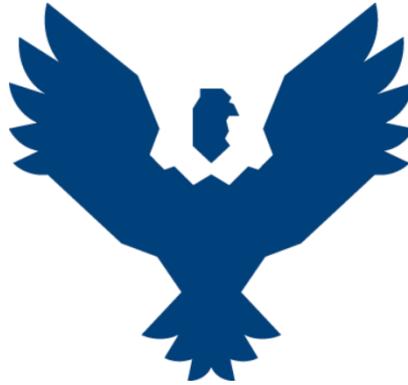




# UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

---

**EVALUACIÓN DE LA TASA PROMEDIO ANUAL POR EROSIÓN HIDRICA  
MEDIANTE LOS MODELOS SWAT Y USLE EN LA CUENCA CUSIQOCHA, DISTRITO  
CHINCHERO, PROVINCIA URUBAMBA – DEPARTAMENTO CUSCO, 2022**

---

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: HIDROLOGIA

Presentado por:

Bach. Sadam Hossien Ayma Villagra

0009-0001-6152-5236

**Para Optar el Título Profesional de  
Ingeniero Civil**

Asesor:

Ing. Jackeline Alejandra Peláez Gamarra

CUSCO – PERÚ

2023



### Metadatos

Datos del autor	
Nombres y apellidos	Sadam hossien Ayma Villagra
Número de documento de identidad	70309340
URL de Orcid	<a href="https://orcid.org/0009-0001-6152-5236">https://orcid.org/0009-0001-6152-5236</a>
Datos del asesor	
Nombres y apellidos	Mgt. Jackeline Alejandra Peláez Gamarra
Número de documento de identidad	42204820
URL de Orcid	
Datos del jurado	
Presidente del jurado (jurado 1)	
Nombres y apellidos	Mgt. Víctor Manuel Arangoitia Valdivia
Número de documento de identidad	23806451
Jurado 2	
Nombres y apellidos	Mgt. José Alberto Montesinos Cervantes
Número de documento de identidad	25001820
Jurado 3	
Nombres y apellidos	Ing. Carlos Alberto Mosqueira Lovon
Número de documento de identidad	23874004
Jurado 4	
Nombres y apellidos	Mgt. Jorge Álvarez Espinoza
Número de documento de identidad	23818765
Datos de la investigación	
Línea de investigación de la Escuela Profesional	Hidrología



Informe de revisión de similitud con turnitin

EVALUACIÓN DE LA TASA PROMEDIO ANUAL POR  
EROSIÓN HIDRICA MEDIANTE LOS MODELOS  
SWAT Y USLE EN LA CUENCA CUSIQOCHA,  
DISTRITO CHINCHERO, PROVINCIA URUBAMBA -  
DEPARTAMENTO CUSCO, 2022

**TESIS FINAL**

por SADAM HOSSIEN AYMA VILLAGRA

---

**Fecha de entrega:** 03-nov-2023 07:55a.m. (UTC-0500)  
**Identificador de la entrega:** 2216259374  
**Nombre del archivo:** TESIS\_EROSION\_CUSIQOCHA.pdf (11.21M)  
**Total de palabras:** 57672  
**Total de caracteres:** 232506

Jackeline Alejandra Pelaez Gamarras  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 111953



## TESIS FINAL

### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>20%</b>	<b>20%</b>	<b>5%</b>	<b>8%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>2%</b>
<b>2</b>	<b>es.slideshare.net</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.uandina.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>Submitted to Universidad Andina del Cusco</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>repositorio.unap.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>repositorio.uach.mx</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>aulavirtual.agro.unlp.edu.ar</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>8</b>	<b>repositorio.lamolina.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>9</b>	<b>pt.scribd.com</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>



Jackeline Alejandra Pelaez Garza  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 111953



## Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por Turnitin. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: SADAM HOSSIEN AYMA VILLAGRA  
Título del ejercicio: 01  
Título de la entrega: TESIS FINAL  
Nombre del archivo: TESIS\_EROSION\_CUSIQOCHA.pdf  
Tamaño del archivo: 11.21M  
Total páginas: 165  
Total de palabras: 57,672  
Total de caracteres: 232,506  
Fecha de entrega: 03-nov.-2023 07:55a. m. (UTC-0500)  
Identificador de la entrega: 2216259374



Derechos de autor 2023 Turnitin. Todos los derechos reservados.

  
Jackeline Alejandra Pelaez Gamarras  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 111953



## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Andina del Cusco, en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por ser el hogar de mi formación y por su compromiso en brindar una excelente educación a sus estudiantes.

A los profesores de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, por su dedicación y paciencia en enseñar y compartir sus conocimientos y experiencias, lo cual ha sido fundamental en mi formación profesional.

A la Mgt. Ing. Jackeline Peláez Gamarra, por su inestimable apoyo como Asesora de Tesis, por la confianza y orientación a lo largo del proceso de investigación, y por su amistad.

Al Ing. Luis Aragón Graneros, por su sabiduría y motivación constante en ayudarme a resolver problemas durante el desarrollo de esta tesis.

A mi familia y amigos, por su amor incondicional y apoyo continuo, por creer en mí y acompañarme en todas las decisiones importantes de mi vida.

Y, por último, a todas aquellas personas que han contribuido de alguna manera en la realización de este trabajo.



## DEDICATORIA

*La siguiente dedicatoria expresa mi profundo agradecimiento a los pilares fundamentales de mi vida.*

*Dedico esta tesis con amor y gratitud eterna a Dios, quien me ha guiado y brindado la fuerza para llegar hasta aquí. Sin su amor y presencia constante, esta hazaña no habría sido posible.*

*A mis padres, Benito y Fernanda, les dedico este trabajo con el corazón lleno de amor y gratitud. Su amor incondicional, su paciencia y sacrificios son un ejemplo de dedicación y amor verdadero. Gracias por su constante apoyo y por enseñarme a ser la persona que soy hoy.*

*A mis hermanas Mariluz y Ana Ruth, gracias por su comprensión, apoyo y motivación. Gracias por ser una fuente constante de aliento y por creer en mí en todo momento.*

*Este logro es producto de la unión y el apoyo de mi familia y está dedicado a ellos con todo mi amor y gratitud.*



## INDICE GENERAL

1.	INTRODUCCION.....	1
1.1.	Planteamiento del problema .....	1
1.2.	Formulación de problemas .....	2
1.2.1.	Problema General.....	2
1.2.2.	Problemas Específicos.....	2
1.3.	Justificación.....	2
1.3.1.	Conveniencia.....	2
1.3.2.	Relevancia Social.....	2
1.3.3.	Implicancias Practicas.....	3
1.3.4.	Valor Teórico.....	3
1.3.5.	Unidad Metodológica.....	3
1.4.	Objetivo de la investigación .....	3
1.4.1.	Objetivo General.....	3
1.4.2.	Objetivos Específicos.....	4
1.5.	Delimitación del estudio.....	4
1.5.1.	Delimitación espacial.....	4
1.5.2.	Delimitación temporal.....	5
2.	MARCO TEÓRICO .....	6
2.1.	Antecedentes de la investigación.....	6
2.1.1.	Antecedentes a nivel internacional .....	6
2.1.2.	Antecedentes a nivel nacional .....	7
2.2.	Bases Teoricas .....	9
2.2.1.	Cuenca hidrográfica .....	9
2.2.2.	Erosión de suelos .....	9
2.2.3.	Erosión hídrica .....	10
2.2.4.	Principales causas y consecuencias de la erosión hídrica .....	13
2.2.5.	Consecuencias de la erosión hídrica.....	15
2.2.6.	Principales formas de erosión hídrica.....	15
2.2.7.	Modelos de erosión hídrica .....	22
2.2.8.	Ecuación Universal de la pérdida de suelos (USLE) .....	23
2.2.9.	Model Soil and Water Assessment Tool (SWAT).....	30
2.3.	Marco Conceptual .....	34
2.4.	Hipótesis.....	35
2.4.1.	Hipótesis General.....	35
2.4.2.	Hipótesis Especificas.....	35
2.5.	Variables e indicadores.....	35
2.5.1.	Identificación de variables.....	35
2.5.2.	Cuadro de operacionalización de variables.....	36
3.	MÉTODO .....	38
3.1.	Alcance del estudio.....	38
3.1.1.	Enfoque de la investigación.....	38
3.1.2.	Alcance de la investigación.....	38
3.1.3.	Método de la investigación.....	38
3.2.	Diseño de la investigación.....	39
3.2.1.	Diseño metodológico.....	39
3.2.2.	Diseño de Ingeniería .....	39
3.3.	Población .....	42
3.4.	Muestra.....	42
3.5.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	43
3.5.1.	Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos.....	43
3.5.2.	Instrumentos de ingeniería .....	46



3.6.	Validez de la recolección de datos .....	48
3.6.1.	Registro de precipitación total mensual .....	48
3.6.2.	Información de suelos .....	49
3.6.3.	Información topográfica y de cobertura vegetal .....	50
3.7.	Plan de análisis de datos .....	50
3.7.1.	Descripción general de la cuenca .....	50
3.7.2.	Parámetros geomorfológicos de la cuenca Cusiqocha .....	51
3.7.3.	Datos climatológicos .....	52
3.7.4.	Desarrollo del modelo USLE .....	61
3.7.5.	Desarrollo del modelo SWAT .....	82
4.	RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	92
4.1.	Resultado respecto a los objetivos específicos .....	92
4.1.1.	Calcular los factores que influyen en la tasa promedio anual por erosión hídrica en los modelos USLE y SWAT en la cuenca Cusiqocha, distrito Chinchero, provincia Urubamba – departamento Cusco – 2022 .....	92
4.1.2.	Estimar tasa promedio anual por erosión hídrica mediante el modelo USLE en la cuenca Cusiqocha, distrito Chinchero, provincia Urubamba – departamento Cusco – 2022 .....	103
4.1.3.	Estimar la tasa promedio anual por erosión hídrica mediante el modelo SWAT en la cuenca Cusiqocha, distrito Chinchero, provincia Urubamba – departamento Cusco – 2022 .....	107
4.1.4.	Evaluación de la tasa promedio anual por erosión hídrica en la cuenca Cusiqocha, distrito en la cuenca Cusiqocha mediante los modelos SWAT y USLE para determinación de los mapas de erosión hídrica a escala de cuenca .....	110
4.2.	Resultados Respecto al Objetivo General .....	111
4.2.1.	Determinación de la tasa promedio anual por erosión hídrica mediante los modelos SWAT y USLE en la cuenca Cusiqocha, distrito Chinchero, provincia Urubamba – departamento Cusco, 2022 .....	111
5.	DISCUSIÓN .....	113
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	115
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	118
	ANEXOS .....	121
5.1.	Matriz de consistencia .....	122
5.2.	Registros de precipitación .....	124
5.3.	Registro de Precipitación completa .....	134
5.4.	Registro físico químico de los suelos .....	143
5.5.	Planos .....	155



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas Geográficas y Proyectadas de los límites de la Cuenca Cusiqocha.....	4
Tabla 2. Consecuencias de los procesos erosivos y su consecuente sedimentación .....	15
Tabla 3. Valores “C” según el uso de tierra. ....	29
Tabla 4. Valores de “P” para cultivos en contorno .....	29
Tabla 5. Variables de salida en el modelo SWAT.....	33
Tabla 6. Cuadro de operacionalización de variables .....	36
Tabla 7. Ubicación de calicatas .....	44
Tabla 8. Estaciones meteorológicas para la zona de estudio .....	46
Tabla 9. Registro de precipitación mensual de la estación Calca .....	48
Tabla 10. Análisis fisicoquímico de suelo – Sector Cusicharan (M-1).....	49
Tabla 11. Parámetros geomorfológicos de la cuenca Cusiqocha.....	52
Tabla 12. Variación de la correl./vector de todas las estaciones .....	54
Tabla 13. Variación de la correl./vector de las estaciones sin la estación Calca.....	55
Tabla 14. Relación altitud – precipitación de las estaciones .....	57
Tabla 15. Precipitación total mensual de la cuenca en base a factores de influencia altura – distancia.....	58
Tabla 16. Regionalización de temperatura media máxima anual .....	60
Tabla 17. Regionalización de temperatura media mínima anual .....	60
Tabla 18. Precipitación mensual regionalizada por altitud.....	61
Tabla 19. Reparto porcentual de la precipitación.....	61
Tabla 20. Reparto para precipitación diaria .....	62
Tabla 21. Resultados de datos de probabilidad .....	62
Tabla 22. Reparto porcentual por día.....	63
Tabla 23. Precipitación diaria para una altura de 3950 m.s.n.m. ....	63
Tabla 24. Estimación de valores de energía de la lluvia para el mes de enero .....	64
Tabla 25. Cálculo de la Energía de lluvia “E” .....	65
Tabla 26. Intensidad de lluvia diaria 30 minutos .....	65
Tabla 27. Factor “R” de erosividad de la lluvia diaria. ....	65
Tabla 28. Porcentaje de área, limo y arcilla .....	67
Tabla 29. Porcentaje de contenido de carbón orgánico .....	67
Tabla 30. Cálculo del factor “K” de Erodabilidad .....	68
Tabla 31. Factores de por pendiente para las prácticas de conservación (Neitsch et al., 2009) .....	82
Tabla 32. Tipos de suelo en la Cuenca Cusiqocha .....	83
Tabla 33. Parámetros de suelo Modelo SWAT .....	83
Tabla 34. Tipos de cobertura vegetal en la Cuenca Cusiqocha .....	84
Tabla 35. Registro mensual PP regionalizada vs PP Data PISCO.....	85
Tabla 36. Factores de corrección para Data PISCO .....	86
Tabla 37. Cuencas generadas para el modelo SWAT .....	87
Tabla 38. Superficie ocupada para el factor de erosividad de la lluvia.....	92
Tabla 39. Superficie ocupada para el factor de erodabilidad del suelo.....	94
Tabla 40. Cuadro de valores para el factor C – Pajonal andino.....	98
Tabla 41. Superficie ocupada por los tipos de cobertura vegetal .....	99
Tabla 42. Clasificación de grado de degradación por erosión hídrica FAO .....	103
Tabla 43. Superficie con grados de erosión de la cuenca Cusiqocha .....	103
Tabla 44. Cuencas delimitadas por el SWAT .....	107
Tabla 45. Valores medios mensual de la Cuenca Cusiqocha .....	107
Tabla 46. Valores anuales de la cuenca Cusiqocha.....	108
Tabla 47. Resultados de la metodología USLE.....	111
Tabla 48. Resultados del modelo SWAT .....	111
Tabla 49. Tasa promedio anual por erosión hídrica de los modelos SWAT y USLE.....	116



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Proceso de erosión.....	10
Figura 2. Factores que afectan la susceptibilidad a la erosión.....	11
Figura 3. Salpicadura y trayectoria de las gotas barrosas pendiente arriba y abajo del sitio de caída.....	11
Figura 4. a) Esquema del efecto de la gota de lluvia sobre el suelo, b) Imagen real del proceso y c) encostramiento debido al impacto de la lluvia en un suelo descubierto de baja estabilidad estructural. ....	12
Figura 5. Posible interacción entre los procesos de transporte y de desprendimiento. ....	13
Figura 6. Esquema de la Erosión Hídrica.....	13
Figura 7. Erosión por salpicadura.....	16
Figura 8. Proceso de erosión laminar.....	17
Figura 9. Manifestaciones de erosión laminar.....	17
Figura 10. Elementos que intervienen en la formación de surcos.....	18
Figura 11. Manifestaciones de erosión en surcos.....	18
Figura 12. Etapas en el desarrollo de una cárcava (Adaptado de Leopold, Wolman y Miller, 1964). ....	19
Figura 13. Manifestaciones de erosión en cárcavas.....	20
Figura 14. Vista de una cabecera de cárcava con proceso de debilitamiento. ....	20
Figura 15. Manifestaciones de erosión por movimientos en masa.....	21
Figura 16. Erosión de margen de ríos.....	22
Figura 17. Representación del ciclo hidrológico en SWAT.....	30
Figura 18. Flujograma del proceso para el modelo USLE.....	40
Figura 19. Flujograma del proceso para el modelo SWAT.....	41
Figura 20. Modelo de Elevación Digital de la cuenca Cusiqocha.....	43
Figura 21. Ubicación de las calicatas dentro de la cuenca Cusiqocha.....	44
Figura 22. Imagen NDVI de la cuenca Cusiqocha.....	45
Figura 23. Vista panorámica de la cuenca Cusiqocha. Fuente Google Earth.....	50
Figura 24. Ubicación política de la cuenca Cusiqocha.....	51
Figura 25. Suma de índices anuales de las estaciones.....	53
Figura 26. Índices anuales del vector regional de las estaciones.....	54
Figura 27. Variabilidad temporal de la precipitación por estaciones de 1964 a 2018.....	55
Figura 28. Regionalización de la precipitación con las estaciones de Paruro y Yauri.....	56
Figura 29. Regionalización de la precipitación.....	57
Figura 30. Precipitación máxima, media y mínima en la cuenca Cusiqocha.....	59
Figura 31. Serie de tiempo – cuenca Cusiqocha.....	59
Figura 32. Regionalización de la temperatura máxima.....	60
Figura 33. Regionalización de la temperatura mínima.....	61
Figura 34. Curva de regresión ajustada.....	63
Figura 35. Mapa de factor “R” de erosividad por altitud.....	66
Figura 36. Interpolación Kriging de factor K de erodabilidad.....	69
Figura 37. Mapa de factor R de Erodabilidad.....	70
Figura 38. Mapa Digital de Elevaciones.....	71
Figura 39. Conversión de grados sexagesimales a radianes del mapa de pendientes.....	72
Figura 40. Mapa de pendientes.....	72
Figura 41. Cálculo del factor “F” usando Map Algebra.....	73
Figura 42. Mapa de factor “F”.....	73
Figura 43. Cálculo del factor “m” usando Map Algebra.....	74
Figura 44. Mapa de factor “m”.....	74
Figura 45. Cálculo de FlowDireccion y FlowAcumulation.....	75
Figura 46. Cálculo de fator L.....	75
Figura 47. Mapa del factor “L”.....	76
Figura 48. Cálculo del sub factor “S”.....	76
Figura 49. Mapa del sub factor “S”.....	77
Figura 50. Cálculo del factor topográfico “LS”.....	77
Figura 51. Mapa del factor topográfico “LS”.....	78
Figura 52. Comparación de la imagen NDVI y la Ortofoto de la cuenca Cusiqocha.....	79
Figura 53. Tipos de cobertura vegetal de la cuenca Cusiqocha.....	79
Figura 54. Mapa NDVI de la cuenca Cusiqocha y su reclasificación.....	80
Figura 55. Pajonal andino subtipo césped muy ralo.....	80
Figura 56. Pajonal andino subtipo Césped Denso.....	81
Figura 57. Mapa de cobertura vegetal.....	81
Figura 58. Erosión por colmatación de zanjas de infiltración en la Cuenca Cusiqocha.....	82
Figura 59. Plano de tipos de suelo en la Cuenca Cusiqocha.....	83



Figura 60. PP regionalizada vs PP Data PISCO.....	85
Figura 61. PP Data PISCO Corregido.....	86
Figura 62. Interface SWAT en QGIS.....	87
Figura 63. Cuencas generadas para el modelo SWAT.....	88
Figura 64. Create HRU's en QGIS.....	89
Figura 65. Weather Data Definition.....	89
Figura 66. Write SWAT Database Tables.....	90
Figura 67. Setup and Run SWAT Model Simulation.....	91
Figura 68. Creación de data para los datos obtenidos a través de los años.....	91
Figura 69. Mapa de factor de erosividad de la lluvia.....	93
Figura 70. Diagrama de barras en porcentajes del factor de erosividad.....	93
Figura 71. Diagrama circular en porcentajes del factor de erosividad.....	94
Figura 72. Mapa de erodabilidad del suelo.....	95
Figura 73. Diagrama de barras en porcentajes del factor de erodabilidad.....	95
Figura 74. Diagrama circular en porcentajes del factor de erodabilidad.....	96
Figura 75. Superficie ocupada para el factor topográfico.....	96
Figura 76. Mapa del factor topográfico.....	97
Figura 77. Diagrama de barras del factor topográfico.....	97
Figura 78. Diagrama circular del factor topográfico.....	98
Figura 79. Mapa de factor de cobertura vegetal.....	99
Figura 80. Diagrama de barras del factor de cobertura vegetal.....	100
Figura 81. Diagrama circular del factor de cobertura vegetal.....	100
Figura 82. Cuadro de valores para el factor de prácticas de conservación.....	101
Figura 83. Mapa de factor de prácticas de conservación.....	101
Figura 84. Diagrama de barras del factor de prácticas de conservación.....	102
Figura 85. Diagrama circular del factor de prácticas de conservación.....	102
Figura 86. Diagrama de barras con grados de erosión de la cuenca Cusiqocha.....	104
Figura 87. Diagrama circular con grados de erosión de la cuenca Cusiqocha.....	104
Figura 88. Mapa de la erosión hídrica actual en la cuenca Cusiqocha.....	105
Figura 89. Diagrama de barras con grados de erosión hídrica potencial.....	105
Figura 90. Diagrama circular con grados de erosión hídrica potencial.....	106
Figura 91. Mapa de erosión hídrica potencial de la cuenca Cusiqocha.....	106
Figura 92. Cuencas delimitadas por el SWAT.....	107
Figura 93. Distribución anual de Erosión y Precipitación mensual.....	108
Figura 94. Distribución multianual de Erosión y Precipitación mensual.....	109
Figura 95. Mapa de erosión generado en el SWAT.....	109
Figura 96. Resultados de la hidrología en la simulación del SWAT.....	110
Figura 97. Resultados de los sedimentos en la simulación del SWAT.....	110
Figura 98. Comparación de mapas de erosión de la metodología USLE y modelo SWAT.....	111



## RESUMEN

La presente tesis de investigación se llevó a cabo en la cuenca Cusiqocha, ubicada en el distrito de Chinchero, provincia de Urubamba, departamento del Cusco. El objetivo principal fue evaluar la tasa promedio anual por erosión hídrica mediante los modelos SWAT y USLE en la cuenca Cusiqocha, distrito Chinchero, provincia Urubamba – departamento Cusco.

El problema abordado se centra en la pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca Cusiqocha, una preocupación relevante para la gestión del agua y los suelos en la zona. La erosión hídrica puede tener impactos negativos significativos, como la degradación del suelo, la reducción de la capacidad de retención de agua y en mayor grado la desertificación.

Para llevar a cabo la estimación de la tasa promedio anual por erosión hídrica, se recolectaron datos pluviométricos de estaciones cercanas a la cuenca de estudio. Estos datos se utilizaron para realizar una regionalización específica para la cuenca Cusiqocha y obtener el factor R de erosividad de la lluvia. Además, se realizaron muestras de suelo en la cuenca Cusiqocha para determinar el factor K de erodabilidad del suelo. El factor LS de topografía se calculó mediante un modelo de elevación generado a partir de un levantamiento topográfico de la cuenca y el uso de software SIG. Asimismo, el factor P de prácticas de control se determinó utilizando el mismo modelo de elevación y software SIG. Para estimar el factor C, se emplearon imágenes NDVI (Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada) y también se utilizaron herramientas de software SIG.

Los niveles de erosión hídrica para la cuenca Cusiqocha, según la metodología USLE, se calcularon utilizando el software ArcGIS, y se obtuvo una tasa promedio anual de erosión hídrica de 11.82 t/ha/año, lo que indica un grado de degradación MODERADA. Por otro lado, utilizando el modelo SWAT a través de la extensión QSWAT del software QGIS, se alcanzó una tasa promedio anual de erosión hídrica de 17.51 t/ha/año.

Los resultados obtenidos en este estudio proporcionan información importante sobre la tasa promedio anual por erosión hídrica en la cuenca Cusiqocha, permitiendo tomar medidas adecuadas para la gestión y conservación de los recursos hídricos y los suelos en la zona.

### **Palabras claves:**

Cobertura vegetal, ecuación universal de pérdida de suelos, erosión, SWAT, erodabilidad, erosividad, NDVI, cuenca, vegetación, erosión de suelos.



## ABSTRACT

This research thesis was carried out in the Cusiqocha basin, located in the district of Chinchero, province of Urubamba, department of Cusco. The main objective was to evaluate the average annual rate of water erosion through SWAT and USLE models in the Cusiqocha basin, Chinchero district, Urubamba province - Cusco department.

The problem addressed focuses on soil loss due to water erosion in the Cusiqocha watershed, a relevant concern for water and soil management in the area. Water erosion can have significant negative impacts, such as soil degradation, reduction of water retention capacity and, to a greater extent, desertification.

To carry out the soil loss estimation, rainfall data were collected from stations near the study watershed. These data were used to make a specific regionalization for the Cusiqocha watershed and to obtain the rainfall erosivity R factor. In addition, soil samples were taken in the Cusiqocha watershed to determine the soil erodibility factor K. The topography factor LS was calculated using an elevation model generated from a topographic survey of the watershed and the use of GIS software. Likewise, the P factor for control practices was determined using the same elevation model and GIS software. To estimate the C factor, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) images were used and GIS software tools were also used.

Water erosion levels for the Cusiqocha watershed, according to the USLE methodology, were calculated using ArcGIS software, and an average annual water erosion rate of 11.82 t/ha/year was obtained, indicating a MODERATE degree of degradation. On the other hand, using the SWAT model through the QSWAT extension of the QGIS software, an average annual water erosion rate of 17.51 t/ha/year was obtained.

The results obtained in this study provide important information on soil loss due to water erosion in the Cusiqocha watershed, allowing appropriate measures to be taken for the management and conservation of water resources and soils in the area.

**Keywords:** Vegetation coverage, Universal Soil Loss Equation, Erosion, SWAT, Erodibility, Erosivity, NDVI, Basin, Vegetation, Soil erosion.



## CAPITULO I

### 1. INTRODUCCION

#### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los suelos son fundamentales para la vida en la Tierra, pero las presiones humanas sobre el recurso suelo está llegando a límites críticos. La pérdida de suelo es un grave problema medio ambiental a nivel global (FAO, 2016).

A pesar de décadas de investigación científica y preocupación social, la erosión del suelo sigue siendo una gran amenaza en muchas regiones del mundo, como señala Pennock et al. (2019). Estos procesos erosivos han llevado a la desertificación de algunas zonas.

En el distrito de Chinchero, provincia de Urubamba, departamento de Cusco, se encuentra la cuenca de la laguna Piuray, donde existen áreas de erosión hídrica moderada, las cuales ocupan una superficie de 1933.4 ha que se sitúan en las cumbres de montañas norte, Montañas Norte Ladera Alta y morrena de la quebrada Cusihuaycco (Sánchez Aragonés et al., 2013)

Los ecosistemas de la cuenca Cusiqocha, ubicados en la región altoandina, incluyen pajonales de puna y céspedes de puna, los cuales están siendo afectados por prácticas continuas de sobrepastoreo. Esto ha resultado en una pérdida considerable de cobertura vegetal, volviendo el suelo cada vez más susceptible a la erosión (Ministerio del Ambiente, 2020)

La cuenca Cusiqocha presenta una cárcava originada por la falta de tratamiento y descontrol de una cárcava primigenia, esta cárcava tiene un tramo cubierto por vegetación de 9357 m<sup>2</sup>, seguido de 7251 m<sup>2</sup> con poca vegetación, y otro mayor con 12918 m<sup>2</sup> sin vegetación, la cual está expuesta a la erosión fluvial en época de lluvias (Sánchez et al., 2013). Estas condiciones incrementan la pérdida de cobertura vegetal y vuelven el suelo cada vez más vulnerable a la erosión. Además, las altas precipitaciones en la zona contribuyen a la formación de erosión en surcos, lo que puede generar cárcavas de mayor tamaño en el futuro, intensificando el desgaste y la pérdida de productividad en la cuenca Cusiqocha.

Junto con el problema de la cárcava, que es especialmente crítico, también se observa erosión superficial del tipo laminar en toda la cuenca. Esta erosión afecta la calidad y productividad del suelo, incrementando la vulnerabilidad de la cuenca a la erosión hídrica.



## 1.2. FORMULACIÓN DE PROBLEMAS

### 1.2.1. Problema General

¿Cuál será la tasa promedio anual por erosión hídrica mediante los modelos SWAT y USLE en la cuenca Cusiqocha, distrito Chinchero, provincia Urubamba – departamento Cusco, 2022?

### 1.2.2. Problemas Específicos

- PE1. ¿Cuáles son los factores que tienen mayor influencia en la tasa promedio anual por erosión hídrica para los modelos USLE Y SWAT en la cuenca Cusiqocha, distrito Chinchero, provincia Urubamba – departamento Cusco, 2022?
- PE2. ¿Cuál será la tasa promedio anual por erosión hídrica mediante el modelo USLE en la cuenca Cusiqocha, distrito Chinchero, provincia Urubamba – departamento Cusco, 2022?
- PE3. ¿Cuál será la tasa promedio anual por erosión hídrica mediante el modelo SWAT cuenca Cusiqocha, distrito Chinchero, provincia Urubamba – departamento Cusco, 2022?
- PE4. ¿Cómo varía la tasa promedio anual por erosión hídrica a escala de cuenca mediante los modelos SWAT y USLE para la determinación de los mapas de erosión hídrica de la cuenca Cusiqocha, distrito Chinchero, provincia Urubamba - departamento Cusco, 2022?

## 1.3. JUSTIFICACIÓN

### 1.3.1. Conveniencia

El estudio de la erosión hídrica en la cuenca Cusiqocha resulta conveniente debido a su capacidad para estimar la tasa promedio de erosión en diferentes sectores de la cuenca e identificar las áreas más afectadas por la erosión hídrica. Esta información es crucial para implementar medidas de conservación y manejo del suelo que prevengan la pérdida de suelo y mejoren la salud del ecosistema.

### 1.3.2. Relevancia Social

La cuenca Cusiqocha desempeña un papel fundamental para la comunidad de Tauca, la cual cuenta con 70 familias. Esto se debe a que la laguna en esta cuenca se utiliza para el riego y mantiene los manantiales que suministran agua potable a la comunidad. Además, al ser una



subcuenca de la laguna Piuray, contribuye a mantener un nivel constante de agua durante las épocas de sequía, abasteciendo al 37% de la ciudad de Cusco. La conservación del suelo en esta cuenca es esencial para garantizar la disponibilidad de recursos hídricos y mantener el bienestar de la comunidad.

### **1.3.3. Implicancias Practicas**

La estimación de la tasa de erosión hídrica en la cuenca Cusiqocha tiene importantes implicancias prácticas. Al prevenir la erosión, se protege el suelo y se conservan los recursos naturales. Además, se contribuye a la mitigación del cambio climático al capturar carbono y reducir las emisiones. Estas prácticas sostenibles promueven la resiliencia del ecosistema y mejoran la calidad de vida, creando un entorno saludable y sostenible para las generaciones futuras.

### **1.3.4. Valor Teórico**

El estudio de la tasa de erosión hídrica en la cuenca Cusiqocha tiene un valor teórico importante, ya que complementa los conocimientos adquiridos en hidrología. El uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para el procesamiento y análisis de datos geoespaciales proporciona una sólida base de información que facilita la aplicación de diversas metodologías para calcular las tasas de erosión hídrica en la cuenca Cusiqocha. Esto contribuye al avance del conocimiento científico en el campo y promueve el desarrollo de estrategias efectivas de conservación del suelo.

La erosión del suelo es un fenómeno complejo que implica la remoción y transporte de partículas superficiales debido al viento y al agua. Comprender cómo minimizar su impacto es fundamental para reducir el desgaste del suelo y permitir un mejor control de la tierra

### **1.3.5. Unidad Metodológica**

El uso de herramientas como los sistemas de información geográfica y la generación de mapas temáticos facilita un enfoque metodológico unificado en el estudio y ordenamiento territorial, lo que a su vez contribuye a una gestión más efectiva de los recursos naturales.

## **1.4. OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1. Objetivo General**

Evaluar la tasa promedio anual por erosión hídrica mediante los modelos SWAT y USLE en la cuenca Cusiqocha, distrito Chinchero, provincia Urubamba – departamento Cusco, 2022.



### 1.4.2. Objetivos Específicos

- OE1 Calcular los factores que influyen en la tasa promedio anual por erosión hídrica en los modelos USLE y SWAT en la cuenca Cusiqocha, distrito Chinchero, provincia Urubamba – departamento Cusco – 2022
- OE2 Estimar tasa promedio anual por erosión hídrica mediante el modelo USLE en la cuenca Cusiqocha, distrito Chinchero, provincia Urubamba – departamento Cusco – 2022.
- OE3 Estimar la tasa promedio anual por erosión hídrica mediante el modelo SWAT en la cuenca Cusiqocha, distrito Chinchero, provincia Urubamba – departamento Cusco – 2022.
- OE4 Evaluar la tasa promedio anual por erosión hídrica en la cuenca Cusiqocha, distrito Chinchero, provincia Urubamba - departamento Cusco, 2022, mediante los modelos SWAT y USLE para determinación de los mapas de erosión hídrica a escala de cuenca.

## 1.5. DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO

### 1.5.1. Delimitación espacial

La investigación se limita a evaluar la erosión hídrica en la cuenca Cusiqocha, la cual es una cuenca tributaria de la cuenca Piuray. El área de estudio total es de 2.90 km<sup>2</sup>, cuyas coordenadas son:

Tabla 1. Coordenadas Geográficas y Proyectadas de los límites de la Cuenca Cusiqocha

Límites de la cuenca	COORDENADAS			
	UTM		GEOGRÁFICAS	
	X (ESTE)	Y (NORTE)	LATITUD (SUR)	LONGITUD (OESTE)
Norte	177018.23	8518942.89	13°22'27"	71°58'54"
Sur	176610.49	8516122.48	13°23'59"	71°59'09"
Este	177965.51	8517510.68	13°23'14"	71°58'23"
Oeste	176105.25	8516723.30	13°23'39"	71°59'25"

Fuente: Elaboración propia- Google Earth

Para la metodología de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos, plantea como factores condicionantes: factor de erosividad de la lluvia, factor de erodabilidad del suelo, factor cobertura vegetal, factor topográfico y el factor de prácticas de conservación del suelo. Mientras que para el modelo SWAT tiene como factores condicionantes: el tipo de suelo, uso de suelo y vegetación, y el clima



Para lo cual se utilizó el levantamiento topográfico, levantamiento multiespectral y el informe técnico de factor de producción del suelo de la cuenca Cusiqocha realizado para la oficina de Mecanismos de Regulación Hídrica para Sistemas Ecosistémicos (MERESE) de la empresa SEDA CUSCO S.A.

### **1.5.2. Delimitación temporal**

En el contexto de esta tesis, se emplearon los datos de precipitación promedio mensual de las estaciones pluviométricas de Anta Ancachuro, Calca, Chitapampa, Granja Kayra, Perayoc, Pisac y Urubamba, en el período comprendido entre 1964 y 2018, para el modelo USLE. Además, se utilizó el producto PISCO de precipitación en su versión diaria, correspondiente a los años 1981 a 2016, para el modelo SWAT. Todo el proceso de desarrollo de esta tesis se llevó a cabo durante los años 2021 y 2022.



## CAPITULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

##### 2.1.1. Antecedentes a nivel internacional

- **Modelación de la erosión hídrica en la cuenca alta del río Conchos, Chihuahua**, realizado por **ORDOÑEZ RODRIGUEZ, Celia Alejandra (2014)** para optar el grado de maestro en ingeniería.
  - **El objetivo** es calcular la tasa de erosión hídrica mediante la metodología USLE y el modelo SWAT en la cuenca alta del río Conchos, también conocida como Cuenca Presa La Boquilla.
  - **La metodología** usada en la tesis fue del tipo cuantitativo.
  - **El resultado** del cálculo de la tasa promedio anual por erosión hídrica en la Cuenca Alta del Río Conchos utilizando la metodología USLE (6.01 t/ha/año) y la modelación del SWAT (6.44 t/ha/año) presentó una diferencia de 0.43 t/ha/año. Aunque este valor no fue muy significativo, el análisis espacial de la cuenca reveló ciertas diferencias.
  - La investigación llegó a las siguientes **conclusiones**:
    - En general, las metodologías de la USLE y del modelo SWAT mostraron valores similares, con la mayor tasa de erosión hídrica en la parte media de la Cuenca Alta del Río Conchos, donde se practica la agricultura y se encuentran parte de los bosques secundarios.
    - La cuenca presenta un grado de erosión incipiente (menor a 10 t/ha/año) en la mayoría de su superficie (60%). Sin embargo, 8,011 km<sup>2</sup> se clasifican como áreas de erosión moderada y fuerte. Ante estos valores, es necesario tomar medidas preventivas para evitar un aumento de la erosión en la zona estudiada.
- **Modelación de la erosión hídrica a escala de cuenca en la zona alta de la quebrada La García, Municipio de Bello, Antioquia**, realizado por **VILLA OCHOA, Sebastián (2012)** para optar el título de Magister en Ingeniería.
  - **El objetivo** de la investigación es ajustar un modelo para evaluar la susceptibilidad a la erosión hídrica en la cuenca de la Quebrada La García,



en el municipio de Bello (Antioquia) y relacionar los resultados del modelo con los registros de sedimentos depositados en el embalse La García.

- **La metodología** usada en la tesis fue del tipo cuantitativo.
- **El resultado** de la aplicación de los modelos USLE y EMP Model es que ambos presentan diferencias en los resultados obtenidos, las cuales pueden relacionarse con el hecho de que cada uno de estos métodos fue concebido para condiciones climáticas y geológicas distintas.
- La investigación llegó a las siguientes **conclusiones**:
  - Los modelos para predecir la erosión deben ser reevaluados, ya que no utilizan datos reales de erosión hídrica. El modelo ajustado presentado en este trabajo fue evaluado con información real y puede ser calibrado para otro tipo de zonas con características físicas diferentes. La variable P de la USLE se descartó desde un principio debido a que en la cuenca de la Quebrada La García, los cultivos son prácticamente inexistentes.

#### 2.1.2. Antecedentes a nivel nacional

- **Análisis de pérdida de suelos por erosión hídrica en la subcuenca Conduriri mediante la metodología RUSLE**, realizado por **VALDEZ TUMI, Elar Harry (2014)** para optar el grado de Ingeniero Agrícola.
  - El **objetivo** de la investigación es determinar la magnitud de la erosión hídrica de suelos en la subcuenca Conduriri, utilizando la metodología RUSLE, en un período comprendido entre 1980 y 2014.
  - **La metodología** usada en la tesis fue del tipo cuantitativo.
  - **Los resultados** indican que en la subcuenca Conduriri, la mayoría de la superficie se clasifica como erosión baja, compuesta por un 49.5% con un área de aproximadamente 300.99 km<sup>2</sup>, situada en la parte baja y media de la subcuenca. Las clases de erosión alta, muy alta y crítica representan un 3%, 4.6% y 4.4% respectivamente, con áreas de 18.46 km<sup>2</sup>, 27.66 km<sup>2</sup> y 26.50 km<sup>2</sup>, distribuidas principalmente en las partes altas de la subcuenca.
  - La investigación llegó a las siguientes **conclusiones**:
    - Las metodologías USLE y SWAT muestran que la subcuenca Conduriri tiene un 4.4% de su superficie con riesgo crítico de degradación por erosión hídrica, un 4.6% con riesgo muy alto, un 3% con riesgo alto, un 9.9% con riesgo medio, un 28.6% con riesgo moderado y un 49.5% con



riesgo bajo de erosión. Los valores se obtuvieron a través de la metodología RUSLE.

- La información adquirida a través de la teledetección y el empleo de los SIG se vuelve fundamental para recopilar y evaluar los factores que influyen en la erosión del suelo.
- **Determinación de la pérdida de suelos en la cuenca aportante del embalse Aguada Blanca-Arequipa, aplicando USLE y Técnicas Geoespaciales**, realizado por **ZÚÑIGA HUACO, Javier Eduardo (2017)** para optar el título de Magister en Gestión Integral de Cuencas Hidrográficas.
  - **El objetivo** de la investigación es estimar la pérdida de suelos en la cuenca aportante del embalse Aguada Blanca, aplicando la Ecuación Universal de Pérdida del Suelo (USLE) y técnicas geoespaciales.
  - **La metodología** usada en la tesis fue del tipo cuantitativo.
  - **Los resultados** identifican diferentes niveles de erosión en la cuenca aportante del embalse Aguada Blanca a lo largo de las tres fases del proceso. La tasa de erosión anual media es de 125.15 t/ha/año para la primera fase (2002-2006) con el modelo MC80, 154.94 t/ha/año para la segunda fase (2006-2010) con el modelo MC78, y 162.73 t/ha/año para la tercera fase (2010-2015) también con el modelo MC78. Se observa un aumento en la tasa de erosión a lo largo de los años, con el mayor incremento en la última fase, lo que indica que la tendencia de erosión ha sido mayor en los últimos años en comparación con años previos.
  - La investigación llegó a las siguientes **conclusiones**:
    - Se identificaron diferentes resultados de erosión en la cuenca aportante del embalse Aguada Blanca a lo largo de las tres fases del proceso. En la primera fase (2002-2006), la erosión alcanzó 36,288,729.34 t/año con una tasa de erosión anual de 125.15 t/ha/año. En la segunda fase (2006-2010), se registró una erosión de 35,754,565.35 t/año con una tasa de 154.94 t/ha/año. En la tercera fase (2010-2015), se observó una erosión de 33,300,563.53 t/año con una tasa de 162.73 t/ha/año. Esto muestra que la tendencia de erosión anual ha sido mayor en los últimos años en comparación con años anteriores.



- Los sedimentos depositados en el embalse de Aguada Blanca desde el año 2002 al 2015 ( $5.43 \text{ Hm}^3$ ) representan el 8.13% del volumen erosionado en su cuenca aportante ( $66.82 \text{ Hm}^3$ ), lo que muestra una tasa promedio anual de sedimentación de  $0.42 \text{ Hm}^3/\text{año}$  en la cuenca y  $5.14 \text{ Hm}^3/\text{año}$  en la cuenca aportante.

## **2.2. BASES TEORICAS**

### **2.2.1. Cuenca hidrográfica**

Según Brooks et al. (2012) se indica que una cuenca hidrográfica es una zona geográfica definida por una división topográfica que recolecta la lluvia y conduce el flujo de agua hasta un cauce principal. Es una unidad natural territorial.

En el estudio realizado por Moreno & Renner (2007) entiende por cuenca u hoya hidrográfica: "Las aguas superficiales o subterráneas que fluyen hacia una red hidrográfica natural compuesta por uno o más cursos de agua, con un flujo continuo o intermitente, que se reúnen en un curso de agua mayor y pueden desembocar en un río principal, en un depósito natural de agua, en una presa o directamente en el mar".

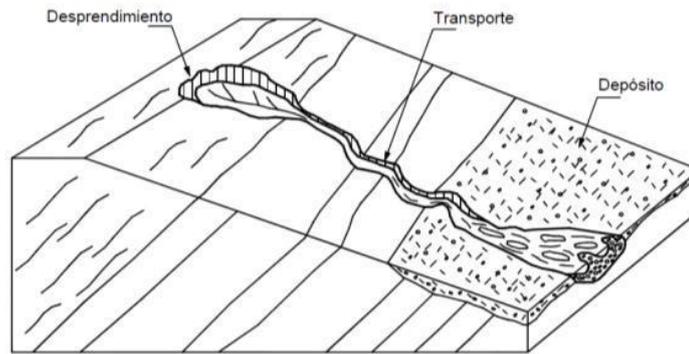
### **2.2.2. Erosión de suelos**

Según Nunez Crespi et al. (2007), la erosión del suelo se define como un fenómeno geológico complejo producido por desprendimiento y transporte de partículas y material del suelo que se terminan depositando en otro lugar.

La erosión ocurre en varios estadios: en primer lugar, las partículas se descomponen; luego, las unidades más pequeñas se desplazan de su lugar original; y finalmente, se depositan. En general, la erosión sucede cuando las fuerzas que descomponen y transportan son más fuertes que las fuerzas de cohesión que mantienen unidas las partículas, lo que permite iniciar el proceso.



Figura 1. Proceso de erosión



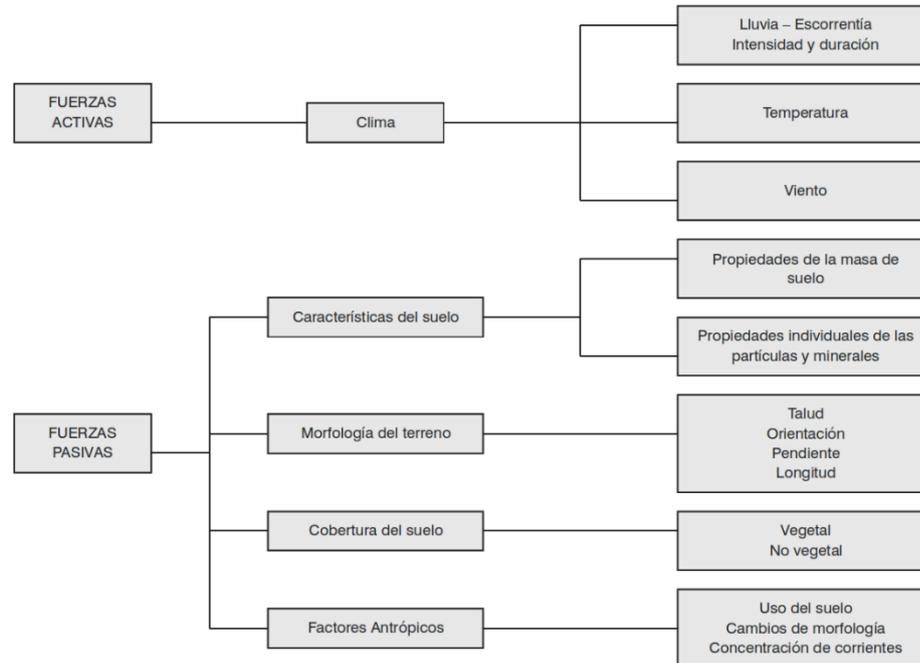
Fuente: Suárez (2001)

Según Hellin (2004), la erosión es un proceso de deterioro continuo de los componentes del suelo debido a la disipación de sus partículas. Estas son arrastradas por la acción del agua hacia áreas de menor altura, lo que contribuye a la degradación del suelo y a la disminución de su fertilidad. La erosión es un proceso natural que puede acelerarse debido a la actividad humana y al cambio climático, causando una pérdida a largo plazo de los recursos naturales y una disminución en la productividad.

### 2.2.3. Erosión hídrica

La erosión hídrica es el fenómeno de descomposición y movimiento de las partículas del suelo debido a la acción de las precipitaciones de agua. Este proceso tiene un impacto negativo en los suelos, ya que elimina las capas superficiales y, en casos extremos, expone la roca subyacente. La erosión hídrica puede ser un proceso natural que ocurre a un ritmo determinado por la naturaleza, pero también puede ser acelerada por la actividad humana y el cambio climático, lo que conduce a la degradación acelerada de los suelos y a la disminución de su fertilidad.

Figura 2. Factores que afectan la susceptibilidad a la erosión

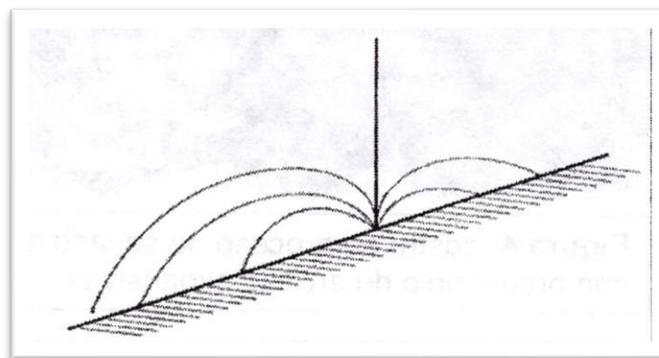


Fuente: Suárez (2001)

La erosión hídrica es el proceso que se produce por acción de los siguientes agentes principales:

- **La energía cinética (EC) de la gota de lluvia:** esta se libera en la superficie del suelo y provoca la disgregación de las partículas, generando así una erosión por salpicadura. Al impactar el suelo, las gotas de lluvia crean pequeños cráteres y levantan una corona compuesta por gotas mucho más pequeñas, las cuales contienen partículas que se han separado de la capa superficial del suelo. Este proceso de erosión por salpicadura es una forma en la que la energía de la lluvia puede degradar el suelo y contribuir a la erosión.

Figura 3. Salpicadura y trayectoria de las gotas barrosas pendiente arriba y abajo del sitio de caída



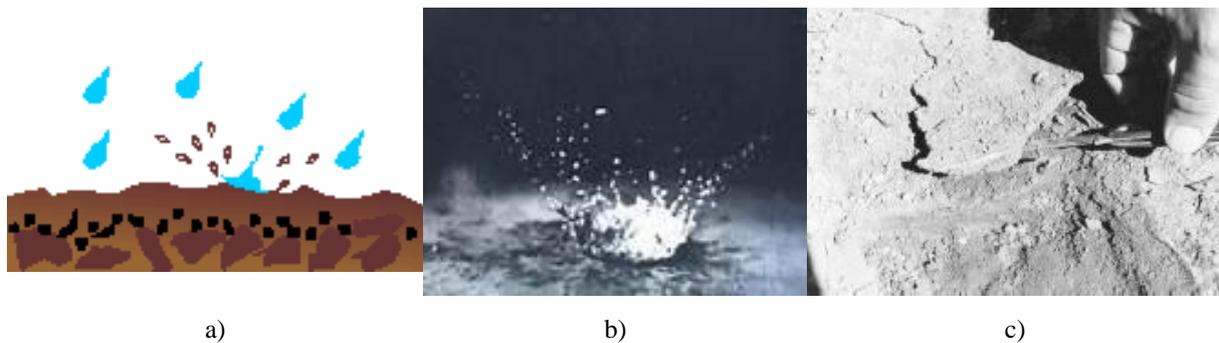
Fuente: (Cisneros & Cholaky, 2012)

Después de que la lluvia cese y si el flujo de agua no es demasiado fuerte, las partículas sedimentadas se depositan en capas horizontales, formando una estructura conocida como



"planchado" o encostramiento del suelo. Este proceso es una forma en la que el agua contribuye a la formación de nuevas capas en la superficie del suelo. Sin embargo, también puede causar degradación en la estructura del suelo y pérdida de fertilidad si la erosión hídrica es excesiva.

Figura 4. a) Esquema del efecto de la gota de lluvia sobre el suelo, b) Imagen real del proceso y c) encostramiento debido al impacto de la lluvia en un suelo descubierto de baja estabilidad estructural.



Fuente: (Cisneros & Cholaky, 2012)

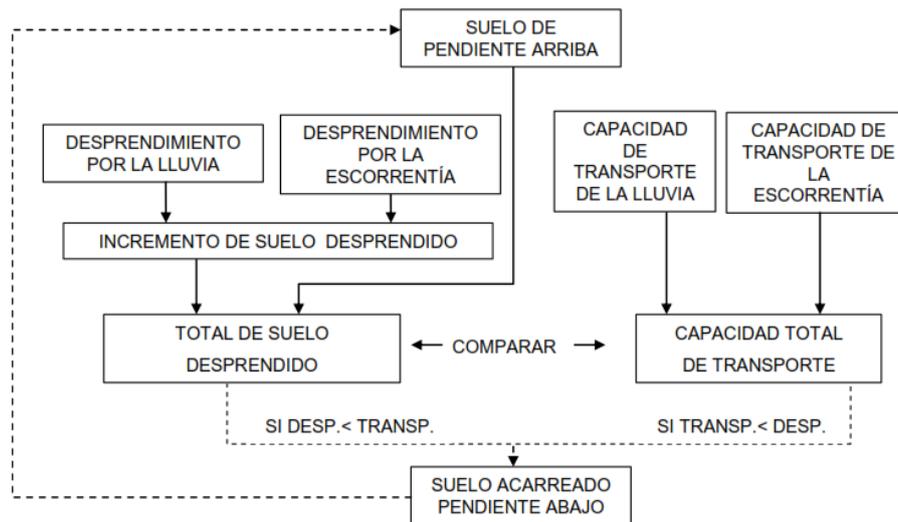
- **El escurrimiento:** Las partículas suspendidas en la escorrentía cuesta abajo pueden causar desprendimientos adicionales de rocas. El arrastre de las partículas es proporcional a la descarga y la velocidad a la que el agua se recoge en la superficie. En el flujo, se pueden distinguir dos tipos: el flujo laminar/no concentrado (erosión del estrato o manto), que se mueve a un ritmo lento, y el flujo turbulento/concentrado o ranurado (erosión ranurada), cuya velocidad puede alcanzar los 4 m/s, y es responsable de la mayor parte del transporte de sedimentos.

- **La gravedad:** En ambientes con pendientes pronunciadas y suelo húmedo, el suelo puede moverse en masa, provocando deslizamientos de laderas o erosión lateral de meandros de ríos.

Aunque la lluvia es la principal causa de la meteorización, la escorrentía (ya sea laminar o en surcos) también puede tener este efecto. La erosión mantiforme tiene una menor energía cinética para desalojar partículas, pero los flujos pueden transportar mayores cantidades de sedimentos desprendidos. Por otro lado, los flujos concentrados en surcos tienen una alta energía tanto para desalojar partículas como para transportarlas.

Tanto la lluvia como el escurrimiento tienen la capacidad de erosionar el suelo y transportar sedimentos. El proceso que tenga un menor impacto determinará la cantidad de suelo perdido en una ladera (Kirby, 1994).

Figura 5. Posible interacción entre los procesos de transporte y de desprendimiento.

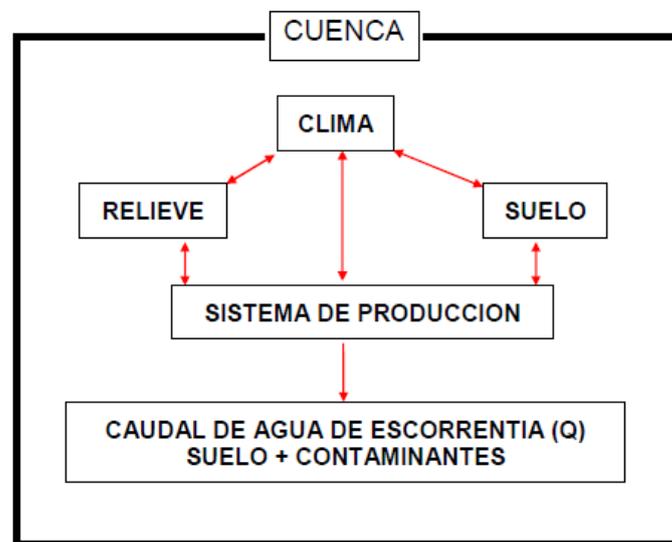


Fuente: (Meyer y Wischmeier, 1969).

#### 2.2.4. Principales causas y consecuencias de la erosión hídrica

La erosión hídrica es un fenómeno complejo y multifacético que ocurre en el contexto de una cuenca hidrográfica. Se caracteriza por ser dinámico, con episodios que se desencadenan a partir de una combinación de causas interdependiente.

Figura 6. Esquema de la Erosión Hídrica



Fuente: (Cisneros & Cholaky, 2012)

La complejidad del proceso radica en el hecho de que puede ser observado a diferentes escalas espaciales y temporales. A nivel temporal, el proceso ocurre en forma de eventos, es decir, en oleadas, con una probabilidad determinada por el comportamiento del clima y la ocurrencia de tormentas eléctricas de alta energía. Esto coincide con momentos de alta sensibilidad del suelo y una ligera disminución al comienzo del fenómeno.



#### 2.2.4.1. *Clima*

Los factores climáticos clave que influyen en la erosión hídrica incluyen la precipitación y su energía cinética. Las tormentas pueden ser clasificadas en tres tipos:

- **Ciclónicas:** causadas por diferentes temperaturas y humedad en las fronteras de masas de aire, y se caracterizan por cubrir amplias áreas geográficas.
- **Convectivas:** resultan de la rápida ascensión de masas de aire caliente, son tormentas estivales, tienen una extensión más limitada y a menudo son de alta intensidad.
- **Orográficas:** se producen cuando las masas de aire húmedo se ven obligadas a ascender al encontrar una barrera montañosa. Su distribución es variable y suelen tener una intensidad elevada.

El estudio de la precipitación es fundamental en cualquier investigación sobre la gestión de la erosión hídrica, tanto a nivel de cuenca hidrográfica como a nivel regional. Al caracterizar las lluvias, es importante conocer:

- **Cantidad y distribución:** es el registro más fácil de obtener en estaciones de ferrocarril, servicios meteorológicos, aeropuertos, estaciones experimentales, etc. La precipitación media y su distribución indican los períodos críticos en términos de tormentas erosivas.
- **Intensidad:** la intensidad de la precipitación determina la energía cinética que impulsa los procesos de desprendimiento y escorrentía.

#### 2.2.4.2. *Relieve*

El relieve es un factor crucial en los procesos de erosión hídrica, y el grado de inclinación de la pendiente es el parámetro principal a tener en cuenta. La pendiente puede expresarse en porcentaje o en grados sexagesimales, y su inclinación se relaciona directamente con la tangente del ángulo correspondiente. Por ejemplo, una pendiente del 5% equivale aproximadamente a un ángulo de  $3^\circ$ , mientras que una pendiente del 100% corresponde a una inclinación de  $45^\circ$ . Además, la longitud de la pendiente y la exposición solar de la ladera también son factores importantes para determinar la cantidad de erosión y la velocidad final de la escorrentía. La complejidad de la pendiente, es decir, la uniformidad de los gradientes, las direcciones y las longitudes, es un factor importante a considerar al planificar el control de la erosión mediante técnicas de manejo del relieve.



### 2.2.4.3. Suelo

La corrosividad o erosión del suelo es un indicador de su vulnerabilidad a la pérdida y al transporte por agentes erosivos. La capacidad de resistir la erosión es el resultado de una combinación de procesos que controlan la retención de la lluvia y la resistencia a la separación y transporte de las partículas del suelo. Estos procesos están influenciados por las características del suelo, como el tamaño de las partículas, la estabilidad de los agregados, la cantidad y el tipo de materia orgánica, así como por características edáficas que afectan la estructura del suelo y la infiltración de agua.

### 2.2.5. Consecuencias de la erosión hídrica

En conjunto, las consecuencias pueden preverse según la tabla 3.

Tabla 2. Consecuencias de los procesos erosivos y su consecuente sedimentación

Erosión – escurrimiento	Sedimentación
Destrucción de tierras productivas (cárcavas)	Pérdida de capacidad productiva de los suelos (por deposición de sedimentos)
Pérdida de capacidad productiva del suelo (erosión laminar y en surcos)	Tapado y desborde de canales por obturación con sedimentos
Pérdida de agua para los cultivos (productividad de corto plazo)	Colmatación de embalses (reducción de vida útil y funcionalidad)
Destrucción de infraestructura vial y urbana (puentes, alcantarillas, caminos, rutas, etc)	Sedimentación de depresiones naturales (pérdida de funcionalidad)
Deterioro de ecosistemas de ribera (bordes de ríos y arroyos)	Contaminación de aguas por sedimentos (mayores costos de potabilización)
Contaminación de aguas superficiales (P, herbicidas, insecticidas)	Pérdida de la calidad visual y paisajística
Inundación de depresiones, poblaciones, caminos y tierras productivas	Aumento de costos de dragado de puertos
Mayor inestabilidad y riesgos productivos	Aislamiento de poblaciones

Fuente: (Cisneros & Cholaky, 2012)

### 2.2.6. Principales formas de erosión hídrica

Teniendo en cuenta cómo se produce la erosión, se pueden distinguir los siguientes procesos de erosión hídrica, que se analizan a continuación:

- Erosión por salpicadura (rainplash/splash erosion),
- Erosión laminar (interrill erosion, sheet erosion),
- Erosión por surcos (rill erosion),
- Erosión en cárcavas (gully erosion),
- Erosión por remoción o movimientos en masa (mass movement)



- Erosión de cursos permanentes (streambank erosion).

#### 2.2.6.1. *Erosión por salpicadura*

La erosión por salpicadura se produce debido a la acción de las gotas de lluvia sobre las partículas del suelo desnudo. Este fenómeno se puede entender mejor al considerar el impacto de una sola gota de lluvia sobre una superficie inclinada. La componente descendente del impacto se transfiere por completo a la superficie del suelo, mientras que solo una pequeña proporción de la componente normal se transfiere, ya que el resto se refleja.

La transferencia de impulso a las partículas del suelo tiene dos efectos. En primer lugar, ejerce una fuerza de consolidación que compacta el suelo. En segundo lugar, genera una fuerza disruptiva, ya que el agua se dispersa rápidamente desde el punto de impacto y luego fluye lateralmente hacia él.

Según Morgan (2005), la erosión por salpicadura actúa de manera uniforme en toda la superficie del terreno, y sus efectos solo se observan cuando las piedras o las raíces de los árboles protegen selectivamente el suelo subyacente, formando pedestales de salpicadura o pilares de suelo.

Figura 7. Erosión por salpicadura



Fuente: (Cisneros & Cholaky, 2012)

#### 2.2.6.2. *Erosión laminar*

La erosión laminar es un proceso de degradación del suelo en el cual se produce la pérdida de capas superficiales debido a la acción del agua en la superficie. Este tipo de erosión puede ocurrir de manera continua o intermitente, dependiendo de diversos factores como la intensidad y frecuencia de las precipitaciones, la topografía, la presencia de vegetación, la textura y composición del suelo, entre otros.

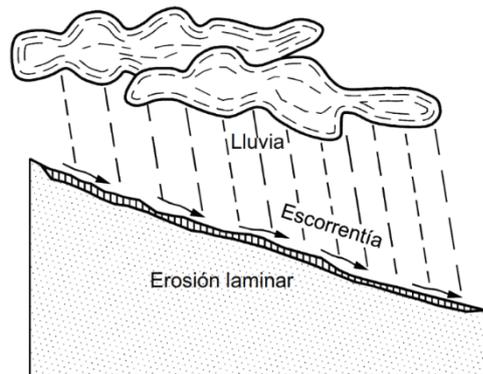
Durante la erosión laminar, el agua penetra parcialmente y se acumula en la superficie del suelo, formando una delgada lámina de agua con un espesor de 2 a 3 mm. El flujo de agua es poco



profundo en la parte superior de la pendiente, pero aumenta su profundidad aguas abajo. El flujo laminar en sí tiene un poder de erosión limitado, pero en ciertos lugares puede volverse turbulento, lo que incrementa significativamente su capacidad de erosión. A medida que continúa la acción de la lluvia y la escorrentía, se generan turbulencias en el flujo, lo que aumenta las posibilidades de erosión.

Según Suarez (2001), el número de Reynolds es un índice utilizado para medir la turbulencia del flujo. Cuanto mayor es la turbulencia, mayor es la capacidad erosiva generada por el flujo.

Figura 8. Proceso de erosión laminar



Fuente: Suárez (2001)

El proceso de erosión laminar resulta en una pérdida más significativa de suelo en comparación con la erosión por salpicadura, ya que desprende y transporta capas superficiales bien definidas del suelo debido a la escorrentía difusa. La pérdida de suelo es gradual y casi imperceptible. Este fenómeno es muy recurrente en suelos residuales y en áreas que han sido recientemente deforestadas.

Figura 9. Manifestaciones de erosión laminar



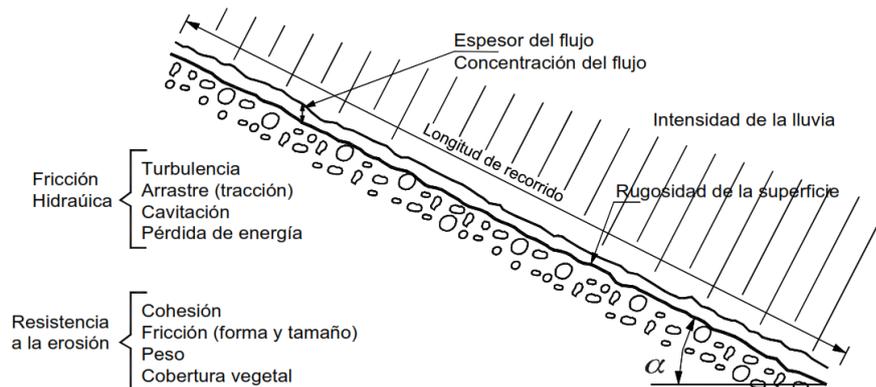
Fuente: (Cisneros & Cholaky, 2012)



### 2.2.6.3. Erosión por surcos

La erosión en surcos ocurre cuando la escorrentía superficial se concentra en pequeñas irregularidades naturales o inducidas en la superficie del terreno, adquiriendo suficiente velocidad y volumen para deslizarse por la pendiente y formar cortes en forma de canalillos y canales visibles a simple vista (Camacho-Zorogastúa et al., 2022).

Figura 10. Elementos que intervienen en la formación de surcos



Fuente: Suárez (2001)

La erosión en surcos es una de las principales fuentes de sedimentación en la superficie terrestre. A medida que los surcos se vuelven más profundos y anchos, evolucionan hacia formaciones conocidas como cárcavas. Es importante distinguir entre surcos y cárcavas en función de su profundidad: los surcos tienen una profundidad menor a 3 cm, mientras que las cárcavas tienen una profundidad mayor. La erosión en surcos y cárcavas puede tener graves consecuencias en la productividad del suelo y en la calidad del agua.

Figura 11. Manifestaciones de erosión en surcos



Fuente: (Cisneros & Cholaky, 2012)

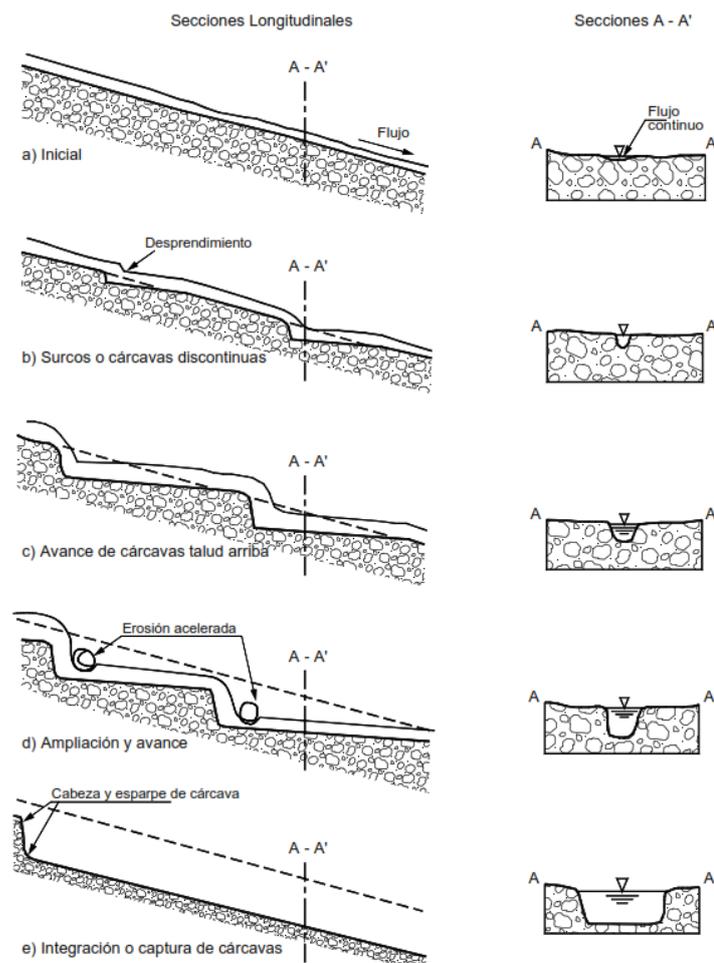
#### 2.2.6.4. *Erosión por cárcavas*

A medida que los surcos de erosión aumentan en profundidad y amplitud, se convierten en cárcavas. También es posible que varios surcos pequeños se fusionen y se combinen para formar una sola cárcava más grande (Suarez Diaz, 2001).

La erosión por cárcavas se refiere al desprendimiento de partículas del suelo debido a la escorrentía concentrada, lo que resulta en la formación de ranuras estrechas, más grandes y profundas que un canal, que dirigen el agua durante y después de fuertes lluvias. Los procesos involucrados en el crecimiento de una cárcava incluyen:

- Profundización del lecho de la cárcava, que puede ser continuo o discontinuo, hasta alcanzar una pendiente de equilibrio.
- Expansión lateral, ya que a medida que el lecho de la cárcava se profundiza, se ensancha debido a la inestabilidad de los taludes laterales.

Figura 12. Etapas en el desarrollo de una cárcava (Adaptado de Leopold, Wolman y Miller, 1964).



Fuente: Suárez (2001)

El grado de erosión en las cárcavas se determina por factores como el potencial de escorrentía de la cuenca, el tamaño del área de drenaje que alimenta la cárcava, la composición del suelo y el subsuelo, la configuración de la sección transversal y la pendiente del terreno (Fangmeier et al., 2005).

Figura 13. Manifestaciones de erosión en cárcavas



Fuente: (Cisneros & Cholaky, 2012)

Las áreas más susceptibles a la erosión en cárcavas son aquellas con terrenos escarpados y capas de suelo de gran espesor. Las mesetas semiplanas que acumulan una gran cantidad de agua de escorrentía y tienen pendientes laterales pronunciadas son especialmente propensas a la formación de cárcavas, especialmente cárcavas anchas. Las áreas más afectadas por la formación de cárcavas son aquellas que tienen suelos dispersos o altamente propensos a la erosión.

Figura 14. Vista de una cabecera de cárcava con proceso de debilitamiento.



Fuente: (Cisneros & Cholaky, 2012)

#### 2.2.6.5. *Erosión por movimiento de masas*

Esto se refiere a un evento en el cual grandes cantidades de material se desplazan, a menudo en suelos poco profundos sobre una capa impermeable, como rocas graníticas, en pendientes



pronunciadas. En estas circunstancias, el material "fluye" a lo largo de la interfaz suelo-roca debido a la disminución de la resistencia mecánica al corte, al aumento de peso y a la lubricación en el contacto entre las dos capas.

Se trata de mover grandes volúmenes de material, generalmente en áreas poco profundas cubiertas con materiales impermeables, como rocas graníticas, en pendientes pronunciadas. En estas condiciones, el material "fluye" a través de la superficie de la roca y el suelo a medida que la acción mecánica reduce la resistencia al corte, aumenta el peso y lubrica la interfaz entre las dos capas.

La tala indiscriminada y la explotación excesiva de los recursos naturales pueden ser factores desencadenantes. Este fenómeno ha resultado en desastres en cuencas hidrográficas a nivel mundial y recibe diferentes nombres, como derrumbes de lodo, flujos de barro, deslizamientos de tierra o avalanchas.

Figura 15. Manifestaciones de erosión por movimientos en masa



Fuente: (Cisneros & Cholaky, 2012)

#### 2.2.6.6. *Erosión de cursos permanentes*

Las orillas y fondos de ríos y arroyos son más propensos a la erosión debido a su ubicación cercana al cauce y al hecho de que deben soportar la mayor energía de las crecidas. La erosión en las orillas se produce en la base del río debido a la acción erosiva de la corriente, la cual debilita la base y provoca el desmoronamiento de la orilla. Este proceso ocurre comúnmente en los sectores cóncavos de los meandros o curvas de los ríos planos.



Figura 16. Erosión de margen de ríos



*Fuente: (Cisneros & Cholaky, 2012)*

La erosión de las riberas de los ríos es un fenómeno estrechamente relacionado con la deforestación en las zonas de galería, causada por la expansión de la frontera agrícola y el abuso de los recursos forestales, arbustivos y herbáceos. La magnitud de esta erosión está regulada por factores como la presencia de materiales poco cohesivos en las orillas y la frecuencia y volumen de las crecientes en la cuenca.

Esta erosión puede manifestarse en diversas formas, tales como: erosión transversal en zonas donde se reduce el ancho del río, erosión en curvas que profundiza el cauce cerca de la orilla cóncava (meandro), erosión al pie de estructuras en el lecho del río, erosión local en estribos o al pie de estructuras adyacentes a la orilla, erosión aguas abajo de presas debido a la reducción de la carga de sedimentos, erosión local debajo de sistemas de drenaje, erosión aguas arriba de curvas y rectificaciones, erosión debajo de tuberías en el lecho del río, entre otras.

### 2.2.7. Modelos de erosión hídrica

Según Alatorre y Beguería (2009) existen una gran cantidad de modelos de erosión que difieren en su complejidad, escala y detalle geográfico. La selección del modelo adecuado depende de los objetivos y las características específicas del área de estudio, lo que significa que no hay un modelo universalmente considerado como el "mejor".

Podemos clasificar los modelos de erosión en tres grupos (Merritt et al., 2003):

- **Modelos empíricos.** Se caracterizan por estar basados en el análisis estadístico de datos recopilados a través de la observación. Debido a su sencillez en la aplicación, suelen ser los más utilizados en este tipo de estudios.



- **Modelos conceptuales.** Representan la erosión a partir de una serie de almacenamientos, estableciendo relaciones matemáticas simplificadas entre ellos. Este tipo de modelos brinda una visión más general y conceptual del fenómeno que se está estudiando.
- **Modelos de base física.** Se basan en leyes físicas que describen la relación entre los parámetros y los procesos observados en el fenómeno de erosión. Al estar basados en principios físicos, este tipo de modelos brindan una descripción más precisa y detallada del mismo.

Evaluar y cuantificar la erosión hídrica en grandes extensiones de superficie puede resultar complicado y requerir recursos económicos, de tiempo y de mano de obra significativos. Por esta razón, la modelación matemática se ha convertido en una herramienta importante para el análisis y la distribución espacial de la erosión.

### 2.2.8. Ecuación Universal de la pérdida de suelos (USLE)

Los métodos de estimación de la erosión son herramientas que permiten evaluar el nivel de erosión a través de un indicador cuantitativo y determinar las opciones de control del proceso mediante un conjunto de técnicas de gestión. Estos modelos pueden proporcionar una estimación absoluta cuando representan adecuadamente la realidad o una estimación relativa cuando su uso se centra en comparar diferentes situaciones para ayudar en la toma de decisiones sobre la gestión.

Los modelos de erosión se pueden clasificar en tres categorías en base a su concepción y base de cálculo: a) modelos físicos, que son modelos de escala desarrollados en el laboratorio que asumen una similitud con el mundo real; b) modelos analógicos, que utilizan analogías entre el modelo a simular y otros modelos mecánicos o eléctricos; y c) modelos digitales, que se basan en el uso de computadoras para procesar datos. Los modelos empíricos se construyen a partir de relaciones estadísticas entre procesos y pueden ser de "caja negra", "caja gris" o "caja traslúcida". Un ejemplo de este último tipo de modelo es la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (EUPS) desarrollada por el Servicio de Conservación de Suelos de Estados Unidos en la década de 1950. Este modelo se basa en una amplia base de datos experimental de más de 8000 parcelas y es el método más utilizado para predecir la pérdida promedio anual de suelo por erosión hídrica.

La ecuación básica del modelo EUPS es la siguiente:

$$A = R * K * L * S * C * P$$



en donde:

- $A$  = *pérdida anual de suelo en t/ha/año*
- $R$  = *factor de erosividad por la precipitación pluvial*
- $K$  = *factor de erodabilidad del suelo*
- $L$  = *factor de longitud de la pendiente*
- $S$  = *factor de gradiente de pendiente*
- $C$  = *factor de cobertura Vegetal*
- $P$  = *factor del método de control de erosión*

Es necesario ser cauteloso al manejar las unidades del modelo. Al principio, fue desarrollado en unidades del sistema americano (kg de fuerza, acre, pie, pulgada), pero ahora se utiliza el sistema internacional (t, mm, ha, MJ).

El término "universal" se aplica a esta ecuación debido a que se libera de algunas limitaciones y generalizaciones geográficas y climáticas presentes en los modelos anteriores. Aunque los valores de los parámetros fueron presentados para las condiciones de los Estados Unidos, su uso se ha expandido gracias a la obtención de nuevos datos, lo que permite su aplicación en otras regiones, incluyendo otras partes del mundo.

La EUPS (Ecuación Universal de Pérdida de Suelo) puede utilizarse para (Kirby, 1994):

- Estimar la pérdida anual promedio de suelo de una pendiente, en un campo con condiciones específicas de uso y manejo de la tierra.
- Apoyar la toma de decisiones en la selección de sistemas de uso y manejo, y de prácticas de conservación para condiciones específicas de suelos y pendientes.
- Estimar el cambio en la pérdida de suelo que resultaría de un cambio en el uso o de las técnicas de conservación sobre una situación dada.
- Determinar cómo pueden aplicarse o alternarse las prácticas de conservación para permitir un uso más intensivo de la tierra, manteniendo una pérdida de suelo tolerable.
- Estimar las pérdidas de suelo en áreas con un uso de suelos distinto del agrícola.
- Obtener estimaciones de pérdida de suelo para que los organismos ejecutivos responsables de la Conservación de Suelos determinen las necesidades de conservación.

Los componentes de la ecuación se crearon usando una unidad de medición conocida como parcela estándar, que mide 22,13 metros de largo y tiene una pendiente uniforme del 9% en dirección longitudinal. La parcela se cultivó con el declive y estuvo en barbecho constante durante al menos dos años. Se utilizó esta parcela como punto de referencia para determinar la variabilidad en los factores L, S, C y P.



### 2.2.8.1. *Factor R de erosividad de la lluvia*

El factor R representa la capacidad de la lluvia para causar erosión y se basa en la energía cinética de la precipitación, que es la fuerza que descompone el suelo en partículas individuales que luego son transportadas por salpicaduras o escorrentía. Esta energía cinética depende de las características físicas de la lluvia, como el tamaño de las gotas, la masa y la velocidad de caída. Cuanto mayor sea el tamaño de la gota, mayor será la masa y la velocidad de caída, lo que resultará en una mayor energía cinética de impacto y una mayor desagregación del suelo, generando mayores pérdidas de suelo.

Los estudios para la validación de la USLE demuestran que cuando otros factores, como el suelo y la cobertura, permanecen constantes, la erosión causada por una tormenta es directamente proporcional a la energía cinética de la tormenta multiplicada por su intensidad (EI). Esta relación es lineal y aditiva.

Al igual que otros factores climáticos, como la cantidad de lluvia, el valor del factor R para una zona se determina anualmente y se basa en la suma de los valores  $R_i$  para cada una de las precipitaciones que ocurren en la zona durante el año. El valor de  $R_i$  se calcula a partir de la energía e intensidad de las precipitaciones en la zona.

$$R = \sum R_i, \text{ siendo } i=n^\circ \text{ de tormentas ocurridas en un año}$$

$$R_i = EI_{30},$$

$R$  factor de erosividad

$E$  energía cinética de la tormenta

$I_{30}$  intensidad máxima registrada durante un intervalo de lluvia de una duración de 30`

### 2.2.8.2. *Factor Erodabilidad del Suelo (K)*

El factor K representa la erodabilidad del suelo y su capacidad para el desprendimiento y la escorrentía bajo condiciones estándar. Los suelos con un alto contenido de arcilla tienen valores bajos de K, de 0.05 a 0.15, debido a su resistencia al desprendimiento. Los suelos con texturas gruesas como los arenosos tienen valores bajos, de 0.05 a 0.2, debido a su baja escorrentía, aunque son fácilmente erodables. Los suelos con texturas medias como los francos tienen valores moderados de K, de 0.25 a 0.4, y son moderadamente susceptibles al desprendimiento y producen una escorrentía moderada. Los suelos con un alto contenido de limo son los más erodables y tienden a tener valores de K mayores que 0.4. La estructura del suelo y la



permeabilidad del perfil afectan la erodabilidad del suelo y, por lo tanto, el factor K. El uso intensivo o el manejo inadecuado del suelo pueden aumentar la erodabilidad del suelo, y puede ser necesario aumentar el factor K si el subsuelo está expuesto, si la materia orgánica ha sido agotada, si la estructura del suelo ha sido destruida o si la compactación del suelo ha reducido su permeabilidad.

Este valor se determina mediante una ecuación de regresión que relaciona K con características del suelo, como su textura, estructura, permeabilidad y cantidad de materia orgánica. La fórmula matemática es la propuesta por Williams en 1995:

$$K = 0.1317 * \int_{csand} * \int_{cl-si} * \int_{orgC} * \int_{hisand}$$

Donde:

- $\int_{csand}$ : Factor que reduce el valor de “K” en suelos con alto contenido de arena gruesa y aumenta para suelos con poca arena.
- $\int_{cl-si}$ : Da valores bajos de erodabilidad a suelos con alto proporción de arcilla-limo.
- $\int_{orgC}$ : Reduce el valor de “K” en suelos con alto contenido de carbón orgánico.
- $\int_{hisand}$ : Disminuye la erodabilidad a suelos con un contenido de arena extremadamente alto.

Donde para hallar cada parámetro se tienen las siguientes formulas

$$\int_{csand} = (0.2 + 0.3 * \exp(-0.256 * m_s (1 - \frac{m_{silt}}{100})))$$

$$\int_{cl-si} = \left( \frac{m_{silt}}{m_c - m_{silt}} \right)^{0.3}$$

$$\int_{orgC} = \left( 1 - \frac{0.25 * orgC}{m_c - m_{silt}} \right)^{0.3}$$

$$\int_{hisand} = \left( 1 - \frac{0.70 * \left( 1 - \frac{m_s}{100} \right)}{m_c - m_{silt}} \right)^{0.3}$$

Donde:

- $m_s$ : El material presente en la sección de arena % (0.05 – 2.00 mm de diámetro).
- $m_{silt}$ : El material presente en la sección de limo % (0.002 - 0.05 mm de diámetro).
- $m_c$ : El material presente en la sección de arena % (<0.002 mm de diámetro).
- $orgC$ : El material presente de carbón orgánico %.



### 2.2.8.3. *Factor Topográfico (LS)*

La topografía puede ser crucial en la cantidad de suelo que se pierde debido a una lluvia debido a dos causas principales:

- El ángulo de la pendiente afecta la cantidad de tiempo que el agua permanece sobre la superficie del terreno, independientemente de la cantidad de agua que fluye. En terrenos planos o con poca inclinación, el agua tiene más posibilidades de infiltrarse que en terrenos con una inclinación pronunciada, donde el agua fluye más rápidamente hacia las áreas más bajas.
- A medida que aumenta la longitud y el ángulo de inclinación de una ladera, aumenta la energía cinética del agua que circula sobre su superficie, lo que aumenta su capacidad para disgregar y transportar (y por lo tanto su poder erosivo).

El factor LS de la USLE representa el efecto combinado de la longitud y el ángulo de inclinación de las laderas, y su valor es útil para estimar las pérdidas de suelo en un terreno inclinado en comparación con las pérdidas por unidad de área que se producirían si una misma lluvia cayera sobre una parcela de 22 m de longitud y 9% de ángulo de inclinación con condiciones similares de tipo de suelo, cultivo y manejo.

(Renard & Foster, 1991), citado por (Barrios & Quiñonez, 2000) y (Velasquez, 2008), nos dice que el factor LS se calcula aplicando las ecuaciones empleadas en RUSLE.

**El factor L:** En donde  $\lambda$  es la longitud de la inclinación (m),  $m$  es el exponente de la longitud de la inclinación y  $\beta$  es el ángulo de la inclinación. La longitud de la inclinación se define como la distancia horizontal desde el origen del flujo superficial hasta el punto donde comienza la acumulación o donde el flujo se dirige hacia un canal definido (Foster, 1977, citado por Barrios y Quiñonez, 2000)

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

El factor L con el área de drenaje aportadora Desmet & Govers, (1996), citado por Velásquez, 2008).

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

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



**El factor S:** El ángulo  $\beta$  se toma como el ángulo medio a todos los subgrids en la dirección de mayor pendiente (McCool., 1987,1989, citado por Barrios y Quinonez, 2000).

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

Velásquez (2008), nos dice que, cuando se aplica esta fórmula en el Ráster Calculator de ArcGis se debe tomar en cuenta que el ángulo deberá ser convertido a radianes (1 grado sexagesimal = 0,01745 radianes), para que pueda ser multiplicado por los demás componentes de las ecuaciones.

#### 2.2.8.4. *Factor de cobertura vegetal (C)*

El factor C en la USLE mide la capacidad de las plantas para proteger el suelo contra la energía de impacto de la lluvia y la fuerza de la corriente superficial. Este valor indica la relación entre la pérdida anual promedio de suelo en un terreno con determinada vegetación y la pérdida que se presentaría en el mismo terreno en una condición de cultivo sin protección y con la pendiente máxima.

En las áreas cultivadas, el factor C debe asignarse basado en las prácticas agrícolas locales, ya que la efectividad de la protección por la vegetación varía a lo largo del año, dependiendo del ciclo de crecimiento de las plantas y de las actividades agrícolas. Por ejemplo, la cobertura del suelo puede variar significativamente durante un año si las plantas pierden sus hojas en algún momento o si el ciclo de crecimiento es corto y el agricultor planta diferentes cultivos durante el año.

Según Huerta-Olague et al. (2018), en el estudio realizado sobre la erosión de suelos en cuatro cultivos, se concluye que el uso de coberturas vegetales en el proceso erosivo de la lluvia muestra una relación exponencial negativa con respecto a la tasa de erosión hídrica.

En los ecosistemas forestales, la altura de la copa, las fluctuaciones estacionales en la producción de hojarasca y otros tipos de residuos son factores importantes a considerar. Es crucial utilizar tablas validadas que se ajusten a las condiciones específicas de la vegetación y el manejo de la zona en estudio.

La cobertura vegetal del suelo indica el nivel de protección brindado por los cultivos y puede variar según la clase y calidad de la cobertura, desde un mínimo de 0.003 para coberturas densas hasta 0.45 para áreas sin vegetación. Estos valores se pueden encontrar en el cuadro 6, elaborado por diversos autores



Según Lianes et al. (2009), la cobertura vegetal en los procesos erosivos es un elemento natural de protección del suelo que se debe modificar en periodos cortos mediante la gestión del territorio. Esto también se puede emplear en la estimación de valores para la erosión potencial y la producción de sedimentos.

Tabla 3. Valores "C" según el uso de tierra.

Tipo y altura de la cobertura	Porcentaje de cubrimiento del suelo					
	Coeficiente C					
	0	20	40	60	80	95-100
Cobertura de pastos	0.45	0.20	0.10	0.042	0.013	0.003
Cobertura de pastos y hiervas (0.5 m)	0.36	0.17	0.09	0.038	0.012	0.003
Arbustos (2 m)	0.40	0.18	0.09	0.040	0.013	0.003
Arboles (4 m)	0.42	0.19	0.10	0.041	0.013	0.003

Fuente: Suárez (2001)

#### 2.2.8.5. Factor P de Practicas de Conservación

Según INETER (2005), el factor P refleja la influencia de prácticas agrícolas sostenibles, como el cultivo en contorno o en bandas, en la conservación del suelo. Su magnitud depende de la inclinación del terreno y se puede consultar en tablas que contienen valores que van desde 0 hasta 1. La determinación del Factor P tiene en cuenta las técnicas de conservación del suelo y se basa en resultados experimentales.

Tabla 4. Valores de "P" para cultivos en contorno

Gradiente de Pendiente (%)	Factor P	Máxima longitud de pendiente (m)
1-2	0.6	120-180
3-5	0.5	90-100
6-8	0.5	60-65
9-12	0.6	40
13-16	0.7	25
17-20	0.8	20
21-25	0.9	15
>25	1.0	

Fuente: (WHISMEIER & SMITH, 1978), citado por Ineter (2005).

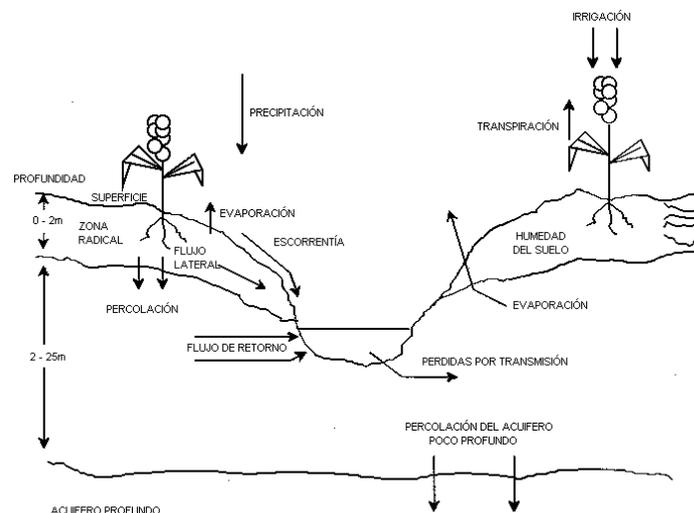
### 2.2.9. Model Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

SWAT es una herramienta informática de simulación hidrológica eficiente que es ampliamente utilizada en la planificación del uso del suelo, actividades de reforestación, explotación de obras hidráulicas y toma de decisiones en la gestión del agua y suelos. Esta herramienta permite conocer la dinámica hídrica de las cuencas y evaluar el impacto de las prácticas de manejo del suelo sobre el ciclo hidrológico, la producción de sedimentos y la difusión de sustancias químicas (Morgan, 2005).

#### 2.2.9.1. Descripción

SWAT es un modelo informático de simulación hidrológica integral a nivel de cuenca que puede simular múltiples procesos físicos. La cuenca hidrográfica se divide en subcuencas, lo que permite considerar diferentes áreas con características de suelo y uso del suelo que influyen en la hidrología de la cuenca. Cada subcuenca está compuesta por diversas categorías, como clima, HRUs, estanques/humedales, agua subterránea, canal principal y drenaje de la subcuenca. Las HRUs son áreas de tierra con combinaciones únicas de cobertura del suelo, tipo de suelo y pendiente. El modelo SWAT se compone de varios submodelos o módulos que permiten recrear distintos escenarios, como el módulo hidrológico, el módulo sedimentario, el módulo de simulación de crecimiento de cultivos y vegetación, entre otros.

Figura 17. Representación del ciclo hidrológico en SWAT



Fuente Morgan (2005)

#### 2.2.9.2. Aplicación del modelo SWAT

La simulación hidrológica de la cuenca se divide en dos fases principales: la Fase Terrestre del Ciclo Hidrológico y la Fase de Enrutamiento del Ciclo Hidrológico. Estas fases controlan la



cantidad de agua, sedimentos y otros elementos que llegan al canal principal y definen su movimiento a través de la red de canales hacia el vertedero.

### **2.2.9.3. Preparando los datos de entrada**

Para emplear la interfaz de SWAT, se necesita tener acceso a los temas de los mapas en GIS y a los archivos de base de datos que contienen información sobre la cuenca hidrográfica. Es fundamental que estos mapas y archivos estén preparados de antemano para poder ejecutar la interfaz. A continuación, se detallan los distintos tipos de mapas y tablas necesarios para ingresar la información requerida en el modelo SWAT.

#### **2.2.9.3.1 DEM (Modelo Digital de Elevación)**

La interface de ArcSWAT admite valores enteros o reales para las elevaciones del Modelo Digital del Terreno (DEM), y no es necesario que las unidades utilizadas para definir la resolución y la elevación del mapa sean las mismas.

#### **2.2.9.3.2 Cobertura y uso de la tierra**

La clasificación de las categorías en el Mapa de Uso y Cobertura de la Tierra debe ser ajustada según los tipos que el modelo SWAT reconoce. Hay tres opciones para realizar esta reclasificación: la primera es modificar manualmente cada categoría en el mapa, la segunda es ingresar el código interno de SWAT correspondiente a cada categoría, y la tercera es crear una tabla que asocie las categorías del mapa con sus respectivos códigos SWAT de cuatro letras.

#### **2.2.9.3.3 Suelos**

Para asociar las categorías del Mapa de Suelos con la base de datos de suelos disponible en la interface, existen cuatro opciones. Una de ellas, llamada "Name", es la recomendada. Para utilizar esta opción, el usuario debe importar los archivos o tipo de datos de suelos a través de la base de datos de suelos creada para cada categoría del mapa.

### **2.2.9.4. El proceso de modelización con SWAT**

#### **2.2.9.4.1 Delimitación de la cuenca**

El proceso de Delimitación de la cuenca y subcuencas es el primer paso en el modelo hidrológico SWAT, que utiliza un modelo digital del terreno para determinar la estructura de la red de drenaje de la cuenca. El módulo es altamente personalizable y



permite la adición de diferentes elementos, como embalses y puntos de entrada y salida de agua. Además, el proceso genera informes que ayudan a caracterizar el sistema hidrológico mediante parámetros morfológicos.

#### 2.2.9.4.2 *Definición de las Unidades de respuesta hidrológica*

Las subcuencas se dividen en unidades de respuesta hidrológica (HRU Analysis), las cuales corresponden a áreas dentro de una misma subcuenca que presentan homogeneidad en cuanto a suelo, uso del suelo, cobertura vegetal y pendiente. Estas HRUs deben mostrar una respuesta similar a la precipitación y un balance hidrológico uniforme. La subdivisión de la cuenca en unidades más pequeñas permite al modelo reflejar las diferencias en la evapotranspiración, la generación de escorrentía y las tasas de erosión para diferentes tipos de suelos y coberturas vegetales. Finalmente, el modelo estima la cantidad de agua y sedimentos que llegan a la red de drenaje según el modelo digital del terreno, para obtener el total en la cuenca.

#### 2.2.9.4.3 *Incorporación de datos climáticos (Write Input Tables)*

El proceso de "Write Input Tables" implica la inclusión de datos climáticos necesarios para la simulación del modelo. Estos datos incluyen información sobre la precipitación diaria, la temperatura máxima y mínima, la radiación solar, la velocidad del viento y la humedad relativa. En caso de que falte algún dato, el programa ofrece modelos avanzados para su generación mediante diferentes modelos empíricos. Además, es capaz de generar datos diarios de precipitación y temperatura a partir de datos mensuales a través de un modelo de simulación Montecarlo con cadenas de Markov.

#### 2.2.9.4.4 *Edición de los datos de entrada del modelo (Edit SWAT input)*

Durante la fase de "Edición de los datos de entrada del modelo" se pueden realizar cambios en las bases de datos que contienen información necesaria para la modelización, tales como datos de suelos, usos del suelo y coberturas vegetales, entre otros. Una vez que se han realizado los ajustes necesarios, el programa genera una base de datos completa con todos los parámetros requeridos para la modelización de cada unidad de respuesta hidrológica (HRU).

#### 2.2.9.4.5 *Los resultados de SWAT*

Después de ejecutar la simulación, el programa guarda los resultados en dos archivos: "output.std" y "SWATOutput.mdb". "Output.std" es un archivo de texto ASCII que



muestra los datos del balance hídrico y de sedimentación, entre otros, para cada año de simulación y los promedios anuales. También proporciona los datos totales de simulación para la cuenca completa y para cada unidad de respuesta hidrológica (HRU) de cada subcuenca. Estos datos se pueden exportar fácilmente a otros programas para generar gráficos o incluso a un sistema de información geográfica para crear mapas de estados erosivos.

Por otro lado, "SWATOutput.mdb" es una base de datos poderosa que contiene diferentes tablas con información más detallada sobre la simulación que el archivo anterior. Al ser una base de datos, se pueden realizar consultas diversas que facilitan la explotación de los resultados. En la Tabla 6 se muestran las principales variables que se recopilan en ambos archivos, con su significado y unidades correspondientes.

Tabla 5. Variables de salida en el modelo SWAT

VARIABLE	SIGNIFICADO	UNIDADES
PREC	Precipitación media del día, mes o año	mm
SURQGEN	Escorrentía superficial que alcanza la red de drenaje	mm
LATQ	Escorrentía subsuperficial que alcanza la red de drenaje	mm
GWQ	Escorrentía subterránea que alcanza la red de drenaje	mm
PERCOLATE	Agua percolada desde el horizonte profundo del suelo al acuífero	mm
SW	Agua almacenada en el perfil edáfico	mm
ET	Evapotranspiración real	mm
PET	Evapotranspiración potencial	mm
WATER YIELD	Agua de escorrentía generada por la HRU y que alcanza la sección de cierre.	mm
SED YIELD	Cantidad de sedimentos emitidos por las HRU en el conjunto de la cuenca	Toneladas/ha
USLE_LS	Factor topográfico de la USLE para cada HRU	Adimensional

Fuente Neitsch et al.( 2012)



### 2.3. MARCO CONCEPTUAL

**Aguas superficiales** Son aquellas que se encuentran en la superficie terrestre, incluyendo corrientes como los ríos y manantiales, así como también lagos y otras aguas estancadas. Estas aguas se originan tanto por la precipitación de la lluvia como por la recolección de agua subterránea.

**Aguas subterráneas** El agua subterránea es una parte de la lluvia que penetra a través de las grietas y poros de las rocas hasta llegar al material rocoso que conforma los acuíferos. Se desplaza siguiendo los gradientes hidráulicos, moviéndose desde una zona con mayor potencial hidráulico a otra con menor. Finalmente, se filtra en ríos, arroyos, y lagos, fluye hacia el mar o los lagos a través de manantiales naturales o pozos artificiales, o es utilizada por el ser humano como fuente de agua dulce. Representan alrededor del 30% del agua dulce disponible en el mundo.

**Cuenca hidrográfica** Es el área de drenaje de un curso de agua, río o lago, que comprende la superficie que drena sus aguas, sedimentos y materiales disueltos hacia un punto en un momento determinado. Está delimitada por una línea divisoria de aguas que separa una superficie de otra. La cuenca hidrográfica se define como una unidad fisiográfica formada por el conjunto de un sistema de cursos de agua definidos por el relieve, y sus límites son determinados naturalmente y corresponden a las áreas más elevadas que encierran un río.

**Erosión** Proceso natural en el que la acción de la lluvia, el viento y la corriente de agua desgasta y remueve partículas de suelo y rocas. La erosión es una consecuencia del proceso de intemperismo que implica la descomposición de las rocas bajo la influencia de factores climáticos.

**Erosión hídrica** Proceso en el que la acción del agua provoca la pérdida de la fertilidad y la productividad de las tierras agrícolas, debido a la falta de protección por la cubierta vegetal y la fragilidad del suelo.

**Estación hidrométrica** Estación donde se recogen información relacionada con el agua, en cursos de agua, lagos y presas, incluyendo uno o más de los siguientes aspectos: altura del nivel del agua, flujo, cantidad de sedimentos transportados y depositados, y las características físicas, químicas y bacteriológicas del agua.

**Sedimento** Material fragmentado movido por la acción del agua desde su punto de origen hasta su destino final, donde se depositará.



## 2.4. HIPÓTESIS

### 2.4.1. Hipótesis General

La tasa promedio anual por erosión hídrica mediante los modelos SWAT y USLE en la cuenca Cusiqocha, distrito Chinchero, provincia Urubamba – departamento Cusco, varía de 0 a 20% en áreas degradadas dado que el modelo SWAT analiza el ciclo hidrosedimentológico.

### 2.4.2. Hipótesis Específicas

- SH1 Los factores que tienen mayor influencia en la tasa promedio anual por erosión hídrica para la evaluación del nivel de erosión hídrica en la modelo USLE es el factor R de erosividad y en el modelo SWAT es el factor C de Cobertura Vegetal
- SH2 La tasa promedio anual por erosión hídrica mediante el modelo USLE será mayor a 10 t/ha/año con un grado de degradación moderada.
- SH3 La tasa promedio anual por erosión hídrica mediante el modelo SWAT estará entre 10 y 50 t/ha/año.
- SH4 La variación de la tasa promedio anual por erosión hídrica a escala de cuenca mediante los modelos SWAT y USLE es significativa, ya que el modelo SWAT incorpora componentes hidrológicas adicionales

## 2.5. VARIABLES E INDICADORES

### 2.5.1. Identificación de variables

#### 2.5.1.1. *Variables Independientes*

- Variable Climática
- Variable de Suelo
- Variable topográfica
- Variable de cobertura vegetal

#### 2.5.1.2. *Variables Dependientes*

Erosión Hídrica: Cantidad de suelo degradado por acción de la erosión hídrica



## 2.5.2. Cuadro de operacionalización de variables

Tabla 6. Cuadro de operacionalización de variables

OBJETIVO GENERAL	DEFINICIÓN	VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	INDICADOR	UNIDAD	NIVEL	DIMENSIONES	INSTRUMENTO
Evaluar la tasa promedio anual por erosión hídrica mediante los modelos SWAT y USLE en la cuenca Cusiqocha, distrito Chinchero, provincia Urubamba – departamento Cusco, 2022	La tasa promedio anual por erosión hídrica es la cantidad de suelo perdido anualmente debido a la acción del agua. Se expresa en t/ha/año y es crucial para evaluar la degradación del suelo y tomar medidas de conservación en la cuenca Cusiqocha.	Tasa de erosión hídrica	Dependiente	Tasa de erosión hídrica	t/ha/año	Correlacional	Perdida de suelo anual	Modelos USLE y SWAT
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	DEFINICIÓN	VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	INDICADOR	UNIDAD	NIVEL	DIMENSIONES	INSTRUMENTO
Calcular los factores que influyen en la tasa promedio anual por erosión hídrica en los modelos USLE y SWAT en la cuenca Cusiqocha, distrito Chinchero, provincia Urubamba – departamento Cusco – 2022	Los factores que influyen en la tasa promedio anual por erosión hídrica incluyen las precipitaciones, la pendiente del terreno, la cobertura vegetal, la textura del suelo	Factores de erosión	Independiente	factor R de erosividad factor K de erodabilidad factor LS topográfico factor C de cobertura vegetal	MJ.mm/ha.h.año ton.ha.h/ha.MJ.mm - -	Correlacional	Precipitación, temperatura, radiación solar, Velocidad del viento, humedad relativa Textura del suelo Pendiente de terreno y longitud de flujo Tipo de vegetación	Registros meteorológicos Análisis de laboratorio Ortofoto RPAS Ortofoto RPAS y observación directa
Estimar tasa promedio anual por erosión hídrica mediante el modelo USLE en la cuenca Cusiqocha, distrito Chinchero, provincia Urubamba – departamento Cusco – 2022	La tasa promedio anual por erosión hídrica mediante el modelo USLE se refiere a la cantidad de suelo perdido anualmente debido a la acción del agua, calculada considerando factores como la	Tasa promedio anual por erosión hídrica USLE	Dependiente	Tasa de erosión hídrica USLE	t/ha/año	Correlacional	Perdida de suelo anual USLE	Modelos USLE



	erosividad de la lluvia, la erosión del suelo, la longitud de la pendiente, la cobertura vegetal y las prácticas de conservación del suelo.							
Estimar la tasa promedio anual por erosión hídrica mediante el modelo SWAT en la cuenca Cusiqocha, distrito Chinchero, provincia Urubamba – departamento Cusco – 2022	La tasa promedio anual por erosión hídrica mediante el modelo SWAT representa la cantidad de suelo perdido anualmente debido a la erosión causada por el agua, estimada a través de variables como la precipitación, el uso del suelo, las características topográficas y la vegetación, permitiendo evaluar el impacto de la erosión en una cuenca hidrográfica.	Tasa promedio anual por erosión hídrica SWAT	Dependiente	Tasa de erosión hídrica SWAT	t/ha/año	Correlacional	Perdida de suelo anual USLE	Modelo SWAT
Evaluar la tasa promedio anual por erosión hídrica en la cuenca Cusiqocha, distrito Chinchero, provincia Urubamba – departamento Cusco – 2022 mediante los modelos SWAT y USLE para determinación de los mapas de erosión hídrica a escala de cuenca	Comparar y analizar las diferencias en las tasas de erosión obtenidas mediante los modelos SWAT y USLE para generar mapas de erosión hídrica de la cuenca					Descriptivo		Mapa de Erosión Hídrica USLE y SWAT

Fuente: *Elaboración propia*



## CAPITULO III

### 3. MÉTODO

#### 3.1. ALCANCE DEL ESTUDIO

##### 3.1.1. Enfoque de la investigación

El presente trabajo de investigación tiene un enfoque **cuantitativo**

Según Hernández et al. (2014) una investigación de tipo cuantitativa usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías.

La investigación es de tipo cuantitativa, debido a que usa los datos numéricos obtenidos de la estación meteorológicas cercanas, tales como precipitaciones y temperaturas; además de datos obtenidos a partir del modelo digital de terreno.

##### 3.1.2. Alcance de la investigación

El alcance del presente trabajo de investigación es **correlacional**.

Según Hernández et al. (2014) la investigación correlacional tiene como propósito evaluar la relación que existen entre dos o más conceptos, categorías o variables. Los estudios cuantitativos correlacionales miden el grado de relación entre esas dos o más variables. Es decir, mide y analizan la correlación. Tales correlaciones se expresan en hipótesis sometidas a prueba.

De acuerdo a lo anterior, la investigación tiene un alcance correlacional, debido a que la erosión hídrica causada en la cuenca Cusiqocha está directamente relacionadas con las variables que intervienen en calcular la tasa de erosión de la zona de estudio

##### 3.1.3. Método de la investigación

El método de la presente investigación motivo de tesis; es **hipotético-ductivo**

En su libro “La lógica de la investigación científica”, Karl Popper argumenta que el método científico se basa en la falsación en lugar de la verificación. Según Popper, un científico formula una hipótesis susceptible de ser refutada por la evidencia empírica. Luego, deduce predicciones específicas de esta hipótesis y realiza experimentos u observaciones para ponerlas a prueba. Si los resultados concuerdan con las predicciones, la hipótesis se mantiene provisionalmente; si



no, se considera refutada y se busca una nueva hipótesis. Este énfasis en la refutación es el núcleo del método hipotético-deductivo

Dicho método se aplicó al desarrollo de la investigación, ya que guía la generación del conocimiento, la formulación de teorías y la validación de hipótesis a través de la observación y experimentación.

## **3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **3.2.1. Diseño metodológico**

La presente investigación tiene un diseño **cuasi experimental**

Según los autores Palella Stracuzzi y Martins Pestana (2012), se recurre a este método cuando no es posible implementar un diseño experimental real. Es una forma de control parcial que se basa en identificar los factores que pueden afectar la validez interna y externa del experimento. Para llevar a cabo el experimento, se utilizan grupos enteros de sujetos, ya que no siempre es posible seleccionarlos al azar en un estudio. El grupo control es igual al grupo experimental en todos los aspectos, excepto que no reciben ninguna exposición a la variable independiente. Por lo tanto, cualquier diferencia que se observe entre el grupo control y el grupo experimental después del tratamiento debe ser el resultado de este.

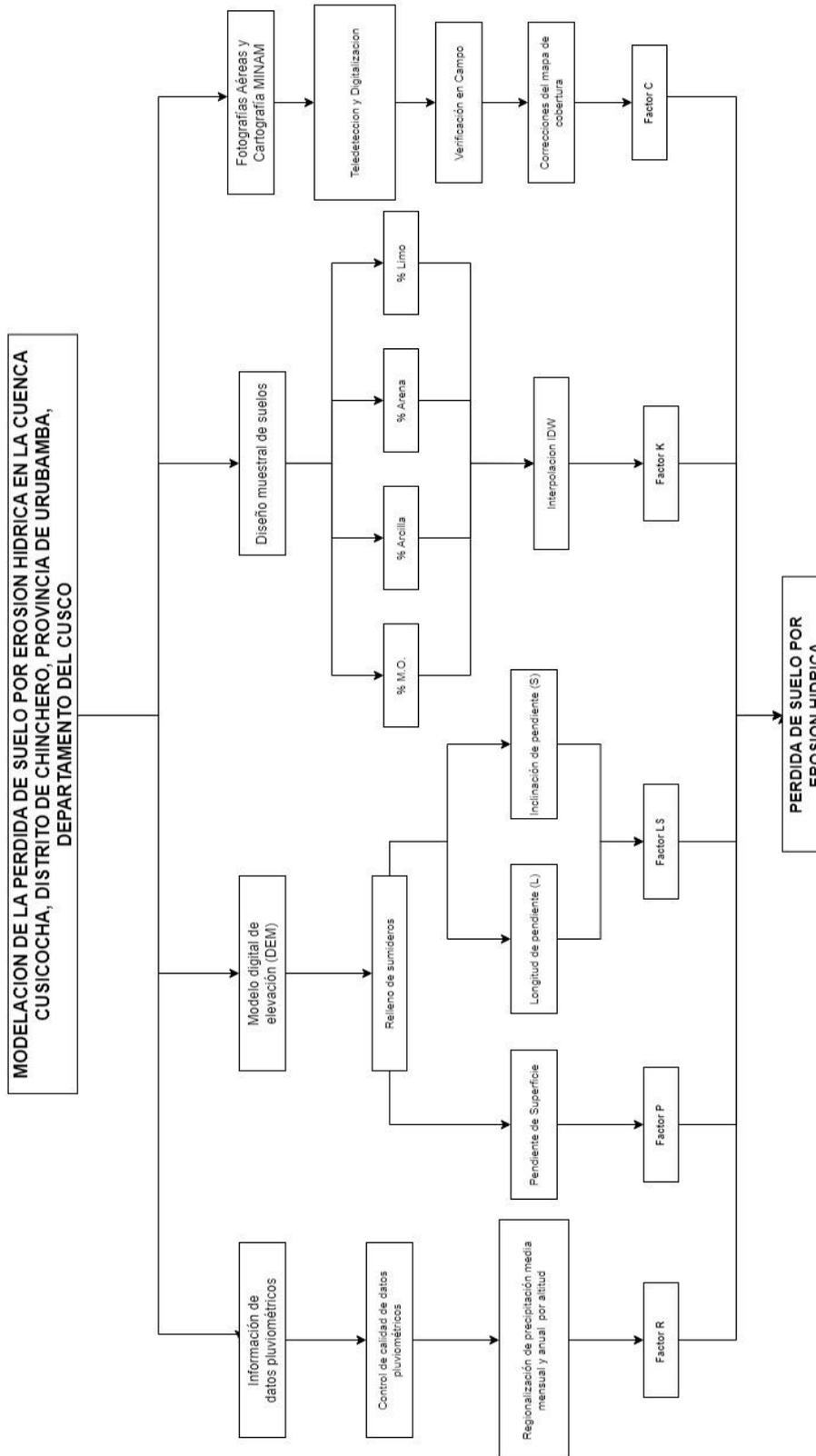
Mientras que este diseño se puede considerar como un experimento incompleto debido a la falta de randomización en la formación inicial de los grupos experimentales. La ausencia de asignación aleatoria de los sujetos pone en duda la homogeneidad o equivalencia de los grupos, lo que afecta la capacidad de atribuir los resultados a la variable independiente o al tratamiento específico. Se hace referencia a dos grupos: el grupo experimental ( $G_e$ ), que recibe el tratamiento X, y el grupo control ( $G_c$ ), que solo se utiliza como punto de comparación sin recibir ningún tratamiento.

### **3.2.2. Diseño de Ingeniería**

Dicho método se aplicó al desarrollo de la investigación, ya se realiza un estudio individual a cada variable para poder hallar el objetivo en común mediante la ecuación de cálculo de tasa de erosión.



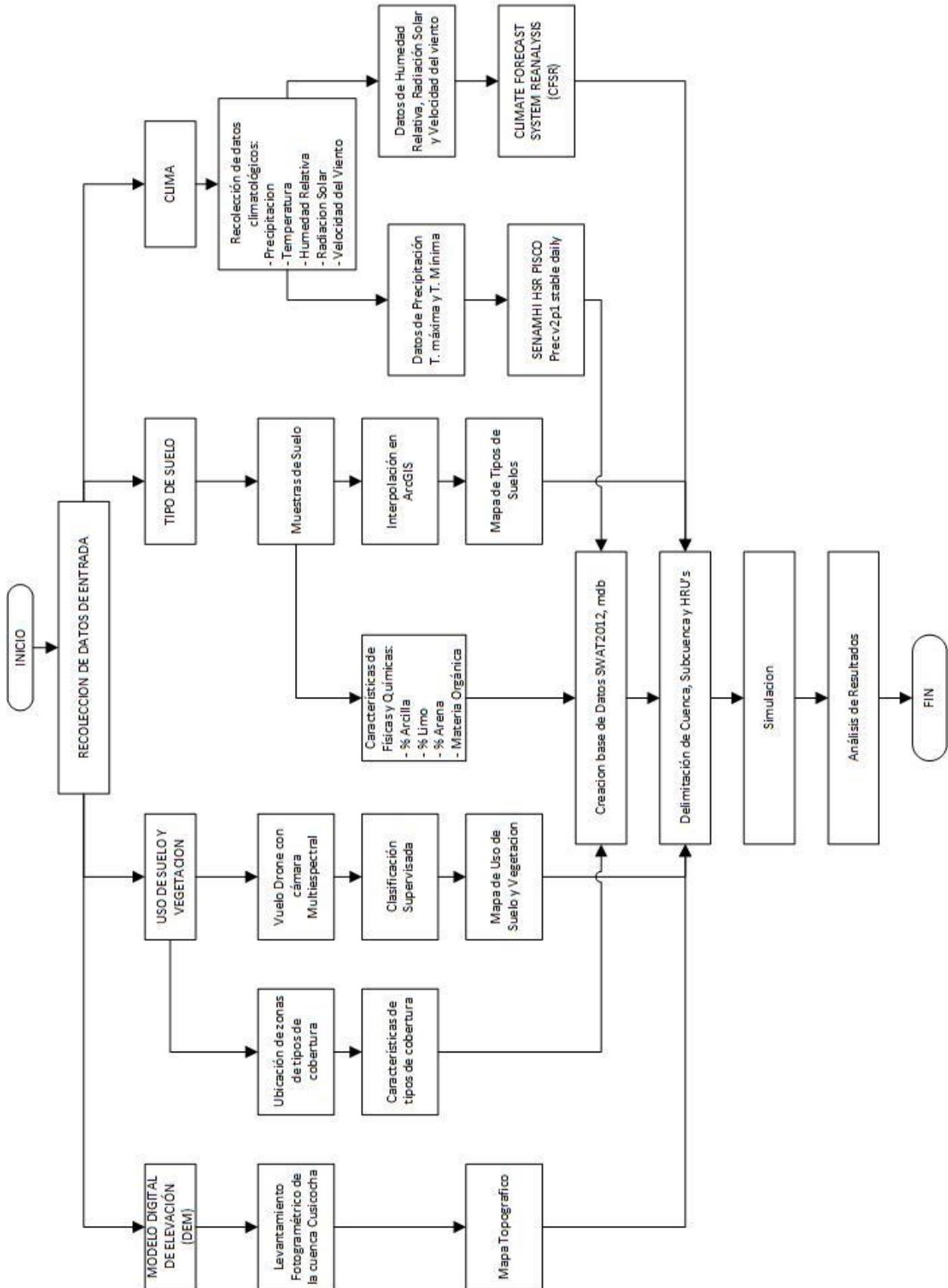
Figura 18. Flujoograma del proceso para el modelo USLE



Fuente: Elaboración propia



Figura 19. Flujograma del proceso para el modelo SWAT



Fuente: Elaboración propia



### 3.3. POBLACIÓN

#### 3.3.1.1. *Descripción de la población*

La población o universo es el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones (Hernández Sampieri et al., 2014). Para la investigación la población es la cuenca Cusiqocha, ubicada en la Provincia de Urubamba, a 30 km de la ciudad de Cusco.

#### 3.3.1.2. *Cuantificación de la población*

Para cuantificar la población, se determinó el área que ocupa la cuenca Cusiqocha, propensa a erosionarse, la estimación del área se basa en la información de Google Earth: se calcula que el área en estudio es de 2.9 km<sup>2</sup> y la red hídrica, en este caso el río Cusihuayco, que se encuentra dentro de la zona de estudio.

### 3.4. MUESTRA

#### 3.4.1.1. *Descripción de la muestra*

La muestra es, en esencia, un subgrupo de la población. Digamos que es un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que llamamos población (Hernández Sampieri et al., 2014). En nuestra investigación la muestra no pretende generalizar los resultados del estudio a una población, sino que es necesario estudiar toda la población para obtener resultados, por lo tanto, la muestra es igual a la población: la cuenca Cusiqocha y el río Cusihuayco.

#### 3.4.1.2. *Cuantificación de la muestra*

En vista de que la muestra es igual a la población; lo que López (1995), considera como muestra censal, a aquella porción que representa toda la población; la muestra está dada por el área que ocupa la cuenca Cusiqocha de 2.9 km<sup>2</sup> y el río Cusihuayco, desde su nacimiento en la laguna Cusiqocha hasta el punto de desfogue de la cuenca.

#### 3.4.1.3. *Método de muestreo*

La muestra no probabilística o dirigida es un subgrupo de la población en la que la elección de los elementos no depende de la probabilidad, sino de las características de la investigación (Hernández Sampieri et al., 2014). La muestra de la presente tesis fue seleccionada por un método de muestreo no probabilístico, ya que nosotros los investigadores elegimos la muestra sin necesidad de recurrir a métodos probabilísticos, de acuerdo a las características de la investigación.

#### 3.4.1.4. *Criterios de la evaluación de muestra*

La evaluación de la cuenca Cusiqocha, se realizó como sigue:

- La determinación del área de la cuenca Cusiqocha propensa a erosionarse
- Los parámetros hidrológicos se evaluaron a partir de los registros de las estaciones meteorológicas

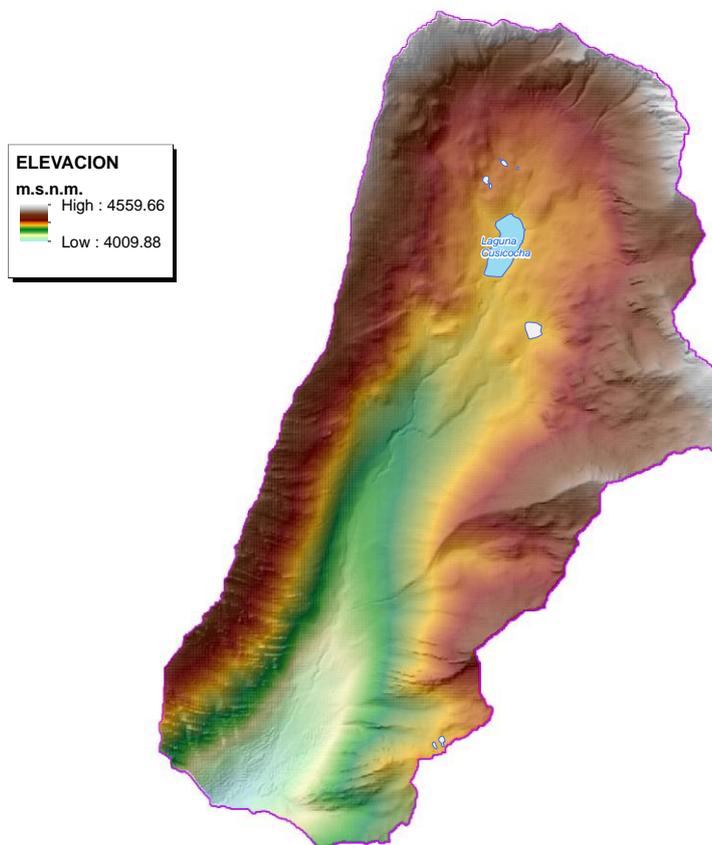
### 3.5. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS

#### 3.5.1. Instrumentos metodológicos o instrumentos de recolección de datos

##### 3.5.1.1. *Datos de elevación Digital*

Para el estudio se utilizó el Modelo Digital de Elevación Digital obtenido a partir del levantamiento fotogramétrico de la cuenca Cusiqocha para el Proyecto “RECUPERACIÓN DE LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS PARA LA REGULACIÓN HÍDRICA DEL SECTOR DE CUSIQOCHA, DISTRITO CHINCHERO, PROVINCIA URUBAMBA, DEPARTAMENTO DE CUSCO”, este DEM este compuesto por pixeles de 0.25x0.25cm

Figura 20. Modelo de Elevación Digital de la cuenca Cusiqocha



Fuente: *Elaboración propia*

### 3.5.1.2. Suelos

Los datos del análisis Físico-Químico del suelo que se utilizaron, fueron obtenidas a partir del estudio de suelos realizada a las calicatas en el laboratorio especializado MC.QUÍMICALAB para la presente tesis son del Proyecto: “Mejoramiento de los servicios de Ecosistémicos para Regulación Hídrica en los Sectores de Cusiqocha, Distrito de Chincheros, Provincia de Urubamba – Cusco”, desarrollado en octubre del 2020, para la oficina de MERESE del SEDA CUSCO

Tabla 7. Ubicación de calicatas

NOMBRE	Ubicación		Cota
	x	y	
Calicata 01	176578	8516638	4068
Calicata 02	176681	8517097	4140
Calicata 03	176997	8517441	4194
Calicata 04	177087	8517713	4228
Calicata 05	177348	8518407	4264
Calicata 06	177462	8518206	4265
Calicata 07	177813	8517346	4371
Calicata 08	178048	8517032	4347
Calicata 09	177597	8516933	4294
Calicata 10	177628	8516631	4265
Calicata 11	176972	8516403	4235
Calicata 12	177134	8516092	4186

Fuente: Elaboración propia

Figura 21. Ubicación de las calicatas dentro de la cuenca Cusiqocha



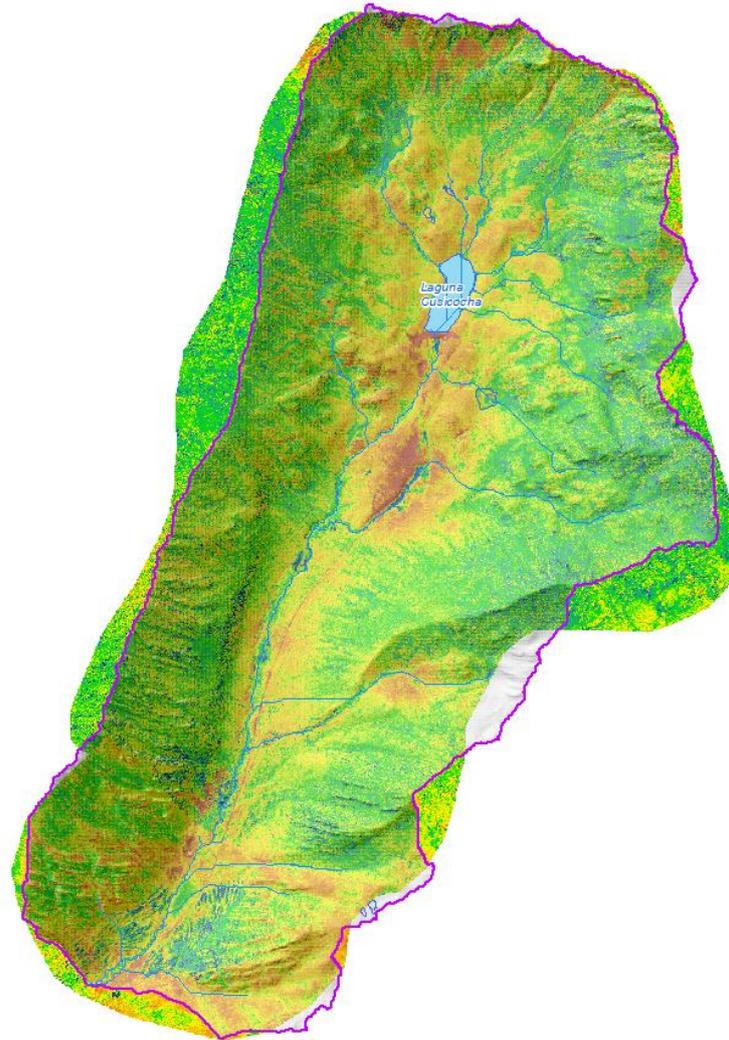
Fuente: Elaboración propia



### 3.5.1.3. Cobertura vegetal

Para la cobertura vegetal se utilizó las imágenes NDVI obtenidas a partir de imágenes multiespectrales realizadas para el Proyecto: “Mejoramiento de los servicios de Ecosistémicos para Regulación Hídrica en los Sectores de Cusiqocha, Distrito de Chincheros, Provincia de Urubamba – Cusco”, desarrollado en octubre del 2020, para la oficina de MERESE del SEDA CUSCO

Figura 22. Imagen NDVI de la cuenca Cusiqocha



Fuente: Elaboración propia

### 3.5.1.4. Clima

Para el desarrollo de la precipitación y temperatura en la cuenca Cusiqocha se hizo el uso de los datos meteorológicos de las estaciones del SENAMHI del tipo climatológico, ordinario y pluviométrico.



Tabla 8. Estaciones meteorológicas para la zona de estudio

CAT	NOMBRE	DPTO.	PROVINCIA	DISTRITO	LONGITUD	LATITUD	ALTITUD	FUENTE
CO	ANTA ANCACHURO	CUSCO	ANTA	ZURITE	-72.216	-13.468	3340	SENAMHI
CO	CALCA	CUSCO	CALCA	CALCA	-71.950	-13.333	2926	SENAMHI
PLU	CHITAPAMPA	CUSCO	CUSCO	SAN SEBASTIÁN	-71.967	-13.417	3298	SENAMHI
MAP	GRANJA KAYRA	CUSCO	CUSCO	SAN JERÓNIMO	-71.875	-13.557	3219	SENAMHI
CO	PERAYOC	CUSCO	CUSCO	CUSCO	-71.950	-13.517	3365	SENAMHI
CO	PISAC	CUSCO	CALCA	PISAC	-71.849	-13.416	2950	SENAMHI
CP	URUBAMBA	CUSCO	URUBAMBA	URUBAMBA	-72.124	-13.310	2863	SENAMHI

Fuente: *Elaboración propia*

### 3.5.2. Instrumentos de ingeniería

#### 3.5.2.1. *Software ArcGIS 10.X*

Según (Puerta Tuesta et al., 2011):

ArcGIS es un potente software de Sistema de Información Geográfica desarrollado por el Instituto de Investigación de Sistemas Ambientales (ESRI), una compañía innovadora ubicada en California. Este software está diseñado para ser utilizado por una amplia variedad de usuarios y se considera el resultado de la continua evolución de la tecnología informática y de telecomunicaciones en los últimos años.

Con ArcGIS, es posible realizar una amplia variedad de tareas relacionadas con la información geográfica, incluyendo la recopilación, edición, análisis, diseño, publicación en la web y la impresión de información geográfica.

ArcGIS está disponible en tres licencias diferentes conocidas como ArcGIS Desktop: ArcInfo, ArcEditor y ArcView. Estas licencias comparten el mismo núcleo y una serie de funciones, que van desde la versión más completa (ArcInfo) hasta la más sencilla (ArcView). Cada una de ellas está compuesta por dos aplicaciones diferentes:

- ✓ ArcMap (semejante a ArcView 3.x)
- ✓ ArcCatalog (semejante al Explorador de Windows)

En resumen, al utilizar los dos programas mencionados junto con el ArcToolbox, se puede abarcar cualquier tarea relacionada con Sistemas de Información Geográfica, incluyendo la creación, edición, análisis y representación de la información geográfica.



### 3.5.2.2. *Extensión QSWAT de QGIS*

La Herramienta para la Evaluación del Suelo y Agua (SWAT) fue desarrollada por el Dr. Jeff Arnold del Servicio Agrícola de Investigación (ARS) del USDA. Este modelo a escala está diseñado para predecir el impacto de las prácticas de manejo del suelo en el agua, el sedimento y la producción de sustancias agrícolas químicas en grandes y complejas cuencas con una variedad de suelos, usos de tierra y condiciones de manejo. En lugar de solo integrar ecuaciones de regresión, SWAT requiere información detallada sobre el clima, el tiempo, las propiedades de los suelos, la topografía, la vegetación y las prácticas de manejo de tierra en las cuencas. Los procesos físicos relacionados con el movimiento del agua, el movimiento de sedimentos, el desarrollo de la cosecha, el ciclo de nutrientes, etc. son todos modelados directamente por SWAT con base en estos datos de entrada.

#### 3.5.2.2.1 *Beneficios de SWAT.*

- Interfaz gráfica en ArcGIS: La interface gráfica en ArcGIS hace que su manejo y utilización sea mucho más sencillo y accesible.
- Impacto relativo: SWAT permite evaluar el impacto relativo de cambios en los datos de entrada, como cambios en prácticas de manejo, clima, vegetación, etc.
- Método de extrapolación e integración ágil: La herramienta SWAT ofrece un método ágil para extrapolar e integrar la información.
- Simulación dirigida: SWAT permite la simulación dirigida, lo que resulta en resultados más precisos.
- Disponibilidad de datos de entrada y salida: La información de entrada y salida está disponible de manera inmediata, lo que permite una mayor eficiencia en el proceso de investigación y análisis.
- Proceso de iteraciones amplio: SWAT incluye un amplio proceso de iteraciones de procesos físicos, lo que resulta en resultados más precisos y detallados.



### 3.6. VALIDEZ DE LA RECOLECCION DE DATOS

#### 3.6.1. Registro de precipitación total mensual

Se obtuvo información de la precipitación mensual de las estaciones meteorológicas ubicadas alrededor de la cuenca Cusicocha, la cual fue obtenida del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), entidad encargada del control y registro de información. A continuación, se presenta el registro correspondiente a la estación de Calca. Los demás registros de precipitación se pueden encontrar en la sección de anexos.

Tabla 9. Registro de precipitación mensual de la estación Calca

 <b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>												
TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL												
"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA COBERTURA VEGETAL SOBRE LA PERDIDA DE SUELO EN LA CUENCA CUSICOCHA -DISTRITO DE CHINCHERO – PROV URUBAMBA -DEPATAMENTO DE CUSCO"												
GUIA DE OBSERVACIÓN												
Asesor: <b>Ing. Jackeline Alejandra Pelaez Gamarra</b>		Responsable: <b>Bach. Sadam Hossien Ayma Villagra</b>										
ESTACION: <b>CALCA</b>												
LATITUD: -13.3336		DISTRITO: CALCA										
LONGITUD: -71.9503		PROVINCIA: CALCA										
ALTITUD: 2926 msnm.		DEPARTAMENTO: CUSCO										
<b>PARÁMETRO: PRECIPITACION MENSUAL</b>												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1964	74.5	74	94	27	2	0	0	5	19	24.5	41	38
1965	106.5	18.5	93	31	3	0	0	0	14.6	27	32	145
1966	71	141.5	54.4	8.1	33.9	0	0	0	40	78.6	104.4	39
1967	62.5	68	106	26.8	3.5	3	22.5	13	34.8	62.7	70	114
1968	106.5	124.5	76.5	10.5	0	5	39	8.7	11	25	71.1	58.1
1969	100.5	32.5	57.1	12.8	0	5.5	10	4.5	10	14.5	74.8	79.8
1970	104	100.3	108.7	45.7	3	0	2	2	14	20.3	54	
1971	100.7	119.4	101.6	21	0	0	0	3	24	20.3	30.1	86.5
1972	133.8	53.1	95.6	28	0	0	2	15.2	31.6	0	43	69
1973	154	26.6	51.1	14.3	7.2	0	2.3	0	0	3.6	2	95.4
1974	132	133	124.6	57	1	20.4	2	52.8	3	33.8	57.4	82.4
1975	112.8	134.8	64.3	61.8	29.2	3	0	2.6	12.4	37.8	36.9	118.2
1976	97.4	91.6	116.8	65.2	18.8	9.6	1.8	1.8	23	9.7	39.8	73.8
1977	135.8	115	56.2	66.2	0	0	0	7.4	17.9	47.5	115.2	46.2
1978	104.1	101.3	46.4	15.4	5.1	0	0	0	1.4	33.5	44	51.4
1979	55.1	30.6	16.8	3	0	0	0	0	9.8			
1980					0	1						
1981			31	46	8	0	0	3	0	30		
1982												
1983												
1984												
1985												
1986												
1987							0	0	18		91	134.5
1988	114	97.5	140.5	65.5	0	0	0	0	0			81
1989	130.9	87	114.5	75	14.2	13.5	0	2		47.5	56	71
1990	118	88	60	23		28	0	10	6	49	31.5	68
1991	130.2	195	149	51	0	19	0	0	4	48.5	89.6	77.5
1992	155	68	69	27.6	0	33	0	32.5	0	32	82	63.5
1993	156.5	105.5	51	38	0	6	5	31	7	38	75	112
1994	156	134	102.5	64	3.5	0	0	0	18	41	32	161.5
1995	65.5	71.5	98	14	2	2	2	0	33	30	52	79
1996	150	97	63	35.5	5	0	0	14	6	60	61	93
1997		123	121	18	0	0	0	13	12	11	95	91
1998	85	91.5	39.5	17	4	1	0	1.5	0	42.5	78.5	68

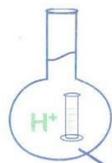
Fuente: Elaboración propia – Información SENAMHI



### 3.6.2. Información de suelos

La información de los suelos se obtuvo a partir de los resultados de las calicatas realizadas dentro y alrededor de la cuenca de estudio. Los demás registros de la información de suelos se pueden encontrar en la sección de anexos.

Tabla 10. Análisis fisicoquímico de suelo – Sector Cusicharan (M-1)



## MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES  
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE  
RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776

### INFORME N°LQ 0216-20

#### ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE SUELO (MC CUSIQOCHA)

**SOLICITA** : Ing. Tedy Marocho Oré

**PROYECTO** : Recuperación de los Servicios Ecosistémicos para Regulación Hídrica en el Sector de Cusiqocha, Distrito de Chincheros, Provincia de Urubamba – Departamento de Cusco

**MUESTRA** : M<sub>1</sub> **CODIGO DE MUESTRA:** M - 1

**Ubicación:** Este: 176578 **Norte:** 8516638

**Calicata** : 01 **Horizonte:** A<sub>p</sub>

**SECTOR** : Cusicharan **COMUNIDAD CAMPESINA:** Taucca

**DISTRITO** : Chincheros **PROVINCIA** : Urubamba

**DEPARTAMENTO:** Cusco

**FECHA** : 16/10/20

#### RESULTADOS:

DETERMINACIONES	UNIDAD	M <sub>1</sub>
Humedad	%	2.5
<b>Muestra seca</b>		
Nitrógeno total	%	0.04
Fosforo disponible P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg/100	1.9
Potasio disponible K <sub>2</sub> O	mg/100	1.1
Materia orgánica	%	0.8
pH		6.6
Conductividad Eléctrica Saturada	µS/cm	140
Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C)	mcq/100	14
<b>Textura(malla 2 mm)</b>		
Arena	%	29.4
Arcilla	%	5.3
Limo	%	65.3
Clase textural		Franco Limoso
Humedad equivalente (He)	%	22
Densidad aparente	g/cc	1.31
Densidad real	g/cc	2.50
Capacidad de campo (C.C.)	%	21.7
Punto de marchites permanente (P.M.P.)	%	12.0

**MÉTODOS DE ANÁLISIS:** El trabajo de análisis de suelos se ha realizado bajo los métodos establecidos en los Manuales de Análisis Químico-Agrícola, Nigel T. Faithfull, Institute of Rural Studies, University of Wales, UK 2005; que a su vez, está basado en el Manual "The Analysis of Agricultural Materials, MAFF/ADAS.

**NOTA:** Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.

MC QUIMICALAB  
Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
ADMINISTRACION  
CIP. 238338

MARIO CUMPA CAYURI  
INGENIERO QUIMICO  
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16186



### 3.6.3. Información topográfica y de cobertura vegetal

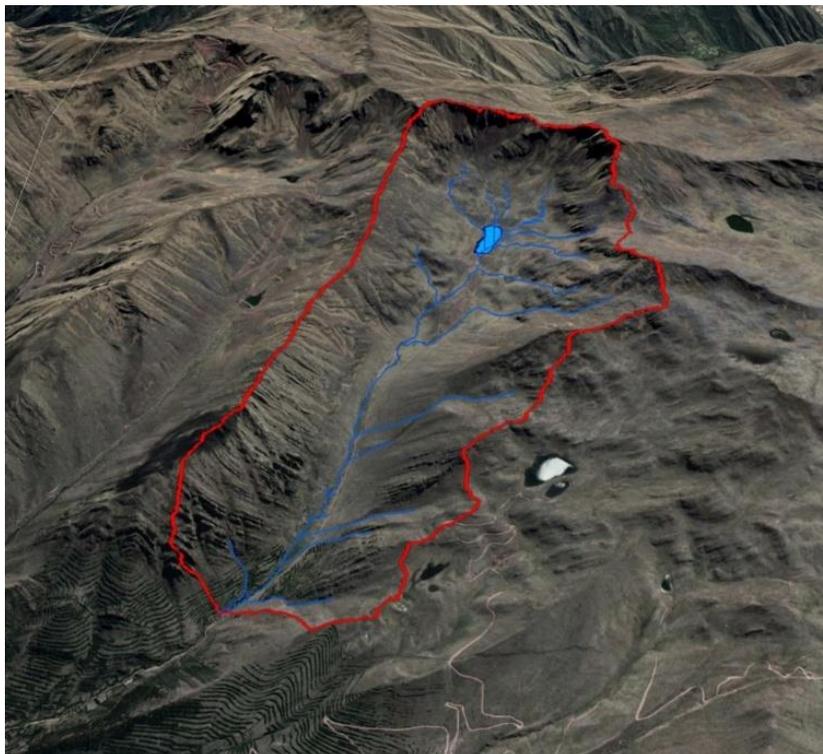
La información topográfica y de cobertura vegetal fue obtenida a partir de ortofotos de alta resolución que fueron generadas mediante vuelos fotogramétricos. Se utilizó una cámara RGB para realizar el levantamiento topográfico y una cámara multiespectral para clasificar la cobertura vegetal en la cuenca Cusiqocha. Para establecer la referencia geodésica, se tomó como base la Estación Permanente (ERP) con la codificación CS01 (CUSCO), que forma parte de la Red Geodésica Geocéntrica Nacional (REGGEN) establecida por el Instituto Geográfico Nacional.

## 3.7. PLAN DE ANÁLISIS DE DATOS

### 3.7.1. Descripción general de la cuenca

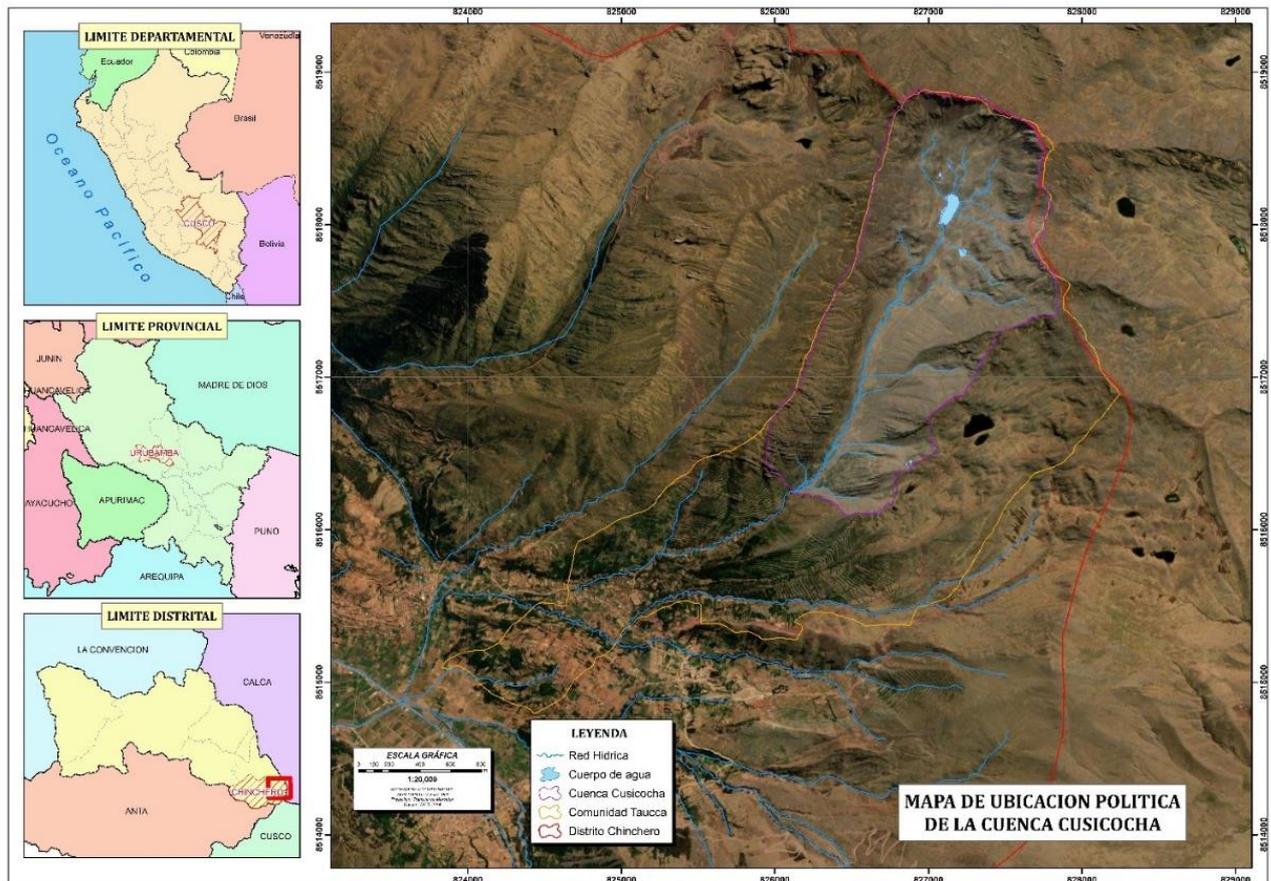
La zona de estudio está ubicada en la provincia de Urubamba, específicamente en el distrito de Chincheros. El área de estudio abarca 2.90 km<sup>2</sup> y se encuentra delimitada por las siguientes coordenadas: 8516121 - 8518943 de latitud sur y 176105 - 177965 de longitud oeste, utilizando el sistema de coordenadas WGS 1984 UTM Zona 18S

Figura 23. Vista panorámica de la cuenca Cusiqocha. Fuente Google Earth



*Fuente: Elaboración propia*

Figura 24. Ubicación política de la cuenca Cusiqocha.



Fuente: Elaboración propia

### 3.7.2. Parámetros geomorfológicos de la cuenca Cusiqocha

El área de estudio se centra en la cuenca Cusiqocha, abarcando desde su origen hasta el punto de interés. Se llevó a cabo la delimitación de la cuenca y el cálculo de los parámetros geomorfológicos utilizando el software ArcGIS.



Tabla 11. Parámetros geomorfológicos de la cuenca Cusiqocha

PARAMETROS		UND	NOMENCLATURA	CUENCA		
Superficie total de la cuenca		Km <sup>2</sup>	At	2.90		
Perímetro		Km	P	10.38		
RELACIONES DE FORMA	FACTOR DE CUENCA	Coeficiente de Compacidad		$Kc = 0.28 P / (At)^{1/2}$	1.72	
		FACTOR DE FORMA	Relación de Area		$n = (\ln(Lr)/1,27))/(\ln(At))$	0.77
	Longitud (// al curso más largo)		LB	2.87		
	Ancho Medio		AM = At / LB	1.01		
	Factor de Forma		Ff = AM / LB	0.35		
	RECTANGULO EQUIVALENTE	Lado Mayor		$= Kc*(\pi*A)^{1/2}/2*(1+(1-4/\pi/Kc^2))$	4.55	
Lado Menor		B= At / L	0.64			
SISTEMA DE DRENAJE	GRADO DE RAMIFICACIÓN	LONGITUD TOTAL		Km	Orden 1	6.24
				Km	Orden 2	1.79
				Km	Orden 3	2.43
	NÚMEROS DE RÍOS PARA LOS DIFERENTES GRADOS DE RAMIFICACIÓN				Orden 1	21.00
					Orden 2	7.00
					Orden 3	1.00
	Longitud total de los ríos de diferentes grados		Km	Lt	10.46	
	Número de ríos según grados				N° Ríos	29.00
	Longitud del río principal		Km	Lr	3.36	
	Densidad de drenaje		Km/Km <sup>2</sup>	Dd = Lt / At	3.60	
	Relación de Bifurcación				$Rb = N^{\circ}Rn / (N^{\circ}Rn+1)$	0.70
	Longitud de flujo de superficie				$Lo= 1 / (2 Dd (1 - Lc / lp)^{1/2})$	0.46
	Extensión media para los diferentes grados		Km	Es = At / 4Lt	0.07	
	Frecuencia de los ríos		r/Km <sup>2</sup>	Fr = N°Ríos / At	9.99	
Desnivel total de la cuenca		Km	Ht	0.55		
Altura media de la cuenca		m.s.n.m.	Hm	4284.04		
Pendiente de la cuenca ( Sist. del Rectangulo Equivalente)		%	$lp = 100 * Ht / L$	12.08%		
Pendiente media de la cuenca		%	<b>lp=</b>	31.82%		
Pendiente media del cauce pral del río Taylor - Schwarz		%	<b>S<sub>3</sub></b>	10.67%		

### 3.7.3. Datos climatológicos

#### 3.7.3.1. Precipitación

##### 3.7.3.1.1 Análisis de consistencia por el Método del Vector Regional (MVR)

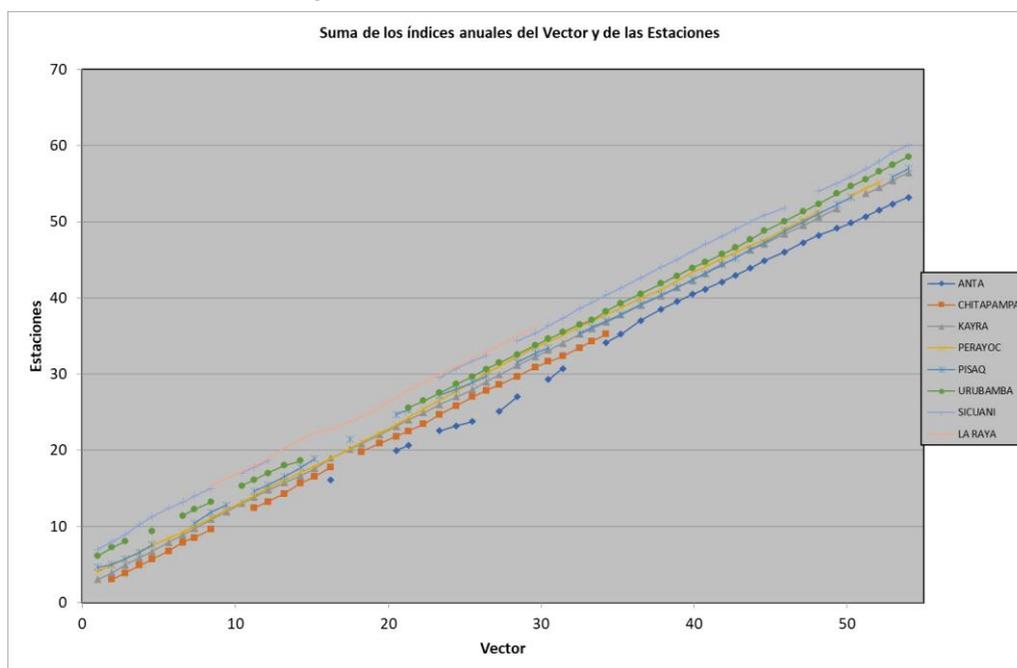
El Método del Vector Regional (MVR) es una técnica utilizada para regionalizar datos de precipitación. Implica la creación de una estación ficticia llamada "Vector", que representa el promedio de todas las estaciones en una zona climática específica. A continuación, se compara cada estación individual con este Vector a fin de calcular los índices pluviométricos regionales anuales.



Dado que la cuenca Cusicocha se sitúa entre las regiones climáticas de SES (Selva sur) y SSR (Sierra sur oriental), se seleccionaron las siguientes estaciones para la regionalización: ANTA, CALCA, CHITAPAMPA, KAYRA, PERAYOC, PISAQ, URUBAMBA, PARURO, SICUANI, LA RAYA y YAURI.

Se procede al cálculo de los índices pluviométricos anuales para cada estación dentro del grupo. Estos índices reflejan la relación entre la precipitación anual de cada estación y la precipitación media anual de la zona climática.

Figura 25. Suma de índices anuales de las estaciones



El paso subsiguiente consiste en calcular el índice regional de cada año, obteniéndolo como el promedio de los índices de todas las estaciones del grupo. Para evitar que los valores extremos tengan un impacto excesivo en el promedio, se recomienda filtrar los índices de aquellas estaciones que se desvíen significativamente de la media.

A continuación, se procede al cálculo del Vector Regional utilizando el método de mínimos cuadrados. Este Vector se emplea para estimar y corregir los valores que se alejan demasiado del promedio de manera iterativa, hasta obtener un Vector Regional sin valores significativamente alejados.



Tabla 12. Variación de la correl./vector de todas las estaciones

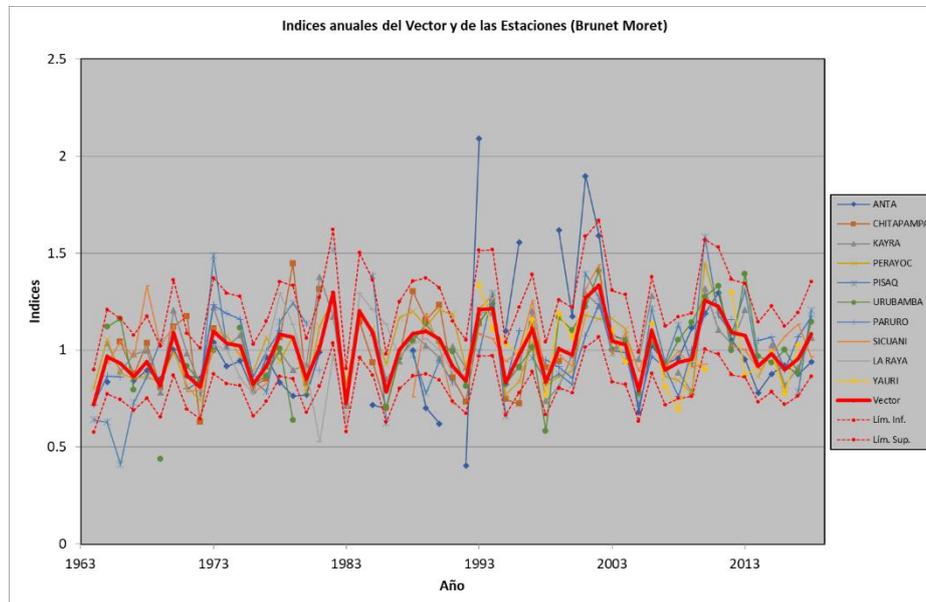
Id Estación	No Años	Media Obs.	Media Calculada	Correl./Vector	Calidad(/10)	Evaluación(/10)
ANTA	45	855.9	856.5	0.581	9	8.7
<b>CALCA</b>	<b>21</b>	<b>538</b>	<b>567.6</b>	<b>0.487</b>	<b>8.7</b>	<b>8.6</b>
CHITAPAMPA	31	668.2	675.4	0.749	8.2	8.2
KAYRA	52	678.6	669.8	0.792	9.4	9.4
PERAYOC	52	794.9	799.4	0.836	9.6	9.6
PISAQ	44	569.9	569.9	0.72	8.2	8.2
URUBAMBA	45	498.2	499.5	0.759	9.2	9.2
PARURO	34	821.9	832	0.786	9.7	9.7
SICUANI	41	720.5	721.8	0.561	9	9
LA RAYA	22	940.3	923.7	0.535	9.2	9.2
YAURI	22	819.6	810.4	0.599	8.3	8.3

Como se puede apreciar en la tabla de las series de precipitación, la mayoría cumple con la hipótesis de pseudo proporcionalidad, lo que indica que sus datos son confiables al tener una correlación/vector mayor a 0.5. No obstante, la estación de Calca no cumple con esta norma y será excluida para crear un nuevo vector regional.

### 3.7.3.2. *Completación y homogenización de datos por MVR*

Para completar los datos faltantes, se utiliza el programa Hydracces, el cual cuenta con la función avanzada del vector regional.

Figura 26. Índices anuales del vector regional de las estaciones



El método de G. Hiez se fundamenta en el cálculo de la moda, mientras que el método de Brunet Moret se basa en el promedio y excluye valores extremos. Ambos métodos calculan una media a largo plazo para cada estación durante el período de análisis y determinan los índices anuales correspondientes a cada estación.



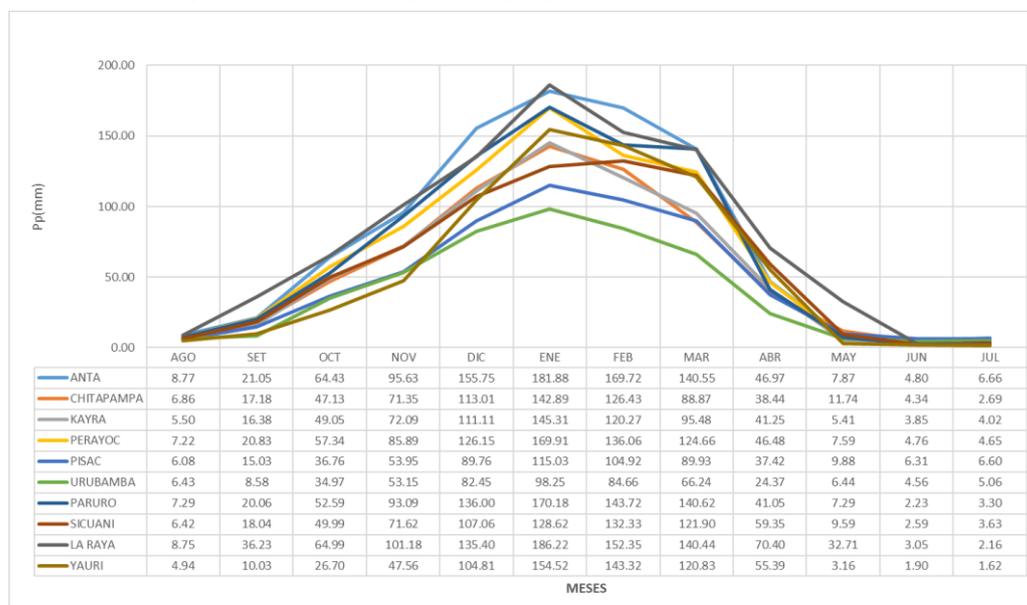
Tabla 13. Variación de la correl./vector de las estaciones sin la estación Calca

Id Estación	No Años	Media Obs.	Media Calculada	Correl. /Vector	Calidad(/10)	Evaluación(/10)
ANTA	45	855.9	855.3	0.583	8.9	8.5
CHITAPAMPA	31	668.2	674.7	0.753	8.5	8.5
KAYRA	52	678.6	669.5	0.788	9.3	9.3
PERAYOC	52	794.9	794.8	0.823	9.5	9.5
PISAQ	44	569.9	569.8	0.729	8.3	8.3
URUBAMBA	45	498.2	498.4	0.749	9.2	9.2
PARURO	34	821.9	830.6	0.779	9.7	9.7
SICUANI	41	720.5	720.8	0.579	9.2	9.2
LA RAYA	22	940.3	940	0.562	9.3	9.3
YAURI	22	819.6	807.8	0.605	8.4	8.4

### 3.7.3.3. Variabilidad temporal de la precipitación media anual

El patrón estacional de la precipitación es una característica normal a lo largo del año y está relacionado con las variaciones en la zona de convergencia intertropical. Durante los meses de verano (diciembre a marzo), esta zona se desplaza hacia latitudes más altas, lo que provoca lluvias intensas. Durante este período, se registra aproximadamente el 80% al 85% de la precipitación anual. Por otro lado, en los meses de abril a noviembre, la zona de convergencia intertropical se mantiene más cerca del Ecuador, lo que resulta en una precipitación anual del 15% al 20%. Los meses más secos son junio a agosto, durante los cuales se registra solo entre el 1% y el 2% de la precipitación anual.

Figura 27. Variabilidad temporal de la precipitación por estaciones de 1964 a 2018



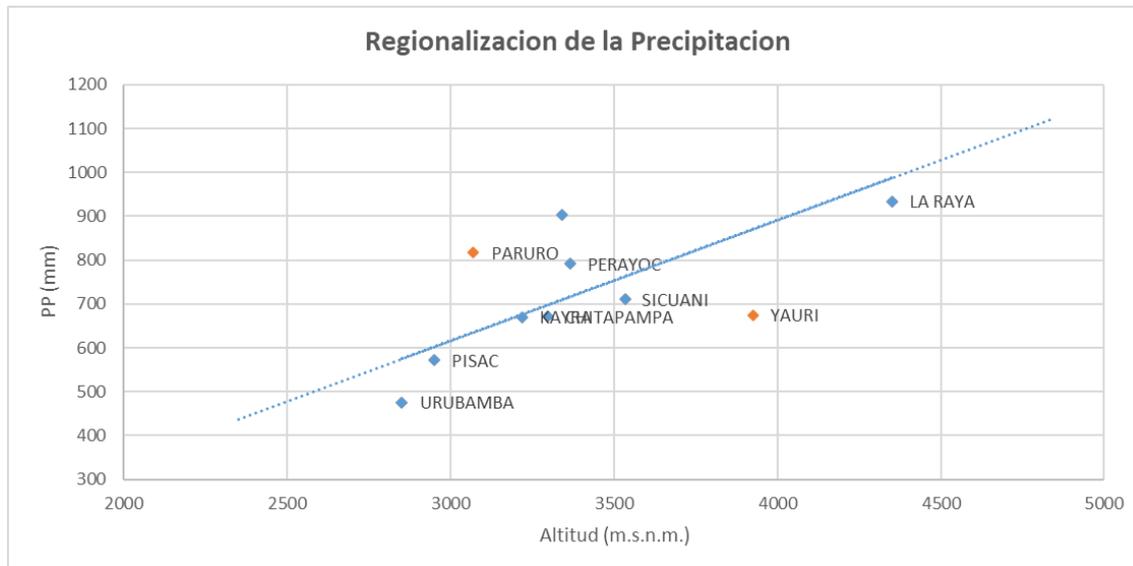


### 3.7.3.4. Ecuación Regional de la precipitación media anual

Inicialmente, se utilizaron las estaciones de ANTA, CALCA, CHITAPAMPA, KAYRA, PERAYOC, PISAQ, URUBAMBA, PARURO, SICUANI, LA RAYA y YAURI. Los datos de estas estaciones se cargaron en el software Hydracces. Sin embargo, la estación de CALCA se excluyó debido a su baja correlación con el Vector Regional. Estas estaciones se emplearon para completar y homogeneizar los datos utilizando el método del vector regional.

Una vez que se contó con datos completos y homogeneizados de las estaciones de ANTA, CHITAPAMPA, KAYRA, PERAYOC, PISAQ, URUBAMBA, PARURO, SICUANI, LA RAYA y YAURI, se procedió a realizar la regionalización de la precipitación. En este proceso, se descartaron las estaciones de PARURO y YAURI debido a que se encontraban significativamente alejadas de la recta de tendencia.

Figura 28. Regionalización de la precipitación con las estaciones de Paruro y Yauri



Finalmente, se llevaron a cabo los cálculos de regionalización de la precipitación por altitud utilizando únicamente las estaciones de ANTA, CHITAPAMPA, KAYRA, PERAYOC, PISAQ, URUBAMBA, SICUANI y LA RAYA.

La determinación del régimen pluviométrico en la cuenca de Cusiqocha se llevó a cabo utilizando los datos de las estaciones meteorológicas previamente seleccionadas, los cuales fueron sometidos a un análisis exhaustivo. Con el objetivo de mejorar la correlación en la regionalización de la precipitación.

A partir de los registros de las estaciones seleccionadas, se estableció un modelo de regresión lineal que relaciona la variación de la precipitación total anual con la altitud. Este modelo nos

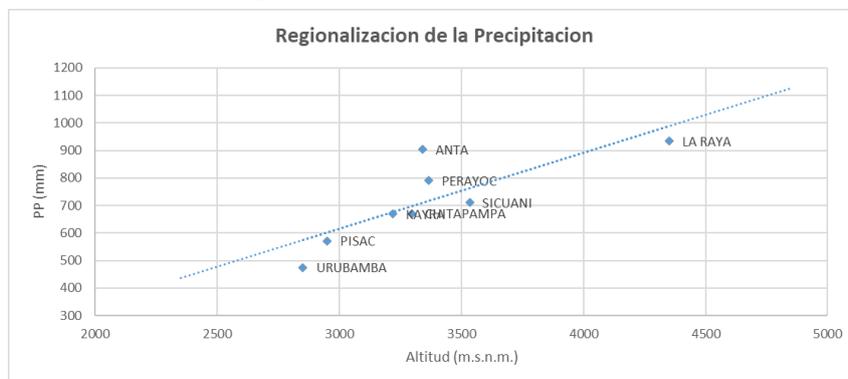


permitirá hacer predicciones sobre la cantidad de precipitación total anual en diferentes altitudes dentro de la cuenca de Cusiqocha.

Tabla 14. Relación altitud – precipitación de las estaciones

Estaciones	Altitud	Precipitacion
ANTA	3340	904.08
CHITAPAMPA	3298	670.93
KAYRA	3219	669.73
PERAYOC	3365	791.56
PISAC	2950	571.69
URUBAMBA	2850	475.18
SICUANI	3534	711.14
LA RAYA	4350	933.86
<b>AJUSTE</b>		
	a=	-808645.16
$p^2 = a + b * h$	b=	399.25
	r=	0.81
Cuenca Cusiqocha	4284.04	<b>949.61</b>

Figura 29. Regionalización de la precipitación



La relación establecida entre la precipitación y la altitud nos permite calcular los valores totales de precipitación anual en diferentes alturas dentro de la cuenca de Cusiqocha.



Tabla 15. Precipitación total mensual de la cuenca en base a factores de influencia altura – distancia

ITEM	AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
1	1964	155.50	135.20	228.65	38.38	2.34	0.00	0.02	0.50	4.02	34.50	7.34	26.72	633.17
2	1965	141.69	169.02	149.26	86.78	38.84	0.00	0.96	0.67	42.28	50.63	75.01	179.39	934.52
3	1966	89.73	168.23	122.15	61.09	116.82	0.04	0.42	0.61	63.18	109.65	106.25	114.83	953.02
4	1967	137.22	143.61	149.44	67.03	25.07	0.75	8.29	13.43	29.67	99.82	88.49	171.96	934.77
5	1968	144.46	140.63	115.41	48.79	14.40	1.72	13.77	17.62	47.21	46.54	204.47	76.00	871.02
6	1969	171.39	92.99	93.94	25.24	2.72	2.22	3.78	1.09	11.58	58.80	81.33	61.77	606.85
7	1970	191.89	124.69	125.27	110.08	6.69	1.11	1.66	4.01	77.61	94.60	53.17	271.38	1062.14
8	1971	172.90	205.11	79.13	51.52	14.92	0.76	0.44	0.50	16.94	32.58	39.65	150.26	764.71
9	1972	207.25	88.20	142.26	40.72	11.20	0.00	3.78	35.73	36.09	27.16	75.18	144.47	812.05
10	1973	272.05	160.30	166.45	93.66	19.29	1.00	8.25	7.58	35.99	63.54	89.73	100.75	1018.58
11	1974	179.56	225.61	173.52	70.16	8.85	10.45	0.72	38.28	11.88	38.30	81.56	134.47	973.36
12	1975	122.93	163.07	154.78	124.94	92.21	1.30	0.02	1.82	38.52	55.27	69.33	165.87	990.08
13	1976	179.83	114.41	180.82	85.60	35.26	11.14	8.94	2.10	37.93	11.90	42.29	86.10	796.33
14	1977	119.31	207.07	124.26	74.83	12.23	0.01	5.39	0.75	28.36	46.60	193.90	115.17	927.90
15	1978	278.28	203.08	142.91	72.31	19.32	0.07	0.26	5.53	40.93	24.03	112.71	164.02	1063.46
16	1979	210.34	144.96	177.12	70.93	85.52	0.69	2.18	5.19	15.35	48.86	145.28	101.31	1007.74
17	1980	151.28	150.25	189.38	40.29	24.91	0.12	0.71	0.36	13.82	93.67	127.99	92.08	884.86
18	1981	193.38	98.98	188.27	97.16	3.11	1.37	1.02	7.38	52.63	92.54	109.11	138.68	983.64
19	1982	254.02	152.99	209.91	112.80	0.92	4.49	0.88	17.02	60.76	110.44	156.91	95.03	1176.19
20	1983	131.96	104.16	95.48	73.52	4.53	8.71	0.90	2.53	9.59	31.19	55.60	94.16	612.33
21	1984	283.19	178.66	71.17	132.65	16.33	19.67	3.33	21.57	11.01	139.54	101.56	108.40	1087.09
22	1985	213.99	166.82	160.27	65.71	32.61	11.10	1.55	0.78	51.49	63.07	146.78	154.11	1068.28
23	1986	100.92	79.81	198.88	83.29	17.16	0.00	8.13	0.77	10.93	20.67	75.39	139.56	735.51
24	1987	288.22	94.15	91.84	38.65	9.47	3.04	18.54	2.49	7.62	52.18	163.61	165.56	935.37
25	1988	200.83	170.31	258.49	136.95	9.09	0.00	0.00	1.89	12.13	45.39	25.65	138.05	998.76
26	1989	241.01	145.41	189.54	78.97	23.47	16.82	0.20	10.32	37.19	59.16	51.98	103.11	957.19
27	1990	207.13	117.76	73.95	96.77	9.77	49.71	1.89	12.41	25.32	135.28	119.61	140.98	990.59
28	1991	84.59	171.49	136.41	45.67	26.15	21.01	0.28	1.02	27.38	70.89	110.48	140.25	835.63
29	1992	182.70	137.14	97.91	28.60	1.66	8.49	33.84	26.17	24.47	67.52	132.19	65.68	806.37
30	1993	255.75	143.29	89.10	56.42	4.75	7.53	10.63	26.83	43.65	80.27	180.91	259.85	1158.99
31	1994	213.84	206.29	237.67	88.03	39.73	0.93	0.00	0.11	35.65	70.49	125.72	199.32	1217.79
32	1995	150.90	107.30	194.47	65.85	1.08	0.44	0.50	8.89	41.11	18.41	90.07	134.20	813.22
33	1996	195.30	177.48	88.73	65.54	68.78	0.09	0.02	18.54	56.58	90.22	106.03	165.43	1032.72
34	1997	177.49	124.92	189.98	57.61	26.14	0.00	0.42	20.80	11.44	36.51	187.64	182.78	1015.73
35	1998	189.54	211.25	57.67	17.20	1.14	0.83	0.00	6.41	2.01	93.19	78.48	88.83	746.56
36	1999	201.40	233.67	177.14	71.88	0.69	2.32	0.38	7.59	55.41	42.49	71.05	177.39	1041.40
37	2000	296.38	189.47	138.79	44.90	20.57	2.74	0.74	6.13	52.23	79.67	65.51	100.41	997.54
38	2001	343.70	201.28	227.28	49.81	86.67	0.10	7.68	16.86	33.56	105.03	129.80	153.42	1355.18
39	2002	165.99	203.85	212.23	80.13	98.91	1.69	16.10	4.20	31.03	74.34	99.57	163.92	1151.96
40	2003	195.49	137.80	171.42	86.45	2.78	2.63	0.08	28.83	43.94	19.24	70.16	151.63	910.46
41	2004	188.51	120.12	85.17	72.38	20.64	7.34	5.17	15.73	66.69	73.15	86.50	120.31	861.70
42	2005	202.86	156.52	113.94	52.24	1.10	0.02	0.74	1.95	39.13	63.20	100.41	113.10	845.22
43	2006	222.45	181.07	169.06	105.92	0.73	3.66	0.00	4.79	14.53	50.83	85.91	200.72	1039.68
44	2007	162.58	154.54	176.70	101.67	56.00	0.00	1.46	1.66	2.56	90.37	94.33	142.00	983.86
45	2008	119.68	138.67	97.23	11.90	22.91	0.79	0.31	1.92	16.00	99.97	153.88	151.65	814.91
46	2009	175.84	172.29	102.25	44.60	18.95	0.08	2.27	3.16	7.72	32.28	216.86	143.19	919.49
47	2010	331.18	181.47	170.60	36.46	19.63	0.32	0.81	4.25	2.63	64.34	69.08	195.65	1076.43
48	2011	127.22	249.53	178.34	74.12	29.61	2.47	2.88	1.18	73.21	51.39	66.38	226.51	1082.86
49	2012	167.34	231.62	89.82	46.98	2.22	0.90	0.65	0.05	50.36	61.83	171.02	212.46	1035.25
50	2013	225.16	188.88	57.08	13.17	15.00	2.56	0.51	22.75	29.73	97.70	108.86	246.65	1008.04
51	2014	216.32	114.20	53.01	51.17	52.35	0.00	0.44	1.63	50.98	82.62	38.24	210.40	871.35
52	2015	170.45	181.65	85.72	116.82	45.60	0.83	4.50	13.47	60.64	27.34	70.18	172.76	949.96
53	2016	150.36	226.22	83.13	61.94	10.76	0.10	1.19	9.05	29.98	118.57	46.26	116.62	854.17
54	2017	169.44	118.15	159.66	75.78	123.25	0.54	0.31	10.78	51.00	81.32	127.44	108.43	1026.10
55	2018	164.21	229.93	192.53	27.25	5.57	6.57	5.87	19.37	9.14	126.15	120.56	89.31	996.46
<b>Nº DATOS</b>		55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00	55.00
<b>MEDIA</b>		<b>190.67</b>	<b>160.65</b>	<b>143.37</b>	<b>67.81</b>	<b>26.55</b>	<b>4.02</b>	<b>3.52</b>	<b>9.04</b>	<b>32.60</b>	<b>66.46</b>	<b>101.88</b>	<b>143.04</b>	<b>949.61</b>
<b>DESV.STD</b>		56.56	42.25	51.81	29.59	30.51	7.99	5.93	9.70	20.04	31.62	46.58	50.05	145.54
<b>C. VAR</b>		3.37	3.80	2.77	2.29	0.87	0.50	0.59	0.93	1.63	2.10	2.19	2.86	6.52
<b>P.MINIMO</b>		84.59	79.81	53.01	11.90	0.69	0.00	0.00	0.05	2.01	11.90	7.34	26.72	606.85
<b>P.MAXIMO</b>		343.70	249.53	258.49	136.95	123.25	49.71	33.84	38.28	77.61	139.54	216.86	271.38	1,355.18

Fuente: Elaboración propia.



Figura 30. Precipitación máxima, media y mínima en la cuenca Cusiqocha

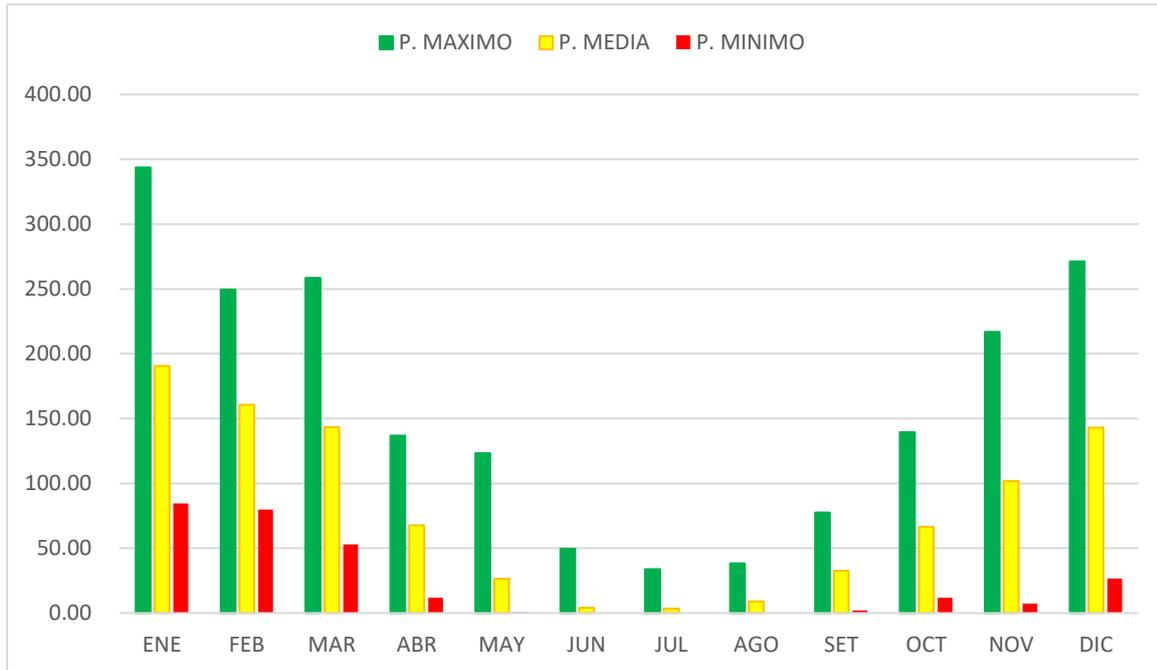
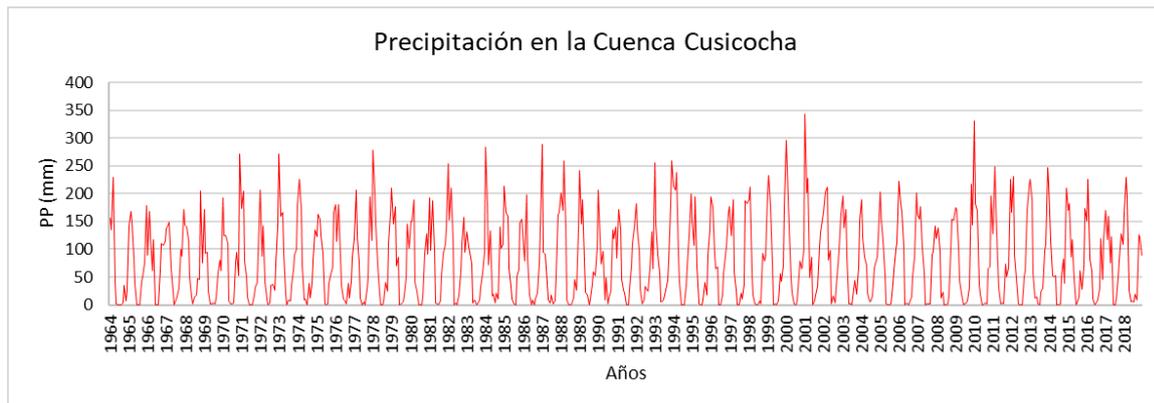


Figura 31. Serie de tiempo – cuenca Cusiqocha



### 3.7.3.5. *Temperatura*

Para la temperatura, se llevó a cabo un proceso de regionalización de las temperaturas máximas y mínimas utilizando información de estaciones representativas de la zona de estudio en la cuenca Cusiqocha.

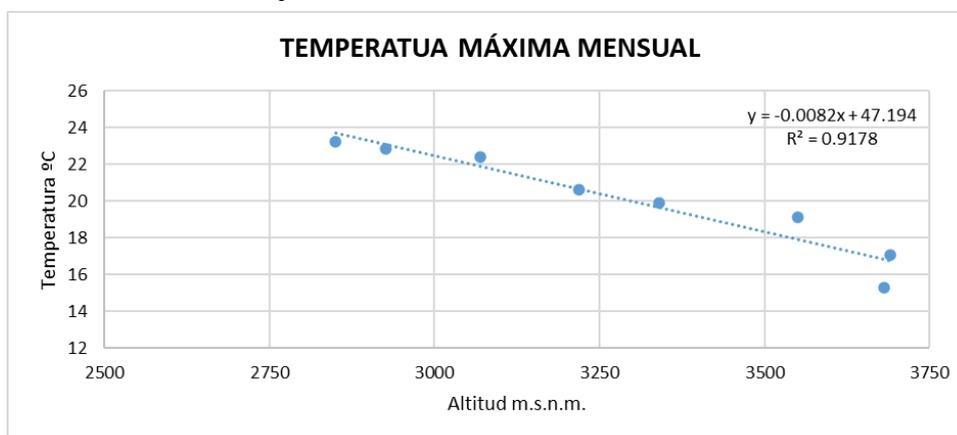


3.7.3.5.1 Regionalización de temperatura máxima

Tabla 16. Regionalización de temperatura media máxima anual

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C) - VS - ELEVACION (msnm)															
ITEM	ESTACION	ALTITUD msnm.	TEMPERATUA MÁXIMA MENSUAL												
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1	ANTA	3340.00	19.6	19.6	19.5	19.7	20.0	19.8	19.9	20.1	20.1	20.3	20.4	19.7	19.90
2	CALCA	2926.00	22.4	22.4	22.3	22.6	23.2	22.9	22.8	23.1	23.1	23.5	23.5	22.6	22.86
3	URUBAMBA	2850.00	22.9	22.9	22.9	23.1	23.4	23.1	23.0	23.5	23.5	23.7	23.7	23.0	23.22
4	SICUANI	3550.00	18.7	18.7	18.7	18.9	19.1	18.9	18.7	19.3	19.6	19.9	19.9	19.0	19.13
5	KAYRA	3219.00	19.8	19.8	20.0	20.5	20.8	20.5	20.3	21.0	21.3	21.5	21.6	20.5	20.64
6	POMACANCHI	3690.00	16.7	16.7	16.6	16.8	17.0	16.8	16.7	17.2	17.6	17.8	17.8	17.1	17.07
7	CATCA	3681.00	14.5	14.5	14.5	15.2	15.7	15.5	15.2	15.5	15.5	16.0	16.0	15.2	15.27
8	PARURO	3070.00	21.8	21.7	21.8	22.4	22.4	22.1	21.8	22.6	23.1	23.4	23.5	22.4	22.42
Promedio		3290.75	19.54	19.55	19.54	19.90	20.20	19.95	19.80	20.29	20.49	20.78	20.79	19.94	20.07
Desv. Estándar		330.05	2.88	2.89	2.89	2.85	2.83	2.78	2.84	2.86	2.86	2.84	2.84	2.79	2.85
		a	46.76	46.90	46.93	47.17	47.58	46.84	47.14	47.62	47.45	47.76	47.70	46.47	47.19
		b	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
		r	-0.95	-0.95	-0.95	-0.96	-0.97	-0.97	-0.97	-0.96	-0.95	-0.95	-0.95	-0.95	-0.96
Cuenca Cusiqocha		4,284.04	11.33	11.29	11.28	11.67	11.93	11.83	11.55	12.05	12.35	12.64	12.67	11.93	11.88

Figura 32. Regionalización de la temperatura máxima



Para la cuenca Cusiqocha, se ha estimado una temperatura máxima de 11.88 °C. El mes de noviembre muestra el pico máximo con un valor de 12.67 °C, mientras que en enero se registra el valor mínimo de 11.33 °C.

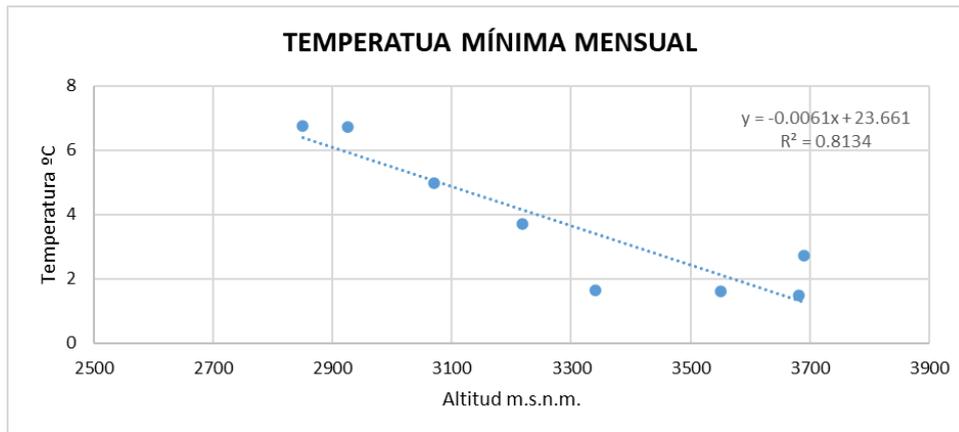
3.7.3.5.2 Regionalización de temperatura mínima

Tabla 17. Regionalización de temperatura media mínima anual

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL (°C) - VS - ELEVACION (msnm)															
ITEM	ESTACION	ALTITUD msnm.	TEMPERATUA MÍNIMA MENSUAL												
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	MEDIA
1	ANTA	3340.00	5.6	5.6	4.9	2.5	-1.6	-3.9	-4.3	-2.4	0.7	3.4	4.3	5.0	1.66
2	CALCA	2926.00	9.2	9.2	8.7	7.2	4.5	3.2	2.9	4.0	6.5	8.0	8.6	8.9	6.73
3	URUBAMBA	2850.00	9.3	9.3	8.8	7.4	4.7	3.1	2.5	4.0	6.4	8.0	8.6	9.0	6.75
4	SICUANI	3550.00	5.5	5.5	4.8	2.5	-1.6	-4.0	-4.4	-2.4	1.0	3.4	4.2	4.9	1.63
5	KAYRA	3219.00	7.2	7.3	6.6	4.1	0.7	-1.2	-1.7	0.3	3.2	5.3	6.1	6.6	3.71
6	POMACANCHI	3690.00	5.3	5.3	4.8	3.4	0.7	-1.1	-1.5	0.1	2.5	3.9	4.5	4.9	2.73
7	CATCA	3681.00	4.1	4.1	3.6	2.3	-0.7	-2.5	-3.0	-1.4	1.1	2.7	3.4	3.9	1.47
8	PARURO	3070.00	7.8	7.7	7.1	5.4	2.7	0.9	0.6	2.2	4.7	6.3	6.8	7.2	4.96
Promedio		3290.75	6.75	6.73	6.18	4.34	1.17	-0.69	-1.10	0.56	3.28	5.12	5.82	6.30	3.71
Desv. Estándar		330.05	1.92	1.91	1.94	2.09	2.54	2.83	2.85	2.61	2.36	2.11	2.02	1.94	2.26
		a	25.20	25.07	24.70	23.07	22.02	21.99	21.80	21.95	23.67	24.69	24.92	24.84	23.66
		b	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01	-0.01
		r	-0.96	-0.96	-0.96	-0.90	-0.82	-0.80	-0.80	-0.82	-0.87	-0.93	-0.95	-0.96	-0.89
Cuenca Cusiqocha		4,284.04	1.19	1.19	0.59	-1.31	-5.12	-7.54	-8.01	-5.90	-2.88	-0.79	0.06	0.70	-2.32



Figura 33. Regionalización de la temperatura mínima



La cuenca Cusiqocha tiene una temperatura promedio máxima estimada de 11.88 °C. En enero, se registra la temperatura máxima más alta, con un valor de 1.19 °C, mientras que julio es el mes de la temperatura mínima, con una temperatura de -8.01 °C.

### 3.7.4. Desarrollo del modelo USLE

#### 3.7.4.1. Factor de R de Erosividad de la lluvia

Para calcular el factor R, se llevó a cabo una regionalización de la precipitación según la altitud, lo cual proporcionó los valores de las isoyetas correspondientes a la cuenca Cusiqocha. Los resultados de esta regionalización se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18. Precipitación mensual regionalizada por altitud

ALTITUD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
3950	177.33	156.81	133.82	57.63	14.64	4.93	5.08	8.49	23.93	61.92	92.49	139.52	876.58
4000	179.64	158.21	135.32	58.61	15.54	4.93	5.04	8.60	24.66	62.68	93.81	140.86	887.89
4050	181.87	159.44	136.81	59.70	16.59	4.91	4.96	8.70	25.50	63.41	95.13	142.03	899.06
4100	184.00	160.47	138.29	60.93	17.87	4.85	4.83	8.79	26.47	64.13	96.48	142.99	910.10
4150	186.03	161.22	139.74	62.34	19.44	4.74	4.64	8.88	27.64	64.82	97.85	143.68	921.00
4200	187.92	161.57	141.15	64.01	21.45	4.57	4.35	8.96	29.08	65.47	99.27	143.98	931.78
4250	189.64	161.33	142.50	66.06	24.13	4.29	3.93	9.01	30.95	66.08	100.77	143.71	942.43
4300	191.10	160.12	143.77	68.76	27.92	3.86	3.28	9.04	33.52	66.62	102.43	142.53	952.96
4350	192.10	157.16	144.88	72.62	33.74	3.14	2.22	9.03	37.38	67.04	104.38	139.68	963.38
4400	195.21	163.26	146.83	70.44	28.92	3.90	3.29	9.24	34.49	68.05	104.72	145.33	973.68
4450	197.88	167.54	148.58	69.45	26.22	4.37	3.93	9.40	32.94	68.93	105.37	149.28	983.88
4500	200.34	170.94	150.22	69.01	24.52	4.70	4.37	9.54	32.02	69.74	106.16	152.42	993.97
4550	202.66	173.85	151.81	68.87	23.37	4.95	4.70	9.67	31.45	70.52	107.02	155.09	1003.96
4600	204.90	176.45	153.35	68.92	22.56	5.16	4.97	9.80	31.09	71.27	107.92	157.48	1013.86

Tabla 19. Reparto porcentual de la precipitación

ALTITUD	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	Total
3950	20.23	17.89	15.27	6.57	1.67	0.56	0.58	0.97	2.73	7.06	10.55	15.92	876.58
4000	20.23	17.82	15.24	6.60	1.75	0.56	0.57	0.97	2.78	7.06	10.57	15.86	887.89
4050	20.23	17.73	15.22	6.64	1.85	0.55	0.55	0.97	2.84	7.05	10.58	15.80	899.06
4100	20.22	17.63	15.19	6.70	1.96	0.53	0.53	0.97	2.91	7.05	10.60	15.71	910.10
4150	20.20	17.51	15.17	6.77	2.11	0.51	0.50	0.96	3.00	7.04	10.62	15.60	921.00
4200	20.17	17.34	15.15	6.87	2.30	0.49	0.47	0.96	3.12	7.03	10.65	15.45	931.78
4250	20.12	17.12	15.12	7.01	2.56	0.46	0.42	0.96	3.28	7.01	10.69	15.25	942.43
4300	20.05	16.80	15.09	7.22	2.93	0.41	0.34	0.95	3.52	6.99	10.75	14.96	952.96
4350	19.94	16.31	15.04	7.54	3.50	0.33	0.23	0.94	3.88	6.96	10.83	14.50	963.38
4400	20.05	16.77	15.08	7.23	2.97	0.40	0.34	0.95	3.54	6.99	10.76	14.93	973.68
4450	20.11	17.03	15.10	7.06	2.67	0.44	0.40	0.96	3.35	7.01	10.71	15.17	983.88
4500	20.15	17.20	15.11	6.94	2.47	0.47	0.44	0.96	3.22	7.02	10.68	15.33	993.97
4550	20.19	17.32	15.12	6.86	2.33	0.49	0.47	0.96	3.13	7.02	10.66	15.45	1003.96
4600	20.21	17.40	15.13	6.80	2.22	0.51	0.49	0.97	3.07	7.03	10.64	15.53	1013.86



En la evaluación mensual, se tomaron en cuenta 15 eventos de lluvia en la cuenca Cusiqocha.

Según Endara Huanca (2016) la cuenca Cusicocha se encuentra entre las regiones climáticas SES (Selva sur), que registra aproximadamente 150 eventos de precipitación al año, y la región climática SSR (Sierra Sur Oriental), que presenta alrededor de 200 eventos de precipitación anuales.

### Precipitaciones promedio para la cuenca Cusicocha por región climática

$$\text{eventos al año} = (150+200) / 2 = 175 \text{ eventos}$$

$$\text{eventos al mes} = 175 / 12 = 14.58 = 15 \text{ eventos}$$

Luego, se realizó la distribución de la precipitación dividiendo la precipitación mensual regionalizada entre los 15 eventos de precipitación. Los resultados de esta distribución se presentan en la Tabla 20.

Tabla 20. Reparto para precipitación diaria

ALTITUD	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
3950	11.82	10.45	8.92	3.84	0.98	0.33	0.34	0.57	1.60	4.13	6.17	9.30
4000	11.98	10.55	9.02	3.91	1.04	0.33	0.34	0.57	1.64	4.18	6.25	9.39
4050	12.12	10.63	9.12	3.98	1.11	0.33	0.33	0.58	1.70	4.23	6.34	9.47
4100	12.27	10.70	9.22	4.06	1.19	0.32	0.32	0.59	1.76	4.28	6.43	9.53
4150	12.40	10.75	9.32	4.16	1.30	0.32	0.31	0.59	1.84	4.32	6.52	9.58
4200	12.53	10.77	9.41	4.27	1.43	0.30	0.29	0.60	1.94	4.36	6.62	9.60
4250	12.64	10.76	9.50	4.40	1.61	0.29	0.26	0.60	2.06	4.41	6.72	9.58
4300	12.74	10.67	9.58	4.58	1.86	0.26	0.22	0.60	2.23	4.44	6.83	9.50
4350	12.81	10.48	9.66	4.84	2.25	0.21	0.15	0.60	2.49	4.47	6.96	9.31
4400	13.01	10.88	9.79	4.70	1.93	0.26	0.22	0.62	2.30	4.54	6.98	9.69
4450	13.19	11.17	9.91	4.63	1.75	0.29	0.26	0.63	2.20	4.60	7.02	9.95
4500	13.36	11.40	10.01	4.60	1.63	0.31	0.29	0.64	2.13	4.65	7.08	10.16
4550	13.51	11.59	10.12	4.59	1.56	0.33	0.31	0.64	2.10	4.70	7.13	10.34
4600	13.66	11.76	10.22	4.59	1.50	0.34	0.33	0.65	2.07	4.75	7.19	10.50

Haciendo uso del análisis de regresión de datos en el programa Excel, se procedió a realizar la distribución de la precipitación diaria.

Tabla 21. Resultados de datos de probabilidad

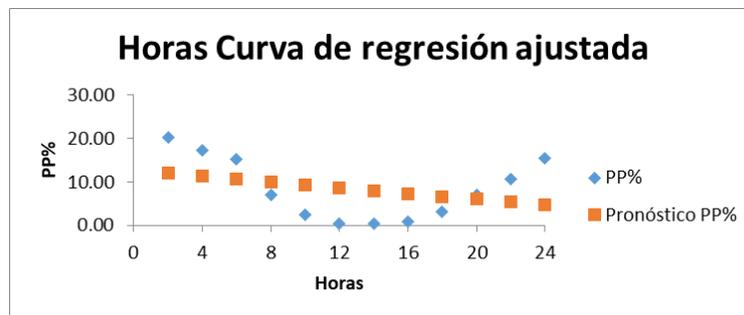
Percentil	PP%
4.17	0.45
12.50	0.48
20.83	0.96
29.17	2.38
37.50	3.17
45.83	6.91
54.17	7.02
62.50	10.66
70.83	15.14
79.17	15.39
87.50	17.28
95.83	20.15



Tabla 22. Reparto porcentual por día

Horas	PP%
0	0.00
2	20.15
4	17.28
6	15.39
8	15.14
10	10.66
12	7.02
14	6.91
16	3.17
18	2.38
20	0.96
22	0.48
24	0.45

Figura 34. Curva de regresión ajustada



Una vez obtenido los repartos porcentuales para las precipitaciones, se realizó un reparto porcentual de la precipitación diaria para cada altitud.

Tabla 23. Precipitación diaria para una altura de 3950 m.s.n.m.

hora	Porcentaje	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	0			0		0							
2.00	20.15	2.38	2.11	1.80	0.77	0.20	0.07	0.07	0.11	0.32	0.83	1.24	1.87
4.00	17.28	2.04	1.81	1.54	0.66	0.17	0.06	0.06	0.10	0.28	0.71	1.07	1.61
6.00	15.39	1.82	1.61	1.37	0.59	0.15	0.05	0.05	0.09	0.25	0.64	0.95	1.43
8.00	15.14	1.79	1.58	1.35	0.58	0.15	0.05	0.05	0.09	0.24	0.63	0.93	1.41
10.00	10.66	1.26	1.11	0.95	0.41	0.10	0.04	0.04	0.06	0.17	0.44	0.66	0.99
12.00	7.02	0.83	0.73	0.63	0.27	0.07	0.02	0.02	0.04	0.11	0.29	0.43	0.65
14.00	6.91	0.82	0.72	0.62	0.27	0.07	0.02	0.02	0.04	0.11	0.29	0.43	0.64
16.00	3.17	0.37	0.33	0.28	0.12	0.03	0.01	0.01	0.02	0.05	0.13	0.20	0.29
18.00	2.38	0.28	0.25	0.21	0.09	0.02	0.01	0.01	0.01	0.04	0.10	0.15	0.22
20.00	0.96	0.11	0.10	0.09	0.04	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.04	0.06	0.09
22.00	0.48	0.06	0.05	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04
24.00	0.45	0.05	0.05	0.04	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04
		11.82	10.45	8.92	3.84	0.98	0.33	0.34	0.57	1.60	4.13	6.17	9.30

Con la precipitación diaria obtenida para la cuenca Cusiqocha, se calculó la intensidad de la lluvia diaria y su energía unitaria para cada evento, como se muestra en la tabla 24.

$$I = P/t$$

$I =$  intensidad de la lluvia diaria mm/h

$P =$  Precipitación del evento mm



$t = \text{Duración del evento en horas}$

Se continua con el cálculo de la energía unitaria de la lluvia

$$e = 0.1191 + 0.0873 \log_{10} I$$

Donde:

$e = \text{energía unitaria del evento MJ/ha} * \text{mm}$

$I = \text{Intensidad de la precipitación mm/h}$

Calculados los datos de intensidad y energía unitaria, se procede a calcular la energía de la lluvia "E" para cada altura.

$$E = e * P$$

Donde:

$E = \text{Energía de la lluvia}$

$e = \text{Energía unitaria del evento}$

$P = \text{Precipitación del evento}$

Tabla 24. Estimación de valores de energía de la lluvia para el mes de enero

hora	Porcentaje	PP (mm)	T (min)	I (mm/h)	e (mj/ha*mm)	E mj/ha
0	0.00	0.00				
2	20.15	2.38	120	1.19	0.13	0.30
4	17.28	2.04	120	1.02	0.12	0.24
6	15.39	1.82	120	0.91	0.12	0.21
8	15.14	1.79	120	0.90	0.11	0.21
10	10.66	1.26	120	0.63	0.10	0.13
12	7.02	0.83	120	0.42	0.09	0.07
14	6.91	0.82	120	0.41	0.09	0.07
16	3.17	0.37	120	0.19	0.06	0.02
18	2.38	0.28	120	0.14	0.04	0.01
20	0.96	0.11	120	0.06	0.01	0.00
22	0.48	0.06	120	0.03	-0.02	0.00
24	0.45	0.05	120	0.03	-0.02	0.00
		<b>11.82</b>				<b>1.26</b>

Se obtuvo una energía erosiva de 1.26 MJ/ha en el mes de enero para una altitud de 3950 msnm.

El mismo proceso se repitió para cada mes y altitud de la cuenca Cusiqocha, obteniendo como resultado la tabla 25.



Tabla 25. Cálculo de la Energía de lluvia "E"

"E"	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
3950	1.26	1.07	0.86	0.25	0.01	-0.01	-0.01	0.00	0.05	0.28	0.51	0.91
4000	1.28	1.08	0.87	0.25	0.01	-0.01	-0.01	0.00	0.05	0.28	0.52	0.92
4050	1.31	1.09	0.88	0.26	0.02	-0.01	-0.01	0.00	0.06	0.29	0.53	0.93
4100	1.33	1.10	0.90	0.27	0.02	-0.01	-0.01	0.00	0.06	0.29	0.54	0.94
4150	1.35	1.11	0.91	0.28	0.03	-0.01	-0.01	0.00	0.07	0.30	0.55	0.95
4200	1.36	1.11	0.92	0.29	0.04	-0.01	-0.01	0.00	0.07	0.30	0.56	0.95
4250	1.38	1.11	0.94	0.31	0.05	-0.01	-0.01	0.00	0.08	0.31	0.57	0.95
4300	1.40	1.10	0.95	0.32	0.07	-0.01	-0.01	0.00	0.10	0.31	0.59	0.94
4350	1.41	1.07	0.96	0.35	0.10	-0.01	-0.01	0.00	0.12	0.31	0.60	0.91
4400	1.44	1.13	0.97	0.34	0.07	-0.01	-0.01	0.00	0.10	0.32	0.61	0.96
4450	1.46	1.17	0.99	0.33	0.06	-0.01	-0.01	0.00	0.09	0.33	0.61	1.00
4500	1.49	1.20	1.01	0.33	0.05	-0.01	-0.01	0.00	0.09	0.33	0.62	1.03
4550	1.51	1.23	1.02	0.33	0.05	-0.01	-0.01	0.00	0.09	0.34	0.62	1.05
4600	1.53	1.25	1.03	0.33	0.04	-0.01	-0.01	0.00	0.08	0.34	0.63	1.07

La intensidad de la lluvia se determinó a partir de la mayor intensidad registrada en la tabla número 24.

Tabla 26. Intensidad de lluvia diaria 30 minutos

"I <sub>30</sub> "	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
3950	1.19	1.05	0.90	0.39	0.10	0.03	0.03	0.06	0.16	0.42	0.62	0.94
4000	1.21	1.06	0.91	0.39	0.10	0.03	0.03	0.06	0.17	0.42	0.63	0.95
4050	1.22	1.07	0.92	0.40	0.11	0.03	0.03	0.06	0.17	0.43	0.64	0.95
4100	1.24	1.08	0.93	0.41	0.12	0.03	0.03	0.06	0.18	0.43	0.65	0.96
4150	1.25	1.08	0.94	0.42	0.13	0.03	0.03	0.06	0.19	0.44	0.66	0.97
4200	1.26	1.09	0.95	0.43	0.14	0.03	0.03	0.06	0.20	0.44	0.67	0.97
4250	1.27	1.08	0.96	0.44	0.16	0.03	0.03	0.06	0.21	0.44	0.68	0.97
4300	1.28	1.08	0.97	0.46	0.19	0.03	0.02	0.06	0.23	0.45	0.69	0.96
4350	1.29	1.06	0.97	0.49	0.23	0.02	0.01	0.06	0.25	0.45	0.70	0.94
4400	1.31	1.10	0.99	0.47	0.19	0.03	0.02	0.06	0.23	0.46	0.70	0.98
4450	1.33	1.13	1.00	0.47	0.18	0.03	0.03	0.06	0.22	0.46	0.71	1.00
4500	1.35	1.15	1.01	0.46	0.16	0.03	0.03	0.06	0.22	0.47	0.71	1.02
4550	1.36	1.17	1.02	0.46	0.16	0.03	0.03	0.06	0.21	0.47	0.72	1.04
4600	1.38	1.19	1.03	0.46	0.15	0.03	0.03	0.07	0.21	0.48	0.72	1.06

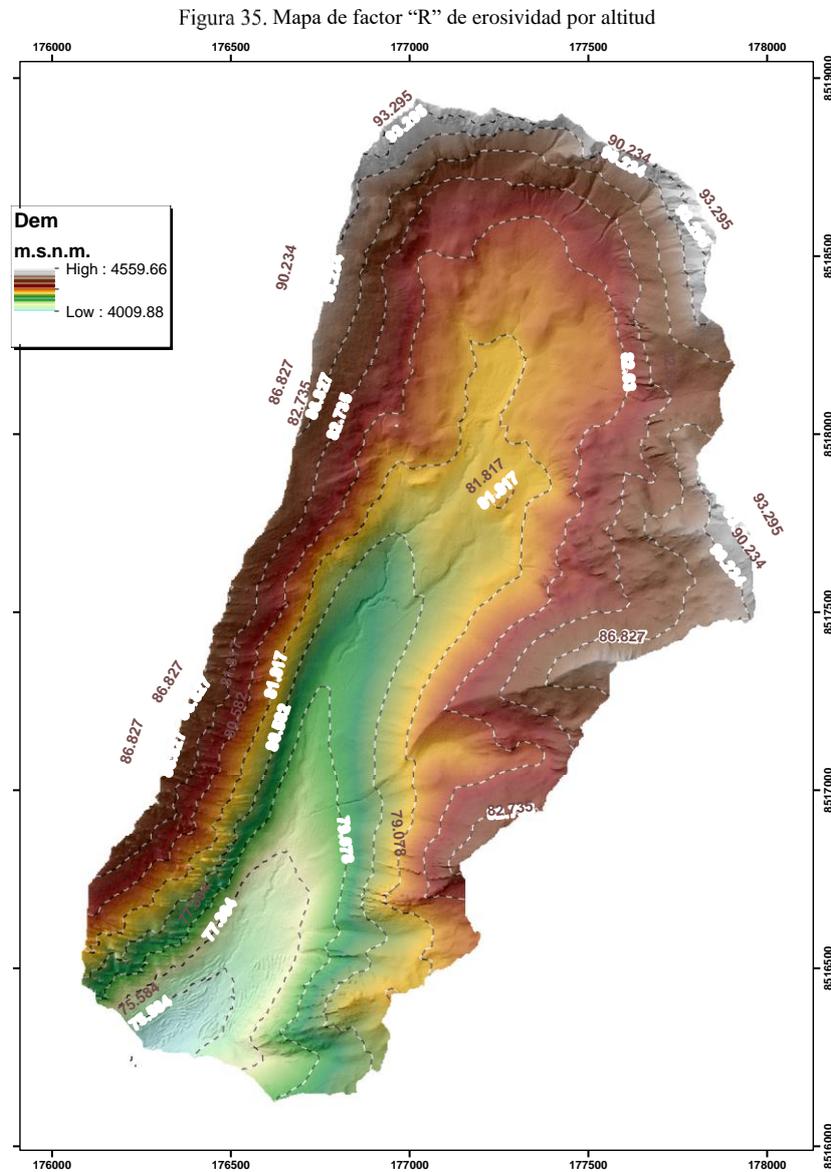
Finalmente, se llevó a cabo la multiplicación de la energía de la lluvia "E" y la intensidad de la lluvia, obteniendo los factores de erosividad diaria de la lluvia por altitud. Luego, se multiplicó este valor por la cantidad de 15 eventos de lluvia para obtener el factor "R" de erosividad en la cuenca Cusiqocha.

Tabla 27. Factor "R" de erosividad de la lluvia diaria.

ELEVACION	"E <sub>30</sub> "												R SUMA	R TOTAL MES
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC		
3950	1.503	1.124	0.770	0.095	0.001	0.000	0.000	0.000	0.008	0.115	0.314	0.851	4.78	71.72
4000	1.550	1.148	0.791	0.100	0.002	0.000	0.000	0.000	0.009	0.118	0.325	0.871	4.91	73.68
4050	1.595	1.169	0.812	0.104	0.002	0.000	0.000	0.000	0.010	0.122	0.337	0.888	5.04	75.58
4100	1.639	1.187	0.833	0.110	0.003	0.000	0.000	0.000	0.011	0.126	0.349	0.903	5.16	77.39
4150	1.682	1.200	0.854	0.117	0.004	0.000	0.000	0.000	0.012	0.129	0.361	0.913	5.27	79.08
4200	1.723	1.207	0.875	0.125	0.005	0.000	0.000	0.000	0.014	0.132	0.374	0.918	5.37	80.58
4250	1.760	1.202	0.895	0.135	0.008	0.000	0.000	0.000	0.017	0.136	0.388	0.913	5.45	81.82
4300	1.792	1.181	0.914	0.150	0.013	0.000	0.000	0.000	0.022	0.138	0.404	0.896	5.51	82.63
4350	1.814	1.130	0.931	0.172	0.022	0.000	0.000	0.000	0.030	0.141	0.423	0.853	5.52	82.73
4400	1.883	1.237	0.961	0.159	0.014	0.000	0.000	0.000	0.024	0.146	0.426	0.938	5.79	86.83
4450	1.944	1.315	0.989	0.154	0.011	0.000	0.000	0.000	0.021	0.151	0.433	1.000	6.02	90.23
4500	2.001	1.378	1.015	0.151	0.009	0.000	0.000	0.000	0.019	0.155	0.440	1.051	6.22	93.29
4550	2.056	1.434	1.041	0.151	0.007	0.000	0.000	0.000	0.018	0.160	0.449	1.095	6.41	96.16
4600	2.110	1.485	1.066	0.151	0.007	0.000	0.000	0.000	0.018	0.164	0.458	1.135	6.59	98.90



Con los factores de erosividad de la lluvia obtenidos, se realizó un proceso de interpolación para generar el mapa del factor "R" de erosividad de la lluvia en la cuenca Cusiyocho. Este mapa representa la distribución espacial de la erosividad de la lluvia en la cuenca.



### 3.7.4.2. *Factor de K de Erodabilidad del suelo*

Para determinar el factor K de erodabilidad, se recopiló información a partir de los análisis realizados en las muestras de suelo extraídas de las calicatas. Estas calicatas fueron ubicadas en lugares estratégicos para llevar a cabo el estudio, como se muestra en la figura 21.



Tabla 28. Porcentaje de área, limo y arcilla

ID	NOMBRE	UBICACIÓN		ELEVACION	Arena %	Limo %	Arcilla %
		X	Y				
1	Calicata 01	176578	8516638	4068	29.40	65.30	5.30
2	Calicata 02	176681	8517097	4140	14.70	80.30	5.00
3	Calicata 03	176997	8517441	4194	22.50	75.30	2.20
4	Calicata 04	177087	8517713	4228	4.20	92.40	3.40
5	Calicata 05	177348	8518407	4264	25.60	68.40	6.00
6	Calicata 06	177462	8518206	4265	6.50	89.00	4.50
7	Calicata 07	177462	8518206	4265	18.40	76.30	5.30
8	Calicata 08	177462	8518206	4265	22.00	74.50	3.50
9	Calicata 09	177462	8518206	4265	27.00	67.80	5.20
10	Calicata 10	177462	8518206	4265	13.90	82.90	3.20
11	Calicata 11	177462	8518206	4265	12.60	82.90	4.50
12	Calicata 12	177462	8518206	4265	17.20	79.80	3.00

Para calcular el porcentaje de carbono orgánico en una capa, se utilizó la fórmula propuesta en la documentación teórica de la Herramienta de Evaluación de Suelo y Agua (SWAT).

$$OM = 1.72 * orgC$$

Donde:

*OM* es el contenido de materia orgánica

*OrgC* es el porcentaje de contenido de carbón orgánico de la capa

Tabla 29. Porcentaje de contenido de carbón orgánico

ID	NOMBRE	UBICACIÓN		ELEVACION	M.O.	orgC
		X	Y			
1	Calicata 01	176578	8516638	4068	1.40	0.81
2	Calicata 02	176681	8517097	4140	1.30	0.76
3	Calicata 03	176997	8517441	4194	1.40	0.81
4	Calicata 04	177087	8517713	4228	1.40	0.81
5	Calicata 05	177348	8518407	4264	0.50	0.29
6	Calicata 06	177462	8518206	4265	0.80	0.47
7	Calicata 07	177462	8518206	4265	3.00	1.74
8	Calicata 08	177462	8518206	4265	2.50	1.45
9	Calicata 09	177462	8518206	4265	1.10	0.64
10	Calicata 10	177462	8518206	4265	2.00	1.16
11	Calicata 11	177462	8518206	4265	3.10	1.80
12	Calicata 12	177462	8518206	4265	2.10	1.22

Con los porcentajes de arena, arcilla, limo y carbono orgánico obtenidos a partir de las pruebas de laboratorio de suelos, se procede al cálculo del factor de erodabilidad para las calicatas utilizando la fórmula propuesta por Williams en 1995.

$$K = 0.1317(f_{csand} * f_{cl-si} * f_{orgC} * f_{hisand})$$

Donde:

*f<sub>csand</sub>* es un factor que disminuye los valores del factor “K” para suelos con alto contenido de arena gruesa y aumenta los valores para suelos con poca arena.



$f_{cl-si}$  es un factor que disminuye los valores del factor “K” para suelos con alto porcentaje de arcilla y limo.

$f_{orgC}$  Es un factor que disminuye los valores del factor “K” para suelos con alto contenido de carbono orgánico.

$f_{hisand}$  cómo es un factor que disminuye los valores del factor “K” para suelos con muy alto contenido de arena.

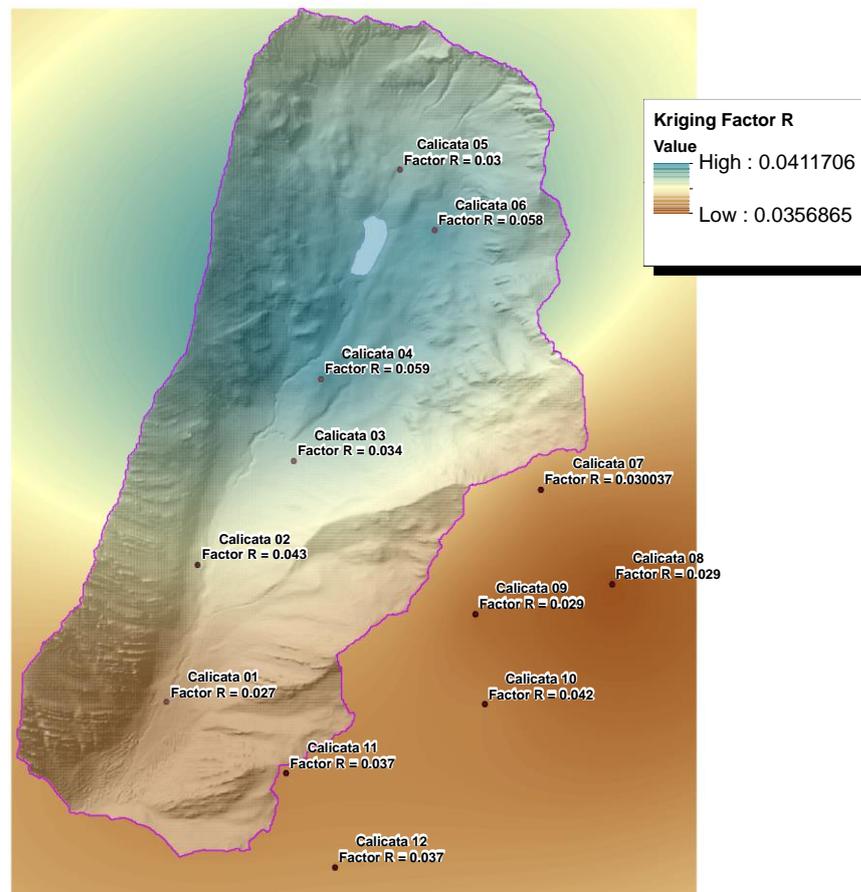
Tabla 30. Cálculo del factor “K” de Erodabilidad

ID	NOMBRE	Fesand	Fcl-si	Forgc	Fhisand	K usle	K
1	Calicata 01	0.222	0.977	0.955	1.000	0.207	0.027
2	Calicata 02	0.343	0.982	0.964	1.000	0.325	0.043
3	Calicata 03	0.272	0.991	0.955	1.000	0.258	0.034
4	Calicata 04	0.476	0.989	0.955	1.000	0.450	0.059
5	Calicata 05	0.238	0.975	0.996	1.000	0.231	0.030
6	Calicata 06	0.450	0.985	0.989	1.000	0.438	0.058
7	Calicata 07	0.298	0.980	0.780	1.000	0.228	0.030
8	Calicata 08	0.271	0.986	0.820	1.000	0.220	0.029
9	Calicata 09	0.232	0.978	0.977	1.000	0.222	0.029
10	Calicata 10	0.363	0.989	0.884	1.000	0.317	0.042
11	Calicata 11	0.373	0.984	0.775	1.000	0.284	0.037
12	Calicata 12	0.323	0.989	0.870	1.000	0.278	0.037

Se llevó a cabo una interpolación utilizando la herramienta de Kriging del ArcToolbox, que permite realizar interpolaciones considerando la distancia espacial entre los puntos de muestra. En este caso, se utilizó el límite de la cuenca como referencia para generar el factor de erodabilidad en toda la cuenca, mediante una extrapolación basada en los datos de muestra.



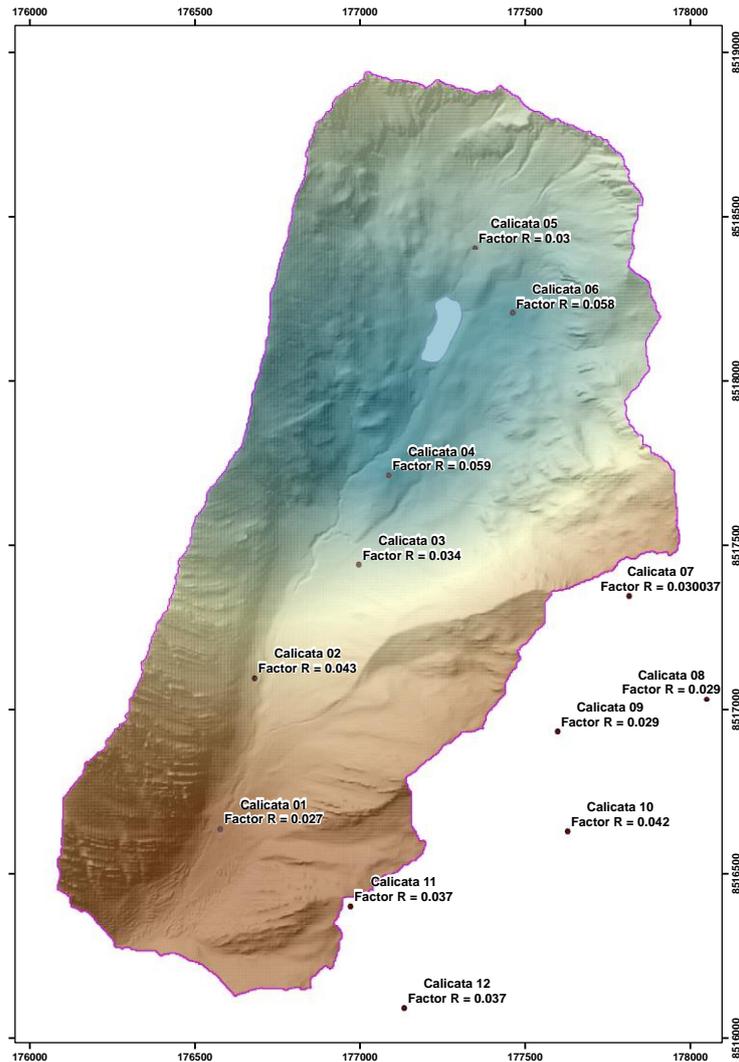
Figura 36. Interpolación Kriging de factor K de erodabilidad



Se realizó un recorte de la capa de datos exclusivamente para la cuenca Cusiyocho, con el objetivo de enfocarnos únicamente en esa área de estudio. Además, se modificó la simbología de la capa utilizando el estilo "stretched" para lograr una mejor visualización del factor de erodabilidad y facilitar su interpretación.



Figura 37. Mapa de factor R de Erodabilidad

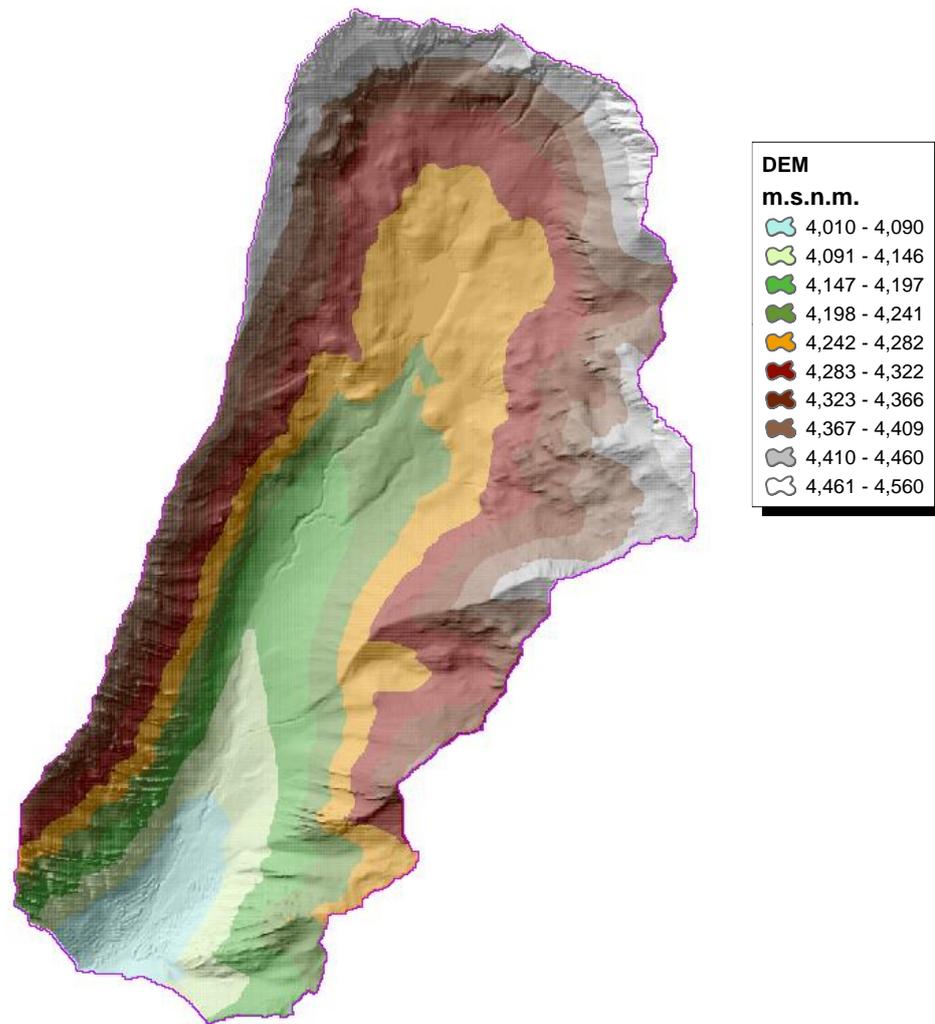


### 3.7.4.3. Factor topográfico LS

El factor de la pendiente de la cuenca Cusiqocha se evaluó mediante un análisis detallado de dos subfactores clave; inclinación de la pendiente ( $S$ ) y su longitud ( $L$ ). El modelo digital de elevación (DEM) fue la principal herramienta utilizada para calcular estos subfactores. Antes de iniciar el análisis, se llevó a cabo un proceso de relleno de posibles sumideros y errores en el DEM con la herramienta "Fill", para garantizar una mayor precisión en los resultados obtenidos.



Figura 38. Mapa Digital de Elevaciones



### 3.7.4.3.1 Subfactor topográfico L

Para calcular el subfactor L, se utilizó la siguiente fórmula

$$L = \frac{[A_{(ij)} + D^2]^{(m+1)} - A_{(ij)}^{m+1}}{X^m D^{m+2} (22.13)^m}$$

$$m = \frac{F}{1 + F} \quad ; \quad F = \frac{\text{sen}\beta / 0.0896}{3(\text{sen}\beta)^{0.8} + 0.56}$$

Con la ayuda de ArcGIS, se generó el mapa de pendientes utilizando la herramienta "Slope". Las pendientes se expresaron en grados sexagesimales. Para obtener el valor de "β" necesario, se utilizó la herramienta "Raster Calculator" en conjunto con el factor de conversión de 3.1416/180 para transformar los grados a radianes.



Figura 39. Conversión de grados sexagesimales a radianes del mapa de pendientes

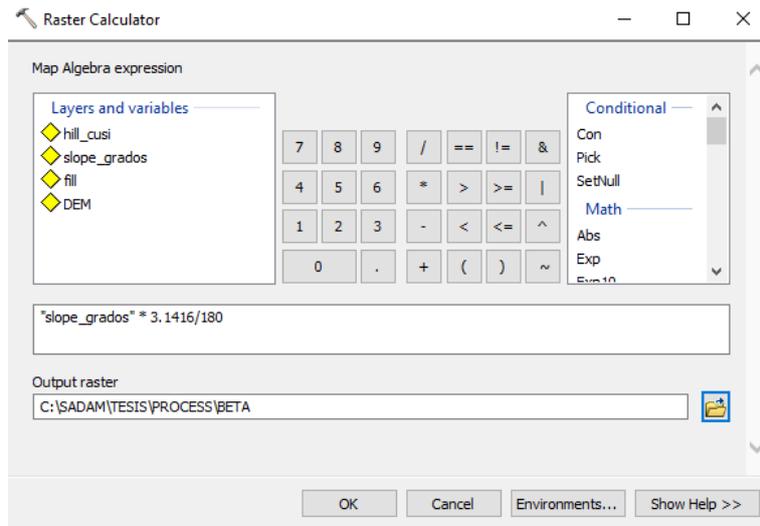
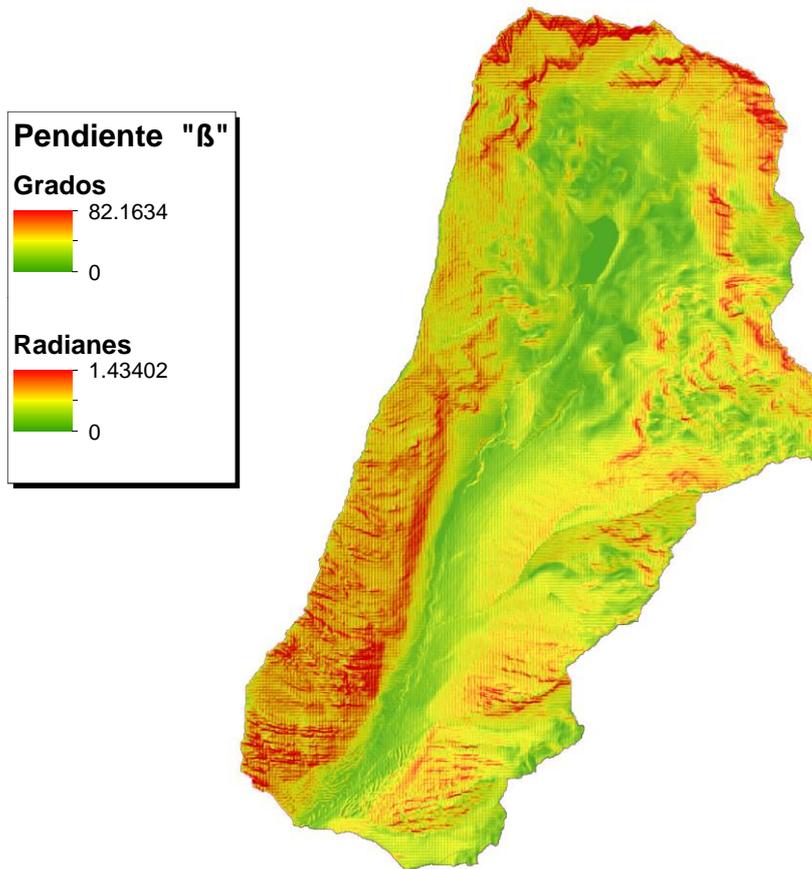


Figura 40. Mapa de pendientes



Con el coeficiente "β" expresado en radianes, se procedió al cálculo del factor "F". Para ello, se utilizó nuevamente la herramienta "Raster Calculator" y se generó el raster correspondiente al factor "F".



Figura 41. Cálculo del factor "F" usando Map Algebra

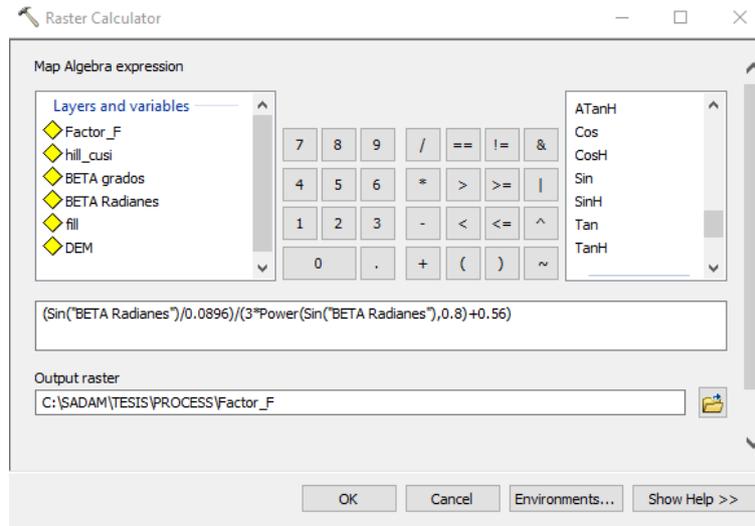
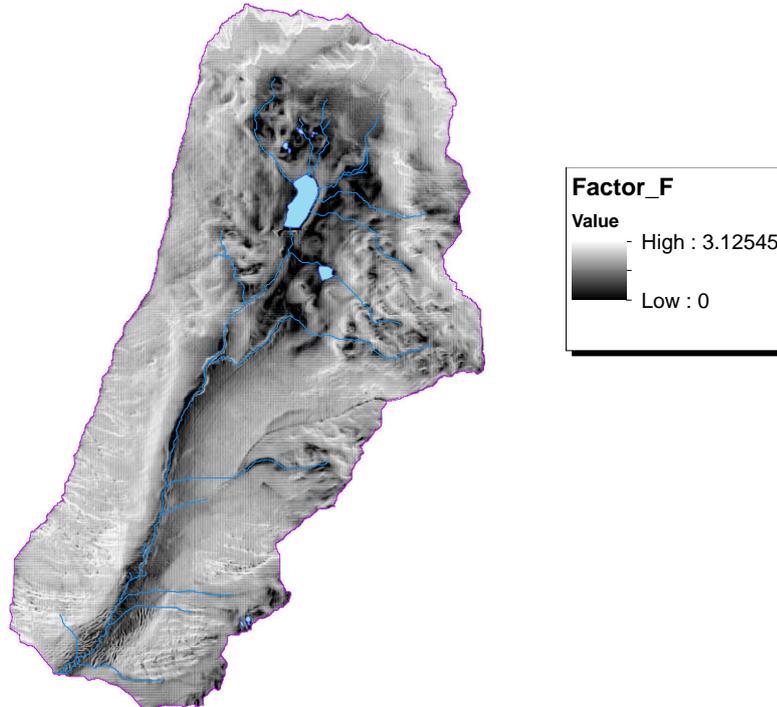


Figura 42. Mapa de factor "F"



Luego de obtener el factor "F", se procede a calcular el factor "m" utilizando la fórmula correspondiente.



Figura 43. Cálculo del factor “m” usando Map Algebra

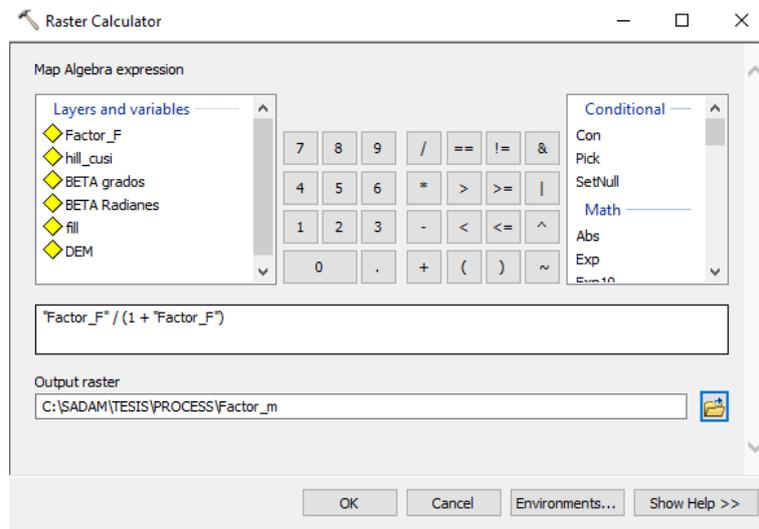
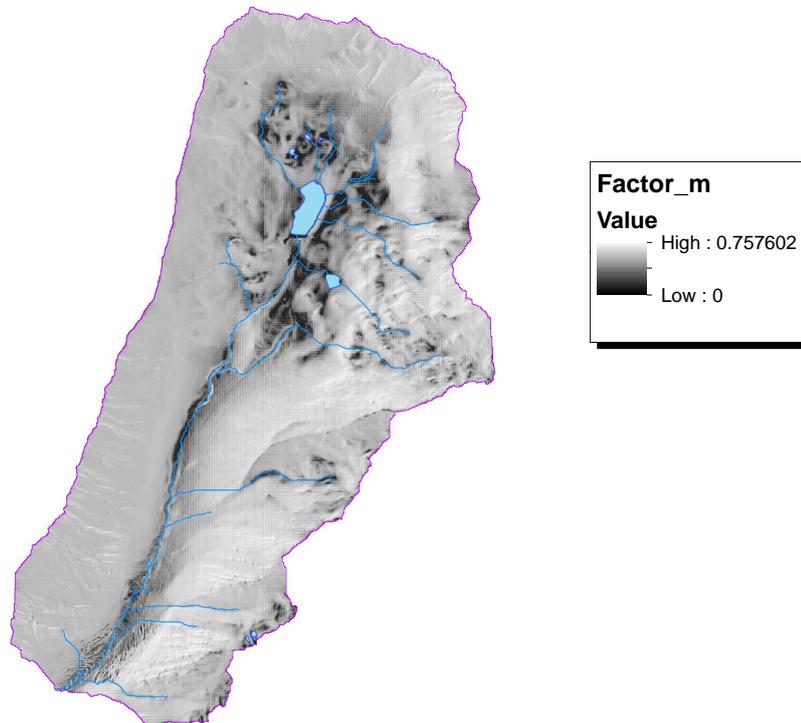


Figura 44. Mapa de factor “m”



Una vez calculada los factores, se utilizará la formula

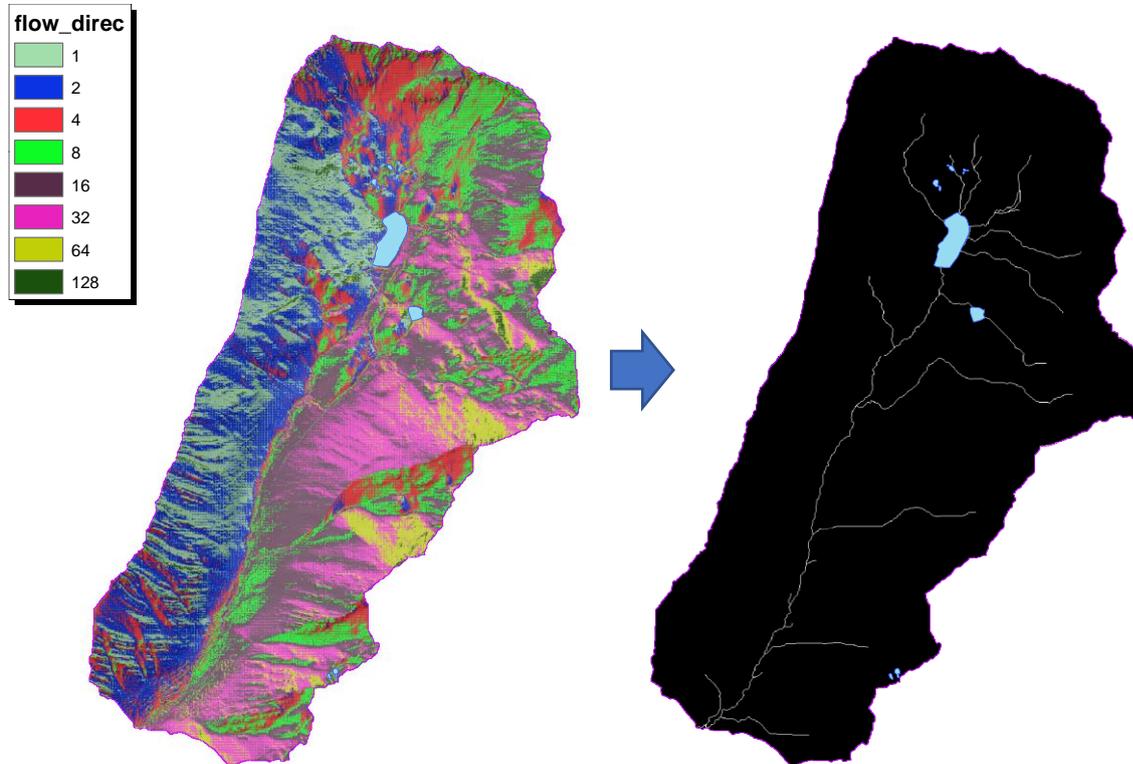
$$L = \frac{[A_{(i,j)} + D^2]^{(m+1)} - A_{(i,j)}^{m+1}}{X^m D^{m+2} (22.13)^m}$$

La herramienta utilizada se modificó con el objetivo de calcular el factor L a partir de la acumulación de flujo mediante diferencias finitas. Esto permitirá estimar la erosión en cada celda de una grilla, representada por un segmento de pendiente.



Primero se realiza el cálculo de la dirección del flujo, y luego se genera el ráster de acumulación de flujo (Flow Accumulation).

Figura 45. Cálculo de FlowDireccion y FlowAcumulation



Una vez obtenido el ráster, se procede a utilizar la herramienta *Raster Calculator* para calcular el factor **L**

Figura 46. Cálculo de fator L

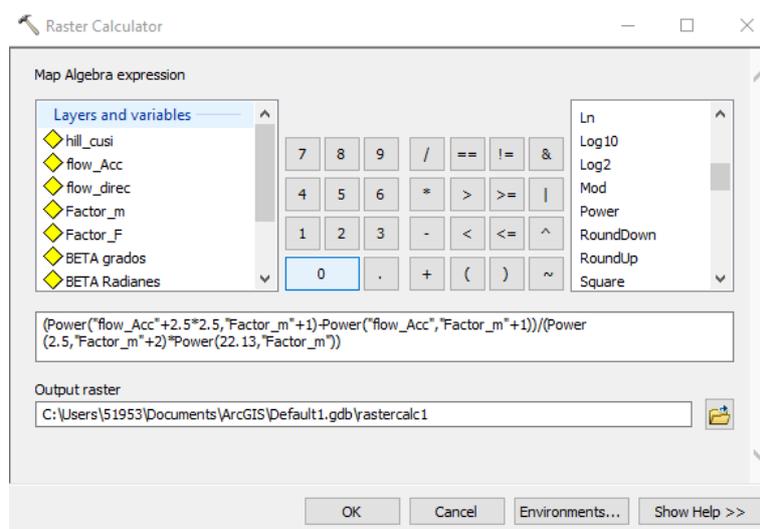
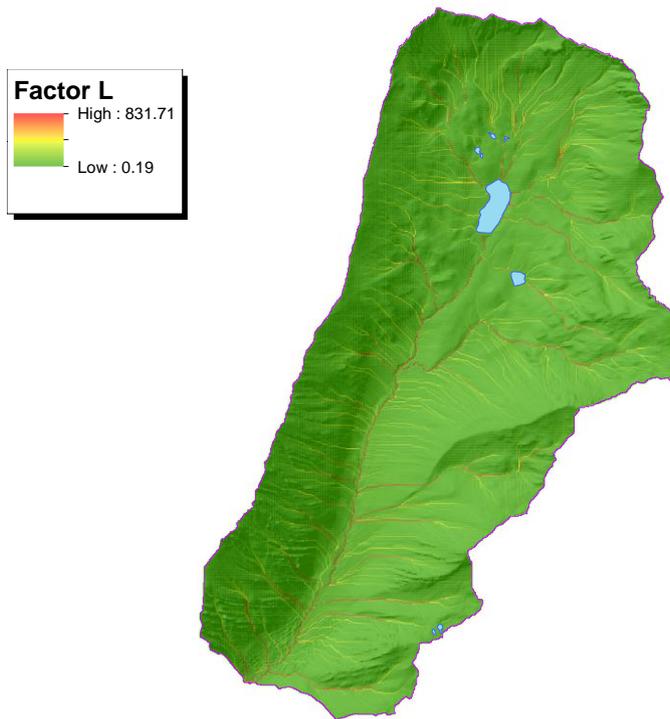




Figura 47. Mapa del factor "L"



### 3.7.4.3.2 Subfactor topográfico S

El subfactor "S" se calcula aplicando los criterios de McCool utilizando la calculadora de mapas.:

Figura 48. Cálculo del sub factor "S"

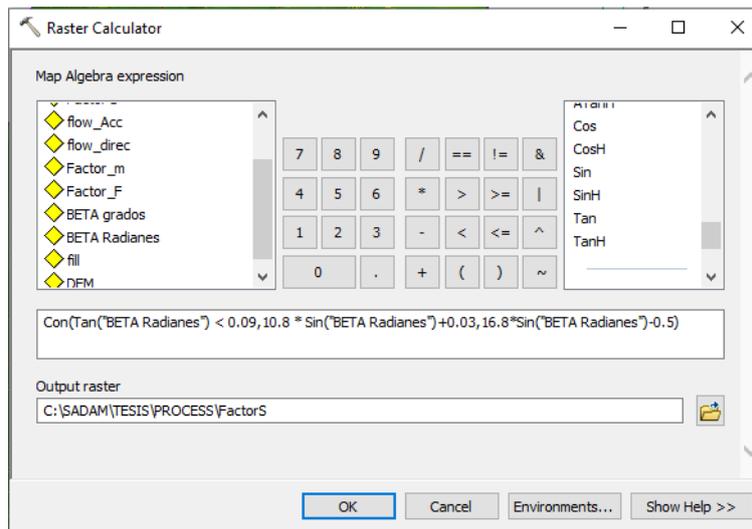
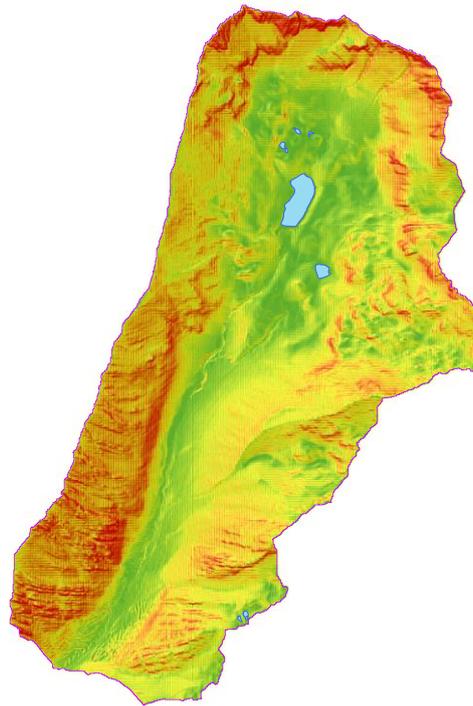




Figura 49. Mapa del sub factor "S"



Finalmente, una vez conseguida el rasters del factor L y del factor S, e procede a utilizar nuevamente la herramienta *Raster Calculated* para realizar la multiplicación entre ambos

Figura 50. Cálculo del factor topográfico "LS"

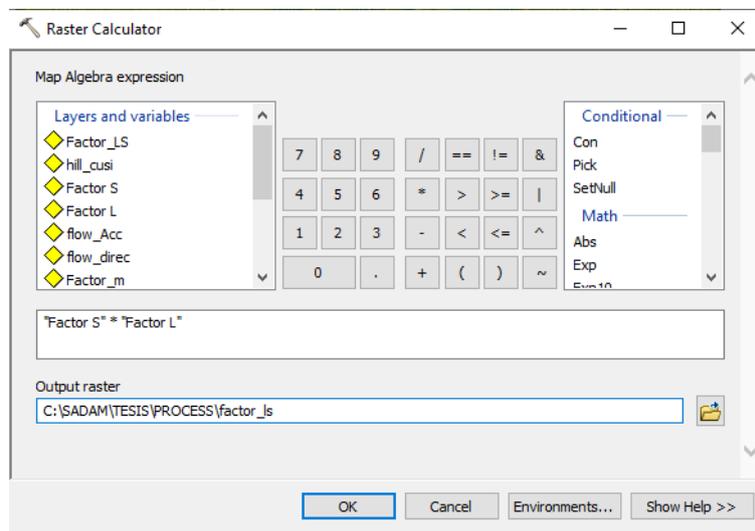
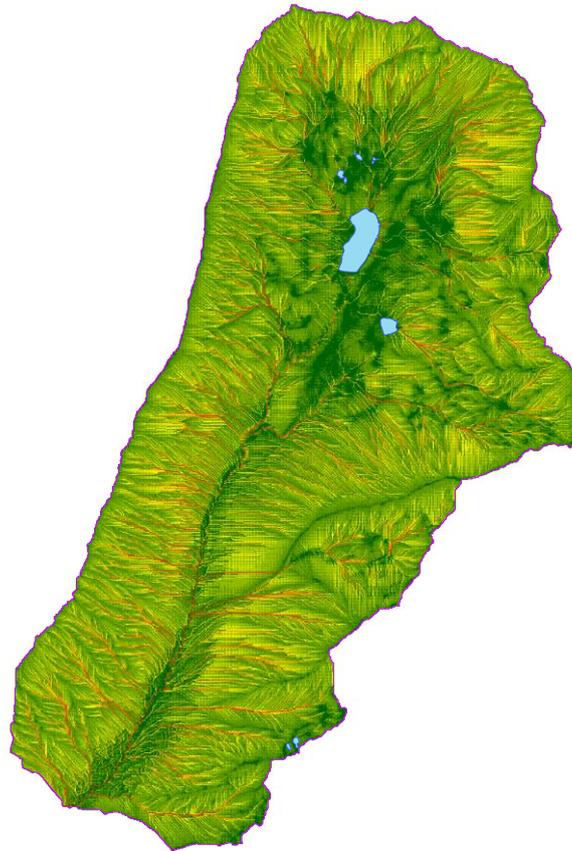




Figura 51. Mapa del factor topográfico “LS”



#### 3.7.4.4. *Factor de cobertura vegetal C*

Se inició con la cartografía base de cobertura vegetal proporcionada por el MINAM, en la cual se ubicó la cuenca de estudio y se identificó que la cobertura vegetal predominante es de tipo Pajonal Andino.

Sin embargo, para este estudio se requiere una identificación más detallada de los tipos de vegetación presentes, por lo que se llevó a cabo un análisis a un nivel más específico de la cobertura vegetal. Para ello, se utilizó una imagen multiespectral capturada en la cuenca Cusiqocha el 20 de agosto de 2020, en la cual se observó una vegetación escasa y poco saludable.

A partir de esta imagen, se generó una firma espectral que permitirá identificar los diferentes tipos de cobertura vegetal presentes. Posteriormente, se realizó una clasificación supervisada utilizando esta firma espectral.

Figura 52. Comparación de la imagen NDVI y la Ortofoto de la cuenca Cusiqocha

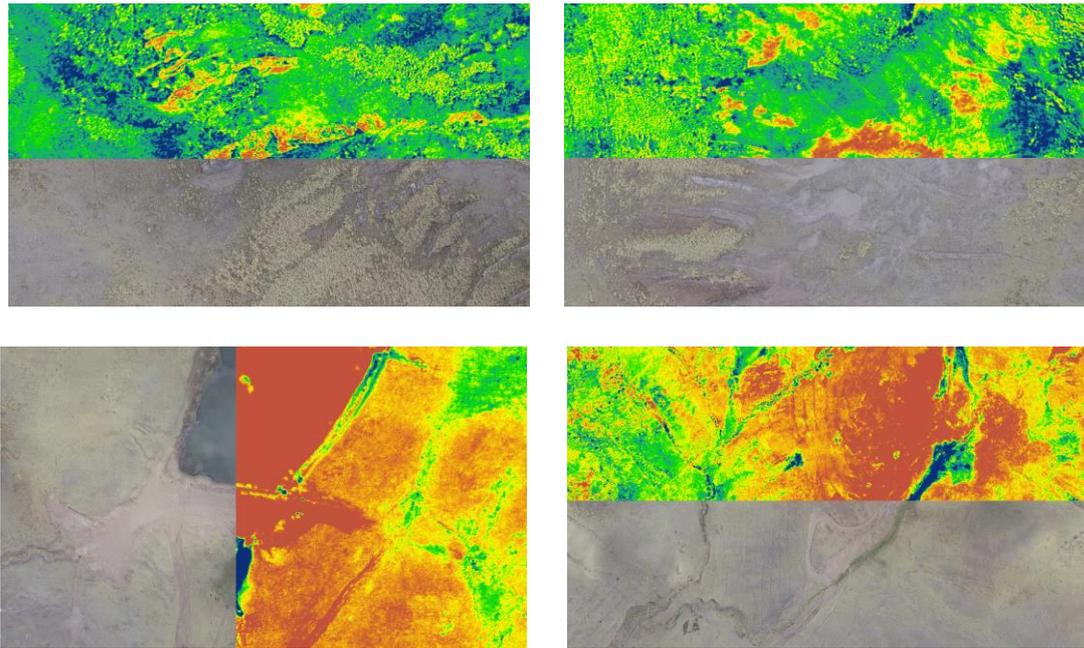


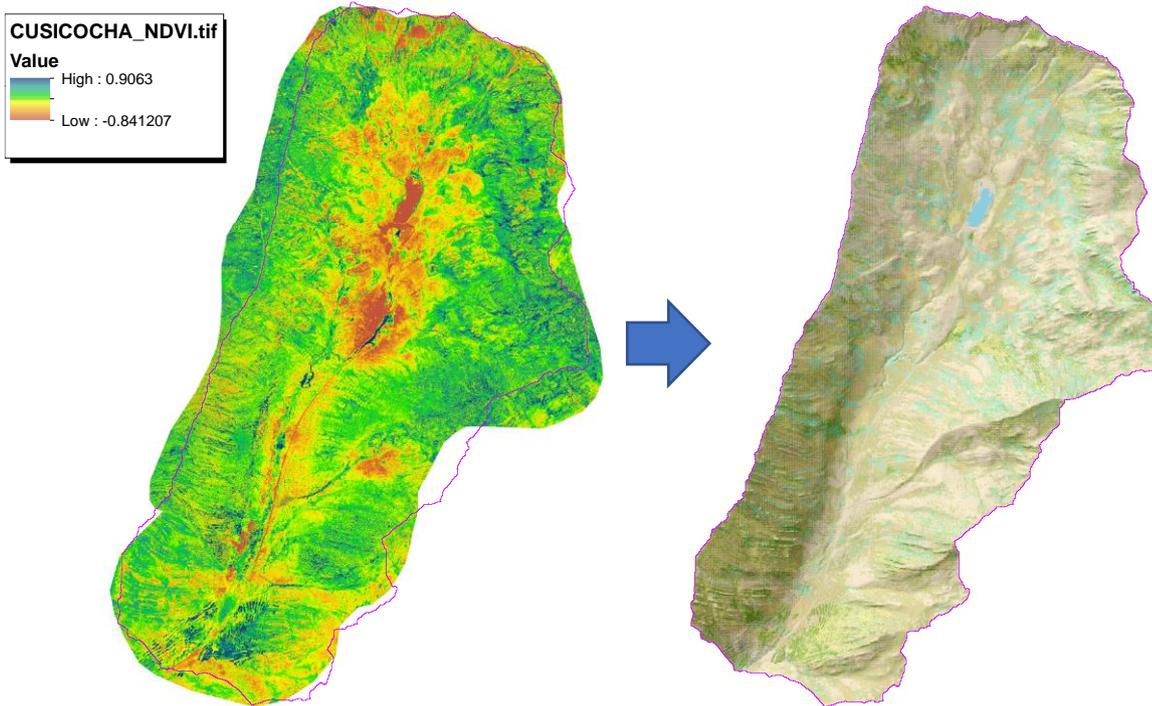
Figura 53. Tipos de cobertura vegetal de la cuenca Cusiqocha

ID	Class Name	Value	Color	Count
1	Cuerpo de agua	1		1393470
2	Suelo desnudo	2		388661
3	Humedal	6		86192
4	Pajonal Andino Césped Denso	8		49958
5	Pajonal Andino Césped Ralo	9		41245
6	Pajonal Andino Césped Muy Ralo	10		66261
7	Pajonal Andino Total Ralo	13		20430
8	Pajonal Andino Total Denso	14		18685

Una vez identificados los tipos de cobertura vegetal en la cuenca Cusiqocha, se llevó a cabo la conversión del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) a un ráster de tipos de cobertura. Debido a la resolución de los píxeles de 2.5x2.5m, es posible que existan algunas impurezas en la imagen resultante.

Para mejorar la calidad de la imagen y reducir las impurezas, se utilizó la herramienta *Majority* en ArcGIS. Este proceso puede repetirse varias veces para eliminar gradualmente las impurezas y obtener una imagen más precisa y clara de los tipos de cobertura vegetal en la cuenca.

Figura 54. Mapa NDVI de la cuenca Cusiqocha y su reclasificación



Luego, se debe llevar a cabo el proceso de conversión a polígono, mediante el cual se podrá obtener el mapa de tipos de cobertura vegetal. Una vez obtenidos los tipos de cobertura, se inicia la validación de los tipos de suelo en conjunto con los puntos georreferenciados, con el fin de identificar y validar nuestro mapa. Para ello, nos apoyaremos en ortofotos y fotografías tomadas durante las visitas de campo.

Figura 55. Pajonal andino subtipo césped muy ralo





Figura 56. Pajonal andino subtipo Césped Denso



Figura 57. Mapa de cobertura vegetal



#### 3.7.4.5. *Factor P de prácticas de conservación del suelo*

La cuenca en estudio presenta zanjas de infiltración, algunas de las cuales han sido obstruidas por la acumulación de sedimentos, mientras que otras han sufrido un alto grado de erosión debido a la escorrentía. Por lo tanto, se empleó el método de cultivo en contorno o trazado de curvas de nivel para abordar este problema.



Figura 58. Erosión por colmatación de zanjas de infiltración en la Cuenca Cusiqocha



Para obtener el ráster, se utilizan las herramientas de reclassificación del ArcGIS, siguiendo la tabla correspondiente.

Tabla 31. Factores de por pendiente para las prácticas de conservación (Neitsch et al., 2009)

Pendiente %	Factor P
1-2	0,60
2-5	0,50
5-8	0,50
8-12	0,60
12-16	0,70
16-20	0,80
20-25	0,90

### 3.7.5. Desarrollo del modelo SWAT

#### 3.7.5.1. *Recopilación y acomodo de información*

##### 3.7.5.1.1 *Suelos*

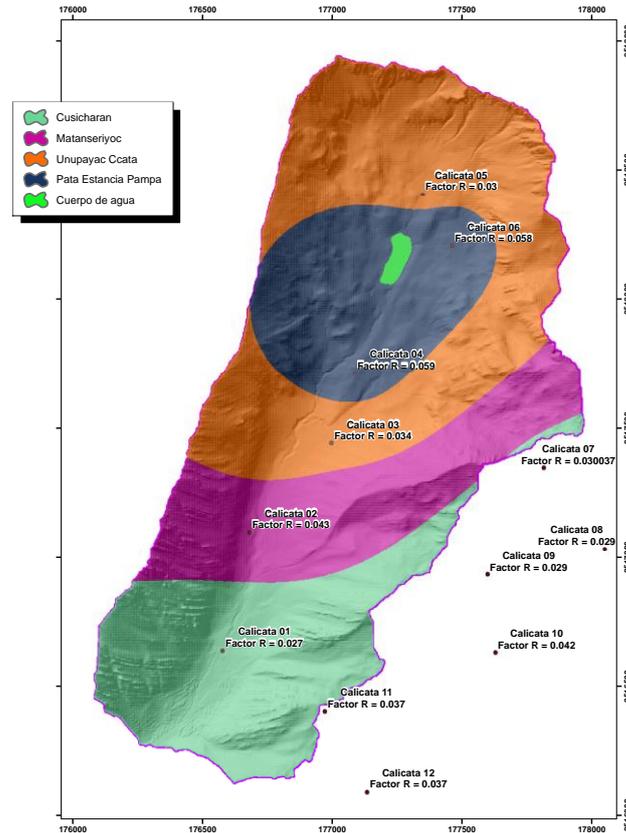
Según la FAO, el tipo de suelo que se encuentra en la cuenca Cusiqocha para toda su extensión es el “*Leptosol éutrico - Regosol éutrico - Afloramiento lítico*”. Sin embargo, para realizar un estudio más detallado a nivel de la cuenca, se subdividió en 4 tipos de suelos, los cuales fueron nombrados de forma específica para facilitar su identificación.



Tabla 32. Tipos de suelo en la Cuenca Cusiyochoa

SOIL_ID	SNAM	CALICATA
1	Cusicharan-1	Calicata 1
2	Matanseriyoc-2	Calicata 2
3	Unupayac Ccata-3	Calicata 3
4	Pata Estancia Pampa-4	Calicata 4
13	Agua-13	Agua

Figura 59. Plano de tipos de suelo en la Cuenca Cusiyochoa



Este modelo de mapa de suelos será utilizado en el modelo SWAT. Para ello, se requieren los siguientes parámetros:

Tabla 33. Parámetros de suelo Modelo SWAT

PARAMETRO	DESCRIPCION
SNAM	El nombre del suelo
HYDGRP	Grupo hidrológico del suelo (A, B, C, D)
SOL_ZMX	Profundidad máxima de enraizamiento del perfil del suelo (mm)
ANION_EXCL	Fracción de porosidad (espacio vacío) de la que se excluyen los aniones
SOL_CRK	Volumen de fisura potencial
SOL_Z	Profundidad desde la superficie del suelo hasta el fondo de la capa (mm)
SOL_BD	Densidad aparente húmeda Mg / m <sup>3</sup> o g / cm <sup>3</sup> )
SOL_AWC	Capacidad de agua disponible de la capa de suelo (mm H <sub>2</sub> O / mm suelo)
SOL_K	Conductividad hidráulica saturada (mm / h)
SOL_CBN	Contenido de carbono orgánico (% peso del suelo)



CLAY	Contenido de arcilla (% peso del suelo)
SILT	Contenido de limo (% peso del suelo)
SAND	Contenido de arena (% peso del suelo)
ROCK	Contenido de fragmentos de roca (% del peso total)
SOL_ALB	Albedo de suelo húmedo
USLE_K	Factor USLE de Erodabilidad del suelo
SOL_EC	Conductividad eléctrica (dS / m)

Los parámetros utilizados para el cálculo se obtuvieron de distintas fuentes y métodos:

- Azul: Los valores se obtuvieron a partir del análisis físico-químico de suelo realizado en las calicatas de las cuencas Cusiqocha y Chinchac
- Rojo: Se utilizó el grupo hidrológico indicado por la ANA (Autoridad Nacional del Agua) según el mapa de suelos publicado por la FAO para el tipo de suelo "*Leptosol éútrico - Regosol éútrico - Afloramiento lítico*" en el Perú
- Amarillo: Se utilizó un valor constante proporcionado por el modelo SWAT
- Negro: El parámetro USLE\_K se calculó utilizando la fórmula de Williams (1995). El albedo se determinó teniendo en cuenta el contenido de materia orgánica del suelo.
- Verde: Se utilizó el programa SPAW (Soil-Plant-Air-Water Field & Pond Hydrology), proporcionado por el Servicio de Investigación Agrícola de los Estados Unidos.

### 3.7.5.1.2 Uso de Suelos y Vegetación

Se utilizó el mapa de cobertura de vegetación desarrollado específicamente para la metodología USLE (Universal Soil Loss Equation). Este mapa permitió establecer una vinculación entre los diferentes tipos de vegetación presentes en la cuenca y la base de datos utilizada en el modelo SWAT.

Tabla 34. Tipos de cobertura vegetal en la Cuenca Cusiqocha

LANDUSE_ID	SWAT_CODE	DESCRIPCION
1	WATR	Cuerpo de agua
2	WETL	Humedal
3	WPAS	Pasto de Invierno
4	SWRN	Zona de poca o Nula Vegetación

### 3.7.5.1.3 Clima

Para el modelo SWAT, se requieren valores de precipitación diaria, temperatura máxima y mínima, radiación solar, humedad relativa y velocidad del viento. Para obtener estos datos, se utilizó el CLIMATE FORECAST SYSTEM REANALYSIS (CFSR) para las variables de radiación solar, humedad relativa y velocidad del viento.

En cuanto a los datos de precipitación, temperatura máxima y mínima, se obtuvieron a través de la DATA PISCO. Esta base de datos cuenta con registros diarios desde el 01/01/1981 hasta



el 31/12/2016, lo que proporciona un amplio período de tiempo para el análisis y modelado en el modelo SWAT. Estos datos son fundamentales para simular con precisión los procesos hidrológicos y la respuesta del suelo en la cuenca Cusiqocha.

a) DESCARGA DE DATOS

Los datos de precipitación se trabajaron con la versión 2.1 y los datos de temperatura máxima y mínima se utilizaron en su versión 1.1. La descarga de los datos se realizó de manera puntual para el centroide de la Cuenca Cusiqocha.

Figura 60. PP regionalizada vs PP Data PISCO

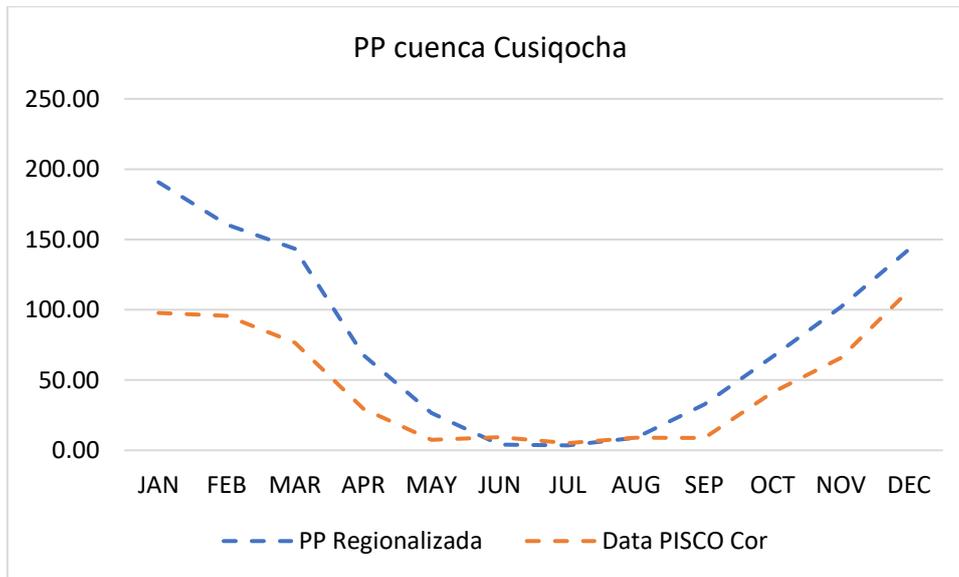


Tabla 35. Registro mensual PP regionalizada vs PP Data PISCO

MES	PP Regionalizada	Data PISCO
JAN	190.67	97.76
FEB	160.65	95.72
MAR	143.37	76.55
APR	67.81	29.60
MAY	26.55	7.39
JUN	4.02	9.36
JUL	3.52	5.13
AUG	9.04	8.92
SEP	32.60	8.76
OCT	66.46	41.21
NOV	101.88	65.85
DEC	143.04	113.72
<b>Σpp</b>	<b>949.61</b>	<b>559.99</b>



En la figura 66 se puede observar una subestimación de datos. La precipitación anual de PISCO muestra una diferencia promedio de 389.62 mm en comparación con la precipitación regionalizada para la Cuenca Cusiqocha.

b) CORRECCION DE SESGO

Como se obtuvo una subestimación de datos, se realizó la corrección de sesgo mediante el método de "Linear scaling". Este método consiste en corregir la precipitación mediante un multiplicador, lo cual genera un mejor ajuste de los resultados.

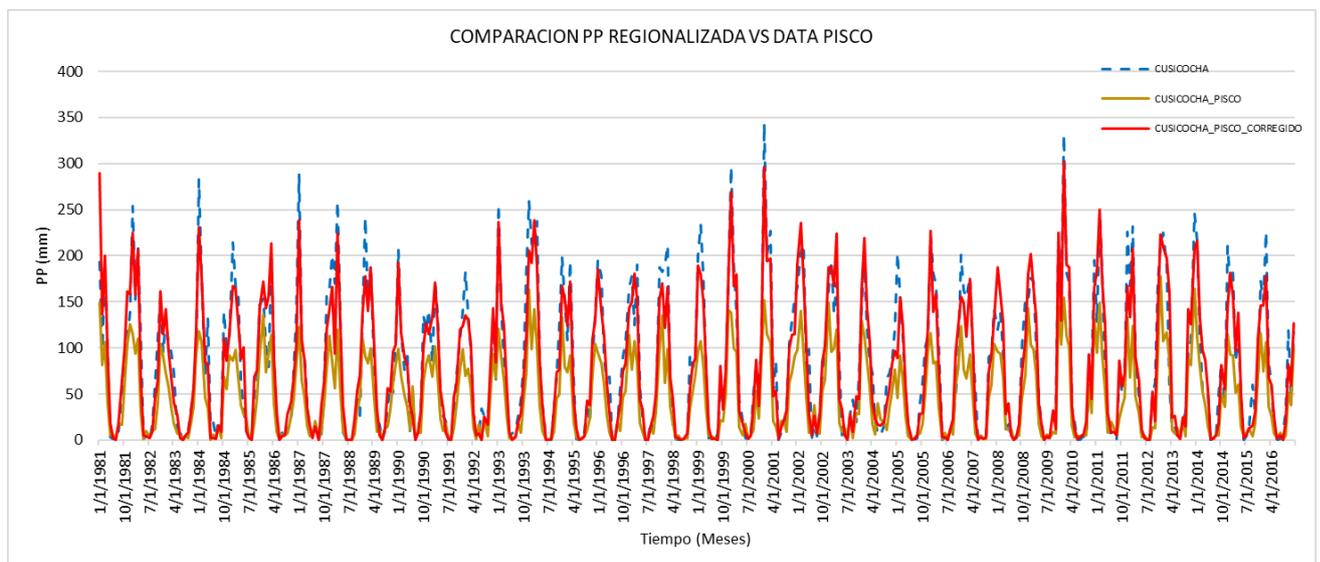
Tabla 36. Factores de corrección para Data PISCO

MES	FACTOR
JAN	1.95
FEB	1.68
MAR	1.87
APR	2.29
MAY	3.59
JUN	0.43
JUL	0.69
AUG	1.01
SEP	3.72
OCT	1.61
NOV	1.55
DEC	1.26

En la tabla se puede observar los resultados, donde:

- Si los valores son mayores a uno indica que hubo subestimación
- Si los valores son menores a uno indica que hubo sobrestimación

Figura 61. PP Data PISCO Corregido

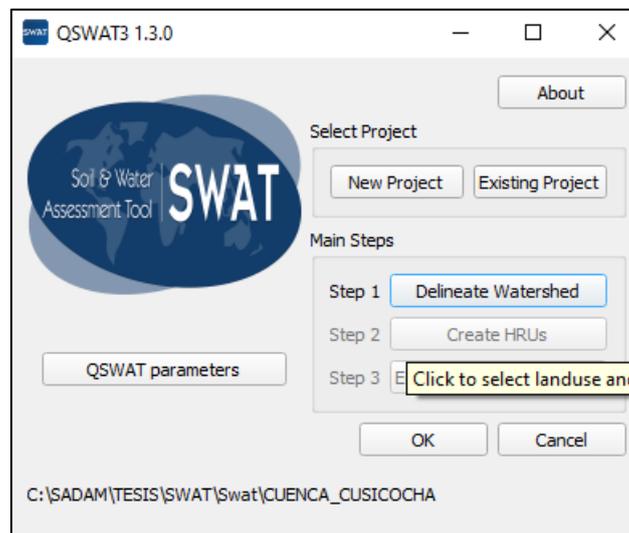


El mismo proceso se llevó a cabo para los datos de temperatura máxima y temperatura mínima diaria en el centroide de la Cuenca Cusiqocha. Se aplicó el método de "Linear scaling" para corregir cualquier sesgo presente en los datos y obtener resultados más precisos.

### 3.7.5.2. Preparación del Modelo y Ejecución

Para la modelación hidrológica, se dividió la cuenca en diversas subcuencas y unidades de respuesta hidrológica (HRU), utilizando como base factores como el tipo de suelo, la pendiente y las coberturas presentes en la cuenca. Para llevar a cabo este proceso, se utilizó la herramienta QSWAT, que es una extensión del modelo SWAT diseñada para el software QGIS. La figura 62 muestra los diferentes pasos que se siguieron para procesar la información y lograr una modelación eficiente de la cuenca hidrográfica.

Figura 62. Interface SWAT en QGIS



#### Paso 1: Delimitación de cuencas

En este paso, se llevará a cabo la delimitación de las cuencas, la creación de subcuencas y la generación de la red de drenaje. Para realizar estos procesos, se utilizará el Modelo Digital de Elevación (DEM) proporcionado por la oficina de MERESE de la empresa SEDACUSCO S.A. El DEM es una herramienta fundamental para definir los límites de las cuencas y establecer la topografía de la zona de estudio.

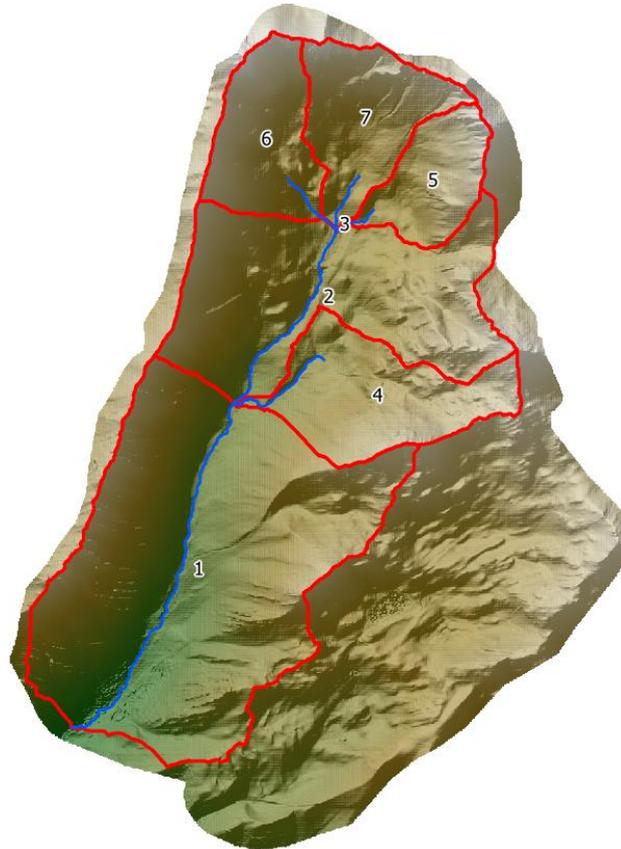
Tabla 37. Cuencas generadas para el modelo SWAT

Subbasin	Área km <sup>2</sup>	Perímetro km	Latitud	Longitud	Elevación
1	12.84	2.18	-13.40	-71.98	4215.85
2	6.44	1.78	-13.39	-71.98	4307.85
3	0.01	0.12	-13.39	-71.98	4245.97



4	3.16	1.40	-13.39	-71.98	4318.71
5	1.68	0.90	-13.38	-71.98	4357.88
6	2.33	0.97	-13.38	-71.98	4369.14
7	2.50	0.86	-13.38	-71.98	4349.57

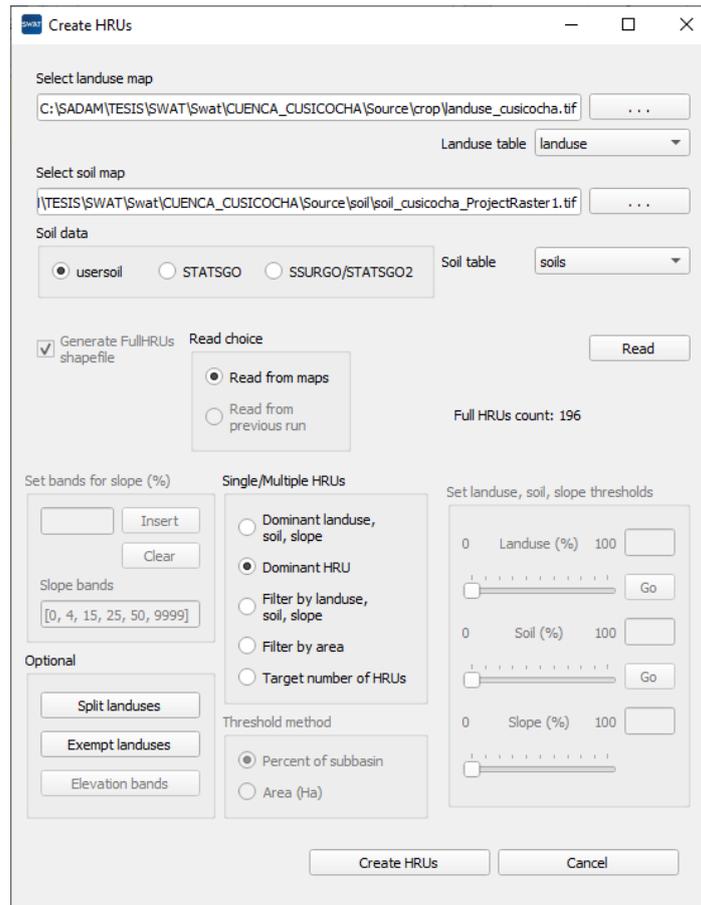
Figura 63. Cuencas generadas para el modelo SWAT



## Paso 2: Análisis de unidades de Respuesta Hidrológica

Una vez obtenida la cuenca delimitada, se procederá a crear las Unidades de Respuesta Hidrológica (HRU) en función de los siguientes parámetros: Tipo de Cobertura, Tipo de Suelo y Pendiente. Estos tres factores serán combinados para generar un total de 196 HRU's en la cuenca. Las HRU's son unidades espaciales que representan áreas homogéneas dentro de la cuenca, donde se considera que los procesos hidrológicos y la respuesta a la precipitación son similares.

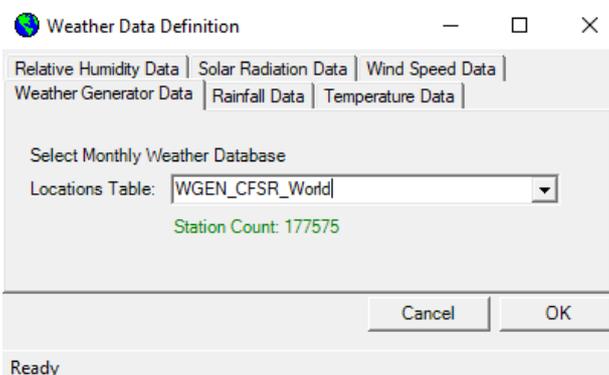
Figura 64. Create HRU's en QGIS



### Paso 3: Definición de Datos de Clima

Una vez obtenidas las HRU's, se procederá a cargar los datos climáticos necesarios para el modelado hidrológico. Dado que la cuenca Cusiqocha no cuenta con datos climáticos disponibles, se utilizará el motor climático CFSR\_World del modelo SWAT para obtener los datos de humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento. Este motor climático utiliza información global y proporciona estimaciones de estos parámetros para la cuenca en estudio.

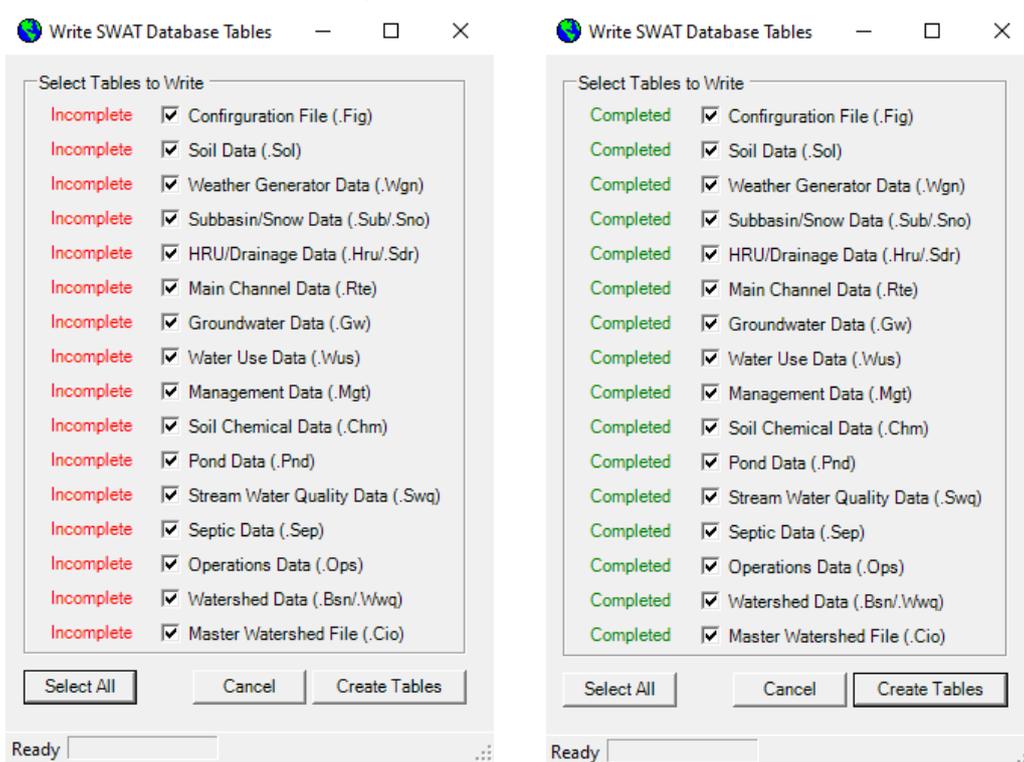
Figura 65. Weather Data Definition





Una vez corregidos los datos de precipitación y temperatura diaria utilizando la información de la data PISCO, se procederá a cargar estos datos en las tablas de entrada del modelo SWAT. Estas tablas incluirán la información necesaria para cada uno de los HRU's, como la precipitación diaria, la temperatura máxima y mínima, la radiación solar, la humedad relativa y la velocidad del viento.

Figura 66. Write SWAT Database Tables



Una vez completadas las tablas de entrada con los datos climáticos y demás parámetros necesarios, se podrá realizar la simulación hidrológica utilizando el modelo SWAT. El modelo ha sido ajustado para el periodo de 1981 al 2016, y se ha establecido un período de calentamiento de 10 años, utilizando los datos correspondientes. Durante este período de calentamiento, el modelo se ejecutará para establecer las condiciones iniciales y permitir que el sistema alcance un estado estable. Una vez completado el período de calentamiento, se podrá realizar la simulación completa para el periodo deseado, obteniendo resultados hidrológicos y de erosión para la cuenca Cusiqocha.



Figura 67. Setup and Run SWAT Model Simulation

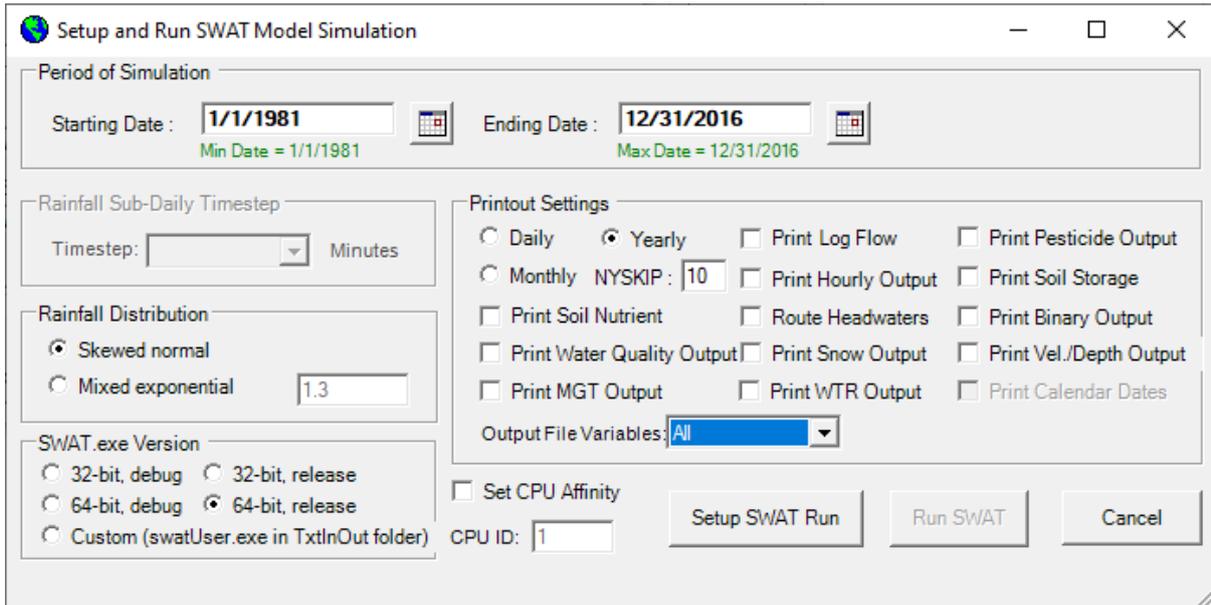
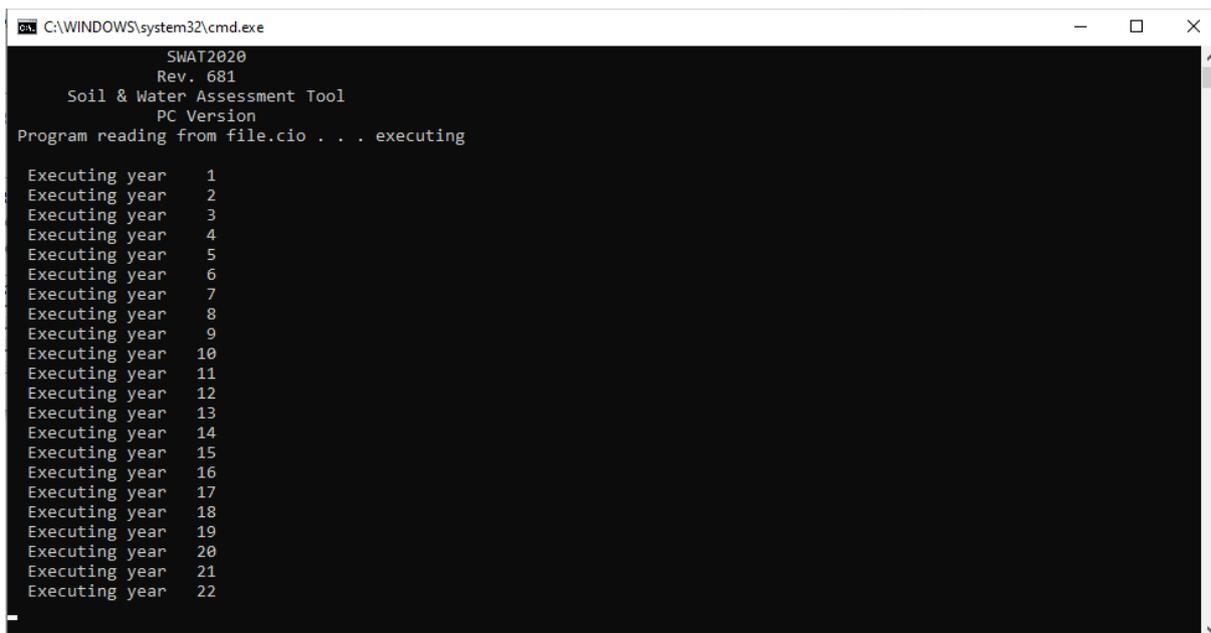


Figura 68. Creación de data para los datos obtenidos a través de los años





## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 4.1. RESULTADO RESPECTO A LOS OBJETIVOS ESPECIFICOS

**4.1.1.** Calcular los factores que influyen en la tasa promedio anual por erosión hídrica en los modelos USLE y SWAT en la cuenca Cusiqocha, distrito Chinchero, provincia Urubamba – departamento Cusco – 2022

##### 4.1.1.1. *Cálculo del factor R de Erosividad de la Lluvia.*

La precipitación media anual estimada para la cuenca Cusiqocha a través de la regionalización fue de 949.61 mm. Esto resultó en valores de erosividad que oscilan entre 73.9 y 96.4 MJ\*mm/ha\*h\*año en diferentes partes de la cuenca. Se observa que los valores más altos de erosividad se encuentran en las zonas altas de la cuenca, como se muestra en la figura 69. En promedio, se obtuvo un valor de erosividad de 82.56 MJ\*mm/ha\*h\*año para la cuenca Cusiqocha.

Tabla 38. Superficie ocupada para el factor de erosividad de la lluvia

ID	Simbología	Factor R MJ*mm/ha*h*año	Área km	Área %
1		73.92 - 77.53	0.17	5.91%
2		77.53 - 79.74	0.26	8.91%
3		79.74 - 81.50	0.45	15.64%
4		81.50 - 83.26	1.35	46.53%
5		83.26 - 85.19	0.17	5.87%
6		85.19 - 87.04	0.17	5.92%
7		87.04 - 89.07	0.15	5.33%
8		89.07 - 91.62	0.11	3.86%
9		91.62 - 96.38	0.06	2.02%
<b>Total</b>			<b>2.90</b>	<b>1.00</b>

Fuente elaboración propia



Figura 69. Mapa de factor de erosividad de la lluvia

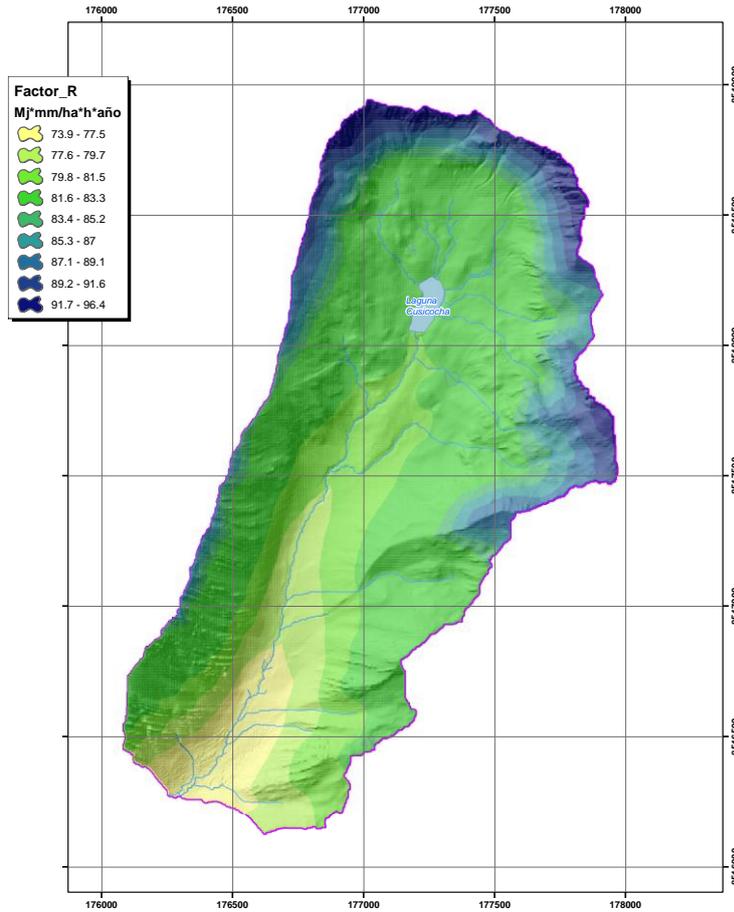


Figura 70. Diagrama de barras en porcentajes del factor de erosividad

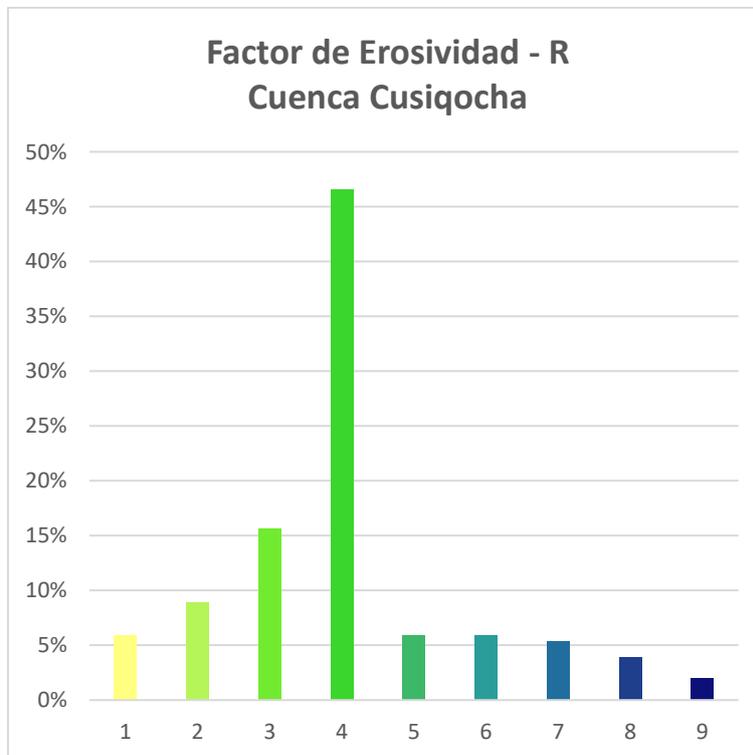
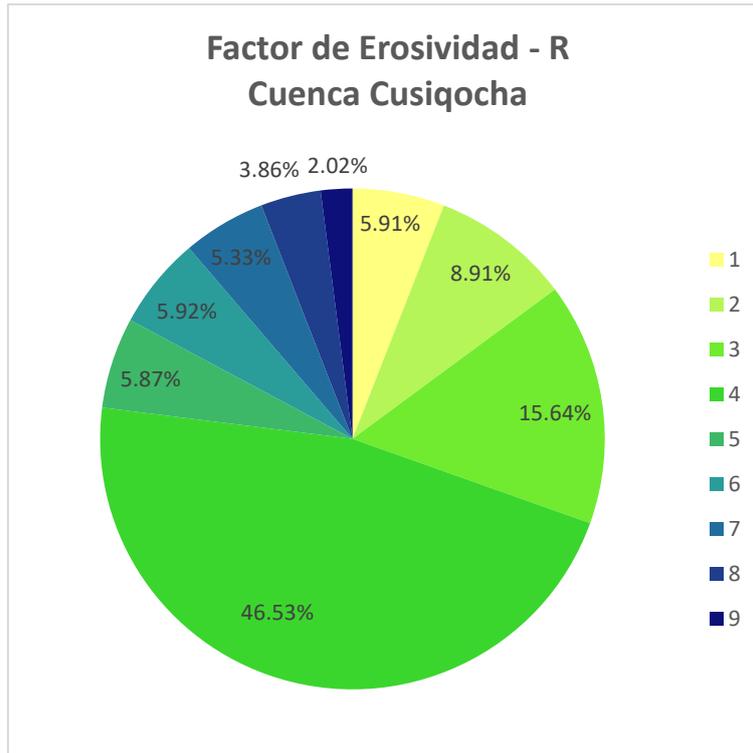




Figura 71. Diagrama circular en porcentajes del factor de erosividad



#### 4.1.1.2. Cálculo del factor K de Erodabilidad Del Suelo.

En la figura 72 se observan los valores de K para las asociaciones de suelos en la cuenca Cusiqocha. El rango de valores de K varía de 0.0364 a 0.048 ton\*ha\*h/ha\*MJ\*mm. Se puede notar que los suelos cercanos a la Laguna Cusiqocha presentan un mayor grado de erodabilidad debido a la presencia de suelos limosos. Por otro lado, en las zonas altas de la cuenca se encuentran suelos con menos presencia de limo, lo que indica una mayor porosidad, lo que resulta en una menor escorrentía y un menor grado de erodabilidad. Además, en las zonas bajas donde hay presencia de vegetación, los suelos tienen una mayor cantidad de arena y una mayor porosidad, lo que también contribuye a un menor grado de erodabilidad. En promedio, se obtuvo un valor de K de 0.0389 ton\*ha\*h/ha\*MJ\*mm para la cuenca Cusiqocha.

Tabla 39. Superficie ocupada para el factor de erodabilidad del suelo

ID	Simbología	Factor K ton*ha*h/ha*MJ*mm	Área km	Área %
1		0.0364 - 0.0370	0.48	16.60%
2		0.0370 - 0.0376	0.29	10.04%
3		0.0376 - 0.0382	0.26	8.88%
4		0.0382 - 0.0389	0.26	8.97%
5		0.0389 - 0.0395	0.37	12.90%
6		0.0395 - 0.0400	0.45	15.37%
7		0.0400 - 0.0406	0.40	13.63%
8		0.0406 - 0.0412	0.38	13.03%
9		0.000	0.02	0.57%
<b>Total</b>			<b>2.90</b>	<b>1.00</b>



Figura 72. Mapa de erodabilidad del suelo

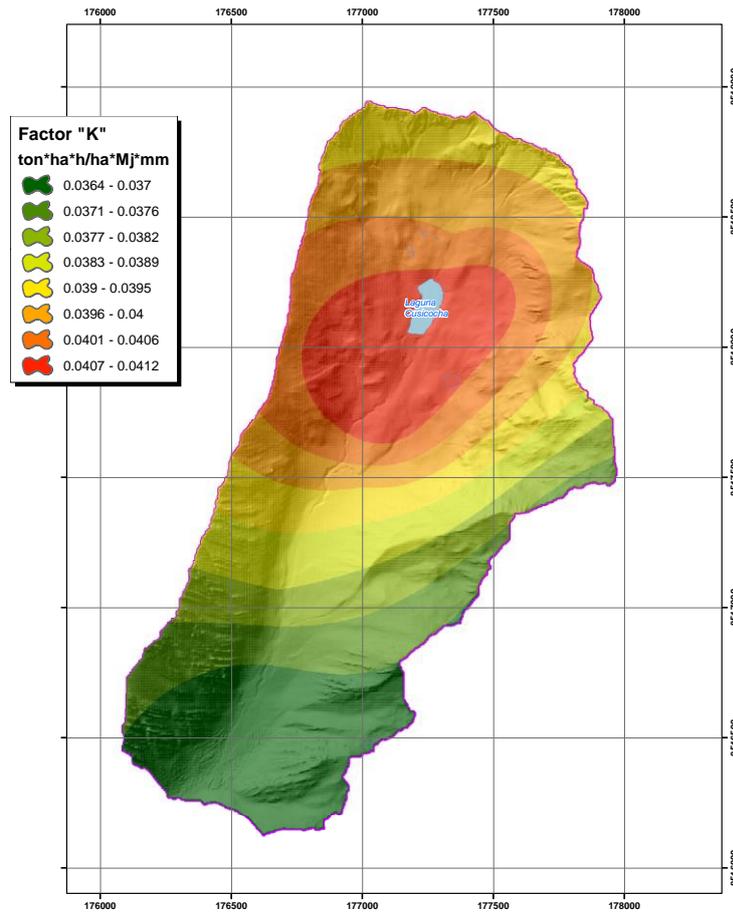


Figura 73. Diagrama de barras en porcentajes del factor de erodabilidad

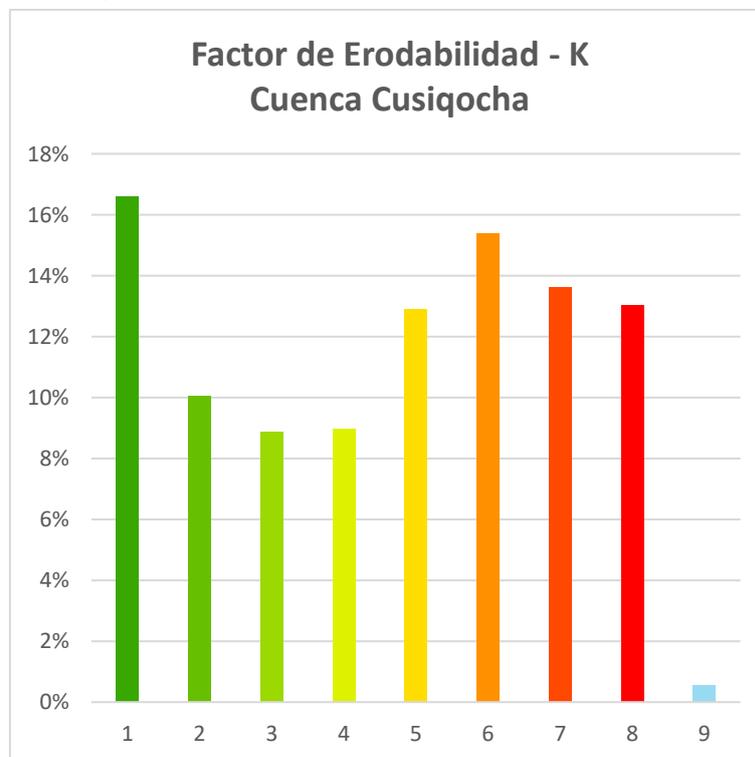
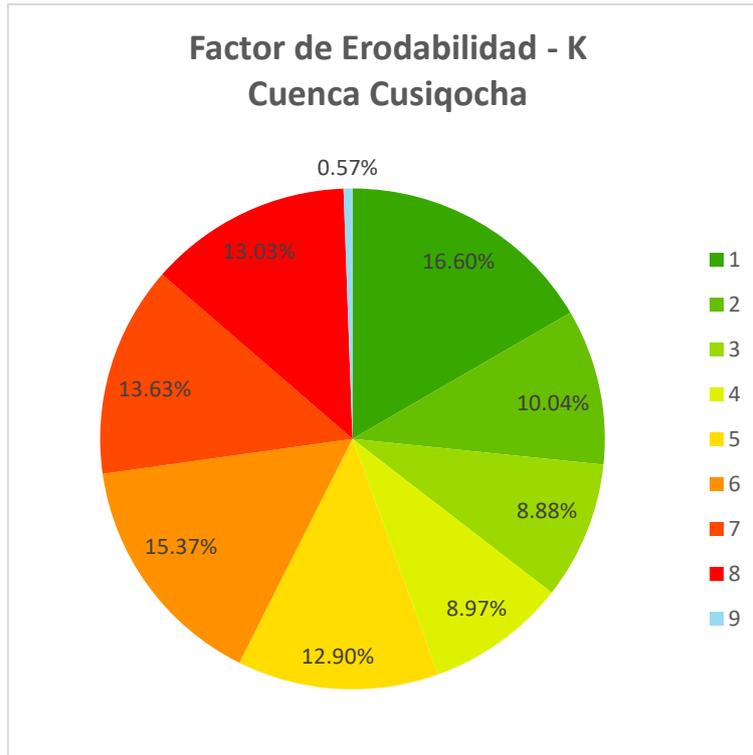




Figura 74. Diagrama circular en porcentajes del factor de erodabilidad



#### 4.1.1.3. Cálculo del factor LS de Topografía

Para el cálculo del factor LS, se multiplicó el factor S de pendiente por el factor L de longitud. En la figura 76 se puede observar que predominan pendientes planas en la cuenca. Como resultado, se obtuvo una pendiente media de 9.72 en la cuenca.

Tabla 40. Superficie ocupada para el factor topográfico

ID	Simbología	Factor LS Pendientes	Area km	Area %
1		0 - 3	1.34	45.87%
2		3 - 12	1.18	40.35%
3		12 - 18	0.15	4.98%
4		18 - 24	0.07	2.38%
5		24 - 30	0.04	1.39%
6		30 - 60	0.08	2.84%
7		60 - 70	0.01	0.38%
8		70 - 100	0.02	0.68%
9		> 100	0.03	1.14%
<b>Total</b>			<b>2.92</b>	<b>1.00</b>



Figura 75. Mapa del factor topográfico

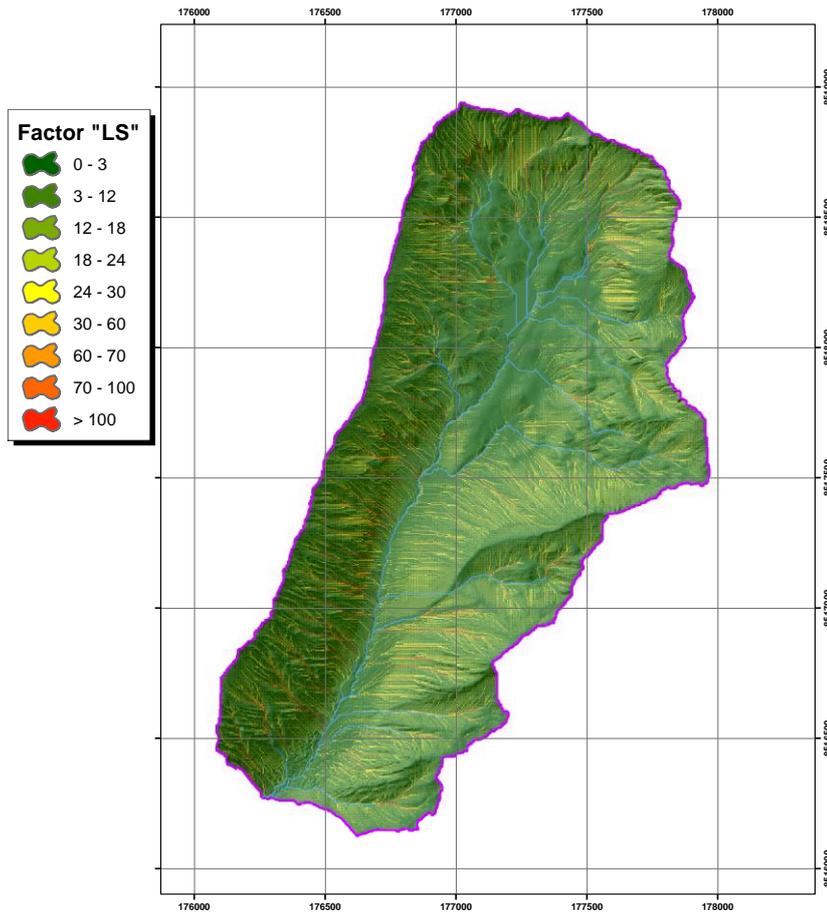


Figura 76. Diagrama de barras del factor topográfico

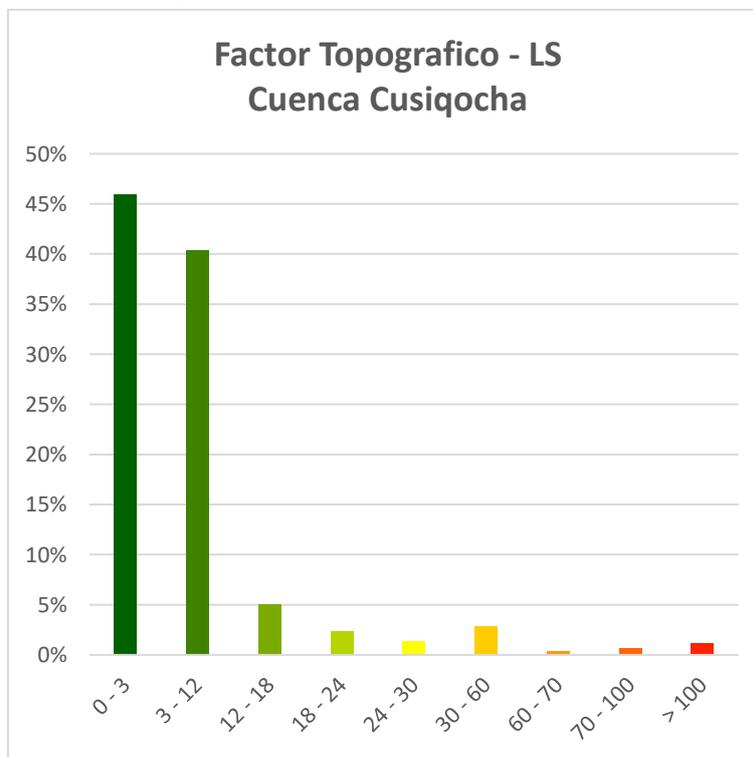
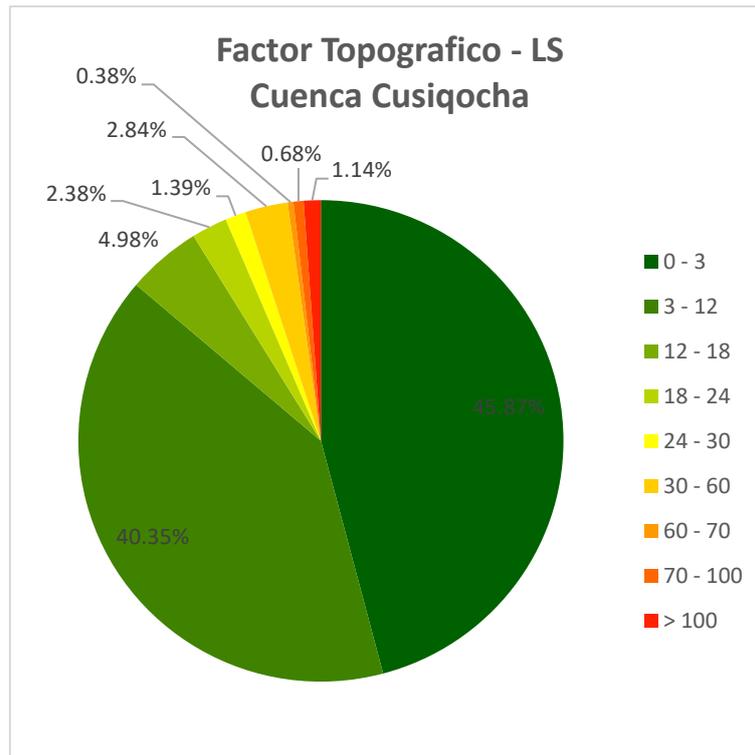


Figura 77. Diagrama circular del factor topográfico



#### 4.1.1.4. Cálculo del factor C de Cobertura vegetal

Para la cobertura vegetal, se asigna un valor de 0 a 1, donde un valor cercano a 0 indica una densa cobertura vegetal y un valor cercano a 1 indica una baja protección por parte de la cobertura vegetal.

Tabla 41. Cuadro de valores para el factor C – Pajonal andino

Tipo y altura de la cobertura	Porcentaje de cubrimiento del suelo					
	Coeficiente C					
	0	20	40	60	80	95-100
Cobertura de pastos bajos	0.450	0.200	0.100	0.042	0.013	0.003
Cobertura de pastos y hierbas (0.5m)	0.360	0.170	0.090	0.038	0.012	0.003
Arbustos (2m)	0.400	0.180	0.090	0.040	0.013	0.003
Arboles (4m)	0.420	0.190	0.100	0.041	0.013	0.003

Fuente: Suarez 2001

Para la cuenca Cusiqocha, se identificó una cobertura vegetal de tipo pajonal andino y césped, que según el Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM), se divide en tres subunidades distintas. Estas incluyen una variedad de hierbas en forma de manojos, con una altura máxima de 80 cm, y una variedad de hierbas de porte bajo con una altura máxima de 15 cm. Se encontraron dos tipos de cobertura vegetal en la cuenca. Como resultado, se estimó un valor promedio de 0.43 para la densidad de la cobertura vegetal en la cuenca Cusiqocha.



Tabla 42. Superficie ocupada por los tipos de cobertura vegetal

ID	Simbología	Descripción	Factor C	Área km	Área %
1		Espejo de agua	0.000	0.016	0.55%
2		Humedal	0.003	0.003	0.09%
3		Pajonal Andino subtipo Césped Denso	0.038	0.657	22.67%
4		Pajonal Andino subtipo Césped muy ralo	0.038	0.459	15.84%
5		Pajonal Andino subtipo Césped Ralo	0.038	0.506	17.46%
6		Pajonal andino subtipo Tólar Denso	0.040	0.046	1.59%
7		Pajonal Andino subtipo Tólar Ralo	0.040	0.001	0.04%
8		Suelo Desnudo	1.000	1.210	41.74%
<b>Total</b>				<b>2.90</b>	<b>1.00</b>

Figura 78. Mapa de factor de cobertura vegetal

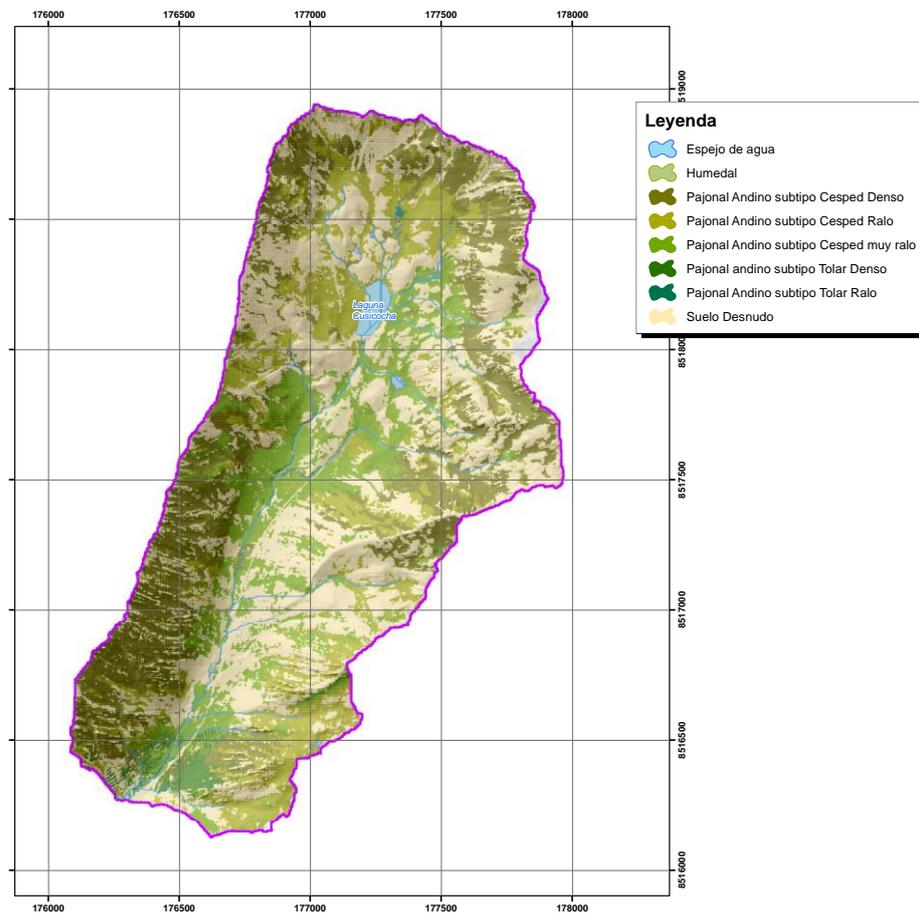




Figura 79. Diagrama de barras del factor de cobertura vegetal

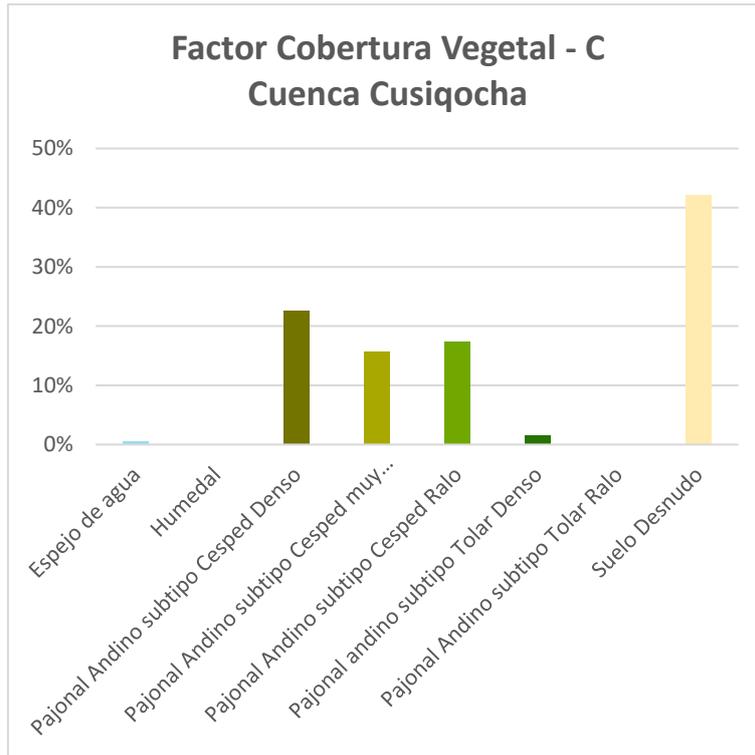
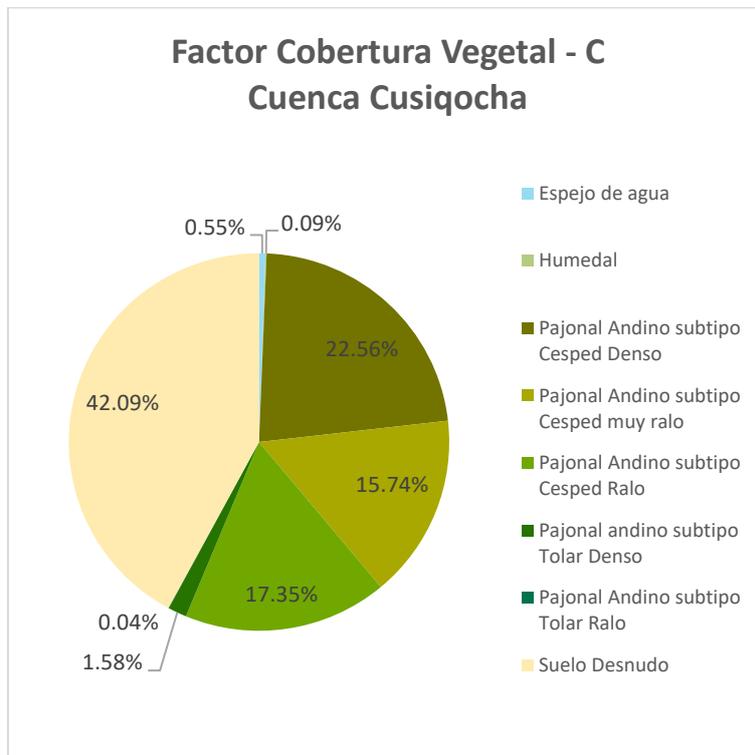


Figura 80. Diagrama circular del factor de cobertura vegetal





#### 4.1.1.5. Cálculo del factor P de Prácticas de conservación

El valor de las prácticas de conservación en la cuenca Cusiqocha varía entre 0 y 1, donde los valores cercanos a 0 indican una menor pendiente. En estas áreas, las zanjas de infiltración ayudan a reducir la escorrentía superficial y disminuir la erosión. Por otro lado, las áreas con valores cercanos a 1 tienen poca o ninguna protección, lo que indica un mayor ángulo de pendiente y mayor riesgo de erosión.

Figura 81. Cuadro de valores para el factor de prácticas de conservación

ID	Simbología	Pendientes %	Factor P	Area km	Area %
1		0 - 2	0.60	0.02	0.82%
2		2 - 5	0.50	0.02	0.64%
3		5 - 8	0.50	0.03	1.18%
4		8 - 12	0.60	0.07	2.33%
5		12 - 16	0.70	0.09	3.16%
6		16 - 20	0.80	0.11	3.85%
7		20 - 25	0.90	0.16	5.48%
8		> 25	1.00	2.41	82.54%
<b>Total</b>				<b>2.92</b>	<b>1.00</b>

Figura 82. Mapa de factor de prácticas de conservación

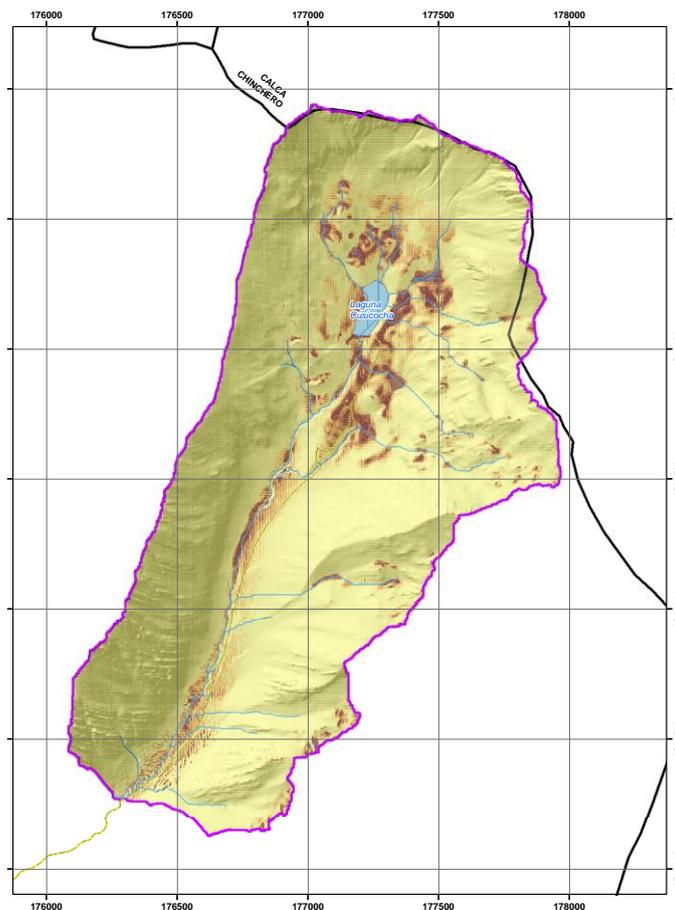




Figura 83. Diagrama de barras del factor de prácticas de conservación

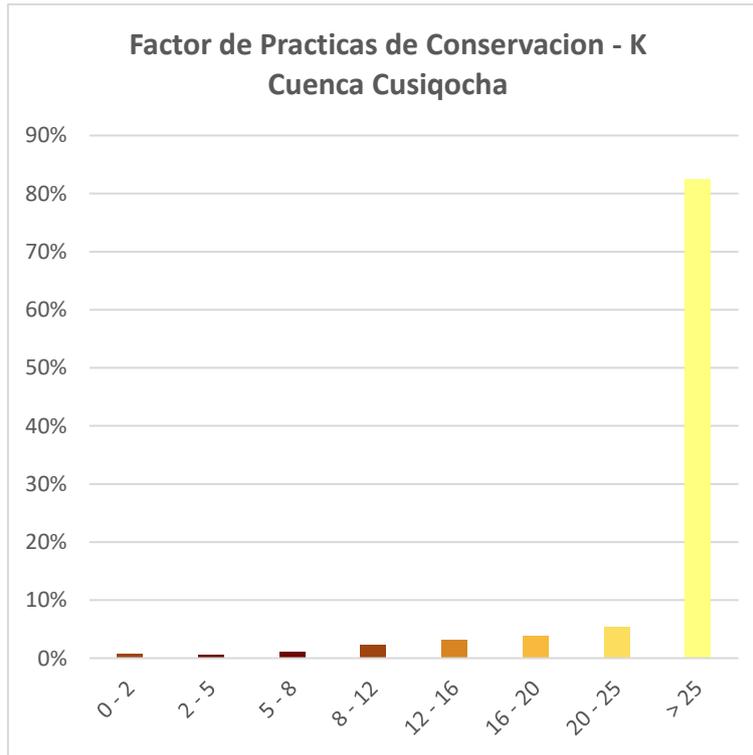
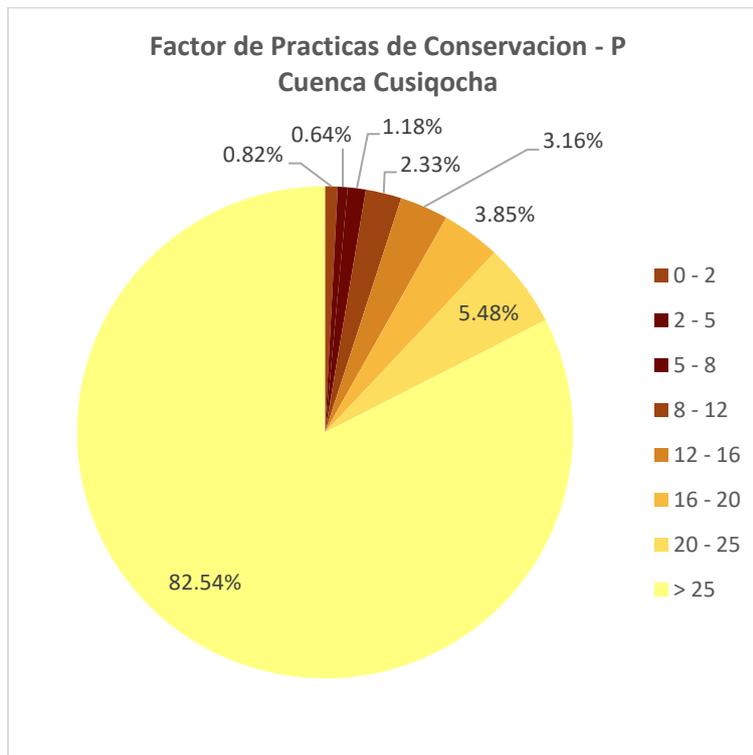


Figura 84. Diagrama circular del factor de prácticas de conservación





**4.1.2.** Estimar tasa promedio anual por erosión hídrica mediante el modelo USLE en la cuenca Cusiqocha, distrito Chinchero, provincia Urubamba – departamento Cusco – 2022

**4.1.2.1. *Evaluación de la tasa promedio anual por erosión hídrica mediante el modelo USLE***

Con el cálculo de la tasa promedio anual por erosión hídrica estimada para la cuenca Cusiqocha utilizando la metodología USLE, se obtuvo un valor promedio de 11.82 t/ha/año para toda la cuenca. Según la clasificación del grado de degradación por erosión hídrica, la cuenca se encuentra en un nivel de erosión hídrica MODERADA. Se observan pérdidas de suelo superiores a 50 t/ha/año en las áreas de pendientes pronunciadas con poca cobertura vegetal. En contraste, se registran pérdidas de suelo menores en las zonas de pendiente plana que cuentan con cobertura vegetal.

Tabla 43. Clasificación de grado de degradación por erosión hídrica FAO

Erosión Hídrica t/ha/año	Grado de degradación
0.0 - 10.0	Ninguna o Ligera
10.0 - 50.0	Moderada
50.0 - 200.0	Alta
> 200	Muy alta

*Fuente: Fao (1980)*

Tabla 44. Superficie con grados de erosión de la cuenca Cusiqocha

ID	Simbología	Rango t/ha/año	Erosión Hídrica	Área km	Área %
1		0.0 - 0.5	Normal	0.94	32.33%
2		0.5 - 5.0	Ligera	0.91	31.50%
3		5.0 - 15.0	Moderada	0.64	21.91%
4		15.0 - 50.0	Severa	0.31	10.72%
5		> 50	Muy severa	0.10	3.55%
<b>Total</b>				<b>2.90</b>	<b>1.00</b>



Figura 85. Diagrama de barras con grados de erosión de la cuenca Cusiqocha

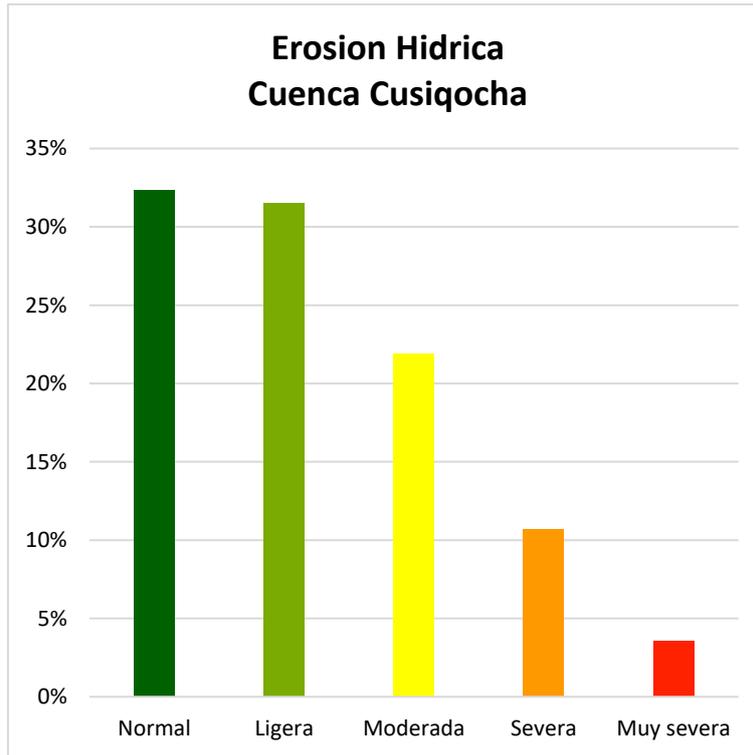


Figura 86. Diagrama circular con grados de erosión de la cuenca Cusiqocha

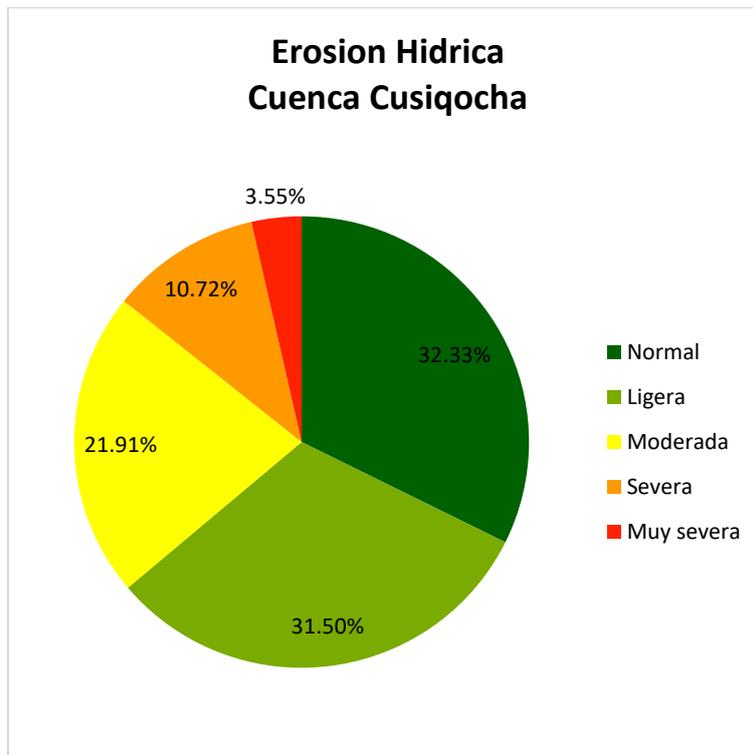
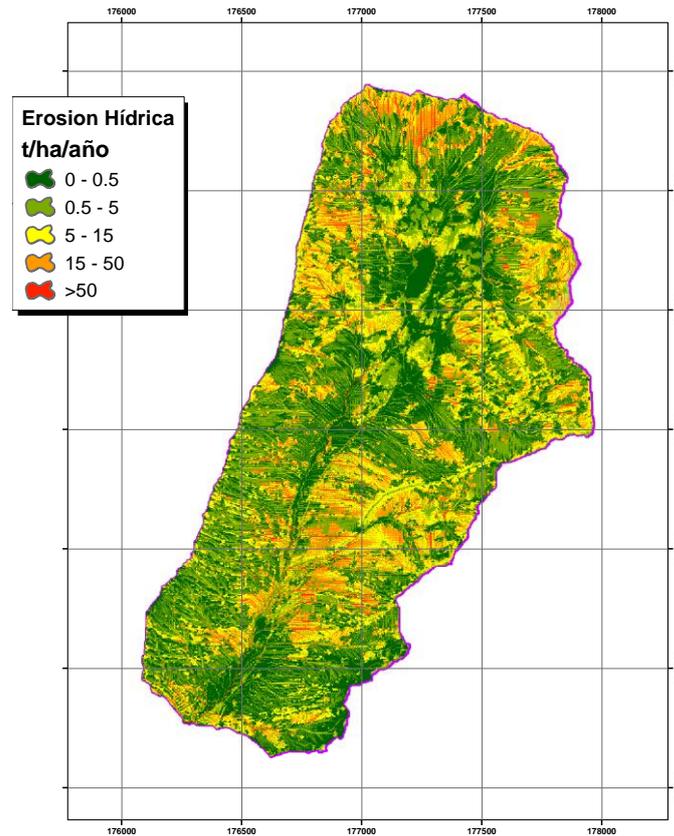




Figura 87. Mapa de la erosión hídrica actual en la cuenca Cusiqocha



Se realizó el cálculo del mapa de erosión hídrica potencial en la cuenca Cusiqocha, considerando que todo el suelo se encuentra desnudo. Se obtuvo una tasa de erosión media de 30.76 t/ha/año, lo que indica un grado de erosión hídrica SEVERA. Este mapa es útil para identificar las áreas más susceptibles a la erosión cuando se produce un cambio en el uso del suelo, permitiendo tomar medidas de conservación y manejo adecuadas en dichas áreas.

Figura 88. Diagrama de barras con grados de erosión hídrica potencial

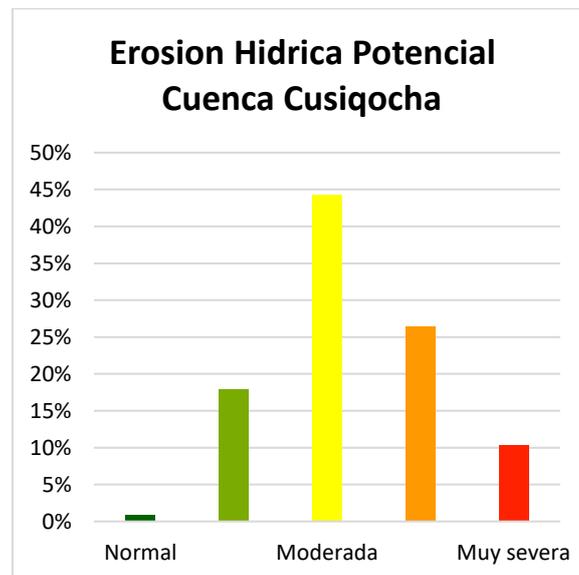




Figura 89. Diagrama circular con grados de erosión hídrica potencial

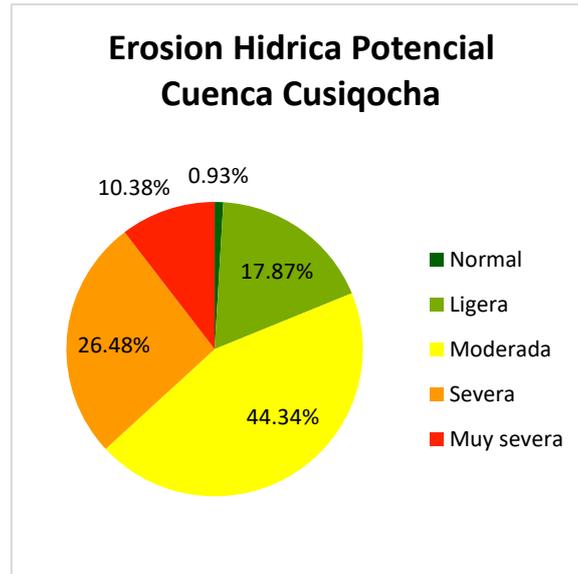
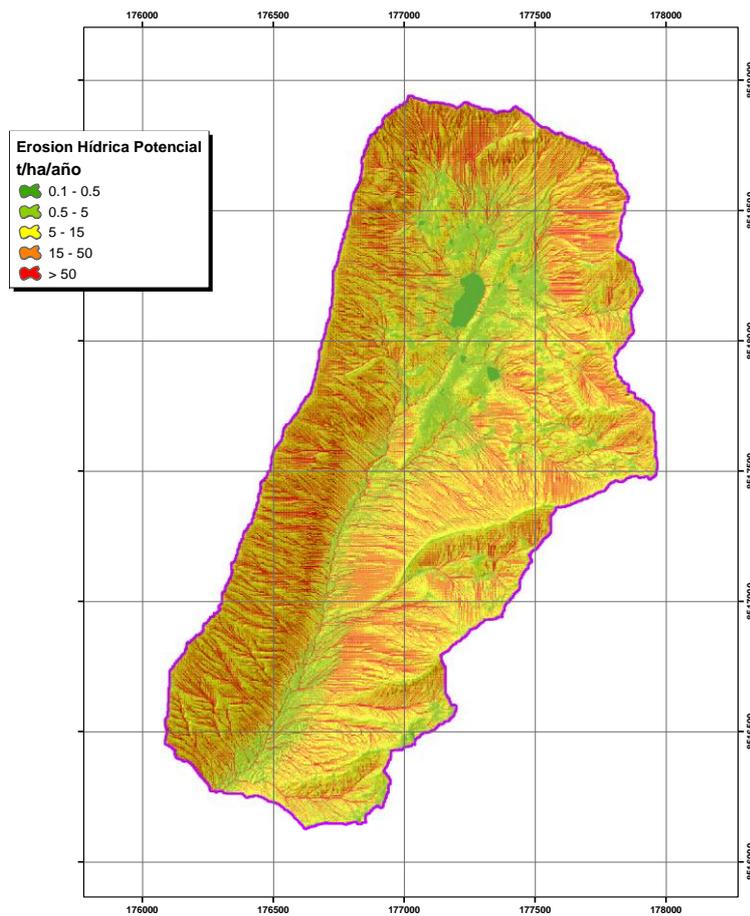


Figura 90. Mapa de erosión hídrica potencial de la cuenca Cusiqocha



**4.1.3.** Estimar la tasa promedio anual por erosión hídrica mediante el modelo SWAT en la cuenca Cusiqocha, distrito Chinchero, provincia Urubamba – departamento Cusco – 2022

**4.1.3.1. Evaluación de la tasa promedio anual por erosión hídrica mediante el modelo SWAT**

En el modelo SWAT, se calcularon las tasas de erosión hídrica a nivel de las unidades de respuesta hidrológica (HRU), las subcuencas y el área total de la cuenca. La tasa anual de erosión hídrica por HRU y subcuencas, así como la tasa anual de sedimento que llega al punto de salida de la cuenca, se estimaron en 17.51 t/ha/año. Estos valores corresponden a un grado de erosión hídrica MODERADA según los criterios establecidos por la FAO vistos en la tabla 42.

Tabla 45. Cuencas delimitadas por el SWAT

Subbasin	Área km <sup>2</sup>	Tasa de Sedimentación t/ha/año
1	1.28	16.72
2	0.64	19.66
3	0.00	1.67
4	0.32	12.06
5	0.17	16.07
6	0.23	22.01
7	0.25	19.81

Figura 91. Cuencas delimitadas por el SWAT

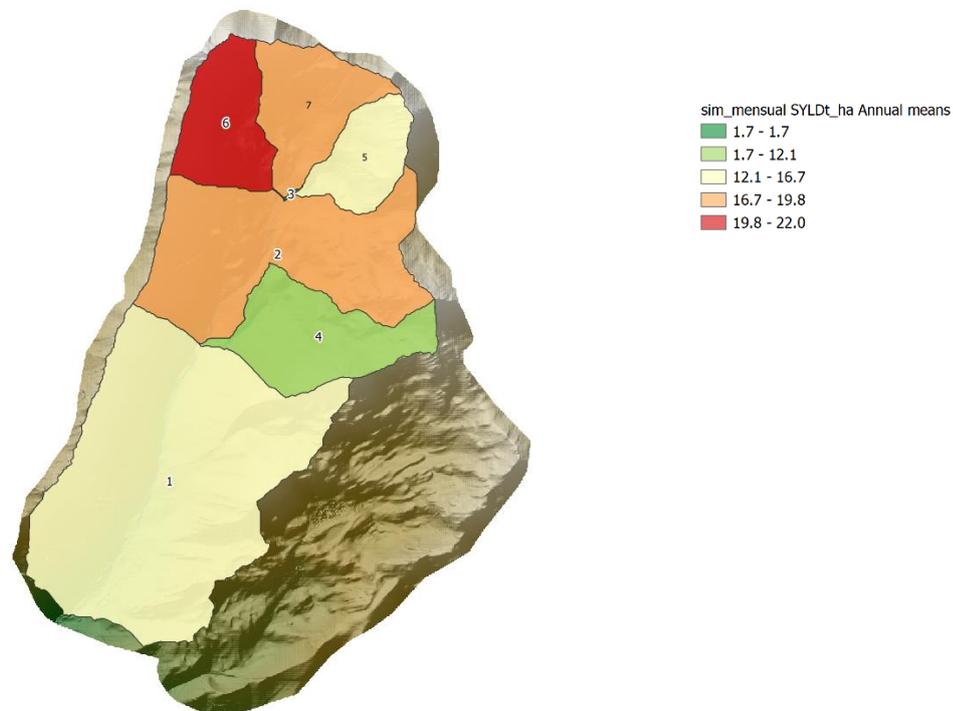


Tabla 46. Valores medios mensual de la Cuenca Cusiqocha



MES	PP mm	TASA DE EROSION t/ha
1	188.19	5.87
2	174.95	3.93
3	141.40	3.62
4	62.90	1.04
5	24.87	0.24
6	3.42	0.00
7	3.82	0.00
8	9.63	0.00
9	30.87	0.00
10	65.62	0.38
11	99.19	0.39
12	148.81	2.15

Figura 92. Distribución anual de Erosión y Precipitación mensual

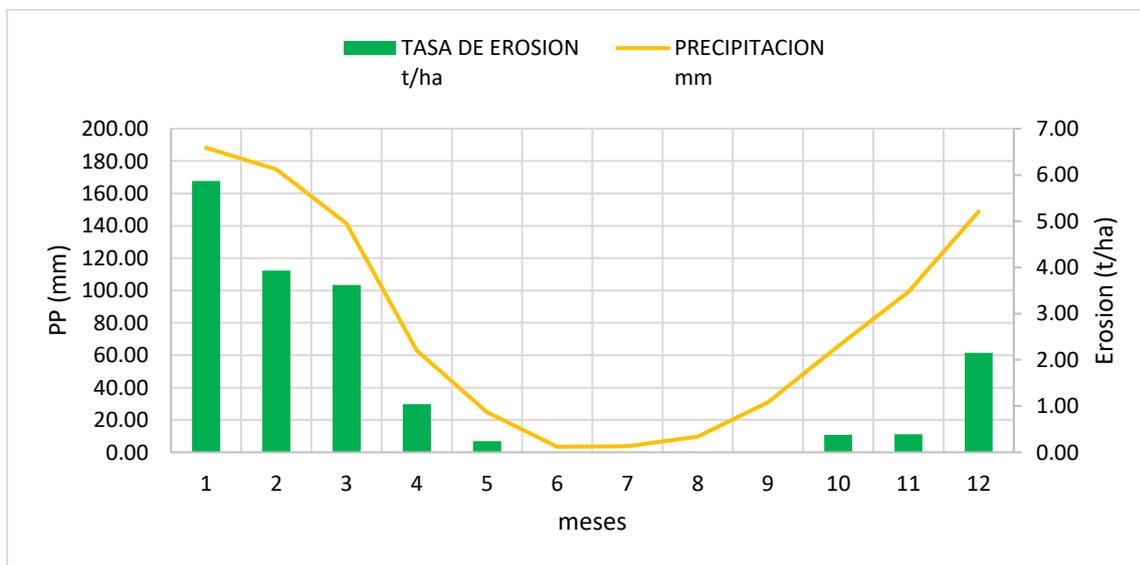


Tabla 47. Valores anuales de la cuenca Cusiqocha

AÑO	PRECIPITACION mm	TASA DE EROSION t/ha
1991	881.00	7.58
1992	763.20	0.80
1993	1018.80	9.96
1994	1096.70	37.32
1995	835.00	29.63
1996	891.40	4.39
1997	974.90	12.75
1998	639.20	13.10
1999	985.10	27.03
2000	959.30	8.37
2001	1186.80	14.43
2002	1177.60	12.00
2003	956.50	7.60
2004	862.60	8.96
2005	709.60	6.00
2006	1026.10	49.36
2007	877.70	44.86
2008	932.80	10.53
2009	964.00	4.68
2010	1063.90	56.70



2011	1170.40	29.45
2012	949.70	5.40
2013	1139.60	22.62
2014	896.80	13.58
2015	946.70	11.49
2016	775.50	6.76

Figura 93. Distribución multianual de Erosión y Precipitación mensual

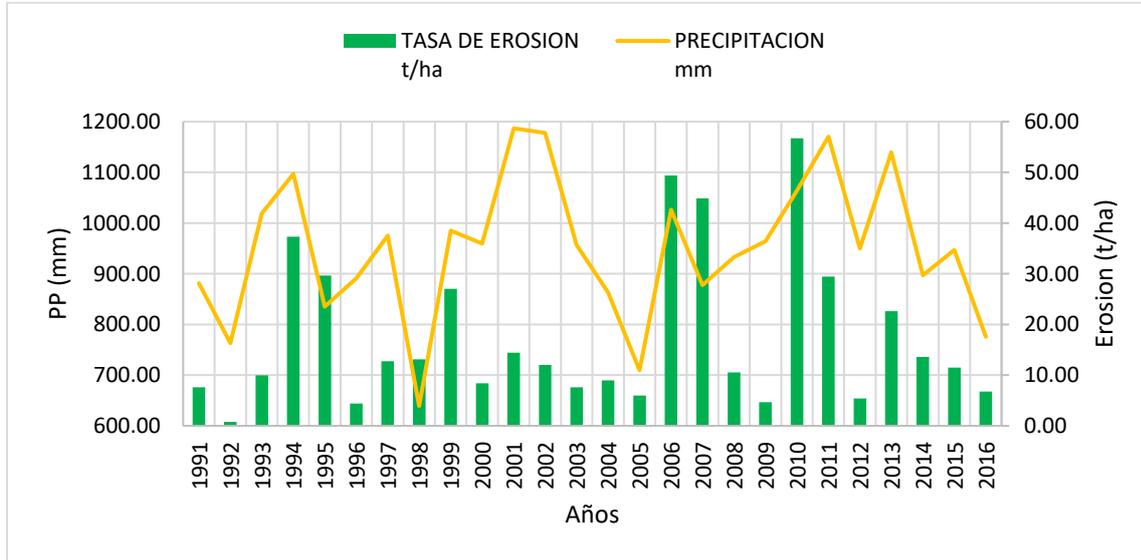


Figura 94. Mapa de erosión generado en el SWAT

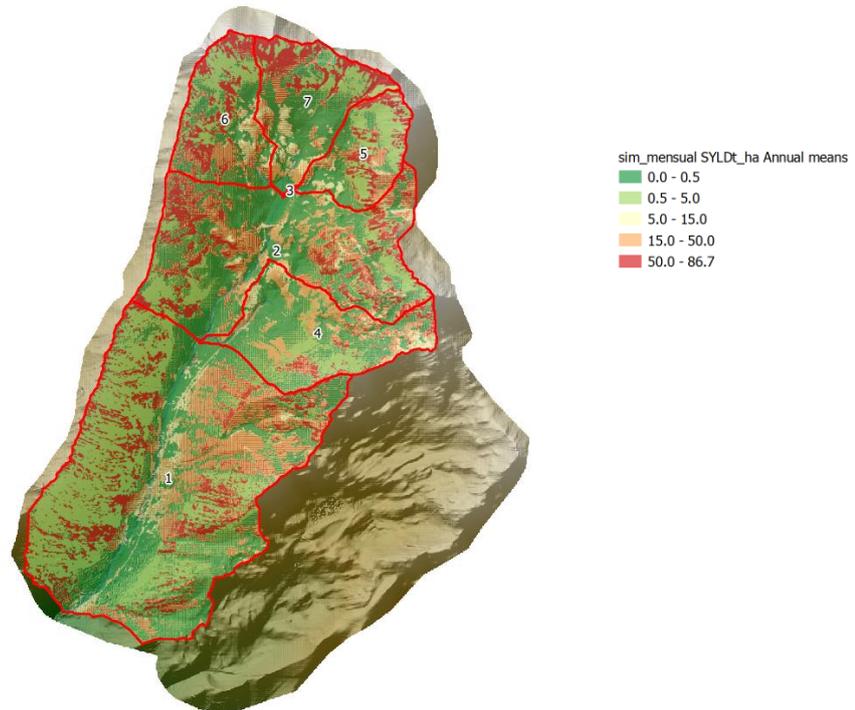


Figura 95. Resultados de la hidrología en la simulación del SWAT

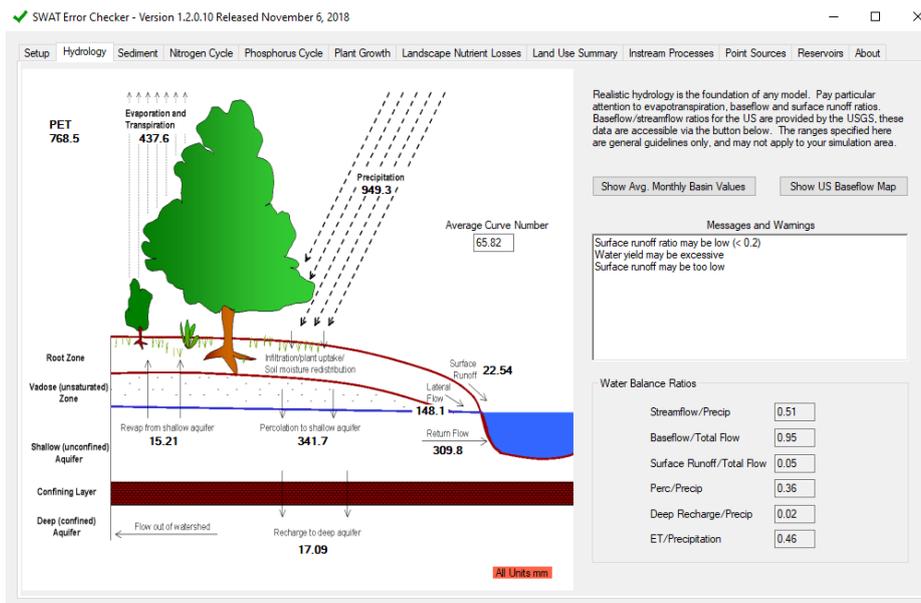
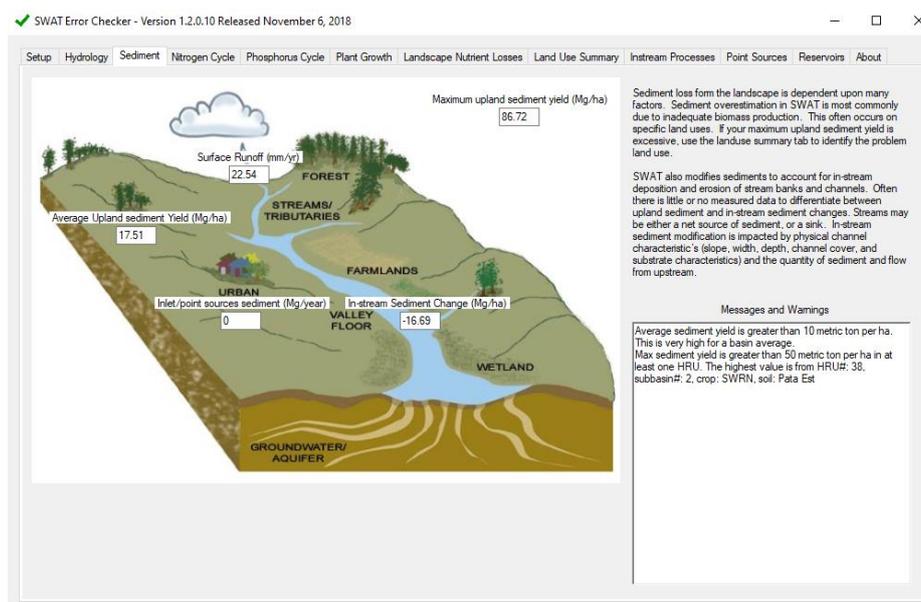


Figura 96. Resultados de los sedimentos en la simulación del SWAT



#### 4.1.4. Evaluación de la tasa promedio anual por erosión hídrica en la cuenca Cusiqocha, distrito en la cuenca Cusiqocha mediante los modelos SWAT y USLE para determinación de los mapas de erosión hídrica a escala de cuenca

Los resultados de la metodología USLE y el modelo SWAT se presentan en la figura 98. Para la metodología USLE, se combinaron los factores en un ráster utilizando la herramienta "Map Algebra" en ArcGIS. Con el fin de mejorar la visualización de los resultados, se clasificaron según las categorías de la tabla 42 proporcionada por la FAO. La figura 98 muestra la distribución de la erosión hídrica en la cuenca Cusiqocha, identificando las áreas con diferentes niveles de erosión: Ninguna o ligera, moderada, alta y muy alta.

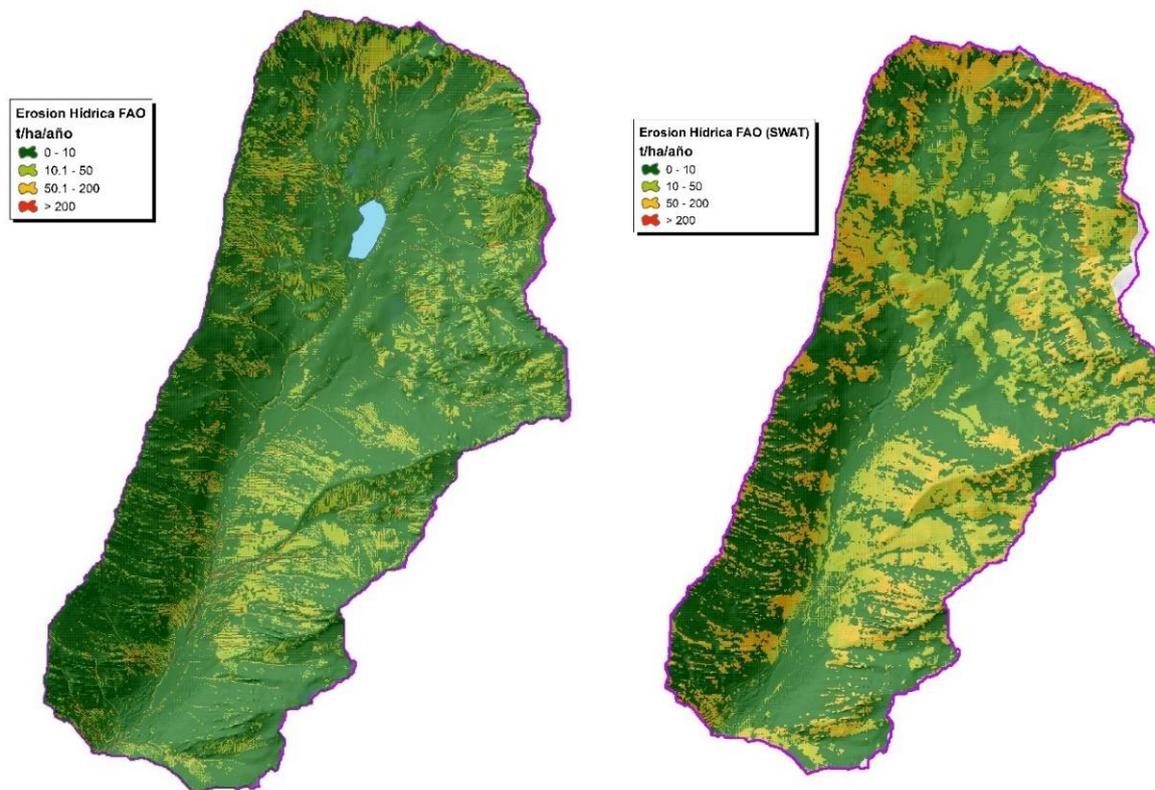
Tabla 48. Resultados de la metodología USLE

Grado de Degradación	tasa promedio anual tn/ha/año	Área ha	Área %
Ninguna o Ligera	< 10	2.31	79.46%
Moderada	10 – 50	0.49	17.01%
Alta	50 – 200	0.08	2.70%
Muy Alta	> 200	0.02	0.84%
		<b>2.90</b>	<b>100.00%</b>

Tabla 49. Resultados del modelo SWAT

Grado de Degradación	tasa promedio anual tn/ha/año	Área ha	Área %
Ninguna o Ligera	< 10	1.81	62.39%
Moderada	10 – 50	0.55	18.87%
Alta	50 – 200	0.54	18.75%
Muy Alta	> 200	0.00	0.00%
		<b>2.90</b>	<b>100.00%</b>

Figura 97. Comparación de mapas de erosión de la metodología USLE y modelo SWAT



## 4.2. RESULTADOS RESPECTO AL OBJETIVO GENERAL

**4.2.1.** Determinación de la tasa promedio anual por erosión hídrica mediante los modelos SWAT y USLE en la cuenca Cusiqocha, distrito Chinchero, provincia Urubamba – departamento Cusco, 2022

Según el modelo USLE, se observa que las tasas de erosión más altas se concentran en las partes más elevadas de la cuenca, especialmente en la región norte. También se identifican áreas de alto riesgo cerca de la parte media y media-alta de la cuenca. Estas áreas presentan factores de



erodabilidad de la lluvia elevados debido a las intensas precipitaciones en la zona, combinados con valores bajos de cobertura vegetal, lo que indica un mayor potencial de erosión.

Por otro lado, el mapa de erosión de suelos elaborado por el modelo SWAT también señala un riesgo potencial de erosión en las mismas áreas. Sin embargo, los valores obtenidos son considerablemente más altos que los calculados mediante el método USLE. El modelo SWAT agrega nuevas áreas potenciales de erosión que no se reflejan en el mapa USLE, especialmente alrededor de la laguna Cusiqocha. Estas áreas presentan un grado de degradación de suelos catalogado como moderado.

En cuanto a la metodología, el modelo SWAT utiliza la ecuación MUSLE en lugar del factor de precipitación, sustituyéndolo por el factor de escorrentía. La escorrentía es considerada una entrada en MUSLE y se utiliza para predecir la producción de sedimentos tanto en eventos de lluvia individuales como a nivel anual. Además, el modelo SWAT (MUSLE) simula la erosión a nivel de unidades de respuesta hidrológica (HRU) y a nivel de la cuenca hidrográfica en su conjunto, a diferencia del método USLE, que no considera estos aspectos. Por lo tanto, el modelo SWAT ofrece un enfoque más integral al considerar el ciclo hidrosedimentológico.



## 5. DISCUSIÓN

### 1.- Descripción de los hallazgos más relevantes y significativos

El procesamiento de datos es crucial para evaluar la tasa promedio anual por erosión hídrica. El modelo SWAT necesita información, como el modelo digital de elevación, mapas topográficos, tipos de suelo, usos del suelo, datos climáticos, entre otros, para estimar la erosión hídrica. Asimismo, la utilización de SIG para estimar la tasa de erosión en la cuenca mediante la técnica de álgebra de mapas es fundamental.

La información cartográfica, los datos de precipitación y el software ArcGIS son herramientas críticas para el análisis de la erosión. La aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE) es un método efectivo para calcular la tasa promedio anual por erosión hídrica y para identificar las áreas más propensas a la erosión.

Es esencial que los datos recopilados sean precisos y confiables para obtener resultados precisos. Los estudios de (Silva-García et al., 2006) destacan la importancia del tratamiento de información para cuantificar la tasa promedio anual por erosión hídrica y las propiedades físicas y químicas relacionadas con la erosión hídrica. También es importante considerar factores ambientales, como la precipitación, la topografía y la vegetación, para obtener una comprensión completa de la erosión hídrica.

### 2.- Limitaciones del estudio

El modelo USLE es ampliamente utilizado para calcular la erosión hídrica, pero tiene algunas limitaciones importantes. Por ejemplo, no tiene en cuenta la variabilidad espacial de los suelos, la pendiente del terreno, la cobertura vegetal, la erosión por viento y otros factores ambientales. Además, el modelo no tiene en cuenta los efectos a largo plazo de la erosión hídrica y los efectos de la erosión en la calidad del agua, la biodiversidad y la salud humana. El cálculo del factor topográfico LS es uno de los mayores desafíos al usar el modelo USLE, ya que se basa en la longitud y la pendiente uniformes, y puede llevar a resultados sobreestimados a escala de cuenca.

El modelo SWAT es una herramienta útil para el cálculo de la erosión hídrica, tiene algunas limitaciones que deben ser tenidas en cuenta. La falta de consideración de factores como la variabilidad espacial del suelo, la pendiente del terreno, la cobertura vegetal y la erosión por viento puede llevar a resultados inexactos. Además, el modelo requiere una gran cantidad de datos precisos para ser efectivo, lo que puede ser un obstáculo para su uso en algunas



situaciones. Por estas razones, es importante que se utilice con precaución y se combinen con otras herramientas y métodos para obtener una visión más completa y precisa de la erosión hídrica en una cuenca.

### **3.- Comparación crítica con la literatura existente**

El modelo USLE (Método Universal de Pérdida de Suelo) y el modelo SWAT son herramientas valiosas para evaluar la erosión hídrica en diferentes tipos de terrenos y condiciones climáticas. El modelo USLE se utiliza en áreas con pendientes suaves y suelos poco susceptibles a la erosión, mientras que el modelo SWAT se utiliza en áreas con pendientes pronunciadas y suelos altamente susceptibles a la erosión.

El modelo USLE es adecuado para situaciones en las que se conocen la pendiente del terreno, la cobertura vegetal y la erosión por viento, y se requiere una estimación rápida de la erosión hídrica. Por otro lado, el modelo SWAT es apropiado para situaciones en las que se requiere una estimación precisa de la erosión hídrica y se conoce la variabilidad espacial de los suelos, ya que requiere una gran cantidad de datos precisos para ser efectivo.

En cuanto a las características de la cuenca, el modelo USLE es más apropiado para cuencas con pendientes bajas y uniformes, mientras que el modelo SWAT es más adecuado para cuencas con pendientes altas y variables. Además, el modelo USLE es adecuado para cuencas pequeñas, mientras que el modelo SWAT es más apropiado para cuencas grandes. Por último, el modelo USLE es adecuado para cuencas con poca variación en la precipitación, mientras que el modelo SWAT es más apropiado para cuencas con variaciones en la precipitación.

### **4.- Implicancias del estudio**

La cobertura vegetal es un factor muy importante en el cálculo de la tasa promedio anual de erosión hídrica. La vegetación proporciona protección al suelo al interceptar las gotas de lluvia y reducir la velocidad del agua, lo que disminuye el efecto erosivo. Además, también se menciona que la vegetación ayuda a mantener la humedad del suelo y a reducir la cantidad de sedimentos que se transportan en el agua. Los estudios realizados también indican que la presencia de vegetación, especialmente bosques o matorral subtropical, tiene un impacto positivo en la reducción de la tasa promedio anual por erosión hídrica. Por lo tanto, se concluye que la cobertura vegetal es un factor clave en el cálculo de la erosión hídrica y su conservación es esencial para controlar los procesos erosivos.



## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

#### *Conclusión 1*

Se logró comprobar la hipótesis general: “La tasa promedio anual por erosión hídrica mediante los modelos SWAT y USLE en la cuenca Cusiqocha, distrito Chinchero, provincia Urubamba – departamento Cusco, varía de 0 a 20% en áreas degradadas dado que el modelo SWAT analiza el ciclo hidrosedimentológico.”. De acuerdo con el desarrollo de la tesis, el modelo USLE se enfoca únicamente en estimar la erosión del suelo, mientras que el modelo SWAT puede simular el ciclo hidrológico completo. Esto incluye la generación de escorrentía, la infiltración, la evaporación y la transpiración de las plantas. Al considerar estos aspectos adicionales, el modelo SWAT proporciona una visión más completa y precisa de los procesos hidrosedimentológicos, lo que resulta en variaciones en las áreas degradadas en comparación con el modelo USLE.

#### *Conclusión 2*

Se logró comprobar la sub hipótesis 1 que dice: “Los factores que tienen mayor influencia en la tasa promedio anual por erosión hídrica para la evaluación del nivel de erosión hídrica en la modelo USLE es el factor R de erosividad y en el modelo SWAT es el factor C de Cobertura Vegetal”. De acuerdo al desarrollo presentado en la presente tesis, se ha determinado que el factor de mayor influencia en la tasa promedio anual por erosión hídrica, utilizando la metodología USLE, es el factor R de erosividad de la lluvia. Este factor está directamente relacionado con las características de la lluvia, como su cantidad, intensidad, duración y energía cinética, y juega un papel fundamental en la capacidad de la lluvia para provocar erosión en el suelo.

Por otro lado, en el caso del modelo SWAT, se ha identificado que el factor más significativo en la tasa de erosión hídrica es el factor C de cobertura vegetal y uso de suelo. Este factor tiene en cuenta la presencia y la calidad de la vegetación en el área estudiada, y su influencia en la protección del suelo contra la erosión. Es importante destacar que este factor puede variar en función de las condiciones climáticas, el manejo del suelo y las actividades humanas que afecten la cobertura vegetal en la zona.



*Conclusión 3*

Se logró comprobar la sub hipótesis 2 que dice: “La tasa promedio anual por erosión hídrica mediante el modelo USLE será mayor a 10 t/ha/año con un grado de degradación moderada”. De acuerdo a los resultados obtenidos mediante la metodología USLE, se estima una tasa promedio anual por erosión hídrica de 11.82 t/ha/año en la cuenca Cusiqocha.

*Conclusión 4*

Se logró comprobar la sub hipótesis 4 que dice: “La tasa promedio anual por erosión hídrica mediante el modelo SWAT estará entre 10 y 50 t/ha/año”. De acuerdo a los resultados obtenidos mediante el modelo SWAT, se estima una tasa promedio anual por erosión hídrica de 17.51 t/ha/año en la cuenca Cusiqocha.

*Conclusión 5*

Se logró comprobar la sub hipótesis 4 que dice: “La variación de la tasa promedio anual por erosión hídrica a escala de cuenca mediante los modelos SWAT y USLE es significativa, ya que el modelo SWAT incorpora componentes hidrológicas adicionales”, de acuerdo a los resultados obtenidos en los mapas de tasa promedio anual de erosión hídrica generados a partir del modelo SWAT y USLE se puede observar en más detalle la erosión en la cuenca Cusiqocha, donde presenta menores porcentaje de áreas con erosión ligera y mayores áreas de erosión moderada y alta en comparación al modelo SWAT

Tabla 50. Tasa promedio anual por erosión hídrica de los modelos SWAT y USLE

Grado de Degradación	Perdida de Suelo tn/ha/año	SWAT ha	SWAT %	USLE ha	USLE %
Ninguna o Ligera	< 10	1.81	62.39	2.30	79.46
Moderada	10 – 50	0.55	18.87	0.49	17.01
Alta	50 – 200	0.54	18.75	0.08	2.70
Muy Alta	> 200	0.00	0.00	0.02	0.84
		<b>2.90</b>	<b>100.00</b>	<b>2.90</b>	<b>100.00</b>

*Fuente: elaboración propia*



## Recomendaciones

- Se recomienda la concienciación de la comunidad de Taucca, promovida por la EPS SEDA, que es la beneficiaria y responsable del manejo y gestión de los recursos hídricos para llevar a cabo actividades de conservación en la cabecera de la cuenca Cusiqocha, mediante especies arbustivas nativas que sean resistentes a las variaciones de temperaturas y la elevación del lugar.
- Se recomienda a la EPS SEDACUSCO, en conjunto con el Comité de Gestión de la Microcuenca Piuray Ccorimarca y la Junta de Agua y Saneamiento de la Comunidad, llevar a cabo mediciones de caudales y/o sedimentos a lo largo de un año. Estas mediciones serán útiles para realizar calibraciones en los modelos hidrológicos desarrollados para la cuenca, lo que aumentará la confiabilidad de los resultados y permitirá validar el modelo.
- Se recomienda la implementación de un mayor número de estaciones hidrometeorológicas para el monitoreo y registro de precipitaciones y caudales, lo que permitirá una mejor calibración de los modelos aplicados.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alatorre, L. C., & Beguería, S. (2009). *Los modelos de erosión: Una revisión*.  
<https://digital.csic.es/handle/10261/92858>
- Brooks, K. N., Ffolliott, P. F., & Magner, J. A. (2012). *Hydrology and the Management of Watersheds*. John Wiley & Sons.
- Camacho-Zorogastúa, K. del C., Gómez-Lora, J. W., Gallo-Ramos, V. H., & Camacho-Zorogastúa, P. M. (2022). *Guía práctica de erosión hídrica. Casos de estudio: Subcuenca Cumbaza y Yuracyacu – Amazonía peruana* (Primera edición; 978-612-48791-1-1).
- Endara Huanca, S. M. (2016). Ciclos horarios de precipitación en el Perú utilizando información satelital. *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú*.  
<http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/112>
- Fangmeier, D. D., Elliot, W. J., Workman, S. R., Huffman, R. L., & Schwab, G. O. (2005). *Soil and Water Conservation Engineering*.
- FAO. (1980). *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- FAO. (2016). *Estado mundial del Recurso Suelo: Resumen tecnico*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Huerta-Olague, J. de J., Oropeza Mota, J. L., Guevara Gutiérrez, R. D., Ríos Berber, J. D., Martínez Menes, M. R., Barreto García, O. A., Olguín López, J. L., & Mancilla Villa, O. R. (2018). Efecto de la cobertura vegetal de cuatro cultivos sobre la erosión del suelo. *Idesia (Arica), ahead*, 0-0. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292018005000701>



INETER. (2005). *EROSIÓN HÍDRICA: Mapas de Amenazas.*

<https://webserver2.ineter.gob.ni/geofisica/proyectos/metalarn/erosion.pdf>

Kirby, M. J. (1994). *EROSION DE SUELOS.* (1a. ed.). LIMUSA NORIEGA,.

Lianes, E., Marchamalo, M., & Roldán, M. (2009). EVALUACIÓN DEL FACTOR C DE LA  
RUSLE PARA EL MANEJO DE COBERTURAS VEGETALES EN EL CONTROL  
DE LA EROSIÓN EN LA CUENCA DEL RÍO BIRRÍS, COSTA RICA. *Agronomía  
Costarricense.*

López Yepes, J. (1995). *La aventura de la investigación científica: Guía del investigador y del  
director de investigación.* Síntesis.

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=169043>

Merritt, W. S., Letcher, R. A., & Jakeman, A. J. (2003). A review of erosion and sediment  
transport models. *Environmental Modelling & Software*, 18(8), 761-799.

[https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(03\)00078-1](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(03)00078-1)

Ministerio del Ambiente, M. (2020). *Evaluación del estado de conservación y estrategias de  
manejo de los ecosistemas de la microcuenca de la laguna Piuray.*

[https://sinia.minam.gob.pe/documentos/evaluacion-estado-conservacion-estrategias-  
manejo-ecosistemas-0](https://sinia.minam.gob.pe/documentos/evaluacion-estado-conservacion-estrategias-manejo-ecosistemas-0)

Moreno Díaz, A., & Renner, I. (2007). *Gestión integral de cuencas: La experiencia del  
Proyecto Regional Cuencas Andinas.* Centro Internacional de la Papa : CONDESA :  
REDCAPA : Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo : GTZ.

Morgan, R. P. C. (2005). *Soil erosion and conservation* (3rd ed). Blackwell Pub.

Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., & Srinivasan, R. (2012). *Soil and Water Assessment  
Tool. Input/output file documentations. Version 2012.*



- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R., & Williams, J. R. (2009). *Soil and Water Assessment Tool*. 647.
- Nunez Crespi, S., Perez Martinez, M., Cuesta Santianes, M. J., & Cabrera Jimenez, J. A. (2007). *Procesos de Degradation del Suelo* (1120; p. 88). M -14226-1995.
- Palella Stracuzzi, S., & Martins Pestana, F. (2012). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION CUANTITATIVA*.
- Pennock, D. J., Lefevre, C., Global Soil Partnership, & Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2019). *Soil erosion: The greatest challenge for sustainable soil management*.
- Puerta Tuesta, R., Rengifo Trigozo, J., & Bravo Morales, N. (2011). *ArcGIS Basico 10*. 148.
- Sánchez Aragonés, L. A., Ramos Taípe, C. L., & Tupayachi Herrera, A. (2013). *Plan de Gestión de Recursos Hídricos de la Microcuenca de la Laguna de Piuray. I*.
- Silva-García, J. T., Ochoa-Estrada, S., & Cristóbal-Acevedo, D. (2006). *CALIDAD QUÍMICA DEL AGUA SUBTERRÁNEA DE LA CIÉNEGA DE CHAPALA COMO FACTOR DE DEGRADACIÓN DEL SUELO*.
- Suarez Diaz, J. (2001). *Control de erosión en zonas tropicales*. Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos.
- Williams, J. R. (1995). The EPIC model. *Computer Models of Watershed Hydrology*., 909-1000.



## ANEXOS



## 5.1. MATRIZ DE CONSISTENCIA



MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: EVALUACIÓN DE LA TASA PROMEDIO ANUAL POR EROSIÓN HÍDRICA MEDIANTE LOS MODELOS SWAT Y USLE EN LA CUENCA CUSIQOCHA, DISTRITO CHINCHERO, PROVINCIA URUBAMBA – DEPARTAMENTO CUSCO, 2022

1. PROBLEMA		2. OBJETIVOS		3. HIPOTESIS	
1.1. Problema General.		2.1. Objetivo general.		3.1. Hipótesis General	
¿Cuál será la tasa promedio anual por erosión hídrica mediante los modelos SWAT y USLE en la cuenca Cusiqocha, distrito Chinchero, provincia Urubamba – departamento Cusco, 2022		Evaluar la tasa promedio anual por erosión hídrica mediante los modelos SWAT y USLE en la cuenca Cusiqocha, distrito Chinchero, provincia Urubamba – departamento Cusco, 2022		La tasa promedio anual por erosión hídrica mediante los modelos SWAT y USLE en la cuenca Cusiqocha, distrito Chinchero, provincia Urubamba – departamento Cusco, varía de 0 a 20% en áreas degradadas dado que el modelo SWAT analiza el ciclo hidrosedimentológico.	
1.2. Problemas Específicos:		2.2. Objetivos Específicos:		3.2. Sub – Hipótesis.	
PE <sub>1</sub>	¿Cuáles son los factores que tienen mayor influencia en la tasa promedio anual por erosión hídrica para los modelos USLE Y SWAT en la cuenca Cusiqocha, distrito Chinchero, provincia Urubamba – departamento Cusco, 2022?	OE <sub>1</sub>	Calcular los factores que influyen en la tasa promedio anual por erosión hídrica en los modelos USLE y SWAT en la cuenca Cusiqocha, distrito Chinchero, provincia Urubamba – departamento Cusco – 2022	SH <sub>1</sub>	Los factores que tienen mayor influencia en la tasa promedio anual por erosión hídrica para la evaluación del nivel de erosión hídrica en la modelo USLE es el factor R de erosividad y en el modelo SWAT es el factor C de Cobertura Vegetal
PE <sub>2</sub>	¿Cuál será la tasa promedio anual por erosión hídrica mediante el modelo USLE en la cuenca Cusiqocha, distrito Chinchero, provincia Urubamba – departamento Cusco, 2022?	OE <sub>2</sub>	Estimar tasa promedio anual por erosión hídrica mediante el modelo USLE en la cuenca Cusiqocha, distrito Chinchero, provincia Urubamba – departamento Cusco – 2022	SH <sub>2</sub>	La tasa promedio anual por erosión hídrica mediante el modelo USLE será mayor a 10 t/ha/año con un grado de degradación moderada.
PE <sub>3</sub>	¿Cuál será la tasa promedio anual por erosión hídrica mediante el modelo SWAT cuenca Cusiqocha, distrito Chinchero, provincia Urubamba – departamento Cusco, 2022?	OE <sub>3</sub>	Estimar la tasa promedio anual por erosión hídrica mediante el modelo SWAT en la cuenca Cusiqocha, distrito Chinchero, provincia Urubamba – departamento Cusco – 2022	SH <sub>3</sub>	La tasa promedio anual por erosión hídrica mediante el modelo SWAT estará entre 10 y 50 t/ha/año.
PE <sub>4</sub>	¿Cómo varía la tasa promedio anual por erosión hídrica a escala de cuenca mediante los modelos SWAT y USLE para la determinación de los mapas de erosión hídrica de la cuenca Cusiqocha, distrito Chinchero, provincia Urubamba - departamento Cusco, 2022?	OE <sub>4</sub>	Evaluar la tasa promedio anual por erosión hídrica en la cuenca Cusiqocha, distrito Chinchero, provincia Urubamba - departamento Cusco, 2022 mediante los modelos SWAT y USLE para determinación de los mapas de erosión hídrica a escala de cuenca	SH <sub>4</sub>	La variación de la tasa promedio anual por erosión hídrica a escala de cuenca mediante los modelos SWAT y USLE es significativa, ya que el modelo SWAT incorpora componentes hidrológicas adicionales



## 5.2. REGISTROS DE PRECIPITACIÓN

### Registro de precipitación mensual de la estación Anta

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO											
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA													
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL													
TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL													
"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA COBERTURA VEGETAL SOBRE LA PERDIDA DE SUELO EN LA CUENCA CUSICOCHA -DISTRITO DE CHINCHERO – PROV URUBAMBA -DEPATAMENTO DE CUSCO"													
GUIA DE OBSERVACIÓN													
Asesor: Ing. Jackeline Alejandra Pelaez Gamarra						Responsable:			Bach. Sadam Hossien Ayma Villagra				
ESTACION: ANTA ANCACHURO													
LATITUD: -13.468				DISTRITO: ZURITE									
LONGITUD: -72.216				PROVINCIA: ANTA									
ALTITUD: 3340 msnm.				DEPARTAMENTO: CUSCO									
PARÁMETRO: PRECIPITACION MENSUAL (mm)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1964						0	0	0	28.5	42.5	55.9	58.3	
1965	130.7	134.4	106.5	71.5	4.5	0	1	0	0	31	78.5	156	
1966	104	115.4	52.9	36	22.5		0	5	48.5	89.5	109	46.9	
1967	62.4	120.6	164.4	53	10.4	2.1	17	12.6	2	87.1	80.4	107	
1968	111.8	136.8	110	31.8	3	2	35	8.4	21.6	34.8	164.2	107	
1969	148.4	104.2	159.2	29.8	0	3.2	9.4	0	24.6	28	109.6	110.5	
1970	163.5	126.4	95.6	77.8	1.4	0	3	0	44.6	56	80.4	209.4	
1971	159.8	151.6	94.6	36.2	1	0.1	0	9.8	1.4	66.4	71.8	149.5	
1972	207.2	52.2	150.7	42.6	0.6	0	12.2	27.6	19.8	12.6	78.3	126.8	
1973	219.6	191.2	107.2	72.6	12	2.8	10.4	8.7	17.2	26	101.2	118.8	
1974	146.4	186.7	143	60.8	9.2	17.8	0	41.2	10.8	29	38.4	101.2	
1975	107.6	198.2	89.2	79.5	13	1.4	0	1	27	28	55	207.2	
1976	143.7	112.1	138.8	52.4	11	10.4	27	0	29	9.2	48	90	
1977	118.4	127.3	113.3	51	4.2	0	0	5	20.4	84.4	175	125.1	
1978	172.2	93.2	142.8	60.5	13.2	0	0	0	16.5	7.4	103	104.6	
1979	80	123	140	49.4	10.6	0	0	6.6	12	22	95.6	113.6	
1980	98	118	154.8	15.4	4	0	1	2.2	2.4	76.8	92	93.8	
1981	156.5	101.6	150.5	113.5	5.7	2	0	10.7	35	86.3	78.9	105.7	
1982	236.7	140.8											
1983													
1984											65		
1985	79	83	57	57	0	0	0	0	23	52.8	128.3	132.7	
1986	100.1	152.1	115.8	44.8	18.7	0	0	0	0	24.8	62.5	80.8	
1987	190.1	134.2	73.2	0	0		33.4	0	0	25.2	100.6	165	
1988	223.3	138.5	241.5	93.6	0	0	0	0	0	8.1	43	107.3	
1989	191.3	97.6	136.4	30.2	26.3	0	0	4.4	6.1	24.2	50	34.9	
1990	129.8	59.3	24.6	3.2	0	36.6	0	16.6	15	122.4	86.8	36.6	
1991	53.9	180.3	123	27.5	0	23.3	0	0	4.4	44.6		69	
1992	130.6	136	40.8	18.8	3.8	16.8	0	0	0	0	0	0	
1993	145.1	428.7	107.3	35.9	6.8	0	0	22.8	59.4	192.4	224.4		
1994		384.1	418.9	49.1	32.5		0	0.3	39.5	87	186	255.7	
1995	194.7	47.5	224.9	19.9	1.8	5.2	0.6	0	22.8	15.6	94.6	313.3	
1996	414.5	359.5	122.8	29.2	4.8	0.6	0.2	13.3	18.8	44	87.3	234	
1997		126.9	158.9	26.4	8.8	0	0	15.5	7.1	67.5	165.3	362.8	
1998	163.7	128.6	131.6		0	3.4	0	0.3	11.5	62.8	60.6	65.1	
1999	294.2	341	193.1	73.3	0.8	0	0.2	6.2	60.9	91.5	110.4	211.3	
2000	188	210.7	143.8	40.8	1.6	18.5	0.6	5.4	13.9	147.7	43.6	189.7	
2001		186.2	404.9	33.7	11.4	0	40	37	19.4	150.1	89.3	135.4	
2002	185.4	296.7	220.1	78.5	25.6	16.9	76	9.9	59.8	105.8	114.8	170.8	
2003	170.3	180.4	215.1	23.9	7	7.5	0	31.2	10.8	65.1	39.1	173	
2004	251.7	182.5	53.4	47.8	2.5	26.9	25.7	11.1	35.2	51.9	86.2	122.8	
2005	109.3	97.3	88.6	35.6	1.8	0	4	11.8	9	30.6	64.6	129.6	
2006	212.6	143.8	143.5	68.8	0.3	13.6	0	1.6	5.4	68.4	100.9	116.3	
2007	121.3	114.8	92.7	95.1	30.4	0	0.8	0	2.6	71	89.9	184.4	
2008	146.7	124.4	89.7	18.1	8.2	1.5	0	8.5	14.6	122.8	161	117.7	
2009	162.9	173.1	96.3	11	14.9	0	19.3	0	17.5	34.8	288.7	132.3	
2010	289	194.2	148.5	26.4	1.2	5.2	3.4	3.5	12.1	89.6	54.7	184.9	
2011	139.5	269.3	214.8	78.9	13.6	10.3	11	16.6	52.2	89.4	72.8	152.5	
2012	136.3	177.8	110.6	47.5	1.8	2.8	4.4	0	45.1	26.8	135.3	197.7	
2013	161.6	151.1	75.6	7	1.9	6.1	0.1	18.3	3.2	104.5	110.3	158.9	
2014	134.5	122	71.1	46.3	8.9	0	0	1.3	11.5	62.9	37.6	160.8	
2015	180.9	101.4	81.5	79.2	2.9	2.3	6.2	7.2	31.5	50.9	75.4	110	
2016	140.9	240.1	70.9	25	7.3	0.3	3	17.7	18.2	71.6	85.6	98.8	
2017	107.9	116.5	166.9	69.2	7.5	0	1.8	17.4	11	71.9	86	92	
2018	145	189.4	139.6	37.6	3.1	24.2	19.7	27.5	8.5	73.6	62.7	71.5	

Fuente: Elaboración propia – Información SENAMHI



Registro de precipitación mensual de la estación Chitapampa

	<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>		
<b>TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL</b>			
<b>"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA COBERTURA VEGETAL SOBRE LA PERDIDA DE SUELO EN LA CUENCA CUSICOCHA -DISTRITO DE CHINCHERO – PROV URUBAMBA -DEPATAMENTO DE CUSCO"</b>			
<b>GUIA DE OBSERVACIÓN</b>			
Asesor:	Ing. Jackeline Alejandra Pelaez Gamarra	Responsable:	Bach. Sadam Hossien Ayma Villagra
<b>ESTACION:</b>	LATITUD: -13.4167	<b>DISTRITO:</b>	SAN SEBASTIAN
<b>CHITAPAMPA</b>	LONGITUD: -71.9667	<b>PROVINCIA:</b>	CUSCO
	ALTITUD: 3298 msnm.	<b>DEPARTAMENTO:</b>	CUSCO

**PARÁMETRO: PRECIPITACION MENSUAL**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1964												
1965	53	102	139	79.14			0	0	81	41.23		221
1966	120.5	187	102	18.9	54.7	0	0	0	29.5	48.6	89.3	52.6
1967	68.2	69.2	114.1	21.3	2.5	0	16.2	17.3	27.7	66.9	75.5	111.4
1968	129.4	148.8	83.3	24.6	4.5	6.6	40.4	32.1	22.9	29.6	102.4	74.4
1969	167.9	104.5	88.8	22	0	3.4	7.8	0	4.9	21.5	58.5	66.6
1970	121.1	70.3	122.7	78.2	3.4	1.2	1.2	4.7	34	54	45.4	220.7
1971	206.2	185.6	130	40.8	2.4	0.9	0	0	9	62.6	29.4	126
1972	114.7	52	39	12.9	0	0	2.2	29	2.2	0	76.6	96
1973	211.3	117.9	111.9	59.1	10.7	0	0	0	1.5	52.1	104.1	80.6
1974	126.9	170.2	127.6	30.1	9.3	8.8	0	28.8	13.1	32.65		
1975		141.4	51.4	64.7	40.4	2.1	0	0.1	6.1	56.8	47.3	119.6
1976	189.3	30.4	68.2	66.3	23.9	2	0	0	30.8	16.6	32.8	90.6
1977	117.2	134.8	64.1	25.2	0.3	0	15.9	2.3	7.9	29.6	87.5	89.9
1978	170.9	113.7	93.1	5.6	17.5	1	0	0	3.5	24.5	88.8	199.8
1979	256.6	208.7	63.3	25.6	39	0	18	19.7	16.5	33.9	185	110
1980	89.7	135.1	107	17	9	0	3	0	3	74.2	56.4	65
1981	227.4	86.8	97.9	62.8	4	4	0	5.3	38.6	98	121.4	140.3
1982	172.5	145.5	125.3	49.6	4	5.6	6	15.3	26.79		133	95.2
1983	151.7	45.5	49.5	51.5	0	5	0	0	0	12	76	89
1984	200.1	138.9	54.1	70.3	1	19	9	18.5	5	109.4	72.3	76
1985	87.5	111.3	71.5	36	9	38	7.3	0	36	49	59.5	125.5
1986	42	37	117	45.03	5	0	2	9.3	3	21.9	84.5	106.5
1987	258.1	72.3	55	8.3	0.5	9	13	0	0	42	72.3	120
1988	218.4	119	166.1	110	11	0	0	0	12	30.2	57.5	154
1989	163.7	126	129.8	63.8	6	7.2	0	14.5	5	107.4	65.9	89.7
1990	238.8	80.2	66	50.6	14	59.1	0	6.8	30.3	89.9	118	78.01
1991	77.9	144.1	71	15.5	17	12.2	2	0	21.5	36.5	86.7	94.3
1992	128.8	91.7	70.7	28.5	0	31.5	0	26.2	5.5	22.4	65	24.6
1993	186	108.5	51.3	40	3.2	1	2	28	15.3	55.3	77.8	198.9
1994	192.5	148.1	172.9	56.6	21.8	0	0	0	11.7	56.1	40	144.5
1995	95.5	99.6	113.6	10.7	4	0	0	0	11.7	10.4	55	103.3
1996	116.6	68	44.8	23.5	13	0	0	4.3	15	34.5	63.5	104.1
1997	116.5	137.9	152.8	23	0	0	0	21.1	14	23.5	140.5	135.1
1998	137.3	196.6	53	21.5	5	2	0	2.5	0.5	67.6	55.4	73.5
1999	130.9	117	102.6	36.5	0	19	2	0	55.5	10	33.5	127.62

Fuente: Elaboración propia – Información SENAMHI



Registro de precipitación mensual de la estación Kayra

	<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>	
<b>TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL</b>		
<b>"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA COBERTURA VEGETAL SOBRE LA PERDIDA DE SUELO EN LA CUENCA CUSICOCHA -DISTRITO DE CHINCHERO – PROV URUBAMBA -DEPATAMENTO DE CUSCO"</b>		
<b>GUIA DE OBSERVACIÓN</b>		
<b>Asesor:</b>	Ing. Jackeline Alejandra Pelaez Gamarra	<b>Responsable:</b> Bach. Sadam Hossien Ayma Villagra
<b>ESTACION:</b>	<b>LATITUD:</b> -13.557 <b>LONGITUD:</b> -71.875 <b>ALTITUD:</b> 3219 msnm.	<b>DISTRITO:</b> SAN JERONIMO <b>PROVINCIA:</b> CUSCO <b>DEPARTAMENTO:</b> CUSCO

**PARÁMETRO: PRECIPITACION MENSUAL**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1964			101.6	26	6.5	0	0	0	0	36.5	0	65.6
1965	101.8	100.5	112.4	88	5.8	0	0.4	1	29.6	58.3	42.5	153
1966	78.3	171.2	79.9	18.3	19.8	0	0	1.7	31.9	59.7	65.2	71.4
1967	59.1	118.4	140.3	19	1.8	0.6	11	19	32.8	70.9	57.2	125.6
1968	149.4	106.6	84.5	34.6	6.3	5.3	30.9	8.6	16.3	84.6	86.7	54.4
1969	144.4	77.8	88.1	16.8	2.9	3.3	7.2	3.9	22.8	29.8	54.7	72.9
1970	170.6	92.6	132.5	86.1	2.3	1	3.7	3.4	42.1	46.1	48.2	177.4
1971	128.9	161.6	83.6	40	1.5	0.1	0	5.7	3.5	55.7	51	127.5
1972	192.1	66.8	57.2	29.7	3.4	0	6.5	27.3	12.2	7.9	50.2	100.2
1973	221.3	120.9	99.6	75.2	14	0	9.1	11.8	14.5	65.1	88.8	96.5
1974	102.5	157.7	121.5	34.5	3.6	8.2	1	34.6	5.9	43.3	60.9	108
1975	124.7	131	55.3	66.8	22.5	0.7	0.3	0.6	51.1	47.5	51	170.1
1976	119.6	83.1	123.1	42.9	13	8.7	0.7	2.5	26.8	25.3	47.8	66.8
1977	116.7	122.8	69.3	47.6	7.9	0	4.4	0	29.9	65	71.5	78
1978	175.4	106.1	88.5	48.7	11.4	0	3.4	0	13.7	12.3	86.7	117.9
1979	101.1	131.6	108.8	46.8	6.2	0	0.9	8.1	11.5	18.4	85.6	81.8
1980	106.2	126.4	135	23.2	3.7	0	5.3	1	12.6	62.9	60.2	83.1
1981	225.4	80.8	124.4	56.9	1.8	3.9	0	9.8	45.9	108.9	120.8	144.3
1982	178.9	115.5	143.1	58.8	0	9.2	3.4	4.9	14	37.9	122.5	98.6
1983	128.4	84	54.5	29.8	3.4	6.2	0.5	0.9	5.5	26	44.3	100.2
1984	198.6	142.4	71	82.8	0	2	1.3	11.4	4.2	114.6	69.4	102.8
1985	129.1	119.4	74.2	33.2	15.6	11.6	0.9	0	43.3	62.1	116.5	122.4
1986	76.4	92.2	125.7	65.5	6.2	0	1.8	4.2	7.5	17.3	69.6	102.7
1987	224.3	87.9	48.6	13.1	2.1	1.3	9.2	0	8.2	26.5	101.8	107.6
1988	163.8	84.3	166.5	108.9	4.6	0	0	0	9.9	36.2	47.6	103.7
1989	151.4	126.8	119.3	38.6	6.4	9.1	0	6.1	30.7	48.7	60.7	88.5
1990	157.6	90.4	60.2	47.4	7.5	31.8	0	5.8	13.3	73.7	86.9	66.5
1991	97.6	163.6	105.2	45.1	11	5.1	1.5	0	21.4	49.3	83.6	99
1992	114.1	102.4	104	14.9	0	19.4	0	21.4	8	50.7	117.4	57
1993	206.7	110.5	75.8	18.8	0.9	0	2.7	6.9	18	46.2	111.9	201.5
1994	177	163.9	173.9	45.5	11.8	0	0	0	25.7	40.2	40.5	119.9
1995	122	94.8	95.3	17.8	0	0	0.6	1.2	28.8	26.7	70.2	102.6
1996	131.9	98	70.5	32.3	11	0	0	6.3	19.6	58.4	49	133.2
1997	123.3	127.7	104.8	31	4.8	0	0	7.1	12.3	44.4	201.5	148.4
1998	116.3	156.2	22.6	31	1.6	1.9	0	1.6	4.3	49.8	49.7	58.9
1999	89.3	92.2	92	42.8	1.3	3.4	1	0	43.1	18.8	39.7	119.5
2000	197.4	137.3	119.5	10.9	2.6	5.8	2.7	4.5	10.7	49.3	29.3	82
2001	233	173.1	137.4	36.4	11.5	0	17.4	10.2	20.6	38.3	96.8	89.4
2002	134.5	184.6	112.7	21.6	16.2	2.5	27.1	3.7	10.3	78.7	97.8	132.4
2003	163.9	135.5	142.9	56.5	2	6.4	0	21.3	3.7	34.6	23.1	123.8
2004	173.7	125.8	66.5	21	2.4	20.5	17	9	21.7	25.6	60.9	87.9
2005	140.8	130.6	120.2	33.1	3.2	0.4	1.2	4	4.5	39.1	59.3	102.5
2006	203.4	155.5	145.9	40.9	0.2	4.9	0	10.5	7.5	72.5	67.8	147.2
2007	140.8	58.7	107.3	93.6	5.8	0	4	0	1			88.4
2008	108.8	109.2	64.4	7.6	8.7	2.1	0	3.9	13.9	51.7	90.2	131.9
2009	112.5	108.3	79.1	21.3	5.3	0	3.3	0.7	15.1	8.3	88.7	82.9
2010	268.5	168.5	129.2	16.6	1.3	0	1.4	4.7	8.2	70	40	172.7
2011	103.4	179.3	131.9	67.6	3.9	3.2	3.7	0	38.9	38.2	60.2	110.2
2012	70.5	167.7	41.7	48.1	4.5	1.2	0	0.1	18.4	19.5	138.2	179.5
2013	180.5	137.2	75.5	13	25.3	6.1	2	12.4	6.3	105	86	159.4
2014	161.9	116.5	36.5	35	10.1	0	3.2	5.8	12.6		29.6	152.1
2015	169.8	146.5	66.7	69.8	18.6	3.9	10.3	4.6	16.1	19.1	48.6	113
2016	104	153.1	54.3	24.4	3	0	4.5	0.5	7	79.5	28	89.8
2017	111.2	86.9	122.8	47.5	11.2	5.9	0	8.4	19	33.7	61.4	101.7
2018	154.8	162.2	145.7	19.6	0.2	16.2	15.8	7.1	7	8.7	80.8	95.2

Fuente: Elaboración propia – Información SENAMHI



Registro de precipitación mensual de la estación Perayoc

		<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>			
<b>TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL</b>					
<b>"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA COBERTURA VEGETAL SOBRE LA PERDIDA DE SUELO EN LA CUENCA CUSICOCHA -DISTRITO DE CHINCHERO – PROV URUBAMBA -DEPATAMENTO DE CUSCO"</b>					
<b>GUIA DE OBSERVACIÓN</b>					
<b>Asesor:</b>	Ing. Jackeline Alejandra Pelaez Gamarra		<b>Responsable:</b>	Bach. Sadam Hossien Ayma Villagra	
<b>ESTACION:</b>	LATITUD: -13.5211		<b>DISTRITO:</b>	CUSCO	
<b>PERAYOC</b>	LONGITUD: -71.9647		<b>PROVINCIA:</b>	CUSCO	
	ALTITUD: 3365 msnm.		<b>DEPARTAMENTO:</b>	CUSCO	

**PARÁMETRO: PRECIPITACION MENSUAL (mm)**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1964	103.78	116.01	170.4	22.5	5.8	0	0.3	5.6	46.85	44.84	50.5	70.65
1965	106.35	154.27	147.1	81.95	11.6	0	4.25	5.2	43.75	37.1	60.53	185.35
1966	141.3	195.3	89.65	17.3	21.85	0	0	1.1	42.4	85.95	58.55	47.85
1967	65.75	114.4	128.4	15.65	3.3	0.4	12.9	31.5	26.4	72.6	72.55	135
1968	170.4	135.15	69.8	25.7	1.35	5.15	39.17	6.95	20.1	32.91	94.45	88.1
1969	199.85	116.1	107	18.85	0.3	3.4	10.2	0.3	16.75	27.9	73.9	86.6
1970	150.05	97.35	94.9	95.55	5.3	6	6.6	2.4	43.35	37.4	34.4	213.6
1971	130	128.3	92.7	38.1	1.7	1.5	0.3	8.1	0	53.2	44.4	147.6
1972	169.95	74.7	58.4	40.7	0.8	0	9.29	20.5	37.35	5.5	67.6	102.95
1973	228.55	137.75	141.85	96.95	18.1	0	10.7	15.9	6.6	29.9	101.75	91.65
1974	130.35	228.8	130	61.6	15.8	14.3	3.1	37	21.9	45.6	42.25	121.4
1975	119.7	159.7	107.5	71	30.3	1.4	0	0.1	40.5	48.2	42.1	152.2
1976	158.1	73.7	155.7	48.2	22.9	7.1	0.9	9	59	15.5	56.2	103
1977	114.3	241.5	80.8	60.9	3.9	0.2	0.2	2.7	39.1	65.1	170.8	66.7
1978	249.4	63.6	83.5	37.5	6.7	0	1	0	12.7	9.7	161.2	124.3
1979	165	128.8	170.1	36.9	21.5	0	5.9	17.3	12.4	22.6	131.7	137.3
1980	97.9	141.7	96.9	34.1	7.4	2.1	2.4	0.4	7.7	96.2	66.6	67.5
1981	218.1	73	119.2	69.2	0.6	4.2	0	12.4	46.7	105	112.1	133.9
1982	205.9	118.7	159.5	67.9	0	1.4	3.8	9.8	58	68	161.9	150.4
1983	154.3	96.4	60.8	23.8	8.6	36.05	0.7	0	2.3	37.5	60.35	172.4
1984	219.85	172.8	88.6	82.1	0.2	6.8	0.2	19.3	21.8	126.05	82.6	110.1
1985	121.9	143	123.5	64.2	19.1	17.9	3.1	6.1	39.1	70.3	128.1	146.4
1986	103.2	114.1	154.8	95.4	6.8	0	3.3	10.6	10.8	35.6	115.1	87.5
1987	311.6	106	81.2	35.1	5.9	13.6	14.2	0	13	60.5	121.2	164.9
1988	228	144.5	250.5	40.9	4	0	0	0	19.4	53.5	57.7	154.5
1989	213.4	147.4	198.5	54.7	4.1	14.9	0	6.3	15.5	92.8	72.4	72.5
1990	309.4	89.4	62.5	105.9	11.8	33.7	0	6.8	18.3	105.9	109.1	105.7
1991	117.1	236.4	152	44.8	14.1	7.9	1	0	31.6	116.6	104.8	116.2
1992	154.8	142.1	95.6	18.5	1	6.5	1	33.5	9.1	68.7	124.9	66.6
1993	259.9	123.2	93.2	34.5	3.4	0	1.8	22.7	6.9	97.4	100.9	220
1994	196.4	220.9	232.6	60.5	15.2	0	0	0	21	44.5	64.2	165
1995	127	90.6	137.8	26.1	1.7	0.3	3.1	0	52	20.1	27.5	124
1996	169	87.4	48.6	28.9	9.7	0.6	0	9.8	16	61.2	66	168
1997	137.2	105.1	145.4	75.3	3.2	0	0	11.1	13.4	35.5	126	178.7
1998	155.3	163.2	54.3	34.8	3.8	3.4	0	6.2	2.2	84.9	70.6	69.4
1999	165	96.7	104	50.7	10.2	6	0	0	57.9	24.8	52.7	119.2
2000	234.9	117.1	113.1	9.4	1.8	3.5	2.4	6.7	24.6	53	53.8	90.7
2001	295	155.4	156.1	34.2	5.9	0	22.4	11.9	19.2	70.5	66.9	102.9
2002	134.9	179.8	203.7	25.4	6.9	2.2	32.5	6	14.4	73.8	113	129.3
2003	216.6	156.9	145.4	95.3	2.8	7.1	0	13.1	9.8	23.5	126	127.8
2004	203	149	89.5	30.4	3.4	20.6	9.6	10	32.7	83.7	155.1	94.2
2005	140.8	130.6	120.2	35.7	1.1	0	1	3.1	6.5	36.9	66.6	57.8
2006	196.3	122.3	126.5	73.9	0	6.8	0	5.5	18.6	77.8	67.4	165.7
2007	140.8	84.8	113.5	68.6	13	0	4	0.8	6.1	74.3	103.8	77.7
2008	130.8	135	80.8	5.3	6.5	2.5	3.1	6.7	14.2	106.5	54.9	124.4
2009	122.3	117.3	55.3	15.35	6.55	1.3	4.2	8.65	10.7	95.3	52.2	129.9
2010	339.1	213.3	166.3	25.4	6.6	0	5.3	10.6	7.2	84.1	49.5	244.1
2011	98.7	245.2	191.5	66.7	0	0	4.5	0	34.5	25.8	71.85	221
2012	70.5	187	152	47.95	4.1	6.1	3.5	0	27.1	72.9	83	209
2013		128.9	112.5	29.2	8.1	12.2	2.5	17.3	19.7	120	94.2	199.8
2014	177.4	75.4	49.7	64.1	19.3	0	2.6	12.8	17.6	79	17.6	170.9
2015	165.7	145	86.8	70.18	20.6	4.4	9.1	12.1	28.8	20.4	70.1	157.4
2016	100.1	182.7	59.2	45.7	11.2	0.2	9.7	1.3	22.6	77.4	33.6	93.1

Fuente: Elaboración propia – Información SENAMHI



Registro de precipitación mensual de la estación Pisac

	<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>		
<b>TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL</b>			
<b>"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA COBERTURA VEGETAL SOBRE LA PERDIDA DE SUELO EN LA CUENCA CUSICOCHA -DISTRITO DE CHINCHERO – PROV URUBAMBA -DEPARTAMENTO DE CUSCO"</b>			
<b>GUIA DE OBSERVACIÓN</b>			
<b>Asesor:</b>	Ing. Jackeline Alejandra Pelaez Gamarra	<b>Responsable:</b>	
		Bach. Sadam Hossien Ayma Villagra	
<b>ESTACION:</b>	LATITUD: -13.416	<b>DISTRITO:</b>	PISAC
<b>PISAC</b>	LONGITUD: -71.849	<b>PROVINCIA:</b>	CALCA
	ALTITUD: 2950 msnm.	<b>DEPARTAMENTO:</b>	CUSCO

**PARÁMETRO: PRECIPITACION MENSUAL**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1964	55.80	55.56	69.20	8.25	12.26	0.00	0.00	0.00	41.13	57.97	33.91	31.26
1965	54.36	36.80	62.78	40.33	0.00	0.00	7.85	0.00	38.00	14.66	19.48	84.03
1966	54.76	32.87	25.25	7.45	20.36	0.00	7.45	0.01	19.01	13.54	18.53	35.52
1967	45.94	69.52	82.43	0.00	16.27	7.74	19.59	13.80	13.43	36.20	53.35	58.19
1968	109.08	150.14	31.57	16.55	1.05	10.04	20.23	0.23	12.70	13.50	96.41	30.09
1969	116.81	58.73	127.44	54.84	0.02	21.51	16.28	9.14	21.83	27.20	54.38	89.05
1970	126.46	230.10		51.82	11.75	10.95	11.65	14.92	64.58	81.84	19.76	252.50
1971	130.43	239.38	70.58	52.62		10.61	7.53	13.14	0.02	46.21	20.78	40.83
1972	93.11	48.62	115.32	26.64	9.14	0.00	11.79	16.13	16.52	9.22	25.75	68.02
1973	220.15	170.34	118.95	54.45	13.47	13.64	16.16	16.62	11.57	32.24	51.40	127.76
1974	111.48	153.89	110.18	46.51	9.14	15.00	1.02	28.17	10.83	13.94	15.07	61.98
1975	70.48	87.11	73.06	41.22	41.65	9.94	0.00	0.00	19.34			60.86
1976	112.50	48.51	105.06	37.20	45.54	8.43	7.54	7.45	23.36	9.15	37.61	37.79
1977	75.22	96.08	61.50	33.35	0.00	0.00	9.07	9.15	15.80	21.16	108.84	17.29
1978	176.45	127.60	108.66	71.07	30.79	0.00	0.00	0.02	23.43	7.53	36.24	71.53
1979	181.97	136.89	149.72	53.41	11.55	12.27	10.67	7.46	21.81	20.61	37.30	64.58
1980	80.30	151.98	187.72	77.83	7.47	0.00	0.00	14.92	35.31	37.78	9.85	44.75
1981	84.35	148.83	77.78	31.02	13.30	9.21	18.11	8.25	18.19		100.55	100.39
1982	227.50	60.70	195.26	162.54	26.29	12.26	1.00	17.95	21.80	29.98	89.65	20.84
1983	9.93	30.78		29.74	0.00	7.45	14.74	10.74	16.51	20.68	30.30	33.11
1984	88.84							19.08	12.34	43.21	63.10	16.75
1985	118.60	170.64	161.82	57.41	12.50	0.00	0.00	9.93	28.22	92.53	111.06	25.89
1986	28.14	101.19	113.30	36.72	15.87	0.00	7.53	8.49	9.05	7.53	12.50	15.31
1987	227.42	42.65	25.57	16.51	0.00	17.55	13.14	0.00	0.00	12.42		36.96
1988	96.10	99.60	193.40	52.40	2.00	0.00	0.00	0.00	2.30	12.00	13.70	85.90
1989	116.30	94.80	111.50	25.90	8.00	0.00	3.00	9.20	7.20	20.50	20.20	27.10
1990	76.70	45.60	20.30	82.60	6.20	38.40	0.00	3.00	8.40	44.10	99.40	115.00
1991	76.20	101.70	64.50	31.40	11.50	8.00	0.00	2.00	2.00	50.70	61.40	65.40
1992	81.00	45.40	31.70	22.60	0.00	26.00		13.30	4.00	32.00	91.80	73.00
1993	178.90	82.90	12.40	36.00	8.20	4.20	8.20	14.20	3.00	18.20	87.00	109.80
1994	167.20	118.00	151.60	59.80	5.30	0.00	0.00	0.00	12.40	52.60	13.20	158.60
1995	98.90	79.50	80.00	7.20	4.20	0.00	0.00	0.00	12.20	24.20	18.20	51.60
1996	117.60	69.30	44.40	69.30	12.10	0.00	0.00	21.60		52.50	47.50	
1997	82.70	99.90	99.50	4.10	2.90	0.00	0.00	20.10	18.10	13.50	108.90	97.80
1998	129.80	98.70	38.20	21.60	4.20	3.00	0.00	0.80	13.50	64.00	50.90	51.30
1999	93.20	122.30	51.50	28.30	4.90	3.70	2.60	0.00	30.00	17.70	40.20	105.90
2000	159.80	105.40	58.70	2.20	9.10	3.70	0.00	2.00	4.40	41.60	11.00	70.60
2001	211.20	136.40	152.20	19.90	12.10	0.00	19.40	5.60	8.00	50.00	77.40	102.00
2002	90.60	161.40	106.10	35.80	6.60	4.30	46.60	3.30	10.90	39.40	91.60	127.90
2003	114.40	108.70	110.70	15.80	4.40	6.80	0.00	23.60	4.00	31.70	18.30	120.90
2004	149.90	109.20	95.60	15.80	2.00	16.40	10.30	6.90	32.50	25.90	43.00	94.30
2005	127.00	76.90	69.10	29.60	0.00	0.00	1.50	3.70	4.10	18.00	50.50	58.60
2006	170.70	82.20	125.00	34.50	0.00	30.00	0.00	14.30	5.20	42.70	69.70	117.10
2007	102.70	55.80	135.80	42.10	7.60	0.00	1.70	0.00	4.90	32.70	66.90	83.30
2008	154.30	151.50	61.50	8.50	5.90	3.60	0.70	3.20	9.80	46.80	64.10	133.90
2009	89.90	89.40	66.20	14.10	0.20	0.00	3.10	0.80	20.40	8.20	118.10	115.30
2010	270.10	145.10	155.80	6.00	6.50	1.10	1.40	11.40	1.80	72.70	26.30	204.20
2011	100.70	170.60	109.20	32.90	6.80	7.00	8.60	0.60	27.90	26.20	48.00	134.50
2012	67.00	157.00	54.20	30.10	1.20	0.50	0.80	0.50	24.10	8.60	127.00	146.80
2013	104.80	152.20	68.10	23.30	10.70	5.40	4.10	15.80	5.60	132.00	52.90	170.10
2014	143.80	82.60	68.70	50.00	12.80	0.00	1.30	1.50	22.90	28.20	12.50	105.80
2015	78.00	49.80		35.50	12.50	0.00	26.80	3.60		7.40	20.60	51.80
2016	45.00	84.50	19.70		22.50	1.20	7.30	0.00	14.10	72.90	27.10	98.20
2017	66.40	52.50	116.20	54.80	12.90	3.20	0.80	5.50	9.00	24.60	40.80	61.90
2018	124.30	121.10	107.00	32.00	3.90	14.20	13.60	15.00	11.80	80.90	92.60	70.00

Fuente: Elaboración propia – Información SENAMHI



Registro de precipitación mensual de la estación Urubamba

	<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>	
<b>TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL</b>		
<b>"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA COBERTURA VEGETAL SOBRE LA PERDIDA DE SUELO EN LA CUENCA CUSICOCHA -DISTRITO DE CHINCHERO – PROV URUBAMBA -DEPATAMENTO DE CUSCO"</b>		
<b>GUIA DE OBSERVACIÓN</b>		
<b>Asesor:</b>	Ing. Jackeline Alejandra Pelaez Gamarra	<b>Responsable:</b> Bach. Sadam Hossien Ayma Villagra
<b>ESTACION:</b>	LATITUD: -13.305 LONGITUD: -72.125 ALTITUD: 2850 msnm.	DISTRITO: URUBAMBA PROVINCIA: URUBAMBA DEPARTAMENTO: CUSCO
URUBAMBA		

**PARÁMETRO: PRECIPITACION MENSUAL**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1964												
1965	139.2	59	111	46	0	0	0	0	17	16	37	133
1966	63	100	36	10.5	39.9	0.7	0	10.3	53.5	122.5	86.2	56.5
1967	37.9	106	43.5	37.7	13	0.5	33.5	0	0	11.5	66	47
1968	63.03		74	28	0	0	43.5	16	11	0	91.5	12.5
1969	89.5	35	16	17	0	0	3	0	3	5	7	43
1970	74	15	15.5		0	0	2.5	0	16.3	35.5	32.5	158
1971	106	100.5	57	16.5	0	0	0	3	2	32	41	99
1972	116.6	48	58.5	18.4	1.6	0	2	9.5	18.1	6.7	54.2	85.2
1973	145.6	74.8	80.7	46.3	6.4	1.4	11.3	3.9	2.7	16.3	54.7	53.4
1974	77.2	119	101.8	33	11	15	0	26.7	5.8	15.5	33.52	
1975	82.6	134	26.5	54.2	23.6	5.5	0	12.4	5.3	24	29.8	158
1976	80.1	36.7	94.1	29.7	8.2	2	0	0	7.5	0	45	108.4
1977	104.6	54.9	76	45.4	0	0	0	0	0	43.2	71.4	37.2
1978	155.1	58.49	90.2	28.8	18	0	0	0	9.2	8.4	38.4	95.9
1979	105.8	47.8	54.2	9.8	2.8	0	0	6.2	25.2	2.2	36.4	28.6
1980												
1981												
1982												
1983												
1984												
1985						7.9	2.1	2.8	14.6	34	64.1	109.7
1986	53.7	58.1	56.5	41.5	14	0	0	5	4	13.5	57.5	49.5
1987	102.5	83.7	35.5	1	3	7.5	17	0	14	27.5	88	100
1988	115.5	77.5	126.5	43	4.5	0	0	0	17	25.5	25	88
1989	102	90	103.9	50.5	13.3	9.5	0.5	0	26.5	46	25	99
1990	133.5	99.3	26	33	6	40	0	9.5	6	52.6	44	69.3
1991	52.5	125.5	82.5	39.5	2	10	0	0	11.5	32.5	82	56.5
1992	95.5	77.3	40.5	9.5	0	40.5	0	32	1.5	22.5	60	27
1993	128	82	57.5	39	2	0	2.5	28	4	30	79	120
1994	117	96.6	110	34.5	2	0	0	0	23.5	51.5	29.5	151.5
1995	72.2	42.1	81.3	10.9	2.2	1	0.3	0	14.5	35.1	55	95.5
1996	88.4	77.5	50.6	53.6	13.2	0.4	0.1	11.6	5	35.1	46.9	73.8
1997	88.6	124.7	98.5	8.5	2.3	0	0	8.3	6.2	10.1	73	84.9
1998	54.7	73.2	26.7	10.4	4	0.7	0	0.4	1.7	22.2	49.7	47
1999	124.2	122.3	66.1	29.6	17.5	0.8	0.1	0	23.7	20.3	52.2	125.5
2000	172	92.9	87.3	6.5	6.4	8.8	0.8	0.1	15.6	63.9	19.7	76
2001	167.2	86.9	102.2	7.2	8.4	0	16.9	11.6	10	72.9	64.2	62.1
2002	126.3	117.8	78.3	50.1	5.8	5	62.7	1.8	2.5	64.5	52.1	135.5
2003	96.9	74.3	124.3	12.9	4.3	8.4	1.2	18	1	31.7	32.5	94.4
2004	123.9	87.2	75.3	15.2	1.5	30.6	21.5	10.3	6.2	39.9	34.5	78.7
2005	47.6	97	62.7	20.8	0	0	1.6	1.9	11.7	10.9	51.1	82
2006	111.8	92.8	68.9	33.5	0	1.9	0	4	9.6	50.1	64.6	82
2007	56.8	79	82.6	42.4	4.6	0	1.9	0.1	0	57.4	61	74.1
2008	98.3	83.2	72.2	4.6	7.1	2.8	0.6	3.1	3.9	35.5	92.2	121.4
2009	152	114.1	63.7	10.9	6.3	0.1	2.7	1.6	8.9	4.6	128	76.9
2010	188.2	129.7	101.3	13.2	2.2	0	2.5	8.2	5	46.6	23.9	114.6
2011	100.4	149.9	81.4	44.7	12.6	17.9	15.7	4.8	25.2	38.9	26.1	145.2
2012	69.04	124.4	57.4	18	0.3	0.6	1.8	0.3	17.2	8.1	66.5	134
2013	123.4	129.5	88.7	3.5	1.4	4.4	0	20.6	2.2	71.8	113.4	136
2014	124	69.9	52.4	32.5	10.2	0	0.1	0.5	6.2	56.7	30.6	99.6
2015	128.8	85.2	42.2	28.4	4.6	0	7.8	5.6	3.4	15.2	28.9	116.9
2016	62.3	118.8	57.1	22.9	1.8	0.3	5.2	0	3.2	54.9	58.5	113.9
2017	77.9	81.8	60.1	43.3	1.7	0	0	11	0.6	38.7	69.9	55.1
2018	88.2	142.1	85.3	9.1	0	26.8	16.7	19	3.1	65.7	50.1	64.6

Fuente: Elaboración propia – Información SENAMHI



Registro de precipitación mensual de la estación Paruro

	<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>	
<b>TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL</b>		
<b>"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA COBERTURA VEGETAL SOBRE LA PERDIDA DE SUELO EN LA CUENCA CUSICOCHA -DISTRITO DE CHINCHERO – PROV URUBAMBA -DEPATAMENTO DE CUSCO"</b>		
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN</b>		
<b>Asesor:</b>	Ing. Jackeline Alejandra Pelaez Gamarra	<b>Responsable:</b> Bach. Sadam Hossien Ayma Villagra
<b>ESTACION:</b>	LATITUD: -13.853 LONGITUD: -71.893 ALTITUD: 3070 msnm.	<b>DISTRITO:</b> PARURO <b>PROVINCIA:</b> PARURO <b>DEPARTAMENTO:</b> CUSCO

**PARÁMETRO: PRECIPITACION MENSUAL**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1964	77	149	174	38.2	3.21	0	0	0	21.4	29.1	59.7	45.01
1965	122.4	112.6	174.11	52.6	2	0	0	0	20	24.3	32.3	179.2
1966	64.7	211.5	89.6	13.2	22.7	0	0	4.1	39.7	65.1	122.6	82.7
1967	8.3			22.2	3	0	0	18.3	14.2	72.2	46.5	259.1
1968				0	0	0	21.5	4	25.4	49.8	190.1	91.7
1969				16.3	0	3.2	0	0	0	10.2	92.5	251.8
1970		79.83	115.03	65.24	6	1.5	14.81	5	40.22	50.81	59.4	250.92
1971	132.41	156.91	77.62	47.51	0.02	2.84	0.01	0.05	8.43	49.04	48.73	141.66
1972	204.86	95.86	98.13	41.95	5.03	0	8.83	18.73	28	28.21	57.32	107.83
1973	251.42	241.82	149.71	61.02	23.6	0.01	9.03	13.3	31.12	40.53	112.21	89.72
1974	177.3	205.52	254.9	62.02	0.81	10.2	0	37.8	8.52	49.2	97.73	83.92
1975	158.71	187.81	116.86	56.2	30.1	4.21	0	2.03	28.1	62.73	96.9	218.93
1976	154.61	106.31	117.21	56.6	14.3	4.21	0	0.8	38	23.2	81.61	120.71
1977	112.3	170	175.91	60	3	0	2.61	0	56.4	75.51	106.6	63.21
1978	229.9	87	223.4	45.8	11.6	4.8	0	0	48.7	16.8	129.8	114.9
1979	237.4	136							7	13.4	78.2	94.6
1980	179.7	112.47	72.83	6.62	0	0		0.01	14.4	42.47	116.2	162.8
1981	173.2	158.8	205.5	34.5	0	4	0	12	26.4	42.4	41	45.4
1982	59.4	40.4	24.4	4	0							
1983												
1984												
1985												
1986					0	0	0	0	0	2	90	171.6
1987		75.2	91	47.1	0	0	8.6	0	6.4	27		
1988												
1989	220.5					0	0	0				
1990												
1991												
1992												
1993			33.1	38	0	0	7	5	18	57	90.5	239
1994	202	163	166	88	12	0	1	1	33	91	112	159
1995	165	72	126	24	0	0	7	0	38	34	60.4	157
1996	218	110	95.3	71.3	21.6	0	0	34.5	26.1	76.3	82.9	176
1997		152.5	173.5	60	13	0	0	9	4	69.5	180	125.5
1998	177.5	149.2	96.2	56	0.3	3	0	1.5	0.7	105.5	94.5	105
1999	188.5	98.2	156.8	52	0	2	0	0	28.5	61	37.5	133.5
2000	160.5	198.5	115	13.5	4.5	10	9	11	7	70.5	15.4	95.4
2001	249.6	172.9	162.4	21.3	5.4	3.5	10.5	6.7	16	78.1	75.4	91.5
2002	142.8	255.9	149.1	43.9	22.6	4.2	18.5	18.8	29.7	72.3	114	156.3
2003	164.7	165.8	157.7	50.5	5.9	2.6	0	8.7	7.4	65.1	38.2	161.7
2004	189.5	219.7	56.8	22.6	14.1	12.2	8.7	0	34.4	59.8	53.8	148.1
2005	113	107.1	96	23.3	1.9	0	2.5	2.2	0.4	43.3	96.6	105.6
2006	202.8	133	132.5	90	0	6.2	0	8.8	2.3	42.3	77.2	109.8
2007	176.5	76.4	172	46.7	2.1	0	0.6	0	11.3	39.5	101.7	127.7
2008	137.5	70.4	100.3	22.5	21.4	4.5	0	3.2	28.4	52	75.1	115.7
2009	178.3	123.2	92.7	33.4	6.5	0	6.4	0.3	11.8	16.3	213	150.7
2010	339.5	153.9	126.7	45.1	4.5	0	0	6.9	2.5	59.1	62.1	183.5
2011	84.1	241.1	164.4	51.1	2.4	3.2	4.9	0.7	40.3	72.1		208.8
2012	139.8	213.8	111	30.7	1.4	4.4	1.6	0	41	28.8	148.7	241.6
2013	171.7	188.9	97.9		0	7	1.5	15.4	14.7	106.9	101.2	203.9
2014	252	168.5	96.5	62	6.1	0	4	2.1	12.3	42.9	20.6	204.6
2015	231.1	109.8	126.8	74.6	17.9	0	3.2	6.5	47.7	21	80	167.6
2016	96.6	254.7	85.8	31.1	4.8	0	7.2	3.2	18.7	88.1	34.4	122.9
2017	143	181.3	184.3	83.2	25.6	2.2	2.3	11.6	16.3	45	76.7	115.5
2018	134.2	245.5	190.8	31.7	0.5	22.6	20.1	13.4	11.1	108.5	104.2	91.6

Fuente: Elaboración propia – Información SENAMHI



Registro de precipitación mensual de la estación Sicuani

	<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>		
<b>TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL</b>			
<b>"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA COBERTURA VEGETAL SOBRE LA PERDIDA DE SUELO EN LA CUENCA CUSICOCHA -DISTRITO DE CHINCHERO – PROV URUBAMBA -DEPARTAMENTO DE CUSCO"</b>			
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN</b>			
<b>Asesor:</b>	Ing. Jackeline Alejandra Pelaez Gamarra	<b>Responsable:</b>	Bach. Sadam Hossien Ayma Villagra
<b>ESTACION:</b>	LATITUD: -14.237 LONGITUD: -71.237 ALTITUD: 3534 msnm.	<b>DISTRITO:</b>	SICUANI <b>PROVINCIA:</b> CANCHIS <b>DEPARTAMENTO:</b> CUSCO

**PARÁMETRO: PRECIPITACION MENSUAL**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1964												
1965	43.2	89.7	119	51.7	2.1	0	2.4	3.7	52.5	66.1	61	179.7
1966	81.6	118.2	94.2	6	35	0	0	2.3	38.9	148.8	106	121
1967	63.4	117.2	155.9	33	8.2	1.4	21.4	28.7	40.4	49	46.8	129.5
1968	118.2	171.3	272.9	55.6	0	0	16	28.2	21.4	62.1	149.3	64.2
1969	132.5	127	140.4	67	3.6	2.8	8	1.6	18	78.2	76.2	80.8
1970	172.3	139.5	141.3	50.3	5.6	0	0	0	20.4	48.3	46.6	185.4
1971	189.5	162	66.1	66.9	6	0	0	0	0	0	3.8	71.6
1972	154.2	76.5	95.6	58.1	6.3	0	15.9	29.6	0	8	35.2	94.4
1973	140.7	136.2	168	82.5	3.1	0	2	11.8	5.9	27	47.6	96.2
1974	168.5	223.3	91.1	25.1	0.8	6.5	0	16	24.5	13	53.28	
1975	157	103.9	134.9	39.4	20.3	0.7	0	8.4	32.1	24.4	62.4	154.2
1976	161.9	68.7	130.4	27.5	11.4	6.7	5.1	9.6	17.9	9.3	29	86.3
1977	70.5	179.9	87	33.9	7.2	0	0.8	0	11	30.7	87.3	88.1
1978	214.6	71.3	183.4	83	0	0	0	0	25.5	24.2	73.4	
1979												
1980												
1981												
1982												
1983												
1984												
1985												
1986												
1987				49.8	2.9	1.3	11.2	0.5	2.5	24.9	132.1	155.3
1988	143.8	94.9	120.6	87.4	4	0	0	0	3.4	17	18.7	57.2
1989	183.4	108.2	168.5	76.5	16.1	10.2	0	12	50.3	51.7	46.9	130.8
1990	127.1	104.8	71.2	33.8	1.5	25.2	0	9	11.2	128.8	90.5	130.3
1991	93.3	76.3	87.5	59.3	18.1	14.4	0	0	12.7	44.9	43.7	70.4
1992	99.2	61.4						19.5	19.1	62.8	96.8	53.6
1993	163	87.1	116.2	57.4	0	1.2	2	9.8	26.7	66	136.4	114.1
1994	127.5	143.8	128.4	74.9	18.8	0.3	0	1.2	9.3	50.5	81	127.4
1995	107.4	105.2	131.3	64.4	3.1	1.2	2.8	0	16.6	36	92.3	117
1996	121.3	112	155.5	42.7	16.3	0	0	12	24.5	54.2	61.6	115.7
1997	226.7	173.8	176.9	49.9	3.5	0	5.2	15.2	8.9	45.5	135.5	64.6
1998	102.3	131	97.8	15.5	0	0	0	5.6	1.7	92.2	73.6	92.7
1999	133.3	145.4	83.4	85.7	17.6	3.2	0.3	0	44.1	24.4	38.5	127.2
2000	110.4	180	121.9	15.6	7.2	6	4.4	1.7	18.6	76.4	25.2	92.6
2001	213	158.1	176.9	55.3	25.9	1.2	13.9	10.5	34.7	48.3	76.2	134.4
2002	154.7	205.2	145.7	126.4	32.9	0	26.1	4.7	37.4	75.9	87.3	141.5
2003	129.2	131.8	160	59.6	18.7	6.6	0	8	1.6	37.5	27.2	125.5
2004	162.6	191	80.4	47	7.6	8.2	4.2	12	51.6	28.9	92.4	98.4
2005	66.3	178.8	120.3	44.9	4.5	0	2.7	0	7.6	48.3	75	93.4
2006	151.2	120.8	92.8	99	3.3	5.7	0	10.3	23.3	45.4	111.3	102
2007	115.8	86.9	174.4	45.1	5.3	0	9	0	15.2	60.7	77	73.7
2008	137.3	133.5	117.9	21.6	7	0.7	0.6	0.6	2.6	84.1	61.6	149
2009	89.8	140.6	85.8	37.6	5.7	0	6.2	0	11.1	32.2	129	121.1
2010	161	95.8	118	48.4	2.6	0	0	5.7	2.4	62.8	46.6	125.1
2011	107.6	118.4	156.4	132.7	14.4	2.9	4.4		51.9	25.3	29	131.9
2012	155.2	184.8	103	49	0.5	3.2	0.8	0	14.2	36.4	38.7	149.8
2013	167	157.7	78.9	23.5	7.2	7.1	0	11.2	1.8	38.1	66.2	162.7
2014	146.9	134.3	55.4	36.7	9.5	0	0.2	6.3	24.5	49.2	31.2	156.4
2015	142	95.9	106.9	55.2	8.4	2.7	12.6	7	10.1	52.5	74.6	136.5
2016	131.4	260	53.8	82.8	3.2	0	0.3	6.9	19.9	79	57.9	77
2017	162.3	119.1	126.9	60.8	40.8	0	2.2	13.8	22.7	72.9	121.9	73.4
2018	117.3	159	113.4	15	7.2	23.1	18.9	24	3.3	66	102.9	45

Fuente: Elaboración propia – Información SENAMHI



Registro de precipitación mensual de la estación La Raya

	<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>	
<b>TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL</b>		
<b>"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA COBERTURA VEGETAL SOBRE LA PERDIDA DE SUELO EN LA CUENCA CUSICOCHA -DISTRITO DE CHINCHERO – PROV URUBAMBA -DEPATAMENTO DE CUSCO"</b>		
<b>GUÍA DE OBSERVACIÓN</b>		
<b>Aesor:</b>	Ing. Jackeline Alejandra Pelaez Gamarra	<b>Responsable:</b> Bach. Sadam Hossien Ayma Villagra
<b>ESTACION:</b>	LATITUD: -14.484 LONGITUD: -70.985 ALTITUD: 4350 msnm.	<b>DISTRITO:</b> SICUANI <b>PROVINCIA:</b> CANCHIS <b>DEPARTAMENTO:</b> CUSCO
<b>LA RAYA</b>		

**PARÁMETRO: PRECIPITACION MENSUAL**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1964												
1965												
1966												
1967												
1968												
1969												
1970												
1971												
1972												
1973	265.3	150.8	161.2	69.9	20.4	0	6.8	5.6	46.4	73.4	77.2	88.5
1974	181.1	204.2	165.7	69.4	8.5	7.6	0.6	36.2	8.4	38	87	132
1975	110.3	146.7	166	58.2	15.9	0	0	1.2	37.8	54.7	67.1	146.2
1976	181.8	117.4	187.3	32.7	13.8	12	9.5	15.4	39.1	9.5	34.6	74.7
1977	112.4	243.1	129.8	24.7	16	0	5	0	33.1	37.5	215.2	117.5
1978	375.9	276.9	131.6	71	20.1	0	0	12.2	48	25.5	63.5	191
1979	206.7	131.1	179.4	94.8	133	0	0	0	11.5	56.5	71.6	178.7
1980	157.5	123.7	199.5	42.6	31.1	0	0	0	16	119	120.8	35.5
1981	54.8	37.5	48.1	21.2	1.2	0	0	1	16.8	78.9	105.5	128.4
1982	124	148.3	223.2	61.8	0	4	0	17	10.7	99.9	146.7	80
1983	124.2	148.3	100.6	83	5	7.8	0	1.5	8.3	28.4	12.7	83.8
1984	292.6	158.4	165.8	81.2	22.6	25.6	3.8	19.5	9.9	131.5	193.5	108.9
1985	196.5	166.6	163.3	108.7	43.2	9.1	1	0	92.5	56.6	148.7	148
1986	171.6	229.4	192.7	135.8	19.3	0	10.4	23.6	56.6	13.2	70.1	141
1987	270	90.2	95	44.5	12.2	0	17	3.5	8.8	55.1	159	153.3
1988	186.9	176.9	246.9	146	10.2	0	0	2.7	12.9	45.5	13.7	127.7
1989	244.6	135.4	178	79.2	27.7	19.3	0	36.6	37.6	48.5	43.9	143.8
1990	199.3	114	70.6	46.2	9.8	47.7	2.7	12.7	29.9	137.4	122.2	146.3
1991	195.5	97.8	137.2	43.3	27.7	22.9	0	1.3	27.7	74.7	51.8	155.4
1992	190.2	133.1	93.5	29.2	0	0	48.3	22.9	29.5	67.8	134.3	69.6
1993	240.7	35.7	162.3	122.4	4.8	10.2	13.5	32.8	52.1	70	187.5	182.3
1994	198.9	197.6	224.79	91.4	46.7	1.3	0	0	35.8	67.3	131.3	192.3
1995												
1996												
1997												
1998												
1999												
2000												
2001												
2002												
2003												
2004												
2005												
2006												
2007												
2008												
2009												
2010												
2011												
2012												
2013												
2014												
2015												
2016												
2017												
2018												

Fuente: Elaboración propia – Información SENAMHI



Registro de precipitación mensual de la estación Yauri

	<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>		
<b>TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL</b>			
<b>"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA COBERTURA VEGETAL SOBRE LA PERDIDA DE SUELO EN LA CUENCA CUSICOCHA -DISTRITO DE CHINCHERO – PROV URUBAMBA -DEPATAMENTO DE CUSCO"</b>			
<b>GUIA DE OBSERVACIÓN</b>			
<b>Aesor:</b>	Ing. Jackeline Alejandra Pelaez Gamarra	<b>Responsable:</b>	Bach. Sadam Hossien Ayma Villagra
<b>ESTACION:</b>	LATITUD: -14.817 LONGITUD: -71.417 ALTITUD: 3927 msnm.	<b>DISTRITO:</b> <b>PROVINCIA:</b> <b>DEPARTAMENTO:</b>	SICUANI CANCHIS CUSCO

**PARÁMETRO: PRECIPITACION MENSUAL**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1964												
1965												
1966												
1967												
1968												
1969												
1970												
1971												
1972												
1973												
1974												
1975												
1976												
1977												
1978												
1979												
1980												
1981												
1982												
1983												
1984												
1985												
1986											14.5	108.5
1987	230	11.1	25.7	21	0	11	20.4					
1988	295.9						6.8	0	6.3	24.3	13.7	
1989												
1990												
1991				34.1	15.8	47	0	0	55.9			
1992						8	0	45.3	0	59.8	75.6	37.8
1993	269.3	107.2	133.6	116.5	5.5	0	0.8	15	7.7	93.7	173.7	157.1
1994	205.6	221.6	191.1	56.6	16.7	0	0	0	22.2	13.1	66.4	100.6
1995	165.8	141.2	209.4	81.7	2.7	0	0	2.8	13	51.6	37.6	128.2
1996	160.4	187.8	109.2	96.9	16.9	0	0	20.3	13.6	31	51.1	105
1997	246.5	209.7	116.4	66.7	3.2	0	0	26.2	38.4	14.6	91.7	122.6
1998	217.1	150.4	89.8	13.8	0	2.5	0	3.6	0.8	48.3	47	48
1999	141.6	229.3	159.1	125.5	3.6	0	0	0.8	47.8	52.9	45.3	155.3
2000	160.7	194.6	161.8	41.1	4.2	5.6	0	12.7	6.2	78.5	26.8	167.8
2001	265.9	230.5	254.9	99.5	32	0.9	4.3	4.8	4.2	32.2	25.8	67.5
2002	111.4	294.3	148	67.6	24.7	0.5	16.7	0	40.5	56		142.8
2003	171.1	230	193.3	36.9	5.7	0.8	0	5.5	34.8	11.1	73.4	129.2
2004	215.7	166.5	84.5	48.4	0	1.8	10.7	17.7	25.6	25.7	56.7	105.4
2005	114.3	176.5	123.2	43.1	1.1		0	4.8	5.6	55.9	41.9	162.2
2006	295	119.9	175.6	45.8	1.4	5.4	0	9.7	18.6	59.1	64.1	122.6
2007	129.7	133.6	108.1	58.6	4.6	0	3.4	0	16.3	36.3	43.5	117.7
2008	197.9	107.5	72.5	1.2	4.9	5.8	0	0	0.2	43.4	24.8	103.3
2009	102	164.6	102.2	44.5	5.5	0	1.4	0	2	43.8	172.6	133.9
2010	172.6	165.7	114.9	32	13.6	0	0	0	1.7	16.2	36	176.7
2011	127	248.2	138.8	73.7	10	0	1.9		36.1	16.9	74.9	137.6
2012	171.5	266.1	191.4	76.4	11.4	0	0.1	0	13.7	31.3	76.2	211.6
2013	169	165.1	81.6	8.6	2.7	14.4	3.4	20.1	0	28.6	53	156.1
2014	142.8	113.1	92.3	21.2	9.1	0	5.5	3.5	41.4	99.7	22.2	189.2
2015	184.2	112.7	117.3	131.4	13.7	0.5	1.5	17.3	20.6	30.1	26.4	142.6
2016	112.1	168.2	64.6	112	1.7	0.1	9.2	3.2	4.7	40.9	20.5	91.6
2017	168	105.7	168.1	68.4	22.6	0.1	3.2	0	12.1	57.7	66.3	156.4
2018												

Fuente: Elaboración propia – Información SENAMHI



### 5.3. REGISTRO DE PRECIPITACIÓN COMPLETA

Registro de precipitación mensual de la estación Yauri

		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO											
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA													
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL													
TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL													
"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA COBERTURA VEGETAL SOBRE LA PERDIDA DE SUELO EN LA CUENCA CUSICOCHA -DISTRITO DE CHINCHERO – PROV URUBAMBA -DEPATAMENTO DE CUSCO"													
GUIA DE OBSERVACIÓN													
Asesor:	Ing. Jackeline Alejandra Pelaez Gamarra					Responsable:	Bach. Sadam Hossien Ayma Villagra						
ESTACION:		LATITUD: -13.468				DISTRITO:				ZURITE			
ANTA ANCACHURO		LONGITUD: -72.216				PROVINCIA:				ANTA			
		ALTITUD: 3340 msnm.				DEPARTAMENTO:				CUSCO			
PARÁMETRO: PRECIPITACION MENSUAL (mm)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1964	157.6	178.5	177.5	28.9	9.5	0	0	0	37.6	42.5	11.5	58.3	
1965	130.7	134.4	161.2	71.5	4.5	0	1	0	29.8	31	78.5	214.8	
1966	104	236.7	85.3	36	22.5	0	0	5	48.5	89.5	109	6.6	
1967	62.4	120.6	164.4	65.3	10.4	2.1	17	9.9	46.8	87.1	80.4	209	
1968	221.5	183.4	110	31.8	3	2	35	26.5	21.6	34.8	164.2	107	
1969	256.3	104.2	159.2	29.8	0	3.2	9.4	0	24.6	28	109.6	110.5	
1970	163.5	126.4	95.6	77.8	1.4	0	3	0	44.6	56	80.4	345.8	
1971	159.8	221.7	94.6	36.2	1	0.1	0	0	1.4	66.4	71.8	149.5	
1972	207.2	52.2	150.7	42.6	0.6	0	12.2	27.6	19.8	12.6	78.3	126.8	
1973	258.8	191.2	130.8	72.6	12	2.8	10.4	8.7	17.2	26	101.2	118.8	
1974	146.4	284.7	143	60.8	9.2	17.8	0	41.2	10.8	29	38.4	101.2	
1975	143.8	198.2	89.2	79.5	29.6	1.4	0	1	27	28	55	207.2	
1976	143.7	112.1	138.8	52.4	11	10.4	27	0	29	9.2	48	90	
1977	118.4	236.7	113.3	51	4.2	0	0	5	20.4	84.4	175	125.1	
1978	286	142.2	142.8	60.5	13.2	0	0	0	16.5	7.4	103	174.3	
1979	168.6	123	140	49.4	10.6	0	0	6.6	12	22	95.6	113.6	
1980	98	161.1	154.8	15.4	4	0	1	2.2	2.4	76.8	92	93.8	
1981	156.5	101.6	150.5	50.1	5.7	2	0	10.7	35	86.3	139.3	190	
1982	236.7	140.8	145	73.8	4.6	0	0	18.2	38.1	98.3	199.9	198.1	
1983	66.3	69.4	152.9	28.2	2.8	0	0	14.7	10.4	49.1	49.7	51	
1984	232.2	270.4	39	126.7	6	0	0	28.5	7.1	123.4	118.3	81	
1985	202.8	145	147.9	57	0	0	0	0	42.5	52.8	128.3	132.7	
1986	100.1	152.1	197.3	60.4	17.6	0	0	0	0	24.8	62.5	107.9	
1987	324.4	134.2	73.2	0	0	0	33.4	0	0	25.2	192.5	165	
1988	223.3	138.5	241.5	93.6	0	0	0	0	0	51.1	43	222	
1989	191.3	125.3	220.9	77.2	9.6	0	0	4.4	38.6	66	50	67.6	
1990	252.3	79.2	87.1	21.4	0	36.6	0	16.6	15	122.4	62.2	103.2	
1991	102.1	180.3	123	27.5	15.8	23.3	0	0	32.3	44.6	108	157.1	
1992	130.6	136	85.9	18.8	3.8	16.8	0	26	0	63.6	94.7	13.6	
1993	317.9	201.2	107.3	35.9	6.8	0	0	22.8	26.8	123.5	138.1	345.7	
1994	209.1	219.3	251.7	49.1	3.9	0	0	0.3	39.5	87	92.1	255.7	
1995	194.7	155.2	214.2	19.9	1.8	5.2	0.6	0	22.8	15.6	94.6	125.1	
1996	218.6	232.2	130.8	48	11.1	0.6	0.2	13.3	18.8	44	84.1	237.2	
1997	169.1	268.5	158.9	26.4	8.8	0	0	15.5	7.1	51.5	181.3	189.9	
1998	150.9	141.4	45.5	12.3	0	3.4	0	0.3	11.5	105	60.6	65.1	
1999	234.7	151.6	114.4	73.3	0.8	0	0.2	6.2	60.9	100.3	88.1	211.3	
2000	288.1	210.7	143.8	1.2	1.6	18.5	0.6	5.4	13.9	144.6	43.6	189.7	
2001	242.8	186.2	229.4	33.7	26.6	0	40	13	13.3	79.4	100.1	135.4	
2002	185.4	296.7	217.9	78.5	25.6	16.9	76	9.9	28.7	105.8	114.8	170.8	
2003	167.5	181.1	206	35.1	7	7.5	0	27.6	10.8	62.3	41.9	169.9	
2004	254.4	182.9	171.5	47.8	2.5	26.9	25.7	11.1	35.2	51.9	86.2	122.8	
2005	109.3	241.9	205	35.6	1.8	0	4	11.8	9	30.6	64.6	129.6	
2006	212.6	143.8	143.5	68.8	0	13.6	0	8.9	5.4	68.4	100.9	150	
2007	121.3	115.1	98.2	72.1	18.5	0	0.8	0	2.6	71	83.1	181.4	
2008	153.1	117.3	97.4	20.9	8.2	1.5	0	8.5	14.6	122.8	135.6	204.6	
2009	166.2	171.9	97.5	11	14.9	0	19.3	0	17.5	34.8	207	195.4	
2010	316	184.1	158	26	2.4	5.2	3.4	3.5	12.1	89.6	54.7	210.9	
2011	139.5	269.3	214.8	78.9	13.6	10.3	11	0	52.2	64.2	77	231.5	
2012	149.6	188.7	113.7	47.5	1.8	2.8	4.4	0	45.1	26.8	125.7	263.1	
2013	139.9	212.8	80.5	7	1.9	6.1	0.1	18.3	3.2	103.6	111.2	269.4	
2014	238.3	123.5	71.1	46.3	8.9	0	0	1.3	8.5	128.9	37.6	213.8	
2015	183	113.2	81.5	79.2	23.7	2.3	6.2	7.2	31.5	50.9	82.9	194	
2016	146.5	240.1	70.9	25.7	7.3	0.3	3	0	18.2	97.1	88.1	98.8	
2017	104.8	116.5	166.9	69.2	17.5	0	1.8	17.4	11	71.9	86	92.1	
2018	145	189.4	224.3	37.6	3.1	24.2	19.7	27.5	8.5	73.6	139.7	71.5	



	<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>	
<b>TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL</b>		
<b>"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA COBERTURA VEGETAL SOBRE LA PERDIDA DE SUELO EN LA CUENCA CUSICOCHA -DISTRITO DE CHINCHERO – PROV URUBAMBA -DEPATAMENTO DE CUSCO"</b>		
<b>GUIA DE OBSERVACIÓN</b>		
<b>Asesor:</b>	<b>Ing. Jackeline Alejandra Pelaez Gamarra</b>	<b>Responsable:</b> <b>Bach. Sadam Hossien Ayma Villagra</b>
<b>ESTACION:</b>		
<b>CHITAPAMPA</b>	<b>LATITUD:</b> -13.4167 <b>LONGITUD:</b> -71.9667 <b>ALTITUD:</b> 3298 msnm.	<b>DISTRITO:</b> SAN SEBASTIAN <b>PROVINCIA:</b> CUSCO <b>DEPARTAMENTO:</b> CUSCO

**PARÁMETRO: PRECIPITACION MENSUAL**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1964	74.5	113.9	114.8	32.1	0	0	0	0	0	59.6	7.2	58.8
1965	120.6	102	66.3	55.3	11.4	0	0	0	50.8	41.23	36.7	170.7
1966	120.5	126.2	63.7	18.9	44.9	0	0	0	29.5	77.8	89.3	52.6
1967	68.2	134.9	114.1	21.3	2.5	0	16.2	17.3	27.7	66.9	75.5	111.4
1968	129.4	148.8	83.3	24.6	4.5	6.6	40.4	8.8	22.9	29.6	102.4	74.4
1969	167.9	104.5	88.8	22	0	3.4	7.8	0	4.9	21.5	58.5	66.6
1970	121.1	70.3	73.2	74.8	3.4	1.2	1.2	4.7	34	54	45.4	220.7
1971	194.8	185.6	91.8	40.8	2.4	0.9	0	0	9	38	29.4	126
1972	164.4	52	94.2	23.8	0	0	2.2	29	25.9	0	76.6	96
1973	211.3	117.9	111.9	59.1	10.7	0	0	12.6	1.5	52.1	104.1	80.6
1974	126.9	170.2	127.6	30.1	9.3	8.8	0	28.8	13.1	32.65	74.4	107.3
1975	87.6	141.4	51.4	64.7	40.4	2.1	0	0.1	25.3	56.8	47.3	119.6
1976	160.6	102	89	47.9	23.9	2	0	0	30.8	16.6	32.8	90.6
1977	117.2	134.8	64.1	25.2	0.3	0	15.9	2.3	7.9	29.6	87.5	89.9
1978	174.1	113.7	93.1	59.7	17.5	1	0	0	15.1	24.5	88.8	177.1
1979	170.1	98.2	95.6	25.6	28.5	0	18	2	16.5	33.9	66.7	110
1980	89.7	135.1	107	17	9	0	3	0	3	74.2	56.4	65
1981	120.2	86.8	97.9	62.8	4	4	0	5.3	38.6	74.7	88.6	140.3
1982	172.5	115.3	125.3	49.6	4	5.6	6	15.3	26.79	32.6	133	95.2
1983	148.4	45.5	49.5	10.9	0	5	0	0	0	12	86.3	89
1984	200.1	138.9	54.1	70.3	1	19	9	18.5	5	109.4	72.3	76
1985	87.5	111.3	71.5	36	9	38	7.3	0	36	49	87.5	125.5
1986	99.5	83.2	117	45.03	5	0	2	0	3	21.9	84.5	106.5
1987	258.1	72.3	55	8.3	0.5	9	13	0	0	42	103.6	120
1988	111.8	119	166.1	95.6	11	0	0	0	12	30.2	57.5	82.2
1989	163.7	126	129.8	57.7	6	7.2	0	0	29.1	48.9	65.9	89.7
1990	173.9	80.2	66	50.6	14	59.1	0	6.8	0	89.9	56.4	78.01
1991	77.9	144.1	71	18.7	17	12.2	2	0	21.5	36.5	86.7	94.3
1992	128.8	91.7	70.7	28.5	0	31.5	0	26.2	5.5	22.4	65	24.6
1993	186	108.5	51.3	40	3.2	1	2	22.6	15.3	55.3	112.2	198.9
1994	192.5	148.1	172.9	56.6	21.8	0	0	0	9.2	56.1	108.2	144.5
1995	95.5	99.6	113.6	10.7	4	0	0	0	11.7	12.9	55	103.3
1996	116.6	150.8	37.5	48.6	13	0	0	15.1	15	34.5	63.5	104.1
1997	116.5	137.9	124.9	23	0	0	0	21.1	14	23.5	140.5	135.1
1998	137.3	171.9	53	21.5	5	2	0	2.5	0.5	67.6	55.4	73.5
1999	130.9	117	102.6	36.5	0	19	2	0	55.5	48.4	33.5	127.62
2000	201	172.5	74.1	0	8.3	0	0	4.8	7.1	62.5	28.5	38
2001	249.3	98.8	118.9	32.2	30.6	0	0	12.2	20.7	50.2	102.9	46
2002	125	180.3	98.4	66.6	37.1	0	0	1	30.1	60.5	79.5	183
2003	174	197.1	90.6	48.7	0	0	0	25.8	0	44.8	39.8	105.6
2004	239.3	124.1	30.3	12.6	12.4	0	0	3.1	16.6	23	25.1	128.8
2005	151.5	145.1	74.9	35.2	6	0	0	9.2	8.9	35.1	83.6	115
2006	136	86.1	108.4	28.7	7	0	0	2.4	34.2	31.9	93.4	151
2007	109.8	125.6	109.9	53.8	22.4	0	0	0	7.7	56.1	103.3	89.8
2008	124.5	138.4	56.4	0	18.7	0	0	6.7	8.3	82.5	43.6	89.6
2009	88.8	127.6	49.9	9.3	24.3	0	0	6.9	23.9	33.9	161.6	122.6
2010	213.3	190.5	150.1	21.1	0	0	0	9.8	7.5	66.1	9.8	180.1
2011	57.5	217.4	157.2	73	19.6	0	0	2.4	61.1	44.1	90.5	149.8
2012	96.8	145.5	30.1	46.3	22.8	0	0	0	44.4	2.3	116.8	214.9
2013	166.9	186.7	92.4	14.1	9.1	0	0	9.2	0	101.2	100.2	178.2
2014	164.2	119.6	89.3	62.8	12.2	0	0	1.4	15.7	96.8	5.7	206.9
2015	172.1	93.6	57.9	80.5	15.9	0	0	6.5	19.9	0	39	158.7
2016	75.5	135.4	31.8	34.7	0	0	0	8.5	16.2	70	13	80.8
2017	149.5	105.9	95.1	63.5	55	0	0	1.2	5.9	74.4	90.7	114.9
2018	147.1	164.1	112.7	17.3	17.2	0	0	27	0	80.2	62.9	36



	<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>	
<b>TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL</b>		
<b>"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA COBERTURA VEGETAL SOBRE LA PERDIDA DE SUELO EN LA CUENCA CUSICOCHA -DISTRITO DE CHINCHERO – PROV URUBAMBA -DEPATAMENTO DE CUSCO"</b>		
<b>GUIA DE OBSERVACIÓN</b>		
<b>Asesor:</b>	<b>Ing. Jackeline Alejandra Pelaez Gamarra</b>	<b>Responsable:</b> <b>Bach. Sadam Hossien Ayma Villagra</b>
<b>ESTACION:</b>	<b>LATITUD:</b> -13.557 <b>LONGITUD:</b> -71.875 <b>ALTITUD:</b> 3219 msnm.	<b>DISTRITO:</b> SAN JERONIMO <b>PROVINCIA:</b> CUSCO <b>DEPARTAMENTO:</b> CUSCO
<b>KAYRA</b>		

**PARÁMETRO: PRECIPITACION MENSUAL**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1964	66	99.9	101.6	26	6.5	0	0	0	0	36.5	0	65.6
1965	101.8	100.5	112.4	51.6	0	0	0.4	1	29.6	49.5	42.5	153
1966	78.3	150.6	79.9	18.3	19.8	0	0	1.7	31.9	59.7	65.2	71.4
1967	59.1	118.4	111.8	19	1.8	0.6	11	20.5	6.6	70.9	57.2	125.6
1968	149.4	115.5	84.5	34.6	5.2	5.3	30.9	8.6	16.3	54.8	129.7	54.4
1969	144.4	77.8	88.1	16.8	2.9	3.3	7.2	3.9	22.8	29.8	54.7	72.9
1970	170.6	92.6	95.9	59.8	2.3	1	3.7	3.4	42.1	46.1	48.2	177.4
1971	128.9	161.6	83.6	40	1.5	0.1	0	0	3.5	55.7	51	127.5
1972	192.1	66.8	57.2	29.7	3.4	0	6.5	20.6	12.2	7.9	50.2	100.2
1973	221.3	120.9	99.6	75.2	4.7	0	9.1	4.4	14.5	11.5	88.8	96.5
1974	102.5	157.7	121.5	34.5	3.6	8.2	1	16.6	5.9	43.3	60.9	108
1975	124.7	131	55.3	66.8	22.5	0.7	0.3	0.6	35.6	47.5	51	170.1
1976	119.6	83.1	123.1	42.9	13	8.7	0.7	2.5	26.8	25.3	47.8	66.8
1977	116.7	122.8	69.3	47.6	0	0	4.4	0	11.3	65	135.6	78
1978	175.4	106.1	88.5	48.7	11.4	0	3.4	0	13.7	12.3	86.7	117.9
1979	103.7	131.6	108.8	46.8	6.2	0	0.9	8.1	11.5	18.4	85.6	81.8
1980	106.2	126.4	135	23.2	3.7	0	5.3	1	12.6	62.9	60.2	83.1
1981	185.9	80.8	96	56.9	1.8	3.9	0	9.8	47.6	86.5	83.1	102.6
1982	178.9	115.5	143.1	58.8	0	9.2	3.4	13.1	14	37.9	122.5	98.6
1983	128.4	84	54.5	29.8	3.4	6.2	0.5	0.9	5.5	26	44.3	100.2
1984	198.6	142.4	71	82.8	0	2	1.3	11.4	4.2	114.6	69.4	102.8
1985	129.1	119.4	74.2	77.7	3.2	11.6	0.9	0	43.3	62.1	116.5	122.4
1986	76.4	92.2	125.7	65.5	6.2	0	1.8	4.2	7.5	17.3	69.6	102.7
1987	224.3	87.9	48.6	13.1	2.1	1.3	9.2	0	8.2	26.5	101.8	107.6
1988	163.8	84.3	166.5	101.5	4.6	0	0	0	9.9	36.2	47.6	103.7
1989	151.4	126.8	119.3	38.6	6.4	9.1	0	2.4	30.7	48.7	60.7	88.5
1990	157.6	90.4	60.2	47.4	7.5	31.8	0	5.8	13.3	73.7	86.9	66.5
1991	97.6	163.6	105.2	45.1	11	5.1	1.5	0	21.4	49.3	83.6	99
1992	114.1	102.4	46.1	14.9	0	19.4	0	21.4	8	50.7	105.3	57
1993	206.7	110.5	75.8	29.2	0.9	0	2.7	12.7	18	47.4	111.9	201.5
1994	177	163.9	173.9	45.5	11.8	0	0	0	25.7	40.2	69.4	119.9
1995	122	94.8	95.3	17.8	0	0	0.6	1.2	28.8	26.7	70.2	102.6
1996	131.9	98	70.5	32.3	11	0	0	12.3	19.6	58.4	49	133.2
1997	123.3	127.7	104.8	31	4.8	0	0	6.7	12.3	44.4	138.3	148.4
1998	116.3	156.2	55	31	1.6	1.9	0	1.6	4.3	89.9	49.7	58.9
1999	117.2	94.5	92	42.8	1.3	3.4	1	0	43.1	18.8	39.7	119.5
2000	197.4	137.3	119.5	10.9	2.6	5.8	2.7	4.5	10.7	61	29.3	82
2001	233	173.1	137.4	36.4	11.5	0	17.4	10.2	20.6	88.4	96.8	89.4
2002	134.5	184.6	112.7	67.5	16.2	2.5	27.1	3.7	6.4	78.7	97.8	132.4
2003	163.9	135.5	142.9	56.5	2	6.4	0	10.9	3.7	34.6	43.8	123.8
2004	173.7	125.8	66.5	21	2.4	20.5	17	9	21.7	25.6	60.9	87.9
2005	140.8	130.6	52.3	33.1	3.2	0.4	1.2	4	4.5	39.1	59.3	102.5
2006	203.4	124.6	153.5	40.9	0.2	4.9	0	10.5	7.5	72.5	67.8	147.2
2007	140.8	58.7	107.3	77.4	5.8	0	4	0	1	62.9	121	88.4
2008	108.8	109.2	64.4	7.6	8.7	2.1	0	3.9	13.9	51.7	90.2	131.9
2009	112.5	108.3	79.1	21.3	5.3	0	3.3	0.7	15.1	19.6	138.2	92.2
2010	268.5	168.5	129.2	16.6	1.3	0	1.4	4.7	8.2	70	40	172.7
2011	103.4	179.3	131.9	67.6	3.9	3.2	3.7	0	38.9	38.2	60.2	184.4
2012	167.9	167.7	59.4	48.1	4.5	1.2	0	0.1	18.4	19.5	90.2	179.5
2013	180.5	137.2	75.5	13	4.1	6.1	2	12.4	6.3	105	86	159.4
2014	161.9	116.5	36.5	35	10.1	0	3.2	5.8	12.6	60.9	29.6	152.1
2015	169.8	57.4	66.7	69.8	15.3	3.9	10.3	4.6	16.1	19.1	48.6	113
2016	104	153.1	54.3	35.8	3	0	4.5	0.5	7	79.5	28	89.8
2017	111.2	86.9	122.8	47.5	11.2	5.9	0	8.4	19	35.9	61.4	101.7
2018	154.8	162.2	145.7	19.6	0.2	16.2	15.8	12	7	83.4	80.8	95.2



		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO											
		FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA											
		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL											
TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL													
"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA COBERTURA VEGETAL SOBRE LA PERDIDA DE SUELO EN LA CUENCA CUSICOCHA -DISTRITO DE CHINCHERO – PROV URUBAMBA -DEPATAMENTO DE CUSCO"													
GUIA DE OBSERVACIÓN													
Asesor:		Ing. Jackeline Alejandra Pelaez Gamarra					Responsable:		Bach. Sadam Hossien Ayma Villagra				
ESTACION:													
PERAYOC		LATITUD: -13.5211			DISTRITO:			CUSCO					
		LONGITUD: -71.9647			PROVINCIA:			CUSCO					
		ALTITUD: 3365 msnm.			DEPARTAMENTO:			CUSCO					
PARÁMETRO: PRECIPITACION MENSUAL (mm)													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1964	103.78	116.01	170.4	22.5	5.8	0	0.3	5.6	4	44.84	0	70.65	
1965	106.35	101.1	147.1	81.95	0	0	4.25	5.2	43.75	37.1	60.53	185.35	
1966	141.3	158.9	89.65	17.3	21.85	0	0	1.1	42.4	85.95	89.4	47.85	
1967	65.75	114.4	128.4	15.65	3.3	0.4	12.9	4.2	26.4	72.6	72.55	135	
1968	170.4	135.15	105.9	25.7	1.35	5.15	39.17	16.2	20.1	32.91	141.7	88.1	
1969	199.85	116.1	107	18.85	0.3	3.4	10.2	0.3	16.75	27.9	73.9	86.6	
1970	150.05	97.35	94.9	95.55	5.3	6	6.6	2.4	43.35	37.4	34.4	213.6	
1971	212.4	143.3	92.7	38.1	1.7	1.5	0.3	0	0	53.2	44.4	147.6	
1972	169.95	74.7	96.4	40.7	0.8	0	9.29	20.5	41.5	5.5	67.6	102.95	
1973	228.55	137.75	141.85	57.4	3.7	0	10.7	15.9	6.6	29.9	101.75	91.65	
1974	130.35	228.8	130	61.6	5.7	14.3	3.1	37	21.9	45.6	42.25	121.4	
1975	119.7	159.7	107.5	71	27.8	1.4	0	0.1	40.5	48.2	42.1	152.2	
1976	158.1	73.7	155.7	48.2	21.7	7.1	0.9	1.7	42.6	15.5	56.2	103	
1977	114.3	151.3	80.8	60.9	3.9	0.2	0.2	2.7	19.4	65.1	165.3	66.7	
1978	249.4	128.2	150.6	37.5	6.7	0	1	0	12.7	9.7	128.4	124.3	
1979	165	128.8	170.1	36.9	21.5	0	5.9	6.4	12.4	22.6	107.4	77.9	
1980	97.9	141.7	161	34.1	7.4	2.1	2.4	0.4	7.7	96.2	66.6	67.5	
1981	218.1	73	119.2	69.2	0.6	4.2	0	12.4	46.7	105	112.1	133.9	
1982	205.9	118.7	159.5	67.9	0	1.4	3.8	9.8	22.3	68	161.9	97.6	
1983	154.3	96.4	60.8	23.8	0	36.05	0.7	0	2.3	37.5	60.35	94.2	
1984	219.85	172.8	88.6	82.1	0.2	6.8	0.2	19.3	21.8	126.05	82.6	110.1	
1985	121.9	143	123.5	64.2	0	17.9	3.1	6.1	39.1	70.3	128.1	146.4	
1986	103.2	114.1	154.8	78.2	6.8	0	3.3	0	10.8	35.6	58.4	87.5	
1987	311.6	106	81.2	35.1	5.9	13.6	14.2	0	13	60.5	121.2	164.9	
1988	228	144.5	250.5	83.5	4	0	0	0	19.4	53.5	57.7	154.5	
1989	213.4	147.4	198.5	54.7	4.1	14.9	0	6.3	15.5	92.8	72.4	72.5	
1990	170.2	89.4	62.5	29.4	11.8	33.7	0	6.8	18.3	105.9	109.1	105.7	
1991	117.1	197.8	134	44.8	14.1	7.9	1	0	31.6	42.1	104.8	116.2	
1992	154.8	142.1	95.6	18.5	1	6.5	1	29.9	9.1	68.7	124.9	66.6	
1993	259.9	123.2	93.2	34.5	3.4	0	1.8	22.7	6.9	97.4	131.8	220	
1994	196.4	220.9	232.6	60.5	15.2	0	0	0	21	44.5	64.2	165	
1995	127	90.6	137.8	26.1	1.7	0.3	3.1	0	11.2	20.1	69.1	124	
1996	169	85.8	89.1	40.8	9.7	0.6	0	15.7	16	61.2	66	168	
1997	137.2	83.2	145.4	47.6	3.2	0	0	11.1	13.4	35.5	123.9	178.7	
1998	155.3	163.2	54.3	34.8	3.8	3.4	0	6.2	2.2	84.9	70.6	69.4	
1999	165	145.5	104	50.7	1.8	6	0	0	57.9	24.8	52.7	119.2	
2000	234.9	169.7	113.1	9.4	1.8	3.5	2.4	6.7	24.6	54.2	53.8	90.7	
2001	295	155.4	193.6	34.2	12.4	0	22.4	11.9	19.2	70.5	66.9	102.9	
2002	134.9	179.8	128	90.1	29.3	2.2	32.5	6	34.9	73.8	113	164.9	
2003	216.6	156.9	145.4	56.1	2.8	7.1	0	13.1	9.8	23.5	56	127.8	
2004	203	149	89.5	30.4	3.4	20.6	9.6	10	32.7	31.3	90.8	94.2	
2005	140.8	130.6	120.2	35.7	1.1	0	1	3.1	6.5	36.9	66.6	141.2	
2006	196.3	122.3	126.5	73.9	0	6.8	0	5.5	18.6	77.8	123.3	165.7	
2007	140.8	84.8	113.5	68.6	13	0	4	0.8	6.1	74.3	103.8	162.9	
2008	130.8	135	80.8	5.3	6.5	2.5	3.1	6.7	14.2	106.5	148.7	124.4	
2009	122.3	117.3	131.9	15.35	6.55	1.3	4.2	0	10.7	11.5	195.9	129.9	
2010	339.1	137.8	166.3	25.4	6.6	0	5.3	10.6	7.2	84.1	49.5	263.3	
2011	98.7	245.2	191.5	66.7	10	0	4.5	0	38.2	25.8	71.85	176.2	
2012	128.7	187	153.8	47.95	4.1	6.1	3.5	0	27.1	5.1	89.2	209	
2013	224.5	205.3	112.5	29.2	8.1	12.2	2.5	17.3	19.7	120	94.2	199.8	
2014	177.4	75.2	49.7	64.1	20.6	0	2.6	6	17.6	79	17.6	170.9	
2015	165.7	145	86.8	70.18	20.6	4.4	9.1	12.1	28.8	20.4	70.1	157.4	
2016	100.1	182.7	59.2	45.7	11.2	0	0	1.3	22.6	77.4	33.6	93.1	
2017	166.5	116.9	127.9	56.6	19.5	0	0	6.9	1.5	123.8	97.3	65.4	
2018	117.9	122.8	151.1	21.3	13.8	0.2	9.7	13.1	25.3	93.3	115.7	22	



		UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO											
		FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA											
		ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL											
TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL													
"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA COBERTURA VEGETAL SOBRE LA PERDIDA DE SUELO EN LA CUENCA CUSICOCHA -DISTRITO DE CHINCHERO – PROV URUBAMBA -DEPATAMENTO DE CUSCO"													
GUIA DE OBSERVACIÓN													
Asesor:		Ing. Jackeline Alejandra Pelaez Gamarra					Responsable:		Bach. Sadam Hossien Ayma Villagra				
ESTACION:													
PISAC		LATITUD:		-13.416		DISTRITO:		PISAC					
		LONGITUD:		-71.849		PROVINCIA:		CALCA					
		ALTITUD:		2950 msnm.		DEPARTAMENTO:		CUSCO					
PARÁMETRO: PRECIPITACION MENSUAL													
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1964	55.80	55.56	149.70	8.25	12.26	0.00	0.00	0.00	0.00	15.50	0.00	31.26	
1965	54.36	41.20	107.20	56.10	0.00	0.00	7.85	0.00	16.70	14.66	19.48	115.20	
1966	54.76	102.10	50.00	7.45	33.80	0.00	7.45	0.01	34.80	81.70	50.20	35.52	
1967	45.94	69.52	82.43	23.90	16.27	7.74	19.59	13.80	13.43	36.20	53.35	68.00	
1968	109.08	150.14	130.10	16.55	1.05	10.04	20.23	20.10	12.70	13.50	96.41	30.09	
1969	116.81	58.73	92.40	53.00	0.02	21.51	16.28	0.20	9.70	27.20	54.38	89.05	
1970	126.46	49.80	72.40	50.80	11.75	10.95	11.65	0.00	40.40	31.50	19.76	180.70	
1971	130.43	128.60	70.58	52.62	0.90	10.61	7.53	5.50	0.02	46.21	20.78	118.30	
1972	105.60	48.62	56.00	26.64	9.14	0.00	11.79	16.13	16.52	9.22	25.75	68.02	
1973	136.70	111.60	118.95	54.45	13.47	13.64	16.16	0.00	11.57	32.24	51.40	92.00	
1974	111.48	153.89	110.18	46.51	9.14	15.00	1.02	28.17	10.83	13.94	23.40	61.98	
1975	70.48	120.70	73.06	44.00	41.65	9.94	0.00	0.00	19.34	47.60	71.60	114.20	
1976	112.50	48.51	105.06	37.20	17.10	8.43	7.54	0.00	23.36	9.15	37.61	64.70	
1977	75.22	96.08	61.50	33.35	0.00	0.00	9.07	3.30	15.80	21.16	86.80	47.60	
1978	176.45	136.60	108.66	35.80	13.80	0.00	0.00	0.02	23.43	7.53	56.10	117.40	
1979	157.70	98.80	119.70	53.41	11.55	12.27	10.67	7.46	21.81	20.61	91.40	64.58	
1980	80.30	157.40	102.40	0.00	7.47	0.00	0.00	0.00	0.00	37.78	73.20	44.75	
1981	149.60	110.10	77.78	35.10	13.30	9.21	18.11	8.25	18.19	67.30	66.70	100.39	
1982	141.00	88.20	117.40	57.10	0.00	12.26	1.00	12.10	21.80	29.98	89.65	41.00	
1983	61.70	73.00	32.20	29.74	0.00	7.45	14.74	4.10	11.50	20.68	30.30	90.70	
1984	144.20	137.00	68.90	107.40	0.00	0.00	0.00	19.08	12.34	97.90	63.10	80.00	
1985	118.60	113.70	100.80	57.41	12.50	0.00	0.00	0.00	28.22	38.50	87.40	88.60	
1986	32.80	101.19	113.30	72.20	15.87	0.00	7.53	0.00	9.05	7.53	24.80	89.30	
1987	165.90	42.65	25.57	16.51	0.00	17.55	13.14	0.00	0.00	12.42	86.90	127.00	
1988	163.50	99.60	193.40	53.60	2.00	0.00	0.00	0.00	2.30	12.00	13.70	85.90	
1989	116.30	94.80	111.50	31.10	8.00	0.00	3.00	1.20	35.50	56.70	20.20	86.00	
1990	95.10	99.00	20.30	52.90	6.20	38.40	0.00	3.00	8.40	94.90	88.90	58.50	
1991	76.20	101.70	64.50	31.40	11.50	8.00	0.00	2.00	1.00	50.70	61.40	65.40	
1992	81.00	81.90	99.10	22.60	0.00	26.00	0.00	25.00	4.00	32.00	68.50	22.80	
1993	178.90	82.90	90.60	36.00	8.20	4.20	8.20	14.20	16.90	79.90	87.00	139.10	
1994	167.20	118.00	151.60	59.80	36.20	0.00	0.00	0.00	12.40	52.60	41.30	121.30	
1995	98.90	79.50	59.40	0.00	4.20	0.00	0.00	0.00	12.20	24.20	32.30	94.30	
1996	117.60	108.70	65.20	27.90	12.10	0.00	0.00	22.50	33.50	52.50	47.50	58.60	
1997	73.90	99.90	99.50	7.50	2.90	0.00	0.00	20.10	18.10	13.50	108.90	97.80	
1998	129.80	98.70	38.20	21.60	4.20	3.00	0.00	0.80	13.50	64.00	50.90	51.30	
1999	93.20	122.30	136.90	65.90	4.90	3.70	2.60	0.00	48.30	17.70	40.20	105.90	
2000	159.80	105.40	93.50	2.20	9.10	3.70	0.00	2.00	4.40	38.40	11.00	70.60	
2001	211.20	136.40	152.20	19.90	39.30	0.00	19.40	9.60	8.00	50.00	77.40	102.00	
2002	90.60	161.40	106.10	55.40	36.90	4.30	46.60	3.30	22.80	52.90	30.50	127.90	
2003	114.40	108.70	110.70	35.70	4.40	6.80	0.00	17.50	4.00	31.70	18.30	120.90	
2004	149.90	109.20	82.70	15.80	2.00	16.40	10.30	6.90	32.50	25.90	43.00	94.30	
2005	111.50	141.70	69.10	29.60	0.00	0.00	1.50	3.70	4.10	18.00	50.50	58.60	
2006	170.70	82.20	125.00	51.40	0.00	30.00	0.00	14.30	5.20	42.70	69.70	117.10	
2007	102.70	55.80	51.00	54.70	7.60	0.00	1.70	0.00	4.90	32.70	66.90	83.30	
2008	125.70	149.90	61.50	8.50	5.90	3.60	0.70	3.20	9.80	46.80	64.10	97.60	
2009	89.90	89.40	66.20	14.10	0.20	0.00	3.10	0.80	20.40	8.20	118.10	115.30	
2010	199.00	145.10	75.80	43.60	6.50	1.10	1.40	3.80	1.80	17.80	26.30	139.00	
2011	100.70	170.60	109.20	62.00	6.80	7.00	8.60	0.60	27.90	26.20	48.00	134.50	
2012	67.00	157.00	54.20	30.10	1.20	0.50	0.80	0.50	24.10	8.60	112.40	146.80	
2013	107.10	152.20	68.10	23.30	10.70	5.40	4.10	15.80	5.60	98.70	52.90	120.70	
2014	143.80	82.60	68.70	50.00	12.80	0.00	1.30	1.50	22.90	69.80	12.50	105.80	
2015	152.70	63.30	72.00	56.50	12.50	0.00	26.80	3.60	15.80	7.40	13.10	125.20	
2016	64.80	166.30	80.60	32.70	2.70	1.20	7.30	0.00	14.10	72.90	27.10	98.20	
2017	115.20	91.60	116.20	54.80	39.70	3.20	0.80	5.50	9.00	35.30	91.00	61.90	
2018	124.30	121.10	107.00	32.00	3.90	14.20	13.60	15.00	11.80	47.20	93.40	70.00	



	<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>	
<b>TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL</b>		
<b>"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA COBERTURA VEGETAL SOBRE LA PERDIDA DE SUELO EN LA CUENCA CUSICOCHA -DISTRITO DE CHINCHERO – PROV URUBAMBA -DEPATAMENTO DE CUSCO"</b>		
<b>GUIA DE OBSERVACIÓN</b>		
<b>Asesor:</b>	<b>Ing. Jackeline Alejandra Pelaez Gamarra</b>	<b>Responsable:</b> <b>Bach. Sadam Hossien Ayma Villagra</b>
<b>ESTACION:</b>	<b>LATITUD:</b> -13.305 <b>LONGITUD:</b> -72.125 <b>ALTITUD:</b> 2850 msnm.	<b>DISTRITO:</b> URUBAMBA <b>PROVINCIA:</b> URUBAMBA <b>DEPARTAMENTO:</b> CUSCO

**PARÁMETRO: PRECIPITACION MENSUAL**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1964	78.8	99.3	47.8	4.4	2.8	0	0	2.7	0	36.4	26.1	43.6
1965	63.1	59	73.3	46	0	0	0	0	17	16	37	133
1966	63	100	36	10.5	22	0.7	0	0	21.4	58.7	93.8	56.5
1967	37.9	81.9	66.2	19.1	15.1	0.5	33.5	20	6.9	55.8	65.1	86
1968	100.9	98.9	74	17.1	0	0	43.5	16	11	7.7	91.5	58.8
1969	89.5	28.2	50.9	17	0	0	3	0	3	5	69.1	55.1
1970	74	74.5	56	44.3	0	0	2.5	0	16.3	35.5	32.5	158
1971	106	100.5	57	16.5	0	0	0	3	2	32	41	99
1972	116.6	48	58.5	18.4	1.6	0	2	17.9	5	6.7	54.2	85.2
1973	145.6	74.8	80.7	46.3	6.4	1.4	11.3	3.9	2.7	16.3	54.7	53.4
1974	77.2	119	98.4	33	11	15	0	26.7	5.8	15.5	33.52	56.1
1975	82.6	54	64.6	42.4	23.6	5.5	0	1.1	13.2	24	29.8	113.5
1976	80.1	36.7	61.5	29.7	8.2	2	0	0	3.3	0	45	41.9
1977	52.5	114.8	65	28.1	0	0	0	0	0.9	43.2	71.4	37.2
1978	155.1	58.49	90.2	28.8	11.5	0	0	0	9.2	8.4	50.7	95.9
1979	105.8	60.6	56.8	30.1	14.2	0	0	6.2	14.4	2.2	35.8	56.6
1980	41.1	99.9	46.3	14.9	4.3	0	0	0	9.3	27.5	51.5	44.2
1981	85.1	76.1	62.8	24.5	2.6	0	0	7.5	11.1	72.9	31.9	66.5
1982	146.5	103	61.8	34.9	6.7	0	0	13.2	20.7	39.5	87	47
1983	49.2	73.5	43.9	31.1	2.9	0	0	4	12.6	16.1	30.9	63.8
1984	142.3	79.6	73.9	55.1	0	0	0	18.3	0	68	70.7	52.2
1985	108.2	93.8	64.5	19.7	0	7.9	2.1	2.8	14.6	34	64.1	109.7
1986	53.7	58.1	109.5	41.5	2.1	0	0	5	4	13.5	57.5	49.5
1987	153.6	48.2	35.5	1	3	7.5	17	0	0	27.5	88	100
1988	115.5	77.5	126.5	43	4.5	0	0	0	2.7	25.5	25	88
1989	102	90	103.9	38.1	13.3	9.5	0.5	0	14.2	46	25	86.4
1990	133.5	63.2	26	33	6	40	0	9.5	6	52.6	51.9	69.3
1991	52.5	97.6	73	13.3	20	10	0	0	11.5	32.5	48.9	56.5
1992	95.5	77.3	40.5	9.5	0	40.5	0	17.1	1.5	22.5	60	27
1993	128	82	57.5	13	2	0	2.5	22.8	4	47.4	79	120
1994	117	96.6	110	34.5	4.4	0	0	0	18.8	51.5	84.2	132
1995	72.2	42.1	81.3	10.9	2.2	1	0.3	0	14.5	35.1	55	95.5
1996	88.4	77.5	50.6	29.7	13.2	0.4	0.1	11.6	5	35.1	46.9	128.2
1997	88.6	109.2	98.5	24.8	2.3	0	0	18.3	6.2	10.1	103.2	84.9
1998	108.7	73.2	26.7	10.4	4	0.7	0	0.4	1.7	31	49.7	47
1999	129.5	108.4	66.1	29.6	2.9	0.8	0.1	0	23.7	20.3	52.2	63.5
2000	126	92.9	73.4	6.5	6.4	8.8	0.8	0.1	4.5	63.9	19.7	76
2001	167.2	86.9	102.2	22.7	22.5	0	16.9	11.6	10	38	64.2	62.1
2002	82.9	117.8	78.3	11.6	27.2	5	62.7	1.8	16.8	64.5	52.1	107.7
2003	96.9	74.3	86.4	25.9	4.3	8.4	1.2	18	1	31.7	32.5	94.4
2004	123.9	87.2	28.6	15.2	1.5	30.6	21.5	10.3	12	39.9	34.5	78.7
2005	47.6	97	62.7	20.8	0	0	1.6	1.9	8	48.2	51.1	82
2006	111.8	92.8	68.9	33.5	0	1.9	0	4	9.6	50.1	64.6	82
2007	73.3	33.8	82.6	42.4	4.6	0	1.9	0.1	0	57.4	61	74.1
2008	98.3	83.2	44.8	4.6	7.1	2.8	0.6	3.1	3.9	35.5	48.6	81.4
2009	90	94.1	63.7	10.9	6.3	0.1	2.7	1.6	8.9	25.8	128	76.9
2010	188.2	108.3	79.1	13.2	2.2	0	2.5	8.2	5	46.6	23.9	114.6
2011	84.4	149.9	81.4	44.7	12.6	17.9	15.7	4.8	25.2	38.9	26.1	150
2012	69.04	124.4	57.4	18	0.3	0.6	1.8	0.3	17.2	8.1	66.5	134
2013	123.4	104.7	43.6	3.5	1.4	4.4	0	23.7	2.2	71.8	77.1	136
2014	124	69.9	52.4	32.5	10.2	0	0.1	0.5	6.2	56.7	30.6	99.6
2015	128.8	85.2	42.2	28.4	8.7	0	7.8	5.6	12.6	15.2	28.9	116.9
2016	62.3	118.8	44.9	22.9	1.8	0.3	5.2	0	3.2	54.9	0.3	87.6
2017	77.9	81.8	69.6	29.9	24.5	0	0	11	8.4	38.7	69.9	55.1
2018	88.2	117.8	85.3	9.1	0	26.8	16.7	19	3.1	65.7	50.1	64.6



	<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>	
<b>TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL</b>		
<b>"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA COBERTURA VEGETAL SOBRE LA PERDIDA DE SUELO EN LA CUENCA CUSICOCHA -DISTRITO DE CHINCHERO – PROV URUBAMBA -DEPATAMENTO DE CUSCO"</b>		
<b>GUIA DE OBSERVACIÓN</b>		
<b>Asesor:</b>	Ing. Jackeline Alejandra Pelaez Gamarra	<b>Responsable:</b> Bach. Sadam Hossien Ayma Villagra
<b>ESTACION:</b>	LATITUD: -14.237 LONGITUD: -71.237 ALTITUD: 3534 msnm.	DISTRITO: SICUANI PROVINCIA: CANCHIS DEPARTAMENTO: CUSCO

**PARÁMETRO: PRECIPITACION MENSUAL**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1964	43.3	73.6	169.7	57	3.2	0	0	0	23.4	31.3	57.4	90.1
1965	73.8	89.7	119	67.4	2.1	0	2.4	3.7	14.9	33.5	61	179.7
1966	81.6	118.2	94.2	6	35	0	0	2.3	38.9	38.4	93.5	58.1
1967	63.4	117.2	155.9	33	8.2	1.4	21.4	15.8	18.6	49	46.8	129.5
1968	118.2	171.3	104.4	55.6	0	0	16	11.9	21.4	63.8	130.7	64.2
1969	132.5	127	140.4	50.4	3.6	2.8	8	1.6	18	38.6	76.2	80.8
1970	137.1	139.5	68.9	120.7	5.6	0	0	0	53.1	48.3	46.6	185.4
1971	106.5	162	66.1	66.9	6	0	0	0	0	0.9	19.2	166.3
1972	154.2	76.5	95.6	58.1	6.3	0	15.9	19.6	22.5	8	35.2	94.4
1973	196.1	136.2	168	82.5	25.4	0	2	11.8	5.9	27	75.4	96.2
1974	150.4	223.3	180.9	76.1	0.8	6.5	0	31.3	24.5	13	53.28	115
1975	111.4	169	152.9	99.6	20.3	0.7	0	10.1	32.1	24.4	62.4	154.2
1976	86.1	68.7	130.4	92.4	11.4	6.7	5.1	5.6	17.9	9.3	29	86.3
1977	70.5	179.9	87	82.8	7.2	0	0.8	0	11	30.7	87.3	88.1
1978	214.6	164.2	142.2	83	10.7	0	0	0	25.5	24.2	73.4	56.1
1979	180.1	194	140.5	45.6	14.6	0	0	11.7	25.5	28.1	44.2	67.7
1980	136	192.7	107.2	52.6	12.5	0	0	2.1	6.3	59.4	51.9	110.2
1981	103.9	31.8	118.3	85.1	8.2	0	0	1.3	20.7	102.5	62.8	76.1
1982	150.9	113.3	120	75.7	0	0	0	4	28.5	55	99.1	72.5
1983	106.3	141.3	33.3	80.2	6.2	0	0	2.5	16.6	25.9	55.4	79.1
1984	143.9	168	98.1	81.5	1.8	0	0	15.1	14.3	123.8	76.7	32.8
1985	112	95.3	153	59.1	11.3	0	0	3	22.9	66.7	86.5	95.6
1986	93.2	111.1	203.5	74.2	7.9	0	0	2.5	0	53.6	61.9	111.4
1987	187	31.4	82.7	38.6	2.9	1.3	11.2	0.5	2.5	24.9	150.3	153.9
1988	143.8	94.9	234.9	87.4	4	0	0	0	3.4	17	18.7	78.5
1989	183.4	108.2	168.5	76.5	16.1	10.2	0	0	17	51.7	46.9	41.1
1990	127.1	104.8	71.2	41.2	1.5	25.2	0	9	11.2	95.8	90.5	128.8
1991	93.3	167.5	87.5	59.3	18.1	14.4	0	0	12.7	44.9	39.1	70.4
1992	99.2	87.8	86.3	18.5	17.5	0	0	19.5	16.1	62.8	96.8	53.6
1993	163	87.1	116.2	57.4	0	1.2	2	15.5	26.7	66	136.4	163.1
1994	154.3	143.8	206.5	74.9	18.8	0.3	0	1.2	41.3	50.5	81	127.4
1995	107.4	105.2	131.3	51	3.1	1.2	2.8	0	16.6	36	80	117
1996	121.3	112	111.3	42.7	16.3	0	0	12	24.5	54.2	61.6	115.7
1997	93.3	173.8	176.9	49.9	3.5	0	5.2	15.2	8.9	45.5	135.5	154.3
1998	102.3	131	97.8	15.5	0	0	0	5.6	1.7	92.2	73.6	92.7
1999	133.3	145.4	88.1	85.7	0	3.2	0.3	0	44.1	24.4	38.5	127.2
2000	149.8	180	121.9	15.6	7.2	6	4.4	1.7	18.6	76.4	25.2	92.6
2001	213	158.1	176.9	55.3	25.9	1.2	13.9	10.5	9.9	48.3	76.2	124.8
2002	92.2	205.2	145.7	90.2	32.9	0	26.1	4.7	37.4	75.9	87.3	141.5
2003	129.2	131.8	160	59.6	20.1	6.6	0	20.2	1.6	37.5	27.2	125.5
2004	162.6	83.1	80.4	47	7.6	8.2	4.2	12	23.5	28.9	92.4	98.4
2005	66.3	130.4	120.3	44.9	4.5	0	2.7	0	7.6	48.3	75	93.4
2006	151.2	120.8	173.8	99	3.3	5.7	0	10.3	23.3	45.4	84.7	102
2007	115.8	86.9	89.6	68.4	5.3	0	9	0	15.2	60.7	77	73.7
2008	137.3	133.5	117.9	21.6	7	0.7	0.6	0.6	2.6	84.1	61.6	155.4
2009	89.8	140.6	85.8	37.6	5.7	0	6.2	0	11.1	32.2	144.9	121.1
2010	242	123.9	118	48.4	2.6	0	0	5.7	2.4	62.8	46.6	113.8
2011	107.6	190.6	156.4	80.9	14.4	2.9	4.4	8.5	51.9	25.3	98.7	131.9
2012	106.4	184.8	103	49	0.5	3.2	0.8	0	15	36.4	106	149.8
2013	167	157.7	78.9	23.5	7.2	7.1	0	11.2	1.8	104.7	66.2	162.7
2014	146.9	134.3	55.4	36.7	9.5	0	0.2	6.3	24.5	90.9	31.2	156.4
2015	142	95.9	106.9	107.5	26.4	2.7	12.6	7	10.7	52.5	74.6	136.5
2016	112.1	185.6	53.8	19	3.2	0	0.3	0	19.9	79	57.9	77
2017	150.9	119.1	126.9	60.8	26.8	0	2.2	0	22.7	72.9	68.8	73.4
2018	117.3	159	124.3	15	7.2	23.1	18.9	20.1	3.3	66	102.9	45



	<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>		
<b>TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL</b>			
<b>"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA COBERTURA VEGETAL SOBRE LA PERDIDA DE SUELO EN LA CUENCA CUSICOCHA -DISTRITO DE CHINCHERO – PROV URUBAMBA -DEPATAMENTO DE CUSCO"</b>			
<b>GUIA DE OBSERVACIÓN</b>			
<b>Asesor:</b>	Ing. Jackeline Alejandra Pelaez Gamarra	<b>Responsable:</b>	Bach. Sadam Hossien Ayma Villagra
<b>ESTACION:</b>			
<b>LA RAYA</b>	<b>LATITUD:</b>	-14.484	<b>DISTRITO:</b> SICUANI
	<b>LONGITUD:</b>	-70.985	<b>PROVINCIA:</b> CANCHIS
	<b>ALTITUD:</b>	4350 msnm.	<b>DEPARTAMENTO:</b> CUSCO

**PARÁMETRO: PRECIPITACION MENSUAL**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
1964	172.9	129.4	244.2	38	0	0	0	0	0	25.6	0	0
1965	145.5	186.2	144.4	85.9	53.9	0	0	0	42.7	52.4	77.4	154.1
1966	71.3	154.3	129.9	77.7	148.9	0	0	0	68.5	114.3	99.2	133.9
1967	160.2	137.6	140	78.7	30.8	0	0	10	29.8	104.3	87	169.9
1968	119.6	111.7	103.8	50.7	19.3	0	0	15.9	56.2	44.6	216.6	66.7
1969	148.7	77.2	69.6	17.2	3.2	0	0	1	7.8	68	72.5	39
1970	191.1	119.5	130.2	109.5	6.9	0	0	4.8	86.4	107.7	49	258.8
1971	156	195.7	64.2	47.1	20	0	0	0	22.8	22.2	33	131.1
1972	198.2	88.3	149.8	36.4	14	0	0	37.7	38.8	34.5	73.6	147
1973	265.3	150.8	161.2	93.7	20.4	0	6.8	5.6	46.4	73.4	77.2	88.5
1974	181.1	204.2	165.7	69.4	8.5	7.6	0.6	36.2	8.4	38	87	132
1975	110.3	146.7	166.8	136.2	113.8	0	0	1.2	37.8	54.7	67.1	146.2
1976	181.8	117.4	187.3	90	41	12	9.5	2	39.1	9.5	34.6	74.7
1977	112.4	204.1	129.8	76.9	16	0	5	0	33.1	37.5	207.2	117.5
1978	271.7	214.2	131.6	71	20.1	0	0	7.9	48	25.5	109.5	160.1
1979	206.7	131.1	179.4	76	112.6	0	0	3	11.5	56.5	162.4	94.6
1980	157.5	123.7	199.5	42.6	31.1	0	0	0	16	95.5	143.7	85.6
1981	187.7	93.5	205.2	103.8	1.2	0	0	5.9	56.2	78.9	105.5	128.4
1982	255.1	148.3	223.2	124	0	4	0	17	71.6	126.4	146.7	80
1983	124.2	95.4	100.6	83	5	7.8	0	1.5	8.3	28.4	47.3	83.8
1984	292.6	158.4	56.7	136.8	22.6	25.6	3.8	19.5	9.9	131.5	96.6	108.9
1985	229.4	166.6	163.3	61.1	43.2	9.1	1	0	53.9	56.6	148.7	148
1986	94.2	51.5	192.7	80.1	19.3	0	10.4	0	12.7	13.2	70.1	141
1987	270	90.2	95	44.5	12.2	0	17	3.5	8.8	55.1	159	153.3
1988	186.9	176.9	246.9	146	10.2	0	0	2.7	12.9	45.5	13.7	127.7
1989	244.6	135.4	178	79.2	27.7	19.3	0	13.6	37.6	48.5	43.9	100.9
1990	199.3	114	70.6	113.5	9.8	47.7	2.7	12.7	29.9	137.4	122.2	146.3
1991	66.3	151.5	137.2	43.3	27.7	22.9	0	1.3	27.7	74.7	112.1	143.5
1992	190.2	133.1	93.5	29.2	0	0	48.3	22.9	30.7	67.8	134.3	69.6
1993	240.7	136.1	74.5	58.2	4.8	10.2	13.5	26.6	52.1	70	187.5	251.1
1994	198.9	197.6	224.79	91.4	46.7	1.3	0	0	35.8	67.3	131.3	192.3
1995	144.6	94.7	204.8	81.1	0	0	0	12.6	48.4	10.7	88.1	124.1
1996	195.4	178.5	77.6	69.6	90.5	0	0	17.5	69.1	98.7	114.6	154.3
1997	183.7	90.3	189.8	63	35.2	0	0	20.1	9.3	32.2	185.9	173.7
1998	192	218.8	48.1	11.6	0	0	0	7.5	0	85.8	75.3	85.4
1999	200.1	255.3	191.5	68.2	0	0	0	10.4	49.9	39.2	71.8	177.1
2000	305.7	175.7	133	59.8	26	0	0	6.6	67.1	70.1	75.2	88.3
2001	348.8	199.9	227.1	49.7	108.9	0	0	17.1	39	113.1	133.9	160.6
2002	163.8	174.7	225.5	73.3	123	0	0	3.4	28.3	61.1	91.4	143.2
2003	185.8	109.9	161.9	94.8	0	0	0	29.4	60.3	4.1	77.5	140.4
2004	154.6	97.2	74.7	86.4	26.5	0	0	16.9	80.2	84.8	84.9	109.5
2005	223	135.2	101.3	53.5	0	0	0	0	51.6	67	103	97.9
2006	214.5	190.4	160.9	115.4	0	0	0	1.9	11	38.7	69.3	206.7
2007	161.1	171.1	194.5	106.5	73.4	0	0	2.3	0	92.3	80.2	138.2
2008	93.1	121	91.7	10.8	27.2	0	0	0	17.2	96.2	169.1	138.6
2009	185.3	170.8	95.5	52.5	21.5	0	0	3.6	1.6	31.1	213.7	130
2010	317.9	166.4	166.4	34.4	26.2	0	0	1.9	0	53.3	76.6	175.8
2011	121	231.5	163	63.6	35	0	0	0	78.1	50.7	52	222.7
2012	170.1	228.4	77.8	41.5	0	0	0	0	55.5	78.5	181.9	190.3
2013	222.6	168.1	32.6	8.5	17.6	0	0	23.1	39.2	77	104	245.1
2014	208	98.3	38.3	44.3	67.4	0	0	0.2	63	66.6	40	202.9
2015	145.4	201.7	76.2	122.3	54.1	0	0	15.1	75.1	24	68.3	158.7
2016	156.1	219.2	84.3	69.6	12.9	0	0	12	33.8	122.6	44.4	111.7
2017	163.3	104.7	155.6	74.4	158.7	0	0	11.3	65.7	75.8	132.4	104.9
2018	155.7	236.6	192.5	26	3.8	0	0	15.8	8.1	135.1	115.7	92.4



	<b>UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURA</b> <b>ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL</b>		
TESIS PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL			
"EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA COBERTURA VEGETAL SOBRE LA PERDIDA DE SUELO EN LA CUENCA CUSICOCHA -DISTRITO DE CHINCHERO – PROV URUBAMBA -DEPATAMENTO DE CUSCO"			
GUIA DE OBSERVACIÓN			
Asesor:	Ing. Jackeline Alejandra Pelaez Gamarra	Responsable:	Bach. Sadam Hossien Ayma Villagra
ESTACION:	LATITUD: -14.817	DISTRITO:	SICUANI
YAURI	LONGITUD: -71.417	PROVINCIA:	CANCHIS
	ALTITUD: 3927 msnm.	DEPARTAMENTO:	CUSCO

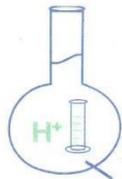
**PARÁMETRO: PRECIPITACION MENSUAL**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
1964	125.8	137.9	88.8	0	3.6	0	0	0	15.4	24.9	1.2	90.7	488.3
1965	149.6	152.8	110.1	90.9	0.3	0	0	0	12.9	29.2	21.4	138.6	705.8
1966	87.7	235.8	44.9	6.8	10.5	0	0	0	29.1	46.8	54.5	95.4	611.5
1967	83.4	96.9	85.8	0	3.4	0	0	9.9	17.6	34	16.1	83.7	430.8
1968	174.5	120.8	152.8	50.9	0	0	0	10.1	0	2.7	102.8	113.1	727.7
1969	122	93.1	65	26.3	0.1	0	0	1.3	10.2	6.6	51.9	60.4	436.9
1970	176.8	64.7	76.9	93.9	0.7	0	0	8.3	13.8	39.5	30.2	198	702.8
1971	159.2	194.5	66.2	95.3	0	0	0	6.3	0	38.6	30.4	135	725.5
1972	203.5	9.1	28.8	32.8	1.6	0	0	18.3	17.9	0	45.2	65.6	422.8
1973	236	132.8	112.7	65.5	0	0	0	3.2	12.5	32.4	70.2	108.8	774.1
1974	115.6	202.8	131.3	79.5	3.7	0	0	15	0	36	45.9	57.2	687
1975	99.2	147.2	161.4	91.5	8.2	0	0	0	17.5	18.3	50.8	92	686.1
1976	118.3	3	145	30	10.3	0	0	0	16.1	25.8	49.4	60.8	458.7
1977	57.4	162.2	86.1	80.4	2.6	0	0	3.6	7.9	7.6	99.5	97.6	604.9
1978	204.7	103.5	163.8	48.5	1.6	0	0	0	9.7	0.2	33.1	130.6	695.7
1979	141	116.8	185.7	59.5	8.8	0	0	6.7	10.9	8.3	47	82.6	667.3
1980	154.9	145.3	151.2	42.6	1.9	0	0	0	7.7	43.6	39	50.7	636.9
1981	191.9	180.4	92.6	95.1	0	0	0	5.4	23.1	25.5	35	66.9	715.9
1982	145.9	142.6	162.7	87.1	0	0	0	16.7	10.1	30.7	52.8	87.3	735.9
1983	94.6	103.2	133.5	37.4	3.3	0	0	0	4.5	16.1	45.7	90.2	528.5
1984	177.9	197.5	147.7	71.8	0	0	0	7.9	4.6	66.3	55.2	58.2	787.1
1985	167.5	165.5	128.6	74.7	3.9	0	0	3.8	17.5	20.2	54.8	115.9	752.4
1986	116.3	80.8	131	98.4	4.6	0	0	1	5.7	0	23.9	108.5	570.2
1987	230	94.2	16.1	21	0	11	20.4	1.6	9.5	17.2	46.9	140.3	608.2
1988	254	120	261.3	132.4	1.1	0	6.8	0	6.3	24.3	13.7	73	892.9
1989	190.6	112.2	155.1	83.6	7.8	0	0	0	23.5	19.2	22.1	88.3	702.4
1990	171	92	65.7	74	0	0	0	5.6	1.6	54.3	41.1	66.2	571.5
1991	27.4	134.1	100.9	34.1	5.3	47	0	0	10.2	20.3	64.3	56.5	500.1
1992	153	124	137.8	65.1	0	8	0	15.5	0	26.2	58.3	37.8	625.7
1993	202.1	107.2	73.9	37.1	2.8	0	0.8	15	7.7	32.7	75.6	157.1	712
1994	205.6	221.6	191.1	56.6	12.4	0	0	0	12.3	26.1	55.1	137	917.8
1995	165.8	141.2	175.5	27.1	2.7	0	0	2.8	13	28.2	37.6	128.2	722.1
1996	160.4	191.9	109.2	64.9	1.4	0	0	5	13.6	31	51.1	105	733.5
1997	162.1	170.6	156.4	11.8	3.2	0	0	7.2	14.2	14.6	91.7	122.6	754.4
1998	129.2	150.4	89.8	13.8	0	2.5	0	3.6	0.8	48.3	47	48	533.4
1999	141.6	144.1	153.4	78.5	5.4	0	0	0.8	31.4	30.6	45.3	104.8	735.9
2000	160.7	194.6	125.8	41.1	4.2	5.6	0	3.8	6.2	36.1	26.8	70.8	675.7
2001	265.9	201.3	259.7	42.2	7	0.9	4.3	4.8	4.2	32.2	26.4	67.5	916.4
2002	111.4	263.4	148	67.6	6.6	0.5	16.7	0	15	61.8	59.9	142.8	893.7
2003	171.1	100.6	193.3	36.9	5.7	0.8	0	10	0	11.1	48.1	129.2	706.8
2004	215.7	166.5	84.5	48.4	0	1.8	10.7	14	15.1	25.7	56.7	105.4	744.5
2005	114.3	176.5	123.2	43.1	1.1	0	0	4.8	5.6	18.5	41.9	97.6	626.6
2006	214.7	119.9	69.4	78	1.4	5.4	0	9.7	16.3	30	64.1	122.6	731.5
2007	129.7	133.6	108.1	58.6	4.6	0	3.4	0	3.6	36.3	43.5	117.7	639.1
2008	121.5	107.5	72.5	1.2	4.9	5.8	0	0	0.2	43.4	43.1	103.3	503.4
2009	102	164.6	102.2	44.5	5.5	0	1.4	0	2	3.1	107.6	133.9	666.8
2010	268.4	165.7	111.6	32	2.7	0	0	0	1.7	34.2	36	176.7	829
2011	127	248.2	138.8	73.7	1.4	0	1.9	5.5	16.6	16.9	48.6	137.6	816.2
2012	94.5	184.9	125.9	55.5	0.2	0	0.1	0	13.7	9.1	76.2	187.9	748
2013	169	165.1	81.6	8.6	2.7	14.4	3.4	9.5	0	47.2	53	156.1	710.6
2014	142.8	113.1	92.3	70	5.4	0	5.5	3.5	11.6	27.6	22.2	139.9	633.9
2015	184.2	112.7	117.3	106.6	2.5	0.5	1.5	10.5	11.1	0	26.4	142.6	715.9
2016	112.1	168.2	64.6	86.3	1.7	0.1	9.2	3.2	4.7	40.9	20.5	91.6	603.1
2017	168	105.7	168.1	68.4	5	0.1	3.2	5.4	12.1	35.7	66.3	141.6	779.6
2018	129.2	197.7	120.1	24.7	0	0	0	12.2	3.3	32.6	42.5	46.9	609.2



## 5.4. REGISTRO FISICO QUIMICO DE LOS SUELOS

Análisis fisicoquímico de suelo – Sector Pataestancia Pampa (M-1)



# MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES

AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE

RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776

### INFORME N°LQ 0213-20

#### ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE SUELO (MC CUSIQOCHA)

SOLICITA :

PROYECTO : Recuperación de los Servicios Ecosistémicos para Regulación Hídrica en el Sector de Cusiqocha, Distrito de Chincheros, Provincia de Urubamba – Departamento de Cusco

MUESTRA : M<sub>1</sub> CODIGO DE MUESTRA: M - 1

Ubicación: Este: 177087 Norte: 8517713

Calicata : 04 Horizonte: A

SECTOR : Pataestancia Pampa COMUNIDAD CAMPESINA: Taucca

DISTRITO : Chincheros PROVINCIA : Urubamba

DEPARTAMENTO: Cusco

FECHA : 16/10/20

#### RESULTADOS:

DETERMINACIONES	UNIDAD	M <sub>1</sub>
Humedad	%	12
<b>Muestra seca</b>		
Nitrógeno total	%	0.07
Fosforo disponible P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg/100	2.1
Potasio disponible K <sub>2</sub> O	mg/100	1.5
Materia orgánica	%	1.4
pH		6.5
Conductividad Eléctrica Saturada	µS/cm	200
Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C)	meq/100	18
<b>Textura(malla 2 mm)</b>		
Arena	%	4.2
Arcilla	%	3.4
Limo	%	92.4
Clase textural		Limoso
Humedad equivalente (He)	%	21
Densidad aparente	g/cc	0.98
Densidad real	g/cc	1.60
Capacidad de campo (C.C.)	%	20.8
Punto de marchites permanente (P.M.P.)	%	11.4

**MÉTODOS DE ANÁLISIS:** El trabajo de análisis de suelos se ha realizado bajo los métodos establecidos en los Manuales de Análisis Químico-Agrícola, Nigel T. Faithfull, Institute of Rural Studies, University of Wales, UK 2005; que a su vez está basado en el Manual "The Analysis of Agricultural Materials, MAFF/ADAS.

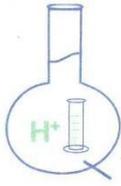
**NOTA:** Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.

 **MC QUIMICALAB**  
*H. Cumpa G*  
Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
ADMINISTRACION  
CIP. 238338

  
**MARIO CUMPA CAYURI**  
INGENIERO QUIMICO  
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 18188



Análisis fisicoquímico de suelo – Sector Matanseriyc (M-1)



# MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES  
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE

RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776

**INFORME N°LO 0214-20**

**ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE SUELO (MC CUSIQOCHA)**

SOLICITA :

**PROYECTO** : Recuperación de los Servicios Ecosistémicos para Regulación Hídrica en el Sector de Cusiqocha, Distrito de Chincheros, Provincia de Urubamba – Departamento de Cusco

**MUESTRA** : M<sub>2</sub> **CODIGO DE MUESTRA:** M - 1

**Ubicación:** Este: 176681 **Norte:** 8517097

**Calicata** : 02 **Horizonte:** A

**SECTOR** : Matanseriyc **COMUNIDAD CAMPESINA:** Taucca

**DISTRITO** : Chincheros **PROVINCIA** : Urubamba

**DEPARTAMENTO:** Cusco

**FECHA** : 16/10/20

**RESULTADOS:**

DETERMINACIONES	UNIDAD	M <sub>2</sub>
Humedad	%	16.5
<b>Muestra seca</b>		
Nitrógeno total	%	0.06
Fosforo disponible P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg/100	2.6
Potasio disponible K <sub>2</sub> O	mg/100	1.2
Materia orgánica	%	1.3
pH		6.4
Conductividad Eléctrica Saturada	μS/cm	160
Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C)	meq/100	17
<b>Textura(malla 2 mm)</b>		
Arena	%	14.7
Arcilla	%	5.0
Limo	%	80.3
Clase textural		Limoso
Humedad equivalente (He)	%	22
Densidad aparente	g/cc	1.1
Densidad real	g/cc	1.80
Capacidad de campo (C.C.)	%	21.7
Punto de marchites permanente (P.M.P.)	%	12.0

**MÉTODOS DE ANÁLISIS:** El trabajo de análisis de suelos se ha realizado bajo los métodos establecidos en los Manuales de Análisis Químico-Agrícola, Nigel T. Faithfull, Institute of Rural Studies, University of Wales, UK 2005; que a su vez está basado en el Manual "The Analysis of Agricultural Materials, MAFF/ADAS.

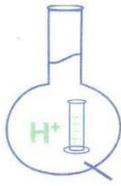
**NOTA:** Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.

**MC QUIMICALAB**  
*M. Cumpa G.*  
Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
ADMINISTRACION  
CIP. 238338

*M. Cumpa G.*  
**MARTO CUMPA CAYURI**  
INGENIERO QUIMICO  
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16108



Análisis fisicoquímico de suelo – Sector Matanseriyc (M-2)



# MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES  
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE

RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776

**INFORME N°LQ 0219-20**

**ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE SUELO (MC CUSIQOCHA)**

SOLICITA :

**PROYECTO** : Recuperación de los Servicios Ecosistémicos para Regulación Hídrica en el Sector de Cusiqocha, Distrito de Chincheros, Provincia de Urubamba – Departamento de Cusco

**MUESTRA** : M<sub>7</sub> **CODIGO DE MUESTRA:** M - 2  
**Ubicación:** Este: 176681 **Norte:** 8517097  
**Calicata** : 02 **Horizonte:** C<sub>1</sub>  
**SECTOR** : Matanseriyc **COMUNIDAD CAMPESINA:** Taucca  
**DISTRITO** : Chincheros **PROVINCIA** : Urubamba  
**DEPARTAMENTO:** Cusco

**FECHA** : 16/10/20

**RESULTADOS:**

DETERMINACIONES	UNIDAD	M <sub>7</sub>
Humedad	%	6.0
<b>Muestra seca</b>		
Nitrógeno total	%	0.03
Fosforo disponible P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg/100	0.7
Potasio disponible K <sub>2</sub> O	mg/100	0.1
Materia orgánica	%	0.6
pH		6.5
Conductividad Eléctrica Saturada	µS/cm	40
Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C)	meq/100	12
<b>Textura(malla 2 mm)</b>		
Arena	%	38.1
Arcilla	%	1.1
Limo	%	60.8
Clase textural		Franco Limoso
Humedad equivalente (He)	%	21
Densidad aparente	g/cc	1.21
Densidad real	g/cc	2.23
Capacidad de campo (C.C.)	%	20.8
Punto de marchites permanente (P.M.P.)	%	11.4

**MÉTODOS DE ANÁLISIS:** El trabajo de análisis de suelos se ha realizado bajo los métodos establecidos en los Manuales de Análisis Químico-Agrícola, Nigel T. Faithfull, Institute of Rural Studies, University of Wales, UK 2005; que a su vez está basado en el Manual "The Analysis of Agricultural Materials, MAFF/ADAS.

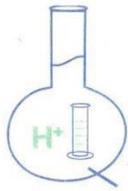
**NOTA:** Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.

**MC QUIMICALAB**  
  
Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
ADMINISTRACION  
CIP. 238338

**MARIO CUMPA CAYURI**  
INGENIERO QUIMICO  
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16186



Análisis fisicoquímico de suelo – Sector Unupayac Ccata (M-1)



# MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES  
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE

RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776

**INFORME N°LQ 0218-20**

**ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE SUELO (MC CUSIQOCHA)**

SOLICITA :

**PROYECTO** : Recuperación de los Servicios Ecosistémicos para Regulación Hídrica en el Sector de Cusiqocha, Distrito de Chincheros, Provincia de Urubamba – Departamento de Cusco

**MUESTRA** : M<sub>6</sub>

**CODIGO DE MUESTRA:** M - 1

**Ubicación:** Este: 176997

**Norte:** 8517441

**Calicata** : 03

**Horizonte:** A

**SECTOR** : Unupayac Ccata

**COMUNIDAD CAMPESINA:** Taucca

**DISTRITO** : Chincheros

**PROVINCIA** : Urubamba

**DEPARTAMENTO:** Cusco

**FECHA** : 16/10/20

**RESULTADOS:**

DETERMINACIONES	UNIDAD	M <sub>6</sub>
Humedad	%	14.5
<b>Muestra seca</b>		
Nitrógeno total	%	0.07
Fosforo disponible P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg/100	3.7
Potasio disponible K <sub>2</sub> O	mg/100	0.8
Materia orgánica	%	1.4
pH		6.5
Conductividad Eléctrica Saturada	µS/cm	100
Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C)	meq/100	13
<b>Textura(malla 2 mm)</b>		
Arena	%	22.5
Arcilla	%	2.2
Limo	%	75.3
Clase textural		Franco Limoso
Humedad equivalente (Hc)	%	21
Densidad aparente	g/cc	1.09
Densidad real	g/cc	1.80
Capacidad de campo (C.C.)	%	20.8
Punto de marchites permanente (P.M.P.)	%	11.4

**MÉTODOS DE ANÁLISIS:** El trabajo de análisis de suelos se ha realizado bajo los métodos establecidos en los Manuales de Análisis Químico-Agrícola, Nigel T. Faithfull, Institute of Rural Studies, University of Wales, UK 2005; que a su vez está basado en el Manual "The Analysis of Agricultural Materials, MAFF/ADAS.

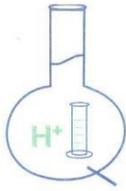
**NOTA:** Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.

 **MC QUIMICALAB**  
*M. Cumpa G.*  
Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
ADMINISTRACION  
CIP. 238338

  
**MARIO CUMPA CAYURI**  
INGENIERO QUIMICO  
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16188



Análisis fisicoquímico de suelo – Sector Unipayac Ccata (M-2)



# MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES  
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE

RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776

**INFORME N°LQ 0221-20**

**ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE SUELO (MC CUSIQOCHA)**

**SOLICITA** :

**PROYECTO** : Recuperación de los Servicios Ecosistémicos para Regulación Hídrica en el Sector de Cusiqocha, Distrito de Chincheros, Provincia de Urubamba – Departamento de Cusco

**MUESTRA** : M<sub>9</sub> **CODIGO DE MUESTRA:** M - 2

**Ubicación:** Este: 176997 **Norte:** 8517441

**Calicata** : 03 **Horizonte:** C

**SECTOR** : Unipayac Ccata **COMUNIDAD CAMPESINA:** Taucca

**DISTRITO** : Chincheros **PROVINCIA** : Urubamba

**DEPARTAMENTO:** Cusco

**FECHA** : 16/10/20

**RESULTADOS:**

DETERMINACIONES	UNIDAD	M <sub>9</sub>
Humedad	%	7.0
<b>Muestra seca</b>		
Nitrógeno total	%	0.02
Fosforo disponible P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg/100	1.0
Potasio disponible K <sub>2</sub> O	mg/100	0.1
Materia orgánica	%	0.5
pH		6.5
Conductividad Eléctrica Saturada	μS/cm	40
Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C)	meq/100	10
<b>Textura(malla 2 mm)</b>		
Arena	%	53
Arcilla	%	1.0
Limo	%	46
Clase textural		Franco Arenoso
Humedad equivalente (He)	%	17
Densidad aparente	g/cc	1.63
Densidad real	g/cc	2.46
Capacidad de campo (C.C.)	%	17.3
Punto de marchites permanente (P.M.P.)	%	9.2

**MÉTODOS DE ANÁLISIS:** El trabajo de análisis de suelos se ha realizado bajo los métodos establecidos en los Manuales de Análisis Químico-Agrícola, Nigel T. Faithfull, Institute of Rural Studies, University of Wales, UK 2005; que a su vez está basado en el Manual "The Analysis of Agricultural Materials, MAFF/ADAS.

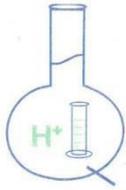
**NOTA:** Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.

**MC QUIMICALAB**  
  
Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
ADMINISTRACION  
CIP. 238328

**MARIO CUMPA CAYURI**  
INGENIERO QUIMICO  
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16188



Análisis fisicoquímico de suelo – Sector Pataestancia Pampa (M-1)



# MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES  
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE

RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776

**INFORME N°LQ 0213-20**

**ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE SUELO (MC CUSIQOCHA)**

SOLICITA :

**PROYECTO** : Recuperación de los Servicios Ecosistémicos para Regulación Hídrica en el Sector de Cusiqocha, Distrito de Chincheros, Provincia de Urubamba – Departamento de Cusco

**MUESTRA** : M<sub>1</sub> **CODIGO DE MUESTRA:** M - 1

**Ubicación:** Este: 177087

**Norte:** 8517713

**Calicata** : 04

**Horizonte:** A

**SECTOR** : Pataestancia Pampa

**COMUNIDAD CAMPESINA:** Taucca

**DISTRITO** : Chincheros

**PROVINCIA** : Urubamba

**DEPARTAMENTO:** Cusco

**FECHA** : 16/10/20

**RESULTADOS:**

DETERMINACIONES	UNIDAD	M <sub>1</sub>
Humedad	%	12
<b>Muestra seca</b>		
Nitrógeno total	%	0.07
Fosforo disponible P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg/100	2.1
Potasio disponible K <sub>2</sub> O	mg/100	1.5
Materia orgánica	%	1.4
pH		6.5
Conductividad Eléctrica Saturada	µS/cm	200
Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C)	meq/100	18
<b>Textura(malla 2 mm)</b>		
Arena	%	4.2
Arcilla	%	3.4
Limo	%	92.4
Clase textural		Limoso
Humedad equivalente (Hc)	%	21
Densidad aparente	g/cc	0.98
Densidad real	g/cc	1.60
Capacidad de campo (C.C.)	%	20.8
Punto de marchites permanente (P.M.P.)	%	11.4

**MÉTODOS DE ANÁLISIS:** El trabajo de análisis de suelos se ha realizado bajo los métodos establecidos en los Manuales de Análisis Químico-Agrícola, Nigel T. Faithfull, Institute of Rural Studies, University of Wales, UK 2005; que a su vez está basado en el Manual "The Analysis of Agricultural Materials, MAFF/ADAS.

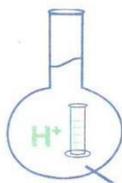
**NOTA:** Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.

**MC QUIMICALAB**  
*M. Cumpa G.*  
Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
ADMINISTRACION  
CIP. 238338

*Mario Cumpa Cayuri*  
**MARIO CUMPA CAYURI**  
INGENIERO QUIMICO  
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16188



Análisis fisicoquímico de suelo – Sector Pataestancia Pampa (M-2)



# MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez

LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES

AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE

RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776

**INFORME N°LQ 0222-20**

**ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE SUELO (MC CUSIQOCHA)**

SOLICITA :

**PROYECTO** : Recuperación de los Servicios Ecosistémicos para Regulación Hídrica en el Sector de Cusiqocha, Distrito de Chincheros, Provincia de Urubamba – Departamento de Cusco

**MUESTRA** : M<sub>10</sub> **CODIGO DE MUESTRA:** M - 2

**Ubicación:** Este: 177087 **Norte:** 8517713

**Calicata** : 04 **Horizonte:** C

**SECTOR** : Pataestancia Pampa **COMUNIDAD CAMPESINA:** Taucca

**DISTRITO** : Chincheros **PROVINCIA** : Urubamba

**DEPARTAMENTO:** Cusco

**FECHA** : 16/10/20

**RESULTADOS:**

DETERMINACIONES	UNIDAD	M <sub>10</sub>
Humedad	%	12
<b>Muestra seca</b>		
Nitrógeno total	%	0.03
Fosforo disponible P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg/100	1.2
Potasio disponible K <sub>2</sub> O	mg/100	0.2
Materia orgánica	%	0.7
pH		6.6
Conductividad Eléctrica Saturada	µS/cm	60
Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C)	meq/100	11
<b>Textura(malla 2 mm)</b>		
Arena	%	47
Arcilla	%	1.0
Limo	%	52
Clase textural		Franco Limoso
Humedad equivalente (He)	%	20
Densidad aparente	g/cc	1.58
Densidad real	g/cc	2.84
Capacidad de campo (C.C.)	%	19.9
Punto de marchites permanente (P.M.P.)	%	10.9

**MÉTODOS DE ANÁLISIS:** El trabajo de análisis de suelos se ha realizado bajo los métodos establecidos en los Manuales de Análisis Químico-Agrícola, Nigel T. Faithfull, Institute of Rural Studies, University of Wales, UK 2005; que a su vez está basado en el Manual "The Analysis of Agricultural Materials, MAFF/ADAS.

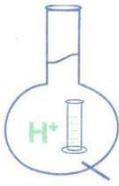
**NOTA:** Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.



MARIO CUMPA CAYURI  
INGENIERO QUIMICO  
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16188



Análisis fisicoquímico de suelo – Sector Ccahuapercca (M-1)



# MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES  
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE

RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776

**INFORME N°LO 0215-20**

**ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE SUELO (MC CUSIQOCHA)**

SOLICITA :

**PROYECTO** : Recuperación de los Servicios Ecosistémicos para Regulación Hídrica en el Sector de Cusiqocha, Distrito de Chincheros, Provincia de Urubamba – Departamento de Cusco

**MUESTRA** : M<sub>3</sub> **CODIGO DE MUESTRA:** M - 1

**Ubicación:** Este: 177348 **Norte:** 8518407

**Calicata** : 05 **Horizonte:** C<sub>1</sub> – C<sub>2</sub>

**SECTOR** : Ccahuapercca **COMUNIDAD CAMPESINA:** Taucca

**DISTRITO** : Chincheros **PROVINCIA** : Urubamba

**DEPARTAMENTO:** Cusco

**FECHA** : 16/10/20

**RESULTADOS:**

DETERMINACIONES	UNIDAD	M <sub>3</sub>
Humedad	%	5.5
<b>Muestra seca</b>		
Nitrógeno total	%	0.03
Fosforo disponible P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg/100	0.01
Potasio disponible K <sub>2</sub> O	mg/100	3.0
Materia orgánica	%	0.5
pH		7.4
Conductividad Eléctrica Saturada	µS/cm	380
Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C)	meq/100	12
<b>Textura(malla 2 mm)</b>		
Arena	%	25.6
Arcilla	%	6.0
Limo	%	68.4
Clase textural		Franco Limoso
Humedad equivalente (He)	%	21
Densidad aparente	g/cc	1.67
Densidad real	g/cc	2.4
Capacidad de campo (C.C.)	%	20.8
Punto de marchites permanente (P.M.P.)	%	11.4

**MÉTODOS DE ANÁLISIS:** El trabajo de análisis de suelos se ha realizado bajo los métodos establecidos en los Manuales de Análisis Químico-Agrícola, Nigel T. Faithfull, Institute of Rural Studies, University of Wales, UK 2005; que a su vez está basado en el Manual "The Analysis of Agricultural Materials, MAFF/ADAS.

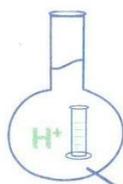
**NOTA:** Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.

**MC QUIMICALAB**  
*MC Cumpa*  
Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
ADMINISTRACION  
CIP. 238338

*Mario Cumpa Cayuri*  
**MARIO CUMPA CAYURI**  
INGENIERO QUIMICO  
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16188



Análisis fisicoquímico de suelo – Sector Ccahuapercca (M-2)



# MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES  
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE

RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776

**INFORME N°LO 0224-20**

**ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE SUELO (MC CUSIQOCHA)**

SOLICITA :

**PROYECTO** : Recuperación de los Servicios Ecosistémicos para Regulación Hídrica en el Sector de Cusiqocha, Distrito de Chincheros, Provincia de Urubamba – Departamento de Cusco

**MUESTRA** : M<sub>12</sub> **CODIGO DE MUESTRA**: M - 2

**Ubicación**: Este: 177348 **Norte**: 8518407

**Calicata** : 05 **Horizonte**: A<sub>b</sub>

**SECTOR** : Ccahuapercca **COMUNIDAD CAMPESINA**: Taucca

**DISTRITO** : Chincheros **PROVINCIA** : Urubamba

**DEPARTAMENTO**: Cusco

**FECHA** : 16/10/20

**RESULTADOS:**

DETERMINACIONES	UNIDAD	M <sub>12</sub>
Humedad	%	28
<b>Muestra seca</b>		
Nitrógeno total	%	0.09
Fosforo disponible P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg/100	0.1
Potasio disponible K <sub>2</sub> O	mg/100	2.4
Materia orgánica	%	1.9
pH		7.3
Conductividad Eléctrica Saturada	µS/cm	260
Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C)	meq/100	16
<b>Textura(malla 2 mm)</b>		
Arena	%	13.7
Arcilla	%	5.0
Limo	%	81.3
Clase textural		Limoso
Humedad equivalente (He)	%	21
Densidad aparente	g/cc	1.15
Densidad real	g/cc	1.81
Capacidad de campo (C.C.)	%	20.8
Punto de marchites permanente (P.M.P.)	%	11.4

**MÉTODOS DE ANÁLISIS:** El trabajo de análisis de suelos se ha realizado bajo los métodos establecidos en los Manuales de Análisis Químico-Agrícola, Nigel T. Faithfull, Institute of Rural Studies, University of Wales, UK 2005; que a su vez está basado en el Manual "The Analysis of Agricultural Materials, MAFF/ADAS.

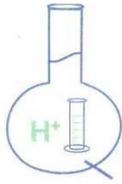
**NOTA:** Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.

**MC QUIMICALAB**  
  
Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
ADMINISTRACIÓN  
CIP. 238338

**MARIO CUMPA CAYURI**  
INGENIERO QUIMICO  
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16188



Análisis fisicoquímico de suelo – Sector Hechoqocha Ccasapampa (M-1)



# MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES  
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE

RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776

**INFORME N°LO 0217-20**

**ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE SUELO (MC CUSIQOCHA)**

SOLICITA :

PROYECTO : Recuperación de los Servicios Ecosistémicos para Regulación Hídrica en el Sector de Cusiqocha, Distrito de Chincheros, Provincia de Urubamba – Departamento de Cusco

MUESTRA : M<sub>s</sub> CODIGO DE MUESTRA: M - 1

Ubicación: Este: 177462 Norte: 8518206

Calicata : 06 Horizonte: A<sub>p</sub>

SECTOR : Hechoqocha Ccasapampa COMUNIDAD CAMPESINA: Taucca

DISTRITO : Chincheros PROVINCIA : Urubamba

DEPARTAMENTO: Cusco

FECHA : 16/10/20

RESULTADOS:

DETERMINACIONES	UNIDAD	M <sub>s</sub>
Humedad	%	2.5
<b>Muestra seca</b>		
Nitrógeno total	%	0.04
Fosforo disponible P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg/100	3.1
Potasio disponible K <sub>2</sub> O	mg/100	2.0
Materia orgánica	%	0.8
pH		6.5
Conductividad Eléctrica Saturada	μS/cm	240
Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C)	meq/100	16
<b>Textura(malla 2 mm)</b>		
Arena	%	6.5
Arcilla	%	4.5
Limo	%	89
Clase textural		Limoso
Humedad equivalente (He)	%	21
Densidad aparente	g/cc	1.2
Densidad real	g/cc	2.10
Capacidad de campo (C.C.)	%	20.8
Punto de marchites permanente (P.M.P.)	%	11.4

**MÉTODOS DE ANÁLISIS:** El trabajo de análisis de suelos se ha realizado bajo los métodos establecidos en los Manuales de Análisis Químico-Agrícola, Nigel T. Faithfull, Institute of Rural Studies, University of Wales, UK 2005; que a su vez está basado en el Manual "The Analysis of Agricultural Materials, MAFF/ADAS.

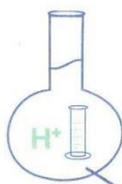
**NOTA:** Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.



MARIO CUMPA CAYURI  
INGENIERO QUIMICO  
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16180



Análisis fisicoquímico de suelo – Sector Hechoqocha Ccasapampa (M-2)



# MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez

LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES

AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE

RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776

**INFORME N°LQ 0223-20**

**ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE SUELO (MC CUSIQOCHA)**

SOLICITA :

**PROYECTO** : Recuperación de los Servicios Ecosistémicos para Regulación Hídrica en el Sector de Cusiqocha, Distrito de Chincheros, Provincia de Urubamba – Departamento de Cusco

**MUESTRA** : M<sub>11</sub>

**CODIGO DE MUESTRA:** M - 2

**Ubicación:** Este: 177462

**Norte:** 8518206

**Calicata** : 06

**Horizonte:** A<sub>c</sub>

**SECTOR** : Hechoqocha Ccasapampa

**COMUNIDAD CAMPESINA:** Taucca

**DISTRITO** : Chincheros

**PROVINCIA** : Urubamba

**DEPARTAMENTO:** Cusco

**FECHA** : 16/10/20

**RESULTADOS:**

DETERMINACIONES	UNIDAD	M <sub>11</sub>
Humedad	%	25.5
<b>Muestra seca</b>		
Nitrógeno total	%	0.05
Fosforo disponible P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg/100	0.5
Potasio disponible K <sub>2</sub> O	mg/100	0.2
Materia orgánica	%	1.1
pH		6.6
Conductividad Eléctrica Saturada	µS/cm	60
Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C)	meq/100	17
<b>Textura(malla 2 mm)</b>		
Arena	%	1.0
Arcilla	%	6.0
Limo	%	93
Clase textural		Limoso
Humedad equivalente (He)	%	21
Densidad aparente	g/cc	1.15
Densidad real	g/cc	2.1
Capacidad de campo (C.C.)	%	20.8
Punto de marchites permanente (P.M.P.)	%	11.4

**MÉTODOS DE ANÁLISIS:** El trabajo de análisis de suelos se ha realizado bajo los métodos establecidos en los Manuales de Análisis Químico-Agrícola, Nigel T. Faithfull, Institute of Rural Studies, University of Wales, UK 2005; que a su vez está basado en el Manual "The Analysis of Agricultural Materials, MAFF/ADAS.

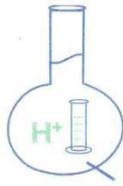
**NOTA:** Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.

**MC QUIMICALAB**  
  
 Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
 ADMINISTRACIÓN  
 CIP. 238338

**MARIO CUMPA CAYURI**  
 INGENIERO QUÍMICO  
 REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16188



Análisis fisicoquímico de suelo – Sector Hechoqocha Ccasapampa (M-2)



# MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutierrez  
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES  
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE

RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN CEL: 974 673993 - 946 688776

**INFORME N°LO 0225-20**

**ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE SUELO (MC CUSIQOCHA)**

SOLICITA :

**PROYECTO** : Recuperación de los Servicios Ecosistémicos para Regulación Hídrica en el Sector de Cusiqocha, Distrito de Chincheros, Provincia de Urubamba – Departamento de Cusco

**MUESTRA** : M<sub>13</sub>

**CODIGO DE MUESTRA**: M - 2

**Ubicación**: Este: 177462

**Norte**: 8518206

**Calicata** : 06

**Horizonte**: A<sub>b</sub>

**SECTOR** : Hechoqocha Ccasapampa

**COMUNIDAD CAMPESINA**: Taucca

**DISTRITO** : Chincheros

**PROVINCIA** : Urubamba

**DEPARTAMENTO**: Cusco

**FECHA** : 16/10/20

**RESULTADOS:**

DETERMINACIONES	UNIDAD	M <sub>13</sub>
Humedad	%	30
<b>Muestra seca</b>		
Nitrógeno total	%	0.08
Fosforo disponible P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	mg/100	1.0
Potasio disponible K <sub>2</sub> O	mg/100	1.0
Materia orgánica	%	1.8
pH		6.6
Conductividad Eléctrica Saturada	μS/cm	100
Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C)	meq/100	17
<b>Textura(malla 2 mm)</b>		
Arena	%	2.5
Arcilla	%	6.5
Limo	%	91
Clase textural		Limoso
Humedad equivalente (He)	%	22
Densidad aparente	g/cc	1.0
Densidad real	g/cc	1.70
Capacidad de campo (C.C.)	%	21.7
Punto de marchites permanente (P.M.P.)	%	12.0

**MÉTODOS DE ANÁLISIS:** El trabajo de análisis de suelos se ha realizado bajo los métodos establecidos en los Manuales de Análisis Químico-Agrícola, Nigel T. Faithfull, Institute of Rural Studies, University of Wales, UK 2005; que a su vez está basado en el Manual "The Analysis of Agricultural Materials, MAFF/ADAS.

**NOTA:** Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.



*Mario Cumpa Cayuri*  
MARIO CUMPA CAYURI  
INGENIERO QUIMICO  
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16186



## 5.5. PLANOS