

**UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGRICOLA



**ESTIMACIÓN DE PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA
APLICANDO EL MÉTODO USLE Y HACIENDO USO DEL SIG EN
LA SUBCUENCA DEL RÍO OLLEROS-DISTRITO DE OLLEROS
PERIODO 2015**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÍCOLA.**

PRESENTADO POR

Bach. Henry Luis, MORENO ROLDAN

PATROCINADO POR:

Dr. SEGUNDO MESÍAS HURTADO RUBIO

**HUARAZ – PERÚ
2017**

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS

Los Miembros del Jurado de Tesis que suscriben, reunidos para escuchar y evaluar la sustentación de Tesis, presentada por el Bachiller en Ciencias de la Ingeniería Agrícola **HENRY LUIS MORENO ROLDAN**, denominada: **“ESTIMACIÓN DE PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA APLICANDO EL MÉTODO USLE Y HACIENDO USO DEL SIG EN LA SUBCUENCA DEL RÍO OLLEROS - DISTRITO DE OLLEROS PERIODO 2015”**. Escuchada la sustentación y las respuestas a las preguntas y observaciones, la declaramos:

CON EL CALIFICATIVO DE (*) _____

En consecuencia, queda en condición de ser calificado **APTO** por el Consejo de Facultad de la facultad de ciencias agrarias y Consejo Universitario de la Universidad Nacional “Santiago Antúnez de Mayolo”, y recibir el Título de **INGENIERO AGRICOLA**, de conformidad con la Ley Universitaria y el Estatuto de la Universidad.

Huaraz, 01 de Diciembre del 2017

Dr. Fidel Gregorio Aparicio Roque
PRESIDENTE

Dr. Lorenzo Moisés Ayora Garagate.
SECRETARIO

Ing. Remo Bayona Antúnez.
VOCAL

Dr. Segundo Mesías Hurtado Rubio
PATROCINADOR

(*) De acuerdo con el reglamento de tesis, estas deben ser calificadas con términos de: **SOBRESALIENTE, MUY BUENO, BUENO Y REGULAR**

ACTA DE CONFORMIDAD DE TESIS

Los Miembros del Jurado de Tesis que suscriben, nombrados por Resolución N^a 322-2016-UNASAM-FCA/D. Se reunieron para revisar el informe de Tesis presentada por el Bachiller en Ciencias de la Ingeniería Agrícola **HENRY LUIS MORENO ROLDAN**, denominada: **“ESTIMACIÓN DE PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA APLICANDO EL MÉTODO USLE Y HACIENDO USO DEL SIG EN LA SUBCUENCA DEL RÍO OLLEROS- DISTRITO DE OLLEROS-PERIODO 2015”**, y sustentada el día 01 de Diciembre del 2017, por Resolución Decanatural N^a 587-2017-UNASAM-FCA/D Escuchada la sustentación y las respuestas a las preguntas y observaciones, lo declaramos CONFORME.

En consecuencia queda en condiciones de ser publicada.

Huaraz ,01 de Diciembre del 2017

Dr. Fidel Gregorio Aparicio Roque
PRESIDENTE

Dr. Lorenzo Moisés Ayora Garagate.
SECRETARIO

Ing. Remo Bayona Antúnez.
VOCAL

Dr. Segundo Mesías Hurtado Rubio
PATROCINADOR

DEDICATORIA

*A Dios por haberme adoptado como hijo en imagen y semejanza, y por dotarme del mejor regalo: **MÍ FAMILIA**.*

*A mí adorada madre **MARINA ROLDAN DE MORENO**, con todo mi corazón y eterno agradecimiento por haberme apoyado plenamente y creído en mí.*

*A mi padre **GENARO MORENO VALVERDE** que puso todo su esfuerzo y dedicación para que yo lograra mis metas y sobretodo en este objetivo que tanto quería, dándome ánimos y ayudándome a superar las barreras, sin ella no hubiese alcanzado esto.*

*A mi esposa **EDITH CARMEN MORENO FERNANDEZ**, a mi hijo **YUNIOR HENRY MORENO MORENO** y a mis hermanos **LISBETH, CRISTIAN, LOURDES, AIDA Y ROCÍO** que son mi motivo para no decaer y siempre tener ganas para seguir adelante.*

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, en especial a la Facultad de Ciencias Agrarias que contribuyeron en mi formación profesional.

A los docentes de la Facultad de Ciencias Agrarias por contribuir en mi formación profesional.

Al Dr. Segundo Mesías Hurtado Rubio, asesor de la tesis, por sus aportes durante todo el trabajo de investigación.

A los jurados de tesis Dr. Fidel Gregorio Aparicio Roque, Dr. Lorenzo Moisés Ayora Garagate, Ing. Remo Bayona Antúnez por sus oportunas sugerencias.

Resumen

La presente investigación tuvo como propósito estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando el método U.S.L.E y haciendo uso del SIG, en la sub-cuenca del río Olleros, Provincia de Huaraz. En la investigación fue determinante obtener los rangos y la ubicación de las áreas de mayores erosiones afectadas por la erosión hídrica (precipitación pluvial) y su impacto en el recurso suelo. Para la evaluación se utilizó el método de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (U.S.L.E), para lo cual se determinó los factores de: Erosividad (R), Erodabilidad (K), Longitud y Grado de la pendiente (LS), cobertura y uso del suelo (C), y Prácticas de conservación (P) y se aplicó el Sistemas de Información Geográfica (S.I.G): el software informático de ArcGis 10.3.1 y sus aplicaciones, generando información temática de cada uno de los factores que al final se multiplicaron para generar como resultado un solo mapa de la erosión hídrica del suelo de la sub-cuenca. Obteniéndose que las pérdidas de suelo por erosión hídrica varían (según la tabla: 4.5 en el marco teórico) entre los rangos de: 0 a 5 (tm/ha*año), en la superficie de 10 197.24 hectáreas (59.945% del área de la sub-cuenca) erosión muy baja; 5 a 25 (tm/ha*año) en la superficie de 1 683.98 hectáreas (9.899% del área de la sub-cuenca) erosión moderada; 25 a 50 (tm/ha*año) en la superficie de: 1 693.63 hectáreas (9.956% del área de la sub-cuenca) erosión media; 50 a 100 (tm/ha*año) en la superficie de: 1 706.925 hectáreas (10.034% del área de la sub-cuenca), erosión alta; 100 a 161.725 (tm/ha*año) en una superficie de 1 729.16 hectáreas (10.165% del área de la sub-cuenca) erosión muy alta.

Palabras clave: Erosión hídrica/ método U.S.L.E.

Abstrac.

The present investigation had the purpose of estimating the loss of soil by water erosion applying the U.S.L.E method and making use of the GIS, in the sub-basin of the Olleros River, Province of Huaraz. In the investigation it was crucial to obtain the ranges and the location of the areas of greater erosions affected by water erosion (rainfall) and their impact on the soil resource. For the evaluation the method of the Universal Soil Loss Equation (USLE) was used, for which the following factors were determined: Erosivity (R), Erodability (K), Length and Grade of the slope (LS), coverage and land use (C), and Conservation Practices (P) and the Geographic Information Systems (GIS) were applied: the ArcGis 10.3.1 computer software and its applications, generating thematic information on each of the factors that ultimately they multiplied to generate as a result a single map of the water erosion of the soil of the sub-basin. Obtaining that the losses of soil by water erosion vary (according to the table: 4.5 in the theoretical framework) between the ranges of: 0 to 5 (tm / ha * year), in the surface of 10 197.24 hectares (59.945% of the area of the sub-basin) very low erosion; 5 to 25 (tm / ha * year) on the surface of 1 683.98 hectares (9.899% of the area of the sub-basin) moderate erosion; 25 to 50 (tm / ha * year) on the surface of: 1 693.63 hectares (9.956% of the area of the sub-basin) average erosion; 50 to 100 (tm / ha * year) on the surface of: 1 706.925 hectares (10.034% of the area of the sub-basin), high erosion; 100 to 161.725 (tm / ha * year) in an area of 1 729.16 hectares (10.165 % of the area of the sub-basin) very high erosion.

Keyword: Water Erosion / method U.S.L.E.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN.	2
1.1. OBJETIVOS	3
1.2. General	3
1.3. Específicos	3
II. FUNDAMENTACION TEÓRICA	5
2.1. Antecedentes del tema	5
2.1.1. Internacionales.	5
2.1.2. Nacionales.	7
2.1.3. Regionales.	7
2.2. Marco teórico.	10
2.2.1. Erosión hídrica.	10
2.2.1.1. Tipos de erosión hídrica.	10
2.2.1.2. Impacto de la gota de lluvia sobre el suelo desnudo en la erosión hídrica.	10
2.2.1.3. Factores que originan la erosión hídrica.	10
2.2.2. Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE).	11
2.2.2.1. Factor R o índice de erosividad de la lluvia.	13
2.2.2.2. Factor K o índice de erodabilidad.	14
2.2.2.3. Factor LS o longitud y gradiente de la pendiente.	17
2.2.2.4. Factor cobertura vegetal (C).	19
2.2.2.5. Factor P o de prácticas de conservación de suelos.	22
2.2.3. Pérdida de suelo por erosión hídrica (A).	22
2.2.3.1. Investigaciones sobre estimación de erosión hídrica aplicando un sistema de información geográfica.	23
2.3. Definición de términos.	24
III. MATERIALES Y MÉTODOS	27
3.1. Materiales y métodos	27
3.2. Metodología.	27
3.2.1. Área de investigación.	27
3.2.2. Tipo de investigación.	28
3.2.3. Población y muestra de estudio.	28

3.2.4. Delimitación del estudio.	28
3.2.5. Ubicación.	28
3.2.5.1.Ubicación política.	28
3.2.5.2.Ubicación geográfica.	28
3.2.6. Campo de interés.	29
3.2.7. Métodos empleados en la investigación.	29
3.2.7.1.Métodos de recolección de datos.	29
IV. RESULTADOS Y DISCUSION.	35
4.1.1. Resultados.	35
4.1.2. Discusiones.	37
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	40
5.1.Conclusiones.	40
5.2.Recomendaciones.	40
VI. REFERENCIAS.	43
VII. ANEXOS.	47

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Dimensiones y unidades de los factores del modelo USLE.	12
Tabla 2. Categorización de la erosividad (R).	14
Tabla 3. Clase de permeabilidad según textura (equivalencia media m/día).	15
Tabla 4. Parámetros de Estructura del suelo a profundidades de 15 a 18 cm Superficies.	16
Tabla 5 Clasificación de los grados de erodabilidad según USDA (1 962).	17
Tabla 6. Categorización del factor longitud y gradiente de la pendiente (factor LS).	19
Tabla 7. Factor vegetación (factor C).	21
Tabla 8. Clasificación de los niveles de intensidad de pérdida de suelo.	23
Tabla 9. Datos y tamaño de muestra para análisis de suelo.	31
Tabla 10. Categorización de la erosividad (R).	35
Tabla 11. Clasificación de los grados de erodabilidad según USDA (1962).	35
Tabla 12. Categorización del factor LS.	36
Tabla 13. Área total de la sub-cuenca dividida en función al uso y cobertura.	36
Tabla 14. Área total de la sub-cuenca dividida en función al riesgo de erosión hídrica actual.	37
Tabla 15. Datos de precipitación en milímetro (periodo 2 013-2 015) de las estaciones meteorológicas: Shancayán y Quillcayhuanca.	49
Tabla 16. Datos de precipitación en milímetro (periodo 2 013-2 015) de la estación meteorológica Recuay.	50
Tabla 17. Datos de precipitación en milímetro (periodo 2 013-2 015) de la estación meteorológica Chavín de Huantar.	51
Tabla 18. Cálculo de la precipitación total anual en milímetros	52
Tabla 19. Análisis de consistencia de las estaciones: EM-10 Shancayán - Ciudad Universitaria, EM-16 Quillcayhuanca, EM-Chavín de Huantar y la Estación Recuay.	53
Tabla 20. Análisis de correlación estación patrón vs estaciones: Shancayán, Quillcayhuanca, Chavín de Huantar y Recuay.	55
Tabla 21. Matriz de correlaciones.	55
Tabla 22. Análisis de correlación entre precipitación vs altitud.	56

Tabla 23. Cálculo del factor erosividad de la lluvia.	57
Tabla 24. Resumen de la precipitación anual (mm).	58
Tabla 25. Resumen del factor erosividad.	59
Tabla 26. Datos recogidos de laboratorio de la Facultad de ciencias agrarias UNASAM.	61
Tabla 27. Datos recogidos de laboratorio de la Facultad de ciencias agrarias UNASAM.	62
Tabla 28. Cálculos del factor erodabilidad del suelo (factor k) para cada punto que fue muestreado.	63

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Delimitación de la sub-cuenca del río Olleros.	29
Figura 2. Mapa ASTER GDEM de la sub-cuenca del río Olleros.	32
Figura 3. Mapa de cobertura vegetal de la sub-cuenca del río Olleros.	33
Figura 4. Análisis de consistencia estación Shancayan..	54
Figura 5. Análisis de consistencia estación Quillcayhuanca	54
Figura 6. Análisis de consistencia estación Chavín de Huantar.	54
Figura 7. Análisis de consistencia estación Recuay.	54
Figura 8. Análisis de correlación entre precipitación vs altitud.	56
Figura 9. Análisis de correlación entre $\sum p_i^2$ vs precipitación.	56
Figura 10. Análisis de correlación entre factor R Vs $\sum p_i^2$	59

CAPÍTULO: I

INTRODUCCIÓN.

I. INTRODUCCIÓN

La erosión de suelos, en el Perú es un problema ambiental muy serio que afecta a gran parte del territorio nacional en diferentes grados de severidad. La implementación de metodologías para predecir la pérdida de suelo por erosión en el Perú no ha sido muy extensa. Varias “investigaciones han sido conducidas para cuantificar la tasa de erosión bajo diferentes usos del suelo al nivel de cuencas hidrológicas” (Figuroa, 1 975) y para evaluar la efectividad de diferentes coberturas vegetales en el control de la erosión en terrenos agrícolas, utilizando parcelas de erosión o lotes de escurrimiento (Ríos, 1 987; Ventura, 1 988), pero pocos estudios se han enfocado a la predicción de la erosión con fines de planeación y diseño de prácticas de conservación de suelos (Nearing, 1 989).

Debido a la importancia de estimar la pérdida del suelo por erosión hídrica en la sub-cuenca hidrográfica del río Olleros, utilizando el método de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (U.S.L.E), se hizo uso del sistema de información geográfica para la obtención de resultados cuantitativos referente a la estimación de la pérdida del suelo por erosión hídrica. En esta investigación se utilizó la tecnología de los sistemas de información geográfica para incorporar, manipular y modelar información relacionada con precipitación pluvial, textura de los suelos, pendientes de los suelos de sub-cuenca, uso actual del suelo, etc.; así como su integración y análisis de datos espaciales, generando mapas de erosión hídrica, con métodos de pérdidas de los suelos dentro del área de estudio y que servirán para proponer medidas y prácticas de conservación que permitan reducir la erosión hídrica del suelo.

1.1. Objetivos

El estudio persiguió los siguientes objetivos.

1.1.1. Objetivo general.

Estimar la pérdida de suelos por erosión hídrica aplicando la ecuación universal de la pérdida de suelos y haciendo uso del SIG en la Sub-cuenca del Río Olleros – distrito de Olleros período 2 015.

1.1.2. Objetivos específicos.

- Determinar el área de estudio.
- Determinar la erosividad (R) en la Sub-cuenca del Río Olleros.
- Determinar la erodabilidad del suelo (K), en la Sub-cuenca del Río Olleros.
- Determinar la longitud y gradiente de la pendiente (LS), en la Sub-cuenca del Río Olleros.
- Determinar la cobertura vegetal (C), en la Sub-cuenca del Río Olleros.
- Determinar las prácticas de conservación del suelo (P), en la Sub-cuenca del Río Olleros.

1.2. Hipótesis

La hipótesis de trabajo se ajusta a los estudios del tipo descriptivo, por tanto no es de obligación su planteamiento, sin embargo el estudio se ajusta a la presencia de los objetivos propuesto.

CAPÍTULO: II
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

2.1.- Antecedentes del Tema.

2.1.1.- Internacionales.

Alvarado et al. (2 008), Utilizó la EUPS (ecuación universal de pérdida de suelos) para el cálculo del proceso de erosión en el estado de Tlaxcala – México, los resultados obtenidos muestran que los valores de erosión varían de 1 hasta 650 toneladas /hectárea*año, lo que indica que diversas áreas de dicho estado requiere aplicación de medidas de prevención y restauración de los suelos degradados.

Ramírez, L. (2 010), en la tesis: *Estimación de pérdida de suelos por erosión hídrica en la cuenca del río Juramento-Salta*, hizo uso de la Ecuación Universal de pérdida de Suelos en los sectores más susceptibles a este tipo de erosión, determinó que el 53% del área de estudio presentaría problemas muy graves en ausencia de cobertura vegetal y que el 34% del área en cuestión presenta erosión alta y muy alta.

Frers, C. (2 009). En la obra: *Los problemas de degradar el suelo*, en Buenos Aires Argentina manifiesta que:

- Cada año la erosión de los suelos y otras formas de degradación de las tierras provocan pérdidas entre 5 y 7 millones de hectáreas de tierras cultivables.
- La erosión del suelo, la pérdida de las tierras de cultivo y los bosques reducen la capacidad de conservación de la humedad de los suelos y añade sedimentos a las corrientes de agua, lagos y embalses.
- Llama la atención sobre el hecho de que los problemas más comunes referentes al suelo tienen que ver con las actividades de las personas. Al respecto dice que: “Los problemas directamente derivados del uso antrópico de los suelos son muy severos. La erosión, la desertificación, la contaminación, la compactación, el avance de las ciudades y urbanización y la pérdida de fertilidad, se encuentran entre los problemas más graves que afectan hoy a los suelos.”

Oldeman, L. (1 994), en la obra: *The global extend of soil degradation*, manifiesta que: “La superficie mundial está afectada por procesos de degradación del suelo, siendo la

erosión hídrica la más importante, seguida de la erosión eólica”. El total de superficie degradada, se debe a que:

- Las condiciones meteorológicas preparan el material parental para la erosión y la lluvia actúa como el mayor agente para la erosión del suelo.
- La cobertura vegetal, el tipo y las características del suelo, la geomorfología, la geología y los usos del suelo, establecen el grado de propensión del suelo a ser afectado por los agentes generadores de erosión.

Según la FAO (1993). Manifiesta que el clima, el suelo, la topografía, las prácticas de conservación y manejo de cultivos, afectan considerablemente la erosión del suelo, por lo que la habilidad para predecir estos efectos es clave para el planeamiento de la conservación de las tierras. Además agrega que existen varios modelos simples y complicados para predecir la erosión a nivel de suelo, parcelas, campo y cuencas. Y que: "... la adopción de alguno de ellos varían en sus requerimientos de insumos y en su habilidad de predecir otros procesos agrícolas tales como hidrología, nutrientes, pérdidas por lixiviación u otros procesos y producción de cultivos".

Guanca, Analía Vanesa (2010) en su tesis: *Determinación de la erosión hídrica de los suelos de la cuenca del Río Pilcomayo - Salta*, utilizó la ecuación universal de pérdida de suelo y un SIG, concluye en lo siguiente:

Las herramientas SIG permiten realizar los análisis de sensibilidad en modelos que manipulan las variables, posibilita la integración de fuentes diversas como mapas temáticos, datos estadísticos, planillas de cálculo e imágenes satelitales.

Los mapas SIG cambian dinámicamente en la medida que los datos alfanuméricos son actualizados, finalmente, una ventaja importante de la utilización de los SIG es el ahorro considerable de tiempo, costo y mano de obra para realizar el estudio en la cuenca.

Morgan, R. (1997). En su libro: *Erosión y conservación de suelos*, manifiesta que, la erosión del suelo se produce por la desagregación y transporte de sus partículas por diversos agentes erosivos, principalmente el agua y el viento y su acumulación ocurre cuando la energía de estos agentes es insuficiente para continuar con el transporte.

FMAN, F.Y. (2 002) en su obra: *Hacer frente a la degradación de la tierra y a la desertificación*, manifiesta: Que a nivel mundial desde 1 990 hasta el 2 002 se han perdido 467.4 millones de hectáreas a causa de la erosión provocada por la lluvia, solo en América del norte se pierden 38.4 millones de hectáreas al año. Cada año, el avance del desierto provoca una pérdida de 12 millones de hectáreas, lo que corresponde al área en la que podrían cultivarse 20 millones de toneladas de cereales. A su vez, la degradación de la tierra es una amenaza para los medios de subsistencia de 1,000 millones de habitantes en el mundo. Se estima que la degradación causada por el cultivo excesivo, el sobre pastoreo, la deforestación y el riego inadecuado afecta al 20% de las tierras secas del mundo, esto es, una superficie equivalente a la de China.

2.1.2.- Nacionales.

Alegre J., Felipe Morales C. y La Torre B. (1 990), en la obra: *Soil Erosion Studies in Peru*, manifiestan que gran parte del Perú, debido a su pronunciada topografía, es sensible a la acción erosiva del agua y el viento, esto depende del lugar donde se produce tales efectos ambientales. La costa es más sensible a la erosión producida por el viento mientras en la sierra la erosión dominante es producida por el agua. Las ventajas y desventajas para el control de la erosión del agua, dependerían de las condiciones climáticas y de la pendiente.

Barreto, L. (2 011), dice que: La erosión hídrica de los suelos en la Sierra del Perú, es considerada uno de los problemas ambientales más significativos del sector agropecuario. Esta problemática está asociada a una disminución de la productividad y eficiencia de los suelos, provocada por una baja retención tanto del: agua, fertilidad, así como del suelo mismo, cuya tendencia a escurrir se manifiesta en mayor medida en terrenos con pendientes pronunciadas.

2.1.3.- Regionales.

Oficina Nacional de evaluación de recursos naturales (1 973), en la obra: *Estudio de suelos del callejón de Huaylas (semi-detallado)*, la cual tuvo como objetivo fundamental suministrar información básica de valor permanente que sirva de base a los planes futuros de desarrollo agropecuario y forestal brindando información mucho más precisa en los aspectos topo fisiográficos, de erosión, áreas apropiadas para la agricultura y ganadería así como también de superficies hábiles a forestarse. En el estudio, se ha efectuado un

agrupamiento o clasificación práctica de las tierras de acuerdo a su capacidad de uso, esta clasificación es un ordenamiento práctico e interpretativo de los diferentes grupos de suelos, con el fin de mostrar sus usos, problemas o limitaciones, necesidades y prácticas de manejo adecuados, que proporciona un sistema comprensible, claro, de gran valor y utilidad en la programación de los planes de desarrollo agrícola, así mismo el sistema de clasificación se basa en las limitaciones permanentes del terreno los cuales son: Riesgos por erosión, condición del suelo, condición de drenaje o humedad y condición climática.

Beltrán Flores, L. A. (1996), en su tesis: *Evaluación de la erosión hídrica en parcelas de escorrentía bajo condiciones naturales en Huaraz*, utilizó el método de las parcelas experimentales, concluye: Que la pérdida de suelo es determinado por las características de la lluvia, condiciones del suelo y tipo de cobertura vegetal evaluada.

Chuquisengo, O.; Ferradas, P. (2007), en el estudio: *Gestión de Riesgos en Ancash*, sostienen que el departamento de Ancash tiene una trágica experiencia de desastres, han ocurrido algunos de los peores sismos, aluviones y otras desgracias de gran magnitud. En el largo historial de desastres del departamento de Ancash se evidencia que este es un territorio de amenazas, entre las cuales cabe mencionar: Aluviones, sismos e inundaciones.

Como consecuencia del sismo de 1970, existen áreas donde se produjeron fracturamientos y asentamientos. En ese momento el material no colapso y con el tiempo ha llegado a una situación de relativa estabilidad. Ahora el peligro potencial se relaciona a la posibilidad de una reactivación que podría ser causada por fuertes precipitaciones pluviales o por intensificación sísmica importante, que en caso extremo originaría flujos a manera de huaycos, pudiendo inundar a zonas de vivienda ubicados en su ruta hacia la desembocadura del Río Santa.

El Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (2010), en el estudio: *Evaluación del Riesgo Geológico en la Microcuenca Pucauran – Atupa, Distrito de Jangas Provincia de Huaraz – Ancash*, concluye que: El área estudiada se encuentra afectada por una serie de procesos geodinámicas externos, como: Deslizamientos, derrumbes, erosión de laderas, huaycos y movimientos complejos, clasificándose a la zona como de alto riesgo. Para la solución definitiva de los problemas producto de los peligros geológicos existentes es

necesario efectuar estudios geotécnicos detallados que involucren prospecciones indirectas o directas.

Los factores naturales que influyen en la estabilidad de las laderas, están ligados a las condiciones intrínsecas de los terrenos tales como: Naturaleza del substrato y formaciones superficiales (factor litológico), grado de pendiente de las laderas y cause de las quebradas (factor morfológico y relieve), tipo y densidad de vegetación (factor cobertura vegetal), tipo de precipitaciones estacionales y excepcionales que condicionan la escorrentía superficial y erosión (factor climático e hidrológico), saturación de materiales superficiales y substrato (factor hidrogeológico) así como las características sismo tectónicas regionales (factor sísmico).

Caillaux, V. C. (2 000), en el estudio: *Evaluación de la Inestabilidad del Terreno de la Quebrada Pacauran*, manifiesta que: Existe diferentes eventos geodinámicas antiguos y recientes (descripción de movimientos en masa en las diferentes quebradas de la microcuenca); además atribuye la aceleración de los procesos geodinámicas a las lluvias del fenómeno “El niño” extraordinario (1 997 – 1 998) y coincidentemente con el inicio de operaciones de la mina Pierina.

Cotos Vera, J.A. (2 011), en su tesis: *Evaluación de los Indicadores Físicos de la Calidad de los Suelos con Relación a los Riesgos de Erosión en la Microcuenca del Río Cascas Distrito de Independencia Ancash*, al evaluar los indicadores: textura, intensidad de la precipitación, profundidad del suelo, infiltración, densidad aparente y capacidad de retención del agua en la microcuenca del Río Cascas, haciendo uso un SIG. Concluye que las características físicas del suelo en textura, profundidad y pedregosidad hacen más susceptibles a la pérdida de los suelos por efecto de la precipitación pluvial en áreas o zonas de cultivo, además los peligros de erosión están ligados a la presencia de precipitaciones fuertes, topografía accidentada con fuertes pendientes y suelos de textura franco arenosa de poca profundidad, falta de pedregosidad y cubierta vegetal, en los suelos.

Brito Monsalve, C. H. (2 012), En su tesis: *Caracterización del riesgo de erosión hídrica en la Microcuenca Pucauran, distrito de Jangas – Huaraz – Ancash 2 012*, utilizó la ecuación universal de pérdida de suelos (USLE), concluye: Que la estimación de cada uno de los parámetros que intervienen en la fórmula USLE sirvió para determinar el riesgo

de erosión hídrica de la zona, donde cada uno de ellos constituyó una capa de información que al ser analizados con el SIG y aplicando la fórmula USLE dió como resultado un mapa de erosión con los siguientes resultados: $T < 5$ Tm/ha*año considera como erosión baja, representa el 31% del área de la Microcuenca con 218.79 Has, $T = 5$ a 25 Tm/ha*año considera como erosión moderada, representa el 15% del área de la Microcuenca con 110.10 Has, $T = 50$ a 100 Tm/ha*año considera como erosión alta, representa el 10% del área de la Microcuenca con 73.61 Has, $T = 100$ a 200 Tm/ha*año considera como erosión muy alta, representa el 27% del área de la Microcuenca con 188.28 Has y $T > 200$ Tm/ha*año considera como erosión crítica, representa el 7% del área de la Microcuenca con 47.02 Has”.

2.2.-Marco Teórico.

2.2.1.- Según FAO (1 990), la erosión hídrica es la remoción del suelo por efecto del agua, causado por las gotas de lluvia o por el escurrimiento superficial.

2.2.1.1.- Tipos de erosión hídrica.

Dentro de los tipos de erosión hídrica se menciona solo la erosión laminar la cual es obtenida por la acción de la precipitación pluvial.

Derpsch et al (1 991, pp.38-39) definen:

2.2.1.2.- Impacto de la gota de lluvia sobre el suelo desnudo en la erosión hídrica.

Sus agregados son desintegrados en partículas minúsculas, que tapan los poros formando una selladura superficial, provocando el escurrimiento superficial del agua de lluvia. El agua que escurre carga partículas de suelo que son depositadas en lugares más bajos cuando la velocidad de escurrimiento es reducida.

2.2.1.3.- Factores que originan la erosión hídrica.

2.2.1.3.1.- Factores climáticos: Tenemos la precipitación. Cuando el volumen o la intensidad de la lluvia son altos y superiores a la velocidad de infiltración del suelo, se genera escurrimiento y consecuentemente la erosión.

2.2.1.3.2.- *Características del suelo.* En los suelos de texturas gruesas, los valores de infiltración se mantienen altos y por lo tanto el escurrimiento es menor que en los suelos de texturas finas, que resultan más expuestos a la erosión.

2.2.1.3.3.- *Cobertura vegetal:* La presencia de cobertura vegetal tiene influencia directa en la absorción de la energía de las gotas de lluvia y en la disminución de la velocidad de escurrimiento.

2.2.1.3.4.- *La topografía.* Influye en el proceso a través de la pendiente. Debiéndose considerar su longitud, magnitud y forma. Frecuentemente el grado de erosión origina problemas más agudos que la longitud de la pendiente. En cuanto a la longitud de la pendiente, el efecto es variable de acuerdo a la naturaleza de la precipitación, a la cobertura vegetal y a la textura del suelo. La mayor longitud de la pendiente hace aumentar el espesor de la lámina de escurrimiento o carga hidráulica.

2.2.2.- Ecuación universal de pérdida de suelos (USLE). Merritt et al. (2 003), citado por Alonso et al. (2 007), manifiesta que sus resultados han sido incorporados en aplicaciones de modelación de erosión y transporte de sedimento a escala de cuenca. Los requerimientos de datos de entrada son bajos, comparado con muchos otros modelos: Lluvia anual, un estimado de la erodabilidad, información de la cobertura de suelo y la topografía. Dando como resultado la estimación de la pérdida de suelo anual promedio expresado en la siguiente fórmula:

$$A=R*K*L*S*C*P \quad (1)$$

Dónde:

A = Es la cantidad de material erodado, calculado o medido, expresado en toneladas por hectárea para una duración de lluvia específica. El factor A (pérdida de suelo por erosión) tiene las unidades del factor K (erodabilidad del suelo), en el período de tiempo seleccionado para el factor R (erosividad de las lluvias).

R = Es el factor de lluvia en forma de un índice (EI30), que es medido por el poder erosivo de la lluvia expresado en toneladas métricas por hectárea hora o en joule por metro cuadrado, una medida de la fuerzas erosivas de la lluvia y escurrimiento asociado.

K = Es el factor de erodabilidad del suelo, es erosión estándar en tonelada por hectárea por unidad de erosividad (R), para un suelo específico con una pendiente uniforme de 9% de gradiente y 22,13 m de longitud de pendiente en barbecho limpio labrado, es una medida de la susceptibilidad inherente de las partículas del suelo a la erosión.

L = Es el factor longitud de pendiente, expresa la relación de pérdida de suelo de una pendiente con una longitud dada y la pérdida de suelo de una pendiente con una longitud estándar de 22,13 m, con idénticos valores de erodabilidad y gradiente de pendiente.

S = Es el factor de gradiente de pendiente, expresa la relación de pérdida de suelo de una gradiente de pendiente específica y la pérdida de suelos de una pendiente con gradiente estándar de 9%, bajo otras condiciones similares, definen el efecto de la inclinación de la pendiente sobre la pérdida de suelo por unidad de área.

C = Es el factor combinado de vegetación y manejo, expresa la relación de pérdida de suelo de un área con cobertura y manejo específicos a un área similar pero en barbecho continuamente labrado.

P = Es el factor prácticas de conservación de suelo que expresa la relación de pérdida de suelo de un área con cobertura y manejo específico, como cultivo en contorno, cultivo en bandas o terrazas, con otro con labranza a favor de la pendiente.

Tabla 1. Dimensiones y unidades de los factores del modelo USLE

Símbolo	Dimensión	Unidades métricas
A	$\frac{M}{L^2 * T}$	$\frac{tm}{ha * año}$
R	$\frac{L * F * L}{L^2 * T * T}$	$\frac{Mj * mm}{ha * hrs * año}$
K	$\frac{M * L^2 * T}{L^2 * L * F * L}$	$\frac{tm * ha * hrs}{ha * MJ * mm}$

Fuente: Renard et al (1 997), citado por MESEN (2 009)

Ramírez, L. (2 010, p.43), en la Obra: *Estimación de la Pérdida de Suelos por Erosión Hídrica en la Cuenca del Río Juramento-Salta*, sostiene que, los términos (R, K, L y S), establecen la influencia de los factores físicos del lugar, poco modificables por el hombre. Representan la pérdida de suelo que ocurriría en ese sitio si todo el año el suelo estuviese desnudo; por esa razón a este producto parcial se lo denomina erosión potencial (EP). Igualmente indica que el producto de (R.K.L.S) por los valores de C y P permite estimar la erosión actual (EA). Estos valores dependen del porcentaje de cobertura natural y del manejo que cada productor haga de su campo. Para diferentes manejos corresponden diferentes valores de C y P; estos valores se encuentran tabulados.

2.2.2.1. Factor R o índice de erosividad de la lluvia.

Ramírez, L. (2 010, p.37), En su tesis: *Estimación de la Pérdida de Suelos por Erosión Hídrica en la Cuenca del Río Juramento-Salta*, sostiene que el factor índice de erosividad de la lluvia (factor R) representa la capacidad potencial de las lluvias para generar erosión; es función de las características físicas de las mismas (intensidad, duración, velocidad y tamaño de las gotas). Y además la altitud incide significativamente en los valores obtenidos (Antezana – 2 001); del mismo modo RAMÍREZ et al. – 2 007 dicen que, existe una relación directa entre la erosividad y la precipitación anual, dada la definición misma de dicho índices.

Ramírez, L. (2 010, p.58), nos dice que, este índice fue utilizado por FAO en la elaboración del mapa universal de degradación de suelos. Las principales ventajas que muestra son el empleo de datos meteorológicos simples y una buena correlación con valores medidos conocidos del factor R, empleando el índice I30. Esta ecuación se probó en diferentes regiones del mundo obteniéndose en general un alto grado de correlación (0,89).

Jaramillo V., J. J. (2 014), en la tesis: *Estudio del riesgo por erosión hídrica del Suelo utilizando el modelo U.S.L.E, mediante Herramientas S.I.G, aplicado en la sub-cuenca Río Portoviejo provincia de Manabí*, para efectuar el cálculo de la erosividad de la lluvia sobre el suelo lo realizó mediante la ecuación de Arnoldus (1 978), la cual se encuentra fundamentada mediante el índice de Fournier, esta ecuación se aplica en estudios de influencia del clima en el suelo, definiéndose de la siguiente manera:

$$Factor\ R = \sum_{i=1}^{i=12} \frac{p_i^2}{P} \quad (2)$$

Dónde:

i = número del mes.

p_i = precipitación mensual en milímetros.

P = precipitación anual en milímetros.

Consideró que para obtener el resultado del factor erosividad (R), el clima es la variable de mayor importancia en el estudio de la erosividad, la intensidad de energía cinética, ésta se da en cada impacto que provoca la lluvia en el suelo y no generalmente por la esorrentía en sí; esto quiere decir que el resultado que se obtendrá de aplicar la fórmula de Arnouldus (1 978), dependerá solamente de la lluvia y es independiente del escurrimiento del suelo.

Tabla 2. Categorización de la erosividad (R).

MJ*mm/Ha*Hrs*año	Factor R
0 – 50	Bajo
50 – 550	Moderado
550 – 1000	Alto
Mayor a 1000	Muy Alto

Fuente: Índice de Fournier.

2.2.2.2. Factor K o índice de erodabilidad.

Villanueva *et al.* (2 002) Citado por Velásquez, S. (2 008) en la obra: *Erosión de suelos utilizando la Ecuación Universal de pérdida de suelo USLE*, al considerar la susceptibilidad del suelo a ser erosionado, manifiesta que algunos suelos se erosionan más rápidamente que otros aun cuando las pendientes, lluvia, cobertura y prácticas de manejo sean las mismas, debido a las propiedades intrínsecas del suelo.

Cerda, A. (2 001, p.25), en la obra: *La erosión del suelo y sus tasas en España*, expresa que la resistencia del suelo ante la erosión, tanto al arranque como al transporte de partículas, determinará las tasas de erosión; la textura y estructura son las propiedades más estudiadas para identificar los suelos en función de su susceptibilidad ante la erosión. La estabilidad de los agregados es un parámetro sintético que identifica la erosionabilidad del suelo.

Un suelo que mantiene una buena agregación hace difícil el proceso de erosión porque las partículas se mantienen unidas y porque permite el flujo de agua en su interior. En cambio, cuando los agregados se dispersan, las partículas son fácilmente erosionables, se taponan los poros y el agua en lugar de infiltrarse fluye en superficie. Otros factores que influyen sobre la erosionabilidad de un suelo son su permeabilidad y su contenido en materia orgánica.

Velásquez, S. (2008) y Ramírez, L. (2010, p.45) sostienen que los suelos con alto contenido de arcilla tienen bajos valores de erodabilidad (K), por su resistencia al desprendimiento de las partículas de suelo. Suelos con texturas gruesas, como los arenosos, tienen también bajos valores de erodabilidad, aunque estos suelos son fácilmente erodables. Suelos con texturas medias como los francos, tienen un valor moderado de K, de cerca de 0,25 a 0,4 ya que son moderadamente susceptibles al desprendimiento y producen una escorrentía moderada. Suelos que contienen un alto contenido de limo son los más erodables, ya que son fácilmente desprendibles, tienden a formar una costra y producir altas tasas de escorrentía. Los valores de erodabilidad K de estos suelos tienden a ser mayores que 0,4. La materia orgánica del suelo mejora la estructura, infiltración y agregación y disminuye la erodabilidad, pero agregados grandes pueden aun ser transportados por escorrentía de alta velocidad.

La permeabilidad del perfil es importante debido a su influencia en la escorrentía.

Tabla 3. Clase de permeabilidad según textura (equivalencia media m/día)

Clase de permeabilidad.	USDA (1983) Textura.	Rawis et al. (1982) K_{fs} (m día ⁻¹)	Hudson (1982) K_{fs} . (m día ⁻¹)
1 (Rápida y muy rápida)	Arenosa	> 1 463	>3
2 (Moderada a rápida)	Arenosa franca, franco arenosa	0 488 - 1 463	15-mar
3 (Moderada)	Franca, Franco limosa, limosa	0 122- 0.488	0.48. 15
4 (Lenta a Moderada)	Franco arcillo arenoso, franco arcillosa	0.049- 0.122	0.12. 0.48
5 (Lenta)	Franco arcillo Limosa, arcillo arenosa	0.024-0.049	0.03- 0.120
6 (Muy Lenta)	Arcillosa arcillo limosa	<0.024	<0.03

Fuente: Manual de suelos N° 430 (USDA, 1983).

Velásquez, S. (2008, p.46) en el estudio: *Erosión de suelos utilizando la EUPS (USLE)*, Afirma que la materia orgánica del suelo mejora la estructura, infiltración y agregación y disminuye la erodabilidad, pero agregados grandes pueden aun ser transportados por escorrentía de alta velocidad. La permeabilidad del perfil es importante debido a su influencia en la escorrentía.

Tabla 4. Parámetros de Estructura del suelo a profundidades de 15 a 18 cm Superficies.

Clase de Estructura	USDA (1983)
1	Granular y migajosa muy fina (< 1 mm)
2	Granular y migajosa fina (1 - 2 mm)
3	Granular y migajosa media (2 -5 mm) y granular grosera (5-10 mm)
4	Granular y prismática muy grosera y columnar (> 10mm)

Fuente: Manual de suelos N° 430 (USDA, 1983)

Valores más exactos del factor erodabilidad (factor K) pueden ser obtenidos usando la ecuación 3, en función de la distribución del tamaño de las partículas, contenido de materia orgánica, estructura y permeabilidad del perfil, desarrollada a partir de datos de campo de parcelas de erosión.

$$100 K=0.1317^* [2.1^* (M^{1.14}/10000)^* (12-a)+3.25 (b-2)+2.5(c-3)] \quad (3)$$

Dónde:

M = (% Limo% + % arena muy fina)*(100 - % arcilla)

a = Materia orgánica (%)

b = Clase de estructura.

c = Clase de permeabilidad.

La USDA clasifica la erodabilidad según la siguiente tabla:

Tabla 5. Clasificación de los grados de erodabilidad según USDA (1 962)

Valor de K (Tm.ha.hrs/mj.mm. ha.)	Clasificación
0.007902	Muy poco erodable.
0.0079-0.0171	Débilmente erodable.
0.0171-0.0329	Medianamente erodable.
0.0342-0.0684	Fuertemente erodable.
0.0684-0.1027	Extremadamente erodable.

Fuente: AMESQUITA, 1 990

2.2.2.2.1.- *Tamaño de la muestra para la determinación de los valores de la erodabilidad del suelo (K).*

Para ello se hace uso de la fórmula estadística presentada por Cochran (1 977), citado por García, J. (2 005, p.78).

$$n = \frac{n.z^2.p.q}{N.e^2 + z^2.p.q} \quad (4)$$

Dónde:

N = Superficie Total en hectáreas de la sub-cuenca

1- α = nivel deseado de confianza.

P = porcentaje estimado de la muestra.

q = 1-p

e = error máximo aceptable (relativo)

z = factor probabilístico

n = tamaño de muestra.

2.2.2.3. *Factor LS o longitud y gradiente de la pendiente.*

Ramírez, L (2 010), en su tesis: *Estimación de la Pérdida de Suelos por Erosión Hídrica en la Cuenca del Río Juramento-Salta*, sostiene que este factor se conoce con el nombre de factor topográfico. Expresa el efecto del relieve sobre la pérdida de suelos, representando el efecto del largo y grado de la pendiente.

L = es el factor de longitud de la pendiente y representa su efecto en la erosión (adimensional).

S = Es el grado de inclinación de la pendiente. Representa los efectos de la inclinación en la erosión. La pérdida de suelo se incrementa más rápidamente con pendientes muy escarpadas en comparación con el incremento en longitud de la pendiente.

Generalmente, el factor L y S se consideran juntos. Los factores LS juntos son iguales a 1.0, bajo condiciones de la parcela unitaria de 22,13 m y 9% de inclinación.

2.2.2.3.1.-Método para determinar el factor longitud y la gradiente de la pendiente (factores: L y S).

✓ **Método de Renard.** Renard *et al.* (1 997), citado por Barrios y Quiñonez (2 000) en la obra: *Evaluación de la erosión utilizando el modelo (USLE) con apoyo de SIG. Aplicación en una microcuenca de los Andes Venezolanos*, sostienen que el factor LS se calcula aplicando las ecuaciones empleadas en USLE.

✓ La determinación del factor: L, hace uso de la ecuación 5

Dónde: 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 (Foster *et al.* (1 977), Citado por Barrios y Quiñonez, (2 000).

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

$$m = \frac{F}{(1 + F)} \quad (5.1)$$

$$F = \frac{\frac{\sin\beta}{0.0896}}{3(\sin\beta)^{0.8} + 0.56} \quad (5.1.1)$$

El factor L con el área de drenaje aportadora (Desmet y Govers, 1 996, citado por Velásquez, S. 2 008). Para su uso dentro de los SIG se hace uso de la fórmula:

$$L_{(i,j)} = \frac{(A_{(i,j)} + D^2)^{m+1} - (A_{(i,j)})^{m+1}}{X^m D^{m+2} (22.13)^m} \quad (6)$$

Dónde:

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.

✓ La determinación del factor: S

El ángulo β se toma como el ángulo medio a todos los subgrids en la dirección de mayor pendiente (McCOOL *et al.*, 1 987,1 989, citado por Barrios y Quiñonez, 2 000).

$$S_{(i,j)} = \left[\begin{array}{ll} [10.8\text{Sin}\beta_{(i,j)} + 0.03 & \tan\beta_{(i,j)} < 0.09] \\ [16.8\text{Sin}\beta_{(i,j)} - 0.5 & \tan\beta_{(i,j)} \geq 0.09] \end{array} \right] \dots \dots \dots (7)$$

Velásquez, S. (2 008) en el estudio: *Erosión de suelos utilizando la EUPSR (RUSLE)*, Dice que, cuando se aplica esta fórmula en el Raster Calculator de ArcGIS 10.3, 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.

Tabla 6. Categorización del factor longitud y gradiente de la pendiente (factor LS).

Factor LS	Categorización
Bajo	<15
Moderado	15 - 30
Alto	30 - 45
Muy Alto	> 45

Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE).

2.2.2.4. Factor cobertura vegetal (C).

Velásquez, S. (2 008) en el estudio: *Erosión de suelos utilizando la Ecuación Universal de Pérdida de suelo Rusle (EUPSR)*, nos dice que, el factor cobertura vegetal (C) es el factor de manejo de cultivo. El factor cobertura vegetal “C” se utiliza para reflejar el efecto del cultivo y las prácticas de manejo en las tasas de erosión. Es el factor que se utiliza más a menudo para comparar los impactos relativos de las opciones de manejo en los planes de conservación.

El factor cobertura vegetal “C” indica cómo el plan de conservación afectará la pérdida promedio anual y cómo la pérdida potencial de suelo será distribuida en el tiempo durante las actividades de construcción, rotaciones de cultivo u otros esquemas de manejo.

El factor cobertura vegetal “C” se basa en el concepto de la desviación en relación a un estándar, en este caso un área limpia de cultivos y en barbecho continuo. La tasa de

pérdida de suelo es entonces un estimado de la tasa de pérdida de suelo en las condiciones actuales en relación a aquella que se experimentaría bajo las condiciones de referencia.

La cobertura vegetal representa los efectos de las plantas, la cobertura del suelo, la biomasa del suelo y las actividades disturbadoras del suelo en los procesos de erosión. La USLE (Universal Soil Loss Equation) calcula las tasas de pérdida del suelo, que son las tasas de pérdida en un momento dado, en una secuencia de manejo de cobertura, en relación a la pérdida de suelo en la parcela unitaria.

Tabla 7. Factor cobertura vegetal (factor C).

Uso y Cobertura vegetal	Factor C								
	Mora,1987	Mora,1987	FAO, 1989	ICE, 1999	Saborío, 2 002;	Marchamalo, 2004; 2007	Lianes, 2009	Morgan, 1977	Sagarpa, 2005
					Gómez, 2002;				
					Catie,2003				
Bosque	Bosque relicto altoandino	0.0001							
	Bosque natural			0.001-0.003			0.003		0.001 - 0.10
Cultivos Anuales y Transitorios	Agricultura andina					0.4			
Matorral y Pasto	Matorral arbustivo				0.003 - 0.030				
	Pajonal andino		0.012						
Matorral y Pasto	Área altoandina con escasa y sin vegetación				0.900 - 1.000				
	Lagunas y lagos				0.0001				
Otros	Masa de agua					0.0001			
	Bofedal					0.0001			

Wischmeier y Smith (1 978). Elaborado por el autor.

2.2.2.5.- Factor P o de prácticas de conservación de suelos.

Velásquez, S. (2 008), en la obra: *Erosión de suelos utilizando la EUPS (USLE)*, sostiene que:

El factor **P**, es considerado en los estudios de erosión, cuando se aplica la ecuación de USLE (Universal Soil Loss Equation), como variable independiente del factor C, lo cual se le considera como uno de los procesos de recuperación del suelo muy empleado por conservacionistas y apoyado por organización no gubernamental (ONG), en desarrollar estrategias para quienes labran o trabajan la tierra implementen con conciencia una agricultura sustentable en beneficio de seguir conservando nuestros principales recursos naturales.

2.2.3.- Pérdida de suelo por erosión hídrica (A).

Núñez, S. (2 001) en su libro: *Manejo y conservación de suelos*, conceptúa que, “las pérdidas tolerables” o niveles aceptables de erosión, manejado objetivamente, puede ser instrumento valioso en la identificación de problemas erosivos y en la selección de métodos de control para minimizar las pérdidas. Naturalmente, la pérdida Aceptable de suelo depende de las condiciones del mismo: Si se trata de un suelo profundo con fertilidad similar a lo largo de todo el perfil, una pérdida de 25 mm en 30 años es mucho menos que si se trata de un suelo de pocos centímetros descansando sobre roca dura. En este caso la cifra tope excede raras veces 12,5 Tm/ha*año; y frecuentemente es menor.

Ramos, C. (2 001) en la obra: *Modelamiento ambiental para análisis de susceptibilidad erosiva en la cuenca media y alta del Río Cañete y determinación del mapa de erosión*, manifiesta, que el límite de erosión aceptado internacionalmente como admisible oscila en torno a las 10 a 12 Tm/ha*año, aunque se cree que en zonas húmedas esta cifra puede elevarse hasta las 25 Tm/ha*año. Por encima de esta cifra no se garantiza la conservación de los suelos, ya que la destrucción es más rápida que la creación de suelo.

Tabla 8. Clasificación de los niveles de intensidad de pérdida de suelo.

Pérdidas tolerables USLE (Universal Soil Loss Equation)

Intensidad de amenazas	pérdida de suelo (Tm/ha*año)
Baja	Menor a 5
Moderada	5-25
Media	25-50
Alta	50-100
Muy alta	100-200
Crítica	Más de 200

Fuente: Adaptado de FAO, UNESCO, PNUMA (1 980), citado por EDESO (1 997), RAMOS (2001, 2009), VELÁSQUEZ, S (2 008) y RAMÍREZ, L (2 010)

2.2.3.1 Investigaciones sobre estimación de erosión hídrica aplicando un sistema de información geográfica.

Montes *et al.* (1 997) en su tesis: *Metodología para la estimación del riesgo de erosión hídrica en cuencas hidrográficas utilizando un SIG*, presentan en este trabajo una metodología para evaluar el riesgo de erosión hídrica en la cuenca hidrográfica “Santa Catarina” en el Estado de Querétaro, México. El riesgo fue evaluado mediante el análisis multiplicativo de cuatro factores incluidos en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS). Los cuatro factores considerados involucran la potencialidad erosiva de la lluvia y el escurrimiento (erosividad - factor R), la susceptibilidad del suelo a la erosión (erodabilidad - factor K) y el efecto del grado (factor S) y la longitud de la pendiente (factor L). Los resultados obtenidos muestran total concordancia al coincidir las regiones ya erosionadas actualmente con aquellas encontradas con un riesgo muy alto de erosión. Los resultados sirvieron también para la planeación de un programa de manejo y conservación del recurso suelo de la cuenca.

Martínez, H. (2 007) en el estudio: *Desarrollo de una metodología hidrogeomática para estimar la contaminación difusa en aguas superficiales de una cuenca*, manifiesta: que en la actualidad se han implementado modelos que facilitan la estimación de la

erosión y sedimentación mediante simulación en sistemas de información geográfica (S.I.G), cuyos resultados son empleados en la gestión de los recursos agua y suelo. La metodología utilizada tiene que ser adecuada y compatible con la información obtenida, con el objetivo de adquirir los resultados esperados.

2.3.- Definición de Términos.

Sub-cuenca hidrográfica, se considera como un área en donde los ríos secundarios descargan su caudal con dirección al río principal. Cada afluente tiene su respectiva cuenca, una sub-cuenca es aquel que tiene un área que oscila entre 10.000 a 60.000 hectáreas.

Fisiografía, la fisiografía es la descripción de las formas del relieve de la naturaleza, clasifica las formas de los paisajes y las relaciona con aspectos de la geología, clima e hidrología.

El clima, condiciona los usos que se pueden dar al suelo en una región, podría provocar la erosión y degradación de los suelos.

La topografía, presencia de diferentes elevaciones de un terreno con semejanza a los valles, cordilleras y colinas.

La hidrología, es la red de distribución de aguas que generarían un caudal determinado sea de aguas superficiales o subterráneas generadas por escorrentía y sedimentación en beneficio de una población determinada.

El relieve, son depresiones o eminencias cuyos accidentes geográficos dan formaciones a cuencas y sub-cuencas en un lugar determinado generando erosiones.

Suelo, al suelo se lo considera como una capa arable, un recurso natural generalmente compuesto de un sistema dinámico y muy complejo en la cual se derivan procesos que involucran componentes físicos, químicos e incluso vivos para aportar en el desarrollo de las plantas y fundamental para el desarrollo de cualquier cultivo agrícola.

Erosión, la erosión del suelo se la puede definir como un fenómeno geológico complejo provocado por el desprendimiento, desgaste y transporte de las partículas que

conforman el material del suelo, y que se terminan depositando como sedimento en otro sitio.

Precipitación, la precipitación se la puede definir como el conjunto de nubes que se conforman con la saturación de la vaporación del agua y la atmosfera que generan cuando cae a la superficie en forma de lluvia, llovizna, nieve y granizo.

Pendiente, es aquella que presenta un declive o inclinación del suelo respecto a la forma horizontal de una vertiente.

Textura, es la unión de partículas minerales y orgánicas de diferentes formas y tamaños, su distribución se realiza de acuerdo a su tamaño y forma, muchas veces presentan formaciones esféricas, esas características descritas y analizadas que poseen los suelos se le denomina textura.

Estructura, se entiende como la forma o arreglo de las partículas fundamentales del suelo (arena, limo y arcilla).

SIG, (Sistema de Información Geográfica), es una tecnología de manejo de información geográfica, formada por diferentes componentes, los cuales tiene por finalidad el manejo y análisis geoespacial; está formado por cuatro componentes primordiales: Hardware, Software, datos geográficos y equipo humano.

Ráster, los rásteres son fotografías aéreas digitales, imágenes de satélite, imágenes digitales o incluso mapas escaneados, consta de una matriz de celdas (o píxeles) organizadas en filas y columnas (o una cuadrícula) en la que cada celda contiene un valor que representa información.

Modelo Digital de Terreno (MDT), Se denomina MDT al conjunto de capas (generalmente raster) que representan distintas características de la superficie terrestre derivadas de una capa de elevaciones a la que se denomina Modelo Digital de Elevaciones (MDE).

CAPÍTULO: III

MATERIALES Y MÉTODOS

III. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. Materiales y Equipos.

3.1.1. Campo

➤ **Materiales:**

- Pala recta, picota, bolsa negra.

➤ **Equipos:**

- Cámara fotográfica.
- GPS navegador (Sistema de Posicionamiento Global)
- Wincha de 5 metros stanley

3.1.2. Laboratorio.

➤ **Materiales:**

- Muestra de suelo.
- Agua.

➤ **Equipos:**

- Cilindros de 1000 mililitros.
- Hidrómetro de Bouyoucos.
- Termómetro.
- Varilla agitadora.

3.1.3. Oficina.

- Datos en físico de registros de precipitación acumulada mensual y anual de las estaciones meteorológicas: Shancayán, Quillcayhuanca, Chavín de Huantar y Recuay (período 2013-2015).
- Computadora e impresora.

➤ **Software:**

- ArcGIS 10.3.1 versión en inglés.
- Microsoft Office Excel 2014.

3.2.- Metodología.

3.2.1.- Área de investigación.

Ciencias agrarias

3102 ingeniería agrícola

3102.99 otros: Pérdida de suelo por erosión hídrica.

3.2.2.- Tipo de investigación.

La presente investigación de acuerdo al fin que se persigue, es APLICADA de nivel DESCRIPTIVO, por el período en que se capta la información es RETROSPECTIVO y respecto a la evolución del fenómeno en estudio es de corte LONGITUDINAL. El método de investigación es cuantitativo y aplicativo. El diseño de la investigación es no experimental.

3.2.3.- Población y muestra de estudio.

Universo y muestra.

Universo: El universo de la presente investigación es el área de 17,010.94 hectáreas correspondiente a la Sub-cuenca del río Olleros.

Unidad de Análisis: Precipitación, suelo, cobertura vegetal, pendiente de la sub-cuenca, conservación de suelos.

Unidad de Muestreo: Sub-cuenca del río Olleros.

Tamaño de la Muestra: Se hace uso del ítem: 2.2.2.2.1

3.2.4.- Delimitación del estudio.

El presente trabajo de investigación se realizó en el ámbito de la sub-cuenca del río Olleros, ubicada dentro de la cuenca del río Santa, distrito de Olleros y provincia de Huaraz, región Ancash.

3.2.5.- Ubicación.

Ubicación política:

- Departamento: Ancash
- Provincia: Huaraz
- Distrito: Olleros

Ubicación geográfica:

❖ Coordenadas Geográficas:

- Latitud Sur: 9°37'44.89" S
- Longitud Oeste : 77°21'28.76" O

❖ **Coordenadas UTM WGS84:**

- 241218.232867 Este
- 8934700.0495 Sur
- Elevación: 4327 m

3.2.6.- Campo de interés.

La pérdida de suelos en la sub-cuenca del río Olleros en el período: 2 013 -2 015, acentuando el año: 2015, según objetivo del estudio.

3.2.7. Métodos empleados en la investigación.

3.2.7.1 Método de recolección de datos.

A continuación se describe los métodos empleados en la recolección de datos para determinar cada uno de los objetivos en la presente investigación.

3.2.7.1.1 Para la determinación del área de estudio, se hizo uso del: Mapa ASTER GDEM en formato Geo TIFF, para el área en estudio, obtenido de la página web:

http://geoservidor.minam.gob.pe/geoservidor/download_raster.aspx.

(Consultado el 10 de noviembre del 2 016).

- ✓ A partir del mapa obtenido se hizo uso del programa SIG ArcGIS 10.3.1 versión en inglés, con sus correspondientes extensiones de modelación hidrológica y se determinó la sub-cuenca del río Olleros.

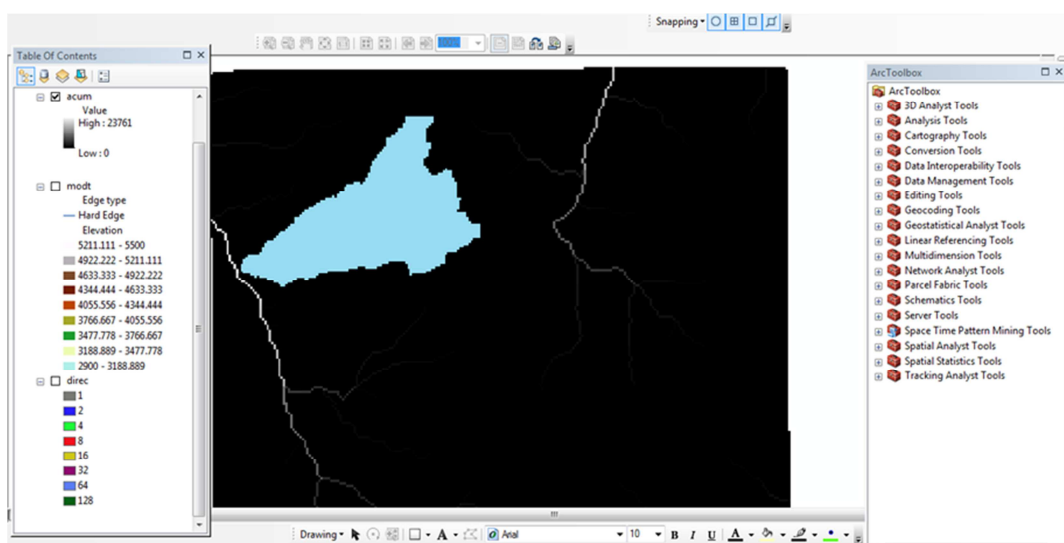


Figura 1. Delimitación de la sub-cuenca del río Olleros.

Elaboración propia.

3.2.7.1.2 Para la determinación de la erosividad, se ha trabajado con los datos de la precipitación pluvial (2 013-2 015) obtenidos de:

- ✓ Las estaciones meteorológicas: Recuay, Chavín de Huantar, información recabada del Senamhi, se presenta en el anexo N° 1.
- ✓ Las estaciones meteorológicas de: Shancayan, Quillcayhuanca fueron obtenidos del centro de investigación para el desarrollo – Facultad de Ciencias del Ambiente de la universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayólo, se presenta en el anexo N° 1.
- ✓ A partir de los datos obtenidos, se calculó la precipitación total anual en milímetros para cada estación meteorológica, se determinó el análisis de consistencia de datos de precipitación de cada estación meteorológica con respecto al promedio de precipitación de las cuatro estaciones meteorológicas (estación patrón), se determinó el análisis de correlación del promedio de precipitación de las cuatro estaciones meteorológicas (estación patrón) versus datos de precipitación de las estaciones meteorológicas (estación Shancayan, estación Quillcayhuanca, estación Chavín de Huantar, estación Recuay), se determinó la matriz de correlaciones entre datos de precipitación de las estaciones meteorológicas y datos del promedio de dichas estaciones meteorológicas, se calculó el análisis de correlación entre la precipitación versus altitud, se determinó en coeficiente de Pearson (precipitación anual en milímetros versus altitud en metros sobre el nivel del mar), se determinó el coeficiente de correlación entre precipitación versus altitud, con esta información validada se procedió con la aplicación de la ecuación numero 2 presentado en el acápite 2.2.2.1. dando como resultado el factor erosividad en $MJ*mm/Ha*Hrs*año$ para cada punto de estación meteorológica, con esta información y las coordenadas geográficas de cada punto de estación se procedió a ingresar al programa arcgis 10.3.1 en el mapa de la sub-cuenca delimitada en el paso anterior, y haciendo uso de las herramientas del arcgis se realizó la interpolación obteniéndose como resultado un mapa de erosividad.

3.2.7.1.3 Determinación de la erodabilidad (K):

a) Se determino el número de las muestras de suelo.

El cual fue obtenido aplicando la ecuación 4 presentado en el ítem 2.2.2.2.1, para ello se consideró un nivel de confianza del 95 % y error máximo permisible de 10%.

Para estimar el número de muestras para el análisis de suelo (erodabilidad) en la sub-cuenca se aplicó la fórmula 4 citado en el marco teórico ítem 2.2.2.2.1. Obteniéndose 34 puntos de muestreo.

Tabla 9: Datos y tamaño de muestra para análisis de suelo.

Fórmula estadística de Cochran (1 977) citado por GARCIA (2 014)

N	Superficie total (Has) de la sub-cuenca.	17 010.94
1- α	Nivel deseado de confianza	95
P	Porcentaje estimado de la muestra	0.1
e	Error máximo aceptable (relativo)	0.1
1-P	Q	0.9
Z	Factor probabilístico	1.96
n	tamaño de la muestra	34

Elaboración Propia

- A partir de la información obtenido en el ítem 3.2.7.1.3 se aplicó las formula 3 del acápite 2.2.2.2, obteniéndose como resultado el valor del factor erodabilidad del suelo para cada punto de muestreo. A partir de esta información (erodabilidad) se trabajó en el arcgis 10.3.1 ingresando cada uno de los valores con sus coordenadas geográficas en el mapa de la sub-cuenca delimitada, luego se realizó la interpolación obteniéndose como resultado el mapa de erodabilidad del suelo.

b) Análisis: físico - químico.

- ✓ El análisis físico químico se realizó en el laboratorio de suelos y aguas de la facultad de ciencias agrarias de la universidad nacional Santiago Antúnez de Mayolo, el cual se muestra en el anexo 2.

3.2.7.1.4 *Determinación de la Longitud de la pendiente (L) y factor gradiente de pendiente (S)*. Para su determinación se hizo uso del:

- ✓ Mapa ASTER GDEM en formato GeoTIFF, con resolución espacial de 30 metros para el área de estudio, se encontró disponible en la página web : http://geoservidor.minam.gob.pe/geoservidor/download_raster.aspx. (Consultado el 12 enero del 2 017).
- ✓ A partir del mapa obtenido anteriormente se procedió a trabajar en el arcgis 10.3.1 y aplicando las ecuaciones 5, 6 y 7 presentados en el ítem 2.2.2.3.1 se obtuvo como resultado el mapa de Longitud y gradiente de la pendiente.

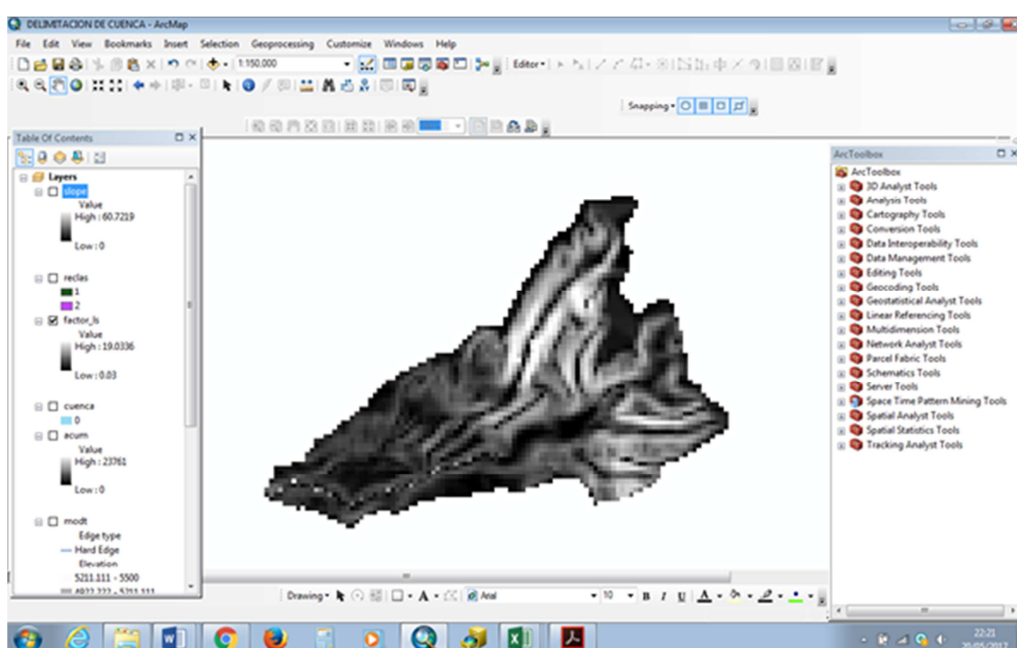


Figura 2. Mapa ASTER GDEM de la sub-cuenca del río Olleros.

Elaboración Propia.

3.2.7.1.5 *Determinación de la cobertura vegetal*, para su determinación se hizo uso del:

- ✓ Mapa de cobertura vegetal del Perú, descargado del MINAM en formato vectorial disponible en la página web: <http://geoservidor.minam.gob.pe/intro/geoservicios/intercambio-de-base-de-datos-12.html> (Consultado el 20 de enero del 2 017).
- ✓ A partir del mapa obtenido se trabajó en el arcgis 10.3.1 y se aplicó la tabla 7. Obteniendo como resultado el mapa de cobertura vegetal.

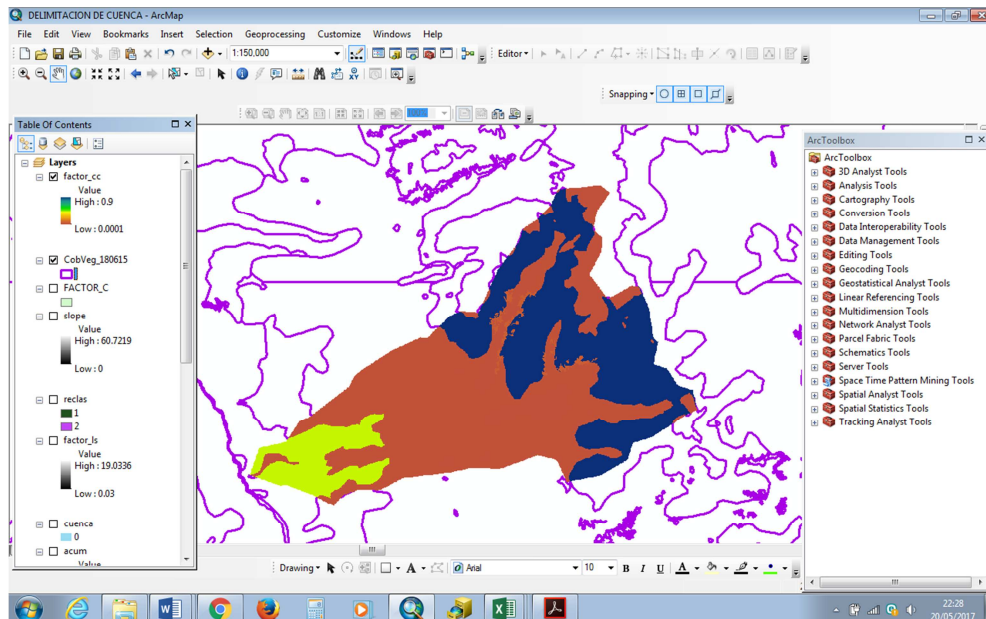


Figura 3. Mapa de cobertura vegetal de la sub-cuenca del río Ollereros.
Elaboración Propia.

3.2.7.1.6 *Determinación de las Prácticas de conservación de suelo*, para su cálculo fue necesario:

- ✓ Se realizó la visita al área de estudio (en el mes de diciembre del año 2 016) con la finalidad de verificar si existe prácticas de conservación de suelo.
- ✓ .De la información anterior se obtuvo que este factor es uno, puesto que no hay ningún tipo de prácticas de conservación del suelo.

3.2.7.1.7 *Determinación de la pérdida de suelo USLE (A).*

Con los mapas obtenidos anteriormente (factores de R, K, LS y C) en formato raster de 30m de resolución; se procedió a aplicar la ecuación de USLE ecuación 1 presentado en el acápite 2.2.2, obteniéndose así como resultado el mapa de pérdida de suelo.

CAPÍTULO: IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1.- Resultados.

4.1.1.- Área de estudio.

Se obtuvo el área de estudio de 17 010.94 hectáreas así como se muestra en el mapa de ubicación presentado en el anexo 3.

4.1.2.- Erosividad de las precipitaciones o factor (R)

Se obtuvo los valores de la erosividad y los resultados se muestra en la tabla 10 y en el mapa de erosividad presentado en el anexo 3.

Tabla 10. Categorización de la erosividad (R).

MJ*mm/Ha*Hrs*año	Factor R
110.28 – 190.40	Moderado

Índice de Fournier. Elaborado por el autor.

4.1.3. Índice de erodabilidad del suelo o factor (K)

Se obtuvo los valores de la erodabilidad y los resultados se muestra en la tabla 11 y en el mapa de erodabilidad presentado en el anexo 3.

Tabla 11. Clasificación de los grados de erodabilidad según USDA (1962).

Valor de K (Tm* ha. hrs/Mj*mm*ha)	Clasificación	Área (Has)	Área (%)
0.05061 - 0.0684	Fuertemente erodable	13432.239	78.96
0.0684 - 0.0852	Extremadamente erodable	3578.702	21.04
área total		17010.94	100

AMESQUITA (1 990) Elaborado por el autor.

4.1.4. Factor de longitud y gradiente de pendiente (LS).

Se obtuvo los valores de longitud y gradiente de pendiente y los resultados se muestra en la tabla 12 y en el mapa de factor LS presentado en el anexo 3.

Tabla 12. Categorización del factor LS

Factor LS	Categorización	Área (Has)	Área (%)
Bajo	0.02999-15	16972.379	99.77
Moderado	15 - 19.0336	38.561878	0.23
Área total		17010.94	100

Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE), Elaborado por el autor.

4.1.5. Factor C o de cobertura vegetal.

Se obtuvo los valores de la cobertura vegetal y los resultados se muestra en la tabla 13 y en el mapa de cobertura vegetal presentado en el anexo 3.

Tabla 13. Área total de la sub-cuenca dividida en función al uso y cobertura.

Cobertura Vegetal	Factor C	Área (Has)	Porcentaje (%)
Agricultura andina	0.4	1515.8585	8.91
Bofedal	0.0001	691.48293	4.06
Bosque relicto Altoandino	0.05	188.71467	1.11
Glaciar	0.0001	1044.4962	6.14
Lagunas y lagos	0.0001	70.99635	0.42
Matorral arbustivo	0.012	598.01122	3.52
Pajonal andino	0.012	6843.2756	40.23
Plantación Forestal	0.0001	159.83688	0.94
Área altoandina con escasa y sin vegetación	0.9	5898.2683	34.67
Área total		17010.94	100

Elaborado por el autor.

4.1.6. Pérdida del suelo por erosión hídrica (USLE).

Se obtuvo los valores de la erosión hídrica y los resultados se muestra en la tabla 14 y en el mapa de erosión hídrica presentado en el anexo 3.

Tabla 14. Área total de la sub-cuenca dividida en función al riesgo de erosión hídrica actual.

Intensidad de amenazas	pérdida de suelo (Tm/ha*año)	Área (Has)	Área (%)
Baja	0 -5	10197.2383	59.945
Moderada	5-25	1683.9834	9.899
Media	25-50	1693.6331	9.956
Alta	50-100	1706.9251	10.034
Muy alta	100-161.725	1729.1603	10.165
	área total	17010.94	100

Adaptado de FAO, UNESCO, PNUMA (1980), citado por EDESOS (1997), RAMOS (2001, 2009), VELÁSQUEZ (2008) y RAMÍREZ (2010). Elaborado por el autor.

4.2.- Discusiones.

4.2.1. Erosividad de las precipitaciones (factor R)

Se observa en la tabla 10, que el índice de erosividad o factor R, oscila entre 110.28 – 190.40 $Mj*mm/ha*h*año$ para toda la sub-cuenca, obteniéndose los valores más altos en las zonas de mayor precipitación. La variación está en función a la altitud (m.s.n.m) puesto que a mayor precipitación es mayor el potencial erosivo.

4.2.2. Índice de erodabilidad del suelo (factor K)

En el la tabla 11 se observa que los valores de erodabilidad de la sub-cuenca del río Olleros oscilan entre 0.05061 – 0.0684 $Tm*ha*hrs/ha*Mj*mm$ el cual se clasifica como fuertemente erodable representa el 78.96% del área total de la subcuenca del río Olleros, el área restante oscilan entre 0.0684 - 0.0852 $Tm*ha*hrs/ha*Mj*mm$ esto es debido al tipo de suelo ya que estos valores están en función a la textura, estructura, materia orgánica, permeabilidad. A menor materia orgánica es mayor la erodabilidad del suelo, a mayor porcentaje de arena es mayor la erodabilidad del suelo.

4.2.3. Factor de longitud y gradiente de pendiente (LS)

Se aprecia en la tabla 12 que los valores de longitud y gradiente de la pendiente (LS), calculadas mediante la ecuación de Renard, varían entre 0.02999 – 15 (adimensional), se clasifica como bajo que representa el 99.77% del área total, mientras que solo el 0.23% se clasifica como moderada estos valores se encuentran en las zonas de mayor

longitud y pendiente, ya que mientras mayor sea la longitud, mayor será el recorrido de una gota de lluvia hasta llegar al punto donde se concentra el flujo junto al suelo desprendido; lo mismo sucede con la pendiente ya que, la pérdida de suelo se incrementa más rápidamente con pendientes muy escarpadas en comparación con el incremento en longitud de la pendiente.

4.2.4. Cobertura vegetal o Factor (C)

Se aprecia en la tabla 13 que, aproximadamente el 8.91% de la sub-cuenca ha sufrido intervención por parte del hombre, ya sea para la introducción de áreas de pasto, cultivos de pan llevar, lo cual se evidencia mediante la visita a campo. Las áreas más susceptibles a erosión son las de suelo con escasa vegetación, pasto, cultivo y áreas agrícolas heterogéneas; más aún si son instalados sin ningún tipo de práctica conservacionista.

4.2.5. Pérdida del suelo por erosión hídrica.

Los valores de pérdida de suelos por erosión hídrica oscilan entre 0 a 161.725 Tm/ha*año y fueron agrupados en niveles de pérdida de suelo por erosión, asignándole de acuerdo a estos, el nivel de riesgo, que permite identificar de forma rápida las zonas con mayor susceptibilidad a ser erosionadas, de acuerdo con la tabla 14.

Según estos rangos un 20.20% del área total de la sub-cuenca, equivalente a 3436.0854 Has, presentan una erosión alta a muy alta, dichas áreas tienen escasa cubierta vegetal; como también zonas de suelo casi desnudo, es decir, desprovistas de cualquier tipo de cubierta; mientras que un 59.945% equivalente a 10197.2383 Has presentan una erosión baja o casi nula, esto se debe principalmente a que esas zonas tienen como cubierta vegetal bosque o arbolado denso, que interceptan las gotas de lluvia y evitan la pérdida del suelo.

CAPÍTULO: V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.

- 5.1.1. Se determinó el área de estudio el cual tiene un área de 17,010.94 hectáreas.
- 5.1.2. Se determinó el índice de erosividad de las precipitaciones (Factor R), con valores de 110.28 – 190.40 $Mj*mm/ha*h*año$ para toda la sub-cuenca del río Olleros.
- 5.1.3. Se determinó el índice de erodabilidad del suelo (factor K), con valores que oscilan entre 0.05061 – 0.0852 $Tm*ha*h/ha*Mj*mm$ para toda la sub-cuenca del río Olleros.
- 5.1.4. Se determinó el factor de longitud y gradiente de la pendiente (factor LS), con valores entre 0.02999 – 19.0336 adimensional para toda la sub-cuenca del río Olleros.
- 5.1.5. Se determinó el factor de cobertura vegetal (factor C), obteniéndose 9 clases de coberturas principales en la sub-cuenca según la clasificación: Agricultura andina con 0.4, bofedal con 0.0001, bosque relicto alto-andino con 0.05, glaciar con 0.0001, lagunas y lagos con 0.0001, matorral arbustivo con 0.012, pajonal andino con 0.012, plantación forestal con 0.0001, área alto-andina con escasa y sin vegetación con 0.9.
- 5.1.6. Se estimó la pérdida de suelo por erosión hídrica para toda la sub-cuenca, encontrándose una erosión que oscila entre 0.0 a 161.725 $Tm/ha*año$ y un valor medio anual de 25.58 $Tm/ha*año$.

5.2. Recomendaciones.

- 5.2.1. Realizar prácticas de control de erosión hídrica del suelo con prácticas de conservación de suelos.
- 5.2.2. Planear e implementar proyectos de riego tecnificado en el área de uso agrícola de la sub-cuenca del río Olleros.

- 5.2.3. Efectuar programas de capacitación, concerniente sostenibilidad y conservación de los recursos naturales dentro de la sub-cuenca del río Olleros.
- 5.2.4. Elaborar programas de reforestación mediante la instalación forestal de especies de rápido crecimiento.
- 5.2.5. Elaborar propuestas de recuperación de áreas de suelo en rangos de erosión hídrica alta y muy alta.

CAPÍTULO: VI

REFERENCIAS.

VI. REFERENCIAS.

- Alegre, J., Felipe, C., La Torre, B. (1990). *Soil Erosion Studies in Peru*.
- Alonso, G.; Ruiz, M., Schiettecatte, W.; Díaz, J.; Almoza, Y. (2007). *Riesgo de erosión hídrica en la cuenca hidrográfica La Guira, río Cuyaguaje*. Universidad Agraria de La Habana. Cuba. 15 p.
- Alvarado, M.; Colmenero, A., Valderrábano, M. (2008). *La erosión hídrica del suelo en un contexto ambiental, en el estado de Tlaxcala, México*. Red de revistas científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal, 317- 326 p.
- Analia, V. G. (2010). *Determinación de la erosión hídrica de los suelos de la cuenca del río Pilcomayo – Salta*. Universidad Nacional de Salta Facultad de Ciencias Naturales.
- Ángel, F. V. *SIG y Teledetección Aplicado a la Gestión Hídrica*. Curso Especializado Online. Tingo María Huánuco. Perú.
- Antezana, J. (2001). *Calibración de los factores de erosión utilizando la ecuación universal de pérdida de suelo revisado (RUSLE) en sistemas de producción agrícola de la cuenca Taquiña*. Centro de Levantamientos Aeroespaciales y aplicaciones SIG para el Desarrollo Sostenible de los Recursos. Taquiña, Bolivia. 77 p.
- Barrios, A., Quiñonez, E. (2000). *Evaluación de la erosión utilizando el modelo R (USLE) con apoyo de SIG. Aplicación en una microcuenca de los Andes Venezolanos*. Rev. Forest. Ven. Trujillo, Venezuela. 7 p.
- Barreto, L. T. (2011). *Evaluación de la erosión hídrica en áreas con zanjas de infiltración*. Ingeniería en Recursos Naturales y Medio Ambiente.
- Beltrán F, L. A. (1996). *Evaluación de la erosión hídrica en parcelas de escorrentía bajo condiciones naturales en Huaraz*. Tesis Para Optar el Título de Ingeniero Agrícola Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Huaraz-Ancash- Perú.
- Caillaux, V.C. (2000). *Evaluación de la Inestabilidad del Terreno de la Quebrada Pacauran Huaraz*. Ancash-Perú.
- Cerda, A. (2001). *La erosión del suelo y sus tasas en España*. Ecosistemas 3.

Cotos, V. J. (2011) *Evaluación de los Indicadores Físicos de la Calidad de los Suelos con Relación a los Riesgos de Erosión en la Microcuenca del Río Cascas Distrito de Independencia Ancash*. Huaraz, Perú. Tesis de maestría en ciencias e ingeniería, PE. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. 82p.

Chuquisengo, O.; Ferradas, P. (2007). *Gestión de Riesgos en Ancash*. Lima Perú.

Di Rienzo, J., Casanoves, F., González, L., Tablada, E.; Díaz, M., Robledo, C., et al. (2001). *Estadística para las ciencias agropecuarias*. Cuarta Edición Córdoba. Argentina.

Derpsch, R. (1991). Entender el proceso de la erosión y de la infiltración del agua en el suelo. [Versión electrónica]. Recuperado el 10 de enero de 2017, de <http://www.rolf-derpsch.com/erosion-es.html>

FAO. (1993). *Erosión de suelos en América Latina*.

Fman, F. Y. (2002). *Hacer frente a la degradación de la tierra y a la desertificación*. Roma Italia.

Frers, C. (2009). *Los problemas de degradar el suelo*. Buenos Aires: El Cid Editor.

FAO. (1984). Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos". Roma, Italy. 86 p.

FAO. (1989). *Evaluación de los Estados de Erosión Hídrica de los Suelos y Delimitación de Áreas Críticas por Pérdida del Horizonte A en la cuenca del Río Reventazón*. Gobierno de Costa Rica. Informe Técnico No. 1-E. Roma: FAO. 133 p.

FAO/UNESCO. (1990). *Guide lines for soil description*. Rome, Italy.

Figuroa, B. (1975). *Pérdida de suelo y nutrimentos y su relación con el uso del suelo en la cuenca del río Texcoco*. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México. 209 p.

García, J. (2005). *Modelos paramétricos. Modelos USLE. Modelos RUSLE*. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 51 p.

- IDEAM. (1999). *Modelo de susceptibilidad de los suelos a la estabilidad*. Subdirección de Geomorfología y Suelos. Santa Fe de Bogotá, Colombia.
- Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. (2010). *Evaluación del riesgo geológico en la microcuenca pucauran – Atupa, distrito de Jangas provincia de Huaraz –Ancash*. Lima, Perú.
- Julio J., J. V. (2015). *Estudio Del Riesgo Por Erosión Hídrica Del Suelo Utilizando El Modelo U.S.L.E, Mediante Herramientas S.I.G, Aplicado En La Subcuenca Río Portoviejo, Provincia De Manabí*. Universidad central del Ecuador-Facultad de Ingeniería, Ciencias Físicas y Matemática. Quito Ecuador 143p.
- Kirkby, M., Morgan, P. (1980). *Erosión del Suelo*. Primera ed. en Español, 1984. Ed. Limusa, México, D.F. 375 p.
- Mannaerts, C. (1999). *Factores de erosión*. Módulo 11: Degradación de suelos. ITC. Curso de Postgrado en levantamiento de recursos hídricos. Notas de clase y ejercicios. CLAS. Cochabamba, Bolivia.
- Martínez, H. (2007). *Desarrollo de una metodología hidrogeomática para estimar la contaminación difusa en aguas superficiales de una cuenca*. Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca. 43 p.
- Montes, M., Dominguez, M., Ventura, E. (1997). *Metodología para la estimación del riesgo de erosión hídrica en cuencas hidrográficas utilizando un SIG*. Facultad de Ingeniería-División del Posgrado, Universidad Autónoma de Querétaro, México. 9 p.
- Morgan, P. (1997). *Erosión y conservación de suelos*. Ediciones Mundi – Prensa Libros S.A. Editorial Aedos. Madrid, España. 306 p.
- Morgan, R. (1995). *Soil erosion and conservation*. Segunda edición, Longman Group and J. Wiley & Sons, Essex. ed.
- Nunez, S. (2001). *Manejo y conservación de suelos*. Editorial Universidad Estatal a distancia. Primera edición. San José, Costa Rica. 268 p.
- Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (1973). *Estudio de suelos del callejón de Huaylas (semi-detallado)*. Lima. Perú.

Oldeman, L. (1994). *The global extend of soil degradation*.

Ramírez, F., Hincapié, E., Sadeguián, S., Pérez, U. (2007). *Erosividad de las lluvias en la zona cafetera central y occidental del departamento de Caldas*. Caldas, Colombia. 14 p.

Ramírez, L. (2010). *Estimación de la Pérdida de Suelos por Erosión Hídrica en la Cuenca del Río Juramento-Salta*. Tesina Profesional. Facultad de Ciencias Naturales. Universidad Nacional de Salta. Argentina. 104 p.

Ramos, C. (2001). *Modelamiento ambiental para análisis de susceptibilidad erosiva en la cuenca media y alta del Río Cañete y determinación del mapa de erosión*. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 30 p.

Ríos, J. (1987). *Efecto de la cobertura vegetal en el proceso erosivo*. Tesis de Maestro en Ciencias. Colegio de Posgraduados, Montecillos, México. 544p.

Vega, M., Febles, J. (2005). *La investigación de suelos erosionados: métodos e índices de diagnóstico*. Universidad Nacional Agraria de la Habana. La Habana, Cuba. 20 p.

Velásquez, S. (2008). *Erosión de suelos utilizando la EUPSR (RUSLE)*. Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza. Cantón de Coronado, Costa Rica. 54 p.

Ventura, E. (1988). *Dinámica de la erosión hídrica bajo diferentes niveles de productividad en maíz y cebada*. Tesis de Licenciatura. Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 121p.

Wischmeier, W., Smith D. (1978). *Predicting rainfall erosion losses, A. guide to conservation planning*. USDA Hand book N° 537. 58 p.

ANEXOS.

ANEXO 1.

Datos y Cálculos Del Factor

Erosividad (factor R).

Tabla 15. Datos de precipitación en mmilímetro (período 2 013-2 015) de las estaciones meteorológicas: Shancayan y Quillcayhuanca.



CENTRO DE INVESTIGACIÓN AMBIENTAL PARA EL DESARROLLO



REPORTE DE PRECIPITACIÓN

EM-10 Shancayan - Ciudad Universitaria

Variable: Precipitacion (mm)

Latitud : 09° 31' 05" S

Longitud : 77° 31' 30.87" W

Altitud : 3078 m.s.n.m.

EM-16 Quillcayhuanca

Parámetro: Precipitacion (mm)

Latitud : 09° 29' 53.5" S

Longitud : 77° 24' 59.8" W

Altitud : 3867 m.s.n.m.

MES	AÑO		
	2013	2014	2015
Enero	161.5	106.9	121.2
Febrero	118.1	162.0	127.4
Marzo	148.6	155.6	133.1
Abril	34.8	89.4	78.7
Mayo	18.5	51.3	56.1
Junio	0.3	7.1	2.5
Julio	0.0	0.3	4.3
Agosto	8.4	4.1	0.0
Septiembre	27.4	35.8	13.2
Octubre	82.0	50.5	97.5
Noviembre	62.0	83.6	86.6
Diciembre	154.4	186.4	117.3
Total Anual	816.0	933.0	838.0

MES	AÑO		
	2013	2014	2015
Enero	92.7	115.7	95.7
Febrero	171.7	132.8	161.0
Marzo	196.1	159.2	165.7
Abril	83.8	54.1	110.5
Mayo	26.7	56.6	26.2
Junio	0.3	17.8	2.5
Julio	10.9	7.6	8.9
Agosto	20.1	2.8	6.6
Septiembre	45.9	53.6	20.6
Octubre	129.8	44.7	76.4
Noviembre	148.3	112.8	121.5
Diciembre	160.1	192.3	142.1
Total Anual	1086.4	950.0	937.7

Prohibida su Reproduccion Parcial o Total

Sin sellos ni firma no tiene validez

Responsable : Ing° Met. Rafael Figueroa Tauquino

Ing. Met. Rafael Figueroa Tauquino
RESPONSABLE
CIAD - PCAM - UNASAM

Tabla 16. Datos de precipitación en milímetro (período 2 013-2 015) de la estación meteorológica Recuay.

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ



DIRECCION DE REDES DE OBSERVACION Y DATOS



ESTACION : RECUAY / 000441 / DZ-04

PARAMETRO : PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)

LAT. : 9 ° 43' "S"

DPTO. : ANCASH

LONG. : 77 ° 27' "W"

PROV. : RECUAY

ALT. : 3431 msnm

DIST. : RECUAY

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2013	69.1	131.1	223.2	74.0	23.6	1.2	2.0	12.6	23.2	90.5	68.1	131.1
2014	93.4	176.4	234.6	99.9	46.6	4.7	3.9	3.5	23.9	41.8	51.4	215.2
2015	146.1	82.4	S/D	103.0	34.1	2.0	2.4	2.5	21.2	38.6	89.1	81.2



PROHIBIDA SU REPRODUCCION
TOTAL O PARCIAL

S/D= Sin Dato
T = Traza

INFORMACION PREPARADA PARA : HENRY LUIS MORENO ROLDAN
LIMA , 30 DE ENERO DEL 2017

VÁLIDO SÓLO EN ORIGINAL

Tabla 17. Datos de precipitación en milímetro (período 2 013-2 015) de la estación meteorológica Chavin de Huantar.

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERÚ



DIRECCION DE REDES DE OBSERVACION Y DATOS



ESTACION : CHAVIN / 000445 / DZ-04
 PARAMETRO : PRECIPITACION TOTAL MENSUAL (mm)

LAT. : 9 ° 35' "S" DPTO. : ANCASH
 LONG. : 77 ° 10' "W" PROV. : HUARI
 ALT. : 3151 msnm DIST. : CHAVIN DE HUANTAR

AÑO	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2013	78.2	120.0	117.7	55.0	37.2	2.8	8.0	29.4	18.5	71.8	61.9	87.4
2014	76.4	129.4	130.8	70.4	42.1	2.6	1.1	0.0	35.6	79.5	63.9	97.8
2015	132.4	73.0	122.6	61.0	83.8	9.3	1.4	6.7	32.9	56.6	108.4	88.0



**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN
 TOTAL O PARCIAL**

S/D= Sin Dato
 T = Traza

INFORMACION PREPARADA PARA : HENRY LUIS MORENO ROLDAN
 LIMA , 30 DE ENERO DEL 2017

VÁLIDO SÓLO EN ORIGINAL

Tabla 18. Cálculo de la precipitación total anual en milímetros a partir de las tablas: 15, 16 y 17.

Estaciones	período	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Promedio anual (mm)	Pp. Total anual (mm)
EM-10 Shancayán - Ciudad Universitaria	2013-2015	129.87	135.83	145.77	67.65	41.97	3.31	1.54	4.17	25.47	76.67	77.40	152.70	71.86	862.33
EM-16 Quillcayhuanca	2013-2015	101.37	155.17	173.67	82.80	36.50	6.87	9.13	9.83	40.03	83.63	127.53	164.83	82.61	991.37
Estación Chavín de Huantar	2013-2015	95.67	107.47	123.70	62.13	54.37	4.90	3.50	12.03	29.00	69.30	78.07	91.07	60.93	731.20
Estación Recuay	2013-2015	102.87	129.97	200.45	92.30	34.77	2.63	2.77	6.20	22.77	56.97	69.53	142.50	71.98	863.72
Estación Patrón	Promedio mensual	107.44	132.11	160.90	76.22	41.90	4.43	4.23	8.06	29.32	71.64	88.13	137.78	71.85	862.15

Elaboración propia a partir de las tablas: 15, 16 y 17

Tabla 19. Análisis de consistencia de las estaciones: EM-10 Shancayán - Ciudad Universitaria, EM-16 Quillcayhuanca, EM-Chavín de Huantar y la Estación Recuay.

MES	Estación Patrón	Precipitación Acumulada	EM-10 Shancayán - Ciudad Universitaria	PP. Acumulada	EM-16 Quillcayhuanca	PP. Acumulada	Estación Chavín de Huantar	PP. Acumulada	Estación Recuay	PP. Acumulada (mm)
	PP (mm)	Estación Patrón	PP (mm)	EM-10 Shancayán - Ciudad Universitaria	PP (mm)	EM-16 Quillcayhuanca	PP (mm)	Estación Chavín de Huantar	PP (mm)	Estación Recuay
Enero	107.44	107.44	129.87	129.87	101.37	101.37	95.67	95.67	102.87	102.87
Febrero	132.11	239.55	135.83	265.70	155.17	256.53	107.47	203.13	129.97	232.83
Marzo	160.90	400.45	145.77	411.47	173.67	430.20	123.70	326.83	200.45	433.28
Abril	76.22	476.67	67.65	479.11	82.80	513.00	62.13	388.97	92.30	525.58
Mayo	41.90	518.57	41.97	521.08	36.50	549.50	54.37	443.33	34.77	560.35
Junio	4.43	523.00	3.31	524.39	6.87	556.37	4.90	448.23	2.63	562.98
Julio	4.23	527.23	1.54	525.93	9.13	565.50	3.50	451.73	2.77	565.75
Agosto	8.06	535.29	4.17	530.10	9.83	575.33	12.03	463.77	6.20	571.95
Septiembre	29.32	564.61	25.47	555.57	40.03	615.37	29.00	492.77	22.77	594.72
Octubre	71.64	636.25	76.67	632.23	83.63	699.00	69.30	562.07	56.97	651.68
Noviembre	88.13	724.38	77.40	709.63	127.53	826.53	78.07	640.13	69.53	721.22
Diciembre	137.78	862.16	152.70	862.33	164.83	991.37	91.07	731.20	142.50	863.72

Elaboración propia a partir de la tabla 18.

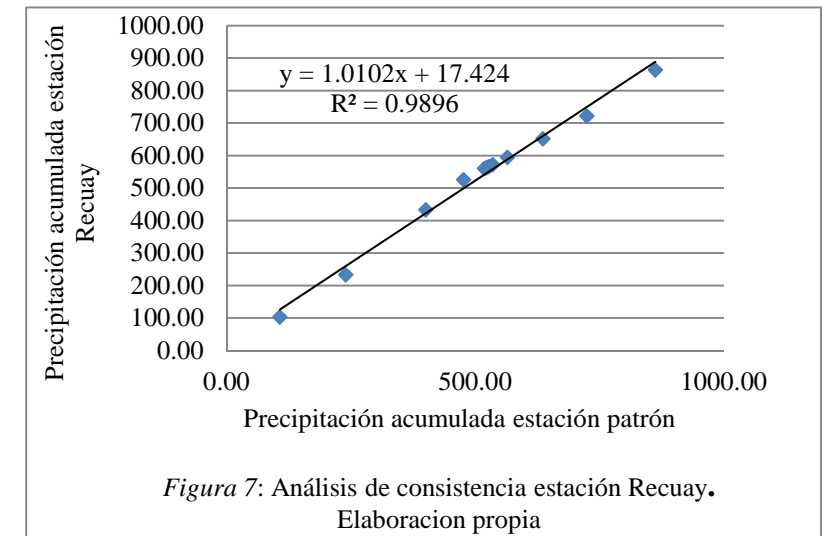
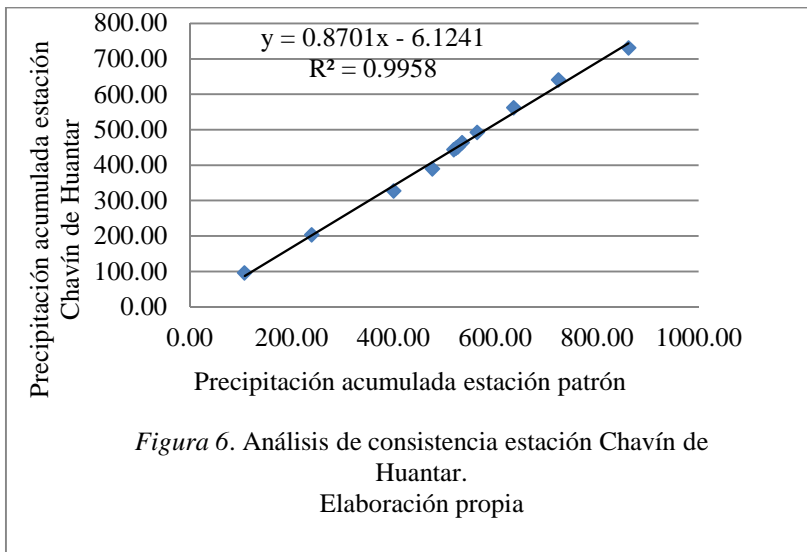
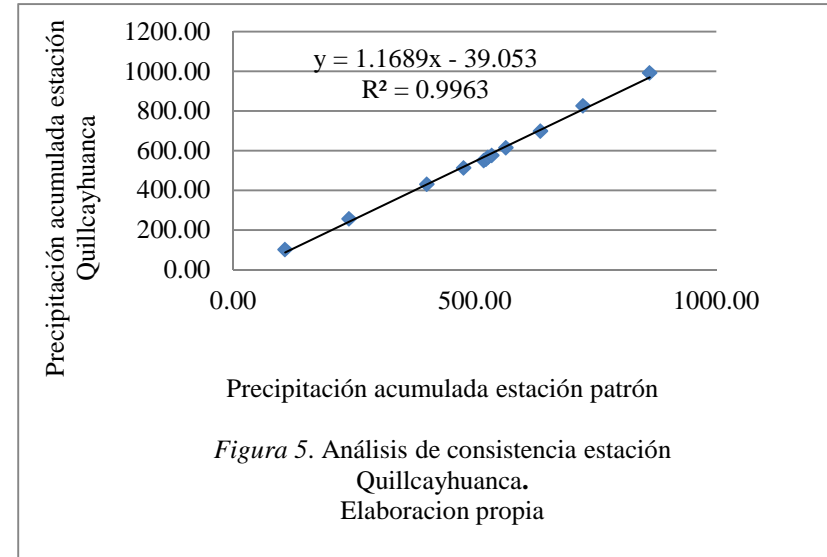
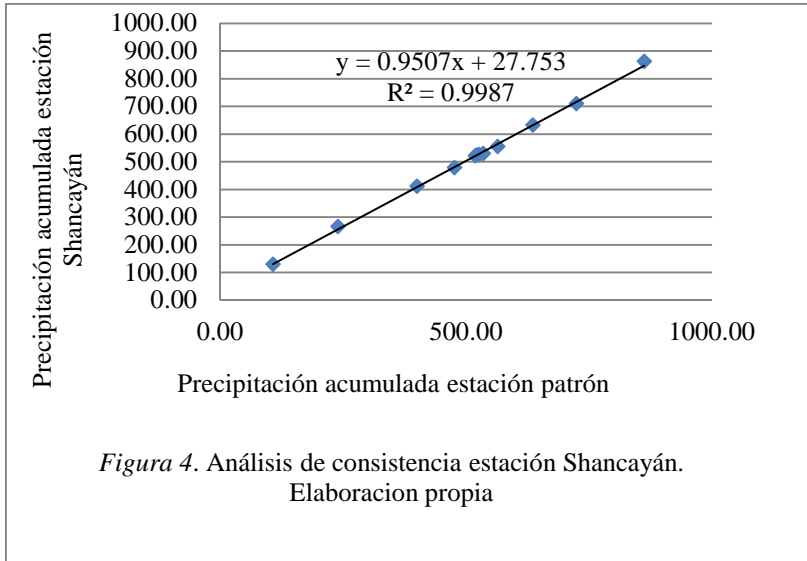


Tabla 20. Análisis de correlación estación patrón VS estaciones: Shancayán, Quillcayhuanca, Chavin de Huantar y Recuay.

Mes	Estación Patrón	EM-10 Shancayán - Ciudad Universitaria	EM-16 Quillcayhuanca	Estación Chavín de Huantar	Estación Recuay
Enero	107.44	129.87	101.37	95.67	102.87
Febrero	239.55	265.70	256.53	203.13	232.83
Marzo	400.45	411.47	430.20	326.83	433.28
Abril	476.67	479.11	513.00	388.97	525.58
Mayo	518.57	521.08	549.50	443.33	560.35
Junio	523.00	524.39	556.37	448.23	562.98
Julio	527.23	525.93	565.50	451.73	565.75
Agosto	535.29	530.10	575.33	463.77	571.95
Septiembre	564.61	555.57	615.37	492.77	594.72
Octubre	636.25	632.23	699.00	562.07	651.68
Noviembre	724.38	709.63	826.53	640.13	721.22
Diciembre	862.16	862.33	991.37	731.20	863.72

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21. Matriz de correlaciones.

	Estación patrón	EM-10 Shancayán - Ciudad Universitaria	EM-16 Quillcayhuanca	Estación Chavín de Huantar	Estación Recuay
Estación patrón	1				
EM-10 Shancayan - Ciudad Universitaria	0.999	1			
EM-16 Quillcayhuanca	0.998	0.999	1		
Estación Chavín de Huantar	0.998	0.996	0.996	1	
Estación Recuay	0.995	0.993	0.987	0.990	1

Elaboración propia.

Tabla 22. Análisis de correlación entre precipitación vs altitud.

Estación	Precipitación total	Altitud
	(mm/año)	(m.s.n.m)
EM-10 Shancayán	862.33	3078.00
EM-16 Quillcayhuanca	991.37	3867.00
Estación Chavín	731.20	3151.00
Estación Recuay	863.72	3431.00

Elaboración propia.

Coefficiente de Pearson	0.82
--------------------------------	------

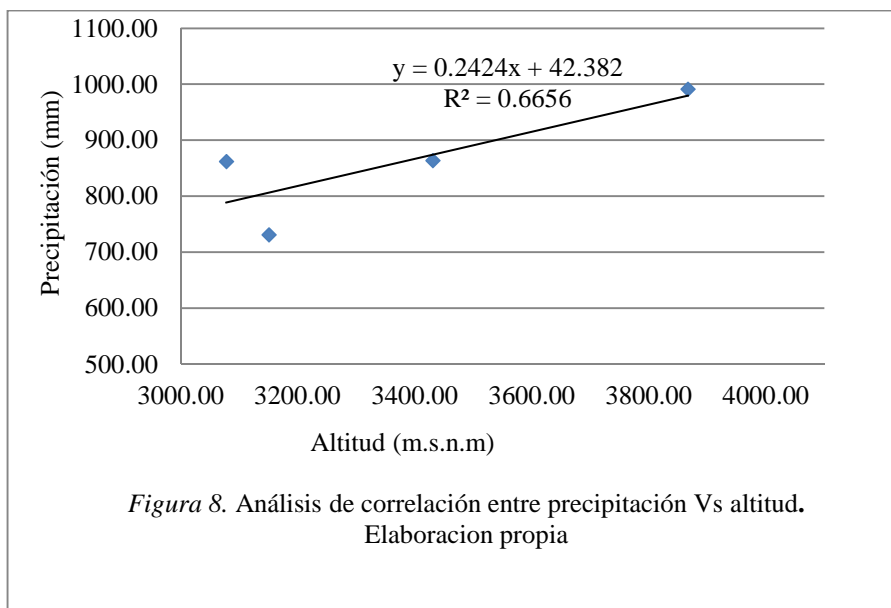


Tabla 23. Aplicación de la metodología de Índice Modificado de Fournier Desarrollado por Arnoulds (1 978).

Estaciones	Parámetro	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	prec. total anual	factor R anual (MJ*mm/ha*hrs*año)
EM-10 Shancayán - Ciudad Universitaria	Prec_Anual (P)	129.87	135.83	145.77	67.65	41.97	3.31	1.54	4.17	25.47	76.67	77.40	152.70	862.33	112.38
	Prec_Anual (P) corregido	123.71	129.68	139.61	61.49	35.81	2.84	4.61	1.99	19.31	70.51	71.25	146.55	788.49	
	ΣPi^2	15304.92	16816.83	19491.80	3781.39	1282.57	8.07	21.29	3.95	372.99	4972.09	5076.05	21475.84	88607.79	
	IMF_Mensual	17.75	19.50	22.60	4.39	1.49	0.01	0.02	0.00	0.43	5.77	5.89	24.90	102.75	
EM-16 Quillcayhuanca	Prec_Anual (P)	101.37	155.17	173.67	82.80	36.50	6.87	9.13	9.83	40.03	83.63	127.53	164.83	991.37	125.59
	Prec_Anual (P) corregido	100.40	154.20	172.70	81.83	35.53	5.90	8.16	8.86	39.06	82.66	126.56	163.86	979.74	
	ΣPi^2	10079.76	23777.03	29824.60	6696.37	1262.48	34.79	66.66	78.58	1526.05	6833.45	16018.6 2	26851.63	123050.01	
	IMF_Mensual	10.17	23.98	30.08	6.75	1.27	0.04	0.07	0.08	1.54	6.89	16.16	27.09	124.12	
Estación Chavín de Huantar	Prec_Anual (P)	95.67	107.47	123.70	62.13	54.37	4.90	3.50	12.03	29.00	69.30	78.07	91.07	731.20	90.10
	Prec_Anual (P) corregido	101.92	113.72	129.95	68.38	60.62	11.15	9.75	18.28	35.25	75.55	84.32	97.32	806.18	
	ΣPi^2	10386.74	12931.18	16886.66	4676.10	3674.22	124.29	95.04	334.23	1242.47	5707.61	7109.08	9470.28	72637.92	
	IMF_Mensual	14.21	17.68	23.09	6.40	5.02	0.17	0.13	0.46	1.70	7.81	9.72	12.95	99.34	
Estación Recuay	Prec_Anual (P)	102.87	129.97	200.45	92.30	34.77	2.63	2.77	6.20	22.77	56.97	69.53	142.50	863.72	123.37
	Prec_Anual (P) corregido	103.73	130.83	201.31	93.16	35.63	3.49	3.63	7.06	23.63	57.83	70.39	143.36	874.06	
	ΣPi^2	10759.56	17116.05	40526.38	8679.09	1269.38	12.21	13.16	49.87	558.30	3344.11	4955.45	20552.56	107836.13	
	IMF_Mensual	12.46	19.82	46.92	10.05	1.47	0.01	0.02	0.06	0.65	3.87	5.74	23.80	124.85	

Elaboración propia.

Tabla 24. Resumen de la precipitación anual (mm).

ESTACIONES	ΣPi^2	PP (mm)
EM10-Shancayán	88607.8	788.49
EM16-Quillcayhuanca	123050.0	979.74
Estación Chavin de Huantar	72637.9	806.18
Estación Recuay	107836.1	874.06
Estación generada 1	143583.3	1060.462
Estación generada 2	174202.9	1193.782
Estación generada 3	93478.5	842.302
Estación generada 4	158614.7	1125.91
Estación generada 5	190904.5	1266.502
Estación generada 6	188120.9	1254.382

Elaboración propia.

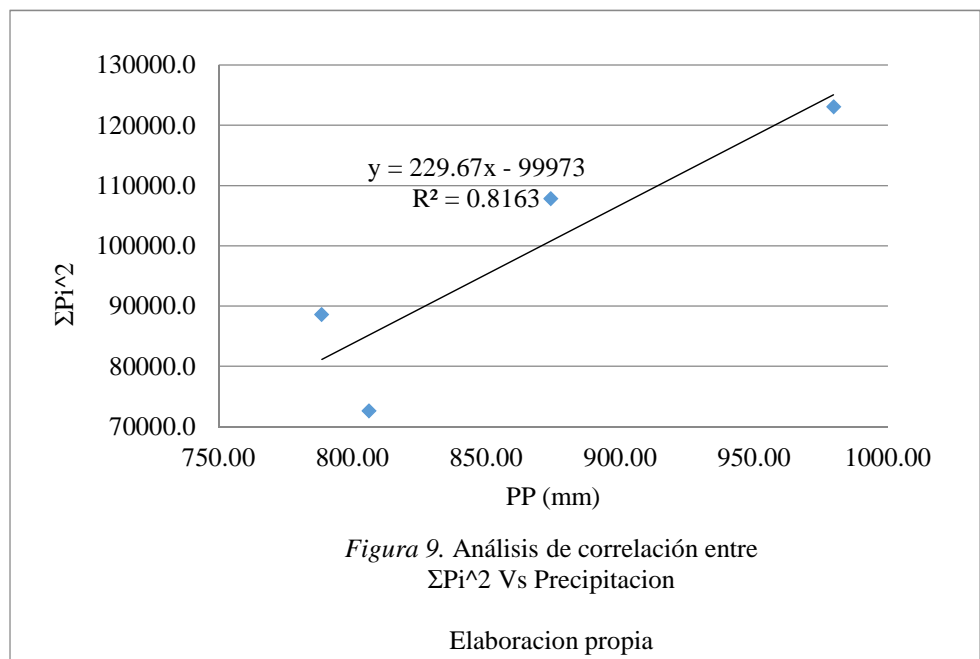
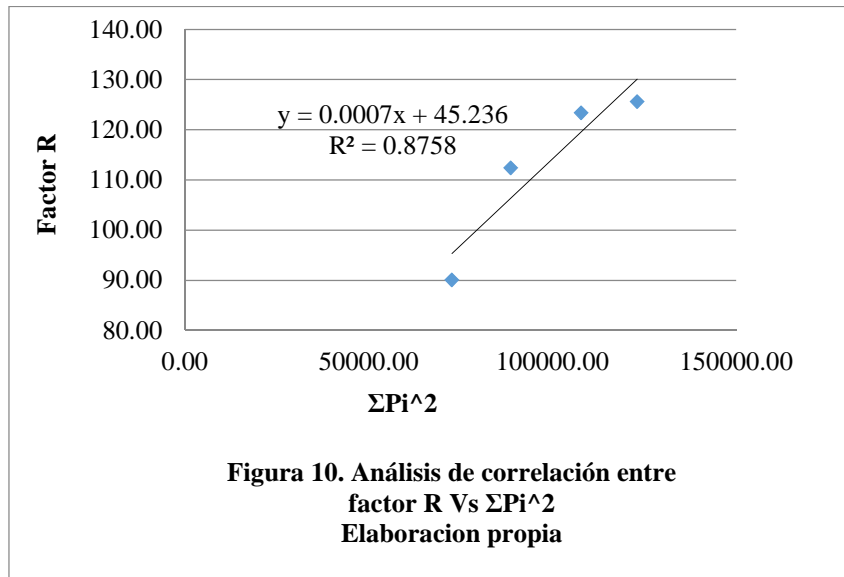


Tabla 25. Resumen del factor erosividad.

ESTACIONES	ΣPi^2	FACTOR R Anual (MJ*mm/ha*hrs*año)
EM10-Shancayán	88607.79	112.38
EM16-Quillcayhuanca	123050.01	125.59
Estación Chavín de Huantar	72637.92	90.10
Estación Recuay	107836.13	123.37
Estación generada 1	143583.31	145.7443
Estación generada 2	174202.91	167.178
Estación generada 3	93478.50	110.671
Estación generada 4	158614.75	156.2663
Estación generada 5	190904.51	178.8692
Estación generada 6	188120.91	176.9206

Elaboración propia.



ANEXO 2:
Datos y Cálculos Del Factor Erodabilidad
Del Suelo (Factor K).

Tabla 26. Datos recogidos de laboratorio de la facultad de ciencias agrarias UNASAM.



UNIVERSIDAD NACIONAL
“Santiago Antúnez de Mayolo”
“Una Nueva Universidad para el Desarrollo”
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN
 Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ – REGIÓN ANCASH



RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO DE SUELOS

SOLICITANTE : Henry Luís, MORENO ROLDAN - Tesista.

PROYECTO DE TESIS: “Estimación de Pérdida de Suelo por Erosión Hídrica Aplicando el Método USLE y Haciendo Uso del SIG en la Sub Cuenca del Río Olleros- Distrito de Olleros Período 2015”

UBICACIÓN : Olleros - Huaraz - Ancash

Muestra N°	Textura (%)			Clase Textural	M.O. %	Estructura
	Arena	Limo	Arcilla			
M-01	58	38	04	Franco arenoso	4.264	Granular
M-02	76	20	04	Franco arenoso	4.142	Granular
M-03	50	39	11	Franco	4.416	Bloques sub angulares
M-04	60	32	08	Franco arenoso	4.810	Granular compuesto
M-05	58	32	10	Franco arenoso	3.980	Granular compuesto
M-06	76	18	06	Franco arenoso	2.756	Granular
M-07	60	29	11	Franco arenoso	3.840	Granular compuesto
M-08	48	31	21	Franco	3.412	Bloques sub angulares migajoso
M-09	48	31	21	Franco	3.286	Bloques sub angulares migajoso
M-10	48	29	23	Franco	3.625	Bloques sub angulares migajoso
M-11	52	37	11	Franco	3.714	Bloques sub angulares
M-12	58	29	13	Franco arenoso	2.890	Granular compuesto
M-13	50	29	21	Franco	1.675	Bloques sub angulares
M-14	44	27	29	Franco arcilloso	2.416	Bloques angulares migajoso
M-15	62	25	13	Franco arenoso	2.245	Granular compuesto
M-16	60	25	15	Franco arenoso	2.140	Granular compuesto
M-17	58	21	21	Franco arcillo arenoso	2.366	Bloques sub angulares migajoso

Huaraz, 12 de Setiembre del 2016.



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

Tabla 27. Datos recogidos de laboratorio de la facultad de ciencias agrarias UNASAM.



UNIVERSIDAD NACIONAL
“Santiago Antúnez de Mayolo”
“Una Nueva Universidad para el Desarrollo”
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CIUDAD UNIVERSITARIA – SHANCAYAN
 Telefax. 043-426588 - 106
HUARAZ – REGIÓN ANCASH



RESULTADOS DEL ANÁLISIS FÍSICO - QUÍMICO DE SUELOS

SOLICITANTE : Henry Luís, MORENO ROLDAN - Tesista.

PROYECTO DE TESIS: “Estimación de Pérdida de Suelo por Erosión Hídrica Aplicando el Método USLE y Haciendo Uso del SIG en la Sub Cuenca del Río Olleros- Distrito de Olleros Periodo 2015”

UBICACIÓN : Olleros - Huaraz - Ancash

Muestra N°	Textura (%)			Clase Textural	M.O. %	Estructura
	Arena	Limo	Arcilla			
M-18	58	21	21	Franco arcillo arenoso	2.244	Bloques sub angulares
M-19	50	29	21	Franco	1.486	Bloques sub angulares
M-20	48	31	21	Franco	1.785	Bloques sub angulares
M-21	60	21	19	Franco arenoso	1.754	Granular compuesto
M-22	54	25	21	Franco arcillo arenoso	1.678	Bloques sub angulares migajoso
M-23	72	19	09	Franco arenoso	1.736	Granular
M-24	70	19	11	Franco arenoso	2.234	Granular compuesto
M-25	62	29	09	Franco arenoso	2.176	Granular
M-26	64	28	08	Franco arenoso	1.856	Granular
M-27	60	23	17	Franco arenoso	1.645	Granular
M-28	62	20	17	Franco arenoso	1.472	Granular
M-29	60	21	19	Franco arenoso	1.584	Bloques aun angulares
M-30	60	23	17	Franco arenoso	1.460	Granular
M-31	81	14	04	Areno franco	3.812	Granular simple
M-32	57	30	13	Franco arenoso	3.610	Granular
M-33	60	33	07	Franco arenoso	4.225	Granular
M-34	60	33	07	Franco arenoso	4.415	Granular

Huaraz, 12 de Setiembre del 2016.



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

Tabla 28. Cálculos del factor erodabilidad del suelo (factor k) para cada punto que fue muestreado.

Puntos de muestreo	Coordenadas		Clase textural	% Arena	% Limo	% Arcilla	Estructura (b)	% M.O (a)	Permeabilidad M/DIA (c)	Factor K (Tm.ha.H/MJ.MM. ha.)	Clasificación
	Este (m)	Norte (m)									
1	244264.63	8932406.23	franco arenoso	58	38	4	2	4.264	2	0.067	Fuertemente Erodable
2	244547.21	8933471.08	franco arenoso	76	20	4	2	4.142	2	0.069	Extremadamente Erodable
3	242450.97	8931670.86	franco	50	39	11	3	4.416	2	0.059	Fuertemente Erodable
4	239864.75	8930994.31	franco arenoso	60	32	8	3	4.81	2	0.061	Fuertemente Erodable
5	237873.06	8932194.13	franco arenoso	58	32	10	3	2.756	2	0.074	Extremadamente Erodable
6	237561.44	8930538.62	franco arenoso	76	18	6	3	2.756	2	0.082	Extremadamente Erodable
7	234833.99	8929663.87	franco arenoso	60	29	11	3	3.84	2	0.064	Fuertemente Erodable
8	232694.33	8928840.37	franco	48	31	21	3	3.412	3	0.055	Fuertemente Erodable
9	230925.42	8929643.61	franco	48	31	21	3	3.286	3	0.055	Fuertemente Erodable
10	229635.68	8929874.94	franco	48	29	23	3	3.625	3	0.051	Fuertemente Erodable
11	241767.20	8935297.10	franco	52	32	11	4	3.714	3	0.068	Fuertemente Erodable
12	238357.64	8936734.47	franco arenoso	58	29	13	3	2.89	2	0.068	Fuertemente Erodable
13	239085.19	8935875.76	franco	50	29	21	4	1.675	3	0.069	Extremadamente Erodable
14	239500.91	8934786.70	franco arcilloso	44	29	29	3	2.416	4	0.053	Fuertemente Erodable
15	240274.70	8933338.86	franco arenoso	62	25	13	4	2.245	2	0.077	Extremadamente Erodable
16	238032.06	8934683.59	franco arenoso	60	25	15	4	2.14	2	0.074	Extremadamente Erodable
17	237216.49	8935648.33	franco arcillo arenoso	58	21	21	3	2.366	4	0.064	Fuertemente Erodable
18	236287.84	8935634.42	franco arcillo arenoso	58	21	21	4	2.244	4	0.069	Extremadamente Erodable
19	236508.28	8934272.33	franco	50	29	21	4	1.486	3	0.070	Extremadamente Erodable
20	237567.14	8933625.61	franco	48	31	21	3	1.785	3	0.064	Fuertemente Erodable
21	234748.42	8934743.11	franco arenoso	60	21	19	4	1.754	2	0.069	Extremadamente Erodable

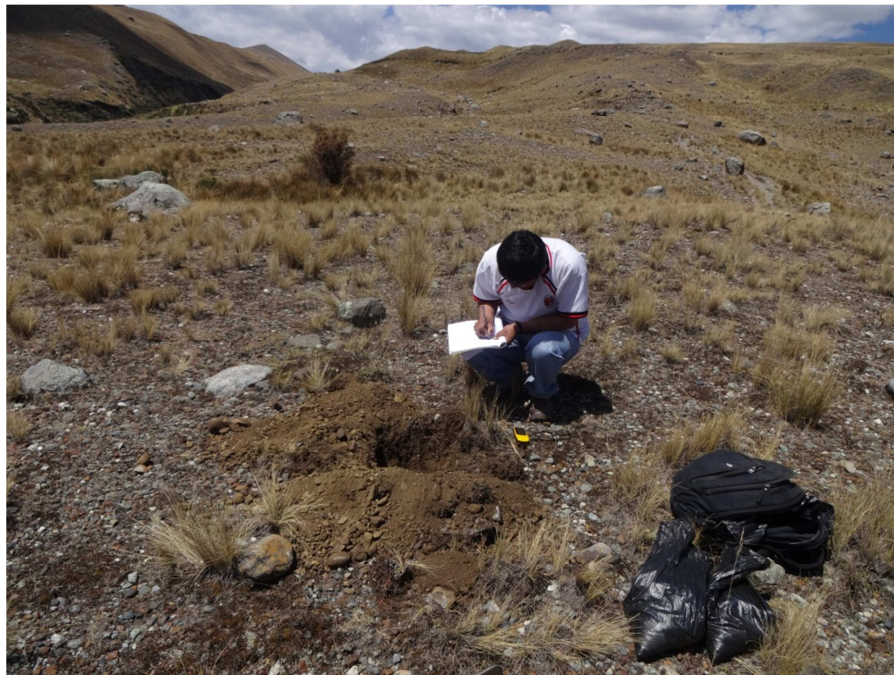
22	235341.97	8933521.45	franco arcillo arenoso	54	25	21	3	1.678	4	0.068	Fuertemente Erodable
23	236417.81	8932871.91	franco arenoso	72	19	9	3	1.736	2	0.084	Extremadamente Erodable
24	235327.27	8932227.82	franco arenoso	70	19	11	4	2.234	2	0.080	Extremadamente Erodable
25	234311.71	8933473.39	franco arenoso	62	29	9	3	2.176	2	0.081	Extremadamente Erodable
26	233604.48	8933889.01	franco arenoso	64	28	8	3	1.856	2	0.085	Extremadamente Erodable
27	234307.15	8931756.76	franco arenoso	60	23	17	3	1.645	2	0.069	Extremadamente Erodable
28	232588.99	8933090.26	franco arenoso	62	20	17	3	1.472	2	0.069	Extremadamente Erodable
29	234001.36	8930899.06	franco arenoso	60	21	19	3	1.584	2	0.066	Fuertemente Erodable
30	232107.11	8931886.48	franco arenoso	60	23	17	3	1.46	2	0.070	Extremadamente Erodable
31	232602.26	8930267.36	areno franco	81	14	4	2	3.812	1	0.067	Fuertemente Erodable
32	231809.55	8930606.85	franco arenoso	57	30	13	2	3.61	2	0.058	Fuertemente Erodable
33	230896.24	8931507.27	franco arenoso	60	33	7	2	4.225	2	0.063	Fuertemente Erodable
34	229629.51	8930782.31	franco arenoso	60	33	7	2	4.415	2	0.061	Fuertemente Erodable

Elaborado por el autor.

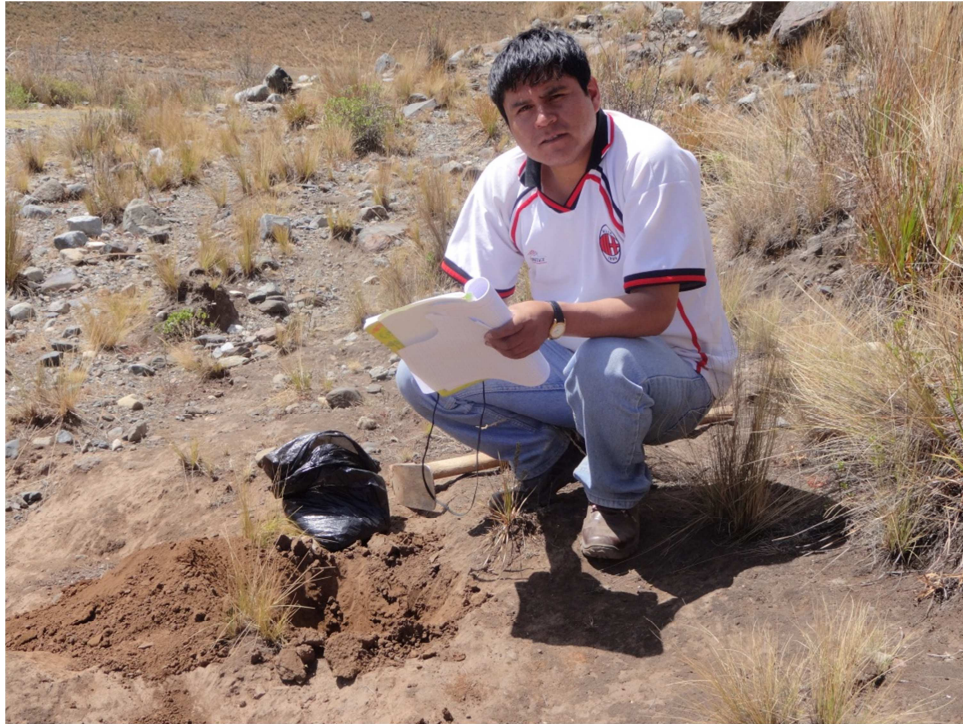
PANEL FOTOGRAFICO



Fotografía 1: Punto de muestreo M-1



Fotografía 2: Punto de muestreo M-2



Fotografía 3: Punto de muestreo M-3



Fotografía 4: Punto de muestreo M-4



Fotografía 5: Punto de muestreo M-5



Fotografía 6: Punto de muestreo M-6



Fotografía 7: Punto de muestreo M-7



Fotografía 8: Punto de muestreo M-8



Fotografía 9: Punto de muestreo M-9



Fotografía 10: Punto de muestreo M-10



Fotografía 11: Punto de muestreo M-11



Fotografía 12: vista del área reforestada.



Fotografía 13: vista del área reforestada.



Fotografía 14: Área de estudio parte alta.



Fotografía 15: Área de estudio parte media.



Fotografía 16: Subcuenca río Olleros.

ANEXO 3

MAPAS.