

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINERA Y METALÚRGICA



TESIS

“ANÁLISIS ESPACIAL DE LA PÉRDIDA DE SUELO POR  
EROSIÓN HÍDRICA EN EL ÁREA DE INFLUENCIA AMBIENTAL DE  
LA U.M. CORIHUARMI”

PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE MAESTRO EN  
MINERIA Y MEDIO AMBIENTE

ELABORADO POR:  
DANIEL EDUARDO NAKAYA BARZOLA

ASESOR  
M.Sc. Ing. CÉSAR RAMIRO SANTIAGO CHIRINOS

LIMA – PERÚ  
2023

## **DEDICATORIA**

Dedicado a mis padres, mi esposa, amigos y a todos los que formaron parte en esta etapa de mi vida profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

La presente Tesis está dedicada a Dios por brindarme fé y constancia para alcanzar mis metas.

A mis padres, por su apoyo incondicional.

A mi esposa, por su apoyo incondicional.

A las oficinas de Ordenamiento Territorial de los Gobiernos Regionales de Huancayo, Lima y Huancavelica por la información y soporte que me brindaron.

Al Ministerio de Energía y Minas por la información brindada.

A la UNI por permitirme formar parte de ella.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA.....	II
AGRADECIMIENTO.....	III
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
RESUMEN.....	XII
ABSTRACT.....	XIII
INTRODUCCION.....	14
CAPITULO I.....	15
GENERALIDADES.....	15
1.1. ANTECEDENTES BIBLIOGRAFICOS.....	15
1.2. DESCRIPCION DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	21
1.3. FORMULACION DEL PROBLEMA.....	22
1.3.1. Problema General.....	22
1.3.2. Problemas Específicos.....	22
1.4. JUSTIFICACION E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
1.4.1. Justificación.....	22
1.4.2. Importancia.....	23
1.5. FORMULACION DEL PROBLEMA.....	23
1.5.1. Objetivo General.....	23
1.5.2. Objetivos Específicos.....	24
1.6. HIPOTESIS.....	24
1.6.1. Hipótesis General.....	24
1.6.2. Hipótesis Especificas.....	24

1.7. VARIABLES E INDICADORES .....	25
1.7.1. Operacionalización de variables.....	25
1.8. PERIODO DE ANALISIS .....	29
CAPITULO II .....	30
MARCO TEORICO Y MARCO CONCEPTUAL .....	30
2.1. EROSIÓN.....	30
2.2. EROSIÓN HIDRICA.....	31
2.3. PROCESO DE EROSION HÍDRICA .....	31
2.4. FACTORES DE LA EROSION HIDRICA.....	32
2.4.1. Clima .....	32
2.4.2. Relieve.....	32
2.4.3. Suelo.....	33
2.4.4. Sistema de producción .....	33
2.4.5. Cobertura vegetal .....	33
2.5. ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO (USLE).....	33
2.5.1. Factor de Erosividad (R) .....	34
2.5.2. Factor de Erosdabilidad (K) .....	36
2.5.3. Factor Topográfico (LS).....	40
2.5.4. Factor de Cobertura (C).....	41
2.5.5. Factor de Practicas de conservación de suelo (P) .....	42
2.6. HERRAMIENTAS DE INFORMACION GEOGRAFICA.....	43
2.6.1. Pre-Procesamiento de imágenes satelitales .....	45
2.6.2. Clasificación Supervisada y no Supervisada de imágenes satelitales .....	46
2.7. ANALISIS DE CONSISTENCIA DE SERIES HIODROMETEOROLÓGICAS ..	46
2.8. PRACTICAS DE CONSERVACION DE SUELOS .....	47
2.8.1. Practicas Mecánico - Estructurales .....	48
2.8.2. Practicas forestales .....	51

2.9. LIMITE DE TOLERANCIA DE PERDIDA DE SUELO .....	51
CAPITULO III .....	53
METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION .....	53
3.1. METODO .....	53
3.1.1. Tipo de Investigación .....	53
3.1.2. Diseño de Investigación y Fuentes de Recolección de Datos .....	53
3.2. POBLACION Y MUESTRA .....	55
3.2.1. Población .....	55
3.2.2. Muestra .....	56
3.3. CARACTERISTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO .....	56
3.3.1. Ubicación .....	56
3.3.2. Acceso .....	56
3.3.3. Clima .....	56
3.3.4. Suelos .....	56
3.3.5. Uso de Suelos .....	58
3.3.6. Geología .....	58
3.3.7. Geomorfología y fisiografía .....	59
3.4. MATERIALES .....	60
3.4.1. Imágenes Satelitales, en formato Raster .....	60
3.4.2. Información temática base, en formato vectorial .....	60
3.4.3. Materiales de campo y procesamiento de información .....	61
3.5. METODOLOGIA .....	61
3.5.1. Fase de Gabinete (Pre Campo) .....	61
3.5.2. Fase de Campo .....	62
3.5.3. Fase de Gabinete (Post Campo) .....	62
CAPITULO IV .....	83
RESULTADOS DE LA INVESTIGACION .....	83

4.1. INFORMACION GEOESPACIAL PARA IDENTIFICAR LAS ZONAS DE EROSIÓN.....	83
4.1.1. Mapa del Área de Influencia Ambiental de la UM Corihuiarmi.....	83
4.1.2. Mapa de Pendientes.....	85
4.1.3. Mapa de Precipitación.....	87
4.1.4. Mapa de Cobertura Vegetal.....	90
4.1.5. Mapa de Unidades de Suelo.....	92
4.1.6. Mapa Geomorfológico.....	94
4.1.7. Mapa Geológico.....	96
4.1.8. Mapa de Capacidad de Uso Mayor de las Tierras.....	98
4.1.9. Mapa de Conflicto de Uso de las Tierras.....	100
4.2. FACTORES DEL MODELO U.S.L.E. ....	102
4.2.1. Mapa de Factor de Erosividad (R).....	102
4.2.2. Mapa de Factor de Erodabilidad (K).....	104
4.2.3. Mapa de Factor Topográfico (Factor LS).....	106
4.2.4. Mapa de Factor de Cobertura (Factor C).....	108
4.3. ESTIMACION DE LA EROSION HIDRICA DEL AREA DE INFLUENCIA AMBIENTAL DE LA UM CORIHUARMI.....	110
4.4. GRADO DE LA EROSION HIDRICA DEL AREA DE INFLUENCIA AMBIENTAL DE LA UM CORIHUARMI.....	112
CONCLUSIONES.....	114
RECOMENDACIONES.....	116
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	117
ANEXO 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	123
ANEXO 2: DATOS DE PRECIPITACION.....	126
ANEXO 3: FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN.....	128
ANEXO 4: CURRICULUM VITAE.....	130

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Matriz de Operacionalización de Variables .....	26
Tabla 2.1 Indicadores de la magnitud general del factor K de erodabilidad del suelo.....	37
Tabla 2.2 Valores de factor K según litología.....	37
Tabla 2.3 Códigos USLE de estructura de suelo.....	39
Tabla 2.4 Códigos USLE de permeabilidad en función de la textura .....	39
Tabla 2.5 Valores del factor C para los tipos más comunes de cobertura de suelo.....	41
Tabla 2.6 Factor C por tipo de cobertura vegetal y uso de suelos.....	42
Tabla 2.7 Valores experimentales del factor P para distintas practicas de conservación de suelo.....	43
Tabla 2.8 Clasificación de pérdida de suelo .....	52
Tabla 3.1 Rango de pendientes para laderas cortas y largas .....	63
Tabla 3.2 Localización de Estaciones Meteorológicas.....	64
Tabla 3.3 Área de pendientes .....	71
Tabla 3.4 Cobertura vegetal del área de influencia ambiental de la UM Corihuarmi.....	71
Tabla 3.5 Superficie de suelos del área de influencia ambiental de la UM Corihuarmi .....	72
Tabla 3.6 Unidades Geomorfológicas del área de influencia ambiental de la UM Corihuarmi.....	72
Tabla 3.7 Geología del área de influencia ambiental de la UM Corihuarmi.....	73
Tabla 3.8 Conflicto de Uso de Suelo en área de influencia ambiental de UM Corihuarmi	74
Tabla 3.9 Ubicación de las estaciones de muestreo de suelo .....	75
Tabla 3.10 Textura del suelo de cada estación de muestreo.....	76
Tabla 3.11 Codificación de la estructura de las unidades de suelo .....	79
Tabla 3.12 Codificación de la permeabilidad de las unidades de suelo .....	80
Tabla 3.13 Valores de Factor de Cobertura.....	81
Tabla 4.1 Valores de Factor de Cobertura.....	83
Tabla 4.2 Resultado de Mapa de Pendientes .....	85

Tabla 4.3 Resultado de Consistencia T de Student .....	87
Tabla 4.4 Resultado de Consistencia Fisher .....	87
Tabla 4.5 Resultado de Consistencia T de Student – Series Corregidas .....	87
Tabla 4.6 Resultado de Consistencia Fisher – Series Corregidas.....	88
Tabla 4.7 Resultado de Mapa de Cobertura Vegetal .....	90
Tabla 4.8 Resultado de Mapa de Unidades de Suelo .....	92
Tabla 4.9 Resultado de Mapa Geomorfológico.....	94
Tabla 4.10 Resultado de Mapa Geológico.....	96
Tabla 4.11 Resultado de Mapa de Capacidad de Uso Mayor de las Tierras .....	98
Tabla 4.12 Resultado de Mapa de Conflicto de Uso de las Tierras.....	100
Tabla 4.13 Resultado de Mapa de Erodabilidad (Factor K) .....	104
Tabla 4.14 Resultado de Mapa de Factor Topográfico LS.....	106
Tabla 4.15 Resultado de Mapa de Factor de Cobertura C.....	108
Tabla 4.16 Resultado de Estimación de Erosión Hídrica .....	110
Tabla 4.17 Resultado de Estimación de Erosión Hídrica .....	112

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Procesamiento para la elaboración de mapa de pendientes .....	63
Figura 3.2 Análisis de Doble Masa de precipitación de la Estación Laive .....	65
Figura 3.3 Análisis de Doble Masa de precipitación de la Estación San Pedro de Huacarpana .....	65
Figura 3.4 Análisis de Doble Masa de precipitación de la Estación Yauricocha .....	66
Figura 3.5 Análisis de Doble Masa de precipitación de la Estación Huancalpi .....	66
Figura 3.6 Análisis de Doble Masa de precipitación de la estación Corihuarmi .....	67
Figura 3.7 Mapa de Ubicación de Estaciones de Muestreo de Suelos. ....	78
Figura 4.1 Mapa del Área de Influencia Ambiental de la Unidad Minera Corihuarmi.....	84
Figura 4.2 Mapa del Pendientes del Área de Influencia Ambiental de la Unidad Minera Corihuarmi.....	86
Figura 4.3 Mapa del Precipitación del Área de Influencia Ambiental de la Unidad Minera Corihuarmi.....	89
Figura 4.4 Mapa del Cobertura del Área de Influencia Ambiental de la Unidad Minera Corihuarmi.....	91
Figura 4.5 Mapa del Unidades de Suelo del Área de Influencia Ambiental de la Unidad Minera Corihuarmi. ....	93
Figura 4.6 Mapa del Geomorfológico del Área de Influencia Ambiental de la Unidad Minera Corihuarmi. ....	95
Figura 4.7 Mapa del Geológico del Área de Influencia Ambiental de la Unidad Minera Corihuarmi.....	97
Figura 4.8 Mapa de Capacidad de Uso Mayor de las Tierras del Área de Influencia Ambiental de la Unidad Minera Corihuarmi.....	99
Figura 4.9 Mapa de Conflicto de Uso Mayor de las Tierras del Área de Influencia Ambiental de la Unidad Minera Corihuarmi.....	101
Figura 4.10 Mapa de Factor R del Área de Influencia Ambiental de la Unidad Minera Corihuarmi.....	103
Figura 4.11 Mapa de Factor K del Área de Influencia Ambiental de la Unidad Minera	

Corihuarmi.....	105
Figura 4.12 Mapa de Factor LS del Área de Influencia Ambiental de la Unidad Minera Corihuarmi.....	107
Figura 4.13 Mapa de Factor C del Área de Influencia Ambiental de la Unidad Minera Corihuarmi.....	109
Figura 4.14 Mapa de Estimación de Erosión Hídrica del Área de Influencia Ambiental de la Unidad Minera Corihuarmi.....	111
Figura 4.15 Mapa de Grado de Erosión Hídrica del Área de Influencia Ambiental de la Unidad Minera Corihuarmi. ....	113

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en el área de influencia ambiental de la unidad minera Corihuarmi, cuya área de influencia se ubica políticamente entre los departamentos de Lima y Junín, e hidrológicamente pertenece a la vertiente del Atlántico, en la cuenca del río Mantaro. El trabajo se realizó mediante la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE, por sus siglas en inglés, Universal Soil Loss Equation), asimismo se aplicó un modelo geoespacial con el uso de herramientas de Sistemas de Información Geográfica (SIG), con la cual se identificó las áreas vulnerables a la erosión hídrica según la clasificación de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); seguido a ello de acuerdo al grado de potencial de erosión hídrica se propusieron alternativas de protección y/o manejo de suelos.

La primera fase del estudio consistió en la obtención de información de la zona de estudio como las copias del estudio de impacto ambiental y sus modificatorias, información temática de suelos, cobertura vegetal, estaciones meteorológicas, geología, fisiografía y cartas nacionales. La segunda fase se centró en el desarrollo de trabajo de campo identificándose el tipo de cobertura vegetal con sus coordenadas WGS84 Zona 18 sur, accesos, actividades económicas y prácticas de uso y manejo de suelos. La tercera fase consistió en el procesamiento de la información obtenida en la fase uno y fase dos, se realizó el procesamiento digital y posterior modelamiento de los parámetros físicos que forman parte de la USLE, dándose como resultado un mapa temático de la distribución espacial del potencial de pérdida de suelos por erosión hídrica, notándose que la erosión hídrica está más influenciada por la cobertura vegetal y la pendiente, que por la precipitación y el tipo de suelo.

**Palabras clave:** Erosión, Ecuación Universal de Pérdida de Suelo, Área de Influencia Ambiental, Sistema de Información Geográfica.

## ABSTRACT

This research work was carried out in the area of environmental influence of the Corihuarmi mining unit, whose area of influence is politically located between the departments of Lima and Junín, and hydrologically belongs to the Atlantic slope, in the Mantaro river basin. The work was carried out through the application of the Universal Soil Loss Equation (USLE, for its acronym in English, Universal Soil Loss Equation), likewise a geospatial model was applied with the use of Geographic Information Systems (GIS) tools, with which the areas vulnerable to water erosion were identified according to the classification of the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO); Following this, according to the degree of water erosion potential, alternatives for protection and/or soil management were proposed.

The first phase of the study consisted of obtaining information on the study area, such as copies of the environmental impact study and its modifications, thematic information on soils, vegetation cover, weather stations, geology, physiography, and national charts. The second phase focused on the development of field work, identifying the type of vegetation cover with its coordinates WGS84 Zone 18 South, accesses, economic activities and practices of soil use and management. The third phase consisted of the processing of the information obtained in phase one and phase two, the digital processing and subsequent modeling of the physical parameters that are part of the USLE were carried out, resulting in a thematic map of the spatial distribution of the potential of soil loss due to water erosion, noting that water erosion is more influenced by plant cover and slope than by precipitation and soil type.

**Keywords:** Erosion, Universal Soil Loss Equation, Area of Environmental Influence, Geographic Information System.

## INTRODUCCION

La Unidad Minera Corihuarmi se ubica en los distritos de Chongos Alto y Huantán, provincia de Huancayo y Yauyos, departamento de Junín y Lima respectivamente, a una altitud promedio de 4,800 m.s.n.m., la zona donde se ubica la unidad minera presenta una precipitación anual total promedio de 729.2 mm, variando entre 205 mm en el año más seco y 1237 mm en el año más húmedo sobre la base de un registro de 41 años.

La estación húmeda donde ocurren las lluvias más intensas es entre los meses de diciembre a marzo, es justo en estas fechas donde se produce el mayor efecto erosivo de carácter hídrico, por lo que se genera no solo en la zona de estudio sino en toda la sierra central del país grandes arrastres de sedimentos superficiales y movimientos en masa (huaicos), cuyos efectos reducen la capa nutritiva de los suelos (top soil) y colmatan de sedimentos los cursos de agua que conforman la red hídrica de una cuenca.

En los últimos años, ha surgido la incertidumbre entre los pobladores locales sobre la disminución de la productividad de los suelos para generar pastos para sus ganados y sobre la calidad de agua de los ríos cercanos los cuales presentan un color turbio luego de las lluvias.

Por ello, que es necesario identificar las zonas de mayor susceptibilidad a la erosión hídrica ubicadas dentro del área de influencia ambiental directa e indirecta de la Unidad Minera Corihuarmi.

Por lo mencionado, la presente investigación identificara las zonas de mayor y menor susceptibilidad a la erosión hídrica y servirá como punto de partida para que las autoridades locales puedan emprender acciones para minimizar la pérdida de suelo por las lluvias en las zonas que se requieran.

# CAPÍTULO I

## GENERALIDADES

### 1.1. ANTECEDENTES BIBLIOGRAFICOS

CONDORI (2018). En su tesis titulada Perdida de de suelo por erosión hídrica en la comunidad de San Francisco de Chañajari Moho – Puno. Concluye que la pérdida anual de suelo estimada en la microcuenca utilizando la USLE se tiene que el 9.34% de la superficie tiene el riesgo de erosión hídrica critica de  $49.75 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$  y el 10.47% de su superficie tiene el riesgo de erosión hídrica muy alta de  $55.77 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ .

ALVAREZ (2019). En su tesis titulada Análisis temporal del nivel de la erosión hídrica de la subcuenca del río Ichu 2013 y 2017. Concluye que la tasa de erosión hídrica promedio más alta que se dio en el año 2013 fue de  $406.98 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$  y en el 2017 fue de  $554.36 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$  lo cual demuestra una variación extremada del 2013 al 2017 por los factores de cobertura vegetal y la precipitación pluvial.

ZUÑIGA (2017). En su tesis titulada Determinación de la pérdida de suelos en la cuenca aportante del embalse Aguada Blanca-Arequipa, aplicando USLE y técnicas geoespaciales. Concluye que según el modelo MC80 la tasa promedio anual de pérdida de suelo es de  $128.96 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$  mientras que con el modelo MC78 se presenta una tasa promedio de  $145.75 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ , mostrando que la cuenca es erosiva con tendencia a la desertificación.

En el mismo estudio, en un escenario deseado, con el incremento de su cobertura vegetal la tasa de erosión disminuiría en un 28% equivalente a unas  $116.74 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ .

NAKAYA (2017). En su tesis titulada Estimación de la pérdida de suelo media anual

mediante el modelo RUSLE en la cuenca del río Tingo, Región Cajamarca. Concluye que el 46.84% de la superficie de la cuenca presenta erosión moderada (entre 10 a 50 t.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>), el 29.25% de la superficie de la cuenca presenta erosión alta (entre 50 a 200 t.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>) y el 3.47% de la superficie presenta erosión muy alta (mayor a 200 t.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>).

En el estudio se determina que la distribución aleatoria de las zonas de riesgo alto y muy alto se debe principalmente al factor topográfico y al factor de cobertura vegetal los cuales tienen mayor influencia que la distribución de las lluvias. En las zonas donde se ha identificado erosión alta y muy alta se propone priorizar proyectos para minimizar la escorrentía superficial como andenes, diques para el control de cárcavas y zanjas de infiltración, esta práctica reducirá la escorrentía superficial y aumentará la tasa de infiltración.

CABREJOS (2016). En su tesis titulada Modelamiento geoespacial en la determinación del riesgo, vulnerabilidad y de la cuantificación de la erosión hídrica en la microcuenca del río Atuen-Amazonas. Concluye que de acuerdo a la clasificación de la FAO la cuenca presenta un grado de erosión de ligero a moderado con valores menores a 50 t.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>.

En el estudio mediante el modelamiento geoespacial se obtuvo las zonas vulnerables a erosión hídrica de la cuenca del río Atuén, clasificándose en alto con un área de 4003.5 ha (10.7% de la cuenca), medio con un área de 17048.4 ha (45.4% de la cuenca) y bajo con 16463.4 ha (43.8% de la cuenca).

PORTUGUEZ (2015) en su investigación titulada, Estimación de la Pérdida de suelos por erosión hídrica en la cuenca del río Sigwas utilizando geoinformática, determina que las tasas de pérdida de suelo en la cuenca llegan hasta los 1400 t.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> correspondientes a zonas de mayor pendiente y a suelos correspondientes a conglomerados y arenas aluviales las cuales son susceptibles al desprendimiento.

MORALES (2014). En su tesis titulada Estimación de la erosión laminar y sedimentación con modelos hidrológicos para la selección de prácticas de conservación de suelos y cambios de cobertura en la Unidad Hidrográfica de Aquin/Saint-Louis Du Sud-Haití. Determinó que los sistemas de producción y la ganadería libre dentro de la cuenca Brodequin provocan una deforestación severa por la habilitación de tierras, además de la fabricación y comercio de carbono como medio de vida importante de las familias, lo cual da como resultado una elevada erosión y por ende un flujo de sedimentos alto.

En el estudio se determina que la precipitación incide de manera significativa en la producción de sedimentos, por lo cual para minimizar este efecto es que se debe realizar cambios de cobertura y aplicar técnicas agroforestales y reforestación para mitigar los efectos del cambio climático.

CEBALLOS Y TORO (2012). En la revista *Gestión y Ambiente*, publicaron el siguiente artículo científico, *Evaluación de la susceptibilidad a la erosión por el cambio de cobertura debido a la minería en el Municipio de Anorí, Antioquia, Colombia*, concluye que la gestión ambiental en el modelo de susceptibilidad a la erosión está enmarcada principalmente en el manejo de la cobertura vegetal, toda vez que es la variable más importante y aquella sobre la cual se puede influir realmente con un trabajo de prevención, mitigación y compensación. La aplicación de modelos de las diferentes variables ambientales se convierte en una herramienta útil para la planificación ambiental y toma de decisiones, para así poder hacer más sostenible el aprovechamiento de los recursos mineros en una región.

Asimismo, en el estudio menciona que los modelos de susceptibilidad para la erosión son necesarios para poder encaminar estrategias para el manejo de la tierra, en especial para el uso minero, para reducir la magnitud de los problemas de la erosión del suelo.

NÁJERA, et al (2016) en su investigación titulada, *Riesgo de erosión hídrica y estimación de pérdida de suelo en paisajes geomorfológicos volcánicos en México*, evalúan el riesgo de erosión y pérdida de suelo sobre unidades de paisaje geomorfológico de origen volcánico en la cuenca del río Mololoa – México aplicando la ecuación universal de pérdida de suelo. Los resultados que obtienen muestran que el 13.7% de la superficie de la cuenca presenta significativos problemas de pérdida de suelo por erosión hídrica (muy alta y alta), el 16.6% presenta una pérdida de suelo moderada y el 35.7% presenta pérdidas menores a  $10 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ .

DUFILHO, et al (2011) en su investigación titulada, *Estimación de erosión hídrica de suelos para plan de manejo del campo forestal Aguas Frías, Patagonia Argentina*, se menciona que uno de los objetivos de un plan de manejo de campo forestal es diseñar un conjunto de medidas de control de la erosión que incluyen cierre perimetral, forestación y medidas estructurales para el control de cárcavas. Es por ello que se hace necesario caracterizar la erosión actual y la potencial para poder determinar las medidas de control a aplicar.

En el estudio, la estimación de erosión actual se realizó en base a observaciones de campo, determinándose que el grado de erosión es avanzado y generalizado, por otro lado, la estimación de erosión potencial con USLE determina que solo un 34% del campo forestal presenta erosión potencial aceptable (menor a  $10 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ ), mientras que la superficie restante presenta niveles elevados de erosión hídrica potencial la cual es necesario controlar.

RAMOS (2001) en su investigación titulada, Modelamiento ambiental para análisis de susceptibilidad erosiva en la cuenca media y alta del río Cañete y determinación del mapa de erosión, determinó que la ausencia de cobertura vegetal y la masiva ocupación por parte de cultivos de corto periodo vegetativo se traduce en una elevada pérdida de suelo, la cual se intensifica cuando ocurre pastoreo en las laderas.

En el mismo estudio, se observa pendiente fuertes las cuales son superiores al 30% en el 49% de la superficie de la cuenca, lo cual favorece el proceso erosivo. Es por ello que se debe realizar la conservación de la superficie a través de la recuperación y conservación del suelo con las prácticas mecánicas ampliamente conocidas, tal como la instalación de una cubierta forestal en las zonas más críticas de la cuenca que permita minimizar o eliminar los procesos erosivos relacionados a la erosión hídrica.

LAURA (2010) en su tesis titulada, Estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica en la cuenca del río Juramento-Salta, determinó que la utilización de los parámetros poco modificables por el hombre (Factor de Erosividad, Factor de Erodabilidad y Factor Topográfico) del modelo USLE, se pudo determinar la áreas de alto riesgo de erosión hídrica potencial, teniéndose que el 53% de la superficie presenta pérdidas significativas de suelo (mayor a  $50 \text{ t.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ )

Cuando se incorpora el factor de cobertura y uso de suelo se determina la erosión actual, en esta se tiene que 33% del área de estudio presenta erosión alta y muy alta, siendo las áreas más susceptibles las que se encuentran en pendientes superiores a 5%. La consideración del factor cobertura vegetal hace que los valores disminuyan de manera generalizada en toda el área, aumentando las superficies correspondientes a clases nula a moderada y disminuyendo las áreas con erosión alta y muy alta.

GUTIÉRREZ Y PINZON (2017) en su tesis titulada, Evaluación de la erosión hídrica y escorrentía en tres sistemas productivos para lograr un manejo sostenible del suelo en la

vereda Santa Marta, Cabrera, Cundinamarca; mencionan que la erosión hídrica conlleva efectos como la alteración en las propiedades físicas del suelo y los contenidos de materia orgánica, disminuyendo la fertilidad y productividad y genera también impactos ambientales indirectos por el arrastre y sedimentación de las partículas de suelo.

En el estudio, se determina que las pérdidas por erosión hídrica en sistema de cultivo son de 11.5 kg/ha, en área arborizada es de 5.13 kg/ha y en pradera de 0.57 kg/ha de sedimentos. Se determinó que las áreas arborizadas contribuyen al aumento de la erosión por acumulación de gotas de lluvia y aumento de la energía cinética de las mismas, por otro lado en la pradera por el mismo sistema radicular se amarra las partículas de suelo y por su rugosidad filtra el suelo arrastrado en el agua lo cual disminuye de manera eficiente la erosión y las tasas de escorrentía.

MORENO (2017) en su tesis titulada, Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando el método USLE y haciendo uso del SIG en la subcuenca del río Olleros-distrito de Olleros Periodo 2015, determino que las pérdidas de suelo por erosión hídrica aplicando el método USLE varían entre los rangos de 0 a 5 t.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> en el 59.945% de la superficie de la cuenca, de 5 a 25 t.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> en el 9.899% de la superficie de la cuenca, de 25 a 50 t.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> en el 9.956% de la superficie de la cuenca y superiores a 50 t.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> en el 20.199% de la superficie; se determinó que la cuenca presenta un valor medio anual de 25.58 t.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup> el cual corresponde a una erosión media.

PUERTA (2018) en su tesis titulada, Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica usando la ecuación universal de pérdida de suelo (U.S.L.E.) en la subcuenca Chinata, Amazonas, 2018; se determinó que el nivel más alto de erosión (muy alta) afecta al 5.41% del área de la subcuenca Chinata y se pierden hasta 8,891 t.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>, por otro lado el 93.85% de la superficie presenta erosión de tipo ligera, con una pérdida inferior a 10 t.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>.

En el estudio se encontró que en zonas de pendiente entre 10% a 20% presentan erosión ligera y es por el tipo de cobertura vegetal boscosa, por otro lado, en zonas con pendiente muy suave de entre 1 al 10% se encontró erosión de nivel muy alta y esto es por la cobertura vegetal del tipo cultivo. Se concluye que la cobertura vegetal es más influyente en la erosión hídrica que la pendiente.

PERALES (2019) en su tesis titulada, Pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando el

modelo RUSLE en la cuenca del río Supte Grande, Provincia Leoncio Prado – Huánuco; se estimó la erosión hídrica potencial (sin cobertura vegetal) encontrándose en mayor porcentaje (61.67%) una erosión muy severa en la parte alta de la cuenca, en la parte plana de la cuenca se encontró erosión normal ocupando 20.80% de la cuenca, se determinó que la erosión extrema ocurre en las zonas donde se tiene cobertura de pastos ( $9718.80 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ ), incluso es superior a zonas sin cobertura ( $194.13 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ ) cuya erosión es severa, en cuanto a cobertura tipo maíz también presenta erosión severa ( $68.27 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ ) pero es menor que la zona sin cobertura; por otro lado el cultivo de cacao y las zonas de perma tienen erosiones de  $47.25 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$  y  $14.27 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$  respectivamente, lo cual es catalogado como erosión media y baja.

BARRAL, et al (2019) en su investigación titulada, Evolución de la erosión estimada (USLE) y procesos de naturbanización en el entorno de los parques nacionales de Doñana y Sierra Nevada (España), analiza la diferente incidencia que muestra la erosión estimada de suelos en las áreas de influencia socioeconómica en el marco de los procesos de Naturbanización, se ha constatado la relevancia que los usos y coberturas vegetales tienen para explicar la distribución de los valores medios de erosión en ambas cuencas, en una de ellas la distribución de la erosión estimada ha mostrado un mayor paralelismo con la erosividad de la lluvia mientras que la otra cuenca los cambios de uso de suelo son los que determinan en mayor medida la evolución de la erosión hídrica.

CASTILLO Y ROJAS (2019) en su tesis titulada, Erosión hídrica del suelo como efecto de la precipitación pluvial del fenómeno del niño costero en la subcuenca Huancay, Chicama 2017; se determinó que, luego del análisis de los factores que componen la ecuación universal de erosión hídrica, la comparación de erosión hídrica real de suelo de la subcuenca Huancay del ANA (2015) con la erosión ocurrida durante el fenómeno del niño costero (2017) provocó el aumento de la pérdida de suelo en un 28% del área en un nivel de erosión hídrica crítica por sus constantes y fuertes precipitaciones; es decir en zonas donde la pendiente y la cobertura vegetal se mantienen constantes la influencia de la erosividad de las lluvias es determinante y punto de partida de la erosión hídrica.

SAAVEDRA (2019) en su investigación titulada, Protocolo para la cuantificación de pérdida de suelo producto de la erosividad de la precipitación en la cuenca de Rapel, explica que uno de los modelos más ampliamente usados para predecir la pérdida de suelo debido a la erosión hídrica es el modelo paramétrico de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE), se

concluye que la construcción de un protocolo de cálculo para el estudio de la pérdida de suelo a escala de cuenca hidrográfica permite el aumento de conocimiento técnico para la toma de decisiones enfocada en la interacción de los componentes, permitiendo el aprovechamiento y la conservación de los recursos naturales.

ARROYO Y JARAMILLO (2019) en su tesis titulada, Validación de los modelos RUSLE, WEQ y Calvos de erosión en la pérdida de suelo de la microcuenca La Merced, Carchi; utilizo una metodología directa de medición de la erosión del suelo denominada clavos de erosión la misma que entre otros modelos fue relacionada con el modelo RUSLE, concluyéndose que el método de clavos de erosión es adecuado para cuantificar la erosión hídrica, por tal razón es una técnica apta para establecer medidas de manejo y conservación de suelo.

## 1.2. DESCRIPCION DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

De acuerdo a lo indicado por la FAO (2015) los suelos del mundo se están deteriorando de manera acelerada esto debido a la erosión (hídrica y eólica), agotamiento de los nutrientes, la pérdida de carbono orgánico, el sellado del suelo y otras amenazas que afectan la estabilidad y conservación del suelo.

La mayor parte de los suelos en el mundo se encuentran en condiciones de mala o muy mala y la tasa de degradación de suelos es mayor que la tasa de recuperación de los mismos (excede su capacidad de resiliencia), la FAO (2015) estima que el 33 por ciento de la tierra se encuentra de moderada a altamente degradada debido a la erosión, salinización, compactación, acidificación y la contaminación química de los suelos; la erosión remueve anualmente entre 25 a 40 millones de toneladas de la capa arable.

De otro lado, el incremento de la pérdida de suelos dañaría gravemente la producción de alimentos y por consiguiente la seguridad alimentaria, lo cual traería como consecuencia la volatilidad del precio de los alimentos, afectando a millones de personas (FAO, 2015).

En Perú se han realizado estudios en determinadas cuencas sobre erosión hídrica y pérdida de suelos, en el norte y sur del país, en los cuales se determina que en el territorio evaluado predomina un grado de erosión de moderada a alta y muy alta en zonas puntuales; sin embargo no se ha realizado este tipo de estudios en los andes peruanos, especialmente en la

cabecera de cuencas como es el caso de la zona de estudio la cual abarca la cabecera de cuenca del río Chacote y Aymaraes.

La pérdida de suelos por erosión hídrica es un problema acentuado en el país por presentar dos temporadas marcadas en un año hídrico: Temporada Húmeda o de Lluvias y temporada Seca. Durante la temporada de lluvias que puede durar entre 4 a 5 meses en los andes peruanos la pérdida de suelos se hace muy significativa por lo que es importante cuantificarla e identificar zonas vulnerables en las cuales se pueda intervenir para prevenir la pérdida extrema de la capa orgánica del suelo, el mismo que sustenta los pastos, cultivos y alimento de la ganadería.

### **1.3. FORMULACION DEL PROBLEMA**

#### **1.3.1. Problema General**

- ¿De qué manera cuantificación espacial de la erosión hídrica en el área de influencia ambiental de la Unidad Minera Corihuarmi podrá identificar las zonas susceptibles a la pérdida de suelo?

#### **1.3.2. Problemas Específicos**

- ¿De qué forma de determinar el factor de erosividad de las lluvias?
- ¿De qué forma de determinar el factor de erodabilidad del suelo?
- ¿De qué forma de determinará los factores topográficos de longitud e inclinación de la zona de estudio?
- ¿De qué forma se determinara el factor de cobertura de la zona de estudio?
- ¿Cómo se realizara la cuantificación espacial de pérdida de suelos por erosión hídrica usando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos?
- ¿De qué manera se cuantificara las áreas de susceptibilidad baja, media, alta y muy alta de la zona de estudio?

### **1.4. JUSTIFICACION E IMPORTANCIA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.4.1. Justificación**

El Perú el recurso hídrico presenta una distribución desigual en las distintas vertientes, en la vertiente del Pacífico el 2 por ciento y en la vertiente del Atlántico el 98 por ciento del recurso hídrico (Cabrejos, 2016); por otro lado, en América Latina se está incrementando de

forma acelerada el área cultivada, en especial en zonas de laderas y ceja de selva donde las condiciones de topografía y de clima intensifican el proceso de erosión (FAO, 2015), el desarrollo de actividad agrícola en estas condiciones sin un criterio de planeamiento y uso pueden intensificar la pérdida de suelo en la zona donde ocurre la escorrentía y también en las partes bajas hacia donde las lluvias conducen los sedimentos removidos del suelo (Dourojeanni, 1967).

De acuerdo con el informe de la FAO (2015) sobre el Estado Mundial del Recurso Suelo, se señala que existe una pérdida de suelo entre 25 a 40 000 millones de toneladas de la capa arable del suelo cada año, esto reduce severamente el rendimiento del suelo para sostener cultivos, por lo que cada año se requiere una dosis mayor de fertilizantes los cuales intensifican la degradación del suelo toda vez que cambia la estructura haciéndolo más fino y más fácil de ser arrastrado (López, 2002).

En las cuencas altoandinas, donde la precipitación media anual es alta e intensa en los meses de noviembre a marzo, la pérdida de suelo por erosión hídrica que se produce en las partes altas se moviliza hacia las partes bajas de las diferentes vertientes del Perú: Pacífico, Amazonas y Titicaca; lo cual genera que la pérdida de suelo sea directamente proporcional al incremento del uso de fertilizantes para mejorar la productividad agrícola (Lopez, 2002); el uso mayor de fertilizantes ocasiona una mayor susceptibilidad a la pérdida de suelo e impacto en la flora y fauna de los ecosistemas que reciben los aportes de estos campos de cultivo (FAO, 2015).

#### **1.4.2. Importancia**

Su importancia radica en estimar la pérdida de suelo por erosión hídrica y a partir de esta generar un mapa temático proveerá información necesaria y útil para poder establecer estrategias de conservación en las zonas vulnerables y reducir la remoción de suelo, y por consiguiente se reducirá la aplicación de fertilizantes y conllevará a una mejor productividad agrícola del suelo natural.

### **1.5. FORMULACION DEL PROBLEMA**

#### **1.5.1. Objetivo General**

- ✓ Estimar la pérdida de suelo media anual mediante el uso de la Ecuación Universal de la pérdida de Suelo – USLE, del área de influencia ambiental de la Unidad Minera

Corihuarmi.

### **1.5.2. Objetivos Específicos**

- ✓ Determinar mediante el uso de teledetección y sistemas de información geográfica los grados de erosividad, erodabilidad, pendiente y uso actual de la tierra.
- ✓ Estimar la pérdida de suelo media anual del área de influencia ambiental de la unidad minera Corihuarmi, utilizando la Ecuación Universal de la Perdida de Suelo – USLE.
- ✓ Elaborar el mapa de los diferentes grados de erosión hídrica espacial del área de influencia ambiental de la unidad minera Corihuarmi.
- ✓ Proponer alternativas de protección y/o conservación para las zonas afectadas por erosión hídrica.

## **1.6. HIPOTESIS**

### **1.6.1. Hipótesis General**

HI (Hipótesis de Investigación): Mediante la aplicación de la USLE se determinara la distribución espacial de la erosión hídrica del área de influencia ambiental de la unidad minera Corihuarmi.

HO (Hipótesis Nula o Alternativa): Mediante la aplicación de la USLE no se determinara la distribución espacial de la erosión hídrica del área de influencia ambiental de la unidad minera Corihuarmi.

### **1.6.2. Hipótesis Específicas**

H1 (Hipótesis Específica de Investigación): Mediante uso de la teledetección y sistemas de información geográfica se podrán determinar los mapas de erosividad, erodabilidad, pendiente y uso actual de la tierra.

Ho (Hipótesis Específica Nula o Alternativa): Mediante uso de la teledetección y sistemas de información geográfica no se podrán determinar los mapas de erosividad, erodabilidad, pendiente y uso actual de la tierra.

H1 (Hipótesis Especifica de Investigación): Con la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos – USLE, se estimara la pérdida de suelo media anual del área de influencia ambiental de la Unidad Minera Corihuarmi.

Ho (Hipótesis Específica Nula o Alternativa): Con la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos – USLE, no se estimara la pérdida de suelo media anual del área de influencia ambiental de la Unidad Minera Corihuarmi.

H1 (Hipótesis Específica de Investigación): Con la Ecuación Universal de Perdida de Suelos – USLE, se podrá obtener la distribución espacial del grado de erosión hídrica del área de influencia ambiental de la unidad minera Corihuarmi.

Ho (Hipótesis Específica Nula o Alternativa): Con la Ecuación Universal de Perdida de Suelos – USLE, no se podrá obtener la distribución espacial del grado de erosión hídrica del área de influencia ambiental de la unidad minera Corihuarmi.

H1 (Hipótesis Específica de Investigación): Con el resultado de la distribución espacial del grado de pérdida de suelos media anual del área de influencia ambiental de la unidad minera Corihuarmi se podrá proponer alternativas de protección y/o conservación de las zonas afectadas por erosión hídrica.

Ho (Hipótesis Específica Nula o Alternativa): Con el resultado de la distribución espacial del grado de pérdida de suelos media anual del área de influencia ambiental de la unidad minera Corihuarmi no se podrá proponer alternativas de protección y/o conservación de las zonas afectadas por erosión hídrica.

## **1.7. VARIABLES E INDICADORES**

### **1.7.1. Operacionalizacion de variables**

En la Tabla 1, se muestra la matriz de operacionalización de variables que está contemplada en la presente propuesta de investigación.

**Tabla 1.1 Matriz de Operacionalización de Variables**

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Pérdida de suelo media anual  <b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>	“Estima las pérdidas de suelo anuales, como valor promedio de un periodo representativo de años, que se producen en una parcela o superficie de terreno debidas a la erosión superficial, laminar y en regueros, ante unas determinadas condiciones de clima, suelo, relieve, vegetación y uso de suelo” Wischmeier y Smith (1978).	Es el producto de la multiplicación aritmética del factor de erosividad, factor de erodabilidad, factor de pendiente, factor de cobertura y factor de prácticas de manejo de suelo.	Cantidad de suelo perdido por erosión hídrica	Masa	Toneladas (Tn)
				Área	Hectáreas (ha)
				Tiempo	Años
Factor de Erosividad  <b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>	La erosividad o capacidad de las lluvias de erosionar el suelo	se calcula utilizando todas las lluvias que igualan o exceden 10 mm y se consideran independientes cuando están separadas por periodos de seis horas o más	Erosividad de las lluvias	Energía Cinética	MJ

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
				Area	Hectáreas (ha)
				Precipitación	milímetros (mm)
Factor de Erodabilidad <b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>	Es la resistencia del suelo a ser desprendido por la lluvia y transportado por la escorrentía	Es una medida de la susceptibilidad del suelo al desprendimiento y transporte de sus partículas, la cual está influenciada por numerosas propiedades, tales como textura, estabilidad estructural, contenido de materia orgánica, mineralogía de arcillas y constituyentes químicos, entre otros	Erodabilidad del suelo	Energía Cinética	MJ
				Masa	Toneladas (Tn)
				Área	Ha

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
				Tiempo	Hora (hr)
				Precipitación	milímetros (mm)
Factor de Longitud de Pendiente <b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>	Es la distancia desde donde empieza el flujo de escorrentía hasta donde hay acumulación de sedimentos	Es el efecto del largo de la pendiente en la erosión tomando como base una longitud de las parcelas normalizadas en 22.13m	Factor de pendiente	Distancia	metros (m)
Factor de Gradiente de Pendiente <b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>	Es la relación entre las pérdidas de suelo para una determinada pendiente.	Es la proporción de pérdida de suelos de una superficie con una pendiente específica con respecto a aquella en la pendiente estándar de 9%	Factor de Gradiente	Angulo	Porcentaje (%)

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Factor de Cobertura <b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>	Es la influencia y resistencia de la cobertura del suelo a la erosividad de las lluvias	La proporción de pérdida de suelo de terreno con una vegetación específica, su valor depende de las prácticas de cobertura y manejo de la vegetación.	Factor de Cobertura	Adimensional	Adimensional
Factor de Prácticas de Manejo <b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>	influencia que tienen las prácticas de conservación de suelos sobre las tasas de erosión de una parcela	Influencia que tienen las prácticas de conservación de suelos sobre las tasas de erosión de una parcela	Factor de Prácticas de Manejo	Adimensional	Adimensional

**FUENTE:** Elaboración propia.

## 1.8. PERIODO DE ANALISIS

El periodo de análisis fue de 15 años de registro de precipitación desde 2006 al 2021, para el cálculo del potencial de pérdida por erosión hídrica en el año 15 (2021).

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO Y MARCO CONCEPTUAL**

#### **2.1. EROSIÓN**

Es el desprendimiento y desplazamiento de las partículas que conforman el suelo por la acción de diferentes agentes externos sean naturales o humanos. Entre las causas naturales la erosión del suelo es originada por acción del clima y la movilización; la remoción o transporte de partículas es acción del agua y el viento (Vásquez, 2000 & 2016).

El agua es el principal agente en el proceso de la erosión, la cual empieza por acción de las condiciones meteorológicas y el clima, las cuales van alistando el material parental para el proceso erosivo; las precipitaciones y el viento actúa como impulsores del desprendimiento y movilización de sedimentos. La cobertura vegetal, el tipo y características del suelo, la geomorfología, la geología y los usos del suelo, conforman el grado de predisposición del suelo a ser afectado por los agentes generadores de la erosión. (Ramos, 2001; Ramírez, Hincapie, & Sadeghian, 2009).

## 2.2. EROSIÓN HÍDRICA

La erosión hídrica del suelo es consecuencia del efecto combinado de los factores meteorológicos y el clima, los cuales alistan el material parental para la erosión, y la lluvia actúa como el principal agente erosivo. La cobertura vegetal, el tipo y características del suelo, la geomorfología, la geología y los usos del suelo, establecen el grado de predisposición del suelo a ser afectado por los agentes generadores de la erosión (Ramos, 2001; Ramírez, Hincapié, & Sadeghian, 2009).

El proceso de erosión hídrica abarca el desprendimiento, transporte y depósito de las partículas del suelo a causa de la lluvia (Vásquez, 2000, y Buitrago, 2011).

## 2.3. PROCESO DE EROSIÓN HÍDRICA

Según Hudson (1981), la erosión hídrica es el proceso que produce el desprendimiento, transporte y deposición de suelo por acción de los siguientes agentes:

- **Energía cinética:** La energía de una gota de lluvia que cae sobre la superficie del suelo genera una ruptura de los terrones y agregados, lo que desprende partículas que luego son susceptibles de ser arrastradas a través de la pendiente del suelo.
- **Escorrentía:** La escorrentía superficial origina el desprendimiento de nuevo suelo y la movilización del suelo desprendido por las gotas de lluvia. Este proceso es identificable ya sea por flujo laminar o por flujo turbulento (erosión en surcos).

El proceso de erosión hídrica tiene una secuencia de etapas que se empieza con la caída de la gota de lluvia, esta genera un golpe sobre la superficie del suelo, la energía cinética se transfiere de la gota de lluvia a la superficie lo que produce un desprendimiento y esparcimiento del suelo, como consecuencia el suelo desprendido puede adquirir los siguientes tipos de erosión (Vásquez, 2000; Buitrago, 2001; Cisneros et. al., 2012).

- a) **Erosión Laminar:** Ocurre cuando las partículas de suelo, originadas por acción de la lluvia, son esparcidas de tal manera que forman una capa delgada sobre la superficie y cuando la cantidad de precipitación que cae sobrepasa la capacidad de infiltración del suelo, se genera un escurrimiento superficial el cual arrastra las

partículas de suelo que fueron desprendidas (Vásquez, 2000).

- b) **Erosión por Surcos:** Se genera cuando aumenta la cantidad de agua en la superficie del suelo, la cual se aglomera y fluye debido a la pendiente, pasando de un flujo subcrítico a un flujo supercrítico en pequeños cauces (Vásquez, 2000). Cisneros et. al. (2012) menciona que: “*la erosión por surcos es aquella que se puede borrar con implementos de labranza, luego que ocurre*”, definición que emplea para implantar una diferencia entre erosión por surcos y en cárcavas.
- c) **Erosión en Cárcavas:** Es el resultado profundo de la erosión por surcos, la cual depende de la cantidad de escurrimiento que es capaz de producir la cuenca, de la superficie de drenaje que recibe la cárcava, del material del suelo, y lógicamente de la sección y pendiente del terreno, originando un cauce que no puede ser eliminado por labranza (Cisneros et. al., 2012).

## 2.4. FACTORES DE LA EROSION HIDRICA

Las principales causas de la erosión hídrica son las siguientes (Vásquez, 2000; Cisneros et. al., 2012).

### 2.4.1. Clima

El principal factor es la lluvia y su energía cinética, por lo cual para determinar la influencia de la lluvia en la erosión hídrica es imprescindible conocer la cantidad y distribución de las tormentas (en base a estaciones meteorológicas y modelos matemáticos) y su intensidad, la cual define la energía cinética que desata los procesos de desprendimiento y escurrimiento.

### 2.4.2. Relieve

El grado o inclinación de la pendiente es el factor fundamental del relieve que influye en la erosión hídrica, en tanto que la longitud de la pendiente determina la cantidad de erosión de una ladera y la velocidad terminal de la escorrentía. La complicación de la pendiente se basa en el grado de uniformidad de gradientes, direcciones y longitudes que inciden de manera significativa en el proceso de

erosión hídrica.

### **2.4.3. Suelo**

Está basado en los desarrollos que regulan la absorción de las precipitaciones y la resistencia de las partículas del suelo al desprendimiento y movilización. Estos desarrollos y su magnitud dependen de las características del suelo tales como estructura, textura, contenido de materia orgánica y permeabilidad.

### **2.4.4. Sistema de producción**

Es el empleo que los habitantes hacen del recurso suelo de una cuenca, concretamente se refiere a la relación sociedad - naturaleza vinculada al empleo y gestión de las tierras.

### **2.4.5. Cobertura vegetal**

La vegetación minimiza el potencial de erosión hídrica de un suelo, mediante la intercepción y disminución de la energía cinética de las gotas de lluvia, el aumento de la capacidad de infiltración del suelo y al incremento de la resistencia del suelo mediante el efecto de amarre de las partículas de suelo que producen las raíces de la vegetación.

## **2.5. ECUACION UNIVERSAL DE PERDIDA DE SUELO (USLE)**

La ecuación universal de pérdida de suelo permite determinar la cantidad de suelo promedio anual que se pierde por erosión hídrica (Dourojeanni, 1967). El modelo de predicción de erosión hídrica (USLE por sus siglas en inglés) está diseñado para predecir la pérdida anual de suelo causada por la precipitación y el escurrimiento sobre una sección compuesta por terrazas y taludes, con una cobertura vegetal de suelo y un sistema de manejo dado (Mesen, 2009).

El modelo se basa en los supuestos de que las mayores fuerzas hídricas que intervienen en el proceso son el impacto de las gotas y el flujo a través de la superficie del suelo. La USLE corresponde al resultado de numerosos trabajos realizados por el Departamento

de Agricultura de Estados Unidos (USDA) desde la primera mitad del siglo veinte, luego Walter Wismeier y Dwight Smith presentaron la formulación del modelo de predicción de pérdida de suelo en 1978.

La ecuación del modelo USLE fue revisada desde 1987 y se publicó la ecuación RUSLE que está definida por (USDA, 1997). La USLE tiene la siguiente expresión matemática:

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (2.1)$$

Donde:

A: Pérdida media anual de suelo expresado en  $\frac{t}{ha.año}$ .

R: Erosividad de la lluvia medido en  $\frac{MJ.cm}{ha.hr}$

K: Erodabilidad del suelo expresado en  $\frac{t.ha.hr}{MJ.ha.cm}$

L: Factor topográfico de Longitud de Talud, adimensional.

S: Factor topográfico de Inclinación de Pendiente, adimensional.

C: Factor de cobertura, adimensional.

P: Factor de prácticas de control y conservación de suelo, adimensional.

Los 4 primeros factores miden la erosión potencial según las condiciones de la zona de estudio, los factores C y P son controlables por el hombre en mayor o menor grado (Dourojeanni, 1967).

### 2.5.1. Factor de Erosividad (R)

Es el número de unidades de índice de erosión que ocurren en un año normal de lluvias (Dourojeanni, 1967). El factor R corresponde a la sumatoria de los productos de las energías de todos los eventos de lluvias erosivas anuales con sus respectivas intensidades máximas en 30 minutos (Mannaerts, 1999; Cabrejos, 2016; Nakaya, 2017). El factor R mide el efecto de la precipitación sobre la erosión y está definido por:

$$R = \frac{EI_{30}}{100} \frac{J.cm}{m^2.hr} \quad (2.2)$$

Donde:

E: Energía cinética del aguacero  $\left(\frac{J}{m^2}\right)$

$I_{30}$ : Máxima intensidad de lluvia en 30 minutos  $\left(\frac{cm}{hr}\right)$

Si en el área de estudio no se dispone de registros continuos que permitan obtener  $I_{30}$ , existen métodos más sencillos para poder determinar el factor R (Almorox et al., 1994):

a) Índice de agresividad climática de Fournier (1960)

$$F = \frac{p^2}{P} \quad (2.3)$$

Donde p es precipitación mensual del mes más lluvioso y P es precipitación anual.

b) Índice de Arnoldus (1977)

$$A = \sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P} \quad (2.4)$$

Donde  $p_i$  es precipitación del mes i y P es precipitación anual.

c) Arnoldus (1978) basado en trabajos de Fournier utiliza una formula obtenida por regresión lineal, en la cual se correlacionó valores conocidos de R con las lluvias anuales:

$$R = a * \left(\sum_{i=1}^{12} \frac{p_i^2}{P}\right) + b \quad (2.5)$$

Donde “a” y “b” son constantes que consideran las condiciones climáticas; para regiones con precipitaciones mayores a 200mm anuales se adoptó las constantes climáticas de USA a = 4.17 y b = -152, para regiones con precipitación menores a 200mm se adopta las constantes a = 0.66 y b = -3,  $(p_i)^2$  es la precipitación media mensual y P es la precipitación media anual (Ramírez, 2010).

- d) Otro método para la determinación de la erosividad R es el propuesto por Morgan (1974) usado para lugares con precipitaciones altas:

$$R = I_{30} * \frac{9.28P - 8.393}{1000} \quad (2.6)$$

Dónde:  $I_{30}$ : 75mm/h (valor recomendado por Wischmeier)

P: Precipitación media anual.

### 2.5.2. Factor de Erosdabilidad (K)

Es la resistencia del suelo a ser desprendido por la lluvia y transportado por la escorrentía, por lo que depende de las propiedades del suelo. Para estimar su valor en gabinete, se debe determinar a partir de un nomograma desarrollado por Wischmeier y Smith o aplicando directamente la ecuación de regresión a partir de datos experimentales obtenidos con lluvias simuladas (Gisbert et al., 2012).

Si bien la aplicación de la ecuación o el nomograma a nivel de parcela de cultivo no plantea excesivos problemas, la determinación de la textura, estructura y permeabilidad de los suelos de zonas de gran extensión, sin conocimiento previo de la naturaleza del suelo, se convierte en algo bastante complicado, es por ello que existen publicaciones en las que se asocia la naturaleza litológica del terreno con la estructura, textura, color, etc. del suelo, por provenir directamente de la roca madre.

Se puede emplear valores correlacionados con el tipo de suelo o el material original:

- Según la textura

**Tabla 2.1 Indicadores de la magnitud general del factor K de erodabilidad del suelo**

Indicaciones de la magnitud general del factor K de erodabilidad del suelo			
Clase de textura	Contenido de materia orgánica		
	0.5 por ciento	2 por ciento	4 por ciento
	K	K	K
Arena	0.05	0.03	0.02
Arena fina	0.16	0.14	0.10
Arena muy fina	0.42	0.36	0.28
Arena migajosa	0.12	0.10	0.08
Arena fina migajosa	0.24	0.20	0.16
Arena muy fina migajosa	0.44	0.38	0.30
Migajón arenoso	0.27	0.24	0.19
Migajón arenoso fino	0.35	0.30	0.24
Migajón arenoso muy fino	0.47	0.41	0.33
Migajón	0.38	0.34	0.29
Migajón limoso	0.48	0.42	0.33
Limo	0.60	0.52	0.42
Migajón arcilloso arenoso	0.27	0.25	0.21
Migajón arcilloso	0.28	0.25	0.21
Migajón arcilloso limoso	0.37	0.32	0.26
Arcilla arenosa	0.14	0.13	0.12
Arcilla limosa	0.25	0.23	0.19
Arcilla		0.13-0.29	

**FUENTE:** Gisbert et al., 2012.

- Según la litología

**Tabla 2.2 Valores de factor K según litología**

Factor K	Litología
0.2	SC 1 Conglomerados
0.2	SC 1-2 Conglomerados y areniscas
0.2	SC 1-2-4 Conglomerados, areniscas y arcillas
0.2	SC 1-4 Conglomerados y arcillas
0.2	SC 1-10 Conglomerados y margas
0.3	SC 2 Areniscas
0.3	SC 2-4 Areniscas y arcillas
0.3	SC 2-10 Areniscas y margas
0.4	SC 4 Arcillas
0.4	SC 4-2 Arcillas y areniscas
0.4	SC 4-10 Arcillas y margas
0.3	SC 5 Calcáreas
0.3	SC 5-2 Calcáreas y areniscas
0.3	SC 5-6 Calcáreas y calcarenitas
0.3	SC 5-7 Calcáreas y calcáreas margosas
0.3	SC 5-9 Calcáreas y dolomías
0.3	SC 5-10 Calcáreas y margas
0.3	SC 6 Calcarenitas
0.3	SC 6-10 Calcarenitas y margas
0.3	SC 7 Calcáreas margosas

Factor K	Litología
0.3	SC 7-10 Calcáreas margosas y margas
0.3	SC 8 Calcáreas tovacias
0.3	SC 9 Dolomías
0.3	SC 9-5 Colomías y calcáreas
0.3	SC 9-10 Dolomías y margas
0.5	SC 10 Margas
0.5	SC 10-2 Margas y areniscas
0.6	SC 12 Arcillas, margas y yesos
0.2	SI 2 Cantos y gravas
0.2	SI 2-3 Cantos, gravas y arenas
0.2	SI 2-3-4 Cantos, gravas, arenas y limos
0.2	SI 2-3-5 Cantos, gravas, arenas y limos
0.2	SI 2-4 Cantos, gravas y limos
0.2	SI 2-5 Cantos, gravas y arcillas
0.2	SI 3 Arenas
0.2	SI 3-2 Arenas, gravas y cantos
0.2	SI 3-4 Arenas y limos
0.2	SI 3-4 Arenas y arcillas
0.5	SI 4 Limos
0.5	SI 4-2 Limos, gravas y cantos
0.5	SI 4-3 Limos y arenas
0.5	SI 4-5 Limos y arcillas
0.4	SI 5 Arcillas
0.4	M-1 Pizarras y cuarcitas
0.4	M-2 Rocas carbonatadas y filitas
0.4	M-3 Metabasitas
0.2	V-1 Basaltos
0.2	V-2 Ofitas
0.2	V-3 Brechas y tovas volcánicas

**FUENTE:** Gisbert et al., 2012.

El cálculo matemático del factor de erodabilidad del suelo se realiza en base a la ecuación del nomograma de Wischmeier citado por Mannaerts (1999):

$$K = \left( \frac{10}{7.594} \right) * \left[ \frac{(2.1 * 10^{-4} * (12 - OM) * M^{1.14} + 3.25 * (s - 2) + 2.5 * (p - 3))}{100} \right] \quad (2.11)$$

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

OM = Materia orgánica (%)

S = Código de estructura USLE

P = Código de permeabilidad USLE

M = Producto de (%limo + %arena muy fina)\*(100 - %arcilla)

Los valores propuestos en la versión original de Wischmeier convertidos al sistema

métrico varían entre 0.0658 a 0.7901. Los códigos asignados por USLE para la estructura de suelo son los siguientes:

**Tabla 2.3 Códigos USLE de estructura de suelo**

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

**FUENTE:** Mancilla, 2008.

Los códigos asignados por USLE para la permeabilidad de suelo, en función a la velocidad de infiltración, son los siguientes:

**Tabla 2.4 Códigos USLE de permeabilidad en función de la textura**

Código USLE	Textura	Categoría de Permeabilidad
6	Arcilla, franco arcilloso	Muy lenta ( $< 0.13 \text{ cm-h}^{-1}$ )
5	Arcillo arenoso, franco arcillo limoso	Lenta ( $0.13 - 0.5 \text{ cm-h}^{-1}$ )
4	Franco arcillo arenoso, franco arcilloso	Lenta a moderada ( $0.5 - 2 \text{ cm-h}^{-1}$ )
3	Franco limoso, franco	Moderada ( $2 - 6.3 \text{ cm-h}^{-1}$ )
2	Areno francoso, franco arenoso	Moderada a rápida ( $6.3 - 12.7 \text{ cm-h}^{-1}$ )
1	Arena	Rápida ( $> 12.7 \text{ cm-h}^{-1}$ )

**FUENTE:** Mannaerts, 1999.

### 2.5.3. Factor Topográfico (LS)

#### ➤ Longitud de talud (L)

El factor L mide el efecto del largo de la pendiente en la erosión tomando como base una longitud de las parcelas normalizadas en 22.13m (Mencionado por Dufilho et al., 2011) y se estima con la siguiente ecuación:

$$L = \left[ \frac{\lambda}{22.1} \right]^m \quad (2.7)$$

$$m = \frac{F}{(1+F)} \quad (2.8)$$

$$F = \frac{\sin \beta / 0.0896}{3(\sin \beta)^{0.8} + 0.56} \quad (2.9)$$

Dónde:  $\lambda$  = Es longitud del declive en metros.

$\beta$  = Angulo de la pendiente, en grados.

m = exponente que depende de la pendiente de la ladera.

#### ➤ Nivel de inclinación de pendiente (S)

Factor de magnitud de pendiente, es la proporción de pérdida de suelos de una superficie con una pendiente específica con respecto a aquella en la pendiente estándar de 9% (Wischmeier y Smith, 1978).

McCool et al. (1987) en Renard et al. (1997), propuso las siguientes ecuaciones para la cuantificación del factor S en función de la pendiente estándar:

$$\begin{aligned} S &= 10.8 * \sin \theta + 0.03 & \text{Si: } s < 9\% \\ S &= 16.8 * \sin \theta - 0.5 & \text{Si: } s \geq 9\% \end{aligned} \quad (2.10)$$

Dónde: S = Factor de pendiente.

s = Inclinación de pendiente (%).

$\theta$  = Angulo de pendiente, en grados

#### 2.5.4. Factor de Cobertura (C)

Dourojeanni (1967) basado en trabajos de Fourier (1960) menciona que la cobertura vegetal actúa directamente contra el proceso de erosión por las gotas de lluvia y escorrentía, bajo la acción de amortiguamiento del impacto de las gotas de lluvia, controla el flujo del agua sobre la superficie e incrementa la capacidad de almacenamiento del agua en el suelo haciéndolo aprovechable.

Existen valores publicados por Wischmeier (1978) y Mannaerts (1999), en el cual se define valores de C para los tipos más comunes de cultivos así como para las diferentes coberturas, determinados de forma experimental:

**Tabla 2.5 Valores del factor C para los tipos más comunes de cobertura de suelo**

Cubierta vegetal	C
Suelo desnudo	1
Bosque o matorral denso	0.001
Pradera herbácea en buenas condiciones	0.01
Pradera sobre pastoreada	0.1
Maíz, sorgo, alto rendto., laboreo convencional	0.20 - 0.55
Maíz, sorgo, alto rendto., sin laboreo convencional	0.50 - 0.90
Maíz, sorgo, bajo rendto., laboreo mínimo	0.02 - 0.10
Maíz, sorgo, alto rendto., laboreo con chisel	0.12 - 0.20
Maíz, sorgo, bajo rendto., laboreo con chisel	0.30 - 0.45
Algodón	0.40 - 0.70
Pradera herbácea	0.01 - 0.025
Soya	0.20 - 0.50
Trigo	0.10 - 0.40
Arroz	0.10 - 0.20
Cacahuete	0.30 - 0.80
Frutales con cobertura vegetal	0.01 - 0.80
Caña de azúcar	0.56
Arbolado denso	0.001 - 0.003
Arbolado forestal clareado	0.003 - 0.009
Arbolado muy clareado (25 - 60%)	0.041
Matorral con buena cobertura	0.003 - 0.013
Matorral ralo y eriales	0.20 - 0.013
Cultivos anuales y herbáceos	0.25
Pasturas	0.15
Plantas herbáceas y matorjos (100%)	0.003
Plantas herbáceas y matorjos (60%)	0.035
Cubierta escasa (60%)	0.15 - 0.09
Cubierta inapreciable	0.45

**FUENTE:** Cayo, 2011.

Solano (2016), cita diversos autores los cuales en base a trabajos especializados obtuvieron los valores de factor C para coberturas más específicas y aplicables a la región altoandina como son los bofedales y el césped de puna:

**Tabla 2.6 Factor C por tipo de cobertura vegetal y uso de suelos**

Cobertura vegetal y uso de suelos	Factor C	Fuente
Bofedales	0.050	Jung et al – FAO, 1989
Césped de puna	0.028	Corrales 1990
Cultivos extensivos con riego	0.200	ICONA, 1982
Cultivos extensivos en secano	0.400	ICONA, 1982
Matorral húmedo	0.076	Wischmeier y Smith, 1978
Pajonales	0.038	Wischmeier y Smith, 1978
Plantaciones forestales	0.014	Corrales 1990
Sin vegetación	1.000	CATIE, 2003 – Roose, 1977
Vegetación quemada	0.260	FAO, 1989

**FUENTE:** Solano, 2016.

Mintegui y Lopez (1990), en su estudio de Ordenación agrohidrológica en la planificación, determina que para el caso de rocas en afloramiento (roca en superficie) el valor del factor C es de 0.042. El cual es empleado como valor C para este tipo de cobertura en el presente estudio.

### 2.5.5. Factor de Prácticas de conservación de suelo (P)

El factor P recoge la influencia que tienen las prácticas de conservación de suelos sobre las tasas de erosión de una parcela, realizando los trabajos culturales o disponiendo la vegetación siguiendo curvas de nivel, en fajas o en terrazas para cortar las líneas de escorrentía (Gonzales, 1991).

Trabajo realizado por Ramos (2001), menciona los siguientes valores para las distintas prácticas de conservación:

**Tabla 2.7 Valores experimentales del factor P para distintas practicas de conservación de suelo**

Practica de Conservación	Factor P
Cultivo a nivel s = 0 - 1°	0.60
Cultivo a nivel s = 2 - 5°	0.50
Cultivo a nivel s = 6 - 7°	0.60
Cultivo a nivel s = 8 - 9°	0.70
Cultivo a nivel s = 10 - 11°	0.80
Cultivo a nivel s = 12 - 14 °	0.90
Bancales a nivel	0.14
Bancales a contra pendiente	0.05
Bancales con pend. Siguiendo la pend.	0.35
Bancales a nivel con referencia de agua	0.01
Caballones enlazados	0.10 - 0.20

**FUENTE:** Ramos, 2001

En las zonas que no se realiza ningún tipo de prácticas de conservación de suelo, el valor de  $P=1$ , es decir, que el valor P no influirá en la reducción de la pérdida de suelo a condiciones simuladas sin cobertura y sin prácticas de conservación.

## 2.6. HERRAMIENTAS DE INFORMACION GEOGRAFICA

El uso cada vez más intensivo de los computadores y la velocidad con la que avanza la tecnología e informática ha generado la aplicación en diversas áreas científicas, como lo es en la actualidad en la cartografía. Los SIG permiten la manipulación y el análisis de los datos geográficos siendo de interés para los distintos sectores de la sociedad. (Gómez, 1992).

Olaya (2011), define que un SIG es fundamentalmente una herramienta para trabajar con información georreferenciada, una definición en la que pueden entrar un gran número de tecnologías y de otros elementos no tecnológicos, permitiendo la gestión de datos espaciales, el análisis de dichos datos y la generación de resultados de representación temática.

Los SIG lo conforman cinco elementos principales: Datos, métodos, software, hardware

y el componente humano, que es el encargado de diseñar y utilizar el software. Los datos son la materia prima necesaria para el trabajo en SIG, estos datos tienen que someterse a un análisis de procesamiento y realce de información específica para un estudio determinado, a este último proceso corresponde la metodología para llevar a cabo la aplicación de los datos, mediante el uso de un software (Olaya, 2011).

La teledetección es la técnica que permite obtener información de un objeto sin que exista un contacto material, para llevar a cabo este proceso se produce la interacción de un flujo de radiación que parte del objeto y es recibido por un sensor. Este flujo por su origen puede ser de tres tipos:

- a) Radiación solar reflejada por los objetos.
- b) Radiación terrestre emitida por los objetos.
- c) Radiación emitida por el sensor y reflejada por los objetos (radar)

Los dos primeros se conocen como teledetección pasiva y la última como teledetección activa (Cabrejos, 2016).

Según Olaya (2014), la teledetección involucra los siguientes elementos:

- Fuente de energía o iluminación: provee energía electromagnética al objeto de estudio.
- Atmosfera: La energía interactúa con la atmosfera en el espacio sensor-objeto.
- Objeto: De acuerdo a sus propiedades se genera una interacción o respuesta a la energía recibida y reflejada.
- Sensor remoto: Recibe y almacena la radiación reflejada y/o emitida.
- Transmisión, recepción y procesamiento: la energía almacenada por el sensor es transmitida a una estación remota, para su procesamiento y conversión en imagen satelital.
- Interpretación y análisis: proceso de extracción de información de los objetos captados.
- Usuario final: El que usa la información.

### **2.6.1. Pre-Procesamiento de imágenes satelitales**

#### **a) Corrección radiométrica**

La corrección radiométrica abarca las técnicas utilizadas para reducir los efectos de las variables ambientales relativas y extraer mediciones absolutas de la reflectancia de los datos. Las mediciones de detección remota están influenciadas por las condiciones ambientales presentes en el momento de la toma de datos, estas condiciones ambientales incluyen la composición atmosférica, condiciones superficiales y los cambios temporales en el nivel de luz (Hadjimitsis et al., 2004). La corrección radiométrica es esencial para generar consistencia en imágenes de percepción remota adquiridas bajo una amplia variedad de condiciones ambientales (Cooley et al., 2002).

#### **b) Corrección geométrica**

La corrección geométrica es un proceso que se realiza rutinariamente en teledetección pero que ofrece resultados de calidad muy variable en función del diseño del trabajo. Se destaca la importancia de tres aspectos básicos de la corrección: método (rectificación / ortorrectificación), interpretación de los estadísticos del ajuste y estimación del error de la corrección mediante puntos de control independientes. (Cuartero y Felicísimo, 2003).

#### **c) Corrección atmosférica**

Los sensores satelitales capturan la información de la cobertura de la tierra obtenida a partir de la intensidad de radiación electromagnética, misma que proviene de la luz del sol reflejada sobre la superficie terrestre, sumada a la energía dispersada y reflejada por la atmósfera, conocida como radiancia (Aguilar et al., 2014) . Esta información de intensidad es transformada a través de una ecuación lineal (Kruse, 2004) y almacenada en una representación discreta de números digitales (ND) que tienen una escala artificial definida según las características de almacenamiento de cada sensor específico por ejemplo: 8bits, 12bits y 16 bits (Aguilar et al., 2014).

### **2.6.2. Clasificación Supervisada y no Supervisada de imágenes satelitales**

La clasificación digital empieza con la definición de las categorías que se pretende diferenciar en la imagen, es decir, se trata de una clasificación basada en los valores numéricos, por lo tanto se trata de obtener el rango de ND que identifica a cada categoría para todas las bandas que intervienen en la clasificación (Yebenes & Giner, 2010).

Yebenes & Giner (2010) mencionan que los métodos de clasificación se pueden distinguir en dos grupos: supervisado y no supervisado. El método supervisado parte de un conocimiento previo del terreno del cual se seleccionan las muestras para cada una de las diferentes categorías. En cambio, en el método no supervisado se buscan automáticamente grupos de valores espectrales homogéneos en la imagen para que después el usuario intente encontrar las correspondencias entre esos grupos seleccionados automáticamente y las categorías que le puedan ser de interés.

### **2.7. ANALISIS DE CONSISTENCIA DE SERIES HIDROMETEOROLÓGICAS**

Previo al uso de datos hidrometeoro lógicos estos deben ser procesados y verificados para determinar su consistencia y veracidad. Una serie de datos es llamada homogénea si es una muestra de una única población, si la serie es no homogénea se debe corregir para que la serie sea homogénea. El análisis grafico consiste en analizar visualmente los histogramas de precipitación total anual de cada una de las estaciones pluviométricas ubicadas en la cuenca, para lo cual las ordenadas toman el valor de la serie de precipitación y en las abscisas va el tiempo (años, meses, etc.) (Rendón, 2009).

Rendón (2009) menciona que los saltos en el gráfico de una seria de tiempo hidrológica son cambios en la serie de tiempo como respuesta a cambios hechos por el hombre o cambios naturales que pueden ocurrir; para identificar estos saltos se debe graficar siguiendo un análisis de doble masa, y el análisis de consistencia de los datos.

## 2.8. PRACTICAS DE CONSERVACION DE SUELOS

Según Vásquez (2016), la conservación de pérdida de suelos se basa en reducir o eliminar los efectos propios del proceso de erosión mediante:

- a) Proteger la superficie del suelo contra el impacto de las gotas de lluvia y el posterior arrastre de las partículas.
- b) Disminuir o eliminar la concentración de agua en la superficie.
- c) Incrementar la capacidad de infiltración del suelo.
- d) Reducir o eliminar la velocidad del agua de escorrentía.

Para la reducción de los efectos del proceso de erosión, se realizan prácticas propias destinadas a disminuir los factores antes mencionados, para lo cual el control de la erosión debe iniciarse siempre en las partes altas de la cuenca y luego en las partes bajas, y no en sentido contrario. Las principales prácticas de conservación de suelos y aguas pueden resumirse en tres grupos: mecánico – estructurales, agronómicas y forestales (Vásquez, 2016)

Las principales obras y prácticas para la erosión en cárcavas son: Presas y Obras en Taludes; y para el control de la erosión laminar las principales obras se agrupan en Terrazas, Zanjás y Practicas Vegetativas (SEMARNAT, 2007).

### 2.8.1. Practicas Mecánico - Estructurales

Las principales son:

#### - **Zanjas o acequias de infiltración**

Son pequeños canales de sección rectangular o trapezoidal, generalmente asimétricos. Son construidos transversalmente a la pendiente máxima del terreno. El fondo de estos canales de desviación deben estar a nivel, salvo que se trate de acequias o canales de desviación, en los que la pendiente recomendable es de 1 a 3 ‰ y su desembocadura debe efectuarse en una zona protegida a fin de evitar la formación de una gran cárcava (Vásquez, 2016).

Esta práctica de manejo está orientada a controlar la erosión laminar y que esta no se intensifique en una erosión en cárcavas (SEMARNAT, 2007).

Los objetivos de esta práctica son:

- e) Interceptar el agua de escorrentía que proviene de la parte alta de la ladera, anulando su velocidad y permitiendo una distribución uniforme y una mayor infiltración en el suelo.
- f) Aumentar la producción de pastos, árboles o cultivos.
- g) Reducir la erosión hídrica del suelo,
- h) Aumentar el número de manantiales y el caudal de agua que descarguen en las partes más bajas, y
- i) Disminuir los riesgos y mitigar los efectos de las inundaciones y deslizamientos en las partes aguas abajo.

#### - **Terrazas de absorción**

Según Vásquez (2016), las terrazas de banco o llamadas también terrazas de absorción son una serie sucesiva de plataformas (bancos o terraplenes), dispuestas a manera de escaleras en las laderas. Los terraplenes pueden construirse a nivel o con una ligera inclinación hacia adentro. La inclinación del banco o terraplén hacia adentro evita el rebalse del agua de lluvia durante los aguaceros fuertes o lluvias prolongadas. La nivelación de los bordes impiden que el agua escurra hacia un lado u otro; de este modo el agua de lluvia que cae en las terrazas se infiltra total y uniformemente en éstas, evitando totalmente la erosión. Cuando se construyen estas prácticas en zonas de alta

precipitación (>1000 mm/año), se debe contemplar un sistema de drenaje superficial.

Existen distintos tipo de terrazas, entre las principales destacan las Terrazas de muro vivo, terrazas de formación sucesiva, terrazas individuales y Barreras de piedra en curvas a nivel (SEMARNAT, 2007).

Los objetivos de esta práctica son:

- j) El borde interno de la terraza, pie o borde inferior del talud aguas arriba (debe estar a nivel).
- k) El borde externo de la terraza o borde superior del talud aguas abajo (debe estar a nivel).
- l) La profundidad del borde interno o desnivel (debe permitir almacenar el agua de lluvia que recibe).
- m) El suelo del terraplén o terraza propiamente dicha, debe ser removido o “preparado” para que pueda absorber el agua de lluvia.
- n) El talud debe ser sembrado con plantas perennes y cuya altura preferentemente no debe ser mayor de 1.50 m.

#### - **Diques para el control de cárcavas**

Según Vásquez (2016), la cárcava es una zanja causada por la erosión hídrica del suelo. Sigue generalmente la máxima pendiente del terreno y constituye un cauce natural en donde se concentra y corre el agua proveniente de las lluvias. El agua que corre por la cárcava arrastra gran cantidad de partículas de suelo, producto de la erosión.

Vásquez (2016) menciona que normalmente, cuando el agricultor va a utilizar nuevos terrenos para cultivo, corta toda la vegetación arbórea, arbustiva y herbácea existente, es decir, limpia el terreno, quedando consecuentemente éste expuesto a la acción directa de las lluvias y de la escorrentía superficial. Cuando se trata de suelo inclinados o laderas, automáticamente se inicia la remoción y el arrastre de las partículas del suelo por capas delgadas (erosión laminar). El agua, a medida que desciende por la ladera y debido a las irregularidades en el relieve del terreno, se va concentrando, formando pequeños canales, los que a su vez se juntan y forman un canal mayor. Con una masa de agua más abundante y una velocidad que va en aumento, la erosión se acentúa, formando inicialmente pequeños surcos, los que se van agrandando horizontal y

verticalmente hasta que se forman las cárcavas llamadas también zanjas, barrancos o torrenteras (Vásquez, 2016).

Las principales obras de este tipo para el control de erosión en cárcavas son presa de malla de alambre electrosoldada o ciclónica, de morillos, de ramas, de piedra acomodada, de geocostales, de mampostería y gaviones (SEMARNAT, 2007).

#### - **Andenes**

Los ríos que discurren por la cordillera de los Andes forman valles estrechos en los territorios situados por encima de los 500 metros de altitud. A diferencia de la zona costera donde la irrigación con canales permitió ganar tierras cultivables a los desiertos planos, en las zonas montañosas de la cordillera existen valles muy estrechos y profundos lo que impedía la existencia de una agricultura a gran escala. Los antiguos habitantes de la región andina, al necesitar tierras de cultivo adicionales a las que les ofrecían sus estrechos valles, intentaron ganar esas tierras a costa de las montañas y crearon los primeros andenes. Los andenes son escalonamientos artificiales sobre terrenos en pendiente que generan efectos positivos para el uso adecuado de las tierras (reducción de la erosión, mejor aprovechamiento del agua, reducción del daño causado por las heladas, etc.). (Gonzales y Trivelli, 1999)

Un sistema de andenería es la expresión de una cultura caracterizada por el trabajo organizado, para la conservación de las aguas y los suelos y para la producción agropecuaria eficiente. La andenería incaica fue construida por un pueblo con vocación eminentemente agrícola, guiado por el padre inca bajo una disciplina místico-militar y una organización comunal eficiente para el trabajo (Vásquez, 2016).

Los objetivos de esta práctica son:

- o) Reducción de la pendiente de la ladera.
- p) Mejor aprovechamiento de la ladera con fines productivos.
- q) Disminución de la velocidad del flujo de agua que escurre cuando se trata de andenes bajo riego.
- r) Mejor aprovechamiento del agua ya sea de lluvia o de riego, - Protección de los suelos contra la erosión hídrica.
- s) Mejora de las condiciones ambientales de la zona.

- t) Mejora de la capacidad productiva de los suelos de la ladera, y - Mejor aprovechamiento de los abonos y otros insumos.

### **2.8.2. Practicas forestales**

Los sistemas forestales son una combinación de árboles y arbustos, formando bosques y/o macizos forestales, sean con fines maderables, de protección y mixtos. La densidad de estos sistemas debe estar en función de las características de las especies. Esta plantación se efectúa en sectores críticos, o como complemento a las estructuras o defensa artificial (Reynel y León, 1990).

La forestación y la reforestación son actividades sumamente efectivas para el control de la erosión y para aumentar la infiltración del agua de lluvia, pues una plantación de árboles en ladera puede infiltrar hasta un 47% de la lluvia caída. Estas actividades serán mucho más efectivas si van acompañadas de la construcción de zanjas o acequias de infiltración, porque éstas captarán el agua de escurrimiento superficial y facilitarán su infiltración. Asimismo, redundarán en una mayor tasa de crecimiento de las plantas debido a las mejores condiciones de humedad del suelo, a una recarga de las aguas subterráneas, mejora del paisaje, de la biodiversidad, en la activación del propio ciclo hidrológico, a la aparición y recarga de manantiales, puquios u ojos de agua, ubicados normalmente en las partes medias y bajas de las cuencas; aparte de otros beneficios como la producción de hongos comestibles y la obtención de los Bonos de CO<sub>2</sub>, llamados también Bonos de Carbono, u otros servicios ambientales que tienen que implementarse a favor de las partes altas y medias de las cuencas, que son las zonas donde se producen las mayores precipitaciones y fuentes de agua (Vásquez, 2016).

## **2.9. LIMITE DE TOLERANCIA DE PERDIDA DE SUELO**

El límite de pérdida de suelo es la tasa máxima de erosión de suelo que permite que sostenga un alto nivel de productividad, sin embargo no existe una base satisfactoria para determinar los valores adecuados de la tolerancia a la pérdida de suelo (Kirkby y Morgan, 1984).

La ecuación universal de pérdida de suelos se utiliza para estimar la pérdida de suelo real y para evaluar como los cambios en las prácticas pueden aplicarse para reducir la

pérdida de suelo por debajo del nivel de tolerancia (Kirkby y Morgan, 1984).

De acuerdo a lo descrito por el grupo Tragsa (1998), la evaluación de tolerancias de pérdidas de suelo en un terreno, favor indispensable para a utilización del modelo en la ordenación, depende de diversos factores tales como profundidad del suelo, sus propiedades física, desarrollo de los sistemas radicales de la vegetación, reducción de la materia orgánica, pérdidas de nutrientes y sementeras, etc.

La FAO (1985) presenta valores criterios para la valoración de los riesgos de erosión:

**Tabla 2.8 Clasificación de pérdida de suelo**

<b>Pérdida de suelo (t/ha-año)</b>	<b>Grado de Erosión Hídrica</b>
< 10	Ninguna o ligera
10 - 50	Moderada
50 - 200	Alta
> 200	Muy Alta

**FUENTE:** FAO, 1985

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. MÉTODO**

##### **3.1.1. Tipo de Investigación**

En el presente estudio es de tipo correlacional, el cual tiene como propósito evaluar la relación que existe entre la erosividad de las lluvias, la erodabilidad del suelo, la cobertura vegetal, la pendiente del terreno y las prácticas de manejo de suelos, sobre la tasa de pérdida de suelo por erosión hídrica.

##### **3.1.2. Diseño de Investigación y Fuentes de Recolección de Datos**

###### **3.1.2.1. Determinar mapas de erosividad, erodabilidad, pendiente y uso actual de la tierra.**

###### **1. Obtener Modelo de Elevación Digital**

Se empleará el portal Earth Explorer de la U.S.G.S. (United States Geological Survey, por sus siglas en inglés) el cual es una agencia científica del gobierno de los Estados Unidos, para obtener el Modelo de Elevación Digital de la zona de estudio.

###### **2. Obtener Imágenes Satelitales Sentinel 2**

La obtención de imágenes satelitales multiespectrales del satélite Sentinel 2, se hará mediante el portal Earth Explorer de la U.S.G.S.

### 3. **Pre-procesamiento de Imágenes Satelitales**

- a) La corrección geométrica del raster Modelo de Elevación Digital (DEM) se realizará mediante uso del software ArcGis 10.40.1, empleando el módulo Proyecciones y Transformaciones del software.
- b) Para llevar a cabo el tratamiento de imágenes satelitales multiespectrales de Lansat 8, se usará el software ENVI 5.1. para la corrección radiométrica, atmosférica, ajuste de valores de reflectancia y eliminación de interferencia por ruido.

### 4. **Caracterización geomorfológica del área de estudio**

Para la delimitación del área de estudio y obtener los parámetros geomorfológicos, se empleará el Modelo Digital de Elevación (DEM) de la zona de estudio.

### 5. **Mapa de Uso Actual del Suelo**

Se realizará con imagen multiespectral de Sentinel 2, para lo cual el método de clasificación de la imagen en clases se realizara mediante el método de clasificación supervisada.

### 6. **Mapa de Erosividad (Factor R)**

Se obtendrá los datos de precipitación diaria del portal de SENAMHI de las estaciones cercanas a la cuenca, luego se procederá con el análisis de consistencia de datos.

Con los datos de precipitación, se empleará la fórmula propuesta por Arnoldus (1977) para el cálculo del mapa de erosividad. Para ello se empleará la calculadora raster del software ArcGIS 10.8.1, para obtener de un raster de precipitación según la expresión indicada por Ramirez (2010) sobre la ecuación de Arnoldus revisada.

### 7. **Mapa de Erodabilidad (Factor K)**

Se procederá mediante el uso de información de línea base de la zona y mapa geológico de INGEMET, para obtener el raster correspondiente al factor K.

### 8. **Mapa de Pendiente (Factor LS)**

- c) Para el cálculo del factor L se procederá aplicando la formula correspondiente

empleando empleado ArcGIS 10.8.1.

- d) Para el cálculo del factor S, se procederá con el uso de la fórmula propuesta por Arnoldus (1977) empleando la calculadora raster del software ArcGIS 10.8.1.

### **3.1.2.2. Estimar la pérdida de suelo media anual en el área de influencia ambiental de la unidad minera Corihuarmi utilizando la Ecuación Universal de la Pérdida de Suelo.**

#### **- Factor de Cobertura (Factor C)**

Existen valores publicados por Wischmeier (1978), en el cual define valores de C para los tipos más comunes de cultivos, así como para las diferentes coberturas, en base a esto se procederá a la elaboración del raster correspondiente en el software ArcGIS 10.8.1.

#### **- Factor de Prácticas de conservación de suelo (Factor P)**

El factor P, depende de las medidas que se estén tomando en el área de estudio para reducir la remoción de suelos; para el caso de la presente investigación, donde la principal actividad es el pastoreo de ganado, no se observa ningún tipo de práctica de conservación de suelo, por lo que el valor P para la ecuación toma el valor de 1.

#### **- Estimación de la pérdida de suelo media anual**

Se empleará el software ArcGIS 10.8.1 para la obtener de la pérdida de suelo media anual estimada en el área de influencia ambiental de la unidad minera Corihuarmi.

### **3.1.2.3. Mapa de pérdida de suelo media anual**

Se empleará el software ArcGIS 10.8.1 para la obtener un mapa de pérdida de suelo media anual estimada en el área de influencia ambiental de la unidad minera Corihuarmi.

## **3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA**

### **3.2.1. Población**

La población es la pérdida de suelos por erosión hídrica.

### **3.2.2. Muestra**

La muestra es la pérdida de suelo por erosión hídrica en el área de influencia ambiental de la unidad minera Corihuarmi.

## **3.3. CARACTERISTICAS DE LA ZONA DE ESTUDIO**

### **3.3.1. Ubicación**

La unidad minera Corihuarmi se ubica en el límite de los distritos de Chongos Alto y Huantan, provincia de Huancayo y Yauyos, departamento de Junín y Lima respectivamente, aproximadamente a 4800 msnm, al noroeste de las lagunas Coyllorcocha y Huichicocha, en las tierras superficiales de las comunidades campesinas de Atcas y Huantan (MINEM, 2014).

### **3.3.2. Acceso**

El acceso a la zona desde Lima, se realiza a través de la carretera central asfaltada hasta la ciudad de Huancayo, donde se toma la carreta afirmada y trocha carrozable hacia el área de influencia ambiental de UM Corihuarmi. El recorrido de Lima a Huancayo es de aproximadamente 6 a 7 horas y de Huancayo a la zona de estudio es de 4 a 5 horas.

La otra ruta de acceso es la carretera asfaltada Lunahuana-Laraos-San Valentín-UM Corihuarmi. El recorrido de Lima a Lunahuana es de 3 horas y de Lunahuana a la zona de estudio es de 8 horas.

### **3.3.3. Clima**

El clima es del tipo tundra alpina debido a la altitud. La caída de lluvias promedio es de 730 mm/año, que se produce principalmente entre octubre y abril. La temperatura oscila entre -6 °C y 12°C en los meses secos de invierno, con una variación ligeramente menos en la temporada lluviosa de verano. Los vientos son moderadamente débiles (< 3m/s) y generalmente soplan desde el oeste y noroeste. La evaporación total se estima en 1,500 mm/año.

### **3.3.4. Suelos**

La zona de estudio, de acuerdo al trabajo realizado por Vector Perú S.A.C. en el año 2006

durante el levantamiento de línea base ambiental para el estudio de impacto ambiental de la unidad minera Corihuarmi; caracterizo la zona en 5 grandes unidades de suelo (Ver plano 4).

### **Unidad de Suelo 1**

Esta unidad de suelos se presenta en las partes bajas (naciente del río Chacote), la clasificación USDA de suelos es *Typic Haplusteps* y *Typic Ustifluvents* las cuales fueron determinadas por calicatas en campo. Esta unidad se caracteriza por tener contenidos de materia orgánica en un promedio de 50 cm de profundidad. En el subsuelo se observó la presencia de estratos de arcilla con un perfil promedio de 50 a 100 cm.

### **Unidad de Suelo 2**

Esta unidad de suelos se presenta en las partes medias (laderas de los cerros Cayhua y Coyllor) y en las partes altas donde predominan las zonas rocosas. La clasificación USDA de suelos es *Typic Dystrustepts*, *Typic Haplustepts* determinada por las calicatas de campo.

Esta unidad tiene poca presencia de materiales orgánicos, con un promedio de 10 cm del perfil, en el subsuelo se encontraron capas de carbonatos y se observó la presencia de área. La presencia de la roca madre es poco profunda.

### **Unidad de Suelo 3**

Esta unidad se presenta cerca del cerro Cayhua y de la laguna Coyllorcocha, la clasificación USDA de suelos es *Typic Ustifluvents*. Esta unidad se caracteriza por la ausencia de materia orgánica y se observa en el perfil de estratos de suelo de colores plomos y rojizos, esto se debe a la oxidación de la pirita en la zona, hay que indicar que esta zona es húmeda.

### **Unidad de Suelo 4**

Esta unidad tiene como característica principal el crecimiento de pastos naturales en forma densa, la clasificación USDA de suelos es *Typic Dystrustepts*. Esta zona se caracteriza por la presencia de materiales orgánicos en promedio de 20 cm, lo que facilita el crecimiento de pastos naturales en la zona. En el subsuelo se observan estratos de arcilla, lo que facilita la retención de humedad en estaciones secas.

### **Unidad de Suelo 5**

Esta unidad consiste en áreas onduladas con suelo de color negro y restos vegetales, que se

encuentran saturadas de agua, su clasificación USDA de suelo es *Typic Haplaquolls*. Esta unidad se caracteriza por la presencia de material orgánico en sus primeros 60 cm.

### 3.3.5. Uso de Suelos

- **Bofedales:** se caracterizan por tener aguas superficiales temporales o intermitentes que impiden su uso para fines agropecuarios.
- **Pastos:** ubicados en las laderas en la parte baja y media del proyecto, se caracterizan por una vegetación de tipo pastizal y sirven para el consumo del ganado que es una actividad socioeconómico clave en la zona.
- **Áreas de Protección:** presentan limitaciones muy severas para el uso agrícola o pecuario, e incluso el forestal. Las zonas más altas, dada su topografía accidentada, son consideradas tierras de protección. Presentan procesos erosivos frecuentes y activos, en la mayoría de casos presentan suelos pobres a muy pobres y sin uso potencial determinado.

### 3.3.6. Geología

La estratigrafía de la zona de estudio esta principalmente reasentada por afloramientos de secuencias volcánicas - sedimentarias del cretácico tardío al cuaternario reciente, entre las principales formaciones se tiene:

#### **Formación Sacsaquero (Tm-ss)**

Esta es una secuencia volcánica – sedimentaria, principalmente constituida por zonas andesíticas, tobas, areniscas y rocas limosas-argiláceas. Esta aparece a elevaciones menores, principalmente al oeste de la zona de estudio.

#### **Formación Caudalosa (Ts-c)**

Esta es una secuencia volcánica, principalmente constituida por piroclastos, flujos andesíticos, riocitas y areniscas tufáceas. Se puede apreciar en zonas de terreno suaves.

#### **Formación Astobamba (Ts-as)**

Esta es una secuencia volcánica constituida por flujos andesíticos, tobas ignimbríticas, piroclastos, y dacíticas intrusivas. Está principalmente distribuida en una zona meridional, coronando los picos principales, como el cerro Cayhua. Estos afloramientos han sufrido grados de alteración variables como clorificación, argilización y silicificación.

### **Depósitos cuaternarios**

Estos están ampliamente distribuidos en la zona del proyecto, constituidos por depósitos morrénicos y coluviales, en algunos casos afectados por procesos de remoción y deposición. Dependiendo del principal agente de transporte, se tornan en depósitos fluvial-glaciales, coluvial-glaciales y coluvial-aluviales. Además, algunos afloramientos han sido altamente alterados y erosionados, originando suelos residuales.

Los depósitos morrénicos están distribuidos en los extremos oeste y este de la zona del proyecto. En el lado oeste, estos depósitos están emplazados en el fondo del valle. En el lado este y a lo largo de colinas que cruzan el camino de acceso al proyecto son más angostos. Estos depósitos están compuestos por gravas subangulares a subredondeadas y bloques medianos, en una matriz de grava fina, arenosa y limosa.

Los depósitos coluviales están principalmente ubicados en la parte central de la zona del proyecto, en los taludes de las colinas y rodeando los afloramientos rocosos principales. Estos depósitos están compuestos por gravas angulares en una matriz liosa-arenosa. Ocasionalmente, estos aparecen como bloques grandes, constituyendo conos de deslizamientos.

Los depósitos fluvio-glaciales están extendidos en una banda paralela al río Chacote, conformando terrazas y conos aluviales por sobre los cuales se emplazan depósitos pantanosos. Los depósitos coluvio-glaciales están ubicados en taludes moderados. Los depósitos coluvio-glaciales están ubicados en taludes moderados a suaves, donde los depósitos morrénicos, han sido redepositados, y están compuestos por gravas arenosas, con bolonería mayormente angular a subangular. Además, se han reconocido depósitos pequeños de grava limosa-arenosa, incluyendo clastos angulares, que se extienden a través de algunas áreas como conos de deslizamientos menores.

#### **3.3.7. Geomorfología y fisiografía**

Morfológicamente, el área de estudio se encuentra ubicada en la divisoria de aguas continental, habiendo sido afectado por una intensa actividad glacial. Se han diferenciado las siguientes unidades morfológicas: cadena de cerros altos, circo glacial, laderas de fuerte a mediana pendiente, laderas suaves y depresiones.

### **Cadena de cerros altos**

Está conformado por un alineamiento de cerros con altitudes de hasta 5000 msnm que se extiende con rumbo N S en el sector central de la zona de estudio. Destaca el cerro Cayhua. Esta unidad se caracteriza por su relieve agreste, donde se aprecia la predominancia de afloramientos rocosos correspondientes a la formación Astobamba, con laderas de fuerte pendiente cubiertas por depósitos coluviales.

### **Circos glaciares**

Rasgo morfológico típico de la actividad glaciar, constituido por un alineamiento de cerros de aspecto circular, laderas de fuerte pendiente y fondo amplio, en cuya conjunción se configuran desfiladeros.

### **Laderas de fuerte a mediana pendiente**

Está constituido por laderas y alineamientos de cerros que vienen a ser en general la prolongación inferior de las cadenas de cerros altos. Se caracteriza por la predominancia de depósitos coluviales, suelo residual y promontorios rocosos aislados.

### **Laderas suaves y depresiones**

Áreas caracterizadas por una topografía sub-horizontal y ligeras depresiones, conformadas mayormente por depósitos morrénicos, bofedales y lagunas.

## **3.4. MATERIALES**

### **3.4.1. Imágenes Satelitales, en formato Raster**

1. ALOS PALSAR GDEM (*Global Digital Elevation Model*) correspondiente a la zona de estudio. Obtenido de forma gratuita a través del portal del ALASKA SATELLITE FACILITY (*ASF*) la cual es una instalación de procesamiento de datos y una estación terrestre de rastreo satelital dentro del Instituto Geofísico de la Universidad de Alaska Fairbank.
2. Imágenes multiespectrales del sensor remoto Sentinel-2. Obtenido de forma gratuita a través del portar Geoservidor USGS (*Science for Changing World*)

### **3.4.2. Información temática base, en formato vectorial**

- a) Mapa con estaciones meteorológicas que se encuentran rodeando el área de estudio,

este mapa contiene la información de precipitación mensual de 13 años. Elaboración propia a partir de información proporcionada por SENAMHI y de revisión de los estudios de impacto ambiental de la UM Corihuarmi obtenidos del Ministerio de Energía y Minas.

- b) Mapa de suelos de la zona de estudio, que contiene información de los tipos de suelos presentes en el área, obtenido de los estudios de impacto ambiental de la UM Corihuarmi obtenidos del Ministerio de Energía y Minas.
- c) Mapa de cobertura vegetal de la zona de estudio, que contiene la información de los usos actuales del suelo, obtenido del procesamiento de información de imágenes multispectrales y corroboradas en la fase de campo.
- d) Mapa de uso potencial del suelo de la zona de estudio, que contiene información de la aptitud del suelo para soportar una actividad en específica de manera optima. obtenido de los estudios de impacto ambiental de la UM Corihuarmi obtenidos del Ministerio de Energía y Minas.

### **3.4.3. Materiales de campo y procesamiento de información**

- a) Navegador GPS.
- b) Cámara fotográfica.
- c) Laptop con procesador Ryzen 7 y Windows 11.
- d) Software ENVI 5.1.
- e) ArcGis 10.8.1.
- f) Microsoft Word 2007.
- g) Microsoft Excel 2007.
- h) Google Earth Pro.

## **3.5. METODOLOGIA**

La metodología fue ejecutada en 3 etapas lógicas según lo menciona Nakaya (2017): Fase de Gabinete (Pre-Campo), Fase de Campo y Fase de Gabinete (Post-Campo).

### **3.5.1. Fase de Gabinete (Pre Campo)**

Consintió en la recolección de toda la información base disponible de la zona de estudio, para

conocer previamente el tipo de suelos, vías de acceso, potencial de uso de las tierras, distribución de la precipitación, geología y características geomorfológicas.

Los mapas temáticos que se empleó de base fueron los generados por el Gobierno Regional de Lima y Junín, y los presentados en los estudios de impacto ambiental de la zona de estudio, obtenidos del Ministerio de Energía y Minas. En cuanto a las características geomorfológicas se empleó el GDEM obtenida del sensor ALOS PALSAR, asimismo se utilizó información de las cartas nacionales 25l, 25m, 26l, 26m, 27l y 27m.

La información de precipitación fue obtenida del SENAMHI, de las estaciones Cercapuquio, Huichicocha, Yauricocha. Adicionalmente se empleó información de precipitación de la estación Corihuarmi obtenida de los estudios de impacto ambiental.

### **3.5.2. Fase de Campo**

Esta fase consistió en el reconocimiento en el lugar de la zona de estudio, en esta etapa se obtuvo información sobre usos de suelo, prácticas agrícolas empleadas, identificación de centros poblados y vías de acceso.

Asimismo, se realizó la toma de puntos de control georreferenciado en cada tipo de suelos identificado en la etapa anterior, para su corroboración y orto rectificación. También se realizó la toma de muestras de suelo para corroborar las muestras tomadas durante el estudio de suelos realizado por la empresa Vector Perú S.A.C. en el año 2006, todo ello en concordancia a la *Guía para el Muestreo de Suelo del Ministerio del Ambiente (2014)*, tomando muestras para caracterización de suelos a 15cm de profundidad y en zonas no disturbadas.

### **3.5.3. Fase de Gabinete (Post Campo)**

Es la fase de procesamiento de la información obtenida en gabinete y la obtenida en la fase de campo, luego de ello se realizó el modelamiento cuantitativo de la pérdida de suelos empleando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE).

#### **a) Elaboración de mapas base**

#### **I. Elaboración del mapa de pendientes**

El mapa de pendientes se realizó a partir de GDEM limitado a la zona de estudio, y mediante

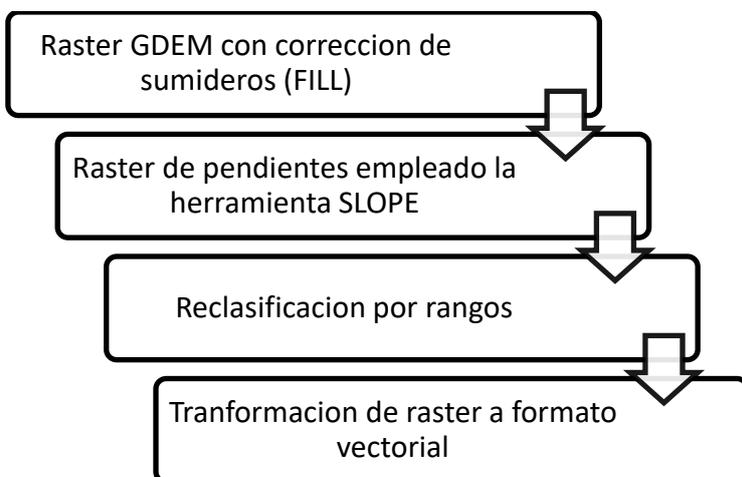
el uso del software ArcGis 10.8.1 y se agrupo en rangos de pendiente en base al Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor (2009).

**Tabla 3.1 Rango de pendientes para laderas cortas y largas**

Rango de pendientes para laderas cortas	Rango de pendientes para laderas largas
0 – 4%	0 – 2%
4 – 8%	2 – 4%
8 – 15%	4 – 8%
15 – 25%	8 – 15%
25 – 50%	15 – 25%
50 – 75%	25 – 50%
> 75%	50 – 75%
	> 75%

**FUENTE:** Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor

El procesamiento para la obtención del mapa de pendientes a partir del GDEM es el siguiente:



**Figura 3.1 Procesamiento para la elaboración de mapa de pendientes**

**Fuente:** Elaboración propia

## II. Elaboración del mapa de precipitación

Con la información obtenida de SENAMHI y de los estudios de impacto ambiental de la UM Corihuarmi, se laboro un mapa de isoyetas, empleando para ello la data de las siguientes estaciones meteorológicas:

**Tabla 3.2 Localización de Estaciones Meteorológicas**

Estación	Periodo	Coordenadas UTM		Altitud
		Este	Norte	
Laive	2006 - 2020	461934.57	8645776.94	3833
Yauricocha	2006 - 2020	423882.00	8640173.00	4578
Huancalpi	2006 - 2020	474653.77	8610772.96	3846
San Pedro de Huacarpana	2006 - 2020	431328.00	8559092.00	3794
Corihuarimi	2006 - 2020	438207.98	8609397.76	4876

**FUENTE:** SENAMHI y MINEM.

Los datos en crudo fueron sometidos a un análisis estadístico para la respectiva corrección y análisis de calidad de datos. Los datos fueron sometidos a un análisis de consistencia para poder tener datos estadísticamente coherentes y poder procesarlos, para ellos se analizó los datos mediante los métodos de Doble Masa, T de Student y Fisher.

En cuanto a la prueba T de Student, los datos de precipitación tienen que cumplir dos condiciones, la primera es la distribución normal de datos; y la segunda es que las muestras sean independientes, es decir compara muestras  $N \leq 30$  y establece la diferencia entre las medias de las muestras para comprobar si pertenecen a una misma población (Sanchez, 2015).

Los datos luego de lograr con éxito la consistencia de datos mediante al corrección y completación de datos faltantes, fueron interpolados por el método IDW (Ponderación de distancia inversa) que utiliza un método de interpolación que estima los valores de las celdas calculando promedios de los valores de los puntos de datos de muestra en la vecindad de cada celda de procesamiento (ESRI, 2022).

Nakaya (2017), basado en los trabajos de Redon (2009), agrupa y describe la metodología a seguir en los siguientes pasos lógicos:

a) **Análisis de Doble Masa de precipitación**

Es la forma más usual de detectar periodos donde se han producido posibles errores, los

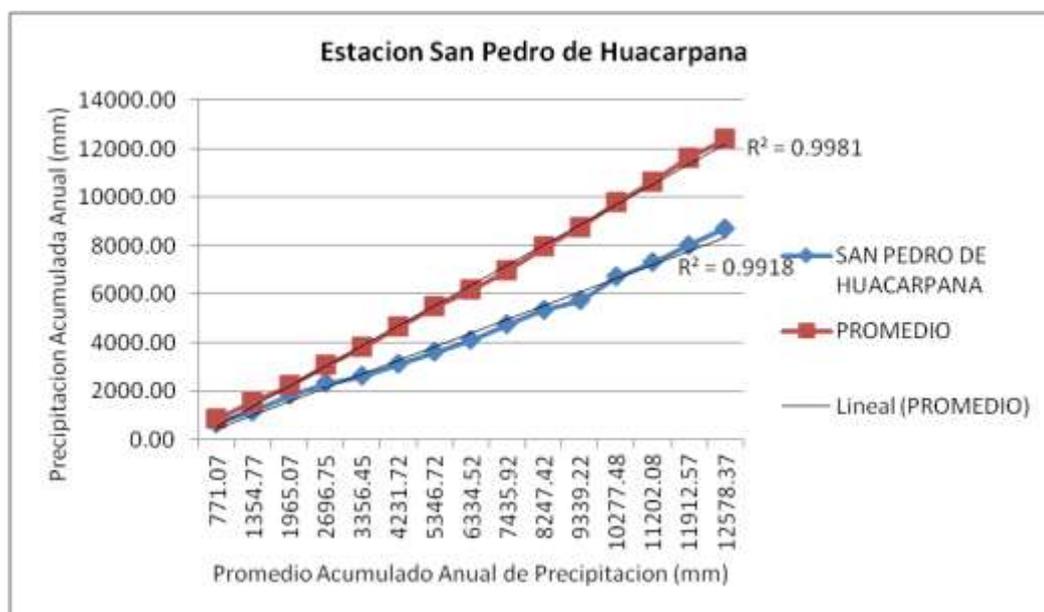
cuales se expresan en forma de quiebre de la pendiente de la curva doble másica.

Para la construcción de la curva doble masa se lleva a un sistema de coordenadas cartesianas los valores acumulados de una estación (eje de ordenadas) contra los valores acumulados anuales del promedio de todas las estaciones en la zona de estudio o cercana a esta.



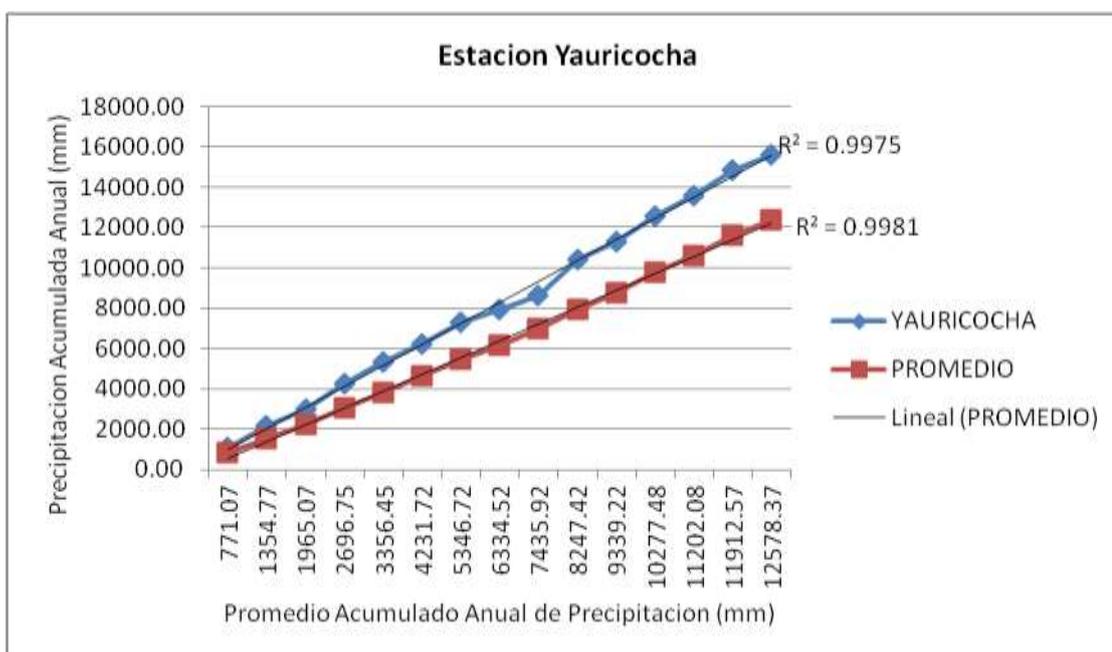
**Figura 3.2** Análisis de Doble Masa de precipitación de la Estación Laive

Fuente: Elaboración propia.



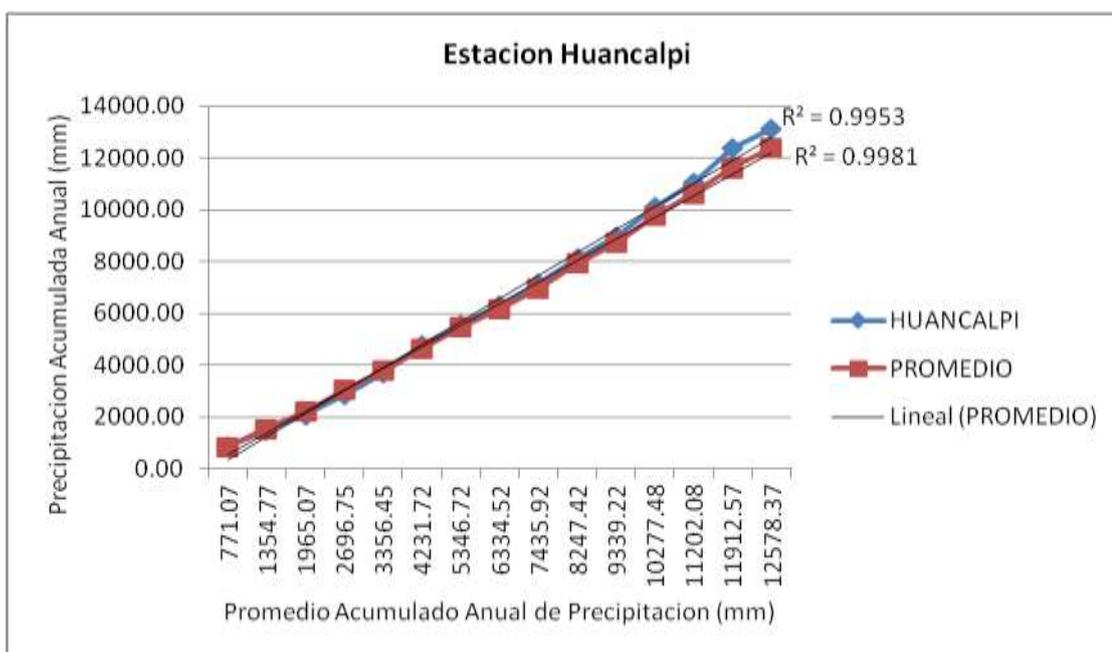
**Figura 3.3** Análisis de Doble Masa de precipitación de la Estación San Pedro de Huacarpana

Fuente: Elaboración propia.



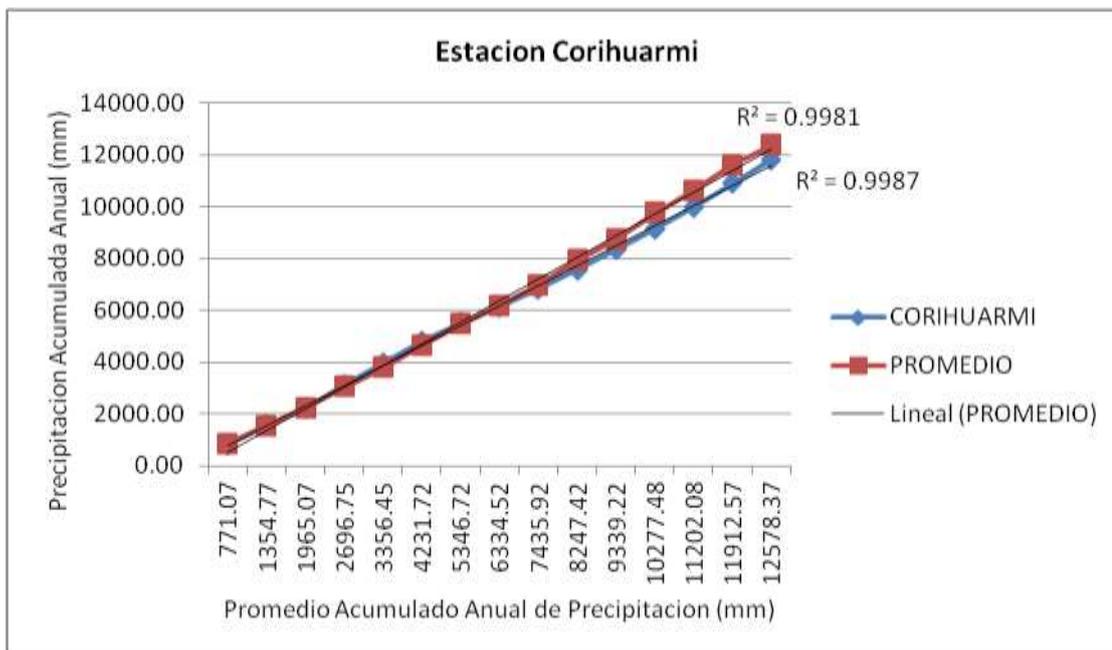
**Figura 3.4** Análisis de Doble Masa de precipitación de la Estación Yauricocha

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 3.5** Análisis de Doble Masa de precipitación de la Estación Huancalpi

Fuente: Elaboración propia.



**Figura 3.6 Análisis de Doble Masa de precipitación de la estación Corihuarmi**

**Fuente:** Elaboración propia.

#### - Método T de Student

Como indica Redon (2009) los valores promedio de 2 series que pertenecen a una misma población deben ser estadísticamente iguales, para ello la prueba estadística a realizar T de Student.

- Cálculo de la media y desviación estándar, tanto del periodo en cuestión, como del confiable, de la siguiente manera:

$$\bar{X}_w = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n_w}$$

$$S_w = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_w)^2}{n_w - 1}}$$

Donde:  $\bar{X}_w$ : Media de uno de los periodos.

w: Periodo que se calcula.

w = 1, para periodo dudoso.

w = 2, para periodo confiable.

$X_i$  : Dato de registro.

$S_w$  : Desviación estándar del periodo  $w$ .

$n_w$  : Tamaño de la muestra del periodo  $w$ .

- Prueba de medias, mediante el estadístico  $t$  de Student:
- Se determina la hipótesis nula, la hipótesis alternativa y el nivel de significación:

$$H_0: u_1 = u_2$$

$$H_a: u_1 \neq u_2$$

$$\alpha = 0.05$$

- Prueba estadística para demostrar la hipótesis planteada de que las muestras provienen de la misma población, es decir, que la media de ambos periodos son estadísticamente iguales, obteniendo un valor de “ $t$ ” calculado y un valor de “ $t$ ” de tabla estadística:

$$t_c = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - (u_1 - u_2)}{S_d}$$

$$S_d = S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}$$

$$S_p = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

Dónde:  $t_c$  :  $t$  calculado.  
 $S_d$  : Desviación estándar de los promedios.  
 $S_p$  : Desviación estándar ponderada.

El valor de  $t_t$  se obtiene de tabla estadística con  $\alpha=0.05$  y  $n_1+n_2-2$  grados de libertad. La decisión sobre la consistencia de la media, se compara el valor de  $t$  calculado con el de  $t$  de las tablas:

- Si  $t_c < t_t$  → La media es consistente (Homogénea)
- Si  $t_c > t_t$  → La media es inconsistente (No Homogénea)

### - Método de Fisher

Este análisis es empleado para probar la homogeneidad en la variancia de una muestra con respecto a otra. Se realiza mediante el estadístico F, de la siguiente manera:

- Se calcula las variancias (desviación estándar al cuadrado).
- Prueba del estadístico F como sigue:

- a) Se define la hipótesis, tanto nula como alternativa

$$H_0: S_1^2 = S_2^2$$

$$H_a: S_1^2 \neq S_2^2$$

$$\alpha = 0.05$$

- b) Se calcula el estadístico  $F_c$  y se busca el F de tablas ( $F_t$ )

$$F_c = \frac{S_1^2}{S_2^2}, \text{ si } S_1^2 > S_2^2$$

$$F_c = \frac{S_2^2}{S_1^2}, \text{ si } S_2^2 > S_1^2$$

El valor de  $F_t$  se obtiene con  $\alpha=0.05$ ,  $n_1-1$  grados de libertad del numerados y  $n_2-1$  grados de libertad del denominador. La decisión sobre la consistencia de la desviación estándar es:

- $F_c < F_t \rightarrow$  Existe consistencia en la variancia.
- $F_c > F_t \rightarrow$  No existe consistencia en la variancia.

### - Corrección de la serie

Cuando la media y desviación estándar resultan estadísticamente homogéneas o consistentes, se puede trabajar con la información original, pero cuando alguna de las pruebas estadísticas no resulta consistente, es necesario corregir la serie de datos, para ello se aplican las siguientes ecuaciones.

$$X'_j = \frac{X_j - \bar{X}_1}{S_1} S_2 + \bar{X}_2, \text{ Para corregir el primer periodo.}$$

$$X'_j = \frac{X_j - \bar{X}_2}{S_2} S_1 + \bar{X}_1, \text{ Para corregir el segundo periodo.}$$

Donde:  $X'_j$  : Valor corregido de la información.

$X_j$  : Valor a ser corregido.

$\bar{X}_1, \bar{X}_2$  : Media de la primera y segunda serie.

$S_1, S_2$  : Desviación estándar de la primera y segunda serie.

### III. Elaboración de mapa de Cobertura Vegetal

El mapa de cobertura vegetal del área de influencia ambiental de la UM Corihuarmi se realizó mediante la actualización del mapa base de cobertura obtenido del estudio de impacto ambiental, identificando puntos que corresponden a cada tipo de cobertura vegetal empleando para ello el software Google Earth Pro, seguidamente estos puntos fueron sometidos a un ajuste geométrico usando para ello los puntos de control tomados en campo mediante el uso de un navegador GPS, por otro lado se realizó el procesamiento de las imágenes multiespectrales del satélite Sentinel 2 empleando para ello el software ENVI. Empleando los puntos identificados y la imagen multiespectral corregida se realizó la clasificación supervisada con el método Maximum Likelihood, identificándose las unidades: Cuerpo de agua, suelo desnudo, bofedal, afloramiento rocoso, césped asociado a bofedal y pajonal cespitoso.

### IV. Elaboración de mapa de Suelos

La identificación del tipo de suelos presente en la zona de estudio, se empleó la información base de suelo del estudio de impacto ambiental de la UM Corihuarmi en formato vectorial, seguidamente se completó con el análisis de textura, materia orgánica, estructura y permeabilidad que fue obtenido en el muestreo en campo.

### V. Elaboración de mapa de Capacidad de Uso Mayor de las Tierras

La identificación de la capacidad de uso mayor de las tierras se usó la información del estudio de impacto ambiental de la UM Corihuarmi en formato vectorial, con esta información y el mapa de cobertura vegetal se procedió al análisis del potencial de pérdida de suelo.

## b) Calificación y análisis de variables

### a) Análisis de la pendiente

Mediante el uso del software ArcGIS, se elaboró el mapa de pendientes y clasifíco según los rangos expresados en el *Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor (2009)*, contabilizando el área y porcentaje de área que representa con respecto al total.

**Tabla 3.3 Área de pendientes**

Rango (%)	Área (Ha)
0 - 4%	641.0
4 - 8%	658.4
8 - 15%	1044.1
15 - 25%	973.4
25 - 50%	1076.5
50 - 75%	220.2
> 75%	48.7

**Fuente:** Elaboración Propia

### b) Análisis de precipitación

Con los resultados del análisis de consistencia y la corrección de la serie de datos no homogénea, se elaboro el mapa de isoyetas media anual en base al registro de 15 años (2006 – 2020). La precipitación en toda la zona de estudio se encuentra en el rango de 775 a 800 mm.

### c) Análisis de cobertura vegetal

Con la clasificación de uso actual de las tierras del estudio de impacto ambiental, se analizo mediante imagen multispectral del satélite Sentinel 2 y mediante el método de clasificación supervisada, se identificaron las coberturas: Cuerpo de agua, suelo desnudo, bofedal, afloramiento rocoso, césped asociado a bofedal y pajonal cespitoso.

**Tabla 3.4 Cobertura vegetal del área de influencia ambiental de la UM Corihuarmi**

Cobertura	Área (Ha)
Bofedal	456.3
Suelo Desnudo	1119.3
Césped Asociado a Bofedal	468.6
Pajonal Cespitoso	2355.3
Afloramiento Rocosos	327.7
Cuerpo de Agua	687.6

**Fuente:** Elaboración Propia

#### d) Análisis de los suelos

En el área de estudio se encontraron 5 unidades de suelos, las cuales se clasifican de acuerdo al sistema desarrollado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Los suelos del área de estudio de las partes bajas son de origen coluvio-aluviales productos de la deposición de materiales provenientes de las partes altas por efecto de las corrientes de agua y de la fuerte pendiente de las laderas. Los tipos de suelos que se encuentra dentro del área de estudio se han identificado y cuantificado la extensión.

**Tabla 3.5 Superficie de suelos del área de influencia ambiental de la UM Corihuarmi**

Unidad	Área (Ha)
Typic Haplaquolls	474.9
Typic Dystrusteps, Typic Haplusteots	1927.9
Typic Dystrusteps	132.4
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	2119.3
Typic Ustifluent	8.3

**Fuente:** Elaboración Propia

#### e) Análisis de la Geomorfología

Morfológicamente, el área de estudio se encuentra ubicada en la divisoria de aguas continental, habiendo sido afectado por una intensa actividad glaciaria. Se han diferenciados las siguientes unidades morfológicas: cadena de cerros altos, circo glaciario, laderas de fuerte a mediana pendiente, laderas suaves y depresiones.

**Tabla 3.6 Unidades Geomorfológicas del área de influencia ambiental de la UM Corihuarmi**

Unidad	Área (Ha)
Colina estructural en roca sedimentaria	64.1
Bofedales	220.2
Colina en roca volcánica	1347.1
Colina en roca volcánico-sedimentaria	190.1
Colina y lomada en roca volcánica	635.1
Colina y lomada en roca volcánico-sedimentaria	39.7
Laguna y cuerpos de agua	735.1
Montaña estructural en roca sedimentaria	92.9
Montañas y colinas estructurales en roca sedimentaria	287.3
Morrenas	50.2
Valle glaciario con laguna	1668.6
Vertiente glaciario o de gelifracción	11.3
Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial	73.2

**Fuente:** Elaboración Propia

### f) Análisis de la Geología

El análisis y descripción de las formación geológicas que conforman la geología del área de influencia ambiental de la UM Corihuarmi, se realizó en base a la información del Estudio de Impacto Ambiental elaborado por Vector Perú S.A.C. (2006). Para ello, mediante el uso del software ArcGIS 10.8.2 se identificó y delimitó las unidades geológicas y cuantificó su extensión superficial en el área de estudio.

**Tabla 3.7 Geología del área de influencia ambiental de la UM Corihuarmi**

NOMBRE	ERA	PERIODO	EPOCA	TIPO DE ROCA	LITOLOGIA	AREA
Fms. Chulec-Pariatambo	Mesozoico	Cretacico	Inferior	Sedimentaria	Calizas,Margas,Lutitas	304.5
Fm. Jumasha	Mesozoico	Cretacico	Superior	Sedimentaria	Calizas, Dolomitas	80.1
Laguna	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	757.6
Cuerpo plutonico (granodiorita, traquita, tonalita, diorita, andesita, porfido diorítico)	Cenozoico	Neogeno	No Aplica	Intrusivas	Granodiorita, traquita, tonalita, diorita, andesita, porfido diorítico	194.2
Fm. Castrovirreyna	Cenozoico	Neogeno	Mioceno	Volcanica-Sedimentaria	Tobas,Calizas Lacustres,Andesitas	286.3
Fm. Caudalosa	Cenozoico	Neogeno	Plioceno	Volcanica	Tobas,Lavas andesiticas	429.2
Fm. Astobamba	Cenozoico	Neogeno Superior Cuaternario	Pleistoceno	Volcanica	Lavas Andesiticas basalticas	630.0
Nevado	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	No Aplica	16.9
Gpo. Sacsaquero	Cenozoico	Paleogeno	Oligoceno	Volcanica	Lavas Andesiticas,Tobas	716.4
Deposito de Bofedal	Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Sedimentaria	Limos, arcillas, arenas y material organico	202.7
Deposito glaciofluvial	Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	Sedimentaria	Fragmentos, gravas, arenas, limos y arcillas	1796.9

**Fuente:** Elaboración propia a partir de información de Vector Perú S.A.C. (2006)

### g) Análisis del conflicto de Uso de las Tierras

Para la identificación del conflicto que se presenta entre el uso actual del suelo y el uso potencial de las tierras, se determinó mediante el mapa de uso mayor de suelo de suelo y el mapa de cobertura vegetal, la trasposición de estos permitió la identificación y clasificación

de las áreas en: Sobre utilizado, Sub utilizado y Uso conforme (FAO, 2001)

**Tabla 3.8 Conflicto de Uso de Suelo en área de influencia ambiental de UM Corihuarmi**

CONFLICTO	AREA
Conforme	527.7
Sub utilizado	3962.0
Sobre utilizado	173.1

**Fuente:** Elaboración propia.

### c) Estimación de la Erosión Hídrica

La estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica se obtuvo mediante la obtención de resultados independientes de cada factor que compone el modelo de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), se llevo a cabo mediante el procesamiento de los formatos raster de información base previamente obtenida, usando para ello el software ArcGIS.

#### a) Erosividad de las Lluvias (Factor R)

La erosividad de las lluvias se basa en el potencial o la fuerza que tiene cada gota de agua de una precipitación para desprender las partículas de suelo; para su obtención se empleo información de precipitaciones de estaciones de SENAMHI y de la estación meteorológica Corihuarmi.

Para el cálculo del factor de erosividad, se realizo el análisis de consistencia que se describió anteriormente, esta corresponden al análisis de calidad de datos brutos proporcionados, seguidamente se corrigió la serie no homogénea, seguidamente se realizo la interpolación da datos obteniéndose un raster de precipitación media anual, finalmente se obtuvo el raster correspondiente al factor de erosividad, empleando en este caso la ecuación propuesta por Morgar (1974)

$$R = I_{30} * \frac{9.28P - 8.393}{1000}$$

Dónde: I<sub>30</sub>: 75mm/h (valor recomendado por Wischmeier)

P: Precipitación media anual.

### b) Erodabilidad (Factor K)

La obtención del factor K se realizó mediante los resultados de muestras de suelo en cada una de las unidades de suelo que se encuentran dentro de la zona de estudio, las cuales fueron analizadas en laboratorio para obtener la textura y materia orgánica; asimismo mediante los resultados de calicatas realizadas en cada unidad de suelo se determinó la estructura y permeabilidad en correspondencia a los códigos USLE mencionados anteriormente.

**Tabla 3.9 Ubicación de las estaciones de muestreo de suelo**

UNIDAD DE SUELO	CODIGO	CODIGO LAB	UTM WGS84 18S	
			NORTE	ESTE
Typic Dystrusteps, Typic Haplusteots	C-08	C 08-1	8610131.18	439296.275
Typic Dystrusteps, Typic Haplusteots	C-08	C 08-2	8610131.18	439296.275
Typic Dystrusteps, Typic Haplusteots	C-09	C 09-1	8609728.18	440525.275
Typic Dystrusteps, Typic Haplusteots	C-13	C 13-1	8610099.18	438987.275
Typic Dystrusteps, Typic Haplusteots	C-13	C 13-2	8610099.18	438987.275
Typic Dystrusteps, Typic Haplusteots	C-15	C 15-1	8609597.18	437704.275
Typic Dystrusteps, Typic Haplusteots	C-15	C 15-2	8609597.18	437704.275
Typic Dystrusteps, Typic Haplusteots	C-15	C 15-3	8609597.18	437704.275
Typic Dystrusteps, Typic Haplusteots	C-15	C 15-4	8609597.18	437704.275
Typic Dystrustepts	C-11	C 11-1	8613140.18	440107.275
Typic Dystrustepts	C-11	C 11-2	8613140.18	440107.275
Typic Haplaquolls	C-07	C 07-1	8609317.18	439464.275
Typic Haplaquolls	C-07	C 07-2	8609317.18	439464.275
Typic Haplaquolls	H-01	H 01-1	8612191.18	440490.275
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-01	C 01-1	8611543.18	440659.275
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-01	C 01-2	8611543.18	440659.275
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-02	C 02-1	8610668.18	441657.275
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-02	C 02-2	8610668.18	441657.275
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-04	C 04-1	8608969.18	439817.275
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-04	C 04-2	8608969.18	439817.275
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-04	C 04-3	8608969.18	439817.275
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-04	C 04-4	8608969.18	439817.275
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-05	C 05-1	8608985.18	439770.275
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-05	C 05-2	8608985.18	439770.275
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-05	C 05-3	8608985.18	439770.275
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-12	C 12-1	8611152.18	439334.275
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-12	C 12-2	8611152.18	439334.275
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-16	C 16-1	8612914.18	436050.275
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-16	C 16-2	8612914.18	436050.275
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-16	C 16-3	8612914.18	436050.275
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-18	C 18-1	8610029.18	437307.275
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-18	C 18-2	8610029.18	437307.275
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-18	C 18-3	8610029.18	437307.275

UNIDAD DE SUELO	CODIGO	CODIGO LAB	UTM WGS84 18S	
			NORTE	ESTE
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-18	C 18-4	8610029.18	437307.275
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-18	C 18-5	8610029.18	437307.275
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-18	C 18-6	8610029.18	437307.275
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-19	C 19-1	8610190.18	437381.275
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-19	C 19-2	8610190.18	437381.275
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-19	C 19-3	8610190.18	437381.275
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-19	C 19-4	8610190.18	437381.275
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-19	C 19-5	8610190.18	437381.275
Typic Ustifluent	C-06	C 06-1	8609083.18	439715.275
Typic Ustifluent	C-06	C 06-2	8609083.18	439715.275
Typic Ustifluent	C-06	C 06-3A	8609083.18	439715.275
Typic Ustifluent	C-06	C 06-3B	8609083.18	439715.275
Typic Ustifluent	C-06	C 06-5	8609083.18	439715.275

**Fuente:** Elaboración propia a partir de información de Vector Perú S.A.C. (2006)

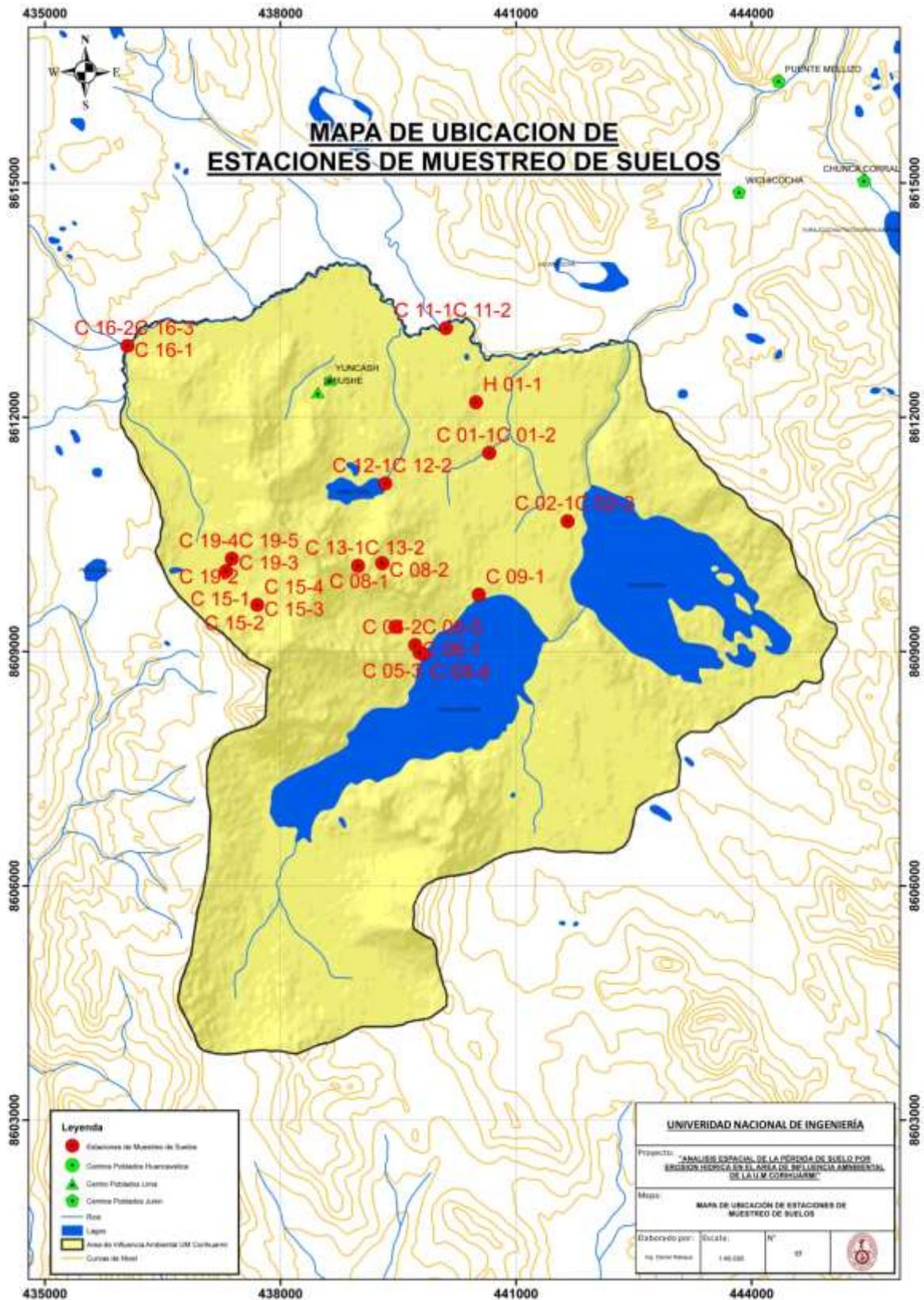
En cuanto a la textura y materia orgánica, las muestras fueron analizadas en el laboratorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina, obteniéndose los siguientes resultados:

**Tabla 3.10 Textura del suelo de cada estación de muestreo**

UNIDAD DE SUELO	CODIGO	CODIGO LAB	MO	ARENA	LIMO	ARCILLA	ARENA MUY FINA	TEXTURA
Typic Dystrustepts, Typic Haplustepts	C-08	C 08-1	6.4	62	32	6	30.2	FRANCO ARENOSO
Typic Dystrustepts, Typic Haplustepts	C-08	C 08-2	2.2	46	30	24	0.8	FRANCO ARENOSO
Typic Dystrustepts, Typic Haplustepts	C-09	C 09-1	2.3	56	26	18	7.9	FRANCO ARENOSO
Typic Dystrustepts, Typic Haplustepts	C-13	C 13-1	0.7	52	42	6	35.9	FRANCO ARENOSO
Typic Dystrustepts, Typic Haplustepts	C-13	C 13-2	0.5	28	64	8	45.2	FRANCO ARENOSO
Typic Dystrustepts, Typic Haplustepts	C-15	C 15-1	11.5	82	14	4	23.1	ARENA FRANCA
Typic Dystrustepts, Typic Haplustepts	C-15	C 15-2	3.8	68	28	4	31.1	ARENA FRANCA
Typic Dystrustepts, Typic Haplustepts	C-15	C 15-3	2	62	28	10	21.6	ARENA FRANCA
Typic Dystrustepts, Typic Haplustepts	C-15	C 15-4	1	46	32	22	5.1	ARENA FRANCA
Typic Dystrustepts	C-11	C 11-1	1.1	86	12	2	25.1	ARENA
Typic Dystrustepts	C-11	C 11-2	0.1	84	12	4	22.0	ARENA
Typic Haplaquolls	C-07	C 07-1	0.6	80	12	8	15.7	ARENA FRANCA
Typic Haplaquolls	C-07	C 07-2	0.3	80	12	8	15.7	ARENA FRANCA
Typic Haplaquolls	H-01	H 01-1	41.1	78	18	4	25.4	ARENA FRANCA
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-01	C 01-1	11.8	52	36	12	23.0	FRANCO
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-01	C 01-2	4.8	70	24	6	25.7	FRANCO
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-02	C 02-1	6	44	48	8	36.1	FRANCO
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-02	C 02-2	3.2	60	30	10	22.8	FRANCO
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-04	C 04-1	1.2	72	22	6	24.5	FRANCO ARENOSO
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-04	C 04-2	2.1	46	46	8	35.0	FRANCO ARENOSO
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-04	C 04-3	1.4	46	44	10	30.7	FRANCO ARENOSO

UNIDAD DE SUELO	CODIGO	CODIGO LAB	MO	ARENA	LIMO	ARCILLA	ARENA MUY FINA	TEXTURA
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-04	C 04-4	2.4	72	22	6	24.5	FRANCO ARENOSO
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-05	C 05-1	1.9	80	14	6	20.0	ARENA FRANCA
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-05	C 05-2	0.2	90	4	6	14.3	ARENA FRANCA
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-05	C 05-3	0.1	90	6	4	18.6	ARENA FRANCA
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-12	C 12-1	4.7	46	46	8	35.0	FRANCO
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-12	C 12-2	1.5	42	34	24	3.1	FRANCO
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-16	C 16-1	8	42	48	10	33.0	FRANCO
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-16	C 16-2	1.6	56	34	10	25.0	FRANCO
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-16	C 16-3	0.8	22	52	26	10.1	FRANCO
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-18	C 18-1	6.5	60	34	6	31.3	FRANCO ARENOSO
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-18	C 18-2	2.6	70	26	4	29.9	FRANCO ARENOSO
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-18	C 18-3	2.5	56	32	12	20.8	FRANCO ARENOSO
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-18	C 18-4	1.3	74	18	8	19.1	FRANCO ARENOSO
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-18	C 18-5	0.7	74	18	8	19.1	FRANCO ARENOSO
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-18	C 18-6	0.8	84	12	4	22.0	FRANCO ARENOSO
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-19	C 19-1	1.9	62	28	10	21.6	FRANCO ARENOSO
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-19	C 19-2	1.4	72	20	8	20.2	FRANCO ARENOSO
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-19	C 19-3	2.2	52	32	16	14.5	FRANCO ARENOSO
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-19	C 19-4	0.9	66	24	10	19.4	FRANCO ARENOSO
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	C-19	C 19-5	0.8	38	36	26	1.1	FRANCO ARENOSO
Typic Ustifluent	C-06	C 06-1	0.8	66	22	12	15.1	FRANCO ARENOSO
Typic Ustifluent	C-06	C 06-2	0.4	38	38	24	5.3	FRANCO ARENOSO
Typic Ustifluent	C-06	C 06-3A	0.1	82	12	6	18.8	FRANCO ARENOSO
Typic Ustifluent	C-06	C 06-3B	0.1	50	28	22	2.8	FRANCO ARENOSO
Typic Ustifluent	C-06	C 06-5	0.1	90	6	4	18.6	FRANCO ARENOSO

**Fuente:** Elaboración propia a partir de información de Vector Perú S.A.C. (2006)



**Figura 3.7** Mapa de Ubicación de Estaciones de Muestreo de Suelos.

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.11 Codificación de la estructura de las unidades de suelo**

UNIDAD DE SUELO	CALICATA	CODIGO ESTRUCTURA
Typic Dystrustepts, Typic Haplustepts		3
Typic Dystrustepts		1
Typic Haplaquolls		1
Typic Haplustept Typic Ustifluvents		2

UNIDAD DE SUELO	CALICATA	CODIGO ESTRUCTURA
		
Typic Ustifluent		2

**Fuente:** Elaboración propia a partir de información de Vector Perú S.A.C. (2006)

En cuanto a los valores de permeabilidad, estos se obtuvieron mediante los datos descritos por Mannaerts (1999) los cuales están en función a la clase textural.

**Tabla 3.12 Codificación de la permeabilidad de las unidades de suelo**

UNIDAD DE SUELO	TEXTURA	CODIGO PERMEABILIDAD
Typic Dystrustepts, Typic Haplustepts	Franco Arenoso	2
Typic Dystrustepts	Arena	1
Typic Haplaquolls	Arena Franca	1
Typic Haplustept, Typic Ustifluents	Franco Arenoso	2
Typic Ustifluent	Franco Arenoso	2

**Fuente:** Elaboración propia a partir de información de Vector Perú S.A.C. (2006)

### c) Factor Topográfico (Factor LS)

El factor topográfico es una variable adimensional, se obtiene mediante la multiplicación de sus dos subfactores: factor de talud L y factor de pendiente S.

#### - Longitud de talud (L)

A partir del modelo de elevación digital (DEM) y mediante el uso del software ArcGIS se obtuvo el factor de talud según la metodología descrita anteriormente; se emplearon las siguientes ecuaciones:

a) Valor de "F".

$$F = (\text{Sin}(\text{"pendient\_gra"} * 0.01745) / 0.0896) / (3 * \text{Power}(\text{Sin}(\text{"pendient\_gra"} * 0.01745), 0.8) + 0.56)$$

b) Valor de "m".

$$m = \text{"F"} / (1 + \text{"F"})$$

c) Valor de Factor L.

$$L = (\text{Power}(\text{"Flow\_acc"} + 954.3994622, (\text{"m"} + 1)) - \text{Power}(\text{"Flow\_acc"}, (\text{"m"} + 1))) / (\text{Power}(30.89335628, \text{"m"} + 2) * \text{Power}(22.13, \text{"m"}))$$

#### - **Inclinación de pendiente (S)**

A partir del modelo de elevación digital (DEM) y mediante el uso del software ArcGIS se obtuvo la inclinación de pendiente según la metodología descrita anteriormente; se empleó la siguiente ecuación:

$$S = \text{Con}(\text{Tan}(\text{"pendient\_degr"} * 0.01745) < 0.09, (10.8 * \text{Sin}(\text{"pendient\_degr"} * 0.01745) + 0.03), (16.8 * \text{Sin}(\text{"pendient\_degr"} * 0.01745) - 0.5))$$

#### d) **Factor de Cobertura (Factor C)**

El factor C o factor de cobertura, se determinó mediante el uso de tablas de valores de cobertura de las tablas N° 2.5 y N° 2.6, de acuerdo al tipo de superficie identificado en la zona. A continuación se presentan los valores de factor C para cada tipo de cobertura:

**Tabla 3.13 Valores de Factor de Cobertura**

COBERTURA IDENTIFICADA	FACTOR C
Bofedal	0.05
Suelo Desnudo	1
Césped Asociado Bofedal	0.028
Pajonal Cespitoso	0.038
Afloramiento Rocoso	0.042
Cuerpo de Agua	0

**Fuente:** Elaboración propia a partir de información de Vector Perú S.A.C. (2006)

**e) Factor de Practicas de Conservación de Suelo (Factor P)**

El factor P corresponde al valor determinado para distintos tipos de prácticas de conservación de suelo las cuales se enfocan a reducir la pérdida de suelos mediante la reducción o eliminación de la escorrentía superficial.

En el caso de la zona de estudio, esta área es usada principalmente para pastoreo no siendo apta para cultivo por la altura en la que se ubica, por tanto el valor que corresponde al factor P es 1.

**f) Estimación de la pérdida de suelo**

La pérdida de suelo media anual estimada se realiza mediante la multiplicación aritmética de los factores previamente citados, es decir, mediante la multiplicación del Factor R, Factor K, Factor LS, Factor C y Factor P; se empleo el software ArcGIS para su cálculo y obtención.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS DE LA INVESTIGACION

#### 4.1. INFORMACION GEOESPACIAL PARA IDENTIFICAR LAS ZONAS DE EROSIÓN

##### 4.1.1. Mapa del Área de Influencia Ambiental de la UM Corihuari

El área de influencia ambiental fue obtenida de los estudios de impacto ambiental de la UM Corihuarmi, proporcionados por el Ministerio de Energía y Minas, se procedió a digitalizar dicha información en formato raster y formato vectorial para realizar la delimitación de todos los mapas del presente estudio.

**Tabla 4.1 Valores de Factor de Cobertura**

ÁREA (HA)	PERÍMETRO (KM)
5414.85	36.8

**Fuente:** Elaboración propia a partir de EIA 2006, 2012 y 2014 UM Corihuarmi.



#### 4.1.2. Mapa de Pendientes

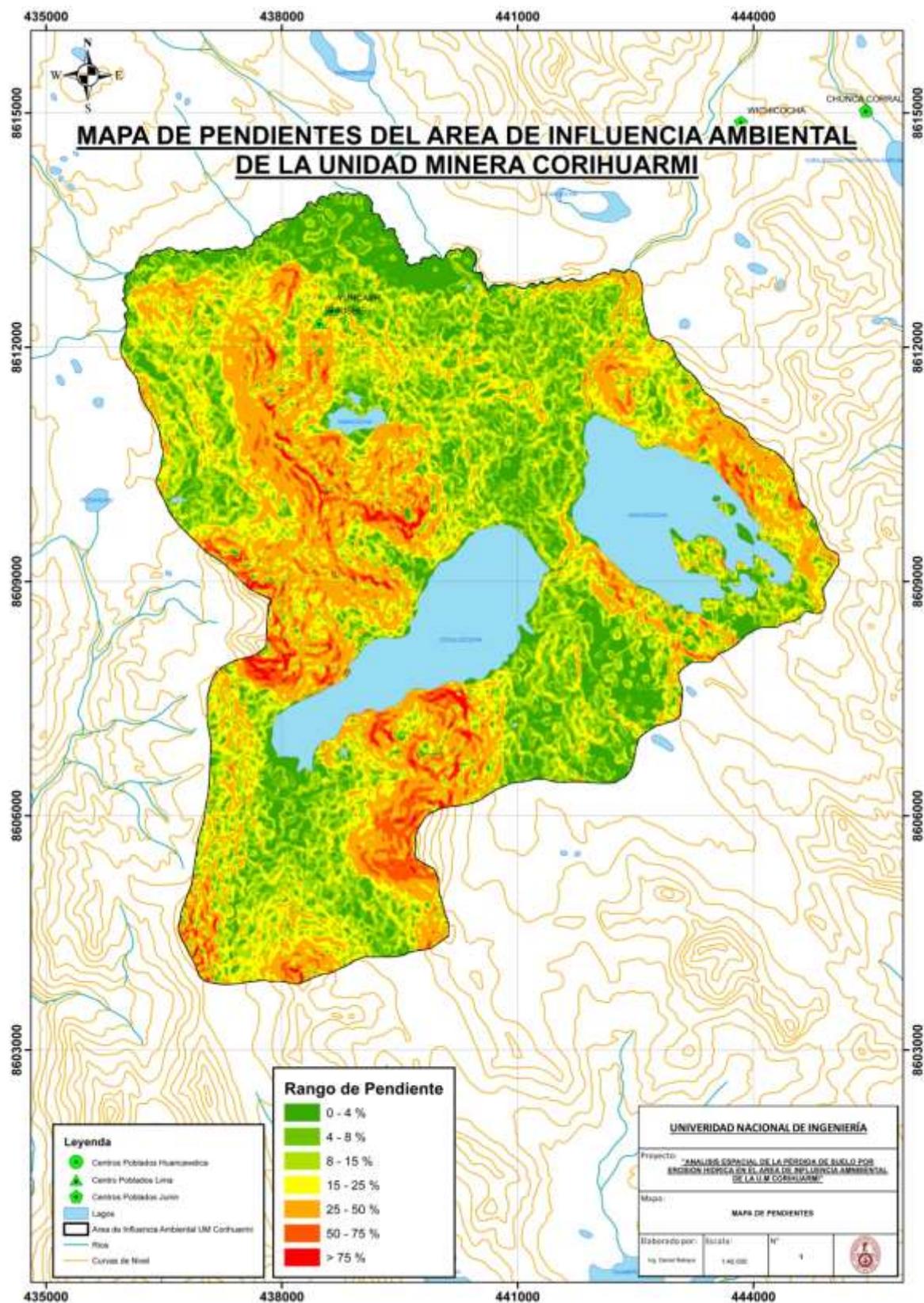
Para la obtención del mapa de pendientes se usó la metodología citada anteriormente, obteniéndose un mapa en formato raster a partir del cual se obtuvo un mapa en formato vectorial, seguidamente se clasificó las pendientes en rangos tal como se detalla en el el *Reglamento de Clasificación de Tierras por su Capacidad de Uso Mayor (2009)*, teniendo como resultado el mapa de pendientes clasificado a los rangos del reglamento, tal como se muestra en la tabla 24.

La pendiente en un rango de 0 – 4% corresponde al 13.7% de la superficie del área de influencia ambiental de la UM Corihuarmi, con una extensión de 641.0 hectáreas las pendientes suaves abarcan una gran extensión de la superficie ubicando el quinto lugar en rango de extensión. Las pendientes de 4 – 8% corresponden al 14% de la superficie del área de estudio con una extensión de 658.4. Las pendientes entre 8 – 15% y 15 – 25% corresponden al 22.4% y 20.9% respectivamente, correspondiente a pendientes ligeramente a moderadamente empinadas con una extensión conjunta de 2017.5 hectáreas. Las pendientes entre 25 – 50% corresponden a un 23.1% con una extensión de 1076.5 hectáreas, estas pendientes corresponden a moderadamente empinadas, siendo las que más predominan en el área de estudio. Se tiene un 5.7% (220.2 hectáreas) del área de estudio con pendientes superiores al 50% las cuales se clasifican como fuertemente empinadas.

**Tabla 4.2 Resultado de Mapa de Pendientes**

RANGO (%)	ÁREA (Ha)	PORCENTAJE RESPECTO AL TOTAL
0 - 4	641.0	13.7
4 – 8	658.4	14.1
8 – 15	1044.1	22.4
15 – 25	973.4	20.9
25 – 50	1076.5	23.1
50 – 75	220.2	4.7
> 75	48.7	1.0

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 4.2** Mapa del Pendientes del Área de Influencia Ambiental de la Unidad Minera Corihuarmi.

Fuente: Elaboración propia.

### 4.1.3. Mapa de Precipitación

La información de las estaciones de SENAMHI y la Estación Corihuariami fue sometida a un análisis de calidad, es decir fue sometida a un análisis de consistencia de medias y varianzas mediante los métodos de T de Student y Fisher, se corrigió las series inconsistentes y se procedió a generar el mapa de precipitación.

**Tabla 4.3 Resultado de Consistencia T de Student**

ESTACION	T CALCULADO	T TABLA	RESULTADO
Laive	2.846	2.16	No Homogéneo
San Pedro de Hucarpana	0.034	2.16	Homogéneo
Yauricocha	0.005	2.16	Homogéneo
Huancalpi	2.252	2.16	Homogéneo
Corihuariami	1.652	2.16	Homogéneo

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 4.4 Resultado de Consistencia Fisher**

ESTACION	F CALCULADO	F TABLA	RESULTADO
Laive	2.353	6.04	Homogéneo
San Pedro de Hucarpana	3.575	19.4	Homogéneo
Yauricocha	6.994	4.88	No Homogéneo
Huancalpi	2.008	3.97	Homogéneo
Corihuariami	2.105	6.04	Homogéneo

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 4.5 Resultado de Consistencia T de Student – Series Corregidas**

ESTACION	T CALCULADO	T TABLA	RESULTADO
Laive	0.000	2.16	Homogeneo
San Pedro de Hucarpana	0.034	2.16	Homogéneo
Yauricocha	0.000	2.16	Homogéneo
Huancalpi	2.522	2.16	Homogéneo
Corihuariami	1.652	2.16	Homogéneo

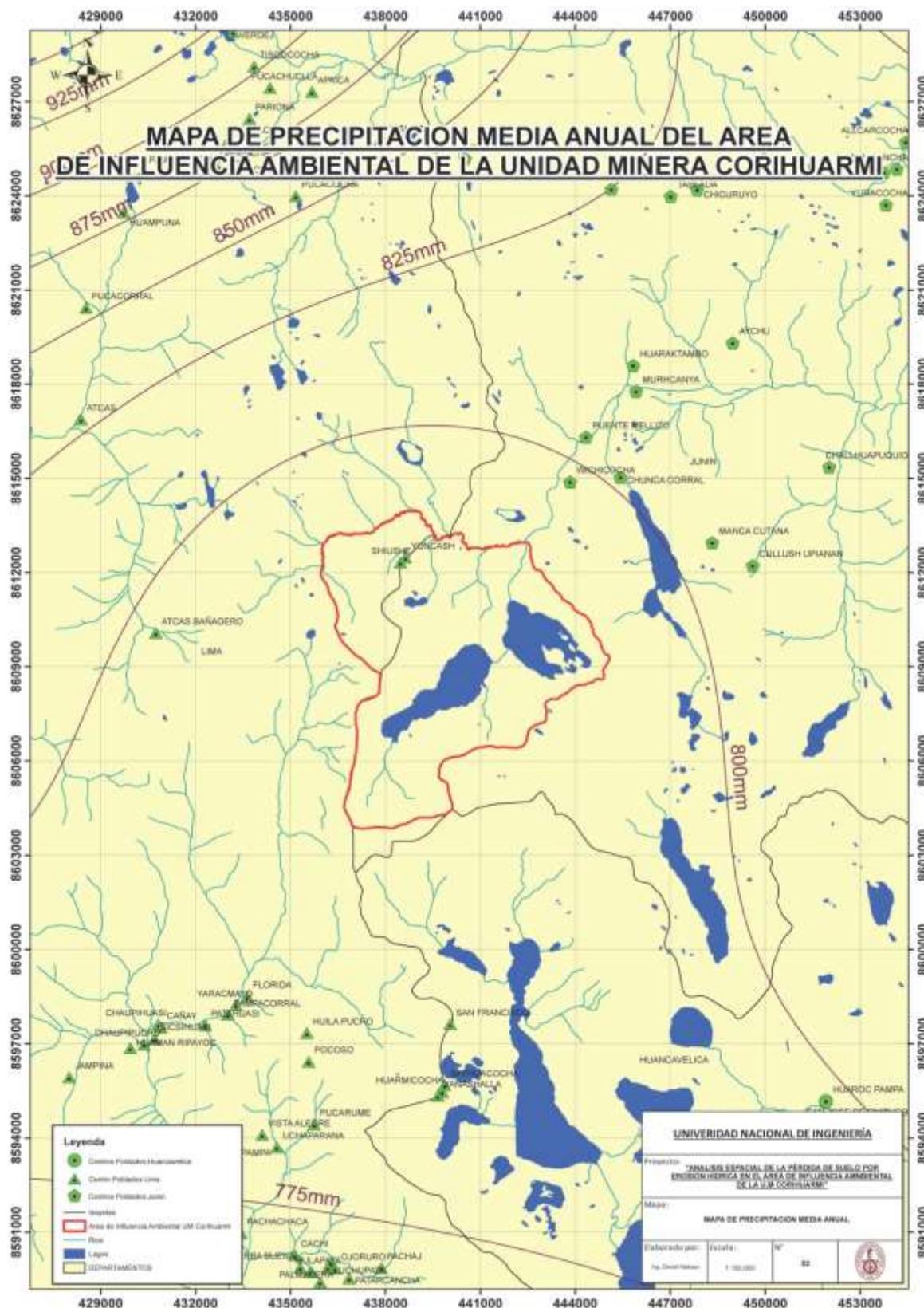
**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 4.6 Resultado de Consistencia Fisher – Series Corregidas**

<b>ESTACION</b>	<b>F CALCULADO</b>	<b>F TABLA</b>	<b>RESULTADO</b>
Laive	1.000	6.04	Homogéneo
San Pedro de Hucarpana	3.575	19.4	Homogéneo
Yauricocha	1.000	4.88	Homogéneo
Huancalpi	2.008	3.97	Homogéneo
Corihuarmi	2.105	6.04	Homogéneo

**Fuente:** Elaboración propia.

Luego del análisis y corrección, se elaboró el mapa de precipitación de la zona de estudio teniéndose que el área de influencia ambiental de la UM Corihuarmi se encuentra en su totalidad en el rango de 775 mm/año a 800 mm/año de precipitación media anual.



**Figura 4.3** Mapa del Precipitación del Área de Influencia Ambiental de la Unidad Minera Corihuarmi.

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.1.4. Mapa de Cobertura Vegetal

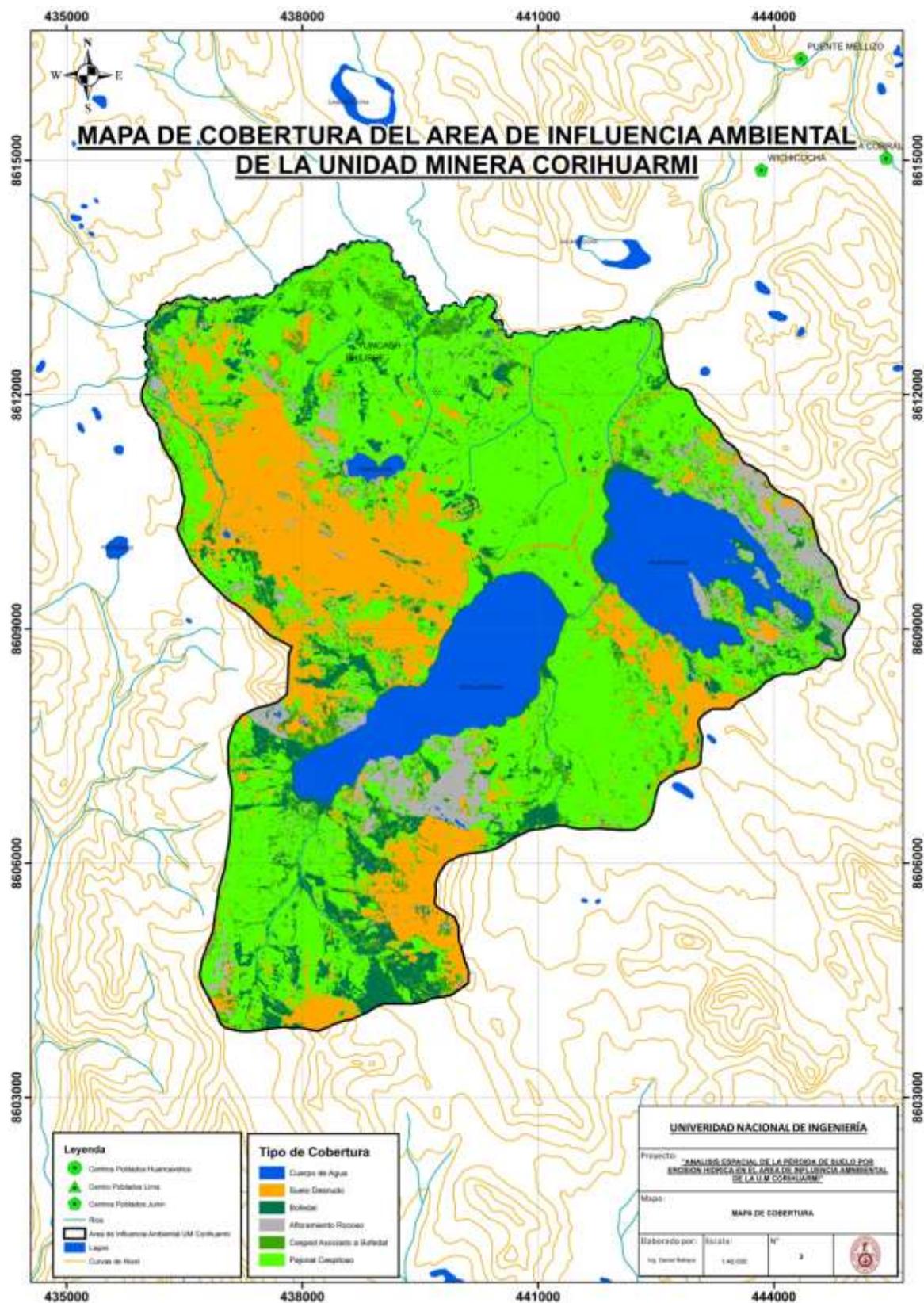
Para la obtención del mapa de cobertura se realizó el procesamiento de la imagen satelital multispectral del satélite Sentinel-2, luego aplicando la metodología descrita anteriormente y empleando para ello 2595 puntos de control tomados con GPS en las distintas superficies del área de estudio.

Del resultado obtenido, se tiene que la mayor extensión la ocupa el tipo de cobertura denominado Pajonal Cespitoso con un área de 2355.3 hectáreas y abarcando el 43.5% de la superficie de la zona de estudio, la siguiente cobertura en orden de extensión corresponde a suelo desnudo con un área de 1119.3 hectáreas que corresponde al 20.7% de la superficie total, en tercer orden de extensión se ubican los cuerpos de agua, es decir las lagunas, que abarcan un área de 687.6 hectáreas y corresponde al 12.7% de la superficie, se ha identificado también Bofedales, Césped asociado a Bofedal y Afloramientos rocosos, los cuales tienen una extensión de 456.3, 468.6 y 327.7 hectáreas respectivamente, en cuanto a los bofedales estos ocupan el 8.4% de la superficie, el césped asociado a bofedal ocupa el 8.7% de la superficie, y los afloramientos rocosos se extienden en el 6.1% de la superficie total del área de influencia ambiental de la UM Corihuarmi.

**Tabla 4.7 Resultado de Mapa de Cobertura Vegetal**

COBERTURA	AREA (Ha)	PORCENTAJE RESPECTO AL TOTAL (%)
Bofedal	456.3	8.4
Suelo Desnudo	1119.3	20.7
Césped Asociado a Bofedal	468.6	8.7
Pajonal Cespitoso	2355.3	43.5
Afloramiento Rocoso	327.7	6.1
Cuerpo de Agua	687.6	12.7

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 4.4** Mapa del Cobertura del Área de Influencia Ambiental de la Unidad Minera Corihuarmi.

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.1.5. Mapa de Unidades de Suelo

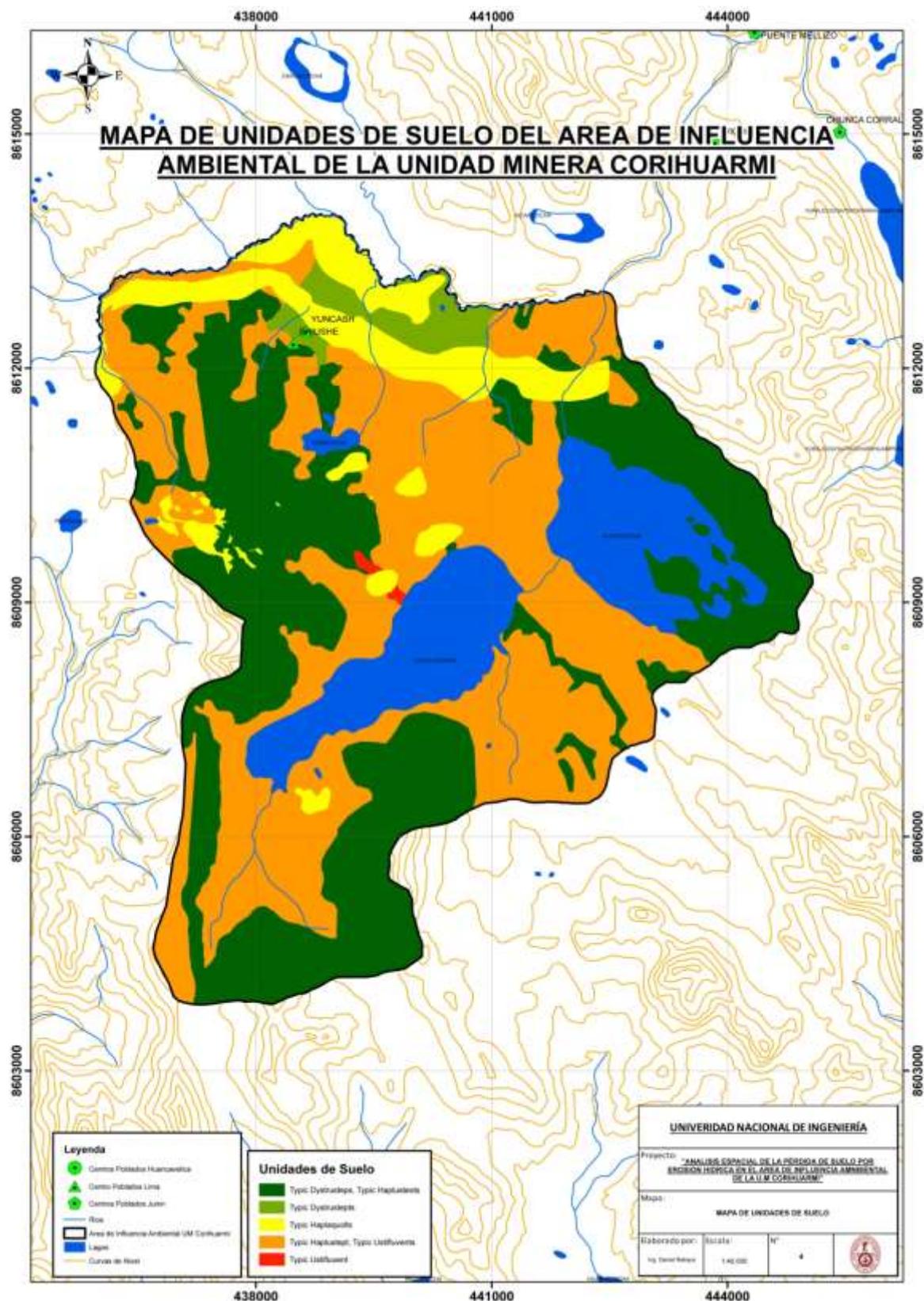
El mapa de suelos se obtuvo a partir de la información base trabajada por Vector Perú S.A.C. en el año 2006 durante el levantamiento de la línea base ambiental de la UM Corihuarmi, la información base se digitalizó en formato raster y luego en vectorial para su clasificación y delimitación al área de interés.

Los suelos predominantes en la zona de estudio son los de la unidad Typic Haplustept, Typic Ustifluvents los cuales abarcan un área de 2119.3 hectáreas que representa el 45.5% de la superficie total del área de estudio; la segunda unidad en predominancia en el suelo Typic Dystrusteps, Typic Haplusteots que abarca un área de 1927.9 hectáreas que representa el 41.3% de la superficie. En tercer orden de extensión se encuentra la unidad Typic Haplaquolls con un área de 474.9 hectáreas que representa el 10.2% de la superficie total, la unidad Typic Dystrustepts abarca un área de 132.4 hectáreas que representa el 2.8% de la superficie de la zona de estudio, finalmente de manera puntual se presenta la unidad Typic Ustifluent la cual se extiende por un área de 8.3 hectáreas y representa únicamente el 0.2% de la superficie total del área de influencia ambiental de la UM Corihuarmi.

**Tabla 4.8 Resultado de Mapa de Unidades de Suelo**

UNIDAD DE SUELO	AREA (Ha)	PORCENTAJE RESPECTO AL TOTAL (%)
Typic Haplaquolls	474.9	10.2
Typic Dystrusteps, Typic Haplusteots	1927.9	41.3
Typic Dystrustepts	132.4	2.8
Typic Haplustept, Typic Ustifluvents	2119.3	45.5
Typic Ustifluent	8.3	0.2

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 4.5** Mapa del Unidades de Suelo del Área de Influencia Ambiental de la Unidad Minera Corihuarmi.

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.1.6. Mapa Geomorfológico

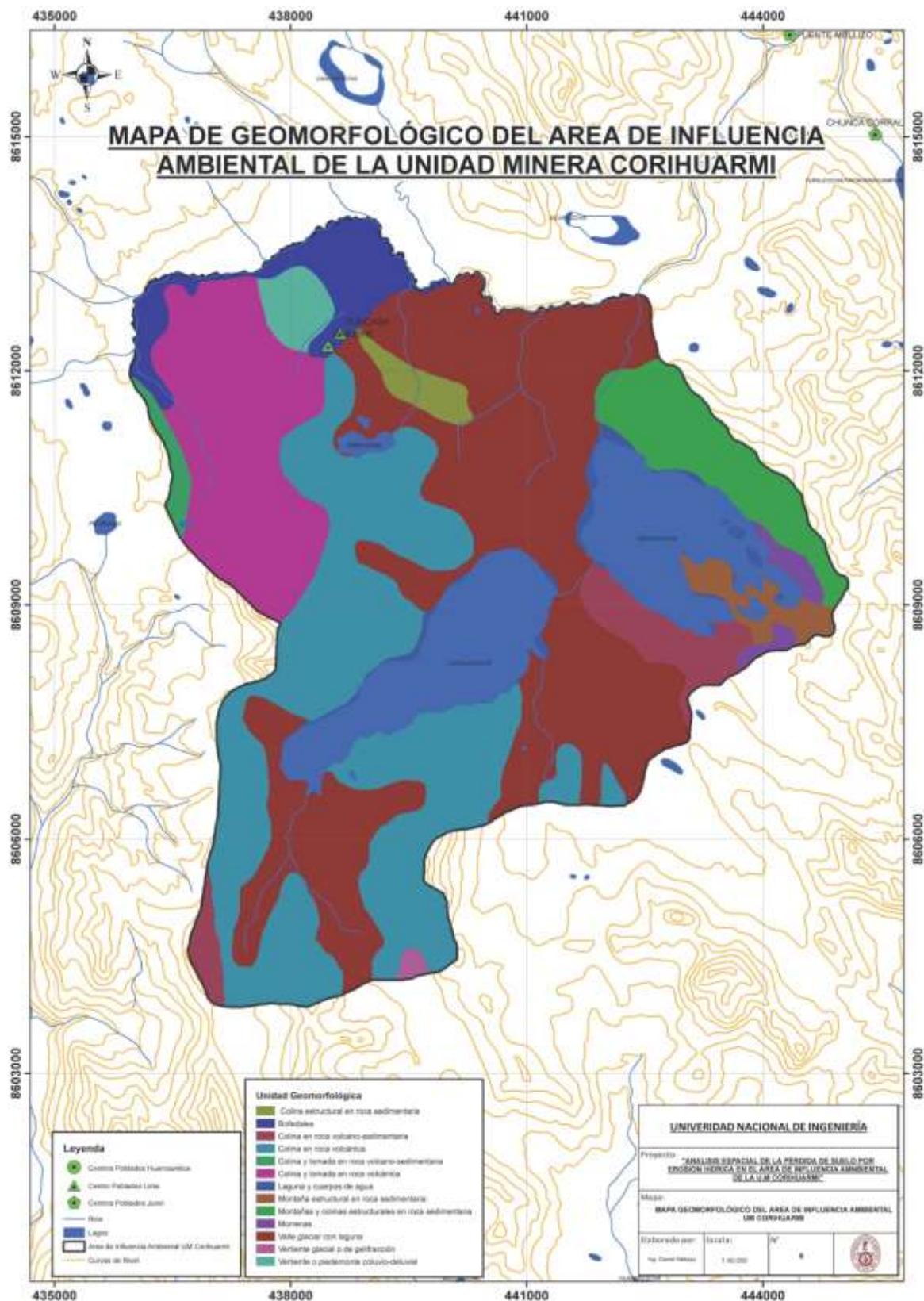
El mapa geomorfológico se obtuvo a partir de la información base trabajada por Vector Perú S.A.C. en el año 2006 durante el levantamiento de la línea base ambiental de la UM Corihuarmi, la información base se digitalizó en formato raster y luego en vectorial para su clasificación y delimitación al área de interés.

La zona de estudio presenta varias unidades geomorfológicas la mayoría ligada a colinas tal como se puede apreciar en la tabla 31; la principal unidad geomorfológica en cuanto a extensión es los valles glaciares que abarcan una superficie de 1668.6 hectáreas que representa el 30.8% del área total, seguido en extensión se ubican las colinas en roca volcánica con un área de 1347.1 hectáreas representa el 24.9% de la superficie. Las demás unidades geomorfológicas se distribuyen áreas relativamente similares (Ver Tabla 31).

**Tabla 4.9 Resultado de Mapa Geomorfológico**

UNIDAD GEOMORFOLOGICA	AREA (Ha)	PORCENTAJE RESPECTO AL TOTAL (%)
Colina estructural en roca sedimentaria	64.1	1.2
Bofedales	220.2	4.1
Colina en roca volcánica	1347.1	24.9
Colina en roca volcánico-sedimentaria	190.1	3.5
Colina y lomada en roca volcánica	635.1	11.7
Colina y lomada en roca volcánico-sedimentaria	39.7	0.7
Laguna y cuerpos de agua	735.1	13.6
Montaña estructural en roca sedimentaria	92.9	1.7
Montañas y colinas estructurales en roca sedimentaria	287.3	5.3
Morrenas	50.2	0.9
Valle glaciar con laguna	1668.6	30.8
Vertiente glacial o de gelifracción	11.3	0.2
Vertiente o piedemonte coluvio-deluvial	73.2	1.4

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 4.6** Mapa del Geomorfológico del Área de Influencia Ambiental de la Unidad Minera Corihuarmi.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.7. Mapa Geológico

El mapa geológico se obtuvo a partir de la información base trabajada por Vector Perú S.A.C. en el año 2006 durante el levantamiento de la línea base ambiental de la UM Corihuarmi, la información base se digitalizó en formato raster y luego en vectorial para su clasificación y delimitación al área de interés.

Como se puede apreciar en la tabla 32, la unidad geológica que predomina en el área de estudio son los depósitos glaciofluviales del periodo cuaternario, con una extensión de 1796.9 hectáreas lo cual representa el 33.2%, la segunda unidad en orden de predominancia es el Grupo Sacsaquero del periodo Paleogeno, con una extensión de 716.4 hectáreas lo cual representa el 13.2% del área total de la zona de estudio. En tercer orden se encuentra la Formación Astobamba del periodo Neogeno Superior Cuaternario con una extensión de 630.0 hectáreas lo cual representa el 11.6% de la superficie total.

**Tabla 4.10 Resultado de Mapa Geológico**

UNIDAD GEOLOGICA	ERA	PERIODO	EPOCA	AREA (Ha)	PORCENTAJE RESPECTO AL TOTAL (%)
Fms. Chulec-Pariatambo	Mesozoico	Cretacico	Inferior	304.5	5.6
Fm. Jumasha	Mesozoico	Cretacico	Superior	80.1	1.5
Cuerpo plutónico (granodiorita, traquita, tonalita, diorita, andesita, porfido diorítico)	Cenozoico	Neogeno	No Aplica	194.2	3.6
Fm. Castrovirreyna	Cenozoico	Neogeno	Mioceno	286.3	5.3
Fm. Caudalosa	Cenozoico	Neogeno	Plioceno	429.2	7.9
Fm. Astobamba	Cenozoico	Neogeno Superior Cuaternario	Pleistoceno	630.0	11.6
Gpo. Sacsaquero	Cenozoico	Paleogeno	Oligoceno	716.4	13.2
Deposito de bofedal	Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	202.7	3.7
Deposito glaciofluvial	Cenozoico	Cuaternario	Holoceno	1796.9	33.2

**Fuente:** Elaboración propia.

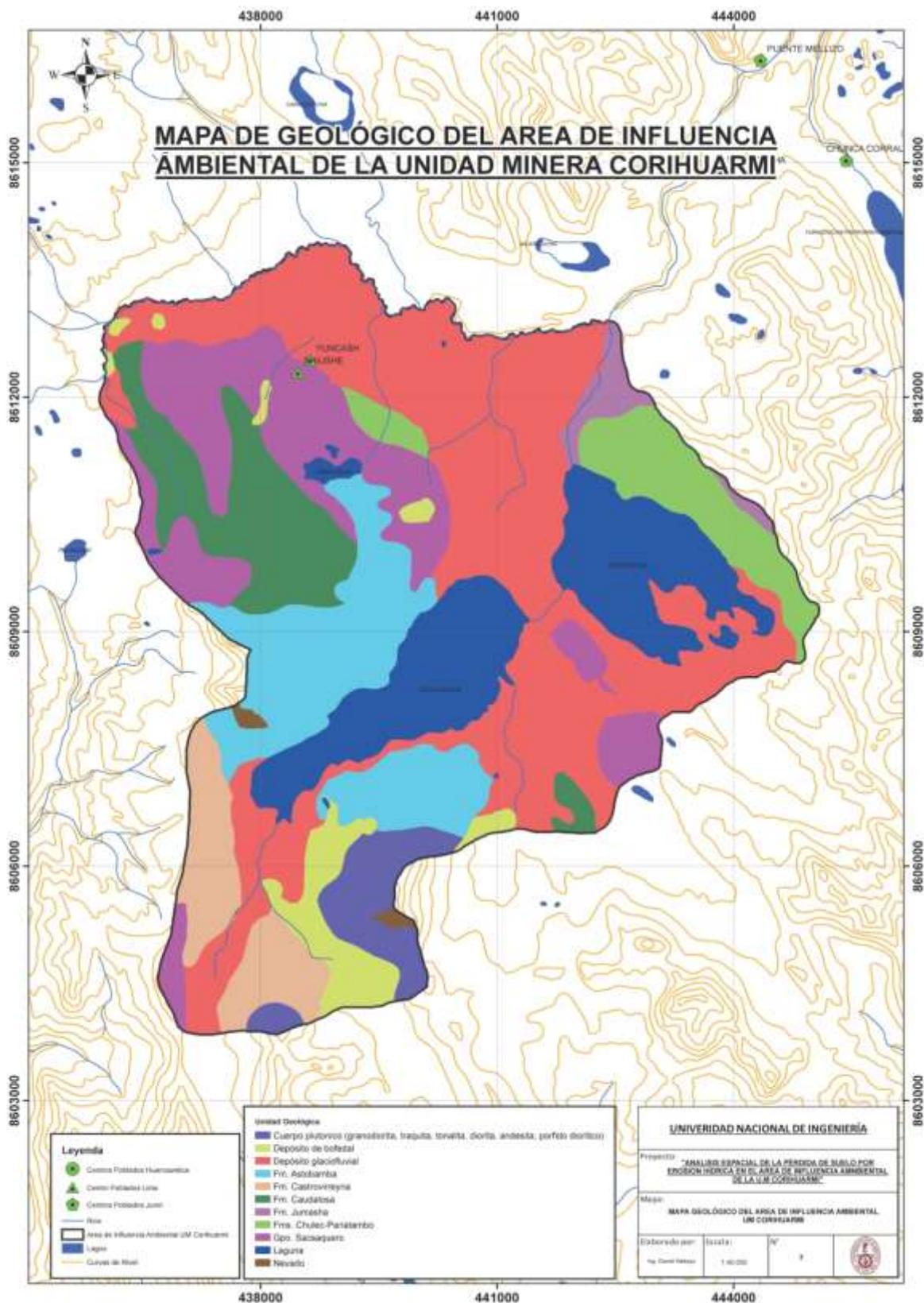


Figura 4.7 Mapa del Geológico del Área de Influencia Ambiental de la Unidad Minera Corihuarmi.

Fuente: Elaboración propia.

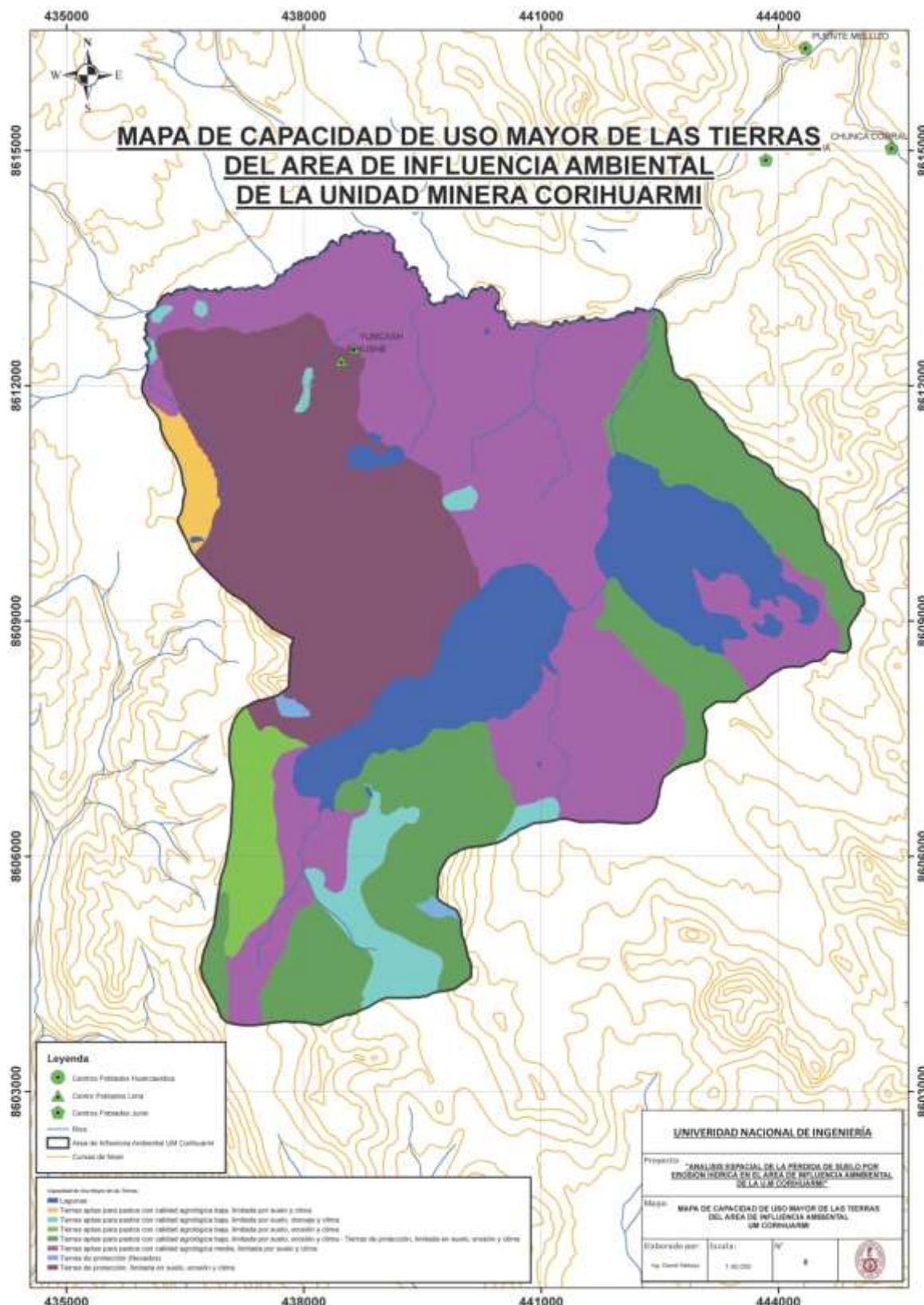
#### 4.1.8. Mapa de Capacidad de Uso Mayor de las Tierras

El mapa de capacidad de uso mayor de las tierras se realizó con la metodología descrita anteriormente. La aptitud de suelo que predomina en el área de estudio es de tipo P2sc con un área de 1223.9 hectáreas que representa el 35.8% de la superficie, son tierras aptas para pastos con calidad agrologica media los cuales se encuentran muy limitadas por la altitud de la zona de estudio por encima de los 4500 msnm. Las tierras tipo Xsec corresponden a tierras de protección y son las tierras en segundo lugar de extensión con un área de 1223.9 hectáreas representa el 22.6% de la superficie total. La aptitud en tercer orden de extensión significativa lo representa los suelos tipo P3sec-Xsec que son tierras aptas para pastos con calidad agrológica baja y también con aptitud de tierras de protección, tiene un área de 1031.9 hectáreas que representa el 19.1% de la superficie del área de influencia ambiental de la UM Corihuarmi.

**Tabla 4.11 Resultado de Mapa de Capacidad de Uso Mayor de las Tierras**

APTITUD	CUM	AREA (Ha)	PORCENTAJE RESPECTO AL TOTAL (%)
Lagunas	Xw	757.6	14.0
Tierras aptas para pastos con calidad agrologica media, limitada por suelo y clima	P2sc	1938.4	35.8
Tierras aptas para pastos con calidad agrologica baja, limitada por suelo, drenaje y clima	P3swc	205.2	3.8
Tierras de protección (Nevados)	Xnvd	15.8	0.3
Tierras aptas para pastos con calidad agrologica baja, limitada por suelo y clima	P3sc	65.5	1.2
Tierras aptas para pastos con calidad agrologica baja, limitada por suelo, erosión y clima - Tierras de protección, limitada en suelo, erosión y clima	P3sec-Xsec	1031.9	19.1
Tierras aptas para pastos con calidad agrologica baja, limitada por suelo, erosión y clima	P3sec	172.0	3.2
Tierras de protección, limitada en suelo, erosión y clima	Xsec	1223.9	22.6

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 4.8** Mapa de Capacidad de Uso Mayor de las Tierras del Área de Influencia Ambiental de la Unidad Minera Corihuarmi.

**Fuente:** Elaboración propia.

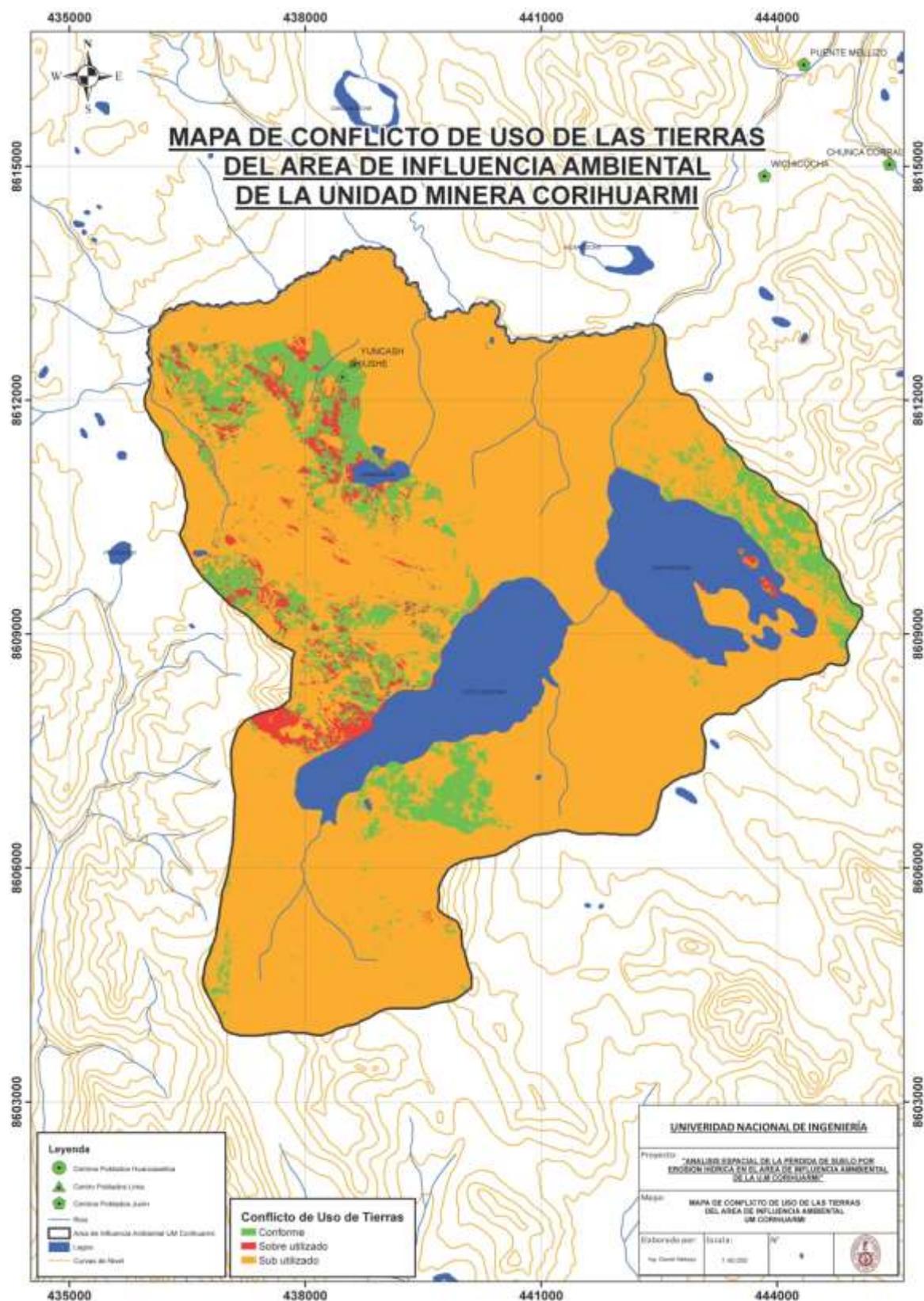
#### 4.1.9. Mapa de Conflicto de Uso de las Tierras

El mapa de conflicto de uso de las tierras se obtuvo mediante la metodología antes citada, para ello se superpuso el mapa de cobertura de suelos (uso actual de suelos) y el mapa de capacidad de uso mayor de las tierras (uso potencial del suelo), como se puede apreciar en la tabla 34 y figura 15, se tiene que existe un área de 3962.0 hectáreas (85.0% de la superficie del área de estudio) que se encuentra sub utilizada, es decir que su uso actual es menor al uso que se le puede dar al suelo, esto es representativo toda vez que si bien el suelo tiene aptitud agrologica de media a alta es la altitud de la zona superior a los 4500 msnm lo que limita el desarrollo vegetativo de la mayoría de plantaciones comerciales. Se presenta un 11.3% de la superficie (527.7 hectáreas) que se encuentran conforme a su uso y se tiene solo un 3.7% de la superficie (171.1 hectáreas) que se encuentra sobre utilizado.

**Tabla 4.12 Resultado de Mapa de Conflicto de Uso de las Tierras**

<b>CALIFICACION</b>	<b>AREA (Ha)</b>	<b>PORCENTAJE RESPECTO AL TOTAL (%)</b>
Sobre utilizado	173.1	3.7
Conforme	527.7	11.3
Sub utilizado	3962.0	85.0

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 4.9** Mapa de Conflicto de Uso Mayor de las Tierras del Área de Influencia Ambiental de la Unidad Minera Corihuarmi.

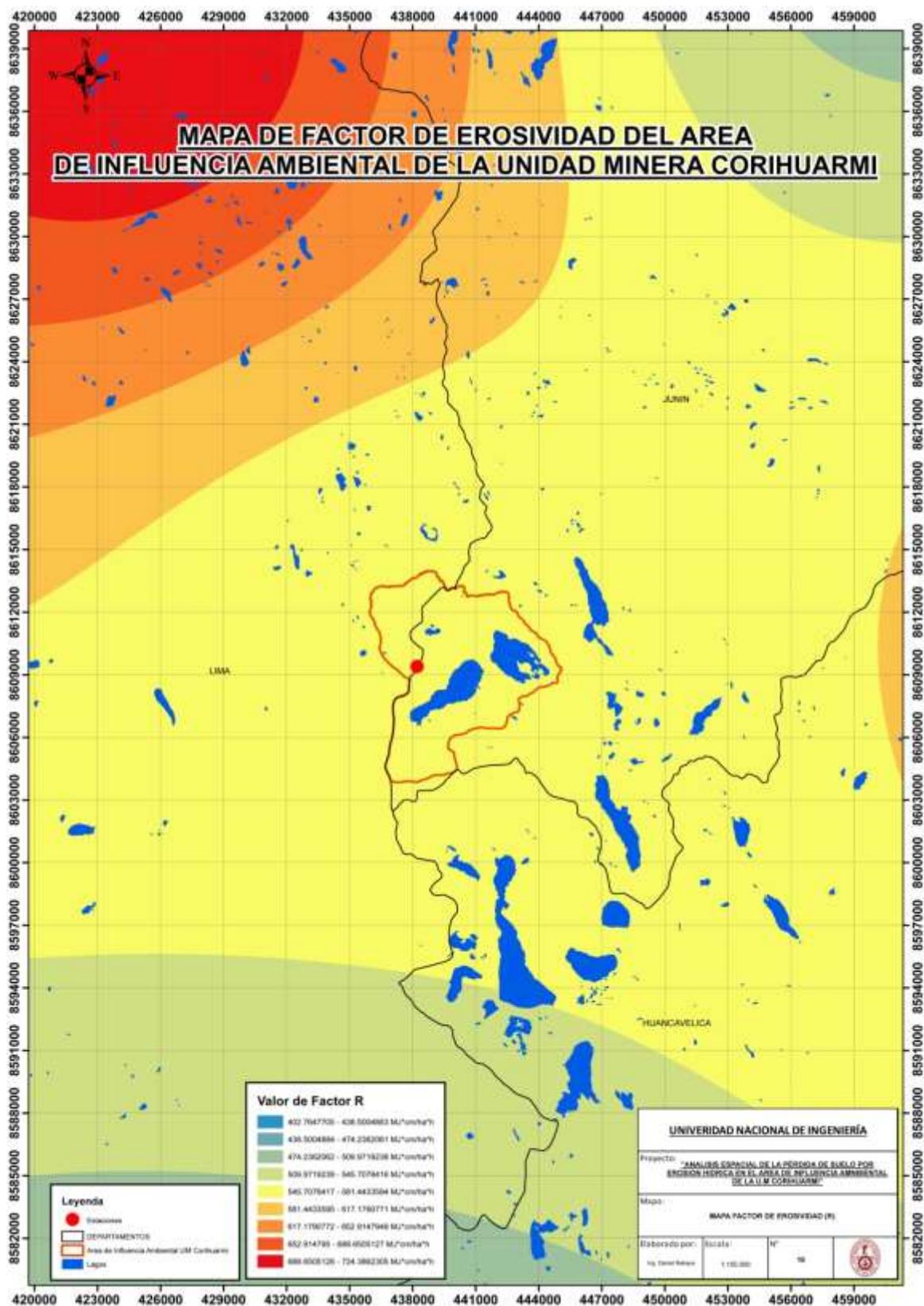
**Fuente:** Elaboración propia.

## **4.2. FACTORES DEL MODELO U.S.L.E.**

### **4.2.1. Mapa de Factor de Erosividad (R)**

El mapa de factor de erosividad se obtuvo siguiendo la metodología descrita, para ello se empleó los valores de precipitación multianual luego de control de calidad de datos, estos fueron digitalizados en formato raster y mediante la ecuación propuesta por Morgan (1977) se reclasifico el resultado y se transformó a formato vectorial para la obtención del mapa.

El factor de erosividad depende únicamente de la precipitación, es así que el área de influencia ambiental de la unidad minera Corihuarmi presenta precipitación media anual entre 775 a 800 mm/año, estos valores ingresados a la ecuación de Morgan se obtiene que la zona de estudio se ubica en el rango de erosividad entre 545 a 581 MJ\*cm/ha\*h.



**Figura 4.10** Mapa de Factor R del Área de Influencia Ambiental de la Unidad Minera Corihuarmi.

**Fuente:** Elaboración propia.

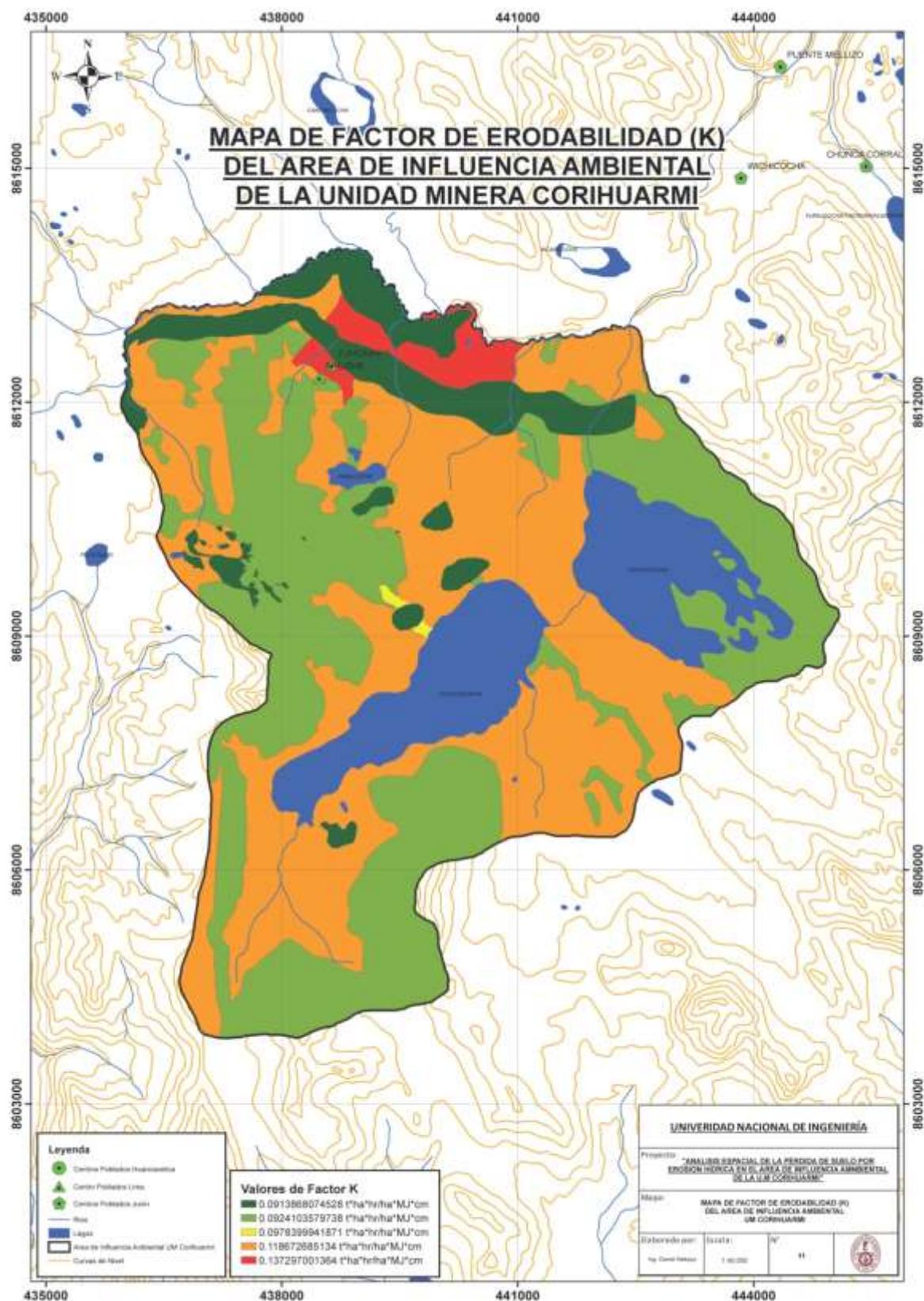
#### 4.2.2. Mapa de Factor de Erodabilidad (K)

El mapa de factor de erodabilidad se obtuvo a partir de la información de los suelos (textura, materia orgánica, estructura, permeabilidad), seguidamente aplicando la metodología descrita anteriormente se calculo el factor K de cada unidad de suelo.

**Tabla 4.13 Resultado de Mapa de Erodabilidad (Factor K)**

<b>VALOR FACTOR K (Tn*ha*h/MJ*ha*cm)</b>	<b>AREA (Ha)</b>	<b>PORCENTAJE RESPECTO AL TOTAL (%)</b>
0.0913868074528	474.9	10.2
0.0924103579738	1927.9	41.3
0.137297001364	132.4	2.8
0.118672685134	2119.3	45.5
0.0978399941871	8.3	0.2

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 4.11** Mapa de Factor K del Área de Influencia Ambiental de la Unidad Minera Corihuarmi.

**Fuente:** Elaboración propia.

### 4.2.3. Mapa de Factor Topográfico (Factor LS)

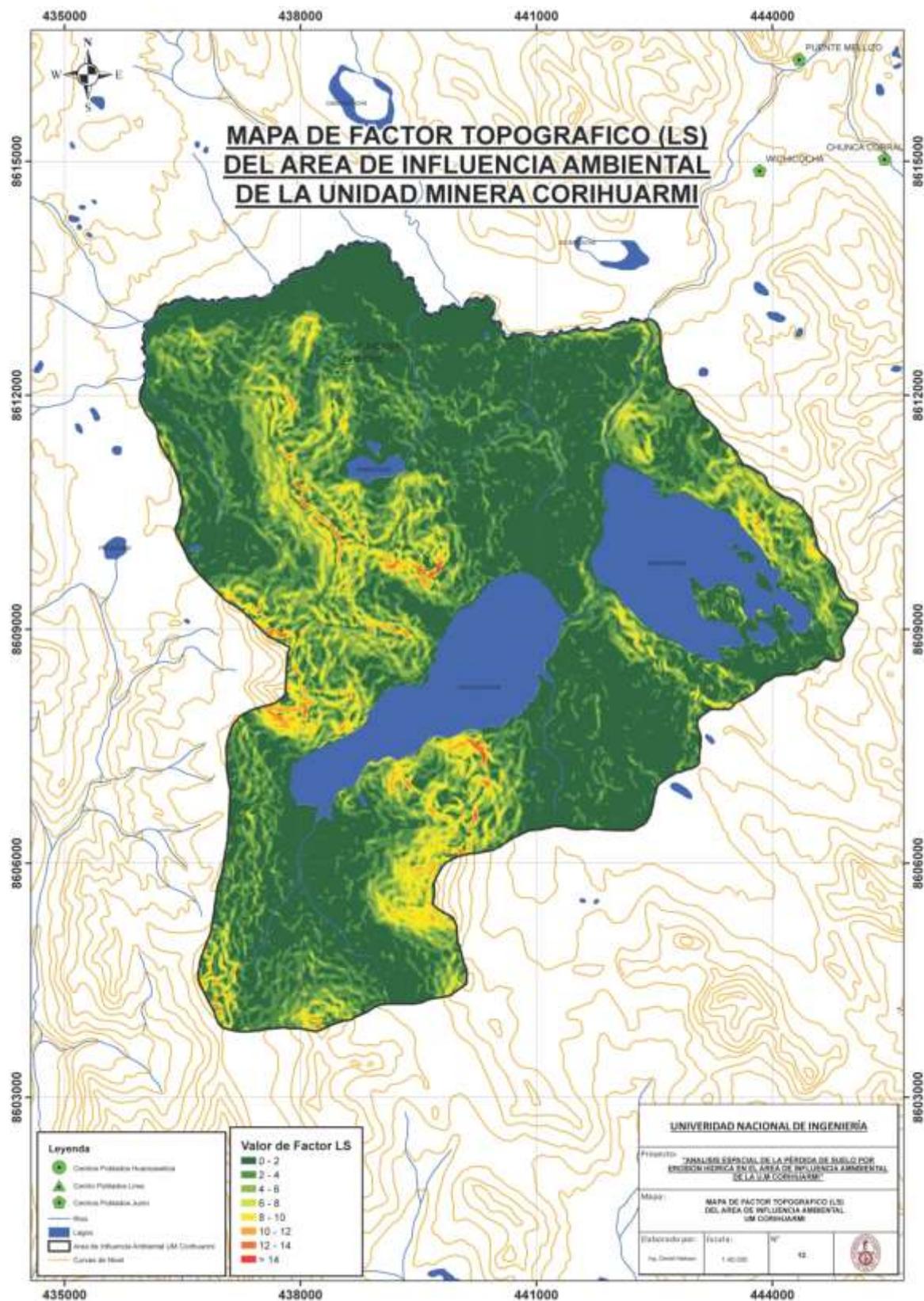
El mapa de factor topográfico LS se obtuvo mediante la multiplicación de los subfactores L y S, que se calcularon de acuerdo a la metodología mencionada.

El área de estudio presenta un 88.94% de la superficie con valores menores a 6, ocupando una extensión de 4146.3 hectáreas, esto quiere decir que predominan en su mayoría pendientes suaves a moderadas con cambios graduales de altitud. Los valores entre 6 a 10 ocupan un área de 466.3 hectáreas que representa el 10.0% de la superficie y estos corresponden a pendientes moderadas con cambios de altitud más pronunciados. Los valores superiores a 10 abarcan un área de 49.2 hectáreas que corresponde al 1.06% de la superficie, estos corresponden a pendientes altas con cambios abruptos de cota.

**Tabla 4.14 Resultado de Mapa de Factor Topográfico LS**

RANGO	AREA (Ha)	PORCENTAJE RESPECTO AL TOTAL (%)
0 – 2	2350.5	50.42
2 – 4	1138.4	24.42
4 – 6	657.3	14.10
6 – 8	334.2	7.17
8 – 10	132.1	2.83
10 – 12	37.8	0.81
12 – 14	10.0	0.22
> 14	1.3	0.03

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 4.12** Mapa de Factor LS del Área de Influencia Ambiental de la Unidad Minera Corihuarmi.

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.2.4. Mapa de Factor de Cobertura (Factor C)

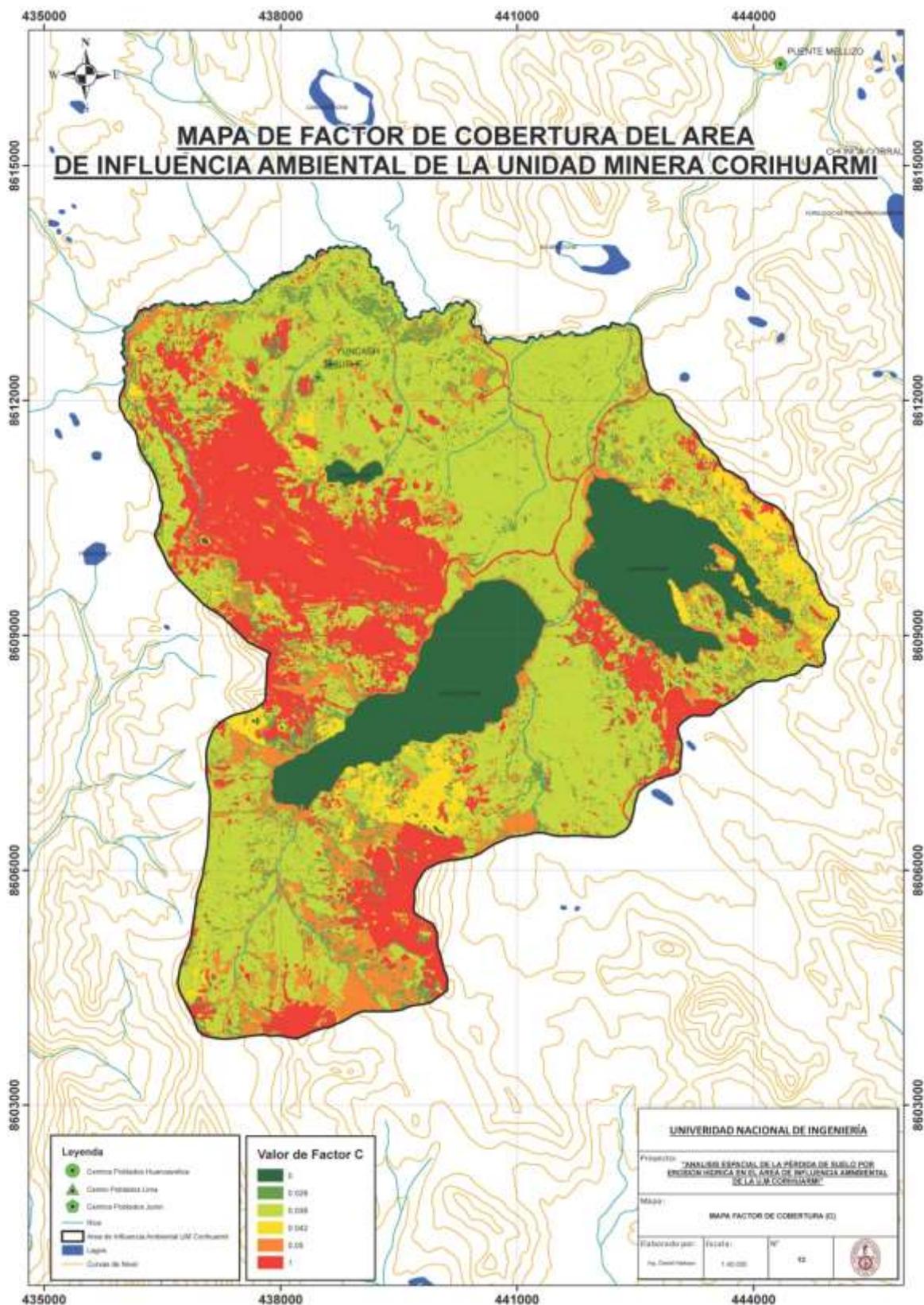
El mapa de Factor C se obtuvo a partir del mapa de cobertura del suelo y siguiendo la metodología citada anteriormente donde se otorga un valor determinado previamente a cada tipo de cobertura de suelo.

Los valores de factor de cobertura van desde el cero (0) a uno (1), donde el valor 0 representa a las superficies donde no puede ocurrir pérdida alguna de suelo (cuerpos de agua) y los valores 1 corresponde a las superficies sin cobertura por lo que tienen la máxima capacidad de erosionarse. En el área de influencia ambiental de la unidad minera Corihuarmi prevalecen los valores de 0.038 los cuales corresponden a la cobertura de pajonal cespitoso el cual abarca un área de 2355.3 hectáreas que representa un 43.5% de la superficie, en el siguiente orden de extensión se encuentran los valores de 1 que corresponden a suelos desnudos los cuales abarcan un área de 1119.3 hectáreas y representa el 20.7% de la superficie de estudio.

**Tabla 4.15 Resultado de Mapa de Factor de Cobertura C**

VALOR	AREA (Ha)	PORCENTAJE RESPECTO AL TOTAL (%)
0	687.6	12.7
0.028	468.6	8.7
0.038	2355.3	43.5
0.042	327.7	6.1
0.050	456.3	8.4
1	1119.3	20.7

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 4.13** Mapa de Factor C del Área de Influencia Ambiental de la Unidad Minera Corihuarmi.

**Fuente:** Elaboración propia.

### 4.3. ESTIMACION DE LA EROSION HIDRICA DEL AREA DE INFLUENCIA AMBIENTAL DE LA UM CORIHUARMI

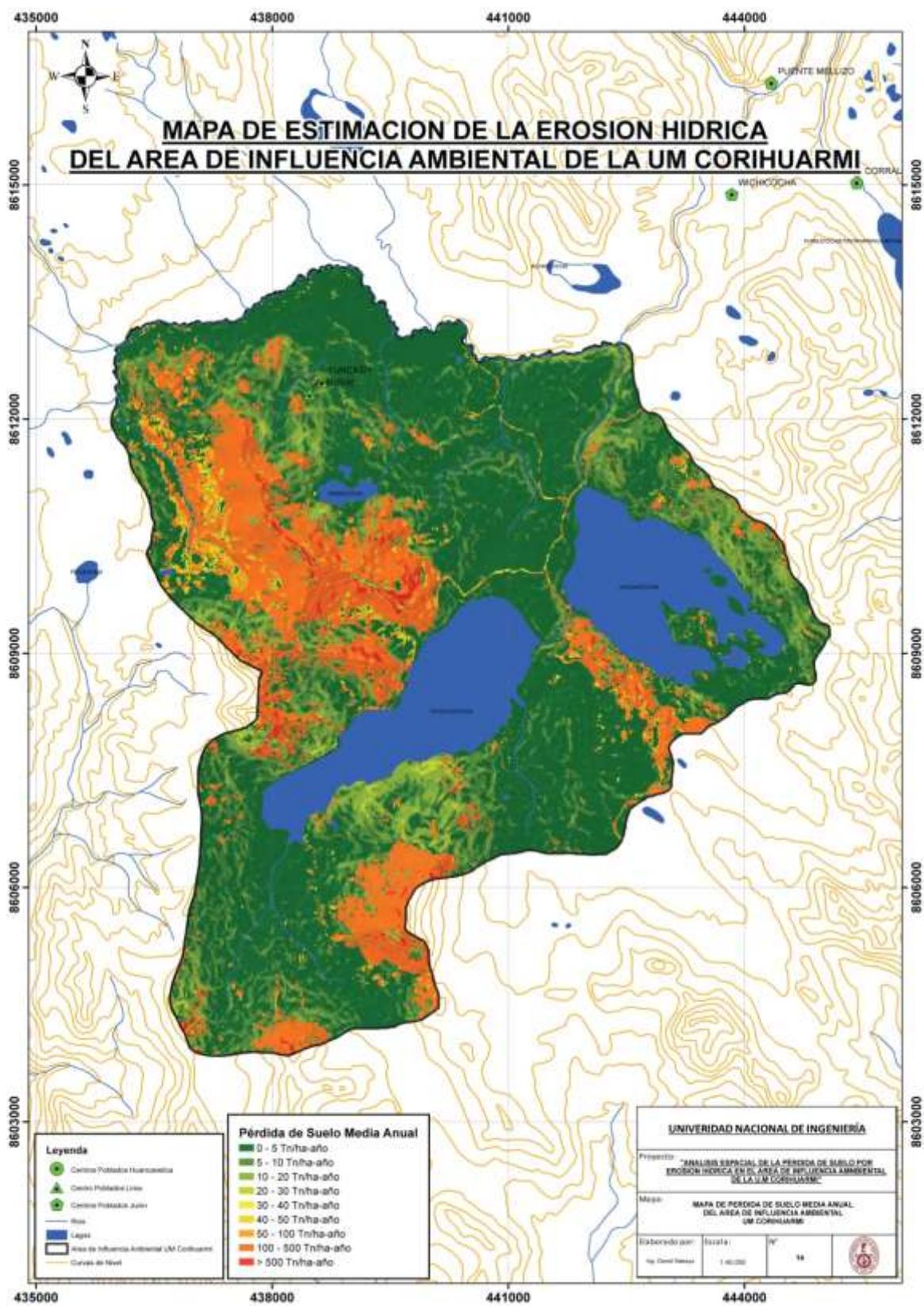
La estimación de la pérdida de suelo por erosión hídrica se calculo aplicando la metodología descrita, es decir mediante la multiplicación del factor R, factor K, factor LS, factor C y factor P, los cuales componen la Ecuación Universal de Perdida de Suelos; el procesamiento de los raster se llevo a cabo mediante el software ArcGIS y se clasifico en rangos según la tabla 38.

Se tiene que el 67% de la superficie que corresponde a 3112 hectáreas presenta un pérdida de suelo menor a 10 Tn/ha\*año los cuales corresponden a superficies con pendiente ligera y con cobertura. Los valores de pérdida de suelo entre 10 a 50 Tn/ha\*año corresponden al 11.9% con un área de 555 hectáreas corresponden a suelos con pendiente media y con cobertura ligera. Se tiene que el 21.1% de la superficie que corresponde a 981.2 hectáreas, estos suelos presentan una pérdida de suelo de alta a muy alta, influenciado por la pendiente pronunciada y escasas de cobertura que impida la erosión del suelo.

**Tabla 4.16 Resultado de Estimación de Erosión Hídrica**

<b>RANGO (Tn/ha*año)</b>	<b>AREA (Ha)</b>	<b>PORCENTAJE RESPECTO AL TOTAL (%)</b>
0 - 5	2250.6	48.4
5 – 10	861.4	18.5
10 – 20	438.9	9.4
20 – 30	59.7	1.3
30 – 40	29.1	0.6
40 – 50	27.3	0.6
50 – 100	126.6	2.7
100 – 500	815.0	17.5
> 500	39.5	0.9

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 4.14** Mapa de Estimación de Erosión Hídrica del Área de Influencia Ambiental de la Unidad Minera Corihuarmi.

**Fuente:** Elaboración propia.

#### 4.4. GRADO DE LA EROSION HIDRICA DEL AREA DE INFLUENCIA AMBIENTAL DE LA UM CORIHUARMI

Con los datos obtenidos de la estimación de la erosión hídrica, corresponde clasificar los resultados en los rangos según la categoría de la FAO para determinar cuál es el grado de erosión hídrica en la zona de estudio.

Como se puede visualizar en la tabla 39 y figura 21, se tiene que el 67% de la superficie de estudio que corresponde a 3122 hectáreas presenta un grado de erosión de ligera a nula, estas zonas corresponden a superficies con pendientes suaves y que presentan vegetación cubriendo el suelo lo cual minimiza la erosión hídrica.

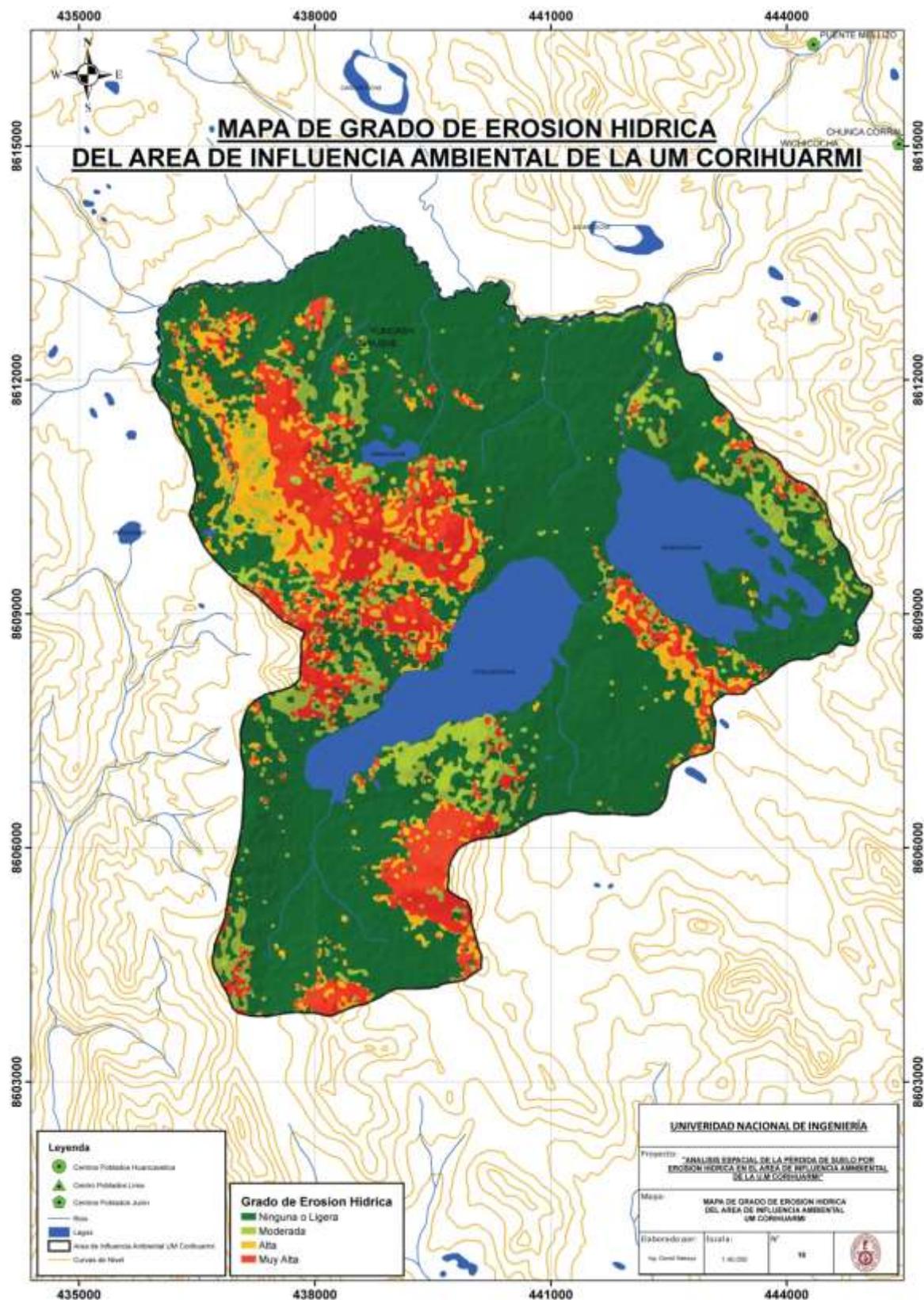
En cuanto a las zonas que presentan erosión hídrica de nivel moderado se encuentra el 11.9% de la zona de estudio, con un área de 555 hectáreas, esta zona está influenciada por superficies de pendiente media y con cobertura vegetal escasa o dispersa, la cual genera una mayor susceptibilidad a la pérdida de suelo.

Se tiene que el 8.3% de la zona de estudio, equivalente a un área de 386.8 hectáreas, presenta un grado de erosión hídrica de nivel alto, lo cual está influenciada principalmente por las pendientes pronunciadas. Por otro lado, se presenta en el 12.8% de la zona de estudio (594.4 hectáreas) un grado de erosión hídrica muy alta, la cual corresponde a zonas de pendiente muy pronunciada y sin vegetación (suelo desnudo).

**Tabla 4.17 Resultado de Estimación de Erosión Hídrica**

GRADO DE EROSION	RANGO (Tn/ha*año)	AREA (Ha)	PORCENTAJE RESPECTO AL TOTAL (%)
Ninguna o Ligera	< 10	3122	67
Moderada	10 – 50	555	11.9
Alta	50 – 200	386.8	8.3
Muy Alta	> 200	594.4	12.8

**Fuente:** Elaboración propia.



**Figura 4.15** Mapa de Grado de Erosión Hídrica del Área de Influencia Ambiental de la Unidad Minera Corihuarmi.

**Fuente:** Elaboración propia.

## CONCLUSIONES

- a) Las herramientas de análisis y procesamiento de imágenes satelitales, como el modelo de elevación digital del satélite Alos Palsar y las imágenes multiespectrales del satélite Sentinel-2, permitieron delimitar y obtener las propiedades morfológicas de la zona de estudio; las cuales se llevaron a cabo con los software ENVI y ArcGIS y en función de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE) se obtuvo el mapa de pendientes a partir del cual se calculó el factor topográfico LS y a partir del mapa de cobertura del suelo se calculó el factor de cobertura C.
- b) Se realizó la estimación de la pérdida de suelo media anual del área de influencia ambiental de la unidad minera Corihuarmi aplicando la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos (USLE); para ello se empleó los resultados del factor R (erosividad), factor K (erodabilidad), factor LS (topográfico), factor C (cobertura) y factor P (prácticas de manejo de conservación de suelos), dando como resultado la cuantificación de la pérdida de suelo media anual del área de estudio.
- c) La estimación de la pérdida de suelo media anual del área de influencia ambiental de la UM Corihuarmi se clasificó según el criterio de la F.A.O para determinar el grado de erosión hídrica. Se identificó un área de 3122 hectáreas, que representa el 67% de la superficie, con una pérdida de suelo de ligera o nula (0 a 10 Tn/ha\*año), esta superficie corresponde a una superficie con pendiente suave y con presencia de cobertura vegetal principalmente pajonal cespitoso. Se identificó un área de 555 hectáreas, que representa el 11.9% de la superficie, con una pérdida de suelo moderada (10 a 50 Tn/ha\*año) los cuales se ubican en zonas con pendiente moderada y vegetación dispersa.

La superficie con riesgo alto de pérdida de suelo por erosión hídrica tiene una extensión de 86.8 hectáreas, que corresponde al 8.3% de la superficie; la superficie que tiene riesgo erosivo muy alto es de 594.4 hectáreas, que corresponde al 12.8% de la superficie. Las zonas de riesgo alto y muy alto corresponden a áreas con pendiente alta a muy alta y con escasa a nula vegetación por lo que el suelo es muy susceptible a la erosión por arrastre laminar.

- d) El área de influencia ambiental de la UM Corihuarmi presenta un riesgo erosivo promedio de ligero a nulo ya que las 2/3 partes de la superficie presentan pérdidas de suelo entre 0 a 10

Tn/ha\*año, sin embargo tiene potencial de pérdida de suelos de moderado a muy alto en áreas donde la pendiente es pronunciada y/o presenta escasas de cobertura vegetal, de la figura 4.4 se puede notar que el área más extensa de pérdidas de suelo superiores a 50 Tn/ha\*año se ubican en el lado occidental de la zona de estudio, es decir donde se ubican los afloramientos rocosos con pendientes pronunciadas y muy escasa vegetación los cuales son muy susceptibles al arrastre de sedimentos por las laderas hasta los cauces del río, estos sedimentos llegan a depositarse con el tiempo en la zona más baja (altitudinalmente) del cauce donde la turbulencia es baja el cual es un evento natural. De los resultados obtenidos, la susceptibilidad a la pérdida de suelo por erosión hídrica está influenciada por la pendiente y por la cobertura vegetal principalmente, por encima de la misma precipitación anual.

- e) El 67% del área de estudio presenta riesgo erosivo de ligero a nulo, por lo que en esta zona no corresponde aplicar ningún control para prevenir la erosión hídrica, estos suelos son usados principalmente para el pastoreo de ganado dado que por la altitud de la zona superior a los 4500 msnm no es posible establecer cultivos comerciales.

## RECOMENDACIONES

- a) Implementar la Oficina Regional de Ordenamiento Territorial en la región Junín, en base a la resolución ministerial 026-2012-MINAM que establece Lineamientos para el Ordenamiento Territorial, donde se procese y administre toda información base de las cuencas de la región, de esta manera poder monitorear e incentivar la investigación en zonas susceptibles a la erosión hídrica, las cuales deben ser la prioridad del gobierno local para preservar los suelos agrícolas de la región.
- b) Incentivar el uso de herramientas de información geográfica y teledetección, mediante una plataforma en línea donde se pueda descargar y cargar información científica, lo cual dará como resultado tener un sistema real actualizado de zonas vulnerables para enfatizar y priorizar los trabajos de conservación de suelos.
- c) En las zonas con riesgo moderado abarca solo un 11.9% de la zona de estudio, que corresponde a áreas con pendiente de ligera a moderada y con vegetación dispersa, estas zonas se recomienda la revegetación de laderas con especies endémicas de la zona, las cuales protegerán el suelo desnudo y establecerán nuevas zonas de pastoreo.
- d) En las zonas de riesgo alto y muy alto de pérdida de suelo, corresponden a laderas con pendiente alta y de suelos sin cobertura vegetal, aquí se propone establecer diques para el control de cárcavas y acequias de infiltración para reducir la escorrentía superficial y por consiguiente el lavado del suelo; en estos suelos es muy difícil establecer vegetación por la altitud en la que se encuentran por lo que los trabajos deben enfocarse a interceptar la escorrentía superficial la cual es el principal medio de transporte de las partículas de suelo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Aguilar, H., Mora, R., & Vargas, C. (2014). Metodología para la corrección atmosférica de imágenes ASTER, RAPIDEYE, SPOT 2 y SENTINEL 2 con el módulo FLAASH del software ENVI. *Geográfica de América Central* 53, 39-59.
- Almorox, J., De Antonio, R., Saa Requejo, A., Diaz, M., & Gascó, J. 1994. *Métodos de estimación de la erosión hídrica*. Madrid, España.
- Alvarez, A. (2019). “Análisis temporal del nivel de la erosión hídrica en la subcuenca del río Ichu 2013 y 2017”. Universidad Nacional de Huancavelica. Huancavelica, Perú.
- Arroyo, L. & Jaramillo, J. 2019. “Validación de los modelos RUSLE, WEQ y Clavos de erosión en la pérdida de suelo de la microcuenca La Merced, Carchi”. Universidad Técnica del Norte. Ibarra, Ecuador.
- Barral, A. Prados, M. & Hurtado, C., 2019. Evolución de la erosión estimada (USLE) y procesos de naturbanización en el entorno de los parques nacionales de Doñana y Sierra Nevada (España). *Revistas de la Universidad de Granada, Cuadernos Geográficos* 59(1), 196-223.
- Buitrago, J. Y. 2011. *Desarrollo de un modelo de visualización de erosión hídrica en el municipio de Samacá (Boyacá)*. Bogotá.
- Cabrejos, M. (2016). “Modelamiento geoespacial en la determinación del riesgo, vulnerabilidad y de la cuantificación de la erosión hídrica en la microcuenca del río Auten – Amazonas”. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Castillo, D. & Rojas, A. 2019. “Erosión hídrica del suelo como efecto de la precipitación pluvial del fenómeno del niño costero en la subcuenca Huancay, Chicama 2017”. Universidad Cesar Vallejo. Trujillo, Perú.
- Cayo, L. (2001). “Modelamiento Ambiental para Análisis de Susceptibilidad Erosiva en la cuenca media y alta del Río Cañete y determinación del Mapa De Erosión”. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Ceballos, E. & Toro, L., 2012. Evaluación de la susceptibilidad a la erosión por el cambio de cobertura debido a la minería, en el Municipio de Anorí, Antioquia, Colombia. *Universidad Nacional de Colombia, Gestión y Medio Ambiente*, vol. 15, núm. 3, diciembre, 2012, pp 51-63
- Cisneros, J., Cholaky, C., Cantero, G., Gonzáles, J., Reynero, M., Diez, A. & Bergesio, L. 2012. *Erosión Hídrica: Principios y técnicas de manejo*. Río Cuarto, Argentina.

- Condori, V. (2018). “Pérdida del suelo por erosión hídrica en la comunidad de San Francisco de Chañajari Moho – Puno”. Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.
- Cooley, T., Anderson, G., Felde, G., Hoke, M., Ratkowski, A. J., Chetwynd, Gardner, J.; Adler-Golden, S.; Matthew, M.; Berk, A.; Bernstein, L.; Acharya, P.; Miller, D. & Lewis, P. 2002. Flaash, a Modtran4-based atmospheric correction algorithm, its application and validation. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1414-1418.
- Cuartero, A., & Felicísimo, A. (2003). Rectificación y ortorectificación de imágenes de satélite: Análisis comparativo y discusión. *Ciencia y tecnología de la información geográfica* 3, 45-57.
- Dourojeanni, Alex. 1967. La ecuación universal de pérdida de suelo y su aplicación al planeamiento del uso de las tierras agrícolas – Estudio del factor de lluvias en el Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú.
- Dufilho, A., Frugoni, M., Macchi, P., & Toth, a. 2011. Estimación de erosión hídrica de suelos para plan de manejo del campo forestal Aguas Frías, Patagonia Argentina. *Boletín geográfico - Universidad Nacional del Comahue, Neuquén*. ISSN 0323-1735.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2015. Estado mundial del recurso suelo. Disponible en <http://www.fao.org/3/a-i5126s.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 1985. Evaluación de tierras para la agricultura de secano. Disponible en [http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci\\_nlinks&ref=247281&pid=S0002-192X200600030000500005&lng=es](http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_nlinks&ref=247281&pid=S0002-192X200600030000500005&lng=es)
- Fournier, Frédéric. 1960. Climat et érosion – la relation entre l'érosion du sol par l'eau et les précipitations atmosphériques. Presses universitaires de France. Paris.
- Gisbert, J., Ibañez, S., & Moreno, H. 2012. El factor K de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE). Valencia, España.
- Gonzales, M. 1991. La ecuación Universal de Pérdidas de Suelo. Pasado, Presente y Futuro. Madrid, España.
- Gonzales, E. y Trivelli, C. 1999. Andenes y Desarrollo Sustentable. Disponible en: [https://books.google.com.pe/books?id=RennNHYFSIsC&pg=PA16&lpg=PA16&dq=andenes+y+desarrollo+sustentable+-+condesan+pdf&source=bl&ots=JOKXksfAdC&sig=llPWUvsfeAenfc-f5VsbqVBfpxw&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjO-\\_mX0-TVAhXD5iYKHVRTAKUQ6AEIQzAF#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=RennNHYFSIsC&pg=PA16&lpg=PA16&dq=andenes+y+desarrollo+sustentable+-+condesan+pdf&source=bl&ots=JOKXksfAdC&sig=llPWUvsfeAenfc-f5VsbqVBfpxw&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjO-_mX0-TVAhXD5iYKHVRTAKUQ6AEIQzAF#v=onepage&q&f=false)

- Gómez, Francisco. 1992. Los sistemas de información geográfica: Su importancia y utilidad en los estudios medioambientales. Sociedad de estudios Vascos. España. 455-465 p.
- Grupo TRAGSA y Ministerio de Medio Ambiente, 1998. Restauración hidrológica forestal de cuencas y control de la erosión. Ed. Mundi-prensa. España. 945 p.
- Gutiérrez, V. & Pinzón, P., 2017. Evaluación de la erosión hídrica y escorrentía en tres sistemas productivos para un manejo sostenible del suelo en la vereda Santa Marta, Cabrera, Cundinamarca. UNIMINUTO, Bogotá, Colombia.
- Hadjimitsis, D. G., Clayton, C. R., & Hope, V. S. (2004). An assessment of the effectiveness of atmospheric correction algorithms through the remote sensing of some reservoirs. *International Journal of Remote Sensing* 25, 2651-3674.
- Hudson, N. (1981). Soil conservation, Ithaca, New York, Cornell University Press, 324 p. Instituto Caribeño de Recursos Naturales. 2008, Cambio climático y reducción de riesgos de desastres. Reporte técnico N° 386. Disponible en: <http://www.canari.org/documents/TechDocno386-Spn.pdf>
- ITT (International Telephone And Telegraph). 2009. Atmospheric Correction Module: QUAC and FLAASH User's Guide. United States of America.
- Kirkby, M. y Morgan, R. 1984. Erosión de suelos. Ed. Limusa. Mexico. 375 p.
- Laura, L. 2010. "Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la cuenca del río Juramento-Salta". Universidad Nacional de Salta. Salta, Argentina.
- Lopez, R. 2002. Degradación del suelo. Disponible en: <http://www.serbi.ula.ve/serbiula/libros-electronicos/Libros/degradacion/pfd/librocompleto.pdf>
- Mannaerts, C. 1999. Factores de erosión, Curso de postgrado en levantamiento de recursos hídricos. Cochabamba, Bolivia.
- Mancilla, G. 2008. Uso de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE) en el campo forestal. Santiago, Chile.
- Mesen Leal, R. 2009. Consideraciones y conclusiones al aplicar el modelo de erosión RUSLE en algunas cuencas de la fila costeña, Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Mintegui A., J. y F. López Unzu. 1990. La ordenación agrohidrológica en la planificación. I. Servicio central de publicaciones del Gobierno Vasco. Madrid, España.
- Morales, M. (2014). "Estimación de la erosión laminar y sedimentación con modelos hidrológicos para la selección de prácticas de conservación de suelos y cambios de

cobertura en la Unidad Hidrográfica de Aquin/Saint-Louis Du Sud – Haití”. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica.

- Moreno, H. (2017). “Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando el método USLE y haciendo uso del SIG en la subcuenca del río Olleros-Distrito de Olleros Periodo 2015”. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Huaraz, Perú.
- Nájera, O., Bojórquez, J., Flores, F., Murray, R. & Gonzáles, A., (2016). Riesgo de erosión hídrica y estimación de pérdida de suelo en países geomorfológicos volcánicos en México. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, Cuba. Cultivos Tropicales, 2016, vol. 37, no. 2, pp. 45-55.
- Nakaya, D. 2017. “Estimación de la pérdida de suelo media anual mediante el modelo R.U.S.L.E., en la cuenca del río Tingo – Cajamarca”. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.
- Olaya, V. (2011), “Sistemas de Información Geográfica”. Versión 1.0. Marzo 2011. Disponible en: [ftp://ftp.ehu.es/cidira/profs/iipbaiza/Libro\\_SIG.pdf](ftp://ftp.ehu.es/cidira/profs/iipbaiza/Libro_SIG.pdf)
- Olaya, V. (2014). “Sistemas de información geográfica”. Madrid, España.
- Perales, A. 2019. “Pérdida de suelo por erosión hídrica aplicando el modelo RUSLE en la cuenca del río Supte Grande, Provincia Leoncio Prado – Huánuco”. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo Maria – Perú.
- Portugués, D. (2014). Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la cuenca del río Siguas utilizando geoinformática. Universidad Nacional Agraria La Molina, Anales Científicos, 76 (2): 324-329 (2015).
- Puerta, C. 2018. “Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica usando la ecuación universal de pérdida de suelo (U.S.L.E.) en la subcuenca Chinata, Amazonas, 2018”. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Chachapoyas, Perú.
- Ramirez, F. A., Hincapie, E., & Sadeghian, S. (2009). Erodabilidad de los Suelos de la Zona Central Cafetera del Departamento de Caldas. Cenicafe, Ed, 60(1), 58-71 p.
- Ramos Taipe, C. L. 2001. Modelamiento ambiental para análisis de susceptibilidad erosiva en la cuenca media y alta del río cañete y determinación del mapa de erosión. Lima, Perú.
- Renard, K., Foster, G., Weesies, D., Mccool, D. & Yoder, D. (1997). Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Agriculture Handbook 703. Washington, D.C. 384 p.
- Redon, S. 2009. Precipitation Estimation using NEXRAD Over A Sparse Rain Gauge

Network. USGS. United States of America.

- Reynel, C. & León, J. 1990. Árboles y arbustos andinos para agroforestería y conservación de suelos. FAO/HOLANDA/INFOR. Lima. 500 pp.
- MINEM. 2014. Segunda Modificatoria del Estudio de Impacto Ambiental de la Unidad Minera Corihuarmi. R.D. N° 617-2014-EM/DGAAM.
- Saavedra, R. 2019. “Protocolo para la cuantificación de pérdida de suelo producto de la erosividad de la precipitación en la cuenca de Rapel”. Universidad de Chile. Santiago de Chile, Chile.
- Sánchez, Reinaldo. 2015. T-Student, Usos y abusos. Disponible en [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-21982015000100009](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-21982015000100009)
- SEMARNAT (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2007. Manual de obras y prácticas para la protección, restauración y conservación de suelos forestales. Disponible en <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/20/1310Manual%20de%20Conservacion%20de%20Suelos%20.pdf>
- SENACE (Servicio Nacional de Certificación Ambiental para las Inversiones Sostenibles). 2009. Reglamento de clasificación de tierras por su capacidad de uso mayor. Disponible en <https://www.senace.gob.pe/download/senacenormativa/NAT-3-7-01-DS-017-2009-AG.pdf>
- Solano, R. (2016). “Estimación de la pérdida de suelos por erosión hídrica en la subcuenca del rio Shullcas 2000-2013, Huancayo”. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo, Perú.
- USDA (United States Department of Agriculture). 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). Disponible en [https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/64080530/RUSLE/AH\\_703.pdf](https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/64080530/RUSLE/AH_703.pdf)
- Vasquez, A. (2000). “Manejo de Cuencas Altoandinas”. Tomo I. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Vasquez, A. (2016). “Manejo y Gestión de Cuencas Hidrográficas”. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Wichmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting Rainfall erosion Losses. United States of America. Department of Agriculture.

- Yebenes, A., & Giner, A. (2010). Clasificación digital de imágenes por satélite. Sistemas de Telemedida. España.
- Zuñiga, J. (2017). “Determinación de la pérdida de suelos en la cuenca aportante del embalse Aguada Blanca – Arequipa, aplicando USLE y técnicas geoespaciales”. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

**ANEXO 1**  
**MATRIZ DE CONSISTENCIA**

# MATRIZ DE CONSISTENCIA

Elaboración de Matriz de consistencia de Plan de Tesis.

MATRIZ DE CONSISTENCIA DEL PLAN DE TESIS						
PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA		METODO DE INVESTIGACION				
FORMULACION DEL PROBLEMA		OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	TIPO DE INVESTIGACION
PROBLEMA GENERAL	PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE		Descriptiva
¿De qué manera cuantificación espacial de la erosión hídrica en el área de influencia ambiental de la Unidad Minera Corihuarmi podrá identificar las zonas susceptibles a la pérdida de suelo?	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿De qué forma de determinar el factor de erosividad de las lluvias?</li> <li>• ¿De qué forma de determinar el factor de erodabilidad del suelo?</li> <li>• ¿De qué forma de determinará los factores topográficos de longitud e inclinación de la zona de estudio?</li> </ul>	Estimar la pérdida de suelo media anual mediante el uso de la Ecuación Universal de la pérdida de Suelo – USLE, del área de influencia ambiental de la Unidad Minera Corihuarmi.	HI: Mediante la aplicación de la USLE se determinara la distribución espacial de la erosión hídrica del área de influencia ambiental de la unidad minera Corihuarmi. HO: Mediante la aplicación de la USLE no se determinara la distribución espacial de la erosión hídrica del área de influencia ambiental de la unidad minera Corihuarmi.	Pérdida de suelo media anual	Masa Área Tiempo Energía Cinética Precipitación Distancia Angulo	<b>ENFOQUE DE INVESTIGACION</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿De qué forma se determinara el factor de cobertura de la zona de estudio?</li> </ul>	<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b>	<b>HIPOTESIS ESPECIFICAS</b>	<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>	<b>INSTRUMENTOS</b>	Mixto: Cualitativo y Cuantitativo
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cómo se realizara la cuantificación espacial de perdida de suelos por erosión hídrica usando la Ecuación Universal de Perdida de Suelos?</li> </ul>	- Determinar mediante el uso de teledetección y sistemas de información geográfica los mapas de erosividad, erodabilidad, pendiente y uso actual de la tierra. - Estimar la pérdida de suelo media anual del área de influencia ambiental de la unidad minera Corihuarmi, utilizando la Ecuación Universal de la Perdida de Suelo – USLE.	H1: Mediante uso de la teledetección y sistemas de información geográfica se podrán determinar los mapas de erosividad, erodabilidad, pendiente y uso actual de la tierra.Ho: Mediante uso de la teledetección y sistemas de información geográfica no se podrán determinar los mapas de erosividad, erodabilidad, pendiente y uso actual de la tierra.H1: Con la Ecuación Universal de Perdida de Suelos – USLE, se estimara la pérdidade suelo media anual del área de influencia ambiental de la Unidad	Factor de Erosividad Factor de Erodabilidad Factor de Longitud de Pendiente Factor de Gradiente de Pendiente Factor de	Modelo de Elevacion Digital (DEM) Imágenes satelitales multiesprectal (Landsat 8) ArcGis 10.4.1 ENVI 5.1 Datos de SENAMHI Datos de INGEMMET Articulos Cientificos Información Base del Gobierno	<b>ALCANCES DE LA INVESTIGACION</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿De qué manera se cuantificara las áreas de susceptibilidad baja, media, alta y muy alta de la zona de estudio?</li> </ul>	- Elaborar el mapa de los diferentes grados de erosión	Factor de	del Gobierno	Descriptivo	<b>DISEÑO DE LA INVESTIGACION</b>

MATRIZ DE CONSISTENCIA DEL PLAN DE TESIS						
PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA		METODO DE INVESTIGACION				
FORMULACION DEL PROBLEMA		OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	TIPO DE INVESTIGACION
PROBLEMA GENERAL	PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE		Descriptiva
		<p>hídrica espacial del área de influencia ambiental de la unidad minera Corihuarmi.</p> <p>- Proponer alternativas de protección y/o conservación para las zonas afectadas por erosión hídrica.</p>	<p>Minera Corihuarmi.</p> <p>Ho: Con la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos – USLE, no se estimara la pérdida de suelo media anual del área de influencia ambiental de la UnidadMinera Corihuarmi.</p> <p>H1: Con la Ecuación Universal de Perdida de Suelos – USLE, se podrá obtener la distribución espacial del grado deerosión hídrica del área de influencia ambiental de la unidad minera Corihuarmi.</p> <p>Ho: Con la Ecuación Universal de Perdida de Suelos – USLE, no se podrá obtener la distribución espacial del grado deerosión hídrica del área de influencia ambiental de la unidad minera Corihuarmi.</p> <p>H1: Con el resultado de la distribución espacial del grado de pérdida de suelos media anual del área de influencia ambiental de la unidad minera Corihuarmi se podrá proponer alternativas de protección y/o conservación de las zonas afectadas por erosión hídrica.</p> <p>Ho: Con el resultado de la distribución espacial del grado de perdida de suelos media anual del área de influencia ambiental de la unidad minera Corihuarmi no se podrá proponer alternativas de protección y/o conservación de las zonas afectadas por erosión hídrica.</p>	<p>Cobertura</p> <p>Factor de</p> <p>Prácticas de</p> <p>Manejo</p>	<p>Regional de Junin</p> <p>Informacion Base</p> <p>del MINAM</p>	<p>Mediante creación de preguntas y análisis de datos que se llevarán a cabo sobre el tema</p>

**ANEXO 2**  
**DATOS DE PRECIPITACION**

ESTACION LAIVE												
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2006	153.82	132.69	147.8	61.7	0	11.5	1.4	32.6	27.8	61.97	49.5	90.3
2007	71.4	77.6	147.4	67.9	25.5	0	4.6	0	28.8	51.2	55.1	54.2
2008	170.6	121.2	73.3	6.6	11.3	4.7	3.3	6.2	14.8	81.8	35.5	81
2009	110.5	108.8	122.2	72	19.18	0.5	0	23.4	13.6	20	90.6	150.9
2010	236.1	128.6	103.2	21.7	0	0	0	0	6.8	40.5	21.9	100.9
2011	124.8	187.88	110.5	97.8	15.7	0.8	2.1	17.4	54.2	41.8	50.5	171.8
2012	183.1	199.4	150.3	136.9	15.5	22.5	7.9	7.6	61	55.2	85.4	190.2
2013	144	173.4	160.9	29	18	40.1	4.8	38.7	36.4	102.7	71.5	168.3
2014	219	194.5	167.4	91.3	48.9	9	31	10.4	73.4	54.2	54.9	147.4
2015	116.8	205.4	80	104.2	35	3.4	16.5	7.4	25.4	88	31.7	97.7
2016	287.4	207.6	165.2	95.1	34.4	5.7	0	17.4	68.1	93	45.6	72.3
2017	191.4	180.66	256.6	57	0	13.7	20.7	19.8	29.9	77.8	51.6	39.1
2018	165	153.21	220.39	39.4	23.9	0	0	0	9	34.7	119.2	159.8
2019	60.2	152.2	183.62	59.96	20.40	3.87	0	3.75	44.5	22	18	142
2020	190.1	36	158.7	43	30.6	4	2.2	1.2	23.8	51.5	86.8	37.9
ESTACION SAN PEDRO DE HUACARPANA												
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2006	153.82	174.2	173.6	7.3	0	0	0.4	0	11.1	0	18.2	116.88
2007	115.6	50.9	171.1	54.3	1.9	0	0	0	1	17.5	25.7	62.1
2008	247.4	247.9	113.4	15.9	0	0	0	0	0	0.6	5.1	34
2009	150.3	197.3	39.2	3.7	3.8	0	0	0	0	11.5	45.6	37.3
2010	52.6	80.8	71.9	39.4	0	0	0	0	0	0	0	63.1
2011	166.40	156.9	64.4	55.1	0	0	0	0	0	0	8.4	44.8
2012	17.5	175.8	108.5	74.8	0	0	0	0	1.2	35	20.2	59.2
2013	64.8	147.9	101.43	38.20	0.00	0.00	0	2	0	17.3	51.08	69.1
2014	111.1	112.5	194.9	52.7	0	0	0	0	12.1	7.9	26.5	107
2015	196.1	143.4	157.74	26.4	0	0	0	0	0	11.3	12.2	69.3
2016	14.5	132.9	87.8	102.4	10.4	0	0	0	0	0	0	41.3
2017	353.4	218.4	289.7	37.2	7.2	0	0	0	4.2	15.9	17.3	35.6
2018	163.6	87.8	195.7	49.2	3.6	8.8	0	2	0	31.7	9.8	28.2
2019	180.9	189.4	222.8	15.6	4.4	3.4	0	0	16.7	10.9	23.5	64.3
2020	130.8	148.4	160.5	10	5.6	0	0	0	6.5	11.6	27.8	174.6
ESTACION YAURICOCHA												
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2006	229.7	121	247.6	57.28	3.6	4.7	1.1	49	39.3	102.1	121.6	133
2007	247.6	138.2	225	102.1	31.1	5.1	0	0	30.1	84.7	50.8	125.8
2008	162.7	236.6	60	47.2	10.3	2.7	0	18	44.9	89.9	33.50	131.7
2009	155.7	240	111.9	115.1	6.3	0	2.4	66.8	27.3	103.4	182.4	267.9
2010	335.5	141	208.1	85.1	4.8	0	0	0	27.6	61.5	50.1	124.7
2011	174	157	131.4	73.2	16.75	0.3	1.8	12.5	90.2	99.7	72.2	113
2012	134.1	291	201	97.7	0	0.3	6.9	0	88.8	105.8	54.5	64.1
2013	146	114.4	65.9	33.9	0.00	0	20.6	54.7	27.2	78.3	48.3	81.2
2014	119.3	116.3	127.9	43.7	0	0	16.5	4.2	72.1	37.8	15.1	148.5
2015	484.5	216.2	288.6	225.7	39	4.1	0	39.8	63.3	100.9	142.8	138.7
2016	164.4	287.9	158.3	87.3	10.5	5	19.3	4.4	5.5	76	37.7	67.69
2017	327.9	226.4	306.6	88	20.3	7.4	2.2	5	28.4	63.8	41.6	93
2018	209.6	146.8	265.3	95.5	18	34.6	19.3	33.7	7.3	116.5	66	61.3
2019	227	233.7	208.7	87.5	33.9	7.5	10.4	0	39.2	49.8	127	236
2020	164.1	134.3	165.3	48.8	30.2	4.9	1.0	1.7	16.2	32.3	40.4	115.8
ESTACION HUANCALPI												
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2006	120.6	120.8	137.3	95.6	11.8	13.4	0	44.8	60.3	61.97	94.1	111.2
2007	78.5	36.5	187.5	37.8	15.3	0	2	3.2	49.6	49.9	61.6	99.3
2008	136.7	123.9	64.3	28	8.8	16.4	5.5	22.6	14.5	57.3	59.7	55.6
2009	61.4	97.1	81.5	62.6	36.8	2.9	28.5	6.1	29.8	50.9	119.1	189.2
2010	197.1	174.7	140.6	41	5.8	3.9	0	19.1	23.2	88.3	65.3	78.8
2011	203.7	268.4	134.3	93.3	30.6	0	11.3	8.7	80.4	56.1	52	144
2012	79.5	191.6	93.6	114	15.9	8.90	8.9	4.4	63.2	25.2	74.4	116.2
2013	111.4	109.6	77.5	32	38.8	39.7	29.4	52.4	27.7	101.4	45.9	89.2
2014	102	103.1	176.4	76	25.2	5.5	20.4	30.8	92.6	59.1	21.9	120.02
2015	235.0	172.3	157.74	107.9	20.5	2.0	4.5	14.3	28.3	59.0	59.7	116.1
2016	60	207	189.1	108.7	28	4.5	11.6	31.7	20.1	76.9	24.8	74.2
2017	292.1	146.9	171.1	154.2	69	7.2	0	2	56.1	77.7	48.9	126.8
2018	134.5	170.8	245.1	51.4	33.8	28	27.8	38.5	18.9	84.7	69.4	39.7
2019	232	244.4	173.2	38.6	34.4	4	43.2	0.8	35	69.4	123	312
2020	170.4	120.7	150	20.6	56.4	7.6	1.4	1.68	16.24	23.4	16.6	174.2
ESTACION CORIHUARMI												
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
2006	111.2	114.7	135.4	64.5	2.8	9.5	0.0	25.1	34.0	83.8	74.6	133.0
2007	137.8	123.6	155.4	116.4	11.0	4.4	0.0	6.1	36.7	54.0	49.2	79.7
2008	170.3	133.1	74.7	33.4	3.0	3.4	0.3	11.1	23.0	67.2	33.7	92.1
2009	121.5	162.2	83.7	55.3	29.8	3.0	4.9	18.5	29.4	85.5	127.6	183.3
2010	198.2	142.0	151.2	77.4	15.8	2.9	1.0	5.3	12.0	46.4	42.2	157.4
2011	163.1	169.2	106.0	92.1	20.7	0.9	2.9	14.2	49.8	39.2	61.5	113.3
2012	92.6	166.8	119.7	108.2	31.2	12.8	0.3	3.1	13.0	43.5	36.8	90.8
2013	129.7	88.5	101.4	57.9	0.1	0.0	0.0	3.2	8.6	37.0	38.6	133.1
2014	148.0	166.4	158.5	63.3	4.1	0.0	0.0	3.2	11.8	39.4	18.8	77.2
2015	142.8	124.2	104.6	75.5	7.9	0.5	1.5	9.8	24.5	35.8	52.1	158.5
2016	146.0	190.3	160.4	95.2	21.1	6.2	0.4	3.3	14.9	40.9	27.7	82.9
2017	153.1	131.0	116.5	86.3	7.9	0.5	1.7	12.0	26.8	36.6	54.0	184.4
2018	153.7	207.4	175.5	107.7	24.7	7.0	0.4	3.6	16.7	41.7	28.9	79.3
2019	166.6	145.2	129.8	98.2	8.9	0.6	2.0	14.2	29.7	38.2	59.0	212.1
2020	164.9	232.2	192.0	121.5	28.3	7.9	0.4	3.8	18.4	42.8	30.5	76.6

**ANEXO 3**  
**FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN**

**FORMULARIO DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN  
ELECTRÓNICA EN EL PORTAL DEL REPOSITORIO INSTITUCIONAL  
DE LA UNI**

**1. DATOS PERSONALES**

Apellidos y nombres: NAKAYA BARZOLA, DANIEL EDUARDO

D.N.I: 44115704

Teléfono casa: - celular: 974 623 014

Correos electrónicos: daniel.nakaya@outlook.com

**2. DATOS ACADÉMICOS**

Grado académico: Bachiller

Mención: Ingeniería Ambiental

**3. DATOS DE LA TESIS**

Título:

“Análisis Espacial de la Pérdida de Suelo por Erosión Hídrica en el Área de Influencia Ambiental de la U.M. Corihuarmi”.

Año de publicación: 2023

A través del presente, autorizo a la Biblioteca Central de la Universidad Nacional de Ingeniería, la publicación electrónica a texto completo en el Repositorio Institucional, el citado título.

Firma:



Fecha de recepción: 31/07/2023

**ANEXO 4**  
**CURRICULUM VITAE**

**DANIEL EDUARDO NAKAYA BARZOLA**  
**Titulado en Ingeniería Ambiental**  
**Quinto Superior**



Dirección: Calle Bajada Balta 181 Dpto. 801 Miraflores Lima  
 Tel.: 014085598 - 974623014  
 Email: daniel.nakaya@outlook.com – 20090123@lamolina.edu.pe  
 DNI: 44115704  
 Licencia de Conducir: A1  
 Estado Civil: Casado

**RESUMEN**

Ingeniero Ambiental de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Colegiado con 10 años de experiencia en empresas transnacionales de sector industria y minería entre las principales EXSA explosivos, PEPSICO, Gold Fields La Cima, Corporación Minera Centauro y Minera IRL S.A.; con Maestría en Minería y Medio Ambiente en la Universidad Nacional de Ingeniería, especialista en erosión hídrica. Diplomados en Modelamiento Ambiental, Gestión de Cierre de Minas y Remediación de Pasivos Ambientales Mineros, Estudio y Evaluación del Impacto Ambiental, Gestión Integral de Residuos Sólidos, eImplementación y Auditoría de Sistemas Integrados de Gestión.

**EXPERIENCIA**

<b>EMPRESA</b>	<b>CARGO</b>	<b>PERIODO</b>
Minera IRL S.A.	Gerente Asuntos Ambientales	01.11.2021 – Actualidad
Minera IRL S.A.	Coordinador Asuntos Ambientales	25.02.2019 – 31.10.2021
Corporación Minera Centauro S.A.C.	Coordinador Medio Ambiente	16.04.2018 – 31.01.2019
Minera IRL S.A.	Asistente Asuntos Ambientales	06.03.2017 – 11.04.2018
Gold Field La Cima	JT Supervisión Medio Ambiente	18.01.2016 – 17.01.2017
FRŞC Negocios Generales	Asistente Gestión Ambiental	04.11.2014 – 31.10.2014
PepsiCo Alimentos	Practicante de Medio Ambiente y Seguridad Industrial	02.05.2014 – 31.10.2014
EXSA	Practicante de Medio Ambiente	18.01.2013 – 31.12.2013

**DANIEL EDUARDO NAKAYA BARZOLA**

**Degree in Environmental Engineering  
Higher fifth**



Address: Calle Bajada Balta 181 Department 801 Miraflores Lima

Phone: 014085598 - 974623014

Email: daniel.nakaya@outlook.com – 20090123@lamolina.edu.pe

DNI: 44115704

Driver's license: A1

Marital status Married

**EXTRACT**

Environmental Engineer from the La Molina National Agrarian University. Collegiate with 10 years of experience in transnational companies in the industry and mining sector among the main explosives EXSA, PEPSICO, Gold Fields La Cima, Centauro Mining Corporation and Minera IRL S.A.; with a Master's degree in Mining and the Environment from the National University of Engineering, a specialist in water erosion. Diplomas in Environmental Modeling, Mine Closure Management and Remediation of Mining Environmental Liabilities, Study and Evaluation of Environmental Impact, Integral Management of Solid Waste, and Implementation and Audit of Integrated Management Systems.

**EXPERIENCE**

<b>COMPANY</b>	<b>POSITION</b>	<b>PERIOD</b>
Minera IRL S.A.	Environmental Affairs Manager	01.11.2021 – Present
Minera IRL S.A.	Environmental Affairs Coordinator	25.02.2019 – 31.10.2021
Corporación Minera Centauro S.A.C.	Environment Coordinator	16.04.2018 – 31.01.2019
Minera IRL S.A.	Environmental Affairs Assistant	06.03.2017 – 11.04.2018
Gold Field La Cima	JT Environment Supervision	18.01.2016 – 17.01.2017
FRŞC Negocios Generales	Environmental Management Assistant	04.11.2014 – 31.10.2014
PepsiCo Alimentos	Environmental and Industrial Safety Intern	02.05.2014 – 31.10.2014
EXSA	Pre-Professional Environmental Intern	18.01.2013 – 31.12.2013