to determine the R factor the equation developed by ICONA (1988), to determine the K factor the equation of Williams (2009), to determine the LS factor the assignment of LS values as proposed by ETSIM cited by Ramos (2001), to determine the C factor the NDVI method and the observation method for the R factor. The result is an R factor that varies from 0 to 6965.87 MJ.mm.ha-1.h-1.year-1. The K factor, with 98.1% of the basin area having a sandy clay loam texture and 1.9% a clay loam soil texture. The slope varies from 0 to 256% and 40.32% of the total area presents a slope of 30-60%. A 50.6% of the study area has a "light vegetation" cover, 43.2% has "medium vegetation". In conclusion, the erosivity factor, the topographic factor and the vegetation cover factor present in the study area significantly favor the average annual soil loss in the Chumbao river basin, unlike the erodibility factor that does not have a significant influence.

Key words: Water erosion, erosion factors, erosion control measures.

INTRODUCCIÓN

El presente estudio consiste en la estimación de la pérdida de suelo media anual mediante la ecuación universal de pérdida de suelo Revisada - R.U.S.L.E., en la cuenca del río Chumbao en el año 2019. La erosión hídrica es la separación, transporte y deposición de partículas del suelo por la acción de la energía cinética de las gotas de lluvia y la escorrentía. La gestión y uso sostenible de los suelos hace referencia al conjunto de acciones que se debe realizar para su conservación y no perjudicar la disponibilidad para las futuras generaciones.

El presente estudio, se desarrolla a raíz de la creciente erosión de suelos generado por acción y efecto de la lluvia y acelerada por las actividades del hombre, que viene convirtiéndose en uno de los problemas más serios a nivel mundial que en el ritmo que avanza sería amenaza para la seguridad alimentaria de la especie humana. Este trabajo tiene el interés de determinar la pérdida de suelos por erosión hídrica y estimar cada uno de los factores que favorecen la pérdida de suelos, así como establece el método R.U.S.L.E.

Las metodología usada en el presente estudio fue el método de R.U.S.L.E., asimismo para determinar la pérdida de suelo media anual por erosión hídrica en la cuenca del río Chumbao y para determinar los factores que el método R.U.S.L.E dispone, se ha usado técnicas geoespaciales, completación de datos faltantes de precipitación a través del método de HEC-4 para determinar la erosividad de la lluvia, la erodabilidad del suelo obtenido del mapa digital de los suelos del mundo brindados por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO, para determinar el factor topográfico a través de la elaboración de mapa de pendientes mediante el uso de raster brindado por USGS- Aster Global DEM, para determinar la Cobertura vegetal a través del cálculo de Índice de

Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) de imágenes Landsat 8 brindados por el Servicio Geológico de los Estados Unidos - USGS y por último se ha corroborado el factor de prácticas de conservación en campo y la asignación de valores según los resultados obtenidos.

El objetivo del presente estudio fue medir los factores que R.U.S.L.E. considera para la pérdida de suelos por erosión hídrica y en base a estos resultados, realizar la estimación de la pérdida de suelo media anual de la cuenca del río Chumbao.

En el capítulo primero se realiza el planteamiento del problema de la investigación, en base a una descripción de la realidad problemática de la erosión de suelos de la cuenca del río Chumbao y la determinación de los objetivos de investigación. Seguido de la construcción de un marco teórico que contiene información relacionada al tema de investigación, lo que nos permite conocer desde un punto de vista teórico los factores que favorecen la pérdida de suelos por erosión hídrica y las metodologías usadas para su determinación en trabajos de investigación que anteceden. Finalmente se muestra el desarrollo y presentación de los resultados del trabajo de investigación, lo que nos permite conocer la medida de los factores que R.U.S.L.E. considera para determinar la pérdida de suelos por erosión hídrica.

CAPÍTULO I.

PLAN DE INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción de la realidad problemática

La erosión de suelos por escurrimiento hídrico representa uno de los problemas más serios a nivel de todos los países del mundo, que como consecuencia viene causando efectos adversos hacia los factores físico, biológicos del ambiente y la economía, de la misma forma las consecuencias vienen generando efecto negativo a la calidad de vida de la población mundial ya que pone en riesgo la seguridad alimentaria, asimismo como efecto global representa un riesgo para el desarrollo sustentable ya que está ligado a la emisión de CO₂ a la atmosfera y con ello se estaría favoreciendo el calentamiento global. Este estudio desarrollado en los paisajes geomorfológicos volcánicos de México, ha determinado que, el 66 % del territorio en estudio presenta algún nivel de afectación por erosión hídrica; el 13,7 % de la superficie de la cuenca presenta significativos problemas de pérdida de suelo por erosión hídrica (muy alta y alta); el 16,6 % presenta una pérdida de suelo moderada y el 35,7 % presenta pérdidas menores a 10 t ha⁻¹año⁻¹. (Nájera, Bojórquez, Flores, Murray y Gonzales, 2016)

En el Perú se ha realizado una investigación por Vásquez y Tapia (2011), en 22 Microcuencas Altoandinas de 12 regiones del país, donde la precipitación promedio anual que varía entre 350–1200 mm/año, llegándose a determinar que en las laderas se pierden 45.04 ton/ha-año de suelo, para referencia en terreno es equivalente a 3.20 mm/año de suelo y la según el grado de erosión clasificado por la FAO la manifestación es de tipo “Alta”. Este hecho pone en preocupación a todos los conocedores y científicos que trabajan en el ámbito del estudio del recurso suelo, ya que por demorar más de un ciclo de vida humano en su regeneración se

considera como un recurso no renovable.

Es así que, SENAMHI (2017) afirma que en la región Hidrológica “Pacífico 1” que se encuentra situado en la parte del territorio Nacional la erosión hídrica oscila en promedio de 50.0 Tn/ha/año, que según la FAO está clasificado como grado de erosión “Alta” y por otro lado en la región Hidrológica Pacífico 2, que geográficamente está ubicado en el sur de la costa del territorio peruano y asimismo comprende 14 subcuencas, se ha determinado grado de erosión es “Moderada” debido a que el rango de pérdida de suelo es de 5.0 – 100.0 Tn/ha-año y el promedio a largo plazo es de 45.80 Tn/ha-año.

De los estudios similares realizados a nivel del territorio peruano, podemos deducir que la cuenca del río Chumbao también de la misma forma viene siendo afectado y presentando altos grados de pérdida de suelo por erosión hídrica, ya que hoy en día podemos observar y hacer una comparación con tiempos pasados y los suelos ya no son tan fértiles y han perdido la capa arable por diferentes factores, una de ellas es la erosión hídrica, ya que de manera indiscriminada se viene haciendo uso de los suelos para la actividad agrícola, de esta manera exponiendo los suelos para los diferentes agentes erosivos.

En el área de estudio, se ha visto que los factores como: Erosividad de la Lluvia, la Topografía, la constante deforestación vienen exponiendo los suelos para los diferentes agentes erosivos. Cabe precisar que la cuenca presenta una precipitación moderadamente lluviosa, y los suelos que presenta en las cabeceras de cuenca son suelos de tipo francos arenosos, esto quiere decir que cuentan en su composición en mayor porcentaje materia orgánica suelta y en la parte baja de la cuenca suelos franco arcillosos y por tener pendientes empinadas por partes y la poca cobertura vegetal que queda por el constante uso de suelos para la actividad

agrícola y la falta de prácticas que permitan la conservación han hecho de que, cada año se pierdan suelos agrícolas y este problema amenaza la seguridad alimentaria de los pobladores de la provincia de Andahuaylas y la región Apurímac.

En la cuenca del río Chumbao, desde la existencia de los primeros pobladores de esta zona, se ha venido practicando la actividad agrícola y a medida que fue creciendo la población también fue aumentando la extensión de suelos destinados a esta actividad (agricultura y ganadería). Para la agricultura se requiere realizar la remoción del suelo, lo que pone en exposición y favorece la erosión hídrica, aún más cuando hay una precipitación en ese momento. La ganadería también es uno de los agentes erosivos más relevantes, debido a que en el sobrepastoreo se expone el suelo, libre para los diferentes agentes de erosión. La erosión también es causada por el mal uso y la mala gestión, como las prácticas inadecuadas, el pastoreo excesivo y la explotación o sobreexplotación de la cobertura vegetal natural.

En la actualidad por la falta de gestión y uso sostenible del recurso suelo se viene viendo la progresiva pérdida de suelos por erosión hídrica, lo que en consecuencia ha ocasionado que los suelos ubicados dentro del área de estudio ya no tengan una adecuada producción agrícola, por la pérdida de la capa fértil y de nutrientes. Por otra parte, es oportuno mencionar que cada vez son mayor las áreas destinadas a las actividades agrícolas: agricultura y a la ganadería. La primera realiza remoción y exposición de suelos, la segunda por el sobrepastoreo de igual forma expone los suelos para la erosión de los agentes erosivos, sumado a todo ello los factores como la precipitación, pendiente, susceptibilidad de erosión, cobertura vegetal y la falta de prácticas de conservación, han hecho que en el área en estudio cada vez se pierdan suelos, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria

de esta región y la economía de los mismos agricultores.

Existe la necesidad de conocer la magnitud de pérdida de suelo media anual de la cuenca del río Chumbao, ya que este resultado permitirá a los lectores a transmitir el mensaje a las autoridades de turno y poder tomar acciones inmediatas, ya que se trata de uno de los recursos que brinda subsistencia de alimento para la población del área de estudio y de la misma forma para los habitantes de otras cuencas y ciudades.

1.2 Identificación y Formulación del problema

1.2.1 Problema general.

¿Cuál es el grado de pérdida de suelo media anual, causada por los factores de pérdida de suelo de erosión hídrica, mediante el uso de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada en la cuenca del río Chumbao, provincias de Andahuaylas y Chincheros, Apurímac-2019?

1.2.2 Problemas específicos.

- ❖ ¿En qué medida se manifiestan los coeficientes del factor de erosividad (R) que favorecen la pérdida de suelo media anual, en la cuenca del río Chumbao, provincias de Andahuaylas y Chincheros, Apurímac - 2019?
- ❖ ¿En qué medidas se manifiestan los índices del factor de erodabilidad (K) que favorecen la pérdida de suelo media anual en la cuenca del río Chumbao, provincias de Andahuaylas y Chincheros, Apurímac - 2019?
- ❖ ¿En qué medidas se manifiestan los coeficientes del factor Topográfico (LS) que favorecen la pérdida de suelo media anual en la cuenca del río Chumbao, provincias de Andahuaylas y Chincheros, Apurímac - 2019?
- ❖ ¿En qué medidas se manifiestan los índices del factor de cobertura vegetal (C) que favorecen la pérdida de suelo media anual en la cuenca

del río Chumbao, provincias de Andahuaylas y Chincheros, Apurímac - 2019?

- ❖ ¿En qué medida se manifiestan los valores de práctica de conservación (P), que favorecen la pérdida de suelo media anual en la cuenca del río Chumbao, provincias de Andahuaylas y Chincheros, Apurímac - 2019?

1.3 Justificación de la investigación

La degradación del suelo en los últimos años ha llegado a causar preocupación a nivel de todos los países del mundo, este problema se ha venido presentando de tres formas: erosión, salinización y desertización y que son originados por acción y efecto combinado de factores climatológicos que dicho sea de paso son acelerados por la actividad del hombre (MINAGRI, 2017). Según el informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2015) sobre el estado mundial del recurso suelo, la tierra se encuentra entre moderada y altamente degradada en un porcentaje que representa un 33%, en consecuencia de la erosión, salinización y compactación y acidificación y la contaminación química. Esto quiere decir que si, continúa en aumento la pérdida de suelos destinados a la actividad agrícola, se estaría poniendo en riesgo la capacidad del suelo de proveer alimentos y por consiguiente la seguridad alimentaria. Este hecho amerita tomar acciones inmediatas.

En el Perú el 57% del total del territorio Nacional es destinado a la actividad agrícola, de este porcentaje representativo el 99% presenta erosión de diferentes niveles, en conclusión, el recurso suelo requiere una atención inmediata por presentar una alta vulnerabilidad y por ser un recurso que tarda muchas generaciones en su regeneración. En el Perú, según estudios realizados se ha determinado que solo 7.6 millones de hectáreas o sea 5.92% del territorio tiene

aptitud agrícola y 17 millones de hectáreas con condiciones adecuadas y favorables para pastizales. En la sierra peruana, donde se tiene identificado en porcentajes superiores la población en condiciones de extrema pobreza en el país, se ha estimado que solo 1,300000.00 de hectáreas son aptas para la agricultura y 10,500000.00 de hectáreas cuentan con condiciones favorables para pastizales (MINAGRI, 2017).

El presente estudio se desarrolló porque existe una necesidad de conocer la magnitud en la pérdida de suelo que se viene manifestando en la cuenca del río Chumbao a causa de la erosión hídrica, por lo que la sostenibilidad de los suelos agrícolas depende de las acciones que se puedan tomar por parte de los agricultores y por los diferentes niveles de gobierno del estado peruano. La degradación el recurso suelo va en aumento cada vez más y la población crece de una manera no planificada generando cada vez mayor demanda de alimentos, lo que empeora la situación problemática a nivel mundial, por ello se pretende realizar el presente estudio con la finalidad de medir y conocer los factores que favorecen la erosión hídrica en el área de estudio y el resultado obtenido del grado de erosión media anual de la cuenca del río Chumbao poner para conocimiento público, para que las autoridades de turno tomen acciones respecto a esta problemática.

El aporte de la presente investigación en el aspecto social se basa en que, permitirá que la sociedad en general conocer el estado situacional de la pérdida de suelo generado por erosión hídrica en la cuenca del río Chumbao y a su vez esto dará lugar a que la población tenga mayor conciencia y atención respecto a la adecuada gestión del recurso suelo, para así evitar los efectos adversos, ya que según la FAO el recurso suelo es considerado no renovable, por lo que su pérdida y su deterioro no es recuperable en el curso de un ciclo de vida de una persona.

Asimismo, esta investigación permitirá a los lectores, investigadores, autoridades y población en general, deducir la pérdida de suelos desde un enfoque económico, ya que esta cuenca es una zona netamente agrícola, y los efectos adversos de la misma forma estarían afectando la situación económica de la población. Como tercer y último aporte, a través de este trabajo de investigación es que, las autoridades competentes podrán conocer la realidad problemática de la pérdida del recurso suelo en la cuenca del río Chumbao y esto permitirá que se ponga mayor énfasis en la gestión del recurso suelo y no solo en el área donde se realiza el presente estudio, sino en las diferentes cuencas de la región Apurímac y otras regiones.

1.4 Objetivos de la Investigación

1.4.1 Objetivo general.

Estimar el grado de pérdida de suelo media anual, causada por los factores de pérdida de suelo de erosión hídrica, mediante el uso de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada en la cuenca del río Chumbao, provincias de Andahuaylas y Chincheros, Apurímac-2019

1.4.2 Objetivos específicos.

- ❖ Determinar los coeficientes del factor de erosividad (R) que favorecen la pérdida de suelo media anual, en la cuenca del río Chumbao, provincias de Andahuaylas y Chincheros, Apurímac – 2019
- ❖ Determinar los índices del factor de erodabilidad (K) que favorecen la pérdida de suelo media anual en la cuenca del río Chumbao, provincias de Andahuaylas y Chincheros, Apurímac – 2019
- ❖ Determinar los coeficientes del factor Topográfico (LS) que favorecen la pérdida de suelo media anual en la cuenca del río Chumbao, provincias

de Andahuaylas y Chincheros, Apurímac - 2019

- ❖ Determinar los índices del factor de cobertura vegetal (C) que favorecen la pérdida de suelo media anual en la cuenca del río Chumbao, provincias de Andahuaylas y Chincheros, Apurímac – 2019
- ❖ Determinar los valores de práctica de conservación (P), que favorecen la pérdida de suelo media anual, en caso de no haber proponer medidas de conservación que reduzca la pérdida de suelo en la cuenca del río Chumbao, provincias de Andahuaylas y Chincheros, Apurímac – 2019

1.5 Delimitaciones de la investigación

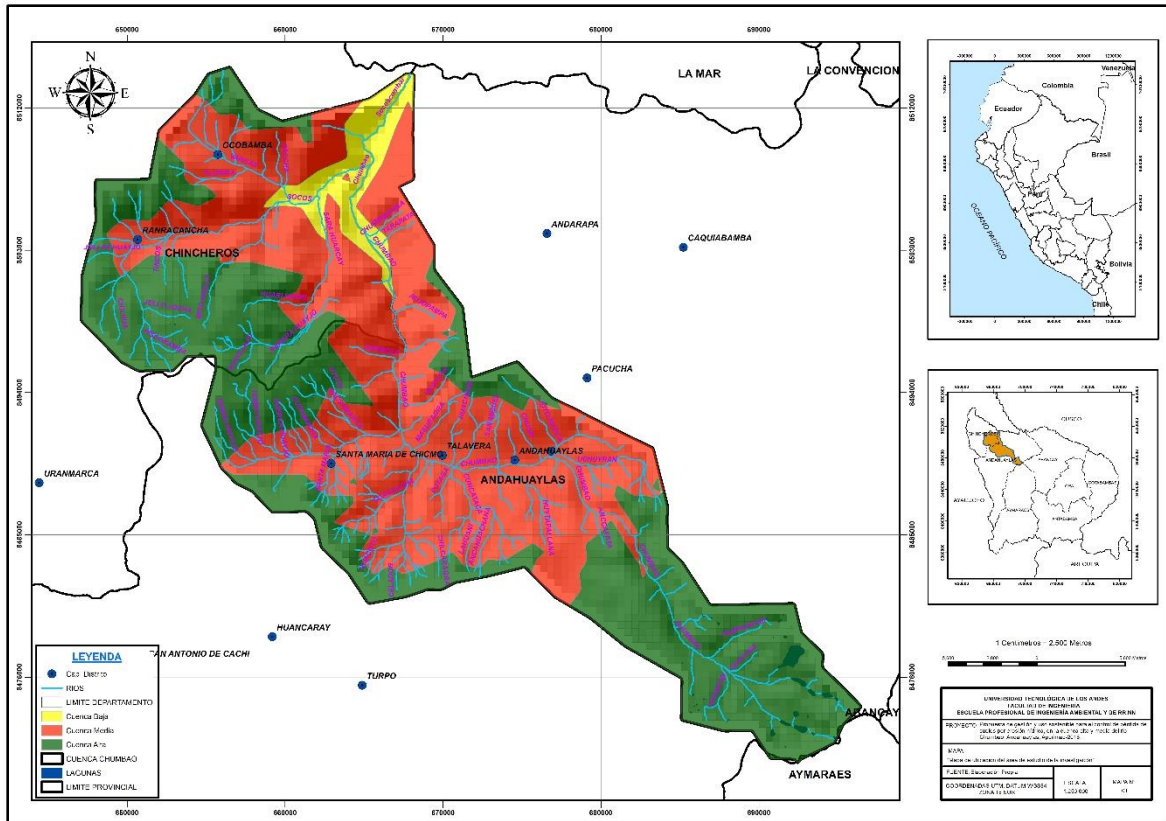
El presente estudio se realizó en la cuenca del río Chumbao que se encuentra situada geográficamente entre las provincias de Andahuaylas y Chincheros de la región Apurímac, el análisis de datos se tomó en cuenta hasta el año 2019. Los datos de precipitación-lluvia se tomaron de las estaciones pluviométricas del SENAMHI que estén situadas dentro y fuera del área de investigación para una mejor interpolación de datos, el registro de datos de precipitación fue de 55 años, lo que nos permitió analizar y conocer el comportamiento hidrológico del área en estudio. También se realizó la recopilación de datos de cubierta vegetal, imágenes Landsat para determinar el Modelo de elevación digital y la Mapa de suelos del mundo brindados por la FAO, todos los datos con corte al 31 de diciembre del año 2019.

El presente estudio desarrollado en la cuenca del río Chumbao que pertenece a las provincias Andahuaylas y una parte a la provincia de Chincheros. En la figura 1 se ilustra la delimitación del área de estudio del presente trabajo de investigación, donde claramente se puede apreciar la localización de la cuenca del

rio Chumbao que por parte pertenece a la provincia de Chincheros y la otra parte se encuentra ubicada dentro de la provincia de Andahuaylas.

Figura 1

Delimitación geográfica de la cuenca del rio Chumbao



1.6 Limitaciones de la investigación.

La región Apurímac no cuenta con suficientes estaciones pluviométricas, lo que ha dificultado desarrollar con facilidad el cálculo del factor R, por tal razón se tuvo que recurrir a metodologías de completación de los datos faltantes de precipitación a través del Método HEC-4. Dentro del área de estudio solo se pudo encontrar dos estaciones pluviométricas y las seis estaciones restantes son estaciones cercanas al área de estudio. Otra de las limitaciones fue no encontrar el registro de variación de la cobertura vegetal a través de los años, lo que nos hubiera permitido conocer con mayor detalle la pérdida de suelo en nuestro ámbito de estudio.

El departamento Apurímac carece de registros de datos de estudios de suelo, es así que se tuvo que usar datos del ZEE de la región Apurímac que a la fecha no cuenta con aprobación del MINAM y ésta a la vez corroborado con datos del mapa de suelos del mundo de la Organización de las Naciones Unidad para la Alimentación y la Agricultura.

CAPÍTULO II.

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de investigación

2.1.1 A nivel internacional.

Galilfa (2016) ha realizado una investigación titulada “Estimación de la erosión en los suelos agrícolas de la Rioja mediante la aplicación del modelo RUSLE” y sostiene que los suelos con aptitud agrícola presentarían serios problemas en caso extremo de que se lleguen a presentar pérdidas severas ya que esto directamente afectaría a la productividad y de paso a la fertilidad del mismo. La Estimación de la erosión nos permitirá conocer si es apropiado o no las técnicas que las familias dedicadas a la actividad agrícola vienen practicando, de esta manera esto nos permitirá recomendar técnicas o métodos favorables para la conservación. Para el desarrollo del presente estudio se ha utilizado el método RUSLE integrado en un SIG, asimismo para el análisis de consistencia se han usado programas de análisis estadístico. El presente trabajo tuvo como área de estudio el municipio de Albelda de Iregua. Los resultados obtenidos en el presente trabajo fueron de una tasa anual de 0.005-39.255 Mg ha⁻¹ año⁻¹, de la misma forma obteniendo un promedio de pérdida de 2.413 Mg ha⁻¹ año⁻¹, siendo este inferior a la pérdida de suelo media anual del país que dicho sea de paso es 23.37 Mg ha⁻¹ año⁻¹. Es oportuno mencionar que del total de la superficie nacional solo el 2.4% supera >12 Mg ha⁻¹ año⁻¹.

Alatorre, García, Rodríguez, Erives y Gonzáles (2014) han realizado una investigación titulada “Estimación de la erosión potencial en la cuenca de la laguna Bustillos, Chihuahua, México” donde afirma que en los últimos años se ha visto el crecimiento progresivo en relación a las actividades agrícolas en específico la ganadería y la agricultura debido al crecimiento de la población mundial. Consecuencia del crecimiento de las actividades agrícolas se viene perdiendo grandes extensiones de áreas naturales que a al pasar el tiempo vienen siendo transformados en suelos de cultivo o áreas destinados para el pastoreo, de esta manera generando la degradación progresiva del suelo. Al igual que otros países, México se ha visto afectado por uno de los enigmas ambientales más serios como es la degradación de suelos, además de que a la fecha es uno de los problemas menos estudiados. El objetivo de este estudio fue determinar el grado de erosión en la cuenca perteneciente a la laguna Bustillos. La metodología aplicada fue el método RUSLE. Para determinar el grado de pérdida de suelo se ha usado datos climatológicos, suelos, cobertura vegetal, uso de suelos y el DEM del área determinado para la investigación. Según este estudio, las superficies con mayor pérdida de suelo son las que se encuentran situados desde los piedemontes hasta las cabeceras de la sierra, asimismo en este estudio se refleja las zonas con menos erosión las áreas con cultivo por contar con poca pendiente del terreno.

Durand, Rodríguez, Cuadros y Francia (2014) hicieron una investigación, titulado “Impacto de la erosión y escorrentía en laderas de agroecosistemas de montaña mediterránea”, y sostiene que en los agroecosistemas mediterráneos la degradación de suelos generados por procesos naturales e incitados por la actividad humana están ligados a la pérdida de la fertilidad y por consiguiente implican una pérdida económica progresiva ya que a consecuencia el suelo va

perdiendo el potencial productivo. En este trabajo de investigación se ha realizado la evaluación de la erosión y asimismo la escorrentía en distintos tipos de usos de suelo (TUS), las cuales fueron: agrícola (olivar, almendro y cereal), bosque (*Pinus halepensis* y *Pinus sylvestris*), matorral, pastizal y tierras de cultivo abandonadas, en Sierra Nevada (SE España). Para ello se ha identificado parcelas en cada tipo de uso de suelo, en donde fueron instalados para el registro de erosión durante 22 eventos lluviosos. El resultado del estudio determinó que los tipos de usos de suelo con *P. halepensis* y *P. sylvestris* fueron las que redujeron de manera considerable la erosión y la escorrentía de la lluvia a comparación de superficies destinados a la actividad agrícola y que fueron abandonados en el tiempo. Los tipos de usos de suelo destinados a la actividad agrícola y específicamente con el cultivo olivar fueron las que presentaron mayor erosión en comparación a almendro y los cereales. Asimismo, se ha determinado que los matorrales han registrado una tasa de erosión y escorrentía de nivel intermedio entre los *Pinus spp.* y agrícola-pastizal. En conclusión, es indispensable considerar la cobertura vegetal para poder determinar la tasa erosión de suelos, así como cuando se quiere plantear medidas para la conservación y mitigación de la degradación del suelo en los suelos del mediterráneo.

Santacruz (2011) desarrolló una investigación titulada “Estimación de la erosión hídrica y su relación con el uso del suelo en la cuenca del río Cahoacán, Chiapas, México”, el mismo fue desarrollado en las cuencas del río Cahoacán, Chiapas, México, el objetivo del presente estudio fue la estimación de la erosión hídrica y además se ha realizado el análisis de la erosión con el cambio de usos de suelos en la cuenca del río Cahoacán que se encuentra ubicado en la costa de Chiapaneca, mediante el uso del método de Ecuación Universal de Perdida del

suelo (EUPS), para la estimación del factor de Erosividad (R). Para fines del presente trabajo se han hecho uso de registro de datos históricos de media mensual y media anual de precipitación de cinco estaciones pluviométricas ubicadas dentro del área de estudio y registro de datos de diez estaciones cercanas y el análisis de la precipitación y de los de más factores relacionados se hizo con el apoyo del software Arc View. Para el estudio del presente problema se crearon 3 escenarios, el primero bajo las mismas formas de uso del suelo, el segundo teniendo en cuenta las variaciones de la vegetación en las partes altas del área en estudio y como tercer escenario en las mismas condiciones de uso de suelo encontrados en el área de estudio incluido las formas de prácticas de conservación de suelos, para ello el área de estudio fue dividido en 13 microcuencas. Como resultado de este trabajo de investigación el autor indica que con las mismas formas de usos de suelos la erosión se presenta entre el rango de 16,270 ton/ha/año a 20,000 ton/ha/año, asimismo los valores mínimos reflejados son de 13.317 ton/ha/año. En conclusión, con el mismo ritmo de deforestación el actual valor de erosión tendría un incremento en porcentajes de un 900% lo que significa muy alarmante, y en un posible escenario donde se reduzca el nivel de deforestación y sumado a ello el mejoramiento de buenas técnicas agrícolas en los terrenos donde se practica la agricultura eventual y que presenten riesgo, el rango de erosión tendría una tendencia a la reducción del 60% a comparación del registro actual.

Hill, Clérici, Mancassola y Sánchez (2009) realizaron una investigación que tiene por título “Estimación de pérdidas de suelo por erosión hídrica en tres diferentes sistemas de manejo hortícola del sur de Uruguay” donde sostienen que debido a la erosión hídrica las principales zonas de producción de hortalizas del sur de Uruguay cada vez son poco sostenibles en el tiempo, esto amerita incidir

tecnologías que permitan reducir y evitar el incremento de los efectos adversos. El método de Ecuación Universal de Pérdida de Suelo permite determinar la pérdida de suelo en un espacio determinado, es más puede ser adaptado y validado para el estudio de áreas con extensión agrícola, forestal y pastizales, este método según este autor no puede ser adaptado para áreas con cultivo de hortalizas. La versión revisada RUSLE (Renard et al., 1997) permitió determinar las relaciones de pérdida de suelo por erosión hídrica y de esta el Factor de cobertura vegetal para tres tipos de predios hortícolas. Entre los años 2008 a 2009 se hizo el registro de pérdida de suelo en predios hortícolas de tipo: rotación hortícola ganadera, rotación hortícola y hortícola convencional. El objetivo fue para generar mayor información para determinar la erosión hídrica y sus implicancias en el cambio climático, generados a consecuencia del incremento progresivo de la erosión hídrica, en especial en sistemas hortícolas tradicionales y en áreas recomendados por el proyecto EULACIAS. Como resultado del estudio se llegó a determinar 30% de erosión de suelo, esto indica que se encuentra en un nivel tolerable. Como medida en este estudio se ha propuesto el uso de pastizales para la reducción de la erosión en 60% a diferencia de otros métodos tradicionales y de paso esto permitirá la mitigación del cambio climático que se genera a consecuencia de la erosión hídrica.

2.1.2 A nivel nacional.

Nacaya (2018) desarrollo una investigación titulada “Estimación de la pérdida de suelo media anual mediante el modelo R.U.S.L.E., en la Cuenca del río Tingo - Cajamarca”, para el desarrollo del presente estudio se ha usado el método de RUSLE, lo que permitió determinar la erosión hídrica en la cuenca del río Tingo en la región Cajamarca, asimismo para este estudio se ha hecho uso de métodos geoespaciales así como el SIG mediante el cual a través del análisis multicriterio se

pudo identificar zonas con vulnerabilidad de erosión hídrica según las clasificaciones establecidas por la FAO, este resultado permitió proponer medidas de conservación según su vulnerabilidad. Para realizar el presente trabajo de investigación se dividió en 3 etapas, el primero fue el recojo de información básica del área de estudio el de cobertura vegetal, información de suelos, precipitación, fisiografía, geológico y la carta nacional, es oportuno mencionar que fue en esta etapa donde se establecieron los puntos para el recojo de muestras para el análisis de suelos. Posterior a ello en la segunda etapa se desarrolló trabajo de campo, donde se hizo el muestreo de suelos y su posterior análisis en laboratorio, recojo de datos de cobertura vegetal, recojo de datos de accesibilidad a la cuenca y también se recopiló información de prácticas de conservación en las áreas destinadas a la agricultura. En la fase 3 se realizó el análisis de suelos en laboratorio lo que permitió determinar la textura, materia orgánica y arena muy fina de los suelos tomados como muestra en campo, con el apoyo del SIG se desarrolló el estudio de la información recopilado en la primera y segunda etapa, asimismo en esta etapa se hizo el análisis de fotografías tomadas desde el espacio obtenidas y la representación por medio de herramientas de Sistemas de Información Geográfica y Teledetección de los factores que el modelo RUSLE considera. Como resultado se ha obtenido un mapa temático donde se puede distinguir superficies vulnerables a la erosión hídrica, asimismo en este mapa se pudo diferenciar que los suelos con mayor pendiente y con menos cobertura son las que presentan mayor erosión, en conclusión mediante esta investigación se ha demostrado que los que más influencia tuvieron para la erosión fueron el factor LS y el factor C a diferencia del factor de erosividad R.

Zuñiga (2017) realizó un trabajo de investigación para la “Determinación de

la pérdida de suelos en la Cuenca aportante del embalse aguada blanca-Arequipa, aplicando USLE y Técnicas Geoespaciales”, el objetivo de la tesis fue la Aplicación de métodos USLE y técnicas geoespaciales para determinar la erosión de suelo en el ámbito de captación provocada por el embalse de Aguada Blanca; Se determinaron diferentes grados de erosión en base a dos modelos, el primero, denominado MC78, se basa en imágenes satelitales de 2014 con métodos USLE y NDVI debidamente calibrados y el segundo denominado MC80, basados USLE y con el uso de imágenes Landsat de 2001. Mediante el método de correlación se realizó la estimación una representación gráfica de la erosión en tiempo pasado que incluye la pérdida de suelos en la cuenca contribuyente y su influencia con la acreción del embalse, dividido en 3 etapas: la primera es el mapa de erosión ocurrido en 2002-2006, la segunda es la erosión para 2006-2010 y el tercero para el año 2010-2015; el modelo prospectivo que incluye prácticas de conservación se ha desarrollado de manera similar. Los resultados muestran que los coeficientes son adecuados para este factor: lluvia R, susceptibilidad a la erosión K y factor de cobertura vegetal C (corregido a $r^2 > 80\%$). El rendimiento promedio anual del modelo MC80 es de 128,96 ton/ha/año, mientras que el rango medio anualmente de pérdida de suelo del modelo MC78 es de 145,50 ton/ha/año, lo que indica que la erosión de suelo es severa y con acercamiento a la desertificación, superior a 12,5 ton/ha/año propuesto por ICONA (1991) 11,2 ton/ha/año de tipo de erosión según la FAO. El grado de erosión es diferente: en las 3 fases de la erosión en la cuenca afectada por el embalse, la tasa de erosión promedio en la primera etapa es de 125,15 T/ha/año, en la segunda es de 154,94 Ton/ ha/año; y la fase 3 alcanzó 162,73 Ton/ha/año mostrando una inclinación de incremento del 30%. En condiciones ideales, junto con un aumento de la cobertura vegetal (M78-C1), su

grado de pérdida de suelo promedio reduciría en un 28.0% (116,74 ton/ha/año), el rango medio de la capacidad anual del embalse se reduciría de 0,42 Hm³/año a 0,30 Hm³/año, alargando la vida del depósito de 17 a 23 años (75% del volumen útil).

Sabino (2016) realizó una investigación titulada “Análisis espacio temporal de erosión de suelos por regiones Hidrológicas en el Perú (1981-2014)” donde sostiene que la degradación del suelo debido a la erosión del agua elimina la capa superior del suelo, reduce la MO y altera la parte estructural del suelo, lo que aumenta el riesgo de erosión. Las elevaciones del Perú son diversas y variadas, con diferente vegetación, intensidad de lluvia y características del suelo. Estos diferentes rasgos del terreno se reflejan en 3 regiones geográficas (Costa, Andes y Amazonía). En todo el territorio peruano no se encuentra disponible con registro de datos de niveles de erosión de suelos. El propósito de la investigación es realizar un análisis de la erosión del suelo en el espacio-tiempo y dividido por región hidrológica. La metodología usada en esta investigación es la Ecuación Universal de Pérdida de suelo Modificada (RUSLE) aplicada mediante el uso de los factores obtenidos y procesados mediante el uso de SIG. Los parámetros de erosión del suelo se han evaluado de la siguiente forma: El coeficiente R (factor lluvia) se estima en base a los datos de lluvia interpolados de producto PISCO producto (obtenido de estaciones pluviométricas e imágenes satelitales), el mapa de factor erodabilidad del suelo, obtenido a partir de la clasificación de texturas y tipos de suelo, mapa de vegetación a lo largo del contorno, se obtiene el mapa de factor cobertura vegetal, utilizado en base al mapa de cobertura vegetal del Perú, factor topográfico según el DEM del área de estudio y factor de prácticas de conservación P en las líneas del modelo numérico topográfico. El mapa de erosión del suelo

(1981-2014) se obtuvo integrando los factores y aplicando el modelo RUSLE. Resultados del análisis por región hidrológica.

Rosas y Gutiérrez (2016) realizaron una investigación titulada “Cuantificación de la erosión hídrica en el Perú” donde afirman que la cantidad de investigaciones vinculados a determinar la erosión causado por la lluvia en el Perú es limitada. Por ello, en este artículo tratamos de solucionar esta limitación con estudio desarrollado con información satelital. Así, la erosión del suelo en los años 1990, 2000 y 2010 se estimó mediante la ecuación RUSLE, que como producto dio un mapa a nivel nacional con una resolución de 5 km. En conjunto, los resultados sugieren que las áreas de alta erosión se encuentran en las regiones alto andinas y pueden estar relacionadas con las actividades mineras. Los mapas desarrollados son trascendentales para ayudar en el diseño de la legislación nacional de control de la erosión.

Solano (2016) realizó la investigación titulada “Estimación de la pérdida de suelos por erosión Hídrica en la sub cuenca del río Sullcas 2000-2013, Huancayo” Desarrollado en la cuenca del río Shullcas, área 23,251.51 hectareas, ubicado entre las coordenadas $11^{\circ}52'9''$ y $12^{\circ}5'6''$ de latitud sur y $75^{\circ}4'24''$ y $75^{\circ}13'56''$ de longitud oeste. El objetivo es determinar la cantidad de tierra perdida por erosión hídrica en la cuenca de Shullcas en 2000 y 2013; Como objetivo específico, la estimación de la erosión hídrica a través del método de ecuación universal de pérdida de suelo, determinar los niveles reales y potenciales de erosión hídrica e identificar las variaciones en la erosión hídrica causados por el tipo de uso del suelo y la cobertura vegetal existente. Análisis y síntesis como métodos generales, métodos específicos; Los datos de precipitaciones mensuales, la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) y el análisis espacial se analizaron a lo largo

del tiempo utilizando herramientas del sistema de información geográfica (SIG). La pérdida de suelo media causada por la erosión hídrica más alta en 2013 fue de 163,13 t/ha/año, proveniente de áreas libres de vegetación (Sv), y la más baja se presentó en 2000 en humedales (Bf), hasta 1,69 t/ha, se determinó 29,29 ton/ha/año a nivel de sub cuencas y un promedio de 30.91 ton/ha/año del año 2000 y el año 2013, en el 47,20% de cuencas con alto potencial de erosión hídrica (50 - 200 ton/ha/año), en los casos restantes en 2000 y 2013, solo el 3,51% y 4,35% respectivamente provocaron el mismo nivel real de erosión hídrica, y el 13,14% y 13,91% de la subcuencas en 2000 y 2013 causaron una erosión hídrica inaceptable (> 10 ton/ha/año) de la vegetación, el área (Sv) es un porcentaje mayor, y finalmente del 2000 al 2013 la superficie libre de erosión aumentó un 2,87% en la cuenca, principalmente por un incremento de 1,96 % de cultivos en seco(Ces).

2.1.3 A nivel local.

Vega (2016) realizó una investigación titulada “Estimación de la erosión hídrica por efecto de la precipitación en áreas de recarga acuífera en los sectores de Huayllabamba, Asillo, Ccanabamba y Ccorhuani en la provincia de Abancay en el 2016”, el objetivo principal fue estimar la erosión hídrica inducida por la lluvia en áreas expuestas y con vegetación, similar a cada sitio de recarga hídrica. Estas áreas suelen tener un terreno accidentado y la precipitación promedio oscila entre 826 y 1053,1 mm anuales, según 04 estaciones meteorológicas, las que brindaron datos de precipitación para el estudio. Asimismo, en cada área de almacenamiento de acuíferos donde se realizó el estudio, se determinó que desde estas áreas donde se almacenan y el subsuelo dota de agua durante todo el año, la población interesada tendría acceso a agua para uso humano o incluso riego. Los lugares cuentan con denominación de Hatuntuma, Faccha, Yacupallca y Minachayocc. Los

resultados mostraron la tasa promedio de erosión del suelo (agua), es decir: en Huayllabamba, en áreas sin vegetación, la erosión fue de 84,27 ton/ha/año respectivamente con una pérdida de suelo de 6,58 mm/año. Es así que en las zonas con vegetación es de 4,01 ton/ha por año, lo que equivale a una pérdida de suelo de 0,31 mm/año. En Asillo, en zonas sin vegetación, la erosión fue de 110,32 ton/ha por año, lo que equivale a una pérdida de suelo de 8,17 mm/año; por otra parte en las áreas vegetativas la erosión hídrica es de 13,89 ton/ha/año, lo que equivale a una pérdida de suelo de 1,02 mm/año. En Ccanabamba, en zonas sin vegetación, la erosión hídrica fue de 67,48 t/ha por año, lo que equivale a una pérdida de suelo de 9,02 mm/año; Mientras que, en las áreas vegetadas, la cantidad de erosión hídrica fue de 22,35 ton/ha/año, lo que equivale a una pérdida de suelo de 3,00 mm/año. En Ccorhuani, en las zonas sin vegetación, la pérdida de suelo fue de 59.97 ton/ha/año, lo que equivale a una pérdida de suelo de 5.26 mm/año; por otro lado, en las áreas vegetadas, la cantidad de suelo erosionado es de 3,80 ton/ha/año, es decir, 0,33 mm/año de pérdida de suelo. Gracias a estos resultados, es posible tomar medidas para conservarlos y utilizarlos. El método utilizado para obtener los resultados es el método de clavo y varilla instalado en 3 parcelas de ensayo de 5,28 m² cada una, los comprobantes cuentan con 2 parcelas con ausencia de vegetación y el segundo contiene tres parcelas con plantas. En el corte de suelo se colocaron 48 barras de erosión y se tomó registro de la erosión hídrica durante un año en cada sitio de recarga del acuífero, lo que inició el proceso anterior en marzo de 2016 y culminó en marzo de 2017. Las conclusiones obtenidas del estudio de cada zona de recarga acuífera, según la capacidad de erosión y la tasa de erosión, conducen a la erosión hídrica del suelo baldío, de forma muy severa, según el potencial de erosión. Según la tasa de erosión, la erosión hídrica es alta

en 4 sectores con población. De igual forma, para suelos con cobertura vegetal, de acuerdo a la capacidad de erosión, la erosión hídrica es moderada, mientras que, para suelos con presencia de vegetación, la erosión hídrica es nula o baja dependiendo de la tasa de erosión.

Vásquez y Tapia (2011) Realizó un estudio en 22 pequeñas cuencas altas de la región andina en 12 regiones del país, incluida la región Apurímac, con el título “Cuantificación de la erosión hídrica superficial en las laderas semiáridas de la sierra peruana” Su objetivo fue determinar el grado de pérdida de suelo por erosión hídrica y el efecto de control de las trincheras de infiltración en su control, utilizando metodología de varillas de erosión y metodología de cimentación, medido en un terreno de 1.20 m de ancho y 4.40 m de largo (5.28 m² en total) de los cuales se instalaron 48 varillas con una longitud de 37.5 cm y con 3/8 pulgadas de diámetro, en cada pieza midiendo 0.40 metros entre ellas; Enterrado en suelo estéril hasta 20 cm de longitud de cada varilla. El estudio indicó que se inició a partir de septiembre de 2010, es decir desde inicios de la estación lluviosa hasta que cesaron las lluvias en abril de 2011. En todos estos trabajos los resultados arrojaron que la tasa de erosión promedio en las pendientes de montaña de la sierra fue de 45,04 ton/ha/año, lo que equivale a 3,20 mm/año de pérdida de suelo.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 El suelo.

FAO (2017) sostiene que: “el suelo es la capa más externa de la tierra donde crecen las plantas”. “El suelo es una capa delgada de material fértil que cubre la superficie de la tierra” Jordán (2005). Asimismo, Pedraza (2015) afirma que: “Técnicamente hablando, el suelo es un cuerpo natural en la superficie de la corteza terrestre que contiene materia viva y sustancias que sustentan o son capaces de

sustentar la vegetación”.

Retomando a Porta (citado por Pedraza, 2015) afirma que: Se denomina degradación del suelo, cuando este recurso llega a perder sus cualidades y su potencial, esto quiere decir que el suelo en relación al papel que desempeña realizara menos funciones de las que normalmente realiza, a medida se va perdiendo por degradación. Es así que se puede definir a la degradación como la pérdida de la calidad, pérdida de espesor por erosión; pérdida de materia fina, resultado de ello el suelo va quedando lleno de pedregosidad; de la misma forma pérdida de humus; disminución de la capacidad que el suelo tiene de retener el agua por la permanente compactación.

Es así que Porta (2005) citado por Pedraza (2015) indica el papel que desempeña en el suelo:

- ❖ Es así que una de las funciones ecológicas del suelo es la producción de biomasa a través de la provisión de nutrientes, oxígeno, agua y asimismo sirve de soporte para las raíces de las plantas, este recurso de manera indispensable proporciona a la humanidad y a la naturaleza, alimentos, energía, materia prima y proporciona un espacio para el desarrollo de muchas especies de animales y plantas.
- ❖ Otra de las funciones ecológicas que el suelo desempeña es la filtración, el efecto tampón, de la misma forma almacenan y transforman materia y contaminantes, teniendo en cuenta que en el suelo ocurren una infinidad de reacciones químicas que degradan contaminantes y materia orgánica y ponen a disposición de la naturaleza para el ciclo de vida.
- ❖ Asimismo, el suelo es el hábitat para muchas especies de vegetación y animales, es así que se podría decir que es la reserva de genes, ya que en

el viven y se desarrollan miles y millones de microorganismos, también la flora y fauna existente en ello son difíciles de diferenciar a simple vista a diferencia de las que se encuentran en la parte exterior del suelo, así también se resalta su importancia ya que en él ocurren reacciones de muchos elementos químicos en favor de la vida de las plantas.

En este párrafo se mencionan las funciones que el suelo desempeña a favor de las actividades del hombre, las cuales son:

- ❖ El medio físico es el principal espacio o superficie donde se desarrollan actividades industriales, actividades económicas, construcciones, medios de comunicación, campos deportivos, espacios recreativos, espacios para vertimiento de restos de construcción y residuos sólidos y otros.
- ❖ Asimismo, el suelo es la principal reserva de materia prima; de ello se obtienen agregados, aditivos de construcción, insumos como agua y diferentes tipos de material mineral.
- ❖ Patrimonio geogénico y cultural; el suelo llega a formar parte de la belleza paisajística, en el que en el tiempo pudieron haber formación y desarrollo de asentamientos humanos.
- ❖ El suelo es resultado de patrimonio geogénico y cultural, en vista de que muchos suelos presentan un paisaje que en algún momento pudo haber sido un asentamiento humano.

Ortiz y Ortiz (citados por Pedraza, 2015) sostiene que el suelo es un bien que provee la naturaleza compuesto de mineral, humus, agua y aire. Es así que el porcentaje aproximado de la composición del suelo por los elementos como minerales, materia orgánica, agua y aire se presentan, así como se menciona seguidamente:

- ❖ Minerales: 45.0 %
- ❖ Material orgánico: 5.0 %
- ❖ Agua: 25.0 %
- ❖ Aire: 25.0 %

2.2.2 Degradación del suelo.

Según la SEMARNAT (citado por Pedraza, 2015) se denomina degradación de suelo al conjunto de actividades humanas que reducen el potencial productivo. Así también se considera la capacidad que tiene el suelo en el futuro de solventar de alimentos a la población mundial. Según estudios realizados en el año 2002, dicho sea de paso, también un estudio confiable señala que un 44.9% presenta degradación, a través de estudio se revela que la alteración química y la erosión hídrica se presentaron con 17.9% y 11.8% cada uno. Mediante este estudio se ha llegado a la conclusión que el 42.04% de los suelos son dañados por erosión hídrica y en un 57.96 no presenta erosión de ningún nivel considerable.

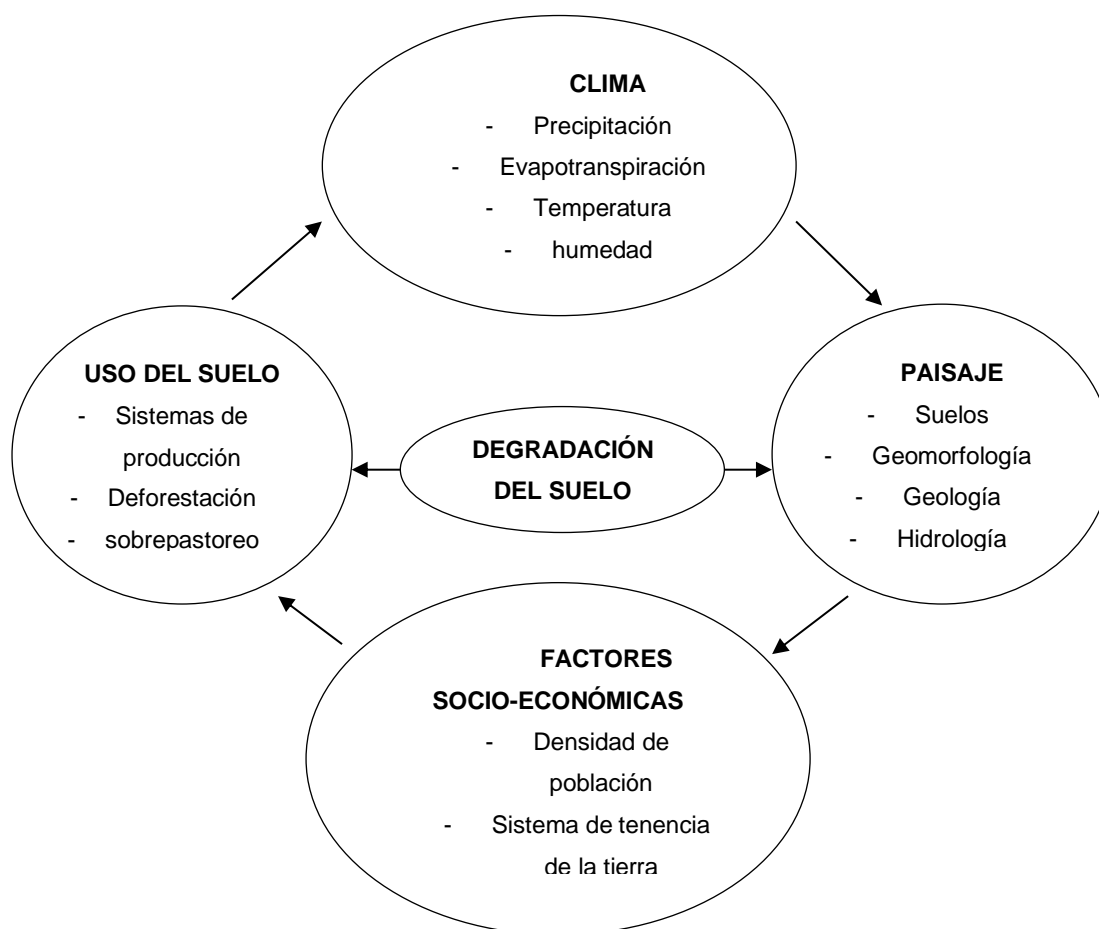
Para Montenegro (2007) se sobreentiende la degradación del suelo como un efecto de pérdida de la productividad biológica y pérdida del valor económico, se dice de esta manera a este proceso debido a que existe un cambio negativo en las propiedades del suelo, sumado a ello la disminución de la cobertura vegetal. De la misma forma la FAO (2008) sostiene que hay un incremento progresivo de la degradación de suelos en el mundo(...). También se denomina degradación del suelo a la reducción del potencial de producción del ecosistema y al aumento del grado de pérdida y el progresivo incremento de extensión de suelos afectados en todo el mundo de las cuales el 20% son tierras dedicadas a la actividad agrícola, el 30% son bosques naturales y el 10% de áreas destinados a pastizales. Es así que aproximadamente la cuarta parte de la población existente a nivel del mundo es

directamente perjudicada por la degradación del suelo y esto es equivalente a 1500 millones de personas a nivel mundial. Se pueden ver los efectos de este problema en la reducción de la producción agrícola en los cultivos en especial, migración de la población, cada vez el suelo requiere el uso de agroquímicos, el agua es contaminado por insumos químicos, el permanente devastamiento de los recursos naturales, la constante detrimento de la diversidad de flora y fauna, pérdida de hábitat de especies e incremento de especies en extinción.

Para Hudson (citado por Pedraza 2015), La degradación de suelo está relacionado a la disminución de la capacidad que el suelo tiene para la producción agrícola. El fenómeno en mención no necesariamente se presenta cuando hay remoción o movimiento del suelo. De esta manera la FAO (1984) citado por Pedraza (2015) sostiene que la degradación del suelo también puede ser definido de manera indirecta como pérdida económica y social, reflejo de los procesos naturales y los alterados por el hombre, esta alteración de manera indirecta influye en componentes de la biosfera. La FAO sostiene que si se continua con la degradación de suelos como resultado se llegara a tener un suelo con desertificación.

Figura 2

Las causas ambientales, sociales y económicas más importantes de la degradación del recurso suelo.



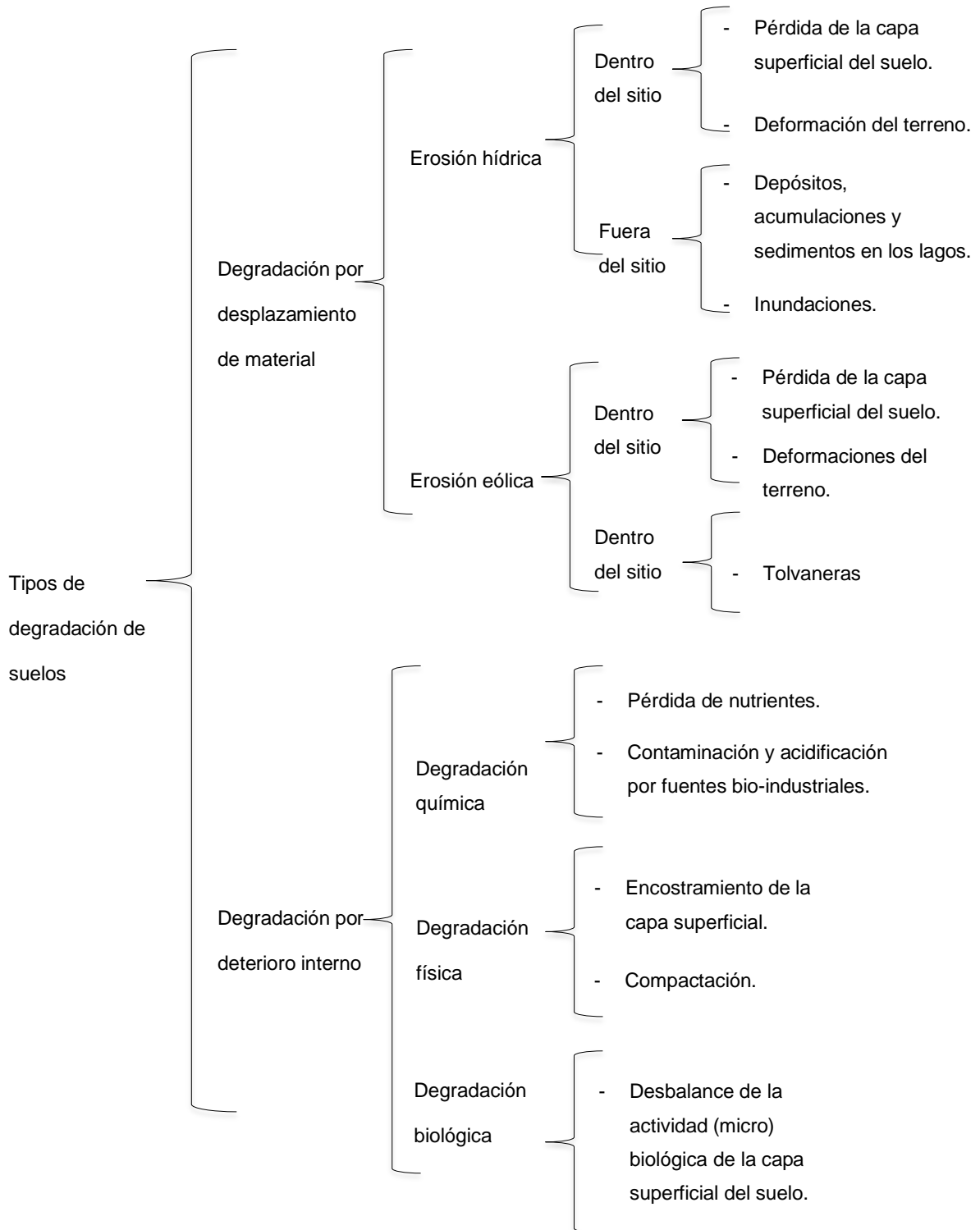
Fuente: INE citado por Pedraza (2015).

Tipos de degradación del suelo.

INE (citado por Pedraza, 2015) sostiene que el grado de degradación de suelos depende de las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo, asimismo va depender del uso de suelos y la vegetación existente. Es así que cada autor ha realizado la definición de la degradación del suelo de acuerdo a su criterio técnico. En la siguiente figura se ilustran las clasificaciones recopiladas de varios autores. Asimismo, en la siguiente figura se señalan los tipos de degradación de suelos considerados por INE (citado por Pedraza, 2015):

Figura 3

Tipos de degradación de suelos.



Fuente: INE citado por Pedraza (2015, p.13)

Así como se puede observar en la Figura 3, el INE (citado por Pedraza, 2015) define dos categorías para la degradación del recurso suelo causado por la

intervención de la mano del hombre, categoría 1 se hace referencia a la degradación que es causado por el arrastre de materiales del suelo, como efecto de este primer tipo pueden sufrir alteraciones de superficies cercanos y en el trayecto las áreas de las zonas bajas también a través de la sedimentación y a medida se va alejando el área afectada los efectos van disminuyendo.

En la segunda categoría se considera el tipo de degradación causado por los procesos químicos y otros del nivel microscópico. En este grupo son considerados las reacciones químicas que ocurren en ella, los procesos físicos y biológicos relacionados a las actividades agrícolas y las que son incorporados por el hombre con el fin de conservar la fertilidad y productividad del suelo (Pedraza, 2015).

Al igual que el INE y SEMARNAT (citados por Pedraza, 2015) resaltan dos tipos de procesos de degradación de suelos:

El que está relacionado con el escurrimiento del suelo por el efecto de la precipitación y el viento.

El que es relacionado a la degradación microscópica, relacionados al componente químico y biológico del suelo, que de paso afecta su calidad.

Por otro lado, Andrés (citado por Pedraza, 2015), en su texto contextualiza a la degradación física, química y biológica, así como describe seguidamente (p.14):

- ❖ Se denomina degradación química a la reducción de la fertilidad, generados por procesos de contaminación, aquí se pueden mencionar procesos como el lavado de nutrientes, acumulación de elementos tóxicos y otros agentes.
- ❖ La degradación física del suelo hace referencia principalmente al

desprendimiento que como consecuencia genera la compactación que evita la retención del agua en el suelo, el sellado de los espacios micro porosos, disminución de la concentración de hidrogeno y la perdida de suelo. Todo ello como consecuencia trae consigo cambios en la estructura, reducción de los micro poros y disminución de la capacidad que el suelo tiene para retener el agua.

- ❖ La degradación biológica hace referencia a la alteración generada por los seres vivos, en este proceso sucede reducción de la actividad biológica y en efecto la disminución de la diversidad de vida existente.

2.2.3 Erosión de suelos.

Según García y Chevesich (citado por Pizarro et al., 2009), “La erosión hace referencia al desgaste del suelo causado por de agentes erosivos como la lluvia y el viento, asimismo esta palabra proviene del idioma latín “erodere” que significa desgaste”. De la misma forma, Pidwirny (citado por Pizarro et al., 2009) define la “erosion como la alteracion del suelo, movimiento de sedimentos, roca madre y del paisaje de un espacio determinado, a efecto y accion de agentes como la lluvia y el viento”.

Por otro lado, la Comisión de las comunidades Europeas (citado por Pizarro et al., 2009), “definen la erosion como una alteracion o cambio de origen natural, que ocurre por el arrancamiento de particulas de suelo por accion y efecto del agua o el viento, los cuales son transportados a otros espacios y depositados en forma de sedimentos.

SENAMHI (2017) sostiene que la erosión es un suceso que consiste en el movimiento de tierra de un lugar de origen y disposición a través de la sedimentación en otro espacio, dentro de ello se trasporta humus y otros nutrientes

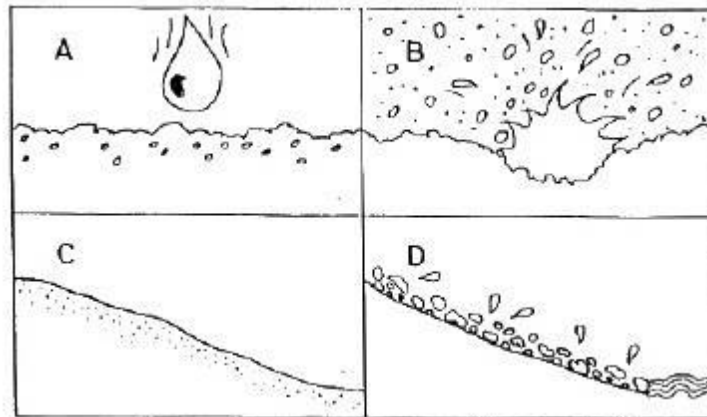
consigo. Este fenómeno se puede manifestar en diferentes niveles, generando alteración de la sostenibilidad y productividad a nivel de las cuencas hidrográficas. Este autor sostiene que es importante el estudio de la erosión ya que durante este proceso se pierde la capa arable del suelo, perdiendo el humus existente en ello, donde como resultado el suelo es menos productivo y menos favorable para el desarrollo de la vegetación.

Asimismo, Pedraza (2015) asegura que: “la degradación del suelo causado por erosión es una de las problemáticas globales que se viene suscitando en todo el mundo debido a la permanente remoción de cobertura vegetal, cambio de usos de suelos y el incremento de áreas destinados para la actividad agrícola”. Asimismo SENAMHI (2017) manifiesta que la erosión es una de las causas más importantes de degradación de suelos, ya que contribuye a la pérdida de nutrientes y por consiguiente la fertilidad. Manifiesta también que los principales agentes erosivos son la lluvia y el arrastre mediante el escurrimiento. Es así que por el periodo que toma en su recuperación se considera que la pérdida es irreparable, por ello muchos autores denominan al suelo como un recurso no renovable.

En la figura 4 se muestra que en el cuadro A y B representan a la erosión por salpicadura de la lluvia y en los cuadros C y D figura la erosión generada por la esorrentía de la lluvia.

Figura 4

Representación gráfica de erosión por salpicadura y escorrentía.



Fuente: Derpsch et al. (Citados por SENAMHI, 2017)

En la figura 4 se muestra que en el cuadro A y B representan a la erosión por salpicadura de la lluvia y en los cuadros C y D figura la erosión generada por la escorrentía de la lluvia.

Schumm (citado por Cerdá, 2001) sostiene que “la erosión siempre ha existido y que probablemente a los inicios de la formación de la tierra la erosión ha sido muy superior lo que existe actualmente”. No obstante Cerdá (2001) manifiesta que también en tiempos atrás muy cercanos también hubo presencia de erosiones muy altas a consecuencia de la transformación de grandes extensiones de bosques en zonas agrícolas y la tala indiscriminada. Asimismo, este autor sostiene que las erosiones que suceden sin que el hombre influya directa o indirectamente se denominan erosión geológica o natural y que en este tipo de erosión los niveles de pérdida son considerablemente aceptables.

Cuando la erosión se produce de manera natural es aceptable y cuando este proceso es inducido por la mano del hombre ya este proceso tiende a incrementar y llegar a tener una denominación de erosión acelerada en donde los niveles de pérdida de suelo llegan a niveles no aceptables (...). Es así que la erosión natural

se regenera en el tiempo por si solo a ello por acciones del hombre la erosión acelerada dificulta la recuperación. No obstante, se han encontrado tasas de erosión altas generados de manera natural las cuales son denominados badlands, erosión abaja en espacios antropizados como en terrenos con andenerías que por el hombre son usados para la agricultura. Es preciso mencionar que habitualmente la erosión que ocurre de manera natural es con rangos o niveles muy bajos y aceptables (Cerdá, 2001).

2.2.3.1 Variación en el espacio y en el tiempo.

La erosión se manifiesta en diferentes niveles según transcurren los años y esta depende del espacio. A nivel global la erosión en mayor proporción están relacionados con el clima, también se puede mencionar que a mayores extensiones de suelo con geografía abrupta favorecen el desprendimiento. La variación de las tasas de erosión principalmente en el tiempo dependen del cambio del factor C y la capacidad de la lluvia de desprender fracciones de suelo. Asimismo, en estudios con estaciones meteorológicas se han puesto en evidencia de que las primeras lluvias son las que generan tasas altas de erosión (Cerdá, 2001).

2.2.4 Agentes de la erosión.

SENAMHI (2017) sostiene que los principales agentes erosivos son el agua en forma de lluvia y el viento en menor grado. Es así que la erosión causada por el agua (lluvia) es denominada erosión hídrica y cuando la erosión es causada por el viento se le denomina erosión eólica. Muy aparte de ello existen otros factores que influyen en la erosión pero que contribuyen en menor grado, como por ejemplo la gravedad, efecto causado por maquinarias y también dentro de este grupo se incluye los procesos biológicos que favorecen la erosión. Es oportuno resaltar que es la erosión hídrica es el que mayor influye y más pérdida de suelo genera en el

Perú, debido a que en este país la mayoría de su población se dedica a la actividad agrícola.

2.2.5 Clases de erosión de suelos.

Muchos autores definen la erosión de formas y criterios diferentes, es así que Heano (citado por Pedraza, 2015) menciona “dos formas de erosión del suelo: erosión generada por procesos geológicos o de forma natural y causada por las actividades del hombre”. En el siguiente párrafo se define de manera independiente:

a) La erosión geológica o natural.

Según afirmación de Hudson (2006) “generalmente nos referimos a “erosión geológica”, “erosión normal” o “erosión natural” cuando suponemos que resulta solo de fuerzas de la naturaleza” (p.17). Asimismo, Pedraza (2015) sostiene que se denomina a la erosión que originado de manera natural y que se considera que no está a su alcance o responsabilidad el control de la magnitud. Asimismo, este autor sostiene que la magnitud es tan mínima que es difícil diferenciar a simple vista, es más contribuye en la formación de nuevos relieves y en la formación de nuevos suelos a través de la meteorización de la roca madre. En este proceso intervienen el agua a través de la lluvia, el desgaste de las causas por el transcurso de los ríos, por la actividad del viento, por efecto de la temperatura y por los efectos favorables de la topografía. Este tipo de erosión sucede de manera permanente, así favoreciendo el equilibrio de los elementos químicos en el suelo y la permanencia de los seres vivos, es decir mantiene en condiciones favorables para el desarrollo de la vida.

La erosión geológica siempre ha existido y siempre existirá. Se puede

apreciar un constante cambio por efecto de la erosión, resultado de ello se puede ver surgir montañas, calones o quebradas que cada vez se hacen más profundos y amplios, islas que se pierden y aparecen en las costas. La geografía que actualmente vemos es producto de una evolución lenta de formación y transformación a raíz de la erosión geológica y no resultado de procesos como cataclismos, la erosión geológica muestra sus resultados en periodos largos de tiempo así como en siglos (Hudson, 2006).

b) La erosión acelerada.

Pedraza (2015) sostiene que se denomina como erosión acelerada a la alteración generada por la actividad del hombre, donde la agricultura por la remoción de la vegetación existente generan un desequilibrio entre la erosión geológica y la regeneración natural, aumentando el ritmo de pérdida de suelo que como efecto altera el estado natural del suelo y sus componentes. La humanidad por necesidad de subsistencia de alimentos favorece la erosión generada por la acción de la lluvia y el viento, es preciso indicar que este proceso incrementa su ritmo en terrenos con pendientes abruptas, sumado a ello la tala indiscriminada de la vegetación, incendios causados, construcción de obras y vías de comunicación. De esta forma Hudson (2006) afirma que “sería raro que una actividad humana reduzca la erosión geológica y que al contrario normalmente tiende a acelerar este proceso”.

Hudson (2006) afirma que la erosión acelerada es: “el acto de sumar el comportamiento humano a la preservación de los elementos naturales. Este tipo de erosión es causado por un inadecuado manejo del recurso suelo”. Asimismo, también sostiene que a escala mundial las actividades no agrícolas del hombre que aceleran los procesos erosivos son apenas significativas. Excavamos montañas

para extraer carbon y otros minerales, abandonamos aquí y colmatamos allí, pero estas alteraciones solo tienen lugar en una pequeña parte de la superficie terrestre. Por el contrario, la agricultura es tan extendida que son mucho más importantes las actividades agrarias que aceleran los procesos erosivos. Y casi todas las actividades agrícolas aceleran los procesos erosivos. Y casi todas las actividades agrícolas tienden a incrementar la erosión. Cuando la vegetación se aclara y la tierra está más expuesta, hay pocos árboles que frenen el viento y la erosión eólica aumenta; hay menos vegetación que pueda absorber la energía de la caída de la lluvia y por ello aumenta la erosión pluvial, es mayor la superficie de drenaje y los barrancos y los ríos son más potentes, y, por último, entra más ganado que altera las rocas y el suelo. Por medio del arado y la azada el hombre remueve y airea el suelo millones de veces más de prisa y eficazmente que los animales del subsuelo: de hecho, todos los procesos físicos de la naturaleza se ven acelerados. Solo en casos aislados existe la posibilidad de que la erosión natural se reduzca, cuando se mejora áreas desérticas, se irrigan regiones áridas o se produce una reforestación, aunque su importancia es infinitesimal comparada con las áreas en las que la erosión aumenta.

2.2.6 Factores de la erosión.

Uno de los factores más fundamentales en la erosión del suelo es la lluvia, debido a que, por efecto de la fricción, realiza el desprendimiento y transporte de partículas de suelo. Cuanto más intenso sea la precipitación aumenta su potencial erosivo. Asimismo, dentro de este grupo se resalta el factor de erodabilidad del suelo, lo que relaciona a la resistencia contra la erosión por efecto de la colisión y desprendimiento del suelo. El suelo cuenta con un efecto de resistencia, este a la vez definirá el grado de erosión en un área determinada. Para definir la

susceptibilidad del suelo a ser erosionado, es determinante las propiedades como la textura y su estructura. La rigidez y la estabilidad es un parámetro que define la erodabilidad del suelo. Un suelo conformado de una variedad de elementos es poco erosionable, debido a la unión de partículas que permite el paso del agua dentro de su estructura. Cuando el material que compone el suelo no se encuentran unidos son fáciles de erosionar, se saturan los poros evitando la fluidez del agua en el suelo (Cerdá, 2001).

Otro de los factores que influye en la erosión de suelos es la pendiente y la longitud. Esto quiere decir que a mayor pendiente también será mayor el grado de erosión, debido a que la topografía influye favorablemente. De la misma forma, la longitud permite la mayor acumulación de material en el trayecto del cauce del agua. En terrenos con mayor pendiente se reflejarán mayores suelos sedimentados en la base. Sin embargo existe la duda de si la erosión incrementa o disminuye con la longitud de la ladera. Hay estudios que demuestran que a mayor longitud de una pendiente es mayor la erosión, haciéndose este concepto en la USLE (Cerdá, 2001).

Otro factor que determina el índice de pérdida de suelo es la cobertura vegetal, al proteger el suelo del impacto directo de la lluvia y la facilidad que da al suelo de absorber el agua a través de la infiltración. Del mismo modo también, la cobertura vegetal reduce la velocidad de la escorrentía reduciendo el potencial erosivo, debido a que la vegetación incrementa la porosidad del suelo, por la degradación de los restos incrementa la materia orgánica (Cerdá, 2001).

2.2.7 Mecanismos de la erosión de suelos.

Cuando realizamos un análisis a mayor detalle, la erosión del suelo sucede de tres formas, las cuales son: el desprendimiento, transporte y la acumulación

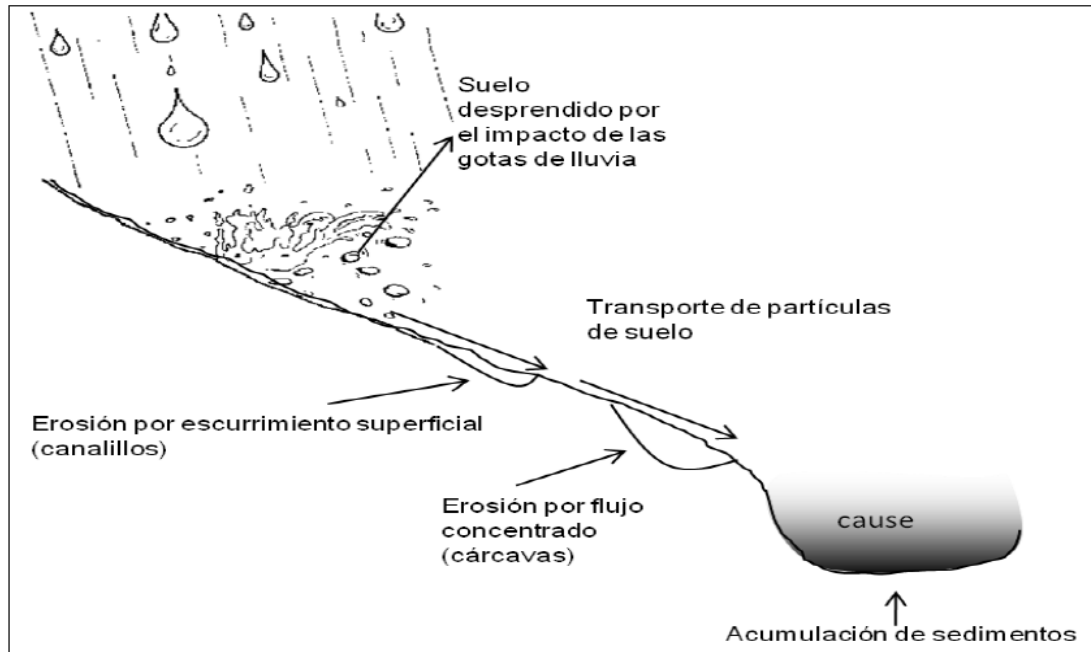
mediante la sedimentación. La erosión no se podría dar sin los tres procesos mencionados. Muchos permanentemente confunden el término de meteorización con la erosión. La meteorización es la parte inicial de un proceso de erosión, ya que durante este periodo no existe movimiento de partículas de suelo. Durante el proceso de desprendimiento es importante resaltar el efecto que las gotas de lluvia tienen de arrancar o desprender partículas de suelo de su lugar de origen, ya que el transporte se realiza a través del escurrimiento del agua por la superficie del suelo. Las gotas de agua por el efecto de la gravedad llegan a compactar el suelo y a través de la salpicadura se logra arrancar y trasladar partículas de suelo. Cabe mencionar que la salpicadura de las gotas de lluvia, tienen más velocidad que el impacto, por ello pueden llegar a dispersar material a espacios diferentes y más si el factor topográfico favorece. La salpicadura llega a tener mayor eficiencia en terrenos con cultivo o espacios que han sufrido incendios forestales o en caso la cobertura vegetal es muy poco (Cerdá, 2001).

2.2.8 Erosion hidrica.

Según afirmaciones del SENAMHI (2017) “se denomina erosión hídrica, cuando es causado por acción y efecto de la lluvia”. De la misma forma Morgan (citado por Pedraza, 2015) sostiene que la erosión hídrica está relacionada directamente a la pérdida de suelo por acción y efecto de la lluvia, resaltando el potencial de arrancamiento de las gotas de lluvia y la escorrentía que genera al transcurrir a través del suelo así como se muestra en la (Figura 5). La lluvia genera erosión cuando fluye por la superficie del suelo, muestra de ello se forman canales, asimismo la intensidad de la precipitación será un condicionante primordial que permita determinar el grado de erosión.

Figura 5

Procesos de erosión Hídrica.



Fuente: CNA (citado por Pedraza, 2015)

2.2.9 Formas de Erosion Hidrica.

2.2.9.1 Erosión por salpicaduras.

SENAMHI (2017) afirma que “Las gotas de lluvia al caer al suelo por su energía cinética causan el salpicamiento, este proceso ocurre cuando el impacto de las gotas de lluvia remueve cantidades de suelo”. Asimismo, Muños (citado por SENAMHI, 2017) indica que “el suelo que por el proceso de salpicamiento se remueve es 50 a 90 veces más suelo que por efecto del arrastre. Según estimaciones realizadas, en suelos sin cobertura vegetal, se salpican 224 mg/ha de suelo causado por el factor de Erosividad de la lluvia. Es preciso mencionar que por el efecto de salpicamiento las partículas de suelo no son removidos muy lejos del área de impacto. Del mismo modo cuando se quiere determinar la influencia de la energía de la lluvia en la erosión, el tamaño que poseen, la forma, velocidad y su dirección, ya que de esta dependerá el potencial de desprendimiento en el suelo.

2.2.9.2 Erosión Laminar.

Rivera (SENAMHI, 2017) afirma que: Se denomina erosión laminar cuando el suelo por efecto del agua es removido en forma de láminas o capas uniformemente en un área determinada. Por la energía cinética de las gotas de lluvia en el suelo se forman como riachuelos microscópicos que de paso presentan velocidades aproximadas de 0.3 a 0.6 m/s. por acción y efecto de la lluvia se genera el arrancamiento de partículas de suelo, estas al sedimentarse saturan los poros en el suelo perjudicando el proceso de infiltración. La energía con la que es movilizad este tipo de erosión depende de la profundidad y la velocidad con la que se moviliza la solución.

2.2.9.3 Erosión en surcos.

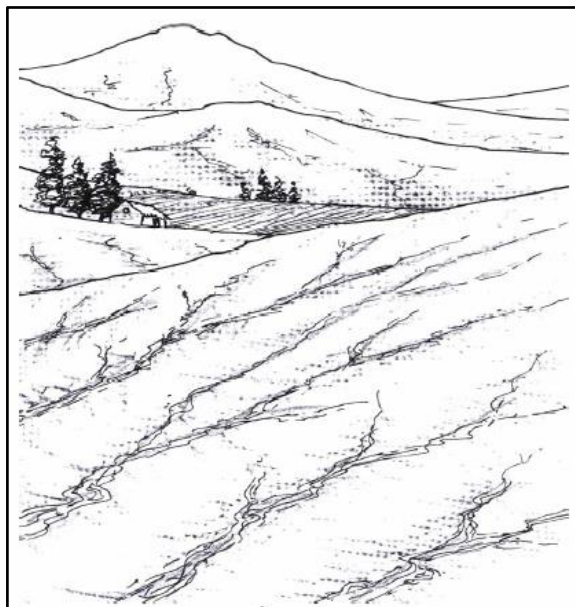
Sucede cuando el suelo se satura de agua y va generando movimiento de suelos en forma de pequeños canales, este efecto es muy notorio cuando se hace verificación en campo. Estos canales en el transcurso se vuelven fijos y se puede diferenciar con facilidad. Cuando sucede este tipo de erosión, el arrancamiento y el escurrimiento con más graves debido a que se forman pendientes que favorecen el desprendimiento y transporte, a ello le favorece más cuando la sección del canal es más extensa (SENAMHI, 2017).

Cuando se forma un flujo compuesto de partículas de suelo, éste en el trayecto del surco arranca suelo y traslada junto al material en movimiento, producto de la erosión laminar y también generado por salpicado. En tierras de cultivo los surcos formados por esta forma de erosión son fácilmente borrados por las maquinarias cuando estas son removidas para el uso en la actividad agrícola. Es así que la cantidad de suelo removido por la erosión en forma de surcos dependerá de la capacidad que el flujo tiene de desprendimiento y la capacidad de transporte

en ese momento. En la erosión en forma de surcos disminuye a medida se van acumulando los sedimentos (SENAMHI, 2017).

Figura 6

Erosión en canalillos



Fuente: <http://www.green.go.jp/gyoumu/kaigai/manual/bolivia/03text/spanish/01.pdf>

2.2.9.4 Erosión en cárcavas.

Esta forma de erosión se caracteriza por presentar la misma característica que la forma de erosión en surcos a diferencia de que en la forma de erosión en cárcavas las dimensiones de los surcos son más considerables en tamaño, estos canales pueden conducir agua y partículas de suelo de manera inmediata o luego de la ocurrencia de un evento lluvioso, es así que por la magnitud y tamaño de los canales formados las maquinarias difícilmente pueden borrar. Por ello se dice que la erosión en cárcavas se denomina cuando la erosión laminar y en surcos incrementa en magnitud. El grado de erosión dependerá de los rasgos del suelo, tamaño del surco, forma y la pendiente o inclinación del surco (SENAMHI, 2017).

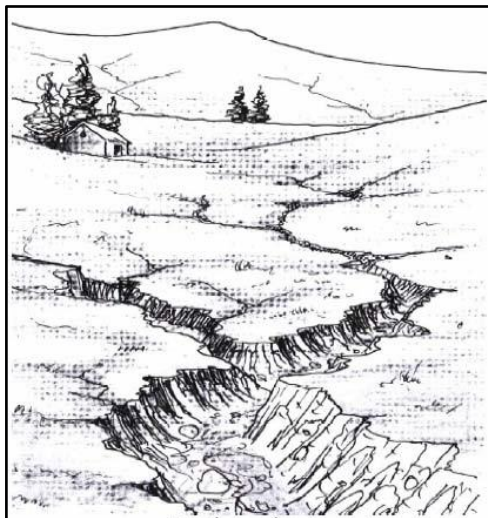
Según Muños (2006) sostiene que las cárcavas se pueden formar en un solo periodo o también en varios eventos climáticos. Seguidamente se mencionan los

procesos considerados:

- 1) Erosión causada por acción y efecto de caída del agua en el lugar de origen de los arroyos;
- 2) Erosión de canales debido al agua que fluye en pequeños arroyos o gotas de lluvia que salpican el suelo sin cobertura vegetal; y
- 3) Erosión causada por la corriente de flujo a través del cauce del arroyo y por el desprendimiento originado por la salpicadura de la precipitación y su impacto directo en suelos con ausencia de cobertura vegetal; y
- 4) Deslizamiento por efecto del desgaste y transporte de grandes cantidades de suelo a través del cauce del arroyo.

Figura 7

Aspecto de una cárcava.



Fuente: <http://www.green.go.jp/gyoumu/kaigai/manual/bolivia/03text/spanish/01.pdf>

2.2.10 Agentes que influyen en el proceso de erosión hidria.

Peláez (2001) considera 3 tipos de agentes erosivos, las cuales son: el agua, el viento y los glaciares. El agua es el más resaltante debido a que existen zonas que presentan altos niveles de precipitación, así como en los trópicos, por lo que este autor considera como una variable en su investigación, la erosión generado por el agua en forma de precipitación y su influencia de los diferentes agentes

erosivos. Es así que la FAO (2009) sostiene que “el clima es un factor primordial que determina el crecimiento de la vegetación y el tipo de suelo”

2.2.10.1 Lluvia.

Peláez (2001) sostiene que: “la precipitación o la lluvia se considera como el principal medio que provee agua a la superficie del suelo, la magnitud de escorrentía que se moviliza en forma de capas de manera informe que depende de su cantidad, intensidad y frecuencia”.

Con respecto a la primera Morgan (citado por Peláez, 2001) expone que, entre un rango general, la pérdida de suelo logra su valor máximo con una precipitación de 300 mm/año, y cuando un evento de lluvia está por debajo de este valor, la erosión aumenta con la precipitación, pero cuando supera este valor, el impacto de los usos protectores proporcionados por la vegetación, aprovechar más lluvia significa menos pérdida de tierra. Entre las características de la precipitación que parecen menos importantes para explicar la pérdida de suelo está la cantidad, y el desarrollo de este estudio se ha centrado específicamente en dos factores: Residuos: intensidad y tasa de frecuencia

❖ Intensidad de la lluvia.

Peláez (2001) afirma que, este es el primer factor que conduce a la erosión, porque la tasa de infiltración de agua en el suelo a menudo no es suficiente; cuando cae con gran fuerza, produce la aparición de una grandes cantidades de agua en la superficie del suelo en poco tiempo, creando rápidamente un flujo, por lo que; La precipitación no es tan importante como la intensidad. A este respecto, Hudson (citado por Peláez, 2001) sostiene que Muestra que la lluvia fuerte típica en los trópicos tiene efectos mucho más catastróficos que el aguacero moderado en climas templados; La zona de altas precipitaciones se encuentra entre los 40° de

latitud norte y los 40° latitud sur. En áreas semiáridas, donde la erosión causada por lluvia es más común durante tormentas severas, aunque en cantidades pequeñas. En zonas con climas templados, la intensidad de la precipitación es superior a los 75 mm/h, lo que ocurre con mayor frecuencia en el caso de las tormentas de verano, y en zonas con climas tropicales la magnitud puede llegar a alcanzar los 150 mm/h. La relación entre la precipitación y las características del suelo en las que se producen las condiciones de escurrimiento existen fenómenos entre la intensidad de la lluvia y la tasa de infiltración en el suelo, tales como:

Escurrimiento = intensidad – velocidad de infiltración

Así, conforme lo describe Horton (citado por Peláez, 2001), si la magnitud de la precipitación se encuentra por debajo de la capacidad de intrusión, no se producirán inundaciones y el potencial de infiltración será lo mismo a la intensidad de la lluvia; Aparte de eso; Si la magnitud de la precipitación supera la capacidad de infiltración, la tasa de infiltración será igual a la capacidad de infiltración y el restante del agua de lluvia formará escorrentía; Mientras tanto, la relación entre densidad y permeabilidad como mecanismos básicos de escorrentía no siempre es clara. es por eso que Morgan (citado por Peláez, 2001), sostiene que los resultados de una investigación realizado en el Reino Unido, donde los suelos arenosos tenían una permeabilidad de 400 mm/h, no se controlaron las variables responsables del flujo. Morgan explica que ese es el contenido limitado del suelo, ya que cuando se excede, la presión del agua en los poros de la superficie del suelo cae a un valor de cero (cero), lo que permite la formación de charcos. “Este mecanismo explica por qué la arena, con bajo almacenamiento capilar, provoca flujos rápidos, incluso cuando la intensidad de la precipitación no supera su permeabilidad”. “En general, se puede decir que mientras la tasa de infiltración es mayor que la intensidad de la

precipitación, la escorrentía no causará erosión, dado que las lluvias moderadas provocarán erosión cuando el suelo está saturado” (Peláez, 2001).

Relación entre magnitud de la lluvia entre erosión de suelo

Tabla 1

Relación entre magnitud de la lluvia entre erosión de suelo

Intensidad máxima en 5 minutos (mm/h)	Número de eventos de lluvia	Erosión promedio por lluvia (kg m2)
0-25.4	40.0	0.37
25.5-50.8	61.0	0.60
50.9-76.2	40.0	1.18
76.3-101.6	19.0	1.14
101.7-127.0	13.0	3.42
127.1-152.4	4.0	3.63
152.5-177.8	4.0	3.87
177.9-254.0	1.0	4.79

Fuente: Morgan (citado por Peláez, 2001, p.30)

❖ **Frecuencia de la lluvia.**

“La respuesta del suelo a la erosión antes de que llueva se puede determinar a partir de las condiciones climáticas previas” así sostiene Morgan (citado por Peláez 2001). Por lo tanto, dos lluvias consecutivas que no secan el suelo pueden significar que la segunda lluvia tiene poca o ninguna infiltración y la mayor parte se pierde por escorrentía. Este fenómeno es similar a lo que sucede cuando el suelo se satura durante un largo período de lluvia: la filtración desaparece y se crea la escorrentía. En este punto Suarez (citado por Peláez, 2001) afirma que la frecuencia de las lluvias críticas depende de las condiciones del suelo, por lo que cuando los intervalos de lluvia son cortos, la humedad del suelo es inicialmente más alta, por lo que aumenta la probabilidad de eventos de baja intensidad, mientras

que en el campo ocurre lo contrario cuando el evento de precipitación es extenso.

Tabla 2

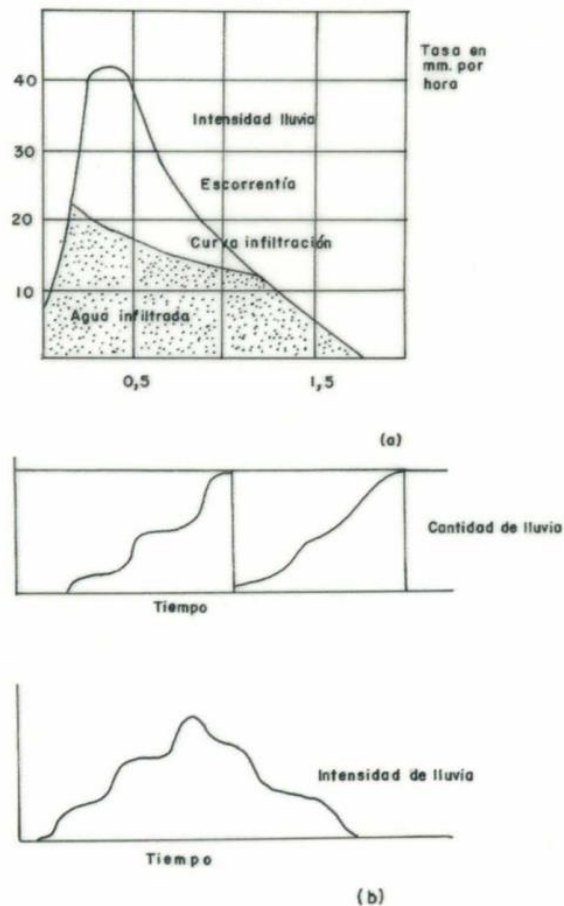
Escorrentía y erosión a diferentes intervalos entre eventos de lluvia

Intervalo entre precipitación (días)	Cantidad de precipitación (mm)	Intensidad en 5 minutos (mm)	Escorrentía a	Erosión (ton ha ⁻¹)
17.0	17.8	3.0	0.09	0.002
2.0	12.6	2.2	2.36	0.395

Fuente: Suárez (citado por Peláez, 2001, p.31)

Figura 8

a) Relaciones de precipitación- Escorrentía y b) tipos de mediciones de la intensidad de lluvia, Suárez.



Fuente: Peláez, 2001, p.32

2.2.10.2 Pendiente de terreno.

En condiciones normales, se espera que la erosión aumente tanto con la pendiente como con la longitud de pendiente debido a los aumentos correspondientes en la velocidad y la masa de la superficie. Además, mientras que el impacto de las gotas de lluvia sobre una superficie plana arroja partículas de suelo al azar en todas las direcciones en condiciones de pendiente pronunciada, se salpica más suelo hacia abajo que hacia arriba, por lo que la relación aumenta a medida que aumenta la inclinación sostiene Morgan (citado por Peláez, 2001).

Teóricamente, la ley de caída de un objeto: la velocidad del agua cambia con la raíz cuadrada de la distancia vertical recorrida a través de ella, y su fuerza de erosión cambia con el cuadrado de la velocidad, es decir, cuando la pendiente del suelo se duplica, se cuadruplica, duplica la velocidad a la que el agua fluye a través de él cuatro veces, lo que aumenta su potencial de corrosión (Peláez, 2001).

❖ Grado de pendiente.

“La pendiente regula casi exclusivamente la tasa de circulación del agua superficial” (Peláez, 2001, p.34). Este suceso es representado a través de la ecuación que se muestra seguidamente:

$$X_c = 0.065 * S^{(1.49)}$$

X_c , Indica la cantidad total de tierra perdida por peso.

S , Indica la pendiente del terreno en valores porcentuales (%)

❖ Longitud de la pendiente.

“Afecta la velocidad debido a la elevación del agua acumulada en la parte baja de las laderas, estas elevaciones son todas más importantes cuando las laderas son más anchas en la parte alta” (Peláez, 2001). Suárez (citado por Peláez, 2001), muestra y resume los resultados de varios estudios para determinar la

correlación entre la pérdida de suelo y la longitud de la pendiente usando el siguiente modelo:

$$X = 0.0025 * L^{(1.53)}$$

X, indica la cantidad total de suelo perdido en unidades convencionales.

L, indica la Longitud horizontal del suelo en unidad de medida “pies”

Tabla 3

Pérdida promedio de suelo a diferentes longitudes de pendiente y condiciones de pendiente:

Longitud parcelas (pies)	Pendiente parcelas (%)	Pérdida promedio de suelo (lb)
8.0	4.0	5.83
8.0	4.0	5.32
8.0	8.0	12.50
8.0	8.0	13.12
8.0	12.0	25.13
8.0	12.0	21.73
16.0	8.0	41.35
16.0	8.0	37.44

Fuente: Suárez (citado por Peláez, 2001, p.35)

Peláez (2001) “muestra que la ecuación general derivada de estos datos para estimar la pérdida de suelo viene dada por la siguiente ecuación”:

$$X = 0.0026 * S^{1.37} * L^{1.53}$$

X, representa la erosión generado por la escorrentía (lb)

S, la inclinación del terreno (pendiente) (%)

L, la longitud de la pendiente en forma horizontal (pies)

Es así que la pendiente y la longitud de pendiente controlan en gran manera

la tasa de flujo del agua y, por ende, en la erosión del suelo, se debe considerar el papel del tamaño del grano. De la misma forma Morgan (citado por Peláez, 2001) indica que la tasa crítica, necesaria para el transporte, aumenta para partículas mayores de 0,5 mm de diámetro, mientras que para partículas más pequeñas que este valor, la tasa crítica aumenta a medida que aumenta el tamaño de las partículas. Las partículas de suelo con dimensiones más pequeñas y finas son las más difíciles para la erosión, debido a la adherencia entre minerales de tipo arcillosos que las retienen, y cuando una partícula se mueve, solo se asienta cuando la velocidad está por debajo de la velocidad umbral, por lo que se requiere menos fuerza para retenerla. Las partículas se mueven en lugar de ser introducidas. Las partículas de suelo de 0,1 mm requieren una velocidad de flujo de 60 cm/s para separarse, pero se asientan solo cuando la velocidad de flujo cae por debajo de 0,1 cm/s. Por otra parte, Morgan (citado por Peláez, 2001) menciona que, para dimensiones de partículas variados, las partículas más pequeñas y las que son más finas están cubiertas por las partículas de mayor grosor, por lo que se eliminan solo cuando se necesita la velocidad del flujo para eliminar las partículas más grandes, pero para contrarrestar esto. En este caso, la acción de la presa separa el suelo. partículas y las elimina, las cuales son arrojadas al arroyo. hasta que el caudal sea menor que el caudal descendente deseado.

2.2.10.3 Material parental.

La primera clasificación de las rocas se estableció según su origen, en la que se pueden distinguir tres tipos de rocas: ígneas, metamórficas y sedimentarias. Según su dureza relativa, se pueden dividir en blandos (sedimentarias) y duros (metamórficos), que son más estables y más densos debido a la mayor densidad entre sus minerales constituyentes. Las rocas sedimentarias, por otro lado, tienen

una mayor porosidad, lo que permite que el agua penetre dentro de la roca, lo que facilita el proceso de meteorización, lo que da como resultado un ablandamiento efectivo del material y, por lo tanto, una mayor susceptibilidad a la erosión (Peláez, 2001).

2.2.10.4 Características internas de los suelos.

Aquí se destacan sus efectos sobre la infiltración, textura, la cantidad de material orgánico y la estructura del suelo, dándole diferentes características de infiltración y erosión. La textura y la estructura del suelo a menudo se consideran las características físicas más importantes porque constituyen otras características de la erosión del suelo. La estructura determina en gran medida la velocidad y el patrón del movimiento vertical del agua en el perfil del terreno, por lo que la estructura en capas favorece el movimiento del agua muy lento, mientras que la estructura en columnas favorece el movimiento rápido, incluso si tienen una textura arcillosa, Henao (citado por Peláez, 2001). “La repercusión de esta propiedad también consiste en que facilita el crecimiento de las cepas, por lo que el suelo tiene una estructura granular propicia para su crecimiento y desarrollo, a diferencia de lo que sucede en el suelo en condiciones de estratificación (Peláez, 2001). “En cuanto a la textura, determina la permeabilidad en el suelo, por lo que la permeabilidad puede tener una variación a partir de 200 mm/ha para arena, inferior a 5 mm/ha para tipos de suelo arcilloso”, así sostiene Withers y Vipond (citados por Peláez, 2001). Generalmente es aceptable cuando en suelos de tipo arenoso la tasa de infiltración es mucho mayor que en suelos arcillosos, ralentizando el nivel de saturación y por tanto la formación de escorrentía en la superficie del suelo; mientras tanto, cuando la superficie es empinada, los suelos sueltos y livianos tienen más probabilidades de separarse o alejarse de donde están debido a los

efectos posteriores de la presa y la gravedad (Peláez, 2001).

2.2.10.5 Vegetación.

La cobertura vegetal actúa como regulador de los fenómenos de corrosión, controla el exceso de agua en el suelo, reduce los caudales e integra el suelo en general, sin embargo, su desempeño puede variar dependiendo de las características de tamaño, sistema radicular, método y velocidad de desarrollo, etc. A veces, incluso puede promover condiciones inestables en pendientes pronunciadas (Peláez, 2001).

La vegetación evita que las gotas de lluvia golpeen directamente la superficie disipando la energía que transportan, parte del agua que cae es bloqueada por la vegetación aumentando la tasa de infiltración, otra parte se evapora y el resto vuelve a descender. La densidad y el tipo de vegetación afectan la escorrentía y la erosión del suelo, con más espacios abiertos y menor productividad, bosques y/o pastizales (Taypanta, 1993).

En términos generales Suárez (citado por Peláez, 2001), “las formas o mecanismos de defensa de las plantas en el suelo son: dispersión directa, incluyendo la contención y evaporación del follaje y la evaporación de las gotas de lluvia”.

- ❖ Transpiración; contiene humedad que, de la profundidad de las capas pasa al aire, que posteriormente de manera directa es protegido de las gotas de lluvia.
- ❖ Efecto sujetador; es lo que desempeñan las raíces de las plantas sobre los pequeños fragmentes de suelo.
- ❖ Penetración de raíces a través del perfil; consiste cuando las raíces penetran en las secciones y cuando la planta muere, dejan aberturas para facilitar la

penetración y la aireación.

- ❖ Mejora la estructura del suelo, transportando principalmente materia orgánica y luego percolando.
- ❖ Aumenta el coeficiente de rugosidad y el coeficiente de dispersión lateral del flujo, reduciendo así el caudal y la velocidad del flujo.

Es más, Peláez (2001), propone respecto al efecto de cobertura del suelo relacionado a la energía cinética de la precipitación. De manera global, se encontró que las capas de cobertura vegetal en diferentes capas favorecen una mayor infiltración de agua en el suelo, a diferencia de los pastizales monocapa o suelo desnudo, donde la infiltración de agua fue significativamente inferior.

Tabla 4

Infiltración del agua (cm³) en terrenos con diferentes tipos de cobertura vegetal

Tiempo (min)	Tipo de cobertura		
	Bosque	Pastos	Suelo desnudo
5.0	60.0	21.0	5.3
10.0	119.0	45.8	11.0
30.0	360.0	127.0	35.5
60.0	715.0	250.0	63.0

Fuente: Suárez (citado por Peláez, 2001, p.38)

Hay que tener en cuenta que en algunos casos la vegetación puede dejar de cumplir su función protectora e incluso iniciar procesos corrosivos. Desde un enfoque de aplicación de leyes de la mecánica y la hidráulica a los problemas geotécnicos del terreno, si se tiene en cuenta la capacidad portante de la cimentación superficial, el apoyo de la cimentación puede fallar cuando se supera cierta carga crítica, debido a que la capacidad de carga del talud depende de la fuerza de adherencia, como el ángulo de rozamiento, Ploey y Franco, (ambos

citados por Peláez, 2001).

Si bien el efecto benéfico de la cobertura inicial puede ser obvio, este no es el caso desde el punto de vista de la mecánica del suelo, la cual está relacionada con la reducción de la energía cinética de las gotas de lluvia debido al bloqueo de esta gota por bosques de gran tamaño; así, conforme lo expone Maene y Sulaiman (citados por Peláez 2001), la magnitud o tamaño de los bosques no reduce la fuerza de la lluvia, porque, por ejemplo, las gotas que caen desde una altura de 7 m pueden alcanzar una velocidad terminal de más de 90% de su fuerza terminal.

2.2.11 Evaluación de la erosión.

Considerando las intervenciones territoriales en el marco de la gestión de la remediación de procesos corrosivos, es imperativo contar con herramientas que ayuden a captar las características subyacentes de estos procesos; Para ello es posible utilizar escalas de calificación que, aunque muy elaboradas, las enriquecen de manera diferente con la subjetividad, por otra parte muy útiles por su facilidad de uso y útiles para medir el trabajo en las diferentes etapas de tal intervención, incluso permitiendo el desarrollo de mapeo temático (Peláez, 2001).

Tabla 5

Grados de erosión según su intensidad

Grados de erosión	Procesos que ocurren
1: No hay	
Sin pérdida de suelo debido a la resistencia de la superficie	Hundimientos
2: Erosión ligera	
La capa superior del suelo está uniformemente diluida, sin signos de erosión. La erosión de losas ocurre en menos del 25% del área de la parcela	Erosión laminar, Erosión pluvial

3: Erosión moderada	Erosión laminar severa, Solifluxión con pequeños hundimientos en semicírculo. Terracetas
La capa superior del suelo ha perdido su espesor y los pequeños surcos son visibles. Ocurre del 25% al 75% del área del lote	
4: Erosión severa	Erosión combinada (laminar, surcos, cárcavas), coladas de barro, Deslizamientos y derrumbes
La capa orgánica se pierde casi por completo, apareciendo a menudo surcos y cárcavas. Ocurre en el 75% del área del lote.	
5: Erosión muy severa	Erosión en cárcavas, Remociones masales
Presencia de cárcavas en una cuadrícula densa; paisaje sin vegetación, deslizamientos de tierra, lodo grande frecuente	

Fuente: Gómez y Alarcón (citado por Peláez, 2001, p.60)

Tosi (citado por Peláez, 2001) sostiene que: También hay tablas de evaluación de erosión utilizadas por varios sistemas para identificar usos potenciales de la tierra:

Tabla 6

Clasificación de la erosión

Grado de erosión	Descripción
0. Nula	Sin signos de erosión
1. Ligera	Presencia de signos de arrastre de suelo por ausencia de pequeños canales que retienen agua en terrenos con cultivo y presencia de signos de depredación de pastos.
2. Moderada	Presencia de signos de erosión por presencia constante de pequeños canales y surcos con poca profundidad que se forman en medio de los campos con cultivos. Es poca o nula la existencia de cárcavas.

3. Severa	<p>Se muestra gran cantidad de surcos aun cuando se haya realizado el arado, es muy notorio la presencia de los canales y surcos en las áreas de cultivo, asimismo se notan las huellas medianamente profundas en ausencia de cobertura vegetal sumado a ello pequeños deslizamientos en áreas con pendiente considerable en áreas con cultivos de pastos. Es notorio la presencia de pequeñas cárcavas que dicho sea de paso no son corregibles por procesos de arado o por cualquier tipo de nivelación mecánica.</p>
4. Extrema	<p>Se considera de esta manera, cuando el suelo se encuentra definitivamente destruido ya con vista del horizonte B o en casos extremos con vista del sub suelo, en algunas zonas ya se pueden mostrar la formación de microrelieves de la clase 4(ondulaciones considerables con más profundidad y más angostas), las cárcavas son profundas, densas y ramificadas. En algunos territorios, con presencia de cortes de nivel extremo de los horizontes en el suelo, a veces con presencia o ausencia de cárcavas. En esta clasificación se consideran los deslizamientos y sedimentación en grandes cantidades de suelo en las partes bajas por efecto gravitatorio.</p>

Fuente: Tosi (citado por Peláez, 2001, p.61)

Nuevamente, con base en la erosión del suelo, la susceptibilidad a la erosión del suelo y con base en estimaciones de pérdida de suelo ($\text{ton ha}^{-1}\text{año}^{-1}$). CIAF (1983) y CENICAFE (1975) ambos citados por Peláez (2001), presenta la clasificación de la erosión de suelos, así como se muestran en la tabla 7 del presente estudio.

Tabla 7*Clasificación de erosión de suelos según su erodabilidad*

Clasificación según erodabilidad	
Clases de erodabilidad	Pérdida de suelo (ton/ha)
Ligera	<2.5
Moderada	2.5-10.0
Severa	10.0-25.0
Muy severa	>25.0

Fuente: CIAF (citado por Peláez, 2001, p.61)

Tabla 8*Grado de erosión en función de la pérdida anual de suelo*

Grado de erosión en función de la pérdida		
Grado de erosión	Pérdida anual	
	Ton /ha	Espesor (mm)
Natural	<1.0	<0.10
Baja	1.00-3.00	0.10-0.30
Media	3.00-5.00	0.30-0.50
Alta	5.00-10.00	0.50-1.00
Muy alta	10.00-20.00	1.00-2.00
Severa	20.00-30.00	2.00-3.00
Muy severa	>30.00	>30.00

Fuente: CENICAFE (citado por Peláez, 2001, p.62)

Tabla 9*Clasificación de pérdida de suelo*

Pérdida de suelo (t/ha-año)	Grado de Erosión Hídrica
<10.0	Ninguna o ligera
10.0-50.0	Moderada
50.0-200.0	Alta
>200.0	Muy Alta

Fuente: FAO, 1985

2.2.12 Modelo RUSLE.

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) (Wischmeier et al., 1978) y su versión revisada, RUSLE (Renard et al., 1997) son determinados de la misma manera, los cambios están en el proceso de estimación de los factores de corrosión. Estos modelos estiman el daño anual promedio a largo plazo del suelo por unidad de área de erosión no dirigida utilizando la erosión anual promedio como variable de respuesta. Aunque USLE y RUSLE usan los mismos coeficientes para calcular la erosión anual promedio del suelo, se han realizado muchas mejoras desde que Wischmeier y Smith comenzaron la investigación y el desarrollo de USLE en la década de 1950 (Lucas, 2012), (citados por Sabino, 2014).

El método utilizado para estimar la pérdida de suelo se basa en la "Ecuación universal de pérdida de suelo" de USLE, un modelo propuesto originalmente por Wischmeier y Smith en 1962 y luego publicado en forma final en el Libro o Manual 534 de USDA Wischmeier & Smith (1978) citados por (SENAMHI, 2017). Este modelo es una versión modificada de la "Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada" (RUSLE) de Renard y Foster de 1989. Este método ha sido ampliamente aceptado en los Estados Unidos y otros países con problemas de erosión. El modelo matemático RUSLE utilizado por Renard se muestra a continuación (SENAMHI, 2017).

$$A = R * K * LS * C * P$$

Donde:

- ❖ **A:** es el cálculo de la pérdida espacial y temporal media de suelo por unidad de superficie (ton.ha⁻¹.año⁻¹), expresada en las unidades elegidas para el factor K y el período elegido para el factor erosividad de la lluvia.
- ❖ **R:** es el factor de erosividad (MJ. Mm.ha⁻¹.año⁻¹) de lluvia.

- ❖ **K:** El coeficiente de erosión del suelo ($\text{ton.ha.h.ha}^{-1}.\text{MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$) es la tasa de pérdida de suelo por unidad de índice de erosión para un tipo de suelo determinado.

Los demás factores son considerados fijos y no tienen dimensiones:

- ❖ **L S:** El factor de longitud de pendiente, es la relación entre la pérdida de suelo y la longitud de la pendiente en el área de prueba, y el factor S, que nos dice qué tan empinada es la pendiente, mide la tasa de pérdida de suelo de la pendiente en el área de prueba. En la ecuación, el coeficiente LS se considera como el coeficiente del terreno obtenido al multiplicar los coeficientes L y S (Pan & Wen, 2014) citado en (SENAMHI, 2017)
- ❖ **C:** Factor de cobertura vegetal sobre las tasas de pérdida de suelo en áreas cubiertas y manejo de pérdidas específicas de suelo.
- ❖ **P:** Prácticas de conservación o elementos auxiliares de prácticas y prácticas que respaldan la pérdida de tierras, como la pérdida de terrenos en contornos o azoteas.

Basado en RUSLE, una estimación de la pérdida anual promedio de suelo durante un período representativo del año que ocurre en la superficie del suelo debido a la erosión superficial, formación y excavación de zanjas, en comparación con las variables, determina las condiciones climáticas, el suelo, la humedad, la vegetación y el uso de la tierra. Los supuestos iniciales del modelo RUSLE incluían la precipitación como el principal impulsor de esta erosión superficial (SENAMHI, 2017).

Así, la erosión también varía según el tipo cobertura vegetal que cubre la superficie del suelo, las prácticas culturales o el uso de la vegetación existente. El factor topográfico (LS) y el factor de cobertura vegetal (C) definen el efecto de

erosión generada por la lluvia sobre la erodabilidad cada tipo de suelo, dando como resultado tasas de erosión diferente en cada caso SENAMHI, 2017).

La aplicación inicial de RUSLE a USLE no siempre fue el resultado de una expansión de los datos empíricos, sino más bien de inferencias estadísticas más profundas sobre los datos existentes, a veces más allá de los límites lógicos de los datos existentes, Renard et al. (Citado en SENAMHI, 2017). De la misma forma el mismo autor (SENAMHI, 2017) sostiene que: “Una de las características más notables de la nueva versión de USLE es que a veces se necesita información con más detalle sobre el área que se está investigando, pero esta información no siempre está disponible”.

2.2.13 Estimación de los factores de la erosión hídrica.

2.2.13.1 Factor de erosividad (R).

En su forma original la Ecuación Universal de Suelo Revisada, el factor de erosividad de la lluvia se calculó como la suma de la corrosividad anual promedio de los eventos de lluvia, calculado como el resultado de la energía total de la tormenta y la intensidad máxima durante un período de 30 min (Wischmeier & Smith, 1958). no se encontraron registro de datos de intensidad de lluvia (mm/h) con esta metodología, motivo por el cual se utilizó la ecuación desarrollada por Wischmeier y Smith (1978) (citados por SENAMHI, 2017) para el cálculo del factor “R”,

$$R = \sum_{i=1}^{12} 1.735 \times 10^{\left(1.5 \log_{10} \left(\frac{p_i^2}{p}\right)\right) - 0.08188}$$

Donde R es el coeficiente de erosión por precipitación y la unidad de medida es MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ año⁻¹, Pi es la precipitación mensual en mm y p es la precipitación anual en mm

2.2.13.2 Factor de erodabilidad (k)

Es una medida experimental de la susceptibilidad intrínseca del suelo a la erosión hídrica determinada por las propiedades del suelo. El factor de erodabilidad del suelo se mide en una escala de 0 a 1, donde 0 significa que el suelo es menos propenso a la erosión y 1 significa que el suelo es muy susceptible a la erosión del agua (SENAMHI, 2017).

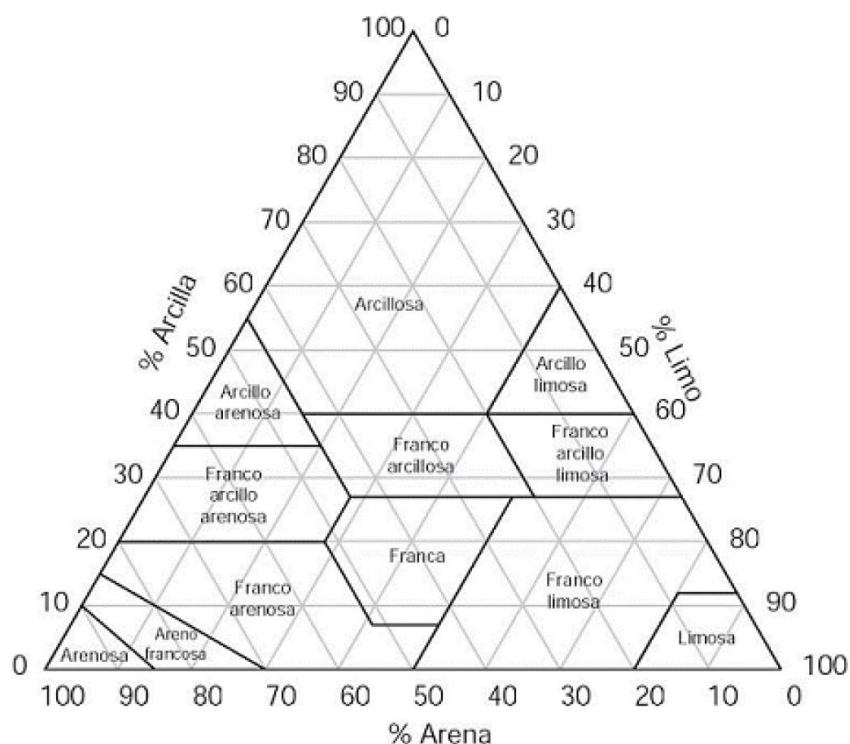
La igualdad algebraica usada por Wischmeier y Smith enfatiza la importancia de la humedad de la superficie en el momento de un evento climático, ya que existe un rango de variación a lo largo de las estaciones del año. Se ha comprobado experimentalmente que los suelos más susceptibles a la erosión corresponden a estructuras intermedias (fracciones aluviales más abundantes), teniendo en cuenta que los suelos con un grado de porcentaje de arcilla superior al 30% no se ven afectados por mucha erosión (citado por SENAMHI, 2017).

Las propiedades del suelo también se ven afectadas por su textura, que también determina su erosión. Estudios ha determinado varios métodos para la estimación el factor de erodabilidad del suelo; Wischmeier y Smith en el año 1978 propusieron una fórmula para estimar el valor, que incluye los siguientes factores: % de limo más arena fina (granos de 0,002 a 0,1 mm de diámetro), % arena (granos de 0,1 a 2,0 mm), contenido de materia orgánica (%), estructura y permeabilidad (Loredo Osti et al., 2007). La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) ha propuesto un método simple de estimación del factor de erodabilidad del suelo (FAO, 1980), en el que se usa la unidad de clasificación y textura del suelo de la FAO/Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) (Figura 9). Como parámetros para determinar K (Tabla 10) (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007), (SENAMHI,

2017).

Figura 9

Diagrama triangular de las clases texturales básicas del suelo según el tamaño de partículas.



Fuente: USDA (citado por SENAMHI, 2017, p.19)

Tabla 10.

La clasificación textural de suelos, está clasificada en textural generales de gruesa, media y fina de acuerdo al porcentaje de arena, limo y arcilla.

Nombres de los suelos (Textura general)	Arena %	Limo %	Arcilla %	Clase textural	N°	Textura
Suelos francos (textura moderadamente fina)	0-45	0-40	40-100	Arcilloso	1	
	0-20	40-60	40-60	Arcilloso limoso	2	
	45-65	0-20	35-55	Arcilloso arenoso	3	
Suelos arcillosos (textura fina)	0-20	40-73	27-40	Franco limoso arcilloso	4	Fina
	45-80	0-28	20-35	Franco arenoso arcilloso	5	
	20-45	15-52	27-40	Franco arcilloso	6	
	0-20	88-100	0-12	Limoso	7	Media

Suelos francos (textura mediana)	20-50	74-88	0-27	Franco limoso	8	Gruesa
	23-52	28-50	7-27	Franco	9	
Suelos arenosos (textura gruesa)	86-100	0-14	0-10	Arenoso	11	
	50-70	0-50	0-20	Franco arenoso	12	
Suelos francos (textura moderadamente gruesa)	70-86	0-30	0-15	Arenoso franco	13	

Fuente: Servicio nacional de Meteorologías e Hidrología (2017, p.19)

2.2.13.3 Factor topográfico (LS)

Ramos (2001) sostiene que el factor LS está dado por el producto de la multiplicación de la inclinación de la cuenca y longitud de la pendiente (p.6, 7).

- ❖ L: El coeficiente de longitud de la pendiente, la proporción de suelo perdido en una determinada longitud de la pendiente en comparación con la longitud estándar de la pendiente es de 22,13 m.
- ❖ S: El factor de inclinación de la pendiente, la tasa de pérdida de suelo del área con una pendiente específica en comparación con la pendiente estándar de 9%.
- ❖ L, S: el factor topográfico

La erosión aumenta a medida que aumenta la longitud y con la pendiente de la cubierta; depende de la tasa de erosión de la placa o ranura.

El Departamento de Hidráulica e Hidrología de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes (Madrid) utiliza un programa de cálculo sencillo. Esta investigación permite construir una tabla que puede atribuir directamente asignar el valor del factor L.S según la pendiente determinada en terreno (citado por Ramos 2001).

Tabla 11*Coefficientes del factor LS*

Grupos de pendientes (%)	Factor LS
0.0 – 3.0	0.3
3.0 -12.0	1.5
12.0 – 18.0	3.4
18.0 – 24.0	5.6
24.0 – 30.0	8.7
30.0 – 60.0	14.6
60.0 – 70.0	20.2
70.0 – 100.0	25.2
> 100.0	28.5

Fuente: ETSIM de la Universidad Politécnica de Madrid (citado por Ramos, 2001, p.7).

Por otra parte, SENAMHI (2017) cree que la longitud de la rampa y su pendiente tienen un impacto significativo en la tasa de erosión del suelo, y la topografía es uno de los principales determinantes de la producción aluvial en el área de captación. El factor de longitud de la pendiente (L) no tiene dimensiones y se define como la relación de la tasa anual de erosión celular para una longitud de pendiente dada. Coeficiente de pendiente (S), definido como la relación entre la tasa de erosión y la pendiente de un sitio determinado.

Así mismo (Renard et al., 1997) citado por SENAMHI (2017) afirma que “En el modelo RUSLE, la topografía general contribuye a la erosión del suelo por dos factores: el factor de longitud (L) y el factor de pendiente (S). Multiplicar los dos factores puede producir el factor LS.

$$LS = 1.07 \left(\frac{\lambda}{20} \right)^{0.28} \left(\frac{\alpha}{10^a} \right)^{1.45}$$

Donde L es el coeficiente de longitud de la pendiente; S es la pendiente; λ es la longitud de la pendiente a lo largo de la proyección (m); α es el ángulo de inclinación en grados de la pendiente.

2.2.13.4 Factor de cobertura vegetal (C)

La vegetación es un elemento natural que protege el suelo de las fuerzas corrosivas de la lluvia al controlar no solo la energía de las gotas de lluvia que llegan a la superficie, sino también la velocidad a la que el agua se mueve por la superficie, Gonzáles (citado por SENAMHI, 2017).

El principal factor de control de la cubierta vegetal es el número total de partes de la planta sobre el suelo, incluidos los tallos, las hojas y las estructuras reproductivas, la superficie de la planta, el uso de suelo, la rugosidad de la superficie y la humedad del suelo. Estimar estos factores es difícil y costoso, y a menudo varían mucho de un año a otro. Por esta razón, es posible obtener rápidamente una buena estimación del factor de cobertura a partir de imágenes de satélite que incluyen únicamente cobertura vegetal (SENAMHI, 2017).

Tabla 12.

Valores del factor de cobertura vegetal (c).

Código	Tipo	Contenido	Factor C
10	Tierra cultivada	Las tierras utilizadas para la agricultura, horticultura y jardines	0.63
20	Bosque	Tierras cubiertas de árboles, con cubierta vegetal más del 30%	0.003
30	Pradera	Terrenos cubiertos de césped natural con una cubierta más del 10%	0.09
40	Matorral	Tierras cubiertas de arbustos con una cubierta de más del 30%	0.22
50	Humedal	Tierras cubiertas de plantas de humedales y cuerpos de agua	0
60	Cuerpos de agua	Las masas de agua en la superficie terrestre	0

70	Tundra	Hierbas y arbustos en las regiones polares	-
80	Las superficies artificiales	Tierras modificadas por las actividades humanas	0.09
90	Tierra desolada	Tierras con cubierta vegetal inferior al 10%	0.5
100	Nieve y hielo permanente	Tierras cubiertas por la nieve permanente, y la capa de hielo	0

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI, 2017, p.22)

2.2.13.5 Factor de prácticas de conservación (P)

Este último elemento de la RUSLE incluye el efecto de las medidas de conservación del suelo sobre las tasas de erosión, las prácticas agrícolas o la disposición de la vegetación en curvas de nivel, franjas o terrazas para cortar los arroyos. El efecto de las medidas de conservación es reducir la longitud efectiva de la pendiente para el flujo (SENAMHI, 2017).

Tabla 13

Factor de prácticas de conservación (P)

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

Fuente: Kim (citado por SENAMHI, 2017, p.22)

2.2.14 Cuencas hidrográficas.

Según SENAMHI (2017) “Un área de captación se considera un área base que no recibe drenaje de ninguna otra área, sino que forma un área de captación que desemboca en otra unidad de drenaje a medida que fluye el río”.

2.2.15 Gestión y uso sostenible de suelos.

2.2.15.1 Gestión sostenible del suelo.

La gestión del territorio es sostenible si se mantienen o mejoran los servicios de soporte, abastecimiento, regulación y culturales que proporciona el suelo sin afectar significativamente las funciones del suelo que posibilitan estos servicios y la biodiversidad. De particular preocupación es el equilibrio entre los servicios de apoyo y garantía de producción de la planta y los servicios de gestión proporcionados por la tierra en términos de calidad del agua, disponibilidad de agua y producción de gases de efecto invernadero (FAO, 2017).

2.2.15.2 Uso de la tierra

El uso de la tierra es el uso actual de la tierra en la que es agrícola o no. El uso de la tierra tiene un impacto significativo en la dirección y la tasa de formación del suelo, el registro aumenta significativamente el valor interpretativo de los datos del suelo (FAO, 2009).

2.2.15.3 Control de la erosión

“La práctica del control de la erosión del suelo se ha desarrollado desde la época de nuestros antepasados, promoviendo así la conservación del suelo. Estas operaciones se dividen en dos grupos: agrícolas y mecánicas” (MINAGRI, 2014).

a. Prácticas agronómicas culturales

Según afirmaciones del MINAGRI (2014) “medidas que, a través del uso racional de las plantas y el suelo, pueden hacer que el control de la erosión del suelo sea simple, efectivo y económico. Dichas prácticas son las siguientes:

- ❖ Uso de las tierras, según su capacidad.
- ❖ Incorporación de abonos orgánicos.
- ❖ Uso de rastrojos de cultivos y restos de cosechas.

- ❖ Cultivos de cobertura y abonos verdes.
- ❖ Rotación y asociaciones de cultivos.
- ❖ Cultivo en contorno.
- ❖ Cultivos en bandas.
- ❖ Barreras vivas.
- ❖ Agro-forestería.

b. Prácticas mecánicas estructurales

- ❖ MINAGRI (2014) afirma que Para ello se construyen eliminando el suelo y en algunos casos otros materiales. Estas prácticas son necesarias para el control inmediato de los procesos de erosión, pero deben complementarse con prácticas agrícolas para garantizar una protección del suelo eficaz y sostenible. La principal práctica de la mecánica estructural es:
 - ❖ Las Zanjas de infiltración.
 - ❖ Los Canales de desviación.
 - ❖ Los Andenes.
 - ❖ Terrazas de formación lenta.
 - ❖ Diques para el control de cárcavas.
 - ❖ Defensas ribereñas.

2.3 Marco conceptual

- ❖ **Acuíferos:** Se define a la formación geológica que almacena agua.
- ❖ **Actividad agrícola:** Se utiliza en economía para referirse a los tipos de productos y beneficios que pueden generarse a partir de actividades como la agricultura. La agricultura es el cultivo de granos, cereales y hortalizas, es una de las actividades más importantes de las que depende la humanidad, e independientemente del avance tecnológico o de las

ganancias, su producción es siempre parte esencial de la economía de la mayor parte del planeta.

- ❖ **Actividad ganadera:** es la crianza de animales es una actividad agrícola mediante la cual se crían animales para obtener carne, leche, lana o productos de piel.
- ❖ **Clima:** es un fenómeno natural en la atmósfera caracterizado por una combinación de muchos factores tales como temperatura, humedad, presión, lluvia y viento.
- ❖ **Cuenca hidrográfica:** Es una unidad territorial en la que confluyen las aguas vertidas por las precipitaciones y desembocan hacia un punto común o todas en un mismo río. La zona está habitada por flora y fauna y en algunos casos por humanos.
- ❖ **Cobertura vegetal:** Es la proporción de tierra utilizada por las comunidades de vegetación.
- ❖ **Compactación:** La compresión es el resultado de la compactación mecánica de partículas de suelo y agregados (múltiples partículas de suelo que juntas forman un grupo o masa). La compactación rompe los agregados de suelo más grandes y reduce o elimina los vacíos (o vacíos) entre las partículas del suelo.
- ❖ **Degradación de suelos:** La degradación de la tierra se define como un cambio en la condición de la tierra que reduce la capacidad de un ecosistema para producir bienes o brindar servicios a los beneficiarios. Los suelos degradados tienen condiciones de salud que impiden proveer los bienes y servicios normales del suelo en sus ecosistemas.

- ❖ **Erosión:** La erosión es el proceso por el cual el suelo es arrastrado por el agua o el viento.
- ❖ **Escorrentía:** Cuando el agua fluye fuera de un embalse o de su canal natural o artificial, se conoce como escorrentía. El agua de lluvia no volátil e impermeable se drena directamente o filtra al fondo de la superficie.
- ❖ **Erosión hídrica:** La erosión hídrica es el proceso de remoción de suelo o rocas sólidas de la superficie mediante la recirculación del agua.
- ❖ **Intercepción:** Parte de la lluvia es interceptado características de la superficie como la cubierta vegetal.
- ❖ **Infiltración:** El agua producida por la precipitación atraviesa la superficie y ocupa todo o parte del subsuelo y los poros del suelo.
- ❖ **Intensidad de lluvia:** La cantidad de agua que se asienta en un cierto período de tiempo.
- ❖ **Pendiente de terreno:** Se denomina a las superficies de terreno con características planas, cóncavas y convexas.
- ❖ **Precipitación:** El agua de los meteoros que cae a la superficie terrestre en forma líquida (llovizna, lluvia, etc.) y sólida (nieve, granizo, etc.) y precipitación oculta (rocío, escarcha, etc.), todo ello debido a la variabilidad de la temperatura o la presión. La precipitación es la única entrada importante al sistema hidrológico continental.
- ❖ **Sobrepastoreo:** Esto sucede cuando los cultivos se dejan pastorear intensivamente durante mucho tiempo o no tienen un período de recuperación adecuado.

- ❖ **Topografía:** Este es un aspecto muy importante de la predicción de la erosión, y factores como la pendiente y la longitud de pendiente determinan el tamaño y la velocidad del flujo.
- ❖ **Zona de recarga hídrica:** Una zona de recarga (o zona de recarga) es aquella parte de una cuenca hidrológica en la que, debido a las condiciones climáticas, geológicas y topográficas, la mayor parte de la precipitación se infiltra en el suelo para recargar los acuíferos más profundos.
- ❖ **USLE:** Este es un método que utiliza seis factores: erosión por lluvia (R), susceptibilidad a la erosión del suelo (K), longitud de pendiente (L), pendiente (S), manejo de cobertura y cultivo, remanentes (C) y medidas de conservación (P). estimar la pérdida de tierra promedio (A) durante el período indicado por el factor lluvia.
- ❖ **Erosividad:** Se entiende como erosividad al potencial de la precipitación de erosionar el suelo, señalando que dicha capacidad esta dado función de las propiedades físicas de la precipitación. El uso del factor de erosividad de la lluvia antes de ser considerado como un factor primordial en la estimación de la erosión hídrica ha pasado por una serie de estudios, tanto empírico como experimental.
- ❖ **Erodabilidad:** Es un indicador para evaluar el grado de susceptibilidad o susceptibilidad a la erosión, dependiendo de las propiedades específicas de cada tipo de suelo. Cuanto mayor sea la suceptibilidad, mayor será la tasa de erosión.
- ❖ **Influencia humana:** Hace referencia a alguna evidencia de que la

actividad humana puede afectar las propiedades físicas y químicas de un paisaje o suelo.

- ❖ **NDVI.** El Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada es una medida simple de la biomasa activa fotosintética o simplemente una evaluación de la condición de la vegetación.

CAPÍTULO III.

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1 Hipótesis

3.1.1 Hipótesis general.

El grado de pérdida de suelo media anual mediante la Ecuación Universal de Perdida de Suelo Revisada en la cuenca del río Chumbao, supera lo permitido por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación.

3.1.2 Hipótesis específicas.

- ❖ La cuenca del río Chumbao presenta un alto coeficiente de factor de Erosividad (R) que favorece la pérdida de suelo media anual.
- ❖ La cuenca del río Chumbao presenta un alto índice del factor de erodabilidad (K) que favorece la pérdida de suelo media anual.
- ❖ La cuenca del río Chumbao presenta un alto coeficiente de factor Topográfico (LS), que favorece la pérdida de suelo media anual.
- ❖ La cuenca del río Chumbao presenta un alto índice del factor de cobertura vegetal (C) que favorece la pérdida de suelo media anual.
- ❖ En la cuenca del río Chumbao no se realizan práctica de conservación (P), que favorezcan la pérdida de suelo media anual.

3.2 Tipo de investigación

El presente trabajo de investigación según el nivel de profundización es de tipo Descriptivo. Según Sampieri (2014) consiste en describir fenómenos, situaciones, contextos y eventos, es decir, definir qué son y cómo se manifiestan. La investigación descriptiva tiene por objeto identificar los atributos, características y perfiles de individuos, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro

fenómeno que requiera análisis. Es decir, solo pretenden medir o recopilar información sobre los conceptos o variables a los que se refieren, de forma independiente o combinada.

3.3 Nivel de investigación

El presente trabajo por el nivel de investigación que presenta es descriptivo. Sampieri (2014) sostiene que Las investigaciones de este tipo responden a interrogantes como: ¿cómo son?, ¿dónde están?, ¿Cuántos son?, ¿quiénes son? etc... esto quiere decir que, únicamente describe las características internas, externas, sus propiedades y los rasgos de sucesos y fenómenos de una realidad, este estudio se puede dar en un momento determinado, ya sea un fenómeno histórico o un fenómeno ocurrido en un momento dado. decir, describe y relaciona las características, características internas y externas, características y naturaleza de los hechos y fenómenos de la realidad en un momento dado.

3.4 Diseño de investigación

El presente trabajo de investigación es no experimental de corte transversal, porque no se manipulan las variables de estudio. Según Carrasco (2005) los diseños no experimentales:

Son estudios donde las variables independientes carecen de manipulación intencionada, sin grupo de control y mucho menos grupo experimental. Analizan y estudian eventos y fenómenos después de que el hecho ha llegado a existir. De corte transversal porque este diseño se utiliza para estudiar los eventos y fenómenos de la realidad en un momento dado.

3.5 Operacionalización de variables

En la tabla 14 se muestra el matriz de operacionalización de variables del presente trabajo de investigación, donde se puede apreciar dos variables, el

variable independiente que consta de los factores de erosión, de esta dependerá la variable dependiente “la erosión en la cuenca del río Chumbao”:

Tabla 14

Matriz de variables

Variab les	Dimensiones	Indicadores	Índice
Variable Independiente: Factores de pérdida de suelo por erosión hídrica	Factor de erosividad de la lluvia (R)	Coefficiente del factor de erosividad	MJ.mm.ha ⁻¹ .año ⁻¹
	Factor de erodabilidad del suelo (K)	Índice del factor de erodabilidad	t.ha.hr.MJ ⁻¹ .ha ⁻¹ mm ⁻¹
	Factor topográfico (LS)	Coefficiente del factor topográfico	Adimensional
	Factor de Cobertura (C)	Índice de factor de cobertura vegetal	Adimensional
	Factor de prácticas de control y conservación de suelo (P)	Valores de prácticas de conservación	Adimensional
Variable dependiente: Pérdida de suelo media anual	Pérdida de suelos por unidad de superficie (A)	Pérdida de suelos por unidad de superficie	Ton*ha ⁻¹ *año

Fuente: Autoría propia

3.6 Población, muestra y muestreo

3.6.1 Universo o población.

❖ Universo

Para el propósito de la presente investigación se ha considerado como universo la erosión de suelos de la cuenca del río Chumbao.

El universo de la investigación es un conjunto infinito y global de elementos (personas, objetos, procedimientos, sistemas, eventos, etc.) a los que pertenecen la población y la muestra y están estrechamente relacionados con variables y segmentos del problema en estudio, que es una materia de estudio (Carrasco, 2005).

❖ **Población.**

Para el propósito de la presente investigación, se ha considerado como población de estudio, los Factores de Erosión establecidos según la Ecuación Universal de Perdida de Suelo Revisada-RUSLE en la cuenca del río Chumbao. Según Carrasco (2005) la Población “Es un conjunto de todos los elementos (unidades de análisis) pertenecientes a la región espacial en la que se realizará el estudio”

❖ **Muestra.**

Para el presente estudio las muestras son: el factor de erosividad de la lluvia (R), el factor topográfico (LS), el factor de erodabilidad del suelo (K), el factor de la cobertura vegetal (C) y el factor de Prácticas de conservación (P), estimados dentro de las 77,469.06 Ha de la cuenca del río Chumbao y su distribución dentro de ella.

3.7 Técnicas e instrumentos

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se han usado datos históricos, y recolección a través de técnicas e instrumentos ya existentes, las cuales son:

- ❖ **Análisis documental.** Se realizó el análisis documental como es el caso de la precipitación en la cuenca del río Chumbao. Para lo cual se ha obtenido datos del SENAMHI, mediante un análisis de datos registrados de las estaciones meteorológicas que se encuentran situadas dentro del área de estudio o las estaciones que estén fuera del área de estudio, pero que presenten las mismas condiciones geográficas que el área de estudio. Asimismo, para la estimación del factor de erodabilidad del suelo se ha descargado el mapa digital de los suelos del mundo, brindado por la Organización Mundial para la alimentación y la agricultura (FAO). Para poder

elaborar el mapa de pendientes se ha elaborado en base al Modelo de Elevación Digital (DEM) del Servicio Geológico de los Estados Unidos-Aster Global DEM, el mismo que contiene imagen raster con las altitudes de todo el mundo. Para estimar la cobertura vegetal se ha obtenido información del Servicio Geológico de los estados Unidos (USGS), imágenes landsat, mediante las imágenes se ha estimado el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI) y esto nos permitió dar valores para el factor de cobertura vegetal, de la misma forma para poder determinar el factor de prácticas de conservación, se ha usado la observación y de esta manera se han asignado valores ya establecidos.

- ❖ **Técnicas estadísticas.** Así mismo se ha usado técnicas estadísticas para la completación de datos faltantes de precipitación de las estaciones meteorológicas estudiadas, es el caso del método HEC-4 y doble masa.

3.7.1 Recolección de datos

Datos históricos de precipitación de las estaciones meteorológicas que se encuentran dentro o cerca al área de estudio, información fueron proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, las estaciones meteorológicas que se han considerado fueron los siguientes: Andahuaylas, Andarapa, Chincheros, Huancabamba, Huancaray, Pampas, Talavera, Uripa.

Para la estimación del factor de erodabilidad del suelo se ha usado datos del mapa digital de los suelos del mundo, brindados por la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (FAO), el mismo que posee base de datos de los datos requeridos para la estimación del factor de erodabilidad del suelo en la cuenca del río Chumbao.

Para la estimación del factor topográfico se elaboró un mapa de pendientes

teniendo como base de datos, el raster brindado por USGS- Aster Global DEM, que contiene información del modelo de elevación digital de la cuenca del río Chumbao y del mundo.

Mediante imágenes satelitales se ha estimado el NDVI para poder determinar el factor C. Los datos usados para determinar el factor C fueron brindados por USGS imágenes Landsat 8, las bandas 4 y 5 permiten estimar el NDVI, donde: El (NDVI), varía de -1 a 1. Los valores negativos corresponden a áreas con agua, estructuras hechas por el hombre, rocas, nubes, nieve; los suelos descalzos suelen estar en el rango de 0,1 - 0,2; y suelos con vegetación siempre tendrá un valor positivo entre 0,2 y 1, estos valores fueron corroborados en campo para tener mejor ajuste del mapa de cobertura vegetal con la realidad.

Para determinar el factor de prácticas de conservación se ha elaborado un plan que contiene realizar la búsqueda de información disponible de proyectos ejecutados que estén relacionados con las prácticas de conservación.

3.8 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Luego de realizar la recolección de los datos disponibles, se han procesado los datos apoyado de los Softwares (Excel, Arc Gis 10.6 y HEC4), el primero nos permitió realizar cálculos respectivos de los factores de erosión y analizar la consistencia de los datos obtenidos. El Arc Gis 10.6 nos permitió realizar la presentación gráfica en una escala definida y también sirvió para realizar cálculos de los atributos de los shapefile, finalmente cada factor se convirtió en formato raster para realizar la superposición de mapas. El HEC-4 nos permitió realizar la completación de datos faltantes de precipitación para la estimación del factor de erosividad de la lluvia en la cuenca del río Chumbao.

3.8.1 Procesamiento y análisis de datos

En esta fase de la investigación se ha realizado el procesamiento y análisis de toda la información disponible recolectado, apoyado de los softwares disponibles.

Inicialmente se ha delimitado la cuenca del río Chumbao usando datos de la carta nacional del IGM, llegando a la conclusión que los datos brindados por el USGS poseen mejor precisión. Es el caso también de los datos de precipitación se ha realizado la medición de la consistencia de datos siendo $R^2 > 0.99$, lo que posee una buena consistencia los datos de precipitación. Asimismo, se ha realizado la comparación de consistencia de datos de cobertura vegetal haciéndose una comparación mediante el cálculo de NDVI y asignación de valores de factor C con asignación de valores del factor C mediante la clasificación supervisada de la vegetación existente en la cuenca del río Chumbao.

3.8.2 Delimitación del ámbito de estudio.

Según se ha definido la metodología, en la primera fase del desarrollo de la presente investigación se ha realizado la recolección de toda la información base disponible del área de estudio, así como:

Inicialmente se ha procesado y delimitado el área de estudio a partir de un Modelo de Elevación Digital obtenido de la página del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), así mismo se utilizó información de la carta nacional 27p, 28o, 28o y 27o, con el fin de corroborar la precisión de ambos.

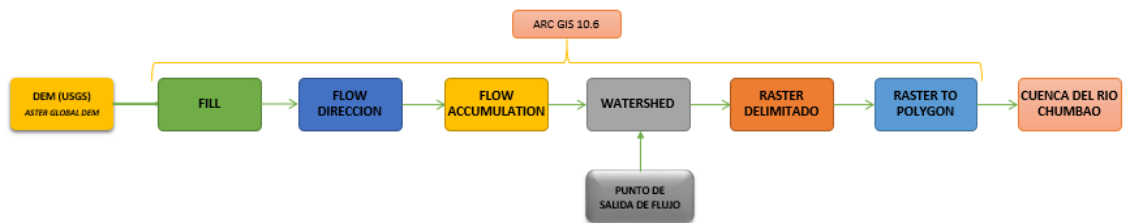
Para la delimitación del ámbito de estudio se ha usado imagen de satelital brindado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) que corresponde al conjunto de datos del *Aster Global DEM* que son imágenes raster con alta precisión (imágenes en pixeles de cada 30 metros) a comparación de las imágenes

o cartas del *Instituto Nacional Geográfico(ING)* del gobierno del Perú (imágenes raster a cada 50 metros), razón por la cual se ha optado por usar las imágenes raster del USGS. Seguidamente se han procesado en el software Arc Gis 10.6 y delimitado el área de estudio utilizando las siguientes herramientas:

En la figura 10 se muestra el procedimiento para la delimitación de la cuenca del río Chumbao, de manera gráfica, durante el desarrollo del presente estudio.

Figura 10

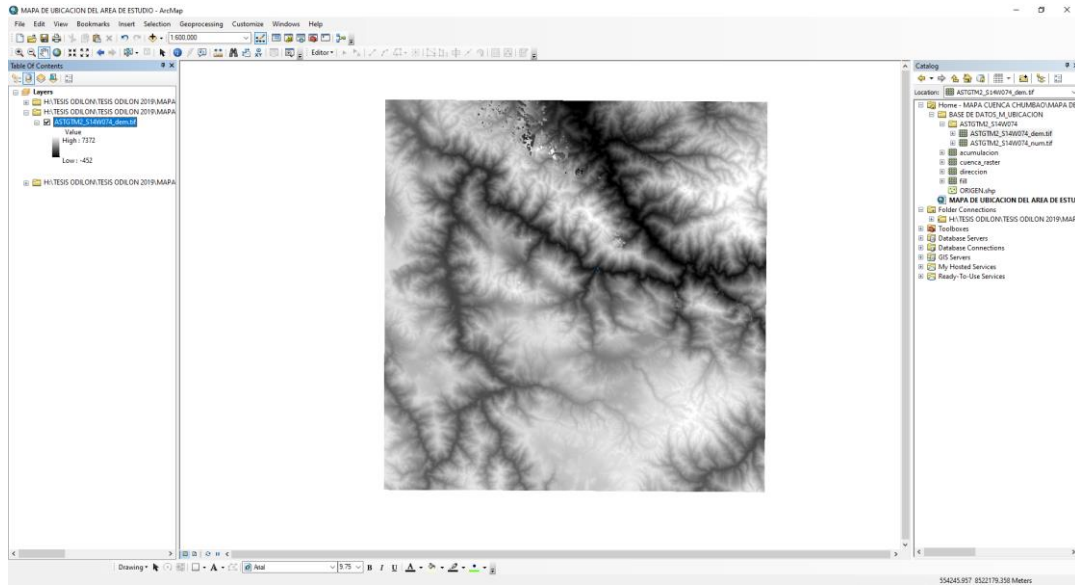
Diagrama de procedimiento de la delimitación de la cuenca del río Chumbao.



Primer paso: Se abre el Arc Gis 10.6, en la capa denominada Layers se establece el sistema de coordenadas UTM, lo que corresponde al área de estudio “WGS1984 UTM, Zona 18”, se carga el modelo de elevación digital (DEM) brindado por el USGS, así como se puede ver en la Figura 11. El modelo de elevación digital, es un raster que contiene celdas y pixeles que contiene información de la elevación sobre el nivel del mar.

Figura 11

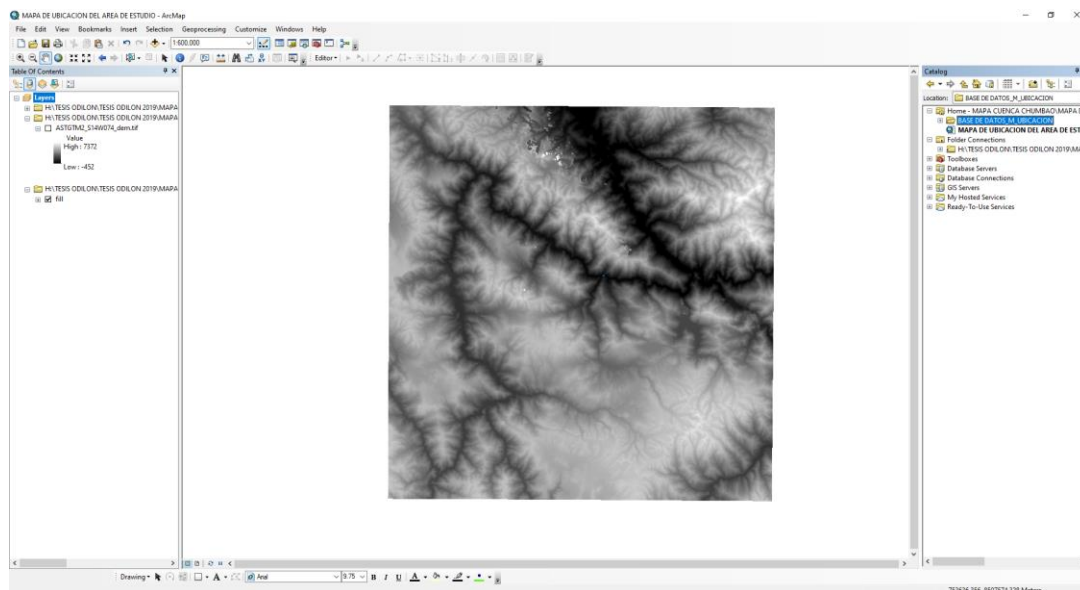
DEM brindado por USGS



Segundo paso: La herramienta *FILL* rellena sumideros en un ráster de superficie para eliminar pequeñas imperfecciones, para ello se ingresa a la herramienta *Arc Toolbox/ Spatial Analyst Tools/ Hydrology/ Fill*, quedando el cuadrante así como en la Figura 12.

Figura 12

Eliminación de imperfecciones del DEM

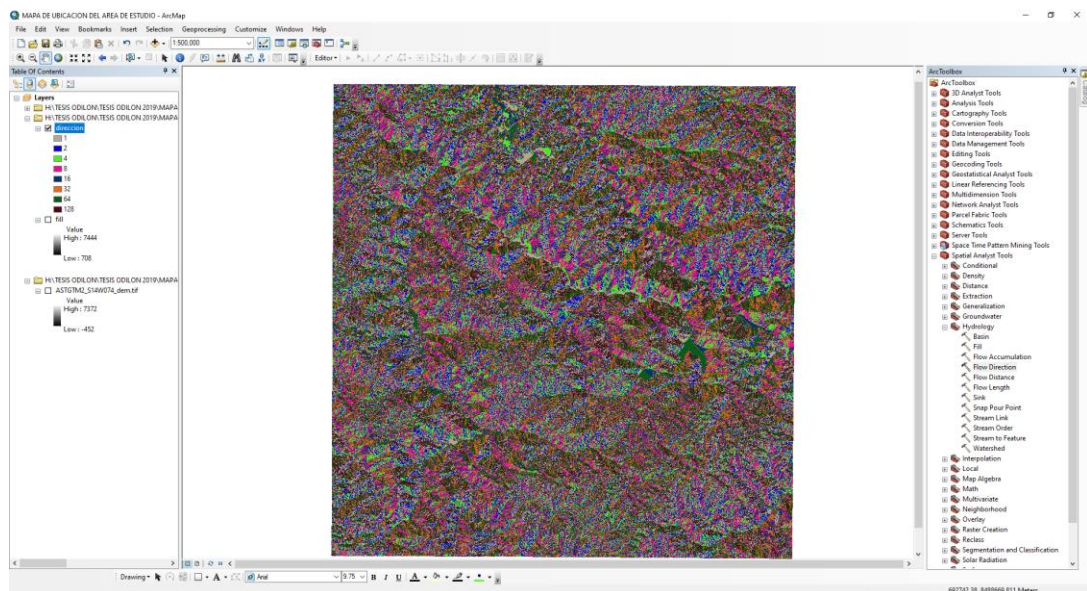


Tercer paso: Seguido crea un ráster de dirección de flujo desde cada celda

hasta su vecino o vecinos con pendiente descendente, usando la herramienta *Arc Toolbox/ Spatial Analyst Tools/ Hydrology/ Flow Direccion*, así como se puede ver en la figura 13.

Figura 13

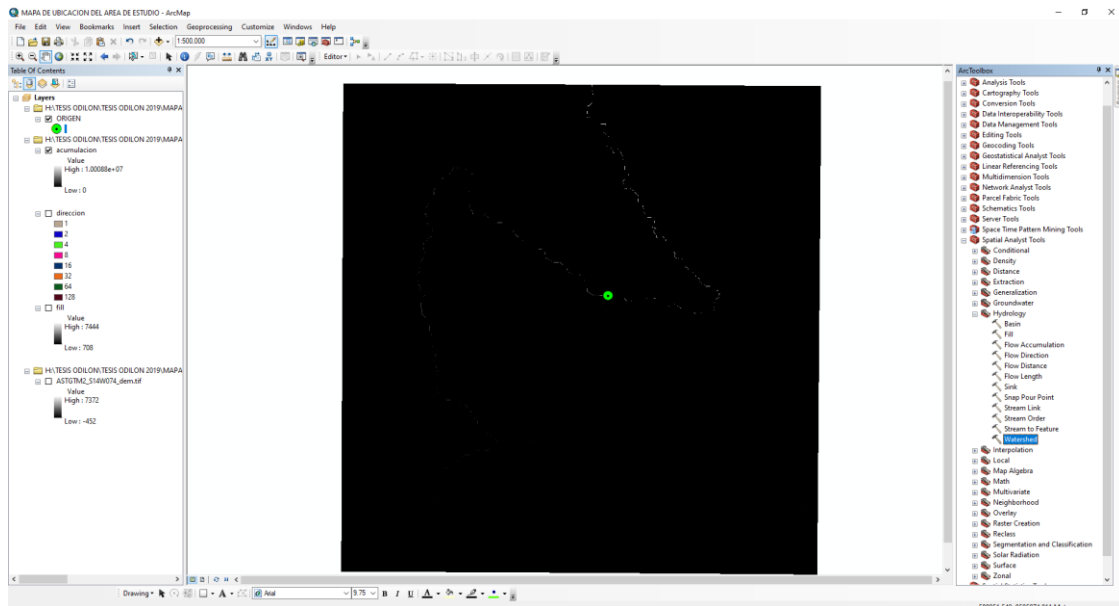
Dirección de flujo del cuadrante



Cuarto paso: Crea una trama de flujo acumulado en cada celda. Para ello se ha creado la acumulación de Flujo con la herramienta *Arc Toolbox/ Spatial Analyst Tools/ Hydrology/ Flow Accumulation*, así como se puede observar en la figura 14.

Figura 14

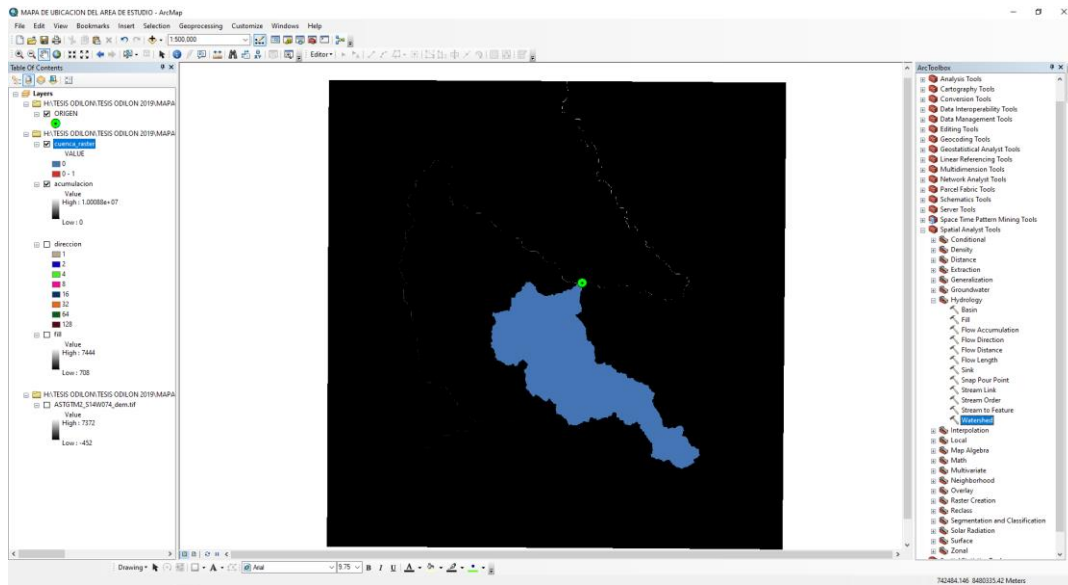
Flujo acumulado del cuadrante



Quinto paso: Como quinto paso se determina el área contribuyente sobre el conjunto de celdas en un ráster, así como se puede mostrar en la figura 15. Para poder delimitar el Arc Gis requiere la creación de un punto en el punto de salida del flujo acumulado, ya que este debe ser el punto de afluencia de la cuenca, el proceso de delimitación de realiza con la herramienta *Arc Toolbox/ Spatial Analyst Tools/ Hydrology/ Watershed*, como resultado obteniendo delimitado la cuenca del río Chumbao.

Figura 15

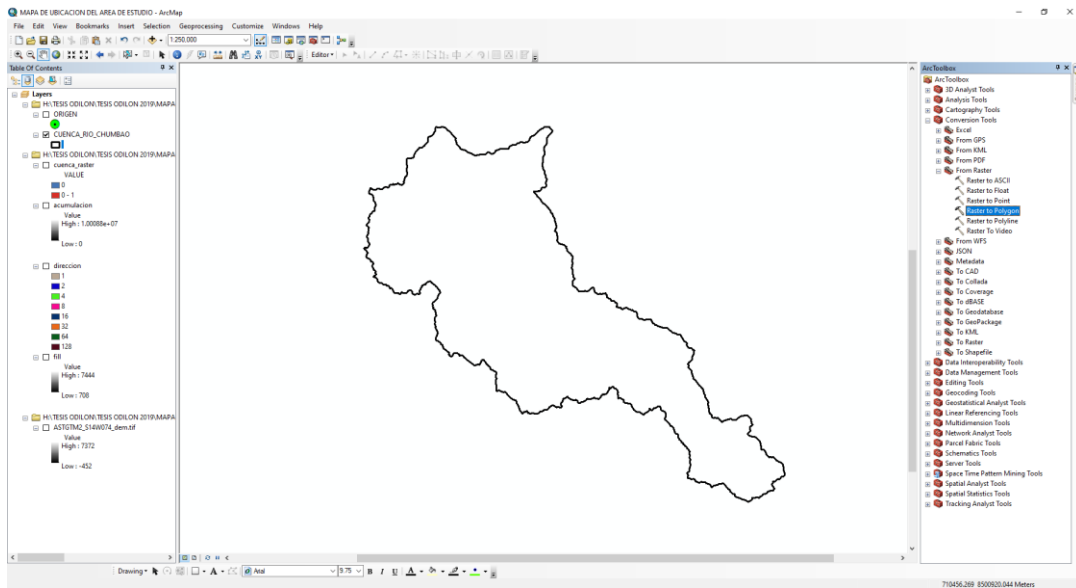
Determinar el área contribuyente



Sexto paso: el raster obtenido en el quinto paso no es editable, por lo que es necesario convertir en polígono en formato shapefile, este polígono ya es editable. La conversión se ha realizado mediante la herramienta *Arc Toolbox/ Conversion Tools/ Raster to Polygon*, quedando delimitado la cuenca del río Chumbao, así como se puede apreciar en la figura 16, el mismo que nos servirá para el desarrollo del presente trabajo d investigación.

Figura 16

Conversión de la cuenca delimitada de formato raster a shp



3.8.3 Procedimientos para la estimación de los factores de erosión hídrica.

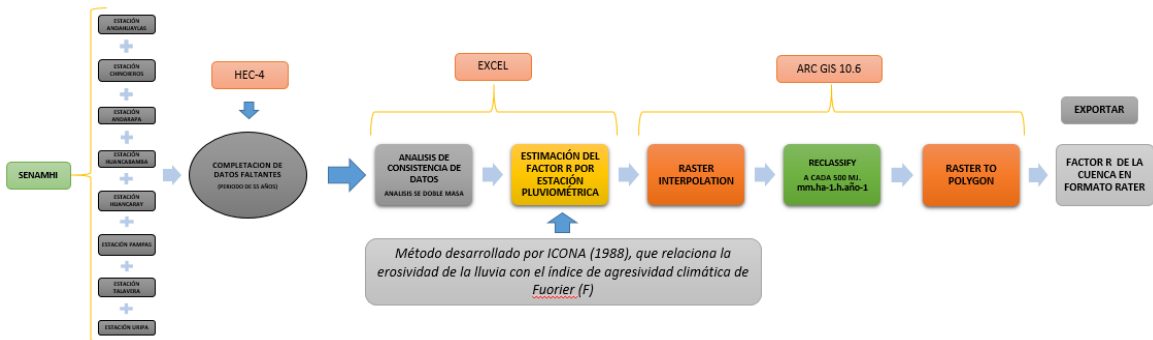
Para la estimación de la pérdida de suelo media anual por erosión hídrica existen muchos métodos, entre ellos la más usada y el más aceptado en todo el mundo es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (R.U.S.L.E.), por lo cual para el desarrollo del presente trabajo de investigación se usa este método. Lo que indica este método es que la pérdida de suelo media anual está en función del factor lluvia (R), el factor topográfico (LS), el factor erodabilidad del suelo (K), el factor de cobertura vegetal y el factor de prácticas de conservación (P) de suelos en el área de estudio, para ello se ha realizado el estudio y cálculo de manera independiente cada factor de erosión, para finalmente mediante la ecuación de R.U.S.L.E. obtener la erosión media anual en el año 2019.

3.8.3.1 Procedimiento para determinar el Factor de erosividad (R).

El procedimiento para determinar el coeficiente del factor de erosividad (R), se ha seguido un procedimiento, ordenado y clasificado, según la disposición de datos disponibles, así como se muestra en la figura 17.

Figura 17

Procedimiento para determinar el factor de erosividad de la cuenca del río chumbao.



Para la determinación del factor (R) en la fase pre campo se ha realizado la recolección de datos de precipitación de las estaciones meteorológicas existentes dentro y fuera del área de estudio, datos proporcionados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú SENAMHI, las mismas que se encuentran incompletas por diferentes factores del manejo de estaciones meteorológicas, para evitar que los vacíos dificulten el proceso de datos se ha realizado la completación de los datos faltantes apoyado del software HEC-4, el mismo que usa la metodología de regresión múltiple. Finalmente obteniendo los datos completos en las estaciones seleccionadas para el presente estudio, debidamente llenadas los datos faltantes y las mismas que fueron sometidos a un análisis de consistencia para poder tener datos estadísticamente consistentes.

Luego de medir la consistencia de los datos de precipitación de las estaciones en estudio, se procedió a realizar la interpolación de la precipitación anual apoyado del Software Arc Gis 10.6, finalmente obteniendo un mapa de ISOYETAS. Del mapa de isoyetas se ha realizado el cálculo respectivo usando la metodología desarrollada por ICONA (1988) y se ha obtenido el factor de lluvia para la cuenca del río Chumbao.

Inicialmente se ha propuesto determinar mediante las ecuaciones de Roose

(1995), Foster y Morgan (1974), pero el área de estudio no dispone de registros continuos que permitan obtener I_{30} (Máxima intensidad de lluvia en 30 minutos), finalmente el que mejor coeficiente de correlación tubo fue la metodología desarrollada por ICONA (1988), este método correlaciona la erosividad de la lluvia (Factor R) con el índice de agresividad climática "F" de Fourier, mediante el índice y ecuación modificada de Fourier.

$$R = 2.56(F)^{1.065}$$

Donde

F: índice de Fourier modificado

$$F = \frac{1}{n} \sum \frac{pi^2}{Pi}$$

Donde:

n: número de años de la serie de precipitación

pi: precipitación del mes más lluvioso del año "i" (mm)

Pi: precipitación total anual del año i (mm)

De acuerdo a los cálculos realizados para obtener el factor R, se optó por usar la ecuación de ICONA (1988), por presentar mayor coeficiente de correlación con la precipitación promedio anual de las seis estaciones meteorológicas y el factor R.

Para el cálculo del factor de lluvia se ha elaborado el mapa de isoyetas apoyado del software Arc Gis 10.6 el mismo que se ha desarrollado los siguientes pasos.

Mediante el software HEC4 se han completado los datos faltantes de precipitación desde el año 1965 hasta el año 2019. Con los datos obtenidos en la completación se ha calculado la precipitación media anual apoyada del software Excel, los resultados obtenidos fueron así como se puede ver en la Tabla 15.

a) Análisis de consistencia de datos de las estaciones pluviométricas

a.1) Análisis de doble masa de precipitación.

Este método nos permite detectar los periodos donde se han producido posibles errores, los mismos que muestran en forma de quiebre en la pendiente de la curva de doble masa.

Para poder construir una curva doble masa, los datos disponibles se llevan a un sistema de coordenadas, donde en el eje de las ordenadas se muestran los valores acumulados anuales del promedio de todas las estaciones pluviométricas del área en estudio, y en el eje de las abscisas se colocan el periodo de tiempo de registro de datos.

Figura 18

Análisis de Doble Masa de precipitación de la Estación Andahuaylas.

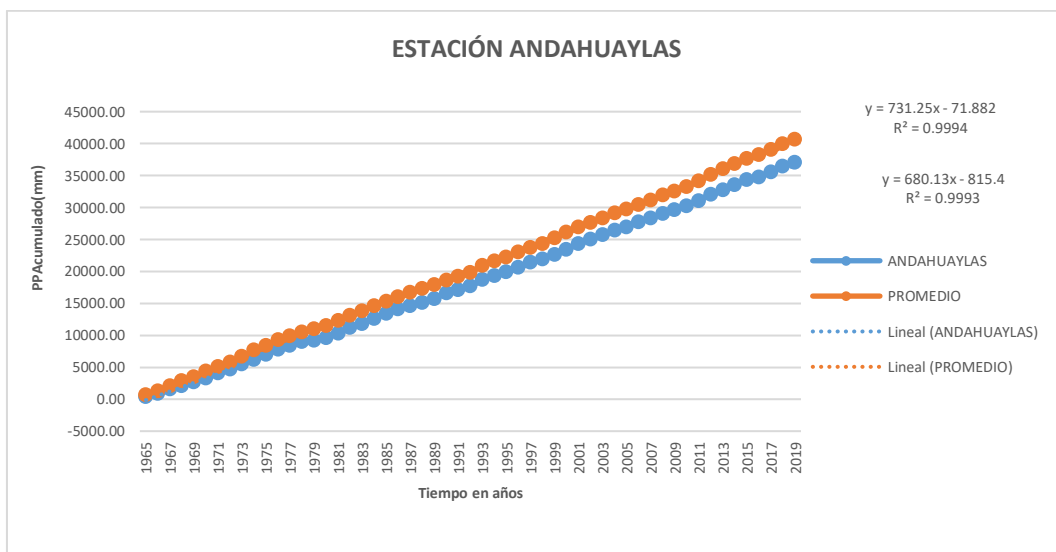


Figura 19

Análisis de Doble Masa de precipitación de la Estación Andarapa.

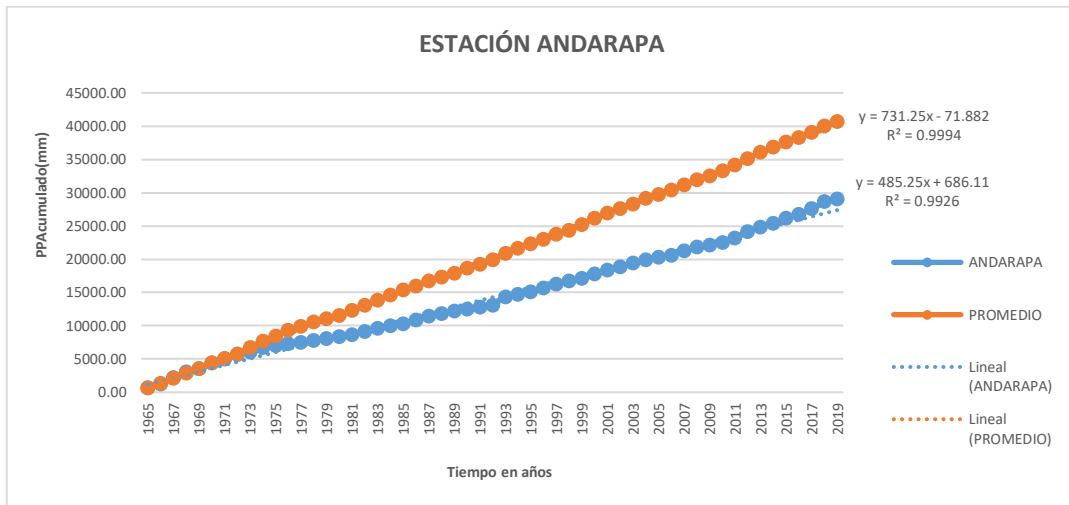


Figura 20

Análisis de Doble Masa de precipitación de la Estación Chincheros

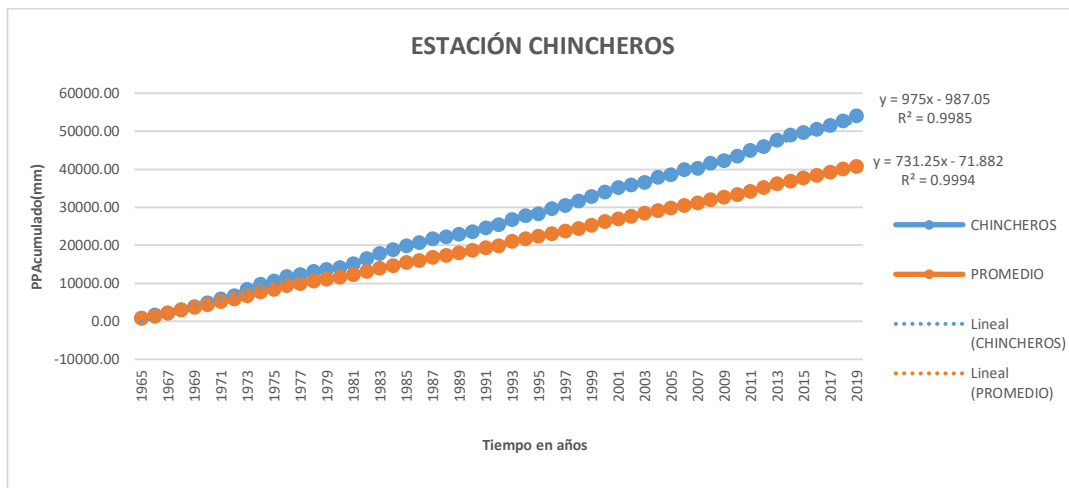


Figura 21

Análisis de Doble Masa de precipitación de la Estación Huancabamba

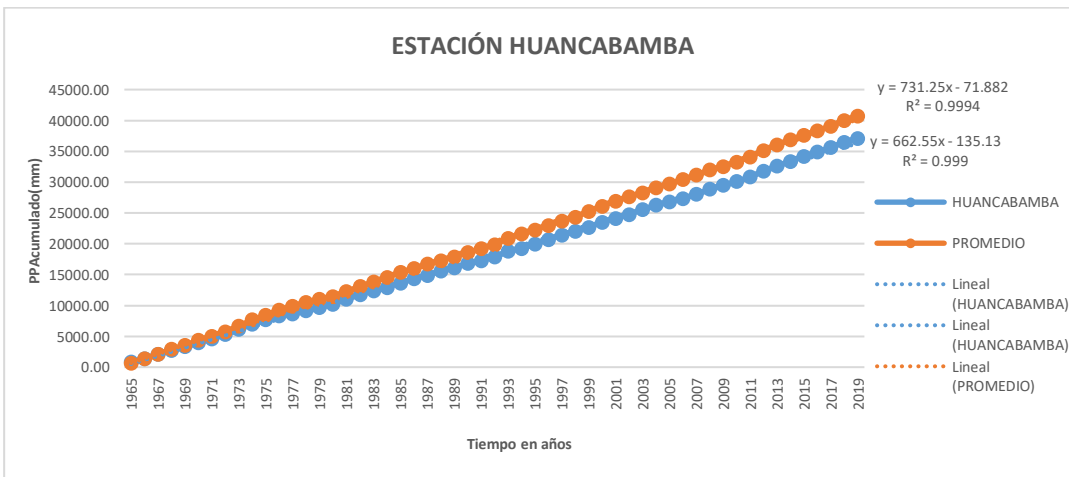


Figura 22

Análisis de Doble Masa de precipitación de la Estación Huancaray

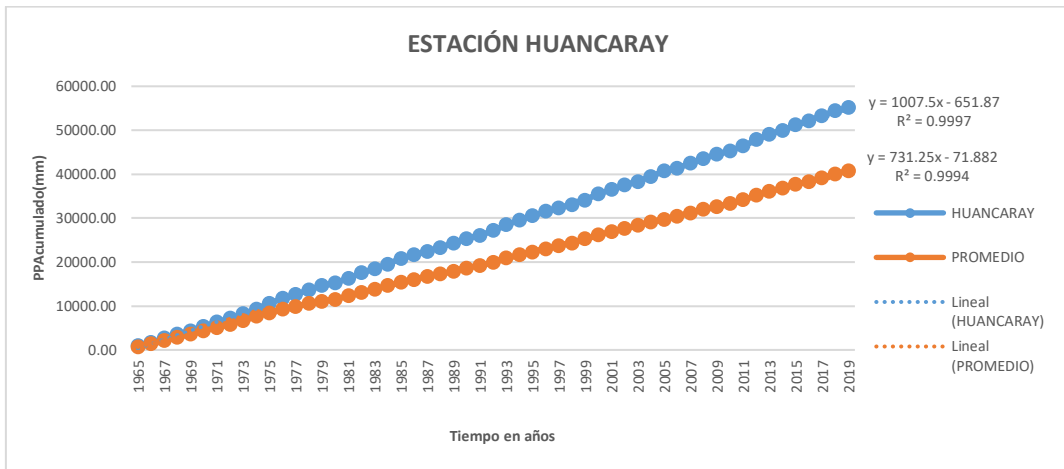


Figura 23

Análisis de Doble Masa de precipitación de la Estación Pampas

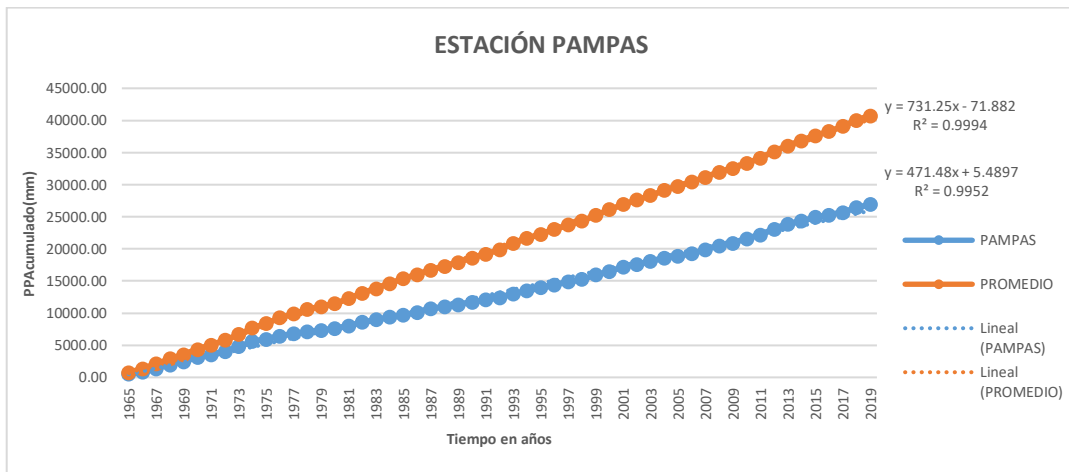


Figura 24

Análisis de Doble Masa de precipitación de la Estación Talavera

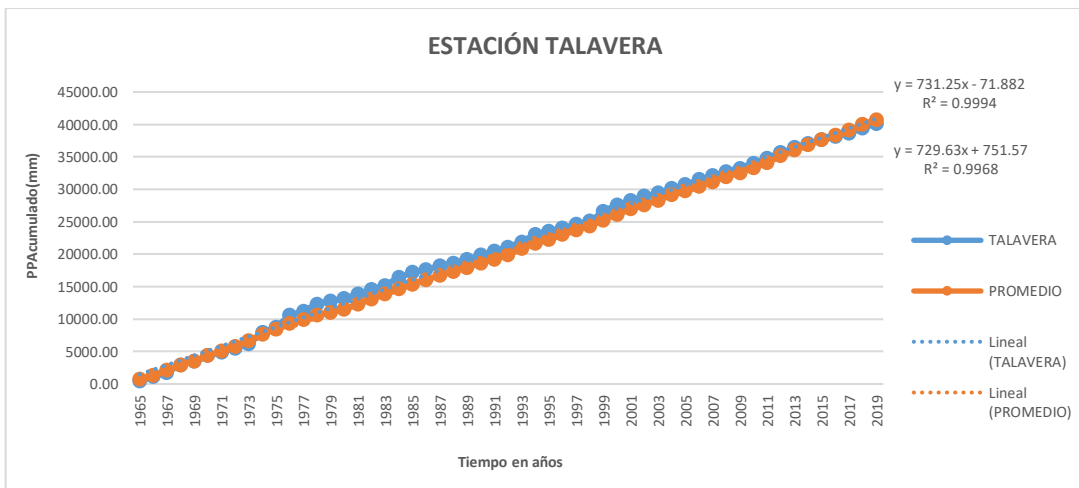
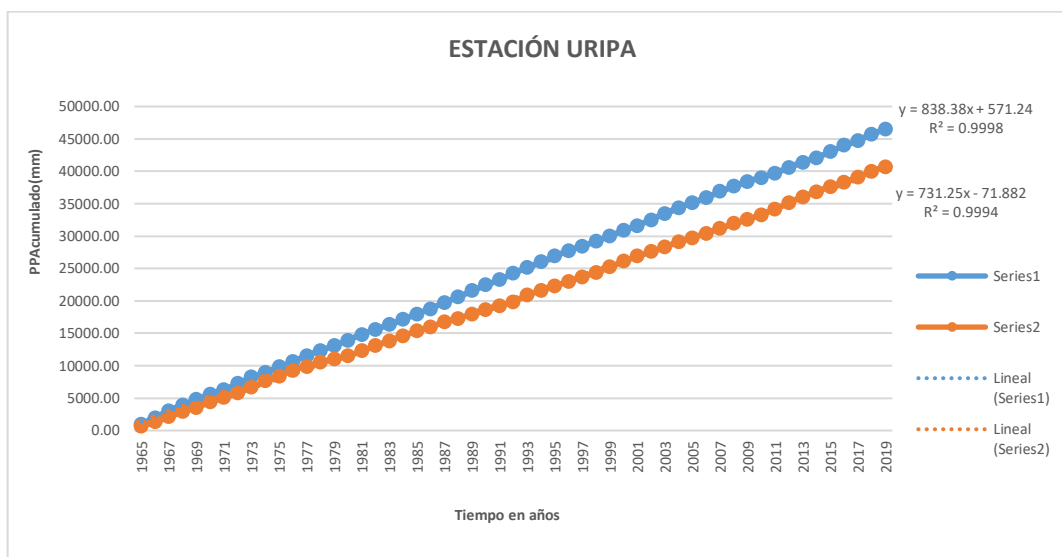


Figura 25

Análisis de Doble Masa de precipitación de la Estación Uripa



De la completación de datos faltantes se ha obtenido precipitación media anual para cada estación pluviométrica, así como se puede apreciar en la Tabla 15, donde podemos observar que la estación Huancaray es la que presenta mayores niveles de registro de precipitación siendo 1002.60mm de precipitación media anual en un registro de datos de 55 años desde 1965 hasta el año 2019, también se puede apreciar que la estación Andarapa presenta el menor nivel de registro de datos de precipitación siendo 527.31mm la precipitación promedio anual.

Tabla 15

Precipitación promedio anual de las estaciones meteorológicas y el factor R

N°	Estación	Coordenada	Coordenada	ALTITUD (m.s.n.m)	Precipitación anual (mm)
		Este	Norte		
1	Andarapa	676768.77	8505137.86	3215	527.31
2	Andahuaylas	676244.28	8489652.27	2866	674.57
3	Huancabamba	678410.36	8481155.42	3650	674.03
4	Talavera	669601.91	8489542.37	2850	729.44
5	Huancaray	658571.70	8479439.69	2902	1002.64
6	Uripa	642451.11	8503469.91	3280	845.25
7	Chincheros	638883.28	8505363.29	2772	980.88
8	Pampas	628462.08	8514633.73	2032	489.33

Fuente: Autoría propia.

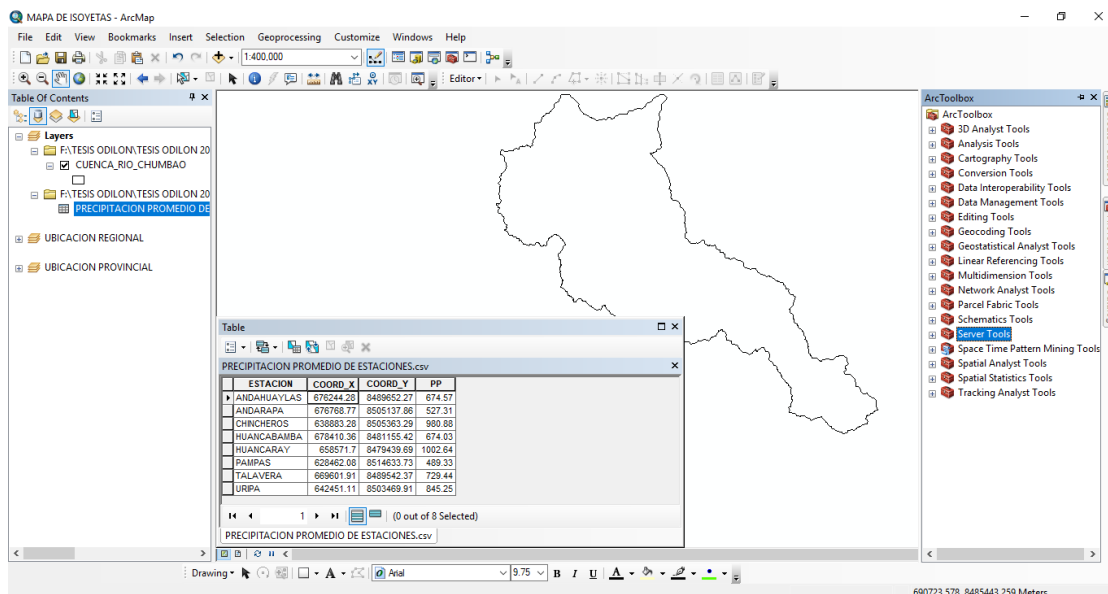
b) Isoyetas.

Con los datos de precipitación media anual se ha elaborado un mapa de isoyetas para el área de estudio, para ello se ha tenido que seguir una secuencia de pasos apoyado del software Arc Gis 10.6:

Primer paso: en primer lugar, se ha cargado las estaciones pluviométricas, con sus respectivas coordenadas UTM y en la columna de Z se han colocado los datos de precipitación media anual de datos de 55 años, el archivo para que sea compatible con el software se ha guardado en formato “csv delimitado por comas”, así como se puede apreciar en la Figura 26.

Figura 26

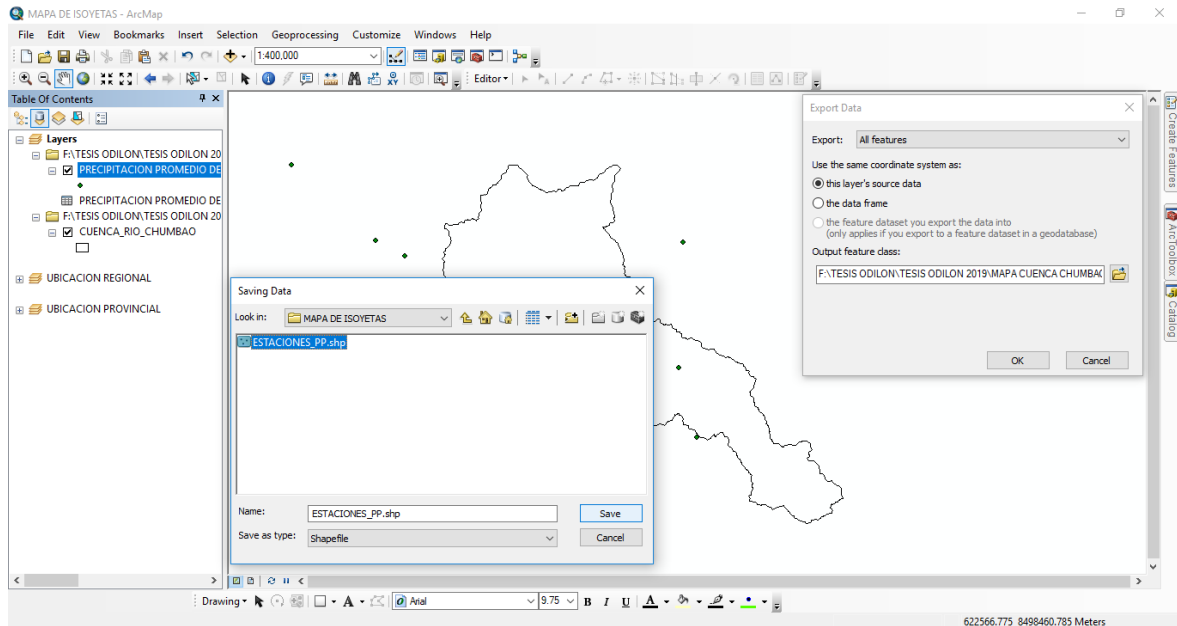
Cargar los datos de Precipitación media anual en el Arc Gis



Segundo paso: Para poder procesar, el archivo que contiene los datos de precipitación se ha convertido a formato shapefile, el mismo que nos permitirá generar las isoyetas de la cuenca del río Chumbao, así como se puede apreciar en la figura 27.

Figura 27

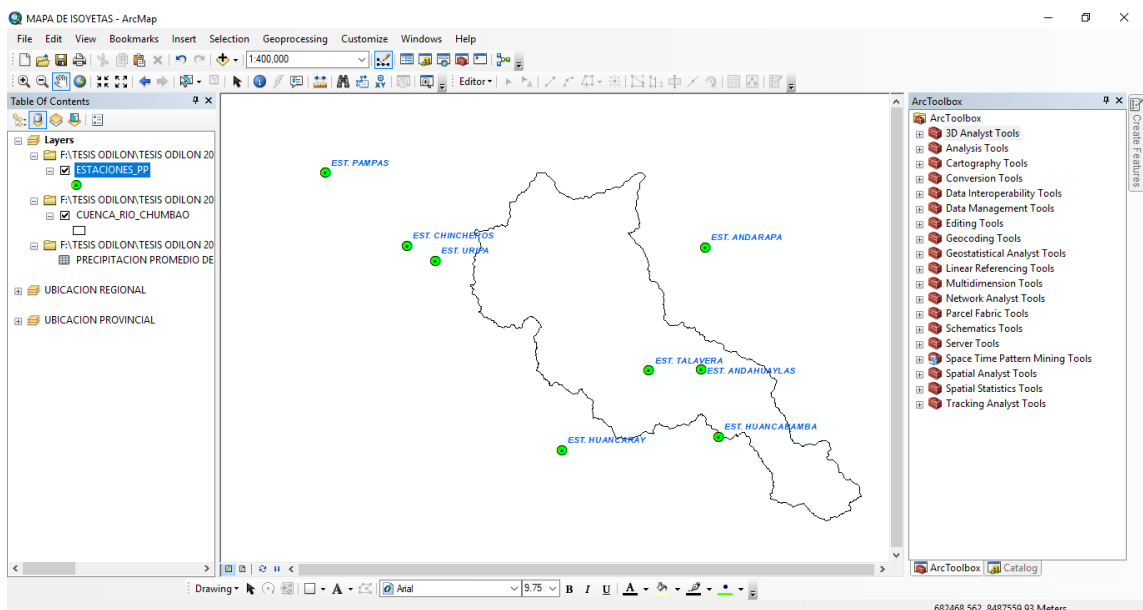
Conversión del archivo con datos de precipitación en formato shp



Luego de convertir el archivo al formato shapefile, se ha configurado para poder identificar las 8 estaciones y analizar según la ubicación en el área de estudio, así se puede observar la ubicación de las estaciones meteorológicas en el área de estudio.

Figura 28

Ubicación de las estaciones pluviométricas en el área de estudio.

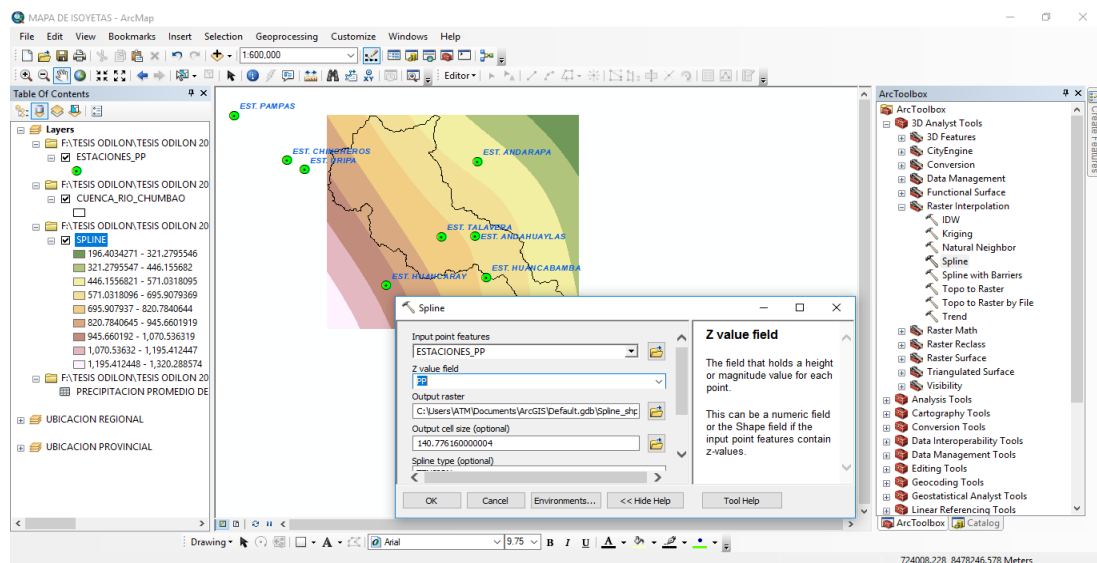


Tercer paso: Para poder generar las isoyetas en la cuenca del río Chumbao,

se ha cargado el archivo que contiene los datos de precipitación media anual de las 8 estaciones, mediante el uso de la herramienta *Arctoolboox/ 3D analyst tools/ raster interpolation/ spline*, esta herramienta nos ayuda a interpolar los datos de precipitación dentro de un espacio o área determinada, así como se puede apreciar en la figura 29.

Figura 29

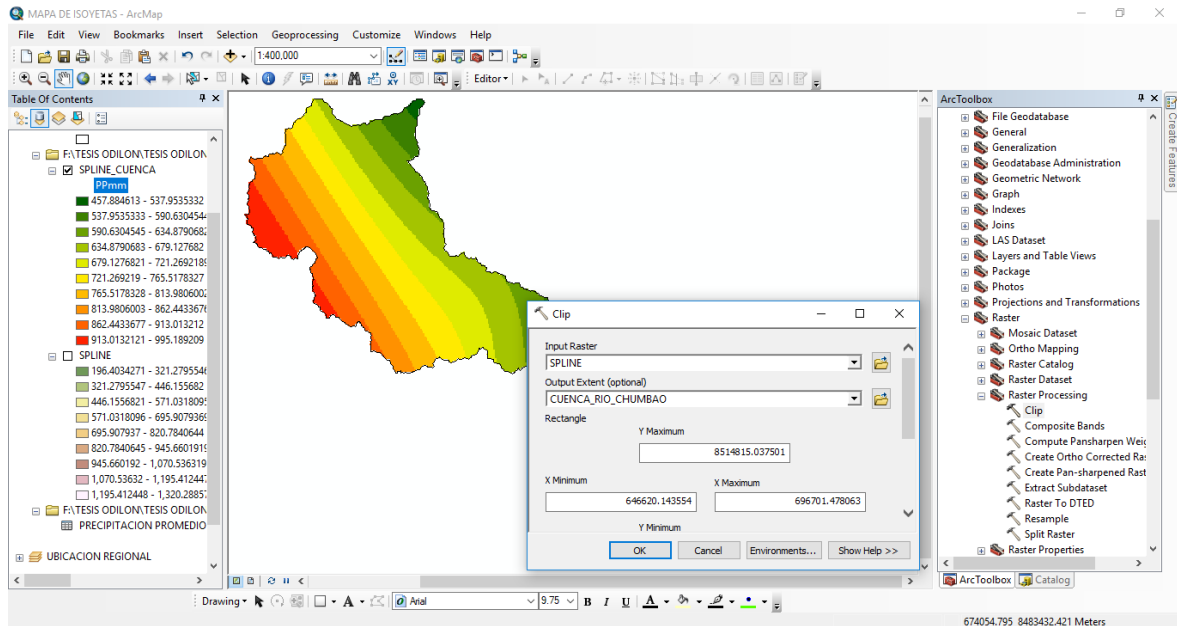
Interpolación de datos de precipitación en el área de estudio



Cuarto paso: se ha extraído los datos de las isoyetas dentro del área de estudio en la cuenca del río Chumbao, mediante el uso de la herramienta *Arctoolboox/ data management tools/ raster/ raster processing/ clip*, esta herramienta nos ha permitido extraer el mapa de isoyetas dentro de la cuenca del río Chumbao, así como se puede apreciar en la figura 30.

Figura 30

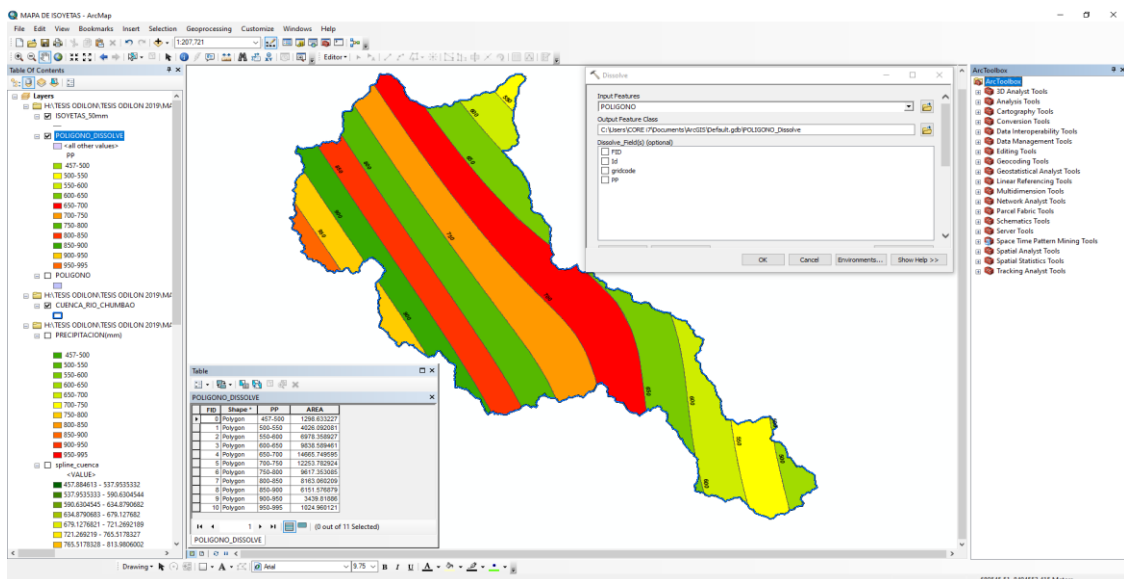
Extracción de isoyetas para la cuenca del rio Chumbao.



Quinto paso: como quinto y último paso se ha creado isoclinas en cada 50 mm de precipitación, así como se puede observar en la figura 29, del mismo modo para poder realizar cálculos en los atributos del mapa de isoyetas se ha realizado la transformación de formato raster a polígonos para cada intervalo de precipitación, dicho proceso se puede ilustrar en la figura 31.

Figura 31

Calculo de atributos del mapa de isoyetas.

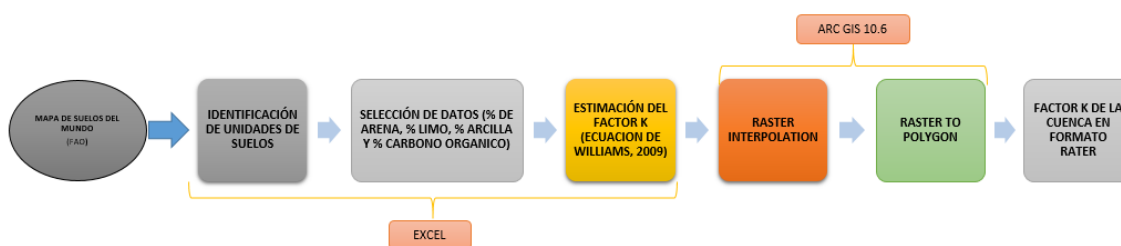


3.8.3.2 Procedimiento para determinar el Factor de erodabilidad (K).

El procedimiento para determinar los índices del factor de erodabilidad (K), se ha seguido un procedimiento, ordenado y clasificado, de acuerdo a la disponibilidad de datos de suelos de la Mapa de suelos del Mundo, el procedimiento se muestra en la figura 32.

Figura 32

Procedimiento para determinar el índice del factor de erodabilidad del suelo de la cuenca del río Chumbao.



Para el estudio del factor erodabilidad se ha elaborado un mapa base usando datos brindados por el Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico del gobierno del Perú, obtenido de la página principal en formato SHP editable, la cual fue procesada en el software Arc Gis 10.6, obteniendo un mapa base de la geología que presenta la cuenca del río Chumbao así como se muestra en la (figura 33), con el fin de realizar una comparación se ha elaborado una segunda mapa base con datos de geología de la región Apurímac brindado por la *Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente del Gobierno Regional de Apurímac*, así como se muestra en la *figura 34* el mismo que es el resultados del estudio de Zonificación Ecológica Económica de la región Apurímac, la cual hasta el momento no se encuentra aprobada por las observaciones que ha presentado en su momento.

Los experimentos confirman que los suelos más susceptibles a la erosión corresponden a texturas medias (composiciones de limo más abundantes),

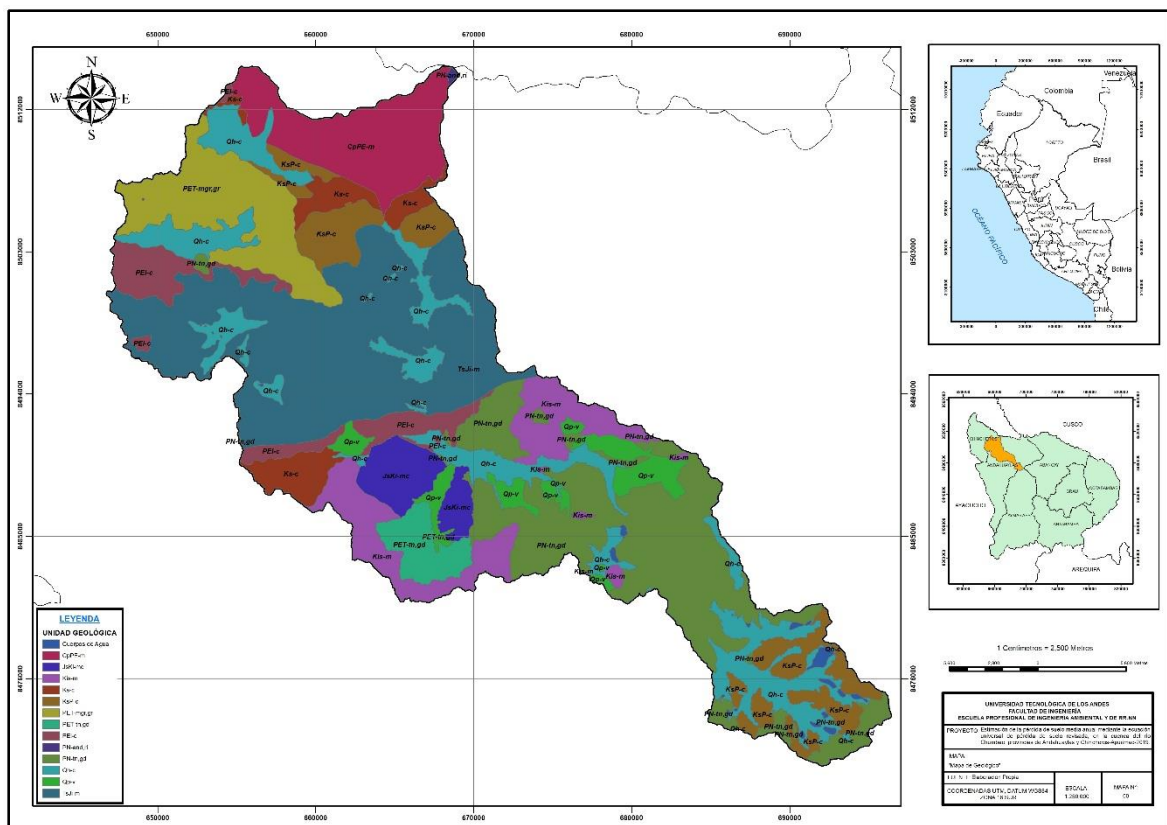
teniendo en cuenta que los suelos con más del 30% de contenido de arcilla no son susceptibles a la erosión (González del Tánago, 1991).

Barzola, (2018) sostiene que, existen algunas publicaciones que se relacionan las propiedades litológicas del terreno con la estructura, textura, color, etc. de la tierra, porque viene directamente de la roca madre.

“El papel de algunas propiedades del suelo -principalmente físicas- como factores auxiliares en esta fenomenología está fuera de toda duda. La influencia de la textura del suelo, el contenido de materia orgánica y la estructura sobre la infiltración debe mejorarse imprimiendo al suelo diferentes propiedades de permeabilidad y erosión” (Peláez, 2001)

Figura 33

Mapa geológico según IGM



Se asignó el valor $K=0$ para cuerpos de agua (lagunas, embalses, ríos, manantiales, otros), ya que no existe erosión de suelos en el agua. (Huaco, 2017)

En la Tabla N° 16 se muestran las unidades geológicas y sus respectivas áreas y el porcentaje que representan del total.

Tabla 16.

Geología de la cuenca del río Chumbao

UNIDAD GEOLOGICA	SIMBOLOGIA	EDAD	SERIE	SISTEMA	ERA	LITOLOGIA	Área (Ha)	Porcentaje respecto al Total
Cuerpos de Agua	Cuerpos de Agua	Cuerpos de Agua	Cuerpos de Agua	Cuerpos de Agua	Cuerpos de Agua	Cuerpos de Agua	350.453	0.5
Volcánico Cocas	PN-co/an	Paleógeno Neógeno	n/a	Paleógeno - Neógeno	Terciario	andesita porfírica	45.807	0.1
Grupo Tarma	Cs-t	Carbonífero Superior	Carbonífero Superior	Carbonífero	Paleozoico Superior	lutitas negras silificadas	1077.798	1.4
Formacion Cachios	Jm-yu/ca	Jurácico medio	Jurácico Medio	Jurácico	Mesozoico	Limoarcillitas negras, grises, verdes y gris oscuras, intercaladas con algunos niveles delgados de areniscas grises. lutitas calcareas muy delezables, margas, areniscas calcareas,	784.196	1.0
Formacion Puente	Jm-yu/pu	Jurácico medio	Jurácico Medio	Jurácico	Mesozoico	areniscas de grano fino a medio, grises verdes y pardas, intercaladas con delgados niveles de limoarcillitas grises laminadas aveces con nodulos y abundante contenido de fosiles	106.994	0.1
Formacion Labra	Js-yu/la	Jurácico superior	Jurácico Superior	Jurácico	Mesozoico	areniscas cuarzosas de grano medio a fino de color gris blanquecino	950.388	1.2
Formacion Hualhuani	Ki-yu/hu	Cretáceo inferior	Cretácico Inferior	Cretácico	Mesozoico	areniscas cuarzosas blancas y grises de grano fino, masivas con laminaciones intercaladas con niveles de pelitas negras carbonosas	704.957	0.9
Formacion Arcurquina	Kis-ar_i	Cretáceo inferior	Cretácico Inferior	Cretácico	Mesozoico	calizas gris oscuras, en estratos gruesos con presencia de concreciones calcareas y fosiles, intercalaciones de areniscas calcareas	5518.987	7.1
Formacion Vilquechico	Ks-vi	Cretáceo superior	Cretácico Superior	Cretácico	Mesozoico	areniscas cuarzosas blancas en estratos gruesos a medios intercalados con limoarcillitas y lodalitas gris verdosa, beige, pardo amarillento y gris violaceo bien laminadas, intercald	2288.062	3.0
Formacion Ausangate	KsPp-au	Cretáceo superior Paleógeno	Cretácico Superior - Paleoceno	Cretácico - Paleógeno	Mesozoico - Terciario	limolitas, areniscas y limoarcillitas pardo rojizas	2532.886	3.3
Formacion Muñani	KsPp-mu	Cretáceo superior Paleógeno eoceno	Cretácico Superior - Paleoceno	Cretácico - Paleógeno	Mesozoico - Terciario	conglomerados subredondeados en matriz arena arcillosa / areniscas con canales conglomeradicos y delgados niveles de limolitas pardo rojizas	2310.674	3.0

Intrusivo Cotabambas Curahuasi	PN-cot-cu/gb	Paleógeno Neógeno	n/a	Paleógeno - Neógeno	Terciario	gabro	88.919	0.1
Intrusivo Ocobamba Anchaca	PN-oc-an/czdi	Paleógeno Neógeno	n/a	Paleógeno - Neógeno	Terciario	cuarzodiorita	8546.348	11.0
Intrusivo Ocobamba Huayllacocha	PN-oc-hu/to	Paleógeno Neógeno	n/a	Paleógeno - Neógeno	Terciario	tonalita	163.311	0.2
Intrusivo Ocobamba jichcorral	PN-oc-ji/di	Paleógeno Neógeno	n/a	Paleógeno - Neógeno	Terciario	diorita	2634.141	3.4
Intrusivo Ocobamba san antonio	PN-oc-sa/mzgr	Paleógeno Neógeno	n/a	Paleógeno - Neógeno	Terciario	monzogranito	1178.908	1.5
Intrusivo Parco parco	PN-pa-pa/czdi	Paleógeno Neógeno	n/a	Paleógeno - Neógeno	Terciario	cuarzodiorita	200.098	0.3
Intrusivo Parco	PN-pa/czdi	Paleógeno Neógeno	n/a	Paleógeno - Neógeno	Terciario	cuarzodiorita	3.611	0.0
Grupo Copacabana inferior	Pi-co_i	Pérmico inferior	Pérmico inferior	Pérmico	Paleozoico Superior	calizas de color gris a oscuras en estratos gruesos con buena estratificación y concreciones calcareas	4814.366	6.2
Complejo Querobamba	Ps-q/gr	Pérmico superior	Pérmico superior	Pérmico	Paleozoico Superior	facies graníticas a dioríticas	6059.400	7.8
Grupo Mitu sedimentario	PsTi-mi/sed	Pérmico superior Triásico	n/a	Pérmico - Triásico	Paleozoico Superior - Mesozoico	areniscas rojas intercaladas con conglomerados de matriz areniscosa roja	2443.403	3.2
Grupo Mitu volcanico	PsTi-mi/vo	Pérmico superior Triásico	n/a	Pérmico - Triásico	Paleozoico Superior - Mesozoico	brechas y lavas andesíticas, aglomerado intercaladas con areniscas, limoarcillitas y niveles de yeso	1110.372	1.4
Depositos Fluvio-Aluviales	Qh-al	Cuaternario holoceno	Holoceno	Cuaternario	Cuaternario	bloques y gravas subangulares a subredondeadas en matriz areno-limosa depositados a lo largo de conos y terrazas	4754.645	6.1
Depositos Coluviales	Qh-co	Cuaternario holoceno	Holoceno	Cuaternario	Cuaternario	bloques y cantos angulosos de tamaño variable en matriz areno arcillosa	519.105	0.7
Depositos Eluviales	Qh-el	Cuaternario holoceno	Holoceno	Cuaternario	Cuaternario	depositos de material detritico	962.233	1.2
Depositos Fluvio-Glaciales	Qpl-fg	Cuaternario pleistoceno	Pleistoceno	Cuaternario	Cuaternario	arenas y materiales residuales no consolidados, gravas arenas gruesas aveces tobaceas con limos sin seleccion	2235.086	2.9
Depositos Morrenicos	Qpl-mo	Cuaternario pleistoceno	Pleistoceno	Cuaternario	Cuaternario	bloques heterometricos angulosos, cantos y gravas de diferente tipo de rocas en matriz areno arcillosa	3409.815	4.4

Formacion Yacotingo	Qpl-ya	Cuaternario pleistoceno	Pleistoceno	Cuaternario	Cuaternario	flujos lavicos andesíticos, tobas de cristales, tobas vitrocrystalinas, obsidiana	2553.413	3.3
Ortogneis Abancay	Tr-ogn	Triásico	n/a	Triásico	Mesozoico	ortogneis	1728.542	2.2
Grupo Pucara	TrJi-pu	Triásico superior Jurácico inferior	Triásico superior - Jurácico inferior	Triásico - Jurácico	Mesozoico	calizas gris azulinas en bancos gruesos con nodulos de chert	17390.820	22.4

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

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

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

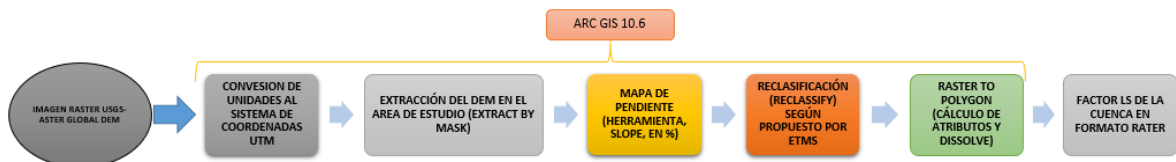
donde m_s es el porcentaje de contenido de arena (partículas de 0,05-2,00 mm de diámetro), m_{silt} es el porcentaje de contenido de limo (partículas de 0,002-0,05 mm de diámetro), m_c es el porcentaje de contenido de arcilla (partículas de < 0,002 mm de diámetro), y $orgC$ es el porcentaje de contenido de carbono orgánico de la capa (%).

3.8.3.3 Procedimiento para determinar el Factor topográfico (LS).

El procedimiento para determinar los coeficientes del factor topográfico (LS), para el desarrollo del presente estudio consistió en seguir pasos definidos, de acuerdo a la disponibilidad del Modelo de elevación Digital del USGS, el procedimiento se muestra en la figura 35.

Figura 35

Procedimiento para determinar los coeficientes del factor topográfico de la cuenca del rio chumbao.



En esta fase para determinar el factor topográfico se ha descargado imagen raster del USGS - Aster Global DEM, la cual contiene información para poder generar mapa de pendientes y la longitud de la pendiente del área en estudio.

Para el propósito de la presente investigación la pendiente se ha

determinado mediante imagen raster obtenido de USGS denominado imagen Aster Global DEM, posteriormente en el software Arc Gis 10.6 convertido a coordenadas UTM, el imagen lansdat del área de estudio obtenido del USGS y reclasificado de acuerdo a los grupos de pendiente que la Facultad de Hidráulica e Hidrología de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes de la Universidad Politécnica de Madrid, lo que permite asignar directamente a una ladera valores del factor topográfico (LS).

En la Tabla N° 17 se muestra los coeficientes del factor topográfico según las pendientes, el mismo que se usara para determinar el factor topográfico para el propósito del siguiente trabajo de investigación:

Tabla 17

Coeficientes del factor topográfico (LS)

Grupo de pendientes (%)	Factor LS
0.0 – 3.0	0.30
3.0 – 12.0	1.50
12.0 – 18.0	3.40
18.0 – 24.0	5.60
24.0 – 30.0	8.70
30.0 – 60.0	14.60
60.0 – 70.0	20.20
70.0 – 100.0	25.20
> 100.0	28.50

Fuente: ETSIM de la universidad Politécnica de Madrid citado por Ramos (2001)

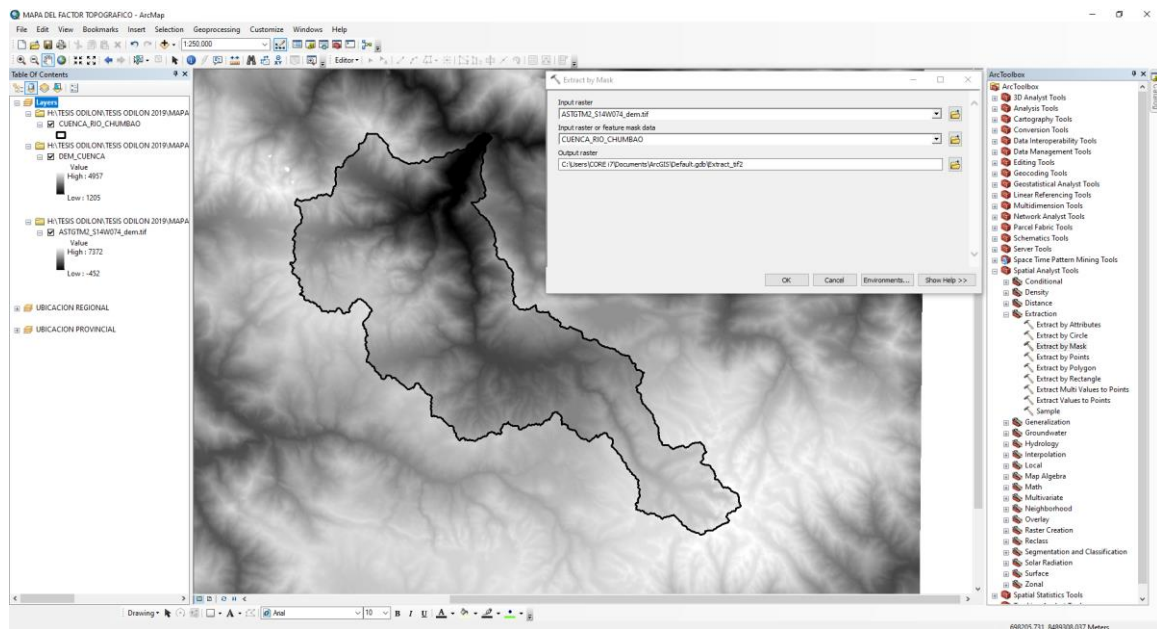
Para la elaboracion del mapa de pendientes del area de estudio se ha usado

el el software Arc Gis y se ha logrado otener siguiendo cinco paso de manera ordenada y secuencial con el DEM obtenido del imagen satelital, seguidamente de detallan los pasos que se han seguido:

El primer paso fue delimitar el area de estudio haciendo un corte en el imagen satelital con la herramienta Arctoolboox/ spatial analyst tools/ extraction/ extract by Mask ,lo que nos permitio obtener el imagen en formato raster solo dentro del area de estudio.

Figura 36

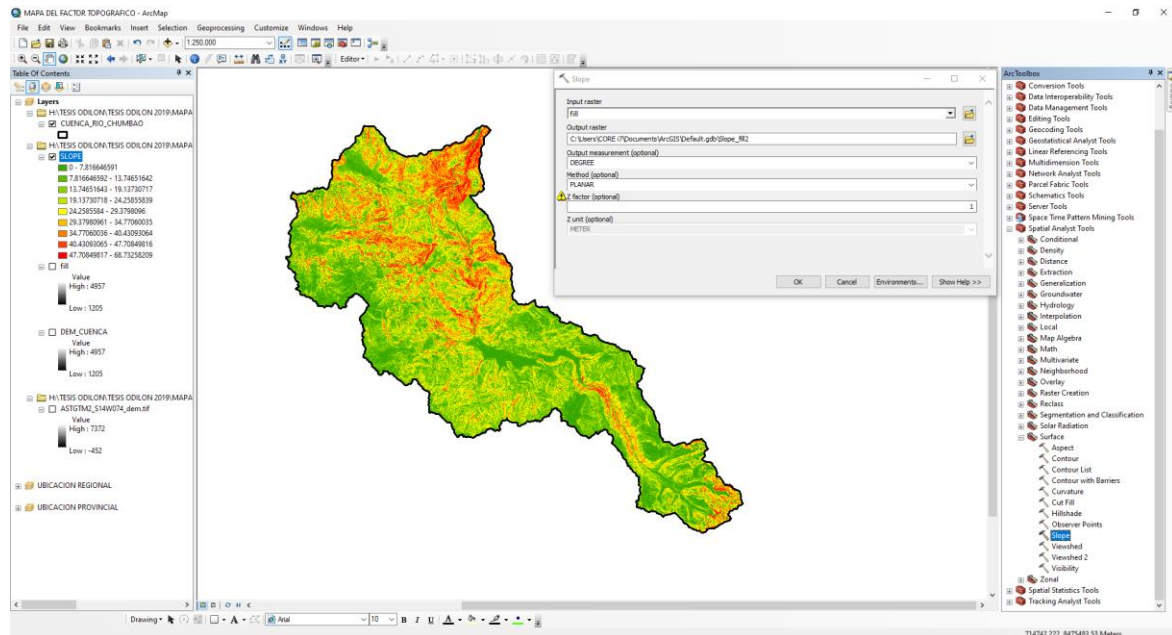
Extracción del DEM dentro del área de estudio



El segundo paso fue hacer el mapa de pendiente con el raster obtenido en el primer paso con la herramienta slope ubicado en *Arctoolboox/ spatial analyst tools/ surface/ slope* obtiniendose pendientes desde 0 hasta 256.9 por ciento, pendientes obtenidos como resultado en formato raster lo que dificulta la asignacion de atributos al mapa obtenido.

Figura 37

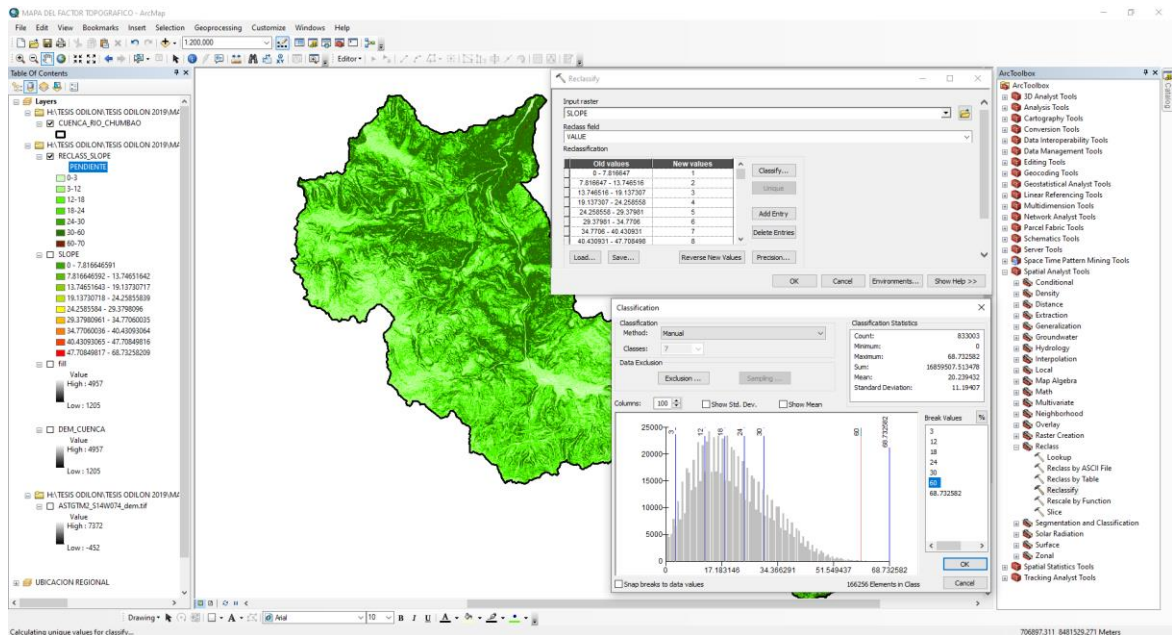
Mapa de pendientes dentro del área de estudio



El tercer paso: que se ha realizado para la elaboración del mapa es la reclasificación de pendientes obtenidos mediante la herramienta slope, para lo cual se ha usado la herramienta *Arctoolboox/ spatial analyst tools/ Reclass/ Reclassify*, para dicha reclasificación se han usado 9 rangos así como se muestra en la Tabla 17 clasificación que la Universidad Politécnica de Madrid citado por Ramos (2001), se usa para asignar directamente valores de factor LS en base a las pendientes del área de estudio.

Figura 38

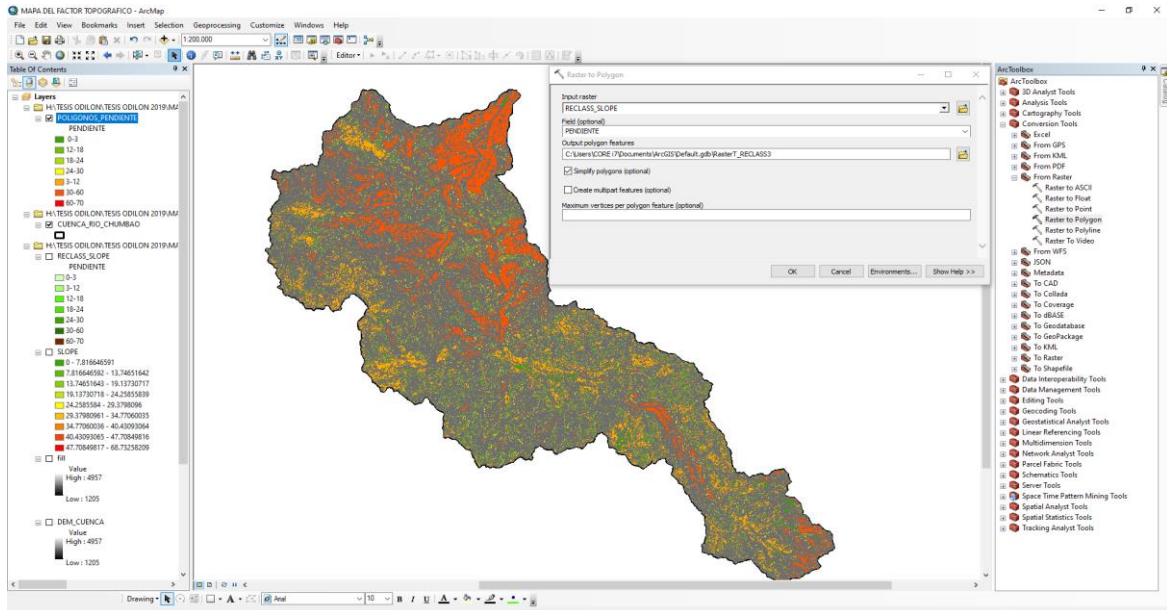
Reclasificación del mapa de pendiente



El cuarto paso desarrollado consistió en convertir el raster reclasificado en formato shapefile, mediante la herramienta *Arctoolbox/ Conversion tools/ From raster/ Raster to polygon*. Lo que nos ha permitido calcular los atributos como las áreas según las pendientes reclasificadas, el resultado de la conversión del formato raster a polígonos ya nos permite que se pueden realizar asignación, cálculos y modificaciones en los atributos del mapa.

Figura 39

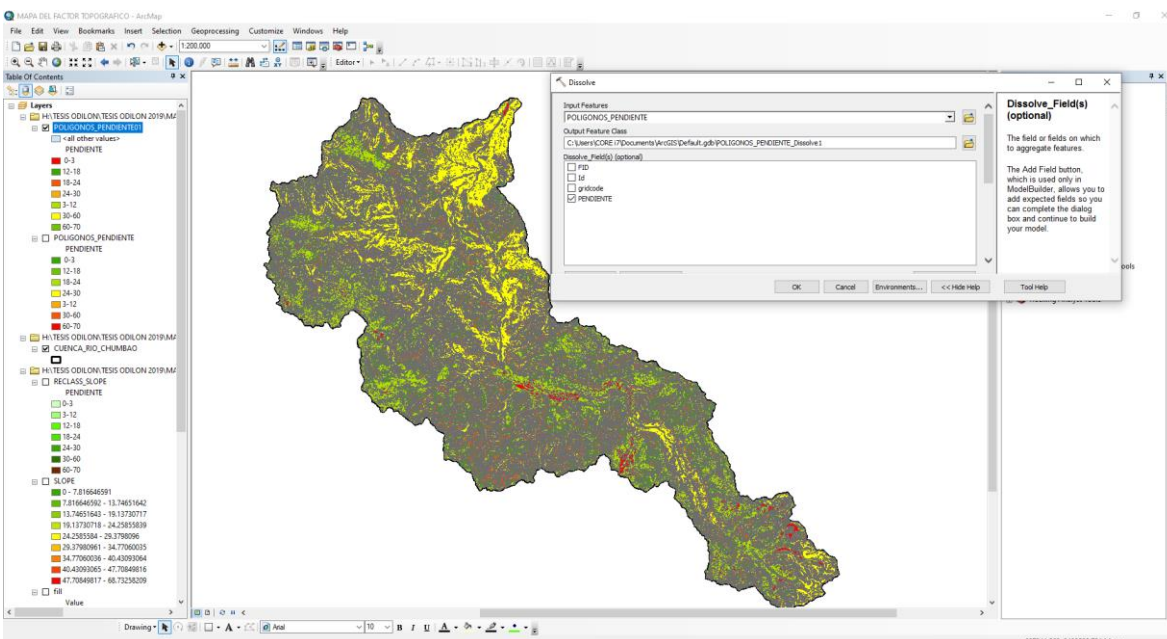
Generación de polígonos del mapa de pendiente



Quinto paso: se disolvió mediante la herramienta Geoprocessing/ Dissolve, de acuerdo a los nueve grupos de pendientes para la asignación del factor LS, los grupos de pendientes fueron (desde 0 hasta > 100), así obteniendo el mapa de pendientes de la cuenca del río Chumbao.

Figura 40

Polígonos fusionados por tipo de pendiente



Finalmente se ha obtenido el mapa de pendientes según las 9 clasificaciones, para directamente asignar valores de coeficiente del factor topografico según la pendiente encontrada en el area de estudio.

3.8.3.4 Procedimiento para determinar el Factor de cobertura vegetal (C).

El procedimiento para determinar los índices de cobertura vegetal (C), para el desarrollo del presente estudio consistió en seguir pasos definidos, de acuerdo a la disponibilidad de datos y brindados por USGS, datos de imágenes Lansdat 8, bandas 4 y 5 que contiene información de la cobertura vegetal, el procedimiento se muestra en la figura 41.

Figura 41

Procedimiento para determinar los Índices del factor de cobertura



Para determinar el factor C se ha identificado sus diferentes atributos o unidades cartográficas en la cuenca del rio Chumbao, siguiendo una serie de pasos metodológicos para el análisis temático y finalmente hasta conseguir que las unidades se encuentren cartografiados. Luego de haber realizado el análisis de las imágenes satelitales, se realizó la digitalización de las unidades cartográficas o denominados polígonos de cobertura vegetal de la cuenca del rio Chumbao, por lo que se tuvo que optar para la ejecución, con la metodología del Índice de diferencia normalizada de vegetación (NDVI) citada en la tabla 18 el mismo que fue modificada por Merg et al, en el año 2011, para tener mejor consistencia de los valores de NDVI en la siguiente tabla y la realidad, se ha realizado corrección según los resultados obtenidos a través de la clasificación supervisada de cobertura vegetal a través de imágenes Lansdat. Los valores del factor de cobertura vegetal

se han designado teniendo como referencia el citado en las tablas N° 12, 18 y19.

Tabla 18

Clasificación de los valores de NDVI

Clasificación	Valores NDVI
Nubes y cuerpos de Agua	< 0,01
Suelos sin Vegetación	0,01 – 0,09
Vegetación Ligera	0,10 – 0,19
Vegetación Mediana	0,20 – 0,40
Vegetación Alta	> 0,40

Fuente: Modificado de Merg et al. (Citado por Huaquipaco, 2017)

El NDVI se ha creado con el fin de reducir el número de dimensiones propias de las medidas multiespectrales a una sola dimensión, el mismo es la combinación de bandas espectrales. Todo organismo fotosintético contiene uno o más pigmentos que absorben la radiación visible, lo que permite que ocurra procesos fotoquímicos y la fotosíntesis. Para determinar el NDVI se usan dos bandas del espectro que muestran la cantidad de energía absorbida por las plantas, las que son; la azul (430 nm) y la roja (58-68nm), sin embargo la banda del infrarrojo cercano (725-1100nm) es la región visible para el ojo humano y actúa de forma inversa. La mayor absorción del rojo y azul, junto con la fuerte reflexión del infrarrojo cercano es la diferencia espectral de la respuesta de toda la vegetación, y ha sido usado durante mucho tiempo como forma de diferenciación de las superficies con y sin vegetación. (Verdin, Pedreros, & Eilerts, 2003)

Tabla 19.

Valores del factor C para los tipos más comunes de cobertura vegetal

Cubierta Vegetal	C
Suelo desnudo	1
Bosque o matorral denso	0.001

Pradera herbácea en buenas condiciones	0.01
Pradera sobre pastoreada	0.1
Maíz, sorgo, alto rendto., laboreo convencional	0.20 - 0.55
Maíz, sorgo, alto rendto., sin laboreo convencional	0.50 - 0.90
Maíz, sorgo, bajo rendto., laboreo mínimo	0.02 - 0.10
Maíz, sorgo, alto rendto., laboreo con chisel	0.12 - 0.20
Maíz, sorgo, bajo rendto., laboreo con chisel	0.30 - 0.45
Algodón	0.40 – 0.70
Pradera herbácea	0.01 - 0.025
Soya	0.20 – 0.50
Trigo	0.10 – 0.40
Arroz	0.10 – 0.20
Cacahuete	0.30 – 0.80
Frutales con Cobertura Vegetal	0.01-0.80
Caña de azúcar	0.56
Arbolado denso	0.001 - 0.003
Arbolado forestal clareado (25 – 60%)	0.041
Matorral con buena Cobertura	0.0030 – 0.013
Matorral ralo y eriales	0.20 – 0.013
Cultivos anuales y herbáceos	0.25
Pasturas	0.15
Plantas herbáceas y matorjos (100%)	0.003
Plantas herbáceas y matorjos (60%)	0.035
Cubierta escasa (60%)	0.15-0.09
Cubierta inapreciable	0.45

Fuente: Cayo (2001)

Tabla 20.*Índices del factor de cobertura vegetal*

Cultivo y práctica	Media anual del factor C
Suelo desnudo	1.0
Bosque o matorral denso (alto mulch)	0.001
Pradera herbácea en buenas condiciones	0.01
Pradera sobre pastoreada	0.1
Pradera herbácea	0.01-0.025
Albolado denso	0.01-0.003
Albolado forestal clareado	0.003-0.009
Matorral con buena cobertura	0.003-0.013
Matorral ralo y eriales	0.20-0.013
Cultivos anuales y herbáceos	0.25
Pasturas	0.15
Cubierta escasa (60 por ciento)	0.15-0.09
Cubierta inapreciable	0.45

Fuente: Wischmeier (1978)

Para poder determinar el NDVI a partir de imágenes de satélite Landsat 8, obtenido de la base de datos del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS) del año 2019, la cual fue verificada mediante la clasificación supervisada de la cobertura vegetal, con el fin de validar los resultados obtenidos de la combinación de bandas y los datos obtenidos en campo en la cuenca del río Chumbao. El método utilizado para la obtención del NDVI fue el siguiente:

$$\text{NDVI} = (\text{Banda infrarroja cercana} - \text{Banda roja}) / (\text{Banda infrarroja cercana} + \text{Banda roja})$$

El Índice de diferencia normalizada de vegetación se ha determinado mediante la diferencia de la banda infrarroja cercana menos la banda roja, entre,

banda infrarroja cercana más banda roja, así como se puede mostrar en la ecuación anterior.

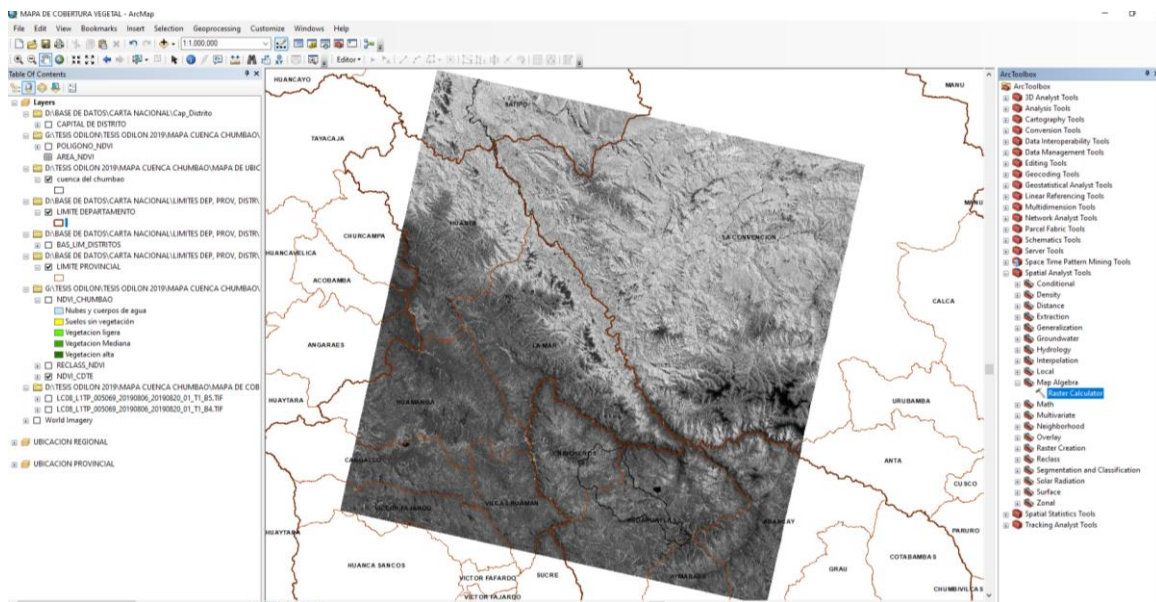
Para determinar el factor de cobertura vegetal, así como se ha indicado en el párrafo anterior se ha usado imagen Satelital Landsat 8, brindado por el Servicio Geológico de los Estados Unidos, el mismo que fue seleccionada por presentar nubosidad menor al 10 % y una precisión de 30 pixeles a comparación de otras metodologías que presentan mayores o iguales a 50 metros. La cobertura vegetal es uno de los factores que evita la erosión del suelo, por lo que protege al suelo de estar expuesto libremente, el suelo al estar expuesto es más vulnerable de ser desgastado por el impacto de las gotas de lluvia.

Para obtener el mapa de cobertura vegetal, con apoyo del software Arc gis 10.6 se ha realizado una serie de procesos, las que se indican a continuación:

Primer paso: se ha elaborado un mapa base de cobertura vegetal para ello, se ha cargado las imágenes Landat, las bandas 4 y 5 y mediante ha herramienta: Arc Toolbox/ spatial analyst tools/ Map algebra/Raster calculator, se ha realizado la ecuación que nos permite calcular el Índice de diferencia normalizada de vegetación (NDVI). Finalmente obteniendo el mapa de Vegetación, el mismo que no se encuentra reclasificada según los intervalos que definen para cada tipo de cobertura vegetal de la zona.

Figura 42

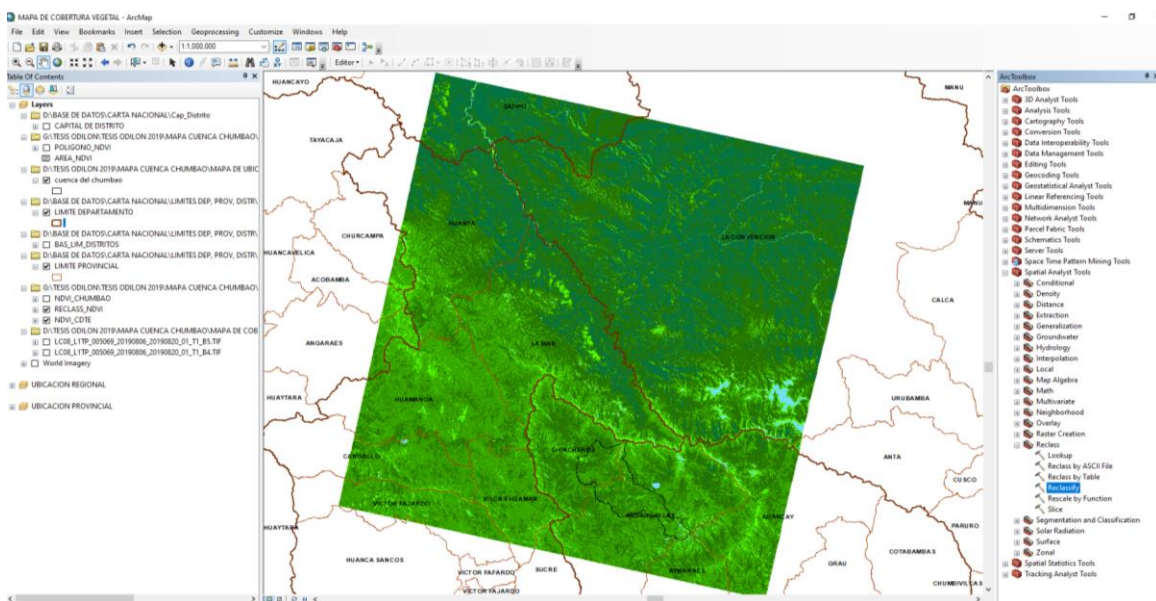
Calculo del NDVI en el cuadrante obtenido del USGS



Segundo paso: el mapa obtenido en el anterior paso se ha procedido reclasificar en 5 tipos mediante la herramienta: Arc Toolbox/ spatial analyst tools/ Reclass/Reclassify, obteniendo un mapa de cobertura vegetal reclasificado en 8 tipos de cobertura.

Figura 43

Reclasificación del NDVI

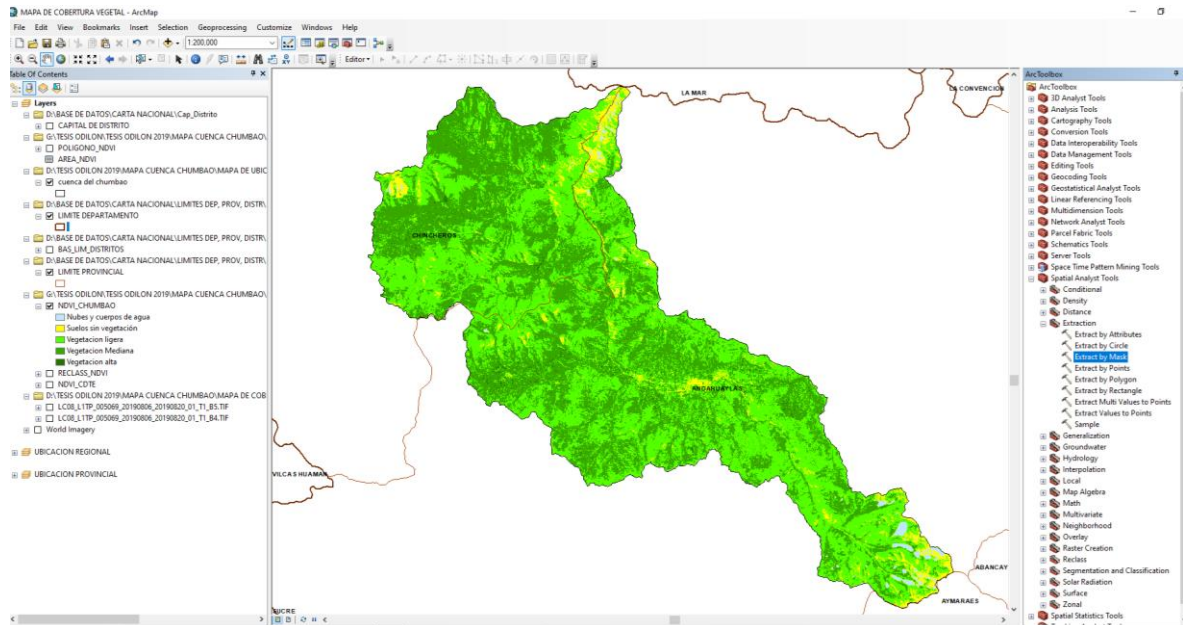


Tercer paso: el mapa obtenido en el anterior paso se encuentra en todo el cuadrante brindado por la USGS, por lo que para el presente estudio se necesita

solo dentro de la cuenca del rio Chumbao, para ello se ha extraído usando la herramienta: Arc Toolbox/ spatial analyst tools/ Extractio/ Extract by Polygon. Finalmente obteniendo el mapa de NDVI dentro de la cuenca del Rio Chumbao, así como se muestra en la siguiente figura 44.

Figura 44

Extracción del NDVI dentro del área de estudio



Cuarto paso: para calcular sus atributos del mapa de NDVI debe de estar en polígonos, por lo que se realizó la conversión mediante la herramienta: Arc Toolbox/ Conversion Tools/ From Raster/ Raster to Polygon. En los polígonos del NDVI obtenido se ha realizado el cálculo de sus atributos, siendo una de ellas el área existente de cada atributo mediante y de cada tipo de cobertura.

Figura 45

Conversión del raster a polígonos para el cálculo de atributos

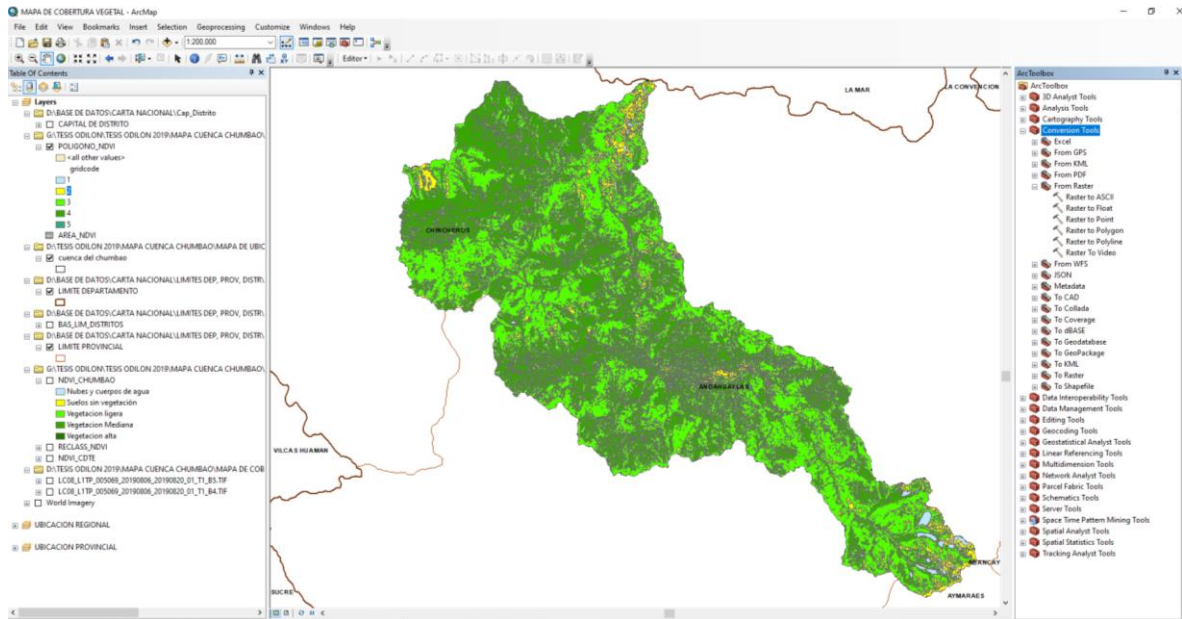
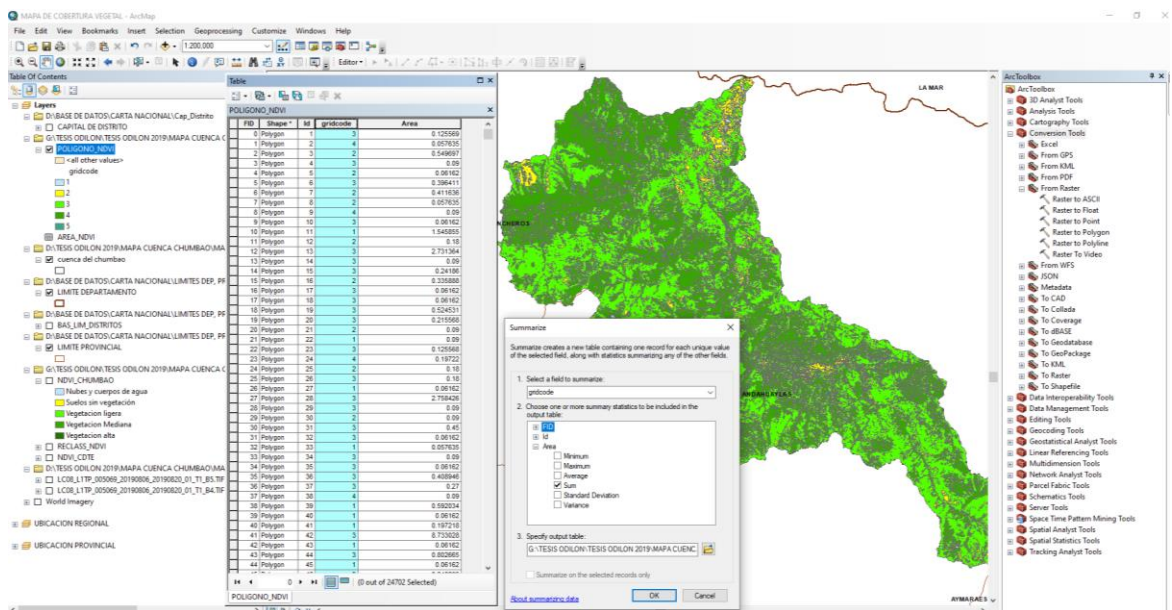


Figura 46

Calculo del área por cada tipo de cobertura.



Quinto paso: el mapa obtenido anteriormente se ha corroborado en campo, para tener mejor precisión de los resultados, para lo cual con los resultados obtenidos en campo del tipo de cobertura se ha reajustado el mapa base, llegándose a obtener un mapa consistente con la realidad.

3.8.3.5 Procedimiento para determinar el Factor de prácticas de conservación (P).

Para el estudio del factor de prácticas de conservación se ha desarrollado la verificación en campo. Para poder determinar el valor que corresponde según sea el tipo de conservación, fue necesario verificar la existencia, así como de: cultivos en contorno y barreras vivas.

En la zona estudiada no se han observado prácticas los tipos mencionados en el anterior párrafo, por lo que este se optó por poner el valor del factor de prácticas de conservación de $P=1$.

3.8.4 Procedimiento para la estimación de la erosión media anual de la cuenca del río Chumbao.

Para la estimación de la erosión media anual de la cuenca del río Chumbao se hará uso de la siguiente ecuación de RUSLE:

$$A = R * K * LS * C * P$$

Donde:

- ❖ **A:** es el cálculo de la pérdida espacial y temporal media de suelo por unidad de superficie ($\text{ton.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$), expresada en las unidades elegidas para el factor K y el período elegido para el factor erosividad de la lluvia.
- ❖ **R:** es el factor de erosividad ($\text{MJ. mm.ha}^{-1}.\text{h.año}^{-1}$) de lluvia.
- ❖ **K:** El coeficiente de erosión del suelo ($\text{ton.ha.h.ha}^{-1}.\text{MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$) es la tasa de pérdida de suelo por unidad de índice de erosión para un tipo de suelo determinado.

Los demás factores son considerados fijos y no tienen dimensiones:

- ❖ **LS:** El factor de longitud de pendiente, es la relación entre la pérdida de suelo y la longitud de la pendiente en el área de prueba, y el factor S, que nos dice

qué tan empinada es la pendiente, mide la tasa de pérdida de suelo de la pendiente en el área de prueba. En la ecuación, el coeficiente LS se considera como el coeficiente del terreno obtenido al multiplicar los coeficientes L y S (Pan & Wen, 2014) citado en (SENAMHI, 2017)

- ❖ **C:** Factor de cobertura vegetal sobre las tasas de pérdida de suelo en áreas cubiertas y manejo de pérdidas específicas de suelo.
- ❖ **P:** Prácticas de conservación o elementos auxiliares de prácticas y prácticas que respaldan la pérdida de tierras, como la pérdida de terrenos en contornos.

Los valores obtenidos de los factores de erosividad de la lluvia, factor de erodabilidad, factor topográfico, factor de cobertura vegetal y el factor de prácticas de conservación se aplicarán en la ecuación de R.U.S.L.E. con el apoyo del Software arc gis, ya que permitirá realizar la superposición de capas mediante la herramienta *Raster calculator* y realizar el cálculo de los atributos para finalmente reclasificar según los rangos y niveles de erosión establecidos por la FAO.

Finalmente, también se presentará resultados según la clasificación propuesto por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO. Según la tabla que se muestra en la Tabla 21.

Tabla 21
Clasificación de pérdida de suelos según la FAO

Pérdida de suelo (t/ha-año)	Grado de Erosión Hídrica
<10.0	Ninguna o ligera
10.0-50.0	Moderada
50.0-200.0	Alta
>200.0	Muy Alta

Fuente: FAO, 1985

3.9 Materiales y equipos requeridos

a. Los materiales

- Mapas base

b. Equipos y Software

- Computadora (Excel, Arc Gis 10.6 y HEC4)

Tabla 22

Atributos del mapa de la cuenca del río Chumbao.

Nombre	Coordenada este	Coordenada Norte	Área (Ha)
Cuenca del río Chumbao	667617.81	8493922.49	77,469.0593

Fuente: Autoría Propia

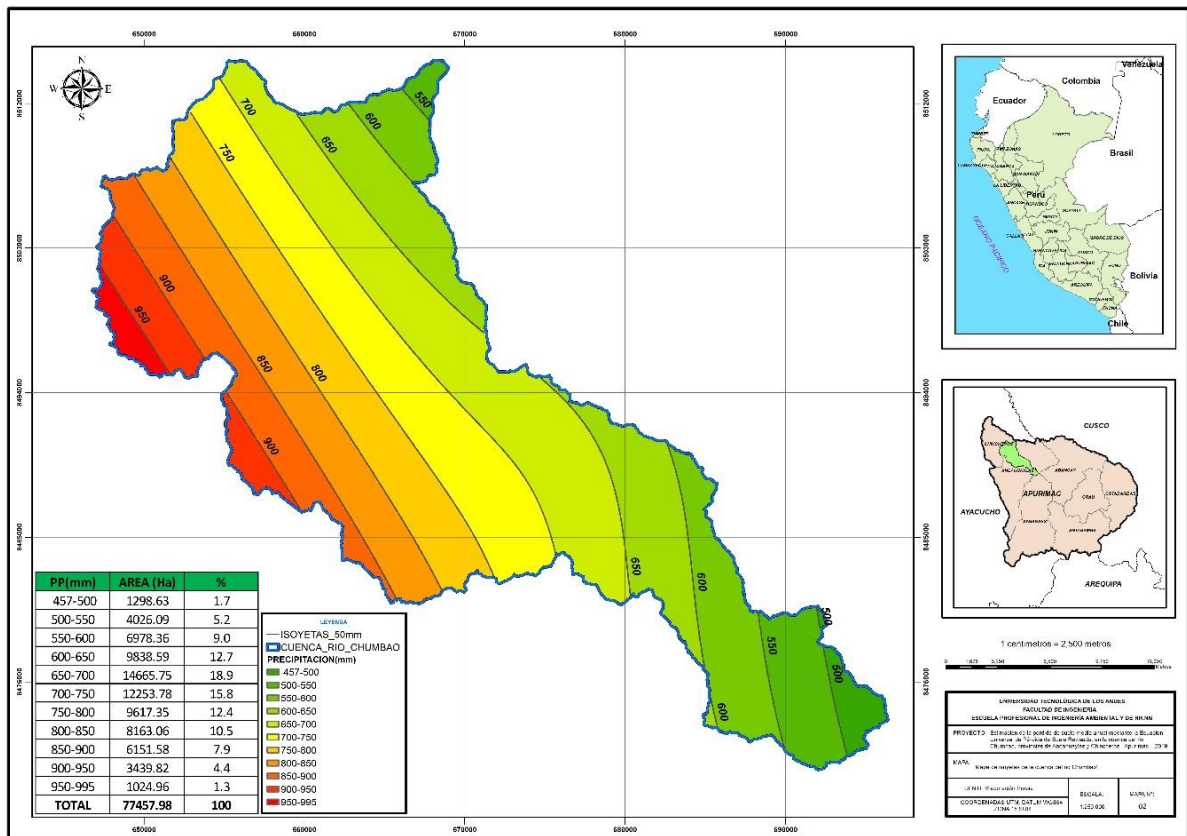
4.1.2 Procesamiento de datos según los objetivos de estudio

4.1.2.1 Estimación del coeficiente del factor de erosividad (R).

Previo a la estimación del factor de erosividad de lluvia se ha elaborado un mapa de isoyetas del área de estudio, esto nos permitió conocer el comportamiento de la precipitación por 55 años, según los datos completados mediante el software HEC4, previamente analizados la consistencia de los datos, en el gráfico se puede mostrar el mapa de isoyetas.

Figura 48

Mapa de isoyetas



Del mapa de isoyetas de la Figura 48, se puede deducir que las zonas con

mayor precipitación de la cuenca del río Chumbao se encuentran en el sur oeste, donde se encuentran ubicados los distritos de Ranracancha y Santa María de Chicmo, alcanzando niveles de precipitaciones promedio de 750 mm a 995 mm; los distritos de Ocobamba, Talavera y Andahuaylas, cuentan con una precipitación promedio e intermedio en la cuenca, registrando según el mapa de isoyetas de 600 mm a 750 mm y los distritos de San Jerónimo, el noreste del distrito de Talavera, noreste del distrito de Ocobamba y el distrito de Andarapa, son los que presentan los registros más bajos de precipitación de la cuenca del río Chumbao, así como muestra el mapa de isoyetas de la figura 48.

Este mapa nos permitirá interpretar e identificar las zonas con diferentes tipos de precipitación y su implicancia en su erosión. Es por ello la necesidad de determinar el mapa de isoyetas en el presente estudio.

Tabla 23.

Representatividad de precipitación en la cuenca del río Chumbao

Precipitación (mm)	Área (Ha)	Porcentaje (%)
457-500	1298.63	1.7
500-550	4026.09	5.2
550-600	6978.36	9.0
600-650	9838.59	12.7
650-700	14665.75	18.9
700-750	12253.78	15.8
750-800	9617.35	12.4
800-850	8163.06	10.5
850-900	6151.58	7.9
900-950	3439.82	4.4
950-995	1024.96	1.3

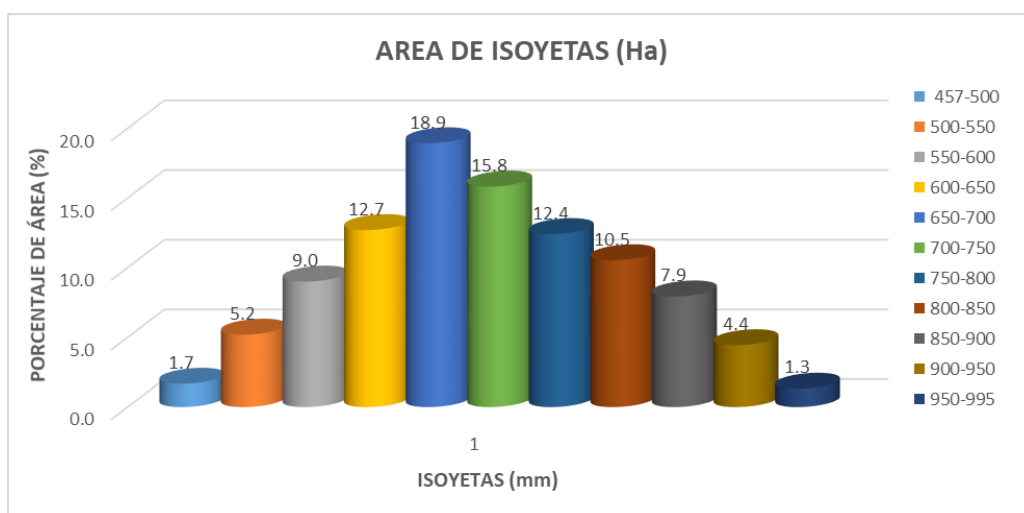
Fuente: Autoría Propia

Así como se puede apreciar en la figura 49, el rango de precipitación que

mayor extensión abarca en el área de estudio es de 650-700mm, este a su vez representa el 18.9% del total del área en estudio, seguido de 700-750mm que tiene una representatividad de 15.8 % del total de la extensión de la cuenca del río Chumbao, rangos de precipitación de 600-650mm que representa un 12.7 % del área total, 750-800mm de precipitación en un total de 12.4% del área total de la cuenca, asimismo rangos de precipitación media entre 800-850mm que cuenta con una extensión del 10.5% del total del área de estudio, precipitaciones de rango 550-600mm que cubre una superficie del 9 % del área de estudio, 500-550mm que cubre una superficie del 5.2%, 900-950mm que cubre un porcentaje de 4.4% de la cuenca, 457-500mm con un 1.7% y precipitaciones de 950-995mm siendo las que representan el mínimo porcentaje de extensión a nivel de la cuenca en estudio, presentándose solo en un 1.3% del área total de la cuenca.

Figura 49

Áreas de isoyetas.

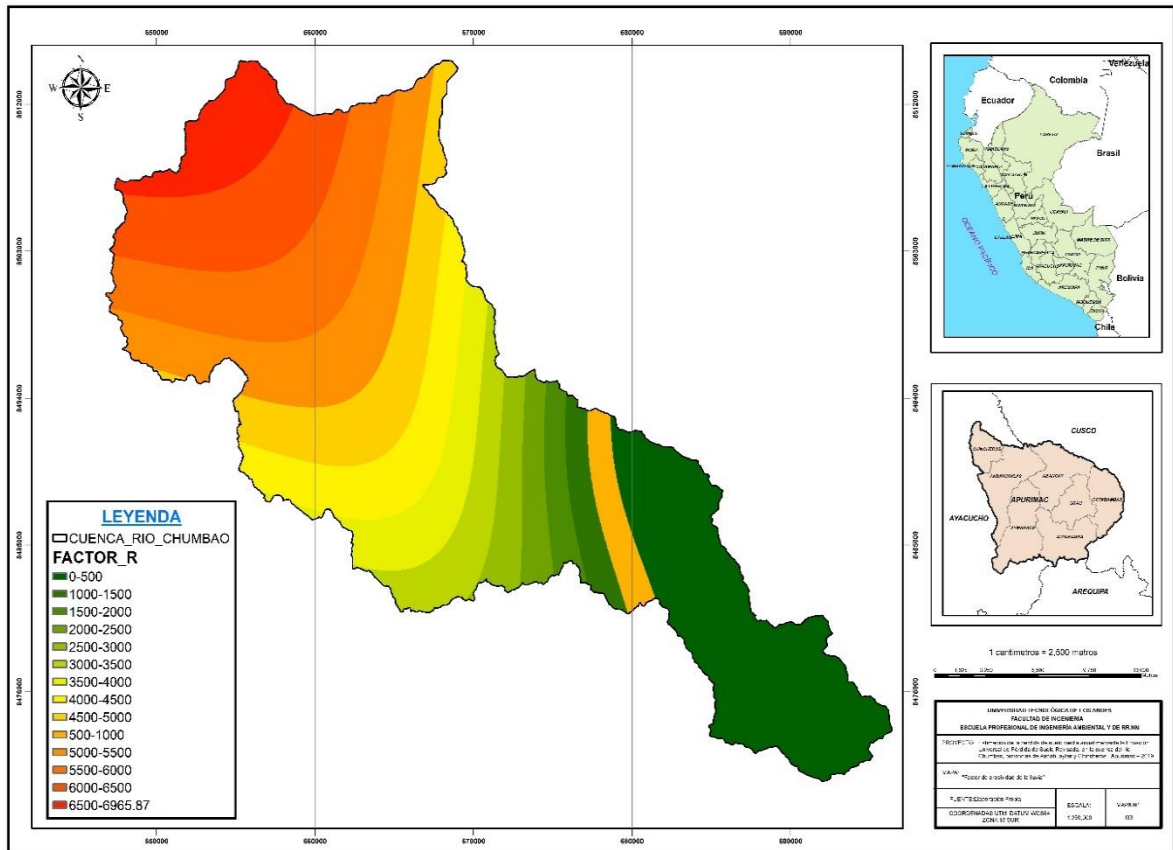


Luego de realizar el análisis del mapa de isoyetas de la cuenca del río Chumbao, se ha realizado la estimación del factor de erosividad de la lluvia con el apoyo del software Excel y para poder representar gráficamente se ha usado el

software Arc Gis 10.6. En la figura 45 se muestra el mapa del factor de erosividad de la lluvia en la cuenca del rio Chumbao.

Figura 50

Mapa del factor de erosividad de la lluvia



En la tabla 24 se muestran los resultados del factor de la erosividad de la lluvia, representado en las unidades $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{año}^{-1}$, se puede observar que el factor R varía desde 0 hasta 6965.87 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{año}^{-1}$.

En la figura 50, se puede observar que en la parte noroeste de la cuenca del río Chumbao, que abarca los distritos de Ocobamba, Santa María de Chicmo, Ranracancha y parte del distrito de Talavera, son los que presentan mayor erosividad, el rango de erosividad oscila entre 3500-6965.87 $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{año}^{-1}$. Por otro lado, los distritos que se encuentran situados al sureste de la cuenca del río Chumbao, que de paso son los distritos: San Jerónimo, Andahuaylas y parte de Talavera, son los que presentan menor erosividad a nivel del área del presente

estudio, su rango varia ente 0 a 3500 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ año⁻¹.

Tabla 24

Resultado del factor de erosividad de la lluvia en la cuenca del rio Chumbao.

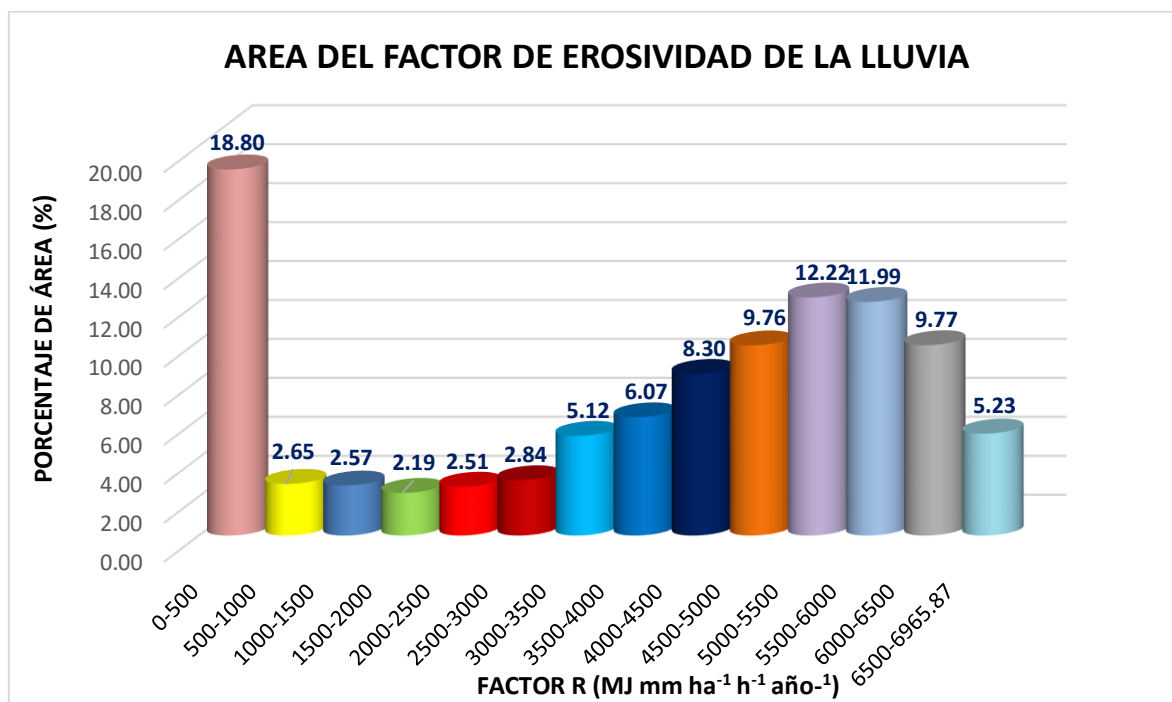
Factor R MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ año⁻¹	Área (Ha)	Porcentaje (%)
0-500	14560.01	18.80
500-1000	2051.47	2.65
1000-1500	1987.31	2.57
1500-2000	1695.41	2.19
2000-2500	1941.75	2.51
2500-3000	2197.48	2.84
3000-3500	3965.67	5.12
3500-4000	4700.93	6.07
4000-4500	6428.77	8.30
4500-5000	7560.82	9.76
5000-5500	9466.40	12.22
5500-6000	9289.86	11.99
6000-6500	7569.26	9.77
6500-6965.87	4052.18	5.23

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 51 se puede apreciar que los factores de erosividad de la lluvia de (0-500) MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ año⁻¹ presentan 18.80% del área total, seguido de (5000-5500) MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ año⁻¹ que representa un 12.22%, así mismo también se puede observar que los índices del factor R que corresponden a (1500-2000) MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ año⁻¹ representan el menor porcentaje de área ocupando solo el 2.19% del total del área de la cuenca del rio Chumbao.

Figura 51

Resultado del factor de erosividad de la lluvia en la cuenca del rio Chumbao



Para poder estimar la erosión media anual de la cuenca del rio chumbao, cada factor de erosión se ha guardado en archivo de formato raster, lo que permitirá realizar una superposición de capas y realizar calculo en sus atributos.

4.1.2.2 Estimación de los índices del factor de erodabilidad (K).

Los coeficientes del factor K, según la erosión estimada con los datos obtenidos del mapa digital del suelo del mundo de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, donde se puede apreciar que dentro del área de estudio se encuentran unidades de suelos.

Las unidades de suelo de la leyenda del mapa de suelos del mundo (1974) comprenden 106 suelos que se agrupan en veintiséis agrupaciones principales de suelos. En la tabla 27 se muestra 02 tipos de unidades de suelo de las 106 existentes en el mundo, es así que se representa mediante la siguiente simbología (I: LITHOSOLS; H: PHAEZEMS - HI: Luvic Phaeozems)

En la tabla 25 se muestra la composición textural encontrado en la cuenca

del río Chumbao con datos del mapa de suelos del mundo de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura.

Tabla 25.

Composición Textural del suelo de la cuenca del río Chumbao.

ÁREA	SIMBOLO	% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	% CARBONO ORGANICO
AE-1	I	58.9	16.2	24.9	0.97
AE-2	I	58.9	16.2	24.9	0.97
AE-3	HL	39.1	26.5	34.6	1.46
AE-4	I	58.9	16.2	24.9	0.97

Fuente: FAO (2019)

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

❖ **Para el área de estudio 1 (AE-1)**

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

$$f_{csand} = (0.2 + 0.3 \cdot \exp[-0.256 \cdot 58.9 \cdot (1 - \frac{16.2}{100})])$$

$$f_{csand} = 0.2000$$

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

$$f_{cl-si} = \left(\frac{16.2}{24.9 + 16.2} \right)^{0.3}$$

$$f_{cl-si} = 0.75631$$

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

$$f_{orgc} = \left(1 - \frac{0.25 \cdot 0.97}{0.97 + \exp[3.72 - 2.95 \cdot 0.97]} \right)$$

$$f_{orgc} = 0.92717$$

Donde:

- m_s : % arena
- m_{silt} : % limo
- m_c : % arcilla
- m_c : % arcilla
- $orgC$: % carbono orgánico

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

$$f_{\text{hisand}} = \left(1 - \frac{0.7 * \left(1 - \frac{58.9}{100} \right)}{\left(1 - \frac{58.9}{100} \right) + \exp \left[-5.51 + 22.9 * \left(1 - \frac{58.9}{100} \right) \right]} \right)$$

$$f_{\text{hisand}} = 0.99424$$

❖ Para el área de estudio 2 (AE-2)

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

$$f_{\text{csand}} = (0.2 + 0.3 * \exp \left[-0.256 * 58.9 * \left(1 - \frac{16.2}{100} \right) \right])$$

$$f_{\text{csand}} = 0.2000$$

Donde:

- m_s : % arena
- m_{silt} : % limo
- m_c : % arcilla
- m_c : % arcilla
- orgC : % carbono orgánico

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

$$f_{\text{cl-si}} = \left(\frac{16.2}{24.9 + 16.2} \right)^{0.3}$$

$$f_{\text{cl-si}} = 0.75631$$

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

$$f_{\text{orgc}} = \left(1 - \frac{0.25 * 0.97}{0.97 + \exp \left[3.72 - 2.95 * 0.97 \right]} \right)$$

$$f_{\text{orgc}} = 0.92717$$

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

$$f_{\text{hisand}} = \left(1 - \frac{0.7 * \left(1 - \frac{58.9}{100} \right)}{\left(1 - \frac{58.9}{100} \right) + \exp \left[-5.51 + 22.9 * \left(1 - \frac{58.9}{100} \right) \right]} \right)$$

$$f_{\text{hisand}} = 0.99424$$

❖ Para el área de estudio 3 (AE-3)

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

$$f_{\text{csand}} = (0.2 + 0.3 \cdot \exp[-0.256 \cdot 39.1 \cdot (1 - \frac{26.5}{100})])$$

$$f_{\text{csand}} = 0.20019$$

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

$$f_{\text{cl-si}} = \left(\frac{26.5}{34.6 + 26.5} \right)^{0.3}$$

$$f_{\text{cl-si}} = 0.77833$$

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

$$f_{\text{orgc}} = \left(1 - \frac{0.25 \cdot 1.46}{1.46 + \exp[3.72 - 2.95 \cdot 1.46]} \right)$$

$$f_{\text{orgc}} = 0.81895$$

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

$$f_{\text{hisand}} = \left(1 - \frac{0.7 \cdot (1 - \frac{39.1}{100})}{(1 - \frac{39.1}{100}) + \exp[-5.51 + 22.9 \cdot (1 - \frac{39.1}{100})]} \right)$$

$$f_{\text{hisand}} = 0.99991$$

❖ Para el área de estudio 4 (AE-4)

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

$$f_{\text{csand}} = (0.2 + 0.3 \cdot \exp[-0.256 \cdot 58.9 \cdot (1 - \frac{16.2}{100})])$$

Donde:

- m_s : % arena
- m_{silt} : % limo
- m_c : % arcilla
- m_c : % arcilla
- orgC : % carbono orgánico

$$f_{\text{csand}} = 0.2000$$

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

$$f_{\text{cl-si}} = \left(\frac{16.2}{24.9 + 16.2} \right)^{0.3}$$

$$f_{\text{cl-si}} = 0.75631$$

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

$$f_{\text{orgc}} = \left(1 - \frac{0.25 \cdot 0.97}{0.97 + \exp[3.72 - 2.95 \cdot 0.97]} \right)$$

$$f_{\text{orgc}} = 0.92717$$

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

$$f_{\text{hisand}} = \left(1 - \frac{0.7 \cdot \left(1 - \frac{58.9}{100} \right)}{\left(1 - \frac{58.9}{100} \right) + \exp[-5.51 + 22.9 \cdot \left(1 - \frac{58.9}{100} \right)]} \right)$$

$$f_{\text{hisand}} = 0.99424$$

Según las estimaciones realizadas un 98.1% del área total de la cuenca cuentan con tipo I: LITHOSOLS, este a su vez tiene en su composición de un 58.9% de arena, 16.2% de limo, 24.9% de arcilla y un 0.97% de carbono orgánico. El 1.9% restante es de tipo H: PHAEZOZEMS - HI: Luvic Phaeozems, en su composición presenta un 39.1% de arena, 26.5% de limo, 34.6% de arcilla y 1.46% de carbono orgánico, así como se puede mostrar en la tabla N° 26.

Tabla 26*Estimación del factor de erodabilidad*

SIMBOLO	% ARENA	% LIMO	% ARCILLA	% CARBONO ORGANICO	F csand	F cl-si	F orgc	F hisand	K
I	58.9	16.2	24.9	0.97	0.20000	0.75631	0.92717	0.99424	0.1394
I	58.9	16.2	24.9	0.97	0.20000	0.75631	0.92717	0.99424	0.1394
HL	39.1	26.5	34.6	1.46	0.20019	0.77833	0.81895	0.99991	0.1276
I	58.9	16.2	24.9	0.97	0.20000	0.75631	0.92717	0.99424	0.1394

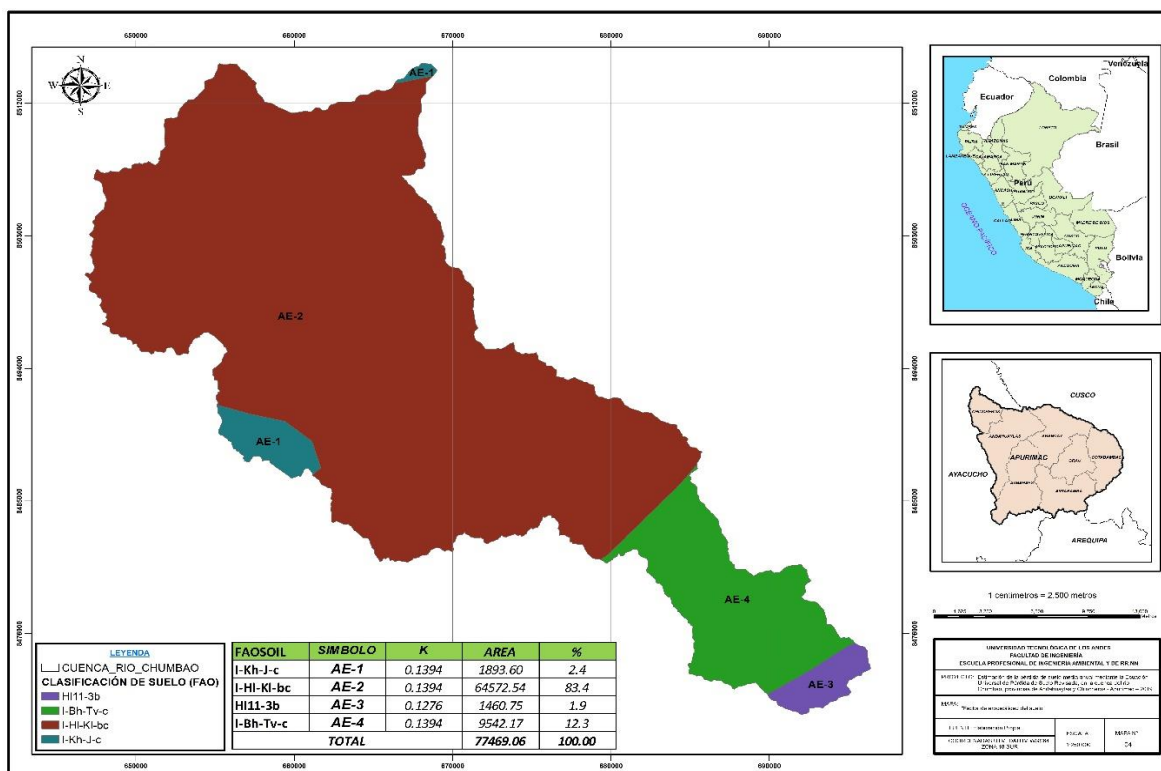
Fuente: Autoría propia en base a los datos brindados por la FAO

En la figura 52 se puede mostrar de manera ilustrativa la distribución del factor de erodabilidad del suelo en la cuenca del río Chumbao, lo que será un dato importante para la estimación de la erosión media.

De la tabla 25 se puede deducir que, de los 77,469.06 Ha que tiene como área la cuenca del río Chumbao, un 76,008.31 que representa el 98.1% del total del área presenta una clasificación textural de Franco Arcilloso Arenoso y el 1,460.75 Ha que corresponden a un 1.9 % del total de la superficie de la cuenca presentan una clasificación textural franco arcilloso.

Figura 52

Mapa de factor de erodabilidad del suelo



Según la estimación se ha determinado 04 unidades de suelo, así como se muestra en la tabla 27 y se encuentra simbolizado con: AE-1, AE-2, AE-3 y AE-4. Estas simbologías se encuentran zonificadas en la Figura N°53, donde se puede apreciar que el AE-1 representa el 2.4% del área del total y tiene una erodabilidad de 0.1394, el AE-2 representa el 83.4% del total del área de estudio, con una erodabilidad de suelo de 0.1394, el AE-3 representa el 1.9% del total del área de estudio, con una erodabilidad del suelo de 0.01276 y el AE-4 representa el 12.3% del total del área de estudio, con una erodabilidad del suelo de 0.1394.

Tabla 27

Distribución del factor de erodabilidad en el área de estudio

FAOSOIL	Símbolo	Factor K	Área (Ha)	Porcentaje (%)
I-Kh-J-c	AE-1	0.1394	1893.60	2.4
I-HI-KI-bc	AE-2	0.1394	64572.54	83.4
HI11-3b	AE-3	0.1276	1460.75	1.9

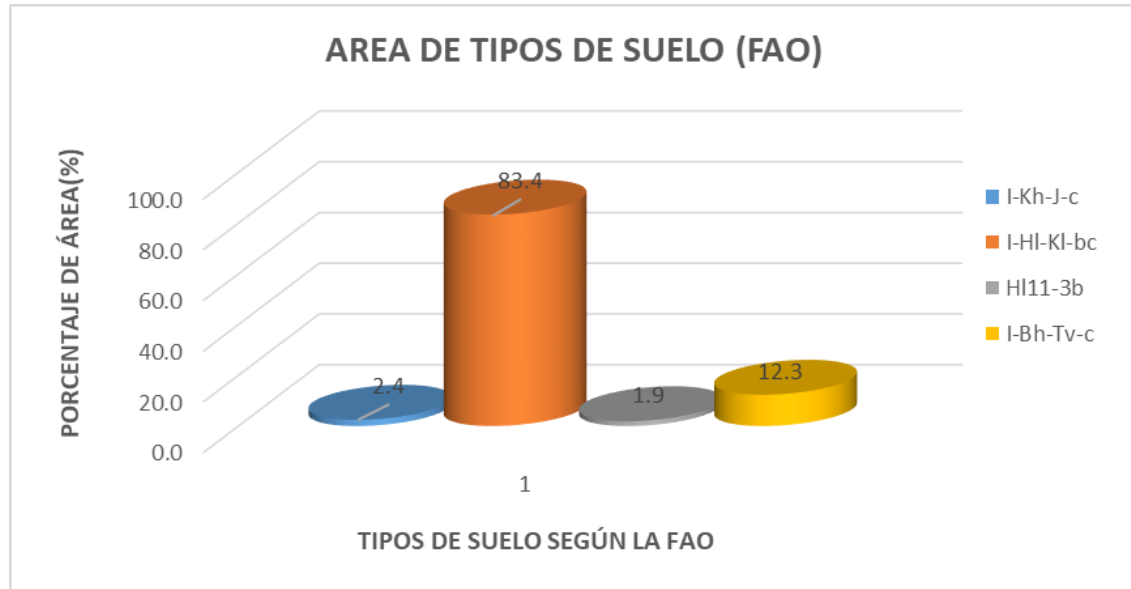
I-Bh-Tv-c	AE-4	0.1394	9542.17	12.3
-----------	------	--------	---------	------

Fuente: Autoría propia, elaborado en base a los datos brindados por la FAO

(2019).

Figura 53

Distribución de unidades del suelo en el área de estudio



Finalmente se ha convertido el factor de erodabilidad del suelo en formato raster, para poder realizar la estimación de la erosión de la cuenca del río Chumbao.

4.1.2.3 Estimación de los coeficientes del factor Topográfico (LS).

Mediante el uso de imágenes satelitales obtenidos del USGS y procesados en el software Arc Gis 10.6, esto a su vez, en base a los índices del factor topográfico asignados por la Facultad de Hidráulica hidrología de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes (Madrid) citado por Ramos (2001) se ha determinado las pendientes del área de estudio y asignado los valores del factor topográfico.

En la Tabla 28, se muestran los porcentajes de área, según los rangos de pendiente que presenta la cuenca del río chumbao, donde claramente se puede apreciar que el 40.32% del área de estudio, presenta una pendiente de 40-32%, seguido con un 11.09% del área de estudio, que presenta de 18-24% de pendiente,

el 10.96% del área de estudio presenta una pendiente entre 24-30%, un 9.83% del total del área de estudio posee una pendiente de 12-18%, un 9.73% del total del terreno de estudio posee una pendiente de 70-100%, el 9.02% de la cuenca presenta una pendiente de 3-12%, el 6.22% de la cuenca presenta una pendiente de 60-70%, el 2.23% del total de la superficie presenta pendientes mayores a 100% y el que en menor extensión se muestra es pendientes de 0-3% solo cubriendo un 0.60% del total del área de estudio.

Tabla 28

Resultado del mapa de pendientes de la cuenca del río Chumbao

Rangos de pendiente	Área (Ha)	Porcentaje (%)
0-3	459.92	0.60
3-12	6940.84	9.02
12-18	7566.06	9.83
18-24	8531.72	11.09
24-30	8430.72	10.96
30-60	31018.44	40.32
60-70	4785.27	6.22
70-100	7486.77	9.73
>100	1712.32	2.23
Total	77457.03	100.0

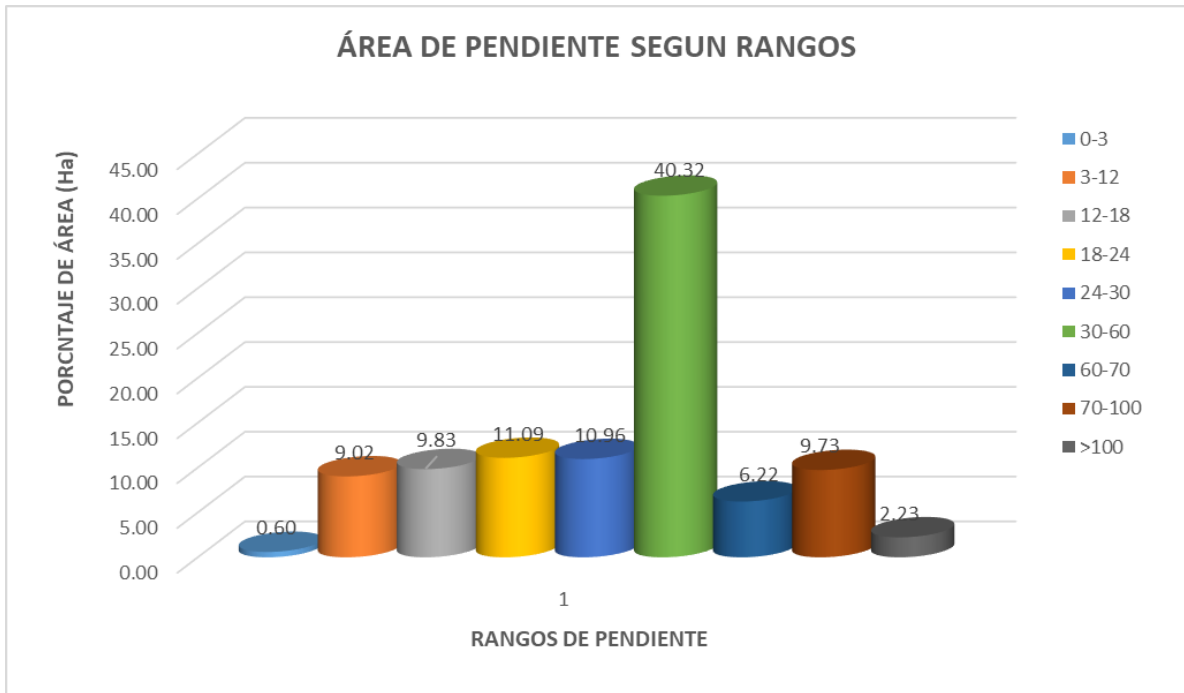
Fuente: Autoría propia, en base a datos brindados por USGS

En el Gráfico 54 se muestra las áreas según los rangos de pendientes asignados por la Facultad de Hidráulica hidrología de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes (Madrid) citado por Ramos (2001). Lo que nos permite visualizar con mayor claridad que las pendientes entre 30-60% son las que mayor extensión presentan en el área de estudio, seguido de los rangos de pendiente 18-24% y se puede ver que en el área de estudio que los rangos de pendiente de 0-

3% son las que cubren menor porcentaje de la superficie siendo este solo 0.60% del total de la cuenca del rio Chumbao.

Figura 54

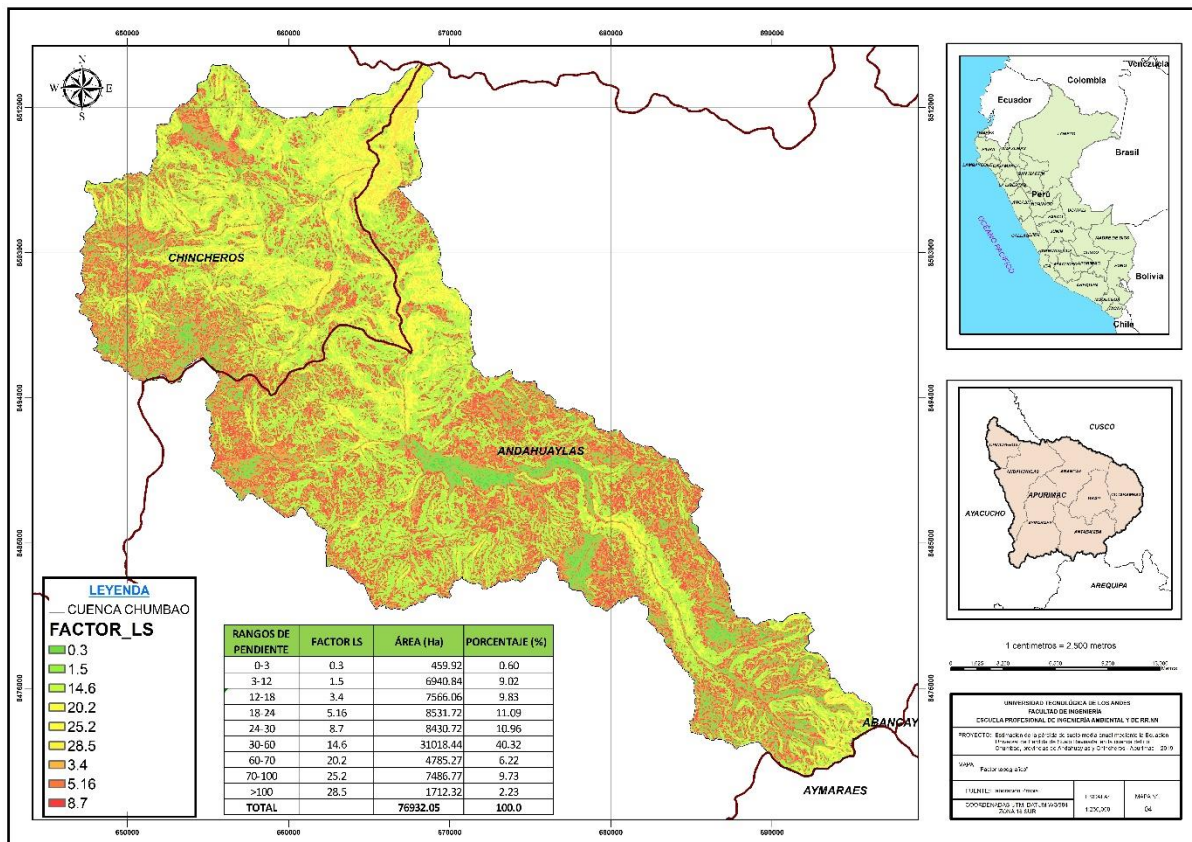
Áreas de pendiente según sus rangos de la cuenca del rio Chumbao



En la Figura 55 se muestra el mapa de pendientes de la cuenca del rio Chumbao en base a los 9 grupos de pendientes, encontrándose en el área de estudio, grupos de pendientes que varían desde 0 hasta 256%, este factor en formato shp nos permitirá seguir realizando cálculos y la superposición de mapas.

Figura 55

Mapa de del Factor topográfico (LS) según rango de pendientes de la cuenca del río Chumbao



De la figura 55 se puede deducir, que las partes bajas de la cuenca son las que poseen mayores pendientes, teniendo en cuenta que la topografía es un factor determinante en la erosión de suelos en un área determinado. De la misma forma también se puede observar que la parte media y alta de la cuenca son las que presentan menor pendiente.

En la Tabla 29 se muestran los índices del factor topográfico LS según los rangos de pendiente, y claramente se puede mostrar que en la cuenca del río Chumbao, las pendientes varían desde 0 hasta 256 % por lo que se ha considerado nueve grupos de pendientes.

Tabla 29*Factor LS según el Modelo de elevación digital DEM*

Rangos de pendiente (%)	Factor LS	Área (Ha)	Porcentaje (%)
0-3	0.3	459.92	0.60
3-12	1.5	6940.84	9.02
12-18	3.4	7566.06	9.83
18-24	5.6	8531.72	11.09
24-30	8.7	8430.72	10.96
30-60	14.6	31018.44	40.32
60-70	20.2	4785.27	6.22
70-100	25.2	7486.77	9.73
>100	28.5	1712.32	2.23
Total		77457.03	100.0

Fuente: Autoría propia, en base a datos brindados por la USGS (2019)

Con los datos obtenidos en este factor, se pone a disposición los valores del factor topográfico en formato raster, para determinar la erosión suelo media anual de la cuenca del río Chumbao.

4.1.2.4 Estimación de los índices del factor de cobertura Vegetal (C).

Para determinar el factor de cobertura vegetal se ha procesado imágenes de Landsat 8, por presentar mejor precisión en comparación de los otros métodos tradicionales. Apoyado del software Arc Gis 10.6, se ha realizado el procesamiento mediante la ecuación mostrada de la combinación de las banda 4 y 5, realizando el cálculo en álgebra de mapa mediante la herramienta *Raster Calculator* de Mediante el uso de imágenes satelitales obtenidos del USGS y procesados en Arc Gis 10.6 en base a los índices del factor de cobertura vegetal propuesto y Modificado de Merg et al. (Citado por Huaquipaco, 2017), que según los NDVI clasifica en 5 tipos la cobertura y asigna directamente valores del factor C.

Tabla 30

NDVI de la cuenca del rio Chumbao

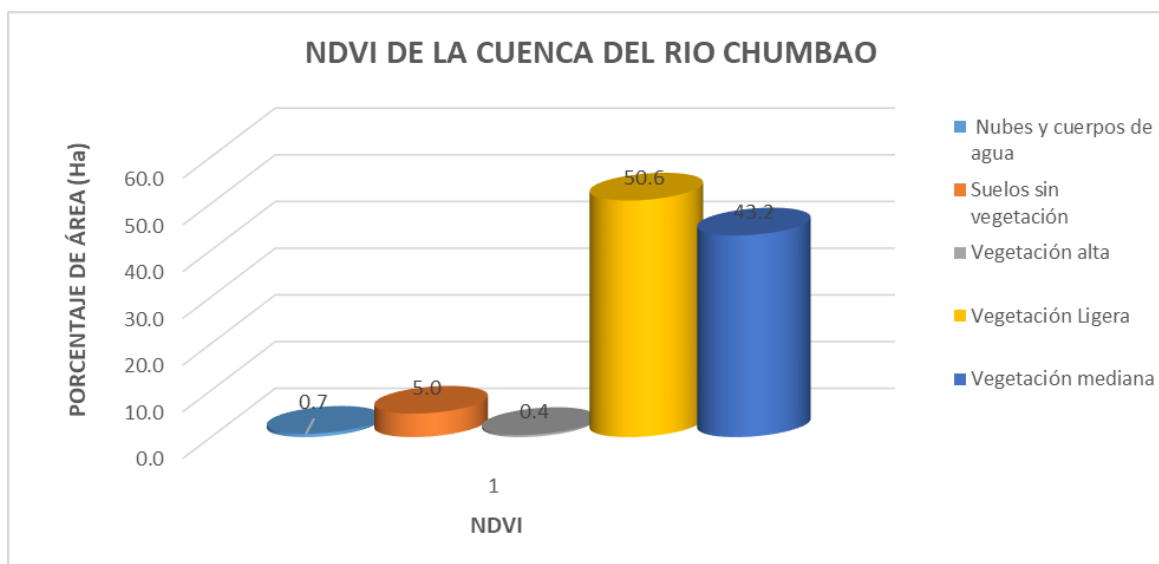
Nombre	Área (ha)	Porcentaje (%)
Nubes y cuerpos de agua	552.86	0.7
Suelos sin vegetación	3892.52	5.0
Vegetación ligera	39226.45	50.6
Vegetación mediana	33442.91	43.2
Vegetación alta	344.03	0.4
Total	77459.09	100.0

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 30, se muestran los porcentajes de área según los rangos de cobertura vegetal que presenta la cuenca del rio chumbao, lo que nos permitirá asignar índices del factor C directamente.

Figura 56

NDVI de la cuenca del rio Chumbao

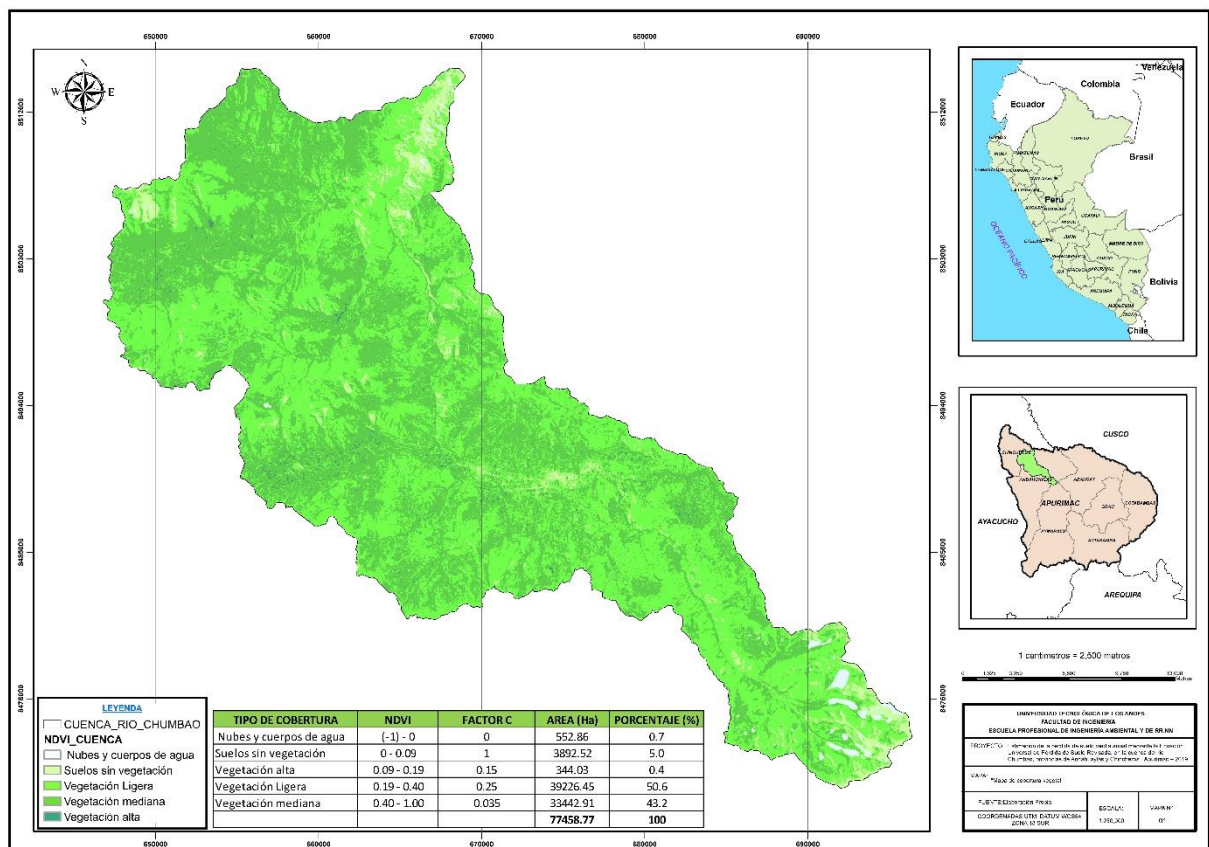


En la figura 56 se puede deducir que en la cuenca del río Chumbao las áreas con vegetación ligera y mediana son las que más predominan, siendo un 50.6% del total de superficie de la cuenca “con vegetación ligera”, otros 43.2 % de la superficie “con presencia de vegetación mediana”, un 5% se la superficie “sin

vegetación", de la misma forma un 0.5% que cubre **"agua e infraestructura"** y por ultimo 0.4% de área de estudio con presencia de **"vegetación alta"**. Teniendo en cuenta que la vegetación es un factor muy importante, que cumple el papel de evitar la colisión y salpicadura de las gotas de lluvia directamente con el suelo o evitando a través de la absorción. Asimismo, también se puede apreciar que, los que presentan en menor porcentaje de extensión son los suelos *sin vegetación* y suelos *con alta vegetación*, ya que la actividad agrícola ha abarcado la mayor parte del territorio.

Figura 57

Mapa de cobertura Vegetal



En la tabla 31, se puede apreciar los factores determinados para la cuenca del río Chumbao, donde se puede observar, 5 tipos de cobertura vegetal determinados a través del NDVI de las bandas multispectrales 4 y 5 del imagen Landsat 8, brindado por el USGS.

Tabla 31*Factor de cobertura vegetal de la cuenca del rio Chumbao*

Tipo de Cobertura	Área (Ha)	Factor C
Nubes y cuerpos de agua	552.86	0
Suelos sin vegetación	3892.52	1
Vegetación alta	344.03	0.15
Vegetación Ligera	39226.45	0.25
Vegetación mediana	33442.91	0.035

Fuente: Autoría Propia

4.1.2.5 Estimación de los valores del factor de paracticas de conservación (P).

En el área de estudio no se ha podido apreciar prácticas de conservación, por lo que la cuenca del rio Chumbao con propósito del presente trabajo de investigación se ha considerado el factor de conservación del suelo $P=1$, considerando el valor mencionado para toda la cuenca del rio Chumbao.

4.1.2.6 Estimación de la perdida de suelo media anual de la cuenca del rio chumbao, mediante R.U.S.L.E.

La estimación de la erosión media anual, se realizó apoyado del software Arcg Gis, lo que permitió realizar cálculos a través de los raster de los factores de erosión: Factor de erosividad de la lluvia, Factor de erodabilidad del suelo, Factor topográfico, Factor de Cobertura Vegetal y el Factor de Practicas de conservación.

Mediante el cálculo de los factores de erosión se ha obtenido, perdida de suelos media anual, que varía desde 1 hasta 630 Ton/Ha*Año, para la cuenca del rio chumbao, según la clasificación de perdida de suelos de la FAO, así como se puede mostrar en la figura 58, las superficies con tonalidad verde oscuro son las que presentan mayor erosión hídrica, con un rango que varía de 200 a 630 Ton/Ha* Año, seguido de colores las más claros, las que de paso abarcan mayormente en

Ton/Ha*año de pérdida de suelo, representando un 19.82% del total de la superficie del área en estudio y por último y en menor proporción, erosión “**Ligera**” que de paso varía entre un rango de 0-10 Ton/Ha*año, mostrándose en un área de 2,164.77 hectáreas que representa un 2.85% del total del área de la cuenca del río Chumbao.

Tabla 32

Erosión media anual de la cuenca del río Chumbao

Grado de Erosión	Erosión (Ton/Ha*Año)	Área (Ha)	Porcentaje (%)
Ninguna o ligera	0 - 10	2,164.77	2.85
Moderada	10-50	15,062.61	19.82
Alta	50-200	22,609.29	29.74
Muy alta	200-630	36,176.04	47.59

Fuente: Autoría Propia

En la figura 59 se puede apreciar el porcentaje de representatividad de los grados de erosión, en relación al área total de la cuenca del río Chumbao, donde se puede apreciar que un 47.59% del territorio presentan grado de erosión “**Muy Alta**”, seguido de erosión “**Alta**” que representa el 29.74% del total del área, en tercer lugar, grado de erosión “**Moderada**” que afecta un 19.82% del área total y por último, erosión “**Ligera**” y el que menos efecto negativo causa, se muestra en 2.85% del área total.

Figura 59

Distribución del grado de erosión en la cuenca del río Chumbao

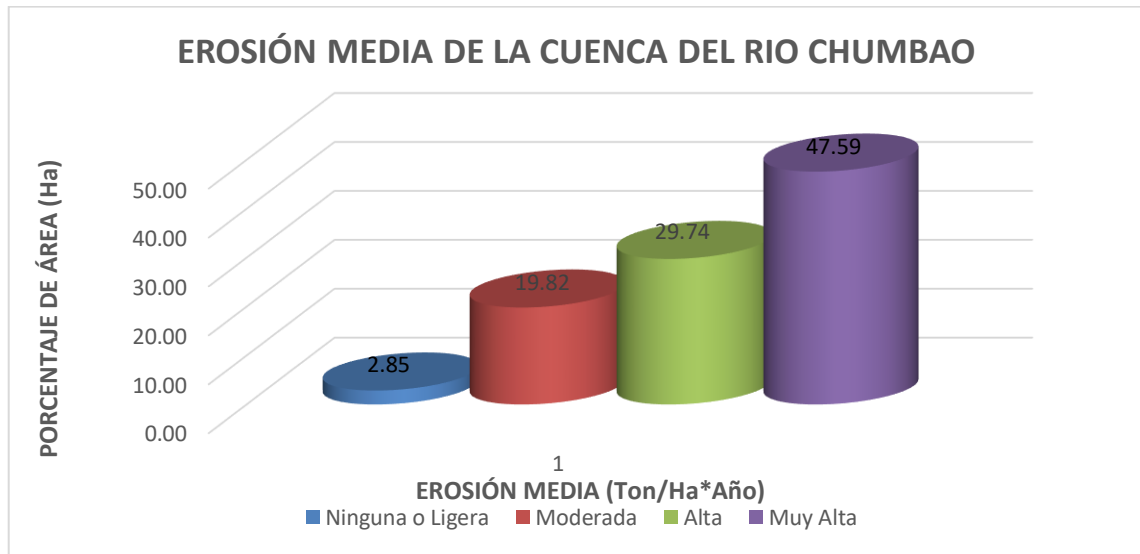
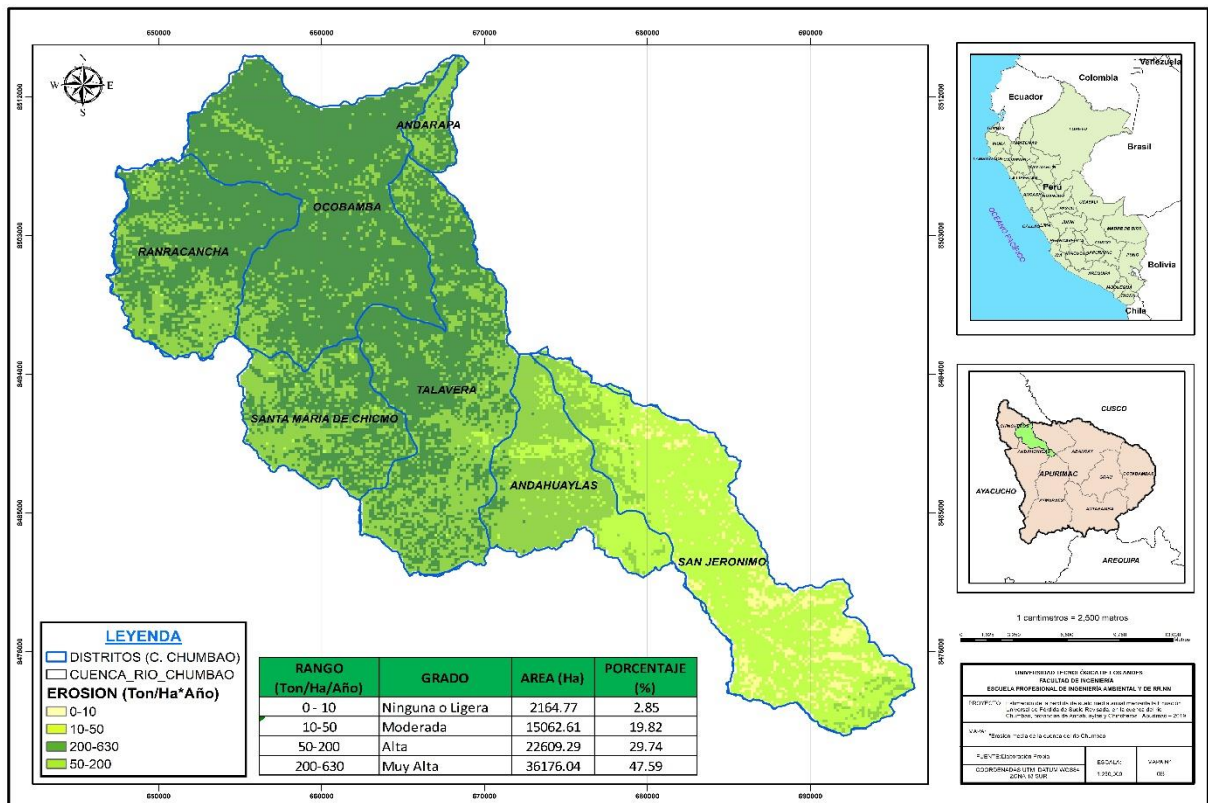


Figura 60

Distribución de la erosión a nivel de distritos de la cuenca del río Chumbao



En la figura 60, se muestra claramente que los distritos que en mayor porcentaje presentan erosión de tipo **“Muy Alta”**, son los distritos de Ocobamba, Ranracancha, Andarapa, Santa María de Chicmo y el distrito de Talavera, ya que

los colores verde más oscuros reflejan las superficies de suelo con mayor erosión, asimismo de la misma figura podemos deducir que los distritos con menos nivel de erosión a nivel de la cuenca son Andahuaylas y San Jerónimo, ya que los colores más claros, muestran superficies con menor grado de erosión.

De los mapas que se muestran en la figura 58 y figura 60 podemos deducir que los suelos con menor cobertura, mayor pendiente y precipitaciones altas son las superficies que presentan mayor grado de erosión. Es así que a nivel de la cuenca el distrito de Ocobamba por presentar una pendiente agreste y una baja cobertura es la que refleja, ser el más afectado por la erosión de suelos.

4.2 Prueba de hipótesis.

4.2.1 Prueba de hipótesis General

Mediante la presente investigación se ha determinado que en la cuenca del río Chumbao en mayor proporción del área de estudio la erosión, se encuentra entre los rangos “Muy alta” y “Alta” según la clasificación de pérdidas de suelos de la FAO, lo que indica que la hipótesis fue probada.

4.2.2 Prueba de hipótesis específicos

4.2.2.1 La cuenca del río Chumbao presenta un alto coeficiente de factor de erosividad (R) que favorece la pérdida de suelo media anual.

Inicialmente mediante la R.U.S.L.E. se ha determinado que la erosión en la cuenca del río Chumbao se muestra en un rango de 1 a 630 Ton/Ha*año, al realizar la estimación de la erosión media sin el factor de erosividad de la lluvia el rango estimado varía entre 1 a 80 Ton/Ha*año, lo que indica que el factor de erosividad de la lluvia favorece en gran medida en la erosión hídrica de suelos de la cuenca del río Chumbao.

Tabla 33

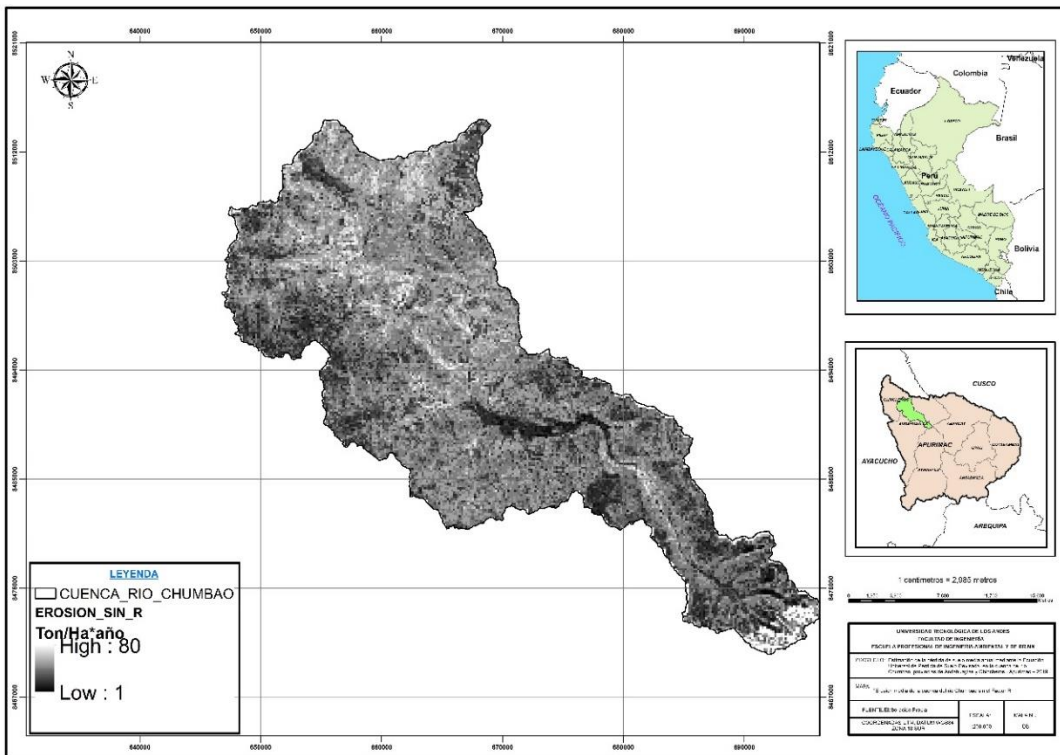
Erosión hídrica en sin el factor de erosividad de la lluvia en la cuenca del río Chumbao

Área de estudio	Erosión media con los 5 factores de erosión (Ton/Ha*año)	Erosión media sin el factor R (Ton/Ha*año)
Cuenca del río Chumbao	1-630	1-80

Fuente: Autoría propia

Figura 61

Erosión de suelos en la cuenca del río chumbao sin el Factor "R".



4.2.2.2 La cuenca del río Chumbao presenta un alto índice del factor de erodabilidad (K) que favorece la pérdida de suelo media anual.

La erosión hídrica media, determinado para la cuenca del río Chumbao se muestra en un rango de 1 a 630 Ton/Ha*año, al realizar la estimación de la erosión media sin el factor de erodabilidad del suelo, el rango estimado varía entre 1 a 630 Ton/Ha*año, lo que indica que el factor de erodabilidad del suelo favorece poco o nada en la erosión hídrica de suelos en la cuenca del río Chumbao.

Tabla 34

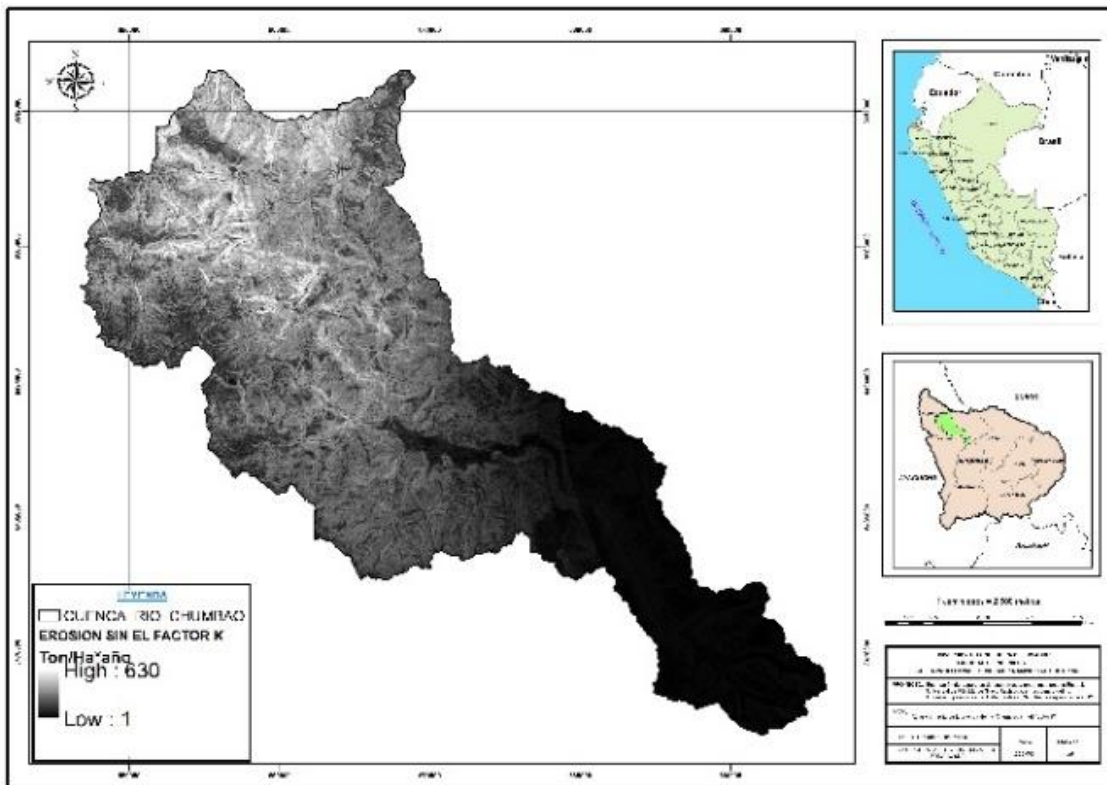
Erosión hídrica en sin el factor de erodabilidad del suelo en la cuenca del rio Chumbao

Área de estudio	Erosión media con los 5 factores de erosión (Ton/Ha*año)	Erosión media sin el factor k (Ton/Ha*año)
Cuenca del rio Chumbao	1-630	1-630

Fuente: Autoría propia

Figura 62

Erosión de suelos en la cuenca del rio chumbao sin el Factor "R"



4.2.2.3 La cuenca del rio Chumbao presenta un alto coeficiente de factor Topográfico (LS), que favorece la perdida de suelo media anual.

La erosión hídrica media, determinado para la cuenca del rio Chumbao con los 5 factores de erosión se determinó en un rango de 1 a 630 Ton/Ha*año, al realizar la estimación de la erosión media sin el factor topográfico, el rango estimado varía entre 1 a 70 Ton/Ha*año, lo que indica que el factor topográfico favorece

significativamente en la erosión hídrica de suelos en la cuenca del río Chumbao.

Tabla 35

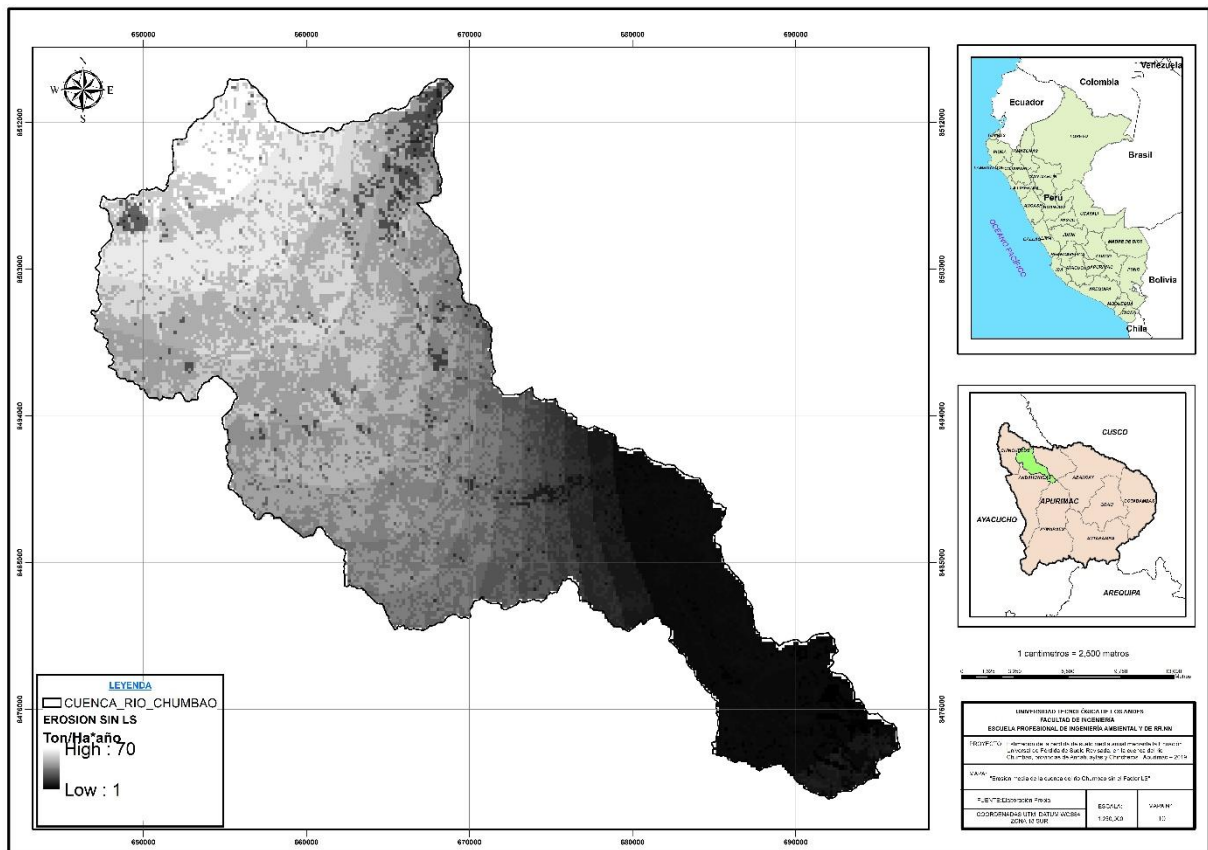
Erosión hídrica en sin el factor topográfico en la cuenca del río Chumbao

Área de estudio	Erosión media con los 5 factores de erosión (Ton/Ha*año)	Erosión media sin el factor LS (Ton/Ha*año)
Cuenca del río Chumbao	1-630	1-70

Fuente: Autoría propia

Figura 63

Erosión de suelos en la cuenca del río chumbao sin el Factor "LS"



4.2.2.4 La cuenca del río Chumbao presenta un alto índice del factor de cobertura vegetal (C) que favorece la pérdida de suelo media anual.

La erosión hídrica media, determinado para la cuenca del río Chumbao con los 5 factores de erosión se determinó en un rango de 1 a 630 Ton/Ha*año, al realizar la estimación de la erosión media sin el factor de cobertura vegetal, el rango

estimado varía entre 1 a 126 Ton/Ha*año, lo que indica que el factor de cobertura vegetal favorece de manera significativa en la erosión hídrica de suelos en la cuenca del río Chumbao.

Tabla 36

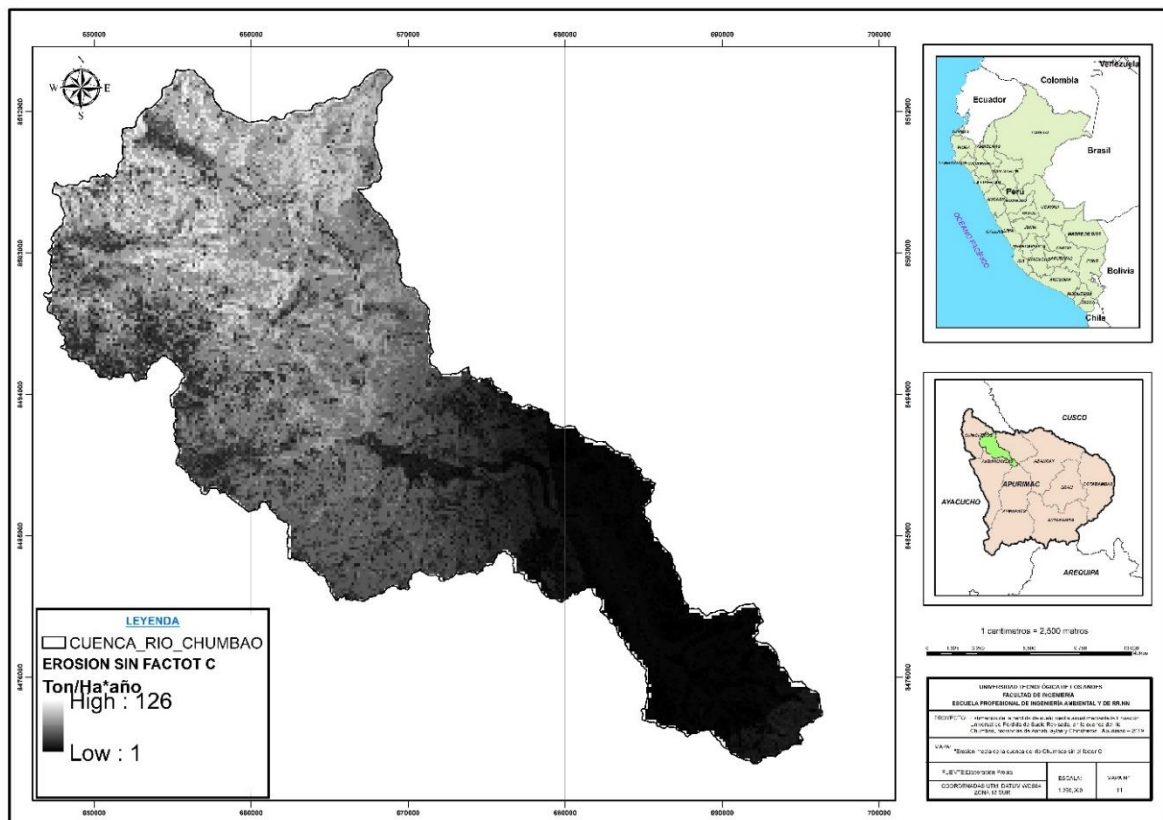
Erosión hídrica en sin el factor de cobertura vegetal en la cuenca del río Chumbao

Área de estudio	Erosión media con los 5 factores de erosión (Ton/Ha*año)	Erosión media sin el factor C (Ton/Ha*año)
Cuenca del río Chumbao	1-630	1-126

Fuente: Autoría propia

Figura 64

Erosión de suelos en la cuenca del río chumbao sin el Factor "LS".



4.2.2.5 En la cuenca del río Chumbao no se realizan práctica de conservación (P), que favorezcan la pérdida de suelo media anual.

Haciendo la evaluación en el área de estudio, no se ha encontrado ningún

tipo de prácticas de conservación de suelos, por lo que es preciso indicar que el factor de prácticas de conservación no influye en la erosión de suelos de la cuenca del río Chumbao.

CONCLUSIONES

- ❖ Se ha determinado que el Factor de erosividad de la lluvia en la cuenca del río Chumbao varía desde 0 hasta $6965.87 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ año}^{-1}$. La pérdida de suelo media anual en la cuenca del río Chumbao, se encuentra entre los rangos de 1-630 Ton/ Ha*Año cuando se toma en cuenta los 5 factores de erosión, asimismo la erosión hídrica varia cuando se ha realizado la estimación, sin considerar el factor de erosividad de la lluvia, como resultado se obtuvo una erosión que varía de 1-80 Ton/Ha*Año, esto indica que el factor de erosividad de lluvia favorece significativamente en la pérdida de suelo media anual en la cuenca del río Chumbao.
- ❖ Para la cuenca del río chumbao se ha determinado que el 98.1% del área total, posee un factor de erodabilidad del suelo de 0.1394 y solo el 1.9% restante de la cuenca, posee un factor K de 0.1276. Se ha estimado la pérdida de suelo media anual para la cuenca del río chumbao entre los rangos de 1-630 Ton/ Ha*Año usando los 5 factores de erosión, al mismo tiempo se ha realizado la estimación sin considerar el factor de erodabilidad, dando como resultado el mismo rango 1-630 Ton/Ha*Año, esto indica que el factor de erodabilidad del suelo no influye significativamente en la pérdida de suelo media anual.
- ❖ El factor topográfico se ha determinado según los rangos de pendiente estimados en la cuenca del río chumbao, que varían de 0 a 256.9% de pendiente, para poder asignar valores de factor LS se ha clasificado en nueve grupos y asignado valores. Para corroborar se ha realizo la estimación de la pérdida de suelo media anual sin el factor topográfico, obteniendo perdida de suelos entre 1-70 Ton/Ha*Año, esto indica que el factor topográfico influye significativamente en la pérdida de suelo media anual de la cuenca del río

chumbao.

- ❖ Para la estimación del factor de cobertura vegetal inicialmente se ha realizado obtenido un mapa del NDVI, luego reclasificado en 5 tipos de cobertura vegetal y según ello se ha determinado el factor de cobertura vegetal, el NDVI obtenido varia de 0 a 1, siendo vegetación ligera el que mayor porcentaje de superficie ocupa en la cuenca del rio chumbao, siendo un 50.6% de la superficie total, seguido de vegetación mediana que ocupa una superficie del 43.2% del área de estudio, suelos sin cobertura vegetal o con escasa vegetación llegando a ocupar el 5% del área de estudio, seguido de cuerpos de agua y infraestructuras con 0.7% de la superficie de la cuenca y por ultimo 0.4% de superficie cubierto de vegetación alta. Con la finalidad de corroborar se ha realizado la estimación de la pérdida de suelo media anual sin considerar el factor de cobertura vegetal teniendo como resultado de la erosión entre los rangos de 1-126 Ton/ Ha*Año, esto indica que el factor de cobertura vegetal favorece de manera significativa en la pérdida de suelo media anual de la cuenca del rio Chumbao.
- ❖ Según la información obtenida del factor de prácticas de conservación de suelos, se ha determinado que por no presentarse ningún tipo de práctica de conservación no influye en la pérdida de suelo media anual de la cuenca del rio Chumbao.

RECOMENDACIONES

- 1) Implementar y mantener una oficina regional de planificación territorial en la región Apurímac de acuerdo con la Resolución Ministerial 026-2012-MINAM, que define lineamientos de política de planificación territorial para la elaboración y manejo de información geomorfológica e hidrológica para monitorear procesos de degradación de suelos por erosión, sobrepastoreo, deforestación y contaminación, como lo han hecho algunos departamentos, incluida la región de Cajamarca.
- 2) Promover un mayor uso de información geográfica y herramientas de teledetección para caracterizar las cuencas hidrográficas, generar información de referencia y planificación técnica, e identificar áreas potencialmente sensibles. Puede utilizarse a mediana y gran escala.
- 3) **Medidas para el control de erosión en la cuenca del río Chumbao.**

Para efectos del presente estudio se hace una propuesta sostenible que requiere el uso de técnicas y métodos que permitan la reducción de la erosión de suelos, en vista de que la cuenca del río chumbao es una zona netamente agrícola y según los resultados del presente estudio, se viene presentando pérdidas de suelo de grado "Muy Alta" que de paso es importante tomar en cuenta y con urgencia y poder tomar medidas de control que requieren el uso de métodos y técnicas sostenibles. Las técnicas más comunes y viables para el control de erosión de suelos de la cuenca del río chumbao son:

- ❖ **Uso de las tierras, según su capacidad.** Se debe realizar un estudio que defina la capacidad máxima que tienen las zonas dedicadas para el pastoreo, en vista de que los suelos constantemente son expuestos para los agentes erosivos a través del sobrepastoreo. De esta manera a través del

gobierno regional impulsar proyectos en favor de la conservación de suelos y con ello ir zonificando áreas según su capacidad de uso mayor de suelo y según su aptitud, con ello se debe implementar actividades agrícolas sostenibles en coordinación y participación de familias dedicadas a la actividad agrícola. Este proyecto de paso se debe ir priorizando según las zonas más prioritarias y con altos índices de erosión de suelos.

- ❖ **Barreras Vivas.** Las barreras vivas, consiste en realizar plantaciones de árboles o arbustos con la finalidad de reducir la velocidad de escorrentía. Este método es recomendable implementar, en el área de estudio, por ser una zona netamente agrícola y constantemente los suelos son removidos, por la actividad del hombre.
- ❖ **Construcción de Zanjas de infiltración.** Las zanjas de infiltración, evitan el escurrimiento del agua a través del suelo y permiten la retención y filtración del agua a través de construcción de zanjas, método recomendable para uso en cabeceras de cuenca del río Chumbao, ya que estas zonas de recarga hídrica y en una mayor extensión los suelos son destinados para pastoreo.
- ❖ **Canales de desviación.** A través de éste método se puede evitar la erosión, ya que mediante los canales se puede conducir el agua de la escorrentía a canales que de manera permanente conducen el agua, evitando que la escorrentía se disperse y afecte suelos con aptitud agrícola, este método se complementaría con la construcción de defensas ribereñas.
- ❖ **Construcción de Andenes.** Los andenes son muy eficientes, ya que desde la época de los incas lo usaban para evitar la erosión, en suelos con pendiente agreste y permitía el mejor aprovechamiento del agua. En la cuenca del río Chumbao, por ser una zona netamente agrícola, sería

recomendable implementar esta técnica, ya que existen suelos con una pendiente agreste a nivel de toda la cuenca del río Chumbao.

- ❖ **Terrazas de formación lenta.** En superficies con poca inclinación se recomienda la construcción de terrazas de formación lenta ya que están conformadas por zanjas de infiltración, barreras vivas y muros de piedra. Este método sería recomendable adaptar en suelos con poca inclinación en la cuenca del río Chumbao, puesto que actualmente con uso de tractores agrícolas en la agricultura se han eliminado barreras que evitaban el escurrimiento.
- ❖ **Diques para el control de cárcavas.** En la cuenca del río Chumbao se ha podido observar cárcavas que no cuentan con diques, que de paso cumpla la función de reducir la velocidad de escurrimiento. Este método a la vez permite la infiltración del agua y favorece el crecimiento de vegetación. Sería recomendable implementar este método, ya que en especial en las partes altas de la cuenca la formación de cárcavas es muy continuo.
- ❖ **Defensas ribereñas.** La construcción de defensas ribereñas también son un método eficiente que permite controlar el desprendimiento de partículas de suelo durante el escurrimiento del agua, a través de sus cauces naturales y en mayor proporción en cauces de cárcavas, en la cuenca del río Chumbao existen, formaciones de cárcavas, que por falta de construcción de defensas ribereñas han incrementado en gran medida su dimensión. Recomendable para la cuenca del río Chumbao.
- ❖ **Alineación de surcos.** Ya que la inclinación de los surcos favorece el movimiento de la escorrentía del agua, para ello en la cuenca del río Chumbao por ser una zona netamente agrícola, en superficies o suelos con

cultivo permanente como el palto y algunos frutales deben usar surcos con poca inclinación. En caso de cultivos transitorios como la papa, maíz, hortalizas y tubérculos se debe usar de la misma manera surcos con una mínima inclinación. Esto hará que el agua de la lluvia tenga más tiempo para su infiltración y de esa forma se evite la erosión.

BIBLIOGRAFÍA

- Vega Loayza, W. N. (2016). *Estimación de la erosión hídrica por efecto de la precipitación en las áreas de recarga acuífera en los sectores de Huayllabamba, Asilo, Ccanabamba y Ccorhuani en la provincia de Abancay en el 2016*. Universidad Tecnológica de los Andes, Apurimac, Abancay.
- A. Rosas, M., & R. Gutiérrez, P. (2016). Cuantificación de la erosión Hídrica en el Perú. *Revistas PUCP*, 3. Obtenido de revistas.pucp.edu.pe/index.php/civilizate/article/download/18619/18857
- Alatorre, L., García, A., Rodríguez, A., Erives, V., & Gonzáles, E. (2014). Estimación de la erosión potencial en la cuenca de la laguna Bustillos, Chihuahua, México. *Dialnet*, 10. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4854059>
- Barzola, D. E. (2018). *Estimación de la pérdida de suelo media anual mediante el modelo R.U.S.L.E., en la cuenca del río Tingo-Cajamarca*. Tesis, Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima.
- Carrasco Díaz, S. (2005). *Metodología de la Investigación Científica* (239 ed., Vol. Primera Edición). Jesus Maria-Lima, Peru: Editorial San Marcos.
- Cerdá, A. (Setiembre-Diciembre de 2001). La erosión del suelo y sus tasas en España. *Ecosistemas*, 16. Obtenido de <https://revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/268>
- Cisneros, J., Cholaky, C., Cantero Gutierrez, A., González, J., Reynero, M., Diez, A., & Bergesio, L. (2012). *Erosión hídrica, principios y técnicas de manejo* (Primera Edición ed.). Córdoba, Rio Cuarto, Argentina: Unirio.
- FAO. (02 de Julio de 2008). Aumenta la degradación del suelo. *Un cuarto de la población mundial está afectada, según un nuevo estudio*, pág. 1. Obtenido

- de <http://www.fao.org/newsroom/es/news/2008/1000874/index.html>
- FAO. (2009). *Guía para la descripción de suelos*. Guía, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a0541s/A0541S.pdf>
- FAO. (2015). *Estado mundial del Recurso Suelo*. Resumen Técnico, Organización de las Naciones Unidas para Alimentación y la Agricultura, Roma - Italia. Recuperado el 10 de 05 de 2019, de <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>
- FAO. (2017). *Directrices Voluntarias para la gestión sostenible de los suelos*. Roma. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i6874s.pdf>
- FAO. (2017). *Insignia de los suelos*. Guía, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-i3855s.pdf>
- Galilfa Salvador, I. (2016). Estimación de la erosión en los suelos agrícolas de la Rioja mediante la aplicación del modelo RUSLE. *Dialnet*, 15. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5858852>
- Gutiérrez, R. M. (2006). *Erosión Hídrica en la microcuenca San Pedro Huimilpan: Valoración Integrada para su Control*. Tesis, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro-México.
- Hill, M., Clérico, C., Mancassola, V., & Sánchez, G. (2009). Estimación de pérdidas de suelo por erosión hídrica en tres diferentes sistemas de manejo hortícola del sur de Uruguay. *Scielo*, Vol. 19, 8. Obtenido de <http://www.scielo.edu.uy/pdf/agro/v19n1/v19n1a11.pdf>
- Huaco, J. E. (2017). *"Determinación de la Pérdida de suelos en la cuenca aportante del embalse Aguada Blanca-Arequipa, Aplicando USLE y Técnicas Geoespaciales"*. Informe de Tesis, Universidad Nacional Agraria la Molina,

Lima, Lima.

Huaquipaco, M. G. (2017). *Variabilidades espacio-Temporal de la Vegetación en la cuenca Quilca - Chili Durante el periodo 2005 - 2015*. Tesis, Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, Arequipa.

Hudson, N. (2006). *Conservación del Suelo*. Barcelona, España: Editorial Reverté, S. A. Obtenido de https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=u137pQPxYGAC&oi=fnd&pg=PA1&dq=tipos+de+erosion+de+suelos&ots=qc4-N7_3UI&sig=KLI-1_oFvKqV0KtR04ulgraqVJU#v=onepage&q=tipos%20de%20erosion%20de%20suelos&f=false

León, G. S. (22 de Mayo de 2011). Estimación de la erosión hídrica y su relación con el uso de suelo en la cuenca del río Cahoacán, Chiapas, México. *Aqua-LAC*, Vol. 3, 9. Obtenido de <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Montevideo/pdf/06-Santacruz.pdf>

León, G. S. (2011). Estimación de la erosión hídrica y su relación con el uso de suelo en la cuenca del río Cahoacán, Chiapas, México.

Loayza, W. N. (2016). *Estimación de la erosión hídrica por efecto de la precipitación en áreas de recarga acuífera en los sectores de Huayllabamba, Asillo, Ccanabamba y Ccorhuani en la provincia de Abancay en el 2016*. informe de tesis, Universidad Tecnológica de los Andes, Apurímac, Abancay.

López, A. J. (2005). *Manual de Edafología*. Sevilla.

Martínez, M. Á. (2002). *Degradación de suelos por erosión hídrica en la cuenca del Duero : estabilidad estructural y estimación de la escorrentía superficial*. Tesis, Tesis de la Universidad Complutense de Madrid, Departamento de

Edafología, Madrid.

Martínez, M. A. (2002). *Degradación de suelos por erosión hídrica en la cuenca del Duero: estabilidad estructural y estimación de la escorrentía superficial*.

Informe de Tesis, Universidad Complutense Madrid, Madrid.

MINAGRI. (2014). *Cartillas para la conservación del suelo*. Lima, Perú. Obtenido de http://agroaldia.minagri.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletines/suelos/2014/erosion_suelo.pdf

MINAGRI. (2017). *Reducción de la degradación de los suelos Agrarios*. Programa Presupuestal Multisectorial 0089, Ministerio de Agricultura y Riego, Lima-Perú. Obtenido de <http://www.minagri.gob.pe/portal/download/programas-presupuestales/inf-programa/anexo2-pp89-2017.pdf>

Montenegro Arriagada, S. (2007). *El suelo: Diagnóstico de la situación del recurso*. Universidad de Chile, Puerto Aysén-Chile. Obtenido de http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/113047/demu%C3%B1oz_o.pdf?sequence=1

Nájera González, O., Bojórquez Serrano, J., Flores Vilchez, F., Murray Núñez, R., & González García, A. (Abril-Junio de 2016). RIESGO DE EROSIÓN HÍDRICA Y ESTIMACIÓN DE PÉRDIDA DE SUELO EN PAISAJES GEOMORFOLÓGICOS VOLCÁNICOS EN MÉXICO. *Cultivos Tropicales*, 37, 12. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193246554006>

Pedraza Villafaña, A. (2015). *Estimación de la erosión hídrica mediante dos métodos de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (EUPS) en la cuenca del río Chapingo, Texcoco*. Tesis, Universidad Autónoma del estado de México, Texcoco.

Peláez, J. D. (2001). *Erosión y control de la erosión hídrica* (Primera Edición ed.).

Medellin-Colombia. Obtenido de <http://bdigital.unal.edu.co/10407/>

Ramos Taipe, C. L. (2001). *Modelamiento Ambiental para analisis de susceptibilidad erosiva en la cuenca media y alta del rio Cañete y determinacion del mapa de erosión*. Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima. Obtenido de <https://tarwi.lamolina.edu.pe/~cramost/MODELO%20DE%20EROSION%20HIDRICA%20-%20SIG.pdf>

Roberto Pizarro, C. M. (2009). *Propuesta de un modelo de estimación de erosión hídrica para la región de Coquimbo, Chile*. Propuesta, Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO para América Latina y el Caribe, Chile.

S.L. Neitsch, J. A. (2009). *Soil And Water Assessment Tool* (Version 2009 ed.). Texas, Estados Unidos. Obtenido de https://oaktrust.library.tamu.edu/bitstream/handle/1969.1/128050/TR-406_Soil%20and%20Water%20Assessment%20Tool%20Theoretical%20Documentation.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sabino Rojas, E. (2016). *Analisis espacio temporal-de erosión de suelos por regiones Hidrológicas en el Perú (1981-2014)*. Tesis, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica.

Sampieri, R. H. (2014). *Metodología de la Investigación* (Sexta Edición ed.). Mexico.

SENAMHI. (2011). *¿Que es una cuenca Hidrológica?* Lima, Perú. Obtenido de https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf

SENAMHI. (2017). *Atlas de erosion de suelos por regiones hidrologicas del Peru*. Nota Técnica, Ministerio del Ambiente, Lima-Peru. Recuperado el 03 de 5 de 2019

- SENAMHI. (2017). *Atlas de erosión de suelos por Regiones Hidrológicas del Perú*. Lima-Perú: SENAMHI.
- Solano Peralta, R. (2016). *Estimación de la pérdida de suelos por erosión Hídrica en la subcuenca del río Sullcas 2000-2013, Huancayo*. Tesis, Universidad Nacional del Centro del Perú, Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente, Huancayo.
- Taypanta J., J. R. (1993). *La erosión Hídrica: Procesos, factores y formas*. Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.iniap.gob.ec/jspui/bitstream/41000/271/4/iniapscbd229.pdf>
- V.H. Durán Z., C. R. (15 de Setiembre de 2014). Impacto de la erosión y escorrentia en las laderas de agroecosistemas de montaña mediterranea. *Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente*, 8. Recuperado el 10 de Mayo de 2019, de file:///C:/Users/CORE%20i7/Downloads/Ecosistemas.2014.pdf
- Vàsquez , A., & Tapia, M. (03 de Diciembre de 2011). Cuantificaciòn de la erosión hèdrica superficial en las laderas semiàridas de la Sierra Peruana. *Revista Ingenieria UC*, 18, 10. Recuperado el Febrero de 2019, de <http://www.lamolina.edu.pe/pdrh/portal/Investigacion/ArtVasquez.pdf>
- Verdin, J., Pedreros, D., & Eilerts, G. (2003). Indice Diferencial de Vegetación Normalizado (NDVI). *FEWS-Red de Alerta Temprana Contra la Inseguridad Alimentaria, Centroamericana*.

ANEXOS.

ANEXO 1. Matriz de consistencia

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS
Problema general	Objetivo General	Hipótesis de la investigación
¿Cuál es el grado de pérdida de suelo media anual causada por los factores de pérdida de suelo de erosión hídrica mediante el uso de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada en la cuenca del río Chumbao, provincias de Andahuaylas y Chincheros, Apurímac-2019?	Estimar el grado de pérdida de suelo media anual causada por los factores de pérdida de suelo de erosión hídrica mediante el uso de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada en la cuenca del río Chumbao, provincias de Andahuaylas y Chincheros, Apurímac-2019	El grado de pérdida de suelo media anual causada por los factores de pérdida de suelo de erosión hídrica mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada en la cuenca del río Chumbao supera lo permitido por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación.
Problemas específicos	Objetivos específicos	Hipótesis específicos
¿En qué medida se manifiestan los coeficientes del factor de erosividad (R) que favorecen la pérdida de suelo media anual, en la cuenca del río Chumbao, provincias de Andahuaylas y Chincheros, Apurímac - 2019?	Determinar los coeficientes del factor de erosividad (R) que favorecen la pérdida de suelo media anual, en la cuenca del río Chumbao, provincias de Andahuaylas y Chincheros, Apurímac - 2019	La cuenca del río Chumbao de las provincias de Andahuaylas y Chincheros presenta un alto coeficiente de factor de erosividad (R) que favorece la pérdida de suelo media anual en el año 2019.
¿En qué medidas se manifiestan los índices del factor de erodabilidad (K) que favorecen la pérdida de suelo media anual en la cuenca del río Chumbao, provincias de Andahuaylas y Chincheros, Apurímac - 2019?	Determinar los índices del factor de erodabilidad (K) que favorecen la pérdida de suelo media anual en la cuenca del río Chumbao, provincias de Andahuaylas y Chincheros, Apurímac - 2019	La cuenca del río Chumbao de las provincias de Andahuaylas y Chincheros presenta un alto índice del factor de erodabilidad (K) que favorece la pérdida de suelo media anual.
¿En qué medidas se manifiestan los	Determinar los coeficientes del factor	La cuenca del río Chumbao de las

<p>coeficientes del factor Topográfico (LS) que favorecen la pérdida de suelo media anual en la cuenca del río Chumbao, provincias de Andahuaylas y Chincheros, Apurímac - 2019?</p>	<p>Topográfico (LS) que favorecen la pérdida de suelo media anual en la cuenca del río Chumbao, provincias de Andahuaylas y Chincheros, Apurímac - 2019</p>	<p>provincias de Andahuaylas y Chincheros presenta un alto coeficiente de factor Topográfico (LS), que favorece la pérdida de suelo media anual.</p>
<p>¿En qué medidas se manifiestan los índices del factor de cobertura vegetal (C) que favorecen la pérdida de suelo media anual en la cuenca del río Chumbao, provincias de Andahuaylas y Chincheros, Apurímac - 2019?</p>	<p>Determinar los índices del factor de cobertura vegetal (C) que favorecen la pérdida de suelo media anual en la cuenca del río Chumbao, provincias de Andahuaylas y Chincheros, Apurímac – 2019</p>	<p>La cuenca del río Chumbao de las provincias de Andahuaylas y Chincheros presenta un alto índice del factor de cobertura vegetal (C) que favorece la pérdida de suelo media anual.</p>
<p>¿En qué medida se manifiestan los valores de práctica de conservación (P), que favorecen la pérdida de suelo media anual en la cuenca del río Chumbao, provincias de Andahuaylas y Chincheros, Apurímac - 2019?</p>	<p>Determinar los valores de práctica de conservación (P), que favorecen la pérdida de suelo media anual, en caso de no haber proponer medidas de conservación que reduzca la pérdida de suelo en la cuenca del río Chumbao, provincias de Andahuaylas y Chincheros, Apurímac – 2019</p>	<p>En la cuenca del río Chumbao de las provincias de Andahuaylas y Chincheros no se realizan práctica de conservación (P), que favorezcan la pérdida de suelo media anual.</p>

Fuente: Autoría propia

ANEXO 2. Instrumentos de recolección de datos

VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADOR	INSTRUMENTOS
Variable independiente: Factores de pérdida de suelo por erosión hídrica	Factor de erosividad de lluvia (R)	$MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h \cdot año^{-1}$	Regionalización de precipitación en Arc Gis
	Factor de erodabilidad del suelo (K)	$t \cdot ha \cdot hr \cdot MJ^{-1} \cdot ha^{-1} \cdot hr^{-1} \cdot cm^{-1}$	Georreferenciación del mapa geológico del ZEE-Apurímac. Procesamiento de mapa de suelos del mundo de la FAO
	Factor topográfico (LS)	adimensional	Procesamiento de datos del USGS, ASTER GLOBAL DEM. Procesamiento de la carta nacional en Arc gis
	Factor de Cobertura (C)	adimensional	Combinación de bandas de imágenes landsat 8
	Factor de prácticas de control y conservación de suelo (P)	adimensional	Búsqueda de información disponible y Observación directa en campo
Variable dependiente: Pérdida de suelo media anual	Pérdida de suelo por unidad de superficie (A)	adimensional	Procesamiento de los datos de los factores de pérdida de suelo media anual con el método RUSLE

Fuente: Elaboración Propia

ANEXO 1: Información de Base de datos

DATOS DE PRECIPITACION

(FUENTE: SENAMHI)

Nombre de Estación: ANDAHUAYLAS

Código de Estación: 000605

Tipo de Estación: CLIMÁTICA

Río:

Cuenca: PAMPAS

Pfaffstetter: 4999

Región: APURIMAC

Provincia: ANDAHUAYLAS

Distrito: ANDAHUAYLAS

Latitud Sur: -13.51667

Longitud Oeste: -73.36667

Altitud: 3,215.00

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	ANUAL
1965	80.00	123.30	72.90	32.70	11.30	0.00	4.50	1.90	43.90	0.70	18.50	8.60	398.30
1966	92.70	0.00	93.10	10.90	36.50	0.00	0.60	12.50	11.90	83.80	72.70	65.70	480.40
1967	97.80	129.50	176.70	27.70	8.20	1.80	17.20	28.40	40.30	68.10	19.30	74.80	689.80
1968	96.20	59.60	134.50	23.90	5.50	14.20	8.00	36.60	13.00	56.10	36.40	43.30	527.30
1969	113.10	68.00	108.40	53.40	0.00	7.80	1.60	6.00	32.90	31.60	83.40	60.20	566.40
1970	199.10	52.60	113.90	66.00	11.90	5.50	0.00	0.00	69.60	32.00	21.10	114.20	685.90
1971	140.50	207.70	105.90	61.20	2.40	13.20	4.00	1.00	0.70	61.30	47.30	88.90	734.10
1972	119.90	161.30	103.00	18.50	8.00	0.00	13.30	8.00	23.80	44.60	47.10	63.60	611.10
1973	161.80	177.90	117.10	99.30	0.00	0.00	8.00	17.00	45.00	18.00	40.80	107.60	792.50
1974	133.40	214.20	110.10	73.80	4.50	6.00	1.80	34.40	39.20	29.10	17.00	95.31	758.81
1975	153.00	118.90	104.30	45.00	33.40	17.50	0.00	7.00	67.30	53.20	50.90	122.00	772.50
1976	115.90	144.80	154.70	7.40	34.80	30.30	18.70	15.90	91.20	6.90	36.00	99.00	755.60
1977	54.30	160.30	127.90	40.50	5.10	0.00	1.00	1.00	30.90	15.80	116.70	79.90	633.40
1978	166.70	100.50	74.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	24.00	96.10	85.00	46.30	593.10
1979	34.00	55.90	57.00	21.00	13.00	0.00	7.00	18.00	7.00	6.00	22.00	18.00	258.90
1980	62.00	96.00	113.00	0.00	14.00	0.00	3.00	0.00	0.00	37.00	12.00	0.00	337.00
1981	80.73	187.53	68.87	57.58	5.93	1.21	0.00	98.87	57.75	55.10	32.80	92.28	738.65
1982	174.79	157.43	91.77	63.25	2.11	63.02	2.99	16.61	8.10	50.75	98.63	121.21	850.66
1983	177.09	95.78	50.99	26.73	3.89	0.52	3.27	21.78	25.61	66.89	73.00	111.63	657.18
1984	196.20	157.83	134.53	50.54	1.03	0.00	0.00	12.58	26.08	55.95	49.94	118.99	803.67
1985	135.95	185.91	118.78	40.50	8.01	0.78	5.26	24.40	71.43	74.03	70.89	87.00	822.94
1986	99.77	124.19	122.64	58.23	2.02	0.11	17.13	2.49	11.45	58.74	41.48	120.69	658.94

1987	122.00	177.87	150.99	36.26	1.90	8.45	0.03	0.02	7.23	20.43	9.71	5.87	540.76
1988	86.65	118.72	110.04	32.28	16.03	0.95	3.81	0.51	16.74	36.60	65.09	17.43	504.85
1989	91.16	57.95	147.43	17.77	22.34	7.83	7.16	19.17	40.54	35.97	26.45	95.91	569.68
1990	60.60	166.65	134.33	52.28	5.21	145.04	4.10	22.50	56.54	69.74	86.30	82.69	885.98
1991	64.30	84.47	96.28	34.00	49.20	7.84	1.24	6.23	13.40	22.25	54.30	46.80	480.31
1992	64.40	112.40	110.12	62.56	5.48	1.22	23.53	7.11	50.82	70.12	80.60	14.08	602.44
1993	195.20	167.01	140.87	13.63	39.60	2.00	10.00	44.00	38.10	90.10	144.73	134.00	1019.24
1994	127.50	120.80	104.20	49.70	1.30	0.00	0.20	5.00	8.80	24.90	72.60	90.30	605.30
1995	117.20	102.60	170.50	32.40	2.80	8.10	20.70	6.70	8.80	23.80	35.00	62.30	590.90
1996	164.70	166.60	112.50	59.00	11.60	0.10	4.50	37.60	24.00	34.60	45.10	33.40	693.70
1997	206.67	143.70	110.40	39.50	14.50	2.20	2.80	53.70	33.30	32.90	84.20	53.50	777.37
1998	160.10	82.40	84.90	51.00	0.10	6.00	0.50	1.20	3.20	42.40	47.50	67.50	546.80
1999	112.60	156.10	126.20	46.00	7.20	3.50	13.50	0.50	84.60	34.60	37.40	85.60	707.80
2000	127.30	196.80	122.00	20.70	5.80	23.50	20.00	17.10	21.40	112.30	40.20	97.40	804.50
2001	199.70	109.10	153.40	28.30	73.10	10.20	19.50	30.00	30.80	37.00	59.10	98.90	849.10
2002	74.00	124.60	126.10	38.80	29.00	3.90	30.90	21.30	48.20	43.90	61.20	99.70	701.60
2003	109.10	145.00	142.00	59.50	16.60	11.20	4.30	36.70	50.00	24.70	28.80	93.90	721.80
2004	99.80	129.30	70.80	54.50	10.20	11.90	39.40	17.60	38.10	31.70	54.50	113.10	670.90
2005	83.80	71.30	112.50	18.50	3.30	0.00	12.30	6.80	26.00	91.80	64.70	106.10	597.10
2006	194.40	97.20	138.50	22.20	3.40	7.30	0.00	5.00	27.20	45.50	104.80	68.40	713.90
2007	102.20	89.00	135.70	38.50	18.70	0.00	17.80	10.80	9.90	59.40	47.80	156.70	686.50
2008	152.10	111.10	79.90	44.60	20.80	9.30	1.00	5.20	17.10	46.90	43.30	89.40	620.70
2009	133.90	120.50	84.80	61.60	14.30	0.00	20.50	3.70	5.70	30.10	75.40	83.70	634.20
2010	159.90	106.40	72.10	38.60	24.90	0.70	1.20	16.30	33.40	51.70	31.20	103.30	639.70
2011	218.80	204.80	112.70	58.65	36.83	0.67	0.33	0.00	8.22	19.36	49.82	103.89	814.07
2012	182.10	246.40	162.10	59.20	16.50	11.80	4.90	33.30	37.90	57.10	32.20	121.12	964.62
2013	140.60	162.40	98.30	8.90	6.30	23.70	24.20	50.60	26.50	38.90	34.00	114.50	728.90
2014	227.40	104.40	120.70	36.40	57.50	0.00	10.20	3.90	54.70	52.10	26.00	90.30	783.60

2015	137.10	138.40	138.10	35.70	20.60	2.70	12.60	36.40	11.80	54.30	60.10	122.50	770.30
2016	42.60	176.50	25.60	37.20	0.60	8.60	10.80	15.30	2.00	46.30	41.20	42.50	449.20
2017	203.30	133.10	126.00	54.80	30.90	0.80	3.00	5.10	37.00	56.00	50.60	100.50	801.10
2018	153.01	180.39	126.57	26.07	30.60	4.87	4.54	7.76	23.77	72.23	67.52	121.21	818.54
2019	204.80	165.67	117.06	45.43	1.30	23.05	1.25	25.49	22.23	10.94	34.43	27.19	678.84
N° Reg	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	
Promedio	130.98	131.80	113.05	39.87	14.73	9.27	8.15	16.67	30.17	45.86	52.52	81.51	683.33
Máximo	227.40	246.40	176.70	99.30	73.10	145.04	39.40	98.87	91.20	112.30	144.73	156.70	1,019.24
Mínimo	34.00	52.60	25.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.00	9.71	0.00	258.90

Nombre de Estación:	ANDARAPA	Río:		Región:	APURIMAC	Latitud Sur:	-13.51667
Codigo de Estación:	000605	Cuenca:	PAMPAS	Provincia:	ANDAHUAYLA	Longitud Oeste:	-73.36667
Tipo de Estación:	CLIMÁTICA	Pfaffstetter:	4999	Distrito:	ANDARAPA	Altitud:	3,215.00

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	ANUAL
1965	95.40	121.90	165.70	73.60	10.30	0.00	10.80	8.40	65.20	65.20	48.70	54.00	719.20
1966	139.10	70.90	84.30	3.10	53.60	0.00	0.00	1.19	12.31	79.40	124.90	63.30	632.10
1967	75.00	162.50	412.30	72.50	25.30	0.00	8.20	10.40	19.70	47.80	26.80	109.50	970.00
1968	184.00	133.50	114.90	15.00	0.00	0.00	15.50	35.50	50.30	58.80	116.30	135.30	859.10
1969	72.00	59.70	98.90	55.10	1.60	28.90	0.00	4.80	1.40	57.50	71.50	135.90	587.30
1970	225.20	146.30	183.20	57.90	4.70	3.70	5.40	5.30	26.40	65.30	25.90	143.20	892.50
1971	99.40	307.40	120.60	0.00	1.30	14.60	0.00	1.20	0.00	27.00	33.30	33.60	638.40
1972	104.70	124.70	181.50	31.50	1.20	4.30	24.90	35.00	10.80	49.00	22.00	44.70	634.30
1973	88.80	88.80	100.90	66.30	3.20	3.00	13.60	19.10	14.00	8.40	30.40	43.40	479.90
1974	74.70	241.00	223.80	24.80	1.20	1.20	4.30	27.50	0.00	0.00	15.70	46.50	660.70
1975	74.60	63.20	88.45	9.80	19.90	8.70	0.00	1.20	10.30	16.20	1.00	45.60	338.95
1976	56.00	90.00	46.20	7.40	8.60	8.50	3.30	5.40	36.80	0.00	7.90	26.80	296.90
1977	29.60	42.30	44.60	3.20	1.20	0.00	5.80	1.00	8.10	10.80	58.40	29.90	234.90
1978	93.60	63.70	23.10	18.40	3.20	3.50	0.00	1.10	11.90	13.00	30.30	28.30	290.10
1979	31.60	16.40	69.70	32.10	5.40	0.00	5.40	9.10	14.40	11.50	21.30	52.90	269.80
1980	36.30	46.40	105.06	8.80	2.94	9.00	15.53	4.83	0.23	44.65	17.36	17.10	308.20
1981	66.80	31.80	95.40	8.10	0.00	1.20	3.60	8.20	43.71	7.14	41.10	35.70	342.75
1982	65.10	53.60	48.90	11.86	0.95	17.30	0.62	9.22	40.15	122.88	69.59	61.32	501.49
1983	80.19	81.23	64.51	4.20	3.43	0.83	8.78	8.46	5.73	49.30	60.29	64.93	431.88
1984	108.38	124.81	56.99	51.81	2.77	7.41	0.18	1.45	0.00	8.13	45.07	20.71	427.71
1985	28.03	36.22	86.86	31.41	5.28	0.58	3.22	12.61	5.59	24.48	60.16	71.86	366.30
1986	64.02	61.80	94.47	7.14	1.22	0.51	22.17	11.59	4.80	38.32	78.46	154.11	538.61

1987	93.43	113.93	207.95	53.53	7.81	1.92	0.43	0.70	29.39	73.08	10.71	25.92	618.80
1988	99.89	71.19	133.83	24.10	1.94	0.54	4.19	3.38	7.77	45.79	58.40	22.31	473.33
1989	66.27	79.68	56.87	58.07	10.26	0.43	13.83	5.76	33.76	21.70	28.79	23.26	398.68
1990	71.38	55.91	48.72	6.29	8.38	1.65	1.39	7.44	15.94	21.64	32.28	40.73	311.75
1991	53.42	45.44	35.76	37.86	5.60	1.33	0.06	2.68	33.65	93.11	40.37	20.17	369.45
1992	38.03	37.41	43.19	54.71	3.80	17.60	1.13	11.65	7.36	8.63	45.35	43.13	311.99
1993	136.52	273.95	129.94	18.81	0.62	0.04	16.41	58.29	12.62	67.63	110.17	451.11	1276.11
1994	96.25	138.54	48.74	26.88	1.23	19.06	2.55	1.80	13.87	28.62	5.77	18.75	402.06
1995	44.77	39.65	120.81	81.31	3.21	3.46	3.29	12.54	26.50	87.76	46.14	29.73	499.17
1996	132.32	80.54	230.10	0.21	0.00	0.44	1.64	22.36	4.28	7.59	37.62	35.56	552.66
1997	125.69	196.92	73.80	52.28	6.62	5.13	7.78	22.79	7.22	26.51	72.97	34.28	631.99
1998	134.80	66.02	91.25	2.40	2.59	17.62	1.03	1.42	11.60	42.56	42.40	33.37	447.06
1999	122.15	117.86	92.12	15.00	0.17	1.65	7.90	14.80	18.39	0.02	3.99	19.95	414.00
2000	76.86	200.27	86.49	46.94	11.07	0.19	2.88	4.00	36.01	30.62	79.55	104.88	679.76
2001	144.33	88.42	66.78	37.27	7.43	0.16	7.44	37.81	45.41	79.11	59.55	53.83	627.54
2002	93.31	103.89	71.95	26.73	16.74	1.16	5.75	32.23	0.11	61.04	60.01	40.80	513.72
2003	151.89	93.40	233.82	28.70	2.55	0.57	2.07	5.59	3.89	0.49	29.23	35.56	587.76
2004	53.41	77.52	52.90	7.24	2.58	4.12	128.61	47.19	19.74	37.62	46.45	41.69	519.07
2005	24.52	65.93	95.72	17.44	0.12	0.00	5.09	9.08	17.92	29.83	74.21	31.54	371.40
2006	59.82	58.58	75.03	22.32	1.30	2.50	1.17	0.63	21.70	50.89	16.84	49.90	360.68
2007	136.48	68.32	166.97	63.12	7.05	1.43	0.25	4.90	0.20	52.97	47.33	155.64	704.66
2008	169.08	164.71	190.64	55.72	3.37	1.80	7.38	5.01	9.76	14.37	10.27	39.26	671.37
2009	46.06	30.98	55.40	1.12	0.09	0.32	0.12	10.54	0.39	36.24	28.50	29.80	239.56
2010	118.02	108.94	51.55	21.69	0.27	0.19	15.41	7.42	7.54	30.98	32.09	70.56	464.66
2011	124.90	190.32	59.03	1.95	2.58	0.51	2.71	2.84	3.31	119.05	38.32	67.18	612.70
2012	142.70	223.29	349.39	36.56	1.11	0.70	2.60	29.28	42.88	114.49	57.63	64.84	1065.47
2013	67.22	100.36	149.05	17.37	42.03	18.15	47.00	14.16	83.70	41.01	29.65	82.21	691.91
2014	133.74	111.43	88.23	33.97	10.88	0.00	63.31	12.59	16.25	87.67	21.85	34.75	614.67

2015	63.91	64.71	167.18	29.87	28.87	0.47	5.86	10.01	2.98	8.78	69.47	301.34	753.45
2016	125.93	127.37	167.00	7.53	1.28	41.53	0.27	2.61	1.16	22.92	76.73	34.62	608.95
2017	134.12	139.48	109.54	9.29	21.46	0.79	0.39	9.52	49.48	104.39	77.77	198.73	854.96
2018	82.28	257.48	288.44	36.43	9.45	13.45	3.85	6.27	42.58	123.90	64.54	131.63	1060.30
2019	85.90	140.20	76.37	1.95	0.00	0.66	4.08	7.78	0.88	4.42	37.64	24.06	383.94
N° Reg	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	
Promedio	93.49	107.29	116.82	27.79	6.90	4.96	9.44	11.77	18.36	43.28	45.44	69.27	542.18
Máximo	225.20	307.40	412.30	81.31	53.60	41.53	128.61	58.29	83.70	123.90	124.90	451.11	1,276.11
Mínimo	24.52	16.40	23.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.63	0.00	0.00	1.00	17.10	234.90

Nombre de Estación: CHINCHERO S
Codigo de Estación: 000605
Tipo de Estación: CLIMÁTICA
Río:
Cuenca: PAMPAS
Pfafstetter : 4999
Región: APURIMAC
Provincia : CHINCHERO S
Distrito: CHINCHERO S
Latitud Sur: -13.51667
Longitud Oeste: -73.71667
Altitud: 2,772.00

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	ANUAL
1965	69.30	175.00	173.94	43.38	19.41	6.36	0.00	1.88	62.00	44.00	56.00	149.00	800.27
1966	75.00	137.00	107.00	26.70	63.00	0.00	0.00	19.79	43.00	146.00	101.00	115.00	833.49
1967	28.00	0.00	10.40	51.00	22.00	0.00	0.00	25.00	25.00	75.00	59.00	104.00	399.40
1968	182.20	183.00	160.00	23.00	9.00	11.00	5.00	9.00	22.00	112.00	85.00	99.00	900.20
1969	176.00	117.00	153.00	41.00	0.00	7.00	1.00	15.60	38.00	81.00	122.00	97.00	848.60
1970	273.00	147.00	150.00	115.00	11.00	2.00	0.00	0.00	53.00	41.00	71.00	175.00	1038.00
1971	206.00	205.00	171.00	67.00	3.00	4.00	1.00	11.00	7.00	40.00	66.00	166.00	947.00
1972	184.30	117.70	221.80	104.00	22.00	1.00	24.20	13.50	22.20	46.60	37.50	114.17	908.97
1973	327.59	286.50	381.76	108.48	0.07	5.80	0.24	13.40	58.93	141.05	96.70	159.82	1580.34
1974	336.64	253.71	382.71	157.67	8.53	0.10	0.53	15.71	15.92	52.43	63.23	146.90	1434.08
1975	98.68	73.46	224.99	19.07	81.08	0.34	0.00	2.14	35.34	48.98	42.96	170.43	797.47
1976	222.91	278.19	144.74	34.07	65.33	17.46	36.93	28.32	86.50	29.66	42.73	198.21	1185.05
1977	40.80	4.71	73.15	46.09	5.55	4.22	0.99	0.18	26.57	66.01	77.74	116.57	462.58
1978	150.40	154.29	279.60	24.09	0.11	15.83	0.20	0.00	37.92	122.62	49.16	117.41	951.63
1979	23.49	0.00	156.83	40.51	24.18	0.18	0.65	15.73	25.95	35.48	35.17	120.03	478.20
1980	91.97	4.15	19.90	38.32	20.64	1.38	0.21	0.00	16.02	62.63	37.93	148.07	441.22
1981	54.76	172.70	435.43	61.33	4.40	1.19	0.02	31.79	68.03	75.01	71.32	133.81	1109.79
1982	223.34	218.99	351.30	58.69	2.83	1.50	27.18	18.22	20.72	111.70	103.43	140.95	1278.85
1983	348.90	243.06	362.13	16.01	5.72	0.25	0.07	16.85	22.59	152.18	103.51	112.77	1384.04
1984	145.46	245.39	290.02	31.60	2.71	0.54	0.00	8.39	15.58	88.18	55.70	162.58	1046.15
1985	205.37	112.37	155.27	32.16	11.05	2.36	0.00	22.36	55.63	60.23	97.20	161.42	915.42

1986	165.80	143.55	242.79	31.84	4.29	6.44	0.36	2.98	29.61	31.16	32.71	143.78	835.31
1987	156.14	241.01	301.40	106.68	3.20	4.03	0.01	0.42	34.07	68.54	36.77	169.00	1121.27
1988	42.56	13.87	127.54	22.78	27.75	5.82	3.06	0.00	21.52	52.01	62.54	112.10	491.55
1989	20.87	13.17	23.59	9.21	55.79	1.95	1.04	10.89	51.78	251.04	103.26	126.39	668.98
1990	32.44	25.87	91.00	55.62	22.59	11.41	1.30	22.15	49.91	111.92	88.00	138.42	650.63
1991	90.85	52.16	217.21	70.30	70.03	1.53	0.00	14.64	17.25	205.93	151.10	154.42	1045.42
1992	121.69	148.81	186.75	33.81	17.86	0.76	2.30	9.50	39.53	57.64	41.26	117.61	777.52
1993	206.96	270.25	219.57	35.30	64.33	9.15	38.04	22.74	50.81	217.64	121.46	111.58	1367.83
1994	406.90	183.31	168.04	73.56	1.69	2.19	0.00	10.27	10.12	39.80	38.27	122.63	1056.78
1995	48.36	17.60	0.00	30.82	5.24	1.54	45.88	7.83	27.75	62.11	56.86	179.87	483.86
1996	208.09	247.46	395.61	113.10	12.78	15.59	1.39	26.86	33.27	21.09	33.35	141.62	1250.21
1997	190.35	174.40	228.72	65.52	26.62	2.23	0.01	25.14	45.65	44.73	60.24	113.27	976.88
1998	138.34	266.81	343.15	71.70	0.45	4.24	0.29	1.15	10.79	53.02	56.26	133.84	1080.04
1999	168.32	272.11	362.06	79.09	18.82	0.95	0.62	0.48	75.56	61.43	69.46	179.54	1288.44
2000	251.30	148.69	197.01	24.95	10.53	2.28	4.37	13.20	40.38	234.84	68.51	146.55	1142.61
2001	324.90	286.74	112.97	85.46	107.26	1.35	3.03	21.93	38.64	37.54	51.60	135.54	1206.96
2002	37.79	50.31	117.96	57.99	34.86	0.04	1.40	15.41	31.74	88.44	83.32	112.48	631.74
2003	126.91	38.48	74.17	94.18	20.30	10.47	8.51	28.00	40.49	47.27	55.47	125.56	669.81
2004	264.35	167.35	340.57	51.69	24.54	0.86	3.10	23.27	30.03	145.54	79.56	178.80	1309.66
2005	82.62	70.43	157.59	19.00	4.17	0.25	1.44	4.88	29.20	47.06	60.28	136.05	612.97
2006	392.66	258.58	265.95	70.44	6.87	0.42	0.01	5.83	38.48	97.49	120.35	98.86	1355.94
2007	27.46	25.53	53.97	31.93	29.50	3.49	1.90	18.83	10.17	25.89	41.83	142.43	412.93
2008	355.31	262.01	326.19	48.92	30.63	0.10	0.00	4.09	28.39	60.76	42.21	182.75	1341.36
2009	155.64	155.14	56.63	93.00	24.63	4.55	4.69	3.81	10.15	31.35	36.06	114.44	690.09
2010	123.64	286.43	375.62	47.88	26.07	0.71	0.04	19.17	57.13	58.11	44.27	187.09	1226.16
2011	384.60	286.74	445.47	25.49	53.02	0.00	0.03	0.00	6.50	62.27	36.45	103.31	1403.88
2012	279.34	276.98	11.58	95.64	42.23	3.04	4.50	28.64	58.80	44.23	66.90	224.62	1136.50
2013	411.87	282.53	401.79	52.93	21.74	1.12	3.64	29.89	47.98	68.16	76.44	140.02	1538.11

2014	365.72	285.40	328.82	26.06	94.75	10.43	0.02	3.94	39.79	52.24	45.79	131.65	1384.61
2015	167.92	127.23	87.46	17.57	31.57	0.00	0.26	25.59	29.67	93.57	80.32	113.85	775.01
2016	123.94	10.08	310.65	46.73	1.72	2.43	1.15	17.54	10.10	65.18	57.56	124.22	771.30
2017	134.12	208.27	298.95	59.69	60.72	0.01	0.00	4.60	40.46	53.22	54.14	149.40	1063.58
2018	307.56	260.66	179.40	28.72	43.30	0.78	1.17	3.79	41.49	94.62	84.15	116.16	1161.80
2019	442.80	282.07	233.30	24.48	2.50	26.82	1.61	22.93	13.20	41.13	49.27	138.07	1278.18
N° Reg	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	
Promedio	185.86	163.08	212.52	53.48	25.16	3.99	4.24	13.08	34.51	79.25	66.55	139.16	998.38
Máximo	442.80	286.74	445.47	157.67	107.26	26.82	45.88	31.79	86.50	251.04	151.10	224.62	1,580.34
Mínimo	20.87	0.00	0.00	9.21	0.00	0.00	0.00	0.00	6.50	21.09	32.71	97.00	412.93

Nombre de Estación: HUANCABAMB A
 Codigo de Estación: 000605
 Tipo de Estación: CLIMÁTICA

Río:
 Cuenca: PAMPAS
 Pfafstetter : 4999

Región: APURIMAC
 Provincia : ANDAHUAYLA S
 Distrito: JMA

Latitud Sur: -13.73333
 Longitud Oeste: -73.35000
 Altitud: 3,650.00

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	ANUAL
1965	159.80	200.20	109.30	96.00	8.30	0.14	0.00	4.00	58.50	31.60	70.30	103.50	841.64
1966	88.10	58.50	105.60	12.00	0.00	0.00	7.40	9.00	20.20	84.50	62.90	63.70	511.90
1967	112.90	160.80	191.40	49.00	28.20	2.80	25.00	26.80	46.60	74.80	16.00	77.40	811.70
1968	74.40	76.00	126.30	36.50	9.40	11.80	7.00	43.80	30.00	87.00	32.00	56.60	590.80
1969	85.00	102.40	95.00	55.40	0.80	13.20	3.40	11.00	44.80	30.80	68.40	48.40	558.60
1970	231.80	64.00	104.00	28.80	10.60	4.20	3.60	0.00	60.40	39.00	18.60	107.20	672.20
1971	117.40	205.20	116.00	44.60	1.80	12.20	0.00	5.00	3.40	53.60	26.20	44.00	629.40
1972	112.60	152.00	114.00	26.00	13.40	0.00	20.20	30.40	54.00	33.20	46.20	68.00	670.00
1973	165.20	156.20	136.80	101.00	0.00	3.00	12.60	29.80	75.20	17.40	57.00	146.40	900.60
1974	169.20	177.60	130.60	78.80	6.60	25.80	6.30	57.00	17.50	42.90	38.00	52.40	802.70
1975	143.20	107.00	112.20	31.20	31.00	0.00	4.40	12.80	59.60	34.50	46.10	116.20	698.20
1976	128.60	121.80	49.60	20.60	24.00	23.20	28.40	19.20	112.60	11.40	8.80	67.20	615.40
1977	11.80	92.80	63.60	11.80	11.00	0.00	4.20	6.80	28.60	23.00	98.00	41.20	392.80
1978	136.60	27.00	74.20	29.40	3.40	0.00	0.00	3.40	45.80	51.40	40.80	60.60	472.60
1979	46.40	98.20	113.00	31.20	3.40	0.00	9.80	25.60	14.00	23.80	75.20	44.60	485.20
1980	87.40	103.40	106.40	15.80	10.00	0.00	10.60	0.00	26.30	75.60	69.40	62.20	567.10
1981	142.40	177.80	113.40	57.40	0.00	4.40	0.00	79.60	79.34	41.64	37.00	50.18	783.16
1982	196.83	118.61	72.04	85.29	10.55	35.59	15.04	51.42	23.26	82.04	35.49	73.80	799.96
1983	163.07	69.84	104.06	46.29	9.06	2.65	0.01	26.04	20.44	43.50	74.56	48.44	607.96
1984	124.94	63.38	112.74	48.38	3.69	0.02	0.00	4.38	24.88	53.91	51.31	48.26	535.89
1985	164.30	168.78	65.26	17.27	16.55	2.58	0.38	22.28	81.47	53.20	9.94	97.16	699.17
1986	51.30	108.06	117.26	58.25	3.38	0.02	2.37	8.28	39.67	65.30	20.32	201.01	675.22

1987	92.78	138.89	125.10	24.85	8.37	0.53	0.63	1.60	21.88	53.76	77.84	56.58	602.81
1988	91.20	203.87	109.84	34.11	13.76	0.40	10.13	4.88	29.91	59.70	37.95	56.41	652.16
1989	21.41	46.31	127.70	29.51	3.53	11.48	18.85	29.78	53.16	44.11	76.42	76.82	539.08
1990	121.07	129.11	66.53	20.80	61.75	42.24	16.62	50.59	64.89	38.26	31.76	69.47	713.09
1991	63.11	76.17	59.83	30.55	27.95	1.09	8.62	6.89	22.88	80.06	29.76	52.47	459.38
1992	79.49	110.15	57.73	23.67	3.03	1.42	19.86	17.66	64.41	38.25	79.69	107.30	602.66
1993	151.38	159.42	117.57	28.39	3.53	0.64	31.55	78.47	66.99	56.28	40.28	156.64	891.14
1994	152.84	57.53	77.17	28.57	5.74	0.35	0.00	11.59	10.96	50.00	57.15	55.74	507.64
1995	68.88	137.36	140.56	54.74	11.88	3.74	38.85	15.99	44.25	47.34	48.46	68.45	680.50
1996	199.79	166.03	92.73	35.95	3.33	0.26	0.25	34.57	37.75	32.32	36.05	89.65	728.68
1997	180.20	114.32	124.33	30.37	2.44	3.61	2.04	66.77	60.77	42.50	64.38	45.12	736.85
1998	195.23	100.80	84.52	15.37	1.45	7.28	2.97	5.23	8.59	107.19	7.69	43.87	580.19
1999	150.22	104.48	88.20	34.36	7.92	5.34	3.59	6.97	101.09	11.74	57.69	68.30	639.90
2000	168.27	153.46	117.04	34.49	3.25	22.44	34.31	45.85	37.49	103.76	37.15	91.91	849.42
2001	197.16	48.70	97.12	27.55	7.84	7.00	5.14	26.30	34.76	38.41	80.25	63.27	633.50
2002	110.20	145.34	87.60	33.98	9.19	8.96	45.35	35.89	37.65	38.66	52.47	43.22	648.51
2003	178.12	189.45	133.48	42.01	0.24	3.52	19.07	51.39	53.27	20.86	38.95	56.56	786.92
2004	102.48	115.53	115.35	39.59	2.91	70.19	16.53	19.84	44.81	28.54	92.00	79.48	727.25
2005	13.63	139.35	108.80	27.50	3.03	0.22	1.59	17.97	36.16	80.05	64.62	69.83	562.75
2006	60.80	62.22	98.76	40.94	5.01	56.59	0.39	11.24	56.57	52.70	18.43	41.06	504.71
2007	85.63	125.45	126.00	42.60	11.39	0.00	24.11	37.44	21.46	65.20	32.95	91.01	663.24
2008	190.23	116.25	146.19	102.97	6.83	34.56	1.37	21.34	39.65	31.79	79.43	73.39	844.00
2009	112.17	116.91	85.74	34.46	36.97	0.00	0.28	15.25	10.34	44.62	111.72	39.60	608.06
2010	186.65	71.95	64.63	23.97	1.96	2.54	22.53	23.99	70.02	32.16	91.20	62.11	653.71
2011	191.14	175.62	102.05	20.14	0.46	2.04	2.55	1.01	10.26	39.77	97.21	58.55	700.80
2012	191.41	217.07	154.47	55.09	7.00	2.77	5.08	38.35	68.39	72.32	19.32	161.61	992.88
2013	116.88	88.59	140.04	66.41	0.58	77.23	11.56	59.94	54.79	36.00	27.30	112.76	792.08
2014	181.95	117.72	106.43	54.81	7.94	0.19	6.86	7.70	53.35	32.55	39.38	131.18	740.06

2015	150.25	157.34	127.01	52.40	2.78	8.74	29.76	43.62	27.01	57.73	55.84	131.30	843.78
2016	113.08	171.20	145.32	51.56	1.79	10.26	14.30	36.44	20.39	53.48	52.03	37.20	707.05
2017	179.50	97.14	100.22	29.44	12.95	2.32	0.74	13.66	40.34	45.90	38.26	158.94	719.41
2018	78.96	203.38	136.40	19.22	74.24	2.12	49.85	25.05	49.21	63.07	24.41	128.69	854.60
2019	144.27	64.40	102.88	39.51	9.22	11.89	1.72	34.55	21.76	40.36	59.85	52.12	582.53
N° Reg	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	
Promedio	127.88	122.38	107.27	40.20	10.28	9.88	11.05	24.99	42.58	48.97	50.19	78.35	671.28
Máximo	231.80	217.07	191.40	102.97	74.24	77.23	49.85	79.60	112.60	107.19	111.72	201.01	992.88
Mínimo	11.80	27.00	49.60	11.80	0.00	0.00	0.00	0.00	3.40	11.40	7.69	37.20	392.80

Nombre de Estación:	HUANCARA Y	Río:		Región:	APURIMAC	Latitud Sur:	-13.75000
Codigo de Estación:	000605	Cuenca:	PAMPAS	Provincia:	ANDAHUYLA S	Longitud Oeste:	-72.87028
Tipo de Estación:	CLIMÁTICA	Pfafstetter:	4999	Distrito:	HUANCARAY	Altitud:	2,902.00

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	ANUAL
1965	109.00	256.08	238.54	86.47	12.44	33.55	0.50	19.50	58.50	37.50	31.50	87.50	971.08
1966	59.00	96.00	121.50	20.70	63.10	0.00	0.00	34.00	1.50	112.20	110.10	108.00	726.10
1967	159.20	252.90	186.27	69.10	17.30	9.00	4.80	34.50	63.70	79.50	39.30	97.10	1012.67
1968	152.90	209.60	128.20	32.30	3.80	22.10	2.50	29.50	27.50	112.50	94.00	55.50	870.40
1969	137.50	111.50	118.50	72.50	3.00	3.50	0.00	22.50	27.50	46.00	96.50	142.20	781.20
1970	320.70	134.90	115.00	85.80	32.00	2.50	0.00	1.50	88.00	66.00	41.10	162.40	1049.90
1971	172.50	225.00	221.00	85.00	7.50	13.50	0.00	4.00	7.00	56.50	63.50	67.50	923.00
1972	146.00	198.50	174.50	36.00	11.10	12.00	15.50	13.00	26.50	30.00	93.50	121.00	877.60
1973	188.20	148.00	183.50	127.50	7.00	7.50	4.00	21.50	91.00	35.00	58.50	169.50	1041.20
1974	248.00	321.50	112.00	93.50	6.50	20.50	9.50	65.00	27.50	40.00	43.00	88.83	1075.83
1975	149.50	219.50	232.50	36.50	92.00	11.50	0.00	14.00	70.00	101.50	83.00	262.50	1272.50
1976	370.50	216.50	183.50	6.60	50.70	37.50	10.50	9.50	125.90	8.50	6.50	60.50	1086.70
1977	50.00	285.00	154.00	24.50	8.50	2.50	6.00	13.50	14.50	162.00	91.00	67.00	878.50
1978	337.80	134.50	84.00	62.00	26.00	6.00	0.00	0.00	53.00	200.00	128.50	74.10	1105.90
1979	143.00	248.00	280.00	58.00	12.50	0.00	10.50	36.88	16.50	35.00	72.50	22.50	935.38
1980	106.32	91.50	99.50	56.00	35.50	8.00	11.50	4.10	23.00	105.80	41.00	42.50	624.72
1981	113.00	261.00	151.50	49.00	6.00	5.50	0.23	99.00	159.50	105.00	90.00	69.39	1109.12
1982	392.50	182.50	69.50	35.00	15.50	8.00	5.00	56.00	41.36	140.33	88.47	205.79	1239.95
1983	167.61	129.16	162.95	43.85	18.48	9.45	0.69	35.03	17.87	145.75	95.01	88.24	914.09
1984	219.73	246.13	139.42	52.42	11.36	1.68	0.00	19.91	6.63	123.96	84.52	103.32	1009.08
1985	246.88	298.76	261.62	59.34	16.03	14.30	0.01	37.97	92.47	63.60	94.00	116.59	1301.57

1986	122.62	148.87	177.92	79.81	13.60	14.92	18.58	9.83	16.92	53.71	24.75	123.14	804.67
1987	118.32	236.93	124.54	73.95	30.47	9.63	0.00	4.64	21.45	104.75	39.96	54.77	819.41
1988	88.48	204.77	244.53	31.41	14.04	7.76	7.95	3.97	68.88	96.51	68.71	50.15	887.16
1989	82.54	182.08	167.90	25.89	37.09	26.52	13.36	32.52	105.04	155.34	116.56	87.17	1032.01
1990	156.27	164.92	162.06	68.72	12.11	36.22	2.06	31.56	78.59	66.39	118.08	97.44	994.42
1991	82.28	196.36	99.51	59.48	17.79	4.86	0.07	27.38	21.34	61.77	82.59	56.53	709.96
1992	177.47	280.58	166.93	40.94	24.46	13.01	4.49	17.36	64.53	134.65	92.13	113.37	1129.92
1993	238.53	202.51	114.20	47.81	16.98	14.10	28.49	48.46	50.07	186.64	101.76	254.01	1303.56
1994	300.30	248.68	129.32	73.39	6.56	7.30	0.02	33.34	28.33	67.85	111.52	100.69	1107.30
1995	148.33	179.16	193.87	35.93	24.56	4.98	10.72	10.24	66.25	55.20	75.03	85.83	890.10
1996	297.97	191.81	191.77	74.77	5.89	13.41	0.72	65.26	40.60	61.55	14.73	98.57	1057.05
1997	173.97	141.66	144.20	28.79	55.54	13.10	1.32	42.44	52.50	48.22	78.72	38.26	818.72
1998	202.11	94.28	100.96	65.54	8.28	5.54	1.03	10.53	7.29	45.16	93.96	65.28	699.96
1999	142.74	242.23	199.62	50.44	8.31	12.12	1.58	2.19	112.26	55.38	46.25	118.02	991.14
2000	273.53	325.37	204.94	28.34	14.18	17.01	32.13	10.36	69.03	250.24	120.00	155.40	1500.53
2001	326.24	105.07	62.49	64.07	42.23	10.14	4.88	42.92	26.42	90.67	61.24	126.02	962.39
2002	156.18	224.96	192.87	18.90	87.71	20.30	15.66	21.46	17.49	43.68	97.77	64.76	961.74
2003	128.04	160.53	199.20	92.30	7.60	10.40	18.48	38.31	30.31	10.93	36.55	101.81	834.46
2004	123.66	324.75	265.42	70.08	35.20	34.06	18.20	31.62	29.27	76.82	104.87	82.56	1196.51
2005	246.23	169.24	200.40	18.27	5.79	0.13	28.70	30.83	19.54	271.51	99.10	104.61	1194.35
2006	157.22	141.71	98.80	45.70	6.71	12.26	0.59	7.36	34.63	34.24	118.36	40.96	698.54
2007	61.62	220.13	225.31	26.14	13.39	0.03	17.70	21.32	23.68	114.59	78.25	257.83	1059.99
2008	359.84	220.76	207.90	16.13	20.89	37.20	0.36	28.92	20.78	42.70	76.09	76.57	1108.14
2009	264.28	221.63	152.10	47.61	10.51	0.49	0.68	16.43	1.34	72.14	70.00	77.89	935.10
2010	189.68	156.14	67.20	17.98	10.85	12.70	0.72	39.78	64.28	91.12	71.78	53.14	775.37
2011	356.19	286.78	116.70	20.69	47.11	10.55	0.29	0.56	17.97	89.31	102.29	97.27	1145.71
2012	338.21	282.60	170.43	86.44	6.49	3.03	3.09	41.81	120.44	119.39	40.37	198.36	1410.66
2013	293.08	196.25	141.35	97.11	27.52	29.70	4.30	47.62	132.20	105.32	49.72	115.85	1240.02

2014	329.61	81.19	110.62	48.89	36.56	17.23	1.07	36.04	23.74	76.04	19.80	141.52	922.31
2015	217.10	232.57	187.29	46.37	28.90	11.66	12.28	69.63	14.17	61.16	71.77	283.64	1236.54
2016	82.51	226.06	306.38	77.09	13.42	26.09	4.46	57.29	3.25	51.73	69.65	38.65	956.58
2017	297.22	187.26	81.67	87.13	39.94	9.81	0.10	12.09	44.44	108.99	77.98	185.59	1132.22
2018	153.39	205.71	168.55	46.55	10.86	12.44	22.57	19.40	40.55	114.59	107.85	174.16	1076.62
2019	249.09	181.56	134.35	12.95	3.93	27.61	6.19	53.04	5.22	17.15	9.56	44.65	745.30
N° Reg	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	
Promedio	198.63	202.39	162.34	53.05	21.85	13.00	6.62	27.95	45.68	88.04	74.42	108.66	1,008.37
Máximo	392.50	325.37	306.38	127.50	92.00	37.50	32.13	99.00	159.50	271.51	128.50	283.64	1,500.53
Mínimo	50.00	81.19	62.49	6.60	3.00	0.00	0.00	0.00	1.34	8.50	6.50	22.50	624.72

Nombre de Estación: PAMPAS

Río:

Región: APURIMAC

Latitud Sur: -13.43333

Codigo de Estación: 000605

Cuenca: PAMPAS

Provincia: CHINCHERO S

Longitud Oeste: -73.81336

Tipo de Estación: CLIMÁTICA

Pfafsletter : 4999

Distrito: PAMPAS

Altitud: 2,032.00

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	ANUAL
1965	80.25	211.95	70.36	23.51	10.04	0.13	0.12	0.99	5.59	12.96	65.35	16.79	498.04
1966	38.10	96.54	65.13	0.02	26.88	0.00	0.08	1.67	3.06	51.54	42.09	13.32	338.43
1967	43.94	84.17	258.25	28.12	17.98	0.23	1.62	1.55	17.92	29.58	1.90	60.75	546.01
1968	75.44	241.48	111.66	0.90	2.04	29.34	8.37	2.95	29.59	37.77	16.41	10.53	566.48
1969	66.47	112.37	101.21	8.71	0.00	9.08	24.76	8.13	25.49	24.02	68.46	44.00	492.70
1970	209.78	157.12	91.10	70.85	0.78	5.14	3.15	0.71	4.47	5.75	1.48	117.88	668.21
1971	89.76	122.55	74.26	62.14	0.27	9.02	11.02	7.10	17.51	9.22	7.80	24.00	434.65
1972	82.22	165.20	127.12	43.82	3.08	0.13	0.00	8.67	33.66	5.27	27.04	36.69	532.90
1973	137.80	138.00	127.90	53.10	9.70	0.00	3.50	29.90	31.80	58.20	55.70	105.30	750.90
1974	113.70	229.40	164.40	57.50	0.60	10.00	0.00	23.30	44.90	6.50	18.90	86.13	755.33
1975	53.90	63.50	127.90	0.00	10.20	3.90	0.00	4.30	6.10	6.70	18.00	84.40	378.90
1976	97.30	180.20	54.50	5.90	4.70	12.00	6.00	10.20	56.10	0.00	0.20	50.90	478.00
1977	35.70	57.30	79.00	2.70	0.00	0.00	9.60	0.00	21.00	14.50	100.00	57.60	377.40
1978	46.40	77.90	67.40	5.70	3.20	0.47	0.00	1.30	12.60	37.80	13.50	21.60	287.87
1979	15.30	71.60	41.00	15.10	5.70	2.00	2.70	1.00	4.35	8.27	69.19	2.98	239.19
1980	34.70	50.80	60.80	12.20	0.17	0.00	0.00	0.70	1.80	35.00	46.13	2.84	245.14
1981	57.11	76.10	101.82	26.69	0.00	4.86	2.85	9.53	45.64	8.80	24.00	107.77	465.17
1982	109.29	118.22	94.54	14.07	1.10	14.95	5.98	1.68	15.05	28.47	18.76	131.16	553.27
1983	76.22	93.35	49.79	0.26	5.25	0.40	1.49	3.00	14.35	34.04	49.67	60.36	388.18
1984	64.28	125.05	89.07	2.07	1.39	0.21	0.43	1.58	16.63	23.41	27.38	52.92	404.42
1985	50.23	123.87	42.59	2.40	4.54	1.14	3.00	4.82	29.00	8.23	0.98	37.83	308.63
1986	48.41	76.57	74.56	2.64	15.66	0.15	2.85	1.03	21.54	3.46	6.43	166.40	419.70

1987	73.96	124.45	186.65	73.09	1.73	6.46	31.32	0.39	1.75	26.90	50.35	27.02	604.07
1988	42.33	74.88	56.43	0.81	6.55	0.58	0.19	0.30	7.25	6.11	26.49	21.29	243.21
1989	20.97	50.35	84.22	0.00	18.46	0.99	0.94	6.78	11.98	48.73	47.91	76.00	367.33
1990	64.83	57.80	58.13	16.55	3.53	61.57	0.40	12.72	30.29	27.44	15.10	42.67	391.03
1991	44.21	68.37	54.76	25.20	0.32	22.03	1.45	6.02	14.63	47.68	13.76	58.14	356.57
1992	45.66	103.56	43.24	2.94	1.58	0.20	0.30	5.37	27.50	16.81	68.73	23.06	338.95
1993	85.66	137.49	114.62	3.35	10.06	0.21	0.10	16.94	24.19	38.45	17.65	137.52	586.24
1994	95.56	140.09	104.28	24.43	0.05	0.04	0.05	0.67	3.53	22.46	40.94	15.22	447.32
1995	32.88	73.25	228.15	1.77	5.37	6.99	0.51	17.42	16.49	14.38	28.58	71.83	497.62
1996	127.84	123.96	86.71	39.58	0.00	0.21	0.10	20.61	18.93	0.00	9.16	15.14	442.24
1997	77.71	68.60	85.00	8.73	1.68	1.32	0.06	73.21	23.20	3.09	54.34	44.92	441.86
1998	91.40	90.80	48.87	7.71	18.10	5.55	28.00	0.31	8.40	29.66	0.52	73.05	402.37
1999	74.49	216.52	83.95	21.71	1.08	2.26	34.99	1.04	38.18	6.42	34.43	224.63	739.70
2000	102.58	146.38	98.03	2.42	13.93	8.41	2.21	3.97	29.14	49.96	8.83	20.55	486.41
2001	149.28	234.77	132.91	34.78	3.39	1.94	1.25	5.32	6.36	4.24	62.68	103.59	740.51
2002	52.21	85.71	62.04	22.36	5.75	0.62	0.04	16.59	26.93	40.19	30.93	36.36	379.73
2003	76.34	73.20	96.84	65.72	2.88	2.21	4.96	23.41	59.90	6.64	18.70	43.88	474.68
2004	54.40	142.09	61.32	14.74	17.82	39.64	3.87	5.05	19.46	45.77	96.65	27.25	528.06
2005	38.51	77.21	96.33	0.00	0.60	0.00	14.40	0.70	14.47	5.27	38.71	8.21	294.41
2006	53.28	84.41	79.15	30.10	18.65	2.18	0.55	0.27	9.15	37.39	4.67	29.96	349.76
2007	42.91	100.27	98.07	5.07	1.87	0.04	0.14	13.39	37.76	0.75	8.30	362.58	671.15
2008	125.62	238.05	70.85	13.78	4.73	1.86	0.09	1.66	25.42	22.85	71.53	23.17	599.61
2009	55.57	101.04	50.87	36.84	0.00	0.05	0.77	3.55	11.83	5.70	101.25	25.78	393.25
2010	123.67	318.47	77.38	8.80	13.35	0.41	0.02	4.79	14.65	10.86	81.33	62.09	715.82
2011	108.30	162.63	132.68	3.16	3.15	0.42	0.00	0.36	2.03	30.17	77.22	44.17	564.29
2012	138.14	137.04	334.58	53.15	0.55	4.05	7.98	9.32	3.62	3.31	4.54	205.74	902.02
2013	104.05	160.95	191.06	15.59	2.99	21.01	167.84	10.09	11.35	6.45	7.72	93.32	792.42
2014	148.69	102.73	67.27	1.50	31.36	0.46	2.65	1.01	7.71	6.84	19.27	57.88	447.37

2015	61.28	113.85	91.53	0.20	16.57	0.99	2.81	17.52	18.22	49.30	39.64	182.27	594.18
2016	64.22	108.94	58.42	8.36	0.35	0.65	21.80	0.01	12.63	29.29	30.68	4.49	339.84
2017	82.54	125.55	105.60	15.89	5.07	0.30	0.20	2.03	10.31	1.64	13.31	64.32	426.76
2018	73.88	357.83	123.40	6.20	6.55	1.24	0.00	0.90	11.32	29.45	5.58	125.72	742.07
2019	86.43	127.73	97.37	0.86	0.12	42.53	42.22	1.26	16.43	17.00	41.47	9.26	482.68
N° Reg	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	
Promedio	77.19	127.31	98.82	18.25	6.21	6.19	8.36	7.40	18.78	20.74	33.64	66.42	490.97
Máximo	209.78	357.83	334.58	73.09	31.36	61.57	167.84	73.21	59.90	58.20	101.25	362.58	902.02
Mínimo	15.30	50.35	41.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.75	0.00	0.20	2.84	239.19

Nombre de Estación:	TALAVERA A	Río:		Región:	APURIMAC	Latitud Sur:	-13.65806
Código de Estación:	000605	Cuenca:	PAMPAS	Provincia:	ANDAHUAYLA S	Longitud Oeste:	-73.43194
Tipo de Estación:	CLIMÁTICA A	Pfaffstetter:	4999	Distrito:	TALAVERA	Altitud:	2,850.00

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	ANUAL
1965	78.92	81.89	135.08	34.49	1.66	0.00	2.75	3.81	73.24	17.83	17.11	41.47	488.25
1966	72.81	67.62	132.21	13.03	106.56	0.00	0.52	10.48	7.51	97.99	35.82	93.42	637.97
1967	63.96	99.23	173.10	28.21	4.12	1.01	17.65	0.67	91.29	57.25	16.17	48.50	601.16
1968	362.19	163.73	141.42	23.03	0.32	4.99	3.43	0.91	15.31	65.22	374.73	48.35	1203.63
1969	93.90	64.60	85.58	34.57	0.16	14.36	0.60	5.74	33.84	57.36	57.09	82.82	530.62
1970	141.64	164.43	139.69	25.80	3.73	2.59	0.09	13.37	191.80	38.84	23.00	135.10	880.08
1971	97.08	102.00	158.55	34.23	0.96	7.72	2.88	16.51	0.00	48.49	26.97	72.33	567.72
1972	131.54	135.61	102.82	31.03	2.87	0.01	11.02	1.05	42.60	60.27	17.66	64.89	601.37
1973	139.82	82.46	99.90	46.21	1.34	0.01	4.47	1.26	113.02	51.50	21.53	125.91	687.43
1974	87.93	1214.58	189.84	40.04	1.81	3.26	0.67	1.24	8.63	48.67	23.23	108.63	1728.53
1975	101.04	189.74	106.74	24.80	93.12	7.94	0.06	12.41	120.06	49.50	22.76	85.42	813.59
1976	178.77	120.43	163.87	22.81	18.81	12.84	16.52	3.77	1168.45	36.93	14.86	92.48	1850.54
1977	43.96	199.37	111.45	19.61	2.47	0.00	0.62	4.02	4.59	41.19	74.14	135.17	636.59
1978	73.49	233.18	101.15	21.47	2.78	0.38	0.01	61.65	67.35	100.84	266.49	149.00	1077.79
1979	56.76	111.16	54.64	27.53	3.24	0.05	5.02	2.15	0.85	30.82	34.19	147.72	474.13
1980	72.90	53.44	62.60	27.23	7.55	0.00	1.94	18.43	0.60	48.39	23.57	53.58	370.23
1981	54.49	103.99	76.60	37.84	0.57	1.35	0.04	0.57	312.62	56.88	32.03	68.62	745.60
1982	157.19	92.63	94.32	27.66	2.34	35.70	1.18	0.72	6.99	52.65	29.67	159.77	660.82
1983	86.55	125.81	74.61	24.90	3.90	0.26	1.94	2.90	7.51	68.04	63.24	150.05	609.71
1984	147.30	443.42	177.01	26.93	1.97	0.02	0.05	10.96	6.60	69.45	20.20	369.90	1273.81
1985	95.70	130.78	63.73	20.89	2.07	0.67	2.99	2.47	270.24	70.62	18.92	62.41	741.49

1986	75.17	84.04	50.63	31.71	3.48	0.08	11.12	1.73	9.10	53.10	23.22	96.22	439.60
1987	113.35	97.95	195.89	29.89	10.29	3.85	0.02	3.66	2.99	40.78	18.36	55.82	572.85
1988	49.30	52.31	112.11	24.06	4.23	0.59	1.71	4.14	9.61	49.87	30.78	95.86	434.57
1989	41.71	119.14	128.43	16.63	21.83	1.85	5.85	1.31	66.94	54.25	81.00	36.38	575.32
1990	59.39	57.81	109.36	22.84	3.81	54.00	2.36	1.12	129.49	75.08	68.14	61.26	644.66
1991	97.29	122.69	149.46	29.04	8.63	5.33	0.76	2.17	12.53	54.12	39.34	80.72	602.08
1992	45.10	166.47	135.20	19.05	10.39	0.53	21.39	2.61	104.42	61.82	22.92	43.72	633.62
1993	139.83	83.98	98.88	28.04	14.86	0.60	7.44	0.61	54.63	89.17	27.56	244.78	790.38
1994	149.55	669.48	126.00	30.93	1.12	0.00	0.13	2.04	2.79	46.29	37.18	107.39	1172.90
1995	36.15	82.79	176.72	29.21	10.94	3.91	13.93	1.18	22.14	49.40	20.58	44.69	491.64
1996	143.69	60.50	104.16	41.01	0.73	0.10	2.51	1.29	28.12	40.93	14.53	46.42	483.99
1997	89.92	80.79	121.38	27.45	19.62	1.09	1.58	0.74	56.36	41.74	75.59	65.87	582.13
1998	139.28	55.67	105.36	28.03	1.40	2.16	0.34	2.67	0.22	57.35	23.05	88.68	504.21
1999	72.52	129.30	78.66	31.52	4.10	2.31	16.72	5.78	1039.56	46.71	18.60	58.12	1503.90
2000	68.55	443.58	185.59	21.75	4.82	7.62	10.81	0.75	26.57	103.04	28.50	66.15	967.73
2001	206.01	132.92	90.90	33.15	38.44	3.36	14.20	1.25	34.66	38.65	28.41	76.15	698.10
2002	74.11	68.03	187.36	26.73	16.85	1.90	20.88	1.83	27.76	59.41	111.13	58.88	654.87
2003	97.04	49.07	122.82	37.33	2.58	3.71	2.15	0.84	66.27	43.38	18.57	67.94	511.70
2004	91.90	158.30	43.40	28.00	10.40	8.10	37.54	1.57	59.57	46.70	62.62	124.62	672.72
2005	65.28	63.77	153.76	17.90	2.90	0.00	13.50	1.40	26.70	72.90	35.70	128.00	581.81
2006	213.30	105.50	154.50	34.30	2.00	3.00	0.00	13.10	31.70	49.30	87.60	92.60	786.90
2007	69.80	102.50	123.80	39.80	17.50	0.00	12.60	1.57	4.30	60.20	37.00	150.90	619.97
2008	145.70	121.30	91.70	24.70	9.80	4.20	0.50	1.20	13.10	63.10	28.80	90.60	594.70
2009	104.80	120.10	78.00	40.40	4.92	0.01	14.87	2.33	1.27	37.20	24.99	83.01	511.90
2010	135.41	151.06	86.00	21.19	3.74	0.20	1.07	1.61	120.17	51.24	49.30	185.05	806.04
2011	180.29	226.82	131.44	19.89	28.02	0.49	0.25	40.35	0.42	47.07	59.12	60.20	794.36
2012	115.43	197.54	131.47	35.65	8.59	4.68	2.05	1.86	125.92	56.57	15.24	143.49	838.49
2013	206.79	200.43	59.08	30.68	9.15	12.03	21.16	0.81	78.02	54.20	16.72	103.22	792.29

2014	217.00	53.43	94.85	29.94	20.98	0.02	5.63	1.78	89.44	47.98	16.21	37.34	614.60
2015	87.71	170.70	87.88	19.99	8.43	1.18	11.77	1.02	5.52	53.74	25.59	76.23	549.76
2016	94.14	136.66	77.45	30.65	7.08	3.06	5.02	1.04	1.58	55.90	22.04	73.70	508.32
2017	57.61	121.17	90.37	30.35	16.95	0.41	2.29	2.81	30.33	59.88	31.92	92.31	536.40
2018	184.56	102.97	118.59	19.12	1.79	2.44	4.14	1.04	29.11	69.28	50.53	195.65	779.22
2019	131.93	282.82	89.84	26.37	0.55	9.74	0.63	2.21	4.76	37.06	20.44	80.26	686.61
N° Reg	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	
Promedio	111.59	160.94	115.20	28.17	10.79	4.29	6.21	5.21	88.35	55.20	45.18	98.32	738.31
Máximo	362.19	1,214.58	195.89	46.21	106.56	54.00	37.54	61.65	1,168.45	103.04	374.73	369.90	1,850.54
Mínimo	36.15	49.07	43.40	16.63	0.16	0.00	0.00	0.57	0.00	30.82	14.53	36.38	370.23

Nombre de Estación: URIPA
Codigo de Estación: 000605
Tipo de Estación: CLIMÁTIC
A

Río:
Cuenca: PAMPAS
Pfafstetter 4999
:

Región: APURIMAC
Provincia CHINCHERO
:
S
Distrito: ANCOHUALL
O

Latitud Sur: -13.53361
Longitud Oeste: -73.68361
Altitud: 3,280.00

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	ANUAL
1965	169.12	146.89	230.31	57.81	7.42	26.98	0.04	2.00	58.90	54.80	62.00	140.20	956.47
1966	133.80	156.40	106.60	34.60	53.80	0.30	5.70	26.00	65.70	169.60	130.20	116.30	999.00
1967	140.80	196.30	337.40	33.60	20.40	5.10	20.20	25.50	30.20	113.90	61.30	150.00	1134.70
1968	150.50	142.10	194.90	28.60	10.90	11.20	0.60	8.50	31.40	138.30	86.50	85.70	889.20
1969	172.20	78.50	155.50	58.80	2.00	15.00	0.00	16.90	30.50	66.60	102.39	117.51	815.90
1970	89.78	169.67	197.67	25.70	4.60	3.90	18.20	0.00	87.80	25.30	30.90	181.10	834.62
1971	21.40	176.19	135.24	29.61	7.00	12.28	0.00	10.73	29.70	44.36	105.56	88.70	660.77
1972	199.50	151.90	202.20	46.70	10.00	13.40	21.50	14.00	14.10	27.70	104.92	143.36	949.28
1973	113.02	127.41	146.61	24.20	9.54	13.12	1.96	13.22	59.05	234.40	83.32	165.55	991.40
1974	30.30	200.75	222.65	22.94	20.86	14.64	18.25	17.45	12.76	41.41	48.08	119.11	769.20
1975	109.03	149.88	126.40	25.80	15.91	9.30	14.38	2.30	30.59	74.87	76.12	179.89	814.47
1976	88.11	137.98	86.04	78.57	8.77	21.82	2.60	37.34	158.48	17.50	42.04	114.23	793.48
1977	249.36	122.23	89.71	46.02	6.13	10.69	0.69	0.18	44.90	82.27	208.83	98.08	959.09
1978	93.17	127.85	53.00	77.00	8.88	9.93	0.70	0.00	49.53	82.80	165.89	117.05	785.80
1979	224.37	98.19	112.92	51.44	8.20	1.45	3.80	15.25	23.68	49.84	78.74	65.49	733.37
1980	230.66	45.26	157.03	84.30	3.44	16.57	16.35	0.13	53.07	81.86	48.04	95.36	832.07
1981	246.13	101.15	157.48	30.80	1.42	13.95	0.50	54.84	48.30	49.88	105.93	113.78	924.16
1982	137.51	115.42	97.83	25.44	6.75	7.19	1.47	20.38	17.99	71.28	105.39	155.47	762.12
1983	98.42	129.99	104.60	36.04	25.60	13.87	0.04	19.28	18.03	93.80	130.71	98.68	769.06
1984	67.67	200.47	91.12	34.37	8.11	8.00	0.53	8.48	15.80	113.93	107.11	109.11	764.70
1985	211.63	106.52	124.01	38.52	24.64	16.56	0.37	24.48	55.73	39.37	92.22	127.81	861.86

1986	140.09	96.95	151.00	29.30	13.55	17.92	1.23	2.88	38.89	39.18	84.57	174.35	789.91
1987	144.64	170.66	267.11	46.87	12.58	7.41	0.21	0.64	42.59	120.07	49.46	108.47	970.71
1988	213.83	93.91	161.48	32.71	24.47	7.79	5.32	0.00	10.00	48.57	162.72	97.52	858.32
1989	205.71	127.33	105.64	33.05	46.30	13.43	1.38	9.83	57.14	162.66	72.05	120.03	954.55
1990	239.44	71.07	113.25	34.72	5.51	25.46	1.48	26.03	55.59	58.91	140.53	131.66	903.65
1991	235.78	111.05	91.06	42.10	10.16	7.17	2.39	14.24	20.53	79.58	66.72	106.38	787.16
1992	226.70	148.03	89.36	31.52	10.79	11.12	2.29	10.15	22.96	96.91	205.90	118.60	974.33
1993	14.79	153.66	172.36	55.38	18.71	9.79	22.82	24.42	63.88	110.77	172.66	143.89	963.13
1994	65.67	195.33	114.95	38.27	3.96	16.02	0.00	10.94	6.58	86.04	172.87	100.38	811.01
1995	226.84	142.42	181.56	35.53	17.42	1.71	3.17	7.81	42.72	46.53	74.31	120.43	900.45
1996	113.03	125.59	294.06	26.48	0.43	24.69	0.30	31.90	31.38	14.05	78.19	123.62	863.72
1997	37.88	130.22	119.67	37.76	23.55	15.22	2.16	29.47	58.91	32.17	92.93	89.03	668.97
1998	123.33	97.42	155.06	35.29	55.12	3.55	0.60	1.66	15.57	87.29	78.24	90.23	743.36
1999	197.48	137.45	129.92	52.47	5.86	11.60	0.00	0.72	54.39	42.93	71.76	142.42	847.00
2000	112.62	177.03	119.43	39.38	33.88	6.87	6.48	12.43	38.30	65.06	75.29	136.96	823.73
2001	17.21	135.26	134.87	55.42	30.20	8.50	1.00	24.64	54.36	32.44	107.73	143.66	745.29
2002	207.81	162.89	125.60	33.11	15.21	12.15	12.13	16.11	45.57	121.04	85.34	81.99	918.95
2003	217.72	104.17	259.68	31.42	22.29	4.33	3.50	34.98	38.79	48.13	78.19	116.86	960.06
2004	207.20	173.16	87.10	47.64	12.17	19.33	7.51	25.25	29.01	88.93	109.43	102.22	908.95
2005	103.28	143.60	167.99	27.47	17.40	4.20	0.00	4.45	13.04	69.57	122.07	94.57	767.64
2006	75.99	113.52	121.24	39.45	69.61	4.55	0.49	5.58	58.83	69.23	142.52	66.70	767.71
2007	174.89	143.45	196.55	38.93	29.55	0.44	20.49	20.55	14.50	13.83	96.16	200.94	950.28
2008	60.46	172.78	225.03	28.86	18.19	23.01	1.08	5.09	32.12	87.12	68.09	107.54	829.37
2009	109.99	141.98	97.97	36.25	5.03	7.69	0.00	4.86	10.02	60.27	135.22	96.58	705.86
2010	58.39	127.34	99.54	31.12	34.53	14.55	23.77	19.14	29.38	51.34	44.52	93.66	627.28
2011	2.00	176.84	89.05	36.91	12.28	10.18	5.40	0.00	6.53	91.95	127.20	105.58	663.92
2012	32.69	179.70	238.45	30.35	9.07	4.38	5.07	36.97	63.30	19.57	36.44	202.42	858.41
2013	43.91	141.36	211.34	64.13	8.58	18.52	0.00	40.89	54.94	47.15	53.36	131.82	816.00

2014	15.78	58.32	137.00	39.17	79.52	7.78	0.67	4.15	57.63	61.57	42.98	190.72	695.29
2015	106.90	169.03	144.00	34.34	61.30	3.98	7.33	31.78	37.81	100.14	98.50	176.83	971.94
2016	218.19	145.85	212.62	31.93	8.97	18.34	0.00	19.84	3.28	98.65	126.20	74.13	958.00
2017	43.87	121.09	174.34	28.46	8.74	12.83	1.57	3.44	62.62	12.09	65.96	180.22	715.23
2018	9.34	174.59	382.47	28.58	25.48	8.89	34.00	4.56	43.50	84.93	88.84	132.01	1017.19
2019	8.34	182.82	152.09	26.95	2.79	14.85	0.00	25.29	18.37	141.23	85.22	92.97	750.92
N° Reg	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	55	
Promedio	127.06	138.67	157.31	39.13	18.50	11.34	5.49	15.05	39.44	73.88	96.15	123.23	834.59
Máximo	249.36	200.75	382.47	84.30	79.52	26.98	34.00	54.84	158.48	234.40	208.83	202.42	1,017.19
Mínimo	2.00	45.26	53.00	22.94	0.43	0.44	0.00	0.00	3.28	12.09	30.90	65.49	627.28