

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA**  
**AMBIENTAL Y FORESTAL**



**ESTIMACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN**  
**HÍDRICA EN LA CUENCA DEL RÍO COATA UTILIZANDO EL**  
**MODELO RUSLE – 2023**

Bach. Julio Alber Mamani Capquequi

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL

Asesora: Dra. Eliana Mullisaca Contreras  
Co-Asesor: M. Sc. Hector Hugo Añamuro Luque

Juliaca, 2025

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

Mamani, J. A. (2024) *Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Coata utilizando el modelo RUSLE – 2023.*

(Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Juliaca.

**Autor:** Julio Alber Mamani Capquequi

**Título:** Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Coata utilizando el modelo RUSLE – 2023.

**Publicación:** Juliaca, 2025

**Descripción:** Cantidad de páginas (101 pp)

**Nota:** Tesis - Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal -Universidad Nacional de Juliaca.

**Código:** 01-000061-01/M21

**Nota:** Incluye bibliografía

**Asesor:** Dra. Eliana Mullisaca Contreras

**Co – asesor:** Msc. Hector Hugo Añamuro Luque

**Palabras Clave:**

Erosión hídrica, erosionabilidad, estimación, pérdida de suelos, RUSLE.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y**  
**FORESTAL**

**“ESTIMACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELO POR EROSIÓN HÍDRICA EN  
LA CUENCA DEL RÍO COATA UTILIZANDO EL MODELO RUSLE – 2023”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AMBIENTAL Y  
FORESTAL**

**Presentado por:**

**Bach. Julio Alber Mamani Capquequi**

**Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:**

M.Sc. Cesar Enrique Yupanqui Bendita

**PRESIDENTE DE JURADO**

M.Sc. Milton Quispe Tisnado

**JURADO (Secretario)**

M.Sc. Ebed David Paredes Rodriguez

**JURADO (Vocal)**

**Dra. Eliana Mullisaca Contreras**  
**ASESOR DE TESIS**

**M.Sc. Hector Hugo Añamuro Luque**  
**CO-ASESOR DE TESIS**

## **DEDICATORIA**

A Dios, por el don de la vida, por su inquebrantable presencia que me ha otorgado salud, fortaleza, constancia y paciencia en cada paso de este camino

A mis padres, Alberto y Sabina, cuyo apoyo incondicional, han sido la base de mi formación. Su ejemplo de entrega y fortaleza me ha enseñado que con esfuerzo y dedicación se pueden alcanzar los objetivos más anhelados.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la escuela profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal de la Universidad Nacional de Juliaca por haber contribuido enormemente en mi formación profesional.

A la Dra. Eliana Mullisaca Contreras y al M. Sc. Hector Hugo Añamuro Luque, asesora y co-asesor de tesis respectivamente, por orientarme y brindarme su tiempo en la elaboración de esta investigación.

Al servicio Nacional de Meteorología e Hidrología por proporcionarme los datos meteorológicos del periodo 1990–2023 para la realización de la presente investigación.

A los miembros del jurado de tesis, M.Sc. Cesar Enrique Yupanqui Bendita, M.Sc. Milton Quispe Tisnado, M.Sc. Ebed David Paredes Rodriguez por su orientación, paciencia y valiosos aportes que contribuyeron a la correcta elaboración de esta investigación.

## INDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTOS .....	ii
INDICE GENERAL .....	iii
ÍNDICE DE TABLAS .....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	ix
LISTA DE ABREVIATURAS.....	x
RESUMEN.....	11
ABSTRACT .....	12
INTRODUCCIÓN .....	13

### CAPÍTULO I

#### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema .....	14
1.2. Preguntas de investigación .....	15
1.2.1. Pregunta General .....	15
1.2.2. Preguntas Específicas .....	15
1.3. Objetivos.....	16
1.3.1. Objetivo General .....	16
1.3.2. Objetivos Específicos .....	16
1.4. Justificación .....	16
1.4.1. Tecnológico.....	16
1.4.2. Social .....	16
1.4.3. Económico.....	17
1.4.4. Ambiental.....	18

### CAPÍTULO II

#### REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la Investigación .....	19
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	19
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	21

2.1.3.	Antecedentes regionales.....	22
2.2.	Marco Conceptual .....	24
2.2.1.	Cuenca hidrográfica.....	24
2.2.2.	Clima.....	24
2.2.3.	Temperatura .....	25
2.2.4.	Etapas de la erosión hídrica.....	25
2.3.	Marco Teorico.....	26
2.3.1.	Erosión del suelo .....	26
2.3.2.	Erosión hídrica .....	26
2.3.3.	Tipos de erosión .....	26
2.3.4.	Factores de la erosión hídrica.....	27
2.3.5.	Ecuación universal de la perdida de suelo(USLE).....	28
2.3.6.	Ecuación universal de la perdida de suelo modificada (MUSLE) .....	28
2.3.7.	Ecuacion universal de la perdida de suelo revisada (RUSLE).....	28
2.3.8.	Modelo RUSLE .....	29

### CAPITULO III

#### MATERIALES Y METODOS

3.1.	Ámbito de estudio.....	34
3.1.1.	Ubicación hidrografica.....	34
3.1.2.	Ubicación geográfica .....	34
3.1.3.	Principales características de la zona de estudio .....	35
3.2.	Tipo y nivel de investigación .....	36
3.3.	Población y muestra.....	36
3.4.	Materiales de campo y equipos.....	36
3.4.1.	Datos .....	37
3.4.2.	Equipos y materiales.....	38
3.4.3.	Software .....	38
3.4.4.	Materiales de laboratorio .....	38
3.4.5.	Reactivos.....	39
3.5.	Determinación de los factores que contribuyen al incremento de erosión hídrica en la cuenca del río Coata utilizando el modelo RUSLE - 2023. ....	40
3.5.1.	Factor de erosividad (R).....	41
3.5.2.	Factor de erodabilidad (K).....	32
3.5.3.	Factor topográfico (LS).....	34
3.5.4.	Factor de cobertura (C).....	37
3.5.5.	Factor de prácticas de manejo de conservación (P).....	39

3.6.	Evaluación de las zonas más afectadas por la erosión hídrica en la cuenca del río Coata utilizando el modelo RUSLE – 2023.....	40
------	--	----

#### CAPÍTULO IV

#### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.	Determinación de los factores que contribuyen al incremento de erosión hídrica en la cuenca del río Coata utilizando el modelo RUSLE - 2023. ....	46
4.1.1.	Factor de erosividad (R).....	46
4.1.2.	Factor de erodabilidad (K).....	50
4.1.3.	Factor de cobertura vegetal (C).....	51
4.1.4.	Factor topográfico (LS).....	53
4.1.5.	Factor de prácticas de manejo P.....	55
4.2.	Evaluación de las zonas más afectadas por la erosión hídrica en la cuenca del río Coata utilizando el modelo RUSLE – 2023.....	57

#### CAPÍTULO V

#### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.	Conclusiones.....	64
5.2.	Recomendaciones.....	65
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....		66
ANEXOS.....		74

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	<i>Características de los datos</i> .....	37
<b>Tabla 2</b>	<i>Estaciones meteorológicas</i> .....	31
<b>Tabla 3</b>	<i>Verificación en campo de datos</i> .....	38
<b>Tabla 4</b>	<i>Valoración de la erosividad (R)</i> .....	41
<b>Tabla 5</b>	<i>Clasificación de los grados de erodabilidad según USDA (1962)</i> .....	41
<b>Tabla 6</b>	<i>Rango de pérdida de suelo según la FAO</i> .....	42
<b>Tabla 7</b>	<i>Factor LS en función a la pendiente</i> .....	42
<b>Tabla 8</b>	<i>Factor cobertura vegetal</i> .....	43
<b>Tabla 9</b>	<i>Variable de practica de apoyo (P)</i> .....	43
<b>Tabla 10</b>	<i>Rango de la pendiente</i> .....	44
<b>Tabla 11</b>	<i>Rango de erosión hídrica anual (A)</i> .....	44
<b>Tabla 12</b>	<i>Rango de erosión para suelos bajo agricultura</i> .....	45
<b>Tabla 13</b>	<i>Rango de erosión para suelos bajo pastoreo</i> .....	45
<b>Tabla 14</b>	<i>Promedio multimensual (1990-2023)</i> .....	47
<b>Tabla 15</b>	<i>Factor de erosividad de cada estación meteorológica de la cuenca del rio Coata (R)</i> .....	48
<b>Tabla 16</b>	<i>Rango de valores de la cuenca</i> .....	54
<b>Tabla 17</b>	<i>Variable de practica de apoyo</i> .....	56
<b>Tabla 18</b>	<i>Rango de pendientes</i> .....	57
<b>Tabla 19</b>	<i>Clasificación de la perdida de suelo</i> .....	60
<b>Tabla 20</b>	<i>Datos de precipitación de la estación Llalli</i> .....	75
<b>Tabla 21</b>	<i>Datos de precipitación de la estación Santa Lucia</i> .....	76
<b>Tabla 22</b>	<i>Datos de precipitación de la estación Taraco</i> .....	77
<b>Tabla 23</b>	<i>Datos de precipitación de la estación Puno</i> .....	78
<b>Tabla 24</b>	<i>Datos de precipitación de la estación Pucara</i> .....	79
<b>Tabla 25</b>	<i>Datos de precipitación de la estación Pampahuta</i> .....	80
<b>Tabla 26</b>	<i>Datos de precipitación de la estación Lampa</i> .....	81
<b>Tabla 27</b>	<i>Datos de precipitación de la estación Juliaca</i> .....	82
<b>Tabla 28</b>	<i>Datos de precipitación de la estación Chuquibambilla</i> .....	83
<b>Tabla 29</b>	<i>Datos de precipitación de la estación Cabanillas</i> .....	84
<b>Tabla 30</b>	<i>Datos de precipitación de la estación Azángaro</i> .....	85
<b>Tabla 31</b>	<i>Datos de precipitación de la estación Ayaviri</i> .....	86

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> <i>Nomograma de Erodabilidad del Suelo</i> .....	31
<b>Figura 2</b> <i>Mapa de ubicación de la cuenca Coata</i> .....	35
<b>Figura 3</b> <i>Diagrama de flujo de la metodología</i> .....	41
<b>Figura 4</b> <i>Flujograma para la obtención del mapa el factor R</i> .....	43
<b>Figura 5</b> <i>Histograma de datos de precipitaciones mensuales.</i> .....	44
<b>Figura 6</b> <i>Representación del flujograma para calcular el factor K</i> .....	33
<b>Figura 7</b> <i>Puntos de muestreo</i> .....	34
<b>Figura 8</b> <i>Flujograma para calcular el factor LS</i> .....	36
<b>Figura 9</b> <i>Flujograma para la obtención del mapa del factor C</i> .....	38
<b>Figura 10</b> <i>Flujograma para la determinación del factor P</i> .....	39
<b>Figura 11</b> <i>Variación de la precipitación promedio multimensual (1990-2023)Nota: elaboración a partir de los datos obtenidos de SENAMHI.</i> .....	46
<b>Figura 12</b> <i>Correlación de Pearson entre estaciones</i> .....	49
<b>Figura 13</b> <i>Factor de erosividad (R)</i> .....	49
<b>Figura 14</b> <i>Factor de Erodabilidad (K)</i> .....	51
<b>Figura 15</b> <i>Factor de cobertura vegetal</i> .....	52
<b>Figura 16</b> <i>Factor topográfico (LS)</i> .....	54
<b>Figura 17</b> <i>Factor de prácticas de manejo P</i> .....	56
<b>Figura 18</b> <i>Erosión de suelos en la cuenca del rio Coata</i> .....	59
<b>Figura 19</b> <i>Análisis de la estación meteorológica Azángaro por la prueba “T” de Student y “F” de Fisher.</i> .....	88
<b>Figura 20</b> <i>Análisis de la estación meteorológica Ayaviri por la prueba “T” de Student y “F” de Fisher.</i> .....	88
<b>Figura 21</b> <i>Análisis de la estación meteorológica Arapa por la prueba “T” de Student y “F” de Fisher.</i> .....	89
<b>Figura 22</b> <i>Análisis de la estación meteorológica Santa Lucia por la prueba “T” de Student y “F” de Fisher.</i> .....	89
<b>Figura 23</b> <i>Análisis de la estación meteorológica Taraco por la prueba “T” de Student y “F” de Fisher.</i> .....	90

<b>Figura 24</b> Análisis de la estación meteorológica Puno por la prueba “T” de Student y “F” de Fisher .....	90
<b>Figura 25</b> Análisis de la estación meteorológica Pucara por la prueba “T” de Student y “F” de Fisher.....	91
<b>Figura 26</b> Análisis de la estación meteorológica Pampahuta por la prueba “T” de Student y “F” de Fisher. ....	91
<b>Figura 27</b> Análisis de la estación meteorológica Lampa por la prueba de Student y “F” de Fisher .....	92
<b>Figura 28</b> Análisis de la estación meteorológica de Juliaca por la prueba de Student y “F” de Fisher.....	92
<b>Figura 29</b> Análisis de la estación meteorológica de Chuquibambilla por la prueba de Student y “F” de Fisher.....	93
<b>Figura 30</b> Análisis de la estación meteorológica de Cabanillas por la prueba de Student y “F” de Fisher.....	93
<b>Figura 31</b> Análisis de la estación meteorológica de Llalli por la prueba de Student y “F” de Fisher.....	94
<b>Figura 32</b> Vegetación nativa.....	95
<b>Figura 33</b> Paramo humedal.....	95
<b>Figura 34</b> Suelo con poca vegetación nativa .....	95
<b>Figura 35</b> Muestreo de suelo .....	95
<b>Figura 36</b> Análisis de las diferentes muestras mediante el método Bouyoucos.....	96
<b>Figura 37</b> Análisis de diferentes muestras mediante el método Kruskal Wallis .....	96

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1</b> : Precipitaciones medias mensuales de la cuenca Coata (1990-2023).....	75
<b>Anexo 2</b> : Resultados obtenidos en el laboratorio de las muestras de suelo .....	87
<b>Anexo 3</b> Análisis de consistencia y homogeneidad de las estaciones. ....	88
<b>Anexo 4</b> Panel fotográfico de muestreo y cobertura vegetal .....	95
<b>Anexo 5</b> Panel fotográfico de los análisis en laboratorio .....	96
<b>Anexo 6</b> Solicitud para la obtención de datos de precipitación ante SENAMHI.....	97
<b>Anexo 7</b> Matriz de correlación entre estaciones .....	98
<b>Anexo 8</b> Correlación de Pearson .....	98
<b>Anexo 9</b> Registro histórico datos existentes de estaciones meteorológicas.....	99
<b>Anexo 10</b> Correlación de las precipitaciones obtenidos a partir de los datos obtenidos en SENAMHI.....	100

## LISTA DE ABREVIATURAS

ANA	Autoridad Nacional del Agua
MINAM	Ministerio del Ambiente
RUSLE	Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelo
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
CON-MET	Convencional - Meteorológica
SENAMHI	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú
INRENA	Instituto Nacional de Recursos Naturales
PEBLT	Proyecto Especial Binacional Lago Titicaca - PEBLT

## RESUMEN

La erosión hídrica representa una amenaza crítica para la sostenibilidad ambiental, especialmente en zonas vulnerables como la cuenca del río Coata. Esta investigación tuvo como objetivo estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica mediante el modelo RUSLE (Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelo). La metodología se basa en el análisis de cinco factores: erosividad de la lluvia (R), erodabilidad del suelo (K), topografía (LS), cobertura vegetal (C) y prácticas de manejo (P). Los datos se obtuvieron a partir de diversas fuentes, incluyendo información de SENAMHI, mapas temáticos como uso del suelo MINAM, clasificación FAO, modelos digitales de elevación de ALOS PALSAR e imágenes satelitales de Sentinel 2<sup>a</sup>, complementados con muestreos de campo y análisis de laboratorio para determinar propiedades físicas del suelo. El factor R mostró valores entre 635.08 y 1353.48 MJ·mm·ha<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>·año<sup>-1</sup>, indicando una alta capacidad erosiva de las precipitaciones. El factor K osciló entre 0.0013343 t ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup>·mm<sup>-1</sup> a 0.032974 t ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, lo que refleja una moderada a fuerte erodabilidad, principalmente en suelos franco arenosos. El factor LS varió entre 0.5 y 16, siendo más alto en áreas de mayor longitud y pendiente. El factor C fluctuó entre 0 que representa buena protección y 1 mala protección, mientras que el factor P estuvo entre 0.55 y 1, evidenciando escasas prácticas de conservación. Como resultado, se estimó una pérdida de suelo promedio anual de 234.25 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Las áreas con mayores tasas de erosión se localizaron en las partes altas de la cuenca, específicamente en los distritos de Vila Vila, Paratia, Palca y Santa Lucía, los factores de precipitación, tanto topográficos y la cobertura vegetal son los principales determinantes de la intensidad del proceso erosivo.

Palabras clave:

Erosión hídrica, erosionabilidad, estimación, pérdida de suelos, RUSLE

## ABSTRACT

Water erosion poses a critical threat to environmental sustainability, especially in vulnerable areas such as the Coata River basin. The objective of this research was to estimate soil loss due to water erosion using the RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) model. The methodology is based on the analysis of five factors: rainfall erosivity (R), soil erodibility (K), topography (LS), vegetation cover (C), and management practices (P). The data were obtained from various sources, including information from SENAMHI, thematic maps such as MINAM land use, FAO classification, ALOS PALSAR digital elevation models, and Sentinel 2a satellite images, supplemented by field sampling and laboratory analysis to determine soil physical properties. The R factor showed values between 635.08 and 1353.48  $\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$ , indicating a high erosive capacity of precipitation. The K factor ranged from 0.0013343  $\text{t ha h ha}^{-1} \text{MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$  to 0.032974  $\text{t ha h ha}^{-1} \text{MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$ , reflecting moderate to strong erodibility, mainly in sandy loam soils. The LS factor ranged from 0.5 to 16, being higher in areas with greater length and slope. The C factor fluctuated between 0, representing good protection, and 1, representing poor protection, while the P factor ranged between 0.55 and 1, indicating poor conservation practices. As a result, an average annual soil loss of 234.25  $\text{t ha}^{-1} \text{year}^{-1}$  was estimated. The areas with the highest erosion rates were located in the upper parts of the basin, specifically in the districts of Vila Vila, Paratia, Palca, and Santa Lucía. Precipitation, topography, and vegetation cover are the main determinants of the intensity of the erosion process.

Keywords:

Erodibility, estimation, soil loss, RUSLE, water erosion

## INTRODUCCIÓN

La degradación del suelo es uno de los principales problemas ambientales a nivel mundial (Abdulkareem et al. 2019), donde la erosión representa aproximadamente el 85 % de este daño (Senanayake et al., 2024). Su distribución espacial en cuencas hidrográficas constituye un problema ambiental significativo y una amenaza directa para la integridad de los ecosistemas terrestres (Borrelli et al., 2021).

Los factores que determinan la erosividad en la aplicación del modelo RUSLE son fundamentales para evaluar el riesgo de erosión del suelo (Yusof et al., 2021). El factor de erosividad de la lluvia (R) cuantifica el potencial de la precipitación para desencadenar erosión, de modo que valores más altos indican una mayor capacidad erosiva, la pendiente del terreno (S) y la longitud de la pendiente (L) influyen directamente en la velocidad y acumulación del escurrimiento superficial, incrementando el riesgo de erosión en zonas con mayor inclinación y extensiones más largas (Agegnehu et al., 2020). Por su parte, el factor de cobertura del suelo (C) y el de prácticas de manejo (P) juegan un papel clave en la protección del suelo donde la vegetación disminuye el impacto de las gotas de lluvia y reduce el escurrimiento, mientras que las prácticas de conservación, favorecen la infiltración y retención de suelo y agua (Fang et al., 2024).

El modelo RUSLE permite identificar áreas críticas dentro de una cuenca que presentan mayor susceptibilidad a la erosión, facilitando la priorización de intervenciones de conservación del suelo (Schmaltz et al., 2024). Su integración con Sistemas de Información Geográfica (SIG) potencia el análisis espacial y la visualización de los procesos erosivos, lo que contribuye a una toma de decisiones más informada y lo que mejora la toma de decisiones (Pimentel, 2006). Además, el modelo RUSLE es una herramienta útil para evaluar el impacto de cambios en el uso del suelo como la deforestación o la expansión agrícola sobre la dinámica de la erosión y esta capacidad es fundamental para la planificación sostenible, ya que permite generar mapas de distribución espacial de la pérdida de suelo, los cuales no solo ayudan a detectar zonas vulnerables, sino que también brindan información estratégica para diseñar e implementar medidas de conservación adecuadas y focalizadas.

La cuenca del río Coata, caracterizada por suelos superficiales y pendientes pronunciadas, es particularmente vulnerable a la erosión hídrica. Este fenómeno se agrava durante las temporadas de lluvias intensas, donde el aporte de sedimentos y la desestabilización de laderas son evidentes, la escasa cobertura vegetal limita la capacidad del ecosistema para mitigar estos efectos devastadores. En este contexto, la cuantificación de la pérdida de suelo y la identificación de zonas críticas son fundamentales para implementar estrategias de conservación. El presente estudio se enfoca en la cuenca del río Coata, utilizando el modelo RUSLE para identificar las áreas más afectadas. Estas estrategias, basadas en la creación de mapas de susceptibilidad, buscan mitigar los impactos negativos de la erosión hídrica.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Planteamiento del problema

La erosión hídrica de los suelos es una de las principales causas de la degradación del suelo a nivel mundial, siendo el suelo un recurso finito no renovable, su pérdida y deterioro no se puede restaurar de manera inmediata. Dado que es irreversible y típicamente de gran magnitud, siendo el proceso más significativo que causa la degradación del suelo (Honorato et al., 2001). Los principales factores que influyen son las precipitaciones, propiedades del suelo, topografía y la cobertura vegetal (Camargo et al., 2017), así mismo un análisis adecuado de este problema depende en gran medida del entorno económico, ambiental y espacial (Cotler et al., 2007).

En América latina, la erosión hídrica de suelos está considerada como una de las más significativas. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2016) menciona que hay un gran impacto que afecta a numerosas zonas de la población regional, esto es uno de los mayores problemas y una grave amenaza medioambiental en la actualidad, debido al deterioro de la relación entre los recursos naturales, la población y el cambio climático (Gelagay & Minale, 2016), esta pérdida de suelo se desencadena por una variedad de factores: sobrepastoreo, incendios forestales, inadecuadas prácticas agrícolas (Terranova et al., 2009).

En el Perú la pérdida de suelos por erosión hídrica es un grave problema ambiental que afecta y pone en riesgo la seguridad hídrica y alimentaria, este fenómeno es cada vez más crítico y agresivo, en las zonas altoandinas que son las proveedoras de los principales servicios ecosistémicos hídricos como menciona el Servicio Nacional de meteorología e hidrología (SENAMHI, 2017). Nuestro país es muy diverso en cuanto a las características de los suelos en relación con la erosión hídrica y la incidencia de precipitaciones (Fernández, 2014).

En el departamento de Puno, la erosión del suelo es un problema grave que afecta a una gran área. La pérdida de suelo por erosión hídrica es el proceso predominante en una superficie significativa y es causada por diferentes actividades como: agrosilvopastoriles, humanas, mineras, adicional a ello por factores naturales como la lluvia, la sequía y el viento (GORE, 2013). La segregación, transporte de las partículas del suelo por las gotas de lluvia y el escurrimiento superficial constituyen el proceso de erosión hídrica. Los factores climáticos juegan un papel crucial en este proceso, siendo la intensidad y duración de las precipitaciones los principales desencadenantes. Además, ciertas características del suelo, como su agregación, textura y capacidad de infiltración, influyen en su susceptibilidad a la erosión.

La cuenca del río Coata se encuentra altamente vulnerable a la erosión hídrica debido a sus características fisiográficas, como pendientes pronunciadas, suelos superficiales y cobertura vegetal limitada. A pesar de esta condición, actualmente existe una escasez de información actualizada sobre el estado de la erosión del suelo en la cuenca. Los únicos datos disponibles corresponden al período 1981–2014. En este contexto, el presente estudio tiene como finalidad estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Coata, mediante la aplicación del modelo RUSLE (Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelo). Este modelo permite evaluar el grado de erosión a partir de cinco factores como: la erosividad de la lluvia (R), erodibilidad del suelo (K), topografía (LS), cobertura y manejo del suelo (C), y prácticas de conservación (P).

## **1.2. Preguntas de investigación**

### **1.2.1. Pregunta General**

¿Cuanto es la pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Coata utilizando el modelo RUSLE - 2023?

### **1.2.2. Preguntas Específicas**

- ¿Cuáles son los factores que contribuyen al incremento de erosión hídrica utilizando el modelo RUSLE en la cuenca del río Coata - 2023?
- ¿Cuáles son las zonas más afectadas por la erosión hídrica en la cuenca del río Coata utilizando el modelo RUSLE - 2023?

### **1.3.Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Coata utilizando el modelo RUSLE – 2023.

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- Determinar los factores (R, K, LS, C, P) que contribuyen a la pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Coata utilizando el modelo RUSLE - 2023.
- Evaluar las zonas más afectadas por la erosión hídrica en la cuenca del río Coata utilizando el modelo RUSLE - 2023.

### **1.4. Justificación**

#### **1.4.1. Tecnológico**

La presente investigación contribuirá al conjunto de conocimientos científicos existentes y sentará las bases para futuras investigaciones sobre el tema. Además, al combinar el modelo empírico RUSLE (Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelo) con tecnologías geoespaciales de vanguardia, como los Sistemas de Información Geográfica (SIG), se obtendrán datos completos sobre la pérdida de suelo causada por la erosión hídrica. La pérdida anual de suelo en la cuenca del río Coata se puede estimar de forma cuantitativa y espacialmente explícita utilizando este método. El uso del SIG facilita el análisis rasterizado capa por capa (factores R, K, LS, C y P), lo que permite modelar la erosión con alta resolución espacial, garantizando resultados confiables y visualizables. Este enfoque metodológico integrado representa una herramienta innovadora y replicable en otras cuencas con condiciones similares, fortaleciendo la toma de decisiones basada en evidencia científica y tecnológica.

#### **1.4.2. Social**

La erosión del suelo no es solo es un problema medioambiental, la erosión del suelo supone un riesgo social para las poblaciones rurales cuyo sustento depende de la agricultura. Muchas familias de la cuenca del río Coata se dedican a actividades agrícolas, como la ganadería y el cultivo de papa y

quinua, lo que hace que la tierra sea más susceptible a la erosión si no se gestiona de forma sostenible. La pérdida de capa arable reduce la productividad de los cultivos, amenaza la seguridad alimentaria y puede forzar el desplazamiento de poblaciones hacia zonas más estables. Esta investigación permitira una mejor visualización de los datos y una comunicación efectiva con las partes interesadas como gobierno local, regional y nacional, permitiendo así una mejora en el control de un manejo integrado de toda la cuenca del río Coata y la mejora en la calidad de vida de las comunidades locales y asegurando su bienestar a largo plazo. Al generar información accesible y espacialmente precisa, este estudio busca empoderar a las comunidades locales y a las autoridades regionales para que participen activamente en la gestión sostenible del territorio, fortaleciendo así la resiliencia social frente a la degradación de los recursos naturales.

#### **1.4.3. Económico**

La erosión del suelo representa una pérdida significativa de capital natural que impacta sectores clave como la agricultura, la ganadería y la infraestructura hídrica. La pérdida de suelo fértil reduce el rendimiento de los cultivos, aumentando los costos de fertilización y disminuyendo los ingresos de los agricultores. Además, los sedimentos generados por la erosión pueden colmatar los embalses, ríos y sistemas de riego, lo que incrementa los costos de mantenimiento y reduce la eficiencia de los proyectos hídricos. Especialmente en la cuenca del río Coata, donde el relieve y las precipitaciones intensas favorecen la erosión, estos impactos pueden agravarse con el cambio climático. Al estimar la tasa de pérdida de suelo mediante el modelo RUSLE, este estudio proporciona información valiosa para priorizar inversiones en conservación del suelo, optimizando el uso de recursos públicos y privados. Los resultados permitirán a las autoridades identificar áreas donde aplicar las intervenciones como reforestación, terrazas o sistemas agroforestales, tendrán el mayor retorno económico y ambiental, contribuyendo así a un desarrollo rural más sostenible y resiliente.

#### **1.4.4. Ambiental**

La erosión hídrica es uno de los principales procesos de degradación del suelo, como la cuenca del río Coata, esto no solo reduce la fertilidad del suelo, sino que también afecta negativamente la calidad del agua, aumenta la sedimentación de ríos y afecta los ecosistemas acuáticos y terrestres. Las pendientes pronunciadas, la intensidad de las lluvias y los cambios en el uso del suelo como la expansión agrícola incrementan la vulnerabilidad en la cuenca del río Coata. Este estudio permite evaluar de manera integral el impacto ambiental de estas actividades, identificando zonas críticas donde la erosión supera los niveles tolerables. Al integrar el modelo RUSLE con SIG, se logra una representación espacial detallada del riesgo de erosión, lo que facilita la implementación de medidas de conservación enfocadas en proteger las cabeceras de cuenca, restaurar áreas degradadas y conservar la biodiversidad. Además, al reducir la pérdida de suelo, se contribuye indirectamente a la mitigación del cambio climático, ya que los suelos fértiles almacenan más carbono orgánico. Por tanto, esta investigación no solo aporta al conocimiento científico, sino que también apoya la gestión sostenible de los recursos naturales y la conservación de los ecosistemas.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. Antecedentes de la Investigación

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Al-hasn et al. (2024) realizaron una evaluación de la erosión hídrica en la cuenca del río Al-Sanaoubar, Siria, mediante la integración de Sistemas de Información Geográfica (SIG), técnicas de teledetección y el modelo RUSLE. El estudio permitió estimar espacialmente la pérdida de suelo, revelando valores que oscilan entre 0 y 138,15 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, con una tasa media de 52,4 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y una pérdida total anual estimada de 12606.11 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Los resultados evidencian un alto grado de degradación del suelo en la región, especialmente en áreas con pendientes pronunciadas.

Shara Guche et al. (2024) evaluaron la erosión del suelo en la cuenca del río AL-Sana, en la costa de Siria, buscó determinar la velocidad de pérdida de suelo utilizando sistemas de información geográfica (SIG), técnicas de teledetección y RUSLE. Los resultados mostraron que la pérdida de suelo en la cuenca oscilaba entre 0 y 123,15 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, con un promedio de 51,4 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y una pérdida total anual de 11.505,11 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Este análisis resalta la gravedad del fenómeno y la utilidad de estas herramientas para evaluar y mitigar el impacto de la erosión en áreas vulnerables.

Arias et al. (2023) determinaron que la erosión hídrica varía entre 0 y 812,30 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, con una tasa media de 32,79 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. En el área de estudio, las coberturas de bosque y páramo presentaron tasas de erosión media inferiores al umbral sostenible de 10 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, mientras que las zonas sin vegetación y los cultivos mostraron mayor predisposición a altas tasas de pérdida de suelo.

Getu et al. (2022) evaluaron la erosión hídrica del suelo en la cuenca Megech para la planificación y toma de decisiones mediante el modelo

RUSLE, integrado con ArcGIS, para identificar la pérdida anual de suelo y localizar zonas críticas. El modelo RUSLE estimó una pérdida total de 1399.210 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y una tasa variable entre 0.08 y más de 500 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Se generó un mapa de severidad con 7 clases para 27 subcuencas, destacando la alta cobertura de erosión en la cuenca.

Saha et al. (2022) estimaron la tasa anual de erosión del suelo en la cuenca Jamuna mediante la aplicación del modelo RUSLE, donde los resultados indicaron una pérdida total de 598.232 toneladas de suelo, con una tasa media de 29,5 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Las uniones de Bogra, Sirajganj y Jamalpur mostraron los valores más altos, asociados a precipitaciones intensas y pendientes pronunciadas, mientras que en Pabna y Natore las tasas fueron menores debido a terrenos planos y mayor cobertura vegetal.

Dissanayake y Morimoto (2019) estudiaron la cuenca de Kotmale, Sri Lanka, mediante el modelo RUSLE y sistemas de información geográfica (SIG), para evaluar la pérdida de suelo de forma cuantitativa y espacial. Los resultados mostraron una erosión anual entre 0 y 472 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, con una media de 9,8 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Este enfoque permitió generar un mapa de prioridades para la conservación del suelo, útil en la planificación sostenible de los recursos hídricos y edáficos.

Fayas et al. (2019) evaluaron la severidad de la erosión en la cuenca del río Kelani mediante el modelo RUSLE integrado con SIG, utilizando datos de precipitación, mapas de suelos, uso del suelo y otros factores. La erosión anual varía entre 0 y 103,7 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, con una pérdida media estimada de 10,9 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. El modelo indica que alrededor del 70 % de la cuenca presenta erosión de baja a moderada.

### 2.1.2. Antecedentes nacionales

Carrión et al. (2023) evaluaron la erosión del suelo en la cuenca baja del río Virú, mediante el modelo RUSLE, los factores analizados mostraron. El factor R entre 22.93 y 57.90 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, factor K de 0.23008 a 0.867361, factor LS con valores de 0.03 a 375, factor C de 0.054, indicando escasa cobertura vegetal; y P entre 0.55 y 1, reflejando bajas prácticas de conservación. La pérdida de suelo estimada fue de 20.4 a 57.14 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, niveles por encima de lo tolerable, lo que evidencia una erosión significativa en la zona.

Alvarez (2020) realizó el análisis de la erosión en la subcuenca del río Ichu, Huancavelica, mediante el modelo RUSLE donde mostro un factor R entre 51 y 201 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, indicando alta erosividad. El factor K varió de 0.023 a 0.096, con suelos de baja a moderada erodabilidad. El LS alcanzó valores de 0.03 a 550.7, reflejando fuertes pendientes. El C osciló entre 0.014 y 1.00, con cobertura vegetal muy variable, y el P se asumió en 1, sin prácticas de conservación. La pérdida de suelo fue de 0.46 a 406.98 t ha<sup>-1</sup>·año<sup>-1</sup>, evidenciando erosión severa en zonas críticas.

Perales (2019) evaluó la pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Supte, Huánuco, mediante el modelo RUSLE. El factor R con 27.50 40.74 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> donde indica erosividad moderada. El factor K (0.3230–0.6784) revela suelos fuertemente erodables, y el LS supera 7 en amplias zonas, lo que denota alto potencial erosivo. La erosión potencial alcanza 50 200 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, mientras que la actual es baja, con el 62.49 % del área por debajo de 0.5 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, evidenciando protección natural o manejo favorable.

Atauje (2018) estimó la perdida de suelo por erosion hidrica en la cuenca Huatatas, Ayacucho, en la cual determinó el factor R que varia entre 527-563 MJ.mm.ha<sup>-1</sup>.hr<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> teniendo como factor erosivo alto, respecto al factor K calculó de 0.019 - 0.021 t ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>; el factor LS varia

de 0.03 hasta 85, en la determinación del factor C de 0.15 un área de la cual tiene una superficie total de 229,37 km<sup>2</sup> y un perímetro de 79,27 km.

Nakaya (2018) Evaluó la susceptibilidad erosiva en la cuenca del río Tingo, Cajamarca. El factor R oscila entre 800 y 900 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, indicando alta erosividad pluviométrica. El factor K varía ampliamente 0.1428 - 5380.8738 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> reflejando suelos con erodabilidad muy variable. El factor LS es mayormente inferior a 8, lo que sugiere pendientes moderadas a bajas. El factor C varía de 0.035 vegetación herbácea a 0.25 cultivos anuales, indicando diferente grado de protección del suelo.

### **2.1.3. Antecedentes regionales**

Chili (2024) utilizó la teledetección y los sistemas de información geográfica (SIG) para aplicar la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) a la erosión hídrica media anual en la cuenca del río Illpa, que abarca 1270,34 km<sup>2</sup>. Con enfoque cuantitativo y diseño no experimental, utilizó técnicas estadísticas para analizar los factores de erosividad, erodabilidad, topografía y cobertura vegetal, obteniendo una erosión media anual de 58.93 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>.

Valeriano y Mamani (2023) realizaron un estudio en la cuenca del río Sapancota (Pucará, Perú) para proyectar la acumulación de sedimentos en el embalse a 5, 10, 20 y 50 años, usando el modelo USLE. Para estimar la erosión y el transporte de sedimentos, tuvieron en cuenta variables como las precipitaciones, el suelo, la pendiente, la longitud de la ladera y la cubierta vegetal. La tasa de erosión fue de 1005 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, lo que ayuda a prever la sedimentación y planificar acciones para reducirla.

Paco (2022) estudió la microcuenca del río temporal Escalerani, donde se estimó una erosión potencial de 257.60 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y una erosión hídrica actual de 92.59 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. De esta última, 34.48 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> corresponden al sedimento transportado fuera de la cuenca y 58.11 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> a la retención interna por los muros de defensa. La planificación agrícola y la

gestión sostenible de los recursos naturales de la cuenca dependen de estos hallazgos.

Condori (2018) determinó el volumen de pérdida de suelo por erosión hídrica en la microcuenca de San Francisco de Chañajari, utilizando el modelo RUSLE. Donde evaluó factores como la erodibilidad del suelo (K), la erosividad (R), la topografía (LS), la cobertura vegetal (C) y las técnicas de conservación (P). Los resultados muestran que el 9,34 % de la región presenta una erosión crítica de  $49,75 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , mientras que el 10,47 % tiene un riesgo muy alto de pérdidas de  $55,77 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Estos valores ponen de relieve las zonas especialmente vulnerables, lo que subraya la necesidad de aplicar medidas de conservación del suelo.

## **2.2. Marco Conceptual**

### **2.2.1. Cuenca hidrográfica**

Es un área geográfica natural delimitada por una divisoria topográfica (Divortium Aquarum) que capta las precipitaciones y drena el agua de escorrentía hacia un colector común, denominado río principal (Vásquez, 2016). Además, se define como un territorio determinado por la topografía, drenado por un curso o sistema de agua conectado a fuentes de agua y de fácil acceso (Aranque, 2019). En esencia, la cuenca hidrográfica es una unidad fisiográfica conformada por el conjunto de sistemas de cursos de agua definidos por el relieve, donde el agua proveniente de la precipitación forma un curso principal de agua (Barrientos, 2018).

#### **a. Cuenca endorreica**

Son cuencas en las que el punto de efluencia de las aguas superficiales se localiza dentro de la misma cuenca, pudiendo ser un lago o una laguna (Vasconez et al., 2019).

#### **b. Cuenca exorreica**

Son cuencas cuyo efluente de aguas superficiales es un río importante que desemboca en el océano (Vasconez et al., 2019).

#### **c. Cuenca arreica**

Es aquella en la que el agua no fluye hacia las masas acuáticas, sino que se infiltra en el subsuelo, o aquella en la que el agua no fluye hacia las masas acuáticas, sino que se infiltra en el subsuelo o se evapora (Vasconez et al., 2019)..

### **2.2.2. Clima**

Es un conjunto de condiciones atmosféricas que definen una región durante un período prolongado, normalmente de 30 años o más. Incluye

elementos como la temperatura, la precipitación, la humedad, el viento y la presión atmosférica (Linés, 2010)

### **2.2.3. Temperatura**

Es una medida de la energía cinética promedio de las partículas en un sistema, que determina el grado de calor o frío del mismo. Se expresa en grados Celsius (°C) (Yartsev, 2024).

### **2.2.4. Etapas de la erosión hídrica**

En el proceso de erosión hídrica es la separación de las partículas del suelo en lugares elevados debido a la escorrentía superficial y la energía de las gotas de lluvia. Estos agentes no solo desagregan el suelo, sino que también lo transportan hacia zonas más bajas (Wischmeier, 1959).

El proceso de erosión hídrica se compone de tres fases:

#### **a. Desprendimiento**

Cuando las lluvias caen sobre el suelo. La energía cinética de estas gotas se transfiere al suelo al caer, lo que rompe los terrones y agregados, liberando partículas finas y estas partículas pueden taponar los poros superficiales, lo que provoca el sellamiento del suelo como se observa y reduce la infiltración del agua. Además, en terrenos con pendiente, parte de estas partículas es transportada ladera abajo por la escorrentía. Este proceso, causado directamente por el impacto de las gotas, se conoce como erosión por salpicadura (Ares y Varni, 2016).

#### **b. Transporte**

Consiste en el desplazamiento del material desprendido por el agua que fluye sobre la superficie del suelo. Este escurrimiento puede presentarse de dos formas: como flujo laminar, con velocidad baja y escasa capacidad de transporte o como flujo concentrado y turbulento, con mayor velocidad y capacidad tanto para transportar

sedimentos como para desprender nuevas partículas (Ares y Varni, 2016).

### **c. Sedimentación**

Las partículas en suspensión se depositan en zonas de menor pendiente, en la base de laderas, cauces, planicies aluviales o cuerpos de agua. Este proceso no solo altera la morfología del terreno, sino que también afecta la calidad de los cuerpos receptores al incrementar la turbidez y reducir la capacidad de almacenamiento de embalses o lagos (Ares y Varni, 2016).

## **2.3.Marco Teorico**

### **2.3.1. Erosión del suelo**

La erosión, en principio es un fenómeno natural que implica el desprendimiento de suelo y fragmentos de roca (Camargo et al., 2017). La erodibilidad de los suelos frente a la erosión estará marcada por el poder de adhesión de sus partículas constituyentes y por su capacidad de infiltración.

### **2.3.2. Erosión hídrica**

Es un proceso que implica la pérdida de la capacidad productiva de las tierras agrícolas, por parte de la acción del agua que cae o se mueve sobre un terreno con condiciones favorables (Matías et al., 2020). El proceso de erosión hídrica es complicado porque incluye la desagregación provocada por el impacto de las gotas, el esparcimiento causado por el flujo de agua superficial y el transporte por escurrimiento (Konstantinos y Vlassios, 2019).

### **2.3.3. Tipos de erosión**

#### **a. Erosión laminar**

Es la forma de erosión que se produce cuando una fina gota de agua salpica la superficie del suelo, provocando una erosión laminar que provoca la pérdida de una fina capa de partículas (Duque, 2021).

#### **b. Erosión pluvial**

El efecto de la lluvia sobre un suelo árido con vegetación separa y mueve la capa superior del suelo y el impacto reduce la permeabilidad,

promueve la escorrentía y se suma al poder erosivo del agua de evacuación (Duque y Escobar, 2016).

**c. Erosión por surcos**

La erosión en surcos se refiere a la cantidad de suelo que un agricultor puede eliminar con los implementos de labranza, ya que la escorrentía concentrada tiene una mayor capacidad para desprender y transportar suelo en comparación con el flujo laminar, lo que incrementa las tasas de erosión (Cisneros et al., 2012)

**d. Erosión en cárcavas**

Son la manifestación más evidente y llamativa del proceso de erosión y estas se forman debido a la acción del escurrimiento sobre la superficie del suelo (Cisneros et al., 2012).

**2.3.4. Factores de la erosión hídrica**

Las principales causas de la erosión hídrica son las siguientes

**a. Clima**

El factor principal es la precipitación y su energía cinética tiene una relación directa con la erosión, es esencial conocer la cantidad y distribución de las tormentas, utilizando estaciones meteorológicas y modelos matemáticos, así como la intensidad, que determina la energía cinética responsable de los procesos de desprendimiento y escurrimiento (Cisneros et al., 2012).

**b. Relieve**

El aspecto más relevante del relieve que impacta la erosión hídrica es la inclinación de la pendiente. Además, la longitud de la pendiente influye en la cantidad de erosión en una ladera y en la velocidad de la escorrentía. La complejidad de la pendiente está relacionada con la uniformidad de los gradientes, direcciones y longitudes, lo que afecta significativamente el proceso de erosión hídrica (Cisneros et al., 2012).

**c. Suelo**

Este aspecto se refiere a los mecanismos que regulan la resistencia de las partículas del suelo a la separación y el transporte, así como a la

absorción de la lluvia. La magnitud de estos procesos depende de las características del suelo, como su estructura, textura, contenido de materia orgánica y permeabilidad (Cisneros et al., 2012).

**d. Cobertura vegetal**

La vegetación disminuye el potencial de erosión hídrica del suelo al interceptar y reducir la energía cinética de las gotas de lluvia, aumentar la capacidad de infiltración del suelo y mejorar la resistencia del mismo (Soriano, 2012).

**e. Topografía**

El factor fundamental en la erosión hídrica, además del relieve y el porcentaje de pendiente (FAO, 2000).

**2.3.5. Ecuación universal de la pérdida de suelo (USLE)**

Es un modelo matemático desarrollado para predecir la pérdida promedio de suelo por erosión hídrica en terrenos agrícolas o de otra índole. Este modelo considera factores como la erosividad de la lluvia, la erosionabilidad del suelo, la longitud y pendiente del terreno, el tipo de cobertura vegetal y las prácticas de manejo (Wischmeier y Smith, 1978).

**2.3.6. Ecuación universal de la pérdida de suelo modificada (MUSLE)**

Es una versión adaptada de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE), diseñada específicamente para estimar la pérdida de suelo causada por eventos individuales de lluvia o tormentas emplea la energía del volumen de escorrentía y el pico de flujo de la tormenta para calcular la erosión hídrica. Este enfoque mejora la precisión de las estimaciones en eventos específicos, especialmente en cuencas hidrográficas pequeñas o sistemas de gestión de aguas (Williams, 1975).

**2.3.7. Ecuación universal de la pérdida de suelo revisada (RUSLE)**

Es el modelo para estimar la pérdida de suelo, de acuerdo a Wischmeier y Smith (1978), este modelo considera una situación real a nivel de

cuenca(Yesuph y Dagneu, 2019) se puede calcular la pérdida promedio del suelo en cualquier lugar utilizando el método RUSLE basado en cinco parámetros principales. Cada uno de estos parámetros puede ser expresado matemáticamente (Mengistu et al., 2015).

$$A=R*K*LS*C*P \quad (Ecu. 1)$$

Donde:

A : Pérdida de suelo anual promedio ( $t\ ha^{-1}\ año^{-1}$ )

R : Factor de erosividad de lluvia ( $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ año^{-1}$ )

K : Factor de erosionabilidad del suelo ( $t\ ha\ h\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$ )

LS: Factor topográfico (adimensional)

C : Factor de cobertura y gestión (adimensional)

P : Práctica de soporte (adimensional)

### 2.3.8. Modelo RUSLE

#### a. Factor erosividad (R)

La erosividad de la lluvia y la capacidad para provocar erosión, se representa mediante el factor R. Es una función de dos características de las lluvias intensas: la energía cinética y la intensidad máxima durante 30 minutos (Cisneros et al., 2012).

Según la formulación original del autor, la erosividad se determina teniendo en cuenta la erosividad de cada tormenta y es el producto de la intensidad máxima en 30 minutos y la energía total de la precipitación, tal y como indica la siguiente fórmula.

$$R = \frac{\sum(EI_{30})}{N} \quad (Ecu. 2)$$

Donde:

EI: se calcula dividiendo la energía total de la tormenta por su intensidad máxima en 30 minutos (EI: energía-intensidad).

N: es la cantidad de tormentas erosivas que se producen durante un período de n años. Para una localidad en particular se halla R Índice de Erosividad de la lluvia, sumando los promedios anuales de “EI”.

La aplicación de la metodología anterior requiere datos de precipitación muy detallados, de difícil obtención. Por ello, muchos autores han señalado las limitaciones para usar esta formulación en territorios con red pluviométrica escasa o irregularmente distribuida, como el caso de Perú.

Actualmente existen formulaciones alternativas que permiten estimar de forma más sencilla el índice de erosividad de la lluvia (factor R), como la relación empírica (Ecu. 3) propuesta por Wischmeier y Smith (1978), ampliamente utilizada en diversos estudios con buenos resultados.

$$IF = \sum_{i=1}^{12} 1.735 \times 10^{(1.5 \times \log(\frac{P_i^2}{P}) - 0.08188)} \quad (\text{Ecu. 3})$$

Donde:

IFM: Índice de Fournier modificado en mm

P<sub>i</sub> : Precipitación del mes (mm).

P : Precipitación total anual (mm).

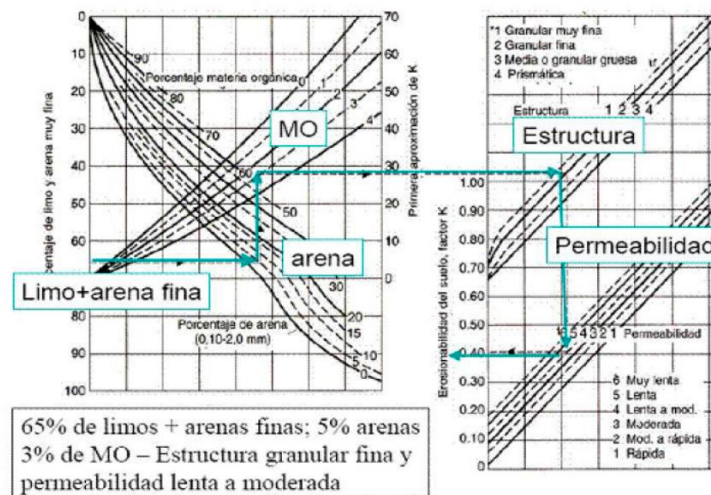
b. Factor de erodabilidad del suelo (K)

Este factor cuantifica la susceptibilidad del suelo a la pérdida mediante parámetros como textura, estructura y otros. El factor K varía entre 0 y 1, donde valores cercanos a 0 indican suelos poco erosionables y cercanos a 1, suelos desnudos y altamente susceptibles. Los suelos con textura fina y alto contenido de arcilla presentan bajos valores de K. Los de textura gruesa, como los arenosos, también tienen valores bajos debido al reducido escurrimiento, aunque son fácilmente desprendibles. Los suelos de textura media (francos limosos) muestran valores

moderados de K, por su susceptibilidad intermedia al desprendimiento y al escurrimiento (Williams y Arnold, 1997).

**Figura 1**

*Nomograma de Erodabilidad del Suelo*



Nota: extraído de la FAO 1984

$$K=A*B*C*D*0.1317$$

(Ecu. 4)

Donde cada letra contiene una formula:

$$K = [0.2+0.3\exp(-0.0256SAN(1-(SIL100)))]$$

$$B = [(SIL)/(CLA + SIL)]^{0.3}$$

$$C = [1.0 - (0.25C + \exp[(3.72 - 2.95C)])]$$

$$D = [1.0 - (0.70SN1SN1+\exp[(-5.41 - 22.9SN1)])]$$

### c. Factor topográfico (LS)

El factor LS de RUSLE es un factor netamente topográfico dependiente de las longitudes y pendientes del terreno a evaluar (Renard et al., 1997) en este caso a nivel de cuenca hidrográfica.

Un área estándar con una longitud de 22,3 m y una pendiente del 9 % utilizada como condición de referencia para la definición del factor LS

en la creación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (RUSLE). Este factor representa el porcentaje de pérdida de suelo relacionado con una longitud y una pendiente específicas del terreno.

Longitud de la pendiente (Factor L), es un factor adimensional y se calcula según la fórmula de (McCool et al., 1989) cuya ecuación es:

$$L = \left[ \frac{\lambda}{22.13} \right]^m \quad (\text{Ecu. 5})$$

Donde:

L: Factor longitud de la pendiente.

$\lambda$ : La longitud de la pendiente (m).

m: La longitud y el grado de inclinación influyen en el exponente.

22.13: Valor que depende del tamaño típico de una parcela de observación.

El exponente m se calcula como:

$$m = \frac{\beta}{1 + \beta} \quad (\text{Ecu. 6})$$

El valor de  $\beta$  se calcula como:

$$\beta = \frac{\sin \theta / 0.0896}{3(\sin \theta)^{0.8} + 0.56} \quad (\text{Ecu. 7})$$

Donde:

$\theta$ : Ángulo de la pendiente que será transformado de grados a radianes.

La longitud de la pendiente se calcula como:

$$\lambda = \frac{DX}{\cos \theta} \quad (\text{Ecu. 8})$$

Donde:

DX: Distancia entre píxeles.

Para el factor topográfico, la inclinación de la pendiente(S)

**d. Factor de cobertura (C)**

El factor de cobertura vegetal explica la respuesta de la vegetación ante la fuerza erosiva de la precipitación, controlando tanto la energía con la que las gotas de la lluvia impactan en la superficie, como la velocidad de la escorrentía superficial, donde se entiende que cuando la cobertura vegetal es poca el valor de C es grande y cuando la vegetación es más densa el valor de C disminuye. Si un factor C de 0.15 representa el sistema de manejo de un determinado cultivo, esto significa que la erosión será reducida en 15% de la cantidad que hubiera ocurrido bajo condiciones de barbecho continuo (Deng et al., 2008).

**e. Factor de las prácticas de manejo (P)**

Las prácticas mecánicas o manejo del terreno son un factor atenuante del proceso erosivo, su principal objetivo es controlar los escurrimientos superficiales para disminuir la erosión hídrica en terrenos con pendiente, considerando estas prácticas de manejo como cultivos en contorno, fajas y terrazas, P depende de la pendiente del terreno, su cálculo es a través de tablas y sus valores varían de entre 0 y 1. Cuando no existen prácticas de conservación P es igual a 1 (Ganasri y Ramesh, 2016).

## CAPITULO III

### MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. **Ámbito de estudio**

La cuenca del río Coata se encuentra ubicada en el departamento de Puno, en la región hidrográfica del Titicaca. La cuenca del río Coata está conformada por las cuencas de los ríos Cabanillas y Lampa que al unirse forman el río Coata. La superficie total de la cuenca Coata es de 4908.44 Km<sup>2</sup> (figura 1) su altitud media es de 4336.12 m.s.n.m.(SENAMHI, 2013).

La cuenca del río Coata se encuentra en las siguientes coordenadas:

Este : 263554 – 401525

Norte : 8328327- 8239697

Altitud : 3831 - 5422

##### 3.1.1. **Ubicación hidrográfica**

Por la parte norte : Cuenca Coata

Por la parte este : Lago Titicaca

Por la parte sur : Cuenca Illpa y cuenca Alto Tambo

Por la parte oeste : Cuenca Chili y cuenca Colca Siguas

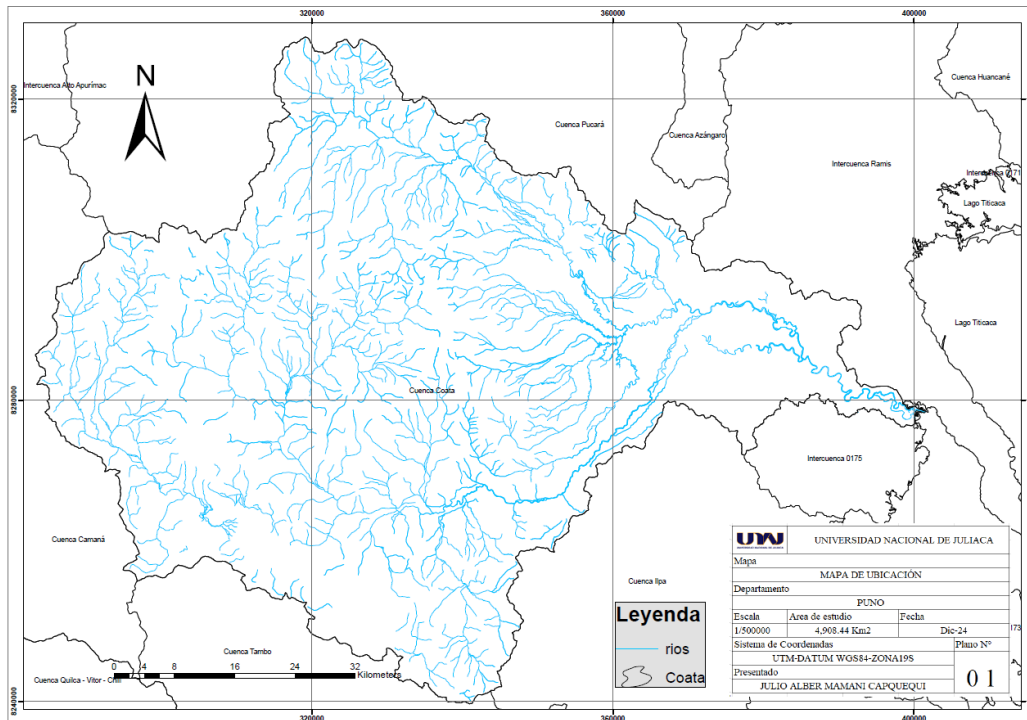
Desembocadura : Lago Titicaca

##### 3.1.2. **Ubicación geográfica**

La cuenca del río Coata se ubica íntegramente dentro del Departamento de Puno, ocupa las superficies de las provincias de San Román, Lampa y parte de las provincias de Puno y Huancané (INRENA, 2008) cuyos distritos que involucra la cuenca son: Santa Lucía, Paratia, Palca, Lampa, Vila Vila, Cabanillas, Cabanilla, Juliaca, Cabana, Caracoto, San Miguel, Pusi, Huata y Coata, Además, el 24.30% de área de la cuenca se ubica en San Román, el 74.98% en Lampa y el 0.52% en Puno y 0.20% en Huancané.

**Figura 2**

*Mapa de ubicación de la cuenca Coata*



### 3.1.3. Principales características de la zona de estudio

#### a. Clima

La región presenta tres estados distintos: un estado húmedo, de noviembre a marzo; un estado seco, de junio a agosto y dos estados de transición, en abril y octubre.

#### b. Geomorfología

La cuenca Coata abarca planicies sedimentarias entre 3850 y 3900 msnm erosionadas por ríos hacia la cuenca del lago Titicaca, lomas de rocas carbonatadas que superan los 4200 m.s.n.m. en el norte de Coata, y cerros aislados de rocas volcánicas y detríticas en las proximidades de Atuncolla y Juliaca. Esta región comprende la cuenca del río Coata, que vincula estas formaciones con el lago Titicaca (Espinoza, 2021).

### **3.2. Tipo y nivel de investigación**

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo, ya que se basa en la recolección y análisis de datos numéricos para medir la magnitud y las causas de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Coata.

### **3.3. Población y muestra**

Para la presente investigación la población será toda la cuenca con un área de 4908.44 Km<sup>2</sup>, puesto que el modelo RUSLE considera todo el área de investigación para el análisis sin dejar fuera ninguna superficie, para lograr una mayor precisión en los resultados (Getu et al., 2022) y la muestra determinada para el presente análisis representa toda la extensión de la cuenca del río Coata.

### **3.4. Materiales de campo y equipos**

Los materiales que se utilizaron en la presente investigación incluyen datos obtenidos a partir de imágenes satelitales, además los datos obtenidos de SENAMHI y se recopilieron datos en campo (análisis de muestras de suelo), Además, se utilizarán herramientas de tecnologías de la información, incluidos equipos y softwares especializados (ArcGIS).

### 3.4.1. Datos

**Tabla 1**

*Características de los datos*

Tipo de dato	Fuente	Descripción
Cuencas hidrograficas	Autoridad Nacional del Agua- ANA	Delimitación de la cuenca Coata
Red Hídrica	Autoridad Nacional del Agua- ANA	Ríos y quebradas
Mapa tematico de cobertura y uso de suelo	MINAM	Mapa de uso del suelo
Mapa Global del suelo	FAO	Mapa de clasificación del suelo realizado por la FAO
Topografía	ALOS PALSAR DEM- Agencia Japonesa de Exploración Aeroespacial(JAXA)	Modelo digital de elevación(DEM) resolución 12.5m x12.5m
Sentinel 2 <sup>a</sup>	Agencia Espacial Europea ESA del programa espacial Copernicus	Imagen de satélite con una resolución de 10mx10m

Nota: Datos obtenidos de diferentes fuentes bibliograficas

### **3.4.2. Equipos y materiales**

- Navegador GPS
- Cámara fotográfica
- Pizarra acrílica
- Libreta de campo
- Plumones
- Pala
- Bolsas para muestras de suelo
- Computador portátil
- Batidora
- Pala de jardinería
- Etiquetas de identificación
- Pico
- Balde

### **3.4.3. Software**

- ArcGIS
- Microsoft Office
- Rstudio
- Qgis

### **3.4.4. Materiales de laboratorio**

- Probetas de 1000 mL
- Varilla de metal agitador
- Densímetro de Bouyoucus
- Mortero
- Tamizador
- Cucharilla
- Balanza electrónica
- Agua destilada
- Espatula
- Matraz de Erlenmeyer
- Vasos precipitados 500 ml

- Soporte universal
- Fiola de 50ml, 100ml, 250 ml, 500ml
- Balanza analitica
- Gotero

#### **3.4.5. Reactivos**

- Hexametafosfato sodico 1 %
- Hidróxido de sodio 10 %
- Alcohol amilico
- Acido Sulfurico
- Acido fosforico
- Dicromato de potasio 1N
- Sulfato ferroso amoniacal
- Difenilamina

### 3.5. Determinación de los factores que contribuyen al incremento de erosión hídrica en la cuenca del río Coata utilizando el modelo RUSLE - 2023.

La determinación de los factores del modelo RUSLE como precipitación, tipo de suelo, topografía, cobertura, prácticas de manejo de conservación se obtuvieron a través de la revisión de informes técnicos y científicos expedidos por SENAMHI, FAO, Sentinel 2<sup>a</sup>, MINAM, PEBLT, GORE en los cuales se tomaron datos para los diferentes factores como el factor de erosividad de lluvia (R), factor de erosionabilidad del suelo (K), factor topográfico (LS) factor de cobertura (C), Práctica de soporte (P), necesarios para cuantificar la pérdida de suelo anual promedio (A).

En cuanto a la erosionabilidad de suelo (K) en tiempo real, este fue determinado experimentalmente a través de los parámetros textura (% limo, % arcilla, % arena) y materia orgánica aplicando los métodos de Bouyoucos y Walkley & Blanck respectivamente. Con cada uno de los factores (R,K,LS,C,P) obtenidos anteriormente se elaboraron mapas temáticos de la cuenca del río Coata que permitirán conocer la distribución espacial de la pérdida de suelo.

Finalmente, el incremento de la erosión del río Coata es determinado mediante pérdida de suelo anual promedio (A) establecido en el modelo RUSLE, este se utiliza con frecuencia para estimar la pérdida anual de suelo a escala de cuenca (Borrelli et al. 2021), además a gran escala (Panagos et al. 2016), el cual tiene por finalidad predecir la pérdida de suelo promedio anual teniendo en cuenta los factores mediante el cálculo de la siguiente ecuación (Renard et al., 1997):

$$A=R*K*LS*C*P \quad (Ecu. 9)$$

Donde:

A : Pérdida de suelo anual promedio (t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>)

R : Factor de erosividad de lluvia (MJ mm ha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>)

K : Factor de erosionabilidad del suelo (t ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>)

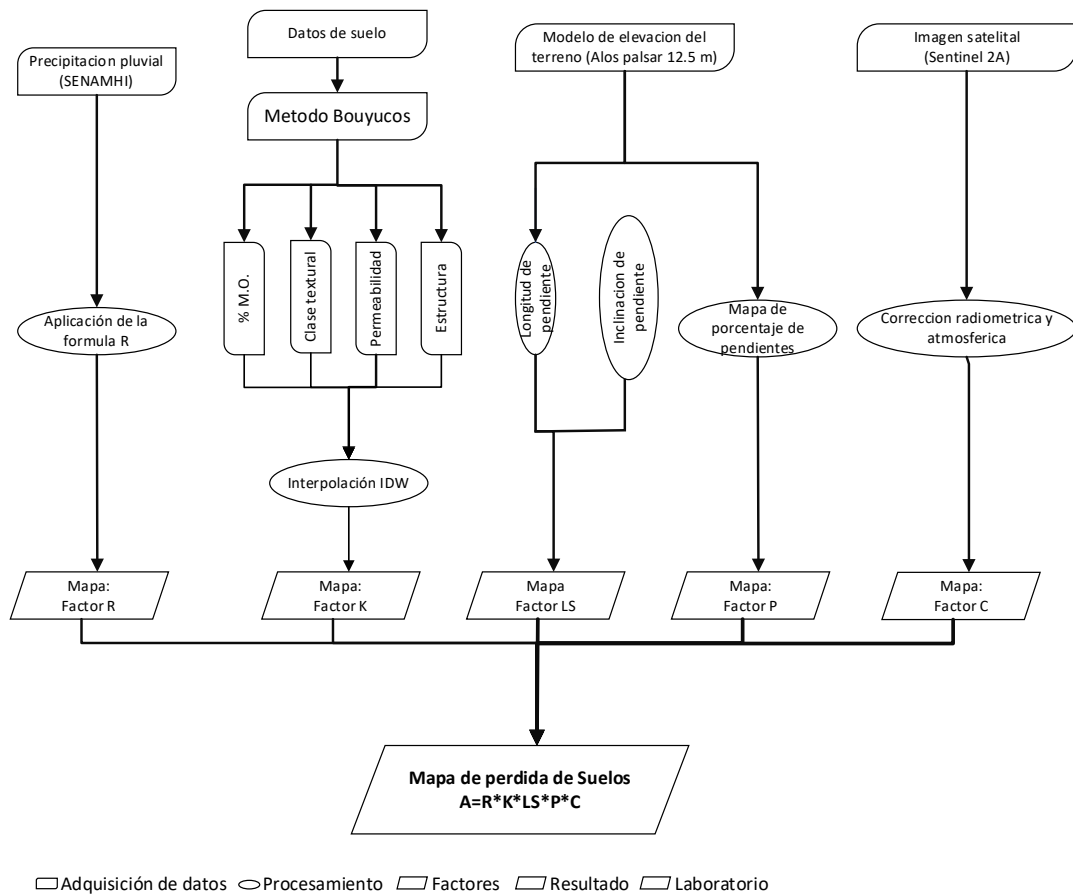
LS : Factor topográfico (adimensional)

C : Factor de cobertura y gestión (adimensional)

P : Práctica de soporte (adimensional)

**Figura 3**

*Diagrama de flujo de la metodología*



En la presente investigación se necesitan datos disponibles de precipitación, topografía, suelo, vegetación, cobertura del suelo para la determinación de los factores R, K, LS, C, P.

### 3.5.1. Factor de erosividad (R)

El factor R depende principalmente de los datos de precipitación, ya que desempeña un papel fundamental en la generación de riesgos y formas de erosión (Dos Santos et al., 2021). En una cuenca no monitoreada, el factor R se calcula utilizando los datos de lluvia anual promedio de estaciones meteorológicas cercanas a la cuenca (Renard y Freimund, 1994), por lo cual se tomaron los datos de las estaciones meteorológicas de la cuenca y de los alrededores como: Puno, Chuquibambilla, Llalli, Pampahuta, Ayaviri, Azangaro, Juliaca, Lampa, Santa Lucia, Pucara, Arapa, Taraco, dichos datos se recopilaron de diferentes años y se

obtuvieron del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI. Se realizó la modelación espacial de la precipitación con la interpolación de los datos puntuales de las estaciones y el método de interpolación que se utilizó fue el IDW (peso inverso a la distancia) (Maglione et al., 2019).

El factor R es el resultado promedio a largo plazo de la energía de lluvia total (E) y la intensidad de lluvia máxima de 30 min ( $I_{30}$ ), cuyo valor numérico de R representa la magnitud del impacto de las gotas de lluvia y refleja la cantidad y la velocidad del flujo de agua superficial asociada con la lluvia (Renard et al., 1997), dado que no se dispone de los datos de (E) e ( $I_{30}$ ) para el área de la cuenca del río Coata, el factor R ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ año}^{-1}$ ) se calculó utilizando el índice de Fournier modificado (F) (Jobin et al., 2018) modificado por (Arnouldus, 1980) definido como:

$$IFM = \sum_{i=1}^{12} 1.735 \times 10^{(1.5 \times \log(\frac{P_i^2}{P}) - 0.08188)} \quad (\text{Ecu. 10})$$

Donde:

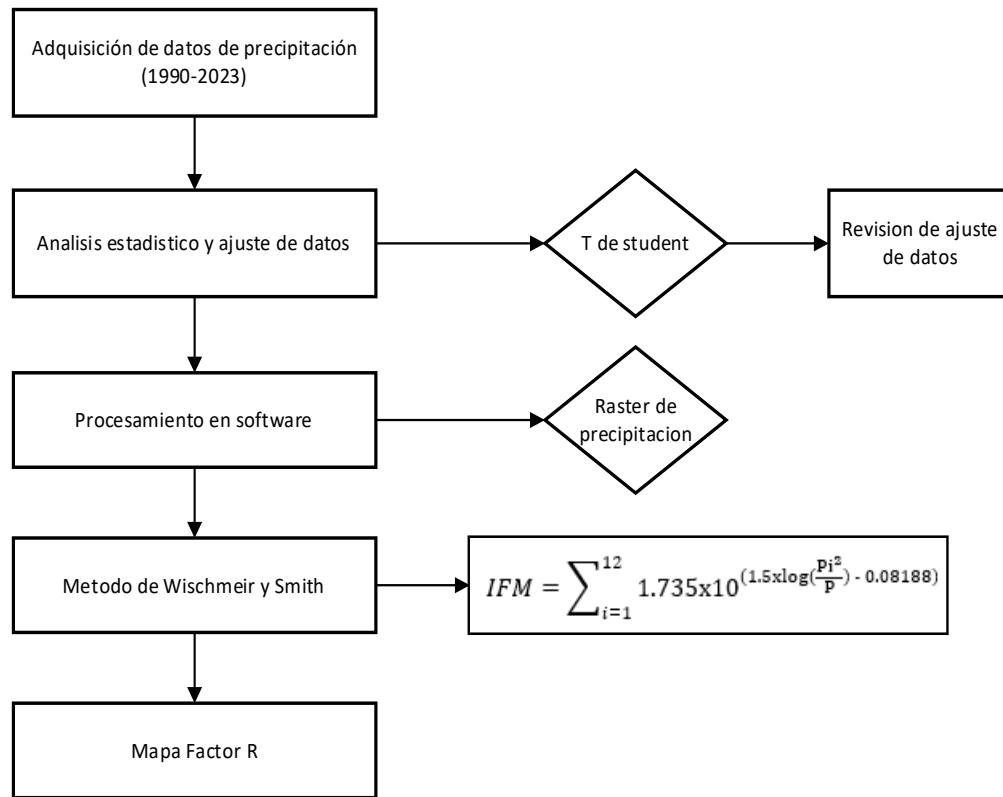
IFM : Índice de Fournier modificado en mm

$P_i$  : Precipitación del mes (mm).

P : Precipitación total anual (mm).

**Figura 4**

*Flujograma para la obtención del mapa el factor R*

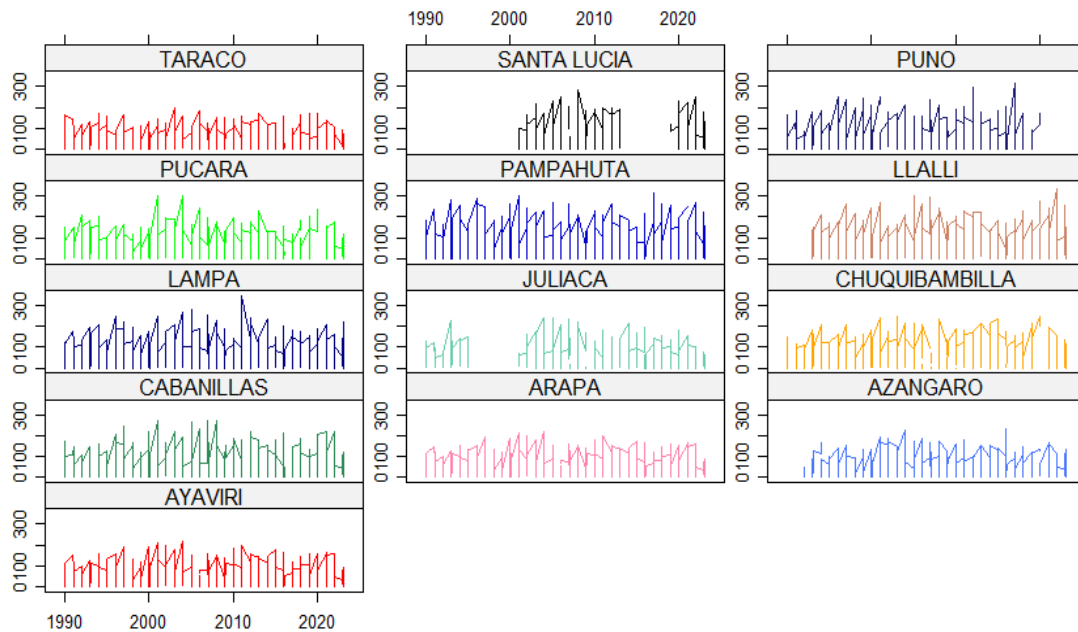


Nota: Adaptado de Getu et al. (2022)

Para verificación de los datos, se utilizaron coeficientes de análisis visual gráfico, la prueba T de student y la prueba F de Fisher, con el propósito de realizar una evaluación estadística de los cambios y tendencias donde se utilizó el software Rstudio para realizar el análisis más detallado entre las estaciones para completar la data faltante (figura 5), utilizando el paquete Missforest.

**Figura 5**

*Histograma de datos de precipitaciones mensuales.*



Nota: Elaboración a partir de datos de precipitaciones obtenidas de SENAMHI

Se estimó el factor de erosividad (R) a partir de las mediciones de precipitación de las estaciones meteorológicas (Tabla 2), se trabajó en un periodo de 23 años. Se realizó el cálculo de las precipitaciones mensuales y la precipitación promedio anual. Para la espacialización de los datos, se realizaron interpolaciones mediante el método de distancia inversa ponderada (IDW).

**Tabla 2***Estaciones meteorológicas*

N°	Estaciones	Tipo	COORDENADAS		Altitud
			X	Y	
1	Santa Lucia	Convencional/atmosférica	328614.30	8264256.73	4045
2	Llalli	Convencional/atmosférica	297753.31	8346031.16	3985
3	Taraco	Convencional/atmosférica	395600.60	8306967.84	3828
4	Puno	Convencional/atmosférica	391617.70	8250022.65	3825
5	Pucara	Convencional/atmosférica	353095.21	8336168.19	3877
6	Pampahuta	Convencional/atmosférica	320208.25	8287472.88	4311
7	Lampa	Convencional/atmosférica	352505.41	8301267.35	3866
8	Juliaca	Convencional/atmosférica	370417.88	8292184.34	3838
9	Chuquibambilla	Convencional/atmosférica	313967.63	8364415.98	3918
10	Cabanillas	Convencional/atmosférica	355657.06	8270526.46	3888
11	Azángaro	Convencional/atmosférica	372079.21	8350208.11	3857
12	Ayaviri	Convencional/atmosférica	328766.75	8355578.50	3941
13	Arapa	Convencional/atmosférica	380862.50	8321621.05	3837

Nota: elaboración a partir de las coordenadas de cada estación meteorológica - SENAMHI

### 3.5.2. Factor de erodabilidad (K)

El factor K expresa la susceptibilidad del suelo a la erosión (Wischmeier y Mannering 1969). El factor K es determinado en dos etapas, en la primera etapa, se busca la información relacionado de textura (% arena, % limo, % arcilla), ya que son los factores que determinarán el cálculo de dicho factor (Maqsoom et al. 2020) y los parámetros del suelo se obtuvieron como archivos raster de la Información Mundial de Suelos de la FAO con la mencionada información se elaboró un mapa de tipos de suelo, utilizando el software ArcGIS donde se muestra distintos tipos de suelos y se tomo como referencia para poder realizar el muestreo estratificado ya que los tipos de suelos estaban en distintas proporciones dentro de la cuenca del río Coata.

En la segunda etapa se busca validar tipos y textura de suelos de los datos obtenidos en la primera etapa y se elaboró fichas para el muestreo, necesarias para su validación en campo, la cual se diseño siguiendo la guía de muestreo de suelos del Ministerio del Ambiente en cumplimiento del Decreto Supremo N°002-2013-MINAM. En base al mapa realizado con datos de la FAO se realizó un total de 40 puntos de muestreo en toda la cuenca aplicando el muestreo aleatorio estratificado (figura 7) para así evaluar en laboratorio la textura (% arena, % limo, % arcilla) y materia orgánica, los cuales fueron evaluados por el método Bouyucos y Walkley Black respectivamente. La mencionada información permitio determinar el factor K, descrito en la (Ecu. 11) según establecido por (Sharpley y Williams 1990).

$$K=A*B*C*D*0.1317 \quad (\text{Ecu. 11})$$

Donde cada letra contiene una formula:

$$K = [0.2+0.3\exp(-0.0256SAN(1-(SIL100)))]$$

$$B = \left[\frac{SIL}{CLA + SIL}\right]^{0.3}$$

$$C = [1.0-(0.25C+\exp[(3.72 - 2.95C)])]$$

$$D = [1 - (0.70SN1SN1+\exp[(-5.41 - 22.9SN1)])]$$

Donde:

SAN : Porcentaje de arena

SIL : Porcentaje de limo

CLA : Porcentaje de arcilla

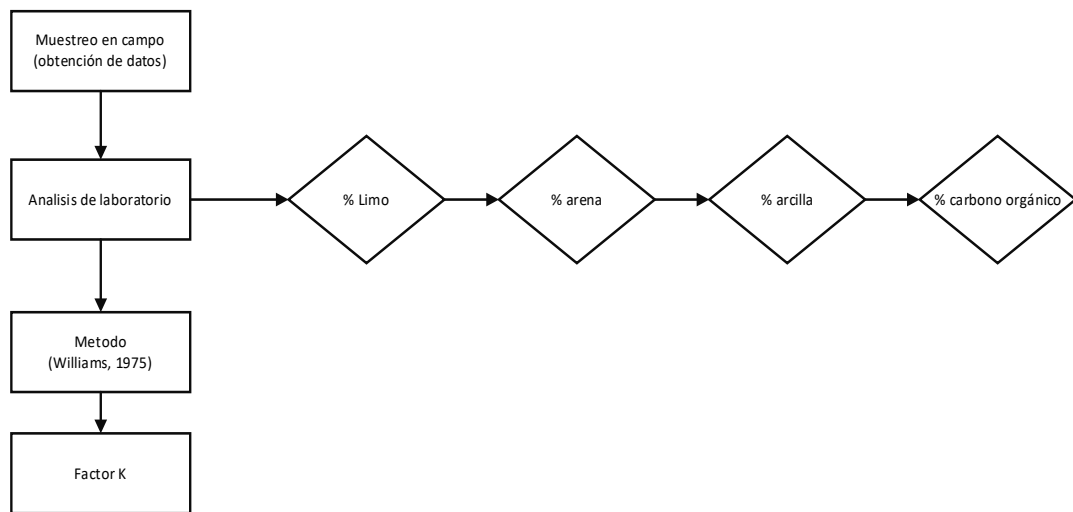
C : Porcentaje de carbono orgánico (OC%)

SN1 : Porcentaje de arena restado de uno y dividido por 100

Con los datos ya obtenidos de laboratorio se realizó un mapa raster del factor K con el software ArcGIS(10.5).

### Figura 6

*Representación del flujograma para calcular el factor K*



Fuente: Adaptado de Getu et al. (2022)



cruda de coordenadas UTM WGS-84 de la zona 19S, posteriormente para la generacion del modelo de elevacion en la cual se recortara el área de la cuenca Coata y con las herramientas clip, 3D Analyst, en ArcGIS, se creara un archivo TIN y esto se convertirá a un modelo de elevación digital (DEM), con la cual se obtendrá la longitud y gradiente de la pendiente, desarrollado por (Renard et al., 1997).

El factor de longitud de la pendiente(L) es un factor adimensional y se calculó según la fórmula de (McCool et al. 1989) cuya ecuación es:

$$L = \left[ \frac{\lambda}{22.13} \right]^m \quad (\text{Ecu. 12})$$

Donde:

L: Factor longitud de la pendiente.

$\lambda$ : Longitud de la pendiente (m).

m: Exponente influenciado por la longitud y la pendiente.

22.13: Valor que depende del tamaño típico de un gráfico de observación.

El exponente m se calcula como:

$$m = \frac{\beta}{1 + \beta} \quad (\text{Ecu. 13})$$

El valor de  $\beta$  se calcula como:

$$\beta = \frac{\sin \theta / 0.0896}{3(\sin \theta)^{0.8} + 0.56} \quad (\text{Ecu. 14})$$

Donde:

$\theta$ : Ángulo de la pendiente que será transformado de grados a radianes.

La longitud de la pendiente se calcula como:

$$\lambda = \frac{DX}{\cos \theta} \quad (\text{Ecu. 15})$$

Donde:

DX: Distancia entre píxeles.

Para el factor topográfico, la inclinación de la pendiente (S)

Se calculará con base a las ecuaciones 5 y 6 como lo describe (McCool et al., 1987)

$$S = 10.8 \operatorname{sen}\theta + 0.03, \text{ for } \theta < 9\% \quad (\text{Ecu. 16})$$

$$S = 16.8 \operatorname{sen}\theta - 0.50, \text{ for } \theta \geq 9\% \quad (\text{Ecu. 17})$$

Donde

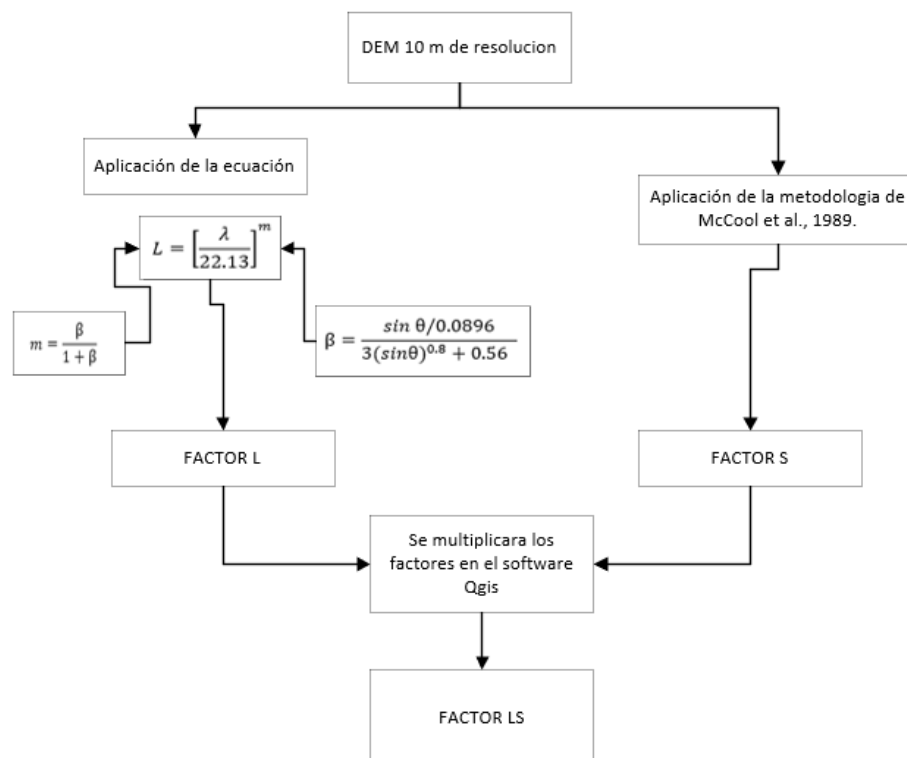
S : Factor de la inclinación de la pendiente.

$\theta$  : Angulo de la pendiente que se transformara de grados a radianes

El factor topografico se obtuvo de la multiplicacion de los factores L y S (Getu et al., 2022) y para poder obtener el factor se utilizara el software ArcGIS.

### Figura 8

Flujograma para calcular el factor LS



Nota: Adaptado de Getu et al. (2022)

### 3.5.4. Factor de cobertura (C)

El elemento más crucial para preservar el suelo y reducir la tasa de erosión del suelo es la cubierta vegetal (Sun et al. 2014), para lo cual el factor C mide los cultivos y las prácticas de manejo afectan la tasa de erosión del suelo (Patil y Sharma, 2013), para poder determinar el factor C se utilizó imágenes satelitales para la creación de mapas de cobertura del suelo, seleccionando la imagen de sentinel 2<sup>a</sup> (Deng et al., 2008) con una resolución de espacial de 12.5 m y se realizó la composición de bandas 1,2,3 (bandas visibles) y 4,5,6 (bandas de luz infrarroja cercana) Posteriormente se realizó la corrección geométrica de la imagen con el fin de localizar correctamente los puntos de las imágenes en sus respectivas coordenadas geográfica que cubra la cuenca para luego aplicar la corrección atmosférica y así eliminar los efectos de dispersión con el programa Sen2Cor y así realizar una clasificación supervisada para así asignar la clase de cobertura de suelo, según las características espectrales para así calcular la cobertura, como el porcentaje de área que ocupa respecto al total mediante el software ArcGIS(10.5) para así generar el índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI), a partir de las fórmulas Van de Kniff (1999), posterior a esto generar un mapa de la cobertura(C). Adicional a este análisis también se realizó un contraste determinado por imágenes satelitales con la cartografía de la Zonificación Ecológica Económica (ZEE) de Puno, con la verificación en campo (tabla 3).

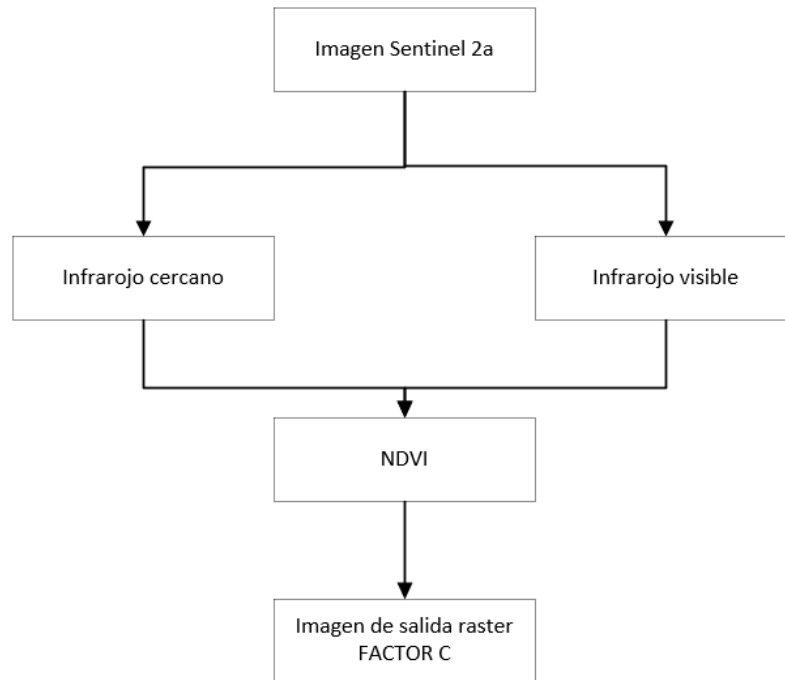
$$C = \exp \left[ -2 * \left( \frac{NDVI}{1 - NDVI} \right) \right] \quad (\text{Ecu. 17})$$

Donde:

NDVI : Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada

**Figura 9**

*Flujograma para la obtención del mapa del factor C*



Nota: adaptado de Al-Mamari et al. (2023)

**Tabla 3**

*Verificación en campo de datos*

Tipo de vegetación	NDVI	ZEE	Verificación en campo
Bosques nativos	X	X	X
Pajonal	X		X
pastizal	X	X	X
Herbazal denso	X	X	X
Glaciares			X
Lagunas, lagos	X	X	X
Cultivos permanentes	X		X
Áreas quemadas		X	X
Vegetación arbustiva (canlli)		X	X
Afloramientos rocosos	X	X	X

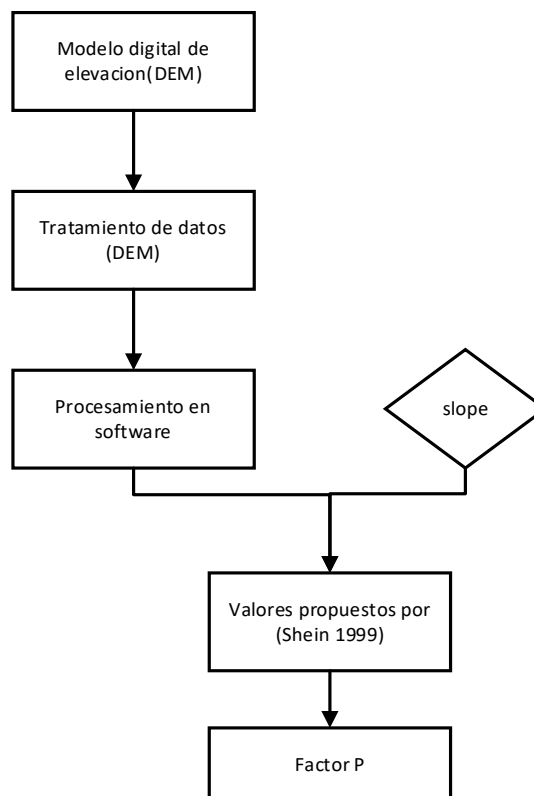
Nota: Datos obtenidos ZEE (MINAM, 2015)

### 3.5.5. Factor de prácticas de manejo de conservación (P)

El factor P representa las diversas prácticas implementadas para prevenir la pérdida de suelo en un área en particular, asegurando una disminución en las tasas de escorrentía y otros métodos de conservación del suelo (Ghosal y Bhattacharya, 2021) y una buena práctica de conservación se indica con un valor del factor P que se acerca a 0 en el rango de 0 a 1, mientras que una mala práctica de conservación se indica con un valor que se acerca a 1 (Ganasri y Ramesh, 2016), para poder determinar el factor P prácticas de manejo de conservación se consulto a las fuentes del gobierno regional de Puno y entidades relacionadas como el proyecto especial binacional lago Titicaca y la Dirección Regional Agraria.

**Figura 10**

*Flujograma para la determinación del factor P*



Nota: Adaptado de Ganasri (2016)

### **3.6. Evaluación de las zonas más afectadas por la erosión hídrica en la cuenca del río Coata utilizando el modelo RUSLE – 2023.**

Para la evaluación de las zonas más afectadas por la erosión hídrica se elaboraron mapas y se multiplicaron los valores de los cinco factores (Renard et al., 1997) del modelo RUSLE, como el factor de erosividad de lluvia (R), factor topográfico (LS), factor de cobertura (C), práctica de soporte (P), obtenidos de diferentes fuentes como SENAMHI, sentinel 2<sup>a</sup>, MINAM, respectivamente y para el factor de erosionabilidad del suelo (K) que se realizó in situ, se tomaron los resultados de los análisis realizados en laboratorio tanto en textura (% arena, % limo, % arcilla) y materia orgánica mediante el método Bouyoucos y Walkley Black respectivamente, para así determinar la pérdida anual del suelo por erosión hídrica  $t\ ha^{-1}\ año^{-1}$  e identificar las zonas con mayor pérdida de suelo y la información obtenida permitirá conocer la distribución espacial de la pérdida de suelo por erosión hídrica a través de mapas temáticos en la cuenca del río Coata.

Los mapas obtenidos de distribución de erosión obtenidos a través de los factores (R, K, LS, C, P) son sobrepuestos a fin de obtener un mapa visual que refleje el área y la distribución de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Coata, utilizando el software ArcGIS (Getu et al., 2022), para crear estos mapas se asignaron rango de colores en función a rango de valores establecidos en el software que variaran según la magnitud de la erosión, permitiendo con ello identificar las zonas con mayor pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Coata y por consiguiente en las que se corre más riesgo de la pérdida de suelo por erosión hídrica y se realizó la comparativa de los valores de los factores con la cantidad de erosión en  $t\ ha^{-1}\ año^{-1}$  establecidos por la FAO.

Para determinar las zonas afectadas en el factor de erosionabilidad (K) se comparó en base a los indicadores de la magnitud general del factor de erosionabilidad (K) establecido por la FAO (Gisbert et al., 2012).

**Tabla 4***Valoración de la erosividad (R)*

Factor R	Grado
0 - 50	Ligero
50 - 500	Moderado
500 - 1000	Alto
> 1000	Muy alto

Nota: Rangos obtenidos de Bircher et al. (2019)

**Tabla 5***Clasificación de la gravedad de la erosión basada en el USDA (1962)*

Limitación de grados	Factor K: Erodabilidad (MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )
0: Nulo	$\leq 0.010$
1: Ligero	$0.010 \leq K \leq 0.020$
2: Moderado	$0.020 \leq K \leq 0.030$
3: Fuerte	$0.030 \leq K \leq 0.040$
4: Muy Fuerte	$K \geq 0.040$

Nota: Rangos típicos del factor K, obtenidos de Giboshi (1999)

**Tabla 6***Rango de pérdida de suelo según la FAO*

Pendiente del terreno	Cobertura vegetal	Rango de pérdida de suelo t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup>
Menos de 2%	Cualquier tipo	< 1
	2-5%	5-10
5-10%	Pastizales	2-5
	Cultivos	5-10
	Bosques	10-20
	Pastizales	5-10
Más de 10%	Cultivos	10-20
	Bosques	> 20
	Pastizales	>10

Nota: Rangos obtenidos de la FAO (2014)

**Tabla 7***Factor LS en función a la pendiente*

Gradiente de pendiente	Factor LS
0 - 3	0.3
3 - 12	1.5
12 - 18	3.4
18 - 24	5.6
24 - 30	8.7
30 - 60	14.6
60 - 70	20.2
70 - 100	25.2
Mas de 100	28.5

Nota: Rangos obtenidos de Mintegui (1983)

**Tabla 8***Factor cobertura vegetal*

Factor C	C
≤ 0.1	Bosque y selva nublada
0.1 - 0.2	Bosque, cultivos y pastizales
0.2 – 0.3	Matorales y pastizales
0.3 – 0.4	Cultivos y pastoreo
0.4 – 0.5	Cultivos y arbustales
0.5 – 0.6	Vegetación escasa
0.6 – 0.9	Vegetación semiarida
≤ 0.9	Suelo desnudo

Nota: Adaptado de (Deng et al. 2008)

**Tabla 9***Variable de practica de apoyo (P)*

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

Nota: Rangos obtenidos a partir de Shin (1999)

**Tabla 10***Rango de la pendiente*

Rango pendiente en grados (°)	Pendiente
0 - 5 °	Plano, plano cóncavo y ligeramente plano
5-15°	Ondulado, inclinado
15 – 25°	Fuertemente ondulado, fuertemente inclinado
25 - 35 °	Fuertemente quebrado
35 – 45 °	Escarpado
> 45°	Muy escarpado

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2014) estableció una clasificación para la evaluación de la degradación del suelo que se utilizó para determinar el grado de erosión hídrica en la cuenca del río Coata.

**Tabla 11***Rango de erosión hídrica anual (A)*

Categoría de erosión según FAO	Rango de erosión ( t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )
Baja	< 5
Moderada	5 - 25
Media	25 - 50
Alta	50-100
Muy alta	100 - 200
Critica	> 200

Nota: Rangos obtenidos de la FAO (2014)

**Tabla 12***Rango de erosión para suelos bajo agricultura*

Categoría de erosión según FAO	Rango de erosión (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )
Ligera	0 - 2
Moderada	2 - 5
Severa	5 - 10
Muy severa	5 - 10
Extrema	> 10

Nota: Rangos obtenidos de la FAO (2014)

**Tabla 13***Rango de erosión para suelos bajo pastoreo*

Categoría de erosión según FAO	Rango de erosión (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )
Ligera	0-2
Moderada	2-6
Severa	6-12
Muy severa	> 12

Nota: Rangos obtenidos de la FAO (2014)

Ya obtenido los resultados y la comparación se realizó una interpretación de los mismos, en la cual se analizó en detalle los factores del modelo RUSLE, factores que afectan a la pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Coata, tales como el factor de erosividad de la lluvia (R), el factor de erodibilidad del suelo (K), el factor topográfico (LS), el factor de cobertura vegetal (C) y las prácticas de soporte (P), teniendo en cuenta no solo los resultados numéricos, sino también el contexto socioeconómico, ambiental y local. Este modelo se basó en los factores mencionados anteriormente, es importante resaltar que esta metodología permitió la obtención de datos precisos y actualizados acerca de la tasa de erosión de las zonas más afectadas de la cuenca del río Coata. Además, el mapa proporcionó una visualización clara y accesible de las áreas más impactadas por la erosión hídrica en la cuenca del río Coata.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

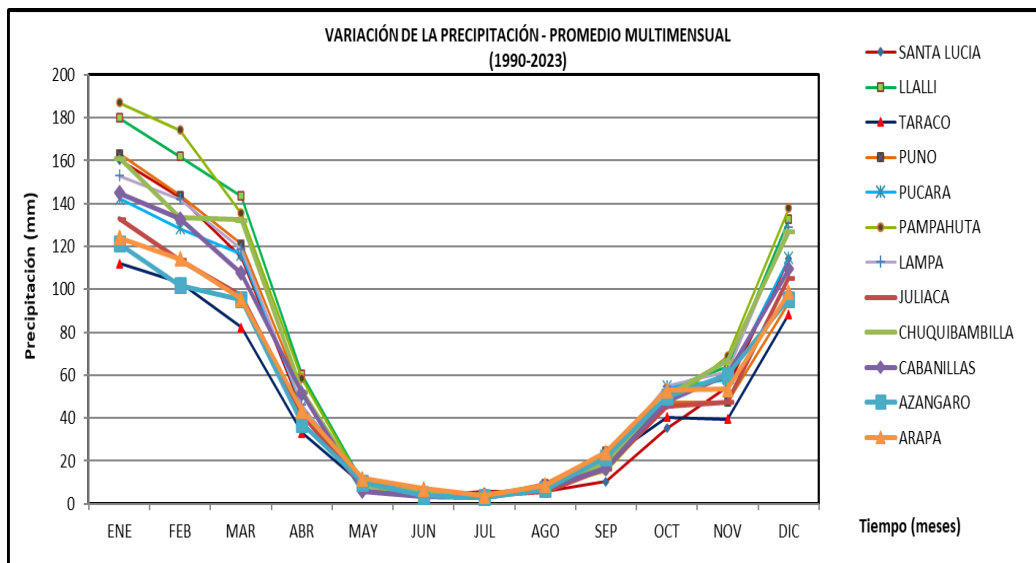
#### 4.1. Determinación de los factores que contribuyen al incremento de erosión hídrica en la cuenca del río Coata utilizando el modelo RUSLE - 2023.

##### 4.1.1. Factor de erosividad (R)

En base a la información de la cuenca del río Coata proporcionada por el SENAMHI, la precipitación promedio multimensual (1990-2023) y estaciones adyacentes la cual oscila desde los 537.79 mm/año a 815.83 mm/año. Estos resultados se asemejan a los obtenidos en el estudio de Condori (2018) con precipitaciones de 813.60 mm a 952.30 mm y Valeriano & Mamani (2023) evidencia precipitaciones de hasta 173.8 mm; encontrándose que están en el rango de precipitaciones de la presente investigación. Más del 80% de las precipitaciones se presentaron entre los meses de diciembre a febrero (figura 11) (tabla 15).

**Figura 11**

*Variación de la precipitación promedio multimensual (1990-2023)*



Nota: elaboración a partir de los datos obtenidos de SENAMHI.

**Tabla 14***Promedio multimensual (1990-2023)*

N°	Estaciones	Altitud	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Total anual
1	Arapa	3837	124.15	114.16	95.56	43.57	11.74	7.13	3.72	8.62	24.07	52.98	53.35	98.55	637.59
2	Ayaviri	3941	144.64	126.72	110.61	42.69	8.22	4.15	2.83	6.83	16.37	47.45	61.64	105.38	677.52
3	Azángaro	3857	121.37	101.88	95.39	37.44	9.85	3.85	3.00	6.87	21.66	49.83	60.16	95.55	606.84
4	Cabanillas	3888	145.05	132.89	107.66	51.47	5.88	3.50	2.87	6.98	16.65	47.85	60.13	109.61	690.54
5	Chuquibamba	3918	161.32	133.28	132.38	52.40	8.01	5.75	3.06	8.74	18.68	50.10	66.58	127.09	767.39
6	Juliaca	3838	132.97	113.78	96.88	41.86	8.22	4.52	4.08	5.85	16.64	45.69	47.57	105.55	623.60
7	Lampa	3866	153.00	142.13	118.82	46.02	8.13	4.92	3.46	8.21	20.78	54.80	61.83	129.15	751.25
8	Pampahuta	4311	187.06	174.19	135.59	58.50	9.11	4.62	4.75	8.09	15.33	46.08	68.75	137.85	849.93
9	Pucara	3877	142.31	128.40	116.37	45.33	10.68	5.48	3.55	8.05	20.57	54.53	57.85	114.67	707.80
10	Puno	3825	163.23	143.81	121.05	51.17	9.58	4.67	3.42	9.53	24.33	47.30	47.52	93.81	719.40
11	Taraco	3828	112.10	103.36	82.36	33.10	9.17	4.89	3.82	6.11	20.50	40.38	39.54	88.35	543.67
12	Llalli	3985	180.03	162.01	143.45	60.35	10.17	5.50	4.51	8.83	18.37	53.34	64.08	132.59	843.23
13	Santa Lucia	4045	160.42	142.75	115.08	44.12	6.56	3.72	5.68	5.59	10.28	35.34	54.71	114.29	698.53

Nota: Elaborado a partir de datos brindados por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

**Tabla 15***Factor de erosividad de cada estación meteorológica de la cuenca del río Coata (R)*

N°	Estaciones	Altitud (msnm)	Este	Norte	PP Anual (X)	Factor R
1	Arapa	3895	328766.75	8355578.50	637.59	727.68
2	Ayaviri	3925	372079.21	8350208.11	677.52	876.79
3	Azángaro	3815	372079.21	8350208.11	606.84	970.16
4	Cabanillas	3812	355657.06	8270526.46	690.54	1028.27
5	Chuquibambilla	3950	313967.63	8364415.98	767.39	996.32
6	Juliaca	3826	370417.88	8292184.34	623.60	870.22
7	Lampa	3980	352505.41	8301267.35	751.25	1080.69
8	Pampahuta	4130	320208.25	8287472.88	849.93	1353.53
9	Pucara	3930	353095.21	8336168.19	707.80	911.05
10	Puno	3812	391617.70	8250022.65	719.40	1059.28
11	Taraco	3848	395600.60	8306967.84	543.67	635.08
12	Llalli	3960	297753.31	8346031.16	843.23	1243.45
13	Santa Lucia	3815	328614.30	8264256.73	698.53	1123.65

Nota: Cálculo del factor R a partir de datos obtenidos de SENAMHI

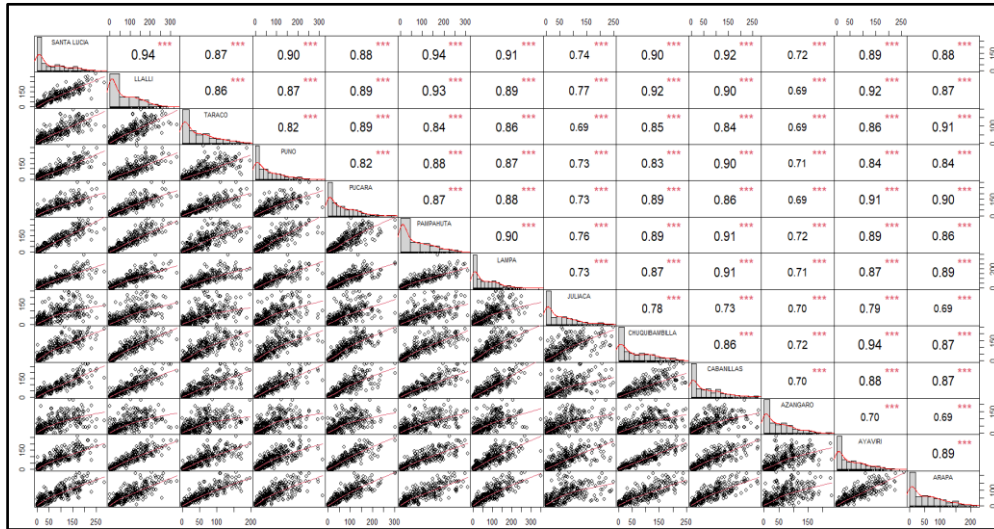
Es uno de los agentes más agresivos para estimar la pérdida de suelos (Abdulkareem et al., 2019). El factor de erosividad (Figura 13) derivado de las precipitaciones, está influenciado por la magnitud y la intensidad con la que ocurren las precipitaciones, los resultados del presente estudio del factor R oscilan entre valores 635.08 a 1353.48 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>.

El factor R tiene un gran peso en la pérdida anual total de suelo, Getu et al. (2022), los principales factores que influyen son la intensidad y duración de la precipitación; Valeriano y Mamani (2023) registran medidas de 779 a 839 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>; Nakaya, (2018) con cifras 800 a 900 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>; Chili (2024) con valores de 210.304 a 324.85 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, los resultados de los estudios presentan similitudes, dado que se encuentran en similares condiciones, los valores máximos del factor R se dieron en todos los casos donde se presenta mayor precipitación, sin embargo Paco (2022) con estimaciones de 101.25 a 117.80 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y Condori (2018) 121.82 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> a 151.25 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> evidencia valores bajos por la precipitación Al-hasn et al. (2024); Shara Guche et al. (2024); Saha et al. (2022) consideran que el aumento de las intensidades de las lluvias da como resultado mayores tasas de erosión. Por el contrario en el estudio realizado por Mamani et al. (2021) los

valores varían de 100.78 a 6928.59 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> estos resultados no se asemejan a ningún otro estudio realizado en un factor similar.

**Figura 12**

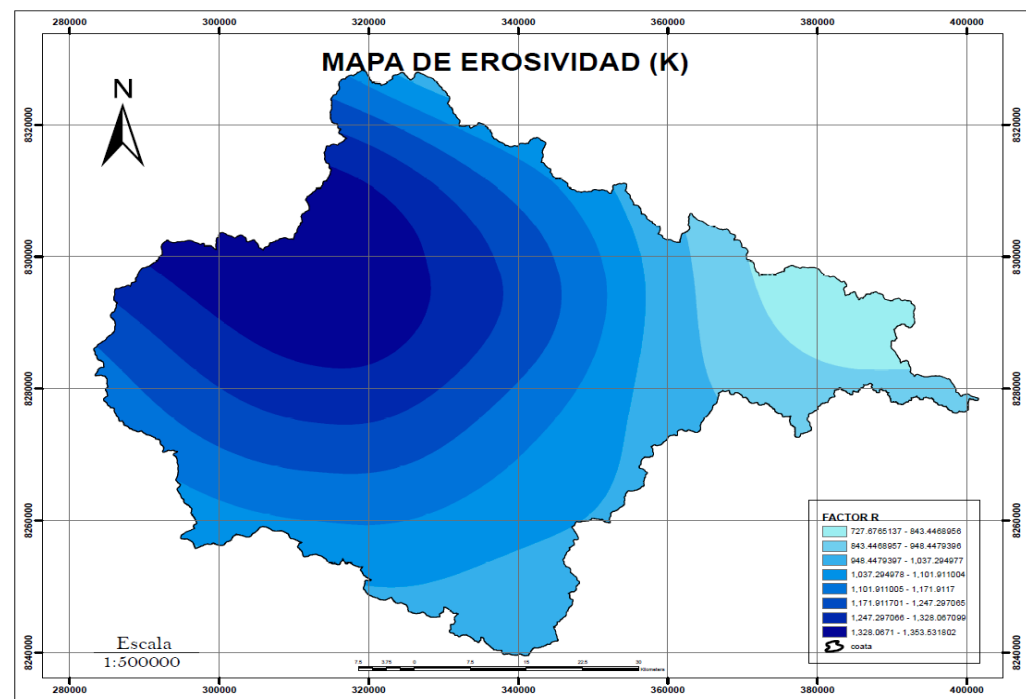
*Correlación de Pearson entre estaciones*



Nota: elaborado a partir de los datos obtenidos de SENAMHI en el software R

**Figura 13**

*Factor de erosividad (R)*



Nota: Elaborado a partir de los datos de SENAMHI en el software ArcMap.

#### 4.1.2. Factor de erodabilidad (K)

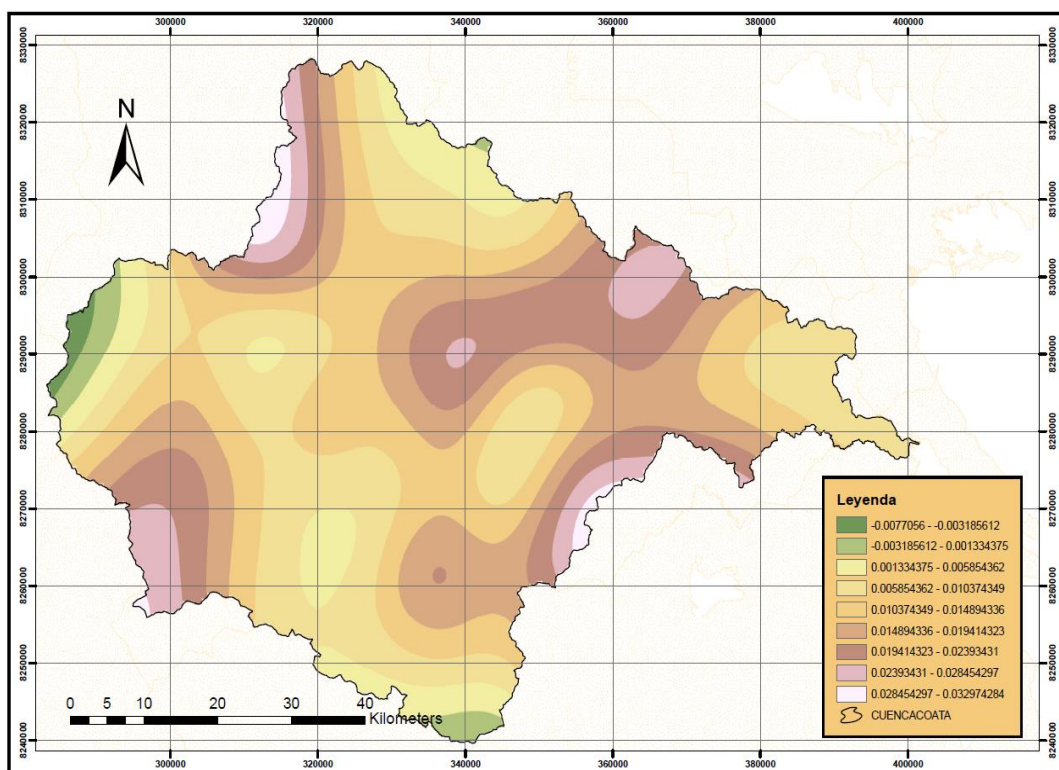
A partir de los muestreos realizados en campo y el análisis de suelo en el laboratorio de la universidad Nacional de Juliaca (Anexo 2), se observa que el mayor porcentaje es franco arcillo arenosa, la cuenca está influenciada mayoritariamente por materiales arcillosos. Estos resultados son similares a los encontrados en los estudios de Condori (2018). Por otro lado, Valeriano y Mamani (2023) difiere, al encontrar, que la estructura principal de sus zonas de estudios contiene una muy baja de proporción de arcilla, lo que resulta en una susceptibilidad moderada de los suelos a la erosión causada por el agua.

Los resultados del estudio muestran que, según el mapa de erodabilidad (Figura 14), existe heterogeneidad entre los resultados, pues los valores fluctúan entre el rango de valores de K oscila entre  $0.0013343 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  a valores máximos cercanos a  $0.032974 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ . De acuerdo a la clasificación de los grados de erodabilidad (Tabla 5), en la cuenca del rio Coata los suelos presentan una clasificación que llega a fuertemente erodable. Los valores más altos son de  $0.03297 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ . Los cuales representan a suelos franco arenosos y los valores más bajos  $0.0077 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  representan a suelos franco arcilloso, Carrión et al. (2023) obtuvo un rango de  $0.867361 - 0.23008. \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , donde los suelos con mayor factor K son los que presentan una textura franco arenoso, mientras que Chili, (2024) determinó en su investigación valores de 0.07 a mayores de  $0.80 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ; Paco, (2022) valores comprendidos entre 0.05 a  $0.08 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , por lo contrario los valores encontrados por Valeriano y Mamani (2023) difieren con intervalos de  $0.026 \text{ a } 0.32 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , son cifras relativamente mayores cercanos a la unidad indicandonos que son suelos propensos a la erosión hidrica.

Cuanto mayor sea el valor K del suelo, mayor será su susceptibilidad a la erosión del suelo Fayas et al. (2019). Los suelos con textura arcillosa presentan una resistencia moderada a la erosión hídrica Saha et al. (2022), Además los suelos con alta concentración de materia orgánica tienden a ser menos susceptibles a este tipo de erosión, ya que la materia orgánica retiene los coloides del suelo al entrar en contacto con el agua, formando una estructura más estable y agregada (Getu et al., 2022).

**Figura 14**

*Factor de Erodabilidad (K)*



Nota: Elaborado a partir de los datos obtenidos en laboratorio

#### 4.1.3. Factor de cobertura vegetal (C)

Las partes altas de la cuenca albergan lugares con índices de protección bajos con valores C cercanos a 1 y valores de cobertura vegetal (C) que indican una cobertura densa. Esto se debe a que hay menos vegetación y más tierra expuesta. Los valores C de cada unidad estudiada se muestran en la (figura 15), muestra los valores de C de todas las unidades estudiadas.

La protección del suelo se ve muy favorecida por la cubierta vegetal, ya que intercepta las gotas de lluvia provenientes de las precipitaciones, reducción de la escorrentía superficial y la energía de impacto, lo que disminuye la erosión del suelo. En el análisis se encontraron valores entre 0 y 1 (Tabla 8). Mientras que los valores cercanos a 1 indican la existencia de vegetación densa, los valores cercanos a 0 representan áreas con suelo desnudo o masas de agua, lo que proporciona una protección eficaz contra la erosión hídrica. Según Chili, (2024) los valores del factor C oscilan entre 0 y 0.49, en la laguna de Umayo registra un



#### **4.1.4. Factor topográfico (LS)**

La (tabla 17), muestra la distribución espacial y la incidencia del factor LS, es una de las variables que influye en la mayor o menor erosión hídrica de los suelos Getu et al. (2022). El factor LS se calculó aplicando las ecuaciones usadas en RUSLE Renard et al. (1997).

En la (figura 16) se observa que los valores de LS según el método de Renard varían entre 0.5 - 16, los valores más altos se encuentran en las zonas de mayor longitud y pendiente, los valores significativos de LS son considerados a partir del valor de 22.51 a más ya que mientras mayor sea la longitud, mayor será el recorrido de una gota de lluvia hasta llegar al punto donde se concentra el flujo junto al suelo desprendido. En el estudio de Valeriano y Mamani (2023) indica que los valores encontrados de LS varían de 0.096 a 22.69. Estos resultados de los estudios mencionados no difieren mucho de los hallazgos del presente análisis ya que esta investigación es perteneciente a la vertiente del Titicaca. La pérdida de suelo se incrementa más rápidamente con pendientes muy escarpadas en comparación con el incremento en longitud de la pendiente. La topografía y el suelo, en gran medida, son estables y experimentan pocos cambios a lo largo del tiempo. Por lo tanto, las variaciones en la degradación del suelo han sido principalmente impulsadas por cambios en la vegetación y en la cantidad de precipitación, que pueden acelerar o ralentizar el proceso de pérdida de suelo (Dissanayake et al., 2019).

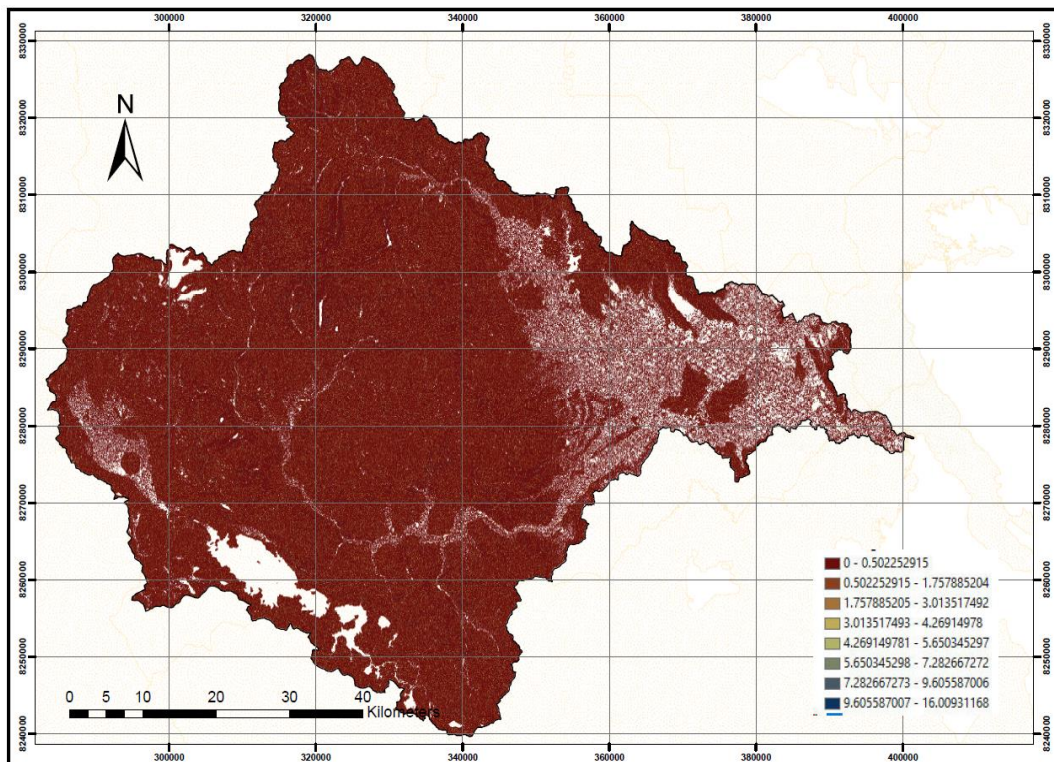
**Tabla 16**

*Rango de valores de la cuenca*

Rango pendiente en grados (°)	Pendiente
0 - 5 °	Plano, plano cóncavo y ligeramente plano
5-15°	Ondulado, inclinado
15 – 25°	Fuertemente ondulado, fuertemente inclinado
25 - 35 °	Fuertemente quebrado
35 – 45 °	Escarpado
> 45°	Muy escarpado

**Figura 16**

*Factor topográfico (LS)*



#### 4.1.5. Factor de prácticas de manejo P

En muchas ocasiones, la vegetación no logra prevenir la generación de escurrimiento superficial. Por lo tanto, la implementación de prácticas de conservación del suelo ayuda a reducir el impacto del flujo de agua. El factor de práctica de apoyo indica la tasa de pérdida de suelo según las diversas tierras cultivadas en la tierra. La agricultura en curvas de nivel, el cultivo en franjas y el cultivo en terrazas son métodos importantes para controlar la erosión factor P debido a la falta de datos exhaustivos sobre los diversos métodos de preservación en la zona de investigación. Los análisis de Getu et al. (2022), emplearon estos valores (Tabla 18) donde se muestra el valor del factor de práctica de apoyo según los métodos de cultivo y la pendiente (Shin, 1999). Los valores P oscilan entre 0 y 1, donde el valor 0 representa una muy buena facilidad de resistencia a la erosión y el valor 1 ninguna facilidad de resistencia a la erosión.

Las prácticas encontradas en la zona de estudio son el surcado al contorno como labranzas, siembra y otras operaciones de campo en contorno de la gradiente del terreno. El factor P en la cuenca Coata varió de 0.55 a 1.

En el estudio de (Alvarez, 2020), se evidencia ausencia de estrategias de cuidado, optándose para la variable P asignándole 1, considerando el valor más crítico, también los resultados de (Carrión et al., 2023) asignaron datos para las estrategias de cuidado de suelos, igual a 1, a causa de que no existen proyectos de investigación relacionados y su representación se ilustraba una mayor susceptibilidad a la erosión. En el estudio de Condori (2018) considera un porcentaje mayor de suelos protegidos, por cultivos en laderas, construcciones de infraestructura incluyendo andenes, canales de infiltración o terrazas de nivelación realizados por personas locales de antaño, obteniéndose valores que oscilan de 0.01 a 0.5. La organización espacial de los valores de P exhibe que la mayor parte de la cuenca de la parte del norte y la parte media baja de la cuenca Coata mostraron un valor de P de 0.85. Por el contrario, la mayor parte de la cuenca media tiene valores de P menores a 0.60. Esto sugiere que la Zona alta y la media baja de la cuenca son más propensas a la erosión hídrica del terreno.

**Tabla 17**

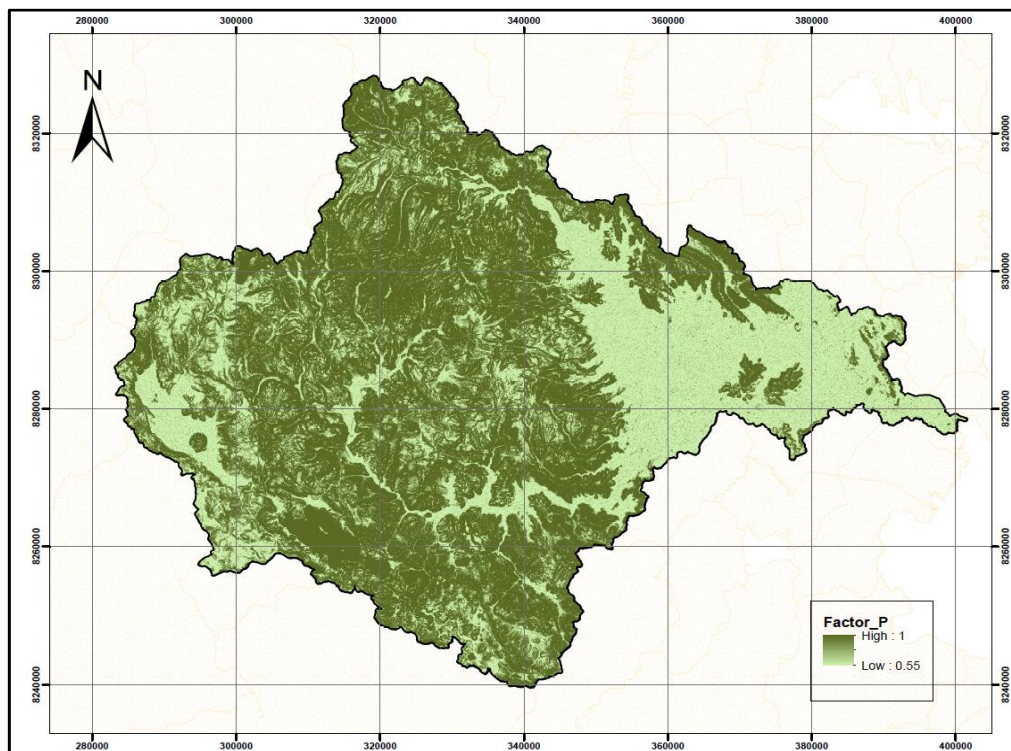
*Variable de practica de apoyo*

Pendiente(%)	Contorno	Cultivo en franjas	Terrazas
0.0 - 7.0	0.55	0.27	0.10
7.0 - 11.3	0.60	0.30	0.12
11.3 - 17.6	0.80	0.40	0.16
17.7- 26.8	0.90	0.45	0.18
>26.8	1.00	0.50	0.20

Nota: Adaptado de Shin (1999)

**Figura 17**

*Factor de prácticas de manejo P*



#### 4.2. Evaluación de las zonas más afectadas por la erosión hídrica en la cuenca del río Coata utilizando el modelo RUSLE – 2023.

En la presente investigación al establecer áreas de distribución de riesgo susceptibles a la degradación del suelo en la cuenca Coata, se pudo encontrar que el nivel de erosión de suelo normal representa una extensión de 4882.42 Km<sup>2</sup>. Los hallazgos indican que hay una pérdida de suelo media con tendencia a muy extremo que corresponde a niveles de erosión de suelo: severa, muy alto, donde se muestra una pérdida de suelo de un mínimo de 0 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> a un máximo de 234.25 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> y la tasa anual promedio de degradación del suelo en el área de estudio fue de 8.78 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> que está dentro del rango de tolerabilidad de (Gamtesa et al., 2023). Además se encontró similitudes relativas en otros estudios como de Paco (2022), donde indicó que el desgaste potencial en la microcuenca logró los 257.60 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Estas variaciones de tasas de erosiones hídricas se deben a que está influenciada principalmente por la escala de área de trabajo y factores como la distribución de la erosión, la conectividad hidrológica, las estrategias de gestión y la capacidad de amortiguación del suelo, a pesar de compartir las mismas características geomorfológicas (Wischmeier y Smith 1978).

**Tabla 18**

*Rango de pendientes*

Rango pendiente en grados (°)	Pendiente
0 – 5 °	Plano, plano cóncavo y ligeramente plano
5 – 15°	Ondulado, inclinado
15 – 25°	Fuertemente ondulado, fuertemente inclinado
25 – 35 °	Fuertemente quebrado
35 – 45 °	Escarpado
> 45°	Muy escarpado

Se identificaron varias zonas críticas, en diferentes distritos, donde la erosión es particularmente propensa. La comparación de los valores de los factores con la cantidad de erosión es conforme a los estándares de la FAO, proporcionó una evaluación precisa del riesgo de erosión en estas zonas (Condori, 2018) su área de estudio presenta un riesgo de erosión crítica de  $49.75 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , (Valeriano y Mamani, 2023) determinaron un grado de erosión de  $1.005 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ , con nivel de erosión normal a moderada. Estas áreas propensas a la erosión hídrica están situadas por lo general en pendientes fuertemente quebradas, escarpados y muy escarpados (Tabla 19)., lo que implica que agrava la erosión de suelo impulsada por la lluvia, como se corrobora en los estudios de Getu et al. (2022); Saha et al. (2022). En la (figura 18) se logra visualizar la erosión de suelo de la cuenca Coata, según el rango de la (Tabla 19).

La presente investigación se enfocó en la cuenca del río Coata, estimando una erosión potencial de nivel de erosión muy alto (Tabla 19), mientras el SENAMHI busca identificar patrones generales para políticas nacionales. El estudio de (GORE, 2014) y el presente estudio coinciden en destacar la erosión hídrica como un proceso clave de degradación del suelo, pero se difiere en su enfoque y detalle. Puesto que señala que la erosión hídrica superficial afecta  $33,433 \text{ km}^2$ , siendo causada principalmente por actividades humanas como la agricultura, ganadería y minería, junto con agentes naturales como la lluvia.



**Tabla 19***Clasificación de la pérdida de suelo*

Perdida de suelo	Interpretación
0 (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Áreas no afectadas por la erosión, como zonas urbanas, vías pavimentadas, embalses u otras superficies impermeables.
0 - 5 (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Sectores con erosión mínima y pérdida de suelo dentro de límites aceptable.
5 - 10(t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Zonas con erosión leve y pérdida de suelo aún tolerable; es poco probable que exista erosión neta.
10 - 25 (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Áreas donde ocurre erosión suave, el proceso ya está activo, aunque sus efectos no son visibles a simple vista.
25 - 50 (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Zonas con erosión moderada, el fenómeno es real, pero sigue sin ser evidente sin observación detallada.
50 - 100 (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Áreas con erosión severa, los signos de degradación del suelo ya son claramente observables.
100 - 200 (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Áreas con erosión muy severa, la pérdida de suelo es intensa y fácilmente perceptible en el terreno.
Mas de 200 (t ha <sup>-1</sup> año <sup>-1</sup> )	Áreas con erosión extrema, la degradación del suelo es crítica y manifiesta de forma inmediata al observar el paisaje.

Nota: Datos establecidos por la FAO 2014

Estos valores son consistentes con estudios previos en microcuencas similares, como el informe de Paco (2022), quien reportó una erosión potencial de 257.60 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en otra región andina. Esta discrepancia en las tasas de erosión puede atribuirse a diferencias en la escala de análisis, la distribución de factores erosivos como pendiente y cobertura vegetal y las prácticas agrícolas locales. Wischmeier y Smith (1978) señalaron que estas variaciones también pueden estar influenciadas por la conectividad hidrológica y la capacidad de amortiguación del suelo, aspectos que fueron considerados en la presente investigación.

Además, Valeriano y Mamani (2023) determinaron un grado de erosión de 1.005 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> en una zona con características geomorfológicas similares, aunque clasificaron este valor como nivel normal a moderado. Esto sugiere que, incluso dentro

de regiones con condiciones geográficas comparables, debido a las condiciones locales, incluyendo la intensidad del uso del suelo y la aplicación de medidas de conservación, las tasas de erosión pueden variar considerablemente.

Se identificaron varias zonas críticas de erosión en la cuenca del río Coata, principalmente en los distritos de Vila Vila, Palca y Santa Lucía, donde la erosión es particularmente propensa. Estas áreas coinciden con sectores de alta pendiente y baja cobertura vegetal, lo cual incrementa la susceptibilidad al desgaste del suelo. La comparación de los valores de los factores erosivos (R, K, LS, C y P) con las tasas de erosión obtenidas permite confirmar que estos parámetros están en línea con los estándares establecidos por la FAO (2014), validando la precisión del modelo RUSLE en la evaluación del riesgo de erosión en la región.

#### Cuenca Alta

La cuenca alta, ubicada entre los distritos de Santa Lucía, Paratia, Palca y Vila Vila, presenta zonas con procesos erosivos intensos, donde la pérdida de suelo llega a  $234.25 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . En estas áreas, la pendiente pronunciada y la escasa cobertura vegetal son los principales factores que aceleran el arrastre del suelo. Según Getu et al. (2022) y Saha et al. (2022), la combinación de estas variables genera una dinámica erosiva intensa, que no solo afecta la estabilidad del ecosistema, sino que también compromete la productividad agrícola a largo plazo. Las imágenes satelitales y mapas generados mediante SIG muestran claramente áreas de cárcavas activas y sedimentación excesiva en estas zonas, lo cual refuerza la necesidad urgente de intervenciones de conservación.

#### Cuenca Media

En la cuenca media, que abarca partes de los distritos de Cabanillas, Paratia, Palca y Vila Vila, se identificaron zonas con procesos erosivos graves, con tasas de pérdida de suelo entre  $25 \text{ a } 85 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Aunque la erosión es apreciable a simple vista, los factores topográficos y de cobertura vegetal influyen de manera menos intensa que en la cuenca alta. La presencia de vegetación nativa y una pendiente moderada contribuyen a reducir la velocidad de erosión, permitiendo que la pérdida de suelo sea tolerable y no tan evidente.

## Cuenca Baja

La cuenca baja, que incluye los distritos de Lampa, Cabanillas, Juliaca, San Miguel y Caracoto, muestra procesos erosivos leves, con tasas de pérdida de suelo que varían entre 0 a 25 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. En esta región, la pendiente suave y la cobertura vegetal adecuada minimizan los efectos de la erosión hídrica, manteniendo la estabilidad del ecosistema y la productividad agrícola. Sin embargo, es importante destacar que, aunque la erosión no es visible a simple vista, la acumulación gradual de sedimentos puede generar problemas de inundación y deterioro de infraestructuras en áreas cercanas a los cauces principales.

El presente estudio coincide con investigaciones anteriores, como las realizadas por el GORE (2014), en cuanto a la importancia de la erosión hídrica como un proceso clave de degradación del suelo en la región. Sin embargo, difiere en su enfoque y detalle, ya que el presente trabajo utiliza el modelo RUSLE para proporcionar una evaluación más precisa y localizada de los riesgos erosivos. Mientras que el GORE (2014) identifica patrones generales de erosión que afectan una superficie de 33,433 km<sup>2</sup>, la presente investigación ofrece una visión más detallada de las zonas críticas, permitiendo priorizar intervenciones específicas en áreas de mayor vulnerabilidad.

Asimismo, los resultados de la presente investigación respaldan las conclusiones de SENAMHI, que señalan que la erosión hídrica superficial es provocada principalmente por actividades humanas como la minería, la agricultura, la ganadería y agentes naturales como la lluvia y la interacción entre estos factores genera una dinámica compleja que debe ser abordada desde una perspectiva integral, considerando tanto la mitigación de impactos directos como la adaptación a los cambios climáticos futuros.

Los factores erosivos evaluados mediante el modelo RUSLE (factor R, factor K, factor LS, factor C y factor P). El factor R mostró valores altos en toda la cuenca, especialmente en la temporada lluviosa (noviembre a marzo), lo cual explica la alta incidencia de erosión durante este período. El factor K (erodabilidad del suelo) también fue relevante, ya que suelos finos y erodables, como los encontrados en la cuenca alta aumentaron significativamente la susceptibilidad a la pérdida de material.

Por otro lado, el factor LS (topografía) resultó ser uno de los elementos más determinantes en la cuenca alta, donde las pendientes fuertemente quebradas y escarpadas favorecen la concentración de escorrentía y el transporte de sedimentos. En contraste, en la cuenca baja, donde las pendientes son más suaves, la erosión es considerablemente menor. Finalmente, el factor C y el factor P, demostraron ser cruciales para mitigar los efectos de la erosión. En zonas con cobertura vegetal deficiente y ausencia de prácticas de conservación, como en Vila Vila y Palca, la erosión alcanzó niveles catastróficos, mientras que, en áreas protegidas por bosques nativos o sistemas agroforestales, como en Lampa, la erosión fue mínima.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

La erosión hídrica anual promedio en la cuenca del río Coata, estimada mediante el modelo RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), alcanza un valor de 234.25 t ha<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. Dicha magnitud de pérdida de suelo indica un proceso de degradación acelerada, con implicaciones significativas sobre la productividad agrícola, la calidad del recurso hídrico y la estabilidad ecológica de la cuenca Coata. El análisis espacial permitió identificar las zonas más vulnerables y los factores predominantes en este proceso erosivo.

La erosividad de la lluvia(R) en la cuenca del río Coata, se obtuvo un valor mínimo 635.08 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> y un máximo de 1353.48 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> se emplearon registros de precipitaciones mensuales comprendidos entre 1990 a 2023 de SENAMHI. Adicional a esto la erodabilidad del suelo (K) en la cuenca del río Coata oscila entre 0.0013343 t ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> a 0.032974 t ha h ha<sup>-1</sup> MJ<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>, considerando los valores de textura, materia orgánica, determinadas en laboratorio.

La cuenca alta del río Coata sufre una mayor pérdida de suelo por erosión hídrica en comparación con las cuencas media y baja, debido a su topografía pronunciada y escasa cobertura vegetal. En la cuenca media, la erosión es grave, aunque mitigada por una vegetación moderada. Además, la cuenca baja presenta niveles de erosión bajos, favorecidos por pendientes suaves.

## 5.2. Recomendaciones

Establecer un sistema automatizado de evaluación de la erosión hídrica mediante el uso integrado de Rstudio y Python, aprovechando sus capacidades para el análisis estadístico, la modelación espacial y la visualización de datos. Este sistema permitiría no solo calcular periódicamente el índice de pérdida de suelo mediante el modelo RUSLE, sino también simular escenarios futuros bajo diferentes condiciones climáticas o de uso del suelo.

Usar datos meteorológicos en tiempo real y análisis espaciales con herramientas SIG para identificar áreas críticas. La integración de datos pluviométricos en tiempo real, provenientes de estaciones del SENAMHI, con plataformas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), permitiría una detección temprana de eventos de alta erosividad pluvial.

Elaborar mapas de riesgo de erosión hídrica actualizados y de fácil interpretación para su uso por parte de comunidades rurales y gestores ambientales. Estos mapas deben ser acompañados de programas de capacitación, enfocados en prácticas de conservación del suelo como el uso de coberturas vegetales, terrazas agrícolas, rotación de cultivos y sistemas agroforestales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Abdulkareem, J. H., B. Pradhan, W. N. A. Sulaiman, y N. R. Jamil. 2019a. «Prediction of Spatial Soil Loss Impacted by Long-Term Land-Use/Land-Cover Change in a Tropical Watershed». *Geoscience Frontiers* 10(2):389-403. doi:10.1016/j.gsf.2017.10.010.
- Abdulkareem, J. H., B. Pradhan, W. N. A. Sulaiman, y N. R. Jamil. 2019b. «Prediction of Spatial Soil Loss Impacted by Long-Term Land-Use/Land-Cover Change in a Tropical Watershed». *Geoscience Frontiers* 10(2):389-403. doi:10.1016/j.gsf.2017.10.010.
- Agegnehu, Natnael, Hasan Raja, y Daniel Alemayehu. 2020. «Evaluación, priorización y tratamiento de conservación de la erosión del suelo inducida por la lluvia utilizando los modelos RUSLE y SYI en las cuencas hidrográficas de las tierras altas de Etiopía: Geocarto International: Vol 37, No 9». <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/10106049.2020.1822927?needAccess=true>.
- Al-hasn, Rukea, Feras Alghamaz, Mohammd Dikkeh, y Younes Idriss. 2024. «Water Soil Erosion Modeling with RUSLE, GIS & Remote Sensing: A Case Study of the AL-Sanaoubar River Basin (Syria)». *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 23(7):474-84. doi:10.1016/j.jssas.2024.05.004.
- Alvarez Ticllasuca, Adiel. 2020. «Análisis temporal del nivel de la erosión hídrica de la subcuenca del río Ichu 2013 y 2017». *TAYACAJA* 3(2). doi:10.46908/rict.v3i2.97.
- Aranque, M. 2019. *Cuencas hidrográficas*. Ecuador: 1era. Edición: Universidad Politécnica Salesiana Av. Turuhuyco 3-69 y Calle Vieja Casilla: 2074 P.B.X.: (+593 7) 2050000 Fax: (+593 7) 4088958 e-mail: rpublicas@ups.edu.ec www.ups.edu.ec Casilla: 2074 P.B.X.: (+593 7) 2050000 Cuenca-Ecuador.
- Ares, M., y M. Varni. 2016. «erosión hídrica y cómo la estudiamos en el ILLHA».
- Arias-Muñoz, Paul, Miguel A. Saz, y Severino Escolano. 2023. «Estimación de la erosión del suelo mediante el modelo RUSLE. Caso de estudio: cuenca media alta del río Mira en los Andes de Ecuador». *Investigaciones Geográficas* (79):207. doi:10.14198/INGEO.22390.
- Arnouldus, H. 1980. «Una aproximación del factor de lluvia en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo. Una aproximación del factor de lluvia en la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo.» Pp. 127-32 en.
- Atauje Camasca, Diana Elvira Atauje. 2018. «Estimacion de la erosion hidrica para la conservación de suelos en la cuenca Huatatas, ayacucho - 2017».
- Barrientos, Francisco Rodríguez. 2018. «Cuencas Hidrográficas, Descentralización y Desarrollo Regional Participativo». . . *ISSN*.
- Bircher, P., H. P. Liniger, y V. Prasuhn. 2019. «Comparing Different Multiple Flow Algorithms to Calculate RUSLE Factors of Slope Length (L) and Slope Steepness

- Borrelli, Pasquale, Christine Alewell, Pablo Alvarez, Jamil Alexandre Ayach Anache, Jantiene Baartman, Cristiano Ballabio, Nejc Bezak, Marcella Biddoccu, Artemi Cerdà, Devraj Chalise, Songchao Chen, Walter Chen, Anna Maria De Girolamo, Gizaw Desta Gessesse, Detlef Deumlich, Nazzareno Diodato, Nikolaos Efthimiou, Gunay Erpul, Peter Fiener, Michele Freppaz, Francesco Gentile, Andreas Gericke, Nigussie Haregeweyn, Bifeng Hu, Amelie Jeanneau, Konstantinos Kaffas, Mahboobeh Kiani-Harchegani, Ivan Lizaga Villuendas, Changjia Li, Luigi Lombardo, Manuel López-Vicente, Manuel Esteban Lucas-Borja, Michael Märker, Francis Matthews, Chiyuan Miao, Matjaž Mikoš, Sirio Modugno, Markus Möller, Victoria Naipal, Mark Nearing, Stephen Owusu, Dinesh Panday, Edouard Patault, Cristian Valeriu Patriche, Laura Poggio, Raquel Portes, Laura Quijano, Mohammad Reza Rahdari, Mohammed Renima, Giovanni Francesco Ricci, Jesús Rodrigo-Comino, Sergio Saia, Aliakbar Nazari Samani, Calogero Schillaci, Vasileios Syrris, Hyuck Soo Kim, Diogo Noses Spinola, Paulo Tarso Oliveira, Hongfen Teng, Resham Thapa, Konstantinos Vantas, Diana Vieira, Jae E. Yang, Shuiqing Yin, Demetrio Antonio Zema, Guangju Zhao, y Panos Panagos. 2021. «Soil Erosion Modelling: A Global Review and Statistical Analysis». *Science of The Total Environment* 780:146494. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.146494.
- Camargo, Cristopher, Carlos Pacheco, y Roberto López. 2017a. «Erosión hídrica, fundamentos, evaluación y representación cartográfica: una revisión con énfasis en el uso de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica». *Gestión y Ambiente* 20(2):265-80. doi:10.15446/ga.v20n2.63917.
- Camargo, Cristopher, Carlos Pacheco, y Roberto López. 2017b. «Erosión hídrica, fundamentos, evaluación y representación cartográfica: una revisión con énfasis en el uso de sensores remotos y Sistemas de Información Geográfica». *Gestión y Ambiente* 20(2):265-80. doi:10.15446/ga.v20n2.63917.
- Carrión Tapullima, José Luis, Abel Emilio Zapata Abad, Jessica Marleny Luján Rojas, Fernando Ugaz Odar, Grant Ilich Llaque Fernández, y Marlon Walter Valderrama Puscan. 2023. «Application of the rusle model to calculate soil water erosion in the lower basin of the virú river, la Libertad region, 2022». en *Proceedings of the 21th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology (LACCEI 2023): "Leadership in Education and Innovation in Engineering in the Framework of Global Transformations: Integration and Alliances for Integral Development"*. Latin American and Caribbean Consortium of Engineering Institutions.
- Chili Luque, Jordan Isarel. 2024. «Determinación de la erosión hidrica mediante el metodo USLE aplicando teledeteccion y SIG.»
- Cisneros, J., C. Cholaky, A. Cantero, J. Gonzalez, M. Reynero, A. Diez, y L. Bergesio. 2012. *Erosion hidrica Principios y técnicas de manejo*. Rio Cuarto- Cordoba- Argentina: UniRío editora. Universidad Nacional de Río Cuarto Ruta Nacional 36 km 601 – (X5804) Río Cuarto – Argentina Tel.: 54 (358) 467 6309 – Fax.: 54

- Condori, V. 2018. «Pérdida del suelo por erosión hídrica en la comunidad de san francisco de Chañajari Moho - Puno». 150.
- Cotler, Helena, Esthela Sotelo, Judith Dominguez, María Zorrilla, y Sofia Cortina. 2007. «La conservación de suelos: un asunto de interés público».
- Deng, J. S., K. Wang, Y. H. Deng, y G. J. Qi. 2008. «PCA-based Land-use Change Detection and Analysis Using Multitemporal and Multisensor Satellite Data». *International Journal of Remote Sensing* 29(16):4823-38. doi:10.1080/01431160801950162.
- Dissanayake, Dmslb, Takehiro Morimoto, y Manjula Ranagalage. 2019. «Accessing the Soil Erosion Rate Based on RUSLE Model for Sustainable Land Use Management: A Case Study of the Kotmale Watershed, Sri Lanka». *Modeling Earth Systems and Environment* 5(1):291-306. doi:10.1007/s40808-018-0534-x.
- Dos Santos, Cícero Manoel, Érico Tadao Teramoto, Amaury de Souza, Flavio Aristone, y Razika Ihaddadene. 2021. «Several Models to Estimate Daily Global Solar Irradiation: Adjustment and Evaluation». *Arabian Journal of Geosciences* 14(4):286. doi:10.1007/s12517-021-06603-8.
- Duque, G. 2021. «Erosion de suelos».
- Duque, G., y C. Escobar. 2016. *Geomecánica*.
- Espinoza Rivas, Germán Rafael. 2021. «Geomorfología fluvial del Altiplano peruano: Cuenca del río Coata - Puno». *Publicación Especial N ° 15 - Resúmenes ampliados del XX Congreso Peruano de Geología (2021)*. www.sgp.org.pe ISSN 0079-1091.
- Fang, Haiyan, Yuyu Zhai, y Chaoyue Li. 2024. «Evaluating the Impact of Soil Erosion on Soil Quality in an Agricultural Land, Northeastern China». *Scientific Reports* 14(1):15629. doi:10.1038/s41598-024-65646-5.
- FAO. 2000. *Manual de practicas integradas de manejo y conservación de suelos*.
- FAO. 2014. «Base referencial mundial del recurso suelo 2014».
- FAO. 2016. *Estado mundial del Recurso Suelo: resumen técnico*. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Fayas, Cassim Mohamed, Nimal Shantha Abeysingha, Korotta Gamage Shyamala Nirmanee, Dinithi Samarantunga, y Ananda Mallawatantri. 2019. «Soil Loss Estimation Using Rusle Model to Prioritize Erosion Control in KELANI River Basin in Sri Lanka». *International Soil and Water Conservation Research* 7(2):130-37. doi:10.1016/j.iswcr.2019.01.003.
- Fernández, Pablo Huerta. 2014. «Erosion hidrica en la cuenca alta del rio Moche». 13(1).

- Gamtesa, Olika, Gelana Fikadu, y Basha Gedefa. 2023. «GIS based soil loss assessment using RUSLE model: A case of Horo district, western Ethiopia». *Heliyon* 9(2):e13313. doi:10.1016/j.heliyon.2023.e13313.
- Ganasri, B. P., y H. Ramesh. 2016. «Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - A case study of Nethravathi Basin». *Geoscience Frontiers* 7(6):953-61. doi:10.1016/j.gsf.2015.10.007.
- Ganasri, B.P., y H. Ramesh. 2016. «Assessment of Soil Erosion by RUSLE Model Using Remote Sensing and GIS - A Case Study of Nethravathi Basin». *Geoscience Frontiers* 7(6):953-61. doi:10.1016/j.gsf.2015.10.007.
- Gelagay, Habtamu Sewnet, y Amare Sewnet Minale. 2016. «Soil Loss Estimation Using GIS and Remote Sensing Techniques: A Case of Koga Watershed, Northwestern Ethiopia». *International Soil and Water Conservation Research* 4(2):126-36. doi:10.1016/j.iswcr.2016.01.002.
- Getu, Legese Abebaw, Attila Nagy, y Hailu Kendie Addis. 2022. «Soil Loss Estimation and Severity Mapping Using the RUSLE Model and GIS in Megech Watershed, Ethiopia». *Environmental Challenges* 8:100560. doi:10.1016/j.envc.2022.100560.
- Ghosal, Kaushik, y Santasmita Das Bhattacharya. 2021. «Identification of the Relationship between Temporally Varying Land Surface Temperature of Winter Season with the Cover Management Factor of Revised Universal Soil Loss Equation: A Case Study from Upper Bakreshwar River Basin». doi:10.5281/ZENODO.5774862.
- Gisbert, J., S. Ibáñez, y H. Moreno. 2012. «El factor K de la ecuación universal de perdidas de suelo(USLE)».
- GORE, PUNO. 2013. «Plan de desarrollo regional concertado puno al 2021».
- Honorato, R., L. Barrales, I. Peña, y F. Barrera. 2001. «Evaluacion del modelo USLE en la estimacion de la erosion en seis localidades entre la IV y IX region Chile». *CIENCIA E INVESTIGACION AGRARIA* 8.
- INRENA. 2008. *Evaluación de los Recursos Hídricos en las Cuencas de los Ríos Cabanillas y Lampa*. Cuencas de los Ríos Cabanillas y Lampa.
- Jobin, Thomas, Joseph Sabu, y K. P. Thrivikramji. 2018. «Assessment of Soil Erosion in a Tropical Mountain River Basin of the Southern Western Ghats, India Using RUSLE and GIS». *Geoscience Frontiers* 9(3):893-906. doi:10.1016/j.gsf.2017.05.011.
- Konstantinos, K., y H. Vlassios. 2019. «Soil Erosion at a Glance».
- Linés, A. 2010. «Clima y cambio climático». 12.
- Maglione, Dora, Julio Soto, José Luis Sáenz, y Oscar Bonfili. 2019. «Utilización de diferentes metodologías para la construcción de un mapa de precipitación

- acumulada en la Provincia de Santa Cruz». *Informes Científicos Técnicos - UNPA* 11(1):154-69. doi:10.22305/ict-unpa.v11i1.779.
- Mamani, Wile, Lourdes Mamani Puma, Yoni Narvaez Ttito, Yanet Melissa Menacho Valeriano, y Myriam Gyanela Quispe Cañapataña. 2021. «Estimación del factor de erosividad de las precipitaciones pluviales en la localidad Juliaca - Perú». *Ñawparisun - Revista de Investigación Científica de Ingenierías* 3(3). doi:10.47190/nric.v3i3.3.
- Maqsoom, Ahsen, Bilal Aslam, Usman Hassan, Zaheer Abbas Kazmi, Mahmoud Sodangi, Rana Faisal Tufail, y Danish Farooq. 2020. «Geospatial Assessment of Soil Erosion Intensity and Sediment Yield Using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) Model». *ISPRS International Journal of Geo-Information* 9(6):356. doi:10.3390/ijgi9060356.
- Matías Ramos, Moisés, Jesús David Gómez Díaz, Alejandro Ismael Monterroso Rivas, Miguel Uribe Gómez, Bartolo De Jesús Villar Hernández, Patricia Ruíz García, y Carlos Asencio. 2020. «Factores que influyen en la erosión hídrica del suelo en un bosque templado». *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 11(59). doi:10.29298/rmcf.v11i59.673.
- McCool, D. K., L. C. Brown, G. R. Foster, C. K. Mutchler, y L. D. Meyer. 1987. «Revised Slope Steepness Factor for the Universal Soil Loss Equation». *Transactions of the ASAE* 30(5):1387-96. doi:10.13031/2013.30576.
- McCool, D. K., G. R. Foster, C. K. Mutchler, y L. D. Meyer. 1989. «Revised Slope Length Factor for the Universal Soil Loss Equation». *Transactions of the ASAE* 32(5):1571-76. doi:10.13031/2013.31192.
- Mengistu, Daniel, Woldeamlak Bewket, y Rattan Lal. 2015. «Soil Erosion Hazard Under the Current and Potential Climate Change Induced Loss of Soil Organic Matter in the Upper Blue Nile (Abay) River Basin, Ethiopia». Pp. 137-63 en *Sustainable Intensification to Advance Food Security and Enhance Climate Resilience in Africa*, editado por R. Lal, B. R. Singh, D. L. Mwaseba, D. Kraybill, D. O. Hansen, y L. O. Eik. Cham: Springer International Publishing.
- Moore, I., R. Grayson, y A. Ladson. 1991. «Digital Terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications.» 166.
- Nakaya, D. 2018. «Estimacion de la perdida de suelo media anual mediante el modelo R.U.S.L.E., en la cuenca del rio Tingo-Cajamarca». Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima-Peru.
- Paco. 2022. «INFLUENCIA DE MEDIDAS DE CONSERVACIÓN DE SUELOS EN LA EROSIÓN HÍDRICA EN LA MICROCUCENCA DEL RÍO TEMPORAL ESCALERANI – PUNO». Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Panagos, Panos, Pasquale Borrelli, Jean Poesen, Katrin Meusburger, Cristiano Ballabio, Emanuele Lugato, Luca Montanarella, y Christine Alewell. 2016. «Reply to “The New Assessment of Soil Loss by Water Erosion in Europe. Panagos P. et al., 2015 Environ. Sci. Policy 54, 438–447—A Response” by Evans and Boardman

- [Environ. Sci. Policy 58, 11–15]». *Environmental Science & Policy* 59:53-57. doi:10.1016/j.envsci.2016.02.010.
- Patil, R., y S. Sharma. 2013. «Remote Sensing and GIS Based Modeling of Crop/Cover Management Factor (C) of USLE in Shakker River Watershed». en *International Conference on Chemical, Agricultural and Medical Sciences (CAMS-2013) Dec. 29-30, 2013 Kuala Lumpur (Malaysia)*. Malaysia: International Institute of Chemical, Biological & Environmental Engineering.
- Perales, A. 2019. «Perdida de suelo por erosion hidrica aplicando el modelo RUSLE en la cuenca del rio Supte Grande, Provincia Leoncio Prado - Huanuco». Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo Maria.
- Pimentel, David. 2006. «Soil Erosion: A Food and Environmental Threat». *Environment, Development and Sustainability* 8(1):119-37. doi:10.1007/s10668-005-1262-8.
- Renard, K. 1997. *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. United States Government.
- Renard, K., G. Foster, G. Weesies, D. McCool, y D. Yoder, eds. 1997. *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*. Agriculture Handbook. Washington, D. C.
- Renard, Kenneth G., y Jeremy R. Freimund. 1994. «Using Monthly Precipitation Data to Estimate the R-Factor in the Revised USLE». *Journal of Hydrology* 157(1-4):287-306. doi:10.1016/0022-1694(94)90110-4.
- Saha, Monojit, Samrin Sumaiya Sauda, H. Rainak Khan Real, y Mallik Mahmud. 2022. «Estimation of Annual Rate and Spatial Distribution of Soil Erosion in the Jamuna Basin Using RUSLE Model: A Geospatial Approach». *Environmental Challenges* 8:100524. doi:10.1016/j.envc.2022.100524.
- Schmaltz, Elmar, Lisbeth Johannsen, Martin Hvarregaard Thorsøe, Mika Tähtikarhu, Timo Räsänen, Frédéric Darboux, y Peter Strauss. 2024. «Connectivity elements and mitigation measures in policy-relevant soil erosion models:: A survey across Europe». *Catena* 234(107600). doi:10.1016/j.catena.2023.107600.
- SENAMHI. 2013. «estudio hidrológico superficial de las cuencas de los rios ilave y coata». 127.
- SENAMHI. 2017. *Atlas de Erosión de Suelos por Regiones Hidrológicas del Perú*. Nota Tecnica N°002. Lima-Peru: SENAMHI.
- Senanayake, Sumudu, Biswajeet Pradhan, Haritha Wedathanthirige, Abdullah Alamri, y Hyuck-Jin Park. 2024. «Monitoring Soil Erosion in Support of Achieving SDGs: A Special Focus on Rainfall Variation and Farming Systems Vulnerability». *CATENA* 234:107537. doi:10.1016/j.catena.2023.107537.
- Shara Guche, Mamo, Getachew Bereta Geremew, y Elias Gebeyehu Ayele. 2024. «GIS-Based Soil Erosion Dynamics Modeling by RUSLE at Watershed Level in Hare

- Watershed, Rift Valley Basin, Ethiopia». 2024:19. doi:<https://doi.org/10.1155/2024/9916448>.
- Sharpley, y Williams. 1990. «The Erosion-Productivity Impact Calculator (EPIC) Model: A Case History». *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences* 329(1255):421-28. doi:10.1098/rstb.1990.0184.
- Soriano, M. Roldán. 2012. «Influencia de la altura de la cubierta vegetal en la variación de la energía cinética de las gotas de lluvia interceptadas».
- Sun, Wenyi, Quanqin Shao, Jiyuan Liu, y Jun Zhai. 2014. «Assessing the Effects of Land Use and Topography on Soil Erosion on the Loess Plateau in China». *CATENA* 121:151-63. doi:10.1016/j.catena.2014.05.009.
- Terranova, O., L. Antronico, R. Coscarelli, y P. Iaquina. 2009. «Soil Erosion Risk Scenarios in the Mediterranean Environment Using RUSLE and GIS: An Application Model for Calabria (Southern Italy)». *Geomorphology* 112(3-4):228-45. doi:10.1016/j.geomorph.2009.06.009.
- Valeriano M., Flavia Glades, y Didier Leonidas Mamani T. 2023. «Modelamiento de acumulacion de sedimentos a los 5, 10, 20 y 50 años en el embalse Sapancota - pucara- lampa-puno.» *Universidad Nacional del Altiplano*.
- Vasconez, Michelle, Andrea Mancheno, Cesar Alvarez, Claudia Prehn, Carina Cevallos, y Liliana Ortiz. 2019. *Cuencas hidrograficas*.
- Vásquez Villanueva, Absalón. 2016. *Manejo y Gestión de Cuencas Hidrográficas*. Primera edición. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Williams, J. R., y J. G. Arnold. 1997. «A system of erosion—sediment yield models». *Soil Technology* 11(1):43-55. doi:10.1016/S0933-3630(96)00114-6.
- Wischmeier, W. H. 1959. «A Rainfall Erosion Index for the Universal Soil-Loss Equation. Soil Science Society American».
- Wischmeier, W. H., y J. V. Mannering. 1969. «Relation of Soil Properties to Its Erodibility». *Soil Science Society of America Journal* 33(1):131-37. doi:10.2136/sssaj1969.03615995003300010035x.
- Wischmeier, W., y D. Smith. 1978. *Predicting rainfall erosion losses*. Vol. N°537.
- Yartsev, A. 2024. «Definición de Calor y Temperatura | Fisiología Trastornada».
- Yesuph, Asnake Yimam, y Amare Bantider Dagnew. 2019. «Soil Erosion Mapping and Severity Analysis Based on RUSLE Model and Local Perception in the Beshillo Catchment of the Blue Nile Basin, Ethiopia». *Environmental Systems Research* 8(1):17. doi:10.1186/s40068-019-0145-1.
- Yusof, Noor Fadzilah, Tukimat Lihan, Wan Mohd Razi Idris, Zulfahmi Ali Rahman, Muzneena Ahmad Mustapha, y Mohd. Abdul Wahab Yusof. 2021. «Spatially distributed soil losses and sediment yield: A case study of Langat watershed,

Selangor, Malaysia». *Journal of Asian Earth Sciences* 212:104742.  
doi:10.1016/j.jseas.2021.104742.

# **ANEXOS**

## Anexo 1 : Precipitaciones medias mensuales de la cuenca Coata (1990-2023)

**Tabla 20**

*Datos de precipitación de la estación Llalli*

DATA DE PRECIPITACION (mm)														
Estación	Llalli		Latitud		14°57'10.3"		S		Departamento			Puno		
Tipo	Con-Met		Longitud		70°52'49.9"		w		Provincia			Melgar		
Cuenca	Coata		Altitud		3985		m.s.n.m.		Distrito			Llalli		
Nº	Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic	Anual
1	1990	189.68	95.90	72.50	44.42	11.93	38.39	0.17	6.32	13.05	109.82	111.96	111.25	805.39
2	1991	185.22	123.24	166.56	46.15	21.09	37.77	4.61	6.18	14.23	36.13	35.22	92.38	768.78
3	1992	119.93	120.85	47.32	23.23	1.06	5.44	2.01	49.41	4.55	56.37	71.15	99.46	600.78
4	1993	205.80	69.92	137.60	53.20	0.00	11.00	0.10	30.60	15.10	105.40	153.30	137.30	919.32
5	1994	208.20	173.30	154.40	75.20	2.80	0.00	0.00	0.00	5.00	15.90	75.40	122.20	832.40
6	1995	156.50	168.10	131.50	57.10	1.10	0.00	1.30	8.80	13.80	21.80	43.20	97.90	701.10
7	1996	176.60	163.40	117.30	60.90	16.60	0.00	0.00	3.90	9.80	25.10	41.80	158.00	773.40
8	1997	258.80	158.80	185.30	83.00	5.00	0.00	0.00	14.10	39.20	28.00	82.40	121.80	976.40
9	1998	218.60	175.90	90.00	37.60	0.00	1.10	0.00	9.10	5.30	80.20	73.20	89.80	780.80
10	1999	164.00	178.60	181.00	146.10	7.40	1.70	0.00	1.80	28.70	89.90	21.20	116.10	936.50
11	2000	241.50	184.80	127.70	18.50	24.10	5.10	9.00	12.40	7.80	115.80	23.00	104.40	874.10
12	2001	266.40	126.30	181.30	47.80	24.20	0.00	3.70	11.49	8.79	0.00	0.00	69.20	739.18
13	2002	155.90	150.40	132.00	56.00	30.20	0.60	16.00	11.00	23.20	115.80	92.00	104.50	887.60
14	2003	153.20	124.20	164.70	24.60	3.90	2.00	0.00	8.40	29.40	17.60	29.00	118.00	675.00
15	2004	207.10	118.80	105.40	50.40	7.00	4.00	11.00	15.80	26.00	17.90	50.90	172.70	787.00
16	2005	82.70	302.60	118.30	51.80	0.20	0.00	1.40	2.40	6.70	64.70	80.30	102.00	813.10
17	2006	261.10	142.60	178.80	80.90	0.00	8.20	0.00	9.10	49.15	30.90	77.10	151.00	988.85
18	2007	118.30	130.40	292.50	77.50	21.30	0.40	8.60	0.00	42.70	21.60	66.50	138.70	918.50
19	2008	220.10	136.90	102.40	0.30	4.30	4.50	0.00	2.10	20.80	52.90	14.80	239.10	798.20
20	2009	87.10	173.80	135.30	57.50	7.40	0.00	0.10	0.00	18.10	37.30	131.80	159.00	807.40
21	2010	188.50	201.80	101.40	79.00	8.40	0.00	0.40	0.00	0.00	25.00	70.00	171.00	845.50
22	2011	136.80	228.10	165.70	131.80	16.70	0.00	12.80	10.20	22.20	18.70	57.60	225.30	1025.90
23	2012	204.40	179.10	140.80	134.10	4.80	0.00	0.00	0.00	5.50	33.50	76.40	222.40	1001.00
24	2013	225.50	184.60	128.10	41.20	13.00	30.30	10.50	24.60	13.70	53.30	57.20	172.10	954.10
25	2014	125.20	109.90	76.10	43.10	1.10	0.00	3.60	13.90	34.30	136.10	48.10	128.20	719.60
26	2015	186.10	104.20	83.70	107.60	1.00	0.00	11.20	3.70	28.90	35.70	48.00	120.80	730.90
27	2016	53.40	172.10	66.40	82.20	1.00	1.50	11.20	10.16	19.00	69.40	38.00	107.10	631.46
28	2017	135.10	92.10	190.40	55.30	33.90	1.00	0.80	0.00	44.60	63.00	75.60	124.60	816.40
29	2018	189.90	227.50	207.80	39.20	0.00	27.20	29.10	13.60	11.40	87.20	72.51	86.10	991.51
30	2019	181.50	182.10	115.00	38.20	22.30	0.60	13.90	0.00	1.50	54.70	108.40	133.60	851.80
31	2020	173.00	276.70	137.16	72.50	7.90	0.00	0.00	0.00	31.40	67.70	22.40	142.70	931.46
32	2021	210.80	165.10	244.00	65.50	13.30	6.30	0.00	0.00	22.50	47.80	121.90	133.70	1030.90
33	2022	333.00	208.70	141.50	44.10	0.00	0.00	0.00	1.10	2.90	3.50	1.90	85.50	822.20
34	2023	101.20	157.60	257.50	25.90	32.70	0.00	1.70	20.00	5.20	74.70	106.50	150.30	933.30
Media		180.03	162.01	143.45	60.35	10.17	5.50	4.51	8.83	18.37	53.34	64.08	132.59	843.23

**Tabla 21***Datos de precipitación de la estación Santa Lucia*

DATA DE PRECIPITACION (mm)														
Estación	Santa Lucia		Latitud		15°41'38.67"		S		Departamento			Puno		
Tipo	Con-Met		Longitud		70°35'57.38"		w		Provincia			Lampa		
Cuenca	Coata		Altitud		4045		m.s.n.m.		Distrito			Santa Lucia		
N°	Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic	Anual
1	1990	166.25	61.18	52.50	18.98	7.56	22.53	0.99	5.97	6.04	95.74	104.52	101.39	643.65
2	1991	178.10	110.29	137.06	24.48	8.90	24.17	1.34	0.59	11.51	20.77	13.70	88.57	619.48
3	1992	99.07	107.16	20.45	9.12	1.22	3.21	7.17	32.72	6.80	34.04	47.00	88.36	456.32
4	1993	173.68	69.32	111.63	43.55	8.56	4.76	1.13	11.49	9.91	89.73	85.32	157.97	767.05
5	1994	175.14	172.79	128.88	104.20	7.44	0.11	1.00	1.23	9.93	14.67	68.51	116.54	800.44
6	1995	127.87	123.96	121.07	19.08	2.36	1.03	1.04	2.40	13.12	11.14	54.99	91.96	570.02
7	1996	182.00	135.58	89.51	44.79	11.02	1.00	3.74	12.38	14.22	11.15	67.56	159.15	732.10
8	1997	205.66	185.72	156.46	54.84	3.84	1.02	0.07	13.60	32.70	23.28	100.23	86.97	864.39
9	1998	158.28	159.90	123.68	13.82	0.99	2.97	0.02	1.18	3.03	39.98	68.99	52.36	625.20
10	1999	134.08	147.62	159.90	96.78	9.73	1.34	2.33	4.41	13.60	112.09	11.30	66.13	759.31
11	2000	193.48	170.64	125.40	14.80	8.47	7.58	1.06	8.53	9.03	84.77	10.71	106.24	740.71
12	2001	227.61	180.85	141.19	41.33	11.49	1.50	4.00	13.90	2.40	17.30	9.50	100.50	751.57
13	2002	92.30	163.80	134.70	87.70	15.10	0.00	24.30	5.60	2.30	29.40	98.60	119.00	772.80
14	2003	153.70	151.00	220.80	27.20	9.70	6.30	0.00	0.00	2.70	2.40	3.60	102.30	679.70
15	2004	171.10	155.00	86.20	60.80	0.00	0.00	12.20	12.90	0.00	10.00	29.00	69.90	607.10
16	2005	230.80	215.00	53.90	1.90	0.00	0.00	0.00	0.00	13.50	1.80	89.30	112.50	718.70
17	2006	252.90	112.90	173.10	46.60	0.00	1.80	0.00	0.00	26.75	34.73	83.00	102.20	833.98
18	2007	90.44	98.10	204.70	78.11	19.10	0.00	3.90	3.86	13.20	14.40	54.10	58.80	638.71
19	2008	201.15	55.60	30.20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	5.30	26.30	13.90	285.30	617.75
20	2009	135.00	183.40	81.00	14.60	0.00	0.00	15.60	0.00	22.10	12.30	104.70	119.90	688.60
21	2010	176.20	193.30	52.20	34.60	15.10	0.00	0.00	0.00	0.00	11.20	45.10	176.10	703.80
22	2011	93.70	164.90	103.70	36.80	0.00	0.00	8.80	0.00	4.50	12.00	34.30	197.50	656.20
23	2012	164.80	197.70	179.20	128.80	0.00	0.00	0.90	1.60	3.60	27.40	59.00	167.90	930.90
24	2013	193.50	139.50	85.10	10.60	6.60	17.10	32.00	21.50	8.42	31.94	45.19	185.33	776.78
25	2014	158.69	86.96	80.68	38.92	2.53	0.03	8.91	10.63	16.16	80.00	36.26	114.70	634.47
26	2015	139.71	139.55	90.35	123.40	2.48	2.82	8.78	6.79	22.30	27.09	47.37	81.34	691.98
27	2016	66.16	190.21	44.46	77.69	2.71	4.57	7.21	5.91	9.61	45.62	20.22	65.39	539.76
28	2017	131.24	135.62	165.84	31.09	14.22	3.38	5.21	0.00	23.21	39.03	60.96	107.91	717.71
29	2018	166.41	174.45	169.31	12.95	7.44	15.15	17.33	9.99	7.26	78.71	54.02	96.58	809.60
30	2019	162.09	159.17	94.94	54.90	9.77	2.67	6.89	0.00	11.00	34.35	119.50	83.40	738.68
31	2020	115.50	233.60	113.05	46.66	14.49	1.12	0.00	0.00	12.00	39.40	4.30	173.70	753.82
32	2021	225.20	69.40	123.00	31.60	7.40	0.40	0.00	2.80	10.70	29.40	70.50	105.10	675.50
33	2022	249.20	87.40	81.00	42.30	0.00	0.00	8.20	0.00	0.00	0.00	9.50	65.40	543.00
34	2023	63.30	121.90	177.40	27.10	14.90	0.00	8.90	0.00	2.50	59.50	135.30	79.40	690.20
	Media	160.42	142.75	115.08	44.12	6.56	3.72	5.68	5.59	10.28	35.34	54.71	114.29	698.53

**Tabla 22***Datos de precipitación de la estación Taraco*

DATA DE PRECIPITACION (mm)														
Estación	Taraco		Latitud		15°18'42"		S		Departamento				Puno	
Tipo	Con-Met		Longitud		69°58'20.9"		w		Provincia				Huancané	
Cuenca	Coata		Altitud		3828		m.s.n.m.		Distrito				Taraco	
Nº	Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic	Anual
1	1990	145.97	70.76	22.98	32.36	5.35	38.36	1.44	9.87	10.65	60.25	74.14	168.30	640.43
2	1991	147.97	90.56	111.67	24.20	21.85	49.21	4.48	1.44	10.56	26.54	29.93	56.77	575.18
3	1992	121.05	102.55	24.55	9.52	1.44	1.44	6.83	51.91	4.74	53.30	40.96	70.06	488.35
4	1993	131.30	45.48	87.35	41.57	14.82	5.44	1.44	7.17	14.76	20.55	66.76	108.97	545.61
5	1994	123.57	172.03	67.98	50.34	11.17	1.44	1.44	1.44	3.53	12.39	23.76	86.91	556.00
6	1995	119.31	157.61	113.58	20.55	4.22	1.44	1.44	1.44	12.39	21.59	36.53	94.47	584.57
7	1996	65.89	45.74	70.15	18.47	4.74	1.44	1.44	12.56	16.03	19.86	49.56	86.74	392.62
8	1997	166.65	128.60	96.12	25.59	1.44	1.44	1.44	16.90	39.75	20.55	54.95	81.35	634.78
9	1998	108.80	87.08	52.17	57.55	1.44	7.00	1.44	1.44	1.44	38.05	62.32	35.37	454.10
10	1999	99.60	96.00	115.80	67.20	5.80	0.00	0.00	0.00	39.40	56.20	26.00	38.60	544.60
11	2000	135.00	73.40	74.00	2.40	8.00	19.30	0.00	5.00	5.60	81.20	1.80	54.00	459.70
12	2001	111.80	109.80	144.00	11.80	9.60	2.80	0.00	2.20	6.60	37.00	31.00	79.60	546.20
13	2002	93.60	126.20	63.80	33.40	6.40	0.00	12.00	0.00	39.00	109.20	34.50	53.60	571.70
14	2003	197.00	100.20	102.40	14.40	10.00	4.80	0.00	4.00	25.00	21.80	32.20	78.20	590.00
15	2004	157.20	127.00	107.00	37.60	9.40	5.20	4.60	19.80	20.20	8.80	49.60	47.20	593.60
16	2005	78.40	110.60	105.40	26.60	0.00	0.00	0.00	1.00	21.20	75.00	71.20	108.20	597.60
17	2006	187.60	47.80	66.20	16.60	1.40	2.00	0.00	1.40	40.26	58.60	44.60	125.60	592.06
18	2007	89.20	46.20	123.50	77.40	6.20	1.20	0.60	1.80	36.80	18.80	64.40	68.80	534.90
19	2008	154.00	60.00	67.80	0.00	1.40	0.00	0.00	0.00	3.80	37.40	34.00	98.40	456.80
20	2009	67.00	150.00	50.40	6.40	0.00	0.00	3.00	0.00	20.20	31.40	60.20	72.00	460.60
21	2010	103.00	145.40	63.80	39.60	18.40	0.00	0.00	0.00	3.60	24.00	7.40	121.80	527.00
22	2011	53.60	156.40	69.60	1.20	8.40	1.20	8.40	4.40	35.40	57.20	37.40	133.20	566.40
23	2012	120.60	105.20	76.00	50.20	0.00	0.00	0.00	1.80	5.00	24.80	33.60	131.80	549.00
24	2013	136.40	154.80	71.40	21.40	9.80	3.20	14.00	13.60	3.80	46.20	27.00	169.80	671.40
25	2014	116.60	96.00	56.00	25.20	2.80	0.00	18.40	28.60	72.80	16.80	27.20	121.40	581.80
26	2015	125.00	88.20	70.60	74.00	4.20	1.42	8.38	5.60	44.00	53.20	23.80	80.98	579.38
27	2016	64.20	156.00	48.60	72.60	0.00	0.00	8.40	3.40	5.00	28.20	14.20	49.01	449.61
28	2017	60.80	71.00	82.50	54.60	51.20	0.00	4.40	0.00	43.20	99.80	21.00	64.00	552.50
29	2018	126.00	92.80	164.00	35.00	5.60	18.00	14.60	0.80	9.80	75.20	23.60	79.80	645.20
30	2019	74.80	104.80	172.00	75.60	30.60	0.00	9.80	0.00	13.40	60.20	86.82	56.80	684.82
31	2020	62.80	170.80	25.80	15.20	20.00	0.00	0.00	0.00	46.20	43.80	11.80	99.60	496.00
32	2021	135.00	52.80	94.40	49.80	15.60	0.00	0.00	2.00	33.80	25.40	75.00	139.40	623.20
33	2022	109.40	82.60	80.20	26.00	0.00	0.00	0.00	6.60	0.00	0.00	0.00	70.80	375.60
34	2023	22.40	89.80	58.40	11.20	20.40	0.00	1.80	1.40	9.00	9.80	67.20	72.20	363.60
	Media	112.10	103.36	82.36	33.10	9.17	4.89	3.82	6.11	20.50	40.38	39.54	88.35	543.67

**Tabla 23***Datos de precipitación de la estación Puno*

DATA DE PRECIPITACION (mm)														
Estación	Puno		Latitud	15°49'34.5"		S	Departamento						Puno	
Tipo	Con-Met		Longitud	70°0'43.5"		w	Provincia						Puno	
Cuenca	Coata		Altitud	3825		m.s.n.m.	Distrito						Puno	
N°	Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic	Anual
1	1990	167.20	22.40	59.90	43.00	12.10	54.70	0.00	11.80	10.10	107.9	94.50	63.20	646.80
2	1991	124.10	67.70	185.80	46.20	6.80	33.60	0.00	3.00	14.70	20.40	44.20	50.30	596.80
3	1992	66.00	89.70	15.70	38.80	0.00	0.00	2.30	42.20	0.00	34.40	29.40	55.10	373.60
4	1993	175.60	100.70	107.00	52.50	6.60	1.10	0.00	37.90	18.00	69.10	79.20	111.50	759.20
5	1994	180.00	183.10	113.30	116.20	29.90	0.40	0.00	0.00	18.30	36.60	52.60	73.20	803.60
6	1995	122.70	102.80	124.00	2.10	4.10	0.00	0.00	3.00	21.90	15.30	51.40	80.20	527.50
7	1996	252.70	130.50	60.80	76.30	0.00	0.00	2.90	12.80	0.80	10.40	88.30	118.00	753.50
8	1997	239.60	213.20	98.60	88.60	1.00	0.00	0.00	21.90	108.3	30.10	62.90	44.90	909.10
9	1998	196.40	115.50	135.30	25.40	0.00	4.90	0.00	4.30	4.50	26.90	43.90	56.00	613.10
10	1999	193.10	244.80	202.00	86.00	7.50	0.00	0.00	1.90	16.10	150.3	32.00	68.40	1002.10
11	2000	167.10	210.00	105.10	40.30	0.40	2.30	4.20	17.90	14.60	95.80	13.90	69.00	740.60
12	2001	250.80	214.60	145.16	69.80	12.20	2.20	0.00	12.50	27.10	68.40	56.20	81.00	939.96
13	2002	129.60	180.00	170.60	105.30	15.40	21.10	22.70	30.60	11.60	65.90	43.80	139.20	935.80
14	2003	174.50	114.40	114.40	46.10	36.70	4.80	0.20	9.60	42.90	25.40	8.60	131.80	709.40
15	2004	208.90	125.20	115.50	29.20	6.20	0.00	10.20	43.00	34.30	12.56	45.50	99.94	730.50
16	2005	110.25	157.90	134.60	45.70	0.40	0.00	0.00	0.00	11.80	39.50	80.50	100.99	681.64
17	2006	291.10	122.41	159.60	44.60	0.90	0.00	0.00	0.60	50.70	37.40	53.80	101.50	862.61
18	2007	84.80	171.00	236.70	49.70	10.60	0.00	3.30	1.60	61.30	77.00	44.20	74.10	814.30
19	2008	209.70	85.80	95.40	8.40	6.80	1.40	0.20	0.80	2.40	79.40	27.20	144.20	661.70
20	2009	154.00	136.10	148.30	83.00	0.40	0.00	2.50	0.00	16.40	56.40	88.90	62.50	748.50
21	2010	99.30	192.80	56.30	12.30	16.10	0.00	0.00	7.10	2.90	33.40	15.00	146.70	581.90
22	2011	122.70	202.90	116.50	46.80	4.80	0.00	6.40	0.20	45.80	25.70	48.50	151.30	771.60
23	2012	135.40	294.80	209.90	60.10	0.00	0.20	0.00	5.60	9.80	7.60	69.50	184.13	977.03
24	2013	153.00	175.80	100.00	14.30	22.40	12.50	1.50	4.50	11.60	32.90	61.40	117.10	707.00
25	2014	145.00	107.70	60.50	40.90	0.10	0.00	0.20	28.90	66.90	45.20	29.80	90.60	615.80
26	2015	96.40	121.00	187.00	114.10	0.20	0.00	1.80	4.00	54.50	41.50	23.20	59.40	703.10
27	2016	79.70	202.60	9.80	57.50	1.95	2.00	3.40	0.00	0.30	76.00	43.00	49.70	525.95
28	2017	314.30	119.20	145.70	45.50	21.70	1.00	1.60	0.00	62.30	65.20	23.90	68.50	868.90
29	2018	171.10	152.10	114.10	33.20	7.80	12.90	32.10	0.00	3.60	45.50	22.70	89.80	684.90
30	2019	141.84	78.70	43.70	58.60	19.00	2.20	7.60	0.00	12.60	39.90	92.50	81.50	578.14
31	2020	122.00	170.30	120.18	48.80	17.24	1.19	1.55	1.71	39.03	49.74	26.43	114.30	712.47
32	2021	208.80	84.50	139.70	39.20	23.00	0.00	0.10	5.10	29.50	36.10	21.20	129.20	716.40
33	2022	211.00	95.10	109.33	45.43	0.45	0.18	2.60	6.40	2.63	16.54	12.19	86.17	588.02
34	2023	51.10	104.35	175.24	25.69	32.82	0.07	8.80	5.10	0.00	33.80	85.20	96.00	618.17
Media		163.23	143.81	121.05	51.17	9.58	4.67	3.42	9.53	24.33	47.30	47.52	93.81	719.40

**Tabla 24***Datos de precipitación de la estación Pucara*

DATA DE PRECIPITACION (mm)														
Estación		Pucara		Latitud		15°2'44.4"		S		Departamento			Puno	
Tipo		Con-Met		Longitud		70°21'59.9"		w		Provincia			Lampa	
Cuenca		Coata		Altitud		3877		m.s.n.m.		Distrito			Pucara	
N°	Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic	Annual
1	1990	147.10	129.20	85.50	46.50	17.50	45.40	0.00	5.70	22.10	99.90	93.70	85.50	778.10
2	1991	144.80	127.00	150.80	43.70	28.70	54.20	5.60	9.10	18.00	48.20	43.50	69.30	742.90
3	1992	211.60	105.00	54.70	23.70	0.60	10.80	0.00	35.20	6.90	29.60	43.90	151.10	673.10
4	1993	184.80	39.60	132.60	89.90	8.30	0.50	0.00	12.50	26.60	88.70	73.00	147.40	803.90
5	1994	157.70	199.70	113.20	58.60	0.00	0.00	0.00	1.28	6.17	25.90	65.40	90.10	718.05
6	1995	98.20	76.90	78.90	9.30	2.60	0.00	0.30	0.50	7.70	17.80	94.30	105.50	492.00
7	1996	158.70	81.80	122.60	38.60	22.10	0.00	0.50	4.40	15.70	43.40	50.40	93.10	631.30
8	1997	160.30	126.30	166.50	21.30	2.70	0.00	0.00	13.40	23.30	59.00	142.10	118.00	832.90
9	1998	86.10	118.40	95.60	41.90	0.00	8.60	0.00	1.50	2.70	71.40	51.90	29.60	507.70
10	1999	83.80	111.60	147.70	73.60	10.60	0.00	1.00	6.80	22.30	78.10	24.50	46.20	606.20
11	2000	126.90	143.30	107.90	11.70	4.20	4.10	0.10	29.00	0.30	106.60	35.60	105.70	675.40
12	2001	302.90	117.90	224.90	33.60	18.10	1.80	4.80	9.90	5.00	35.20	29.80	108.30	892.20
13	2002	144.70	197.80	113.30	72.40	14.90	3.90	20.90	21.50	31.40	137.30	72.50	192.00	1022.60
14	2003	188.30	98.60	122.20	30.50	10.40	6.80	0.00	8.80	26.20	44.80	54.00	137.70	728.30
15	2004	302.70	227.40	104.10	55.20	6.90	4.00	8.20	26.50	48.00	7.50	68.10	136.70	995.30
16	2005	63.00	164.80	123.30	37.70	0.00	0.00	0.00	14.70	6.20	103.20	73.40	112.00	698.30
17	2006	240.70	90.20	124.60	32.60	0.00	0.20	0.00	0.60	49.84	47.20	68.10	104.60	758.64
18	2007	63.20	62.30	197.60	110.70	15.50	0.00	3.50	0.00	37.40	27.00	63.30	65.30	645.80
19	2008	174.60	79.90	62.40	4.10	3.90	0.00	0.00	0.90	24.20	51.40	63.50	165.20	630.10
20	2009	70.20	98.40	131.80	18.20	0.00	0.00	0.00	0.10	6.90	42.90	104.90	137.70	611.10
21	2010	198.10	138.70	66.40	38.20	6.00	0.00	0.00	0.20	1.20	36.90	27.90	121.30	634.90
22	2011	77.70	169.50	80.40	27.90	17.70	0.20	8.20	0.00	33.00	44.40	24.10	136.30	619.40
23	2012	125.00	176.10	121.60	61.00	0.00	0.00	0.00	4.60	6.20	12.20	39.80	168.90	715.40
24	2013	122.80	139.50	171.10	20.40	27.70	7.70	0.40	15.60	7.80	58.30	29.90	231.60	832.80
25	2014	115.00	129.10	65.30	49.50	1.00	0.00	6.40	29.80	42.80	70.10	54.60	131.60	695.20
26	2015	133.30	105.10	60.90	78.10	4.30	0.60	6.60	6.40	27.20	48.80	87.40	114.20	672.90
27	2016	56.60	156.60	40.60	78.40	1.80	0.60	8.40	6.60	24.60	34.60	30.97	90.40	530.17
28	2017	76.20	115.20	103.40	50.00	39.20	0.00	11.80	0.04	63.70	51.80	76.60	72.60	660.54
29	2018	149.80	183.00	140.40	44.50	0.00	31.20	19.60	6.20	8.80	100.00	15.60	51.80	750.90
30	2019	149.70	157.20	200.20	73.80	28.80	1.20	7.60	0.00	8.00	83.20	106.00	143.40	959.10
31	2020	128.20	236.80	91.81	35.56	17.31	0.91	1.50	1.35	43.98	58.24	23.56	112.88	752.10
32	2021	163.88	69.20	154.00	51.60	20.40	3.60	0.00	0.20	24.40	54.00	71.00	146.60	758.88
33	2022	179.40	107.40	103.60	62.60	0.00	0.00	0.20	0.40	7.00	5.20	0.00	61.20	527.00
34	2023	52.60	86.00	96.80	15.80	32.00	0.00	5.20	0.00	13.80	31.20	63.60	115.00	512.00
Media		142.31	128.40	116.37	45.33	10.68	5.48	3.55	8.05	20.57	54.53	57.85	114.67	707.80

**Tabla 25***Datos de precipitación de la estación Pampahuta*

DATA DE PRECIPITACION (mm)														
Estación	Pampahuta		Latitud		15°29'1.27"		S		Departamento				Puno	
Tipo	Con-Met		Longitud		70°40'33.55"		w		Provincia				Lampa	
Cuenca	Coata		Altitud		4311		m.s.n.m.		Distrito				Paratia	
Nº	Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic	Anual
1	1990	181.17	73.65	65.37	38.77	4.59	32.67	0.00	5.05	1.13	104.04	130.75	101.63	738.82
2	1991	233.08	133.74	164.71	63.52	3.09	32.21	0.23	0.00	20.82	30.26	29.34	114.29	825.29
3	1992	107.50	160.22	26.57	7.23	0.00	1.96	0.00	55.70	0.00	31.29	59.73	90.34	540.54
4	1993	279.82	67.78	155.50	56.85	1.71	1.56	0.00	18.63	1.36	120.96	128.22	197.97	1030.36
5	1994	255.18	189.92	143.30	95.76	23.35	0.86	0.00	0.00	13.80	11.26	121.08	186.81	1041.32
6	1995	129.25	170.81	135.58	43.38	0.86	0.00	0.00	2.36	13.45	13.80	70.32	160.79	740.60
7	1996	289.37	185.43	81.02	80.45	21.16	0.00	0.00	28.53	18.05	0.11	103.70	259.21	1067.03
8	1997	249.77	209.95	111.87	60.19	6.89	0.00	0.06	27.03	40.04	35.09	107.96	115.78	964.63
9	1998	174.38	180.36	115.44	30.60	0.00	0.66	0.00	0.00	0.00	33.02	116.48	48.21	699.15
10	1999	153.49	163.80	204.42	116.43	20.52	2.49	2.19	3.28	14.78	118.61	20.72	118.32	939.05
11	2000	201.65	257.83	181.33	24.49	10.71	5.26	1.80	9.03	6.45	90.28	11.21	136.25	936.29
12	2001	297.66	247.22	149.33	81.86	20.72	4.27	5.07	17.35	15.37	40.74	18.74	68.88	967.21
13	2002	152.60	239.89	111.38	75.91	18.24	3.38	28.55	5.66	11.41	77.50	93.45	170.34	988.31
14	2003	221.56	194.41	200.95	22.50	9.62	4.17	0.00	0.00	26.67	23.89	15.37	155.57	874.71
15	2004	226.12	162.71	56.69	76.01	0.00	1.99	12.99	14.48	27.76	15.97	33.40	102.56	730.68
16	2005	111.88	266.45	98.20	61.05	0.00	0.00	0.00	1.99	22.60	18.94	101.77	136.25	819.13
17	2006	179.15	164.89	163.60	66.10	3.18	0.00	0.00	10.42	42.64	47.67	110.69	89.98	878.32
18	2007	149.63	147.94	259.91	81.66	14.48	0.00	11.01	0.00	17.95	28.45	55.20	117.13	883.36
19	2008	195.90	68.97	84.83	7.15	1.90	5.26	0.00	1.60	4.67	43.21	36.97	211.65	662.11
20	2009	63.92	131.59	104.15	39.75	5.17	0.00	5.56	2.09	15.17	26.57	117.33	134.37	645.67
21	2010	222.45	230.28	114.25	58.17	9.13	0.00	0.00	0.00	0.00	24.39	50.15	151.91	860.73
22	2011	106.33	208.58	155.57	83.84	5.17	0.00	5.26	3.18	26.86	15.37	32.61	172.02	814.79
23	2012	260.50	229.98	142.89	95.03	2.89	2.09	0.00	4.57	6.26	56.59	62.43	179.45	1042.68
24	2013	159.93	149.23	64.42	7.84	10.71	12.50	5.26	15.37	0.00	37.07	73.43	210.17	745.93
25	2014	181.33	66.10	101.57	84.33	4.67	0.00	9.03	12.50	31.42	79.08	47.18	128.13	745.34
26	2015	147.55	110.39	77.10	99.10	0.00	3.98	7.25	10.12	26.77	52.92	63.43	77.79	676.40
27	2016	81.16	214.43	64.91	101.47	4.08	7.44	4.08	8.73	12.50	56.99	15.67	60.45	631.91
28	2017	175.29	183.32	311.23	42.22	33.01	1.70	4.47	1.80	22.80	59.07	70.06	114.85	1019.82
29	2018	179.15	257.83	184.80	28.55	3.38	20.13	34.79	4.37	10.52	47.97	65.70	74.32	911.51
30	2019	252.08	254.46	118.02	71.75	25.87	2.79	4.77	1.99	11.01	30.73	112.27	144.28	1030.02
31	2020	148.14	190.75	156.46	85.22	19.83	0.00	0.00	0.00	28.85	48.96	23.10	193.92	895.23
32	2021	248.61	123.01	181.43	34.10	9.62	7.94	0.00	5.96	26.86	66.60	137.54	175.98	1017.65
33	2022	269.71	151.61	99.19	31.12	2.19	1.70	0.00	1.80	0.00	2.39	19.33	131.79	710.83
34	2023	74.82	135.06	224.04	36.57	13.09	0.00	19.14	1.60	3.08	76.80	82.25	155.67	822.12
Media		187.06	174.19	135.59	58.50	9.11	4.62	4.75	8.09	15.33	46.08	68.75	137.85	849.93

**Tabla 26**

*Datos de precipitación de la estación Lampa*

DATA DE PRECIPITACION (mm)														
Estación	Lampa		Latitud		15°21'39.9"		S		Departamento				Puno	
Tipo	Con-Met		Longitud		70°22'27"		w		Provincia				Azángaro	
Cuenca	Coata		Altitud		3866		m.s.n.m.		Distrito				Arapa	
Nº	Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic	Anual
1	1990	110.64	77.56	36.33	20.56	14.20	51.26	0.00	7.96	0.20	114.46	119.55	113.31	666.03
2	1991	172.98	132.65	111.66	45.11	26.41	44.25	0.80	0.00	7.33	72.09	30.35	101.99	745.62
3	1992	106.44	104.22	39.13	36.46	0.00	0.07	1.40	77.18	0.50	59.11	74.12	137.87	636.50
4	1993	194.11	19.67	176.80	27.81	2.60	0.20	0.00	30.74	13.56	80.49	91.43	169.17	806.58
5	1994	205.18	185.07	130.11	70.43	1.50	0.70	0.00	0.00	2.24	20.18	62.42	97.28	775.11
6	1995	133.67	117.26	116.37	26.67	0.80	0.00	0.00	3.89	21.58	20.30	66.87	75.14	582.55
7	1996	245.89	124.51	134.43	26.54	17.50	0.00	1.80	2.50	24.63	13.69	90.79	186.47	868.75
8	1997	186.60	222.73	183.67	84.18	1.47	0.00	0.00	20.69	51.09	47.28	140.54	118.15	1056.40
9	1998	130.11	192.96	128.83	29.34	0.00	2.00	0.00	0.00	0.20	53.64	85.45	83.54	706.07
10	1999	152.70	97.80	143.40	123.00	5.30	1.80	0.00	0.80	32.70	105.50	17.60	63.50	744.10
11	2000	173.70	116.50	130.30	52.70	7.10	6.20	0.00	7.40	14.50	57.10	9.90	114.20	689.60
12	2001	249.70	188.30	114.60	29.50	10.60	2.90	2.20	8.10	4.00	57.50	46.10	73.70	787.20
13	2002	121.30	150.70	139.40	67.60	21.70	4.00	18.70	9.10	16.40	83.30	92.60	177.40	902.20
14	2003	204.30	136.20	139.10	18.30	5.20	3.20	0.00	1.50	30.90	9.10	23.70	132.10	703.60
15	2004	266.60	144.10	101.00	38.90	3.30	2.00	2.30	19.20	26.50	21.60	16.80	100.00	742.30
16	2005	100.60	278.30	116.50	49.60	0.00	0.00	0.00	0.00	22.40	74.90	54.30	174.50	871.10
17	2006	188.20	109.50	122.90	19.80	0.70	2.30	0.00	0.20	49.52	52.10	79.70	95.70	720.62
18	2007	81.50	67.80	254.80	83.50	14.00	0.50	6.70	10.00	16.20	27.40	93.30	93.80	749.50
19	2008	226.90	71.80	74.60	3.40	1.90	1.20	0.00	1.40	3.30	54.60	23.40	168.30	630.80
20	2009	102.10	190.30	153.40	40.20	0.80	0.00	0.00	0.00	4.60	35.20	77.80	83.80	688.20
21	2010	118.90	144.20	71.60	26.80	12.61	0.00	0.00	0.00	0.00	28.40	14.00	136.30	552.81
22	2011	97.80	191.75	105.40	14.10	7.20	0.00	4.80	4.30	39.60	77.90	93.30	348.20	984.35
23	2012	134.00	238.10	97.60	80.40	0.00	0.00	1.70	8.30	2.90	23.40	61.50	212.20	860.10
24	2013	116.40	104.30	143.40	14.30	25.10	13.90	2.20	10.70	11.70	35.60	58.40	140.10	676.10
25	2014	235.50	92.40	88.50	45.80	0.00	0.00	4.70	11.30	53.50	84.10	41.00	93.00	749.80
26	2015	107.50	149.10	76.40	114.90	4.90	1.80	2.70	10.20	65.70	45.90	41.80	84.70	705.60
27	2016	70.20	204.00	50.00	66.50	0.10	0.40	9.40	3.20	9.10	42.80	23.30	91.40	570.40
28	2017	155.10	133.60	183.10	65.20	24.50	0.10	5.10	0.30	44.70	60.00	77.30	147.60	896.60
29	2018	119.20	175.70	126.20	32.40	5.60	18.70	34.80	26.70	1.30	138.50	66.40	118.10	863.60
30	2019	150.50	153.10	101.20	85.20	13.40	5.90	7.80	0.00	44.80	64.80	108.65	78.90	814.25
31	2020	119.00	188.20	106.97	37.80	16.19	0.53	0.40	0.00	30.10	85.20	25.10	126.30	735.79
32	2021	207.80	72.60	122.80	12.20	5.50	3.20	0.00	0.60	46.80	41.50	56.90	134.30	704.20
33	2022	159.50	112.20	110.00	43.60	0.00	0.00	0.90	2.00	0.10	11.90	3.90	101.30	545.40
34	2023	57.50	145.20	109.40	31.80	26.40	0.00	9.30	0.80	13.70	63.60	134.10	218.70	810.50
Media		153.00	142.13	118.82	46.02	8.13	4.92	3.46	8.21	20.78	54.80	61.83	129.15	751.25

**Tabla 27***Datos de precipitación de la estación Juliaca*

DATA DE PRECIPITACION (mm)														
Estación	Juliaca		Latitud	15°26'38.94" S		Departamento		Puno						
Tipo	Con-Met		Longitud	70°12'28.02" w		Provincia		San Roman						
Cuenca	Coata		Altitud	3838 m.s.n.m.		Distrito		Juliaca						
Nº	Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic	Anual
1	1990	123.10	25.69	7.05	13.35	7.00	27.61	4.10	7.00	12.00	33.91	58.59	93.93	413.33
2	1991	118.47	42.14	92.00	40.47	13.00	46.25	4.00	1.00	7.05	14.76	27.61	52.29	459.04
3	1992	63.08	84.54	12.00	19.90	4.70	3.11	6.50	31.60	14.05	55.24	41.36	70.67	406.75
4	1993	219.48	49.85	115.90	50.75	1.50	13.14	8.20	16.69	1.27	71.95	125.93	95.73	770.39
5	1994	138.01	104.08	115.64	57.81	14.12	3.98	2.34	14.46	15.00	14.00	92.90	125.93	698.27
6	1995	143.92	106.65	93.80	5.38	5.28	3.10	3.75	3.55	5.88	16.14	56.57	110.17	554.19
7	1996	148.04	149.99	92.96	40.01	6.66	2.34	5.34	5.60	10.00	72.59	16.05	61.80	611.38
8	1997	74.52	184.27	134.28	50.36	11.55	3.40	5.64	2.17	0.11	164.61	77.73	109.09	817.73
9	1998	208.82	83.65	136.59	10.70	4.30	4.40	1.10	0.60	29.80	2.43	16.82	190.05	689.26
10	1999	238.40	96.30	69.40	28.20	0.00	0.20	1.50	24.30	38.50	7.20	17.60	72.00	593.60
11	2000	80.60	242.90	100.10	46.70	0.00	0.00	0.00	1.80	16.00	82.90	57.20	92.60	720.80
12	2001	207.40	50.80	101.30	20.70	0.80	2.00	0.00	1.50	6.33	61.40	77.60	73.90	603.73
13	2002	92.40	43.70	235.00	66.10	16.86	0.20	6.50	0.80	18.20	76.84	84.60	129.21	770.41
14	2003	220.80	69.10	58.50	38.64	0.60	1.00	1.79	1.10	1.80	61.30	37.10	203.20	694.93
15	2004	85.90	170.90	95.90	45.84	0.00	0.00	1.00	10.69	7.50	27.98	83.80	103.90	633.41
16	2005	98.70	127.60	47.00	7.70	13.80	0.40	0.40	0.00	0.40	25.60	19.90	98.60	440.10
17	2006	49.20	184.00	74.00	12.70	5.80	0.00	5.90	4.70	18.50	32.00	56.70	104.54	548.04
18	2007	129.20	147.80	124.80	62.70	0.00	4.22	6.60	20.30	0.40	10.10	55.04	113.44	674.60
19	2008	129.15	133.70	50.00	9.60	5.00	7.00	2.50	7.90	7.87	38.00	38.30	140.70	569.72
20	2009	215.40	53.70	82.30	33.20	0.40	0.10	6.80	8.90	71.50	88.50	25.50	79.80	666.10
21	2010	96.00	95.90	80.70	169.10	3.40	1.20	3.50	9.70	52.70	41.20	29.80	95.70	678.90
22	2011	75.30	197.70	114.79	62.90	0.00	1.80	7.70	0.00	0.80	37.70	10.00	67.90	576.59
23	2012	115.70	73.10	126.80	43.90	19.30	0.00	5.10	0.00	51.20	69.90	37.60	140.80	683.40
24	2013	125.70	157.10	147.60	32.10	13.20	17.10	23.60	0.00	0.20	48.00	50.20	93.30	708.10
25	2014	100.80	134.50	61.10	69.70	22.10	4.50	10.80	0.00	16.20	73.90	54.80	73.30	621.70
26	2015	62.90	178.80	79.80	90.91	4.13	0.00	0.00	0.00	45.80	36.20	10.30	81.70	590.54
27	2016	151.90	21.50	68.60	22.60	30.80	0.50	0.00	8.00	30.80	60.20	66.60	105.90	567.40
28	2017	102.90	61.10	67.00	37.40	0.00	0.00	0.00	2.80	0.60	1.20	0.40	77.41	350.81
29	2018	55.30	74.00	78.30	19.60	16.80	0.00	4.30	0.90	4.20	62.40	36.30	58.30	410.40
30	2019	203.80	213.70	111.10	53.60	18.90	0.00	0.00	0.00	5.50	31.40	115.50	141.60	895.10
31	2020	248.70	200.80	124.98	40.97	9.50	6.02	7.01	6.62	24.45	48.62	19.70	97.46	834.83
32	2021	170.50	114.40	147.90	91.60	0.00	0.00	0.00	0.00	32.00	44.30	55.50	195.40	851.60
33	2022	158.20	85.90	113.50	21.10	0.00	0.00	0.00	4.80	0.00	0.00	0.00	124.70	508.20
34	2023	68.66	108.60	133.20	7.00	29.90	0.00	2.80	1.30	19.00	40.90	63.80	113.80	588.96
Media		132.97	113.78	96.88	41.86	8.22	4.52	4.08	5.85	16.64	45.69	47.57	105.55	623.60

**Tabla 28**

*Datos de precipitación de la estación Chuquibambilla*

DATA DE PRECIPITACION (mm)														
Estación		Chuquibambilla		Latitud		14°47'16.46"		S		Departamento			Puno	
Tipo		Con-Met		Longitud		70°43'42.57"		w		Provincia			Melgar	
Cuenca		Coata		Altitud		3918		m.s.n.m.		Distrito			Umachiri	
Nº	Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic	Anual
1	1990	147.50	97.40	149.60	68.30	8.80	48.10	0.00	4.82	9.80	101.30	70.40	78.40	784.42
2	1991	187.58	61.40	118.00	30.10	28.80	39.10	0.00	0.00	1.00	48.30	29.80	94.50	638.58
3	1992	109.80	71.10	84.30	35.40	0.00	2.40	0.00	41.50	0.00	57.50	99.40	90.40	591.80
4	1993	183.40	29.00	182.90	46.90	0.00	16.00	0.00	28.60	9.30	94.10	162.00	98.10	850.30
5	1994	209.40	133.10	139.60	61.30	0.00	0.00	0.00	5.80	6.10	43.00	76.30	120.60	795.20
6	1995	119.70	119.70	119.80	15.80	2.10	0.00	0.00	0.00	2.50	27.00	56.70	123.80	587.10
7	1996	162.20	112.00	97.80	61.90	1.40	0.00	3.40	5.00	6.60	11.80	57.10	98.50	617.70
8	1997	205.10	204.30	192.70	63.80	4.00	0.00	0.00	16.50	31.00	35.40	111.60	121.70	986.10
9	1998	128.70	139.10	151.40	22.50	0.00	2.00	0.00	2.00	8.80	72.60	107.30	50.90	685.30
10	1999	114.10	162.60	139.90	146.80	9.80	0.00	1.40	1.70	20.30	58.10	28.00	94.10	776.80
11	2000	183.40	180.60	120.70	14.40	17.30	6.50	7.00	5.30	6.90	96.00	17.40	139.10	794.60
12	2001	238.60	127.30	126.90	25.10	19.30	1.20	4.70	7.50	10.80	40.40	18.20	69.90	689.90
13	2002	156.80	175.50	113.60	74.01	29.20	2.00	13.50	13.60	22.00	94.20	102.50	128.00	924.91
14	2003	137.90	154.80	245.00	43.60	4.30	3.30	0.00	12.60	23.30	18.70	33.60	97.60	774.70
15	2004	215.60	137.00	95.70	42.60	1.10	2.00	3.30	21.90	60.60	13.30	58.30	142.50	793.90
16	2005	88.10	213.70	97.70	39.00	0.00	0.00	0.00	7.90	0.00	118.30	75.70	97.90	738.30
17	2006	188.80	107.80	128.24	20.50	0.00	3.20	0.00	3.00	44.63	48.00	90.80	208.30	843.27
18	2007	95.60	112.60	184.21	86.09	3.50	0.00	4.96	0.00	35.45	21.10	67.20	111.61	722.32
19	2008	154.50	96.60	44.10	2.90	2.90	1.00	0.00	2.50	0.00	37.80	47.40	235.80	625.50
20	2009	114.10	90.40	137.60	65.20	4.04	0.00	0.00	0.00	14.40	19.10	84.80	131.10	660.74
21	2010	185.70	112.40	139.40	73.00	13.41	0.00	0.00	0.00	6.02	18.40	58.20	102.30	708.83
22	2011	122.80	180.70	122.40	72.50	13.50	7.80	9.70	6.80	37.20	31.00	72.00	163.20	839.60
23	2012	171.10	149.60	148.60	67.40	0.00	0.00	0.00	0.00	11.90	22.60	86.90	174.60	832.70
24	2013	211.30	173.40	129.90	36.30	3.60	16.00	6.70	7.40	5.30	57.30	44.60	214.70	906.50
25	2014	152.00	169.10	107.30	41.40	2.40	0.00	1.10	34.20	38.30	102.90	78.90	211.50	939.10
26	2015	233.70	81.30	127.80	91.60	4.20	0.00	4.50	5.50	40.00	40.50	40.90	170.20	840.20
27	2016	135.10	172.30	109.90	136.00	3.16	1.65	6.60	13.10	25.60	70.50	47.60	100.20	821.71
28	2017	137.90	95.89	154.10	35.80	32.20	0.00	3.10	0.00	55.60	42.20	80.10	95.50	732.39
29	2018	131.10	147.40	167.50	22.10	0.00	41.00	27.40	41.30	11.70	78.30	99.80	53.30	820.90
30	2019	203.80	213.70	111.10	53.60	18.90	0.00	0.00	0.00	5.50	31.40	115.50	141.60	895.10
31	2020	248.70	200.80	118.47	66.08	14.52	2.33	3.77	2.43	33.55	67.12	25.58	127.32	910.67
32	2021	170.50	114.40	147.90	91.60	0.00	0.00	0.00	0.00	32.00	44.30	55.50	195.40	851.60
33	2022	158.20	85.90	113.50	21.10	0.00	0.00	0.00	4.80	0.00	0.00	0.00	124.70	508.20
34	2023	82.09	108.60	133.20	7.00	29.90	0.00	2.80	1.30	19.00	40.90	63.80	113.80	602.39
Media		161.32	133.28	132.38	52.40	8.01	5.75	3.06	8.74	18.68	50.10	66.58	127.09	767.39

**Tabla 29***Datos de precipitación de la estación Cabanillas*

DATA DE PRECIPITACION (mm)														
Estación	Cabanillas	Latitud		15°38'20.87"		S		Departamento		Puno				
Tipo	Con-Met	Longitud		70°20'47.73"		w		Provincia		Lampa				
Cuenca	Coata	Altitud		3888		m.s.n.m.		Distrito		Cabanilla				
N°	Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic	Anual
1	1990	172.50	23.40	49.20	13.50	10.00	34.30	0.00	9.80	1.00	99.41	130.00	101.90	645.01
2	1991	106.40	144.10	118.40	70.10	5.80	35.60	0.00	0.00	6.30	13.80	30.50	61.40	592.40
3	1992	106.80	75.10	28.50	8.50	0.00	2.70	1.69	31.10	1.89	47.50	27.20	64.90	395.88
4	1993	147.20	67.40	96.30	69.50	3.00	0.00	0.00	19.64	9.50	90.07	83.00	147.53	733.14
5	1994	133.80	105.20	162.10	110.20	0.00	0.00	0.00	0.00	6.50	14.30	67.96	98.00	698.06
6	1995	125.80	70.60	100.20	5.00	0.00	0.00	0.00	0.20	16.60	9.90	32.80	55.30	416.40
7	1996	206.30	102.80	57.30	41.13	6.38	0.00	2.00	17.60	10.30	14.30	57.80	165.60	681.51
8	1997	158.50	242.80	160.00	75.10	3.70	0.00	0.00	22.40	46.50	38.00	103.30	88.40	938.70
9	1998	152.00	168.10	110.30	16.90	0.00	0.00	0.00	6.30	0.00	47.70	69.92	42.70	613.92
10	1999	95.90	118.30	112.30	104.40	5.40	0.00	1.80	1.80	21.90	104.00	3.00	95.30	664.10
11	2000	134.60	221.90	133.30	31.70	0.60	0.00	0.00	6.90	15.80	118.30	13.50	110.40	787.00
12	2001	273.90	224.60	78.20	63.90	11.50	0.80	0.40	16.70	21.60	71.30	36.90	52.60	852.40
13	2002	93.70	166.90	160.50	125.70	28.70	6.20	16.00	22.90	8.80	116.30	78.00	105.30	929.00
14	2003	217.20	92.50	116.70	22.10	10.80	2.60	0.00	0.90	16.90	14.00	68.10	136.20	698.00
15	2004	193.00	100.10	81.60	34.20	8.50	0.50	7.70	18.40	12.80	2.90	30.70	58.20	548.60
16	2005	75.30	265.70	84.00	49.70	0.00	0.00	0.00	0.50	5.80	30.60	70.60	79.90	662.10
17	2006	230.20	107.30	141.30	49.90	0.00	0.70	0.00	2.80	44.20	38.00	60.20	69.00	743.60
18	2007	68.10	105.40	268.60	67.50	2.40	0.00	0.80	0.00	75.40	40.60	97.60	83.90	810.30
19	2008	271.60	74.50	65.10	6.30	0.00	0.20	0.00	0.60	1.80	34.90	70.10	153.50	678.60
20	2009	88.80	119.70	111.40	24.60	0.00	0.00	1.60	0.50	1.40	28.40	152.80	91.20	620.40
21	2010	150.80	125.30	66.70	28.40	9.60	0.00	0.50	0.00	2.40	21.20	35.80	183.00	623.70
22	2011	80.00	182.50	134.00	41.30	1.70	0.00	5.10	4.30	32.10	29.80	76.20	180.83	767.83
23	2012	165.20	216.10	165.00	49.80	0.00	0.00	0.00	2.90	3.20	16.00	46.50	190.50	855.20
24	2013	180.20	170.50	53.00	10.70	7.60	9.00	7.90	5.00	8.00	50.10	52.10	137.20	691.30
25	2014	155.60	65.00	53.40	43.80	0.00	0.00	2.60	36.00	30.20	94.20	42.10	134.60	657.50
26	2015	110.20	105.10	72.40	181.60	1.54	4.13	3.70	3.70	37.00	48.00	87.80	108.80	763.97
27	2016	54.30	213.50	24.20	105.10	0.60	3.50	4.60	0.00	3.30	50.30	4.90	67.66	531.96
28	2017	135.20	105.40	125.90	40.30	12.80	3.00	3.00	0.00	43.90	68.50	79.20	143.80	761.00
29	2018	157.00	139.50	183.50	43.70	5.70	13.30	25.60	0.80	0.00	39.10	63.30	118.40	789.90
30	2019	93.20	135.40	64.80	57.50	14.10	0.60	5.50	0.00	15.10	41.20	70.70	100.10	598.20
31	2020	114.10	172.40	107.82	31.30	7.10	0.00	0.00	0.00	30.80	68.70	18.90	203.30	754.42
32	2021	220.70	81.20	155.20	53.60	17.50	1.10	0.00	5.70	34.00	80.00	67.60	122.10	838.70
33	2022	215.80	104.50	112.20	49.10	0.00	0.60	1.10	0.00	0.80	18.90	16.40	56.90	576.30
34	2023	47.80	105.50	107.00	24.00	24.80	0.00	6.10	0.00	0.20	26.60	99.10	118.20	559.30
Media		145.05	132.89	107.66	51.47	5.88	3.50	2.87	6.98	16.65	47.85	60.13	109.61	690.54

**Tabla 30***Datos de precipitación de la estación Azángaro*

DATA DE PRECIPITACION (mm)														
Estación	Azángaro		Latitud		14°55'1.9"		S		Departamento				Puno	
Tipo	Con-Met		Longitud		70°11'25.7"		w		Provincia				Azángaro	
Cuenca	Coata		Altitud		3857		m.s.n.m.		Distrito				Azángaro	
Nº	Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic	Anual
1	1990	159.00	69.69	55.05	31.65	13.04	41.07	2.30	9.99	10.22	67.58	103.45	90.65	653.69
2	1991	121.09	82.70	49.70	14.40	0.00	8.00	0.00	8.05	9.23	46.94	30.84	79.02	449.97
3	1992	76.14	54.50	84.30	87.90	11.60	4.80	1.30	9.20	24.40	68.60	125.40	127.40	675.54
4	1993	111.70	169.30	101.98	57.20	0.50	0.00	0.00	6.30	13.40	35.40	59.80	88.10	643.68
5	1994	62.30	78.00	97.80	4.60	0.20	0.00	0.00	0.60	5.10	33.10	90.00	88.40	460.10
6	1995	142.50	67.90	121.90	15.70	15.00	0.30	2.00	3.10	11.20	35.20	59.50	64.00	538.30
7	1996	150.40	151.30	139.10	30.10	7.80	0.00	0.00	13.10	32.10	36.90	134.60	100.50	795.90
8	1997	95.00	71.40	77.20	24.60	0.00	10.50	0.00	0.00	11.00	58.00	76.30	17.60	441.60
9	1998	99.80	68.00	134.60	52.00	3.50	1.00	0.00	0.50	30.60	69.30	31.80	23.20	514.30
10	1999	132.40	114.00	51.30	8.40	2.90	7.90	0.50	38.80	0.70	79.80	25.60	65.30	527.60
11	2000	195.40	94.80	168.00	15.90	19.90	0.00	4.40	8.00	16.60	44.90	42.50	166.60	777.00
12	2001	157.40	116.40	155.40	49.10	10.30	1.90	10.80	9.00	15.00	187.30	87.10	170.60	970.30
13	2002	149.90	95.30	109.10	58.90	4.70	5.70	0.60	5.00	7.80	32.90	42.40	118.20	630.50
14	2003	227.40	93.90	47.70	22.80	15.90	0.00	2.80	16.50	39.60	11.00	62.60	71.50	611.70
15	2004	42.50	171.80	78.50	28.60	0.30	0.00	0.00	5.00	19.60	59.80	34.30	84.50	524.90
16	2005	188.70	36.70	75.30	17.20	0.20	1.30	0.00	2.30	18.87	60.60	60.60	71.10	532.87
17	2006	97.00	54.50	164.60	80.60	12.50	0.30	0.60	0.80	60.60	17.10	62.80	85.30	636.70
18	2007	98.40	91.90	43.70	1.00	3.10	0.00	0.00	0.00	22.80	44.00	61.50	171.60	538.00
19	2008	130.00	91.90	72.20	33.20	4.40	0.00	0.40	0.00	14.20	28.20	91.10	85.40	551.00
20	2009	162.60	95.10	63.10	41.80	7.60	5.80	0.30	2.30	0.00	25.60	24.50	70.70	499.40
21	2010	96.70	176.30	60.90	23.40	0.30	0.00	5.50	3.80	67.90	46.80	33.50	76.10	591.20
22	2011	99.70	103.20	101.60	49.40	14.60	0.00	0.00	1.30	6.60	47.50	34.60	93.60	552.10
23	2012	156.20	149.50	152.00	25.80	26.30	1.60	0.30	10.60	1.50	44.60	33.90	155.10	757.40
24	2013	92.20	93.30	94.10	33.90	5.30	0.00	0.90	37.50	48.30	51.20	34.90	150.90	642.50
25	2014	135.50	97.90	65.30	31.50	6.70	0.60	2.90	8.30	42.20	74.30	66.70	139.70	671.60
26	2015	101.20	230.80	42.50	118.70	0.80	1.50	13.60	14.10	49.70	48.20	44.50	61.60	727.20
27	2016	93.20	42.60	118.20	36.10	33.50	0.40	7.30	0.00	62.80	33.40	26.30	42.50	496.30
28	2017	105.00	102.60	149.30	24.20	6.10	26.00	22.10	7.50	4.60	68.20	73.50	68.90	658.00
29	2018	122.30	71.30	111.70	61.70	19.80	0.00	0.30	0.00	3.30	65.00	99.90	116.70	672.00
30	2019	136.30	129.40	69.69	64.57	22.23	11.78	11.16	4.33	38.20	67.50	11.50	63.90	630.56
31	2020	166.00	77.40	145.40	40.50	0.40	0.30	0.00	0.00	8.60	47.70	96.80	159.60	742.70
32	2021	114.70	101.90	91.30	68.60	0.70	0.00	0.00	4.40	6.10	17.60	1.20	46.00	452.50
33	2022	41.40	116.00	42.50	11.30	21.20	0.00	6.10	0.60	14.00	15.90	102.90	135.90	507.80
34	2023	66.40	102.70	108.20	7.60	43.50	0.00	6.00	2.50	19.50	24.10	78.50	98.50	557.50
Media		121.37	101.88	95.39	37.44	9.85	3.85	3.00	6.87	21.66	49.83	60.16	95.55	606.84

**Tabla 31***Datos de precipitación de la estación Ayaviri*

DATA DE PRECIPITACION (mm)														
Estación	Ayaviri		Latitud	14°52'7.56"		S	Departamento			Puno				
Tipo	Con-Met		Longitud	70°35'29.8"		w	Provincia			Azángaro				
Cuenca	Coata		Altitud	3941		m.s.n.m.	Distrito			Arapa				
N°	Año	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	set	oct	nov	dic	Anual
1	1990	190.20	111.10	38.60	32.40	3.80	33.50	0.03	5.31	15.00	87.10	71.70	91.48	680.22
2	1991	163.50	95.90	109.80	27.60	17.21	35.80	2.36	3.19	9.10	43.18	33.20	85.40	626.24
3	1992	111.26	79.30	45.30	27.40	0.00	10.20	0.00	49.00	1.10	54.40	61.00	43.80	482.76
4	1993	206.60	68.00	120.00	26.60	0.30	10.80	0.30	23.70	40.80	84.10	175.00	78.80	835.00
5	1994	113.50	81.90	144.60	69.90	4.70	0.00	0.00	7.50	4.10	16.70	65.50	99.80	608.20
6	1995	96.30	98.40	132.50	44.90	0.50	0.00	0.00	0.00	7.38	15.10	70.50	104.10	569.68
7	1996	181.60	122.90	61.00	42.63	6.20	0.00	0.00	4.10	5.30	24.50	61.10	101.00	610.33
8	1997	158.04	194.90	157.83	8.40	1.40	0.00	0.00	15.15	37.02	35.47	122.20	107.10	837.51
9	1998	106.50	90.10	115.20	26.60	0.00	0.50	0.00	1.90	0.50	55.50	96.90	66.10	559.80
10	1999	92.80	152.10	129.70	111.60	7.00	0.00	0.00	0.00	22.60	43.20	31.50	53.60	644.10
11	2000	136.80	224.60	108.60	5.90	6.20	1.60	4.10	7.10	2.50	119.80	8.60	76.90	702.70
12	2001	228.10	111.20	99.90	39.00	22.70	2.90	1.30	10.80	11.30	34.80	21.40	100.80	684.20
13	2002	162.60	191.40	68.00	60.60	21.50	3.80	12.40	11.20	21.30	106.30	87.90	94.70	841.70
14	2003	201.00	98.70	163.20	41.70	9.60	4.80	0.00	10.50	15.10	29.30	25.20	135.60	734.70
15	2004	260.60	151.40	86.60	40.20	3.90	0.80	4.30	15.40	50.90	24.30	68.70	153.00	860.10
16	2005	70.60	224.90	130.20	26.30	0.30	0.00	0.00	4.50	4.80	94.80	83.00	67.00	706.40
17	2006	177.50	65.90	105.60	44.50	0.00	0.60	0.00	2.10	40.18	79.90	78.50	144.30	739.08
18	2007	110.80	77.90	162.40	61.30	11.20	0.00	3.48	0.60	23.70	18.30	68.60	110.10	648.38
19	2008	172.70	121.60	58.30	8.90	1.80	0.50	0.00	0.40	1.90	43.00	44.60	177.90	631.60
20	2009	91.80	123.80	89.80	40.70	4.80	0.00	0.90	0.20	25.20	32.00	94.40	118.70	622.30
21	2010	192.30	125.20	87.90	67.20	15.20	0.00	0.00	0.80	5.27	26.10	30.30	69.80	620.07
22	2011	71.60	164.10	132.70	66.60	12.60	1.40	7.50	2.10	10.80	31.10	96.00	143.30	739.80
23	2012	142.60	159.50	169.40	73.30	7.60	0.00	0.50	0.00	2.80	20.70	50.70	191.30	818.40
24	2013	149.80	180.90	142.50	27.90	8.10	8.00	1.00	8.90	13.60	62.40	40.30	172.40	815.80
25	2014	137.90	124.60	78.50	13.70	0.80	0.00	2.50	10.00	32.50	91.40	52.90	145.70	690.50
26	2015	150.90	77.80	88.80	77.10	3.20	1.20	6.90	2.30	27.50	22.90	52.50	137.00	648.10
27	2016	75.70	152.80	43.80	78.00	2.60	0.30	9.10	6.60	6.40	56.70	43.80	55.90	531.70
28	2017	74.90	64.10	124.30	36.10	32.80	0.00	9.40	0.00	28.80	41.40	63.80	93.60	569.20
29	2018	103.70	137.10	116.90	28.60	1.00	22.00	20.50	16.40	9.20	54.60	44.00	29.40	583.40
30	2019	178.80	138.70	122.10	34.70	11.00	0.20	1.20	0.00	3.10	37.90	96.50	94.30	718.50
31	2020	188.90	181.80	96.79	44.20	14.53	0.56	1.58	0.80	40.20	62.35	18.90	90.70	741.31
32	2021	128.50	110.60	167.90	56.70	3.30	1.70	0.00	0.00	14.70	38.80	56.10	179.50	757.80
33	2022	223.10	102.50	153.70	52.60	0.00	0.00	0.70	9.30	2.50	1.10	1.80	71.40	618.70
34	2023	66.40	102.70	108.20	7.60	43.50	0.00	6.00	2.50	19.50	24.10	78.50	98.50	557.50
Media		144.64	126.72	110.61	42.69	8.22	4.15	2.83	6.83	16.37	47.45	61.64	105.38	677.52

**Anexo 2** : Resultados obtenidos en el laboratorio de las muestras de suelo

MUESTRA	% Arena	% Limo	% Arcilla	% M. O.	Clase textural
1	67.27	17.27	15.46	1.25062997	Franco arenosa
2	79.22	1.94	18.84	1.14920115	Franco arenosa
3	85.15	-0.85	15.70	4.86072574	Franco arenosa
4	77.21	1.27	21.52	2.14036341	Franco arcillo arenosa
5	77.75	7.09	15.16	0.19282994	Franco arenosa
6	71.57	8.97	19.46	0.7169294	Franco arenosa
7	80.11	2.85	17.04	3.82051432	Franco arenosa
8	70.05	-0.05	30.00	4.14651846	Franco arcillo arenosa
9	68.11	1.89	30.00	1.92747884	Franco arcillo arenosa
10	65.93	4.07	30.00	3.68322284	Franco arcillo arenosa
11	87.51	3.64	8.86	2.08055895	Areno francosa
12	87.63	1.03	11.34	0.03757601	Areno francosa
13	71.57	5.03	23.40	0.58732028	Franco arcillo arenosa
14	65.33	11.09	23.58	0.03734011	Franco arcillo arenosa
15	69.39	0.91	29.70	3.02978719	Franco arcillo arenosa
16	77.69	0.85	21.46	2.91507662	Franco arcillo arenosa
17	91.39	0.85	7.76	0.59883426	Arenosa
18	79.39	-1.15	21.76	2.86459709	Franco arcillo arenosa
19	58.90	2.25	38.86	2.07451479	Arcillo arenosa
20	66.59	12.31	21.10	3.3454119	Franco arcillo arenosa
21	89.45	0.85	9.70	2.39737605	Areno francosa
22	89.69	3.83	6.48	1.75584404	Arenosa
23	79.63	3.71	16.66	1.72193722	Franco arenosa
24	72.91	4.06	23.04	5.54096538	Franco arcillo arenosa
25	75.33	1.82	22.86	0.78627616	Franco arcillo arenosa
26	67.33	5.76	26.92	5.10387337	Franco arcillo arenosa
27	75.45	3.70	20.86	1.42318798	Franco arcillo arenosa
28	57.45	3.70	38.86	0.95556966	Arcillo arenosa
29	71.33	10.91	17.76	0.21522501	Franco arenosa
30	60.11	18.73	21.16	2.42674013	Franco arcillo arenosa
31	89.99	2.85	7.16	0.51031907	Arenosa
32	77.33	5.70	16.98	0.55979257	Franco arenosa
33	79.21	7.58	13.22	0.69717259	Franco arenosa
34	73.39	9.45	17.16	0.59496247	Franco arenosa
35	81.45	3.39	15.16	1.8204659	Franco arenosa
36	55.51	9.45	35.04	1.52437781	Arcillo arenosa
37	90.18	3.94	5.88	3.62791369	Arenosa
38	88.73	5.64	5.64	3.89272295	Arenosa
39	65.39	19.09	15.52	3.14022403	Franco arenosa
40	69.27	13.27	17.46	3.51752873	Franco arenosa

Fuente: Datos obtenidos en laboratorio de la UNAJ

**Anexo 3** Análisis de consistencia y homogeneidad de las estaciones.

**Figura 19**

*Análisis de la estación meteorológica Azángaro por la prueba "T" de Student y "F" de Fisher.*

<b>ESTACIÓN AZÁNGARO</b>			
<b>PERIODO</b>	<b>1</b>	<b>PERIODO</b>	<b>2</b>
Tamaño de la muestra(n1)=	<b>118</b>	Tamaño de la muestra (n2)=	<b>300</b>
Media de la muestra	<b>47.8989</b>	Media de la muestra	<b>51.5311</b>
Desviación Stand. (S1) =	<b>46.3664</b>	Desviación Stand (S2)=	<b>51.9744</b>
Grados de libertad (GL1)=	<b>107</b>	Grados de libertad (GL2)=	<b>299</b>
<b>PRUEBA "T" DE STUDENT</b>			
<b>RESULTADOS</b>			
Desviación estándar ponderada		Sp =	<b>50.56</b>
Desviación de las diferencias de los promedios		Sd =	<b>5.67</b>
Cálculo del T, calculado (Tc) según:		Tc =	<b>0.64</b>
Grados de libertad		GL=GL1+GL2	<b>406</b>
Probabilidad al 95%, con un nivel de significación del 5%		$\alpha$ =	<b>5%</b>
Calculo del valor critico de t, tabular Tt:		Tt=	<b>1.97</b>
<b>  Tc   = 0.6402 &lt; Tt = 1.97</b>			<b>HOMOGENEO</b>
<b>PRUEBA "F" DE FISHER</b>			
<b>RESULTADOS</b>			
Cálculo de F calculado (Fc)según :			<b>1.26</b>
Calculo del F tabular( valor critico de Ft) Ft			<b>1.31</b>
<b>Fc = 1.26 &lt; Ft = 1.31</b>			<b>CONSISTENTE</b>

**Figura 20**

*Análisis de la estación meteorológica Ayaviri por la prueba "T" de Student y "F" de Fisher.*

<b>ESTACIÓN AYAVIRI</b>			
<b>PERIODO</b>	<b>1</b>	<b>PERIODO</b>	<b>2</b>
Tamaño de la muestra(n1)=	<b>108</b>	Tamaño de la muestra (n2)=	<b>300</b>
Media de la muestra	<b>53.7939</b>	Media de la muestra	<b>57.4201</b>
Desviación Stand. (S1) =	<b>54.1110</b>	Desviación Stand (S2)=	<b>59.7803</b>
Grados de libertad (GL1)=	<b>107</b>	Grados de libertad (GL2)=	<b>299</b>
<b>PRUEBA "T" DE STUDENT</b>			
<b>RESULTADOS</b>			
Desviación estándar ponderada		Sp =	<b>58.34</b>
Desviación de las diferencias de los promedios		Sd =	<b>6.55</b>
Cálculo del T, calculado (Tc) según:		Tc =	<b>0.55</b>
Grados de libertad		GL=GL1+GL2	<b>406</b>
Probabilidad al 95%, con un nivel de significación del 5%		$\alpha$ =	<b>5%</b>
Calculo del valor critico de t, tabular Tt:		Tt=	<b>1.97</b>
<b>  Tc   = 0.5539 &lt; Tt = 1.97</b>			<b>HOMOGENEO</b>
<b>PRUEBA "F" DE FISHER</b>			
<b>RESULTADOS</b>			
Cálculo de F calculado (Fc)según :			<b>1.22</b>
Calculo del F tabular( valor critico de Ft) Ft			<b>1.31</b>
<b>Fc = 1.22 &lt; Ft = 1.31</b>			<b>CONSISTENTE</b>

**Figura 21**

*Análisis de la estación meteorológica Arapa por la prueba "T" de Student y "F" de Fisher.*

<b>ESTACIÓN ARAPA</b>			
<b>PERIODO</b>	<b>1</b>	<b>PERIODO</b>	<b>2</b>
Tamaño de la muestra(n1)=	<b>108</b>	Tamaño de la muestra (n2)=	<b>300</b>
Media de la muestra	<b>52.7760</b>	Media de la muestra	<b>53.2607</b>
Desviación Stand. (S1) =	<b>49.2546</b>	Desviación Stand (S2)=	<b>53.0587</b>
Grados de libertad (GL1)=	<b>107</b>	Grados de libertad (GL2)=	<b>299</b>
<b>PRUEBA "T" DE STUDENT</b>			
<b>RESULTADOS</b>			
Desviación estándar ponderada		Sp =	<b>52.08</b>
Desviación de las diferencias de los promedios		Sd =	<b>5.84</b>
Cálculo del T, calculado (Tc) según:		Tc =	<b>0.88</b>
Grados de libertad		GL=GL1+GL2	<b>406</b>
Probabilidad al 95%, con un nivel de significación del 5%		$\alpha$ =	<b>5%</b>
Calculo del valor critico de t, tabular Tt:		Tt=	<b>1.97</b>
<b>  Tc   = 0.0829</b>	<b>&lt;</b>	<b>Tt = 1.97</b>	<b>HOMOGENEO</b>
<b>PRUEBA "F" DE FISHER</b>			
<b>RESULTADOS</b>			
Cálculo de F calculado (Fc)según :			<b>1.16</b>
Calculo del F tabular( valor critico de Ft) Ft			<b>1.31</b>
<b>Fc = 1.16</b>	<b>&lt;</b>	<b>Ft = 1.31</b>	<b>CONSISTENTE</b>

**Figura 22**

*Análisis de la estación meteorológica Santa Lucia por la prueba "T" de Student y "F" de Fisher.*

<b>ESTACIÓN SANTA LUCIA</b>			
<b>PERIODO</b>	<b>1</b>	<b>PERIODO</b>	<b>2</b>
Tamaño de la muestra(n1)=	<b>108</b>	Tamaño de la muestra (n2)=	<b>300</b>
Media de la muestra	<b>56.2838</b>	Media de la muestra	<b>58.9044</b>
Desviación Stand. (S1) =	<b>59.2898</b>	Desviación Stand (S2)=	<b>67.0624</b>
Grados de libertad (GL1)=	<b>107</b>	Grados de libertad (GL2)=	<b>299</b>
<b>PRUEBA "T" DE STUDENT</b>			
<b>RESULTADOS</b>			
Desviación estándar ponderada		Sp =	<b>65.10</b>
Desviación de las diferencias de los promedios		Sd =	<b>7.31</b>
Cálculo del T, calculado (Tc) según:		Tc =	<b>0.36</b>
Grados de libertad		GL=GL1+GL2	<b>406</b>
Probabilidad al 95%, con un nivel de significación del 5%		$\alpha$ =	<b>5%</b>
Calculo del valor critico de t, tabular Tt:		Tt=	<b>1.97</b>
<b>  Tc   = 0.3587</b>	<b>&lt;</b>	<b>Tt = 1.97</b>	<b>HOMOGENEO</b>
<b>PRUEBA "F" DE FISHER</b>			
<b>RESULTADOS</b>			
Cálculo de F calculado (Fc)según :			<b>1.28</b>
Calculo del F tabular( valor critico de Ft) Ft			<b>1.31</b>
<b>Fc = 1.28</b>	<b>&lt;</b>	<b>Ft = 1.31</b>	<b>CONSISTENTE</b>

**Figura 23**

*Análisis de la estación meteorológica Taraco por la prueba "T" de Student y "F" de Fisher*

<b>ESTACIÓN TARACO</b>			
<b>PERIODO</b>	<b>1</b>	<b>PERIODO</b>	<b>2</b>
Tamaño de la muestra(n1)=	<b>108</b>	Tamaño de la muestra (n2)=	<b>300</b>
Media de la muestra	<b>66.2812</b>	Media de la muestra	<b>71.7049</b>
Desviación Stand. (S1) =	<b>65.8250</b>	Desviación Stand (S2)=	<b>74.8887</b>
Grados de libertad (GL1)=	<b>107</b>	Grados de libertad (GL2)=	<b>299</b>
<b>PRUEBA "T" DE STUDENT</b>			
<b>RESULTADOS</b>			
Desviación estándar ponderada		Sp =	<b>72.61</b>
Desviación de las diferencias de los promedios		Sd =	<b>8.15</b>
Cálculo del T, calculado (Tc) según:		Tc =	<b>0.67</b>
Grados de libertad		GL=GL1+GL2	<b>406</b>
Probabilidad al 95%, con un nivel de significación del 5%		$\alpha$ =	<b>5%</b>
Calculo del valor critico de t, tabular Tt:		Tt=	<b>1.97</b>
<b>  Tc   = 0.6656 &lt; Tt = 1.97</b>			<b>HOMOGENEO</b>
<b>PRUEBA "F" DE FISHER</b>			
<b>RESULTADOS</b>			
Cálculo de F calculado (Fc)según :			<b>1.28</b>
Calculo del F tabular( valor critico de Ft) Ft			<b>1.31</b>
<b>Fc = 1.29 &lt; Ft = 1.31</b>			<b>CONSISTENTE</b>

**Figura 24**

*Análisis de la estación meteorológica Puno por la prueba "T" de Student y "F" de Fisher*

<b>ESTACIÓN PUNO</b>			
<b>PERIODO</b>	<b>1</b>	<b>PERIODO</b>	<b>2</b>
Tamaño de la muestra(n1)=	<b>108</b>	Tamaño de la muestra (n2)=	<b>300</b>
Media de la muestra	<b>55.4000</b>	Media de la muestra	<b>61.5883</b>
Desviación Stand. (S1) =	<b>59.3754</b>	Desviación Stand (S2)=	<b>66.2342</b>
Grados de libertad (GL1)=	<b>107</b>	Grados de libertad (GL2)=	<b>299</b>
<b>PRUEBA "T" DE STUDENT</b>			
<b>RESULTADOS</b>			
Desviación estándar ponderada		Sp =	<b>64.50</b>
Desviación de las diferencias de los promedios		Sd =	<b>7.24</b>
Cálculo del T, calculado (Tc) según:		Tc =	<b>0.86</b>
Grados de libertad		GL=GL1+GL2	<b>406</b>
Probabilidad al 95%, con un nivel de significación del 5%		$\alpha$ =	<b>5%</b>
Calculo del valor critico de t, tabular Tt:		Tt=	<b>1.97</b>
<b>  Tc   = 0.8550 &lt; Tt = 1.97</b>			<b>HOMOGENEO</b>
<b>PRUEBA "F" DE FISHER</b>			
<b>RESULTADOS</b>			
Cálculo de F calculado (Fc)según :			<b>1.24</b>
Calculo del F tabular( valor critico de Ft) Ft			<b>1.31</b>
<b>Fc = 1.24 &lt; Ft = 1.31</b>			<b>CONSISTENTE</b>

**Figura 25**

*Análisis de la estación meteorológica Pucara por la prueba "T" de Student y "F" de Fisher.*

<b>ESTACIÓN PUCARA</b>			
<b>PERIODO</b>	<b>1</b>	<b>PERIODO</b>	<b>2</b>
Tamaño de la muestra(n1)=	<b>108</b>	Tamaño de la muestra (n2)=	<b>300</b>
Media de la muestra	<b>57.2218</b>	Media de la muestra	<b>59.6174</b>
Desviación Stand. (S1)=	<b>55.4994</b>	Desviación Stand (S2)=	<b>61.7461</b>
Grados de libertad (GL1)=	<b>107</b>	Grados de libertad (GL2)=	<b>299</b>
<b>PRUEBA "T" DE STUDENT</b>			
<b>RESULTADOS</b>			
Desviación estándar ponderada		Sp =	<b>60.16</b>
Desviación de las diferencias de los promedios		Sd =	<b>6.75</b>
Cálculo del T, calculado (Tc) según:		Tc =	<b>0.35</b>
Grados de libertad		GL=GL1+GL2	<b>406</b>
Probabilidad al 95%, con un nivel de significación del 5%		$\alpha$ =	<b>5%</b>
Calculo del valor critico de t, tabular Tt:		Tt=	<b>1.97</b>
<b>  Tc   = 0.3548 &lt; Tt = 1.97</b>			<b>HOMOGENEO</b>
<b>PRUEBA "F" DE FISHER</b>			
<b>RESULTADOS</b>			
Cálculo de F calculado (Fc)según :			<b>1.24</b>
Calculo del F tabular( valor critico de Ft) Ft			<b>1.31</b>
<b>Fc = 1.24 &lt; Ft = 1.31</b>			<b>CONSISTENTE</b>

**Figura 26**

*Análisis de la estación meteorológica Pampahuta por la prueba "T" de Student y "F" de Fisher.*

<b>ESTACIÓN PAMPAHUTA</b>			
<b>PERIODO</b>	<b>1</b>	<b>PERIODO</b>	<b>2</b>
Tamaño de la muestra(n1)=	<b>108</b>	Tamaño de la muestra (n2)=	<b>300</b>
Media de la muestra	<b>70.8124</b>	Media de la muestra	<b>70.8327</b>
Desviación Stand. (S1)=	<b>76.7950</b>	Desviación Stand (S2)=	<b>76.5264</b>
Grados de libertad (GL1)=	<b>107</b>	Grados de libertad (GL2)=	<b>299</b>
<b>PRUEBA "T" DE STUDENT</b>			
<b>RESULTADOS</b>			
Desviación estándar ponderada		Sp =	<b>76.60</b>
Desviación de las diferencias de los promedios		Sd =	<b>8.60</b>
Cálculo del T, calculado (Tc) según:		Tc =	<b>0.00</b>
Grados de libertad		GL=GL1+GL2	<b>406</b>
Probabilidad al 95%, con un nivel de significación del 5%		$\alpha$ =	<b>5%</b>
Calculo del valor critico de t, tabular Tt:		Tt=	<b>1.97</b>
<b>  Tc   = 0.0024 &lt; Tt = 1.97</b>			<b>HOMOGENEO</b>
<b>PRUEBA "F" DE FISHER</b>			
<b>RESULTADOS</b>			
Cálculo de F calculado (Fc)según :			<b>1.01</b>
Calculo del F tabular( valor critico de Ft) Ft			<b>1.29</b>
<b>Fc = 1.01 &lt; Ft = 1.29</b>			<b>CONSISTENTE</b>

**Figura 27**

*Análisis de la estación meteorológica Lampa por la prueba de Student y "F" de Fisher.*

<b>ESTACIÓN LAMPA</b>			
<b>PERIODO</b>	<b>1</b>	<b>PERIODO</b>	<b>2</b>
Tamaño de la muestra(n1)=	<b>108</b>	Tamaño de la muestra (n2)=	<b>300</b>
Media de la muestra	<b>63.3668</b>	Media de la muestra	<b>62.3291</b>
Desviación Stand. (S1) =	<b>64.5032</b>	Desviación Stand (S2)=	<b>65.9375</b>
Grados de libertad (GL1)=	<b>107</b>	Grados de libertad (GL2)=	<b>299</b>
<b>PRUEBA "T" DE STUDENT</b>			
<b>RESULTADOS</b>			
Desviación estándar ponderada		Sp =	<b>65.56</b>
Desviación de las diferencias de los promedios		Sd =	<b>7.36</b>
Cálculo del T, calculado (Tc) según:		Tc =	<b>0.14</b>
Grados de libertad		GL=GL1+GL2	<b>406</b>
Probabilidad al 95%, con un nivel de significación del 5%		$\alpha$ =	<b>5%</b>
Calculo del valor critico de t, tabular Tt:		Tt=	<b>1.97</b>
<b>  Tc   = 0.1410 &lt; Tt = 1.97</b>			<b>HOMOGENEO</b>
<b>PRUEBA "F" DE FISHER</b>			
<b>RESULTADOS</b>			
Cálculo de F calculado (Fc)según :			<b>1.04</b>
Calculo del F tabular( valor critico de Ft) Ft			<b>1.31</b>
<b>Fc = 1.04 &lt; Ft = 1.31</b>			<b>CONSISTENTE</b>

**Figura 28**

*Análisis de la estación meteorológica Juliaca por la prueba de Student y "F" de Fisher.*

<b>ESTACIÓN JULIACA</b>			
<b>PERIODO</b>	<b>1</b>	<b>PERIODO</b>	<b>2</b>
Tamaño de la muestra(n1)=	<b>108</b>	Tamaño de la muestra (n2)=	<b>300</b>
Media de la muestra	<b>50.1883</b>	Media de la muestra	<b>52.6066</b>
Desviación Stand. (S1) =	<b>54.2815</b>	Desviación Stand (S2)=	<b>57.6109</b>
Grados de libertad (GL1)=	<b>107</b>	Grados de libertad (GL2)=	<b>299</b>
<b>PRUEBA "T" DE STUDENT</b>			
<b>RESULTADOS</b>			
Desviación estándar ponderada		Sp =	<b>56.75</b>
Desviación de las diferencias de los promedios		Sd =	<b>6.37</b>
Cálculo del T, calculado (Tc) según:		Tc =	<b>0.38</b>
Grados de libertad		GL=GL1+GL2	<b>406</b>
Probabilidad al 95%, con un nivel de significación del 5%		$\alpha$ =	<b>5%</b>
Calculo del valor critico de t, tabular Tt:		Tt=	<b>1.97</b>
<b>  Tc   = 0.3797 &lt; Tt = 1.97</b>			<b>HOMOGENEO</b>
<b>PRUEBA "F" DE FISHER</b>			
<b>RESULTADOS</b>			
Cálculo de F calculado (Fc)según :			<b>1.13</b>
Calculo del F tabular( valor critico de Ft) Ft			<b>1.31</b>
<b>Fc = 1.13 &lt; Ft = 1.31</b>			<b>CONSISTENTE</b>

**Figura 29**

*Análisis de la estación meteorológica Chuquibambilla por la prueba de Student y "F" de Fisher.*

<b>ESTACIÓN CHUQUIBAMBILLA</b>			
<b>PERIODO</b>	<b>1</b>	<b>PERIODO</b>	<b>2</b>
Tamaño de la muestra(n1)=	<b>108</b>	Tamaño de la muestra (n2)=	<b>300</b>
Media de la muestra	<b>60.5231</b>	Media de la muestra	<b>65.1828</b>
Desviación Stand. (S1) =	<b>60.2226</b>	Desviación Stand (S2)=	<b>65.8143</b>
Grados de libertad (GL1)=	<b>107</b>	Grados de libertad (GL2)=	<b>299</b>
<b>PRUEBA "T" DE STUDENT</b>			
<b>RESULTADOS</b>			
Desviación estándar ponderada		Sp =	<b>64.39</b>
Desviación de las diferencias de los promedios		Sd =	<b>7.23</b>
Cálculo del T, calculado (Tc) según:		Tc =	<b>0.64</b>
Grados de libertad		GL=GL1+GL2	<b>406</b>
Probabilidad al 95%, con un nivel de significación del 5%		$\alpha$ =	<b>5%</b>
Calculo del valor critico de t, tabular Tt:		Tt=	<b>1.97</b>
<b>  Tc   = 0.6449</b>	<b>&lt;</b>	<b>Tt = 1.97</b>	<b>HOMOGENEO</b>
<b>PRUEBA "F" DE FISHER</b>			
<b>RESULTADOS</b>			
Cálculo de F calculado (Fc)según :			<b>1.19</b>
Calculo del F tabular( valor critico de Ft) Ft			<b>1.31</b>
<b>Fc = 1.19</b>	<b>&lt;</b>	<b>Ft = 1.31</b>	<b>CONSISTENTE</b>

**Figura 30**

*Análisis de la estación meteorológica Cabanillas por la prueba de Student y "F" de Fisher.*

<b>ESTACIÓN CABANILLAS</b>			
<b>PERIODO</b>	<b>1</b>	<b>PERIODO</b>	<b>2</b>
Tamaño de la muestra(n1)=	<b>108</b>	Tamaño de la muestra (n2)=	<b>300</b>
Media de la muestra	<b>52.9169</b>	Media de la muestra	<b>59.2113</b>
Desviación Stand. (S1) =	<b>56.9880</b>	Desviación Stand (S2)=	<b>64.1506</b>
Grados de libertad (GL1)=	<b>107</b>	Grados de libertad (GL2)=	<b>299</b>
<b>PRUEBA "T" DE STUDENT</b>			
<b>RESULTADOS</b>			
Desviación estándar ponderada		Sp =	<b>62.34</b>
Desviación de las diferencias de los promedios		Sd =	<b>7.00</b>
Cálculo del T, calculado (Tc) según:		Tc =	<b>0.90</b>
Grados de libertad		GL=GL1+GL2	<b>406</b>
Probabilidad al 95%, con un nivel de significación del 5%		$\alpha$ =	<b>5%</b>
Calculo del valor critico de t, tabular Tt:		Tt=	<b>1.97</b>
<b>  Tc   = 0.8997</b>	<b>&lt;</b>	<b>Tt = 1.97</b>	<b>HOMOGENEO</b>
<b>PRUEBA "F" DE FISHER</b>			
<b>RESULTADOS</b>			
Cálculo de F calculado (Fc)según :			<b>1.27</b>
Calculo del F tabular( valor critico de Ft) Ft			<b>1.31</b>
<b>Fc = 1.27</b>	<b>&lt;</b>	<b>Ft = 1.31</b>	<b>CONSISTENTE</b>

**Figura 31**

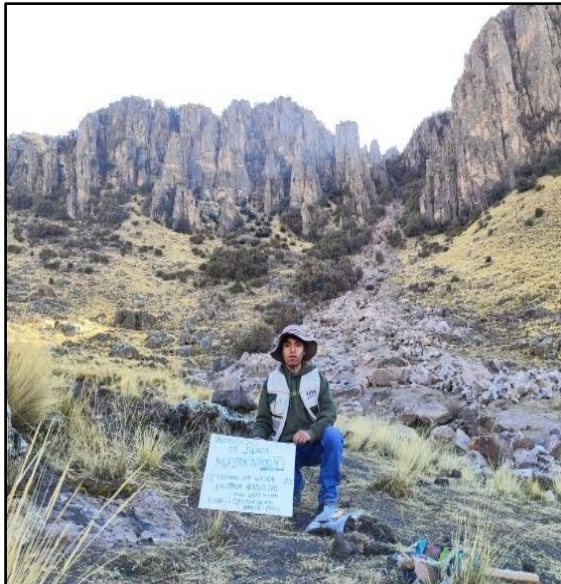
*Análisis de la estación meteorológica Llalli por la prueba de Student y “F” de Fisher.*

<b>ESTACIÓN LLALLI</b>			
<b>PERIODO</b>	<b>1</b>	<b>PERIODO</b>	<b>2</b>
Tamaño de la muestra(n1)=	<b>82</b>	Tamaño de la muestra (n2)=	<b>281</b>
Media de la muestra	<b>68.8317</b>	Media de la muestra	<b>71.9331</b>
Desviación Stand. (S1) =	<b>70.4451</b>	Desviación Stand (S2)=	<b>75.5341</b>
Grados de libertad (GL1)=	<b>81</b>	Grados de libertad (GL2)=	<b>280</b>
<b>PRUEBA "T" DE STUDENT</b>			
<b>RESULTADOS</b>			
Desviación estándar ponderada		Sp =	<b>74.42</b>
Desviación de las diferencias de los promedios		Sd =	<b>9.34</b>
Cálculo del T, calculado (Tc) según:		Tc =	<b>0.33</b>
Grados de libertad		GL=GL1+GL2	<b>361</b>
Probabilidad al 95%, con un nivel de significación del 5%		α =	<b>5%</b>
Calculo del valor critico de t, tabular Tt:		Tt=	<b>1.97</b>
Tc   = <b>0.3320</b> < Tt = <b>1.97</b>			<b>HOMOGENEO</b>
<b>PRUEBA "F" DE FISHER</b>			
<b>RESULTADOS</b>			
Cálculo de F calculado (Fc)según :			<b>1.15</b>
Calculo del F tabular( valor crítico de Ft) Ft			<b>1.39</b>
Fc = <b>1.15</b> < Ft = <b>1.39</b>			<b>CONSISTENTE</b>

Anexo 4 Panel fotográfico de muestreo y cobertura vegetal

**Figura 32**

*Vegetación nativa*



**Figura 34**

*Suelo con poca vegetación nativa*



**Figura 33**

*Paramo humedal*



**Figura 35**

*Muestreo de suelo*



Anexo 5 Panel fotográfico de los análisis en laboratorio

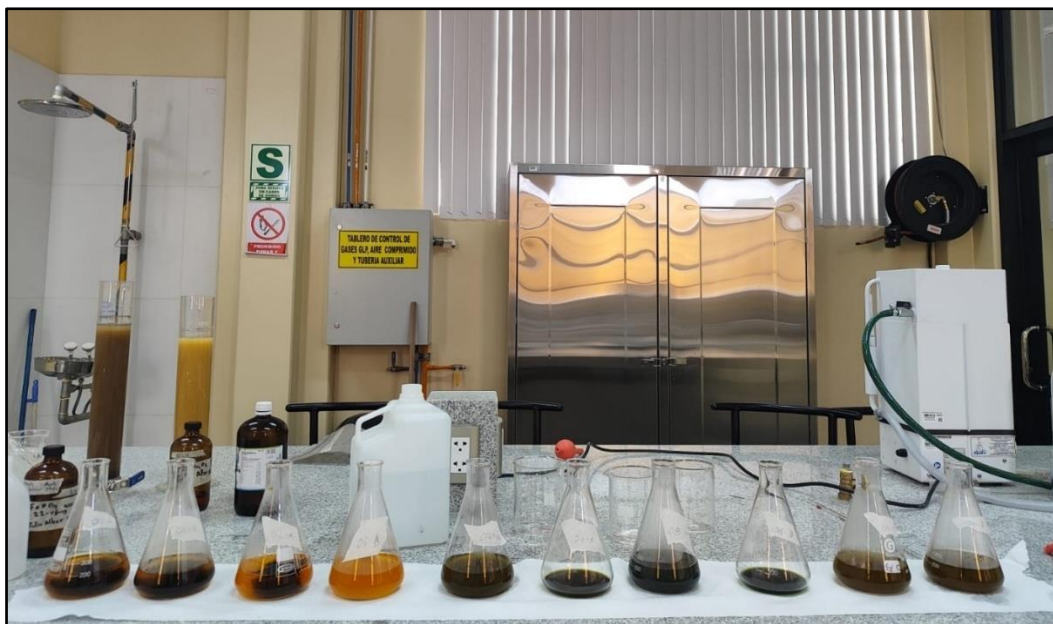
**Figura 36**

*Análisis de las diferentes muestras mediante el método Bouyoucos*



**Figura 37**

*Análisis de diferentes muestras mediante el método Kruskal Wallis*



**Anexo 6** Solicitud para la obtención de datos de precipitación ante SENAMHI.

PROCEDIMIENTO PARA OTORGAR INFORMACIÓN HIDROMETEOROLÓGICA EN EL SENAMHI A ESTUDIANTES, TESISISTAS, MAESTRISTAS, DOCTORADO E INVESTIGADORES

**ANEXO 02: FORMATO DE SOLICITUD ESTUDIANTES/TESISTAS- DIRECCIÓN ZONAL**

Señor( a )  
**DIRECTOR (A) ZONAL DEL SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA DEL PERU- SENAMHI**  
Presente.-

**JULIO ALBER MAMANI CAPQUEQUI**  
 (Nombre y Apellidos)

**AV. CIRCUNVALACION II S/N**  
 (Dirección)

Con No. DNI: 76047355      Telef.:900929941

E-mail: julioalber510@gmail.com



Universidad/Instituto: Universidad Nacional de Juliaca

Carrera/Profesión: Ingeniería ambiental y forestal

Ante usted me presento y expongo:

Que, con fines de investigación académica, actualmente me encuentro realizando un estudio sobre la estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Coata, El objetivo principal de mi investigación es estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Coata utilizando el modelo RUSLE. Para lograr este propósito, es fundamental contar con datos de precipitación en la zona de estudio.

Solicito la siguiente información:

ESTACIÓN/ZONA	PARÁMETROS	PERÍODOS
CO. CAPACHICA	Precipitación mensual	1990 al 2023
CP. CHUQUIBAMBILLA	Precipitación mensual	1990 al 2023
CO. PUCARA	Precipitación mensual	1990 al 2023
CO. LAMPA	Precipitación mensual	1990 al 2023
CO. TARACO	Precipitación mensual	1990 al 2023
CO. PAMPAHUTA	Precipitación mensual	1990 al 2023
CO. SANTA LUCÍA	Precipitación mensual	1990 al 2023
CO. JULIACA	Precipitación mensual	1990 al 2023
CP. PUNO	Precipitación mensual	1990 al 2023
CO. CABANILLAS	Precipitación mensual	1990 al 2023
CO. AYAVIRI	Precipitación mensual	1990 al 2023
CO. AZANGARO	Precipitación mensual	1990 al 2023
CO. LLALLY	Precipitación mensual	1990 al 2023
CO. ARAPA	Precipitación mensual	1990 al 2023

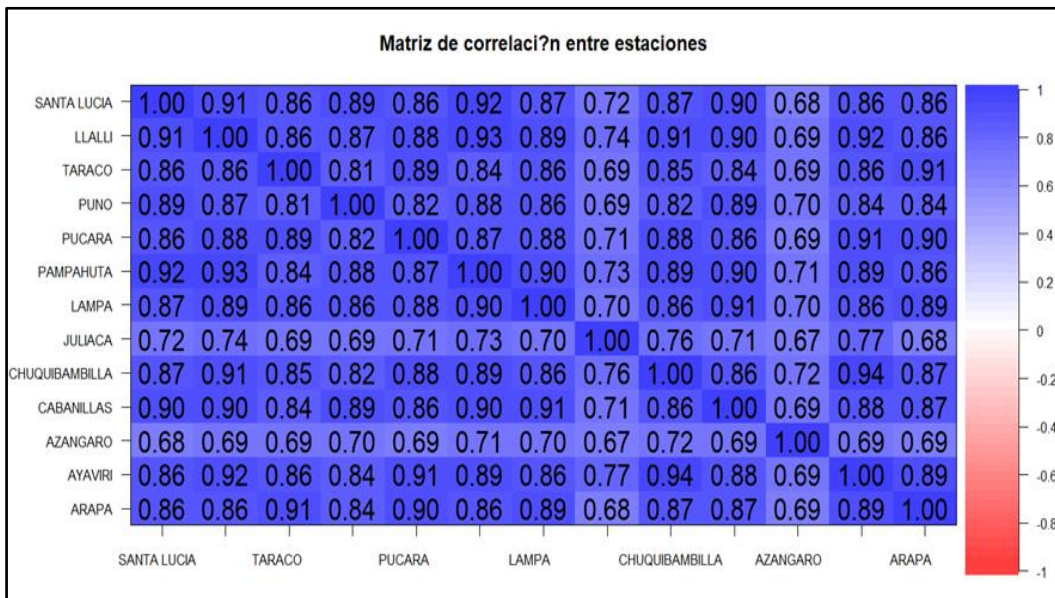
La información solicitada deberá ser remitida al correo electrónico julioalber510@gmail.com

Por lo expuesto, agradeceré a usted atender lo solicitado.

Puno, 25 de marzo del 2024

  
 .....  
 Firma del Usuario

**Anexo 7** Matriz de correlación entre estaciones



**Anexo 8** Correlaci?n de Pearson

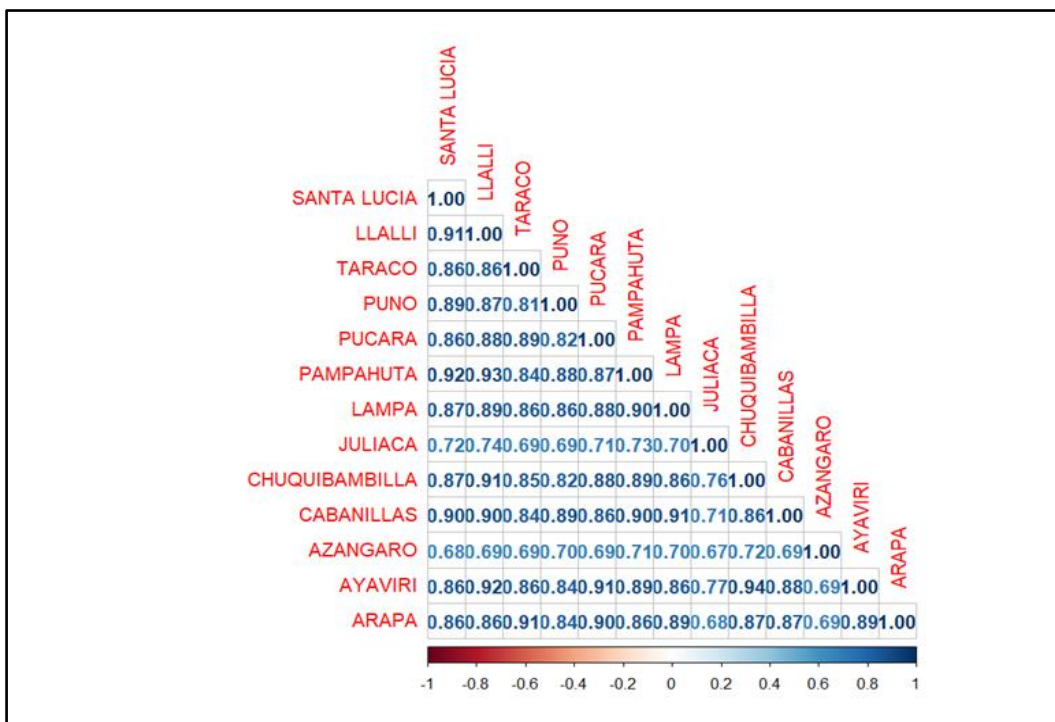
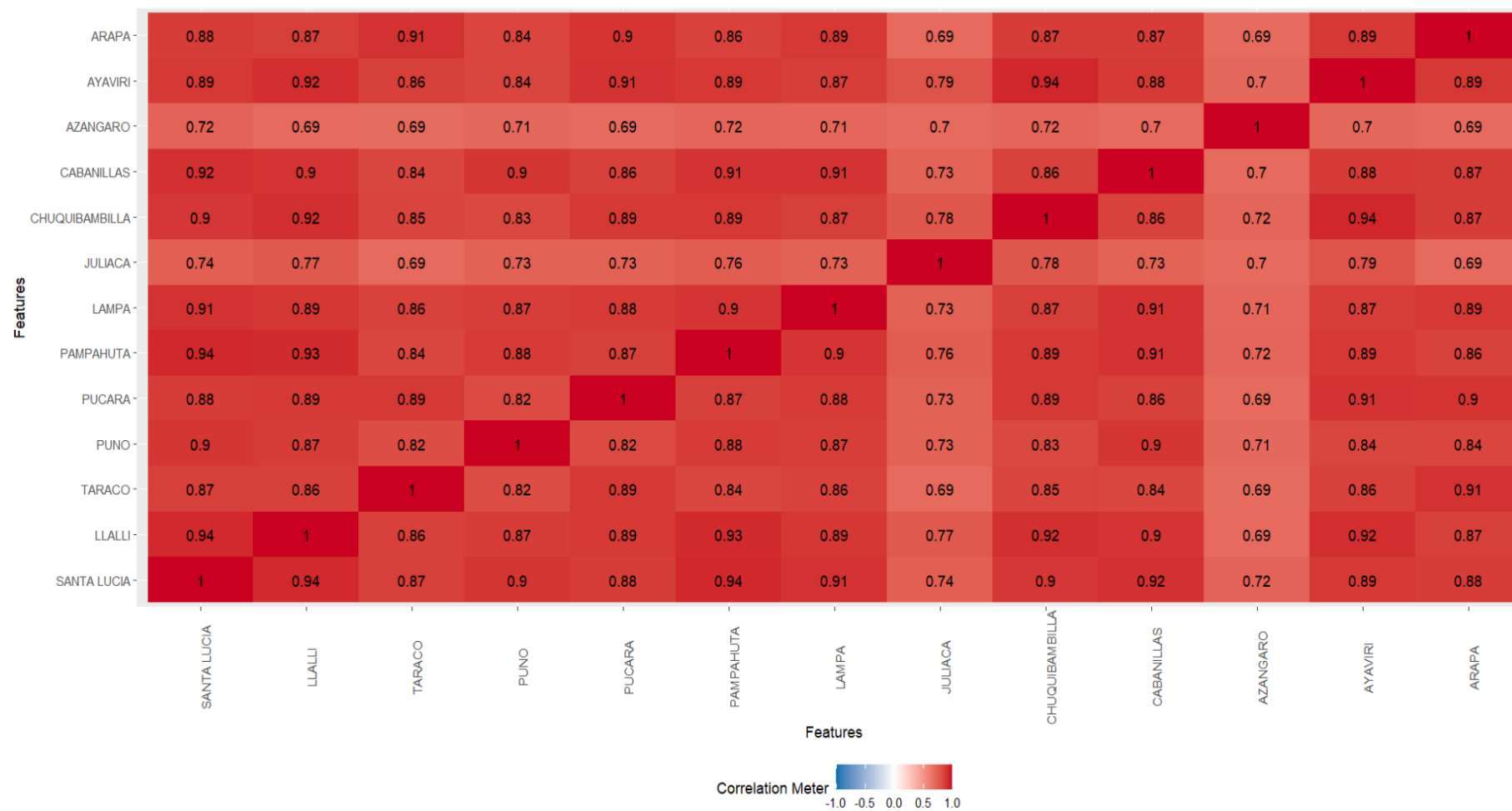


Foto 1 Correlaci?n entre estaciones meteorol?gicas



**Anexo 10** Correlación de las precipitaciones obtenidos a partir de los datos obtenidos en SENAMHI.



UNW