



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



**“INFLUENCIA DE MEDIDAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS  
EN LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO  
TEMPORAL ESCALERANI – PUNO”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. FROILÁN YONY PACO ARPITA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**PUNO – PERÚ**

**2022**



## DEDICATORIA

*A Dios Todopoderoso, Él fue mi fortaleza que me dio la fuerza para seguir adelante*

*A mí querida madre Carmen que en paz descanse, a mi padre Julio Constantino, a mi tía Eva, tío Lino por compartir mis preocupaciones en mi vida y mi formación profesional*

*A mi pareja Dunia por su apoyo incondicional para la culminación de este trabajo.*

*A mis hijos(as) Maria del Carmen y Jose Gabriel que es la fuerza e impulso para alcanzar mis metas y continuar teniendo éxitos durante mi vida profesional.*

*A mis hermanos(as) por su apoyo durante mi formación profesional.*

*Froilan Yony Paco Arpita*



## AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, que gracias a las enseñanzas de sus docentes forman profesionales de gran sabiduría científica y técnica en las Ciencias de la Ingeniería Agronómica.

A mi director y asesor Ing. M. Sc. Flavio Ortiz Calcina por su valioso aporte, en el presente proyecto de investigación, por sus valiosos consejos y observaciones.

A los distinguidos miembros del jurado, Ing. Eustaquio Aguilar Ramos, Dr Pablo antonio Beltran Barriga, Ing. M. Sc. Julio Cesar Sosa Choque, por acceder amablemente a formar parte del mismo, por sus acertadas correcciones que contribuyeron a mejorar la ejecución y redacción final del presente trabajo.

A todos mis amigos y compañeros de estudio que de una u otra manera me apoyaron en mi formación profesional.



## INDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA</b>	
<b>AGRADECIMIENTO</b>	
<b>INDICE GENERAL</b>	
<b>INDICE DE TABLAS</b>	
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	
<b>RESUMEN .....</b>	<b>10</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>11</b>
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
<b>1.1 EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>12</b>
1.2.1 A nivel internacional.....	13
1.2.2 A nivel nacional .....	13
1.2.3 A nivel local.....	14
<b>1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>15</b>
<b>1.4 IMPORTANCIA Y UTILIDAD DEL ESTUDIO.....</b>	<b>17</b>
<b>1.5 OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>18</b>
1.5.1 Objetivos específicos .....	18
<b>1.6 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>19</b>
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>REVICION DE LITERATURA</b>	
<b>2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>20</b>
<b>2.2 MARCO REFERENCIAL.....</b>	<b>21</b>
2.2.1 De la erosión de suelos .....	21
2.2.2 Potencialidades en el manejo de suelos .....	22
2.2.3 Limitaciones en el manejo de suelos .....	22
2.2.4 Sistema de capacidad de uso mayor de tierra .....	23
2.2.5 Uso sostenible del recurso suelo.....	23
2.2.6 Influencia de manejo de suelos en la erosión hídrica .....	24
2.2.7 Rangos cualitativos de la erosión hídrica .....	26
<b>2.3 MARCO CONCEPTUAL.....</b>	<b>26</b>
2.3.1 Erosión Hídrica .....	26



2.3.2	Tipos de erosión hídrica.....	27
2.3.3	Cuenca Hidrográfica .....	28
2.3.4	Modelos de evaluación de la erosión hídrica.....	28
2.3.5	Modelos de evaluación directa .....	29
2.3.6	La sedimentación .....	29
2.3.7	Medidas de la escorrentía y sedimentos en la cuenca hidrográfica .....	29
2.3.8	Modelos de estimación de pérdida de suelos por erosión hídrica.....	30
<b>2.4.</b>	<b>HIPÓTESIS GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>31</b>
2.4.1	Hipótesis Específica.....	31
<b>2.5.</b>	<b>FACTORES EN ESTUDIO .....</b>	<b>31</b>
<b>2.6</b>	<b>VARIABLES INDEPENDIENTES Y DEPENDIENTES .....</b>	<b>33</b>
2.6.1	Variables independientes .....	33
2.6.2	Variables dependientes .....	33
<b>CAPÍTULO III</b>		
<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b>		
<b>3.1</b>	<b>MATERIALES .....</b>	<b>34</b>
3.1.1	Ubicación geográfica del área de estudios.....	34
3.1.2	Ubicación política .....	35
3.1.3	Ubicación administrativa .....	35
3.1.4	Mapa Base del Proyecto .....	35
3.1.5	Pendiente de la microcuenca de río temporal Escalerani .....	37
3.1.7	Temperatura .....	39
3.1.8	Precipitación .....	40
3.1.9	Evapotranspiración .....	41
3.1.10	Geología.....	43
3.1.11	Microzonas de vida.....	43
3.1.12	Unidades Fisiográficas.....	45
3.1.13	Cobertura Vegetal .....	46
3.1.14	Flora y Fauna Silvestre del área del proyecto.....	48
3.1.15	Riesgos de origen geodinámico externo .....	49
3.1.16	Organizaciones sociales: Liderazgo.....	50
3.1.17	Desarrollo urbano de la ciudad de Puno .....	51
3.1.18	Materiales de gabinete, campo y softwares .....	52
<b>3.2.</b>	<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>53</b>



3.2.1	Población y muestras de investigación .....	53
3.2.2	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	54
3.2.3	Instrumentos tecnológicos: los SIG y Teledetección.....	55
3.2.4	Métodos estadísticos de la investigación .....	56
3.2.5	Trabajos preliminares para el desarrollo de la investigación.....	58
3.2.6	Aplicación de “Ecuación Universal de la Pérdida de Suelos USLE” .....	59
3.2.7	Factores en estudio.....	60
3.2.8	Pérdida de suelos por Erosión Hídrica Potencial.....	66
3.2.9	Estimación de la Erosión Hídrica Actual de la microcuenca.....	67
3.2.10	Estimación de pérdida de suelos por unidades hidrográficas y transporte de Sedimentos.....	68
3.2.10.1	Estimación de transporte de material erosionado por la pendiente de la longitud de los ríos .....	69
3.2.10.2	Tiempo de concentración de la esorrentía .....	70
3.2.10.3	Cálculo de caudal máximo del rio “Método Racional” .....	71
3.2.11	Análisis Multicriterio –SIG para la selección de medidas de gestión de conservación de suelo y agua en la microcuenca .....	74

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1</b>	<b>MODELAMIENTO DE LOS FACTORES DE LA EROSIÓN HÍDRICA.....</b>	<b>76</b>
4.1.1	Factor R: Análisis de Erosividad de la precipitación.....	76
4.1.2	Factor K: Análisis de erodabilidad del suelo .....	78
4.1.3	Factor SL: Análisis de la pendiente y longitud del río .....	81
<b>4.2</b>	<b>MODELAMIENTO DE EROSIÓN HÍDRICA POTENCIAL DEL SUELO .</b>	<b>83</b>
<b>4.3</b>	<b>MODELAMIENTO DE EROSIÓN HÍDRICA ACTUAL DE LOS SUELOS</b>	<b>85</b>
4.3.1	Factor C: Ponderación de cobertura vegetal .....	85
4.3.2	Coefficiente de cobertura vegetal.....	86
4.2.3	Factor P: Ponderación de medidas de manejo y conservación de la microcuenca .....	87
<b>4.4</b>	<b>TRANSPORTE DE SUELO EROSIONADO Y SEDIMENTACIÓN POR UNIDADES HIDROGRÁFICAS EN LOS ÚLTIMOS 30 AÑOS.....</b>	<b>89</b>
4.4.1	Análisis y modelamiento de pérdida de suelos por erosión hídrica en las unidades hidrográficas .....	89



4.4.2	Análisis y modelamiento de transporte de material erosionado por la pendiente de la longitud de los ríos.....	90
4.4.3	Monitoreo, análisis y modelamiento de sedimentos en los muros de contención de cárcavas. ....	91
<b>4.5</b>	<b>PROPUESTA DE MEDIDAS DE GESTIÓN SOSTENIBLE DE LOS SUELOS DE LA MICROCUENCA .....</b>	<b>94</b>
4.5.1	Implementación de políticas de gestión sostenible de manejo de cuencas hidrográficas y suelos. ....	94
4.5.2	Estrategias de gestión de recuperación de la calidad ambiental de los suelos. ....	96
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>97</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>99</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>100</b>
<b>ANEXOS.....</b>		<b>105</b>
1.	CLASIFICADOR DE USO ACTUAL DE LA TIERRA UGI (UNIÓN GEOGRÁFICA INTERNACIONAL) .....	105
2.	DIAGRAMA DE PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO PARA DETERMINAR LA PÉRDIDA DE SUELOS POR EROSIÓN HÍDRICA ..	106
3.	UNIDADES DE LOS FACTORES DE LA EROSIÓN HÍDRICA.....	106
4.	ANÁLISIS DE MECANICO DE SUELOS.....	107
5.	CUADRO DE CLASIFICACIÓN DE USO DE LA TIERRA, VEGETACIÓN Y PRÁCTICAS DE MANEJO DE LA MICROCUENCA - FAO .....	108

**Área : Ciencias agrarias**

**Linea : Cambio climático y Agricultura**

**FECHA DE SUSTENTACION: 28 de enero del 2022.**



## INDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Área del proyecto en estudio.....	34
Tabla 2.	Coordenadas proyectadas en UTM para el descargado de la información ..	37
Tabla 3.	Resultado de rango de pendiente de la microcuenca .....	38
Tabla 4.	Rango de temperaturas del área del proyecto .....	39
Tabla 5.	Base de datos de precipitaciones históricas de 9 estaciones meteorológicas .....	41
Tabla 6.	Unidades Fisiográficas de la microcuenca del río Escalerani.....	46
Tabla 7.	Puntos de control para descargar la Imagen satelital Sentine2. ....	47
Tabla 8.	Coefficiente de Cobertura Vegetal por tipo de pendiente y permeabilidad ..	65
Tabla 9.	Parámetros de Factor P. Práctica de conservación.....	66
Tabla 10.	Niveles de erosión hídrica en la microcuenca del río Escalerani.....	67
Tabla 11.	Factor R. Erosividad de la lluvia en Mj-mm/ha*h.....	77
Tabla 12.	Base de datos de factor erodabilidad del suelo de la microcuenca .....	82
Tabla 13.	Pendiente de la longitud de los ríos de las unidades hidrográficas.....	82
Tabla 14.	Base de datos de la estimación de erosión hídrica potencial de suelos .....	83
Tabla 15.	Ponderación para el coeficiente de factor C Cobertura vegetal.....	86
Tabla 16.	Resultado de coeficiente de cobertura vegetal y prácticas de manejo C – ..	87
Tabla 17.	Mapa de erosión hídrica actual por unidades hidrográficas de la microcuenca .....	89
Tabla 18.	Transporte de suelo erosionado por la pendiente de la longitud del río Tn/km. .....	91



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Mapa de ubicación del área del proyecto.....	34
Figura 2.	Raster del satélite GDEM del área de estudio .....	36
Figura 3.	Mapa de clase de pendientes de la microcuenca.....	38
Figura 4.	Mapa de calor e Ysotermas del área del proyecto .....	40
Figura 5.	Mapa de precipitación media anual de 50 años de la microcuenca de río Escalerani.....	42
Figura 6.	Diagrama bioclimático de zonas de vida del sistema Holdridge .....	44
Figura 7.	Mapa de Micro zonas de vida del sistema Holdridge del área del proyecto	45
Figura 8.	Mapa Fisiográfico del proyecto .....	47
Figura 9.	Imagen Sentinel2 para analizar el escenario temático del área del proyecto .....	48
Figura 10.	Nomograma para calcular el Factor K Erodabilidad de suelos.....	63
Figura 11.	Mapa de Erosividad de la lluvia del área de estudio.....	78
Figura 12.	Mapa de Erodabilidad de suelos de la microcuenca río temporal Escalerani .....	80
Figura 13.	Mapa de factor LS longitud de la pendiente de los ríos de la microcuenca.	83
Figura 14.	Mapa de pérdida de suelos por erosión hídrica en la microcuenca.....	84
Figura 15.	Mapa de cobertura vegetal y prácticas de manejo de la microcuenca .....	88
Figura 16.	Mapa de erosión hídrica actual por unidades hidrográficas de la microcuenca .....	89
Figura 17.	Transporte de material erosionado por las unidades hidrográficas.....	92
Figura 18.	Estimación de erosión actual por unidades hidrográficas de la microcuenca .....	93



## RESUMEN

El presente trabajo de investigación evalúa los efectos de un conjunto de medidas de control de la erosión hídrica en la microcuenca de río temporal Escalerani. El método utilizado fue la “Ecuación universal de pérdida de suelos por erosión hídrica” USLE. Se determinaron los factores de la ecuación  $R * K * SL * C * P$ , donde R es la agresividad de la lluvia, la K es la resistencia mecánica que genera el suelo a la agresividad, SL es la pendiente de la longitud de los ríos, C es coeficiente de cobertura vegetal y P constituye las medidas de conservación del suelo. El área de investigación está localizada entre las coordenadas geográficas  $-15^{\circ}49'53''$  Latitud S y  $-70^{\circ}02'02''$  Longitud W, Uso Z19s. Los objetivos consistieron en; estimar la erosión hídrica potencial y actual de los suelos en la microcuenca, analizar el transporte y retención de los sedimentos en los ríos de la microcuenca en los últimos 30 años, y proponer las políticas y estrategias para la gestión sostenible de la microcuenca. Se alcanzaron a los siguientes resultados; se estimó la erosión potencial de la microcuenca en 257,60 Tn/ha/año, la erosión hídrica actual en 92.59 Tn/ha/año. De este último, el transporte de sedimentos hacia el exterior es 34.48 Tn/ha/año y la retención interna por los muros de defensa de las cárcavas es 58.11 Tn/ha/año. Los resultados de esta investigación servirán a los agricultores de la microcuenca de río temporal Escalerani en la planificación y uso sostenible de los recursos naturales.

**Palabras claves:** Erosión hídrica, Erosión potencial, Erosión actual, sedimentos.



## ABSTRACT

This research work evaluates the effects of a set of measures to control water erosion in the temporary micro-basin of the Escalerani river. The method used was the "Universal equation of soil loss due to water erosion" USLE. The factors of the equation  $R * K * SL * C * P$  were determined, where R is the aggressiveness of the rain, K is the mechanical resistance generated by the soil to aggressiveness, SL is the slope of the length of the rivers, C is the vegetation cover coefficient and P is the soil conservation measures. The research area is located between the geographic coordinates  $-15^{\circ}49'53''$  Latitude S and  $-70^{\circ}02'02''$  Longitude W, Use Z19s. The objectives consisted of; estimate the potential and current water erosion of the soils in the micro-basin, analyze the transport and retention of sediments in the rivers of the micro-basin in the last 30 years, and propose policies and strategies for the sustainable management of the micro-basin. The following results were reached; The potential erosion of the micro-basin was estimated at 257.60 Tn/ha/year, the current water erosion at 92.59 Tn/ha/year. Of the latter, the transport of sediments to the outside is 34.48 Tn/ha/year and the internal retention by the defense walls of the gullies is 58.11 Tn/ha/year. The results of this research will serve the farmers of the temporary micro-basin of the Escalerani river in the planning and sustainable use of natural resources.

**Keywords:** Water erosion, Potential erosion, Current erosion, sediments.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

Uno de los problemas ambientales más serios que se está acrecentando a nivel mundial y nacional es la degradación de tierras de cultivo, la erosión de suelos en sus diferentes formas y causas, en el Perú es un problema ambiental muy serio que afecta a gran parte los espacios territoriales en diferentes grados de severidad. Las políticas de conservación de los suelos en el Perú no se difunden, el gobierno ha asumido un débil compromiso, y no están siendo estratégicamente desarrolladas.

Uno de los fenómenos importantes de los espacios territoriales en los países de América Latina y el Caribe es la erosión del suelo. Sus efectos son severos, no se están tomando decisiones oportunas y adecuadas, los efectos son notorios: pérdida de fertilidad de los suelos, la contaminación de las fuentes de agua, depósito de sedimentos en los cauces de los ríos. Las causas probablemente se deban a las actividades antrópicas inadecuadas, ligadas a la historia geológica y geomorfológica, a las variaciones del clima, y a la actuación social desordenada. Estos problemas ambientales seguirán vulnerando los escasos recursos naturales y la productividad del suelo. Por estas razones debemos tener presente que la erosión del suelo está estrechamente vinculada con los problemas de desarrollo rural.



## **1.2 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.2.1 A nivel internacional**

Reyes (2016) el presente trabajo tiene como objetivo el estudio, tratamiento, evaluación y modelación erosiva de la superficie que permita la ejecución de cartografía temática de la zona del municipio de Mosquera. Donde se encontró que el modelo de pérdida del suelo mediante sistemas de información geográfica cuantifica puntualmente la localización del proceso erosivo como: muy severo, severo, moderada o baja, la metodología que se propone es este trabajo es un método sencillo y es una primera aproximación a la solución de la detección de áreas erosionadas.

Quintanilla (2008) realizó la estimación de la pérdida de suelo en la cuenca del río Caine del departamento de Cochabamba, determinó utilizando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, es el método más empleado a nivel mundial, que utiliza una base de datos referidos a la lluvia, suelos, pendiente, uso-cobertura y prácticas de manejo. Los resultados de la pérdida de suelo promedio en tn/ha/año, determinada de acuerdo al modelo USLE, muestra un valor máximo de 1945 tn/ha/año, en una mínima superficie de la cuenca, constituida principalmente por áreas altamente degradadas, por consiguiente una gran parte de la erosión representada por el 66% es fuerte a muy fuerte, esta cuenca está sometida a un fuerte proceso erosivo que puede atribuirse a la característica geomorfológica y cobertura vegetal constituida principalmente por serranías empinadas y herbazales ralos.

### **1.2.2 A nivel nacional**

Zúñiga (2017) en su tesis “Pérdida de suelos por erosión hídrica en la cuenca del río Aguada Blanca – Arequipa, determina resultados consistentes del factor de: lluvia R, erodabilidad K y cobertura vegetal C (calibrados con  $r^2 > 80$  por ciento). El modelo



MC80 expresó una tasa promedio anual de 128.96 T/ha/año, mientras que el modelo MC78 una tasa promedio de 145.50 T/ha/año; mostrando una cuenca erosiva con tendencia a la desertificación, que está por encima del patrón de erosión recomendada por ICONA (1991) de 12.5 T/ha/año y la FAO 11.2 T/ha/año. Los niveles de erosión fueron diferenciados, en cada una de las tres etapas del proceso de erosión de la cuenca aportante del embalse, la fase I alcanzó una tasa de erosión media de 125.15 T/ha/año, la fase II 154.94 T/ha/año y la fase III 162.73 T/ha/año; revelando una tendencia creciente de 30 por ciento.

### **1.2.3 A nivel local**

Con mucha evidencia y conocimiento podemos mencionar la ocurrencia de los fenómenos naturales en el altiplano peruano y boliviano durante los años 1983 la Sequía Extrema, y en 1985/86 el fenómeno del Niño Extremo. Se produjeron precipitaciones pluviales intensas mayores a 70mm/hr, calificado como tormentas de mayor intensidad para el altiplano peruano en el último siglo (Ortiz, 1988).

Obviamente, con esta intensidad se generó también erosión hídrica y transporte de sedimentos extremos. En este periodo la ciudad de Puno sufrió severos impactos ambientales; destrucción de vías, destrucción en las edificaciones civiles, deterioro de obras sanitarias y degradación de paisaje rural y urbano. Y el gobierno nacional declaró en emergencia al Departamento.

Pasada la emergencia, en el año 1987, con los fondos de los proyectos de Emergencia en esta microcuenca se ejecutaron obras de recuperación y rehabilitación de suelos y aguas, fundamentalmente en las partes altas de la ciudad de Puno.

Estas obras rurales como; los muros de contención de sedimentos a nivel de cauce y medidas mecánicas estructurales a nivel de ladera, la instalación de los Sistemas



Agroforestales, que en buena cuenta han pasado 30 años de operación y siguen beneficiando han beneficiado en gran medida a la ciudad de Puno y a los habitantes de la microcuenca. Pero la eficiencia de los servicios ambientales de tales obras, están disminuyendo por haber cumplido su vida útil.

La naturaleza de los proyectos de un Plan de Emergencia después de desastre, en este caso se ejecutaron con la urgencia que el caso requiere, por eso no se tienen la base de datos, información precisa de los factores de erosión de suelos, costos, análisis de riesgos y sistemas de gestión después de la implementación de las obras de remediación del desastre. Lo cierto, de estas medidas de remediación, rescatamos como una buena experiencia, se observan; un paisaje rural y entorno de la ciudad agradable, gestión sostenible de los recursos naturales, mejor economía y mejor calidad de vida. Pero, el deterioro de tales obras, requieren; medidas de restauración, conservación, mantenimiento y mejora a los sistemas de gestión participativa en el área de estudio.

Determina el Mapa de Erosión hídrica de la microcuenca del río temporal Escalerani, mediante la aplicación del Sistema de Información Geográfica del periodo de 1987 – 2018, se rescatan los valores de los factores en la información cartográfica, utilizando la metodología USLE, diseña modelos para la obtención de cada una de las variables que afectan a la susceptibilidad del suelo de la metodología RUSLE a través del Software ArcGis. (Valdez, 2014).

### **1.3 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Uno de los problemas ambientales más serios que se está sentando a nivel mundial es el estado de degradación de tierras de cultivo, la erosión de suelos en sus diferentes formas y causas en el Perú, es un problema ambiental muy serio que afecta a gran parte los espacios territoriales en diferentes grados de severidad.



En el Perú, la erosión del suelo es uno de los problemas más serios de deterioro del medio ambiente, que afecta a gran parte del territorio nacional en diferentes grados de severidad, causados principalmente por factores naturales y humanos, trayendo como consecuencia la reducción en la fertilidad de los suelos (perdidas en la productividad agrícola) y contaminación de masas de agua por sedimentos (INTECSA, 1993).

En el caso de esta microcuenca, y en otras de la parte alta de la ciudad de Puno, después de las inundaciones del año hidrológico 1985-1986 se ejecutaron una serie de medidas de manejo y conservación de suelos a nivel de ladera, cauce y valle. El ministerio de agricultura, juntamente con la CORPUNO celebraron un convenio de cooperación institucional para solucionar los problemas aludidos y efectivamente en el año 1988, un conjunto de obras, fueron entregadas a las autoridades del Barrio Escalerani y propietarios de las tierras de la microcuenca. Han pasado más de 30 años de aquella fecha y no se tiene información y antecedentes de sus monitoreos, información precisa de los factores de erosión de suelos, costos de mantenimiento y operación, análisis de riesgos, antecedentes de los impactos ambientales de proyectos existentes en el área de estudio. Lo cierto, de estas medidas de conservación y protección a la infraestructura civil de la ciudad de Puno es una buena experiencia, por lo menos desde la implementación de estas medidas en esta zona ya no se observan las desastrosas escorrentías y transporte de sedimentos hacia la ciudad de Puno. Por el contrario, se observan; un paisaje rural y entorno de la ciudad agradable, mejor gestión de los recursos naturales y mejor calidad de vida. Pero, el deterioro de tales obras, requieren; medidas de restauración, conservación, mantenimiento y mejora a los sistemas de gestión participativa en el área de estudio.

Si hoy, las autoridades y los involucrados no toman decisiones pertinentes, es porque no existe información adecuada. Por eso es completamente necesario contar con



la información espacial y temática pertinente. Entonces, estimamos que el trabajo de investigación en alguna manera resolvió el siguiente cuestionamiento:

- ¿Cuál será la erosión hídrica potencial y actual de los suelos en la microcuenca de río temporal Escalerani?
- ¿Cuál es el transporte de materiales erosionados y almacenamiento de los sedimentos en las unidades hidrográficas de la microcuenca?
- ¿Durante la ocurrencia de las precipitaciones intensas en la microcuenca en los últimos 30 años, cuál es el comportamiento de las medidas de conservación de suelos?
- ¿Qué estrategias de gestión sostenible de uso de tierras de la microcuenca se implementarán en las unidades de mayor pérdida de calidad ambiental?

#### **1.4 IMPORTANCIA Y UTILIDAD DEL ESTUDIO**

La producción de sedimentos es un dato de mucha importancia para la solución de problemas relacionados al transporte de sedimentos, es decir hay muchos factores que afectan temporal y espacialmente la deposición de sedimentos producidos por una cuenca.

Galvis (2008) cita a Corpoica (2006), aplicó la ecuación universal de pérdida de suelo con apoyo de la FAO en seis tratamientos de cobertura y uso de suelo como Arroz, Maíz, Brachiaria y Soya, entre otros, en los cuáles se les fue aplicado análisis estadísticos y matemáticos, de donde se examinó la importancia de analizar el factor de erosividad por la lluvia <sup>®</sup> puesto que permite determinar la potencialidad para producir erosión. Para la Orinoquia, este factor <sup>®</sup> posee una capacidad erosiva alta con un valor promedio de 1161Ton/ha-año. “Se encontró una relación directa entre los volúmenes de precipitación



diaria, mensual y anual y la estimación del factor  $R$  para el periodo respectivo de forma independiente con la intensidad”.

El proyecto contribuyó y permitió proponer la implementación de un conjunto de medidas, mediante la planificación de proyectos de conservación de la microcuenca hidrográfica, protección de las obras civiles de la ciudad, y restauración de suelos. Mas aun, estas obras datan del año 1987, a la fecha tienen 32 años de vida, que por supuesto con el paso de los años se han deteriorado y requieren de restauración o rehabilitación para que sigan cumpliendo con la protección y conservación de los recursos naturales de los ecosistemas urbe de la ciudad de Puno, ecosistemas colinos montañosos y acuático de la bahía interior de la ciudad de Puno.

## **1.5 OBJETIVO GENERAL**

Modelar mediante dos métodos de estimación de pérdida de suelos, la erosión hídrica de los últimos 30 años en la microcuenca de río temporal Escalerani - Puno.

### **1.5.1 Objetivos específicos**

- Estimar la erosión hídrica potencial de los suelos en la microcuenca de río temporal Escalerani, mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos USLE.
- Estimar la erosión hídrica actual de los suelos en la microcuenca de río temporal Escalerani, mediante la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos USLE.
- Estimar el transporte de suelo erosionado y sedimentación por unidades hidrográficas en los últimos 30 años en la microcuenca de río temporal Escalerani.
- Proponer estrategias, medidas de prevención, mitigación y conservación en la gestión actual en la microcuenca.



## 1.6 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN

Se implementarán metodologías para prevenir la pérdida de los suelos por erosión. Varios investigadores han conducido para cuantificar la tasa de erosión bajo diferentes usos del suelo al nivel de cuencas hidrológicas (Figuroa S. Amante O. et al, 2003), para lo cual, también han utilizado diferentes métodos para diferentes tipos de cobertura vegetal, como, por ejemplo; parcelas de erosión, lotes de escurrimiento. Ventura (1988) pero pocos estudios se han enfocado a la predicción de la erosión con fines de planeación y diseño de prácticas de conservación de suelos, dichas metodologías servirán de referencia para otros investigadores que decidan aplicarlas en suelos de diferentes regiones del Perú.



## CAPÍTULO II

### REVICION DE LITERATURA

#### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Es un hecho reconocido que la conservación de los suelos es una necesidad apremiante e impostergable. Una pérdida media de 0,3% del rendimiento anual de los cultivos está ocurriendo debido a la erosión, que de continuar sin cambios positivos podría fomentar una reducción del rendimiento anual para el año 2050 en un 10%. Esto supondría la pérdida de 4,5 millones de hectáreas por año-1de suelo, siendo Asia, Latinoamérica y el Caribe, el Cercano Oriente y Norte de África las regiones que tienen la mayor tendencia a dicho deterioro (FAO, 2015).

Moreno (2017) caracterizó el riesgo de erosión hídrica en la microcuenca Pucauran Distrito de Jangas - 'Huaraz - Ancash - 2012. El objetivo de este trabajo fue caracterizar el riesgo de erosión hídrica en la microcuenca Pucauran, los factores de la erosión hídrica fueron determinados mediante la Ecuación Universal de pérdida de Suelo (USLE), se obtuvo los siguientes resultados: el 31% del área de la microcuenca presenta erosión baja, con pérdidas menores a 5Tn/ha/año, y el 7% del área presenta una erosión crítica con pérdidas mayores al 200 Tn/ha\*año, la misma que se desarrolla en la parte alta y media de la microcuenca, donde existe explotación minera, movimiento de masa escasa vegetación; sobreexplotación y sobrepastoreo; que aceleran los procesos erosivos.

Ancco (2006) realizó el modelamiento de la erosión hídrica en la microcuenca del río Coraraca, ubicada dentro de la cuenca del río Ilave, para ello utilizó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) con un SIG, alcanzando los siguientes resultados:



en un 33.92% de su superficie un riesgo de degradación por erosión hídrica muy alto (>200 tn/ha/año), los riesgos de degradación alto (50–200 tn/ha/año) cubren un 33.45% de la microcuenca, los riesgos de degradación moderados (10-50 tn/ha/año) ocupan una superficie de 6.15% y los riesgos de degradación ligera (<10 tn/ha/año), se ubican predominantemente en las partes bajas de la microcuenca ocupando una superficie de 26.47%.

Flores (2017) indica dentro de los parámetros cualitativos de manejo de suelo en el C.E. Illpa; son aquellas características o variables que expresan distintas cualidades, atributos, aspectos de las praderas que se está evaluando, se expresa mediante una clasificación o ponderación siguiendo una escala establecida de la variable estudiada. Por ejemplo, especie de ganado (bovinos, ovinos, alpacas), erosión del suelo (leve, moderado o severo), condición de la pradera (buena, regular o pobre), tipo de inflorescencia de gramíneas (espiga, panícula y racimo), caracteres morfológicos de los pastos (formas de raíz, tallo, y hojas).

## **2.2 MARCO REFERENCIAL**

### **2.2.1 De la erosión de suelos**

Agenda 21 (1992) uno de los grandes desequilibrios medioambientales se centra en los procesos de erosión agravados por la acción de las actividades humanas especialmente por aquellas que se centran en la modificación de la cubierta vegetal. Acciones como la roturación de tierras inadecuadas, incendios forestales, explotación maderera, abono de tierras, sobrepastoreo, etc, aceleran estos procesos, provocando la pérdida parcial o total de un recurso difícilmente renovable como es el suelo.

Si a este factor se unen determinadas características climáticas de nuestra región como son el largo periodo estival, la alta torrencialidad de lluvia y el alta interanual con



años extremadamente secos frente a otros excepcionalmente lluviosos, ello proporciona un alto riesgo de desertificación, entendiéndose por ésta como la pérdida del potencial biológico de los suelos debida a acciones antrópicas y climáticas.

El suelo pierde la materia orgánica, se vuelve muy inestable y sufre una erosión progresiva dando lugar a regueros, cárcavas y barrancos, que en casos extremos llega a destruir completamente al suelo (en este estado se encuentran gran parte de los suelos de los olivares andaluces, en los que se está labrando directamente las margas). Conociendo la tipología del suelo se pueden reconstruir sus horizontes y se puede evaluar la intensidad de la erosión sufrida. (Agenda 21, 1992)

### **2.2.2 Potencialidades en el manejo de suelos**

Congreso. Perú (2010) sostiene; el manejo sostenible de los suelos está orientado a la formulación, aprobación y aplicación de políticas nacionales, sectoriales, regionales y locales en materia de gestión ambiental y uso sostenible de los recursos naturales y la ocupación ordenada del territorio, en concordancia con las características y potencialidades de los ecosistemas, la conservación del ambiente, la preservación del patrimonio cultural y el bienestar de la población.

### **2.2.3 Limitaciones en el manejo de suelos**

La longitud, forma y sobre todo el grado de pendiente de la superficie del suelo influye regulando la distribución de las aguas de escorrentía, es decir, determinan el drenaje externo de los suelos. Los grados más convenientes son determinados considerando especialmente la susceptibilidad de los suelos a la erosión.



Otro aspecto importante es la forma de la superficie del terreno, de gran interés desde el punto de vista de las obras de nivelación. Las pendientes moderadas, pero de superficie desigual o muy variadas deben ser consideradas como factores influyentes en los costos de nivelación y del probable efecto de ésta sobre la fertilidad y las características físicas al eliminar las capas edáficas de gran valor agrícola.

#### **2.2.4 Sistema de capacidad de uso mayor de tierra**

Congreso. Perú (2010) indica; las características edáficas consideradas en el presente reglamento de Clasificación de Tierras según su Capacidad de Uso Mayor son las siguientes: pendiente, profundidad efectiva, textura, fragmentos gruesos, pedregosidad superficial, drenaje interno, pH, erosión, salinidad, peligro de anegamiento y fertilidad natural superficial.

Una unidad de tierra clasificada para una aptitud determinada, debe ser para su uso sostenible, es decir, para una productividad óptima y permanente bajo un sistema de manejo establecido. Ello implica que el uso asignado deberá conducir a la no degradación del suelo, por procesos tales como de erosión, salinización, hidromorfismo u otros.

#### **2.2.5 Uso sostenible del recurso suelo**

El Artículo 91 de la Ley N°017-2009-PCM, Congreso. Perú (2010) manifiesta; el Estado es responsable de promover y regular el uso sostenible del recurso suelo, buscando prevenir o reducir su pérdida y deterioro por erosión o contaminación. Cualquier actividad económica o de servicios debe evitar el uso de suelos con aptitud agrícola, según lo establezcan las normas correspondientes.

Zaccagnini, M. E. Wilson, M. Oszust (2014) argumentan; que las terrazas no cultivables dificultan las operaciones de siembra, pulverización, cosecha, pasaje de



tolvas, etc. es verdadero, pero una verdad parcial y relativa ya que esas limitaciones deben asociarse a que en entre ríos se está realizando agricultura intensiva en condiciones de alto potencial erosivo, lo que requiere admitir la necesidad de controlar la erosión con la tecnología más eficiente y su adopción implica no cultivarlas, cruzarlas excepcionalmente con maquinaria.

MINAN (2010) indica; terreno en proceso de erosión. Existen diferentes grados de erosión relacionados a la vez con los diferentes grados de pendiente del terreno.

## **2.2.6 Influencia de manejo de suelos en la erosión hídrica**

### **2.2.6.1 Influencia de la cobertura vegetal**

Según Lemus, M., y Navarro (2003) Indican; una cubierta vegetal, normalmente, debe cumplir su función cuando la copa, la capa de hojarasca y su sistema radicular minimizan totalmente el grado de erosión. Una plantación juega un rol sumamente importante en la tasa de infiltración de un suelo, permitiendo incluso recarga del nivel freático, alimentando así el escurrimiento base. Este efecto origina que el escurrimiento superficial sea mínimo y consecuentemente, su poder erosivo sea bajo.

La erosión hídrica es ocasionada por la interacción de cuatro factores (clima, suelo, cubierta y pendiente) que se conjugan para crear un entorno que puede ser más o menos favorable, dando origen a zonas de alta, media o baja tasa de erosión. Además se suman agentes como la cobertura del terreno y la pendiente, los que se describen con mayor detalle a continuación (Mancilla, 2008).

Por la magnitud de la problemática se han realizado estudios que muestran el papel clave que juega la cobertura vegetal en el proceso erosivo de la lluvia (Santacruz De León, 2011).



### **2.2.6.2 Influencia de técnicas de manejo de suelos en la erosión hídrica**

Según Vasquez (2014) indica; que en obtener y diseñar la información necesaria para la recuperación de los suelos a partir de las diversas técnicas o prácticas mecánicas las cuales son actividades que se efectúan con implementos agrícolas y mano de obra para disminuir la erosión, el tiempo determinado es a largo plazo debido al diseño, construcción y manejo de las diversas técnicas en función del tipo de suelo y clase. Los impactos serán definidos de alto a medio con respecto al incremento de su productividad e incorporar ciertos productos para que el suelo se vuelva fuerte sin perder su capa superficial, en cada sitio localizado se adaptará la práctica de mayor provecho para determinar su grado de factibilidad en cuanto a la restauración lo más rápida posible.

### **2.2.6.3 Influencia del cambio climático**

Al respecto, Zare, M., *et all* (2017) han señalado que, aunque es un hecho que el cambio climático es un proceso natural e inevitable y que no está bajo control humano, si se pudiera manejar de una mejor forma el uso de la tierra, la pérdida de suelo podría ser controlada e incluso disminuida en gran medida, aún bajo la influencia de los futuros cambios climáticos.

Por otro lado Li, Z., Fang, H. (2016) destacan; que la erosión de los suelos será influenciada por el cambio climático, principalmente por los cambios de temperatura y patrones de precipitación que impactarán la producción de la biomasa vegetal, las tasas de infiltración, la humedad del suelo, los cambios de uso y el manejo de los cultivos, por consiguiente, afectando la escorrentía y la erosión de los suelos.



### **2.2.7 Rangos cualitativos de la erosión hídrica**

Cabrejos (2016) indica en un informe de tesis, sobre rangos cualitativos de la erosión de suelos; en relación a las Zonas de Erosión de la Microcuenca se pueden tener una percepción del nivel de riesgo erosivo en el que se encuentran las zonas estudiadas; para lo cual, se realizó la integración de las diversas variables ya mencionadas anteriormente. Se observa que un 33.4 % (12,549.13 ha) del territorio de la microcuenca, se encuentra en una situación de riesgo erosivo medio y bajo nivel socioeconómico y un 32.7 % (12,298.27 ha) con una situación de riesgo erosivo y nivel socioeconómico bajo; ambas unidades presentan una situación socioeconómica desfavorable, pero un riesgo erosivo de niveles medio a bajos. Por otro lado, se tiene un 8.7 % (3,278.4 ha) del territorio en una situación más crítica; con un riesgo erosivo alto y bajos niveles socioeconómicos.

## **2.3 MARCO CONCEPTUAL**

### **2.3.1 Erosión Hídrica**

La degradación del suelo, a consecuencia de la erosión, afecta la fertilidad del suelo y en última instancia la producción de los cultivos, a pesar de que esta afirmación es de conocimiento general, pocos son los datos disponibles que cuantifican esta reducción. Para el estudio de la relación entre erosión y pérdida de fertilidad se han utilizado ensayos simulados en invernadero; mediciones a nivel de campo, en áreas con diferentes grados de erosión (FAO, 1993).

Cabrejos V. Mirella N. (2016) menciona a Pidwirny (2006) define a la erosión como la degradación de los suelos, los sedimentos, el regolito, los fragmentos de roca y el paisaje, a través de distintos medios externos como el viento, el hielo y el agua.



MINAN (2020) manifiesta; un ecosistema degradado es aquel que ha perdido sus componentes esenciales como el agua, suelo o vegetación, reduciendo su capacidad de proveer bienes y servicios ambientales.

Esta situación trae como consecuencia que se perjudique el bienestar y la economía de la población, como la disminución de la cantidad y calidad de agua para el consumo, suelos menos fértiles y baja producción de alimentos, pérdida de diversidad biológica, aumento de riesgos de desastres como huaycos, entre otras.

### **2.3.2 Tipos de erosión hídrica**

Se pueden identificar los siguientes tipos principales de erosión hídrica:

#### **Erosión laminar**

Este tipo de erosión “está estrechamente relacionada con la salpicadura de las gotas de lluvia, a lo que se puede adicionar, que en laderas más de la mitad de la salpicadura desciende por cuesta abajo. Cuando esta corriente se mantiene como una delgada lámina, se conoce como erosión laminar” (Guerrero, 2003). Por lo que se puede decir que la erosión laminar y en surcos son las formas de erosión que más afecta a los cultivos por degradación y pérdida del horizonte A, y a la vez afecta más significativamente a la producción de sedimentos en los ríos (Vahrson, W. y Cervantes, 1991).

#### **Erosión en surcos**

Provocada por el aumento de la velocidad de desplazamiento del agua, que comienza a surcar la superficie del suelo dicho material frecuentemente llega a las corrientes y ríos donde puede causar grandes daños (Farfán, 2002). Que corresponden a



canales miniatura, que son el resultado de la remoción de aproximadamente 10 a 50 cm de suelo por acción de la escorrentía

### **Erosión por cárcavas**

Kirkby (1984) define a las cárcavas como canales profundos y de paredes empinadas, que se encuentran en las tierras altas y comúnmente se presentan en áreas con subsuelos profundos y frágiles. A menudo se caracterizan por un desprendimiento en el inicio de la cárcava y que progresivamente esta avanza corriente arriba.

Al respecto Morgan (1997) al comparar estas depresiones con los cauces permanentes, relativamente llanos y cóncavos en su perfil, las cárcavas se caracterizan por tener cabeceras y saltos a lo largo de su curso, así como su efecto en los terrenos agrícolas pueden originar el abandono de las tierras por las dimensiones que alcanza.

#### **2.3.3 Cuenca Hidrográfica**

Zaldívar Larraín (2017) destaca la utilidad de implementar las cuencas hidrográficas como unidad de gestión del territorio, debido a que permiten identificar de manera eficiente, oportunidades para el desarrollo y éxito de distintos instrumentos de planificación dirigidos para potenciar la actividad silvoagropecuaria.

#### **2.3.4 Modelos de evaluación de la erosión hídrica**

Morgan (1997) Indica que cuando se predice la erosión, se debe decidir si la predicción es para un año, un día, una tormenta o para períodos cortos de tiempo, y si dicha predicción se refiere a una parcela, una ladera o una cuenca. Estas perspectivas en el tiempo y en el espacio influirán en los procesos que deben incluirse en el modelo, en la forma que deben describirse y en el tipo de datos necesarios para validar en modelo y su funcionamiento.



Honorato, R., Barrales, L., Peña, I. y Barrera (2001) hacen mención; que para la medición del grado de erosión existente en el suelo se han desarrollado distintos métodos, los cuales se han diferenciado en dos tipos; los modelos cualitativos y los modelos cuantitativos. En los modelos cualitativos de destaca la cartografía de unidades homogéneas en función de los parámetros principales que controlan el proceso erosivo; sin embargo, los modelos cuantitativos permiten la estimación numérica de la erosión y se diferencian en modelos de evaluación directa y en modelos de evaluación indirecta.

### **2.3.5 Modelos de evaluación directa**

Honorato, R., Barrales, L., Peña, I. y Barrera (2001) estos modelos se desarrollan a través de modelos experimentales en el terreno mismo, como la medición de parcelas o medición de variables como: sedimentos en el agua y en algunos casos con simuladores de lluvia; estos datos obtenidos se pueden extrapolar a otras zonas homogéneas.

### **2.3.6 La sedimentación**

La erosión hídrica incluye tres procesos mecánicos: primero el desprendimiento de las partículas, segundo el transporte de las partículas y por último la sedimentación de las partículas (Chitalogro, V. Pailacho, 2021)

### **2.3.7 Medidas de la escorrentía y sedimentos en la cuenca hidrográfica**

La escorrentía y los sedimentos son medidos por estaciones de aforo, estas registran el caudal y escorrentía para conocer su concentración y con ello la pérdida de suelo. Esta estación mide los procesos de erosión, deposición de materiales y flujo de escorrentía (Alvarez, 2019).



### 2.3.8 Modelos de estimación de pérdida de suelos por erosión hídrica

Existen varios modelos que el mundo académico y científico hasta ahora vienen utilizando:

- USLE, es un método “Empírico” que utiliza seis factores: erosividad de la lluvia  $R$ , susceptibilidad de erosión del suelo (K), largo de la pendiente (L), magnitud de la pendiente (S), cubierta y manejo de cultivos y residuos C, y prácticas de conservación (P), para estimar la pérdida de suelos promedio (A) por el período de tiempo representado por R, generalmente un año. Tiene varias limitaciones, por citar lo se sugirió su uso en terrenos con no más de 9% de pendiente.
- RUSLE, es un modelo “Empírico” fue modificado el USLE por la FAO, diseñados para predecir la erosión del suelo en pendientes complejas, también como guía para la planificación de la conservación a nivel de predios. Sin embargo, combinándolos con proporciones de desplazamiento, pueden usarse para estimar el rendimiento de sedimento de cuencas. Las proporciones de desplazamiento de sedimento están definidas como el rendimiento de sedimento en cualquier punto a lo largo de un canal dividido por la erosión total más arriba de ese punto.
- El modelo MUSLE, es un modelo “Conceptual” tiene capacidad para simular las alternativas de manejo de cultivos y suelos detalladamente, permite al usuario evaluar los efectos de rotaciones de cultivos, mecanización de la labranza, manejo de residuos, prácticas de control de escurrimiento, estrategias de riego y otros factores. Además, su capacidad para simular rendimientos de cultivos, ciclos de fertilización y nutrientes, y dinámica de los plaguicidas permite al usuario evaluar las relaciones entre economía, conservación de suelos, y contaminación de aguas



superficiales y subterráneas por nutrientes y plaguicidas. (Jones, C. A.-Griggs, 1992).

## **2.4. HIPÓTESIS GENERAL DE LA INVESTIGACIÓN**

La pérdida de suelo por la erosión hídrica en la microcuenca Escalerani está relacionado con la intensidad de las lluvias, tipo de suelo, a la topografía, al uso actual de la tierra y a los tipos de medidas de conservación de los suelos.

### **2.4.1 Hipótesis Específica**

- La erosión potencial del suelo está relacionada con la magnitud de la precipitación, tipo de suelo, tipo de vegetación, longitud de drenaje y pendiente de terreno, y la erosión actual está relacionada a los factores anteriores más el factor uso de la tierra y medidas de conservación del suelo.
- El volumen de los sedimentos de la erosión hídrica actual de la microcuenca estará relacionado con el tipo de manejo de suelos y factores ambientales de su entorno.
- El transporte de suelo erosionado y sedimentación está relacionado al tipo de pendiente y longitud de los ríos por unidades hidrográficas en los últimos 30 años en la microcuenca de río temporal Escalerani.
- La propuesta de medidas de control de la erosión hídrica dependerá de las estrategias de prevención, adopción a los impactos de las actividades de conservación, protección e implementación de proyectos sostenibles en la microcuenca.

## **2.5. FACTORES EN ESTUDIO**

Vasquez (2000), explica sobre los factores determinantes de la erosión hídrica:



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

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

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

**La vegetación:** La vegetación protege a la superficie del suelo del impacto directo del agua, sea esta proveniente de la lluvia o escorrentía. La vegetación protege al suelo mediante:

- La intercepción y disminución o anulación de la energía con la que caen las gotas de lluvia en las hojas, tallos o los residuos de las plantas.
- La reducción de la velocidad del agua de escorrentía por efecto de la resistencia hidráulica debido al “colchón” que forman los residuos o cubierta vegetal.
- El aumento de la capacidad de infiltración y almacenamiento del agua debido al mejoramiento de la estructura y porosidad del suelo por efecto de las raíces,

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



## **2.6 VARIABLES INDEPENDIENTES Y DEPENDIENTES**

### **2.6.1 Variables independientes**

- Uso actual de la tierra,
- Terrenos sin uso y/o improductivos,
- Precipitaciones, temperaturas, pendientes, zonas de vida,
- Cobertura de la tierra.

### **2.6.2 Variables dependientes**

- Precipitaciones máximas o tormentas (Erosividad)
- Tipo de suelos, (Erodabilidad del suelo)
- Longitud de la cuenca hidrográfica y tipo de pendiente,
- Tipos de vegetación del suelo,
- Tipo de manejo de conservación de suelo y agua de la microcuenca.

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 MATERIALES

##### 3.1.1 Ubicación geográfica del área de estudios

Está, localizado geográficamente entre las coordenadas geográficas:

- Latitud Sur: 15°49'53" a 15°50'15",
- Longitud Oeste: 70°02'33" a 70°02'02",
- Hemisferio Sur, Uso 19s.

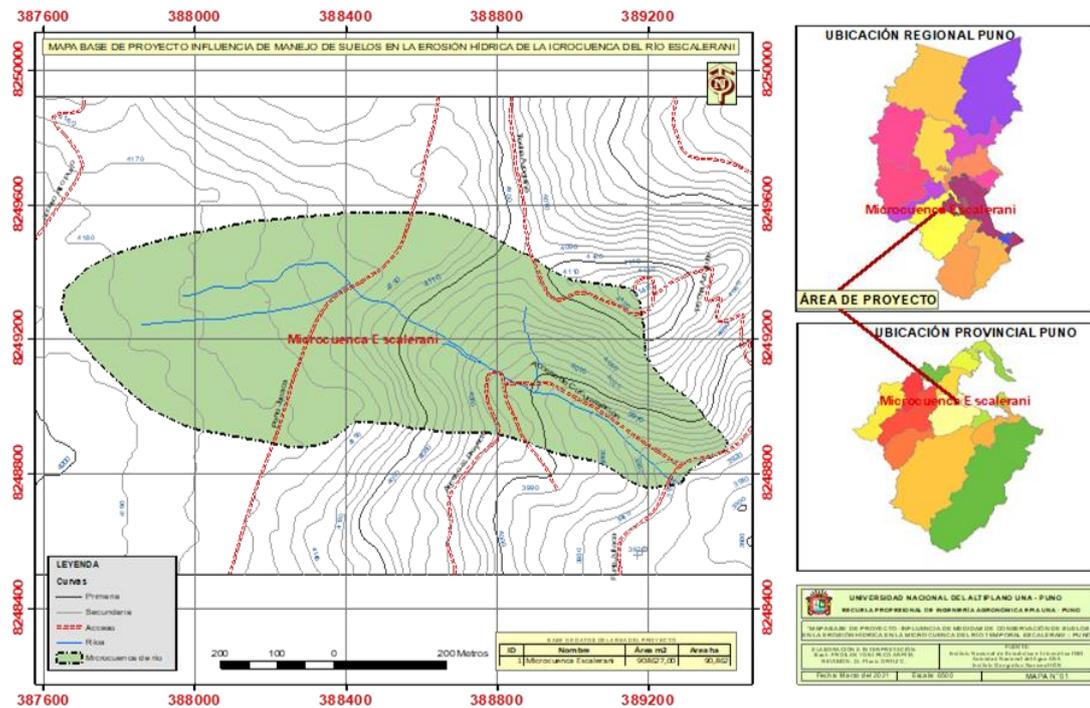


Figura 1. Mapa de ubicación del área del proyecto

Tabla 1. Área del proyecto en estudio

ID	Nombre	Area_ha	Perímetro_m
1	Microcuenca río Escalerani	90.8627	4269.7500



### **3.1.2 Ubicación política**

Se ubica en la microcuenca temporal del río sector Escalerani del distrito de Puno, provincia Puno y región Puno.

### **3.1.3 Ubicación administrativa**

La entidad que administra los recursos naturales del área de estudio son los propietarios privados de la zona rural, ubicada en el lado NorEste de la ciudad de Puno, y organizacionalmente pertenecen a la zona periférica del barrio Dos de Mayo de la ciudad de Puno. Tienen dos tipos de administración jurídica; la parte rural Escalerani pertenece al Ministerio de Agricultura de la región Puno, y la parte del barrio periférico Dos de Mayo pertenece a la administración de la municipalidad provincial de Puno.

### **3.1.4 Mapa Base del Proyecto**

Todo trabajo de investigación en cualquier espacio territorial y temático se delimita sobre el objetivo principal del estudio, a este espacio se le denomina Mapa Base. Se inicia observando el área directa e indirecta de los problemas presentes en el momento de la identificación, lo que significa, que a partir de esta delimitación se desarrollaron los materiales de estudio de erosión hídrica de los suelos en la microcuenca del río temporal Escalerani.

En el presente trabajo, se ha delimitado sobre la base de la dirección de las aguas, acumulación de los flujos, y las particiones de las aguas de esorrentía de la red hidrográfica.

El área total del proyecto es de 90.86 ha, delimita por el norte con las montañas del cerro Azoguine, por el Sur con el barrio Dos de Mayo de la ciudad de Puno, por el

Este con la Avenida Circunvalación y por el Oeste con la Urbanización Alto Puno y Totorani. La altitud menor es 3930msnm y se extiende hasta 4200msnm.

El área en estudio se ubica geográficamente entre las coordenadas Proyectadas UTM (parte baja de la microcuenca) a 389200m. al Oeste y 8248800m al Sur y en la parte alta de la misma, abarca hasta las coordenadas UTM 387600 Oeste y 8249800m al Sur (Ver figura 1).

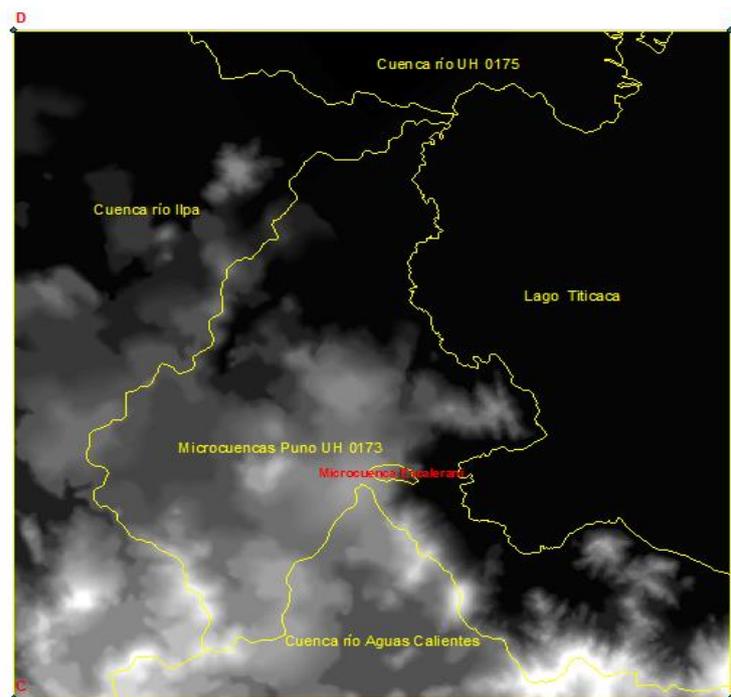


Figura 2. Raster del satélite GDEM del área de estudio

Una vez definida el área de estudio, fue verificada y aprobada para ser utilizada en la tabla de contenidos de Data Frame del programa Arc Map como capa del “Mapa base”, a esta capa se agregó todas las capas temáticas del proyecto para ser editadas, así como la base de datos en sistema matricial, este proceso se repitió para cada una de las capas temáticas.

El archivo digital se subió a la nube con Dataset E:\Tesis\_21\Tesis Erosión Suelos Escalerani \SIG\_Erosión Suelos\Mapa Base, en la *carpeta tesis 2021*.

### 3.1.5 Pendiente de la microcuenca de río temporal Escalerani

En el altiplano, una parte de la actividad agrícola se hace en las laderas, con pendientes en su mayoría muy pronunciadas. La erosión de los suelos es un problema ambiental que afecta a gran parte del territorio local, regional, nacional y mundial.

El problema fundamental se observa a nivel de las cuencas y micro cuencas del altiplano, después de la ocurrencia de una tormenta, ocasiona la acumulación del agua en las partes bajas y el arrastre de sedimentos que ocasionan la sedimentación de los cauces y conllevan a inundaciones en los terrenos agrícolas y en la parte urbana de la ciudad de Puno.

En cuanto a clases de pendientes, el área del proyecto ocupa un 4.24% de pendientes entre Plana a Ligeramente Inclinada (0 – 4%), la clase Moderadamente Inclinada un 27.96%, corresponde a pendiente entre 4 a 8%, la mayor extensión de superficie está ocupando con 30.27% de pendientes Empinadas entre 25 a 50%. (Ver Tabla 3). En resumen, el área del proyecto tiene pendientes variadas de Ligeramente Inclinadas y Muy Empinadas y cuenta con 6 clases de pendientes.

Tabla 2. *Coordenadas proyectadas en UTM para el descargado de la información*

FID	Shape	Id	Coord X	Coord Y	VERTICE
0	Point	1	400929	8267668	A
1	Point	2	400929	8239820	B
2	Point	3	374537	8239820	C
3	Point	4	374537	8267668	D

Tabla 3. Resultado de rango de pendiente de la microcuenca

ID	Código	Nombre de Clase	Clase %	Longitud m.	Área m2
1	I	Ligeramente Inclinada	2 - 8	5838,24861	335754,60
2	II	Moderadamente inclinada	8 - 15	6601,762208	173992,93
3	III	Fuertemenet inclinada	15 - 25	5110,093959	116092,27
4	IV	Moderadamente empinada	25 - 50	5751,36037	234097,99
5	V	Fuertemente empinada	> 50%	1632,687986	48696,75
		TOTAL			908634,53

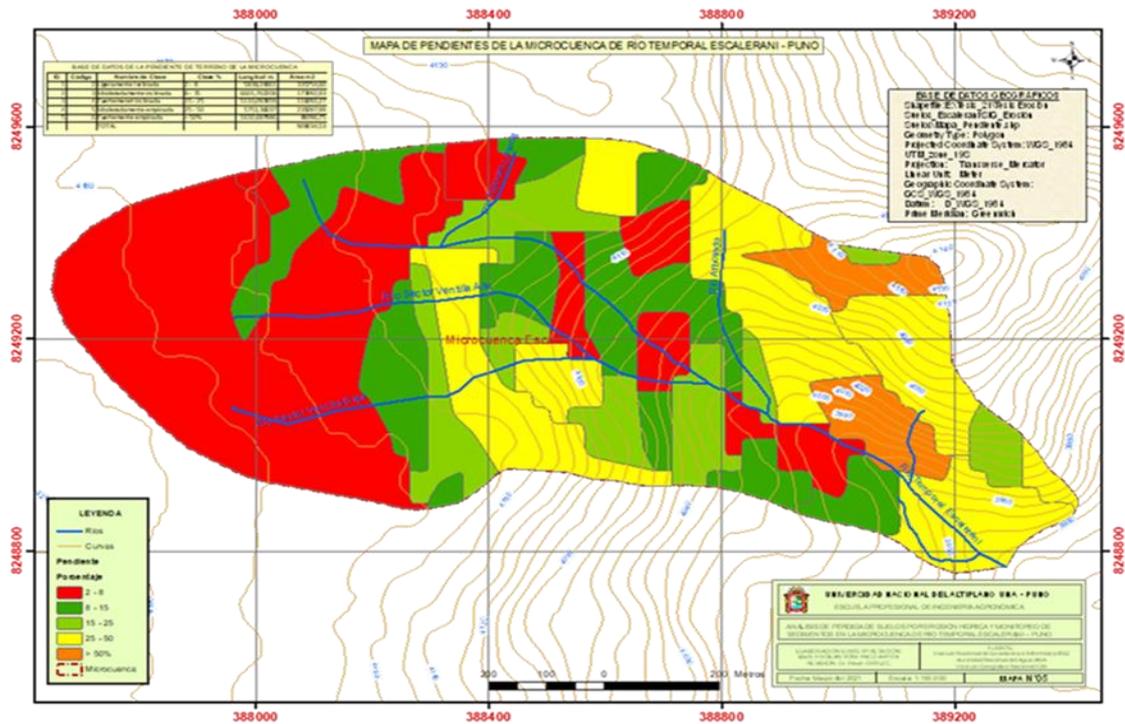


Figura 3. Mapa de clase de pendientes de la microcuenca

### 3.1.6 Altitud

El principal material de trabajo en la generación de información cartográfica; Pendientes, altitudes, zonas de vida, fisiografía, Isoyetas, Isotermas y pendientes de longitud de ríos de la microcuenca fue la imagen raster. Se descargó del satélite ASTER GDEM (Global Digital Elevation Model-Modelo Global Digital de Elevación), corresponde a la Unidad Hidrográfica del río Illpa, de la hoya hidrográfica del Lago Titicaca, región Puno. Se ha obtenido gratuitamente del Geoservidor USGS (Science For a Changing World. Ciencia para un mundo cambiante), Japón (METI) y de la Administración Nacional Aeronáutica y Espacial (NASA).

El área del proyecto se encuentra entre 3,872.00 hasta 4,142.00msnm. Corresponden a las micro zonas de vida Suni Alta y Puna Baja (Microzonas recomendadas por J. P. Vidal).

Las coordenadas proyectadas para el descargado del raster se muestran en la Tabla 01.

### 3.1.7 Temperatura

En el análisis agroclimático de temperaturas se distinguió 3 Ysotermas; zonas Baja de 6.43 a 7.00 °C, zona Media 7.01 a 7.69 °C y zona Alta 7.70 a 8.85 °C.

Estas temperaturas corresponden al área Circunlacustre del Lago Titicaca y forma parte de la oferta bioclimática y soporte de las actividades de cultivo de papa, quinua, cebada, pastoreo de ovinos y bovinos (Ver Tabla 4 y Fig. 4).

Tabla 4. *Rango de temperaturas del área del proyecto*

ID	Código	Clase Temperatura	Perimetro	Nombre Clase	Símbolo	Area_ha	Porcentaje
1	1	6.43 - 7.00	2687,00	Baja	Ba	46,28	50,93
2	2	7.01 - 7.69	2777,59	Media	Me	27,12	29,85
3	3	7.70 - 8.55	1742,06	Alta	Al	17,46	19,22
	TOTAL					90,86	100,00

El promedio anual de temperaturas media máxima de 9.7°C, mínima y media es de 4.2, 7.7°C, respectivamente; con desviación estándar 1.48. Estos datos históricos corresponden a 9 estaciones meteorológicas adyacentes al área del proyecto desde el año 1964. Cuya interpolación espacial para los valores de temperaturas del área del proyecto se aprecian en la tabla 4.y figura 5.

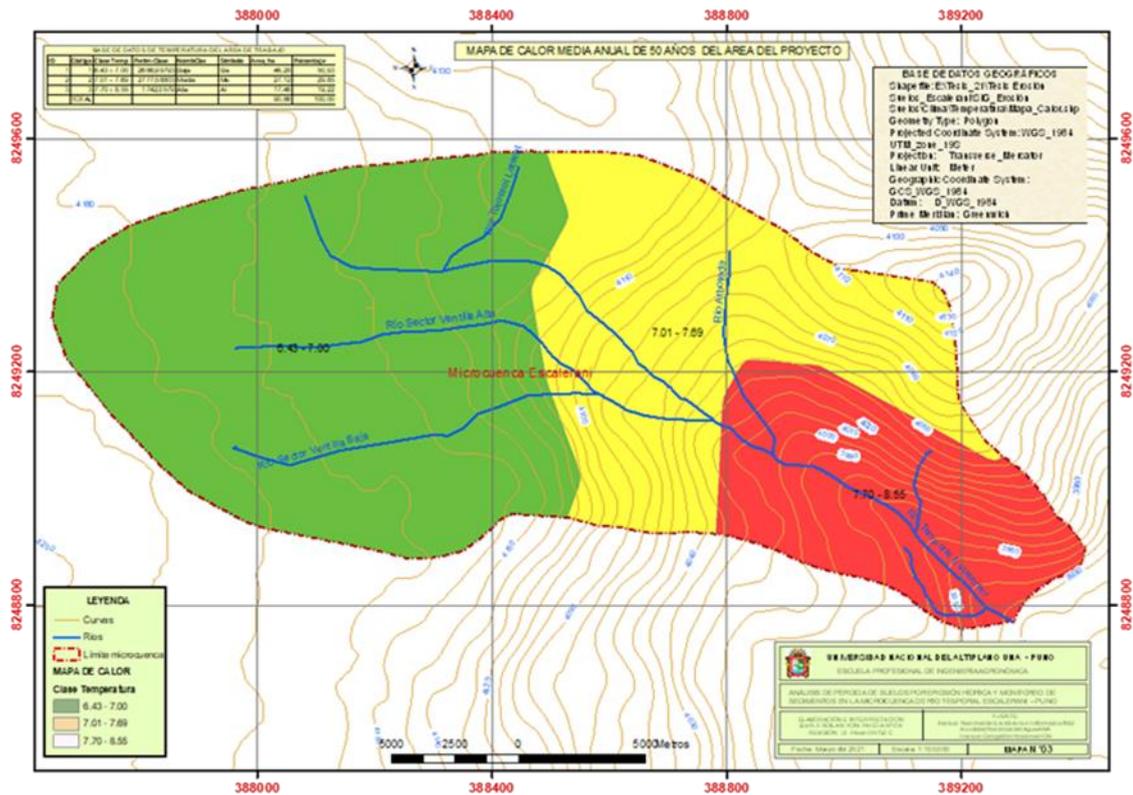


Figura 4. Mapa de calor e Ysotermas del área del proyecto

### 3.1.8 Precipitación

Una de las técnicas de uso más extendidas es la denominada Algoritmo "Kriging", cuya expresión general es equivalente a la precipitación de los puntos de control en los pluviómetros y estos son distribuidos probabilísticamente en otros puntos, utilizando una función de la matemática estocástica ponderada (Martínez, 2000). Donde los pesos se calculan en función de la correlación espacial existente entre los puntos con datos, la herramienta de análisis de esta correlación espacial es el semivariograma.

El análisis de precipitación se realizó en base a los datos históricos de 9 estaciones meteorológicas para un periodo de 50 años. En la tabla 5 y figura 5, se exponen la base de datos y las Isoyetas entre 720 y 710 mm/año, corresponde a la zona divisoria de la cuenca del río Ilpa Puno. Estas precipitaciones están entre lo que menciona Diaz (2011),

y califica como las precipitaciones medias anuales más adecuadas para el establecimiento del cultivo en las zonas con aptitud agrícola.

Tabla 5. *Base de datos de precipitaciones históricas de 9 estaciones meteorológicas*

ESTACION	AÑOS	ENER.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	TOTAL
Puno	35	162,03	138,01	129,32	50,63	9,12	3,94	2,56	10,93	25,40	45,57	50,71	90,54	753,77
Capachica	53	167,73	156,43	145,50	53,47	13,54	4,88	3,47	9,27	27,74	41,29	57,78	114,72	848,83
Lampa	46	155,32	137,26	113,57	45,75	7,22	3,81	1,67	8,41	21,24	44,57	64,11	110,83	759,76
Laraqueri	53	172,52	155,21	119,04	43,38	10,38	4,16	3,94	10,16	22,29	36,37	56,61	108,75	795,81
Pampahuta	50	176,71	158,85	133,61	51,32	10,47	3,03	3,52	7,89	15,87	38,61	69,02	126,05	844,95
Rincón de la Cruz	17	180,43	135,32	141,60	54,41	10,07	11,25	3,98	13,44	25,82	53,66	56,63	95,25	798,86
Santa Lucia	50	180,43	135,32	141,60	54,41	10,07	11,25	3,98	13,44	25,82	53,66	56,63	95,25	831,86
Puente Isla	7	180,43	135,32	141,60	54,41	10,07	11,25	3,98	13,44	25,82	53,66	56,63	95,25	788,86
Los Uros	43	180,43	135,32	141,60	54,41	10,07	11,25	3,98	13,44	25,82	53,66	56,63	95,25	824,86
		172,89	143,01	134,16	51,35	10,11	7,20	3,45	11,16	23,98	46,78	58,31	103,55	805,28

### 3.1.9 Evapotranspiración

La evapotranspiración real (ET) es una de las principales variables de entrada en la metodología para estimar el consumo de agua del cultivo durante su ciclo de crecimiento. La metodología más ampliamente usada para estimar el consumo de agua de los cultivos es la recomendada por Allen, (1998) en la publicación de la FAO, donde la ET es estimada en función de la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) y de un coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>).

La ET<sub>o</sub> es calculada usando la ecuación de Penman-Monteith que requirió de las mediciones simultáneas de temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar. El coeficiente K<sub>c</sub> depende del estado fenológico del cultivo y de las condiciones específicas de suelo y clima.





$U_2$  = velocidad del viento a 2 m de altura ( $\text{ms}^{-1}$ )

$e_s$  = presión de vapor de saturación (kPa)

$e_a$  = presión real de vapor (kPa)

$e_s - e_a$  = déficit de presión de vapor (kPa)

$\Delta$  = pendiente de la curva de presión de vapor ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ )

$\gamma$  = constante psicrométrica ( $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ )

### 3.1.10 Geología

Esta información es útil sobre todo para el estudio de las napas de agua subterránea y para la determinación de la escorrentía, porque la geología y el tipo de suelo son factores importantes de la infiltración.

La geología son de tipo andesitas volcánicas, depósitos de arenas, calizas grises cristalizadas, andesíticas con algunas basaltos y conglomerados, depósito de conglomerados clásticos, areniscas de color rojo fino, calizas bioclasticas, depósitos de arenas gravas limos, calizas micriticas silicatadas.

### 3.1.11 Microzonas de vida

El Diagrama Bioclimático de zonas de vida del sistema Holdridge expone (figura 5) las posiciones climáticas de las zonas de vida en los pisos basados en seis regiones latitudinales, en la biotemperatura a nivel del mar, desde el Ecuador cálido (Región Latitudinal Tropical) hasta los Polos fríos (Región Latitudinal Polar) de los dos hemisferios. En el lado izquierdo del diagrama, se tiene los límites correspondientes de biotemperatura para cada región Latitudinal y, en el lado derecho, se indica los límites correspondientes de biotemperatura media anual para cada Piso.

Altitudinal. En este sentido, el número de pisos altitudinales que pueden existir arriba del piso basal es mayor en la región tropical y va disminuyendo progresivamente con el aumento latitudinal hacia los polos.

**DIAGRAMA BIOCLIMATICO DE ZONAS DE VIDA DEL SISTEMA HOLDRIDGE**  
ADAPTADO E INTERPRETADO A LA GEOGRAFIA DEL PERU por : Ing. Carlos J. Zamora J.  
(2009)

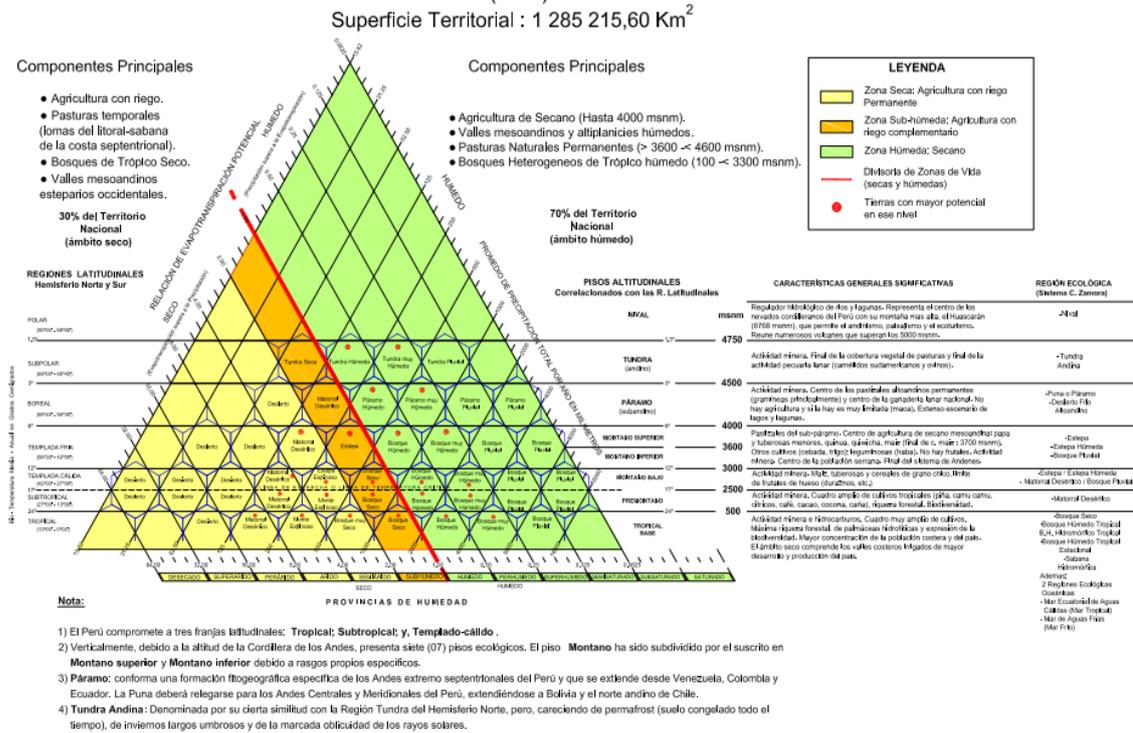


Figura 6. Diagrama bioclimático de zonas de vida del sistema Holdridge

El proyecto está localizado bioclimáticamente en la Zona: Bosque Húmedo subtropical *bh ST*. Esta clasificación fue utilizada en la selección de la Clave para la clasificación de Capacidad de Uso mayor de Tierras, generación de mapa Fisiográfico, localización de puntos de control de estudio “Caracterización del suelo”, caracterización de especies de flora y fauna, en estudio de vocación de tierras y zonificación agroecológica prioritariamente de la parte de la zona de vida, biotemperatura, precipitación altitud, latitud y evapotranspiración referencial o potencial.

Las características biofísicas de la zona de vida del área de estudio son:

Precipitación media anual de 710 a 730mm/año,

Biotemperatura media anual 5.43 a 8.85°C,

Pendiente dominante de la microcuenca 30.27%,

Altitud de 3872 a 4142msnm (Ver Fig. 7).

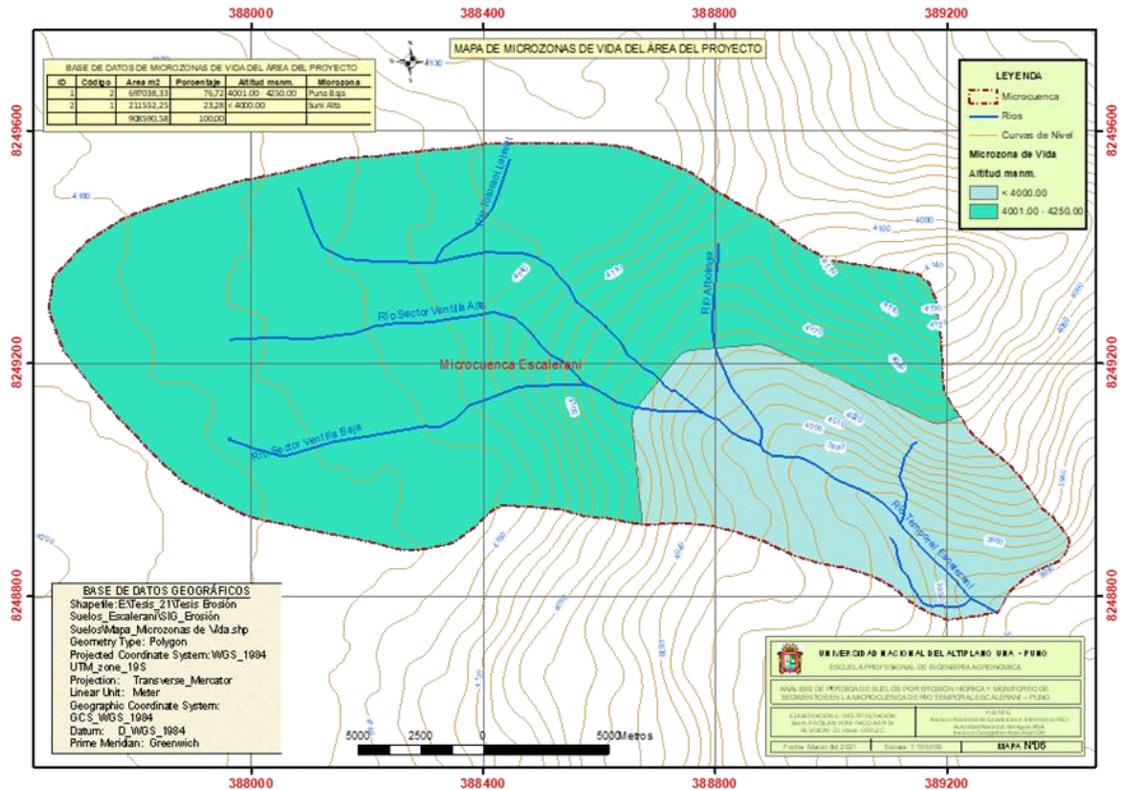


Figura 7. Mapa de Microzonas de vida del sistema Holdridge del área del proyecto

### 3.1.12 Unidades Fisiográficas

Luego de generar el mapa zonas de vida a partir de las características biofísicas señaladas en el ítem 3.1.11, zonas de vida de la microcuenca, ahora elaboramos en mapa fisiográfico. Por ende este tema demanda registros de datos de la altitud menor del terreno “Base Local” y de las pendientes de la microcuenca. La calificación correspondiente a la clasificación fisiográfica se obtuvo la siguiente (Ver tabla 6), se observa 8 unidades fisiográficas, desde Terraza Baja Inundable hasta Colina Alta fuertemente disectada. Las unidades expuestas a mayor erosión hídrica son Colina Alta Ligeramente Disectada

CALD y Colina Alta Fuertemente Disectada CAFD (Ver Fig. 8). Estas apreciaciones se encuentran dentro de las unidades Colino Montañoso Ligeramente a Fuertemente Empinada, dentro de ladera de Montaña Moderadamente Empinada, lo cual, concuerda con el territorio analizado en el mapa de pendientes Moderadamente Inclinada a Empinada, esta clase ocupa casi un 60% del territorio (figura 7).

Tabla 6. *Unidades Fisiográficas de la microcuenca del río Escalerani*

ID	Nombre de la Unidad	Perímetro m	Area m2	Porcentaje
1	Colina Alta Fuertemente Disectada	666,035039	18537	2,04
2	Colina Alta Ligeramente Disectada	3178,737999	228503	25,15
3	Colina Alta Moderadamente Disectada	805,418187	28801	3,17
4	Colina Baja Ligeramente Disectada	1396,566091	37600	4,14
5	Colina Baja Modera Disectada	1244,090698	37783	4,16
6	Terraza Baja Inundable	1419,254372	78413	8,63
7	Terraza Baja No Inundable	3968,302788	392369	43,18
8	Terraza Media Ondulada	2765,434686	86621	9,53
	TOTAL		908627	100,00

### 3.1.13 Cobertura Vegetal

Se refiere al tipo de cubierta vegetal. También es un factor importante para la determinación de la escorrentía. Para su evaluación se descargó la imagen Sentinel2.

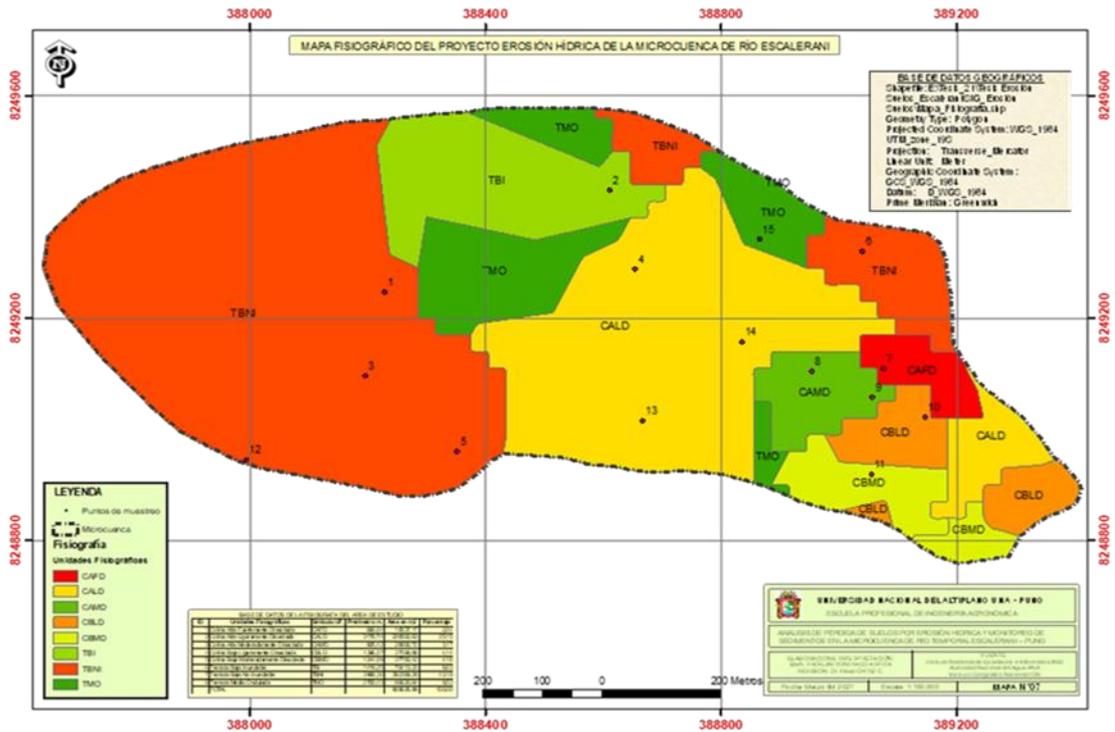


Figura 8. Mapa Fisiográfico del proyecto

Es una imagen de alta resolución espacial y espectral, muy interesante en el manejo sostenible de los recursos naturales, se utilizó en los análisis SIG para ilustrar zonas de uso actual de la tierra. Este satélite de poco más de una tonelada de peso, tiene la misión de capturar imágenes, gracias a sus 13 bandas y una capacidad de mapeo territorial, estas características le sirven para llevar un seguimiento de los cambios de uso del suelo, la vegetación, la contaminación de masas de agua y lo más interesante para un usuario proporciona imágenes aéreas de manera gratuita. La localización de esta cobertura se describe en la tabla 7 y figura 8.

Tabla 7. Puntos de control para descargar la Imagen satelital Sentinel2.

FID	Shape *	Id	Coord. X	Coord. Y	Vertice
0	Point	1	387165	8249919	A
1	Point	2	389626	8249919	B
2	Point	3	389641	8248500	C
3	Point	4	387179	8248500	D



Figura 9. Imagen Sentinel2 para analizar el escenario temático del área del proyecto

#### 3.1.14 Flora y Fauna Silvestre del área del proyecto

En esta zona las plantas herbáceas no leñosas anuales o estacionales, crecen cuando comienza la lluvia o si las condiciones de humedad le son favorables, erguidas, rastreras, almohadilladas, de 3-60 cm de altura, disminuyendo de tamaño a mayor altitud. Las plantas con características semi leñosas y ramificadas desde la base disminuyen según aumenta la altitud de la microcuenca, se les encuentra desde 15-150 cm. de altura, la mayoría son perennes que reverdecen en la época lluviosa o cualquier época del año si las condiciones de humedad son favorables.

Las especies arbóreas conformado por plantas de tallo leñosos, grueso, perennes, de 3-8 m de altura, tenemos a *Polylepis incana* y *Buddleja coriacea*.



De acuerdo a los estudios realizados por INRENA, la Reserva Nacional del Titicaca y la zona de amortiguamiento se ha identificado 116 especies de *fauna* vertebrada, de los cuales 15 son mamíferos, 87 aves, 4 reptiles, 4 géneros de anfibios, además un complejo de peces óseos correspondiente al género de Orestias y 2 especies de género Trichomycterus. La *flora* representativa del lago incluye las diversas especies acuáticas, entre las que sobresalen en grandes extensiones de totorales, hinojo, llacho, que constituyen recursos importantes para la actividad humana.

PUNO (2008) constituye una zona de riesgo ecológico, por la contaminación orgánica y bacteriológica, como consecuencia de las actividades humanas, sobre todo los desechos urbanos, sedimentos erosionados de las partes altas de la ciudad y la explotación minera. La zona más contaminada es la bahía interior de la ciudad de Puno, que sufre el proceso de eutrofización, que es reflejada por la presencia del manto verde (lenteja) que absorbe los nutrientes, impide el paso de la luz solar al fondo de las aguas y no permite la vida de los peces y otros animales.

### **3.1.15 Riesgos de origen geodinámico externo**

#### **3.1.15.1 Sequías**

Originada por la ausencia de las precipitaciones pluviales en la época de lluvia (diciembre a marzo), tiene efecto más catastrófico que otros fenómenos, afectando a todo el ámbito de la sierra, originando grandes pérdidas en la producción agropecuaria. La sequía más desastrosa se registró en el área del proyecto fue la sequía del año hidrológico 1,982/83 con inmensas pérdidas en la actividad agrícola y pecuaria.

#### **3.1.15.2 Inundaciones**



El crecimiento de nuestra población que se hacina hoy en cada vez más grandes ciudades y en un número mayor de centros poblados, construyéndose dentro de la mayor improvisación y sin planificación razonable, ha significado, finalmente, exponer sectores importantes de las ciudades a torrenteras e inundaciones (Chereque, 2003).

Se presentan generalmente en las riberas del lago Titicaca, como consecuencia de altas precipitaciones pluviales producidas en los meses de enero a marzo, ocasionando pérdidas de la producción agropecuaria y la destrucción de viviendas de centros poblados del área circunlacustre. Dentro de ellas, las ocurridas en el área del proyecto en el año hidrológico 1985/86, el nivel de lago Titicaca, alcanzó 3,812.56 m.s.n.m., marcando el nivel histórico más alto de un nivel promedio de 3809.50msnm. Posteriormente, se registraron las inundaciones en los años 2003 y 2004, en donde el nivel de lago alcanzó una cota mayor de 3,810.87 y 3,810.89 m.s.n.m. respectivamente.

Esta referencia sirve para entender, que el área de estudio es microcuenca tributaria al área de Reserva Nacional del Titicaca.

### **3.1.16 Organizaciones sociales: Liderazgo**

En el contexto regional, ha quedado reducido a la beligerancia por la consecución de dádivas o prebendas negociadas entre las partes no en buenos líderes sino con el uso de prácticas desproporcionadas, de esta forma los “líderes” se han visto tocados por las prácticas y costumbres de la corrupción que se van reciclando cada vez que se presenta la oportunidad.

No son representativas, pues en la mayoría de los gremios los líderes no están respaldados por sus bases, porque fueron reelegidos consecutivamente sin el consenso o la participación de sus miembros. De ahí que las dirigencias son las mismas en todos los períodos en los barrios y comunidades aledañas a la ciudad de Puno.



En soporte institucional las expectativas de las comunidades campesinas no cuentan con un adecuado soporte, en ejecución de proyectos en algunas zonas, áreas y dimensiones definidas de intervención, no resuelve sus problemas más elementales de sobrevivencia, sino muchas veces se confunde por la diversidad de metodologías de intervención utilizadas en los procesos. Como preocupación permanente los pobladores de las comunidades campesinas señalan la contaminación ambiental, el deterioro de los recursos naturales y la pérdida de la biodiversidad genética, especies y ecosistémica (servicios), y disminución de la calidad de vida, pérdida de los valores, cultura y simbolismo representativo de su espacio territorial.

### **3.1.17 Desarrollo urbano de la ciudad de Puno**

Puno (2008) en el Plan de desarrollo urbano de la municipalidad Provincial Puno, se expone la delimitación de las unidades de desarrollo para el ejercicio 2012 al 2016, y se señalan las siguientes unidades: zona urbana, uso de suelo pre urbano, zona de forestación, residencias por densidad urbana, zona periférica de la ciudad de Puno. Asimismo, caracterizan y jerarquizan el núcleo urbano (Núcleo urbano primario y secundario), la densidad poblacional periférica de 100 a 150 hab/ha, en esta última unidad geográfica se ubica el área del estudio.

Por otra parte, el plan de desarrollo urbano, califica a la parte baja del área de estudio de “Pre Urbano Ocupado” y vacante en la margen izquierda hacia la carretera a Ventilla. Vale aclarar sobre la ocupación urbano marginal, esta zona es la parte alta y marginal de la ciudad de Puno, el cual, es la parte baja donde empieza el estudio de la erosión hídrica (Altura de la pista Circunvalación Oeste). Esta zona periférica, no tendría opción a crecer como área urbana por la fuerte limitación de la pendiente del terreno mayor a 30%. Por tanto esta es una de las razones para plantear el desarrollo del proyecto



de investigación para luego planificar un conjunto de medidas de gestión sostenible de la microcuenca y tomar decisiones adecuadas.

### **3.1.18 Materiales de gabinete, campo y softwares**

#### **3.1.18.1 Materiales de Campo**

- Clinómetro.
- GPS Mapeador MAP 76csx.
- Barreno de broca de 80 cm.
- Tabla Munsell.
- Cilindros infiltrómetros.
- Cubetas plastificadas de 8 litros.
- Google Earth.

#### **3.1.18.2 Material de Gabinete**

Los formatos utilizados en la elaboración de mapas fueron el modelo digital de elevación (DEM), proveniente del satélite ASTER, de alta resolución del Geoservidor MINAM.

- Las imágenes satelitales actuales visualizados del escenario actual fueron del satélite Sentinel2 de alta resolución espacial y espectral.
- En el modelamiento del escenario de cobertura de la tierra y forestal se utilizaron la cartografía base y el software Arcgis 10.8 y se superpusieron con otras capas en el modelamiento de capas temáticas, provenientes del estudio de zonificación para el ordenamiento de uso sostenible de la tierra,



- Las fuentes de uso de información empleados fueron los geos servidores de la ANA, MINAM, SENAMHI, SERFOR.

## **3.2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.2.1 Población y muestras de investigación**

En la determinación de número de muestras, se procedió a calcular la cantidad de puntos de control, los cuales sirvieron en la localización geográfica de sitios representativos. La herramienta usada fue el programa Arc Map 10.8, luego la interpolación de los datos de los centroides de las unidades fisiográficas se hizo mediante el algoritmo Distancia Inversa entre puntos vecinos IDW. Obtuvimos, 8 unidades fisiográficas representativas (Fig. 8).

Por otro lado, utilizamos imágenes del satélite Sentinel2, de 5 metros resolución espacial (5 metros de pixel); pero para una buena modelización la resolución espacial de las imágenes raster fueron homogenizadas a las capas temáticas en 15 metros de resolución. Esta tecnología es importante para determinar en la localización de los puntos centrales de las unidades fisiográficas la ocupación del terreno conocido como uso actual de la tierra. En estos puntos se muestrearon los suelos a una profundidad de 40 cm, para luego enviar al laboratorio ambiental de agua, suelos y mecánica suelos de Grupo Nativa Exteriores,, a fin de analizar la textura del suelo, contenido de materia orgánica de 15 muestras. Finalmente, tuvimos los reportes de los análisis de niveles de materia orgánica, contenido de la textura del suelo, en estos mismos sitios georeferenciados, se evaluaron; la permeabilidad, la velocidad de infiltración y el inventario de la flora y fauna silvestre.

### 3.2.2 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Con el propósito de realizar la estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la microcuenca de río temporal Escalerani se utilizaron técnicas de Teledetección y SIG, la cual fue base para la intervención y toma de decisiones en materia de manejo y conservación sostenible del recurso suelo.

Montesinos (1990) manifiesta que el tratamiento digital es el conjunto de transformaciones numéricas realizadas sobre la matriz original para obtener representaciones más adecuadas de la imagen, según las aplicaciones. Mediante el tratamiento digital se pretende extraer la información contenida en los datos aportados por las imágenes de satélite tomadas por los sensores.

Los sistemas de información geográfica SIG, son instrumentos de análisis espacial, excelentes en la toma de decisiones a la hora de planificar el desarrollo de las actividades adecuadas, conforme la vocación de las tierras georeferenciadas. Una de las herramientas en el análisis espacial es la interpolación de los datos temáticos en el espacio. (Achuy, 2006) manifiesta que cada punto de la muestra ejerce una influencia sobre el punto a determinar y disminuye en función de la distancia. Así cada punto vecino contará con un “peso” en la determinación de la cota del punto a interpolar, que será mayor cuanto más cerca se encuentre, siguiendo el principio de correlación espacial por el método IDW (Gravitacional o Inverso de la Distancia).

Para estudiar la cobertura vegetal de una zona mediante imágenes de satélites, se han desarrollado diversas técnicas que permiten tener datos cualitativos y cuantitativos del estado de la vegetación. Yaguë, *et al.* 1999, citado por (Chuvienco, 2002).

Los formatos utilizados en la elaboración de mapas raster en tres dimensiones, fueron (PNG y TIF) para el uso de los modelos digitales de elevación (DEM), y provienen



del satélite ASTER de alta resolución. Esta información se descargó del Geoservidor MINAM: <http://geoservidorperu.minam.gob.pe/>.

Las imágenes satelitales actuales sirvieron en la visualización del escenario actual y las imágenes Landsat 7 y 8 para revisar el escenario pasado de los años 1987, año representativo para el inicio de monitoreo de pérdida de suelos por erosión hídrica y hasta la actualidad.

Los equipos usados: el GPS Mapeador, Cámara fotográfica de alta resolución radiométrica, Software ARC GIS10.3 en la captura, almacenamiento, clasificación, conversión de estructuras informáticas, procesamiento, modelamiento, exposición y comunicación de los resultados. Se complementaron en los análisis hidrológicos con los softwares especializados HECRAS, y con los programadores; Matlab, Python, Visual Basic, y Restudio.

### **3.2.3 Instrumentos tecnológicos: los SIG y Teledetección**

Las tecnologías de teledetección o sensoreamiento remoto y los sistemas de información geográfica (SIG), son herramientas orientadas en la gestión del territorio, especialmente en la mejora de la planificación ambiental, en el uso sostenible de los recursos naturales, prevención y mitigación de los riesgos de desastres.

Los sistemas de información geográfica (SIG), se presentan como una herramienta de gran interés en la integración de datos territoriales, facilitando el análisis de un conjunto de variables biofísicos y socioeconómicos diversificados. La teledetección, por su parte, es una técnica de gran interés para recoger información vital sobre fenómenos ambientales de la superficie terrestre, tiene aplicaciones múltiples, como el análisis de procesos de deforestación y desertificación, la dinámica de la cobertura vegetal, entre otras razones. Por eso se planteó el uso preferente de esta tecnología en la investigación



de la estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la microcuenca de río temporal Escalerani, y estamos muy seguros de su consecuencia, será de gran utilidad en la intervención y toma de decisiones, en la selección de políticas integrales, planes, programas e incluso en la implementación de proyectos de uso sostenible de la tierra.

En una sociedad donde la información y la tecnología son dos de los pilares fundamentales, los SIG son, sin lugar a dudas, la tecnología estandarte para el manejo de información geográfica, y los elementos básicos que canalizan la gestión de todo aquello que, de un modo u otro, presente una componente geográfica susceptible de ser aprovechada. Así, un SIG es fundamentalmente una herramienta para trabajar con información georreferenciada, una definición en la que pueden entrar un gran número de tecnologías y de otros elementos no tecnológicos. (Olaya, 2011).

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

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

### **3.2.4 Métodos estadísticos de la investigación**

El método estadístico planteado para la investigación, exige que las personas responsables posean una idea clara, desde un principio del estudio de la manera de realizar el muestreo y recolección de información y conocer el análisis cualitativo y/o cuantitativo de los datos.



En la evaluación de los niveles de pérdida de suelos por erosión hídrica a nivel de ladera y cauce, se utilizó el paquete estadístico SPSS. El programa sirvió de herramienta para analizar el estadístico de pruebas No-paramétricas de 2 muestras independientes mixtas cuantitativas y cualitativas en escala ordinal. Para el caso se seleccionó en el programa SPSS; la prueba estadística de signos de “Wilcoxon” para variables relacionadas a un nivel de error estadístico  $\alpha = 0.05$  y confiabilidad de valores de las medianas de los materiales erosionados de 95% de significancia. Las hipótesis enunciadas fueron las siguientes:

$H_0$  = La mediana de los coeficientes de erosividad del Factor R, entre las unidades hidrográficas son iguales,

$H_a$  = La mediana de los coeficientes de erosividad del Factor R, entre las unidades hidrográficas no son iguales,

Luego, analizamos e interpretamos los parámetros de significancia de los factores de la erosión hídrica en la prueba estadística no paramétrica del programa SPSS, mediante los siguientes pasos:

1. Almacenar en el paquete estadístico SPSS no-paramétrico los valores de las variables cuantitativas independientes de los factores R, K, SL, C, y P, ordenados en categorías (Variable Ordinal Cualitativa).
2. Calcular la escala de fiabilidad del grupo de los valores de los factores R, K, SL, C, y P.
3. La fiabilidad de los valores de los factores R, K, SL, C, y P. se determinan a un error estadístico  $\alpha$  de Crombach, que significa; si el valor de  $\alpha$  calculado es mayor a 0.5, significa que los resultados cuantitativos son confiables.



4. Plotear los valores de las medianas de las variables R, K, SL, C y P, en el diagrama de Cajas. Los mismas; servirán para interpretar las diferencias de la erosión hídrica entre los rangos o categorías de los valores de los factores y de línea base en la erosión de los suelos del área de estudio.

### **3.2.5 Trabajos preliminares para el desarrollo de la investigación**

#### **3.2.5.1 Organización de trabajo y preparación de materiales (pre campo)**

La primera actividad que se realizara es la recopilación de antecedentes relacionados con la investigación, revisión bibliográfica de métodos de estimación de perdida de suelo, datos que se requieren para ello y todo lo referente a la erosión hídrica y temas relacionados a la investigación serán; estudio de suelos, relieve o pendiente, uso de la tierra, cobertura vegetal, precipitación máxima anual, caudal de diseño, geomorfología y gestión actual de la cuenca, todos los temas señalados se generan superponiendo al mapa base.

#### **3.2.5.2 Levantamiento de línea base espacial y temática en campo**

En primer lugar, en el campo se realizará el reconocimiento del área de estudio. En esta fase se hizo el recorrido sobre la línea divisoria de las aguas de la microcuenca sobre la base del mapa topográfico, reconociendo in situ del área de estudio, con el fin de tener una visión general y el estado en que se encuentra la microcuenca.

En cada punto de muestreo se efectuó la caracterización físico-morfológica del perfil de suelo, se evaluó las características, eco geográficas del área circundante a cada calicata (el relieve, pendiente, vegetación, drenaje, material pedregosidad superficial, usos de la tierra, permeabilidad, etc.). Con la ayuda de un GPS navegador se almacenaron



los datos espaciales de la línea de partición de las aguas y finalmente se extrajeron muestras de perfiles de los suelos considerados como típicos o representativos.

### 3.2.6 Aplicación de “Ecuación Universal de la Pérdida de Suelos USLE”

El modelo se aplicó en el desarrollo del primer objetivo “Estimación de Erosión Potencial de Pérdida de Suelos”: Los factores en estudio fueron la Erosividad de la lluvia  $R$ , se calculó en  $Mj*mm/ha*h*año$ , luego el factor Erodabilidad o Susceptibilidad de la pérdida de las partículas de suelo  $K$  en  $tm*ha*h/ha*Mj*mm$ . Asimismo, se estimó el factor pendiente de la longitud de los ríos de las unidades hidrológicas  $SL$ .

El modelo, también se aplicó en la determinación “Estimación de Erosión Actual de Pérdida de Suelos”, desarrollando los factores: Cobertura Vegetal “ $C$ ” en un coeficiente adimensional y finalmente, se calculó el otro coeficiente adimensional del factor Medidas de Manejo y Conservación de los suelos “ $P$ ”.

La pérdida de suelo por Erosión Hídrica Potencial y Actual se calculó en  $Tn/ha/año$ . La ecuación mencionada se expresa de la siguiente manera:

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

En donde:

$A$  = pérdida de suelo en, (ton – ha-1- año-1)

$R$  = factor de erosividad de la lluvia, (MJ – mm – ha-1 – hr-1)

$K$  = factor de erodabilidad del suelo, (ton – ha – hr – MJ-1 – ha-1 – mm-1)

$LS$  = factor de longitud y grado de pendiente, adimensional.

$C$  = factor de cultivo o cobertura vegetal, adimensional.



P = factor de prácticas mecánicas, adimensional.

### 3.2.7 Factores en estudio

El método de investigación se halla entre los estudios paramétricos o empíricos, y los físicos. Ellos están basados en la integración de los estudios hidrológicos, agroclimáticos, edafológicos, geográficos, vegetación y prácticas conservacionistas implementadas en la cuenca, tales factores sirvieron en la determinación de la erosión del suelo, transporte de materiales erosionados y en la estimación de la sedimentación en la microcuenca.

#### 3.2.7.1 Factor R: Erosividad de la lluvia

Según Cortés (1991), para la determinación de erosividad de la lluvia se calcula con la siguiente expresión:

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

Dónde:

i = número del mes.

pi = precipitación mensual en milímetros.

P = precipitación anual en milímetros.

#### 3.2.7.2 Factor K: Erodabilidad del suelo

El factor Erodabilidad (factor K) es la energía con la que resiste el suelo a la erosividad de la lluvia. Este factor es calculado a partir de los valores de contenido de materia orgánica, estructura del suelo y tipo de permeabilidad del suelo de cada punto de control de campo georeferenciados. (Mancilla, 2008)



Luego cada valor del Factor K es ubicado en el “Nomograma de erodabilidad de suelos. En ambos casos, se calcularon los valores de las variables: textura del suelo M, materia orgánica MO, estructura del suelo s, permeabilidad del suelo p. (Ver Fig. 11)

Una vez determinado los valores de las propiedades nombradas anteriormente, se calculó el valor del Factor K con la siguiente ecuación:

$$100 K = 0.1317 * [2.1 * (M1.14/10000) * (12-a) + 3.25 (b-2) + 2.5(c-3)]$$

Dónde:

$$M = (\% \text{ Limo} \% + \% \text{ arena muy fina}) * (100 - \% \text{ arcilla})$$

a = Materia orgánica (%)

b = Clase de estructura.

c = Clase de permeabilidad.

La obtención del factor K a través del método gráfico se realiza utilizando el nomograma de erodabilidad de suelos (Figura 10). Se comienza con el porcentaje de limo más arena muy fina por el lado izquierdo; A partir de este valor, se proyecta una línea recta hasta que intercepte la curva de porcentaje de arena del suelo. Desde ese punto se proyecta verticalmente la línea hasta llegar a la curva que representa el porcentaje de materia orgánica del suelo.

Para facilitar el uso de la Figura 10. Se puede observar con línea segmentada con un ejemplo de la estimación de coeficiente K; para un suelo con 65% de limo más arena muy fina, 5% de arena, 3% de materia orgánica, estructura granular fina y permeabilidad moderada. Finalmente determino, bajando a la permeabilidad moderada y estimo el coeficiente  $K = 0,38$ .



Pérez-Salinas, J. Rodríguez (2019) indican el uso de la constante 0.1317 como coeficiente de conversión de unidades del sistema inglés al sistema métrico.

### **Factor LS; Pendiente de la longitud de los ríos de la microcuenca**

El mapa de pendientes contiene los coeficientes del factor LS en formato *shape*, se obtuvo en Arc Gis10.8 a partir de la imagen raster. Se descargó del satélite ASTER GDEM (Global Digital Elevation Model-Modelo Global Digital de Elevación), corresponde a la Unidad Hidrográfica del río Ilpa de la hoya hidrográfica del Lago Titicaca, región Puno.

Se utilizó de material trabajo el raster DEM recortado con el perímetro de la microcuenca, luego se digitalizaron los ríos de primero hasta de tercer orden. Finalmente, se obtuvo el mapa hidrográfico compuesto de 5 unidades en estructura vector para continuar con la edición de la base de datos.

Asimismo, se generó el mapa de pendientes en formato raster, utilizando la caja de herramientas del Arc Gis *Arctoolbox/3D Analyst Tools/Raster surface/Slope*, obteniendo así pendientes entre 0 y 33 por ciento (Fig. 14).

Los modelos matemáticos determinísticos utilizados para determinar el factor longitud y la gradiente de la pendiente (factores: L y S) fueron:

En la determinación del factor “L” se emplearon el modelo de (Foster et al 1977).

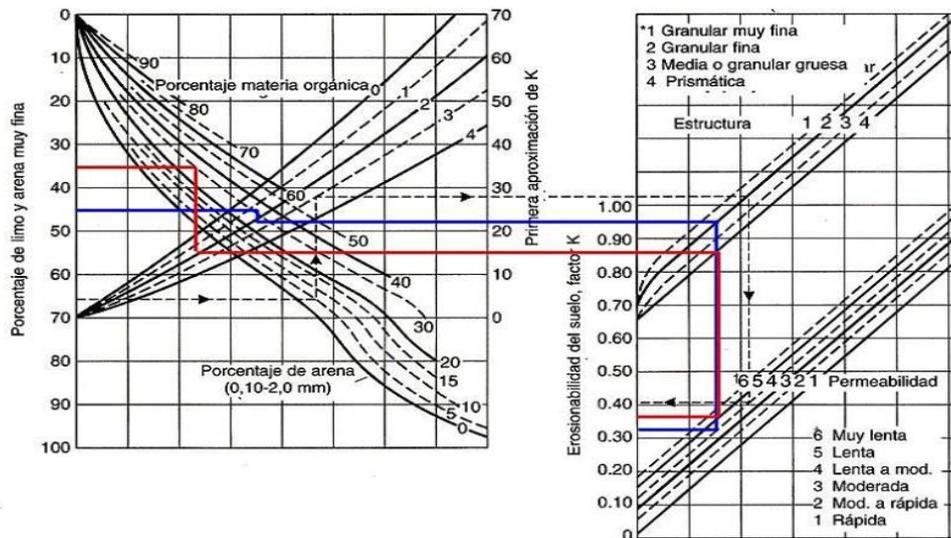


Figura 10. Nomograma para calcular el Factor K Erodabilidad de suelos

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13}\right)^m \quad m = \frac{F}{(1 + F)} \quad F = \frac{\frac{\sin\beta}{0.0896}}{3(\sin\beta)^{0.8} + 0.56}$$

Dónde:  $\lambda$  es la longitud de la pendiente en  $m$ ,  $m$  es el exponente de la longitud de la pendiente y  $\beta$  es el ángulo de la pendiente. La longitud de la pendiente se define como la distancia horizontal desde donde se origina la corriente de agua superficial, flujo superficial hasta el punto donde comienza la deposición o sedimentación y la escorrentía sigue su flujo.

El factor L con el área de drenaje aportadora (Desmet y Govers, 1996, citado por Velásquez, S. 2008). Para su uso dentro de los SIG se hace uso del siguiente modelo matemático:

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

Dónde:

A (i, j) [m] es el área aportadora unitaria a la entrada de un pixel (celda), D es el tamaño del pixel y  $\alpha$  es el factor de corrección de forma. Este último generalmente tiene un valor 1.

En la determinación del factor S: El ángulo  $\beta$  se toma como el ángulo medio a todos los sub grillas en la dirección de mayor pendiente (Barrios, A., Quiñonez, 2000).

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

Es necesario tomar en cuenta para pendientes de longitudes que tienen mayores de 350m y pendientes mayores o iguales a 5°. Este es el caso del área de estudio. El factor LS se calculó con la relación:

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22.1}\right)^{0.3} * \left(\frac{P1}{9}\right)^{1.3}$$

### 3.2.7.3 Factor C: Cobertura vegetal de la microcuenca

En general para determinar el factor Cobertura C existen tabulaciones y no ecuaciones, existen variadas tablas publicadas de valores del factor, pero se deberían escoger aquellas que reflejen mejor el tipo de cultivo o de vegetación de cada sitio. Los suelos en donde se ha removido toda la cubierta vegetal y no se han dejado rastro alguno de vegetación se puede asumir C=1 (Mancilla, 2008).

El factor de cobertura y manejo del cultivo C, se determinaron para terrenos con uso agrícola y pecuario. En el uso agrícola, se encontró cultivos de papa, quinua, y cebada. Esta cobertura de la microcuenca fue explorada mediante el uso de imágenes Sentinel2 y Landsat8. Estas condiciones de cobertura del suelo y algunas características se



describieron de acuerdo con la metodología propuesta por (Figuroa S.-Amante O. et al, 2003).

En la Tabla 8. Observamos las clases de vegetación codificados desde 1000 a 4000, para la clase de pendientes; Normal, Ligera, Moderada y Severa, y en la Permeabilidad; Permeable, Semipermeable e Impermeable. Bajo estas condiciones de cobertura vegetal nativa existente y adaptada se evaluó el coeficiente “C”, siendo el promedio 0.31.

Tabla 8. *Coficiente de Cobertura Vegetal por tipo de pendiente y permeabilidad*

Codg_Veg	Clase_Pend	Codg_Pendte	Permeabilidad	Codg_Permeab	Codgo_Factor_C	Coef_C
3000	Ligera	2	Permeable	300	3302	0,2
1000	Moderada	3	Permeable	300	1303	0,4
2000	Ligera	2	Permeable	300	2302	0,25
4000	Severa	4	Permeable	300	4304	0,2
3000	Moderada	3	Permeable	300	3303	0,2
3000	Severa	4	Permeable	300	3304	0,3
1000	Extremada	5	Semipermeable	200	1205	0,7
3000	Severa	4	Permeable	300	3304	0,3
3000	Extremada	5	Permeable	300	3305	0,35
1000	Extremada	5	Permeable	300	1305	0,5
1000	Ligera	2	Impermeable	100	1102	0,65
2000	Ligera	2	Permeable	300	2302	0,25
4000	Severa	4	Permeable	300	4304	0,2
4000	Moderada	3	Permeable	300	4303	0,15
3000	Severa	4	Permeable	300	3304	0,3
3000	Normal	1	Permeable	300	3301	0,15
3000	Normal	1	Permeable	300	3301	0,15

### 3.2.7.4 Factor P Manejo del suelo y uso actual de la tierra

El factor de prácticas de conservación del suelo P, considerado como variable independiente dentro de la ecuación universal de pérdida de suelo, contempla las siguientes prácticas culturales: cultivos en curvas de nivel, cultivos por fajas y terrazas. Para las áreas en las que no existe indicación de alguna de estas prácticas el valor es igual a la unidad  $P=1$  (Suarez, 2001).

Tabla 9. *Parámetros de Factor P. Práctica de conservación*

*Factor P de prácticas de conservación*

Pendiente %	Cultivo A nivel	Cultivo en Faja	Cultivo en terraza	
			a	b
1-2	0.60	0.30	0.12	0.05
3-8	0.80	0.25	0.10	0.05
9 - 12	0.60	0.30	0.12	0.05
13-16	0.70	0.35	0.14	0.05
17-20	0.80	0.40	0.16	0.06
21- 25	0.90	0.45	0.18	0.06

Fuente: Wischmeier y Smith (1978), citados por el Grupo TRAGSA, 1998

### 3.2.8 Pérdida de suelos por Erosión Hídrica Potencial.

Para estimar la erosión potencial del suelo, se desarrollados; la agresividad de la lluvia R, el factor erodabilidad K, la pendiente de la longitud del río, el factor C, finalmente, para el factor P o medidas de conservación y protección del suelo que se tomó en cuenta el valor unitario.

Resumiendo, con los valores obtenidos de los factores R, K, SL, se estimó la pérdida de suelos, en base a las categorías ideadas por la FAO (Tabla 10).

El Factor R resulta ser el potencial erosivo de la lluvia y está en función de la energía de la lluvia y de su máxima velocidad de caída sobre la superficie del suelo,

depende de este factor los efectos totales del impacto de las gotas de lluvia. Por otra parte, K expresa la resistencia del suelo a la erosión en superficie y tiempo. El factor K en el Sistema Internacional de Unidades está expresado en ton-ha-h/ha-MJ-cm.

El SL, es el efecto de la topografía en la erosión. Entonces el factor L viene a ser la longitud promedio del declive del terreno o longitud del río y el factor S viene a ser la pendiente.

Tabla 10. *Niveles de erosión hídrica en la microcuenca del río Escalerani*

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	REACTIVOS	INSTUMENTO
			¿El nivel de variación de la erosión hídrica de río microcuenca del río temporal Escalerani es inferior a 0.5 Ton/ha/año?	
	NORMAL	< 0,5 Ton/ha/año		
			¿El nivel de variación de la erosión hídrica de microcuenca del río Escalerani es igual a 0.5-5 Tn/ha/año?	Factores de Ecuación universal de la pérdida de suelo - USLE: R: Es el factor asociado a la erosividad de la lluvia
	LIGERA	0,5-5 Ton/ha/año		
			¿El nivel de variación de la erosión hídrica de la microcuenca del río Escalerani es igual a 5 Ton/ha/año y menor a 15 Ton/ha/año?	K: Es el factor asociado a la erodabilidad del suelo
Nivel de erosión hídrica en la microcuenca de río temporal Escalerani período 1987 - 2012	MODERADA	5 - 15 Ton/ha/año		L: Es el factor asociado con la longitud de la pendiente.
			¿El nivel de variación de la erosión hídrica de la microcuenca del río Escalerani es igual a 15 Ton/ha/año y menor a 50 Ton/ha/año?	S: Es el factor asociado al grado de la pendiente.
	SEVERA	15 - 50 Ton/ha/año		C: Es el factor involucrado en la cobertura del suelo.
			¿El nivel de variación de la erosión hídrica de la microcuenca del río Escalerani es igual a 50Ton/ha/año y menor a 200 Ton/ha/año?	P: Es el factor relacionado con las prácticas de conservación de suelos.
	MUY ALTO	50-200 Ton/ha/año		

### 3.2.9 Estimación de la Erosión Hídrica Actual de la microcuenca.

Con el objetivo de establecer en las áreas críticas medidas de gestión, aplicando prácticas de conservación de suelos y aguas, se realiza la exploración de imágenes Sentinel2. Esta información permite diferenciar mediante los tonos de los colores a los objetos que están recubriendo la tierra.

La metodología utilizada fue el método cualitativo de determinación de riesgos de erosión potencial y actual utilizando el Sistema de Información Geográfica (SIG); el



método nos permite la evaluación de cuatro índices como la erodabilidad de los suelos (textura, permeabilidad, contenido de materia orgánica y pendiente del suelo), erosividad climática para el cual se empleó la ecuación de Índice de Fournier Modificado), pendientes (topografía) y la cobertura vegetal. Posteriormente, se confirmó esta información con los respectivos chequeos de campo y finalmente se generó el mapa de erosión actual

El tiempo de concentración de las aguas en el punto más bajo fue de 49.59 minutos.

### **3.2.10 Estimación de pérdida de suelos por unidades hidrográficas y transporte de Sedimentos.**

Torres. *et al* (2012) evaluaron la degradación de los suelos de la cuenca el Josefino, localizada en el municipio Jesús María, estado de Jalisco. Los escenarios se construyeron mediante el uso de un Sistema de Información Geográfica.

Los datos evaluados para la microcuenca del río Escalerani consistieron en 30 años de información climatológica histórica, uso de suelo y unidades de suelo, lo cual resultó en cinco Unidades Hidrológicas, las mismas que sirvieron para la predicción de la erosión hídrica, distribución espacial de los datos observados a partir las estaciones meteorológicas. Las metodologías utilizadas fueron: la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos por erosión hídrica, y FAO para degradación química, física y biológica. En los resultados, se observó que los principales procesos de degradación de los suelos de la microcuenca, principalmente es la erosión hídrica,

Los resultados para toda la microcuenca en estudio muestran un gran porcentaje de la superficie con un alto riesgo de erosión, con índices muy superiores a los 80 tn/ha/año; este riesgo se localiza preferentemente en las zonas altas y de pendiente fuerte,

también se observa que el riesgo es importante entre 40 a 80 tn/ha/año; en las zonas de transición (pie de monte) e inclusive en algunas partes bajas de la cuenca, los resultados obtenidos mostraron concordancia buena con lo ocurrido en campo y sirvieron para la planeación de un programa de manejo y conservación del recurso suelo de la microcuenca.

### **3.2.10.1 Estimación de transporte de material erosionado por la pendiente de la longitud de los ríos**

El modelo Gavriilo Vic Vallejos, P. Zamora, G.-Jorge (2010) estiman la cantidad de material producido por erosión superficial en una cuenca, al ser un método empírico, permite calcular el volumen de sedimento producido por erosión y transportado a la sección de cierre de la cuenca, para su determinación, expresan la siguiente:

$$G = W * R$$

Dónde:

G = Volumen de sedimento por erosión (m<sup>3</sup>/año)

W = Producción media anual de sedimentos (m<sup>3</sup>/año), (Coeficiente de erosión es adimensional)

R = Coeficiente de retención de sedimentos

$$WT * P * Z^{3/2} * F^* \quad Ec. (2)$$

$$T = [(tm/10) + 0.1]^{0.5} \quad Ec. (3)$$

$$Z = Y * X (\varphi + S)^{0.5} \quad Ec. (4)$$

Donde:



W = Volumen potencial de sedimentos erosionado (m<sup>3</sup>/año)

T = Factor de temperatura

T<sub>m</sub> = Temperatura media anual (°C)

P = Precipitación media anual (mm)

F = Superficie de la cuenca (km<sup>2</sup>)

Z = Coeficiente de erosión

Y = coeficiente adimensional de erodabilidad del suelo

X = coeficiente adimensional que cuantifica la vegetación

φ = coeficiente adimensional que cuantifica el estado erosivo (% de lluvia erosiva)

S = pendiente de la superficie del terreno (%).

### 3.2.10.2 Tiempo de concentración de la escorrentía

Para calcular el tiempo de concentración de la escorrentía (desde la cabecera hasta el punto más bajo de la microcuenca) se empleó el Pseudolenguaje de Programación PeSeint. El modelo matemático utilizado fue:

$$T_c <- 0.871 * (I^3/h)^{0.385}$$

Donde:

T<sub>c</sub> = Tiempo de concentración en minutos,

I = Longitud de río 1.5 km

h = diferencia de altitud 175 m,

*Proceso de “Tiempo de Concentración” T<sub>c</sub>.*



Escribir "l, h";

Escribir "el primer valor";

Leer l

Escribir "el segundo valor";

Leer h

$$T_c <- 0.871 * (l^3 / h)^{0.385}$$

Escribir " Tc es igual a ", Tc

$$T_c = 49.59 \text{ min.}$$

Fin de Proceso

### 3.2.10.3 Cálculo de caudal máximo del río “Método Racional”

Las fuerzas que actúan en la escorrentía dependen de la velocidad del agua, la turbulencia, los caudales y la forma y rugosidad del canal, resistencia del suelo a la fuerza tractiva depende de la estructura y las interacciones físico - químicas entre las partículas de suelo. El control de erosión está dirigido a disminuir la fuerza erosiva y/o aumentar la resistencia del suelo a la erosión.

Dada la complejidad y el avance reciente de la hidrología, existen numerosas metodologías que perfectamente pueden ser adaptadas para su uso mediante los SIG y no han sido consideradas dentro de otros textos (Aristizábal, 2012).

El método de la fórmula racional permite hacer estimaciones de los caudales máximos de escorrentía usando las intensidades máximas de precipitaciones. Se formula, que el caudal máximo de escorrentía es directamente proporcional a la intensidad máxima



Q, de la lluvia para un período de duración igual al tiempo de concentración, y al área de la cuenca. El tiempo de concentración representa el tiempo que demora una partícula de agua para trasladarse del punto más remoto de la cuenca hasta el punto de desagüe. Cuando haya transcurrido este tiempo toda la cuenca estará contribuyendo a formar el caudal de la escorrentía que tendrá en consecuencia un valor máximo. La fórmula es:

$$Q = C i A/360$$

Q = caudal máximo de escorrentía en m<sup>3</sup>/seg,

C = coeficiente de escorrentía (0.35)

i = Intensidad máxima de la lluvia en una hora para un período de duración igual al tiempo de concentración, y para la frecuencia deseada en el diseño. En nuestro caso ha sido 72mm/hr (Intensidad máxima por hora, para un período de retorno o frecuencia de 25 años).

A = es el área de la cuenca en ha. (90.680).

Si la intensidad máxima de la precipitación (i) está dada mm/hr y el área en ha, entonces el caudal de escorrentía Q en m<sup>3</sup>/seg, el modelo está dado por:

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{360}$$

El área límite de aplicación depende mucho de la pendiente, de la naturaleza de la superficie, de la forma de la cuenca y de la precisión exigida. La fórmula debe usarse con cautela para áreas mayores de 50 ha y probablemente nunca para áreas mayores de 500 ha. El valor varía según las características físicas y topográficas de la cuenca y según el tipo de cubierta vegetal.



La fórmula racional se usa para diseñar drenes de tormenta, erosión de suelos por precipitaciones intensas, diseño de alcantarillas, y otras estructuras de manejo y conservación de suelos y de aguas de escorrentía de pequeñas áreas.

Procediendo el cálculo en la fórmula determinística resulta 6.35m<sup>3</sup>/seg. Significa, que el caudal máximo fue de 6.35m<sup>3</sup>/seg, una vez en 25 años, con un tiempo de Monitoreo y modelación de control de sedimentos en muros de contención de cárcavas.

En la estimación de volumen de sedimentos controlados en las obras de construcción de 20 muros de contención de suelos erosionados en las cárcavas del río Escalerani e Instalación de Sistemas Agroforestales en 30 has, durante los años 1987 y 1988 por el Proyecto Especial Plan de Emergencia, bajo la administración del proyecto, entonces CORPUNO y el Ministerio de Agricultura. En estas obras de manejo y conservación de suelos el proyecto aprovechó en estimar los sedimentos acumulados durante 30 años (1988- 2018). El volumen de sedimentos en la microcuenca se estimó mediante el modelo siguiente:

Dónde:

O = Perímetro de la cuenca en km (4.269km)

D = Diferencia de nivel media en la cuenca en km (4.008km)

D = Dm – Dc (0.137km)

Dm = Cota media de la cuenca (4,008.50m)

Dc = Cota mínima de la cuenca (3872.00m)

$$R = \frac{(O * D)^{1/2} * (L + Li)}{(L + 10) * F}$$



L = Longitud de la cuenca por el orden de acumulación de aguas en el cauce principal  
(5.814km)

$L_i$  = Longitud total de los afluentes fluviales laterales (4.01km)

F = Superficie de la cuenca (0.9086km<sup>2</sup>)

El resultado de volumen de sedimento por año por hectárea es 54.05m<sup>3</sup> y por 90.86 ha de la microcuenca es 4,910.98ha. Finalmente; la pérdida de suelo por erosión hídrica sin manejo y conservación se perdería en 147,329.49m<sup>3</sup>. Si comparamos este resultado con la sedimentación acumulada en los muros de contención es de 13.62m<sup>3</sup>/ha/año, el cual explica claramente que hay una reducción al 25.50% de pérdida de suelos.

### **3.2.11 Análisis Multicriterio –SIG para la selección de medidas de gestión de conservación de suelo y agua en la microcuenca**

El propósito central de este trabajo es utilizar la herramienta de Evaluación Multicriterio o Evaluación Multiobjetivo como apoyo a la toma de decisiones en el ámbito territorial de la microcuenca hidrográfica, resaltando el uso de los Sistemas de Información Geográfica SIG y el procesamiento de imágenes satelitales, como una poderosa herramienta para determinar la aptitud del área para potencializar las actividades y usos del suelo específicas y mitigar la erosión hídrica perjudicial.

Los criterios en análisis fueron; la erosión hídrica potencial severa y crítica, la erosión actual severa y crítica, conflicto de usos de la tierra, condiciones físicas y biológicas de las obras de sedimentación, aptitud de tierras agrícolas pecuarias, y cambio de uso de la tierra.

La EMC se ha realizado considerando el Método de Sumatoria Lineal Ponderada, el cual corresponde a una operación aritmética simple del tipo compensatorio aditivo (Gómez y Barredo, 2005). Este método consiste en multiplicar el valor de cada criterio o factor (coberturas georreferenciadas y normalizadas en escala de 0 a 255) por su peso (Eastman, 2006<sup>a</sup>):

$$r_i = \sum_{j=1}^n w_j v_{ij}$$

Donde,  $r_i$  es la aptitud de la alternativa  $i$ ,  $w_j$  el peso del criterio o factor  $j$  y  $v_{ij}$  es el valor ponderado de la alternativa  $i$  en el criterio o factor  $j$ .

Aquí le mostramos una aplicación del modelo matemático lineal simple EMC-SIG) utilizado en el análisis multitemporal de rendimiento de madera de los rodales de bosques nativo en la microcuenca hidrográfica de río Calacala - Puno (Ortiz, 2012).

$$\text{EMC - SIG} = 6(\text{PTFR}) + 5(\text{CU}) + 4(\text{D}) + 3(\text{CUMTF}) + 2(\text{UAF}) + \text{TNA}/6 \text{ I}$$

Donde: EMC – SIG: Evaluación Multicriterio y Sistema de Información Geográfica, PTFR: Potencialidad de tierras forestales real, CU: Conflicto de uso de tierras, D: Deforestación, CUMTF: Capacidad de uso mayor de tierras forestales, UAF: Uso actual forestal, TNA: tierras nativas, e I: número de criterios.



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 MODELAMIENTO DE LOS FACTORES DE LA EROSIÓN HÍDRICA

##### 4.1.1 Factor R: Análisis de Erosividad de la precipitación

Uno de los principales factores importantes en la estimación de pérdida de suelos mediante la Ecuación Universal de Suelos es el factor R, para su determinación se utilizó información de precipitaciones procedentes de 9 Estaciones Meteorológicas de SENAMHI. Después de analizadas las consistencias de los valores medias anuales de la precipitación se procedió a la transformación de los valores a medias mensuales de 50 años, y la tendencia de la autocorrelación de la precipitación con el algoritmo Kriging.

El modelo Kriging generó información en el formato Raster y con ayuda de la herramienta Raster Calculator del programa Arc Gis10.8, se determinó el valor de Índice de Fournier modificado por la FAO o factor R, y se obtuvieron las Ysoyetas entre 101,25 y 117.80 Mj.mm/ha\*h. En la Tabla N°11 se aprecian los resultados, los mismos que son similares con los valores obtenidos por (Alvarez 2019), en las condiciones biofísicas del altiplano peruano. El último citado corresponde de la erosividad de la lluvia de la subcuenca del río Ichu para los años 2013 y 2017, resultó de 56 a 201 Mj.mm/ha. (Ramírez 2010) indica que, el factor R representa la capacidad potencial de las lluvias para generar erosión y depende de las características hidrodinámicas de la lluvia; intensidad, duración, velocidad y tamaño de las gotas. Además, la altitud incide significativamente en los valores obtenidos (Antezana, 2001), del mismo modo Ramírez et al. (2007), nos dice que, existe una relación directa entre la erosividad y la intensidad y frecuencia de la precipitación



En la Tabla 11 y Figura 11. Se observa tres marcadas zonas de Factor R; la primera que inicia desde la zona urbana de la ciudad de Puno de 100.75 a 101.20  $Mj*mm/ha*h$  en una altitud de 3910 msnm, la segunda de 100.37 a 100.74 a una altitud promedio de 4100 msnm, y la tercera zona de 99.96 a 100.36  $Mj*mm/ha*h$  a una altitud final de 4190 msnm. Como manifestara (Ramírez 2010) la altitud incide en el índice de erosividad de la lluvia. En el estudio presente a menor altitud y muy cercano a la masa de agua (Lago Titicaca) hay mayor erosividad, mientras el área de estudio se aleja de la masa de agua y a mayor altitud hay menor erosividad. Este fenómeno se debe a la mayor evaporación de masa de agua y a la exposición del área de estudio a la mayor radiación solar que en la parte alta de la microcuenca.

Tabla 11. *Factor R. Erosividad de la lluvia en  $Mj-mm/ha*h$*

FID	Shape *	ID	COORD_X	COORD_Y	ALTITUD	ESTACION	ENER.	FEB.	MAR.
0	Point ZM	1	391618	8250023	3820	Puno	34,832	25,268	22,186
1	Point ZM	2	410793	8274432	3828	Capachica	33,145	28,830	24,942
2	Point ZM	3	352948	8266710	3892	Lampa	31,753	24,799	16,976
3	Point ZM	4	385967	8213658	3900	Laraqueri	37,399	30,270	17,807
4	Point ZM	5	320230	8287491	4400	Pampahuta	36,958	29,864	21,127
5	Point ZM	6	413241	8231937	3935	Rincón de la Cruz	40,750	22,922	25,099
6	Point ZM	7	327577	8263529	3970	Santa Lucía	39,134	22,013	24,103
7	Point ZM	8	368657	8289081	3861	Puente Isla	41,267	23,213	25,417
8	Point ZM	9	399758	8251197	3808	Los Uros	39,466	22,200	24,308

ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.	Factor R
3,401	0,110	0,021	0,009	0,158	0,856	2,755	3,411	10,875	103,882
3,368	0,216	0,028	0,014	0,101	0,907	2,009	3,933	15,505	112,997
2,754	0,069	0,019	0,004	0,093	0,594	2,615	5,409	16,168	101,252
2,364	0,135	0,022	0,019	0,130	0,624	1,663	4,027	14,862	109,322
3,117	0,130	0,011	0,015	0,074	0,298	1,764	5,638	18,805	117,800
3,706	0,127	0,158	0,020	0,226	0,834	3,605	4,015	11,357	112,819
3,559	0,122	0,152	0,019	0,217	0,801	3,462	3,855	10,907	108,344
3,753	0,129	0,160	0,020	0,229	0,845	3,650	4,066	11,501	114,250
3,589	0,123	0,153	0,019	0,219	0,808	3,491	3,888	11,000	109,263

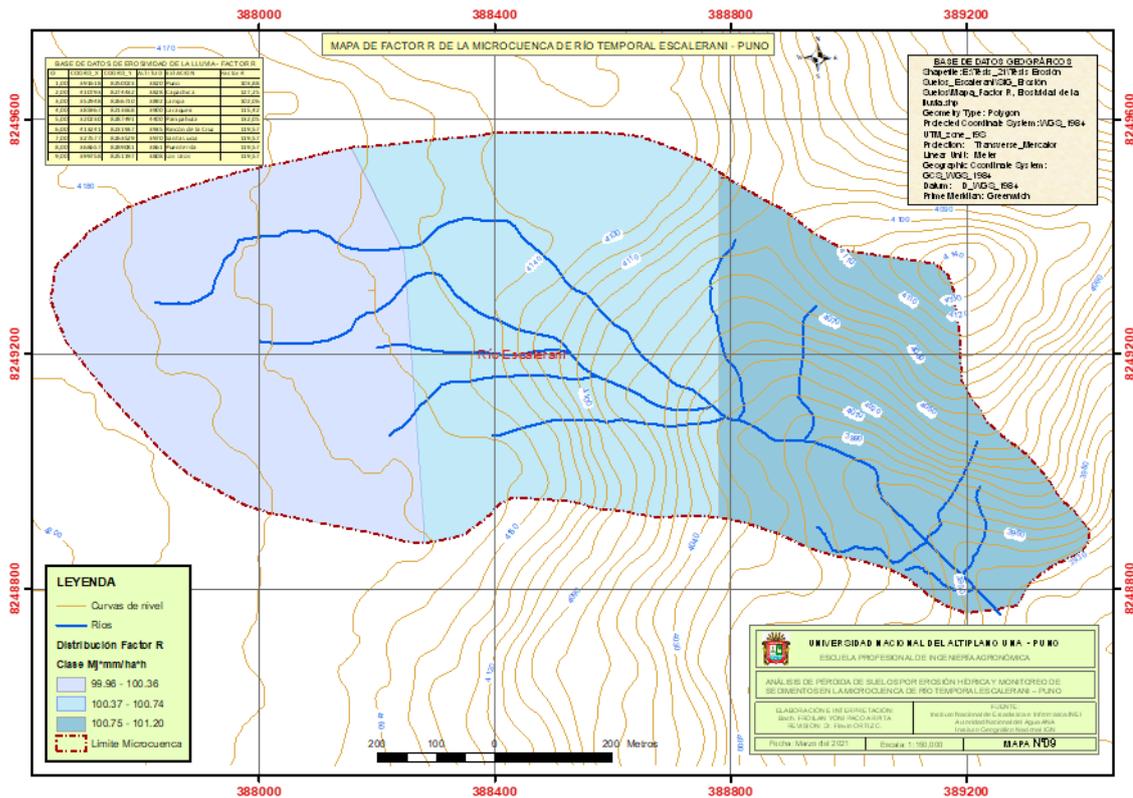


Figura 11. Mapa de Erosividad de la lluvia del área de estudio

#### 4.1.2 Factor K: Análisis de erodabilidad del suelo

La resistencia del suelo frente a la agresividad de la lluvia se denomina erodabilidad. En el método empleado se determinaron previamente las siguientes propiedades del suelo:

**Textura:** asociada a las fracciones de limo, arcilla, arena muy fina y arena que contiene el suelo. El método USLE establece que, para efectos de erosión, el limo y la arena muy fina se comportan de manera similar. (Ver tabla 12)

**Materia orgánica:** Contenido porcentual de materia orgánica del suelo determinada por el método de Walkley-Black. Varía entre 0 y 5%, pero recomendaciones técnicas, se asumió el 4%.



**Estructura del suelo:** asociada a las características de las partículas que constituyen valores de textura del suelo, entre 1 a 3. Tabla 12.

**Permeabilidad:** USLE asigna códigos de acuerdo a la permeabilidad del suelo de 2 a 5 (Ver tabla 12).

Una vez determinado los valores de las propiedades nombradas anteriormente, se determinaron los valores del factor K, Los resultados obtenidos se observan en la tabla 12 y se obtuvieron mediante la ecuación de permeabilidad K siguiente::

$$K = (10^{-4}) (2.71 M^{1.14}) (12-a)^{+4.2} (b-2)^{+3.23} (c-3)/100$$

Donde:

M: Factor representativo de la textura. Es el producto entre el porcentaje de limos y arenas muy finas; de 0.002 – 0.1 mm y entre 0.002 y 2.0 mm de diámetro, respectivamente. Lo que es igual, 100 menos el porcentaje de arcilla de la muestra,  $M = (\% \text{ limo} + \text{arena muy fina})$ , equivalente para la arcilla ( $100 - \% \text{ arcilla}$ ), la  $a$  es porcentaje de materia orgánica,  $b$  es el valor de la estructura del suelo y  $c$  está condicionada a las características florísticas de la cobertura vegetal. Tabla 12.

Los valores de la textura, materia orgánica y estructura se refieren a los 20 cm de capa superior del suelo y los de permeabilidad a todo el perfil de 40 cm.

El factor K ponderado está comprendido en el intervalo 0.04 – 0.63 y el coeficiente K entre 0.05 a 0.08.

La figura 13; muestra las zonas de alta y muy alta erodabilidad entre 0.07 a mayores de 0.80 Ton-ha-h/ha-Mj-mm. Estas zonas representan la alta resistencia el suelo

frente a la agresividad de la lluvia. Fig 12. El término erodabilidad del suelo se usa para indicar la susceptibilidad de un suelo a la erosión (Figueroa S. B., 1991)

El producto del valor de coeficiente de erodabilidad K de los suelos de la microcuenca suelos revelan la estabilidad de la textura media a gruesa (franco arenoso-arenoso) con mayor cantidad de arcilla que los suelos anteriores, con mayor estabilidad de los agregados y una mayor cohesión de las partículas por la presencia de minerales de tipo 2:1 de alta superficie específica, con una adecuada permeabilidad de moderada a rápida disminuye la escorrentía superficial e incrementa la infiltración.

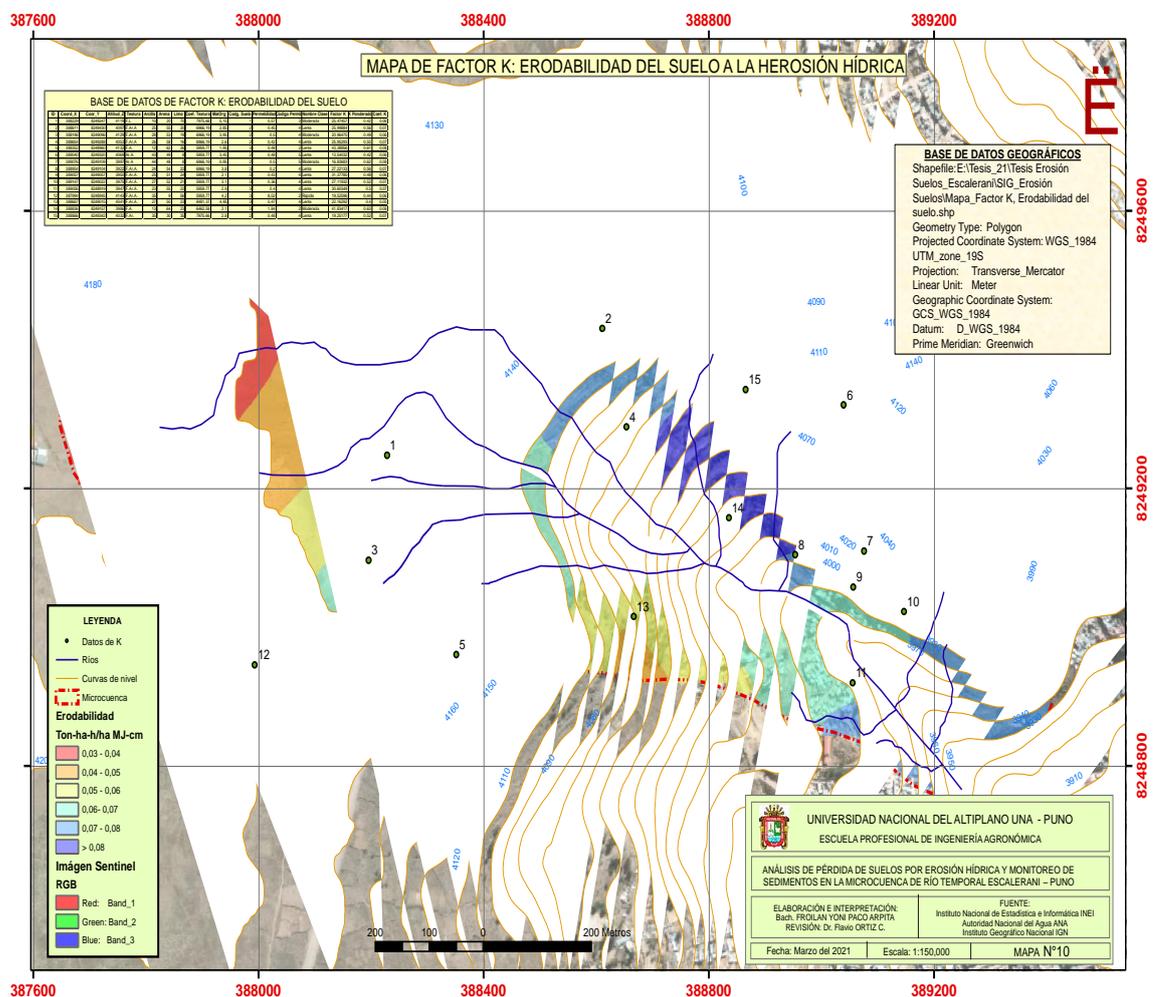


Figura 12. Mapa de Erodabilidad de suelos de la microcuenca río temporal

Escalerani

#### 4.1.3 Factor SL: Análisis de la pendiente y longitud del río

Actualmente la tecnología SIG provee una fácil construcción y manejo de modelos de Elevación Digital (DEM), los cuales, en principio, permiten la estimación de ángulos de elevación  $A_e$ , por lo que la más compleja naturaleza de la topografía puede ser representada.

En un raster modelo de elevación de terreno DEM, la superficie es subdividida en celdas cuadradas o píxeles. Si se quiere calcular el factor LS, primero se debe estimar el área de contribución aguas arriba en la microcuenca. En el proyecto se delimitó en cinco unidades hidrográficas (UH-I a UH5), así como la pendiente para cada celda de las unidades. Como se puede observar en esta Tesis, son varios los algoritmos que permiten estimar el área A, para cada celda, es decir, el área aguas arriba de cada celda que drena hasta la unidad hidrográfica aguas abajo. Fig.13.

La idea en este punto, fue la evaluación de las diferentes metodologías que permiten la estimación del factor LS, es decir, aquellas que integran la longitud de pendiente,  $\lambda$ , y las que utilizan el concepto del área de contribución aguas arriba. Las metodologías estudiadas están resumidas en la Tabla 13.

Por tanto y debido a como se pudo observar en la tabla 13, se trató la estimación de la pendiente de la longitud de los ríos, aquí se optó por utilizar el valor de la pendiente de longitud  $\lambda$ , calculada por Hickey (Van Remortel et al., 2004) para las estimaciones de SL hechas con las metodologías de USLE y RUSLE, por ser esta la mejor metodología que ajusta a los criterios teóricos del concepto de la pendiente de la longitud.

El factor LS es el producto del Factor L y el Factor S, el primero describe la longitud de la pendiente y el segundo a su inclinación; fue clasificado en cinco rangos de unidades hidrográficas que van en ascenso y se observa en la tabla 13. La primera unidad (I) tiene

2 a 8% de pendiente ligeramente inclinada en promedio y 4 ríos, hacen un total de 1,565 m, lineales y ocupan un área de drenaje de 35.6720 ha. Es la unidad de mayor extensión de 39.26% de área total de la microcuenca. Seguido por la unidad III, abarca 24.87% de extensión, con pendientes de 15 a 25% (fuertemente inclinada), con 5 unidades de ríos, cuya longitud es de 1,186 m, y la unidad menor (V) tiene pendiente fuertemente empinada, abarca 463.57 m, de longitud y ocupa 5.20 ha. Resumiendo, la microcuenca tiene 20 unidades de ríos con 5,250 m, lineales de longitud, y el área de drenaje total de la microcuenca abarca 90.86 ha. Fig. 13 y Tabla 13.

Tabla 12. Base de datos de factor erodabilidad del suelo de la microcuenca

ID	Coord_X	Coor_Y	Altitud_Z	Textura	Arcilla	Arena	Limo	Coef. Textura	MatOrg	Codg. Suelo	Permeabilidad	Código Permb	Nombre Clase	Factor K	K Ponderado	Coef. K
1	388229	8249247	4119	F.L	10	20	70	7975,88	5,15	1	0,57	3	Moderada	25,47457	0,42	0,08
2	388811	8249430	4097	F.Ar.A	25	55	20	6968,19	2,85	2	0,45	4	Lenta	25,99884	0,58	0,07
3	388196	8249098	4129	F.Ar.A	28	53	19	6968,19	3,95	2	0,5	4	Moderada	20,98475	0,49	0,08
4	388854	8249288	4053	F.Ar.A	28	58	18	6968,19	2,8	2	0,42	4	Lenta	25,95293	0,55	0,07
5	388352	8248980	4132	F.A.	12	62	28	5959,77	1,95	3	0,48	2	Lenta	43,38958	0,81	0,08
6	389040	8249320	4089	Ar.A	43	49	8	5959,77	3,45	2	0,48	5	Lenta	13,54032	0,42	0,08
7	389076	8249109	3997	Ar.A	44	48	8	6968,19	0,95	2	0,5	5	Moderada	18,83883	0,82	0,08
8	388954	8249104	3922	F.Ar.A	24	54	22	6968,19	3,8	3	0,2	4	Lenta	27,22133	0,58	0,07
9	389057	8249057	3950	F.Ar.A	25	51	24	5959,77	2,1	3	0,43	4	Lenta	31,37785	0,48	0,08
10	389147	8249022	3975	F.Ar.A	27	52	21	5959,77	3,1	3	0,38	4	Lenta	27,11932	0,52	0,07
11	389058	8248919	3947	F.Ar.A	23	55	22	5959,77	2,9	3	0,4	4	Lenta	30,80349	0,5	0,07
12	387994	8248945	4143	F.Ar.A	35	9	58	5959,77	4,2	3	8,52	2	Rapida	19,52598	0,44	0,08
13	388887	8249015	4041	F.Ar.A	27	50	23	8481,37	4,95	3	0,47	4	Lenta	22,18292	0,4	0,05
14	388838	8249157	3988	F.A.	13	64	23	6482,58	2,1	3	1,84	2	Moderada	41,83417	0,83	0,08
15	388888	8249342	4032	F.Ar.	35	30	35	7975,88	2,8	2	0,48	4	Lenta	19,25177	0,52	0,07

Tabla 13. Pendiente de la longitud de los ríos de las unidades hidrográficas

ID	Unidad Hidrogr	Long_Drenaje m	Frecuencia	Porcent_Dre	Área_Unid m	Porcent_Área	Pend. %	Nombre de Pendiente
1	I	1565,66	4	29,82	356720,23	39,26	2 - 8	Ligeramente Inclinada
2	II	1453,38	5	27,68	216479,39	23,82	8 - 15	Moderadamente inclinada
3	III	1186,60	5	22,60	225980,02	24,87	15 - 25	Fuertemenet inclinada
4	IV	581,54	3	11,08	57856,59	6,37	25 - 50	Moderadamente empinada
5	V	463,57	3	8,83	51590,68	5,68	> 50%	Fuertemente empinada
	TOTAL	5250,75	20	100,00	908626,90	100,00		

## 4.2 MODELAMIENTO DE EROSIÓN HÍDRICA POTENCIAL DEL SUELO

Según Mesen (2009), el producto de los primeros cuatro factores (R, K, L y S) es el potencial erosivo inherente en el sitio; eso es, la pérdida de suelo que ocurriría en la ausencia de cualquier cobertura vegetal (C) o práctica de manejo (P). Los dos últimos factores reducen esta pérdida potencial para compensar los efectos de uso de la tierra, manejo y prácticas especiales y se utiliza para calcular la erosión actual del suelo de la microcuenca.

Tabla 14. Base de datos de la estimación de erosión hídrica potencial de suelos

ID	Unidad Hidrog	Long_Drenaje	Porcent_Drenaje	Área_Unid m2	Porcent_Área	Coef_EHP	Erosión Potencial
1	I	1442,56	28,13	356720,23	39,26	0,38	13,56
2	II	1453,38	28,34	216479,39	23,82	2,00	43,30
3	III	1186,60	23,14	225980,02	24,87	4,29	96,95
4	IV	581,54	11,34	57856,59	6,37	7,75	44,84
5	V	463,57	9,04	51590,68	5,68	11,43	58,97
	TOTAL	5127,65	100,00	908626,90	100,00		257,60

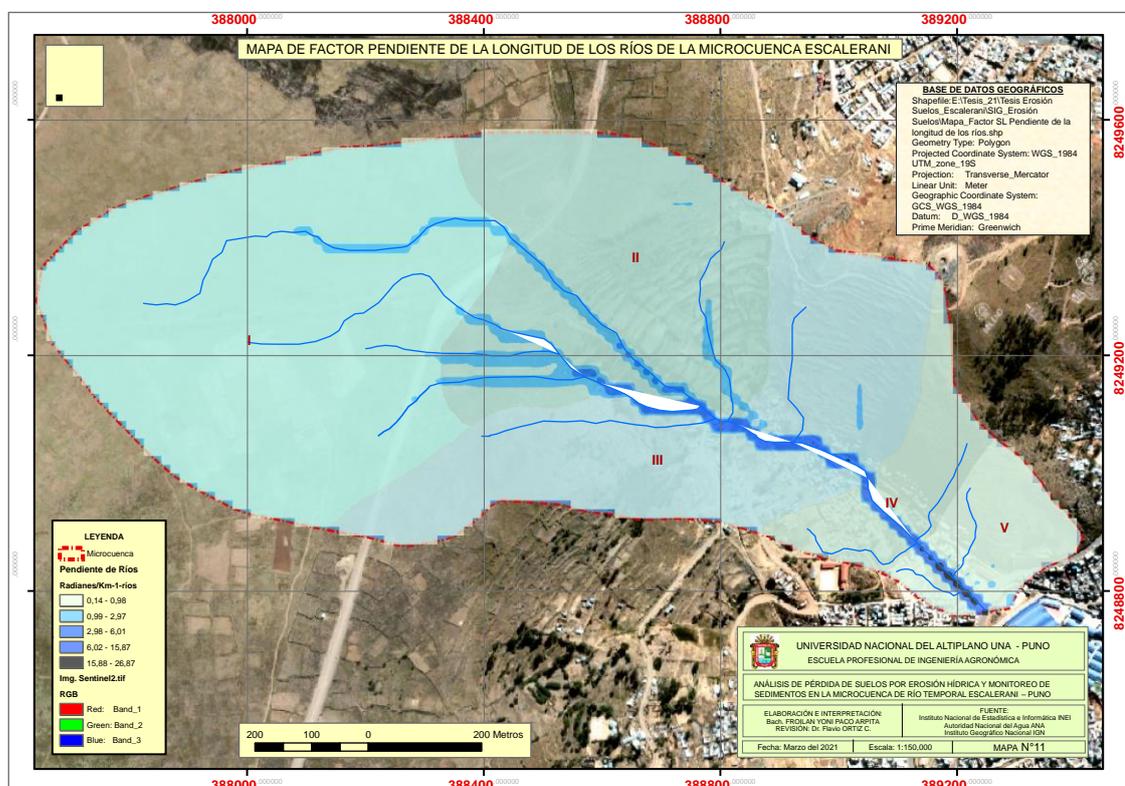


Figura 13. Mapa de factor LS longitud de la pendiente de los ríos de la microcuenca

La zona de coeficiente erosivo bajo se localizó en la parte superior de la microcuenca (unidad hidrográfica I), tiene 13.56 Tn/ha/año de erosión potencial y ocupa 35.67 ha, representa 39.26% del territorio, donde se presentan menores precipitaciones, clasificándose en un grado de erosión de ligera a nula. El potencial erosivo muy alto se encuentra en la unidad hidrográfica III, con 15 a 25% de pendiente de cauce, 22.59 ha, represente 24.87% de área total, 96.95 Tn/ha/año. En síntesis las 5 unidades hidrográficas tienen erosión potencial de 257.60 Tn/ha/año. Ver tabla 14 y Figura 16.

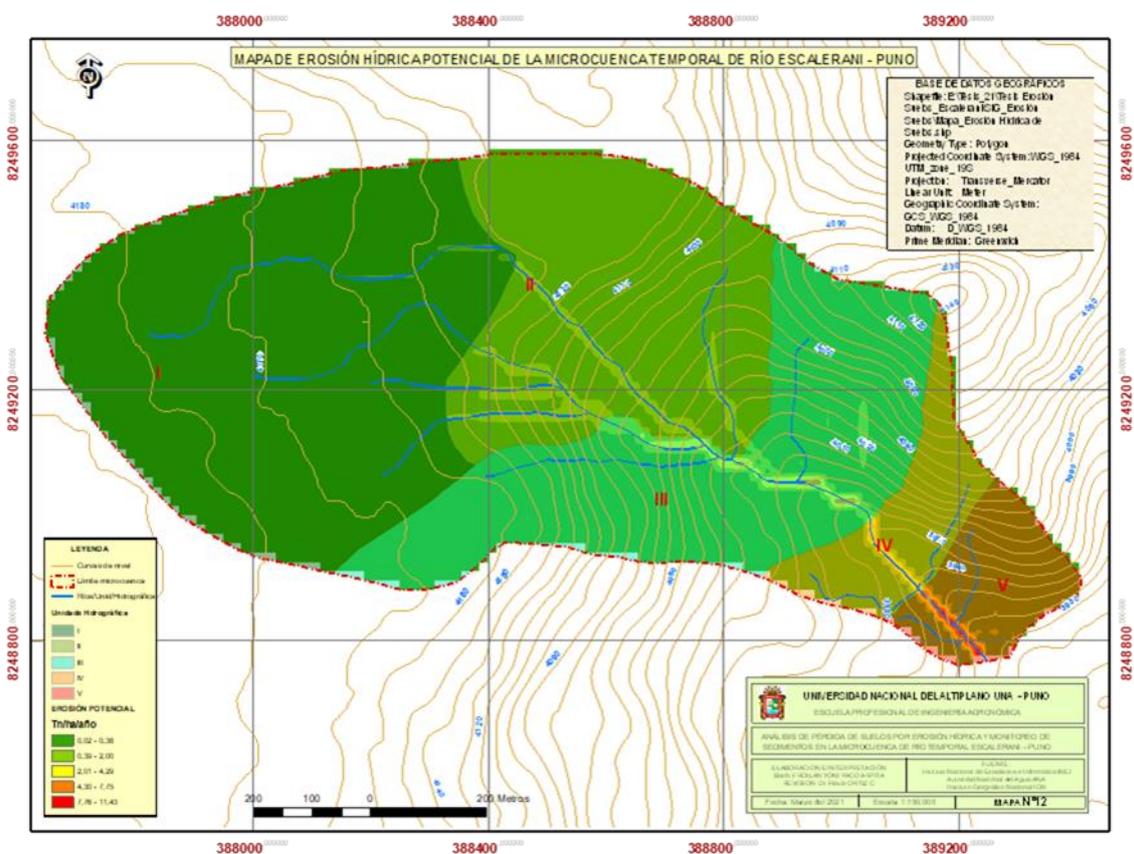


Figura 14. Mapa de pérdida de suelos por erosión hídrica en la microcuenca

Zúñiga (2017) en su tesis “Pérdida de suelos por erosión hídrica en la cuenca del río Aguada Blanca – Arequipa, determina resultados consistentes del factor de: lluvia R, erodabilidad K y cobertura vegetal C (calibrados con  $R2 > 80$  por ciento). El modelo MC80 expresó una tasa promedio anual de 128.96 T/ha/año, mientras que el modelo MC78 una tasa promedio de 145.50 T/ha/año; mostrando una cuenca erosiva con



tendencia a la desertificación, que está por encima del patrón de erosión recomendada por ICONA (1991) de 12.5 T/ha/año y la FAO 11.2 T/ha/año.

Finalmente, en esta evaluación no se están tomando en cuenta los factores cobertura vegetal y las prácticas de manejo y conservación de suelos de la microcuenca (Tabla 10).

### **4.3 MODELAMIENTO DE EROSIÓN HÍDRICA ACTUAL DE LOS SUELOS**

#### **4.3.1 Factor C: Ponderación de cobertura vegetal**

Todas las investigaciones de pérdida de suelos por erosión hídrica indican el papel clave que juega la cobertura vegetal en disminuir o acrecentar el proceso erosivo de la lluvia en combinación con una topografía y relieve pronunciada (Santacruz De León, 2011), siempre será bueno priorizar proyectos de prevención a futuro, para las zonas con mayor riesgo a ser erosionadas, generalmente en las partes altas de la cuenca hidrográfica, en las riberas de los ríos, realizar proyectos de reforestación debido a la escasa cobertura vegetal, mientras que en las zonas cercanas a los ríos se construirían diques de control de cárcavas, en las laderas; construcción de andenes para la agricultura, etc.

En los últimos 30 años la ciencia del suelo y la tecnología en el manejo y conservación de suelos ha generado muchas herramientas desde los softwares, hardware, modelos geográficos, matemáticos ni hablar de la geoestadística, y hay mucha información en geo servidores privados y estatales. Las cuales, se han convertido en herramientas para identificar la distribución espacial de la cobertura y manejo del suelo, condición indispensable que se ha observado en la predicción de la erosión hídrica. (Flores-López et al., 2003).

### 4.3.2 Coeficiente de cobertura vegetal

En la tabla 15, se muestran algunos coeficientes medios anuales para diferentes cultivos y prácticas. Esta asignación de valores ha sido un punto de partida en el presente estudio.

El factor C es la relación entre la pérdida de suelo en un terreno cultivado en condiciones específicas y la pérdida correspondiente del suelo en barbecho continuo, esta comparación se hace suponiendo que son semejantes las condiciones de suelo, clase de pendiente, tipo de permeabilidad del suelo, textura del suelo, tipo de cobertura y lluvia (Grupo TRAGSA, 1998).

Algunos abonos orgánicos son muy buenos, siendo utilizado de manera masiva en países desarrollados en cultivos de pastos, forestales y en terrenos donde se desea desarrollar una cubierta vegetal como método de control de la erosión (Mancilla, 2008).

Tabla 15. *Ponderación para el coeficiente de factor C Cobertura vegetal*

Codg_Veg	Clase_Pend	Codg_Pendte	Permeabilidad	Codg_Permeab	Codgo_Factor_C	Coef_C
3000	Ligera	2	Permeable	300	3302	0,2
1000	Moderada	3	Permeable	300	1303	0,4
2000	Ligera	2	Permeable	300	2302	0,25
4000	Severa	4	Permeable	300	4304	0,2
3000	Moderada	3	Permeable	300	3303	0,2
3000	Severa	4	Permeable	300	3304	0,3
1000	Extremada	5	Semipermeable	200	1205	0,7
3000	Severa	4	Permeable	300	3304	0,3
3000	Extremada	5	Permeable	300	3305	0,35
1000	Extremada	5	Permeable	300	1305	0,5
1000	Ligera	2	Impermeable	100	1102	0,65
2000	Ligera	2	Permeable	300	2302	0,25
4000	Severa	4	Permeable	300	4304	0,2
4000	Moderada	3	Permeable	300	4303	0,15
3000	Severa	4	Permeable	300	3304	0,3
3000	Normal	1	Permeable	300	3301	0,15
3000	Normal	1	Permeable	300	3301	0,15
	Promedio "C"					0,31

#### 4.2.3 Factor P: Ponderación de medidas de manejo y conservación de la microcuenca

En la tabla 16, se observan los coeficientes referenciales de las principales prácticas agronómicas:

Surcos en contorno, cultivo en fajas, ordenación territorial y zonificación de uso de las tierras de cultivos, cobertura vegetal, labranza conservacionista, rotación de cultivos, incorporación de materia orgánica, aplicación de fertilizantes y enmiendas químicas al suelo, manejo de pastos, zanjas de derivación, diques de control de cárcavas, construcción de terrazas, andenes y caminos vecinales. El efecto de estas prácticas; pueden ser evaluadas mediante el factor P del modelo RUSLE. También, comenta Pistocchi A., Cassani, G. y Zani (2002), se puede recurrir a metodologías alternativas para evaluar las prácticas de conservación requeridas para un determinado tipo de suelo, cobertura y topografía, y así proveer prescripciones para prácticas mecánicas de conservación de suelo y especialmente para la densidad requerida para la instalación de drenajes transversales a lo largo de una ladera, es decir, a partir de parámetros asociados con la rugosidad del terreno, coeficiente de escorrentía y al área de contribución aguas arriba.

Tabla 16. Resultado de coeficiente de cobertura vegetal y prácticas de manejo C –

ID	Cobertura vegetal	Símbolo	Código_cob	Factor P. ha	Porcentaje
1	Aforamiento rocoso	Afr	1	0,38	0,41
2	Andenería	And	32	20,65	22,72
3	Escaza cobertura	Esc	11	24,99	27,50
4	Infraestructura de servicios	Ise	6	1,27	1,40
5	Instalación urbana	Ins	10	3,83	4,22
6	Pasto natural	Pna	13	10,61	11,68
7	Plantaciones forestales	Plf	12	17,35	19,10
9	Pradera mejorada	Prm	4	4,16	4,58
10	Tierras erosionadas	Ter	17	7,63	8,39
	Total			90,86	100,00

Los resultados obtenidos nos muestran, que en la microcuenca de río Escalerani el mayor porcentaje de superficie corresponde a la clase de erosión baja con un 39.26%, con erosión actual de 0.05 Tn/ha/año, que ocupa 35.67 ha del total del área evaluada y corresponde a la unidad hidrográfica I, ubicándose en la cabecera de la microcuenca, mientras que en menores porcentajes se encuentran las clases de erosión alta y muy alta con un 6.37 y 5.68%, corresponden a 2.88 y 5.65 Tn/ha/año, conformado por un área de 5.78 y 5.15 ha de erosión actual muy alta, distribuyéndose en las partes bajas de la microcuenca. Ver figura 18.

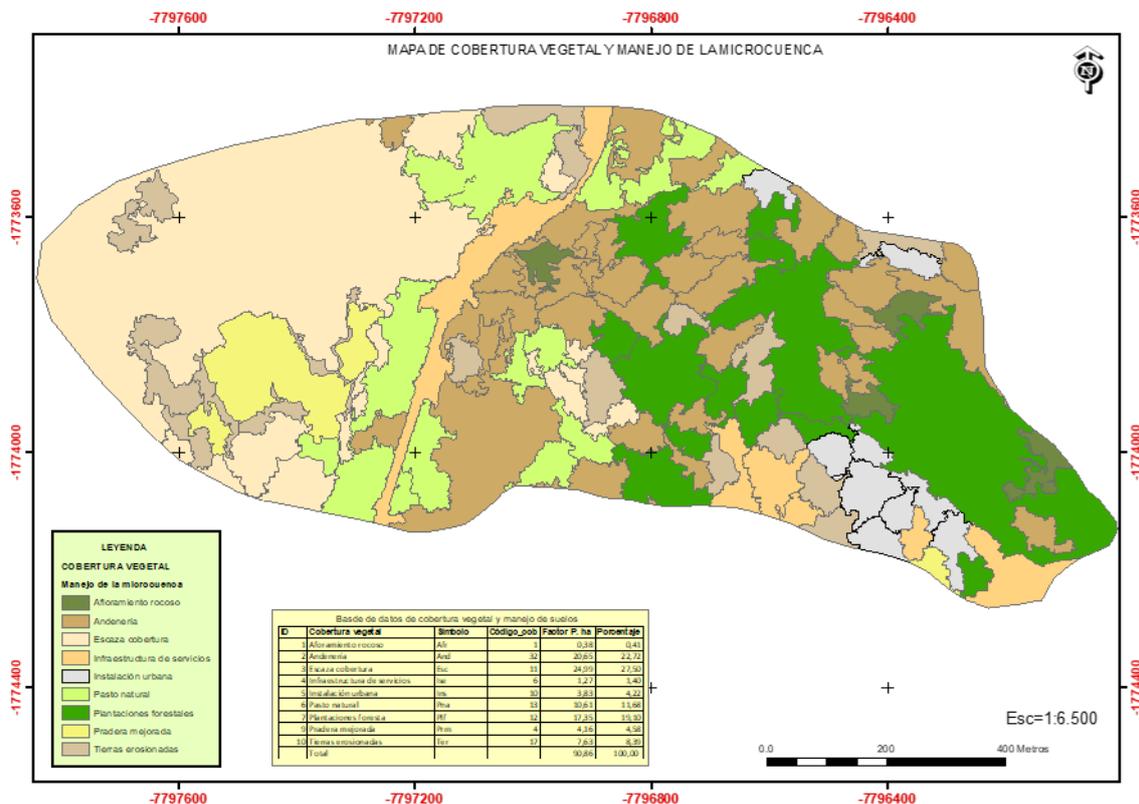


Figura 15. Mapa de cobertura vegetal y prácticas de manejo de la microcuenca

Los resultados reflejan la mayor pérdida de suelo en áreas con pendientes más inclinadas y con un menor grado de cobertura vegetal; por otro lado, los suelos con nula o mínima pérdida por erosión se encuentran en áreas con pendientes bajas con una muy buena cobertura vegetal. Ver tabla 18.

Tabla 17. Mapa de erosión hídrica actual por unidades hidrográficas de la microcuenca

ID	Unidad Hidrog	Long_Drenaje	Porcent_Drenaje	Área ha	Coef_EHActual	Tn/ha/año	Porcent_Área
1	I	1442,56	28,13	35,67	0,05	1,78	39,26
2	II	1453,38	28,34	21,65	0,45	9,74	23,82
3	III	1186,60	23,14	22,60	1,56	35,25	24,87
4	IV	581,54	11,34	5,79	2,88	16,66	6,37
5	V	463,57	9,04	5,16	5,65	29,15	5,68
	TOTAL	5127,65	100,00	90,86		92,59	100,00

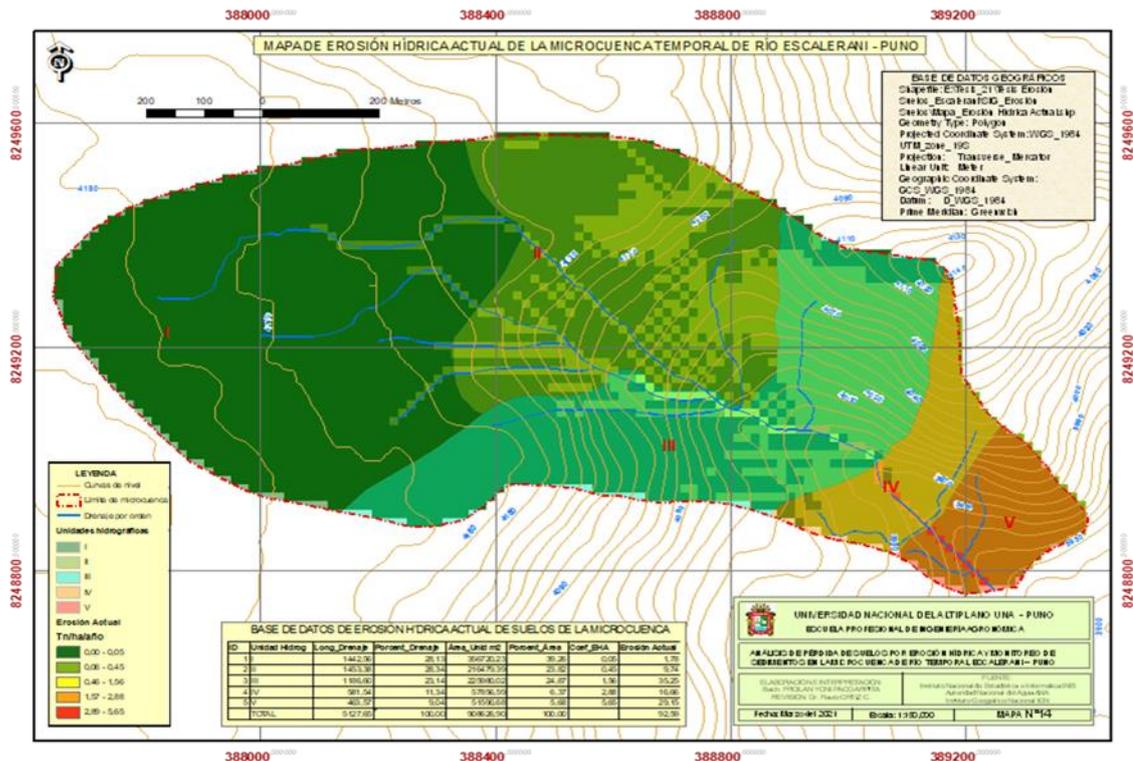


Figura 16. Mapa de erosión hídrica actual por unidades hidrográficas de la microcuenca

#### 4.4 TRANSPORTE DE SUELO EROSIONADO Y SEDIMENTACIÓN POR UNIDADES HIDROGRÁFICAS EN LOS ÚLTIMOS 30 AÑOS

##### 4.4.1 Análisis y modelamiento de pérdida de suelos por erosión hídrica en las unidades hidrográficas

López Cadenas de Llano F. (1984) en la labor de difusión del modelo de distribución de erosión hídrica el profesor López Cadenas de Llano entre 1970-85, tuvo



una gran importancia. El modelo en cuestión establece la erosión potencial y actual del suelo en cada unidad homogénea de la cuenca determinada a través de la aplicación del mismo, es decir, define para cada una las diferentes zonas de la cuenca un valor de su erosión hídrica superficial potencial expresado en tn/ha/año, por tanto, se mantiene en el mismo esquema conceptual que los índices de protección del suelo por la vegetación; pero de manera cuantitativa.

UNESCO (2010) al referirse a las unidades de la cuenca, indica: Conceptualmente el desarrollo de los modelos hidrológicos distribuidos debe mejorar las previsiones del comportamiento de la vegetación a introducir en las diferentes zonas de la cuenca, ya que dichos modelos establecen las condiciones físicas de humedad y temperatura en las diferentes zonas de la cuenca.

Cabrejos (2016) dice; enfocado en el uso de un modelo semi distribuido, muestra la evaluación hidrológica de una cuenca altoandina donde, posteriormente, se realizaron labores de exploración minera (Puno, Perú). Este modelo (construido en el software HEC-HMS), principalmente basado en mediciones in situ, permitió simular los flujos promedios en las áreas de estudio.

#### **4.4.2 Análisis y modelamiento de transporte de material erosionado por la pendiente de la longitud de los ríos**

Mitas, H. y Mitsova (1998) El flujo de agua puede transportar una cantidad limitada de sedimentos dada por la capacidad de transporte del flujo de agua. Estos métodos también asumen que la cantidad de sedimentos transportados por el agua es siempre la máxima cantidad que puede transportar. Por consiguiente, en los puntos donde la capacidad de transporte se incrementa, se produce erosión; donde la capacidad de transporte decrece, ocurre sedimentación.

En el estudio se ha observado en las unidades hidrográficas I y II el flujo de agua inicia a transportar el material erosionado y la cantidad de transporte se eleva en la unidad III por el aumento de la esorrentía, aumento de la pendiente y ampliación de área tributaria de la microcuenca. Siendo los puntos de máxima cantidad de transporte las unidades IV y V. Vale decir, en su inicio el transporte ocurre de 1.53 Tn/km y termina en 12.46 Tn/km de cauce. Ver tabla 20.

El modelo Gavriilo Vic Vallejos, P.-Zamora, G. Jorge (2010) estiman la cantidad de material producido por erosión superficial en una cuenca, al ser un método empírico, permite calcular el volumen de sedimento producido por erosión y transportado a la sección de cierre de la cuenca.

Tabla 18. *Transporte de suelo erosionado por la pendiente de la longitud del río Tn/km.*

ID	Unidad Hidrog	Long_Drenaje	Porcent_Drenaje	Área ha	Coef_EHActual	Tn/ha/año	Porcent_Área
1	I	1442,56	28,13	35,67	0,05	1,78	39,26
2	II	1453,38	28,34	21,65	0,45	9,74	23,82
3	III	1186,60	23,14	22,60	1,56	35,25	24,87
4	IV	581,54	11,34	5,79	2,88	16,66	6,37
5	V	463,57	9,04	5,16	5,65	29,15	5,68

#### **4.4.3 Monitoreo, análisis y modelamiento de sedimentos en los muros de contención de cárcavas.**

En el caso de esta microcuenca, y en otras de la parte alta de la ciudad de Puno, después de las inundaciones del año hidrológico 1985 - 1986 se ejecutaron una serie de medidas de manejo y conservación de suelos a nivel de ladera, cauce y valle.

El ministerio de agricultura, juntamente con la CORPUNO celebraron un convenio de cooperación institucional para solucionar los problemas aludidos y



determinaron la intensidad ( $i$  = Intensidad máxima de la lluvia en una hora) de 72mm/hr, tiempo de concentración 49.59 min, tiempo de retorno 25 años, área de drenaje de la microcuenca 90.86ha.

En 1985/86 se produjo el fenómeno del Niño Extremo en el altiplano puneño, ocurrieron precipitaciones pluviales intensas mayores a 70mm/hr, calificado como tormentas de mayor intensidad para el altiplano peruano en el último siglo (Ortiz, 1988).

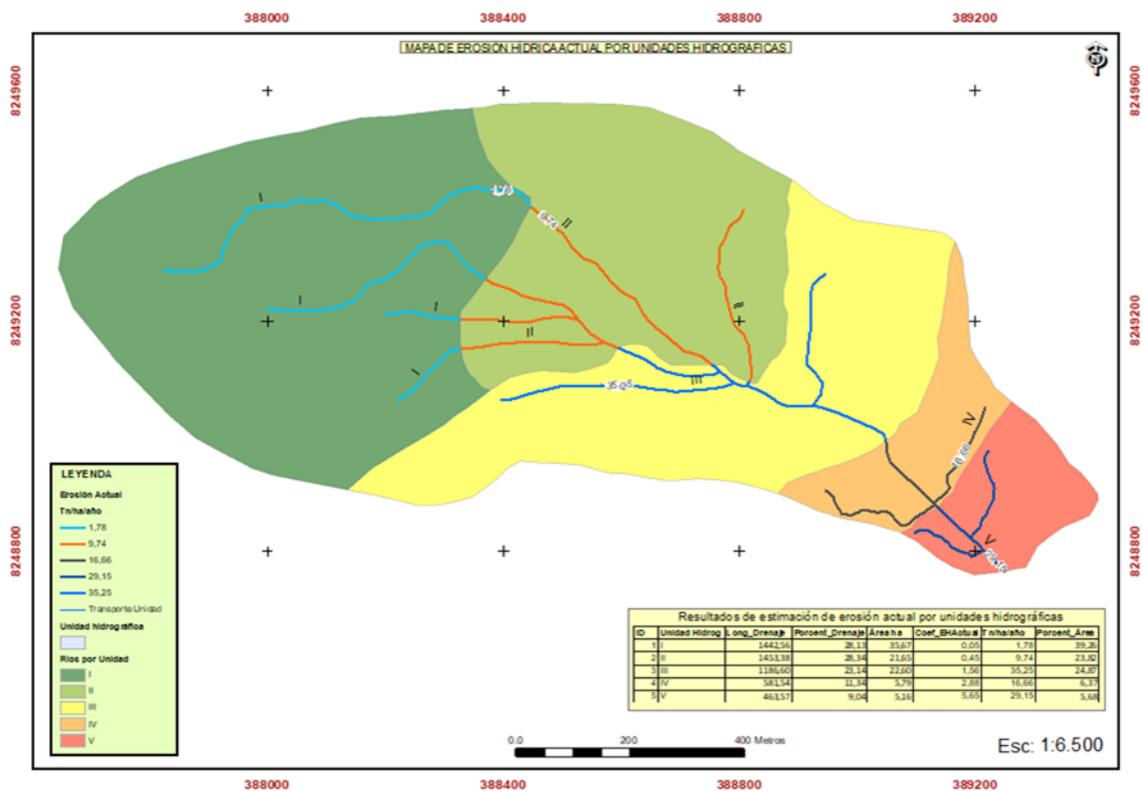


Figura 18. Estimación de erosión actual por unidades hidrográficas de la microcuenca

Santacruz De León (2011) suponiendo que continuarán las condiciones de degradación de la cuenca, es decir que se aumentaría el área agrícola, las condiciones que facilitan el fenómeno de erosión se incrementarían, ocasionando un aumento del aporte de sedimentos y de las consecuencias que esto trae consigo.



De continuar con las alteraciones de los sistemas agroforestales que hoy se tienen, los valores actuales de pérdida de suelo pueden incrementarse hasta en un 238.50%.

#### **4.5 PROPUESTA DE MEDIDAS DE GESTIÓN SOSTENIBLE DE LOS SUELOS DE LA MICROCUENCA**

##### **4.5.1 Implementación de políticas de gestión sostenible de manejo de cuencas hidrográficas y suelos.**

1. Implementarse de carácter urgente en la microcuenca la política de mantenimiento de la infraestructura de contención y disipación de la escorrentía, limpieza y descolmatación de los diques de contención, cauce principal y de los canales naturales de recepción y entrega de aguas colectadas.
2. Preservar e impulsar la reforestación y renovación de las especies nativas existentes en la microcuenca tales como las especies de *Polylepis spp*, *Bodleja spp*, *Pinus radiata*, pastos naturales entre otros.
3. Implementar las prácticas conservacionistas de suelos en zonas con presencia de alto grado de erosión específicamente en la parte de pendientes moderadamente a fuertemente empinadas y con poca cobertura vegetal.
4. Establecer lineamientos según R.M. N° 026-2012-MINAM, esto se refiere al ordenamiento territorial como un proceso político y técnico-administrativo de toma de decisiones concertadas con los actores sociales, económicos, políticos y técnicos.
5. Restauración de espacios y medidas de conservación degradados mediante el ordenamiento de uso actual de tierras.



6. Monitorear de forma permanente en periodos de lluvias mediante imágenes de satélite de alta resolución la dinámica del flujo del cauce y la cantidad de suelo erosionado en la microcuenca, esto servirá para mejorar los procesos de planificación, implementación y toma de decisiones oportunas.
7. Protección a la agrobiodiversidad y zonas naturales.
8. Implementación de sistemas agroforestales, barreras vivas y sistemas agrosilvo-pastoriles.
9. Restauración y recuperación de agro-sistemas precolombinos para contrarrestar los impactos de fenómenos atmosféricos adversos.
10. Socialización y empoderamiento a través de charlas y otros medios de los recursos existentes en la microcuenca.
11. Según la Ley N° 30215. Se debe promover los mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos, según el Artículo 1. Promueve, regula y supervisa los mecanismos de retribución por servicios ecosistémicos que se derivan de acuerdos voluntarios que establecen acciones de conservación, recuperación y uso sostenible para asegurar la permanencia de los ecosistemas.
12. Finalmente, en la microcuenca del río temporal Escalerani se recomienda usar adecuadamente las tierras de acuerdo a las aptitudes y capacidad de uso mayor de tierras.



#### **4.5.2 Estrategias de gestión de recuperación de la calidad ambiental de los suelos.**

1. Implementar el cultivo en fajas, plantar plantas que cubran el suelo, como pastos entre las fajas de los cultivos. La línea de las plantas cubre el suelo, filtra la lluvia y desacelera la escorrentía.
2. Recuperar las formas de cultivo ancestrales como el cultivo en andenerías, similares a los escalones. Esto previene que la escorrentía vaya cerro abajo y arrastre el suelo a su paso.
3. Evitar la tala árboles en de laderas empinadas. Planta nuevos árboles para reemplazar los que se han talado.
4. Recuperar las tierras que han sido minadas. Guarda la capa superior del suelo desnudo y devuélvela al suelo. Una vez que el suelo está en su lugar, planta árboles y otras plantas para proteger el suelo desnudo.
5. Usar barreras para prevenir la escorrentía y la erosión del suelo en sitios de construcción. Sembrando pasto para mantener el suelo en su lugar. Estas barreras de cerco vivo (árboles, arbustos, etc) u otro tipo como pircas de piedra desaceleran la fuerza del viento y reducen la erosión causada por él.
6. Desarrollar materiales de pavimentación que absorban el agua y reduzcan la escorrentía



## V. CONCLUSIONES

1. Se determinaron tres marcadas zonas de Factor R; la primera que inicia desde la zona urbana de la ciudad de Puno de 100.75 a 101.20  $Mj*mm/ha*h$  en una altitud de 3910 msnm, la segunda de 100.37 a 100.74 a una altitud promedio de 4100 msnm, y la tercera zona de 99.96 a 100.36  $Mj*mm/ha*h$  a una altitud final de 4190 msnm.
2. Se estimó los valores de la textura, materia orgánica, estructura del suelo y la clase de pendiente para determinar el factor K ponderado de la microcuenca de río temporal Escalerani, resultando entre 0.04 – 0.63  $tm*ha*h/ha*Mj*mm$  y el coeficiente K entre 0.05 a 0.08.
3. Se determinó el factor de longitud y gradiente de la pendiente de los ríos o factor LS, la microcuenca tiene 20 unidades de ríos con 5127.65m, lineales de longitud, entre 463,57m, hasta 1453,38m. Los valores de factor S pendiente de los ríos varían entre 2 a 50% de ligeramente inclinada a fuertemente empinada.
4. Se determinaron los factores cobertura vegetal C y coeficiente de factor prácticas P. La microcuenca en un 27.50% (24.99ha) que es la mayoría de área de escasa cobertura, seguido por prácticas de cultivos en andenería y sistemas agroforestales en 38ha, representa el 41.83% del total de la superficie. La microcuenca se caracteriza por presentar un coeficiente de cobertura vegetal y prácticas de manejo de suelos P de 0.31.
5. El área evaluada presenta una erosión potencial de 0.38 a 11.43  $Tn/ha/año$ . Estimándose la erosión potencial de la microcuenca en 257,60  $Tn/90.86ha/año$ . En esta determinación la tecnología de Teledetección y los sistemas de



- información geográfica SIG constituyen de herramientas importantes en la obtención y evaluación de las variables que afectan la erosión del suelo.
6. El área estudiada se caracteriza por presentar una erosión hídrica actual entre 0.005 a 5.65 Tn/ha/año. Hay una reducción de erosión hídrica potencial de 257,60 a 92.59 Tn, lo que representa el 36% erosión hídrica actual.
  7. La erosión hídrica incluye tres procesos mecánicos: primero el desprendimiento de las partículas, segundo el transporte de las partículas y por último la sedimentación de las partículas. El desprendimiento es igual a la erosión actual total de 92.59 Tn/año. De este total, el 34.48 Tn/año corresponde a transporte de los materiales y el 58.11 Tn/año es la generación de sedimentos.
  8. Para calcular el volumen de sedimentos generados desde la implementación de muros de control de cárcavas, el proyecto ha previsto contar con la siguiente información; intensidad máxima de la lluvia 72mm/hr, tiempo de concentración 49.59 min, tiempo de retorno 25 años, área de drenaje de la microcuenca 90.86ha. Luego se generó el volumen de material sedimentado para 30 años en 20 muros de contención, que asciende a un total de 13.62 Tn/año. Esto explica claramente que los muros de control de sedimentos están reteniendo el 23.44% de sedimentos por año.
  9. Se ha diseñado un conjunto de políticas de gestión sostenible de manejo de cuencas hidrográficas y estrategias de gestión basados en recuperación de la calidad ambiental de los suelos, prioritariamente implementando las medidas de prevención, mantenimiento de las medidas existentes y adecuación de medidas a los impactos potenciales negativos del cambio climático.



## VI. RECOMENDACIONES

1. La autoridad local, regional y nacional con el apoyo de los sectores, deberán ejecutar y mejorar obras para el encauzamiento de las aguas de escurrimiento superficial, así como el mantenimiento de la torrentera que se encuentra en el sector de Escalerani, la que finalmente desemboca en el lago Titicaca.
2. Para evitar la erosión y socavación del cauce que generan derrumbes de laderas en algunos puntos de la ciudad, se deben de seguir construyendo muros de protección escalonados técnicamente con normas existentes y proteger las márgenes de la erosión.
3. Seguir realizando estudios en las microcuencas que rodean a la Ciudad de Puno, a fin de prever peligros geológicos, hidrológicos, para conocer el comportamiento del material, pendiente, caudal, la velocidad en épocas de máximas avenidas y de acuerdo a ello controlar el drenaje y plantear un planeamiento urbanístico.
4. Realizar un programa de reforestación especialmente dirigido a proteger las cabeceras de las cuencas, la estabilización de cárcavas, taludes, riberas, quebradas y canales; empleando especialmente especies nativas.
5. Proponer a los lugareños realizar surcos en contorno y cultivos en faja son prácticas conservacionistas de uso generalizado. Es importante remarcar que estas prácticas son buenas para controlar la erosión cuando el follaje del cultivo protege gran parte del suelo.
6. Proponer una educación medio ambiental para que el poblador, tenga los conocimientos necesarios para poder hacer el mantenimiento y conservación de sus suelos en la zona de estudio.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Díaz, G. P. (2011). Zonificación Agroecológica del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en el centro Centro - Norte de la sierra de Ecuador. Sangolque, Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército, Departamento Ciencias de la Vida.
- Figueroa S. B., A. A. (1991). Manual de predicción de pérdidas de suelo por erosión. México: Secretaría de Agricultura y de Recursos Hidráulicos.
- Martínez, A. V.-R. (2000). Modelación distribuida de la escorrentía superficial en pequeñas cuencas mediante SIG. Evaluación experimental. Revista Ingeniería Civil (CEDEX)(117).
- Achuy, J. (2006) Sistemas de Información Geográfica.
- Achuy, J. (2006) Sistemas de Información Geográfica.
- Agenda 21 (1992) «Recursos Naturales Suelos», Diagnóstico Técnico Agenda 21 de la Carolina, p. 15.
- Alvarez, A. (2019) ANÁLISIS TEMPORAL DEL NIVEL DE LA EROSIÓN HÍDRICA DE LA SUBCUENCA DEL RÍO ICHU 2013 Y 2017.
- Ancco, Y. (2006) Modelamiento de la erosión hídrica en la microcuenca del río Coraraca – Ilave.
- 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, p. 7.
- CABREJOS, M. N. (2016) MODELAMIENTO GEOESPACIAL EN LA DETERMINACIÓN DEL RIESGO, VULNERABILIDAD Y DE LA CUANTIFICACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA MICROCUENCA DEL RIO ATUEN – AMAZONAS.
- CABREJOS V. MIRELLA N. (2016) MODELAMIENTO GEOESPACIAL EN LA DETERMINACIÓN DEL RIESGO, VULNERABILIDAD Y DE LA CUANTIFICACIÓN DE LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA MICROCUENCA



DEL RIO ATUEN – AMAZONAS.

Chereque, W. (2003) Hidrología. Lima.

Chitalogro, V.- Pailacho, R. (2021) APLICACIÓN DEL MODELO USLE PARA ESTIMAR CUANTITATIVAMENTE LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO CHIBUNGA.

Chuvienco, E. (2002) Teledetección ambiental.

Congreso. Perú (2010) «APROVECHAMIENTO SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS NATURALES RENOVABLES», p. 244.

FAO (1993) Erosion de suelos en America Latina.

FAO, G. (2015) «Estado mundial del recurso suelo (EMRS). Resumen técnico. Roma.», p. 16.

Farfán (2002) Determinación del índice de erosividad pluviométrica (R) de la ecuación universal de pérdida de suelos, para dos estaciones pluviométricas de la VII región del Maule. Chile: Investigación de tesis de ingeniería forestal.

Figueroa S.-Amante O. et al (2003) «Figueroa S., B., A. Amante O., H.G. Cortés T., J. Pimentel L., E.S. Osuna C., J.M. Rodríguez O. y F.J. Morales F. 1991.», TERRA, 21(2), p. 13.

FLORES-LÓPEZ ET AL. (2003) «INTEGRACIÓN DE LA EUPS A UN SIG PARA ESTIMAR LA EROSIÓN HÍDRICA DEL SUELO», TERRA, 21-2, p. 13.

Flores, M. (2017) CAPTURA DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>) EN LA “CHILLIHUA” (*Festuca dolichophylla* Presl) DE LOS PASTIZALES DEL CIP ILLPA-PUNO.

GALVIS, D. (2008) ESTIMACIÓN DE LA GENERACIÓN DE SEDIMENTOS EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO SISGA CON BASE EN LA ECUACIÓN UNIVERSAL DE PÉRDIDA DE SUELO.

Guerrero (2003) Gestión de calidad del suelo. E.P.G, UNALM. Lima.

Honorato, R., Barrales, L., Peña, I. y Barrera, F. (2001) Evaluación del modelo USLE en



- la estimación de la erosión en seis localidades entre la IV y IX región de Chile.
- INTECSA (1993) «ESTUDIO DE SUELOS-V EROSION». Perú - Bolivia, p. 205.
- Jones, C. A.-Griggs, R. H. -e. al (1992) Predicción de la erosión hídrica y eólica del suelo.
- Kirkby, M. J. (1984) Estimación de la pérdida del suelo, México: Editorial Limusa, S.A.
- Lemus, M., y Navarro, G. (2003) «Manual para el desarrollo de obras de conservación de suelos», p. 16.
- Li, Z., Fang, H. (2016) «2016. Impacts of climate change on water erosion», Earth-Sci., (163), pp. 94-117.
- López Cadenas de Llano F., M. A. J. A. y P.-S. B. A. (1984) «Metodología integrada para la determinación de los sedimentos aportados por una cuenca.», p. 17 págs.
- Mancilla, G. (2008) «Uso de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE) en el campo forestal. Apuntes Docentes, Departamento de Silvicultura, Universidad de Chile.», p. 70.
- MINAN (2010) «GUIA DE EVALUACIÓN DE FLORA Y FAUNA SILVESTRE».
- MINAN (2020) «MINAM y Gobiernos Regionales promoverán inversión pública y privada para la recuperación de ecosistemas degradados», Plataforma digital única del estado peruano, p. 2.
- MITAS, H. y MITASOVA, L. (1998) «Erosion Simulations for Effective Erosion Prevention Distributed Soil.», Water Resources Research, 34(3), pp. 505-516.
- Montesinos, S. (1990) Teledetección: su utilización en la cuantificación y seguimiento de recursos hidráulicos aplicados al regadío.
- Moreno, H. (2017) 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. Huaraz, Perú.
- Morgan, R. (1997) «Erosión y conservación del suelo», Edi Mundi Prensa.
- Ortiz, F. (1988) «Informe final de ejecución de obras de manejo de microcuencas de la



ciudad de Puno», p. 25.

- Pérez-Salinas, J.-Rodríguez, F. et al (2019) «Erodabilidad y riesgo de erosión de suelos negros del centro de México: estudio de un Phaozem Erodibility and erosion risk of black soils of central Mexico»:, Terra Latinoamericana 37: 391-400., 37, pp. 319-400.
- PISTOCCHI A., CASSANI, G. y ZANI, O. (2002) «Use of the USPED Model for Mapping Soil Erosion and Managing Best Land Conservation Practices. Regione Emilia Romagna, Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli.»
- PUNO, G. R. (2008) Plan de Desarrollo Regional Concertado al 2021.
- Puno, M. P. (2008) Plan de desarrollo urbano 2008 al 2012.
- Quintanilla, M. (2008) Producción hídrica y de sedimentos en la cuenca del río Caine del departamento de Cochabamba. Universidad Mayor de San Simón.
- Ramírez, L. (2010) Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la cuenca del río Juramento-Salta.
- Reyes, I. (2016) ANÁLISIS MULTI-TEMPORAL DEL PROCESO EROSIVO MEDIANTE IMÁGENES DIGITALES.
- Santacruz De León, G. (2011) «Estimación de la herosi3n hídrica y su relaci3n con el uso del suelo en la cuenca del río Cahocán. Chiapas México», Aqua-LAC, Aqua-LAC-, p. 9.
- Torres, E; Cortes, J; Mejía, E; Exebio, A; Santos, AL; Delgadillo, L. N. . 1: (2012) Evaluaci3n de la degradaci3n de los suelos en la cuenca el Josefino, Jes3s María, Jalisco.
- UNESCO (2010) Procesos de erosión - sedimentaci3n en cauces y cuencas. Montevideo, Uruguay.
- Vahrson, W. y Cervantes, C. (1991) Escorrentía superficial y erosión laminar en Puriscal Costa Rica.
- VALDEZ, E. (2014) ANÁLISIS DE PÉRDIDA DE SUELOS POR EROSI3N HÍDRICA EN LA SUBCUENCA CONDURIRI MEDIANTE LA



METODOLOGÍA RUSLE, 1980 - 2014.

Vallejos, P.-Zamora, G.-Jorge, J. (2010) ESTIMACIÓN DE LA TASA SEDIMENTOS EN LA CUENCA MINERA DEL LAGO POOPO MEDIANTE EL MODELO POTENCIAL DE EROSIÓN DE SUELOS (EPM) Y TENDENCIAS ANTE VARIACIONES CLIMÁTICAS – USO DE HERRAMIENTAS SIG Y TELEDETECCIÓN.

VASQUEZ, A. (2000) Manejo de Cuencas Altoandinas.

Vasquez, J. D. (2014) ANÁLISIS DE LOS FACTORES CAUSALES DE LA EROSIÓN HÍDRICA, Y SU APLICACIÓN PARA EL DESARROLLO DE UNA PROPUESTA DE RECUPERACIÓN DE SUELOS EN LA RESERVA DEL PARQUE NATURAL SIERRA NANCHITITLA.

Ventura, R. (1988) Dinámica de la erosión hídrica bajo diferentes niveles de productividad en maíz y cebada.

Zaccagnini, M. E. Wilson, M. Oszust, J. D. (2014) Manual de Buenas Prácticas para la Conservación del suelo, la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos.

Zaldívar Larraín, J. P. (2017) LA CUENCA HIDROGRÁFICA COMO PROPUESTA DE UNIDAD DE ANÁLISIS Y GESTIÓN SUSTENTABLE DEL TERRITORIO.

Zare, M., Nazari Samani, A., Mohammady, M., Salmani, H., Bazrafshan, J. (2017) «Investigating effects of land use change scenarios on soil erosion using CLUE-s and RUSLE models.», Int. J. Environ, 14, pp. 1905-1918.

ZÚÑIGA, J. (2017) DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELOS EN LA CUENCA APORTANTE DEL EMBALSE AGUADA BLANCA-AREQUIPA, APLICANDO USLE Y TECNICAS GEOESPACIALES.



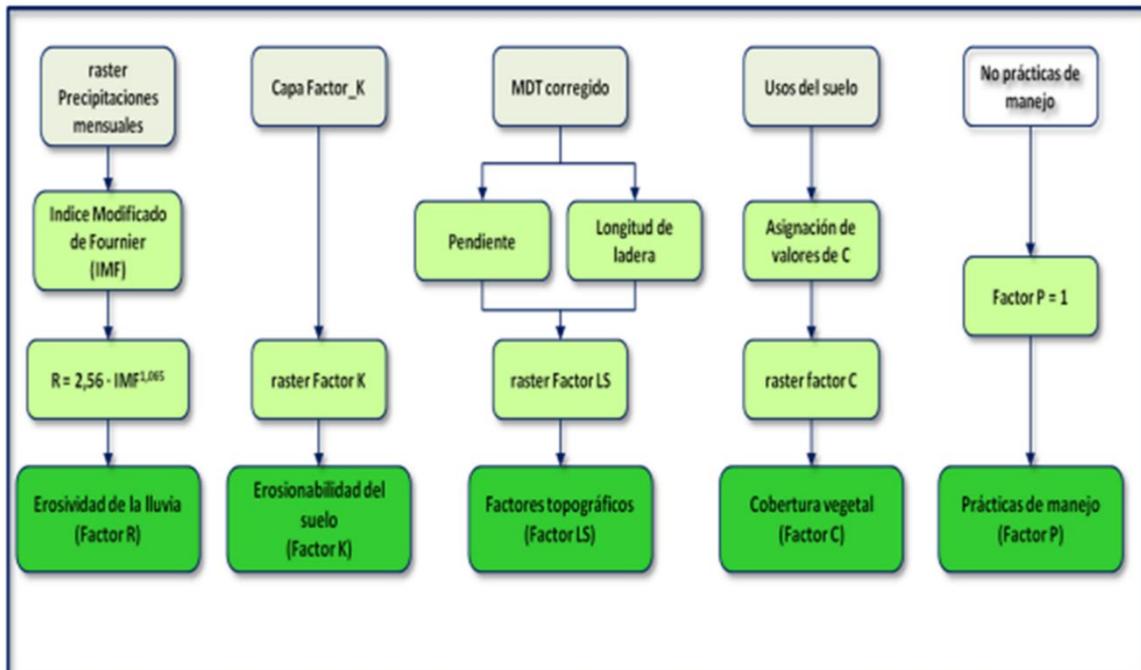
## ANEXOS

### 1. **CLASIFICADOR DE USO ACTUAL DE LA TIERRA UGI (UNIÓN GEOGRÁFICA INTERNACIONAL)**

A continuación, se muestra dicha clasificación:

1. Áreas Urbanas y/o instalaciones gubernamentales y privadas
  - Centros poblados
  - Instalaciones de gobierno y/o privadas (carreteras, granjas, canales, establos)
2. Terrenos con hortalizas
3. Terrenos con huertos de frutales y otros cultivos perennes
4. Terrenos con cultivos extensivos (papa, camote, yuca, etc.)
5. Áreas de praderas mejoradas permanentes
6. Áreas de praderas naturales
7. Terrenos con bosques
8. Terrenos pantanosos y/o cenagosos
9. Terrenos sin uso y/o improductivos:
  - Tierras en barbecho (preparación o descanso temporal)
  - Terrenos agrícolas sin uso (actualmente abandonados)
  - Terrenos de litoral, caja de río
  - Áreas sin uso no clasificadas

## 2. DIAGRAMA DE PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO PARA DETERMINAR LA PÉRDIDA DE SUELOS POR EROSIÓN HÍDRICA



## 3. UNIDADES DE LOS FACTORES DE LA EROSIÓN HÍDRICA

Factor	Símbolo	Dimensiones	Sistema Internacional
Intensidad de lluvia (mm)	I	$\frac{\text{longitud}}{\text{tiempo}}$	$\frac{\text{mm}}{\text{h}}$
Energía de la lluvia por lluvia unitaria	e	$\frac{\text{longitud} * \text{fuerza}}{\text{área} * \text{longitud}}$	$\frac{\text{megajulios}}{\text{ha} * \text{mm}}$
Erosividad de las tormentas	EI	$\frac{\text{Longitud} * \text{fuerza} * \text{longitud}}{\text{Área} * \text{tiempo}}$	$\frac{\text{Megajulios} * \text{mm}}{\text{Ha} * \text{h}}$
Perdida de suelo	A	$\frac{\text{Masa}}{\text{Tiempo} * \text{área}}$	$\frac{\text{Kg}}{\text{Ha} * \text{año}}$
Erosividad anual	R	$\frac{\text{Longitud} * \text{fuerza} * \text{longitud}}{\text{Tiempo} * \text{tiempo} * \text{area}}$	$\frac{\text{Longitud}}{\text{tiempo}}$
Erodabilidad del suelo	K	$\frac{\text{Masa} * \text{area} * \text{tiempo}}{\text{Area} * \text{longitud} * \text{fuerza} * \text{longitud}}$	$\frac{\text{T} * \text{ha} * \text{h}}{\text{Ha} * \text{megajulios} * \text{mm}}$
Longitud de la pendiente	L	$(\text{longitud} / \text{longitud})^M$	
Pendiente	P	Adimensional	
Manejo de cobertura	C	Adimensional	
Practica de conservación	P	Adimensional	

#### 4. ANALISIS DE MECANICO DE SUELOS



LABORATORIO AMBIENTAL DE  
AGUA SUELOS Y MECÁNICA DE SUELOS

ANÁLISIS  
Físico - Químico - Microbiológico  
Agua, suelo, alimentos  
Medio ambiente  
Mecánica de suelos y otros.



### ANÁLISIS MECANICO DE SUELOS

PROCEDENCIA : Micro cuenca ESCALIRANI- PUNO  
INTERESADO : Froilan Yony PACO ARPITA  
MOTIVO : Trabajo de investigación  
FECHA DE MUESTREO: Marzo del 2021  
FECHA DE ANÁLISIS : Marzo del 2021.

# ORD	CLAVE DE CAMPO	ANÁLISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>+</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %
		ARENA %	ARCILLA %	LIMO %				
01		20	10	70	Franco limoso	0.00	5.15	NC
02		55	25	20	Franco arcillo arenoso	0.00	2.85	NC
03		53	28	19	Franco arcillo arenoso	0.00	3.95	NC
04		58	26	16	Franco arcillo arenoso	0.00	2.60	NC
05		62	12	26	Franco arenoso	0.00	1.95	NC
06		49	43	8	Arcillo arenoso	0.00	3.45	NC
07		48	44	8	Arcillo arenoso	0.00	0.95	NC
08		54	24	22	Franco arcillo arenoso	0.00	3.80	NC
09		51	25	24	Franco arcillo arenoso	0.00	2.10	NC
10		52	27	21	Franco arcillo arenoso	0.00	3.10	NC
11		55	23	22	Franco arcillo arenoso	0.00	2.90	NC
12		9	35	56	Franco arcillo arenoso	0.00	4.20	NC
13		50	27	23	Franco arcillo arenoso	0.00	4.95	NC
14		64	13	23	Franco arenoso	0.00	2.10	NC
15		30	35	35	Franco Arcilloso	0.00	2.80	NC

FArA = Franco arcillo arenoso  
Ar = Arcilloso  
FArA = Franco arcillo arenoso  
CIC = Capacidad Intercambio Catiónico  
N = Nitrógeno total  
K<sup>+</sup> = Potasio cambiabile  
A = Arena  
Ca<sup>2+</sup> = Calcio cambiabile  
Na<sup>+</sup> = Sodio cambiabile  
CO<sub>3</sub><sup>+</sup> = Carbonatos  
me = mili equivalente.

FAr = Franco arcilloso  
M.O.=Materia orgánica  
P = Fósforo disponible  
K = Potasio disponible  
C.E. = Conductividad eléctrica  
SB = Saturación de bases  
Mg<sup>2+</sup> = Magnesio cambiabile  
mS/cm = mili Siemens por centímetro  
C.E. (e) = Conductividad eléctrica del extracto  
Al<sup>3+</sup> = Aluminio cambiabile  
NC = No corresponde al tipo de análisis solicitado

Ing. M.Sc. Juan Carlos Linares Caceres  
CIP: 201279  
ESPECIALISTA EN SUELOS

## 5. CUADRO DE CLASIFICACIÓN DE USO DE LA TIERRA, VEGETACIÓN Y PRÁCTICAS DE MANEJO DE LA MICROCUENCA - FAO

Uso y Cobertura vegetal		Factor C							
		Mora, 1987	FAO, 1989	ICE, 1999	Saborío, 2002; Gómez, 2002; CATIE, 2003	Marchamalo, 2004; 2007	Lianes, 2009	Morgan, 1977	SAGARPA, 2005
Bosque	Bosque primario	0.0001							
	Bosque natural			0.001-0.003			0.003		0.001 - 0.10
	Selva virgen								
	Bosque denso				0.003-0.010				
	Bosque o matorral denso, cultivos con alto porcentaje de mulch							0.001	
	Bosque claro con sub estrato herbáceo denso				0.003-0.010				
	Bosque claro son sub estrato herbáceo degradado				0.010-0.100				
	Bosque					0.003			
	Bosque secundario	0.007							
	Charral.pasto	0.018							
	Charral					0.012			
Bosque Degradado						0.037			
Cultivos Permanentes	Café, café con macadomia, café con pejiibaye	0.3							
	Cultivos perennes		0.079	0.086					

Uso y Cobertura vegetal		Factor C						
		Mora, 1987	FAO, 1989	ICE, 1999	Saborío, 2002; Gómez, 2002; CATIE, 2003	Marchamalo, 2004; 2007	Lianes, 2009	Morgan, 1977
Cultivos Permanentes	Palma						0.10-0.30	0.1 - 0.3
	Café		0.09			0.08	0.10-0.30	0.10 - 0.30
	Plátano: después de su establecimiento		0.062				0.05 - 0.10	
	Papaya						0.21	
	Cacao		0.05					0.10 - 0.30
	Cacahuete						0.3 - 0.8	0.4 - 0.8
	Cultivos permanentes asociados (densos)				0.010-0.300			
	Cultivos permanentes no densos				0,100-0.450			
	Algodón						0.40 - 0.70	0.3 - 0.49
	Algodón, tabaco							0.5 - 0.8
	Huertos de subsistencia				0.300-0.900			
Árboles frutales						0.003		
Cultivos Anuales y Transitorios	Caña, caña brava	0.05						
	Cultivos anuales		0.495	0.34				
	Papa-zanahoria o papa- cebolla		0.615					
	Maíz		0.519					0.54 - 0.80
	Maíz labranza cero							0.05 - 0.15
	Maíz rastrojo							0.10 - 0.20
	Maíz - sorgo, Mijo							0.4 - 0.9
Sorgo grano							0.43 - 0.70	



Uso y Cobertura vegetal		Factor C							
		Mora, 1987	FAO, 1989	ICE, 1999	Saborío, 2002; Gómez, 2002; CATIE, 2003	Marchamalo, 2004; 2007	Lianes, 2009	Morgan, 1977	SAGARPA, 2005
Cultivos Anuales y Transitorios	Sorgo grano rastrojo								0.11 - 0.25
	Trigo							0.10-0.40	0.15 - 0.53
	Trigo rastrojo								0.1 - 0.25
	Soya							0.20-0.50	0.48
	Soya después de maíz con Rastrojo								0.18
	Arroz							0.1-0.2	0.1 - 0.2
	Piña								0.1 - 0.3
	Piña cultivada a nivel con retirada de residuos							0.10-0.40	
	Piña cultivada a nivel con residuos en superficie							0.01	
	Tomate/chile dulce		0.502						
	Caña de azúcar		0.263			0.05		0.13-0.40	
	Cultivos anuales de ciclo corto (1-6 meses)				0.300 - 0.800				
	Cultivos anuales de ciclo largo (6 meses)				0.400 - 0.900				
	Cultivos (cobertura baja)	Cultivo barbecho				0.65			
	Cultivos (cobertura media)	Cultivo cobertura				0.5			
	Cultivos (cobertura alta)	Mixto agricultura pasto				0.4			
Patata surcos según la pendiente									

Uso y Cobertura vegetal		Factor C							
		Mora, 1987	FAO, 1989	ICE, 1999	Saborío, 2002; Gómez, 2002; CATIE, 2003	Marchamalo, 2004; 2007	Lianes, 2009	Morgan, 1977	SAGARPA, 2005
Cultivos Anuales y Transitorios	Patata, surcos transversales a la pendiente							0.10 - 0.40	
	Caupi (judía de vaca)							0.30 - 0.40	
	Fresa con cobertura de malas hierbas							0.27	
	Granado con cobertura de malas hierbas							0.08	
	Granado limpio de malas de hierbas							0.56	
	Ñame							0.40-0.50	
	Guisante de Angola							0.60-0.70	
	Judía de mungo							0.04	
	Pimiento Cafeto: después de la primera recolección							0.05	
	Papa- brócoli						0.26		
	Papa-zanahoria						0.3		
	Papa-zanahoria-papa						0.39		
	Papa-papa-brócoli						0.39		
Papa-zanahoria-brócoli						0.36			
Matorral y Pasto	Matorral denso				0.003 - 0.030				
	Matorral claro con sustrato herbáceo denso				0.003 - 0.030				
	Matorral claro con sustrato herbáceo degradado (abierto)				0.030 - 0.100				
	Páramo				0.003 - 0.040				
	Sabana o pradera herbáceas o en buenas condiciones							0.01	



Uso y Cobertura vegetal		Factor C							
		Mora, 1987	FAO, 1989	ICE, 1999	Saborío, 2002; Gómez, 2002; CATIE, 2003	Marchamalo, 2004; 2007	Lianes, 2009	Morgan, 1977	SAGARPA, 2005
Matorral y Pasto	Sabana o pradera sobre pastada							0.1	
	Pradera de herbáceas							0.01 - 0.025	
	Pasto		0.009	0.01 - 0.015		0.013			
	Pasto (natural o mejorado)		0.008						
	Pasto de corta						0.012		
	Vegetación natural baja (altura media 50cm)		0.012						
	Potrero						0.013		
	Potrero carga normal						0.002		
	Potrero degradado						0.002		
	Potrero muy degradado						0.016		
	Alfalfa								0.020 - 0.10
	Trebol								0.025 - 0.10
	Pastizal								0.004 - 0.1
	Pastizal natural completo				0.030 - 0.010				
	Pastizal natural pastoreado				0.040 - 0.200				
Pastizal cultivado (manejado)				0.003 - 0.040					
Otros	Suelo desnudo							1	
	Terrenos desprovistos de vegetación				0.900 - 1.000				
	Áreas urbanas				0.003 - 0.010	0.015			
	Lagunas y embalses				0.0001				
	Cenizas					0.9			
Masa de agua					0.0001				