UNIVERSIDAD NACIONAL "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

CATEGORIZACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA MICROCUENCA DE RANRAHIRCA, APLICANDO LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO (USLE), YUNGAY - ANCASH - 2014

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:
INGENIERO AGRÍCOLA

Presentada por:
MARÍA ISABEL COLQUE VALENTÍN

Huaraz - Perú
Julio 2015

UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA - SHANCAYÁN
TELEFAX - 043 426 588 - 106
HUARAZ - PERÚ

UNIVERSIDAD NACIONAL
"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

"CATEGORIZACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA DE LA MICROCUENCA DE RANRAHIRCA, APLICANDO LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO (USLE), YUNGAY–ANCASH-2014"

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE

INGENIERO AGRÍCOLA

Presentado por:

COLQUE VALENTÍN, María Isabel

Sustentada y Aprobada ante el siguiente Jurado:

Ing. M. Sc. Guillermo CASTILLO ROMERO **PRESIDENTE**	Dr. Toribio Marcos REYES RODRÍGUEZ **SECRETARIO**
Ing. M. Sc. Tito Moner TINOCO MEYHUAY **VOCAL**	Dr. Fidel Gregorio APARICIO ROQUE **PATROCINADOR**

Huaraz, 30 de Junio del 2015.

UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA - SHANCAYÁN
TELEFAX - 043 426 588 - 106
HUARAZ - PERÚ

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los miembros de Jurado de Tesis que suscriben, se reunieron para evaluar la Sustentación de la Tesis del Programa de Titulación Profesional presentado por la Bachiller en Ciencias de la Ingeniería Agrícola **COLQUE VALENTÍN MARÍA ISABEL, DENOMINADO: "CATEGORIZACIÓN DE LA EROSÍON HÍDRICA DE LA MICROCUENCA DE RANRAHIRCA, APLICANDO LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO (USLE), YUNGAY – ANCASH - 2014",** Escuchada la Sustentación y las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas, lo declaramos:

APROBADO

CON EL CALIFICATIVO:

BUENO

En consecuencia, queda en condiciones de ser calificado **APTO** por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias y por el Consejo Universitario de la Universidad Nacional "Santiago Antúnez de Mayolo" y recibir el Título de **INGENIERO AGRÍCOLA** de conformidad con la Ley Universitaria y el Estatuto de la Universidad.

Huaraz, 30 de Junio del 2015.

Ing. M. Sc. GUILLERMO CASTILLO ROMERO
PRESIDENTE

Dr. TORIBIO MARCOS REYES RODRÍGUEZ
SECRETARIO

Ing. M. Sc. TITO MONER TINOCO MEYHUAY
VOCAL

Dr. FIDEL GREGORIO APARICIO ROQUE
PATROCINADOR

(*) De acuerdo con el Reglamento de Tesis ésta debe ser calificado con Términos de: SOBRESALIENTE, MUY BUENO, BUENO Y REGULAR.

UNIVERSIDAD NACIONAL
SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA - SHANCAYÁN
TELEFAX - 043 426 588 - 106
HUARAZ - PERÚ

ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS

Los miembros de Jurado de Tesis que suscriben, nombrados por Resolución **N°177 – 2014 – UNASAM – FCA/D,** se reunieron para revisar la Tesis, del Programa de Titulación Profesional presentado por la Bachiller en Ciencias de la Ingeniería Agrícola **COLQUE VALENTÍN MARÍA ISABEL,** denominado: **"CATEGORIZACIÓN DE LA EROSÍON HÍDRICA DE LA MICROCUENCA DE RANRAHIRCA, APLICANDO LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO (USLE), YUNGAY – ANCASH - 2014"**, y sustentado el día 30 de Junio del 2015, por Resolución de Decanatura N° 332– 2015 – UNASAM – FCA/D., lo declaramos **CONFORME.**

En consecuencia queda en condiciones de ser publicada.

Huaraz, 30 de Junio del 2015.

Ing. M. Sc. GUILLERMO CASTILLO ROMERO
PRESIDENTE

Dr. TORIBIO MARCOS REYES RODRÍGUEZ
SECRETARIO

Ing. M. Sc. TITO MONER TINOCO MEYHUAY
VOCAL

Dr. FIDEL GREGORIO APARICIO ROQUE
PATROCINADOR

DEDICATORIA

A Dios Padre Todopoderoso, por ser mi guía espiritual, en todo momento y por darme fuerzas para lograr la culminación de mis estudios.

A mis padres Teodoro Colque Jiménez e Isabel Valentín Tolentino, por su interminable apoyo en todo momento de mi vida, por sus enseñanzas, consejos, por su eterna paciencia y por guiarme en el camino para llegar a este punto de mi carrera.

A mi amor Marco Lázaro Barreto y mi hijita Lucero Lázaro Colque por su interminable amor que en todo momento han sido mi motivación, apoyo y fuerza para seguir adelante.

A mis hermanos, por todo el apoyo que me han brindado en todo momento.

A mis buenos amigos, por todo el apoyo y palabras de aliento en cada momento.

Pero sobre todo dedicado a Dios

AGRADECIMIENTO

A Dios, por guiarme por el camino del éxito.

A mis padres que incondicionalmente me alentaron a lograr mi meta.

A mi esposo e hijita lucero, gracias por motivarme y acompañarme en el desarrollo de este trabajo.

A mis hermanos por apoyarme en todo momento en el desarrollo de este trabajo.

A la Universidad Nacional de Ancash "Santiago Antúnez de Mayolo" por la oportunidad de realizar estudios de Ingeniería Agrícola.

A los docentes de la Escuela de Ingeniería Agrícola que forjaron mi formación.

A mis amigos por el apoyo incondicional.

A todos ellos, les expreso todo mi cariño.

ÍNDICE GENERAL

Título. i

Acta de Sustentación. ii

Acta de Conformidad. iii

Dedicatoria. iv

Agradecimiento. v

Índice General. vi

Índice de Tablas. viii

Índice de Imágenes. ix

Índice de Gráficos x

Índice de Anexos. xi

Resumen. xii

Abstract. xiii

I. INTRODUCCIÓN 1
- 1.1 Objetivos 3
  - 1.1.1 General 3
  - 1.1.2 Específicos 3
- 1.2 Hipótesis 3
  - 1.2.1 Variables 3
    - a. Correlacional X 3
    - b. Correlacionales Y 3
  - 1.2.2 Operalización de variables 4
- 1.3 Justificación 4
- 1.4 Tipo de investigación 4

II. MARCO TEÓRICO 5
- 2.1 Antecedentes 5
  - 2.1.1 Antecedentes regionales 6
  - 2.1.2 Antecedentes nacionales 7
  - 2.1.3 Antecedentes internacionales 7
- 2.2 Revisión bibliográfica 9
  - 2.2.1 Ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) 9
    - A. Factor de erosividad de lluvia (R) 10
    - B. Factor de erodabilidad (K) 11
    - C. Determinación de los factores topográficos LS (Longitud y grado de pendiente, respectivamente) 14
    - D. Factor de cobertura vegetal (C) 16
    - E. Factor de prácticas de conservación (P) 17

2.2.2 Sistema de información geográfica (SIG) 18
A. Formato raster 19
B. Formato vectorial 20
1. ArcMap 21
2. ArcCatalog 22
3. ArcToolbox 22
C. Álgebra de mapas 23
2.3 Definición de términos 23
III. MATERIALES Y MÉTODOS 26
3.1 Zona de estudio 26
a) Ubicación política 26
b) Ubicación geográfica (coordenadas UTM WGS-84) 26
c) Ubicación hidrográfica 26
3.2 Materiales y métodos 26
3.2.1 Materiales y equipos 26
a. Materiales 27
b. Equipos 27
3.2.2 Metodología 27
a) Trabajo de campo 28
b) Trabajo de gabinete 28
1 Obtención del DEM del área de trabajo 29
2 Delimitación de la microcuenca de Ranrahirca 28
3 Generación de las curvas de nivel de la microcuenca 30
4 Obtención de las características pluviométricas 31
5 Determinación del Factor Erosividad (R) 32
6 Determinación del Factor Erodabilidad (K) 33
7 Determinación del Factor Topográfico (LS) 34
8 Determinación del factor cobertura vegetal (C) 37
9 Determinación del factor prácticas de conservación de suelos (P) 37
10 Determinación de la pérdida de Suelo 38

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN 39
4.1 RESULTADOS 39
4.1.1 Factor erosividad de la lluvia (R) 39
4.1.2 Factor erodabilidad del suelo (K) 39
4.1.3 Factor longitud - pendiente (LS) del área en estudio 40
4.1.4 Factor cobertura por el tipo de vegetación 40
4.1.5 Categorización de erosión hídrica de la microcuenca de Ranrahirca 40
4.2 DISCUSIÓN 41
4.2.1 Factor erosividad de la lluvia (R) 41
4.2.2 Factor erodabilidad del suelo (K) 42
4.2.3 Factor longitud - pendiente (LS) del área en estudio 42
4.2.4 Factor cobertura vegetal (C) 43
4.2.5 Categorización de erosión hídrica de la microcuenca de Ranrahirca 43
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 44
5.1 CONCLUSIONES 44
5.2 RECOMENDACIONES 45
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Clasificación de rangos típicos de R anual 10
Tabla 2.2: Factores de erosionabilidad del suelo asociado a la textura 12
y al contenido de materia orgánica. (Los valores de K expresados
Tabla 2.3: Tipo de estructura (t/ha)/(MJ.mm.h)) 13
Tabla 2.4: Factores de erosionabilidad del suelo asociado a la textura y al 13
contenido de materia orgánica. (Los valores de K expresados
(t/ha)/(MJ.mm.h))
Tabla 2.5: Valores asignados según el Índice de erodabilidad 14
Tabla 2.6: Rangos de pendiente en % y el factor L.S 16
Tabla 2.7: Tipo de cubierta vegetal, según el cultivo 16
Tabla 2.8: Factor de método de control de la erosión P 17
Tabla 2.9: Clasificación de la degradación de suelo causada por la erosión 17
Tabla 3.1: Precipitación media mensual 27
Tabla 3.2: Resultados de muestras de suelo en la microcuenca de Ranrahirca 31
Tabla 4.1: Resultados de la erosividad de la lluvia 39
Tabla 4.2: Resultados de la erodabilidad 39
Tabla 4.3: Resultados de longitud y pendiente (LS) 40
Tabla 4.4: Resultados de cobertura vegetal (C) 40
Tabla 4.5: Resultados pérdida de suelos 40

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1: Fases típicas del Sistema de Información Geográfica (SIG) 18

Figura 2.2: Modelo de representación de datos de un SIG 19

Figura 2.3: Modelo de representación en formato Raster 20

Figura 2.4: Modelo de representación en formato vectorial 21

Figura 2.5: Álgebra de mapas 23

Figura 3.1: Adición del DEM (Modelo de Elevación Digital) 29

Figura 3.2: Proceso de la delimitación de la microcuenca de Ranrahirca 30

Figura 3.3: Creación de las curvas de nivel (cada 100 m) 31

Figura 3.4: Importación de los puntos de ubicación de las cuatro estaciones trabajadas (Llanganuco, Parón, Yungay y Chancos) 31

Figura 3.5: Interpolación y corrido de precipitación para el mes de enero (del mismo modo se realizó para los siguientes meses) 32

Figura 3.6: Generación del mapa del factor R remplazando en la fórmula 32

Figura 3.7: Interpolación de puntos de muestreo de suelo en la microcuenca 33

Figura 3.8: Interpolando los puntos para obtener K 33

Figura 3.9: A partir de las curvas de nivel se creara la pendiente de la microcuenca 34

Figura 3.10: Conversión de TIN a Raster 34

Figura 3.11: Proceso del corte del DEM a flow direction 34

Figura 3.12: Procesando el DEM F-DIR A Flow Acumulation 35

Figura 3.13: Obtención de la variable F 35

Figura 3.14: Obtención de la variable M 35

Figura 3.15: Obtención de la variable L 36

Figura 3.16: Obtención de la variable S 36

Figura 3.17: Obtención de del factor LS topográfico 36

Figura 3.18: Seleccionando la cobertura vegetal 37

Figura 3.19: Proceso de multiplicación de los cuatro mapas (erosividad, erodabilidad, ls y cobertura vegetal) 38

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1: Diagrama de elaboración de los mapas temáticos 28

Gráfico 4.1: Pérdida de suelo por erosión hídrica 41

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 01: Registros de precipitación

Anexo 02: Muestras de suelo

Anexo 03: Panel fotográfico

Anexo 04: Mapas temáticos para la categorización de la erosión hídrica

RESUMEN

La pérdida de suelo debido a la erosión hídrica es uno de los procesos principales de degradación de suelos que existe, el cual es causante de problemas tales como la pérdida de fertilidad de suelos, la contaminación de las fuentes de agua, el depósito de sedimentos de los cauces de los ríos, las causas son los factores naturales y antrópicos ligados a la historia geológica y morfoclimaticas, acentuada por la actividad social desordenada, debido al conflicto entre el uso que el hombre hace de su entorno ambiental y de las potencialidades que este le brinda; el presente trabajo de investigación tiene como objetivo categorizar la erosión hídrica en al microcuenca de Ranrahirca, con el fin de determinar el área de erosión existente por categorías; el tipo de estudio de acuerdo al fin es aplicada de nivel descriptivo - correlacional, para el desarrollo del presente trabajo se realizó la fase de campo que consistió en: realizar la toma de muestras de suelo en 12 puntos a profundidades de 0.30 m y 0.60 m en toda la microcuenca; y la fase de gabinete que consistió en lo siguiente: obtención del DEM del área de trabajo, delimitación de la microcuenca de Ranrahirca, generación de las curvas de nivel de la microcuenca, determinación del factor erosividad (R), determinación del factor erodabilidad (K), determinación del factor topográfico (LS), determinación del factor cobertura vegetal (C) y la determinación de la pérdida de suelo a través de una metodología, que permita cartografiar y categorizar las áreas de erosión hídrica en la microcuenca de Ranrahirca, usando la metodología de la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) y la aplicación de un sistema de información geográfica (GIS) que permitió obtener como resultado tablas alfanuméricas y cartografía temática.

Se concluye la categorización de la erosión hídrica se clasificó en cuatro rangos obteniéndose los siguientes resultados: un porcentaje de 73.82% en un nivel de categoría ninguno a ligera con un área de 10 676 ha (< 10 Ton/ha*año), un porcentaje de 8.25% en un nivel de categoría moderada con un área de 1 193 ha (10 - 50 Ton/ha*año), un porcentaje de 9.69% en un nivel de categoría alta con un área de 1402 ha (50 – 200 Ton/ha*año) y un porcentaje de 8.24% en un nivel de categoría muy alta con un área de 1 191 ha (> 200 Ton/ha*año).

Palabras claves: Erosión hídrica, categorización, erosividad, erodabilidad, factor, cobertura vegetal, topografía

ABSTRACT

Soil loss due to water erosion is a major soil degradation processes there, which is causing problems such as loss of soil fertility, pollution of water sources, sediment deposition the riverbeds, the causes are natural and anthropogenic factors related to the geological history and morphoclimatic, exacerbated by disorderly social activity because of the conflict between man makes use of its environment and the potential that this will It provides; this research aims to categorize water erosion in the watershed of Ranrahirca, in order to determine the area of erosion existing categories; the type of study according to the order is applied descriptive level - correlational, for the development of this work the field phase which consisted performed: performing sampling of soil in 12 points at depths of 0.30 m and 0.60 m in entire watershed; and phase Cabinet consisting of the following: DEM obtaining workspace, delineation of the watershed of Ranrahirca, generating contours of the watershed, determining the erosivity factor (R), erodibility determining factor (K), determining the topographic factor (LS), determining the vegetation cover factor (C) and determining soil loss through a methodology that allows to map and categorize areas of water erosion in the watershed of Ranrahirca, using the methodology of the universal soil loss equation (USLE) and the implementation of a geographic information system (GIS) that yielded results in alphanumeric tables and thematic mapping.

Categorization of water erosion is concluded was classified into four ranges with the following results: a percentage of 73.82% in a category level none to light an area of 10 676 ha (<10 tons / ha * year), a percentage 8.25% to a level of moderate category with an area of 1193 ha (10-50 Ton / ha * year), a percentage of 9.69% at a level of high category with an area of 1402 ha (50-200 Ton / ha * year) and a percentage of 8.24% at a category level high with an area of 1191 ha (> 200 tons / ha * year).

Keywords: Water erosion, categorization, map, descriptive, correlational, cartography.

I. INTRODUCCIÓN

Aproximadamente el 40% de la superficie agrícola mundial está seriamente degradada por erosión, debido al uso inadecuado, al abuso de prácticas agrícolas, el tipo de material afectado, los factores climáticos como la precipitación, el papel de protección que ofrece la cobertura vegetal, la pendiente del terreno, las condiciones de drenaje y la ausencia de un adecuado manejo de los suelos especialmente los de ladera son los que vienen a determinar que el proceso de erosión hídrica sea mucho más rápida.

Para el desarrollo del presente trabajo se realizó la fase de campo que consistió en: la toma de muestras de suelo en 12 puntos a profundidades de 0.30 m y 0.60 m de toda la microcuenca; y la fase de gabinete que consistió en lo siguiente: se procedió a la delimitación del área de la microcuenca, se generó curvas de nivel a partir del Dem, luego se realizó los cálculos de erosividad, erodabilidad, topografía y cobertura vegetal a través de una metodología, que permitió cartografiar y categorizar las áreas con riesgo de erosión hídrica en la microcuenca de Ranrahirca, se utilizó la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) y se aplicó un sistema de información geográfica (GIS) que permitió obtener como resultado tablas alfanuméricas y cartografía temática.

La erosión hídrica se debe a distintos factores, para solucionar este problema se tiene como objetivo principal Categorizar la erosión hídrica en la microcuenca de Ranrahirca aplicando la ecuación universal de pérdida de suelos (USLE), con un área de 144.62 Km2 y un perímetro de 66 Km, ubicada en coordenadas (199589.29; 8984494.96), a una altitud de 2438.00 – 6582.00 m.

El tipo de la investigación es aplicada y el nivel es descriptivo - correlacional.

El método que se ha empleado es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE).

Los resultados obtenidos de la categorización de la erosión hídrica fue el siguiente: un 73.82% en categoría de erosión ninguna a ligera con un área de 10 676 ha (< 10 Ton/ha*año) en la parte alta de la microcuenca, la categoría moderada de 8.25 % con un área 1 193 ha (10 - 50 Ton/ha*año), la categoría de nivel alto de 9.69 % con un área de

1 402 ha (50 - 200 Ton/ha*año), y un 8.24% de categoría de nivel muy alto con un área de 1 191 ha (> 200Ton/ha*año) en la parte baja de la microcuenca de Ranrahirca.

1.1 Objetivos

1.1.1 General

Categorizar la erosión hídrica en la microcuenca de Ranrahirca aplicando la ecuación universal de pérdida de suelos (USLE).

1.1.2 Específicos

Para realizar la categorización de la erosión hídrica de la microcuenca de Ranrahirca se planteó los siguientes objetivos específicos:

1. Cuantificar la erosividad de la lluvia de la microcuenca de Ranrahirca.
2. Estimar la erodabilidad del suelo de la microcuenca de Ranrahirca.
3. Determinar la longitud y pendiente del área en estudio de la microcuenca de Ranrahirca.
4. Calcular el área de cobertura por el tipo de vegetación de la microcuenca de Ranrahirca.

1.2 Hipótesis

Mediante la aplicación del método USLE se categorizaría la erosión hídrica en la microcuenca de Ranrahirca.

1.2.1 Variables

a) Correlacional X

- Categoría de la erosión hídrica en la microcuenca de Ranrahirca.

b) Correlacionales Y

- Factor de erosividad de la lluvia (R).
- Factor erodabilidad del suelo (K).
- Factor topográfico (LS).
- Factor cobertura vegetal (C)

1.2.2 Operacionalización de variables

Variables	Indicadores	Unidad de medida
Correlacional X		
Categoría de la erosión hídrica	Pérdida de suelo	Ton/ha/año
Correlacionales Y		
Factor erosividad de la lluvia (R)	Precipitación	mm/h
Factor erodabilidad del suelo (K).	Textura, código de la estructura, permeabilidad, Contenido de materia orgánica.	% de arena , % limo, % arcilla; % m.o
Factor topografía (LS)	Longitud - pendiente	adimensional
Factor cobertura vegetal (C)	Vegetación	%

1.3 Justificación

Puesto que no existen estudios enfocados a la cuantificación de pérdidas del suelo debido a la erosión hídrica en la microcuenca de Ranrahirca, ya que la erosión hídrica afecta mayormente la parte baja de la microcuenca disminuyendo la capa arable tomando en cuenta que el suelo es un recurso renovable que merece ser conservado adecuadamente, para mantener sus niveles de fertilidad y profundidad por consiguiente existe pérdidas de suelos agrícolas, conllevando consigo problemas en la agricultura en tal sentido se hizo el estudio correspondiente de la zona para que permita en lo posterior aprovechar el recurso suelo en la producción agrícola.

1.4 Tipo de investigación

El tipo de investigación es aplicada de nivel descriptivo – correlacional.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antécedentes

2.1.1 Antecedentes regionales

Anaya, Nells; Veramendi, Edgar. (2008). Estimación de la erosión hídrica aplicando la EUPS en la microcuenca: río Pariac. El objetivo de este estudio es servir como guía en la toma de decisiones y medidas de conservación de suelos en la microcuenca de Pariac, se obtuvo los siguientes resultados: la erosión media anual total estimada para la microcuenca de rio Pariac, mediante el uso de ecuación universal pérdida de suelo, fue de 124.227t/ha en un año, mientras que se obtuvo un máximo de 183.491t/ha en el año de 1982 y un mínimo en el año de 1990 equivalente a 76.354t/ha, concluyendo que el área en estudio se encuentra bajo un proceso acelerado de erosión hídrica puesto que el grado de erosión es alta.

Brito, Carmen. (2013). Caracterización del riesgo de erosión hídrica en la microcuenca Pucauran distrito de Jangas – Huaraz – Ancash -2012. El objetivo de este trabajo fue caracterizar el riesgo de erosión hídrica en la microcuenca Pucauran, los factores de la erosión hídrica fueron determinados mediante la Ecuación Universal de pérdida de Suelo (USLE), se obtuvo los siguientes resultados: el 31% del área de la microcuenca presenta erosión baja, con pérdidas menores a 5Tn/ha*año, y el 7% del área presenta una erosión critica con pérdidas mayores al 200 Tn/ha*año, la misma que se desarrolla en la parte alta y media de la microcuenca, donde existe explotación minera, movimiento de masa escasa vegetación; sobreexplotación y sobrepastoreo; que aceleran los procesos erosivos.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Ramos, Cayo. (2001). Modelamiento ambiental para análisis de susceptibilidad erosiva en la cuenca media y alta del rio Cañete y determinación del mapa de erosión. Universidad nacional agraria la Molina. El objeto del estudio es la estimación de la tasa de erosión en la cuenca media y alta del Río Cañete, tomando como soporte informático el ArcInfo y el ArcView, se describe también la metodología utilizada para el modelamiento ambiental necesario para la estimación de la tasa de erosión, y la determinación del mapa de erosión, el modelo propuesto es un modelo de tipo técnico-geoespacial basado en la ecuación semiempírica denominada ecuación universal de pérdida del suelo (USLE) y la información secundaria sobre la distribución espacial de estas variables en la zona del proyecto. Ausencia de cobertura vegetal, o la eliminación de ella. La masiva ocupación por parte de cultivos de corto periodo vegetativo, se traducen en elevadas pérdidas de suelo, sobre todo si una vez eliminada la cubierta vegetal se efectúan labores agresivas de pastoreo en laderas Pendientes Fuertes. 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 (incremento de la velocidad del agua de escorrentía).

Vásquez, Absalón (2011). Cuantificación de la erosión hídrica superficial en las laderas de la sierra Peruana. Indica que la erosión hídrica es un proceso de pérdida de suelo que afecta a toda la sierra peruana, debido a las condiciones de semiaridez, altas pendientes del terreno, al uso de prácticas agrícolas inadecuadas, a la creciente presión demográfica por el uso del suelo, a la escasa cubierta vegetal debido a la deforestación, al sobre pastoreo y a la presencia de esporádicas lluvias pero de alta intensidad.

2.1.3 Antecedentes internacionales

Edeso, J.; Marauri, P.; Merino, A.; Gonzales, J. (1997). Determinación de la tasa de erosión hídrica en función del manejo forestal: la cuenca del rio Santa Lucia (Gipuskoa). El objetivo de este trabajo es evaluar la tasa de erosividad media de un territorio aplicando la ecuación Universal de pérdida de Suelos, en función de los distintos manejos a los que este puede ser sometido, obteniendo como resultado que la tasa erosiva media dominante se sitúa entre los 25 y 50t/ha/año (42.02%), siendo prácticamente inexistentes las Pérdidas severas/criticas.

Motta, Erick (1999). Estudio de la erosión hídrica del suelo, microcuenca del rio Itzapa, Chimaltenango, de 1994 a 1996. Indica que en Guatemala la pérdida de suelos se da debido a la erosión hídrica, el cual es causante de otros problemas, tales como la pérdida de fertilidad de los suelos, la contaminación de las fuentes de agua, el depósito de sedimentos de los cauces de los ríos y la pérdida de uno de los recursos naturales renovables de más importancia para la producción agrícola como lo es el suelo.

Barrios, Alex. (2000). Evaluación de la erosión utilizando el modelo (R) USLE, con Apoyo de SIG. Aplicación de una microcuenca de los Andes Venezolanos. El objetivo del trajo fue evaluar la distribución espacial de los cambios en las tasas de erosión en una microcuenca andina, a partir de la cobertura vegetal de dos periodos de tiempos diferentes. Para ello, se aplica el modelo USLE a escala de cuencas. Se obtuvo como resultado que la erosión media en la cuenca es 135 y 129 Mg/ha/año en los años 1966 y 1996 respectivamente.se concluyó que la distribución espacial de la erosión, evaluada por (R) USLE, ha cambiado significativamente dentro de la cuenca de río de Burbusay, pero sus magnitudes medias se mantienen casi constante.

Clerici, C. (2001). Aplicaciones del modelo USLE/RUSLE para estimar pérdidas de suelo por erosión en Uruguay y la región sur de la cuenca del rio de la Plata. El objetivo de esta comunicación es presentar

sistemáticamente el modelo USLE/RUSLE (Ecuación Universal de pérdida de Suelo/ Ecuación Universal de pérdida de Suelo Revisado) para estimar la tasa de erosión en Uruguay y la región sur de la cuenca del río de la Plata. En Uruguay y en la región, como forma de ilustrar las diferentes escalas de sus usos potenciales. Estos van desde el nivel de detalle para la planificación del uso y manejo del suelo en un predio, pasan por la previsión del efecto de un cultivo nuevo en una. zona (arroz en N de Uruguay) y la estimación de pérdida de suelo en una cuenca como la del arroyo Pan de Azúcar, hasta el nivel de la región sur de la Cuenca del rio de la Plata. Con el método USLE/RUSLE es una herramienta disponible para contribuir a dar cumplimiento y usar en la fiscalización de la Conservación de Suelos y aguas, así como en la evaluación del impacto ambiental en lo referente a erosión y sedimentación.

Honorato, R. (2001). Evaluación del modelo USLE en la estimación de la erosión en seis localidades entre la IV Y IX región de Chile, departamento de recursos naturales. Facultad de agronomía e ingeniera forestal pontificia universidad Católica de Chile. Indica que en las seis localidades de la región de Chile el uso inadecuado y el abuso de prácticas agrícolas se da la erosión del suelo por escurrimiento hídrico, cuyo origen está en la acción del agua sobre una superficie desprovista de cobertura vegetal.

María, F. (2004). Sistemas de información geográfica en la evaluación de la erosión hídrica en Badajoz - España aplicando la metodología USLE. El objetivo de este estudio es realizar el cálculo de la erosión hídrica de un área de la Provincia de Badajoz, mediante la aplicación de la USLE, utilizando los SIG como herramienta para la generación de mapas de pérdidas de suelo por erosión. La aplicación de la USLE muestra que 53% de la zona en estudio tiene una tasa de erosión de 10 Mg ha^{-1} $año^{-1}$. Por debajo del nivel de tolerancia, si se toma en cuenta el nivel de referencia propuesto por el ICONA (1991) que es de 12,5 Mg ha^{-1} $año^{-1}$. La superficie que corresponde fundamentalmente a Sierras y Montes (27%), tiene una tasa de erosión entre

10 y 25 Mg ha^{-1} $año^{-1}$ y la superficie restantes (20%) corresponde a pérdidas por erosión superiores de 25 Mg ha^{-1} $año^{-1}$.

Argueta, Juan. (2010). Estimación de los riesgos y niveles de erosión hídrica en la microcuenca del río Negro, Chimaltenango, grado adámico de Licenciado, Guatemala, San Carlos. Afirma que los suelos en la república de Guatemala, se da el proceso de erosión hídrica el cual depende de una serie de factores como: fuerzas erosivas de impacto de la lluvia en el suelo, resistencia de las partículas de suelo al desprendimiento, relieve del terreno que favorece el transporte/deposición de partículas de suelo, cobertura de la tierra que funciona como capa protectora, y actividades humanas que favorecen el proceso de erosión.

Santacruz De León, Germán (2011). Estimación de la erosión hídrica y su relación con el uso de suelo en la cuenca el río Cahoacán, Chiapas, México. Indica que en los últimos años en la costa de Chiapas se han presentado graves procesos de erosión debido a los cambios de uso de suelo.

2.2 Revisión bibliográfica

2.2.1 Ecuación universal de pérdida de suelo (USLE).

Wischmeier (1978), desarrolla una metodología para la estimación de la erosión laminar en parcelas pequeñas, representa una metodología eficiente para el cálculo de las pérdidas de suelo en tierras agrícolas y manejo de cuencas, en especial aquellas que conllevan a un cambio del uso de la tierra y manejo de suelos. De acuerdo a la USLE, la tasa de pérdidas de suelo por erosión hídrica, A, es una función de: el **poder erosivo de la lluvia**, R, la **erodabilidad de los suelos**, K, la **cobertura vegetal**, C, la **práctica conservacionista**, P y el **factor combinado de la pendiente y la longitud de la misma**, LS; todos estos factores conforman la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.

USLE, la cual se expresa en la ecuación 1.

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

Donde:

A = Pérdida media anual de suelos (Ton/ha x año)

R= Factor de erosividad de la lluvia (MJ/ha*mm/hr)

K=Factor de erodabilidad del suelo (Ton/ha.MJ*ha/mm*hr)

LS=Factor topográfico (función de longitud- inclinación – forma de la pendiente)

C = Factor ordenación de los cultivos (cubierta vegetal)

P = Factor de prácticas de conservación de suelo (conservación de la estructura del suelo).

Determinación de los factores de la erosión hídrica

Wischmeier (1978), además manifiesta que, los factores que controlan la erosión: son el clima con su erosividad, las características del suelo presente en el terreno, el relieve topográfico con su pendiente y la cobertura vegetal propia de la superficie.

A. **Factor de erosividad de lluvia (R)**

Cuando se refiere al factor de erosividad de lluvia la FAO manifiesta que, es la capacidad en función de las características físicas de la lluvia.

La ecuación desarrollada por la FAO, denominada índice modificado de Fournier (elaborado por Arnoldus, 1977), es ampliamente utilizado debido a su simplicidad, la cual se expresa en la ecuación 2.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{12} PPm^2}{PPa} \quad (2)$$

Donde:

R = Factor de erosividad de la lluvia (MJ/ha*mm/hr).

PPm= Precipitación media mensual.

PPa= Precipitación media anual.

Tabla 2.1: Clasificación de rangos típicos de R anual

CLASE	R (MJ/ha*mm/hr)
Muy baja	< 500
Baja	500 - 1000
Mediana	1000 - 3000
Alta	3000 - 6000
Muy alta	> 6000

Fuente: Mannaerts (1999

B. **Factor de erodabilidad (K)**

Wischmeier (1978), la erodabilidad refiere que este factor representa la susceptibilidad del suelo a la erosión hídrica. Para su cálculo se utilizaron los resultados de las muestras de suelo analizadas aplicando el Nomograma de erosionabilidad.

Los parámetros utilizados para la determinación fueron:

- Contenido (%) de limo + arena muy fina ·
- Contenido (%) de arena> 0,1 mm.
- Contenido (%) de MO ·
- Estructura del suelo.
- Permeabilidad.

El factor de erodabilidad del suelo puede ser estimado de manera directa a través de una ecuación, o bien de manera gráfica. Para ambos métodos es necesario, sin embargo, efectuar determinaciones previas de ciertas propiedades que se revisan en la ecuación 3.

$$K=1.313*[2.1*10^{-4} *(12-OM)*M^{1.14}+3.25*(S-2)+2.5*(P-3)]/100 \qquad (3)$$

Donde:

K= Factor de erodabilidad del suelo (t/ha.MJ*ha/mm*hr)

OM= Materia orgánicas (%)

S = Código de la Estructura del suelo.

P = Código de permeabilidad

M = Producto de las fracciones del tamaño de las partículas ó

(% Limo+%Arena muy Fina)*(100 - %arcilla).

- **Textura.**

Mancilla, G. (2008), en relación a la textura del suelo manifiesta que, esta se determina a través del método de la pipeta, de tal manera de conocer los montos de arena, limo, arcilla y arenas muy finas (entre 0,05 y 0,1 mm de

diámetro). 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**

Mancilla, G. (2008), señala que se estima su proporción porcentual dentro del suelo, para lo cual se efectúa un análisis de Walkley-Black a las muestras obtenidas. 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%, como se muestra en la tabla 2.2.

Tabla 2.2: Factores de erosionabilidad del suelo asociado a la textura y al contenido de materia orgánica. (Los valores de K expresados (ton/ha.MJ*ha/mm*hr)

Textura	Valores de K		
	Contenido de materia orgánica		
	<0.5 %	2%	4%
Arena	0.007	0.04	0.003
Arena Fina	0.021	0.018	0.013
Arena Muy Fina	0.055	0.047	0.037
Arena franca	0.016	0.013	0.011
Arena fina franca	0.032	0.026	0.021
Arena muy fina franca	0.058	0.05	0.04
Franco arenoso	0.036	0.032	0.025
Franco arenoso fino	0.046	0.04	0.032
Franco arenoso muy fino	0.062	0.054	0.043
Franco	0.05	0.045	0.038
Limo franco	0.063	0.055	0.043
Limo	0.079	0.068	0.055
Franco areno arcilloso	0.036	0.033	0.028
Franco arcilloso	0.037	0.033	0.028
Franco arcillo limoso	0.049	0.042	0.034
Arcilla arenosa	0.018	0.017	0.016
Arcilla limosa	0.033	0.03	0.025

Fuente: Kirkby y Morgan (1980)

- **Estructura del suelo**

Mancilla, G. (2008), indica que se efectúa su determinación mediante observación visual y tacto. Para ello es recomendable en un principio, emplear algún manual para comparación. De acuerdo a USLE, las categorías y códigos empleados son sólo cuatro como se muestra en la tabla 2.3.

Tabla 2.3: Tipo de estructura

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

Fuente: Mancilla, G. 2008.

Método para determinar la permeabilidad

Mancilla, G. (2008). En USLE, se asignan seis valores o códigos diferentes de acuerdo a la permeabilidad de un suelo determinado, el cual se muestra en la tabla 2.4.

Tabla 2.4: Factores de erosionabilidad del suelo asociado a la textura y al contenido de materia orgánica. (Los valores de K expresados (t/ha.MJ*ha/mm*hr)

Textura clase	Permeabilidad código	Conductividad hidráulica saturada (mm hr)	SCS grupo hidrológico de suelo
Arcilla, franco arcilloso	6	<1	D
Arcillo arenoso, franco arcillo limoso	5	1 - 2	C-D
Franco arcillo arenoso, franco arcilloso	4	2 - 5	C
Franco limoso, franco	3	5 - 10	B
Areno francoso, franco arenoso.	2	10 - 60	A
Arena	1	> 60	A

Fuente: Mancilla, G. (2008).

Tabla N° 2.5: Valores asignados según el Índice de erodabilidad

Índice	Descripción	Rango
1	Bajo	0 - 3
2	Moderado	3 - 6
3	Alto	> 6

Fuente: Almorox et al. (2010)

C. **Determinación de los factores topográficos LS (Longitud y grado de pendiente, respectivamente)**

Arnoldus (1977) indica que esta forma de cálculo se emplea en unidades Inglesas, las cuales no son de habitual en Chile y la mayor parte de los países. Para determinar la necesidad de incurrir en transformaciones de unidades, es conveniente utilizar la fórmula para "LS".

$$LS = (\gamma/22.1)^{0.6} * (S/9)^{1.4} \quad (4)$$

Donde:

γ: Representa la longitud de la ladera en pendiente (en metros)

S: Es el porcentaje de dicha inclinación.

Según Foster (1977), citado por Barrios y Quiñones (2000) indica que λ es la longitud de la pendiente (m), m es el exponente de la longitud de la pendiente y β es el ángulo de la pendiente. La longitud de la pendiente se define como la distancia horizontal desde donde se origina el flujo superficial al punto donde comienza la deposición o donde la escorrentía fluye a un canal definido.

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13}\right)^{m} \quad (5)$$

$$m = \frac{F}{(1+F)} \quad (6)$$

$$F = \frac{sin\beta/0.0896}{3(sin\beta)^{0.8} + 0.56} \quad (7)$$

Variable L:

$$L_{(i,j)} = (A_{(i,j)}+D^2)^{m+1}-A_{(i,j)}{}^{m+1}/(X^m*D^{m+2}*(22.13)^m) \qquad (8)$$

Donde A (i, j) [m] es el área aportadora unitaria a la entrada de un pixel (celda), D es el tamaño del pixel y X es el factor de corrección de forma

Variable S:

$$S_{(i,j)} = \begin{cases} 10.8\sin\beta_{(i,j)} + 0.03 & \tan\beta_{(i,j)} < 0.09 \\ 16.8\sin\beta_{(i,j)} - 0.5 & \tan\beta_{(i,j)} \geq 0.09 \end{cases} \qquad (9)$$

Velásquez (2008) dice que, cuando se aplica esta fórmula en el Raster Calculator del ArcGIS se debe tomar en cuenta que el ángulo deberá ser convertido a radianes (1 grado sexagesimal = 0,01745 radianes), para que pueda ser multiplicado por los demás componentes de las ecuaciones, los cuales se reemplazó en el programa de la siguiente manera:

Variable F: (Sin("slope%"*0.01745) / 0.0896)/(3*Power(Sin("slope%" *0.01745),0.8)+0.56))

Variable m: "factor F/ (1+"factor F")

Factor L : (Power(("acumulation"+625),("factor m"+1)) - Power("acumulation",("factor m"+1))) /(Power(25,("factor "m"+2)) * Power(22.13,"factor m"))

Factor S : Con((Tan("slope%"*0.01745) < 0.09),(10.8 *Sin("slope%" * 0.01745) + 0.03),(16.8 * Sin("slope%"*0.01745)- 0.5))

Factor LS: "Factor L" * "Factor S"

Tabla 2.6: Rangos de pendiente en % y el factor L.S

GRUPOS DE PENDIENTES EN %	FACTOR L.S
0 - 3	0.3
3 - 12	1.5
12 - 18	3.4
18 - 24	5.6
24 - 30	8.7
30 - 60	14.6
60 - 70	20.2
70 - 100	25.2
> 100	28.5

Fuente: Edeso, J., Marauri, P., Merino, A., Gonzales, J. (1997)

D. **Factor de cobertura vegetal (C)**

(Instituto para la conservación de la naturaleza) I.C.O.N.A (1982) refiere que El factor "C" representa el grado de protección que un determinado tipo de cubierta vegetal ofrece al suelo, en oposición al resto de las variables que facilitan la erosión hídrica. Los valores del factor C de uso del suelo se deducen de la cobertura de usos del suelo, para ello se utilizarón los valores medios adoptados en la tabla 2.7.

Tabla 2.7: Tipo de cubierta vegetal, según el cultivo

Cultivo	Factor C
Suelo desnudo	1
Bosque, matorral denso o cultivo con acolchado	0.001
Sabana o pradera herbácea en buen estado	0.01
Sabana o pradera herbácea sobrepastoreada	0.1
Maíz o similar intensivo con laboreo	0.7
Maíz o similar intensivo sin laboreo	0.35
Maíz o similar extensivo sin laboreo	0.06
Algodón	0.55
Trigo	0.25
Arroz	0.15
Patata	0.25
Hortícolas	0.33

Fuente: ICONA (1982)

E. **Factor de prácticas de conservación (P)**

Wischmeier y Smith (1978) señala, el empleo de prácticas de conservación en el suelo minimiza el efecto del flujo de agua. Al respecto, USLE incluye el factor "P" de prácticas de conservación para tres situaciones:

- El empleo de labranza siguiendo las curvas de nivel (cultivo en contorno)
- El empleo de fajas de cultivo en contorno.
- El empleo de terrazas.

El factor de prácticas de apoyo de conservación, es la proporción de pérdida de suelo con una práctica de apoyo como cultivo en contorno, barreras vivas, o cultivo en terrazas, con respecto a aquella labranza en el sentido de la pendiente, se tiene la tabla 2.8.

Tabla 2.8: Factor de método de control de la erosión P

Pendiente del terreno, porcentaje	Cultivo en contorno	Cultivo en franjas de contorno y surcos irrigados	Terraceo
1-2	0.6	0.30	0.12
3 - 8	0.5	0.25	0.10
9 - 12	0.6	0.30	0.12
13 - 16	0.7	0.35	0.14
17 - 20	0.8	0.40	0.16

Fuente: Wischmeier y Smith (1978)

Clasificación de la degradación de suelo causada por la erosión

FAO (1980), muestra la tabla de clasificación de degradación del suelo causada por la erosión, como se observa en la tabla 2.9.

TABLA 2.9: Clasificación de la degradación de suelo causada por la erosión

Categoría	Pérdida de suelo (Ton/ha/año)
Ninguna a ligera	< 10
Moderada	10 – 50
Alta	50 - 200
Muy alta	> 200

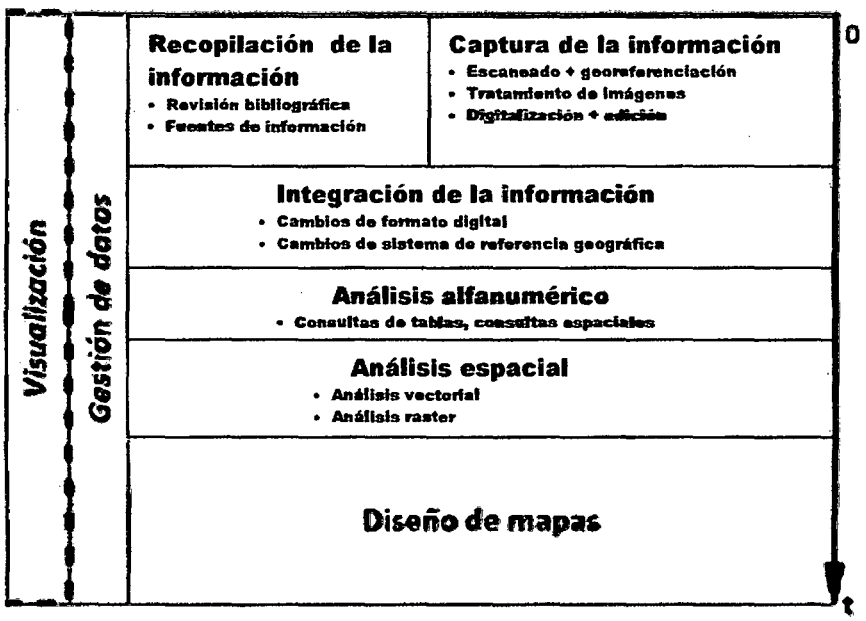
Fuente: FAO (1980)

2.2.2 Sistema de información geográfica (SIG)

Bosque, Joaquín (2000). Es un conjunto de mapas de la misma porción del territorio, donde un lugar concreto tiene la misma localización (mismas coordenadas) en todos los mapas incluidos en el sistema de información. De este modo, resulta posible realizar el análisis de sus características espaciales y temáticas para obtener un mejor conocimiento de una zona.

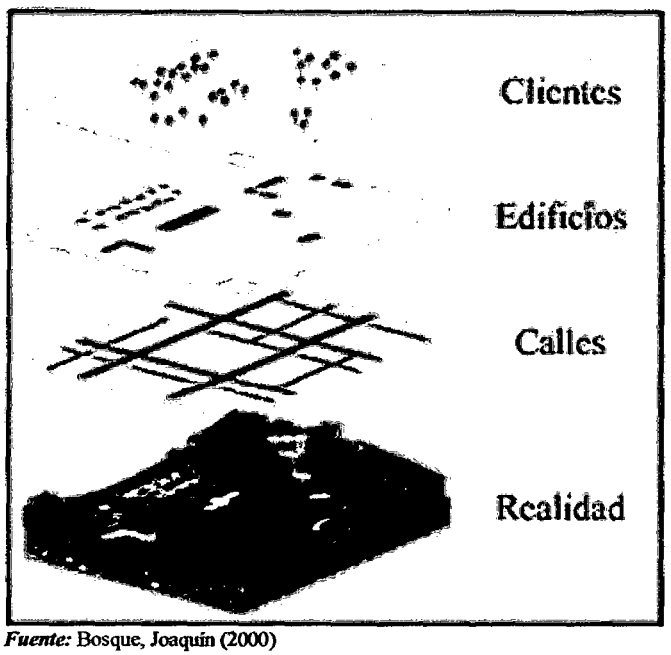
Peña, Juan. (2006). Se trata de un sistema integrado para trabajar con información espacial, herramienta esencial para el análisis y toma de decisiones en muchas áreas del conocimiento.

La base SIG es por tanto, una serie de capas de información espacial en formato digital que presentan diversas variables (formato raster), o bien capas que representan objetos (formato vectorial) a los que corresponden varias entradas en una base de datos enlazada. Esta estructura permite combinar en un mismo sistema, información con orígenes y formatos muy diversos, incrementando la complejidad del sistema, como se muestra en la figura 2.2.



Fuente: Mancebo (2008)

Figura 2.1: Fases típicas del Sistema de Información Geográfica (SIG)



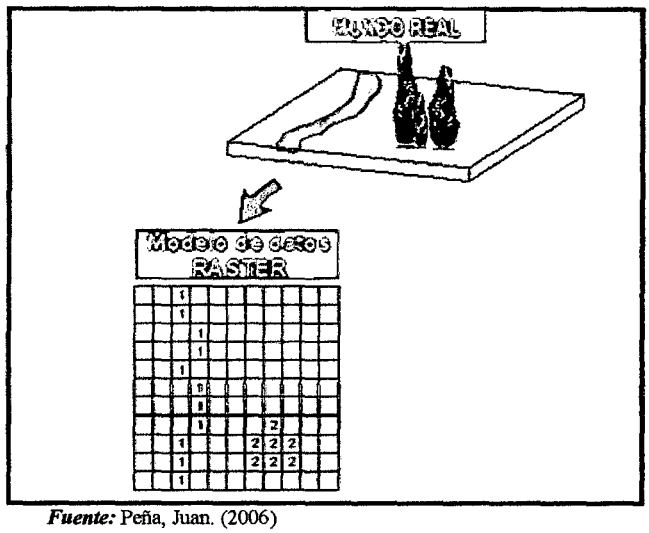
Fuente: Bosque, Joaquín (2000)

Figura 2.2: Modelo de representación de datos de un SIG

A. Formato raster

Mancebo (2008). Consiste en un conjunto de mapas individuales, todos referidos a la misma zona del espacio, y todos ellos representados digitalmente en forma "raster", es decir utilizando una rejilla de rectángulos regulares y de igual tamaño. En cada uno de estos rectángulos o posiciones un número codifica el valor que alcanza en ese punto (pixel) del espacio la variable cartografiada en el mapa. Cada pixel es codificado con un número que indica el valor temático que existe en ese lugar. Existe mucha repetición de valores.

Peña, Juan (2006). El ejemplo más destacable es el modelo digital del terreno que viene a representar la variación continua de una variable que se presenta en la superficie terrestre mediante una malla teselar concoordenadas XY y la representación de una tercera variable de acuerdo al fenómeno analizado. Los modelos digitales del terreno son aplicables no solo a la variable elevación, sino a cualquier otra variable que presente una variación continua sobre el espacio (precipitaciones, presión atmosférica, temperaturas, pendientes, etc.), como se muestra en la figura 2.3.



Fuente: Peña, Juan. (2006)

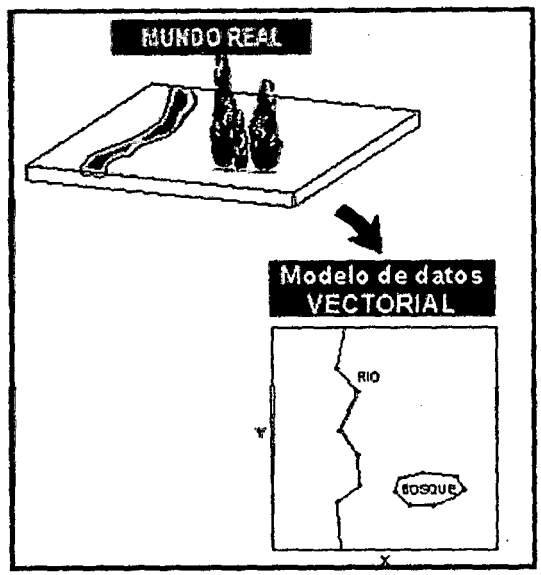
Figura 2.3: Modelo de representación en formato Raster

Existen diversas clasificaciones de los datos raster que tienden a diferenciarlos utilizando criterios como los que a continuación se presenta:

- Según el valor del pixel:
  - Continuos.
  - Discretos o temáticos.
- Según el número de bandas o variables almacenadas en el raster.
- Según el tipo de datos almacenado y la fuente de procedencia:
  - Imágenes de Satélite
  - Raster espectrales (incluye fotografía aérea).
  - Modelos Digitales del Terreno.
  - Raster temáticos.
  - Fotografía convencional (podría incluirse dentro del primer grupo)

B. Formato vectorial

Peña, Juan (2006). La "realidad" está dividida en una serie de objetos discretos: puntos, líneas, polígonos a los que se les puede asignar propiedades cualitativas o cuantitativas, representado por la figura 2.4.



Fuente: Peña, Juan. (2006)

Figura 2.4: Modelo de representación en formato vectorial

Mancebo (2008). ArcGIS Desktop de ESRI tiene una estructura modular compuesta de tres aplicaciones principales: ArcMap, ArcCatalog, y ArcToolbox. Se ofrecen tres niveles de licencia para su producto, que van aumentando las capacidades de sus tres componentes. Los tres niveles de licencias son, en orden ascendente de capacidad: ArcView, ArcEditor, y ArcInfo.

1. ArcMap

Mancebo (2008). Tiene como funciones:

Operación con mapas:

- Visualización
- Edición (de shapefiles y geodatabase)
- Selecciones graficas
- Análisis (de shapefiles, geodatabase y grids)
- Diseño de mapas

Operaciones con bases de datos:

- Consultas
- Informes
- Estadísticas

- Resúmenes

2. **ArcCatalog**

Mancebo (2008). Se ocupa de permitir en forma simple el acceso y manejo de los archivos de datos geoespaciales. Permite poder crear nuevas coberturas, encontrar los datos que se necesitan, rápidamente visualizarlos, y crear o modificar sus metadatos (información que describen a los datos). También se puede definir la forma en que los datos se almacenan en las carpetas, discos duros, o bases de datos relacionales que pueden estar disponibles en la red (internet).permite:

- Crear datos (geográficos)
- Gestionar datos
- Crear metadatos
- Realizar conexiones con bases de datos externas

3. **ArcToolbox**

Mancebo (2008). Se utiliza para:

- Conversión de formatos
- Definir proyecciones y reproyectar capas
- Gestión de datos
- Análisis
- Crear herramientas personalizadas (programación)

Mancebo (2008). Arc GIS en diferentes versiones es principalmente un SIG vectorial, sin embargo, existen multitud de extensiones que completan sus capacidades. Las más relevantes son:

- Spatial Analyst: funcionalidad raster
- 3D Analyst: para escenas tridimensionales interactivas, herramientas de modelamiento tridimensional, herramientas Arc TIN.
- Geostatiscal Analyst: operaciones de estadística espacial.
- Survey Analiyst: funcionalidad topografica clásica, estaciones totales.
- Tracking Analyst: funcionalidad para topografía moderna, GPS.
- Network Analyst: análisis de redes (desde la versión 9.1).

C. Álgebra de mapas

Quispe, José (2011). El álgebra de mapas incluye un amplio conjunto de operadores que se ejecutan sobre una o varias capas raster de entrada para producir una o varias capas raster de salida. Por operador se entiende un algoritmo que realiza una misma operación en todas las celdillas de una capa raster. Estos operadores se definen mediante ecuaciones.

Cada capa raster es una matriz de números y la operación se realiza para todos los números de la matriz, por tanto para todas las celdillas de la capa raster. Sin embargo aunque ambas operan sobre matrices, el álgebra de mapas tiene poco más que ver con el concepto matemático de álgebra matricial.

La herramienta básica para el álgebra de mapas es el arctoolbox, este procedimiento se observa en la figura 2.5.

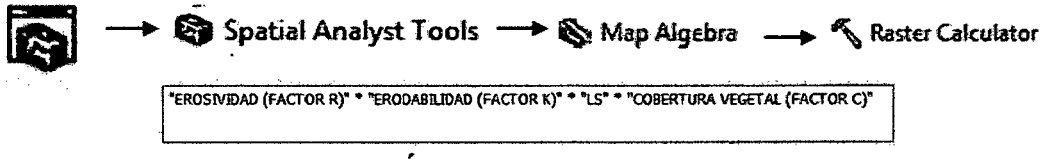


Figura 2.5: Álgebra de mapas

2.3 Definición de términos

- **Erosión**

Marelli, Hugo. (2004). Área, suelos y producción vegetal. Define que, la erosión es un proceso de desagregación, transporte y deposición de las partículas de la masa de suelo que ocurre naturalmente, no obstante, es casi siempre magnificado por la acción del hombre.

- **Erosividad**

Batsford, B. (1982). Conservación del suelo. Define que, es la capacidad potencial de la lluvia para provocar la erosión. Es función de las características físicas de la lluvia.

- **Erodabilidad**

Torres, Stalin. (1982). Glosario de términos comunes en las clasificaciones interpretativas de suelos. Define que, es una cualidad que señala la erosión que se puede esperar en un suelo bajo condiciones específicas de clima y manejo, es

equivalente a susceptibilidad del suelo a la erosión; Es la vulnerabilidad o susceptibilidad del suelo a la erosión. Es función tanto de las características, físicas de los suelos como de su manejo.

Chela, Efraín. (2008). Evaluación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en tres sistemas de producción en la microcuenca de la Quebrada Chilcapamba, canton Chillanes, provincia Bolívar. Define que, la erodabilidad ha sido como una propiedad intrínseca del suelo, que expresa la susceptibilidad del suelo a la erosión. Las características que la afectan tienen que ver con los dos procesos básicos de la erosión: la separación y el transporte. Sin embargo, muchos investigadores sostienen que la evaluación de la estabilidad de la estructura debe contemplar el efecto del impacto de la gota de lluvia, principal agente activo en el proceso de erosión. Igualmente, se ha demostrado que en el proceso de erosión el sello superficial formado por el impacto de la gota de lluvia conduce a una marcad reducción de la tasa de infiltración, por lo que debe ser tomado en cuenta al momento de evaluar la susceptibilidad del suelo a la erosión.

- **Erosión hídrica**

Morgan (1994). Define que es un proceso natural, pero su distribución en el tiempo y en el espacio, es el resultado de circunstancias físicas y humanas. Desde que la tierra se cultivó por primera vez, la erosión del suelo por el agua y el viento han sido un problema constante y progresiva de la capa superficial del suelo es por la acción del agua.

Según Sánchez, C. (2001). Define que la erosión hídrica constituye el principal proceso de degradación que afecta a los suelos en ámbito mediterráneo y representa una de las formas más completas de degradación englobando tanto la degradación física del suelo como la quica y biológica.

Chela, Efraín. (2008). Evaluación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en tres sistemas de producción en la microcuenca de la Quebrada Chilcapamba, Canton Chillanes, provincia Bolívar. Define que, la erosión hídrica es el proceso físico mediante el cual el suelo es desprendido, arrastrado y depositado en otro

lugar por la acción mecánica del agua. El impacto de las gotas de lluvia y el escurrimiento superficial son agentes extremos que disgregan las partículas de suelo y provocan su transporte.

- **Permeabilidad**

Cortes, Ángel. (2003). Ideas sobre la permeabilidad en estudiantes de magisterio. Hace referencia a aquello que puede ser penetrado o traspasado por el agua u otro fluido. Permeabilidad, por tanto, es cualidad de permeable.

Cortes, Ángel. (2006). Análisis de los contenidos sobre "permeabilidad" en los libros de texto de educación primaria. Define que, la permeabilidad es una propiedad de los materiales que consiste en la capacidad de un material para ser atravesado por fluido, depende del líquido viscoso del fluido que atraviesa el material y del tiempo.

III. MATERIALES Y METÓDOS

3.1 Zona de estudio

El área de ejecución del proyecto es la microcuenca de Ranrahirca de 144.62 Km^2 y un perímetro de 66 Km, el cual se encuentra ubicado de la siguiente manera:

a) Ubicación política:

Departamento : Ancash

Provincia : Yungay

Distrito : Ranrahirca

b) Ubicación geográfica (coordenadas UTM datum WGS-84):

Coordenada este : 199589.20 m

Coordenada norte : 8984494.96 m

Altitud : 2 438.00 - 6582.00 msnm

c) Ubicación hidrográfica:

Vertiente : Pacifico.

Cuenca : Río Santa.

Microcuenca : Río Ranrahirca.

3.2 Materiales y métodos

3.2.1 Materiales y equipos

a. Materiales:

* DEM del área de estudio de la página web de la NASA, SRTM 90 m digital elevation.
* Imágenes satelitales del SAS PLANET
* Registros de precipitación mensual y anual.
* Barreta.
* Wincha.
* Bolsas.
* Lampa.
* Materiales de escritorio.

b. Equipos:

* GPS
* Cámara Digital Fotográfica
* Software ARC GIS 10.2.
* Laptop con programas de ingeniería (AutoCAD 2013, Software Civil 3D 2013, entre otros básicos).
* Impresoras y Plotters.

3.2.2 Metodología

La metodología que se aplicó para determinar la categorización de la erosión hídrica en la microcuenca de Ranrahirca, fue la ecuación universal de pérdida de suelos (USLE), en el cual se determinó: el factor de Erosividad de la lluvia (R), el factor de erodabilidad (K), el factor topográfico (LS) , el factor de ordenación de los cultivos (C) (Cubierta vegetal) y el factor de prácticas de conservación de suelo (P) (conservación de la estructura del suelo), los factores fueron hallados mediante fórmulas y el uso del software Arc Gis 10.2, por lo cual se continuara con los siguientes pasos.

a) Trabajo de campo

Se realizó el muestreo de suelo en 12 puntos diferentes de la microcuenca y su posterior análisis en el laboratorio, también se observó las unidades de producción y ecología (cultivos, pasturas, bosques, etc.), que existen alrededor de la microcuenca como se observa en la tabla 3.1.

Tabla 3.1: Textura, estructura, permeabilidad, materia orgánica de las muestras de suelo de la microcuenca de Ranrahirca

N° de muestras	Textura			Clase textural	Estructura	Código	Permeabilidad	M.O	Altura	M	K
	Arena	Limo	Arcilla								
1	94	4	2	Arenosa	Granular simple	3	21	1.362	0.3	9604	1.651
2	73	18	9	Franco arenoso	Granular compuesto	3	11.5	2.146	0.3	8281	1.117
3	59	24	17	Franco arenoso	Granular compuesto	3	9.5	2.236	0.3	6889	0.895
4	67	13	20	Franco arenoso	Granular compuesto	3	6.9	1.956	0.6	6400	0.775
5	39	30	31	Franco arcilloso	Angular migajosa	2	4.5	2.432	0.3	4761	0.460
6	73	12	5	Franco arenoso	Granular compuesto	3	11.45	1.725	0.3	8075	1.126
7	67	26	7	Franco arenoso	Granular compuesto	3	6.6	1.918	0.3	8649	1.016
8	81	16	3	Areno franco	Granular simple	3	19.8	2.066	0.3	9409	1.522
9	73	18	9	Franco arenoso	Granular compuesto	3	11.3	1.916	0.3	8281	1.129
10	69	20	11	Franco arenoso	Granular compuesta	3	6.9	1.798	0.6	7921	0.954
11	75	16	9	Franco arenoso	Granular simple	3	11.5	1.832	0.3	8281	1.143
12	69	22	9	Franco arenoso	Granular compuesta	3	6.9	1.974	0.3	8281	0.980

b) Trabajo de gabinete

Comprende el procesamiento y ajuste de la información obtenida en campo de los factores que rigen la erosión hídrica, haciendo uso del software Arc Gis 10.2, se procedió a determinar los factores de la Ecuación Universal de Perdida de Suelo (USLE) generando los mapas de cada factor que interviene en la ecuación con ello se obtuvo el mapa de categorización de la erosión hídrica, para lo cual se siguió el Grafico 3.1

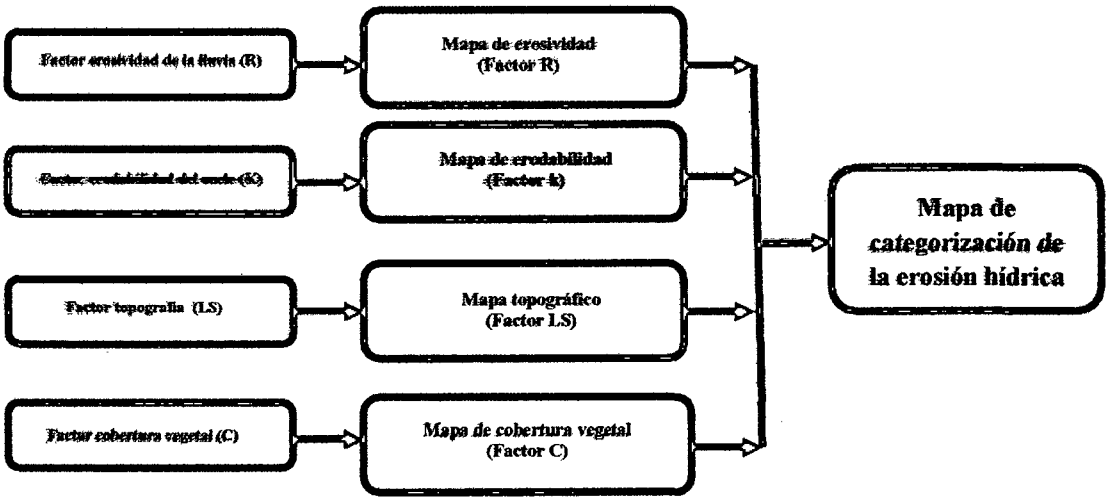


Gráfico 3.1: Diagrama de flujo para la elaboración de los mapas temáticos

Para obtención de los factores del USLE se describe de siguiente manera:

1. **Obtención del DEM del área de trabajo**

   Se obtuvo de la página web de la NASA, SRTM 90 m digital elevation data, enseguida se procedió a cortar el DEM de la zona de trabajo, se delimito la microcuenca a partir de la divisoria topográfica que capta la precipitación el cual escurre hacia el rio Ranrahirca, todo este procedimiento se realizó con el Arc Gis 10.2, como se observa en la figura 3.1.

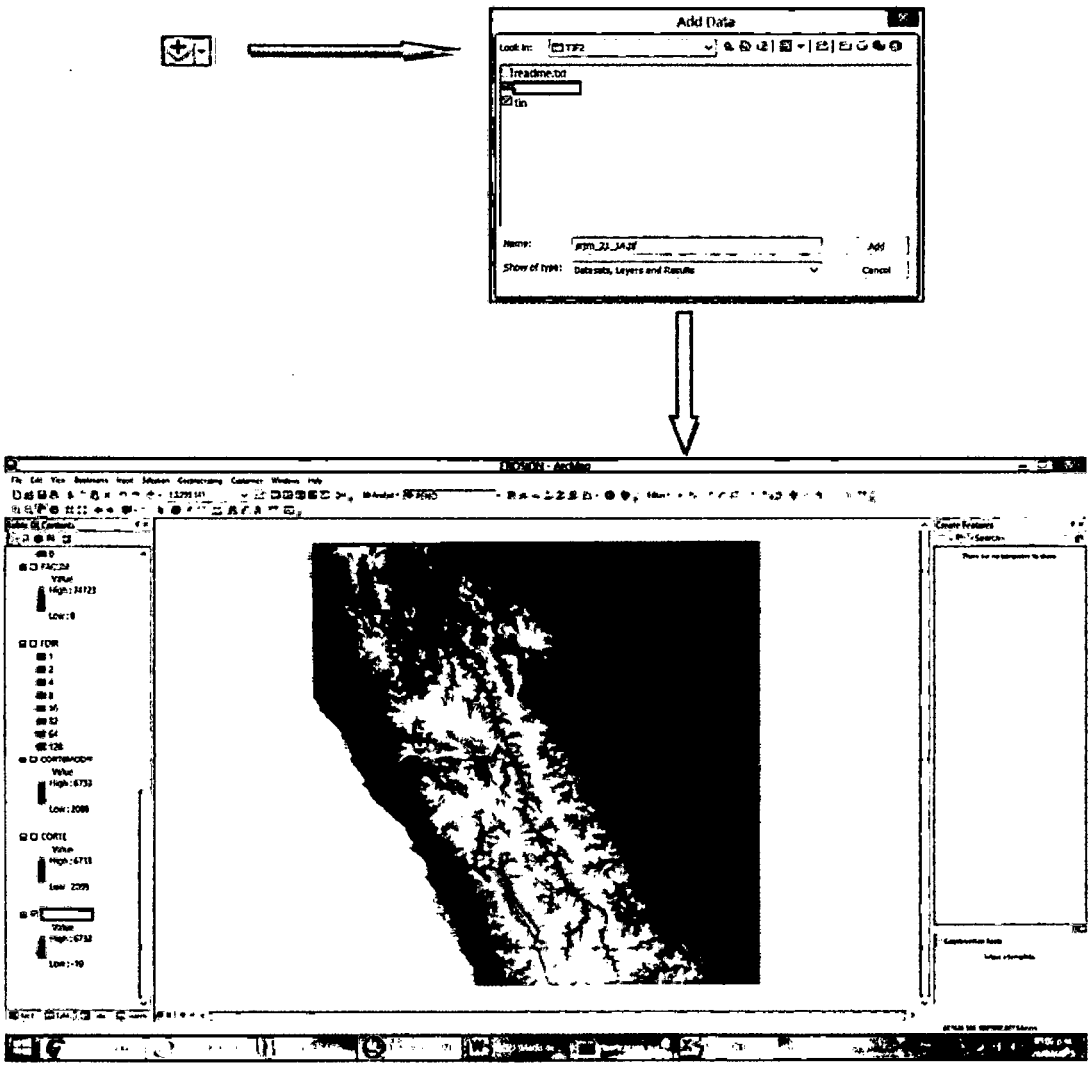


Figura 3.1: Adición del DEM

2. Delimitación de la microcuenca de Ranrahirca

La delimitación de la microcuenca de Ranrahirca, se realizó a partir del DEM con el programa Arc Gis 10.2, como se observa en la figura 3.2.

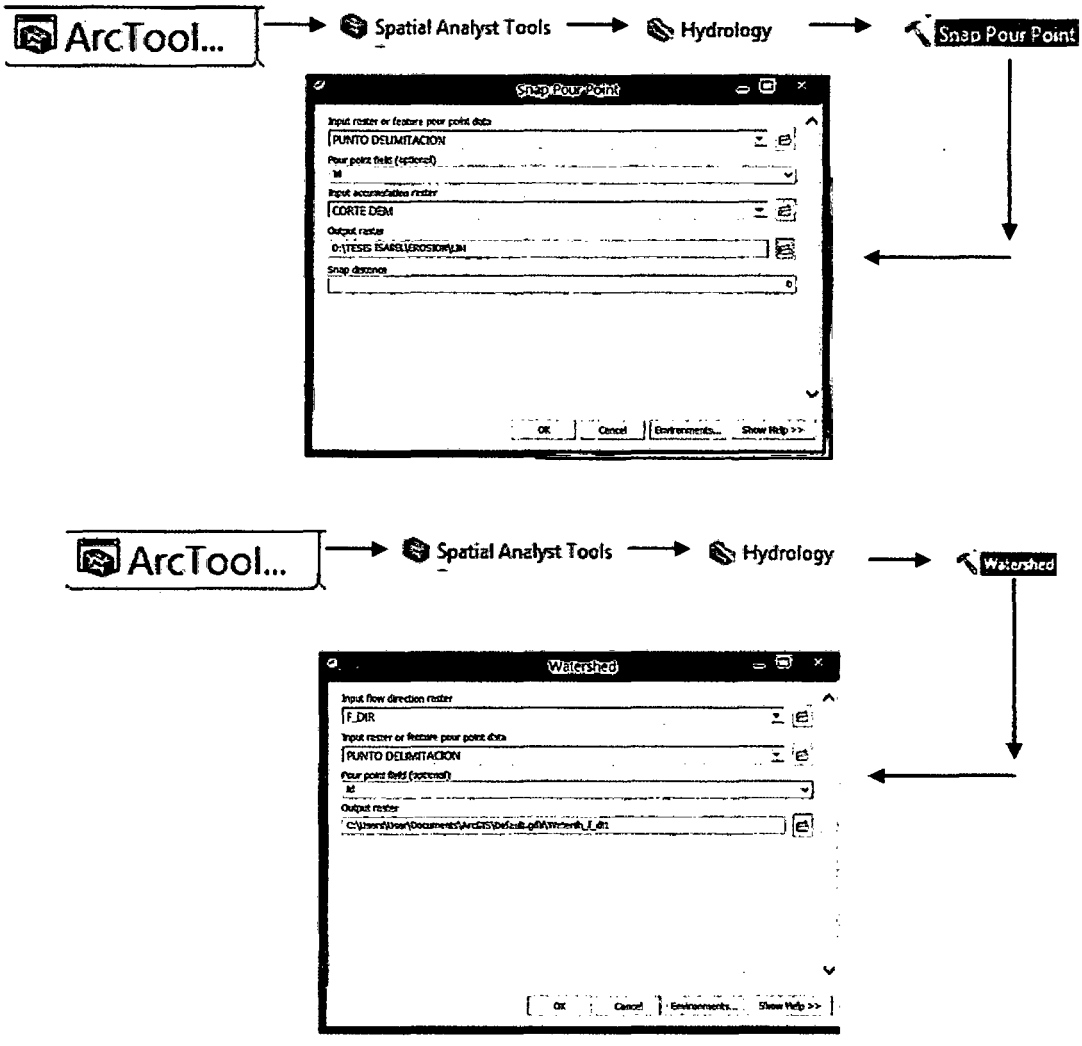


Figura 3.2: Proceso de la delimitación de la microcuenca de Ranrahirca

3. Generación de las curvas de nivel de la microcuenca

Se generó las curvas de nivel de la microcuenca cada 100m a partir del DEM, El proceso se realizó con el programa Arc Gis 10.2 como se presenta en la figura 3.3:

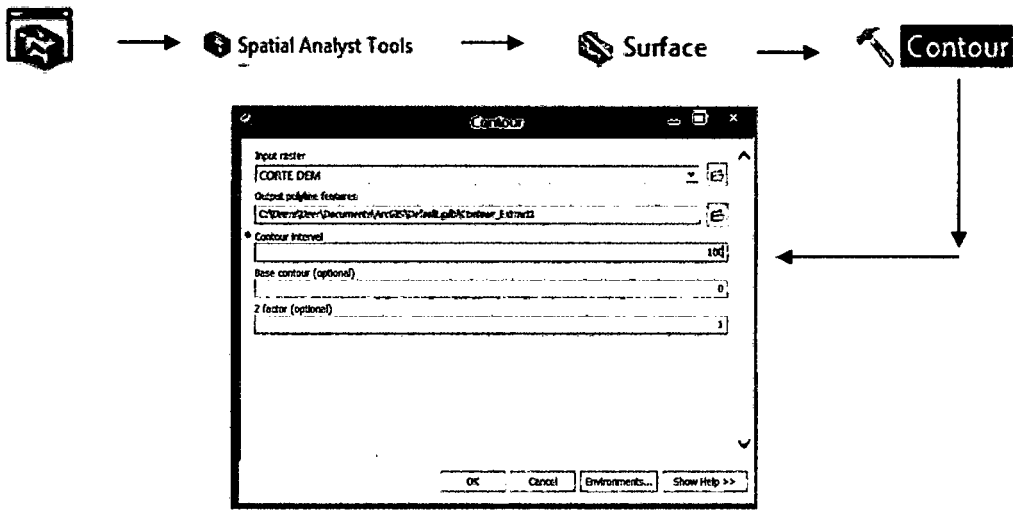


Figura 3.3: Creación de las curvas de nivel (cada 100 m)

4. Obtención de las características pluviométricas

La caracterización pluviométrica de la zona se realizó a partir de datos de cuatro estaciones cercanas a la zona de estudio como son Parón, Llanganuco, Yungay y Chancos de los cuales se obtuvo la precipitación media mensual y media anual de cada estación, se observa en la tabla 3.2, el procesamiento de los datos de precipitación en el Arc gis 10.2 , como se observa en la figura 3.4.

TABLA 3.2: Precipitación media mensual y media anual (PMA)

			PRECIPITACION MEDIA MENSUAL (mm)													PMA
ESTACION	ESTE	NORTE	ALTITUD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	(mm/año)
CHANCOS	217 842.54	8 968 453.23	2840	95.54	92.82	124.56	75.00	19.32	3.46	0.42	2.60	12.00	36.09	45.80	68.46	576.08
PARON	204 453.25	9 003 033.67	4185	105.69	137.55	123.46	84.81	46.36	15.93	5.87	8.69	43.00	66.70	74.38	100.13	812.57
LLANGANUCO	208 912.61	8 995 042.16	3850	89.71	106.03	136.65	75.71	24.74	3.63	0.65	4.47	13.93	34.52	60.11	74.09	624.23
YUNGAY	199 403.60	8 987 654.12	2535	46.55	65.69	78.69	43.08	7.44	1.90	0.41	0.93	21.01	14.46	19.73	36.22	336.10

FUENTE: SENAMHI

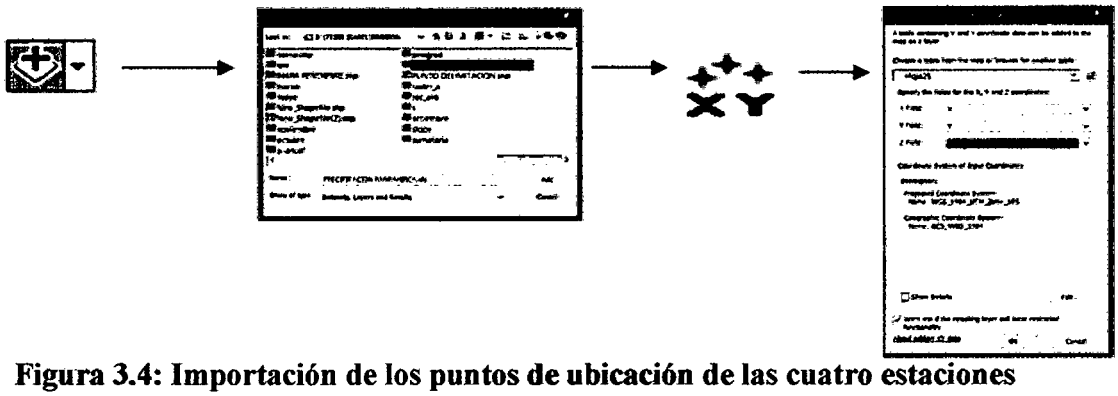


Figura 3.4: Importación de los puntos de ubicación de las cuatro estaciones trabajadas (Llanganuco, Parón, Yungay y Chancos)

5. **Determinación del factor erosividad (R)**

Se obtuvo la información de precipitación de 4 estaciones cercanas a la zona de trabajo con las cuales se trabajó, los datos obtenidos fueron de 30 años por cada estación, hallando la precipitación media mensual y media anual de las cuatro estaciones como se muestra en tabla 3.1. La determinación de este factor se realizó haciendo uso de la ecuación 2.

Se elaboró el mapa de erosividad (factor R), usando el software ArcGis 10.2, como se observa en la figura 3.5 y 3.6.

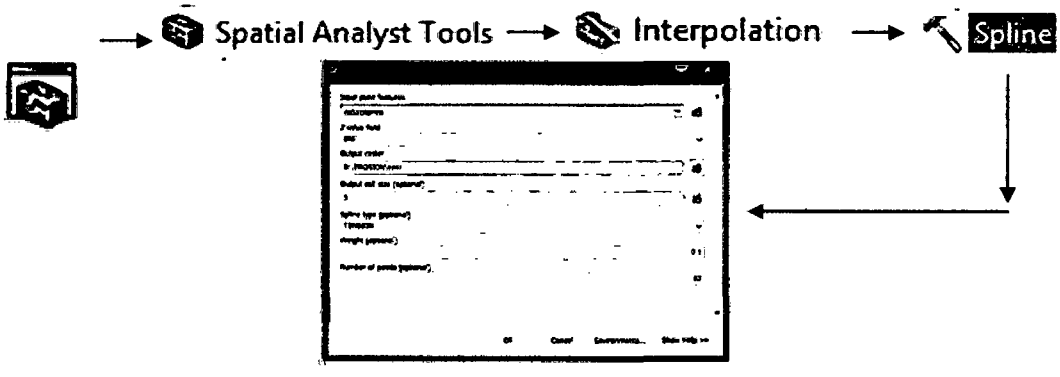


Figura 3.5: Interpolación y corrido de precipitación para el mes de enero (del mismo modo se realizó para los siguientes meses)

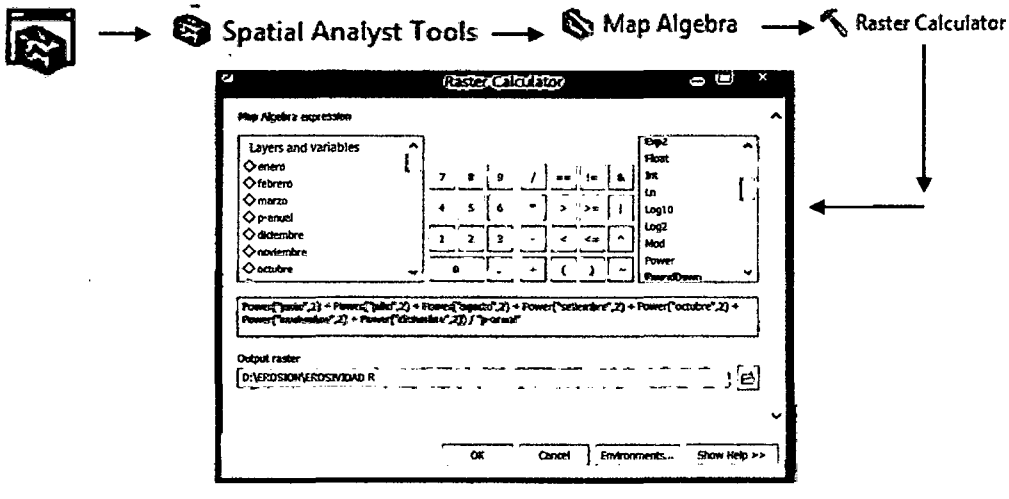


Figura 3.6: Generación del mapa del factor R remplazando en la fórmula

6. **Determinación del factor erodabilidad (K)**

De los resultados obtenidos de las muestras de suelo obtenidas de campo, dichos resultados fueron reemplazados en la ecuación 3.

Se realizó el mapa de erodabilidad (factor K), con el programa Arc Gis 10.2 reemplazando los resultados en dicho programa, como se observa en la figura 3.7 y 3.8.

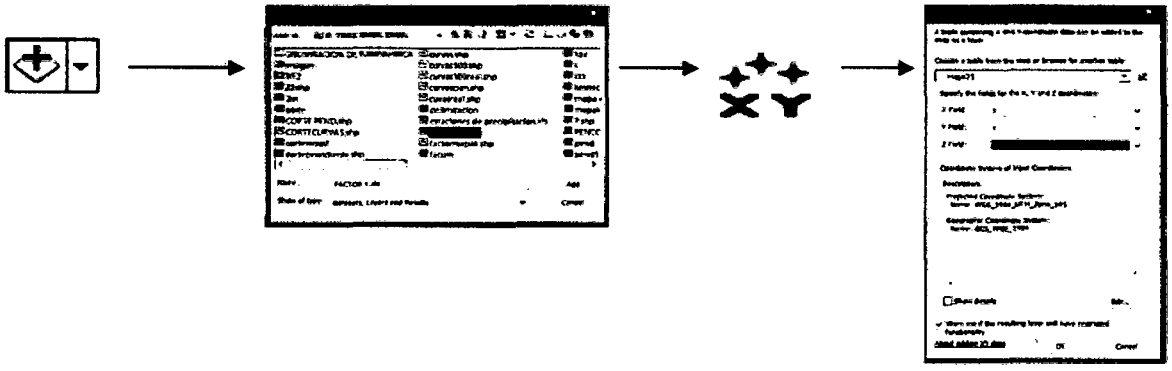


Figura 3.7: Importación de puntos de muestreo de suelo en la microcuenca

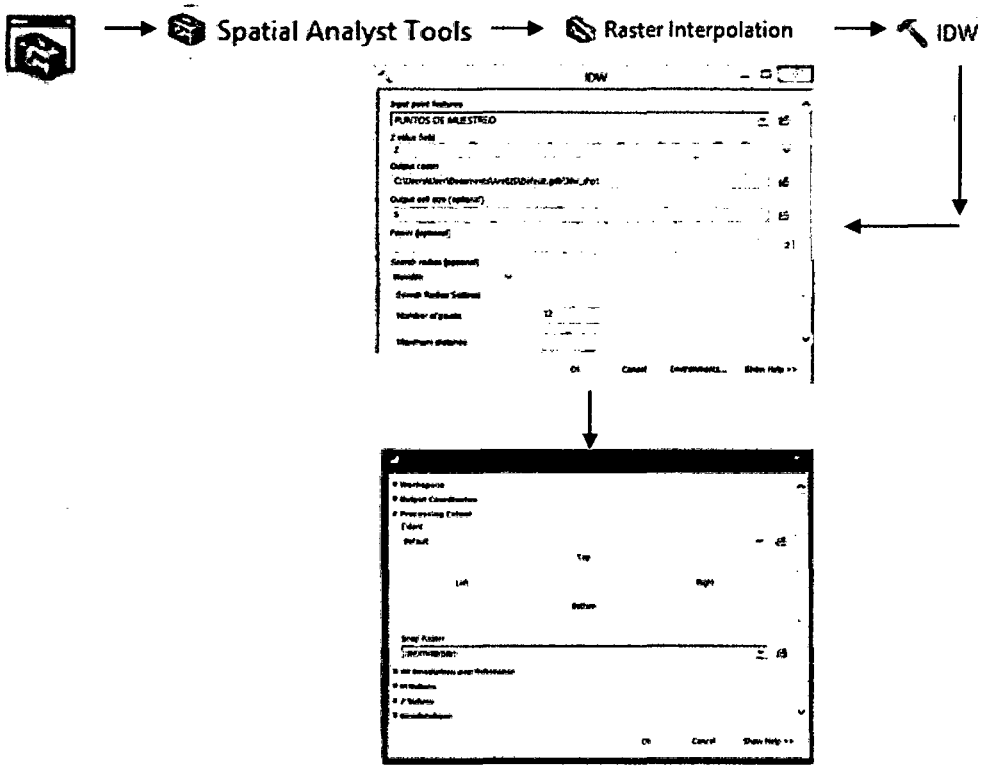


Figura 3.8: Interpolando los puntos para obtener K

7. **Determinación del factor topográfico (LS)**

Se determinó el mapa de pendientes de la microcuenca de Ranrahirca el cual se realizó en el programa Arc Gis 10.2 y se observa en la figura 3.11. El factor topográfico (LS) se obtuvo reemplazando en las ecuaciones 5, 6,7 y 8, como se observa en las figuras: 3.9 al 3.17

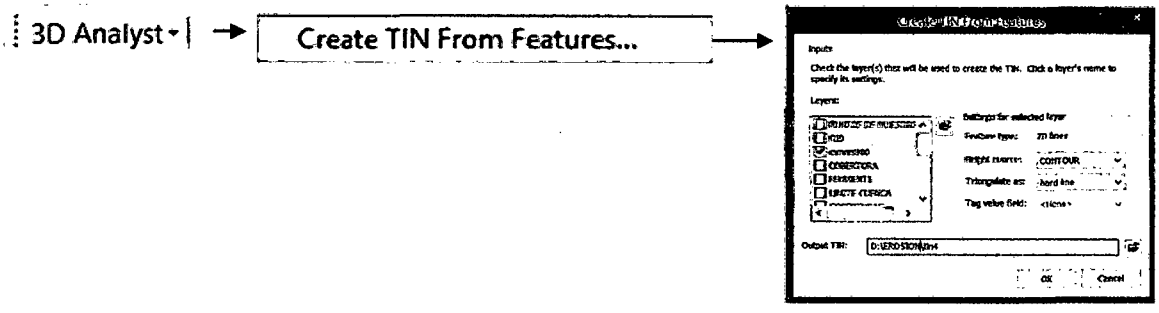


Figura 3.9: A partir de las curvas de nivel se creara la pendiente de la microcuenca

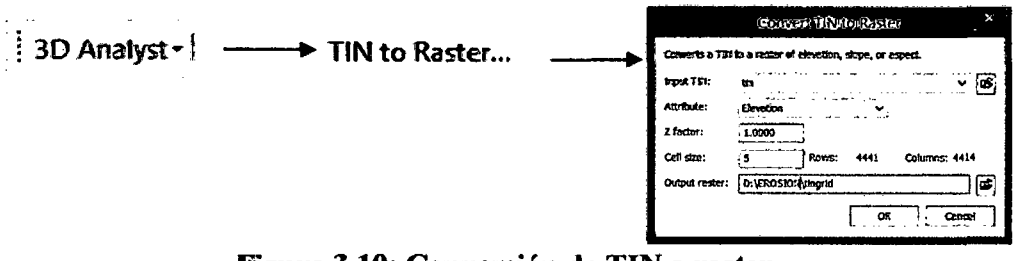


Figura 3.10: Conversión de TIN a raster

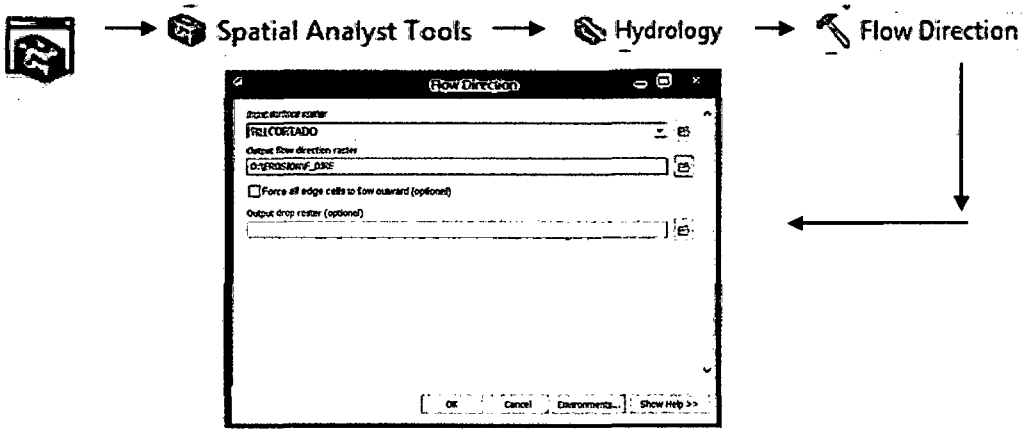


Figura 3.11: Proceso del corte del DEM a flow direction

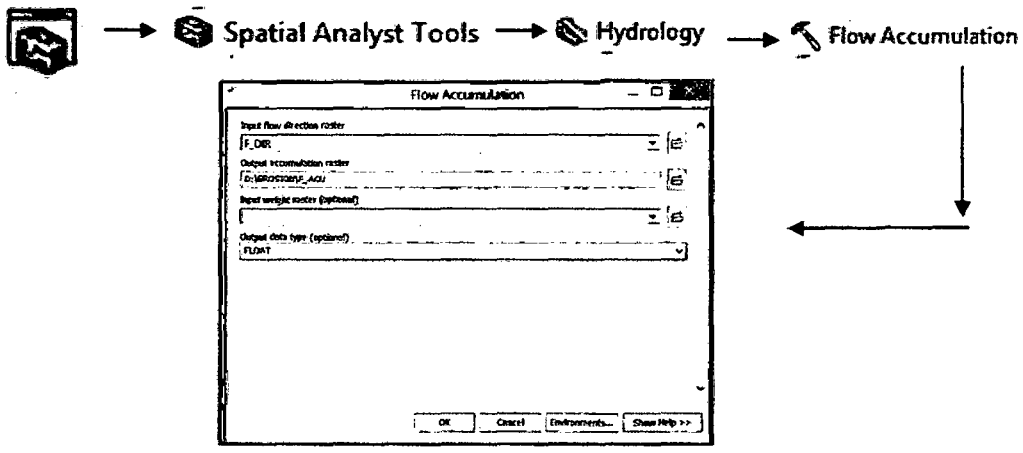


Figura 3.12: Procesando el DEM F-DIR a flow acumulation

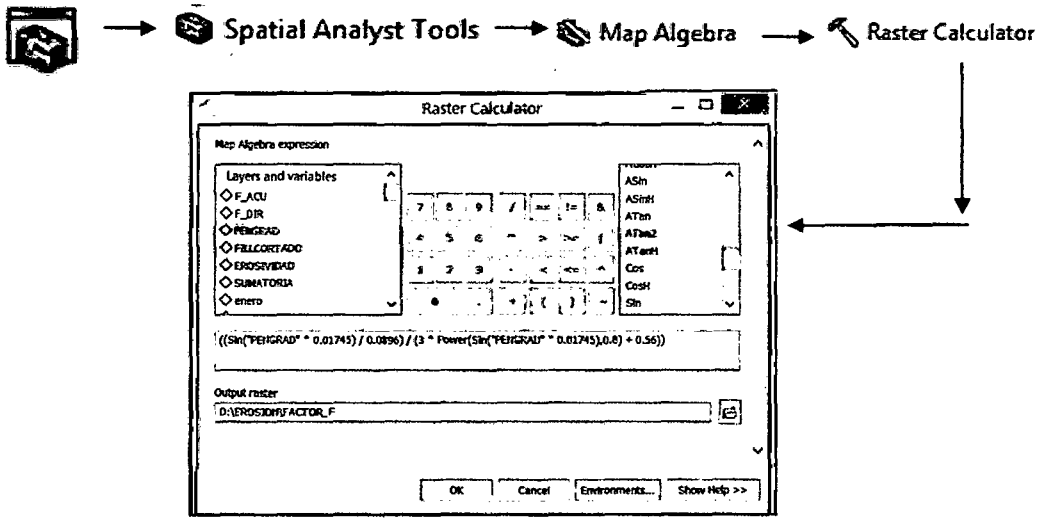


Figura 3.13: Obtención de la variable F

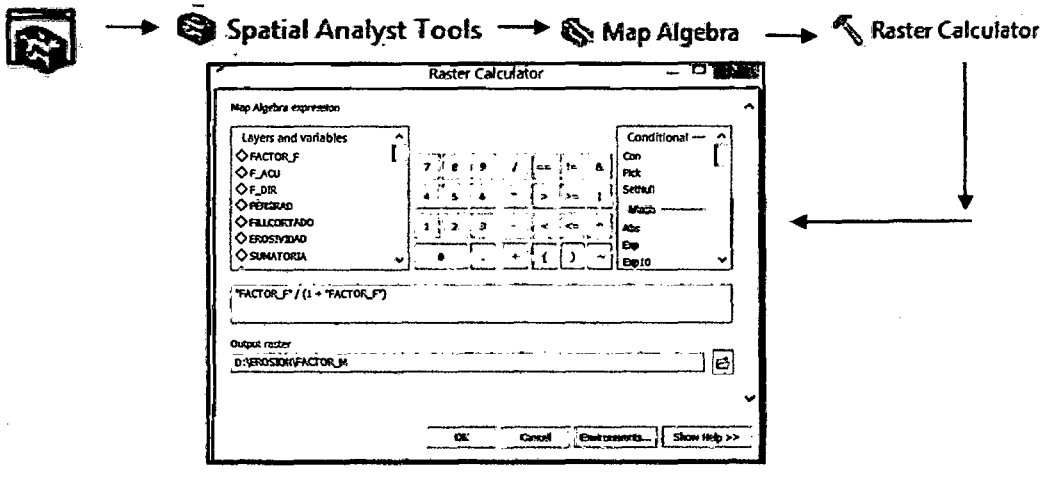


Figura 3.14: Obtención de la variable M

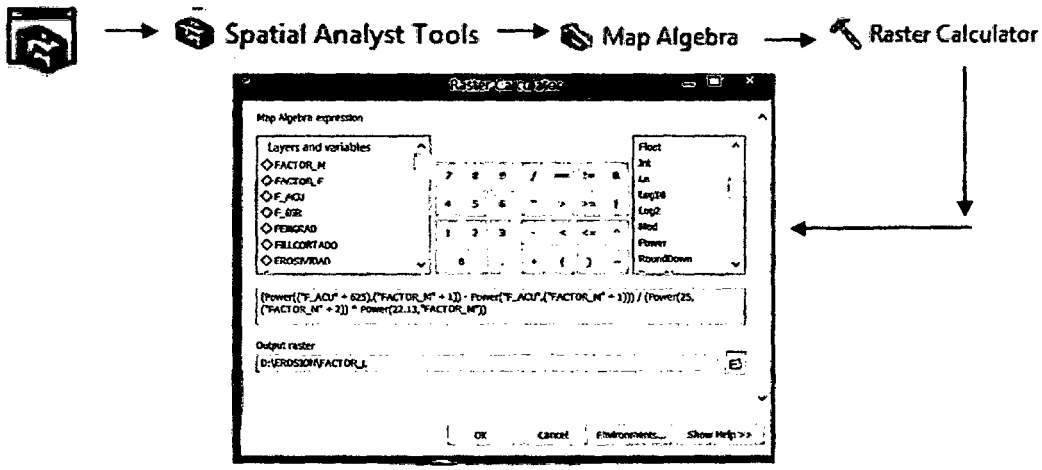


Figura 3.15: Obtención del factor L

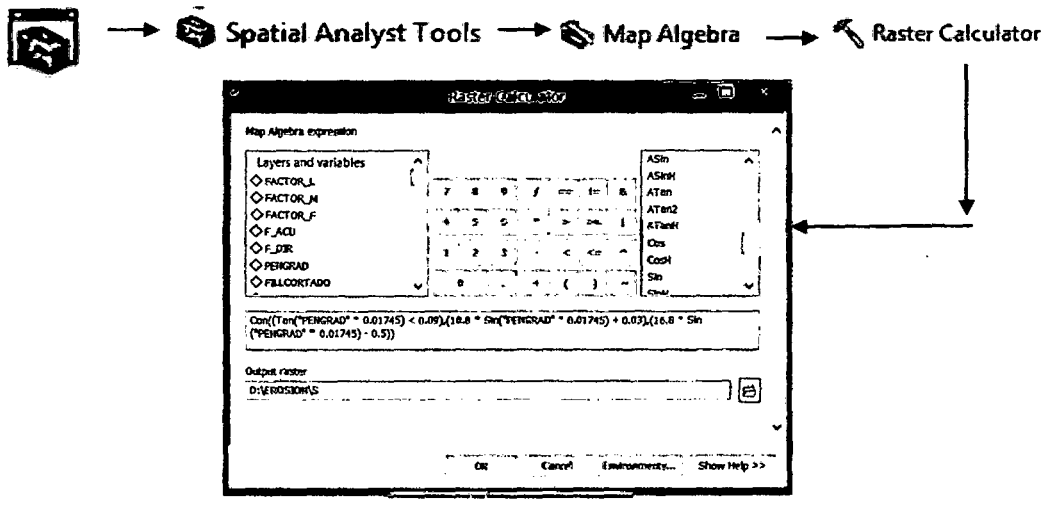


Figura 3.16: Obtención del factor S

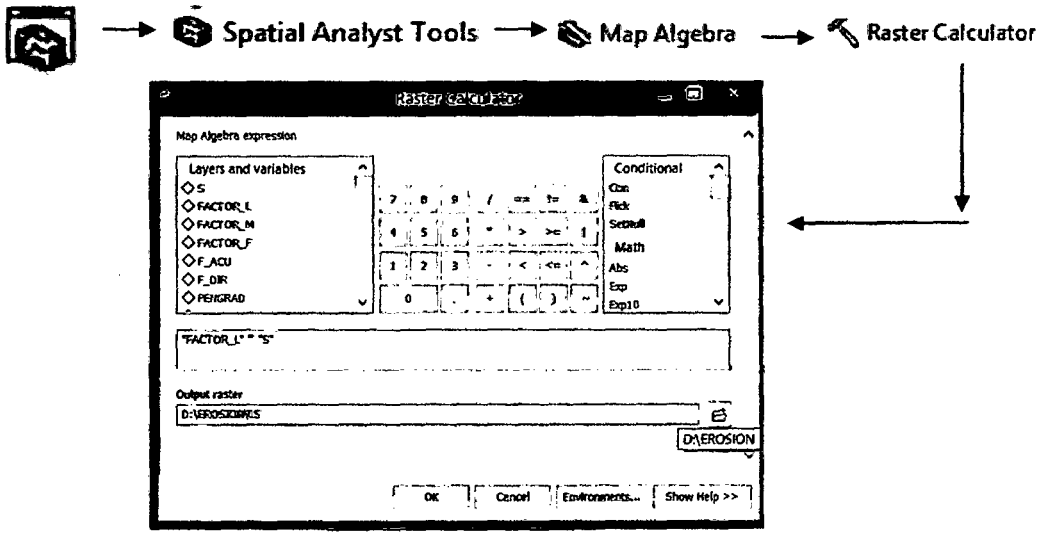


Figura 3.17: Obtención de del factor LS topográfico

8. **Determinación del factor cobertura vegetal (C)**

Para el cálculo del factor de cobertura vegetal se procedió mediante la cartografía de uso del suelo verificando en situ usando imágenes satelitales del SAS PLANET, se procesó los datos digitalizándolas con el software ArcGis 10.2, como se observa en la figura 3.18.

El cálculo del factor C se realizó a partir de la tabla 2.7.

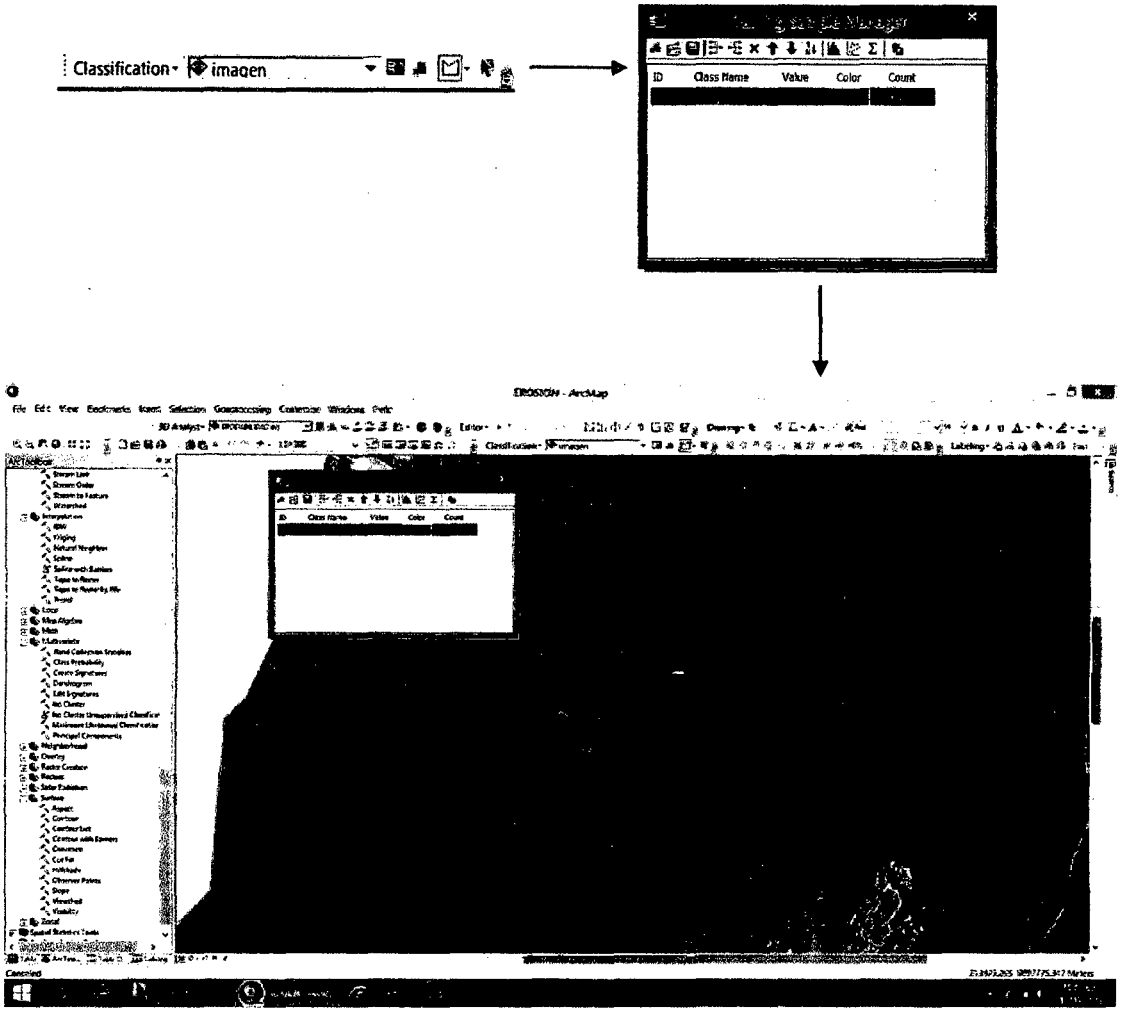


Figura 3.18: Seleccionando la cobertura vegetal

9. **Determinación del factor prácticas de conservación de suelos (P).**

En caso de este factor en vista que en la zona de trabajo no se observó prácticas de conservación de suelos, se considera la unidad para este factor, por lo tanto no se elaborará una capa para este factor.

10. **Determinación de la pérdida de Suelo**

El resultado final de la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) es el producto de los cuatro mapas (erosividad, erodabilidad, topografía y cobertura vegetal) elaborados, empleando el software Arc Gis 10.2 mediante la ecuación 1, se observa en la figura 3.19.

Con el resultado obtenido se indica la categorización del grado de erosión hídrica usando los límites de la tabla 2.9 establecida por la FAO.

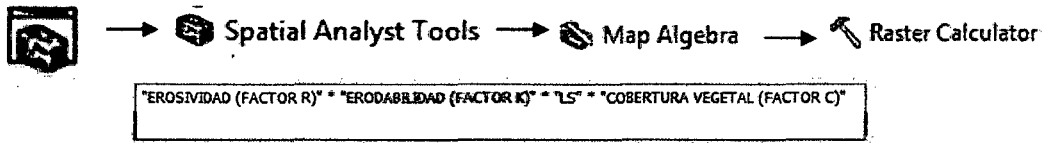


Figura 3.19: Proceso de multiplicación de los cuatro mapas (erosividad, erodabilidad lS y cobertura vegetal)

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS

De lo estudiado se obtuvo los siguientes resultados:

4.1.1 Factor de erosividad de la lluvia (R)

De acuerdo a la fórmula 2, denominada índice modificado de Fournier se obtuvo los siguientes resultados, se muestra en la tabla 4.1.

Tabla 4.1: Factor de erosividad de la lluvia (R), índice modificado de Fournier (MJ/ha*mm/h)

RANGO	DESCRIPCION
48 - 50	Muy baja
50 -55	Muy baja
55 - 60	Muy baja
60 - 65	Muy baja
65 - 70	Muy baja
70 - 75	Muy baja
75 - 80	Muy baja
80 - 85	Muy baja
85 - 90	Muy baja
90 - 95	Muy baja
95 - 100	Muy baja
100 - 105	Muy baja

4.1.2 Factor de erodabilidad del suelo (K)

Se obtuvo la erodabilidad remplazando los resultados de las muestras analizadas en la fórmula 3, se observa en la tabla 4.2.

Tabla 4.2: Factor de erodabilidad (Tom/ha.MJ*ha/mm*hr)

RANGO	ÁREA HA	ÁREA (%)	DESCRIPCIÓN
0.00 - 0.14	10 900	75.37	Bajo
0.14 - 0.45	1 048	7.25	Bajo
0.45 - 0.80	725	5.01	Bajo
0.80 - 1.13	1 660	11.48	Bajo
1.13 - 1.64	129	0.89	Bajo

4.1.3 Factor longitud - pendiente (LS) del área en estudio

Se obtuvo la pendiente a partir de la topografía de la microcuenca de Ranrahirca, el cual se muestra en la tabla 4.3.

Tabla 4.3: longitud y pendiente (LS)

RANGO	ÁREA (ha)	ÁREA (%)
0.03 - 4.07	2131	14.74
4.07 - 8.12	4948	34.21
8.12 - 11.35	4720	32.64
11.35 - 17.02	2505	17.32
17.02 - 28.34	102	0.71
28.34 - 45.33	29	0.20
45.33 - 70.40	19	0.13
70.40 - 102.75	6	0.04
102.75 - 206.29	2	0.01

4.1.4 Factor cobertura vegetal (C)

Se obtuvo mediante las imágenes satelitales del SAS PLANET, los resultados se observan en la tabla 4.4.

Tabla 4.4: Factor cobertura vegetal (C)

DESCRIPCION	ÁREA (ha)	ÁREA (%)	VALOR C
Bosque	1465	10.13	0.001
Área agrícola	251	1.74	0.7
Sin cultivo	588	4.07	0.7
Cultivo	285	1.97	0.7
Suelo	3741	25.87	1
Laguna	129	0.89	0
Nevado	2874	19.87	0
Roca	5019	34.70	0
Vivienda	110	0.76	0

4.1.5 Categorización de erosión hídrica de la microcuenca de Ranrahirca

Se obtuvo de la multiplicación de los mapas: erosividad (R), erodabilidad (k), longitud y pendiente (LS) y cobertura vegetal (C), los resultados se observa en la tabla 4.5 y el gráfico 4.1.

Tabla 4.5: Pérdida de suelos (Ton/ha*año)

CATEGORIA	PÉRDIDA DE SUELO	ÁREA (ha)	ÁREA (%)
Ninguna a ligera	< 10	10 676	73.82
Moderada	10 - 50	1 193	8.25
Alta	50- 200	1 402	9.69
Muy alta	> 200	1 191	8.24

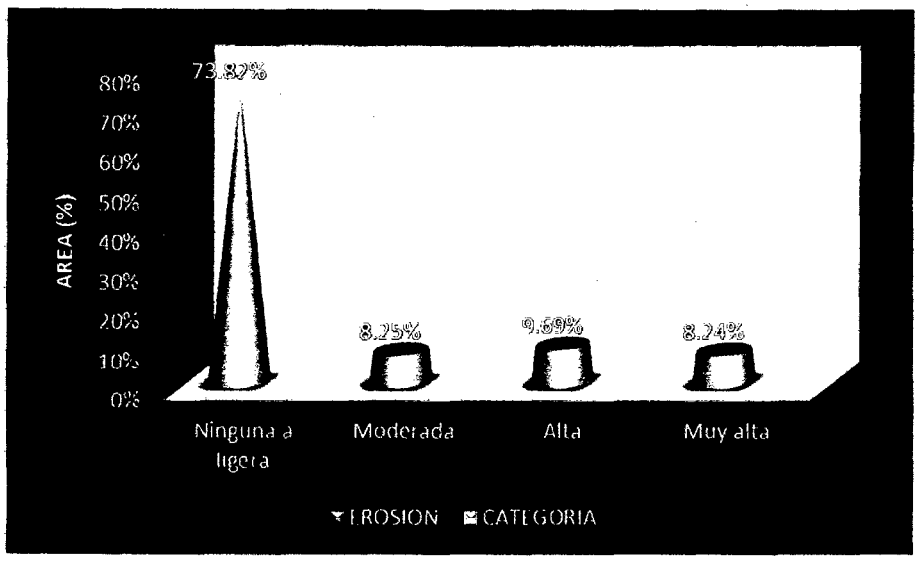


Gráfico 4.1 Pérdida de suelo por erosión hídrica

4.2 DISCUSIÓN

Los factores de la erosión hídrica en la microcuenca de Ranrahirca fueron determinados mediante la Ecuación Universal de pérdida de suelo (USLE), obteniendo lo siguiente:

4.2.1 Factor erosividad de la lluvia (R)

La metodología USLE presenta el mayor problema en el cálculo del factor de erosividad de la lluvia (factor R), debido a que necesita valores de intensidad de la lluvia el cual solo se registra en un fluviógrafo y la mayoría de estaciones meteorológicas no cuentan con dicho instrumento, por tal motivo el factor de erosividad fue reemplazado por el índice de Fournier modificado, los datos utilizados fueron para el periodo 1970 – 1999 donde se obtuvo una erosividad de descripción muy bajo según la tabla N° 2.1, dado por Mannaerts (1999), la erosividad máximo fue de 105.00 MJ/ha*mm/hr, y el mínimo fue de 48.00 MJ/ha*mm/hr, comparando con los resultados obtenidos por las tesis de Anaya, N. (2008). Estimación de la erosión hídrica aplicando la EUPS en la microcuenca: río Pariac. Obtuvo una erosividad máxima de 314.17 MJ/ha*mm/hr y erosividad mínima de 130.73 MJ/ha*mm/hr y Brito, C. (2013). Caracterización del riesgo de erosión hídrica en la microcuenca Pucauran distrito de Jangas – Huaraz – Ancash -2012. Obtuvo una erosividad máxima de 108.09 MJ/ha*mm/hr y

una erosividad mínima de 102.40 MJ/ha*mm/hr, de acuerdo a los resultados de las tesis mencionadas, en la microcuenca de Ranrahirca la erosividad de la lluvia afecta en menor agresividad que las microcuencas de Pariac y Pucauran.

4.2.2 Factor erodabilidad del suelo (K)

El factor (K) de erodabilidad del suelo de la zona estudiada fue de descripción bajo erodible de acuerdo a la Tabla N° 2.5, el K máximo fue de 1.64 Ton/ha.MJ*ha/mm*hr, y el minimo fue de 0 Ton/ha.MJ*ha/mm*hr debido a que gran área de la microcuenca es rocosa y abarca un 75.37% de la microcuenca de Ranrahirca con un área de 10 900 Ha, comparando con las tesis de Anaya, N. (2008). Estimación de la erosión hídrica aplicando la EUPS en la microcuenca: río Pariac. Tuvo como resultado una erodabilidad máxima de 0.440 Ton /ha.MJ*ha/mm*hr y erosividad mínima de 0.103 Ton /ha.MJ*ha/mm*hr, y Brito, C. (2013). Caracterización del riesgo de erosión hídrica en la microcuenca Pucauran distrito de Jangas – Huaraz – Ancash -2012. Obtuvo una erodabilidad máxima de 0.50 Ton /ha.MJ*ha/mm*hr y una erodabilidad mínima de 0.1488 Ton /ha.MJ*ha/mm*hr, de acuerdo a los resultados de las tesis mencionadas, en la microcuenca de Ranrahirca la erodabilidad del suelo con mayor agresividad que las microcuencas de Pariac y Pucauran.

4.2.3 Factor longitud - pendiente (LS) del área en estudio

El índice de pendientes a partir de la topografía de los suelos para la zona estudiada, se dio en rango de 0.03 – 106.29 de longitud y pendiente en un área 14 462 Ha, comparando con las tesis de Anaya, N. (2008). Estimación de la erosión hídrica aplicando la EUPS en la microcuenca: río Pariac. Tuvo como resultado un LS máxima de 28.5 y LS mínima de 0.3, y Brito, C. (2013). Caracterización del riesgo de erosión hídrica en la microcuenca Pucauran distrito de Jangas – Huaraz – Ancash -2012. Obtuvo un LS máxima de 28.5 y un LS mínima de 3.9, de acuerdo a los resultados de las tesis mencionadas, en la microcuenca de Ranrahirca la LS afecta en mayor cantidad que las microcuencas de Pariac y Pucauran, indicando el

incremento del potencial de erosión hídrica con el incremento de la pendiente o inclinación.

4.2.4 Factor cobertura vegetal (C)

La cubierta vegetal del suelo para la microcuenca de Ranrahirca fue superficies con cobertura de bosque con 10.13% (1 465.00 ha), área agrícola con 1.74% (588.00 ha), cultivo con 1.97 % (285.00 Ha), suelo con 25.87% (3 741.00 ha), laguna con 0.89% (129.00 ha), nevado con 19.87% (2 874.00 ha), roca con 34.70% (5 470 ha) y vivienda con 0.76% (110.00 ha) laguna con 0.76% (110.00 ha).

4.2.5 Categorización de erosión hídrica de la microcuenca de Ranrahirca

Utilizando la ecuación general de pérdida de suelo (USLE) se elaboró un modelo de erosión de la microcuenca de Ranrahirca, obteniendo como resultado un mapa en el cual se categorizó la erosión hídrica, en el cual se mostró que la microcuenca tiene un área de 1 191 ha de categoría muy alto (> 200 Ton/ ha * año), una categoría de nivel alto de 1 402 ha (50 - 200 Ton/ ha * año), una categoría de nivel moderada de 1 193 ha (10 - 50 Ton/ ha * año) y una categoría ninguna a ligera de 10 67 ha (< 10 Ton/ ha * año), comparando con las tesis de Anaya, N. (2008). Estimación de la erosión hídrica aplicando la EUPS en la microcuenca: río Pariac. Tuvo como resultado una erosión hídrica de rango alto de 183.491 Ton/ ha * año, y Brito, C. (2013). Caracterización del riesgo de erosión hídrica en la microcuenca Pucauran distrito de Jangas – Huaraz – Ancash -2012. Obtuvo una erosión hídrica de nivel crítico de 47.0249 ha (> 200 Ton/ ha * año), de nivel muy alta de 188.2820 ha (100 – 200 Ton/ ha * año), de nivel alta de 73.6180 ha (50 - 100 Ton/ ha * año), de nivel media de 110.1057 ha (25 - 50 Ton/ ha * año), de nivel moderada de 67.9902 ha (5 - 25 Ton/ ha * año), de nivel bajo de 218.7947 ha (< 5 Ton/ ha * año), de acuerdo a los resultados de las tesis mencionadas, en la microcuenca de Ranrahirca la erosión hídrica afecta en mayor área ya que la microcuenca de Ranrahirca tiene mayor extensión que las microcuencas de Pariac y Pucauran.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

La estimación de los factores R, K, LS y C sirvió para hacer un análisis sobre la categorización de la erosión hídrica de la microcuenca de Ranrahirca, donde cada uno de los factores constituyó una capa de información, que al ser analizado con el Arc Gis 10.2, aplicando la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE), dio como resultado final un mapa de erosión hídrica:

1. El índice de Fournier modificado factor (R) para la microcuenca de Ranrahirca fue un máximo de 105.00 MJ/ha*mm/hr y un mínimo de 48.00 MJ/ha*mm/hr.
2. La erodabilidad, factor k del suelo de la zona estudiada presentó un máximo de 1.64 Ton/ha.MJ*ha/mm*hr.
3. La longitud y pendiente del área en estudio fue un máximo 206.29 y un mínimo de 0.03.
4. La cobertura vegetal de la zona de estudio se encontró un área de 1465 ha (10.13%) de bosque con valor C de 0.001, área agrícola de 251Ha (1.74%) con valor C de 0.7, sin cultivo con un área de 588 ha (4.07%) con valor C de 0.7, cultivo con un área de 285 ha (1.97%) con valor C de 0.7, suelo ocupa un área de 3 741 ha (25.87%) con valor C de 1, laguna con 129 ha (0.89%) de área con valor C de 0, nevado con área de 2 874 ha (19.87%) con valor C de 0, roca con área de 5 470 ha (34.70%) con valor C de 0 y vivienda con un área de 110 ha (0.76%) con valor C de 0.
5. La categorización de la erosión hídrica en la microcuenca de Ranrahirca se realizó en cuatro categorías, se presentó con mayor porcentaje la categoría ninguno a ligero con un porcentaje de 73.82% que ocupa un área de 10 676 ha (< 10 ton/ ha / año), la categoría de nivel moderada con un 8.25% que ocupa un área de 1 193 ha (10 – 50 ton/ ha / año), la categoría de nivel alta con un 9.69% que ocupa un área de 1 402 ha (50 – 200 ton/ ha / año) y la categoría

6. que se presentó con menor porcentaje es el nivel muy alto con un porcentaje de 8.24% que ocupa un área de 1 191 ha (> 200 ton/ ha / año).

5.2. RECOMENDACIONES

1. Realizar más tomas de muestras de suelo para observar mejor la erosión hídrica que existe en la microcuenca de Ranrahirca.
2. Las autoridades del distrito de Ranrahirca tener presente que en la parte baja de la microcuenca de Ranrahica existe erosión hídrica de un nivel alto, por tal motivo se recomienda tomar medidas correctivas del caso.
3. Realizar el mantenimiento de la cubierta vegetal y la reforestación en las zonas críticas para reducir los procesos de erosión hídrica.
4. Se debe orientar, concientizar y capacitar a la población de la necesidad y ventajas de la conservación de suelos, de este modo se logrará la prevención de los suelos actuales y de los que están deteriorados.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anaya, N.; Veramendi, E. 2008. Estimación de la erosión hídrica aplicando la EUPS en la microcuenca: rio Pariac. Tesis para obtener el grado de ingeniero Agrícola. PE. universidad nacional Santiago Antúnez de Mayolo. 35p.

Argueta, J, 2010. Estimación de los riesgos y niveles de erosión hídrica en la microcuenca del río Negro, Chimaltenango, grado adámico de Licenciado, Guatemala, San Carlos, 87p. (Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.).

Arnoldus, 1977. Predicting soil losses due to sheet and rill erosion. En Grtide/ines Jor watershed management. FAO conservarion Guide, 1: 99-124. (Disponible en: http://eprints.ucm.es.).

Barrios, A. 2000. Evaluación de la erosión utilizando el modelo (R) USLE, con apoyo de SIG. Aplicación de una microcuenca de los andes Venezolanos, revista Forest. Venez.(44)1: 65-71.(Disponible en: http://www.mtc.gob.pe.).

Batsford, B. 1982. Trads. JM García Ruiz y JP Martínez Rica. Conservación del suelo. España, ES, Reverte. 279 p. ((Disponible en: http://books.google.com.pe.).

Bosque, J., García, R. 2000. El Uso de los Sistemas de Información Geográfica en la Planificación Territorial, revista 20: 49-67. (Disponible en: http://www.buyteknet.info.).

Archivos DEM de la NASA. (Disponible en: http://www.informatica-hoy.com.).

Brito, C. 2013. Caracterización del riesgo de erosión hídrica en la microcuenca Pucauran distrito de Jangas – Huaraz – Ancash -2012. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrícola. PE. universidad nacional Santiago Antúnez de Mayolo. 74p.

Chela, E. 2008. Evaluación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en tres sistemas de producción en la microcuenca de la quebrada Chilcapamba, Canton Chillanes, Provincia Bolívar. Tesis para obtener el Título de Ingeniero Agrónomo. BO. Universidad estatal de Bolívar.55p. (Disponible en: http://books.google.com.pe.).

Cortes, A. 2003. Ideas sobre la permeabilidad en estudiantes de magisterio. Enseñanza de las ciencias. 22(1), 37–46. (Disponible en: http://www.google.com.pe.).

Cortes, A. 2006. Análisis de los contenidos sobre permeabilidad en los libros de texto de educación primaria. Revista electrónica de enseñanza de las ciencias .5 (1), 136-160. (Disponible en: http://reec.uvigo.es.).

Clerici, C. 2001. Aplicaciones del modelo USLE/RUSLE para estimar pérdidas de suelo por erosión en Uruguay y la región sur de la cuenca del rio de la Plata, agrociencia. (1): 92-103. (Disponible en: http://oa.upm.es.).

Edeso, J., Marauri, P., Merino, A., Gonzales, J. 1997. Determinación de la tasa de erosión hídrica en función del manejo forestal: la cuenca del rio Santa Lucia (Gipuskoa). Lurralde.(20):67-104. (Disponible en: http://www.ingeba.org.).

FAO-PNUMA-UNESCO (1980): Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos. Organización de las naciones unidas para el desarrollo de la agricultura y la alimentación (FAO), programa de las naciones unidas para el medio ambiente (PNUMA), organización de las naciones para el medio ambiente (UNESCO). Roma, FAO. (Disponible en : https://www.google.com.pe.).

Mancebo. S, 2008. Aprendiendo a manejar los SIG en la Gestión Ambiental. Ed. España, 108P. (Disponible en: http://oa.upm.es).

Honorato, R. 2001. Evaluación del modelo USLE en la estimación de la erosión en seis localidades entre la IV Y IX región de Chile, departamento de recursos naturales facultad de agronomía e ingeniera forestal pontificia universidad Católica de Chile. 28(1):7-14. (Disponible en: http://www.agronomia.uchile.cl.).

I.C.O.N.A. 1982. Paisajes erosivos en el sur este Español: ensayo de metodología para el estudio de su cualificación. ICONA-MAPA. Monografía 26.

Mancilla, G. 2008. Uso de la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE) en el campo forestal, departamento de Silecultura, universidad de Chile. (1):63. (Disponible en: http://www.slideshare.net/solecinha/apuntes-docentes-usle .).

Rodriguez, M. 2004. Sistemas de información geográfica en la evaluación de la erosión hídrica en Badajoz-España aplicando la metodología USLE, agronomía trópica. 54 (4): 2-192. (Disponible en: http://www.scielo.org.).

Motta, E. 1999. Estudio de la erosión hídrica del suelo, microcuenca del rio Itzapa, Chimaltenango, de 1994 a 1996, sistema de producción agrícola en el grado académico de Licenciado, GT, Guatemala, universidad de San Carlos, 98P (Disponible en: http://biblioteca.usac.edu..).

Marelli, H. (2004). Área, suelos y producción vegetal. Portal informativo para el productor agropecuario.3p. (Disponible en: http://agrolluvia.com.).

Kirkby. M., Morgan, R. 1980. Soil erosión. Ed. Kirkby. M., Morgan, R. ilustrada, reimpresa Ed. S.L, Wiley, 312P.

Peña. J, 2006. Sistema de Información Geográfica Aplicados a la Gestión de Territorio. Ed. Club Universitario, 310P. (Disponible en: http://www.nosolosig.com).

Quispe, J., 2011. Manual sistema de información geográfica. (Disponible en: http://es.scribd.com.)

Ramos, C. 2001. Modelamiento ambiental para análisis de susceptibilidad erosiva en la cuenca media y alta del rio Cañete y determinación del mapa de erosión. Universidad nacional agraria la Molina. 26p. (Disponible en: http://tarwi.lamolina.edu.pe.).

Santacruz De León, G. (2011). Estimación de la erosión hídrica y su relación con el uso de suelo en la cuenca el río Cahoacán, Chiapas, México, aqua-LAC (3)1: 45 - 54. (Disponible en: http://www.unesco.org.uy.).

Torres, S. 1982. Glosario de Términos comunes en las clasificaciones interpretativas de suelos. Maracay. Boletín técnico N° 40. (Disponible en: http://sian.inia.gob.ve).

Vásquez, A. 2011. Cuantificación de la erosión hídrica superficial en las laderas semiáridas de la sierra Peruana, revista ingeniaría UC, (18)3: 41-50 (Disponible en: http://www.lamolina.edu.pe.).

Wischmeier, W; Smith, D. 1978. Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning. Additional title information agriculture handbooks (USA). N° 537:62p. (Disponible en: http://www.cabdirect.org.).

Imagen satelital. (Disponible en: https://bitbucket.org)

ANEXOS

Anexo 01: Registros de precipitación

Datos de precipitacion de 1970 – 1999 de las estaciones de:chancos,paron,llanganuco y yungay

CUENCA:	RIO SANTA	ALTURA DE LA ESTACION	2840.00 msnm
ESTACION:	CHANCOS	UTM NORTE (Y)	8 968 453.23 m
UNIDADES:	mm	UTM NORTE (X)	217 842.54 m

AÑO MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1970	80.80	43.70	96.00	38.90	35.80	11.50	2.40	13.40	47.40	34.70	41.50	69.90
1971	22.50	94.80	216.90	27.30	0.00	0.00	0.00	0.00	13.90	33.40	45.00	28.60
1972	158.60	110.00	179.20	77.20	16.40	0.00	0.00	9.70	11.60	0.00	52.20	68.00
1973	79.00	49.20	142.20	72.90	20.70	0.00	5.50	1.20	19.50	62.00	67.50	93.60
1974	110.00	100.90	75.90	31.60	0.00	0.00	0.00	0.00	4.90	5.50	0.00	7.90
1975	154.90	121.50	209.60	94.20	13.40	0.00	0.00	12.80	22.50	26.80	45.50	42.50
1976	95.40	120.30	68.10	105.80	0.00	6.87	0.00	0.15	2.58	0.00	0.00	6.10
1977	62.00	201.70	89.30	35.20	6.70	0.00	0.00	0.00	0.00	3.60	57.10	75.40
1978	101.40	137.30	10.90	33.40	14.60	0.00	0.00	0.00	32.20	29.20	18.80	27.90
1979	66.20	54.70	135.50	129.40	15.80	0.00	0.00	14.00	24.30	3.20	42.50	0.00
1980	49.30	24.30	108.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	108.20	87.50	68.70
1981	54.00	190.10	170.70	41.90	0.00	0.00	0.00	0.00	7.30	58.30	129.50	10.30
1982	75.90	22.50	55.30	73.00	3.60	0.00	0.20	0.00	0.00	128.20	147.10	86.80
1983	122.10	59.80	150.00	162.90	110.10	19.40	0.00	0.00	6.10	27.30	0.00	117.90
1984	77.30	71.00	245.10	71.50	30.40	10.09	0.00	9.00	7.40	69.90	32.80	68.10
1985	10.30	85.10	99.00	13.40	15.20	0.00	0.00	0.00	67.50	0.00	12.20	71.10
1986	151.30	85.10	91.20	79.60	0.00	0.00	0.00	7.90	0.00	27.90	36.50	128.30
1987	142.20	127.70	117.90	107.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.20	0.00	58.40
1988	122.10	162.20	86.20	99.60	55.90	0.00	0.00	0.00	0.00	27.30	48.60	108.10
1989	122.10	162.20	86.20	99.60	55.90	0.00	0.00	0.00	0.00	27.30	48.60	108.10
1990	113.00	44.40	190.90	31.00	0.00	17.00	0.00	1.11	7.30	95.90	104.00	37.00
1991	51.10	40.10	148.62	158.00	22.50	0.00	0.00	0.00	6.31	58.20	29.20	68.60
1992	49.20	38.40	24.30	94.20	41.90	9.10	1.07	1.54	0.00	21.30	52.30	4.90
1993	105.80	113.20	254.50	127.30	32.70	14.00	0.00	0.60	24.30	93.60	68.00	169.00
1994	203.00	204.80	197.80	101.50	42.00	0.00	0.22	5.32	0.00	23.10	54.70	32.90
1995	55.90	4.30	124.00	67.50	18.95	1.50	0.00	0.00	0.00	41.30	72.44	145.34
1996	164.30	124.80	138.87	141.60	6.10	0.00	0.00	0.64	3.38	26.27	7.24	4.01
1997	14.00	14.40	8.40	9.30	0.49	0.00	0.00	0.00	47.00	1.34	3.77	198.90
1998	136.78	48.63	91.79	88.15	15.81	0.00	0.00	0.00	0.00	24.32	32.83	44.98
1999	115.82	127.52	124.43	37.06	5.36	14.32	3.21	0.67	4.49	23.23	36.55	102.52
Min.	10.30	4.30	8.40	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max.	203.00	204.80	254.50	162.90	110.10	19.40	5.50	14.00	67.50	108.20	147.10	198.90
Prom.	95.54	92.82	124.56	75.00	19.32	3.46	0.42	2.60	12.00	36.09	45.80	68.46

Fuente: SENAMHI

CUENCA:	RIO SANTA	ALTURA DE LA ESTACION	4185.00 msnm
ESTACION:	PARON	UTM NORTE (Y)	9 003 033.67 m
UNIDADES:	mm	UTM NORTE (X)	204 453.25 m
	¿		

AÑO MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1970	62.60	112.70	115.13	92.40	86.70	42.10	20.33	11.13	99.10	92.90	77.50	91.90
1971	109.60	153.20	250.40	99.80	12.20	4.60	2.40	28.80	51.40	98.20	87.10	126.20
1972	79.90	160.50	246.40	126.10	34.40	8.50	2.00	8.60	28.80	65.90	86.00	76.00
1973	129.00	112.60	137.90	119.40	26.70	26.20	7.00	8.10	83.40	153.40	92.80	197.00
1974	158.10	265.70	101.50	38.30	0.00	0.00	28.50	20.10	28.10	23.10	42.10	75.40
1975	182.30	131.30	219.70	120.00	37.70	0.00	0.00	12.60	95.00	82.40	44.90	93.40
1976	143.00	160.50	143.50	51.40	20.80	0.00	13.00	17.30	17.10	16.20	43.40	83.30
1977	128.80	120.70	79.40	100.70	22.10	64.00	1.10	0.00	15.30	45.60	113.20	123.60
1978	38.40	157.30	64.00	92.20	65.80	0.00	5.80	0.00	87.10	42.80	74.60	66.90
1979	46.70	95.20	161.20	44.30	11.10	0.00	0.00	2.40	23.70	21.20	78.30	88.90
1980	53.20	61.90	11.70	52.40	0.00	0.00	0.00	4.90	0.00	133.00	141.80	74.70
1981	80.80	168.20	146.50	4.20	0.70	3.60	0.00	21.90	21.90	0.00	91.90	173.40
1982	90.80	181.40	26.70	101.70	184.60	5.50	0.00	0.00	0.00	29.20	245.80	69.30
1983	118.30	6.60	44.50	175.50	70.00	25.80	1.80	0.00	45.00	55.80	93.10	171.40
1984	100.70	174.20	202.40	102.10	59.20	16.40	1.00	6.70	28.10	99.50	45.40	104.10
1985	62.20	96.40	137.00	39.20	37.80	0.70	3.60	13.00	92.20	33.70	7.80	73.90
1986	118.60	137.60	102.70	92.90	0.00	0.00	0.00	18.00	12.90	15.00	85.10	20.40
1987	162.00	138.70	120.00	128.60	83.50	1.00	4.93	19.00	3.80	60.80	41.60	112.40
1988	92.50	213.60	96.30	102.80	85.00	11.20	0.40	0.00	109.70	65.13	82.80	106.50
1989	104.30	153.00	136.50	18.80	30.60	0.00	0.00	22.00	39.30	122.70	0.00	15.00
1990	14.90	57.25	113.30	58.00	51.00	39.01	24.70	2.52	32.48	133.27	21.30	72.31
1991	35.33	68.10	147.84	64.69	214.50	0.00	4.12	0.00	11.74	91.20	52.30	67.03
1992	124.20	9.10	91.00	80.90	0.05	48.21	0.00	8.76	27.07	20.00	1.80	25.00
1993	96.10	206.50	48.80	48.80	140.57	108.51	37.10	0.00	82.60	67.80	165.10	204.90
1994	139.70	185.50	213.26	173.44	49.35	13.44	1.45	17.67	36.29	38.40	61.90	133.10
1995	113.52	108.60	167.30	104.50	14.00	19.00	5.53	3.80	34.20	3.90	40.70	87.00
1996	183.15	196.12	83.02	112.60	19.50	0.00	0.00	6.66	17.77	140.89	60.60	85.10
1997	102.60	92.70	56.50	52.10	35.60	16.80	7.40	0.70	46.00	65.40	90.10	180.80
1998	130.50	136.60	127.40	92.00	7.90	10.20	0.00	6.00	25.10	133.00	80.40	81.10
1999	168.80	264.80	112.00	54.20	26.50	13.10	4.00	0.00	94.90	50.60	82.00	124.00
Min.	14.90	6.60	11.70	4.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.00
Max.	183.15	265.70	250.40	175.50	214.50	108.51	37.10	28.80	109.70	153.40	245.80	204.90
Prom.	105.69	137.55	123.46	84.81	46.36	15.93	5.87	8.69	43.00	66.70	74.38	100.13

Fuente: SENAMHI

CUENCA:	RIO SANTA	ALTURA DE LA ESTACION	3850.00 msnm
ESTACION:	LLANGANUCO	UTM NORTE (Y)	8 995 042.16 m
UNIDADES:	mm	UTM NORTE (X)	208 912.61 m

AÑO MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1970	162.30	54.50	100.70	38.50	31.40	4.70	5.90	18.80	38.50	43.80	39.10	25.40
1971	75.70	82.90	170.40	31.50	0.00	0.00	0.00	13.60	26.60	51.50	87.10	42.60
1972	69.90	118.40	209.50	104.20	19.60	0.00	0.00	4.20	28.90	2.40	90.60	36.10
1973	119.60	107.80	175.30	98.90	17.20	0.00	9.50	23.10	46.80	78.20	109.60	155.10
1974	61.60	262.90	132.10	53.90	0.00	8.90	0.00	0.00	5.90	37.90	28.40	57.20
1975	173.50	164.10	217.90	108.40	22.50	0.00	0.00	30.20	35.50	56.20	40.20	49.70
1976	159.30	150.30	109.60	64.00	13.58	0.00	0.00	0.00	3.39	0.00	23.70	27.20
1977	68.10	133.90	126.20	77.00	40.90	0.00	0.00	0.00	0.00	27.20	62.20	121.40
1978	61.00	117.00	63.40	20.00	4.30	0.00	0.00	0.00	45.00	50.30	26.10	61.00
1979	27.80	139.70	175.30	58.40	29.30	0.00	0.00	6.50	15.90	17.20	49.20	40.30
1980	13.00	33.80	53.30	14.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	103.70	175.90	64.00
1981	82.30	165.80	140.90	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	113.10	156.40
1982	85.90	72.30	72.90	94.10	100.70	0.00	0.00	0.00	10.70	52.60	133.20	90.00
1983	98.30	37.40	118.50	84.70	15.90	0.00	0.00	0.00	11.80	24.90	13.60	148.10
1984	87.90	219.00	168.10	70.70	24.90	5.12	0.00	0.00	0.00	76.40	62.10	53.00
1985	33.00	87.60	116.70	29.60	24.90	0.00	0.00	0.00	58.60	0.00	42.60	62.20
1986	85.90	114.30	82.30	78.20	0.00	0.00	0.00	12.40	0.00	2.23	46.20	75.20
1987	154.00	65.10	110.10	59.20	4.70	0.00	1.18	8.30	14.20	26.10	17.70	104.20
1988	154.00	65.10	110.10	59.20	4.70	0.00	1.02	8.30	14.20	26.10	17.70	104.20
1989	84.88	197.80	171.80	279.00	65.70	0.00	0.00	4.10	10.70	81.10	29.30	4.90
1990	94.70	24.50	101.80	53.30	12.40	5.90	0.75	0.00	10.97	17.20	173.60	26.70
1991	20.61	35.87	222.10	51.68	149.20	0.00	0.00	0.00	1.09	44.40	43.20	45.00
1992	45.18	58.60	46.20	59.20	1.46	71.00	0.00	3.24	7.83	17.70	10.70	0.00
1993	69.90	170.60	190.80	166.62	81.20	11.80	0.73	0.00	17.70	115.50	112.00	106.60
1994	127.40	81.80	177.70	151.10	31.40	0.00	0.45	0.00	0.00	26.70	64.00	41.40
1995	111.40	71.70	160.00	115.50	23.70	0.00	0.00	0.00	10.70	13.00	90.60	95.74
1996	201.60	200.20	152.32	94.49	17.80	0.00	0.00	1.39	2.42	5.90	3.60	47.40
1997	13.30	13.30	17.10	10.50	1.18	0.90	0.00	0.00	0.36	3.50	3.20	178.91
1998	77.01	68.13	197.87	80.56	3.55	1.18	0.00	0.00	0.00	29.02	43.84	159.95
1999	72.28	66.35	208.53	58.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.74	50.95	42.65
Min.	13.00	13.30	17.10	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.20	0.00
Max.	201.60	262.90	222.10	279.00	149.20	71.00	9.50	30.20	58.60	115.50	175.90	178.91
Prom.	89.71	106.09	136.65	75.71	24.74	3.63	0.65	4.47	13.93	34.52	60.11	74.09

Fuente: SENAMHI

CUENCA:	RIO SANTA	ALTURA DE LA ESTACION	2535.00 msnm
ESTACION:	YUMGAY	UTM NORTE (Y)	8 987 654.12 m
UNIDADES:	mm	UTM NORTE (X)	199 403.60 m

AÑO MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1970	82.44	25.03	70.24	72.94	8.34	0.12	0.00	3.21	117.55	23.42	22.74	44.16
1971	31.59	85.58	168.28	24.61	3.59	0.12	0.00	7.30	6.76	16.99	33.92	52.77
1972	49.20	57.59	155.10	58.64	9.13	0.12	0.00	1.02	1.97	3.25	33.92	20.83
1973	57.40	35.14	122.30	110.13	3.59	0.12	11.55	2.04	82.06	48.46	15.71	85.54
1974	83.35	84.91	50.41	15.31	3.59	0.12	0.00	0.11	16.03	6.08	6.60	2.45
1975	47.60	62.50	187.80	30.40	9.10	0.00	0.00	11.50	9.10	3.00	3.00	15.80
1976	41.30	37.70	38.30	21.90	0.00	0.00	0.00	0.00	15.60	0.00	0.00	10.90
1977	49.30	72.30	133.00	24.30	1.80	0.00	0.00	0.00	0.00	8.50	24.30	54.60
1978	23.10	62.60	1.80	13.40	0.00	0.00	0.00	0.00	22.50	36.50	0.00	8.30
1979	9.30	84.50	127.60	141.98	17.00	0.00	0.00	0.00	10.30	0.00	23.70	17.70
1980	29.20	7.90	26.10	4.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	77.10	54.10	12.20
1981	71.19	112.40	66.80	4.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	35.80	35.90	17.60
1982	21.90	69.90	26.70	44.40	0.00	0.00	0.00	0.00	101.79	50.40	41.30	37.70
1983	119.80	29.20	153.70	81.40	0.00	0.00	0.00	0.00	3.00	0.00	46.80	46.10
1984	34.60	213.60	119.50	19.60	27.40	0.00	0.00	0.00	0.00	54.10	45.60	54.90
1985	7.80	27.30	61.40	6.00	0.00	0.00	0.00	0.00	176.80	0.00	13.40	12.20
1986	116.70	27.30	102.10	34.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	67.50
1987	127.10	58.30	48.60	11.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	26.20
1988	0.00	133.70	6.10	19.40	52.20	0.00	0.00	0.00	0.00	10.40	0.00	27.30
1989	33.24	140.90	74.20	94.20	0.00	1.31	0.21	0.00	0.00	17.60	6.93	0.00
1990	42.00	33.73	48.00	11.50	0.00	0.00	0.00	0.00	1.94	0.00	40.70	15.20
1991	14.14	43.71	105.80	22.30	31.60	0.00	0.00	0.00	23.67	12.20	0.00	16.40
1992	24.91	0.00	5.50	46.20	3.39	0.00	0.00	0.30	7.60	7.30	0.60	0.00
1993	19.40	127.20	76.60	110.89	32.81	41.90	0.07	0.00	9.10	7.30	41.30	122.77
1994	42.60	133.00	104.60	137.40	3.00	0.00	0.34	2.28	6.70	4.90	34.70	0.00
1995	40.10	44.40	111.23	0.00	6.78	13.05	0.00	0.00	0.50	0.00	55.90	43.91
1996	106.73	133.41	94.50	55.29	3.59	0.12	0.00	0.17	17.35	8.89	0.92	11.03
1997	6.10	11.00	7.00	1.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.30	0.61	155.01
1998	29.79	6.69	7.90	55.32	6.31	0.00	0.00	0.00	0.00	1.22	1.22	81.46
1999	35.26	9.12	59.57	18.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	7.90	26.15
Min.	0.00	0.00	1.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Max.	127.10	213.60	187.80	141.98	52.20	41.90	11.55	11.50	176.80	77.10	55.90	155.01
Prom.	46.55	65.69	78.69	43.08	7.44	1.90	0.41	0.93	21.01	14.46	19.73	36.22

Fuente: SENAMHI

Anexo 02: Muestras de suelo

UNIVERSIDAD NACIONAL
"Santiago Antúnez de Mayolo"
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN
Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ – REGIÓN ANCASH

RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO Y QUIMICO DE SUELOS

SOLICITA : María Isabel, COLQUE VALENTIN - Tesista

PARCELA : M – 01 Horizonte: A Profundidad: 0-30 cm.

UBICACIÓN : Ranrahirca – Yungay- Ancash.

COORDENADAS: E 200576 N 8985444 Altitud : 2 485 m.s.n.m.

Muestra Nº	Textura (%)			Clase Textural	Estructura	Permeabilidad (K) cm /h.	M.O. %
	Arena	Limo	Arcilla				
M.- 01	94	04	02	Arenosa	Granular simple	21.00	1,362

CONCLUSIONES: La muestra tiene las siguientes características:

- **Textura** : Arenosa
- **Estructura** : granular simple
- **Conductividad Hidráulica o Permeabilidad (K)**: 21.00 cm/h., el cual nos indica que la muestra es de alta permeabilidad.
- **Materia Orgánica** : pobre

Huaraz, de 30 Enero del 2015.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ANCASH "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO" - HUARAZ
JEFATURA-LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS
F.C.A

Ing. M.Sc. Guillermo Castillo Romero
JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

UNIVERSIDAD NACIONAL
"Santiago Antúnez de Mayolo"
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN
Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ – REGIÓN ANCASH

RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO Y QUIMICO DE SUELOS

SOLICITA : María Isabel, COLQUE VALENTIN - Tesista

PARCELA : M – 02 Horizonte: A Profundidad: 0-30 cm.

UBICACIÓN : Ranrahirca – Yungay- Ancash.

CORDENADAS: E 200431 N 8985684 Altitud: 2 484 m.s.n.m.

Muestra Nº	Textura (%)			Clase Textural	Estructura	Permeabilidad (K) cm /h.	M.O. %
	Arena	Limo	Arcilla				
M.- 02	73	18	09	Franco arenoso	Granular compuesto	11.50	2,146

CONCLUSIONES: La muestra tiene las siguientes características:

- **Textura** : Franco arenoso
- **Estructura** : Granular Compuesto
- **Conductividad Hidráulica o Permeabilidad (K)**: 11.50 cm/h., el cual nos indica que la muestra es de moderada - alta permeabilidad.
- **Materia Orgánica** : medio

Huaraz, 30 de Enero del 2015.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ANCASH "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO" JEFATURA-LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS F.C.A HUARAZ

Ing. M.Sc. Guillermo Castillo Romero
JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

UNIVERSIDAD NACIONAL
"Santiago Antúnez de Mayolo"
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN
Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ – REGIÓN ANCASH

RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO Y QUIMICO DE SUELOS

SOLICITA : María Isabel, COLQUE VALENTIN - Tesista

PARCELA : M – 03 Horizonte: A Profundidad: 0-30 cm.

UBICACIÓN : Ranrahirca – Yungay- Ancash.

COORDENADAS: E 201109 N 8986144 Altitud : 2 542 m.s.n.m.

Muestra Nº	Textura (%)			Clase Textural	Estructura	Permeabilidad (K) cm /h.	M.O. %
	Arena	Limo	Arcilla				
M.- 03	59	24	17	Franco arenoso	Granular compuesto	9.50	2,236

CONCLUSIONES: La muestra tiene las siguientes características:

- **Textura** : Franco arenoso
- **Estructura** : Granular Compuesto
- **Conductividad Hidráulica o Permeabilidad (K)**: 9.50 cm/h., el cual nos indica que la muestra es de moderada permeabilidad.
- **Materia Orgánica** : medio

Huaraz, 30 de Enero del 2015.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ANCASH "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO" - HUARAZ
JEFATURA-LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS
F.C.A

Ing. M.Sc. Guillermo Castillo Romero
JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

UNIVERSIDAD NACIONAL
"Santiago Antúnez de Mayolo"
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN
Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ – REGIÓN ANCASH

RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO Y QUIMICO DE SUELOS

SOLICITA : María Isabel, COLQUE VALENTIN - Tesista

PARCELA : M – 03 Horizonte: B Profundidad: 0-60 cm.

UBICACIÓN : Ranrahirca – Yungay- Ancash.

COORDENADAS: E 201109 N 8986144 Altitud: 2 542 m.s.n.m.

Muestra Nº	Textura (%)			Clase Textural	Estructura	Permeabilidad (K) cm /h.	M.O. %
	Arena	Limo	Arcilla				
M.- 04	67	13	20	Franco arenoso	Granular compuesto	6.90	1,956

CONCLUSIONES: La muestra tiene las siguientes características:

- **Textura** : Franco arenoso
- **Estructura** : Granular Compuesto
- **Conductividad Hidráulica o Permeabilidad (K)**: 6.90 cm/h., el cual nos indica que la muestra es de moderada permeabilidad.
- **Materia Orgánica** : pobre

Huaraz, 30 de Enro del 2015.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ANCASH "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO" HUARAZ
JEFATURA-LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS
F.C.A

Ing. M.Sc. Guillermo Castillo Romero
JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

UNIVERSIDAD NACIONAL
"Santiago Antúnez de Mayolo"
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN
Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ – REGIÓN ANCASH

RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO Y QUIMICO DE SUELOS

SOLICITA : María Isabel, COLQUE VALENTIN - Tesista

PARCELA : M – 04 Horizonte: A Profundidad: 0-30 cm.

UBICACIÓN : Ranrahirca – Yungay- Ancash.
COORDENADA: N 202165 N 8987294 Altitud: 2 667 m.s.n.m.

Muestra Nº	Textura (%)			Clase Textural	Estructura	Permeabilidad (K) cm /h.	M.O. %
	Arena	Limo	Arcilla				
M.- 05	39	30	31	Franco arcilloso	Angular migajosa	4.50	2,432

CONCLUSIONES: La muestra tiene las siguientes características:

- **Textura** : Franco arcilloso
- **Estructura** : Angular migajosa
- **Conductividad Hidráulica o Permeabilidad (K)**: 4.50 cm/h., el cual nos indica que la muestra es de moderada a moderada baja permeabilidad.
- **Materia Orgánica** : medio

Huaraz, 30 de Enero del 2015.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ANCASH "SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO" - HUARAZ
JEFATURA-LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS
F.C.A

Ing. M.Sc. Guillermo Castillo Romero
JEFE DEL LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS Y AGUAS

UNIVERSIDAD NACIONAL
"Santiago Antúnez de Mayolo"
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN
Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ – REGIÓN ANCASH

RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO Y QUIMICO DE SUELOS

SOLICITA : María Isabel, COLQUE VALENTIN - Tesista

PARCELA : M – 05 Horizonte: A Profundidad: 0-30 cm.

UBICACIÓN : Ranrahirca – Yungay- Ancash.

COORDENADA: E 204252 N 8988846 Altitud: 2 972 m.s.n.m.

Muestra Nº	Textura (%)			Clase Textural	Estructura	Permeabilidad (K) cm /h.	M.O. %
	Arena	Limo	Arcilla				
M.- 06	73	12	05	Franco arenoso	Granular compuesto	11.45	1,725

CONCLUSIONES: La muestra tiene las siguientes características:

- **Textura** : Franco arenoso
- **Estructura** : Granular Compuesto
- **Conductividad Hidráulica o Permeabilidad (K)**: 11.45 cm/h., el cual nos indica que la muestra es de moderada a alta permeabilidad.
- **Materia Orgánica** : pobre

Huaraz, 30 de Enero del 2015.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ANCASH "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO" - HUARAZ
JEFATURA-LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS
F.C.A

Ing. M.Sc. Guillermo Castillo Romero
JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

UNIVERSIDAD NACIONAL
"Santiago Antúnez de Mayolo"
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN
Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ – REGIÓN ANCASH

RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO Y QUIMICO DE SUELOS

SOLICITA : María Isabel, COLQUE VALENTIN - Tesista

PARCELA : M – 06 Horizonte: A Profundidad:0-30 cm.

UBICACIÓN : Ranrahirca – Yungay- Ancash.

COORDENADAS: E 204535 N 8989168 Altitud: 3 080 m.s.n.m.

Muestra Nº	Textura (%)			Clase Textural	Estructura	Permeabilidad (K) cm /h.	M.O. %
	Arena	Limo	Arcilla				
M.- 07	67	26	07	Franco arenoso	Granular compuesto	6.60	1,918

CONCLUSIONES: La muestra tiene las siguientes características:

- **Textura** : Franco arenoso
- **Estructura** : Granular Compuesto
- **Conductividad Hidráulica o Permeabilidad (K)**: 6.60 cm/h., el cual nos indica que la muestra es de moderada permeabilidad.
- **Materia Orgánica** : pobre

Huaraz, 30 de Enero del 2015.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ANCASH "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO" JEFATURA-LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS F.C.A HUARAZ

Ing. M.Sc. Guillermo Castillo Romero
JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

UNIVERSIDAD NACIONAL
"Santiago Antúnez de Mayolo"
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN
Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ – REGIÓN ANCASH

RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO Y QUIMICO DE SUELOS

SOLICITA : María Isabel, COLQUE VALENTIN - Tesista

PARCELA : M – 07 Horizonte: A Profundidad: 0-30 cm.

UBICACIÓN : Ranrahirca – Yungay- Ancash.

COORDENADES: E 212574 N 8998658 Altitud: 3 888 m.s.n.m.

Muestra Nº	Textura (%)			Clase Textural	Estructura	Permeabilidad (K) cm /h.	M.O. %
	Arena	Limo	Arcilla				
M.- 08	81	16	03	Areno franco	Granular simple	19.80	2,066

CONCLUSIONES: La muestra tiene las siguientes características:

- **Textura** : Areno franco
- **Estructura** : Granular Simple
- **Conductividad Hidráulica o Permeabilidad (K)**: 19.80 cm/h., el cual nos indica que la muestra es de alta permeabilidad.
- **Materia Orgánica** : medio

Huaraz, 30 de Enero del 2015.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ANCASH "SANTIAGO ANTUNEZ DE MAYOLO" - HUARAZ
JEFATURA-LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS
F.C.A

Ing. M.Sc. Guillermo Castillo Romero
JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

UNIVERSIDAD NACIONAL
"Santiago Antúnez de Mayolo"
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN
Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ – REGIÓN ANCASH

RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO Y QUIMICO DE SUELOS

SOLICITA : María Isabel, COLQUE VALENTIN - Tesista

PARCELA : M – 08 Horizonte A Profundidad: 0-30 cm.

UBICACIÓN : Ranrahirca – Yungay- Ancash.

COORDENADAS: E 203994 N8990840 Altitud: 3 300 m.s.n.m.

Muestra Nº	Textura (%)			Clase Textural	Estructura	Permeabilidad (K) cm /h.	M.O. %
	Arena	Limo	Arcilla				
M.- 09	73	18	09	Franco arenoso	Granular compuesta	11.30	1.916

CONCLUSIONES: La muestra tiene las siguientes características:

- **Textura** : Franco arenoso
- **Estructura** : Granular Compuesto
- **Conductividad Hidráulica o Permeabilidad (K)**: 11.30 cm/h., el cual nos indica que la muestra es de moderada - a alta permeabilidad.
- **Materia Orgánica** : pobre

Huaraz, 30 de Enero del 2015.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ANCASH "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO" - HUARAZ
JEFATURA-LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS
F.C.A

Ing. M.Sc. Guillermo Castillo Romero
JEFE DEL LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS Y AGUAS

UNIVERSIDAD NACIONAL
"Santiago Antúnez de Mayolo"
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN
Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ – REGIÓN ANCASH

RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO Y QUIMICO DE SUELOS

SOLICITA : María Isabel, COLQUE VALENTIN - Tesista

PARCELA : M – 08 Horizonte B Profundidad: 30-60 cm.

UBICACIÓN : Ranrahirca – Yungay- Ancash.

COORDENADAS: E 203994 N 8990840 Altitud: 3 300 m.s.n.m.

Muestra Nº	Textura (%)			Clase Textural	Estructura	Permeabilidad (K) cm /h.	M.O. %
	Arena	Limo	Arcilla				
M.- 10	69	20	11	Franco arenoso	Granular compuesta	6.90	1.798

CONCLUSIONES: La muestra tiene las siguientes características:

- **Textura** : Franco arenoso
- **Estructura** : Granular Compuesto
- **Conductividad Hidráulica o Permeabilidad (K)**: 6.90 cm/h., el cual nos indica que la muestra es de moderada permeabilidad.
- **Materia Orgánica** : pobre

Huaraz, 30 de Enero del 2015.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ANCASH "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO" - HUARAZ
JEFATURA-LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS
F.C.A

Ing. M.Sc. Guillermo Castillo Romero
JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

UNIVERSIDAD NACIONAL
"Santiago Antúnez de Mayolo"
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN
Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ – REGIÓN ANCASH

RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO Y QUIMICO DE SUELOS

SOLICITA : María Isabel, COLQUE VALENTIN - Tesista

PARCELA : M – 09 Horizonte: A Profundidad: 0-30 cm.

UBICACIÓN : Ranrahirca – Yungay- Ancash.

COORDENADAS: E 202423 N 8989066 Altitud: 3 007 m.s.n.m.

Muestra Nº	Textura (%)			Clase Textural	Estructura	Permeabilidad (K) cm /h.	M.O. %
	Arena	Limo	Arcilla				
M.- 11	75	16	09	Franco arenoso	Granular simple	11.50	1.832

CONCLUSIONES: La muestra tiene las siguientes características:

- **Textura** : Franco arenoso
- **Estructura** : Granular Simple
- **Conductividad Hidráulica o Permeabilidad (K)**: 11.50 cm/h., el cual nos indica que la muestra es de moderada - alta permeabilidad.
- **Materia Orgánica** : pobre

Huaraz, 30 de Enero del 2015.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ANCASH "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO" - HUARAZ
JEFATURA-LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS
F.C.A

Ing. M.Sc. Guillermo Castillo Romero
JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

UNIVERSIDAD NACIONAL
"Santiago Antúnez de Mayolo"
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN
Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ – REGIÓN ANCASH

RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO Y QUIMICO DE SUELOS

SOLICITA : María Isabel, COLQUE VALENTIN - Tesista

PARCELA : M – 10 Horizonte: A Profundidad: 0-30 cm.

UBICACIÓN : Ranrahirca – Yungay- Ancash.

COORDENADAS: E 201003 N 8986874 Altitud: 2 573 m.s.n.m.

Muestra Nº	Textura (%)			Clase Textural	Estructura	Permeabilidad (K) cm /h.	M.O. %
	Arena	Limo	Arcilla				
M.- 12	69	22	09	Franco arenoso	Granular compuesta	6.90	1.974

CONCLUSIONES: La muestra tiene las siguientes características:

- **Textura** : Franco arenoso
- **Estructura** : Granular Compuesto
- **Conductividad Hidráulica o Permeabilidad (K)**: 6.90 cm/h., el cual nos indica que la muestra es de moderada permeabilidad.
- **Materia Orgánica** : pobre

Huaraz, 30 de Enero del 2015.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE ANCASH "SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO" JEFATURA-LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS F.C.A HUARAZ

Ingeniero Sc. Guillermo Castillo Romero
JEFE DEL LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS Y AGUAS

Anexo 03: Panel fotográfico

Foto 01: Materiales que se usó en el muestreo de suelos en campo (microcuenca Ranrahirca)

Foto 02: Toma de la muestra N° 1 a una profundidad de 0.30m (microcuenca Ranrahirca)

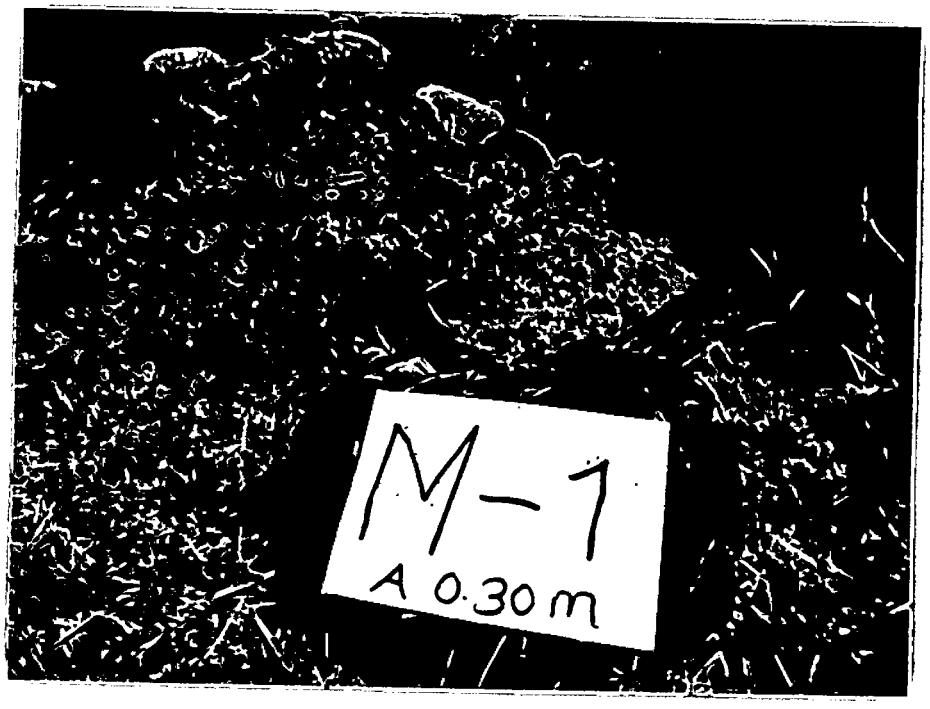


Foto 03: Toma de la muestra N° 2 a una profundidad de 0.30m (microcuenca Ranrahirca)

Foto 04: Vista de la microcuenca Ranrahirca

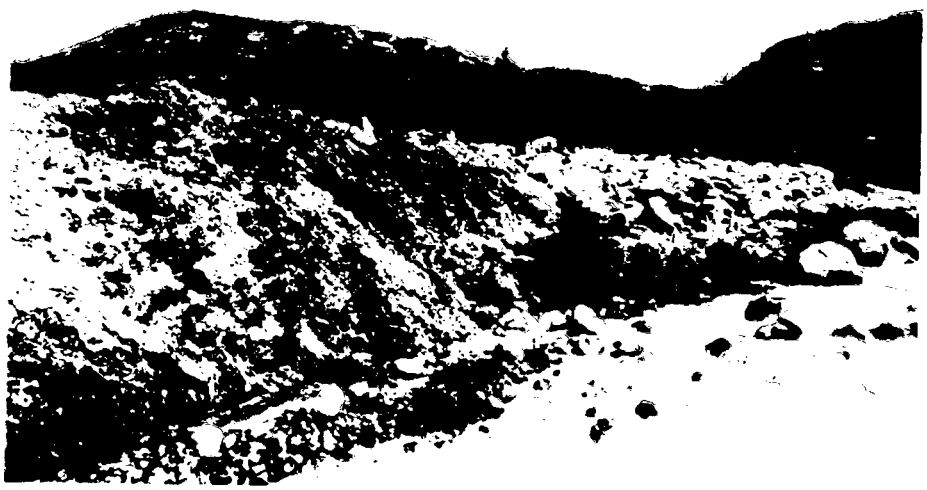


Foto 05: Vista de erosión de suelos en el borde de la microcuenca Ranrahirca

Foto 06: Toma de la muestra N° 8 a una profundidad de 0.60m, laguna de llanganuco.

Foto 07: Toma de la parte alta de la microcuenca de Ranrahiraca (laguna de llanganuco)

Foto 08: Vista en la parte alta de la zona de estudio

Foto 09: Vista de la zona de estudio

Foto 10: Vista de la parte baja del área de estudio

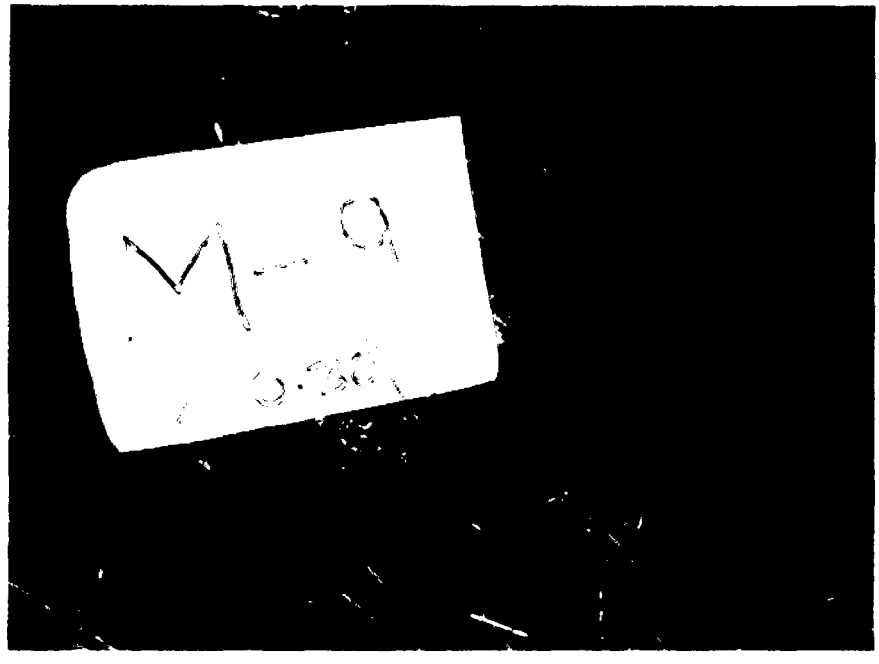


Foto 11: Vista de la muestra N° 9 a una profundidad de 0.30m.

Foto 12: Parte alta de la zona de estudio

Anexo 04: Mapas temáticos para la categorización de la erosión hídrica