

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



**Estimación de la erosión hídrica para la conservación de
suelos en la cuenca Huatatas, Ayacucho – 2017**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERA AGRÍCOLA**

**PRESENTADO POR:
Diana Elvira Atauje Camasca**

**Ayacucho – Perú
2018**

Dedicado a mis padres Victoria y Roger, a mi esposo y mi hija y a todos aquellos que me acompañaron durante esta etapa de mi vida.

A mis Docentes, quienes me brindaron su conocimiento y experiencia, durante mi formación profesional.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, alma mater de mi formación profesional.

A la Escuela Ingeniería Agrícola y docentes por el apoyo durante el tiempo de mi formación profesional.

A mi asesor el ingeniero Efraín Chuchón Prado por su apoyo constante en el proceso de mi investigación

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice general.....	iv
Índice de tablas	vi
Índice de figuras.....	vii
Índice de anexos.....	ix
Resumen.....	1
Introducción	3
CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO	5
1.1. Antecedentes	5
1.2. Cuenca hidrográfica	9
1.3. Tipos de cuenca	10
1.4. Erosión.....	10
1.5. Erosión hídrica	11
1.6. Tipos de erosión hídrica	11
1.7. Factores que determinan la erosión hídrica	12
1.8. Etapas de la erosión hídrica	13
1.9. Métodos de estimación de la erosión hídrica	14
1.10. Niveles aceptables de erosión.....	26
1.11. Sistema de información geográfica	26
1.12. Practicas conservacionistas	32
CAPÍTULO II METODOLOGÍA.....	41
2.1. Ubicación de la zona de estudio	41
2.2. Caracterización del área de estudio	43
2.3. Materiales y equipos.....	44
2.4. Problemas específicos	45
2.5. Metodología.....	45
CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN	56
3.1. Factores de la ecuación universal de pérdida de suelos en el sistema de información geográfica.....	56

3.2. Cuantificación de la pérdida del suelo y clasificación según el grado de erosión	72
3.3. Alternativas de protección y/o conservación para las zonas afectadas por la erosión hídrica	75
Conclusiones.....	87
Recomendaciones	88
Referencias bibliográficas.....	89
Anexos	93

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Códigos USLE de estructura de suelo.....	19
Tabla 1.2. Códigos USLE de permeabilidad de suelos.....	19
Tabla 1.3. Factor LS según grupos de pendientes.....	23
Tabla 1.4. Valores del factor C.....	24
Tabla 1.5. Valores de cobertura vegetal factor C.....	25
Tabla 1.6. Niveles de pérdida de suelo.....	26
Tabla 1.7. Efecto de la cobertura con residuos de cosecha en la pérdida de suelo y el escurrimiento superficial bajo lluvia simulada.....	37
Tabla 2.1. Población de la cuenca Huatatas.....	43
Tabla 2.2. Rango de valores de la pendiente.....	47
Tabla 2.3. Localización de estaciones.....	48
Tabla 2.4. Contenido de textura y M.O de las muestras de suelo.....	49
Tabla 2.5. Clasificación de los grados de erodabilidad según USDA (1962)...	50
Tabla 2.6. Valores del Factor C.....	52
Tabla 3.1. Resultados de los valores del mapa de pendientes.....	58
Tabla 3.2. Localización de estaciones.....	60
Tabla 3.3. Valores de precipitación media anual.....	60
Tabla 3.4. Resultados del factor R.....	63
Tabla 3.5. Valores de erodabilidad - factor K.....	65
Tabla 3.6. Resultados del factor K según clasificación de USDA.....	66
Tabla 3.7. Resultados del factor LS.....	68
Tabla 3.8. Resultados del factor C.....	72
Tabla 3.9. Cuantificación y clasificación de la erosión hídrica.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. Etapas del proceso de erosión hídrica.....	14
Figura 1.2. Nomograma para la determinación de erodabilidad del suelo (adaptado desde Wischmeier y Smith, 1978).....	22
Figura 1.3. Elementos básicos que componen el SIG.....	28
Figura 1.4. Una división distinta del sistema SIG.....	29
Figura 1.5. Modelo vectorial (Puntos, líneas, polígonos, texto).....	31
Figura 1.6. Modelo Raster.....	31
Figura 2.1. Cuenca Huatatas.....	42
Figura 2.2. Mapa de los distritos que abarca la cuenca Huatatas.....	43
Figura 2.3. Formas de recuperación, prevención y conservación de suelos degradados.....	53
Figura 3.1. Mapa de delimitación de la cuenca Huatatas.....	57
Figura 3.2. Mapa de pendientes de la cuenca Huatatas.....	59
Figura 3.3. Mapa de Isoyetas – precipitación.....	61
Figura 3.4. Mapa de vegetación.....	62
Figura 3.5. Mapa del factor R.....	64
Figura 3.6. Relación entre el factor R y precipitación.....	65
Figura 3.7. Mapa del factor K.....	67
Figura 3.8. Mapa del factor LS.....	69
Figura 3.9. Relación entre el factor LS y pendiente.....	70
Figura 3.10. Mapa del factor C.....	71
Figura 3.11. Cuantificación de la erosión hídrica.....	74
Figura 3.12. Fotografía San Martin de Pucara, zona erosionada y de alta pendiente I.....	75
Figura 3.13. Fotografía San Martin de Pucara, zona erosionada y de alta pendiente II.....	76
Figura 3.14. Fotografía San Martin de Pucara, zona erosionada y de alta pendiente III.....	76
Figura 3.15. Instalación con el nivel A.....	77
Figura 3.16. Imagen de las áreas erosionadas en Motoy Alto.....	78
Figura 3.17. Herramientas utilizadas para la construcción de terrazas.....	80
Figura 3.18. Forma de trazos para la construcción de una terraza.....	81

Figura 3.19. Demarcación de una banda de terreno a terracear.....	81
Figura 3.20. Retiro de la capa superior del suelo a un costado de la banda a terracear.....	82
Figura 3.21. Formación de las plataformas.....	82
Figura 3.22. Perfil de una terraza.....	84
Figura 3.23. Modelo de terrazas.....	84

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Datos de precipitaciones de las estaciones meteorológicas utilizadas.	94
Anexo 2. Resultado de análisis de textura del suelo.....	99
Anexo 3. Panel Fotográfico.....	100

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en la cuenca Huatatas en la región Ayacucho, a fin de cuantificar y conocer las zonas vulnerables a erosión hídrica. Para el presente trabajo se recaudó información acerca de datos meteorológicos de la zona, textura de suelo, cobertura vegetal y topografía de la zona; con la ayuda del SIG (Sistema de Información Geográfica) se generó mapas de acuerdo a cada factor que involucra la ecuación USLE para así finalmente cuantificar la erosión hídrica y clasificarla según la FAO.

La cuenca en estudio abarca un área total de 229.370 Km² (22,937 ha) y un perímetro de 79.27Km correspondiente a toda la cuenca Huatatas, resultando una erosión entre severa y muy severa en un área de 3,596 ha siendo el 15.68% del área Total, finalmente se identificó las zonas más vulnerables proponiendo zanjas de infiltración y terrazas de absorción para zonas de pendientes fuerte así como también la reforestación con pinos mediante proyectos apoyados por el estado; en áreas donde existen cultivos y son de pendiente moderada a leve e propone barreras vivas, cultivos en contorno y cobertura con residuos vegetales.

Culminando el procedimiento se pudo observar, que las zonas que presentan mayores incidencias erosivas son las que se encuentran con mayor pendiente del territorio.

INTRODUCCIÓN

La erosión del suelo por escurrimiento hídrico, cuyo origen está en la acción del agua sobre una superficie ausente de cobertura vegetal, es quizás el proceso más importante de degradación de suelos, dado que es irreversible y generalmente de gran magnitud. En el Perú a pesar de tener muy escasas tierras agrícolas y pecuarias, se produce una continua degradación por la combinación de factores naturales y las malas técnicas empleadas en la agricultura y la ganadería, es así que una de las regiones que presenta las más altas tasas de pérdidas de suelos por erosión hídrica es la sierra, por lo tanto es importante desarrollar trabajos de investigación sobre cada uno de estos escenarios; uno de ellos, sobre los efectos de la erosión en las diferentes zonas de nuestro país en esta oportunidad se realizó para la región de Ayacucho específicamente en la Cuenca Huatatas.

Objetivo general

Estimar la erosión hídrica de la cuenca Huatatas utilizando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE), mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Objetivos específicos

1. Calcular los factores de la ecuación universal de pérdida de suelo en el Sistema de Información Geográfica.
2. Cuantificar la pérdida de suelos y clasificarlo según el grado de erosión.
3. Proponer medidas de protección y/o conservación para las zonas afectadas por la erosión hídrica.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 ANTECEDENTES

Dumas (2012) en el estudio “Riesgo de Erosión Hídrica en la Cuenca del Río mundo”, donde tuvo como objetivo principal, estimar el grado de erosión que presentan estos territorios con el fin de determinar cuáles son las zonas más susceptibles a la erosión hídrica en base al cambio de usos de suelos, para tal sentido realizó una comparación temporal para dos años de estudio 2000 y 2006, donde gran parte de la cuenca presenta riesgo potencial de erosión debido sobre todo a sus escarpadas pendientes y a los suelos poco evolucionados, se estimó que el 45% de la superficie es potencialmente expuesta a una erosión hídrica importante localizando estas zonas en la parte más alta de la cuenca donde las precipitaciones son mayores al igual que las pendientes y que solo el 17% de la superficie presenta erosión potencial nula o ligera y según el análisis realizado más del 60% de la superficie superaría la tasa permisible de erosión (>10 Ton/ha/año). Así mismo en las zonas donde la erosión hídrica potencial es desfavorable se presenta una erosión hídrica real muy disminuida para el año 2000 y 2006 debido a que en estas zonas los usos del suelo que están más presentes son los bosques de coníferas y los matorrales esclerófilos, estos dos usos aportan gran protección al terreno que recubren, por lo que se afirma que la erosión real sea mucho menor que la potencial a pesar de que están zonas cuentan con grandes pendientes.

Ahora analizando la erosión real desde el año 2000 hasta el 2006 lo primero que queda reflejado es que en el año 2006 no existen zonas quemadas, siendo esta la “cobertura” mayoritaria en la que se producía la erosión problemática en el 2000. Cabe destacar que no encontramos prácticamente superficie donde la tasa de erosión sea superior a 10 ton/ha/año (erosión no permisible) que se encuentre recubierta por bosques. Lo que indica que los bosques frenan la erosión hídrica incluso en zonas donde la erosión potencial sería muy fuerte.

Flores (2012) en el estudio “Aproximación de Riesgo por Erosión Hídrica Aplicando un Sistema de Información Geográfica en la Subcuenca de Shambillo, Distrito de Padre Abad”, donde se determinó que, el factor R presenta valores de 380.88 – 451.84 $Mj*cm/ha*h$, obteniéndose los valores más altos en las zonas de mayor altura y mayor precipitación, lo que significa que las lluvias que se producen en las partes altas tienen mayor potencial erosivo, afectando de manera significativa en los procesos erosivos del suelo. El factor K se obtuvo aplicando la fórmula propuesta por Wischmeier (1978), donde la erosionabilidad varía de 0,027– 0,048 $ton*ha*h/Mj*ha*cm$ y los valores más bajos de erosionabilidad corresponden a suelos de textura arcillo arenoso y franco arcillo arenoso (hasta 0.034), los valores medios a suelos de textura franco (hasta 0.0432) y los valores más altos a suelos de textura franco limosa (desde 0.0433); aunque este valor está estrechamente relacionado con la materia orgánica, por lo cual se presentan algunas excepciones en función al mayor o menor contenido de la misma. El factor LS se determinó mediante el método de Renard et al., (1997) con valores entre 0.03 – 247.98, los valores más altos de LS, corresponden a las zonas de pendientes fuertes debido a que la pérdida de suelo se incrementa más rápidamente con pendientes muy escarpadas en comparación con el incremento en longitud de la pendiente. Se determinó también el factor C, asignándole a cada uso y cobertura de suelo su valor correspondiente, basados en las cifras que oscilan entre 0.0047 – 1.00 teniendo en cuenta la densidad de vegetación que cubre el suelo donde las áreas más susceptibles a erosión son las de suelo desnudo, pasto, cultivo y áreas agrícolas heterogéneas; más aún si son instalados sin ningún tipo de práctica conservacionista y las superficies cubiertas por bosques son los del valor más bajo por su protección a los suelos. Se asumió un valor del factor P igual a 1, al considerarse que en las zonas agrícolas de la subcuenca no se aplica ninguna práctica de conservación de suelos. Se estimó la pérdida de suelos para la erosión potencial para la subcuenca alcanzando valores anuales medios de 0.3496 - 2,810.64 $ton/ha/año$, y un valor medio anual 71.46 $ton/ha/año$, en el caso si se perdiera completamente la cobertura vegetal. Finalmente se estimó la pérdida de suelos por erosión hídrica actual que oscilan entre 0 a 1,132.64 $ton/ha/año$ y fueron agrupados en intervalos o clases de erosión, asignándole de acuerdo a estos, un nivel de riesgo, que permite identificar de forma rápida las zonas con mayor susceptibilidad a ser erosionadas, de acuerdo con Pérez (2001), Antezana (2001) y Ramos (2001). Según estos rangos un 0.2% del área total de la subcuenca Shambillo, equivalente a 31.18 ha, presentan una erosión que sobrepasa los límites permisibles, dichas áreas tienen como

cubierta vegetal, pastos, purmas o cultivos; como también zonas de suelo desnudo, es decir, desprovistas de cualquier tipo de cubierta; mientras que un 89.3% equivalente a 11829.88 ha presentan una erosión baja o casi nula, esto se debe principalmente a que esas zonas tienen como cubierta vegetal bosque o arbolado denso, que interceptan las gotas de lluvia y evitan la pérdida del suelo.

Guanca (2010) en el estudio “Determinación de la Erosión Hídrica de los Suelos de la Cuenca del Río Pilcomayo – Salta.”, determinó que la erosión potencial de la cuenca es en un 82% de su superficie, de clase nula a ligera, 11% moderada, 2% alta y un 5% muy alta donde los valores de erosión potencial alta y muy alta se generan a partir del 5% de pendiente. Sierras sub andinas con ganadería y forestales resultó con erosión alta (88 ton/ha/año) promedio. Las mayores pérdidas se dan en situación de suelo desnudo y en cultivos de maíz - soja en labranza convencional, sin prácticas conservacionistas, así mismo el factor LS es el que mayor influencia tiene en el valor final de la erosión potencial.

Clérci y García (2000), en el estudio “Aplicaciones del Modelo USLE Para Estimar Pérdidas de Suelo por Erosión Hídrica en Uruguay y la Región Sur de la Cuenca de la Plata”, en el caso 3 donde evaluaron el cambio del uso y manejo del suelo con el empleo de la ecuación universal de pérdida de suelos USLE, en suelos del sur de Brasil, Uruguay y la provincia de Buenos Aires, donde se analizó el efecto de posibles cambios en el uso y manejo del suelo sobre su ritmo de erosión. La selección comprende dos suelos contrastantes de Rio Grande do Sul (Brasil), ocho suelos de Uruguay y cinco de la Provincia de Buenos Aires (Argentina). Se estimaron las pérdidas de suelo debidas a erosión hídrica con USLE usando valores del factor C de uso y cobertura, determinados experimentalmente por (García Préchac, 1992 y García Préchac y Durán, 1999) o estimados con RUSLE (Renard, et al., 1997) que van desde 0.014 en plantaciones de eucaliptos para 8 años de edad hasta valores de 0.41 para agricultura continua. La erosividad de la lluvia se tomó del mapa regional de isoerodentas (García Préchac et al., 1999) con valores desde 353 hasta 1000 MJ*cm/ha*h. Los valores de erosionabilidad K y factores topográficos LS de los suelos seleccionados se obtuvieron de las siguientes fuentes: Puentes (1981), García Fernández (2000), Merten et al. (1995) y Bertoni y Lombardi Neto (1993) con valores desde 0.15 hasta 0.43 ton*ha*h/MJ*ha*cm para el factor K y valores desde 0.11 hasta 1.3 para el factor LS. Obteniendo resultados para

coberturas con pastos naturales en la Provincia de Buenos Aires, resultaron en un promedio para los cinco suelos de 0,6 con un rango de 0,2 a 1,6 ton/ha/año bajo igual uso y manejo, en Uruguay el promedio de los ocho suelos fue 2,8 con un rango de 1,9 a 5,3 ton/ha/año para los dos suelos de Rio Grande do Sul (Brasil), los valores estimados fueron 5,4 y 7,5 ton/ha/año. Así mismo para plantaciones de eucalipto con 0.24 promedio con un rango de 0.1 a 0.496 ton/ha/año en la provincia de Buenos Aires, para los suelos uruguayos el promedio fue de 0.784 con un rango de 0.608 a 1.113 ton/ha/año y en los dos suelos de Brasil 1.62 y 2.65 ton/ha/año. También se realizaron cálculos en zonas con agricultura sin rotación por varios años y baja tecnología sin riego, tomando en cuenta los 15 tipos de suelos se obtuvo como promedio 45.16 con un rango de 4.2 a 134.9 ton/ha/año. Y finalmente en zonas con agricultura sin rotación por varios años y baja tecnología con riego, llegando a obtener un valor promedio de 13.16 con un rango de 3 a 39.3 ton/ha/año.

Valladares, F. (2004) en el libro “Ecología del Bosque Mediterráneo en un Mundo Cambiante”, en el capítulo 11 denominado “Interacciones entre la vegetación y la erosión hídrica” recopiló información sobre la estimación de pérdidas de suelos por erosión hídrica en zonas con coberturas vegetales quemadas, haciendo uso de la ecuación universal de pérdida de suelos USLE, en tal sentido se menciona que los incendios forestales afectan la relación entre la vegetación y la erosión a distintos niveles. Al perderse la parte aérea de la vegetación, el papel de interceptación desaparece y aunque la capacidad de regeneración de la vegetación es elevada y relativamente rápida, los primeros meses tras el fuego, el suelo queda completamente desprotegido y las gotas de lluvia golpearán directamente el suelo. Este efecto puede verse amortiguado en las zonas de acumulación de cenizas. Así también los distintos estudios realizados sobre el efecto de los incendios en la erosión hídrica indican que en incendios de baja intensidad no se producen alteraciones relevantes y la recuperación del suelo es rápida, caso contrario cuando el incendio es de intensidad moderada o elevada, la degradación de la estructura del suelo es importante y las tasas de erosión se disparan durante unos años, aunque luego se reducen con la recuperación de la vegetación. En tal sentido según (Gimeno-García et al. 2000) se estima valores en zonas con vegetación quemada que van desde 25 a 45 ton/ha /año, esto dependiendo de los aspectos climatológicos y topográficos en el lugar de estudio.

Ramos (2001) en el estudio “Modelamiento Ambiental Para Análisis de Susceptibilidad Erosiva en la Cuenca Media y Alta del Rio Cañete y Determinación del Mapa de Erosión Lima – Perú”, determinó que en la cuenca alta y media del rio cañete solo el 15.13% de la cuenca analizada no presenta problemas graves de erosión y el 84.87% tienen pérdidas importantes de suelo. En todos los casos, son zonas sometidas a explotación agropecuaria intensiva, a un sobrepastoreo intenso, estando ubicados en zonas muy frágiles, sumado a ello la deforestación de los árboles nativos y aún más estas superficies suelen estar dominadas por pendientes fuertes y presentan litologías o recubrimientos favorables al desmantelamiento erosivo. En situaciones alarmantes se encuentran 54.24% de la cuenca presentando superficies con erosión muy alta, debido a la ausencia de cobertura vegetal o la eliminación de ella. El 49 % de la cuenca estudiada está dominado por pendientes superiores al 30%, lo que nos indica que estamos ante una topografía abrupta, dominada por laderas pronunciadas que favorecen los procesos erosivos por el incremento de la velocidad del agua de escorrentía.

Vázquez y Tapia (2002) en el estudio “Cuantificación de la Erosión Hídrica Superficial en las Laderas Semiáridas de la Sierra Peruana”, donde los resultados encontrados muestran que la tasa promedio de erosión en las laderas de la sierra es de 45.04 ton/ha/año, que representa una lámina de pérdida suelo de 3.20 mm/año. Asimismo, se encontró que la construcción de zanjas de infiltración, redujo la pérdida de suelo en 20.60 ton/ha/año lo que significa 1.47 mm/año. Estos resultados son de mucha utilidad, pues por primera vez se ha cuantificado las pérdidas de suelo. Ello servirá de base para la planificación de trabajos de conservación de suelos que podrán llevarse a cabo en esta importante región.

1.2 CUENCA HIDROGRÁFICA

Se define como un territorio o área geográfica delimitada por una divisoria topográfica (divortium aquarum), que capta la precipitación y drena el agua de escorrentía hasta un colector común, denominado río principal. Una cuenca contiene determinados recursos naturales que otorgan posibilidades a la vida humana y animal. Su hilo conductor es el ciclo hidrológico y la cultura de población que ocupa y se relaciona con la naturaleza. Este hilo se encuentra constantemente generando, regenerándose o degradándose, con la intervención del hombre y la sociedad, los cuales forman juntos un todo indivisible con la naturaleza, interrelacionándose en forma sistemática y deviniendo así en una

determinada dinámica en la cuenca que fomenta su preservación o deterioro, (Vázquez, 2000).

Comenta que es el área de terreno donde todas las aguas caídas por precipitación, se unen para formar un solo curso de las aguas caídas por precipitación, se unen para formar un solo curso de agua, cada curso tiene una cuenca bien definida para cada punto de su recorrido, (Villón, 2002).

1.3 TIPOS DE CUENCA

- **Exorreicas:** drenan sus aguas al mar o al océano, (Espinoza, 2010).
- **Endorreicas:** desembocan en lagos, lagunas o salares que no tienen comunicación fluvial al mar (Espinoza, 2010).
- **Arreicas:** las aguas se evaporan o se filtran en el terreno antes de encauzarse en una red de drenaje, (Espinoza, 2010).

1.4 EROSIÓN

Es la degradación de los suelos, los sedimentos, el regolito, los fragmentos de roca y el paisaje, a través de distintos medios externos como el viento, el hielo y el agua, (Pidwirny 2006).

La erosión es un fenómeno que comprende el desprendimiento y traslado o arrastre de las partículas del suelo por acción del agua, del viento, o de la actividad biológica. Puede ser natural (normal o geológica) cuando se produce por los cambios naturales en el ambiente y en largos periodos geológicos contribuyendo a la formación de los suelos y del relieve terrestre; o acelerada siendo uno de los problemas más serios que tiene que enfrentar cualquier acción encaminada a lograr el desarrollo agropecuario, ya que además de ser la causa de bajos rendimientos de los cultivos, acorta la vida útil de las obras de regulación por la cantidad de sedimentos que acarrea el agua que se almacena colmatando el lecho de los ríos y favoreciendo, en muchos casos las inundaciones, problemas de drenaje y salinización de las tierras. Existen dos tipos de erosión, eólica e hídrica, (Vázquez, 2000).

1.5 EROSIÓN HÍDRICA

La erosión hídrica es un proceso físico definido como el desprendimiento y arrastre de partículas de suelo por acción del agua. Las gotas de lluvia desprenden el suelo y el agua de escorrentía es la encargada de realizar el transporte y la sedimentación (Hudson -1981, Paulet -1974).

La erosión hídrica es un proceso de disgregación y transporte de las partículas del suelo por acción del agua. Se trata de un fenómeno natural y lento, sin embargo, debido al uso intensivo de las tierras agrícolas y al manejo inadecuado, ha sido acelerado como consecuencia de tales actividades (Fao, 1990).

1.6 TIPOS DE EROSIÓN HÍDRICA

1.6.1 Erosión laminar

La erosión laminar está directamente relacionada con la salpicadura de la lluvia, a lo que se puede agregar, que en laderas más de la mitad de la salpicadura desciende por la misma. Si esta corriente se mantiene como una delgada lámina, el tipo de erosión que produce se conoce como erosión laminar. La erosión laminar y en surcos pequeños es la forma de erosión que más afecta la agricultura por degradación y pérdida del horizonte A de los suelos, y a la vez afecta más significativamente a la producción de sedimentos en los ríos. (Vahrson, 1991) El impacto de las gotas de lluvia contra la superficie descubierta del suelo produce el desprendimiento de sus partículas, las que al encontrarse sueltas y al ser trasladadas, “sellan” los poros del suelo, formando una delgada capa o costra poco permeable, cuando la cantidad de lluvia que cae excede a la tasa de infiltración del suelo, el agua empieza a fluir (correr), como escorrentía en el suelo de la pendiente, transportando las partículas finales del suelo que inicialmente ya fueron desprendidas, (Vázquez, 2000).

1.6.2 Erosión por surcos

La erosión en surcos es la forma de erosión más fácilmente perceptible, tiene su origen a causa del escurrimiento superficial del agua que se concentra en sitios irregulares o depresiones superficiales del suelo desprotegido o trabajado inadecuadamente, (Fao, 2000).

En las pequeñas ondulaciones de la superficie del terreno se concentra el agua de escorrentía y luego por efecto de la pendiente, el suelo y el estado de la cubierta vegetal, se produce el movimiento del agua en el sentido de la pendiente y, en consecuencia, el arrastre y transporte de las partículas del suelo, originan pequeñas zanjas o surcos, (Vázquez, 2000).

1.6.3 Erosión por cárcavas

Se denomina cárcava al estado más avanzado de la erosión en surcos. En función de la pendiente y de la longitud de la ladera del terreno, el flujo concentrado de agua provoca el aumento de las dimensiones de los surcos formados inicialmente, hasta transformarse en grandes zanjas llamadas cárcavas, (Fao, 2000).

Una vez formados los pequeños surcos o zanjas, estos se van agrandando por efecto de la escorrentía ya que continúa el arrastre de suelo en el lecho de los surcos o zanjas y el consecuente desprendimiento en los taludes, con lo cual se van agrandando los surcos hasta que se convierten en verdaderos zanjones o cárcavas, (Fao, 2000).

1.7 FACTORES QUE DETERMINAN LA EROSIÓN HÍDRICA

Los factores determinantes para los sucesos de erosión hídrica son los siguientes: (Vázquez, 2000)

- **El suelo:** Las características físicas del suelo (estructura, textura, contenido de materia orgánica, etc.) determinan el grado de resistencia de las partículas del suelo al desprendimiento y transporte por efecto del impacto del agua sobre el suelo, de la escorrentía y la capacidad de infiltración del suelo.

- **La topografía:** Las características topográficas que inciden en la erosión hídrica son la pendiente y la longitud de la ladera, así como la forma y tamaño del área de drenaje.

- **El clima:** Entre los factores climáticos que más inciden en la erosión hídrica están la precipitación, el viento y la temperatura. Existe una estrecha relación entre las características de la precipitación y la escorrentía, el viento en muchos casos cambia la velocidad de la lluvia y su ángulo de impacto sobre el suelo, afectando sobre su fuerza erosiva.

- **La vegetación:** La vegetación protege a la superficie del suelo del impacto directo del agua, sea esta proveniente de la lluvia o escorrentía. La vegetación protege al suelo mediante:
 - La intercepción y disminución o anulación de la energía con la que caen las gotas de lluvia ya sea mediante las hojas, tallos o los residuos de las plantas.
 - La reducción de la velocidad del agua de escorrentía por efecto de la resistencia hidráulica debido al “colchón” que forman los residuos vegetales o cubierta vegetal.
 - El aumento de la capacidad de infiltración y almacenamiento del agua debido al mejoramiento de la estructura y porosidad del suelo por efecto de las raíces, los residuos vegetales y la actividad microbiana.
 - El aumento de la resistencia del suelo a la erosión debido al “amarre” de las partículas que ocasionan las raíces de las plantas.

- **El hombre:** El hombre es el agente principal y decisorio en todo proceso erosivo, debido fundamentalmente a su rol y participación en el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, agua, suelo y cubierta vegetal.

1.8 ETAPAS DE LA EROSIÓN HÍDRICA

El proceso de erosión hídrica comienza primeramente por el desprendimiento de las partículas de suelo, de las partes elevadas de un terreno. El desprendimiento de estas partículas puede ser llevado a cabo por la lluvia y por el escurrimiento superficial, ya que ambos pueden llegar a poseer la suficiente energía para desprender partículas del suelo. La lluvia y el escurrimiento además de llevar a cabo la función de desprendimiento, también realizan la función de transporte de suelo (Wischmeier, 1959)

La mecánica del proceso de erosión hídrica consta de tres etapas: (Asturias 1986)

- ✓ **Desprendimiento:** Consiste en el desprendimiento de las partículas del suelo por la acción del impacto de las gotas de lluvias en la superficie, y por el constante choque de las mismas, que mantienen en suspensión las partículas finas y en rodamiento las gruesas. La dispersión de las partículas sella los poros superficiales, lo que disminuye la capacidad de infiltración del agua. En esta etapa tiene importancia la cubierta vegetal, ya que suelos desprovistos de vegetación son susceptibles al desprendimiento.

- ✓ Arrastre o transporte: El arrastre de partículas, sucede cuando el agua no se filtra en el suelo y se produce el escurrimiento superficial. La capacidad erosiva de este último está determinado por la cantidad, intensidad y distribución de las gotas de lluvia.
- ✓ Sedimentación: Ocurre cuando la velocidad del flujo disminuye y las partículas en suspensión se sedimentan en la superficie del suelo.

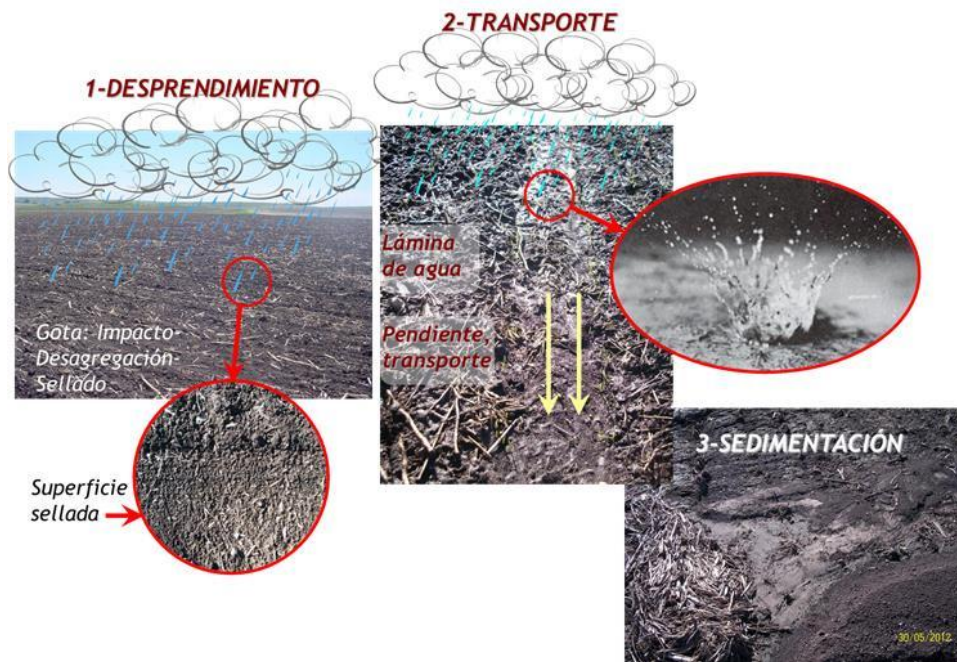


Figura 1.1: Etapas del proceso de erosión hídrica

Fuente: (mancilla, 2008)

1.9 MÉTODOS DE ESTIMACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA

Los datos sobre la erosión del suelo y los factores que la controlan, pueden tomarse en campo o para condiciones de simulación, en laboratorio, (Morgan, 1997).

1.9.1 Métodos cualitativos

Los métodos cualitativos de estimación de la erosión hídrica, no recurren a valoraciones numéricas-cuantitativas del fenómeno natural, sino adjetivaciones ordinales de los diferentes caracteres que se toman en consideración. Entre los métodos cualitativos, destaca la cartografía de unidades homogéneas, en función de los parámetros principales que controlan el proceso erosivo (erosividad, suelo, vegetación, topografía), y la atribución de valores de cuantificación más o menos subjetivos. Los estados de la erosión real pueden ser determinados mediante la observación con sensores remotos y contrastes de campo. (Rafaelli, López & Almorox, 2010).

Esta técnica puede ser utilizada para la cartografía de áreas con erosión entre arroyos y arroyos, cárcavas, abarrancamientos y desplazamientos en masa, de forma que, después de la valoración de los estados de erosión, se puede confeccionar el mapa cualitativo de erosión hídrica (Rafaelli, López & Almorox, 2010).

1.9.2 Métodos cuantitativos

Los métodos cuantitativos permiten la estimación numérica de la erosión. No sólo dan un valor de pérdidas de suelo estimadas; sino también mediante rangos cuantitativos, se pueden establecer diferentes grados erosivos, por lo que el método cuantitativo puede ser empleado para el desarrollo de metodologías cualitativas. La cuantificación se realiza a diferentes escalas desde el nivel de pedón, de parcela, ladera o cuenca (Rafaelli, López & Almorox, 2010).

a) Evaluación directa

Las medidas de campo pueden clasificarse en dos grupos: las diseñadas para determinar las pérdidas de suelo en áreas relativamente pequeñas o parcelas de erosión, frecuentemente como parte de un experimento, y las diseñadas para evaluar la erosión en áreas más grandes, como una cuenca hidrográfica (Morgan, 1997).

Los métodos cuantitativos determinan la erosión por medida directa (medidas en cuencas, medida del volumen del flujo de agua y sedimentos, agujas de erosión, estacas, varillas, perfiladores micro topográficos, etc.), en el terreno o la estimación a partir de ensayos (simuladores de lluvias, parcelas de erosión), o por medida de parámetros asociados a los sedimentos o al suelo (materia orgánica, fósforo, etc.) (Rafaelli, López & Almorox, 2010).

b) Evaluación indirecta: modelos de erosión paramétricos

Los modelos se definen como representaciones simplificadas de un sistema real. Su importancia radica, entre otros aspectos, en la simulación y generación de escenarios, predicción de los fenómenos físicos, sobre todo los de frecuencia rara, a corto, mediano y largo plazo. Asimismo, a través de los modelos se puede obtener relaciones de causa-efecto, sin haber realizado cambios en los sistemas reales (Taboada, 2003).

Los modelos de erosión del suelo juegan un papel importante, para planificar medidas anti erosivas del suelo, para conservar el recurso agua y en las evaluaciones de las fuentes no puntuales, incluyendo evaluación e inventario de la carga de sedimentos, planificar y diseñar obras de conservación, para el control de los sedimentos y para el avance de estudios científicos. Los monitores y mediciones de la erosión del suelo in-situ, son caros y demandan mucho tiempo, por lo que los modelos matemáticos de erosión son en muchos casos, la única herramienta para evaluar la erosión (Taboada, 2003).

En general, todos los modelos existentes pueden relacionarse con uno de los siguientes tres grupos (Taboada, 2003):

- Los modelos de erosión que calculan solo la pérdida de suelo, utilizando principalmente la ecuación universal de pérdida de suelo, sin ninguna consideración para los procesos de transporte y deposición.
- Los modelos de erosión basados en ecuaciones empíricas y que en la mayoría de los casos, utilizan también una modificación de la ecuación universal de pérdida de suelo, para calcular la pérdida de suelo. Adicionalmente, los procesos de transporte y deposición son simulados, basados en la información topográfica.
- Los modelos de erosión de procesos orientados, los cuales simulan los efectos de las gotas de lluvia, escurrimiento laminar y otros procesos.

1.9.3 Ecuación universal de pérdida de suelos (USLE)

La Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE) fue desarrollada a fines del año 1950 y se volvió ampliamente utilizada en planes de conservación de áreas cultivadas en la década de los años '60. A comienzos del año 1970 la USLE fue aplicada para muchos otros usos del suelo además de los utilizados en áreas cultivadas y para otras aplicaciones aparte de las usadas en los planes de conservación de suelos, también fue utilizada en estimaciones de tasas erosivas a niveles de territorios extensos como cuencas y sub cuencas, sin duda es quizás la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), la más aceptada entre las personas encargadas de la gestión de cuencas con fines de producción o de conservación (Dumas, 2002).

El significado de universal radica en que incluye factores que universalmente son responsables de la erosión acelerada. Es un método que permite predecir la pérdida de

suelo anual promedio causada por erosión laminar y en surcos. Además estima pérdidas anuales de suelo de largo plazo y permite guiar a los conservacionistas sobre adecuadas prácticas de cultivo, manejo y conservación. Involucra erosión hídrica acelerada y las pérdidas de suelo son informadas por unidad de área y para una unidad de tiempo (ton/ha/año). No toma en cuenta la deposición de sedimentos y establece que la pérdida “A” de suelo de un área, es el producto de cinco o seis factores causativos:

$$E=R * K * LS * C *P \quad \text{Ec. (1.1)}$$

Dónde:

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

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

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

L: Longitud de la pendiente en metros.

S: Pendiente en m/m

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

P: Prácticas de conservación aplicada, sin unidades de medida. 9

A. Determinación del factor R

El factor R de Erosividad corresponde a la sumatoria de los productos de las energías de todos los eventos de lluvias erosivas anuales con sus respectivas intensidades máximas en 30 minutos, lo cual da una idea de la agresividad con que la precipitación influye en el proceso de degradación de los suelos.

Wischmeier y Smith (1959) presentaron un índice de erosividad o factor R basado en esta relación directa: la energía cinética (E) y la intensidad de la lluvia (I).

- *Energía Cinética (E)*: La energía cinética representa el trabajo por golpeo y salpicadura de la gota de lluvia caídas sobre la superficie del suelo, obtuvieron una alta correlación entre la intensidad de las lluvias y su energía.
- *Máxima intensidad en 30 minutos*: Indican que cuando el valor de energía de la lluvia, es multiplicada por la máxima intensidad de las lluvias con duración de 30 minutos, se obtienen altas correlaciones con las pérdidas de suelo.

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

$$EI30=Ec*I30 \quad Ec. (1.2)$$

Dónde:

Ec: Energía cinética de la lluvia en Kg/m²

I30: Máxima intensidad en 30 minutos e mm/hr

Al producto de ambos se le denomina índice de erosividad lo cual resulta el potencial erosivo de la lluvia y está en función de la misma y de su máxima velocidad de caída sobre la superficie del suelo. Representa los efectos totales del impacto de las gotas de lluvia.

Otro de los métodos para la determinación de la erosividad R es el propuesto por (Morgan, 1997) usado para lugares con precipitaciones altas.

$$R = I30 * \frac{9.28P-8.393}{1000} \quad Ec. (1.3)$$

Dónde:

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

P: Precipitación media anual.

Finalmente el propuesto por Foster usando las mismas variables.

$$R= 0.276P * \frac{I30}{100} \quad Ec. (1.4)$$







B. Determinación del factor K

El valor del factor de Erodabilidad del suelo se puede determinar de dos maneras, de manera directa a través de la ecuación de Erodabilidad o bien de manera gráfica. Para lo cual es necesario obtener para ambas maneras ciertas propiedades del suelo.

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

- *Materia Orgánica*: Se estima su proporción porcentual dentro del suelo, para lo cual se efectúa un análisis de las muestras obtenidas en campo. Según USLE, el porcentaje de materia orgánica oscila entre 0 y 4 %, con valores de números enteros, si el contenido fijado es más que el rango especificado, se asume un 4 %.
- *Estructura del suelo*: se determinación se efectúa mediante la observación visual y tacto. para lo cual es recomendable emplear algún manual de comparación, de acuerdo a la USLE, las categorías y códigos empleados son solo cuatro.

Tabla 1.1: Códigos USLE de estructura de suelo

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

Fuente: (mancilla, 2008)

- *Permeabilidad del suelo*: Para la permeabilidad se le asignan valores o códigos de acuerdo a la velocidad de infiltración de cada suelo determinado. Estos códigos son asignados por la USLE.

Tabla 1.2: Códigos USLE de permeabilidad de suelos

Código USLE	Categoría de permeabilidad
1	Rápida (más de 12,7 cm-h ⁻¹)
2	Moderada a rápida (6,3 a 12,7 cm-h ⁻¹)
3	Moderada (entre 2 y 6,3 cm-h ⁻¹)
4	Lenta a moderada (entre 0,5 y 2 cm-h ⁻¹)
5	Lenta (entre 0,13 y 0,5 cm-h ⁻¹)
6	Muy lenta (menor a 0,13 cm-h ⁻¹)

Fuente: (mancilla, 2008)

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

i. Método de la Ecuación:

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

$$K=1.313*[2.1*10^{-4}*(12-MO)*M1.14+3.25*(s-2)+2.5*(p-3)]/100 \text{ Ec. (1.5)}$$

Dónde:

MO: Porcentaje de materia orgánica de las muestras

s: Código de estructura del suelo.

p: Código de permeabilidad.

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

También se utiliza la fórmula propuesta por Williams

$$K = 0.1317 * f_{csand} * f_{ci-si} * f_{orgC} * f_{hisand} \dots \text{Ec. (1.6)}$$

Donde:

f_{csand} : Contenido de arena

f_{ci-si} : Contenido de Limo-arcilla

f_{orgC} : Contenido de carbono orgánico

f_{hisand} : Parámetro de arena

$$f_{csand} = \left[0.2 + 0.3 \exp \left(-0.0256 m_s \left(1 - \frac{m_{silt}}{100} \right) \right) \right] \dots \text{Ec. (1.7)}$$

$$f_{ci-si} = \left(\frac{m_{silt}}{m_c + m_{silt}} \right)^{0.3} \dots \text{Ec. (1.8)}$$

$$f_{orgC} = \left[1 - \frac{0.25orgC}{orgC + \exp(3.72 - 2.95orgC)} \right] \dots\dots\dots Ec. (1.9)$$

$$f_{hisand} = \left[1 - \frac{0.70(1 - \frac{m_s}{100})}{(1 - \frac{m_s}{100}) + \exp(-5.51 + 22.9(1 - \frac{m_s}{100}))} \right] \dots\dots\dots Ec. (1.10)$$

Donde:

- m_s : % de arena
- m_{silt} : % limo
- m_c : % arcilla
- $orgC$: % de materia orgánica

ii. Método Gráfico

Para este método se utiliza el monograma de Erodabilidad de Wischmeier y Smith, a pesar de representar la misma ecuación del método anterior, es menos exacto, debido al sesgo visual en el que puede incurrir el interesado. En este caso es recomendable apoyarse de una regla u otro objeto recto con el que ayudarse. La determinación gráfica del factor de Erodabilidad se efectúa proyectando siempre líneas rectas en el interior del monograma. Se comienza ingresando el porcentaje de limo más arena muy fina en el gráfico izquierdo. Partir de este valor, se proyecta una línea recta hasta interceptar la correspondiente curva representativa del porcentaje de arena del suelo en cuestión.

Desde ese punto se proyecta verticalmente la línea hasta topar con la curva que representa el porcentaje de materia orgánica del suelo. Desde allí se continua hacia la derecha, cruzando la primera aproximación del valor K, la cual es útil si no se dispone de los antecedentes de estructura o permeabilidad.

De esta manera, se ingresa al gráfico derecho, continuando la proyección realizada, hasta interceptar la línea correspondiente al código de estructura del suelo en cuestión. Desde ese punto, se desciende por el gráfico hasta topar la línea que representa el código de permeabilidad adecuado al suelo en estudio.

Finalmente desde ese punto se traza la línea recta hacia la izquierda del gráfico, hasta encontrar el factor correspondiente de Erodabilidad del suelo (K).

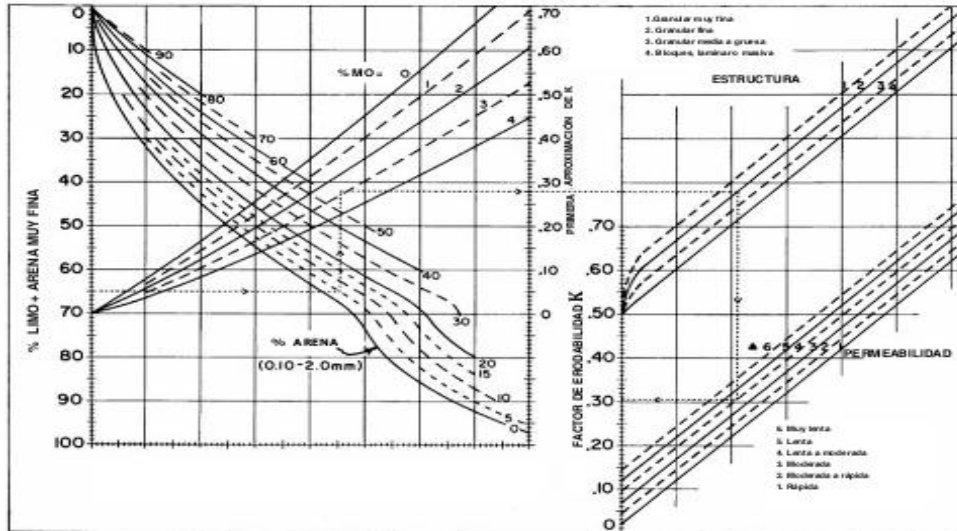


Figura 1.2: Nomograma para la determinación de erodabilidad del suelo (adaptado desde Wischmeier y Smith, 1978)

Fuente: (mancilla, 2008)

C. Determinación del factor LS

El factor LS es el producto de los subfactores longitud (L) y pendiente (S) del terreno, quienes se calculan con las siguientes expresiones algebraicas (FOSTER, 1977). Veamos el siguiente esquema de ecuaciones:

Factor L

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13}\right)^m \dots\dots\dots Ec. (1.11)$$

Para:

$$m = \frac{F}{1+F} \dots\dots\dots ec(1.12)$$

$$F = \frac{\text{sen}\beta/0.0896}{3 * (\text{sen}\beta)^{0.8} + 0.56} \dots\dots\dots Ec.(1.13)$$

Con el SIG, (Desmet Y Gover, Velazquez 2008), se aplica la siguiente fórmula:

$$L(i, j) = \frac{[A(i, j) + D^2]^{(m+1)} - A(i, j)^{(m+1)}}{X^m * D^{m+2} (22.13)^m} \dots\dots\dots Ec.(1.14)$$

Donde:

- β : Pendiente a nivel de pixel (debe estar expresado en radianes, a grados multiplicar 0.01745)
- A: Acumulación de flujo a nivel de pixel
- D: Lado de pixel
- X: Coeficiente de forma(x=1)

Factor S

$$S_{(i,j)} = 10.8 * \text{sen}\beta_{(i,j)} + 0.03 \dots \text{Ec. (1.14)} \quad \tan\beta_{(i,j)} < 0.09$$

$$S_{(i,j)} = 16.8 * \text{sen}\beta_{(i,j)} - 0.5 \dots \text{Ec. (1.15)} \quad \tan\beta_{(i,j)} \geq 0.09$$

También existe un procedimiento sencillo de cálculo utilizando una Cuadro que permite asignar directamente a una ladera el valor del factor LS en función de la pendiente. El cálculo es el utilizado por la Facultad de Hidráulica e Hidrología de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes (Madrid). Este estudio ha permitido la elaboración de este cuadro que permite asignar directamente a una ladera el valor del factor L.S en función de la pendiente.

Tabla 1.3: Factor LS según grupos de pendientes

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

Fuente: Método Mintegui (1983), citado por RAMOS (2001) y GARCIA (2005).

D. Determinación del factor C

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

El factor de cultivo (C) es un factor combinado que refleja la influencia de:

- Las secuencias en la cubierta vegetal (en el caso de cultivos);
- Los tipos de cubierta vegetal, y
- La cantidad de aguaceros caídos durante los períodos en que las prácticas agrícolas dejan desprotegido el suelo.

El factor C es la relación entre la pérdida de suelo en un terreno cultivado en condiciones específicas y la pérdida correspondiente del suelo en barbecho continuo. Esta comparación se hace suponiendo que son semejantes las condiciones de suelo, pendiente y lluvia (Morgan, 1997).

El factor C ya se ha definido como la relación entre las pérdidas de suelo que se producen bajo una alternativa y con unas determinadas técnicas de cultivo, y las pérdidas correspondientes al barbecho continuo. (Grupo Tragsa Y Ministerio De Medio Ambiente, 1998).

Para la determinación de este factor se estudian las diferentes coberturas que cuenta la zona de estudio, para lo cual se tiene una Cuadro publicada por Wischmeier, (1978), donde se definen los valores de C para los tipos más comunes de cultivos y coberturas.

Tabla 1.4: Valores del factor C

Cobertura Vegetal de la Microcuenca	Cobertura según Tabla	Factor C
Bosque Perennifolio	Bosque denso	0.001
Bosque Secundario	Arboleado muy clareado	0.041
Matorrales	Matorral con buena cobertura	0.008
Cultivos Agropecuarios y Vegetación Secundaria	Cultivos anuales herbáceos	0.25
Pajonal	Pasturas	0.15
Bofedal	Pasturas	0.15
Sector Urbano	Urbano	0.2

Fuente: (Cabrejos, 2016)

Tabla 1.5: Valores de cobertura vegetal factor C

Cultivo y Práctica	Media anual del factor 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
Pradera herbácea	0.01 - 0.025
Soya	0.20 - 0.50
Trigo	0.10 - 0.40
Arroz	0.10 - 0.20
Cacahuate	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	0.003 - 0.009
Arbolado muy clareado (25 - 60%)	0.041
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
Plantas herbáceas y matojos (100%)	0.003
Plantas herbáceas y matojos (60%)	0.035
Cubierta escasa (60%)	0.15 - 0.09
Cubierta inapreciable	0.45

Fuente: (mancilla, 2008)

E. Determinación del factor P

P es el factor de prácticas de control de erosión. El factor P de la USLE refleja el impacto que las prácticas de control tienen sobre la tasa de erosión (Velásquez, 2008).

Este factor representa el efecto de mejores prácticas como cultivo en contorno o en bandas. Su valor depende de la pendiente del terreno y puede ser obtenido de tablas. Los valores de P varían entre 0 y 1. La determinación del factor P por efecto de incluir prácticas de conservación de suelos, son obtenidos de valores obtenidos en ensayos experimentales (Ineter, 2005).

En la zona de estudio no se observan prácticas de este tipo o son muy mínimas, por lo que este factor no se ha considerado.

1.10 NIVELES ACEPTABLES DE EROSIÓN

El nivel aceptable de erosión como la máxima cantidad de suelo que se puede perder por erosión de una parcela, sin sufrir degradación excesiva, a pesar de que se explote agrícolamente en forma continua, (Núñez, 2001).

Estima que los niveles o límites tolerables están en función del proceso de formación de suelos, para una región específica. Por esa razón, si el proceso de formación de suelos es de 25 mm de grosor en 30 años, el nivel tolerable de pérdida sería de 12.5 tn/ha/año, (Hudson, 1981).

En la siguiente tabla se presenta las tasas erosivas de pérdida de suelos y los grados de erosión.

Tabla 1.6: Niveles de pérdida de suelo

Nivel	Pérdida de Suelo (Ton/ha/año)	Tipo de erosión
1	< 1	Normal
2	1 - 5	Ligera
3	5 - 15	Moderada
4	15 - 50	Severa
5	50 - 200	Muy severa
6	> 200	Catastrofico

Fuente: (FAO, 1980)

1.11 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Los Sistemas de Información Geográfica son programas informáticos que proporcionan herramientas para el procesamiento, gestión, análisis y representación de datos con una componente cartográfica en formato digital, (Cáceres, 2010).

Para justificar la importancia de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y el papel que estos juegan hoy en día, es habitual citar el hecho de que aproximadamente un 70 % de la información que manejamos en cualquier tipo de disciplina está georreferenciada. Es decir, que se trata de información a la cual puede asignarse una posición geográfica, y es por tanto información que viene acompañada de otra información adicional relativa a su localización. Si bien es probable que este porcentaje no haya variado desde que comenzó a mencionarse en los libros sobre SIG, la situación

es en la actualidad más favorable que nunca para el desarrollo de herramientas que permitan la utilización de toda esa información al tiempo que se consideran los datos relativos a su posición en el espacio. Esto es así no solo porque trabajamos con gran cantidad de información referenciada geográficamente, sino porque somos cada día más conscientes de la importancia que esa componente geográfica tiene. La geografía ha pasado de ser un ámbito particular con cierta relación con otros campos a ser un elemento fundamental incorporado a la mayor parte de las disciplinas. Y no solo en el terreno científico, sino en el terreno mismo de la vida diaria, donde toda esta información juega un papel de gran importancia. La utilización de cartografía ha dado un vuelco radical en el plazo de unas décadas, permitiendo nuevas posibilidades y acercando la información cartográfica como herramienta de primer orden a un público amplio y diverso. La elaboración misma de cartografía ha pasado de ser terreno exclusivo de profesionales del sector a ser una labor abierta donde las nuevas tecnologías, especialmente las de corte colaborativo, han permitido que otro tipo de usuarios desarrollen y compartan información cartográfica. En este sentido, los SIG no son solo herramientas dentro de ese contexto de gran importancia de la información geográfica, sino en gran medida responsables de que esa situación sea tal, pues su contribución dentro del panorama relativo a la geografía ha sido vital para impulsar esta y hacerla llegar hasta su lugar actual. En una sociedad donde la información y la tecnología son dos de los pilares fundamentales, los SIG son, sin lugar a dudas, la tecnología estandarte para el manejo de información geográfica, y los elementos básicos que canalizan la gestión de todo aquello que, de un modo u otro, presente una componente geográfica susceptible de ser aprovechada. Así, un SIG es fundamentalmente una herramienta para trabajar con información georreferenciada, una definición en la que pueden entrar un gran número de tecnologías y de otros elementos no tecnológicos. (Olaya, 2014).

Básicamente, un SIG ha de permitir la realización las siguientes operaciones:

- Lectura, edición, almacenamiento y, en términos generales, gestión de datos espaciales.
- Análisis de dichos datos. Esto puede incluir desde consultas sencillas a la elaboración de complejos modelos, y puede llevarse a cabo tanto sobre la componente espacial de los datos (la localización de cada valor o elemento) o la componente temática (el valor o el elemento en sí).

➤ Generación de resultados tales como mapas, informes, gráficos, etc.

1.11.1 Componentes de un sistema de información geográfica

Una forma de ver el sistema SIG es atendiendo a los elementos básicos que lo componen, cinco son los elementos principales que se contemplan tradicionalmente en este aspecto (Olaya, 2014):



Figura 1.3: Elementos básicos que componen el SIG

Fuente: (Olaya, 2014)

- Datos: Los datos son la materia prima necesaria para el trabajo en un SIG, y los que contienen la información geográfica vital para la propia existencia de los SIG.
- Métodos: Un conjunto de formulaciones y metodologías a aplicar sobre los datos.
- Software: Es necesaria una aplicación informática que pueda trabajar con los datos e implemente los métodos anteriores.
- Hardware: El equipo necesario para ejecutar el software.
- Personas: Las personas son las encargadas de diseñar y utilizar el software, siendo el motor del sistema SIG

Cada uno de los elementos anteriormente mencionado tiene características propias que deben estudiarse. No obstante, el hardware no es un elemento especialmente particular de un SIG, y las aplicaciones SIG que encontramos actualmente se ejecutan en su mayoría sobre computadoras personales sin requerimientos altamente específicos. Más aún, la expansión de las tecnologías SIG ha alcanzado hoy en día otros ámbitos como

las plataformas móviles, haciendo de estas unas tecnologías poco específicas en lo que a hardware se refiere. Por esta razón, no es necesario tratar en detalle este elemento del sistema SIG, siendo más adecuado tratar el resto de elementos, más característicos e importantes para el aprendizaje de los conceptos SIG y la descripción de estos.

Por su parte, las personas tienen importancia tanto de forma individual como en su conjunto, siendo diferentes las necesidades que plantean como usuarios y beneficiarios de un SIG. En la sociedad actual, las tecnologías y planteamientos han calado hondo en el ámbito del SIG, y la información geográfica es, por su propia naturaleza, propensa a ser compartida y utilizada por diferentes personas con fines muy distintos. Es por ello que el aspecto de mayor relevancia respecto a las personas como partes del sistema SIG es el de sus relaciones y su organización, siendo además en este campo donde se han producido en mayor medida los últimos avances, y donde ha tenido lugar un cambio más profundo, no ya sólo dentro de los SIG, sino también en otras tecnologías de similar índole. Puede entenderse esto como un nuevo subsistema: el subsistema de gestión, que es responsable de gestionar la interacción de los restantes y definir y controlar el marco en que esta tiene lugar. Las personas a su vez dan forma a los distintos ámbitos de trabajo, definiendo estos en función de sus necesidades.

Puede tratarse el conjunto de campos de especialización como un nuevo elemento del sistema SIG, en lugar de incorporarlo dentro de otro. Algunos autores proponen modificar el esquema clásico de cinco elementos para reflejar más correctamente la nueva realidad de los SIG. Por ejemplo, propone un esquema como el mostrado: (Olaya, 2014)

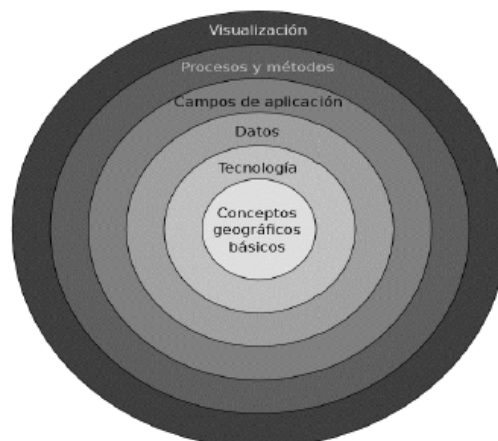


Figura 1.4: Una división distinta del sistema SIG

Fuente: (Olaya, 2014)

La incorporación de la visualización es una diferencia notable con respecto al esquema clásico. En realidad, y si volvemos a ese enfoque basado en subsistemas, el subsistema de visualización resulta de enorme importancia en un SIG, siendo pese a ello habitual que no sea tratado con la suficiente profundidad en textos dedicados a los SIG desde un punto de vista genérico. Precisamente por no ser considerado un elemento independiente, no se le concede la necesaria atención como parte que debe estudiarse al tratar la disciplina de los SIG. Esto contrasta con el hecho de que, a pesar de que las capacidades de los SIG son mucho más amplias que las relacionadas con la visualización, muchos usuarios usan estas por encima de las restantes, desconociendo incluso en muchos casos gran parte de las otras capacidades que un SIG puede brindarles, (Olaya, 2014)

Correcto o no, desde el punto de vista del usuario medio, las capacidades de visualización están en primera línea del conjunto de funcionalidades de un SIG. Abordar el estudio de un SIG acudiendo al esquema clásico de cinco elementos deja de lado la visualización, en cuanto que la engloba como una funcionalidad derivada de dichos elementos en su conjunto pese a que esta tiene unas características peculiares en el entorno de un SIG y una vital importancia en la concepción actual de este. Es decir, el esquema de partes de un SIG no resulta el más adecuado para estructurar el estudio de los SIG, al menos en lo que respecta a la visualización como parte fundamental de estos. (Olaya, 2014)

- Datos.
- Procesos: Métodos enfocados al análisis de los datos.
- Visualización: Métodos y fundamentos relacionados con la representación de los datos.
- Tecnología: Software y hardware SIG
- Factor organizativo: Engloba los elementos relativos a la coordinación entre personas, datos y tecnología, o la comunicación entre ellos, entre otros aspectos.

1.11.2 Modelos de representación de datos

Los datos SIG representan los objetos del mundo real (carreteras, el uso del suelo, altitudes). Los objetos del mundo real se pueden dividir en dos abstracciones: objetos

discretos (una casa) y continuos (cantidad de lluvia caída, una elevación). Existen dos formas de almacenar los datos en un SIG: raster y vectorial, (Cáceres, 2010).

a. Modelo vectorial

El Modelo vectorial utiliza vectores, básicamente líneas, definidas por pares de coordenadas para delimitar los objetos geográficos. Con un par de coordenadas y su altitud gestionan un punto, con dos puntos generan una línea, y con una agrupación de líneas forman polígonos.

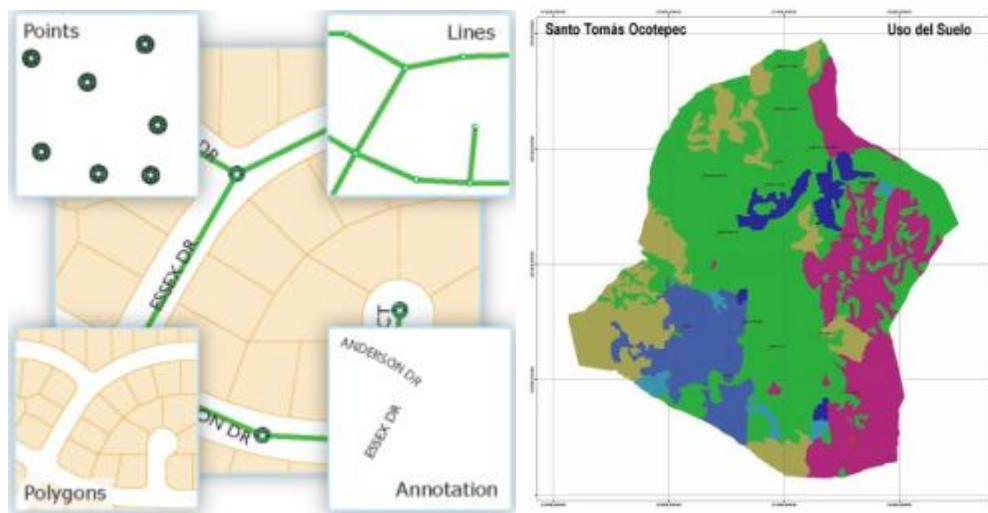


Figura 1.5: Modelo vectorial (Puntos, líneas, polígonos, texto)

Fuente: (Cáceres, 2010)

b. Modelo Raster

Cualquier tipo de imagen digital representada en mallas (PIXELS). Divide el espacio en celdas regulares donde cada una de ellas representa un único valor. Algunos formatos muy utilizados: jpeg, png, tiff.

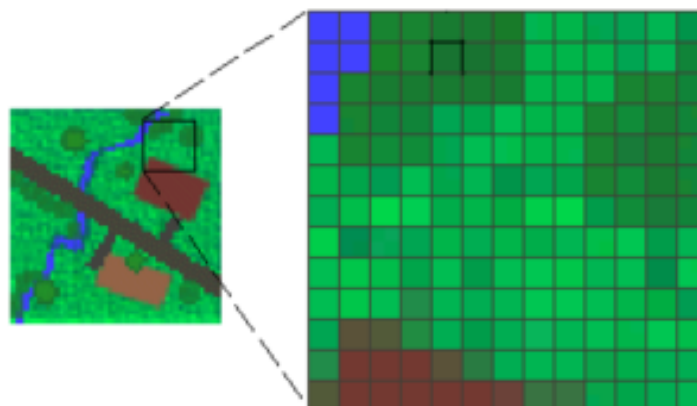


Figura 1.6: Modelo Raster

Fuente: (Cáceres, 2010)

1.12 PRACTICAS CONSERVACIONISTAS

Las actividades a nivel local que mantienen o aumentan la capacidad productiva de la tierra en áreas afectadas por o propensas a la degradación (Fao, 2016).

Las principales prácticas de conservación de suelos y aguas pueden reunirse en tres grandes grupos: mecánicas - estructurales (Vázquez, 2000).

1.12.1 Prácticas mecánico - estructurales

Entre las principales prácticas mecánicas estructurales se pueden mencionar las siguientes:

- Zanjas de infiltración
- Espejos de agua o “cochas”
- Terrazas de absorción, de formación lenta, etc.
- Andenes
- Muros de contención, enrocados o gaviones para defensa ribereña y obras de encauzamiento.
- Diques para el control de cárcavas
- Represas o reservorios de agua

A. Zanjas de infiltración

Son pequeños canales de sección rectangular o trapezoidal, generalmente asimétricos. Se construyen transversalmente a la máxima pendiente del terreno. El fondo de estos canales debe estar a nivel salvo que se trate de acequias o canales de desviación, en los que la pendiente recomendable es de 1 a 3‰ y su desembocadura debe efectuarse en una zona protegida a fin de evitar la formación de una gran cárcava.

Los objetivos principales de estas prácticas son:

- Interceptar el agua de escorrentía que proviene de la parte alta de la ladera, anulando su velocidad y permitiendo una mayor infiltración.
- Aumentar la producción de pastos, árboles y cultivos.
- Reducir la erosión hídrica del suelo
- Aumentar el número de manantiales y el caudal del agua de estos en las partes más bajas.
- Disminuir los riesgos de inundación y deslizamientos.

B. Terrazas de absorción

Las terrazas de absorción, presentan sus plataformas con una ligera inclinación hacia adentro o contrapendiente, de tal modo que no se produzcan desbordes de agua fuera de la plataforma, y permita que el agua de lluvia se infiltre, de allí su nombre de terrazas de absorción. Se presentan con muro de piedra y con talud de tierra. (Minagri, 2014)

La inclinación del terraplén hacia adentro evita el rebose del agua de lluvia durante los aguaceros fuertes o lluvias prolongadas. La nivelación de los bordes impide que el agua escurra hacia un lado u otro, de este modo el agua de lluvia que cae en las terrazas se infiltra total y uniformemente en estas, evitando totalmente la erosión. Cuando se construyen estas prácticas en zonas de alta precipitación (mayores de 1000 mm/año), se debe contemplar un sistema de drenaje superficial (Vázquez, 2000).

Se pueden distinguir y cumplir en las terrazas los siguientes elementos y requisitos:

- El borde interno de la terraza, pie o borde inferior del talud (debe estar a nivel)
- El borde externo de la terraza o borde superior del talud (debe estar a nivel)
- La profundidad del borde interno o desnivel (debe permitir almacenar el agua de lluvia que recibe)
- El suelo del terraplén o terraza propiamente dicha, debe ser removido o “preparado” para que pueda absorber el agua de lluvia.
- El talud debe ser sembrado con plantas perennes y su altura preferentemente no debe ser mayor de 1.50 m.

A fin de mantener la capa superior del suelo en la parte de arriba (horizonte A o capa arable), se debe efectuar la remoción lateral del suelo durante la construcción de la terraza.

La siembra del cultivo principal se hace en el terraplén, en el talud se debe instalar otras plantas de tipo permanente, principalmente pastos o plantas aromáticas, con la finalidad de estabilizar y aprovecharlo económicamente.

En las zonas de secano, el borde interno del terraplén puede tener una profundidad de 15cm, a fin de asegurar una máxima captación y aprovechamiento del agua de lluvia.

En terrenos bajo riego, el terraplén debe tener una pendiente longitudinal de uno a dos por mil en el sentido en que va a correr el agua; esto mismo se recomienda para zonas muy lluviosas y en terrenos poco permeables. Asimismo, en terrenos bajo riego las terrazas no deben tener contrapendiente, pero si un camellón o borde pequeño a lo largo del borde externo para evitar que el agua se desborde y desestabilice el talud (Vázquez, 2000).

C. Diques para el control de cárcavas

Cárcava es una zanja causada por la erosión hídrica del suelo. Sigue generalmente la pendiente del terreno y constituye un cauce natural en donde se concentra y corre el agua proveniente de las lluvias. El agua que corre por la cárcava arrastra gran cantidad de partículas de suelo, producto de la erosión.

Normalmente cuando el agricultor va a utilizar nuevos terrenos para cultivo, corta toda la vegetación arbórea, arbustiva y herbácea existente, es decir, limpia el terreno, quedando este consecuentemente expuesto a la acción directa de las lluvias y de la escorrentía superficial. Cuando se trata de suelos inclinados o laderas, automáticamente se inicia la remoción y el arrastre de las partículas del suelo por capas delgadas (erosión laminar).

El agua a medida que desciende por la ladera y debido a las irregularidades en el relieve del terreno se va concentrando, formando pequeños canales, los que a su vez se juntan y forman un canal mayor. Con una masa de agua más abundante y una velocidad que va en aumento, la erosión se acentúa, formando inicialmente pequeños surcos, los que se van agrandando horizontal y verticalmente hasta que se forman las cárcavas llamadas también zanjas, barrancos o torrentes. (Vásquez, 2000).

D. Andenes

Los andenes son estructuras construidas en forma de escaleras con la finalidad de cortar la pendiente de las laderas, transformándolas en plataformas de terreno horizontal, sostenidas por muros de piedras ligeramente inclinados hacia adentro.

Un sistema de andenerías es la expresión de una cultura caracterizada por el trabajo organizado, para la conservación de las aguas y los suelos y para la producción

agropecuaria eficiente. La andenería incaica fue construida por un pueblo con vocación eminentemente agrícola, guiado por el padre inca bajo una disciplina místico-militar y una organización comunal eficiente para el trabajo.

Los principales objetivos que se logran con la construcción de un sistema de andenería son:

Reducción de la pendiente de la ladera

- Mejor aprovechamiento de la ladera con fines productivos
- Disminución de la velocidad del flujo de agua que escurre
- Mejor aprovechamiento del agua ya sea de lluvia o de riego
- Protección de los suelos contra la erosión hídrica
- Mejora de las condiciones ambientales de la ladera
- Mejora de la capacidad productiva de los suelos de la ladera
- Mejor aprovechamiento de los abonos y otros insumos

E. Barreras vivas

- Se recomienda el establecimiento de barreras vivas como práctica adecuada en terrenos con pendiente menor a 10%.
- En terrenos con pendiente mayores a 10%, el establecimiento de las barreras vivas debe estar acompañado con otras prácticas conservacionistas, tales como cultivo en fajas, surco en contornos acequias o zanjas de infiltración, terrazas, etc.
- Las plantas que se van a establecer como barrera viva deben sembrarse en doble hilera distanciadas entre sí 15 a 20 cm aproximadamente.
- En zanjas o acequias de infiltración, la barrera viva debe sembrarse entre 10 a 20 cm por encima del lado o borde superior.
- El distanciamiento entre barreras vivas dependerá del tipo de cultivo y del grado de pendiente del terreno.
- Se debe practicar un mantenimiento frecuente de las barreras vivas a fin de asegurar un buen funcionamiento.

F. Surcos en contorno

- Los surcos en contorno son prácticas conservacionistas que se construyen en dirección transversal a la máxima pendiente del terreno. El objeto de esta práctica es

reducir la velocidad del escurrimiento superficial, favorecer una mayor infiltración del agua, disminuir la erosión del suelo y aumentar la producción y productividad de los cultivos.

- Los surcos en contorno pueden ser a nivel o con una ligera pendiente.
- Esta práctica se recomienda para suelos con pendiente no muy pronunciadas (menores de 20%), en pendientes mayores pueden ocurrir daños por erosión sobre todo durante los aguaceros fuertes.

1.12.2 Prácticas vegetativas

Entre las principales prácticas agronómicas se puede mencionar las siguientes:

- Cultivos en contorno
- Cobertura con residuos vegetales
- Cultivo en fajas
- Rotación de cultivos
- Abonos Orgánicos

A. Cultivos en contorno

Esta es una práctica común en suelos con ligeras pendientes, que consiste en labrar el terreno, hacer surcos y sembrar el cultivo en dirección perpendicular a la pendiente, siguiendo aproximadamente las curvas de nivel (Delgado, 1987).

Los principales objetivos de elaborar el cultivo en contorno son:

- Reducir la velocidad de escurrimiento superficial
- Aumentar la infiltración
- Reducir la erosión
- Evitar la formación de surco y cárcavas

B. Cobertura con residuos vegetales

Consiste en el cubrimiento de la superficie del terreno con los residuos de cosecha, tales como la paja de trigo y cebada, tallos de maíz, hojarasca, etc. El efecto de esta práctica sobre el control de la erosión se muestra en la tabla 1.7

Tabla 1.7: Efecto de la cobertura con residuos de cosecha en la pérdida de suelo y el escurrimiento superficial bajo lluvia simulada

Cantidad de residuos (t/ha)	Superficie cubierta (%)	Escurrimiento superficial (cm)	Pérdidas de suelo (t/ha)
0.0			
0.6	0	7.2	27.6
1.1	40	6.4	7.2
2.2	60	4.0	3.2
4.4	87	0.8	0.7
	98	0.2	0
	100	0.0	0

Fuente: Santos 1995

C. Rotación de cultivos

Esta práctica se define como la sucesión de cultivos diferentes, en ciclos continuos, sobre un área de terreno determinada (Delgado, 1987).

Los objetivos de una rotación de cultivos son:

- Lograr la ocupación máxima del suelo en espacio y tiempo.
- Mantener una cobertura permanente (disminuir riesgos de erosión).
- Mantener y mejorar la fertilidad del suelo.
- Ayudar a prevenir incidencia de plagas y enfermedades.
- Reducir efectos negativos del clima o fluctuación en los precios de productos.

D. Abonos orgánicos

La incorporación de materiales de origen orgánico favorece numerosas propiedades físicas y químicas del suelo. La materia orgánica es una enmienda relativamente completa, es decir, contiene cantidades de casi todos los elementos importantes para la planta.

1.12.3 Prácticas agronómicas

Las prácticas agronómicas se consideran todas aquellas labores culturales, prácticas o técnicas aplicadas comúnmente a los cultivos, pero que directa o indirectamente inciden en la conservación del suelo, de hecho, cualquier práctica que favorezca el desarrollo de una buena cobertura vegetal podría considerarse como tal (Becerra, 2005).

Desde el punto de vista de conservación de suelos las prácticas agronómicas más importantes son:

- Labranza
- Estercoladuras
- Fertilización

A. Labranza

Esta práctica es definida como cualquier manipulación mecánica del terreno que altere la estructura y/o resistencia del mismo con el objetivo de proporcionar y mantener en el suelo las condiciones óptimas para la germinación y desarrollo de las plantas (Sarh, 1991).

La labranza se clasifica bajo diferentes esquemas:

- Cero labranzas: No se disturba el suelo antes de la siembra. Esta se realiza en forma directa y solo se prepara una franja no mayor a 7 cm de ancho. El control de malezas es por medio de herbicidas.
- Labranza de conservación: sistema de laboreo y siembra que mantiene al menos 30% de la superficie del suelo cubierta con residuos después de la siembra. El suelo se prepara al mínimo, solamente para enterrar la semilla y los residuos vegetales se mantienen sobre la superficie para proteger el suelo.
- Labranza en franjas: Se labora únicamente un tercio de la superficie al momento de la siembra, lo cual puede realizarse con arado rotatorio, o con un cincel en la línea de la siembra o una escardilla. El control de malezas se realiza combinando herbicidas y escardas.
- Labranza en coberteras: Se labora la superficie del suelo antes de la siembra, con cinceles de punta en “v” del tipo pata de ganso. El control de malezas se realiza combinando herbicidas y escardas.

Para fines de conservación de suelos, generalmente será más conveniente aquel sistema de labranza que implique el menor disturbio posible de la estructura natural del suelo y/o favorezca la mayor cobertura de protección superficial sobre el terreno. En este sentido los mejores sistemas de labranza son los de: labranza mínima, labranza cero y labranza de conservación. (Becerra, 2005).

B. Estercoladuras

La aplicación de estiércol es una práctica muy benéfica para los terrenos de cultivo, especialmente de los de zonas áridas y semiáridas que generalmente son pobres en materia orgánica, la dosis mínima requerida es de 10 toneladas por hectárea de estiércol de ovicaprinos para elevar el contenido de materia orgánica.

La calidad del estiércol es muy variable. De acuerdo con su riqueza nutritiva se consideran como más importantes los guanos (de aves y murciélagos), luego los estiércoles de ovicaprinos y finalmente los voluminosos, como los de bovinos, equinos y porcinos.

C. Fertilización

Un desarrollo vigoroso de los cultivos definitivamente protegerá mejor al suelo de la erosión que los cultivos raquíticos, de lo cual se deduce la importancia que tiene mantener la fertilidad del suelo en buenas condiciones. Para ello, dada la constante extracción de nutrientes del suelo por los cultivos, es necesario reponerlos con la aplicación de fertilizantes se ha determinado como nutrimentos esenciales para los cultivos a los 16 elementos siguientes:

- a) C, O, H (muy importantes abundan en la atmosfera)
- b) N, P, K, Ca, Mg, S (macroelementos)
- c) Mn, Fe, B, Zn, Cu, Cl, Mb (microelementos)

Para hacer una recomendación adecuada de fertilización es necesario realizar un diagnóstico nutrimental con base en análisis de suelo, del follaje y pruebas en campo (Becerra, 2005).

CAPÍTULO II METODOLOGÍA

2.1 UBICACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La cuenca Huatatas pertenece a la vertiente del Pacífico y tiene una dirección Nor-Oeste, limitando por el Oeste con la cuenca del río Alameda por el Norte con la cuenca del Río Chacco, por el Sur con la Cuenca alta y por el Este con la Cuenca del río Yucaes.

2.1.1 Ubicación política cuenca Huatatas

Departamento : Ayacucho
Provincia : Huamanga.
Distritos : Acocro, Ayacucho, Carmen Alto, Chiara, San Juan Bautista y Tambillo y Vinchos

2.1.2 Ubicación geográfica cuenca Huatatas

Longitud : Entre 73°52.8' y 74°6'O
Latitud : Entre 13°8.22' y 13°20.9' S
Altitud media : 3,415 msnm
Altitud mínima : 2,530 m.s.n.m.
Altitud máxima : 4,300 m.s.n.m.

2.1.3 Ubicación hidrográfica cuenca Huatatas

Subcuenca : Huatatas.
Cuenca : Mantaro

2.1.4 Acceso cuenca Huatatas

Terrestre : Carretera trocha carrozable

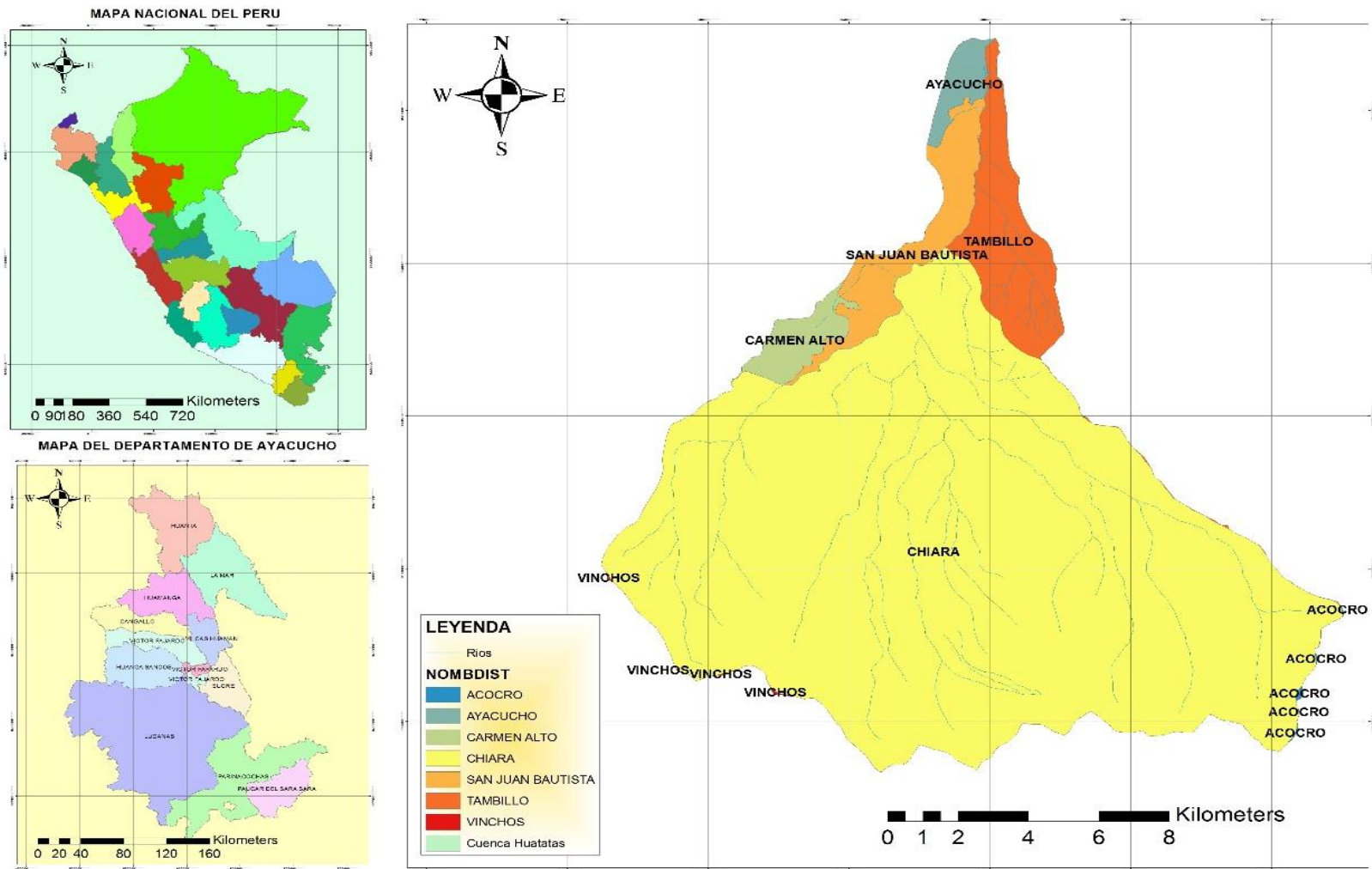


Figura 2.1: Cuenca Huatatas

Fuente: Elaboración propia

2.2 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

2.2.1 Población

En la figura 2.1 se observan los Distritos que integran la cuenca Huatatas en la provincia de Ayacucho. La tabla 2.1 muestra los principales Distritos y la cantidad de habitantes según censo 2016 (INEI-2016).

Tabla 2.1: Población de la cuenca Huatatas

N ^a	DISTRITOS	POBLACIÓN	ALTITUD	LATITUD	LONGITUD	ÁREA (Km ²)
		(Hab.)	(msnm)	SUR	OESTE	
1	AYACUCHO	93,222	2 760	13°09'15''	74°13'22''	2.868
2	ACROCO	10659	3 246	13°13'06''	74°02'28''	0.113
3	CHIARA	6,944	3 515	13°16'24''	74°12'19''	198.240
4	SAN JUAN BAUTISTA	50,429	2 734	13°09'57''	74°13'20''	10.071
5	CARMEN ALTO	21,350	2 800	13°10'20''	74°13'27''	4.318
6	TAMBILLO	5,259	3 064	13°11'32''	74°06'35''	13.700
7	VINCHOS	16,710	3129	13° 14' 31"	74° 21' 16"	0.060

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática – 2016

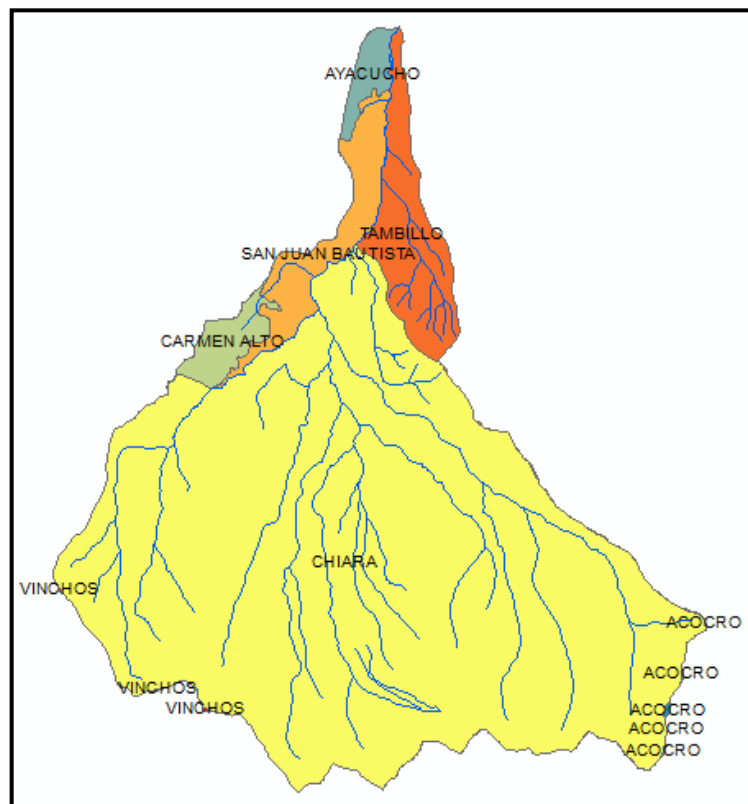


Figura 2.2: Mapa de los distritos que abarca la cuenca Huatatas

Fuente: Elaboración propia

2.2.2 Fisiografía y climatología

El paisaje de la localidades del río de Huatatas, está conformado por laderas cuyas pendientes oscilan entre 30% al 85% presentando terrazas coluvio aluviales aptas para el riego, presenta un clima templado, notándose variaciones considerables de temperatura entre día (20°C) y noche (10°C), así como en verano e invierno. La temperatura media anual fluctúa entre 11 a 16°C, con temperaturas máximas de 22 a 29°C (verano) y mínimas de -7 a -4°C (invierno). Durante la estación de verano las lluvias son intensas. Esta zona es productora de cultivos transitorios: papa, maíz, haba, arveja y hortalizas; también el potencial productivo para especies como: hortalizas, flores y especies frutales y forestales como: tara, durazno, palto entre otros.

En la Fisiografía caracterizada por una topografía de pendiente considerable, situada entre las altitud media de 3,415 m.s.n.m., posee una combinación de condiciones favorables de terreno.

2.2.3 Características geológicas

El recurso suelo, se caracteriza por presentar un proceso de erosión severa en las partes altas y media, en tanto que en las partes bajas es moderado. Proceso derivado del arrastre del suelo por precipitaciones pluviales, la falta de cobertura vegetal, el uso intensificado del recurso y prácticas inadecuadas del manejo agronómico de los cultivos.

Las características físicas de los suelos, difieren en el color de la tierra que varía de plomo, gris, rojizo. La profundidad varía de 15 a 40 cm, la textura de franco arenoso a franco arcilloso.

2.3 MATERIALES Y EQUIPOS

2.3.1 Materiales

- ✓ Imágenes de Satélite en Formato Raster de la cuenca Huatatas.
- ✓ Mapas descargados del servidor GEOGSPERU.COM
- ✓ Wincha
- ✓ Material de escritorio
- ✓ Hojas de parte diario

2.3.2 Equipos

- ✓ Cámara Fotográfica
- ✓ GPS Navegador
- ✓ Bolsas para muestras de suelos
- ✓ Regla, libreta de campo, lápiz
- ✓ Laptop, impresora
- ✓ ArcGIS Versión 10.1
- ✓ Google Earth

2.4 PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ✓ ¿En qué medida el cálculo de factores en el sistema de información Geográfica determina la estimación de la erosión hídrica?
- ✓ ¿Cuánto es la pérdida de suelo por erosión hídrica para la cuenca Huatatas?
- ✓ ¿Cuáles son las medidas de protección y conservación para los sectores más susceptibles a la erosión hídrica?

2.5 METODOLOGÍA

El presente estudio consta de las siguientes etapas:

- ✓ Fase pre campo.
- ✓ Fase de campo
- ✓ Fase Gabinete

2.5.1 Fase pre campo

Se realizó la recopilación de información básica y cartográfica existente, referida fundamentalmente a los aspectos edafológicos, climáticos, hidrográficos, geomorfológicos, topográficos, cobertura vegetal de la zona. Así como también información acerca del empleo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE).

2.5.2 Fase de campo

Se realizó un recorrido por toda la cuenca con un total de 5 visitas a campo para obtener fotografías e identificar la zona de estudio, así como también para la obtención de 10 muestras de suelo de diferentes puntos con el fin de realizar estudios de textura y materia orgánica.

2.5.3 Fase de gabinete

En la fase de gabinete se procesó toda la información recopilada durante las fases de pre-campo y campo para así poder obtener identificar y elaborar las variables en el SIG para luego mediante la ecuación USLE determinar la cantidad de erosión hídrica de la Cuenca. Para finalizar se propuso medidas de planificación para las áreas erosionadas

a. Calculo de los factores de la ecuación universal de perdida de suelo y procesamiento en el Sistema de información geográfica

a.1 Procesamiento de la información básica

Para la delimitación de la cuenca Huatatas es necesario identificar el punto de descarga del rio huatatas para generar la forma y delimitación de la cuenca.

La Cuenca Huatatas capta sus aguas en las partes altas ubicada a una altitud promedio de 44052 msnm terminando hasta su punto de descarga con el río Alameda, mediante el Google Earth. Se punto identificar y ubicar este punto de descarga teniendo como coordenadas UTM a continuación:

Coordenadas UTM del punto de descarga

UTM ESTE : 588024.00m

UTM NORTE : 8547365.00m

i. Delimitación de la cuenca

En esta etapa se realizará la delimitación de la cuenca en el Arcgis 10.2 con toda la información recopilada y descargada del MINEDU. Se describirá a continuación:

Paso 1: Teniendo el modelo digital del terreno de la carta 27_ abrimos en el Arcgis 10.2; utilizamos las curvas de nivel.

Paso 2: Convertir a formato TIN (Arctoolbox/3D Analyst Tools/Data Management/TIN/ Create TIN).

Paso 3: Transformamos en formato RASTER (Arctoolbox/3D Analyst Tools/Conversion/From TIN/ TIN to RASTER).

Paso 4: Generamos la dirección primero se crea un Fill (Arctoolbox/Spatial Analyst Tools/Hydrology/ FILL) luego (Arctoolbox/Spatial Analyst Tools/Hydrology/ Flow Direction)

Paso 5: Arctoolbox/Spatial Analyst Tools/Hydrology/ Flow Accumulation

Paso 6: Creamos un Shapefile PUNTO, lo cual se colocará al inicio de la cuenca

Paso 7: (Arctoolbox/Spatial Analyst Tools/Hydrology/ Watershep)

Paso 8: Finalmente generado la cuenca lo transformamos en formato shapefile - polígono (Arctoolbox/3D Analyst Tools/Conversion/From RASTER/ Raster to polygon), finalmente generando la “Delimitación De La Cuenca”.

ii. Elaboración del mapa de pendientes

La pendiente es una de las principales variables para la ocurrencia de eventos de erosión, dependiendo del grado que presente. A medida que aumenta el grado y el largo de la pendiente, aumenta la velocidad y el volumen del agua de escorrentía y por ende su poder erosivo. Finalmente se hizo una clasificación según el Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor (2009).

Procedimiento: Teniendo el modelo digital del terreno de la carta 27_ utilizamos las curvas de nivel.

1. Convertir a TIN
2. Convertir TIN a RASTER
3. Luego nos vamos a slope para crea pendiente
4. Finalmente clasificamos con la herramienta reclassify.

Tabla 2.2: Rango de valores de la pendiente

Rango de pendiente para laderas cortas	Rango de pendiente para laderas largas
0 - 4%	0 - 2%
4 - 8%	2 - 4%
8 - 15%	4 - 8%
15 - 25%	8 - 15%
25 - 50%	15 - 25%
50 - 75%	25 - 50%
> 75%	50 - 75%
	> 75%

Fuente: Reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso Mayor, 2009

iii. Procesamiento de la información de precipitación

Mediante los datos de precipitación de las estaciones. Se realizó la regionalización en la cuenca Huatatas para luego generar el mapa de Isoyetas con ayuda del software ArcGIS.

A continuación en la tabla 2.3 se describe las estaciones utilizadas para el presente trabajo de investigación indicando los lugares de cada estación el periodo de registro y la latitud y longitud de cada una.

Tabla 2.3: Localización de estaciones

Estación	Periodo	Coordenadas Geográficas	
		Latitud	Longitud
HUANTA	2000 - 2016	12°56'51.00"S	74°14'0.00"O
QUINUA	2000 - 2016	13° 3'6.00"S	74° 8'32.00"O
PACAYCASA	2000 - 2016	13° 4'36.00"S	74°13'1.00"O
TAMBILLO	2000 - 2016	13° 3'53.98"S	74° 0'5.25"O
PAMPA CANGALLO	2000 - 2016	13°33'19.00"S	74°11'4.00"O

Fuente: Elaboración propia

Procedimiento:

1. Se ingresa en el Arcgis los puntos de las estaciones meteorológicas georreferenciada y con su respectiva proyección definida.
2. Se interpola todos los puntos de las estaciones meteorológicas ArcToolbox > Spatial Analyst Tools > Interpolation.> Spline
3. Finalmente de crea el mapa de ISOYETAS

iv. Elaboración de mapa de cobertura vegetal

Un aspecto importante para que se produzca erosión en los suelos es la cobertura que este presenta, bien se sabe que cuando un suelo está desnudo se encuentra más expuesto a sufrir estos eventos que cuando un suelo se encuentra cubierto por un manto de algún tipo de vegetal, ya sean cultivos agrícolas o no, de alguna forma son estas coberturas las que protegen a los deslizamientos de suelos.

Procedimiento

1. Para la obtención del Mapa de cobertura Vegetal se realizó la descarga de página GEO GPS PERU, en el cual realizamos la descarga de la zona en estudio.

a.2 Cálculo de los factores en el sistema SIG

A. Factor R

Es el factor de la precipitación, un dato importante en la evaluación de la pérdida de suelo, para su determinación se utilizó información de precipitaciones procedentes del Gobierno Regional.

Después de analizar la precipitación se procedió a la interpolación de cada estación elaborando el mapa de líneas Isoyetas donde se obtuvo un rango para cada unidad, el cual fue convertido al formato Raster y con ayuda de la herramienta Raster Calculator se determinó el valor del factor R utilizando la ecuación (1.3).

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

Dónde:

I_{30} : 75 mm/h (valor recomendado por Weischmeier)

P: Precipitación media anual.

El factor de Erosividad se clasificó según el cuadro 2.5 planteada por la FAO, 1980.

B. Factor K

1° Para el cálculo del factor K se realizaron estudios de análisis de suelo en el laboratorio AGROLAB, de las 10 muestras extraídas en campo, cuyos resultados obtenidos se muestran en la tabla 2.4 siguiente:

Tabla 2.4: Contenido de textura y M.O de las muestras de suelo

Nº Laborat.	Nº Campo	Coordenadas			M.O. (%)	Fracciones(%)			Clase Textural
		x	y	z		Arena	Limo	Arcilla	
7113	M-1	583107	8535026	3405	4.62	63	14	23	Fr.Ar,A.
7114	M-2	586160	8531835	3520	7.51	39	26	35	Fr.Ar.
7115	M-3	586233	8527776	3772	9.99	45	26	29	Fr.Ar,A.
7116	M-3.1	586295	8527724	3786	0.62	63	20	17	Fr.A.
7117	M-4	590433	8532174	3640	4.62	51	16	33	Fr.Ar,A.
7118	M-5	587721	8534708	3381	10.56	40	29	31	Fr.Ar,A.
7119	M-6	587554	8547731	2579	0.51	75	12	13	Fr.A.
7120	M-7	600915	8528637	4156	6.9	56	21	23	Fr.A,A.
7121	M-8	586522	8520382	3848	1.72	63	21	16	Fr.A
7122	M-9	576150	8529642	3931	5.43	48	17	35	Fr.A,A.

Fuente: Elaboración propia

Con los datos obtenidos de textura y materia orgánica se calculó el factor K, con las fórmulas de hazen Williams se utilizan las ecuaciones (1.6), (1.7), (1.8), (1.9) y (1.10)

$$K = 0.1317f_{csand} * f_{cl-si} * f_{orgc} * f_{hisand}$$

Dónde:

$$f_{csand} = (0.2 + 0.3\exp[-0.0256m_s (1 - \frac{m_{silt}}{100})])$$

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

$$f_{orgc} = [1 - \frac{0.25orgC}{orgC + \exp[3.72 - 2.95orgC]}]$$

$$f_{hisand} = [1 - \frac{0.70(1 - \frac{m_s}{100})}{(1 - \frac{m_s}{100}) + \exp[-5.51 + 22.9(1 + \frac{m_s}{100})]}]$$

2° Mediante las formulas propuestas que se obtendrán se elabora un cuadro de resultados el cual se ingresará al Arcgis y procesara la información, para finalmente clasificarlo según la tabla 2.5.

Tabla 2.5: Clasificación de los grados de erodabilidad según USDA (1962)

Valor de K (T ha. H/MJ MM ha.)	Clasificación
0.007902	Muy poco erodable
0.0079 - 0.0171	Débilmente erodable
0.0171 - 0.0329	Medianamente erodable
0.0342 - 0.0684	Fuertemente erodable
0.0684 - 0.1027	Extremadamente erodable

Fuente: AZMEZQUITA, E "El agua y erodabilidad de los suelos"

C. Factor LS

Como el factor LS es el producto de la longitud de la pendiente y la inclinación de dicha, en primer lugar se determinó el factor L y luego el factor S con las siguientes ecuaciones (1.12), (1.13) y (1.14).

Factor L

$$L = \frac{(A_{(i,j)} + D^2)^{m+1} - A_{(i,j)}^{m+1}}{X^m D^{m+2} (22.13)^m} \quad Ec(1.14)$$

$$m = \frac{F}{1 + F} \quad Ec(1.12)$$

$$F = \frac{\sin\beta/0.0896}{3 * \sin\beta^{0.8} + 0.56} \quad Ec (1.13)$$

Factor S

Cuando $\tan \beta(i,j) < 0.09$ $S(i,j) = 10.8 \sin \beta(i,j) + 0.03$

Cuando $\tan \beta(i,j) > 0.09$ $S(i,j) = 16.8 \sin \beta(i,j) - 0.5$

- 1ª Generamos el mapa de pendiente con la herramienta SLOPE
- 2ª Calculamos el raster F con la herramienta Map Algebra – Raster Calculator, en la cual se introduce la ec (1.13)
- 3ª Creado el raster F, creamos el raster m con la herramienta Map Algebra – Raster Calculator
- 4ª Creamos el mapa de dirección con la herramienta “Flow Direction”
- 5ª Creamos el mapa de Acumulación con la herramienta “Flow Accumulation”
- 6ª Creamos el mapa del FACTOR L con la herramienta Map Algebra – Raster Calculator introduciendo la ec (1.14)
- 7ª Creamos el Factor S con la herramienta Map Algebra – Raster Calculator introduciendo la condición del factor S
- 8ª Por ultimo creamos el FACTOR LS con la herramienta Map Algebra – Raster Calculator solo multiplicando FACTOR L Y FACTOR S.

D. Factor C

Para la determinación del factor C se utilizó como guía la Cuadro de valores de cobertura vegetal detallada en la tabla 1.5 lo cual pudimos obtener la siguiente tabla 2.6 de acuerdo al tipo de vegetación existente en nuestra cuenca de investigación.

Tabla 2.6: Valores del Factor C

Cobertura Vegetal de la Cuenca		Factor C
1.	Agricultura Costera y Andina	0.25
2.	Área Urbana	0.20
3.	Bofedal	0.15
4.	Laguna, lagos y cochas	0.025
5.	Matorral Arbustivo	0.008
6.	Pajonal Andino	0.15
7.	Plantación forestal	0.01 – 0.03

Fuente: Elaboración propia

E. Factor P

Como el análisis del Factor P corresponde a las prácticas de conservación que se presenten en una zona determinada y teniendo en cuenta que en la Cuenca Huatatas no se presentan dichas prácticas conservacionistas a grandes escalas, se optó por considerar el valor de la unidad.

b. Cuantificar la pérdida de suelos y clasificarlo según el grado de erosión

b.1 Cuantificación de la erosión hídrica

Para el proceso de la cuantificación se utilizó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE), introduciendo cada uno de los factores en la ecuación general (1.1):

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

El proceso fue realizado con ayuda del software ArcGIS, con ayuda de la herramienta Raster Calculator, se generó el raster de erosión hídrica.

b.2 Clasificación según el grado de erosión

De acuerdo al mapa obtenido se procedió a realizar la clasificación del nivel de erosión según el cuadro 1.5 clasificada por la FAO, en la cual se podrá identificar el grado de erosión según los valores obtenidos se reclasificara de acuerdo los valores establecidos. Luego de reclasificar los valores se podrá identificar las zonas que indican erosión baja, erosión moderada, erosión media, erosión alta, erosión muy alta y erosión crítica. Finalmente obteniendo el mapa de erosión hídrica de la cuenca Huatatas.

c. Proponer medidas de protección y/o conservación para las zonas afectadas por la erosión hídrica.

La restauración y mantenimiento de la capacidad productiva del suelo, a través de medidas conservacionistas, es la guía más importante para mejorar el suelo y la producción agrícola. Una vez protegido el terreno con obras físicas, se debe iniciar la recuperación de la capacidad productiva por medio de la aplicación de medidas o prácticas agronómicas y mecánicas.

En base a la información anterior se procederá a identificar las zonas con mayor susceptibilidad en la cuenca Huatatas, para proponer prácticas de conservación en zonas donde existen mayor riesgo de erosión. En la siguiente figura se ilustra la forma de planificar técnicas de recuperación de suelos en la que se utiliza las prácticas agronómicas y mecánicas.

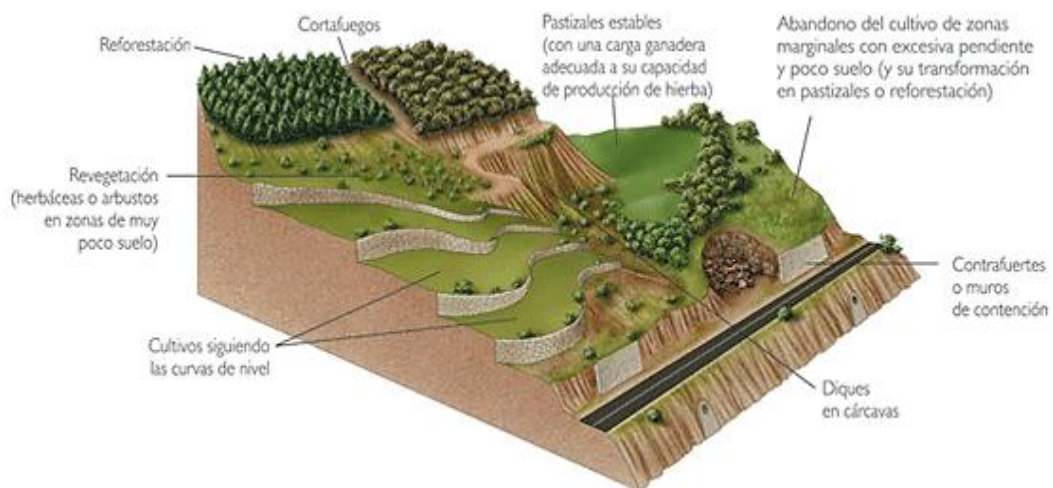


Figura 2.3: Formas de recuperación, prevención y conservación de suelos degradados

Mediante la revisión de literatura se pudo determinar prácticas mecánicas y agronómicas:

Zanjas: Son canales angostos, trazados transversalmente a la pendiente a un intervalo predeterminado. Se construyen con el propósito de interceptar las aguas de la escorrentía para luego almacenarlas o evacuarlas en una forma controlada.

Se tiene las Zanjas de absorción, zanjas filtrantes y zanjas de trinchera

- Reduce el largo de la pendiente

- Disminuyendo el riesgo de erosión.
- Favorece a la infiltración y la retención de humedad

Terrazas de Absorción: Las terrazas consisten en un canal y un bordo que tienen como finalidad disminuir la longitud de la pendiente

Barreras Vivas: Las barreras vegetativas son hileras de plantas al contorno, que interceptan y reducen la velocidad de la escorrentía, filtran los sedimentos y controlan la erosión en terrenos inclinados, reduciendo así la cantidad de sedimento que llega a los cuerpos de agua, dispersando uniformemente la escorrentía y evitando la erosión.

Reforestación: Previene la erosión y brinda al suelo materia orgánica siguiendo criterios conservacionistas (flora autóctona) y no de producción (eucaliptos y algunos pinos para madera) que no protegen tanto el suelo de la erosión. Si los suelos están tan degradados la mejor opción es introducir algunas especies de pinos de rápido crecimiento y resistentes a suelos relativamente degradados como suelos erosionados

Cultivos en contorno: práctica que consiste en labrar el terreno, hacer surcos y sembrar el cultivo en dirección perpendicular a la pendiente, siguiendo las curvas a nivel. Reduce la velocidad del escurrimiento superficial, aumenta la infiltración, reduce la erosión y evitando así la formación de surcos y cárcavas. Esta práctica se utiliza para terrenos planos. Si la pendiente es mayor, esta práctica debe complementarse con otras, como la construcción de terrazas de base ancha.

Cultivo en fajas: Consiste en alternar fajas o franjas de cultivos limpios con otras de cultivos densos, siguiendo un programa de rotación.

Esta práctica es recomendada en terrenos planos a casi planos, protegiéndolos contra la erosión, ya que las fajas donde se desarrollan los cultivos densos disminuyen el impacto de la lluvia, aumentan la infiltración y reducen la escorrentía que afectaría la faja de cultivo limpio ubicado inmediatamente debajo.

Los cultivos en fajas ayudan a controlar la erosión, aumentan la infiltración, disminuyendo la escorrentía.

Cobertura con residuos vegetales: Son las partes de las plantas que sobran después de la cosecha. Este material retiene una parte de los nutrientes extraídos del suelo y absorbidos por la planta durante su desarrollo. Generalmente, los residuos tienen una mayor cantidad de materia fibrosa y una menor cantidad de materia verde, lo que resulta más carbono y menos nitrógeno, factor que inhibe la rápida descomposición del material.

Rotación de cultivos: Logra la ocupación máxima del suelo en espacio y tiempo, manteniendo una cobertura permanente y así disminuyendo riesgos de erosión.

Abonos Orgánicos: la incorporación de materiales de origen orgánico favorece numerosas propiedades físicas y químicas del suelo. La materia orgánica es una enmienda relativamente completa, es decir, contiene cantidades de casi todos los elementos importantes para la planta.

CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 FACTORES DE LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELOS EN EL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

3.1.1 Información básica de la cuenca Huatatas

i. Delimitación de la cuenca

La cuenca Huatatas ubicada en la región de Ayacucho, tiene un perímetro de 79,274Km y cuenta con una área total de 229,370km² (22937Ha), abarca alrededor de 6 distritos (Andrés Avelino Cáceres, Carmen Alto, Chiara, San Juan Bautista, Socos, Tambillo) y cuenta con aproximadamente 69 centros poblados.

La cuenca Huatatas se encuentra entre los 2530m.sn.m. y los 4300m.s.n.m, con topografía variable y fuertemente accidentada, con importantes áreas a lo largo de su recorrido. Presenta una altura media simple de 3415m.s.n.m.

Según Agustín Cahuana y Weimar Yugar existen tres tipos de cuencas las cuencas exorreicas, endorreicas y arreicas de las cuales nuestra cuenca de estudio pertenece a la región Hidrográfica de Amazonas que desemboca en el atlántico clasificándose como una cuenca exorreica.

En la figura 3.1.se puede observar la forma de la Cuenca Huatatas por medio de la delimitación realizada en el Arcgis 10.2 el cual indica los ríos, curvas de nivel, los distritos y centros poblados que abarca.

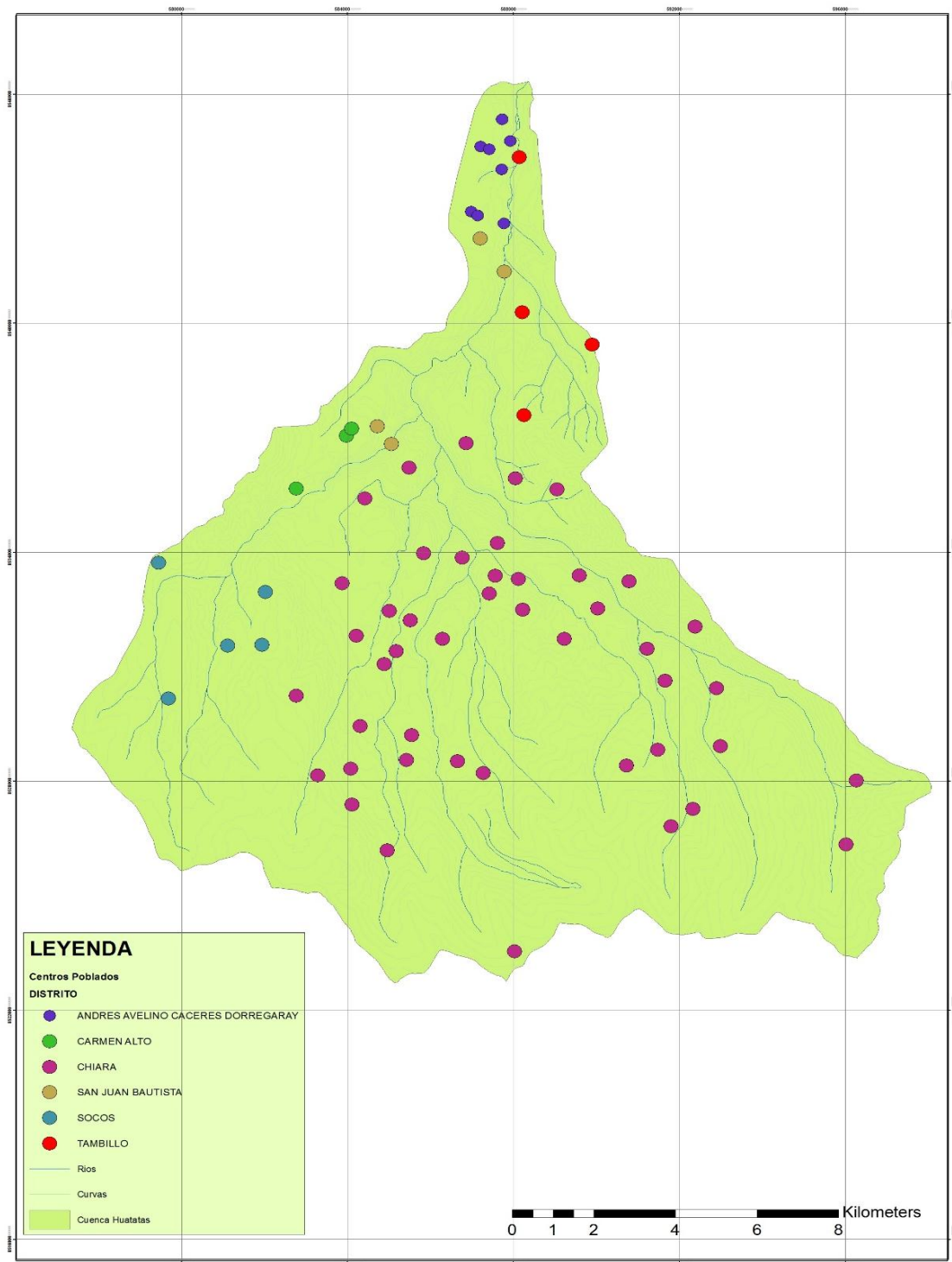


Figura 3.1: Mapa de delimitación de la cuenca Huatatas

ii. Mapa de pendientes

Se generó el mapa de Pendiente según la metodología anteriormente mencionada clasificándolo en 6 rangos según el *Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor (2009)*, obteniéndose las áreas y valores porcentuales. Ver tabla 3.1

Tabla 3.1: Resultados de los valores del mapa de pendientes

N°	Rango de Pendiente	Área(Ha)	Área(%)
1	0 - 4 %	18,871.54	8.23
2	4 - 8 %	15,484.98	6.75
3	8 - 15 %	45,751.37	19.95
4	15 - 25 %	71,801.26	31.30
5	25 - 50 %	64,053.11	27.93
6	50 - 75 %	11,307.15	4.93
7	> 75 %	2,100.21	0.92
	TOTAL	229,369.6	100.00

Después de otorgarle la calificación correspondiente a cada rango se obtuvo el mapa de la variable de pendientes. Se tiene que un 8.23% del territorio (1887 ha) presenta una pendiente entre 0 y 4% siendo terreno plano, un 6.75 % del territorio (1548 ha) una pendiente entre 4 y 8% a lo cual podríamos denominarlas como ligeramente empinadas, mientras que un 19.95 % del territorio (4575 ha) una pendiente entre 8 y 15%, un 31.30% (7180 ha) presentan una pendiente entre 15 y 25%, y un 27.93% (6405 ha) una pendiente entre 25 y 50%, a lo cual podríamos denominarlo como moderadamente empinadas, y se tiene un 4.93% (1131 ha) del territorio con una pendiente entre 50 a más de 75% a la cual la podríamos denominar como fuertemente empinadas.

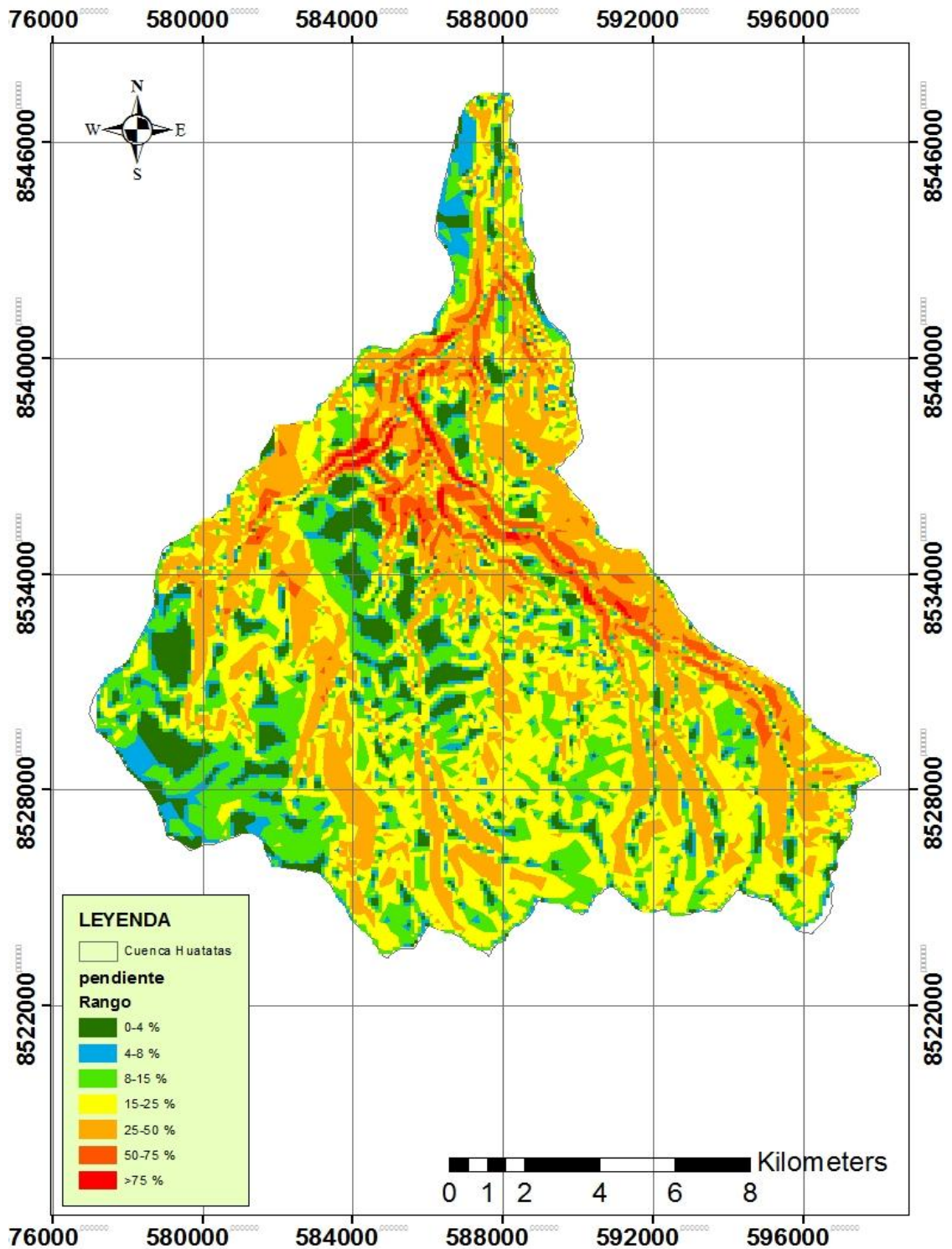


Figura 3.2: Mapa de pendientes de la cuenca Huatatas

iii. Mapa de Isoyetas de la cuenca Huatatas

Se determinó el mapa de precipitaciones, clasificándolo en 8 rangos según la precipitación máxima por año. Se observa que las precipitaciones varían de 675 mm a una precipitación máxima de 850 mm.

Tabla 3.2: Localización de estaciones

Estación	Periodo	Coordenadas Geográficas	
		Latitud	Longitud
Huanta	1992 - 2016	12°56'51.00"S	74°14'0.00"O
Quinoa	1992 - 2016	13° 3'6.00"S	74° 8'32.00"O
Pacaycasa	1992 - 2016	13° 4'36.00"S	74°13'1.00"O
Tambillo	1992 - 2016	13° 3'53.98"S	74° 0'5.25"O
Pampa Cangallo	1992 - 2016	13°33'19.00"S	74°11'4.00"O

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3.3: Valores de precipitación media anual

N	PRECIPITACIÓN (mm/año)	AREA (Ha)	PORCENTAJE (%)
1	681 - 704	2150.85	9.4%
2	705 - 726	3140.84	13.7%
3	727 - 745	3887.12	16.9%
4	746 - 764	4848.90	21.1%
5	765 - 781	5265.23	23.0%
6	782 - 810	3644.06	15.9%
TOTAL		22937.00	100%

En la tabla 3.3 se muestra los resultados de precipitación por área y porcentaje según la zona resultando con una precipitación máxima media anual de 782 a 810mm que abarca un área de 15.9% siendo estas zonas de mayor altitud, una precipitación media de 764 mm y una precipitación mínima media anual de 681 mm con un área mínima de 9.4% en donde la altitud es menor, mostrando que en las zonas de mayor altitud las precipitaciones son mayores, como se ilustra en la figura 3.3.

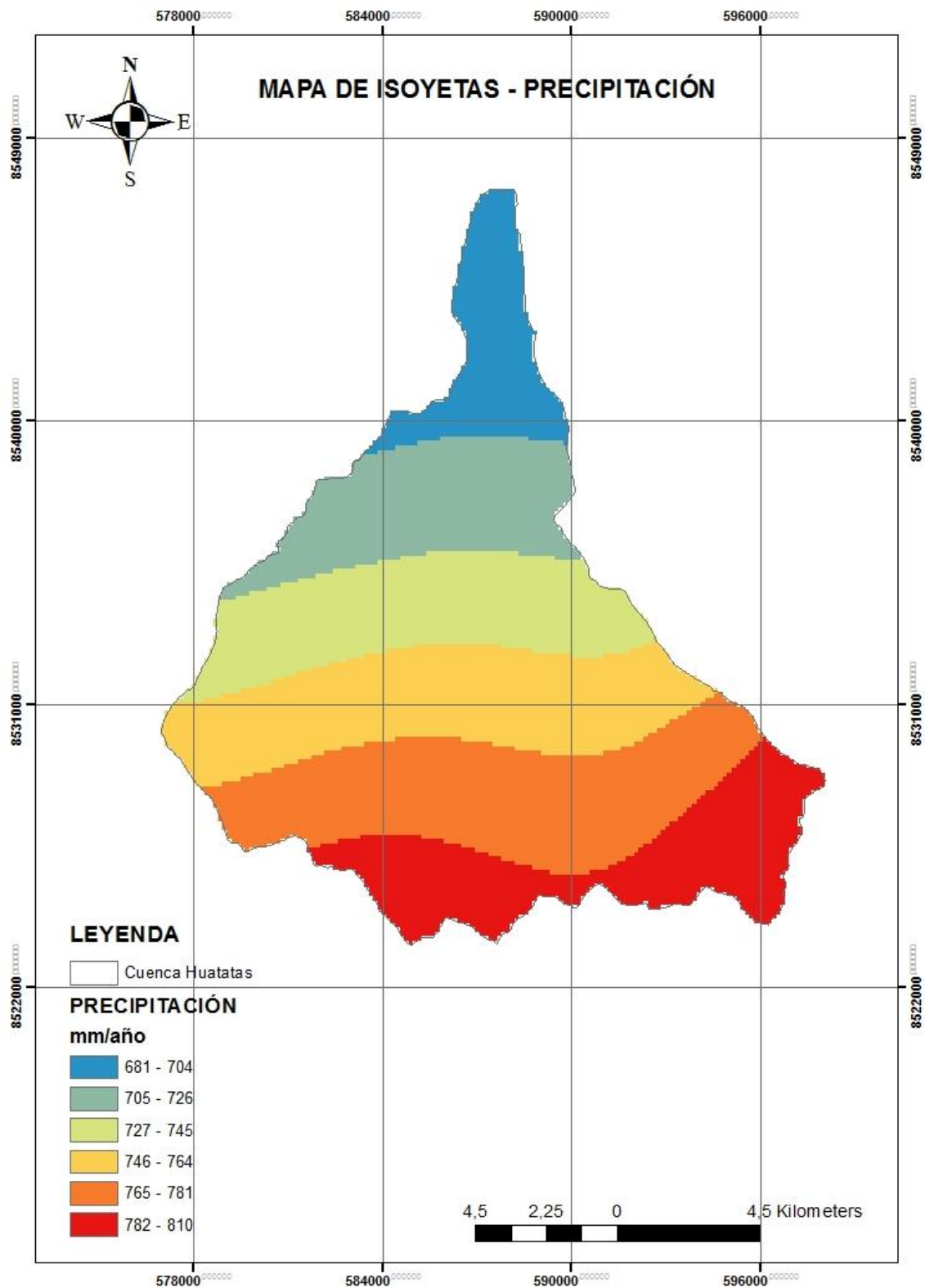


Figura 3.3: Mapa de Isoyetas - precipitación

iv. Mapa de cobertura vegetal

El mapa de cobertura vegetal se descargó de la página GEO GPS PERU, como vemos a continuación.

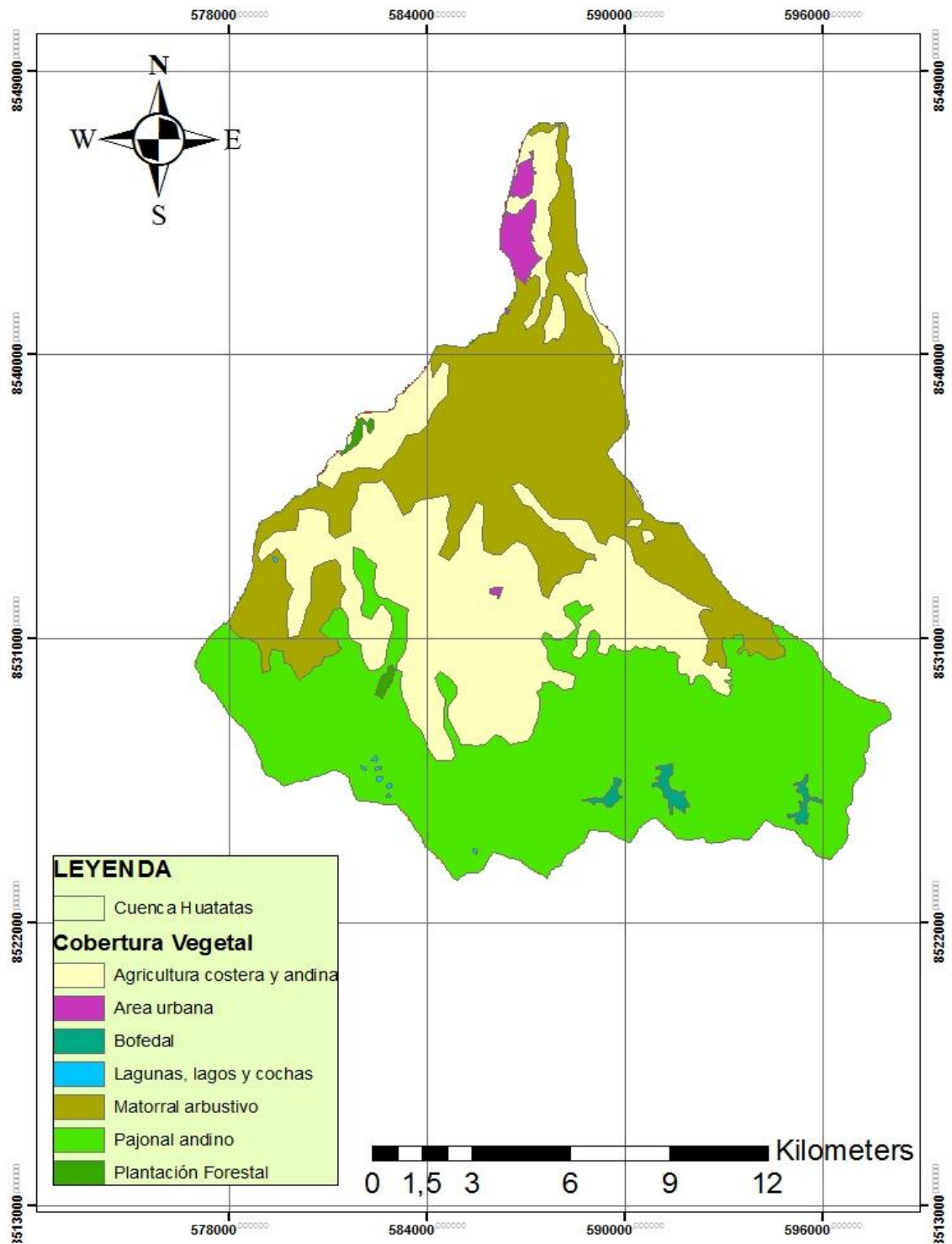


Figura 3.4: Mapa de vegetación

3.1.2 Cálculo de los factores en el SIG

a. Factor R

Después de procesar la información de precipitación de 5 estaciones meteorológicas, se procedió a determinar los valores del Factor R (erosividad) mediante la ecuación mencionada anteriormente, para luego convertir a un Raster mediante el Arcgis.

Para el proceso de cuantificación del factor R por zonas se obtuvo la siguiente tabla 3.4 clasificando el factor R en cinco rangos.

Tabla 3.4: Resultados del factor R

N	FACTOR R Mj*mm/ha*h*año	ÁREA (Ha)	ÁREA (%)
1	473 - 494	3,118.86	13.60
2	495 - 511	3,862.88	16.84
3	512 - 526	4,987.57	21.74
4	527 - 540	5,985.13	26.09
5	541 - 563	4,982.56	21.72
	TOTAL	22,937.00	

Los colores rojos a naranja indican una alta agresividad de la lluvia teniendo como factor erosivo alto, en un rango de 527-563 Mj*mm/ha*h*año que representan un área de 47.81% (10,967.69 Ha) en la zona y las coloraciones celestes que representan baja agresividad de la lluvia con valores moderados de 473-511 Mj*mm/ha*h*año, siendo un área de 30.44% (6,981.74 Ha).

Esto nos indica que las partes donde existen precipitaciones más altas e intensidades más altas, tienen un riesgo más alto a sufrir erosión.

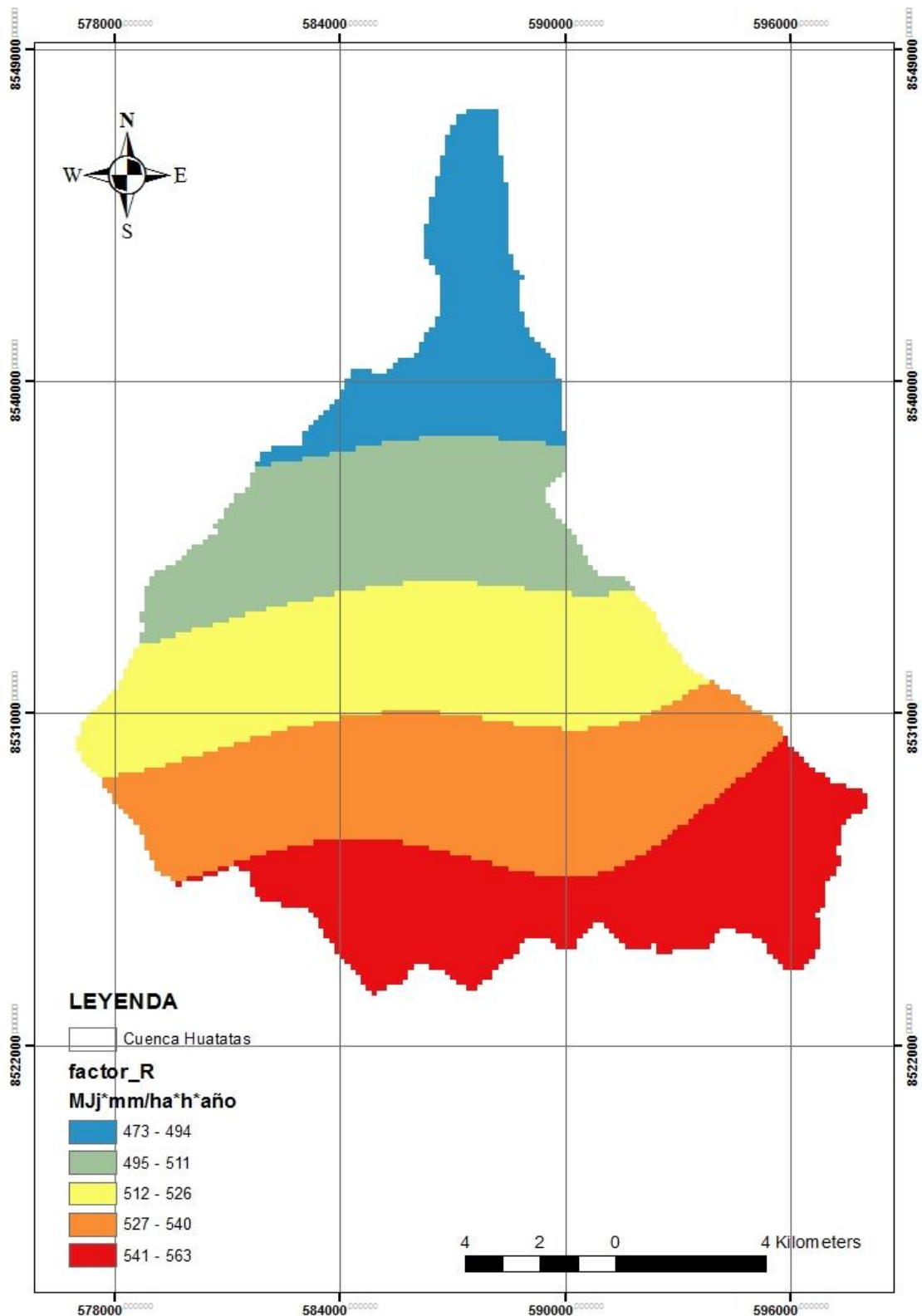


Figura 3.5: Mapa del factor R

Flores (2012), realizo una investigación en la cuenca del Shambillo ubicado en el departamento de Ucayali, obtuvo valores de para el factor de erosividad de 780.88 a 931.54 Mj^*mm/ha^*h debido a que la zona pertenecía a un área tropical.

En esta investigación el máximo factor de agresividad fue 563 $Mj*mm/ha*h$, perteneciendo a un rango alto por existir precipitaciones altas por ser la sierra

Según RAMÍREZ (2007), existe una relación directa entre la erosividad y la precipitación anual, dada la definición misma de dicho índice, de lo cual podemos observar en la figura siguiente los resultados obtenidos de la cuenca Huatatas en esta investigación

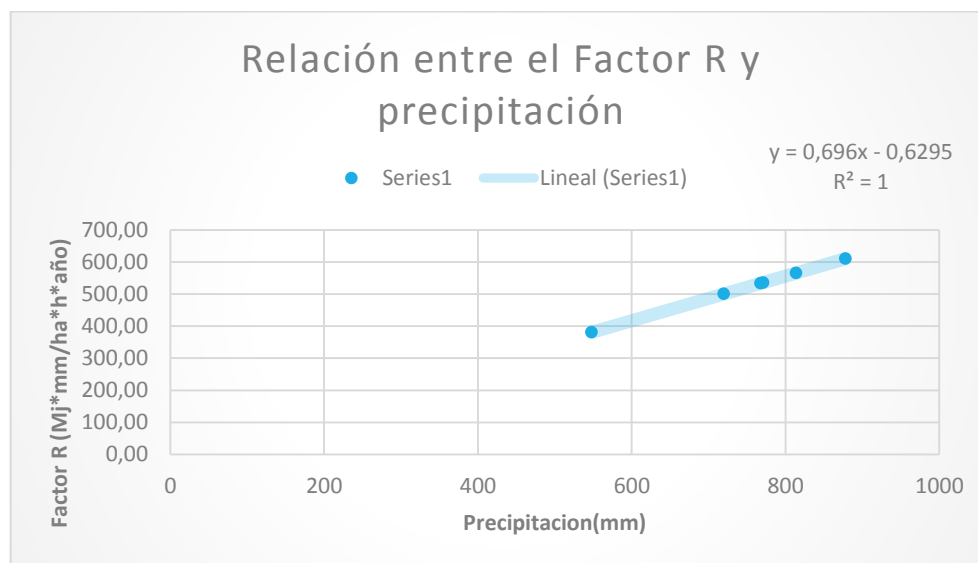


Figura 3.6: Relación entre el factor R y precipitación

Según muestra la figura se obtiene como coeficiente de correlación de 1 el cual indica que existe una correlación positiva perfecta afirmando lo dicho por tal autor.

b. Factor K

Luego de procesar la información recopilada en campo, se determinó los valores del factor K según las ecuaciones mencionadas ver tabla 3.5 siguiente:

Tabla 3.5: Valores de erodabilidad - factor K

Nº Campo	Coordenadas			Fracciones(%)			M.O. (%)	Clase Textural	Factor K
	x	y	z	Arena	Limo	Arcilla			
M-1	583107	8535026	3405	63	14	23	4.62	Fr.Ar,A.	0.0146
M-2	586160	8531835	3520	39	26	35	7.51	Fr.Ar.	0.0153
M-3	586233	8527776	3772	45	26	29	9.99	Fr.Ar,A.	0.0158
M-3.1	586295	8527724	3786	63	20	17	0.62	Fr.A.	0.0212
M-4	590433	8532174	3640	51	16	33	4.62	Fr.Ar,A.	0.0141
M-5	587721	8534708	3381	40	29	31	7.56	Fr.Ar,A.	0.0159
M-6	587554	8547731	2579	75	12	13	0.51	Fr.A.	0.0184
M-7	600915	8528637	4156	56	21	23	6.9	Fr.A,A.	0.0158
M-8	586522	8520382	3848	63	21	16	1.72	Fr.A	0.0172
M-9	576150	8529642	3931	48	17	35	5.43	Fr.A,A.	0.0141

Fuente: Elaboración propia

Esta tabla nos muestra la cantidad de porcentaje de Arena, Limo, Arcilla y Materia Orgánica correspondiente por cada zona, generando finalmente el valor del factor K (erodabilidad).

Al igual que todos los factores para determinar la cuantificación, la información obtenida en la tabla 3.5 se procesó en el Arcgis convirtiéndolo a raster para así generar un mapa donde se pueda identificar el grado de erodabilidad por zona en la cuenca Huatatas.

A continuación se presenta al tabla 3.6 lo cual indica los resultados finales del factor K (erodabilidad) que se clasificó según **USDA (1962)**.

Tabla 3.6: Resultados del factor K según clasificación de USDA

FACTOR K	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE (%)
0,014	4128.831	18.001
0.015	5614.948	24.480
0.016	8964.600	39.084
0.017 - 0.018	1211.391	5.281
0.019 - 0.021	3017.230	13.154
TOTAL	22937.000	

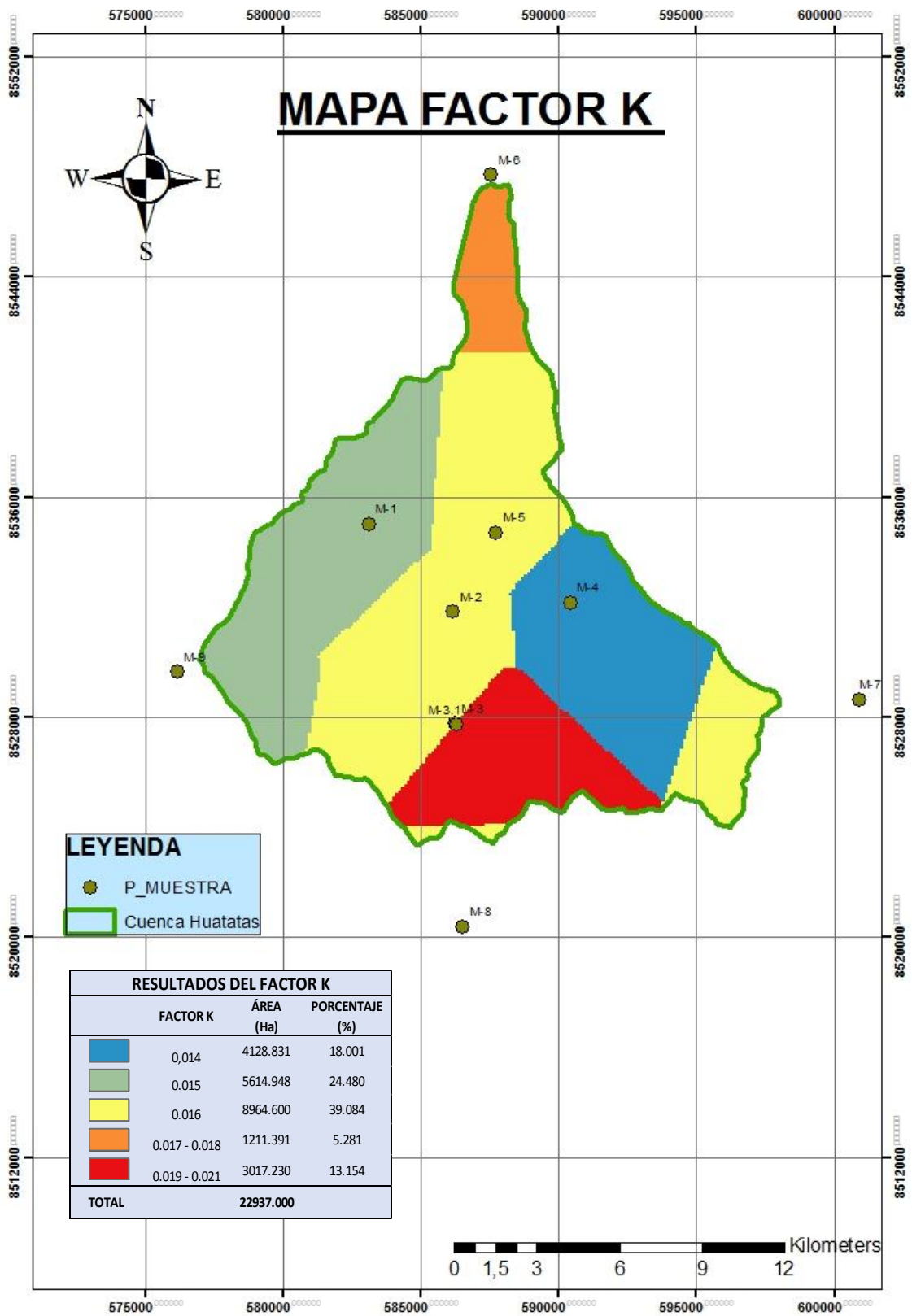


Figura 3.7: Mapa del factor K

El mapa muestra la distribución de la erodabilidad del suelo en la Cuenca Huatatas, este factor muestra lo susceptible que es el suelo a sufrir procesos erosivos. Este factor se basa principalmente en la textura del suelo y el contenido de materia orgánica. Como se muestra en el mapa, el color rojo indica una alta susceptibilidad de los suelos a sufrir erosión hídrica, mientras que los colores verdes a azul indican una baja susceptibilidad a este proceso.

En estudios realizados por INETER (2005) se menciona que, los suelos altos en limo o arena muy fina erosionan más rápidamente. La erodabilidad disminuye a medida que el contenido de partículas de arcilla y arena (excluyendo arena muy fina) incrementa, también lo expuesto por VELÁSQUEZ (2008) y RAMÍREZ (2010) nos dicen que, los suelos con alto contenido de arcilla tienen bajos valores de K, por su resistencia al desprendimiento de las partículas de suelo. En la investigación realizada se observa la muestra 2 y 4 con altos contenidos de arcilla en el suelo es de 35% a 37% lo cual nos da un K de 0.015309 a diferencia de la muestra 3.1 que el contenido de arcilla es 17% y el valor de K es 0.021151 mayor a la muestra 2 confirmando lo expuesto por los autores.

Según la clasificación de USDA en nuestra Cuenca tenemos un área de 81.564% se encuentra en el rango débilmente erodable y un porcentaje de área de 18.436% Medianamente erodable.

c. Factor LS

El factor LS es el producto del factor L y el Factor S, refiriéndose el primero a la longitud de la pendiente y el segundo a su inclinación; fue clasificado en cinco rangos que van en ascenso, como se observa en la tabla 3.7.

Tabla 3.7: Resultados del factor LS

FACTOR LS	AREA(Ha)	AREA (%)
0.03 - 3.7	8728	38.052
3.8 - 8.7	9203	40.122
8.8 - 14	3692	16.096
15 - 21	1276	5.563
22 - 85	38	0.165
TOTAL	22937.000	100

La tabla muestra los valores del factor LS, donde un 21.82% (5,006 ha), presentan valores elevados de este factor, esto debido a que las zonas son empinadas mientras que un 78.17% (17,931ha) del territorio presenta bajos valores del factor LS.

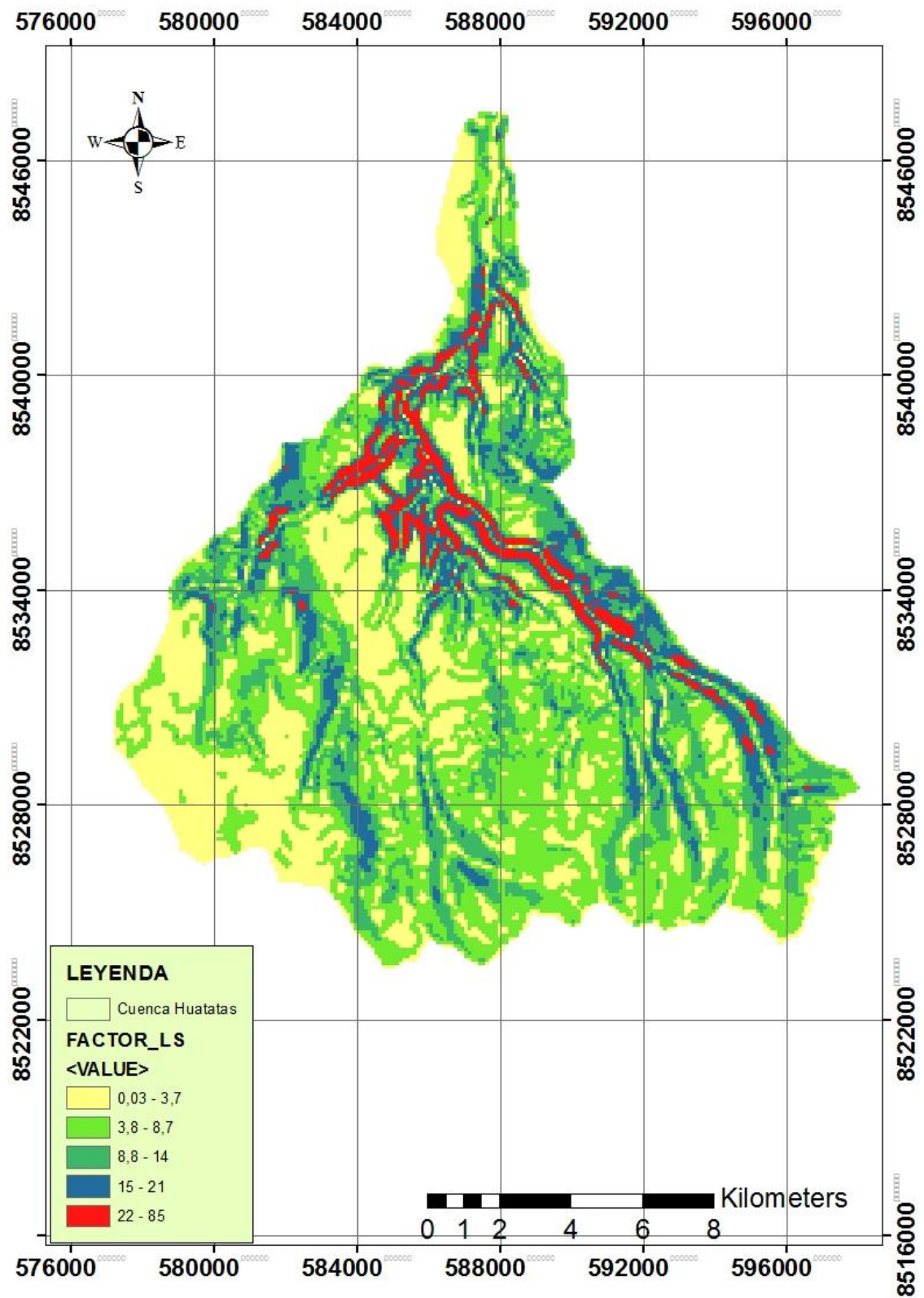


Figura 3.8: Mapa del factor LS

La coloración roja en el mapa indica mayor susceptibilidad del área a sufrir erosión hídrica y la coloración amarillenta indica una menor susceptibilidad.

El método de Renard (1997), considera que los valores del factor LS más altos se encuentran en las zonas de mayor longitud y pendiente, ya que mientras mayor sea la longitud, mayor será el recorrido de una gota de lluvia hasta llegar al punto donde se concentra el flujo junto al suelo desprendido; lo mismo sucede con la pendiente ya que, la pérdida de suelo se incrementa más rápidamente con pendientes muy escarpadas en comparación con el incremento en longitud de la pendiente.

A nivel de nuestra cuenca en estudio los valores más bajos de LS se encuentran en zonas menores al 15%.

Según Mancilla (2008), existe una relación directa entre el factor LS y la pendiente, lo cual se procedió a realizar un gráfico que se muestra en la figura 3.9 a continuación:

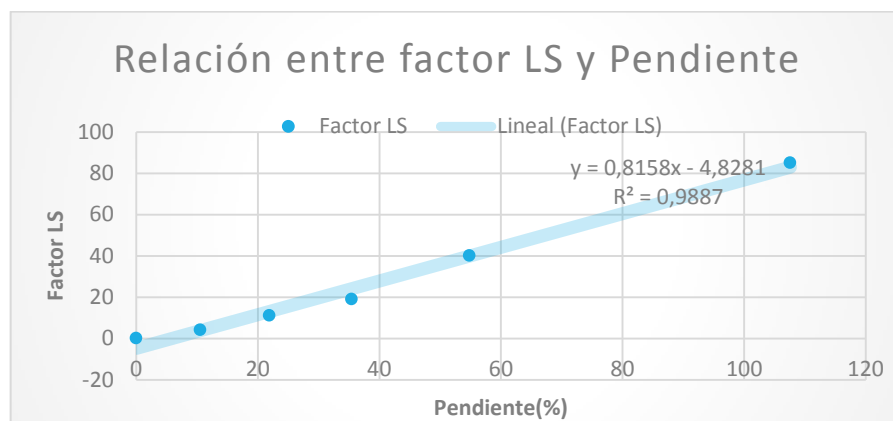


Figura 3.9: Relación entre el factor LS y pendiente

Obteniendo como coeficiente de correlación de 0.9887 el cual se acerca a 1 indicando que existe una correlación positiva perfecta. La erosión de suelos depende mucho de la pendiente de la zona siempre y cuando este descubierta o no.

d. Factor C

Para la determinación del Factor C, se le otorgo los valores teniendo en cuenta el tipo de cobertura que presento cada unidad de la variable; similar a los anteriores factores se convirtió a raster y se clasifico en cinco rangos.

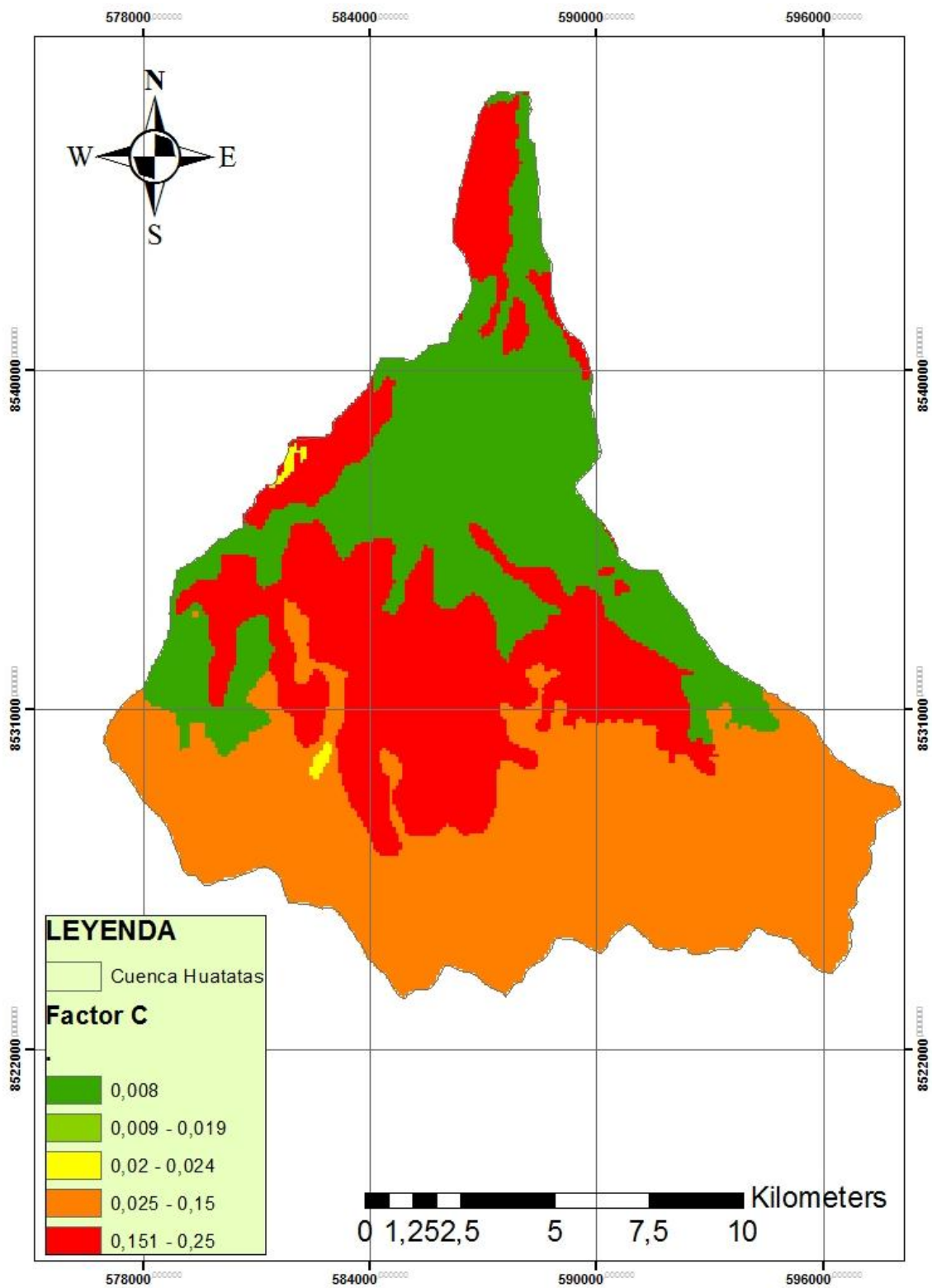


Figura 3.10: Mapa del factor C

Tabla 3.8: Resultados del factor C

Factor C	Área(ha)	Área(%)
0.008		
0.009 - 0.19	6542.9	28.53
0.02 - 0.024	64.91	0.28
0.025 -0.15	9649.21	42.07
0.151 - 0.25	6679.98	29.12
TOTAL	22937.00	100.00

Es el factor de protección (C), según Wischmeier, (1978) los valores de C son menores que la unidad y en promedio indican que a medida que aumenta la cobertura del suelo el valor de C se reduce y puede alcanzar valores similares a 0.

La cuenca Huatatas tiene 7 tipos de cobertura vegetal en las cuales se asignaron los valores de C según el tipo de cobertura, por ejemplo se tiene una área de 9579,209 Ha de pajonal andino con un factor C de 0.15 ,una área de 6458,318Ha de matorral arbustivo con un factor C de 0.008 la diferencia entre estas dos zonas es que en la última existe mayor cantidad de cobertura vegetal tal como resulta en los mapa confirmando lo expuesto por Ineter (2005) quien dice que, la cobertura de suelo es la más grande defensa contra la erosión de suelo

e. Factor P

En la cuenca Huatatas las prácticas que los pobladores realizan son mínimas por lo cual se consideró la unidad. Según INETER (2005) Para el factor P se utiliza la unidad porque no existen prácticas de conservación o son mínimas.

3.2 CUANTIFICACIÓN DE LA PÉRDIDA DEL SUELO Y CLASIFICACIÓN SEGÚN EL GRADO DE EROSIÓN

Se realizó el proceso de cuantificación de la erosión basándose en la Ecuación Universal de Perdía de Suelos (USLE), la cual nos da una estimación del valor numérico de la pérdida de suelo que ocurre dentro de la cuenca Huatatas. Para lo cual se establecieron factores influyentes; dicha información fue procesada, obteniéndose así como resultado valores en unidades de toneladas por hectárea al año de pérdida de suelo, se clasifico en cinco rangos según la FAO. Ver tabla 3.9.

Tabla 3.9: Cuantificación y clasificación de la erosión Hídrica

Erosión (Tn/ha/año)	Área (ha)	Área (%)	Tipo de erosión
0 - 1	8595.00	37.47	Normal
1 - 5	3443.00	15.01	Ligera
5 - 15	7303.00	31.84	Moderada
15 - 50	3523.00	15.36	Severa
50 - 125	73.00	0.32	Muy severa
TOTAL	22937.00		

Fuente: FAO 1980

Para la cuantificación de la erosión hídrica del suelo en la cuenca Huatatas se consideró los 5 factores que involucran al estudio en la Ecuación universal de pérdida de suelo estos resultados se clasificaron según la FAO 1980 (tabla 3.9), obteniendo zonas en la cual existe una área de 11903.5Ha obteniendo un 51.896% del área total con erosión baja, una área de 9984.8Ha obteniendo 43.53% con erosión moderada, una área de 1001.6Ha obteniendo un 4.367% con erosión media, 46Ha obteniendo 0.201% con erosión alta y una área mínima de 1.1Ha obteniendo un 0.005% de erosión muy alta concluyendo así que en la cuenca huatatas no existe riesgos de erosión hídrica.

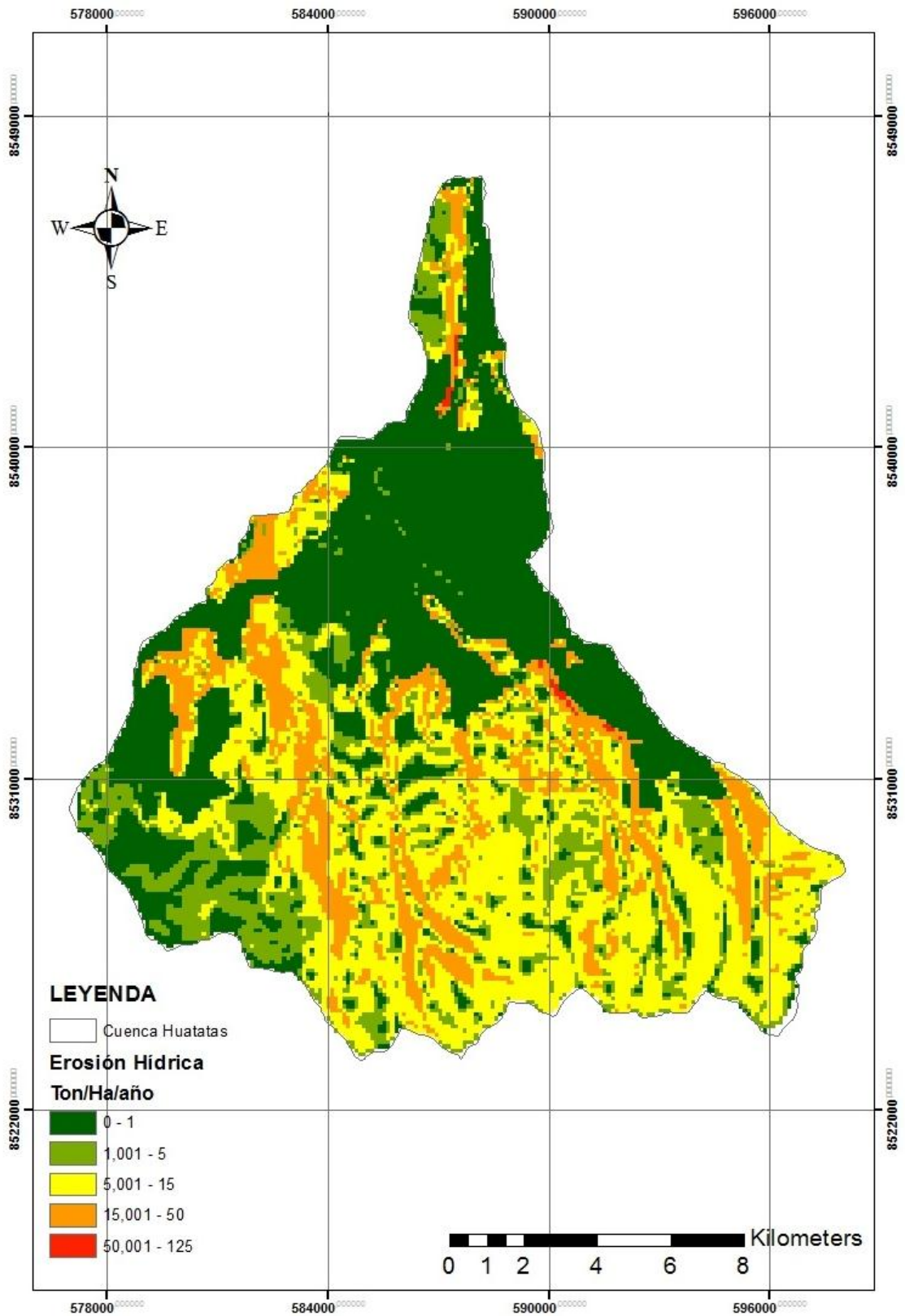


Figura 3.11: Cuantificación de la erosión hídrica

3.3 ALTERNATIVAS DE PROTECCIÓN Y/O CONSERVACIÓN PARA LAS ZONAS AFECTADAS POR LA EROSIÓN HÍDRICA

En la figura 3.11 se observa las zonas según su clasificación desde normal hasta muy severa, la cual identificaremos a continuación.

3.3.1. Zona muy severa

San Martín de Pucará

Se encuentra dos zonas con grado de erosión muy severa la cual abarca un área de 73ha que corresponde el 0.32% del área total de la cuenca, considerando un área muy mínima en toda la cuenca Huatatas.

Se pudo observar que las dos áreas identificadas se encuentran en zonas de alta pendiente ubicadas en San Martín de Pucará y Motoy, como se observa en la figura 3.12.



Figura 3.12: Fotografía San Martín de Pucará, zona erosionada y de alta pendiente I



Figura 3.13: Fotografía San Martín de Pucara, zona erosionada y de alta pendiente II



Figura 3.14: Fotografía San Martín de Pucara, zona erosionada y de alta pendiente III

Medida de conservación para la zona afectada

Para la zona de San Martín de Pucara se plantea construir las zanjas de infiltración favoreciendo de ese modo a la reducción de la pendiente y recuperación de suelos.

a. Zanjas de infiltración:

a.1 Condiciones de suelo

Las zanjas de infiltración se pueden usar en:

- Laderas con profundidad de suelo mayor de 30cm y subsuelo permeable.
- Zonas con plantaciones forestales, con pasturas y algunos casos en zonas agrícolas.

a.2 Diseño

Para el caso de laderas en la sierra un ancho de borde superior de 40cm-50cm. El ancho de la base es de aproximadamente 20cm-30cm y la profundidad varía entre 20cm-50cm. Para la zona la inclinación recomendada sería de 2:1 (horizontal: vertical).

En cuanto a la gradiente longitudinal de la zanja, normalmente debe ser cero.

a.3 Trazo y construcción

- El trazo de las zanjas de infiltración se hace con el nivel en “A”, en forma transversal a la máxima pendiente de la ladera.

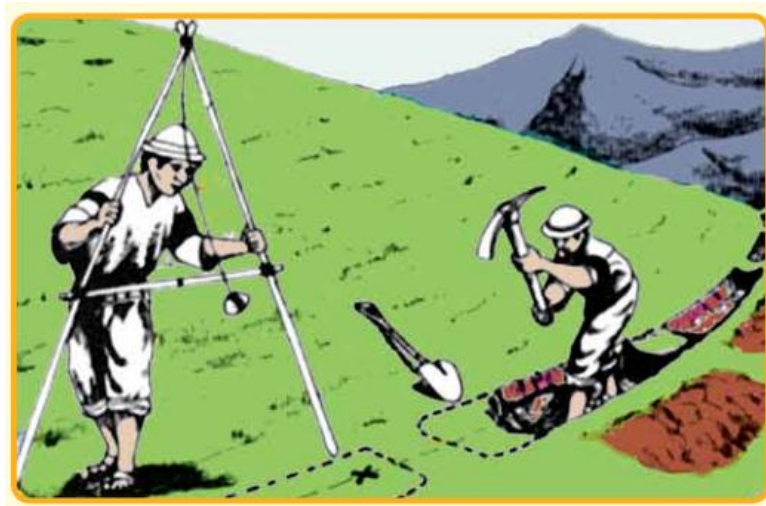


Figura 3.15: Instalación con el nivel A

- Se demarcan las líneas con ayuda de estacas o el pico, cavando un surco superficial que marque bien cada curva.
- Se excava la zanja propiamente dicha, teniendo en cuenta las dimensiones indicadas (ancho de la base: 40 cm, altura o profundidad: 40 cm).
- Una vez excavada la zanja con las medidas ya indicadas se procede a nivelación cuidadosa de la base o fondo de la zanja con ayuda del nivel en “A” o de caballete.
- Todo el material extraído de la excavación de la zanja se coloca en su borde inferior, apisonando capa por capa, formando un bordo o camellón.

- Para minimizar los riesgos de desborde de las zanjas, cuando éstas son muy largas, se dejan tabiques a lo largo de la zanja. Así la zanja queda dividida en numerosas secciones que almacenan el agua de escorrentía y de lluvia, facilitando al máximo la infiltración del agua.

Cultivos: Se pondrán plantaciones de especies nativas con el fin de recuperar los suelos perdidos como: Ichu,

Motoy Alto

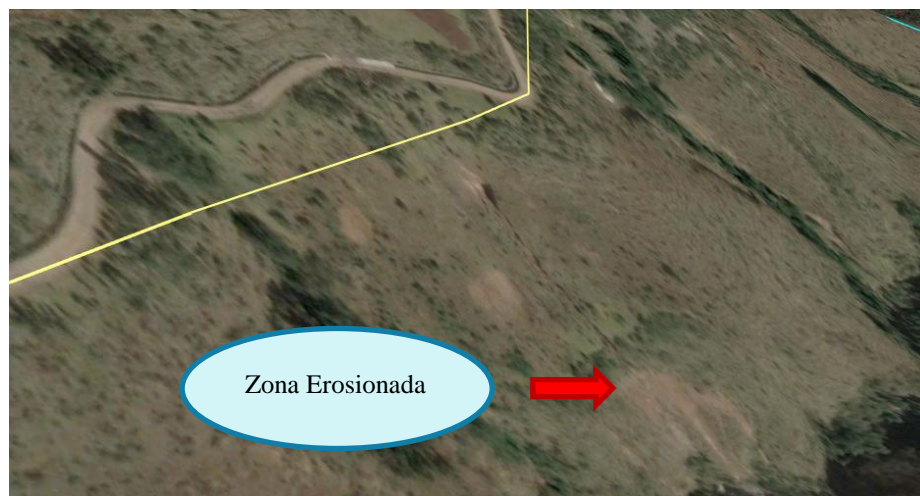


Figura 3.16: Imagen de las áreas erosionadas en Motoy Alto

Medida de conservación para la zona afectada

Para la zona de Motoy Alto se plantea construir las terrazas de absorción debido a que favoreciendo de ese modo a la reducción de la pendiente y recuperación de suelos.

b. Terrazas de absorción:

b.1 Condiciones de suelo

Las terrazas de absorción son recomendables principalmente para terrenos dedicados al cultivo. No es recomendable construir las terrazas de absorción en terrenos muy degradados o superficiales, en laderas muy empinadas y en suelos demasiados sueltos o arenosos.

b.2 Diseño de las terrazas

El diseño de las terrazas consiste en determinar el tamaño o magnitud de los principales elementos de las terrazas de absorción como son: altura del talud, pendiente del talud,

ancho del terraplén, gradiente longitudinal de las terrazas, sistema de acceso y sistema de drenaje si el caso lo requiere.

b.3 Altura del talud

La altura del talud no debe ser mayor 1.5m. Alturas superiores a esta pueden poner en riesgo la estabilidad de las terrazas.

b.4 Gradiente del talud

El talud debe ser lo menos inclinado posible, pero no vertical.

b.5 Ancho del talud

Debido a ser una zona de pendiente se recomienda bancos angostos con un mínimo de 1.50m de ancho.

b.6 Longitud del terraplén

Los terraplenes no deben sobrepasar los 50m medidas superiores pueden dificultar la construcción y el manejo posterior del suelo en las terrazas.

b.7 Gradiente longitudinal

Las terrazas deben ser construidas sin contrapendiente y con una gradiente lateral de 1 a 3 por mil para facilitar las labores de riego

b.8 Sistema de acceso

Cuando se va a terracear superficies de terrenos considerables, es necesario diseñar previamente los caminos, esto evitará daños o deterioros de las terrazas por falta de las estructuras.

b.9 Construcción de las terrazas

El trazo de las zanjas de infiltración se hace con el nivel en “A”, en forma transversal a la máxima pendiente de la ladera

Equipo mínimo necesario

- Nivel en A
- Herramientas (picos, palas, chaquitacllas, azadones, rastrillo, etc)

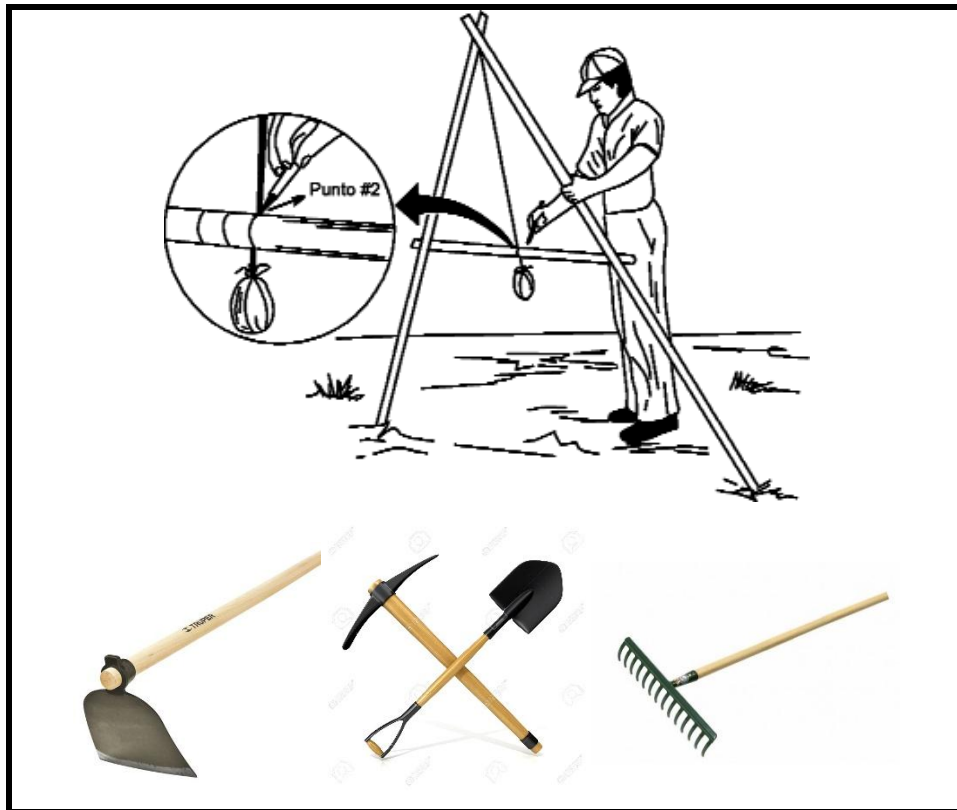


Figura 3.17: Herramientas utilizadas para la construcción de terrazas

Reconocimiento del terreno

- Verificar si las condiciones del suelo son aparentes para construir terrazas
- Determinar la altura de los taludes, el ancho de los terraplenes, la profundidad del borde interno del terraplén.
- Determinar la línea de máxima pendiente del terreno a partir de la cual debe iniciarse el trazo de las terrazas.
- Determinar la conveniencia de la construcción de una zanja de infiltración en la parte más alta del campo.

Proceso constructivo de las terrazas

Se debe tener en cuenta los siguientes requisitos durante el proceso constructivo:

- Todo el largo del borde interno del terraplén debe estar a nivel (Verificar con el nivel de A)
- Todo el largo del borde externo del terraplén debe estar a nivel (Verificar con el nivel de A)
- La capa superficial del suelo debe mantenerse en su posición original y en la superficie del banco.

- La superficie del terraplén debe estar removida y no debe presentar ondulaciones.
- El borde interno debe tener la profundidad fijada.

Procedimiento

- A partir de la primera curva a nivel, se mide hacia arriba una distancia igual al ancho del talud. Esta línea se marca con pico o ceniza y constituye la línea 3.

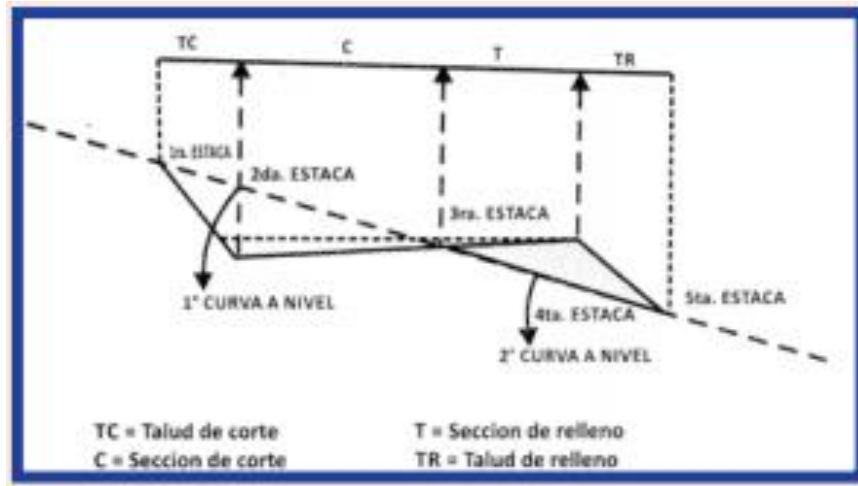


Figura 3.18: Forma de trazos para la construcción de una terraza

- A partir de la línea 3, se mide hacia abajo una distancia igual al ancho del talud de relleno. Se marca con pico o cal y viene a ser la línea 4.
- Se procede a demarcar franjas cada 2 m, teniendo como guía las estacas y colocando a 5 personas por cada franja (2 con picos y 2 con lampas y un ayudante) ubicándolos en franjas impares o pares.

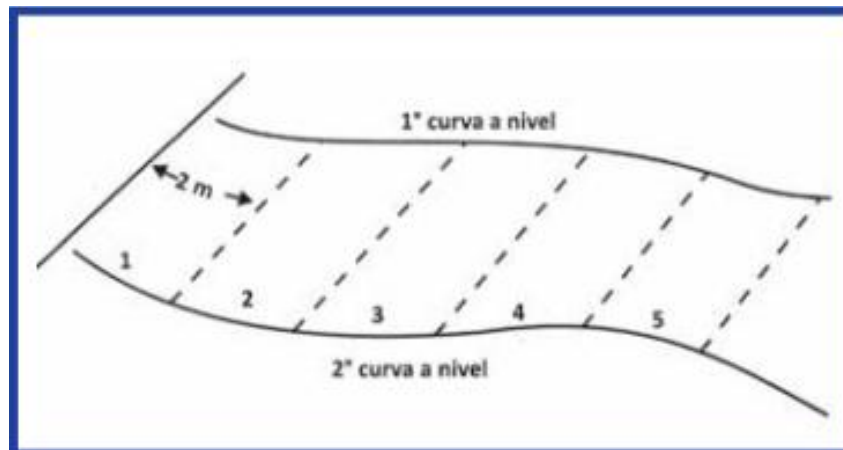


Figura 3.19: Demarcación de una banda de terreno a terrazar

- Retiro de la capa arable: Se remueve y se coloca en la franja contigua toda la capa arable del suelo, que generalmente tiene una profundidad de 20 cm.

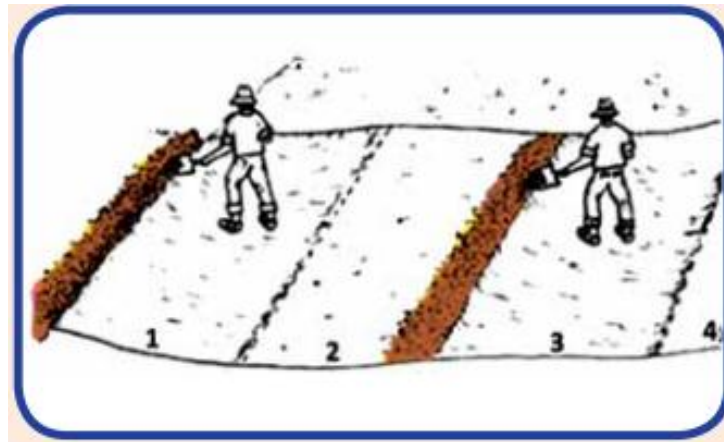


Figura 3.20: Retiro de la capa superior del suelo a un costado de la banda a terracear

- Formación de la plataforma: A partir de la parte media entre las líneas 1 y 2, se hace el corte del terreno hacia la línea 1 y la tierra que se extrae se coloca o amontona hacia la línea 2, con lo que se va formando la plataforma.



Figura 3.21: Formación de las plataformas

- A medida que se acumula la tierra, se va compactando el talud de relleno y se va formando el talud de corte. También se debe verificar la contra pendiente.
- Devolver la capa arable a la franja de donde fue retirada, distribuyéndola uniformemente sobre la plataforma.
- Se repite el proceso (puntos f hasta i) con las franjas o tramos que han quedado libres, hasta culminar la terraza.

- Comprobación de la nivelación de la terraza.- Primero se verifica la nivelación de la contrapendiente de la plataforma y después la del borde externo y el pie de talud.
- Se construye la canaleta de infiltración al pie del talud o borde interno de la plataforma.
- Consolidación de la terraza: Por último se instalan los pastos (al voleo o en tresbolillo) en el talud de relleno y en el margen de seguridad o pestaña, se instala el sistema agroforestal más conveniente.

Cultivos: Se recomienda la plantación de tubérculos para el beneficio de los agricultores

3.3.2. Zona severa

Las zonas severas abarcan un área de 3523 ha que corresponde el 15.36% del área total de la cuenca.

Estas zonas se encuentra dispersadas en toda la Cuenca Huatatas en las cuales se muestras en lugares donde existe pendiente, existe presencia de cultivos y en las riberas de los ríos.

3.3.3. Zona moderada

Estas zonas abarcan un área de 7303 ha que corresponde el 31.84% del área total de la cuenca. Estas áreas se encuentran en su mayoría en las partes altas de la Cuenca Huatatas

Luego de identificada las zonas de erosión se plantea alternativas para proteger y conservar las zonas afectadas seguidamente se debe iniciar la recuperación de la capacidad productiva por medio de la aplicación de medidas o prácticas agronómicas y mecánicas.

a. Controlar la escorrentía

Para controlar la escorrentía se plantea hacer:

Zanjas: Son canales angostos, trazados transversalmente a la pendiente a un intervalo predeterminado. Se construyen con el propósito de interceptar las aguas de la escorrentía para luego almacenarlas o evacuarlas en una forma controlada.

- Reduce el largo de la pendiente
- Disminuyendo el riesgo de erosión.
- Favorece a la infiltración y la retención de humedad

Terrazas: consisten en un canal y un bordo que tienen como finalidad disminuir la longitud de la pendiente. Cuando el agua que no puede infiltrar al perfil del suelo comienza a escurrir, adquiere velocidad cada vez mayor a medida que baja por la pendiente. Antes de que el agua alcance velocidad erosiva, se interpone el canal de la terraza que interrumpe su descenso violento. En el siguiente esquema se observa un perfil de una terraza.

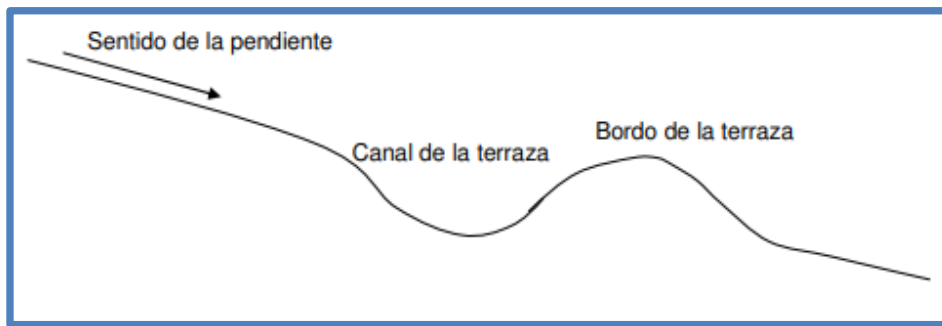


Figura 3.22: Perfil de una terraza

Una vez que el agua llega al canal de la terraza debe ser evacuada del potrero, por eso las terrazas tienen una pendiente interna de alrededor del 0,5 %. Esta pendiente evita que el agua se acumule en el canal y sobrepase el bordo. La pendiente del canal no puede ser mucho mayor al 0,5% para evitar que se produzca erosión en su interior.

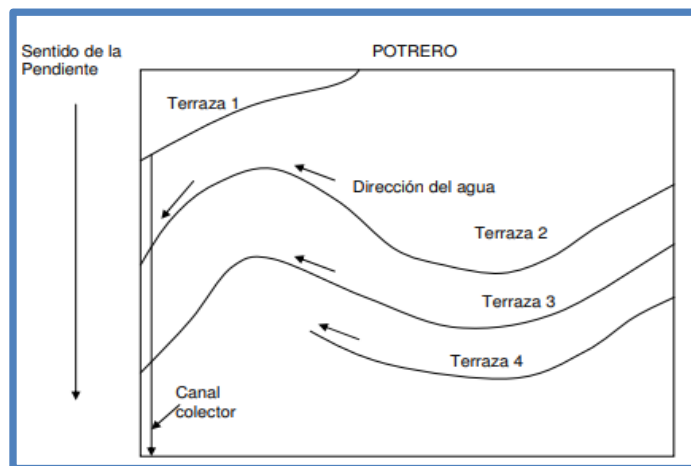


Figura 3.23: Modelo de terrazas

Las terrazas evacúan a un canal colector. El mismo debe estar bien empastado, debido a que recibirá concentrada el agua que no infiltró en el potrero. El canal colector finaliza en algún desagüe natural o arroyo.

Las terrazas son un método eficaz para el control de erosión hídrica. Además, al reducir la velocidad del agua, mejora la infiltración y contribuyen al aumento del agua disponible en el perfil del suelo. Mayor agua disponible repercutirá en beneficios directos sobre los cultivos. Las terrazas son una inversión que mejora sustancialmente el campo. Recomendable para las zonas muy severas.

b. *Plantaciones*

Se plantea sembrar cultivos, plántones de árboles, arbustos y otros tipos de vegetación en las zonas descubiertas. El follaje absorberá el exceso de agua y protegerá la capa superior del suelo contra el impacto de la lluvia, el viento fuerte. Las raíces de las plantas también ayudarán a fijar el suelo una vez que se arraiguen, lo que protegerá de la escorrentía al suelo que está por debajo

- Las raíces de las hierbas y las plantas también sirven para atraer los nutrientes de lo profundo del suelo hacia la superficie, lo cual mejora la salud de la capa superior del suelo.
- Los cultivos como trigo, cebada entre otros constituyen excelentes opciones para cubiertas vegetales básicas, puesto que sus raíces se extienden profundamente y se arraigan rápido.

c. *Abonos orgánicos*

La incorporación de materiales de origen orgánico mejora las propiedades físicas y químicas del suelo. Es recomendable incorporar los residuos de los cultivos que quedan en el campo después de la cosecha. Este material retiene una parte de los nutrientes extraídos del suelo y absorbidos por la planta durante su desarrollo. Generalmente tiene una mayor cantidad de materia fibrosa y una menor cantidad de materia verde, es decir más carbono y menos nitrógeno, lo que inhibe su rápida descomposición.

d. *Rotación de cultivos*

La sucesión de cultivos diferentes en ciclos continuos en una determinada área de terreno, logra una ocupación máxima del suelo en espacio y tiempo, mantiene una

cobertura permanente para disminuir los riesgos de erosión, mejora la fertilidad del suelo y reduce los efectos negativos del clima.

Método

- Hacer siembras precoces (tempranas) y con alta densidad, y realizar una buena fertilización para permitir una cobertura rápida;
- Elegir el cultivo más denso para la época de mayor precipitación;
- Propiciar el crecimiento alternado de cultivos con diferentes profundidades del sistema radicular (por ejemplo, zanahorias, remolachas y rábanos con lechuga, acelga y brócoli; yuca, camote, malanga, papa y oca con melloco, fréjol y haba, etc.);
- Alternar cultivos agotadores del suelo como los cereales (maíz, trigo y cebada) con cultivos que mejoren la fertilidad como las leguminosas (fréjol, haba, lenteja).

CONCLUSIONES

1. La metodología utilizada para la cuenca Huatatas; USLE conjuntamente con el Arcgis permitieron estimar la cantidad de erosión hídrica generada en la cuenca, teniendo en cuenta la clasificación de la FAO se puede concluir que gran parte del territorio se encuentra con un grado de erosión de normal a ligero de 15 a 125 Tn/Ha/año que corresponde un área de 12038 ha del total. Lo cual se concluye que no es una cuenca altamente erosionada.
2. Los factores que involucran a la ecuación universal de pérdida de suelo son el factor R que sus valores van desde 473 a 563 $Mj*mm/ha*h*año$, que indica alta erosividad comparándolo con otras zonas, el factor K que va desde 0.014 a 0.021 siendo de muy poco erodable a medianamente erodable, el factor LS tiene valores que van desde 0.03 a 85, encontrándose un área de 5.73%(1,314Ha) con pendiente altas, el factor C con valores desde 0.008 a 0.25 dependiendo de las zonas y por último el factor P que se consideró como la unidad.
3. La aplicación de la fórmula USLE nos permitió cuantificar la cantidad de pérdida de suelo obteniendo una cantidad máxima de 125Tn/Ha/año a nivel de toda la cuenca así como también clasificándolo como una erosión muy severa que abarca un área mínima de 73ha que corresponde el 0.32% del área total de la Cuenca Huatatas.
4. Las alternativas de prevención, conservación y protección propuestas según las áreas donde se encontró zonas de moderada a muy severa son control de escorrentía, plantaciones, abonos orgánicos y la rotación de cultivos estas principales áreas abarcan una extensión 3596 Ha, estas prácticas permitirán favorecer y mejorar las condiciones de textura, reducir la pendiente, mejorar la capacidad de infiltración y cantidad de materia orgánica que no solo favorece al suelo sino también a mejorar la producción.

RECOMENDACIONES

1. De acuerdo al desarrollo del trabajo se ha visto por conveniente que es de suma importancia contar con información hidrométrica y pluviométrica por lo cual se recomienda implementar las estaciones en la zona y contar con los registros necesarios para el desarrollo de estudios similares.
2. El Sistema de Información Geográfica es una tecnología avanzada que permite no solo aplicar en el cálculo de erosión Hídrica sino también en otras áreas que abarcan el campo de la ingeniería, por lo cual son recomendables utilizarlas sobre todo para la caracterización de las cuencas hidrográficas y la generación y priorización de proyectos, debido a las bondades que presentan dichos sistemas.
3. En las zonas más propensas a ser erosionadas, de acuerdo al estudio realizado, se recomienda aplicar prácticas conservacionistas, como la construcción de andenes para la agricultura en las zonas que presenten pendientes más pronunciadas y reforestación para la zona más alta de la cuenca Huatatas.
4. Se debe realizar estudios similares en otras cuencas, debido a que nos da una percepción más real de la situación en la que se encuentra una zona determinada, ya que cada lugar presenta características diferentes de suelo, cobertura vegetal, precipitaciones; esto con el fin de gestionar y priorizar proyectos de prevención y/o conservación de los suelos para el beneficio de las sociedades.
5. Calcular las pérdidas de suelos por erosión hídrica, generada en diversos usos de suelos y coberturas vegetales mediante parcelas experimentales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agustín Cahuana A y Weimar Yugar. “Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura de hidrología Civ-233” edición 2009; pp14
- Asturias, R. (1986). Determinación del índice de erosividad de las lluvias para las estaciones pluviográficas de la zona noroccidental de Guatemala. Tesis Ing. Ag. Guatemala. Universidad de San Carlos. Facultad de Agronomía 48p.
- Becerra Moreno, a. 2005. Escorrentía, erosión y conservación de suelos. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo. México.
- Cáceres, Amelia (2010).”Sistemas de Información Geográfica”. Slideshare.
<https://es.slideshare.net/sacra07/sig-sistemas-de-informacin-geogrifica>
- Cayo, I. (2001). “Modelamiento ambiental para análisis de susceptibilidad erosiva en la cuenca media y alta del río cañete y determinación del mapa de erosión”. Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Delgado, Fernando. (1987). “Prácticas agronómicas de conservación de suelos SC- 63. Cidiat”. Mérida. Venezuela.
- Dumas, (2012), “Riesgo de erosión hídrica en la cuenca hidrográfica del río mundo”.
- FAO (1990). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Disponible en <http://www.fao.org/soils-portal/degradacion-del-suelo/es/>
- FAO, (2000). Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. Boletín de tierras y aguas de la FAO N° 8. Roma. Consultado en 3 de mar de 2014. Disponible en:
http://books.google.com.bo/books?id=kzcpfvw1ec&pg=pa1&lpg=pa1&dq=manual+de+practic+integradas+de+manejo+fao&source=bl&ots=lcezr3g2ld&sig=lrhy9uet3mpz8jvvzfamjh78y_a&hl=en&sa=x&ei=avcau7cjeyo3kafx9ocqcw&ved=0cdyq6aewag#v=onepage&q=manual%20de%20practic+integradas%20de%20manejo%20fao&f=false
- FAO, 1993. Erosión de suelos en América Latina. Roma, Italia. Consultado 9 mar 2014. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/t2351s/t2351s00.htm#contents>
- FAO, 2016. “Conservación de suelos”. Portal de suelos 2016. Disponible en:
<http://www.fao.org/soils-portal/manejo-del-suelo/conservacion-del-suelo/es/>

- Flores. (2013) “Aproximación de riesgo por erosión hídrica aplicando un sistema de información geográfica en la subcuenca del Shambillo, distrito de Padre Abad”. Trabajo de investigación de Tesis. Grupo Tragsa y ministerio de medio ambiente, 1998. Restauración hidrológica forestal de cuencas y control de la erosión. Ed. mundi-prensa. España. 945 p.
- Hudson, N. (1981). Soil conservation, ithaca, new york, cornel university press, 324 p.
- Instituto Caribeño de Recursos Naturales. 2008, Cambio climático y reducción de riesgos de desastres. Reporte técnico N° 386. Disponible en: <http://www.canari.org/documents/techdocno386-spn.pdf>
- Instituto Nicaragüense De estudios territoriales, agencia Suiza para el desarrollo Y la Cooperación. 2005. Erosión Hídrica: Mapa de Amenazas. Managua- Nicaragua. 52 pp.
- Mancilla, G. (2008). “uso de la ecuación universal de pérdida de suelo en el campo forestal”. Disponible en: <http://es.slideshare.net/solecinha/apuntes-docentes-usle>
- Magno E. Jorge. “Cuencas Hidrográficas”. Disponible en <https://www.monografias.com/trabajos96/cuencas-hidrograficas/cuencas-hidrograficas.shtml>
- Minagri, 2014. “técnicas de conservación de suelos”. disponible en: http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletines/suelos/2014/tecnicas_puno.pdf
- Minagri, 2009. “reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor”. Disponible en: http://www.asesorempresarial.com/web/adjuntos-sumilla/2009-09-02_ykhfnll.pdf
- Morgan, R.P.C. 1997. Erosión y Conservación de Suelos. Madrid, España. Consultado el 3 de feb 2014, Disponible en: http://books.google.cl/books?id=jcfqafiu1uc&printsec=frontcover&dq=morgan&source=gbs_summary_r&cad=0#ppp1,m1
- Núñez, S. 2001. “Manejo y Conservación de Suelos”. Editorial Universidad Estatal a distancia. 1^{era} Edición. San José- Costa Rica. 268 pp.
- Olaya V. (2011), “Sistemas de Información Geográfica”. Versión 1.0. Marzo 2011. Disponible en: ftp://ftp.ehu.es/cidira/profs/iipbaiza/libro_sig.pdf


- Paulet, I. M. (1974). Guía para el planeamiento del uso de las tierras agrícolas en las zonas de lluvia del Perú. Universidad Agraria La Molina. Depto. de recursos de agua y tierra. Publicación N° 5, 55 p.
- Pidwirny, M. (2006). “Erosion and deposition in fundamentals of physical geography” (en línea). Kelowna, Canadá.
- Rafaelli, S; López, F; Almorox, a. 2010.”La degradación de los suelos por erosión hídrica: métodos de estimación”. España; Editorial Editum. 384 p.
- Ramírez, L. 2001 o. Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la cuenca del río juramento - salta. Universidad Nacional de Salta. Salta- Argentina. 104 pp.
- Ramos, (2001): “Modelamiento ambiental para análisis de susceptibilidad erosiva en la cuenca media y alta del rio Cañete y determinación del mapa de erosión Lima – Perú”.
- Renard, K.G, Foster, G.R. et al. (1997): “Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE).” US Department of Agriculture, Washington, DC, vol.703.
- Santos L., e 1995. Cuantificación de la erosión hídrica bajo diferentes coberturas vegetales en un andosol de pátzcuaro, mich. Tesis de licenciatura. Departamento de suelos. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México.
- Sarh. 1991. “Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión 2. Colegio de post graduados/crezas.116pp.
- Sigmur, 2005. “Sig y teledetección Universidad de Murcia”. Capítulo 3 - modelos y estructuras de datos. Disponible en: <http://www.um.es/geograf/sigmur/>
- Smith, S.J., Williams, J.R. Menzel, R.G. Coleman, G.A. 1984. Prediction of sediment yield plains grasslands with theversal soil loss equation. journal of range management 37(4).
- Taboada, J. (2003). “Dinámica de sedimentos en cuencas hidrográficas”. Montecillos, México: Universidad de Chapingo.117 p.
- Torres R.E. 1984. Manual de conservación de suelos agrícolas. 2a impresión. Ed. Diana. México.
- Usda (2014). “Claves para la taxonomía del suelo”. soil taxonomy 12 th edition. Disponible en: http://www.nrcs.usda.gov/internet/fse_documents/nrcs142p2_051546.pdf

- Vasquez, A. (2000). "Manejo de cuencas altoandinas". Tomo I.
- Vazques y Tapia, (2002): "Cuantificación de la erosión hídrica superficial en las laderas semiáridas de la sierra peruana".
- Vahrson, W; Cervantes, C. 1991. Escorrentía superficial y erosión laminar en puriscal Costa Rica. In. Vahrson, W; Alfaro, M; Palacios, g. memoria del taller de erosión de suelos. Heredia, CR, UNA.
- Villón b. M. (2002). Hidrología. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Agrícola. Cartago. Costa Rica.
- Wischmeier, W.H. y Smith, D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses. agriculture handbook 537. united states Department of Agriculture. Science and Education Administration.
- Wischmeier, W.H.; Smith, D. 1959. A rainfall erosion index for the universal soil-loss equation. soil Science society American, proceedings, EEUU. 23 (3); 246-249 pp.

ANEXOS

Anexo 1: Datos de precipitaciones de las estaciones meteorológicas utilizadas


ESTACIÓN HUANTA

REGISTROS HISTÓRICOS DE INFORMACIONES DE PRECIPITACIONES MENSUALES														
		GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA RED HIDROMETEOROLOGICA												
REGISTRO DE PRECIPITACIONES MENSUALES (mm)														
Estación:	: HUANTA			Latitud:	12°56'51.00"S			Dpto:	AYACUCHO					
Altitud	: 2737			Longitud:	74°14'0.00"O			Prov:	HUANTA					
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL	
1991	69.9	106.3	84.2	35.3	14.4	9.9	9.0	4.5	9.4	37.4	38.8	41.1	460	
1992	52.4	92.6	71.0	29.3	2.9	21.1	17.1	17.7	7.1	53.7	24.8	60.1	450	
1993	104.3	80.2	108.2	62.4	19.0	8.5	19.5	11.8	21.1	48.8	73.5	135.1	692	
1994	86.9	98.0	97.6	47.5	13.2	5.3	0.7	1.9	13.9	18.2	37.2	65.0	485	
1995	75.0	91.0	105.5	35.3	6.7	3.0	5.2	3.2	11.0	26.4	61.5	66.5	490	
1996	87.5	115.5	106.6	48.6	7.1	1.3	2.0	10.7	11.6	26.4	24.7	85.5	527	
1997	95.2	104.2	60.1	36.1	9.5	0.2	2.1	23.8	24.4	21.0	58.6	117.3	553	
1998	94.6	89.5	84.5	29.8	2.7	17.5	0.7	5.0	5.9	38.1	33.9	75.1	477	
1999	76.4	119.5	93.2	60.9	8.9	5.3	4.8	0.9	26.7	35.9	33.4	73.8	540	
2000	84.8	145.5	94.0	25.6	23.7	23.6	23.5	8.7	7.5	51.4	16.7	85.8	591	
2001	110.5	71.2	111.5	71.9	42.9	42.0	39.4	27.1	33.0	40.7	70.1	82.3	743	
2002	31.7	115.8	97.4	40.5	19.7	1.4	22.3	11.5	28.5	35.0	55.1	120.0	579	
2003	76.9	138.3	136.3	53.3	8.2	2.1	0.0	21.0	30.4	14.9	15.4	102.9	600	
2004	42.5	81.2	57.6	8.2	8.7	9.2	20.1	14.0	24.2	19.2	37.3	98.8	421	
2005	62.6	118.5	140.7	23.2	5.1	0.0	4.0	0.0	3.1	33.7	33.5	84.9	509	
2006	113.5	64.3	66.2	91.4	0.0	5.0	0.0	2.0	15.6	17.2	50.0	80.9	506	
2007	150.0	101.8	117.0	9.7	6.1	0.0	6.1	1.0	3.0	47.7	44.5	84.1	571	
2008	67.9	82.3	23.4	14.8	12.0	9.4	0.0	0.0	2.2	47.4	28.0	63.9	351	
2009	103.9	112.9	39.1	41.8	23.1	0.0	4.4	6.3	10.8	36.2	83.3	92.7	555	
2010	231.1	51.6	57.3	26.1	1.2	0.0	0.0	1.2	19.8	42.7	18.4	88.7	538	
2011	135.7	234.5	97.9	26.4	18.2	0.0	2.0	8.3	27.4	41.7	84.6	83.1	760	
2012	83.4	117.2	62.3	64.4	4.0	14.3	2.5	3.9	27.5	25.6	70.0	131.3	606	
2013	122.7	108.6	76.9	34.7	0.8	3.1	1.3	39.2	2.4	2.4	71.4	124.2	588	
2014	126.1	91.4	51.0	12.6	14.2	0.0	3.3	0.0	12.7	48.2	29.9	91.1	481	
2015	169.7	73.6	77.4	69.6	15.8	10.6	11.0	44.2	2.9	23.3	41.8	98.8	639	
2016	83.4	117.2	62.3	64.4	4.0	14.3	2.5	3.9	27.5	25.6	70.0	131.3	606	
PROM	98.2	104.2	84.7	40.0	11.5	7.7	8.0	10.7	15.3	33.3	45.5	89.3	548	


ESTACIÓN QUINUA

REGISTRO DE PRECIPITACIONES MENSUALES (mm)														
Estación:	: QUINUA				Latitud:	13° 3'6.00"S				Dpto:	AYACUCHO			
Altitud	: 3224				Longitud:	74° 8'32.00"O				Distrito:	QUINUA			
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL	
1991	144.0	169.1	131.3	37.1	27.0	7.3	16.5	14.8	44.7	64.6	74.6	115.2	846	
1992	143.3	168.4	130.7	36.9	26.9	7.3	16.5	14.7	44.5	64.3	74.3	114.7	842	
1993	158.2	185.8	144.3	40.8	29.7	8.0	18.2	16.2	49.1	71.0	82.0	126.6	930	
1994	145.5	170.9	132.7	37.5	27.3	7.4	16.7	14.9	45.1	65.3	75.4	116.5	855	
1995	145.8	171.3	133.0	37.6	27.4	7.4	16.7	15.0	45.2	65.4	75.6	116.7	857	
1996	148.1	174.0	135.0	38.2	27.8	7.5	17.0	15.2	45.9	66.4	76.7	118.5	870	
1997	149.6	175.8	136.4	38.6	28.1	7.6	17.2	15.3	46.4	67.1	77.5	119.8	879	
1998	145.0	170.4	132.2	37.4	27.2	7.3	16.7	14.9	45.0	65.0	75.2	116.1	852	
1999	148.8	174.9	135.7	38.4	27.9	7.5	17.1	15.3	46.2	66.8	77.1	119.2	875	
2000	152.0	178.5	138.6	39.2	28.5	7.7	17.5	15.6	47.1	68.2	78.8	121.7	893	
2001	161.3	189.4	147.1	41.6	30.3	8.2	18.5	16.5	50.0	72.3	83.6	129.1	948	
2002	151.2	177.7	137.9	39.0	28.4	7.7	17.4	15.5	46.9	67.8	78.4	121.1	889	
2003	152.5	179.2	139.1	39.3	28.6	7.7	17.5	15.6	47.3	68.4	79.0	122.1	896	
2004	141.6	166.3	129.1	36.5	26.6	7.2	16.3	14.5	43.9	63.5	73.4	113.3	832	
2005	147.0	172.7	134.0	37.9	27.6	7.4	16.9	15.1	45.6	65.9	76.2	117.7	864	
2006	146.8	172.4	133.9	37.8	27.5	7.4	16.9	15.1	45.5	65.8	76.1	117.5	863	
2007	150.7	177.1	137.5	38.9	28.3	7.6	17.3	15.5	46.8	67.6	78.1	120.7	886	
2008	137.3	161.3	125.2	35.4	25.8	7.0	15.8	14.1	42.6	61.6	71.2	109.9	807	
2009	149.7	175.9	136.6	38.6	28.1	7.6	17.2	15.4	46.4	67.2	77.6	119.9	880	
2010	148.7	174.7	135.6	38.3	27.9	7.5	17.1	15.3	46.1	66.7	77.1	119.1	874	
2011	188.9	203.8	174.8	60.7	18.2	5.6	5.6	5.2	67.7	68.7	91.8	118.4	1009	
2012	99.7	212.9	113.1	42.3	57.8	12.2	19.2	11.2	37.9	39.5	71.1	48.9	766	
2013	142.6	155.3	102.5	12.5	24.1	13.2	10.4	44.3	21.8	95.3	100.1	182.0	904	
2014	181.0	147.2	167.9	42.3	14.8	0.0	35.1	2.1	62.5	71.1	54.3	140.8	919	
2015	154.9	182.0	141.3	39.9	29.1	7.8	17.8	15.9	48.0	69.5	80.3	124.0	910	
2016	141.6	166.3	129.1	36.5	26.6	7.2	16.3	14.5	43.9	63.5	73.4	113.3	832	
PROM	149.4	175.5	136.2	38.5	28.0	7.6	17.2	15.3	46.3	67.0	77.4	119.6	878	


ESTACIÓN PACAYCASA

REGISTROS HISTÓRICOS DE INFORMACIONES DE PRECIPITACIONES MENSUALES														
		GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA RED HIDROMETEOROLOGICA												
REGISTRO DE PRECIPITACIONES MENSUALES (mm)														
Estación:	: PACAYCASA				Latitud:	13° 4'36.00"S				Dpto:	AYACUCHO			
Altitud	: 2481				Longitud:	74°13'1.00"O				Prov:	PACAYCASA			
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL	
1991	116.1	136.4	107.3	34.7	19.6	2.6	7.1	9.7	35.8	48.1	62.0	119.2	699	
1992	115.7	136.0	106.9	34.6	19.5	2.6	7.1	9.7	35.7	47.9	61.8	118.8	696	
1993	125.2	147.1	115.7	37.4	21.2	2.8	7.7	10.5	38.6	51.9	66.9	128.5	753	
1994	117.1	137.6	108.2	35.0	19.8	2.6	7.2	9.8	36.1	48.5	62.6	120.2	705	
1995	117.3	137.8	108.4	35.1	19.8	2.6	7.2	9.8	36.1	48.6	62.7	120.4	706	
1996	118.7	139.5	109.8	35.5	20.1	2.6	7.3	10.0	36.6	49.2	63.4	121.9	715	
1997	119.7	140.7	110.7	35.8	20.2	2.7	7.4	10.0	36.9	49.6	64.0	122.9	720	
1998	116.8	137.2	107.9	34.9	19.7	2.6	7.2	9.8	36.0	48.4	62.4	119.9	703	
1999	119.2	140.1	110.2	35.6	20.1	2.6	7.3	10.0	36.7	49.4	63.7	122.4	717	
2000	121.2	142.4	112.1	36.2	20.5	2.7	7.5	10.2	37.4	50.2	64.8	124.4	730	
2001	127.1	149.4	117.5	38.0	21.5	2.8	7.8	10.7	39.2	52.7	68.0	130.5	765	
2002	120.7	141.9	111.6	36.1	20.4	2.7	7.4	10.1	37.2	50.0	64.5	123.9	727	
2003	121.5	142.8	112.4	36.3	20.5	2.7	7.5	10.2	37.5	50.4	65.0	124.8	732	
2004	114.5	134.6	105.9	34.3	19.4	2.5	7.0	9.6	35.3	47.5	61.2	117.6	689	
2005	118.0	138.7	109.1	35.3	19.9	2.6	7.3	9.9	36.4	48.9	63.1	121.2	710	
2006	117.9	138.5	109.0	35.2	19.9	2.6	7.3	9.9	36.3	48.9	63.0	121.0	710	
2007	120.4	141.5	111.3	36.0	20.4	2.7	7.4	10.1	37.1	49.9	64.4	123.6	725	
2008	111.8	131.4	103.4	33.4	18.9	2.5	6.9	9.4	34.5	46.3	59.8	114.8	673	
2009	119.8	140.8	110.7	35.8	20.2	2.7	7.4	10.0	36.9	49.6	64.0	123.0	721	
2010	119.1	140.0	110.1	35.6	20.1	2.6	7.3	10.0	36.7	49.4	63.7	122.3	717	
2011	143.4	187.5	109.7	33.6	20.8	0.1	10.2	0.7	43.4	37.4	78.5	109.6	775	
2012	92.79	123	87	75.8	38.3	7.6	10.1	1.3	34	28.4	78.8	152.4	729	
2013	105.5	121.8	118.5	10.8	10.3	3.1	6.1	34.9	30.4	78.3	66.6	132.5	719	
2014	145.9	140.75	135.6	25.6	13	0	3.6	4	42.5	58	36.7	106.1	712	
2015	123.1	144.6	113.8	36.8	20.8	2.7	7.6	10.3	37.9	51.0	65.8	126.4	741	
2016	92.8	123.0	87.0	75.8	38.3	7.6	10.1	1.3	34.0	28.4	78.8	152.4	729	
PROM	119.5	140.5	110.5	35.7	20.2	2.6	7.4	10.0	36.8	49.5	63.9	122.7	720	

ESTACIÓN TAMBILLO

REGISTROS HISTÓRICOS DE INFORMACIONES DE PRECIPITACIONES MENSUALES													
		GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA RED HIDROMETEOROLOGICA REGISTRO DE PRECIPITACIONES MENSUALES (mm)											
Estación:	: TAMBILLO	Latitud:	13° 3'53.98"S	Dpto:	AYACUCHO								
Altitud	: 3343	Longitud:	74° 0'5.25"O	Distr.:	TAMBILLO								
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1991	133.6	195.3	79.5	47.1	13	5.2	13.3	7.8	15.8	71.9	59	46.5	688
1992	105.1	193.3	144.8	38.9	10.1	35.3	24.7	36.4	15.1	42.9	42	55.9	745
1993	148.4	127.1	100	105	15.4	12.5	20.4	22.4	66.1	52.8	114.5	192.5	977
1994	156.4	167.9	150	71.9	5.2	6.2	0	7.3	22.6	25.2	60.4	126.3	799
1995	143.2	111.4	148.9	60.8	13	1	10.3	4.5	19.2	54.7	89.6	83.2	740
1996	101.2	100.4	186.5	48.8	13.2	2.1	0.3	19.5	31.3	68.6	26.4	82.8	681
1997	180.3	195.6	108.2	53.5	6.2	0	3.1	42.8	50.5	51.4	124.1	135.4	951
1998	181.9	152	98.8	44.3	2.1	18.8	0	0.8	19	73.8	50.1	75.2	717
1999	136.6	165.9	130.5	19.8	0.5	3.7	5	0	57.2	25.7	79.1	96.1	720
2000	137.9	155.5	110.5	16.4	55.4	17.3	49	5.1	9.4	65.7	20.8	94.1	737
2001	188.4	75.5	123.1	36.4	43.9	5.9	28.3	16.6	15.9	40.2	105.1	80.5	760
2002	111.2	187.7	162.1	47.8	17.7	1.8	32.6	12.8	35.5	30.2	72.8	115.6	828
2003	94.2	181.2	120.1	60.8	10.7	0	0	44.3	9.9	5.8	11.7	118	657
2004	69.8	162.5	65.4	17	10.8	9.8	28.8	7.5	29.2	48.8	58.1	168.1	676
2005	86.5	75.4	178.2	19.4	0.2	0	4.4	1.5	22.1	55.3	44.1	151.7	639
2006	121.3	109.2	111.2	40.7	1.5	1.8	0	14.9	9	66.7	172	68.1	716
2007	110.2	82.2	141.8	57.5	4.3	0	19	1	25.2	77.7	31.6	109.7	660
2008	110.2	148.5	72.8	7.9	10.4	2	0	1.4	8.1	38.4	31.5	74.5	506
2009	133.3	124.3	64.9	67.7	23.8	0	9.4	0.2	21	26.7	97.7	140.8	710
2010	186.9	88.1	96.2	40.2	13.8	0	0	15.4	12.8	62.3	23.6	115.2	655
2011	221.3	344.2	176.3	79.7	17.9	4.2	9.1	3.6	56.8	42.5	82.3	143.7	1182
2012	135.1	232.9	123.7	101.7	5.1	18.8	0.9	3.7	42	29.6	59.9	192	945
2013	149.3	123.2	94.3	21.3	22.9	9	12.7	35.8	10.2	77.2	66.7	152.9	776
2014	219.7	124.4	194.4	40.4	14.8	0	17.2	1.7	61.6	143.3	55.1	73.1	946
2015	156.1	168.3	138.5	53.2	15.4	7.2	13.4	14.3	30.9	59.3	73.3	125.0	855
2016	139.3	150.2	123.6	47.5	13.8	6.4	12.0	12.7	27.6	52.9	65.4	111.6	763
PROM	140.7	151.7	124.8	47.9	13.9	6.5	12.1	12.9	27.9	53.5	66.1	112.7	771

ESTACIÓN PAMPA CANGALLO

REGISTROS HISTÓRICOS DE INFORMACIONES DE PRECIPITACIONES MENSUALES													
		GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO GERENCIA REGIONAL DE INFRAESTRUCTURA RED HIDROMETEOROLOGICA											
REGISTRO DE PRECIPITACIONES MENSUALES (mm)													
Estación:	: PAMPA CANGALLO					Latitud	: 13°33'19" S			Dpto:	AYACUCHO		
Código :	: 004					Longitud	: 74°11'04" W			Prov:	CANGALLO		
Año :	: 2013					Altitud	: 3375 msnm			Dist:	LOS MOROCHUCOS		
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
1991	122.1	172.5	130.4	41.6	15.3	6.1	7.0	5.0	17.1	42.1	61.0	42.9	663
1992	100.0	137.3	107.4	24.4	1.9	12.5	12.5	24.8	12.8	60.9	39.7	72.4	607
1993	202.7	123.4	165.9	66.5	15.4	4.6	15.9	17.9	41.2	59.5	120.5	156.1	990
1994	156.1	151.5	151.5	54.8	10.3	3.3	0.6	2.9	26.3	18.7	59.4	72.9	708
1995	129.4	127.4	141.5	63.2	1.6	0.0	0.8	9.1	19.8	20.8	131.9	84.8	730
1996	218.8	175.4	146.3	58.6	0.0	1.0	3.8	5.5	29.5	21.4	22.6	73.4	756
1997	163.0	104.1	70.6	21.2	13.3	0.0	2.6	46.7	36.7	9.1	59.4	102.4	629
1998	163.2	153.1	143.8	51.7	1.2	13.3	0.0	1.5	6.3	40.7	46.0	62.8	684
1999	98.0	225.9	144.1	70.0	2.6	1.7	6.2	0.0	58.2	32.9	39.7	67.3	747
2000	134.7	263.0	137.4	29.1	24.1	15.1	3.5	22.5	3.5	96.9	20.0	84.6	834
2001	195.0	81.8	218.8	37.1	39.8	7.3	11.8	8.1	15.7	39.8	59.8	28.6	743
2002	130.8	155.6	134.0	23.8	10.5	2.0	46.5	13.6	73.2	31.1	132.4	243.1	997
2003	155.3	131.4	136.8	52.2	9.5	0.0	0.0	18.5	37.4	40.4	53.8	135.8	771
2004	56.8	170.5	131.1	27.3	2.8	9.8	10.9	8.4	37.1	44.1	69.7	119.9	688
2005	80.9	67.1	120.8	38.6	0.1	0.0	4.1	34.4	43.9	43.0	29.3	118.5	581
2006	220.6	124.3	171.5	41.3	2.1	3.3	0.0	22.8	33.0	37.0	57.0	46.0	759
2007	78.7	87.7	169.6	57.1	10.5	0.5	4.7	2.4	32.6	46.6	54.7	128.3	673
2008	190.6	175.2	92.1	27.8	6.9	4.8	0.0	3.9	13.1	33.5	66.0	98.7	713
2009	111.3	118.2	141.7	57.4	0.2	0.0	15.8	0.0	11.3	38.5	100.0	102.7	697
2010	258.6	136.5	107.3	31.7	2.9	0.0	0.0	3.3	14.0	36.5	23.6	170.2	785
2011	306.7	260.7	124.5	90.1	8.0	0.0	13.3	4.4	34.5	34.5	89.3	89.5	1056
2012	114.0	253.5	165.8	169.3	5.7	13.2	3.1	1.2	21.2	23.4	14.2	215.8	1000
2013	124.3	172.9	126.9	2.5	19.6	11.6	0.0	0.0	5.6	56.4	44.8	155.7	720
2014	167.2	158.2	89.3	42.8	16.6	7.8	20.7	14.8	71.9	68.9	61.5	107.3	827
2015	168.6	170.8	149.8	54.1	10.1	5.4	8.4	12.4	31.9	44.7	66.7	118.2	841
2016	151.0	153.0	134.2	48.4	9.1	4.8	7.5	11.1	28.6	40.1	59.8	105.9	753
PROM	153.9	155.9	136.8	49.4	9.2	4.9	7.7	11.4	29.1	40.9	60.9	107.9	768

Anexo 2: Resultado de análisis de textura del suelo



MULTISERVICIOS AGROLAB

INGENIEROS TRABAJANDO POR UN AGRO SOSTENIBLE

LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES

ASESORÍA Y CAPACITACIÓN EN:

- EVALUACIÓN Y MUESTREO DE SUELOS. - INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS AGRÍCOLA.
- USO, MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS. - ESTUDIOS DE IMPACTO AMBIENTAL.
- AGRICULTURA SUSTENTABLE.

ANÁLISIS FÍSICO DE SUELOS

Solicitante: Sra. Diana Elvira Atauje Camasca

Proyecto:

Departamento: Ayacucho

Provincia: Huamanga

Distrito: Chiara

Fecha de muestreo: 30-07-17


Fecha de resultados: 10-08-17

Nº Laborat.	Nº Campo	Coordenadas			M.O. (%)	Fracciones (%)			Clase Textural
		x	y	z		Arena	Limo	Arcilla	
7113	M-1	583107	8535026	3405	4.62	63	14	23	Fr.Ar,A.
7114	M-2	586160	8531835	3520	7.51	39	26	35	Fr.Ar.
7115	M-3	586233	8527776	3772	9.99	45	26	29	Fr.Ar,A.
7116	M-3.1	586295	8527724	3786	0.62	63	20	17	Fr.A.
7117	M-4	590433	8532174	3640	4.62	51	16	33	Fr.Ar,A.
7118	M-5	587721	8534708	3381	10.56	40	29	31	Fr.Ar,A.
7119	M-6	587554	8547731	2579	0.51	75	12	13	Fr.A.
7120	M-7	600915	8528637	4156	8.72	56	21	23	Fr.A,A.
7121	M-8	586522	8520382	3948	6.9	63	21	16	Fr.Ar
7122	M-9	576150	8529642	3931	0.55	48	17	35	Fr.A,A.

Franco Arcillo Arenoso (Fr.Ar.A.)

Franco Arcilloso (Fr.Ar.)

Franco Arenoso (Fr.A.)


Ph.D. MARILENI CERBA GÓMEZ
Responsable de Laboratorio

Anexo 3: Panel Fotográfico



Vista de áreas con poca cobertura vegetal de la cuenca Huatatas



Toma de muestras de suelo de la cuenca Huatatas, muestra 1



Toma de muestras de suelo de la cuenca Huatatas, muestra 5



Vista de toma de muestra de suelo en la cuenca Huatatas



Vista de suelos erosionados en la cuenca Huatatas



Vista de suelo erosionado en la cuenca Huatatas.- San Martín de Pucara



Vista Carcavas y alta pendiente en la cuenca Huatatas



Vista de presencia de suelos erosionados en la cuenca Huatatas



Vista de presencia de suelos cultivables



Vista áreas con presencia de cultivos



Vista áreas con de vegetación



Vista áreas con pendiente