

**UNIVERSIDAD MAYOR, REAL Y PONTIFICIA DE SAN
FRANCISCO XAVIER DE CHUQUISACA**

VICERRECTORADO

CENTRO DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA



**ESTUDIO DE LA EROSIÓN HIDRICA EN LA CUENCA SUNCHU PAMPA DEL
MUNICIPIO TARABUCO - CHUQUISACA**

**TRABAJO EN OPCIÓN A DIPLOMADO EN GESTIÓN AMBIENTAL, SEGURIDAD
Y SALUD OCUPACIONAL**

Postulante: Sergio Eduardo Reyes Navarro

Sucre – Bolivia

2023

CESIÓN DE DERECHOS

Al presentar este trabajo como requisito previo a la obtención del Diploma en Gestión Ambiental, Seguridad y Salud Ocupacional de la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, autorizo al Centro de Estudios de Posgrado e Investigación o a la Biblioteca de la Universidad, para que se haga de este trabajo un documento disponible para su lectura, según normas de la Universidad.

También cedo a la Universidad Mayor, Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca, los derechos de publicación de este trabajo o parte de él, manteniendo mis derechos de autor hasta un periodo de 30 meses posterior a su aprobación.

Sergio Eduardo Reyes Navarro

Sucre, septiembre de 2023

RESUMEN

El suelo es un recurso natural esencial para gozar de una seguridad alimentaria estable y por otro el suelo cumple funciones ecosistémicas importantes para mantener un equilibrio ecológico, ya que proporciona bienes y servicios ambientales, la erosión hídrica constituye uno de los fenómenos más importantes que contribuyen a la desertificación de los suelos, en la actualidad se estima que existe aproximadamente 2059 hectáreas erosionados en la cuenca Sunchu Pampa.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar las zonas más afectadas por la erosión hídrica y su distribución espacial, se analizó en efecto de la cobertura vegetal y los otros factores que intervienen en el proceso erosivo en la cuenca hidrográfica del Rio Cororo del municipio de Tarabuco, con el fin de proponer la implementación de las medidas estructurales y no estructurales en cuanto al manejo y conservación de suelos se refiere, para ello se aplicó el modelo empírico USLE (Ecuación Universal de la Pérdida de Suelos) , a partir del cual se obtuvo que 71 Ha presenta una erosión alta, 896 Ha presenta una erosión moderada y 1092 Ha presenta una erosión baja.

Las zonas de cuenca donde se registra mayor erosión hídrica corresponden a aquellas que presentan una pendiente elevada y con escasa cobertura vegetal, las medidas de mitigación propuestas para el manejo de la erosión corresponden sobre todo a estos sitios de la cuenca, estas zonas de máxima prioridad o especial interés deben ser intervenidos de manera adecuada para mitigar el deterioro del recurso suelo.

Todos estos resultados condujeron a la caracterización de la problemática de erosión en la cuenca y con ellos se procedió a la elaboración de una propuesta de manejo de suelo a través de la reforestación con especies nativas de árboles y otras medidas adicionales para mitigar la desertificación de suelos.

Palabras claves: erosión hídrica, cobertura vegetal.

INDICE

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES	2
1.2 JUSTIFICACIÓN	3
1.3 OBJETIVOS	4
1.4 METODOLOGIA.....	4
CAPITULO II: DESARROLLO.....	7
2.1.1 MARCO TEÓRICO.....	7
2.1.1.1 CUENCA HIDROGRÁFICA.....	7
2.1.1.2 Recurso Suelo	7
2.1.1.3 Pérdida de suelos.....	7
2.1.1.3.1 Factores que intervienen en la pérdida de suelos por erosión hídrica	7
2.1.1.4 Erosión hídrica.....	8
2.1.1.5 Marco Legal	16
2.1.1.6 PRACTICAS DE CONSERVACIÓN Y MANEJO DE SUELOS.....	17
2.1.1.6.1 Prácticas Físicas.....	19
2.1.1.6.2 PRACTICAS FORESTALES	22
2.1.1.7 SIG APLICADO A CUENCAS HIDROGRÁFICAS.....	25
2.1.2 MARCO CONTEXTUAL.....	26
2.1.2.1 Ubicación geográfica y administrativa del Proyecto	26
2.1.2.2 Delimitación de la Cuenca Sunchu Pampa y sus características morfométricas	29
2.2 INFORMACIÓN Y DATOS OBTENIDOS	35
2.2.1 Recursos Hídricos	35
2.2.2 Geomorfología	36
2.2.3 Pendiente.....	37
2.2.4 Uso de Suelo y Cobertura	37
2.2.5 Clima	39
2.2.6 Aspectos Ambientales	40
2.2.7 Cálculo de la Pérdida de Suelos	41
2.2.7.1 Factor R de Erosividad	41
2.2.7.2 Factor K de Erodabilidad	42
2.2.7.3 Factor de Topografía de la Cuenca (LS).....	42
2.2.7.4 Factor de Cobertura Vegetal de la Cuenca (C).....	42

2.2 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN	43
3. Capitulo III: CONCLUSIONES.....	46
4. BIBLIOGRAFÍA.....	48

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1. Etapas de la erosión hídrica.....	9
Figura 2. Erosión por Surcos	10
Figura 3. Erosión por Cárcavas	10
Figura 4. Erosión Laminar.....	11
Figura 5. Protección de la Superficie del Suelo.....	17
Figura 6. Reducción del largo de pendiente del suelo	18
Figura 7. Reducción de la inclinación de la pendiente del suelo	18
Figura 8. Terraza de Formación Lenta	19
Figura 9. Muros Secos de Piedra	20
Figura 10. Zanja de Infiltración.....	21
Figura 11. Detalle de zanjas de coronación	21
Figura 12. Barreras Vivas.....	23
Figura 13. Barrera Viva Reforzada	23
Figura 14. Modelo de protección de ribera de río.....	24
Figura 15. Forestación Rala	25
Figura 16. Ubicación de la cuenca.....	27
Figura 17. Zonas agroecológicas de la cuenca	28
Figura 18. Descarga de la Imagen Satelital.....	29
Figura 19. Imagen Satelital del Área de Estudio	30
Figura 20. Descarga DEM.....	31
Figura 21. Delimitación Cuenca	32
Figura 22. Cuenca Delimitada.....	33
Figura 23. Red Hídrica	35
Figura 24. Estimación de Sedimentos	45

ÍNDICE DE TABLAS

Cuadro 1. Erosión a nivel Departamental	2
Cuadro 2. Factores USLE	12
Cuadro 3. Valores de “C”	15
Cuadro 4. Valores de prácticas de conservación	16
Cuadro 5. Puntos de Referencia de la Cuenca	29
Cuadro 6. Familias Asentadas en la Cuenca	34
Cuadro 7. Parámetros Morfométricos	36
Cuadro 8. Superficies de las unidades del mapa geomorfológico	37
Cuadro 9. Áreas según rango de pendientes	38
Cuadro 10. Superficies de unidades de uso y cobertura del suelo	39
Cuadro 11. Información climatológica	43
Cuadro 12. Clasificación R	43
Cuadro 13. Clasificación K	44
Cuadro 14. Tabla de Valores de Factor C	44
Cuadro 15. Clasificación de la Erosión Hídrica	46

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

Para el ser humano, la preocupación por las cuencas hidrográficas no es un tema nuevo, el problema es que estamos descuidando este aspecto tan importante para el desarrollo de nuestra sociedad. Grandes civilizaciones antiguas surgieron y se desarrollaron en torno a las cuencas de importantes ríos. Los egipcios, los babilonios y los chinos, por nombrar solo tres, crecieron en torno a los ríos Nilo, Tigris y Eúfrates, y Amarillo, respectivamente. CASTILLO,2010.

Bolivia, con una superficie de 1 098 581 km² cuenta con alrededor del 82% de tierras de pastos y bosques, esta área está afectada por la erosión eólica (35%) e hídrica (45%). En la llanura Chaco-Beniana, como en el altiplano sur, la causa principal de erosión es el viento. En el resto del territorio predomina la erosión hídrica. En los Valles los suelos se encuentran en proceso de erosión grave. CASTILLO, 2010.

Existen diversos grados de erosión hídrica, en particular en el departamento de Chuquisaca predominan la erosión hídrica moderada y la erosión hídrica fuerte en base a la clasificación de la FAO, estos grados de erosión hídrica indican las tasas de erosión por año, cuyas unidades son (Ton/Ha*año), la tasa se la puede interpretar como la pérdida de suelo fértil, por lo tanto, afecta directamente a capacidad productiva del mismo. CASTILLO, 2010.

La cuenca Sunchu Pampa se encuentra en el Municipio de Tarabuco, en la cuenca existen factores naturales y actividades antrópicas que aceleran el proceso de la erosión hídrica del suelo, dicho proceso provoca un deterioro ambiental importante a tomar en cuenta, el proceso de erosión conjuntamente las altas pendientes en la cuenca y la precipitación ocasionan una acumulación de los sedimentos, estos pueden ser arrastrados hasta el cauce del río y esto podría afectar directamente a la capacidad de almacenamiento en la presa que se va a construir para riego. CASTRO, 2009.

1.1 ANTECEDENTES

De acuerdo con la FAO, la erosión hídrica es considerada como uno de los factores más predominantes en la degradación de tierras, afectando entre 5 y 7 millones de hectáreas anualmente en todo el mundo. En Bolivia aproximadamente cada año se pierden de 113 a 114 toneladas de suelo por hectárea, en el territorio nacional el 45% se encuentra afectado por diferentes grados de erosión, haciendo un total de 450943 Km². En Chuquisaca 51084 Km² están siendo afectados por este proceso. CASTILLO, 2010.

El municipio de Tarabuco ubicado en el departamento de Chuquisaca cuenta zonas con altos niveles de erosión según el PDM (Plan de Desarrollo Municipal), en la zona de interés se va a construir un sistema de riego aguas abajo de la cuenca, el sistema de riego beneficiará indirectamente a 6 comunidades (Cayambuco, Lajas Sijlla, Otorunco, Cororo, Jatun Mayu y Vila Vila) y directamente a las comunidades aguas abajo. NUCLEAR, 2009.

En los últimos años las autoridades y otras entidades no gubernamentales han coordinado con los comunarios para realizar planes de reforestación en la zona para mitigar la pérdida de cobertura vegetal, es decir que en la cuenca se han ido implementando medidas de adaptación frente a la erosión hídrica, sin embargo, es importante analizar si los trabajos realizados en la cuenca fueron lo suficientemente efectivos para mitigar los procesos erosivos. NUCLEAR, 2009).

Cuadro 1.

Erosión a nivel Departamental de fuerte a muy grave

Departamento	Sup. Afectada por Erosión (Km²)	Porcentaje (%)
Cochabamba	24365	96
Chuquisaca	47179	92
Potosí	84021	71
La Paz	26410	62
Oruro	30787	57
Tarija	16199	43
Santa Cruz (Chaco)	46583	38

Nota. Fuente: MDSMA (1996).

1.2 JUSTIFICACIÓN

La propuesta de presente trabajo surge con la idea de mitigar el proceso de la erosión hídrica en la cuenca Sunchu Pampa, de esa manera se podrá realizar un manejo sostenible de los recursos naturales en la cuenca, los comunarios podrán mejorar la producción agrícola, los productos de los comunarios serán más competitivos y también se aumentará la disponibilidad del recurso suelo para actividades como ser el pastoreo de los animales y mejorar la aptitud de las tierras de cultivo.

El estudio de la erosión hídrica indicará un panorama más claro del estado actual del suelo en la cuenca, en el estudio intervienen factores climáticos, propiedades físicas del suelo, geomorfología de la cuenca, cobertura vegetal, prácticas de uso y conservación de suelos; también se describirán las actividades antrópicas y otros aspectos socioeconómicos. La erosión hídrica es uno de los principales problemas que afecta al factor suelo, la degradación del suelo puede llegar a ser tan severa hasta el punto de llegar a un proceso de desertificación, este fenómeno implica la pérdida sustancial de suelos fértiles, en este punto de degradación el suelo es incapaz de cumplir con su función reguladora en un determinado ecosistema para suministrar bienes y servicios.

En los últimos años el cambio climático y la actividad antrópica están alterando la distribución espacial y temporal de las precipitaciones, las precipitaciones en la actualidad son más intensas que hace 10 años atrás, los eventos hidrológicos extremos aceleran la tasa de erosión de suelo, el proceso erosivo conlleva el arrastre de sedimentos hacia la red hídrica de la cuenca, la acumulación de sedimentos en los cauces aumenta la probabilidad de desbordes de los ríos y también se pueden socavar estructuras como puentes, defensas ribereñas y diques transversales, en resumen este cambio del comportamiento hidrológico conduce a que la erosión hídrica sea cada vez más intensa.

La erosión hídrica ocurre de manera espontánea en la naturaleza, sin embargo, con la intervención del hombre el proceso mencionado se acelera provocando una alteración del equilibrio natural del factor suelo.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un estudio de la erosión hídrica en la cuenca Sunchu Pampa del Municipio de Tarabuco para la reducción de pérdida de suelos y el arrastre de sedimentos.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- ✚ Caracterizar el medio biofísico y aspectos productivos de la cuenca que influyen en el proceso de erosión hídrica con el apoyo de herramientas SIG y teledetección para la obtención del diagnóstico actual de la cuenca.
- ✚ Estimar la pérdida de suelos en la cuenca Sunchu Pampa provocado por la erosión hídrica aplicando el método de la Ecuación Universal de Pérdida de suelos (USLE) para la identificación de las zonas de mayor riesgo.
- ✚ Realizar un análisis e interpretación de la información obtenida para la identificación de las zonas más afectadas por la erosión hídrica en la cuenca Sunchu Pampa
- ✚ Describir las medidas de mitigación más adecuadas para la reducción de la erosión hídrica en las zonas críticas de la cuenca Sunchu Pampa para que las comunidades mejoren sus condiciones de vida con un enfoque de manejo y conservación de suelos.

1.4 METODOLOGIA

La metodología del presente proyecto tiene características del tipo de investigación descriptiva según el análisis y el alcance de los resultados describen el fenómeno físico de la erosión hídrica y su alcance en la cuenca provocado por los factores ambientales y antrópicos, una vez analizada y procesada la información se interpretarán los resultados en base al estudio de los medios biofísicos de la cuenca para luego proponer las soluciones más adecuadas para el proyecto.

Es importante describir el comportamiento del ecosistema referido al proceso de erosión hídrica. Para cumplir con el objetivo general se debe cumplir con la siguiente secuencia de pasos teórico-prácticos:

En cuanto al **objetivo 1** se aplicará el método de investigación teórico científico inductivo a través de una planilla de campo ya que se necesita recabar información acerca de las actividades antrópicas que desempeñan la población en la cuenca, los servicios básicos y el manejo de la cobertura vegetal, por una parte, se investigará la experiencia de los comunarios en cuanto planes de forestación y reforestación se refiere.

Para la recopilación y selección de información sobre los aspectos ambientales suelo, clima, agua y recursos forestales se aplicará la indagación documental, esta información se la obtendrá de mapas temáticos, libros, artículos científicos, tesis, revistas, proyectos, páginas web y otras fuentes de información, por ejemplo las instituciones como el SENAMHI, G-MET, Earth Explorer, ASF DATA SEARCH, Geo-Bolivia, World Clim, Gobierno Autónomo Municipal de Tarabuco y otros que contribuyan con la investigación.

Para complementar el objetivo 1 se aplicará el método de investigación empírico de observación directa in situ con la finalidad de obtener, complementar, confirmar la información referente al recurso suelo y cobertura vegetal, para realizar el trabajo en campo se implementarán croquis de ubicación, mapas de ubicación, cámara fotográfica, imágenes satelitales y otra información espacial que sea necesario para contrastar con la información obtenida de campo.

En relación al **objetivo 2** se aplicará el método científico inductivo; se aplicarán herramientas de teledetección y Sistemas de Información Geográfica para la elaboración de mapas temáticos que permitan identificar las áreas mas afectadas por la erosión hídrica.

Una vez realizado la recopilación de toda la información necesaria se va a procesar la información con asistencia de programas como ArcGIS, SAS Planet, Google Earth, ENVI, etc. se analizará el tipo de cobertura vegetal de la cuenca, la geología, la geomorfología, el uso de suelos, las características físicas del suelo y la hidrología de la cuenca.

Para complementar el objetivo se aplicará el método científico inductivo para la estimación de la pérdida de suelo por el método de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelos, este método aplica ecuaciones empíricas, a través de la aplicación de sistemas de información geográfica se obtendrá un mapa de pérdida de suelos para la cuenca Sunchu Pampa.

Para el **objetivo 3** se analizará el aporte de los sedimentos de la cuenca que serán arrastrados hacia la red hídrica, para este análisis se utilizará el método científico explicativo porque se explicará porque este fenómeno bajo ciertas condiciones y variables, para este objetivo se tomará en cuenta el producto final de la erosión hídrica en la cuenca Sunchu Pampa.

Y finalmente para desarrollar el **objetivo 4** planteado en el proyecto, se aplicará el método teórico científico deductivo con la técnica de indagación documental para recabar información acerca de métodos, técnicas y estudios de casos similares sobre acciones de mitigación para el control y prevención de la pérdida de suelos por la erosión hídrica, este aspecto conformará la base para la formulación de acciones de mitigación acorde al área de estudio.

Para establecer un plan de restauración de cobertura vegetal y practicas físicas de prevención y mitigación de la erosión hídrica se debe tomar en cuenta el porcentaje de pendiente del terreno, sistema de cultivo y tipo de especies forestales más aptos para el ecosistema de estudio.

CAPITULO II: DESARROLLO

2.1.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1.1 CUENCA HIDROGRÁFICA

La cuenca hidrográfica se define como la unidad territorial natural que capta la precipitación, y es por donde transita el escurrimiento hasta un punto de salida en el cauce principal, es un área delimitada por una divisoria topográfica denominada parte-agua que drena a un cauce común. En la cuenca existen factores ecológicos, climatológicos, hidrológicos, sociales, económicos, culturales, etc. que se relacionan entre sí, dando a la cuenca su propia dinámica. (Trejo, 2012)

2.1.1.2 Recurso Suelo

El suelo es el sustento de la vida y el desarrollo. Su protección y conservación inicia con el reconocimiento y la valoración de su importancia, reflejada en sus múltiples funciones, tales como la infiltración del agua, la captura de carbono y la posibilidad de mantener los ciclos biogeoquímicos, así como por ser el hábitat para una inmensa biodiversidad, es la base de los cultivos que sustentan nuestra civilización, la adaptación y la mitigación al cambio climático. (Naturales, 2015)

2.1.1.3 Pérdida de suelos

La pérdida de suelo es un proceso degenerativo en el cual se reduce la calidad y capacidad productiva actual o futura del mismo, esto impide que el suelo desempeñe sus funciones normalmente dentro de ecosistema, en síntesis, el suelo va perdiendo sus propiedades físicas, químicas y biológicas. La pérdida de suelos obedece a causas naturales y/o antrópicas. (España, 2017)

Factores que intervienen en la pérdida de suelos por erosión hídrica

a. Factores climáticos.

Los factores climáticos tienen un papel importante en la erosión hídrica, siendo las precipitaciones, tanto en su intensidad como en su duración y frecuencia, el elemento desencadenante del proceso. (España, 2017)

b. Características del suelo.

Características de los suelos tales como su agregación, su textura, su capacidad de infiltración, textura, entre otras, afectan su erosionabilidad. En el estudio de la erosión por impacto es importante analizar la estabilidad de los agregados del suelo. (España, 2017)

c. La vegetación.

La vegetación sobre la erosión hídrica, varía con la época del año, cultivo, grado de cobertura y desarrollo de raíces, se puede considerar que su efecto se relaciona directamente con la interceptación, velocidad de escurrimiento e infiltración. (España, 2017)

d. La topografía.

La topografía influye en el proceso a través de la pendiente. Debiéndose considerar su longitud, el grado de inclinación, magnitud y forma. Frecuentemente el grado de inclinación origina problemas más agudos que la longitud de la pendiente. En cuanto a la longitud de la pendiente, el efecto es variable de acuerdo a la naturaleza de la precipitación, a la cobertura vegetal y a la textura del suelo. (España, 2017)

e. Los usos de suelos y sus efectos en la erosión.

El uso del suelo abarca la gestión y modificación del medio ambiente natural para convertirlo en un ambiente construido tal como campos de sembradío, pasturas, plantaciones forestales y asentamientos humanos. (España, 2017)

2.1.1.4 Erosión hídrica

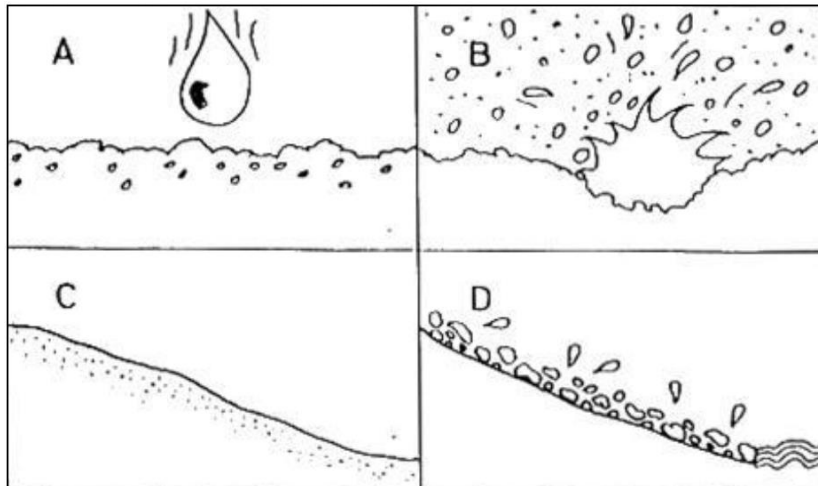
La Erosión Hídrica es un proceso de disgregación y transporte de las partículas del suelo por acción del agua. Se trata de un fenómeno natural y lento, sin embargo, debida al uso intensivo

de las tierras agrícolas y al manejo inadecuado, el proceso ha sido acelerado como consecuencia de tales actividades. (España, 2017)

I. Etapas de la erosión hídrica

Figura 1.

Etapas de la erosión hídrica.



Nota. Descripción del proceso de erosión hídrica. **Fuente.** (D'Amario Fernández, 2016)

- Impacto de la gota de lluvia sobre el suelo desnudo (A),
- Sus agregados son desintegrados en partículas minúsculas (B),
- Que tapan los poros formando una selladura superficial (C), provocando el escurrimiento superficial del agua de lluvia.
- El agua que escurre carga partículas de suelo que son depositadas en lugares más bajos cuando la velocidad de escurrimiento es reducida (D).

II. Tipos de erosión hídrica

A. Erosión por Surcos

Es el desprendimiento y transporte del material, formando canalículos en sentido longitudinal a la pendiente, los canales formados son de dimensiones reducidas, por tanto, son imperceptibles.

Figura 2.

Erosión por Surcos



Nota. Proceso de Erosión por surcos. **Fuente:** (D'Amario Fernández, 2016)

B. Erosión por cárcavas

Si no se controla la erosión inicial por surcos, con el tiempo, los efectos de las lluvias y otros factores erosivos, esos surcos formarán canales de mayor magnitud llamados zanjas o cárcavas. Es una de las formas de erosión más agresiva, por las dimensiones que pueden alcanzar tanto en longitud como en profundidad y el volumen del suelo que se pierde.

Figura 3.

Erosión por Cárcavas



Nota. Proceso de Erosión por Cárcavas. **Fuente:** (D'Amario Fernández, 2016)

C. Erosión laminar

Se da cuando hay arrastre de partículas de suelo suspendidas por el agua de lluvia, que se desplazan en sentido de la pendiente. Este tipo de erosión ocurre cuando el agua arrastra uniformemente las partículas en forma de láminas o capas.

Figura 4.

Erosión Laminar



Nota. Proceso de Erosión Laminar. Fuente: (D'Amario Fernández, 2016)

III. Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE)

Es un método que permite predecir la pérdida de suelo anual promedio causada por erosión laminar y en surcos. Además, permite guiar adecuadas prácticas de cultivo, manejo y conservación de suelos, involucra la erosión hídrica acelerada. La USLE fue desarrollada para:

- Predecir el movimiento promedio anual de suelos desde una pendiente específica, bajo condiciones de uso y manejo específicos;
- Orientar la selección de prácticas de conservación para localidades específicas;
- Estimar la reducción de pérdida de suelos que se puede lograr con cambios de manejo efectuados por el agricultor
- Determinar el largo máximo de pendiente tolerable para un sistema de cultivo determinado (Wischmeier & Smith, 1978).

La ecuación universal (USLE) cuya fórmula es:

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

Donde:

A: La pérdida del suelo por erosión hídrica.

R: Es el factor de erosividad por la precipitación pluvial.

K: Es la erodabilidad del suelo. Es clasificado por su condición textural

L: Este factor está ligado a su longitud d

S: este factor está ligado al grado de pendiente representado por el %.

C: es el factor que representa a la cobertura vegetal.

P: este factor está relacionado a las prácticas de conservación del suelo.

Cuadro 2.

Factores USLE

Factor	Símbolo	Dimensiones	Sistema Internacional
Intensidad de Lluvia	I	Longitud/tiempo	mm/h
Energía de Lluvia	e	longitud*fuerza / área*longitud	MJ/Ha*mm
Erosividad de Tormenta	EI	longitud*fuerza*longitud / área*tiempo	MJ*mm/Ha*h
Perdida de Suelo	A	Masa / tiempo*área	Kg/Ha*año
Erosividad Anual	R	Longitud ² *fuerza / área*tiempo ²	Longitud/tiempo
Erodabilidad del Suelo	K	masa*área*tiempo / área*longitud ² *fuerza	T*Ha*h / Ha*MJ*mm
Longitud de Pendiente	L	(Longitud / Longitud) ^M	
Pendiente	S	Adimensional	
Manejo de Cobertura	C	Adimensional	
Prácticas de Conservación	P	Adimensional	

Nota. Unidades USLE. Fuente: (D'Amarío Fernández, 2016)

a) Erosividad causada por la lluvia (factor R):

Este proceso está ligado a la hidrodinámica de la lluvia. Está a su vez tiene un impacto en el suelo la cual hace que se desprenda partículas de 0.05 mm en limos y arcillas. El Índice Modificado de Fournier (IMF) propuesto por Arnoldus (1980), se constituye un requisito básico para la elaboración del mapa del factor R. La Ecuación para su cálculo es:

$$IFM = \sum_{i=1}^{12} (P_i)^2 / P \quad (2)$$

Dónde:

IFM = Índice de Fournier modificado, en (mm)

P_i = Precipitación media mensual del mes (mm)

P = Precipitación media anual (mm)

La correlación entre IMF y el factor R muestra mejor ajuste después de una repartición de potencial, misma que ha sido usado para varios estudios de área. Los valores del factor R pueden ser encontrados a partir de la Ecuación:

$$R = 21,56 IMF^{0,927} \quad (3)$$

b) Erodabilidad del suelo (factor K):

El factor K de erodabilidad representa la susceptibilidad del suelo a ser erosionado, es así que se sostiene lo siguiente:

- a. Suelos con textura donde los valores del limo o arena son altos son susceptibles a la erosión. Esta erosión se ve limitada cuando la arcilla y el limo incrementan. El factor K se ve limitado por la presencia de arcilla.
- b. Suelos con texturas medias como los francos, tienen un valor moderado de K.
- c. Y suelos con textura de limo son menos erodables.

La estimación de los indicadores de susceptibilidad del suelo a la erosión del agua según USLE – KUSLE, están dados por:

$$K_{USLE} = f_{csand} * f_{ci-si} * f_{org} * f_{hisand} \quad (4)$$

$$f_{csand} = \left(0.2 + 0.3 * \exp \left[-0.256 * m_s * \left(1 - \frac{m_{silt}}{100} \right) \right] \right) \quad (4.1)$$

$$f_{ci-si} = \left(\frac{m_{silt}}{m_c + m_{silt}} \right)^{0.3} \quad (4.2)$$

$$f_{org} = \left(1 - \frac{0.25 * orgC}{orgC + \exp[3.72 - 2.95 * orgC]} \right) \quad (4.2)$$

$$f_{hisand} = \left(1 - \frac{0.7 * \left(1 - \frac{m_s}{100} \right)}{\left(1 - \frac{m_s}{100} \right) + \exp[-5.51 + 22.9 * \left(1 - \frac{m_s}{100} \right)]} \right) \quad (4.3)$$

Dónde:

m_s : contenido de fracción de arena (0,05-2,00 mm de diámetro) [%]

m_{silt} : contenido de fracción de sedimento (0.002-0.05 mm de diámetro) [%]

m_c : contenido de fracción de arcilla (<0,002 mm de diámetro) [%]

$orgC$: contenido de carbono orgánico (SOC) [%]

c) Longitud y grado porcentual de la pendiente (Factores L y S)

La longitud de la pendiente se define como la distancia horizontal desde donde se origina el flujo superficial al punto donde comienza la deposición o donde la escorrentía fluye aun canal definido. Los factores L y S se obtuvieron del siguiente ensayo físico, cuyas ecuaciones son:

$$L = (\lambda / 22.13) m \quad (5)$$

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

$$F = \frac{\sin \beta / 0.0896}{3(\sin \beta)^{0.8} + 0.56} \quad (5.2)$$

Donde:

L= Factor de longitud de la pendiente

x= longitud de la pendiente en metros

m= un exponente que depende del porcentaje de pendiente

λ = es la longitud de la pendiente(m), m es el exponente de la longitud de la pendiente y β es el ángulo de la pendiente.

$m= 0.5$ si la pendiente es mayor o igual a 5%

$m= 0.4$ si la pendiente es > 3 y $< 5\%$

$m= 0.3$ si la pendiente es >1 y $<3\%$

$m= 0.2$ si la pendiente es $< 1\%$

El factor S: El ángulo β se toma como el ángulo medio a todos los subgrids en la dirección de mayor pendiente.

$$S = 10.8 * \sin \beta + 0.03 \quad \tan\beta < 0.09 \quad (5.3)$$

$$S = 16.8 * \sin \beta - 0.5 \quad \tan\beta > 0.09 \quad (5.4)$$

d) Manejo de cultivos (Factor C)

Este factor C varía de 0 a 1 y está en función de los parámetros: protección contra erosión; clase y porcentaje de cobertura vegetal encontrada en campo, siendo uno de los aspectos más relevantes para contrarrestar la erosión de suelos. Los coeficientes del factor C se determinaron según la cobertura distribuida en campo de manera geoespacial, apoyadas con la metodología de índice de vegetación de diferencia normalizada (NDVI).

Cuadro 3.

Valores de "C"

Factor C	Descripción
<0.1	Bosque Y Selva Nublada
0.1-0.2	Bosque, cultivos y pastizales
0.2-0.3	Matorrales y pastizales
0.3-0.4	Cultivos y Pastoreo
0.4-0.5	Cultivos y Arbustos
0.5-0.6	Vegetación Escaza
0.6-0.9	Vegetación semiárida

Nota. Tabla de Valores de Cobertura Vegetal. Fuente: (D'Amario Fernández, 2016)

e) Métodos de control de erosión (Factor P)

La conservación conocida como el factor P es la proporción de la pérdida del suelo. El factor P en la USLE, es la relación que hay entre las pérdidas de suelo que ocurren en un suelo bajo una determinada práctica de conservación de suelo.

Cuadro 4.

Valores de prácticas de conservación

Pendiente (%)	Cultivo en contorno o curva de nivel	
	Factor P	Longitud máxima de ladera (m)
1-5	0.5	122
6-12	0.6	61
13-16	0.7	24
17-20	0.8	18
21-25	0.9	15

Nota. *Tabla de Valores de Prácticas de Conservación.* **Fuente:** (D'Amario Fernández, 2016)

2.1.1.5 Marco Legal

En base a la LEY DE MEDIO AMBIENTE 1333, la cuenca debe cumplir lo estipulado en el Título II de la Gestión Ambiental, Capítulo I, Artículo 5 y el Título III de los Aspectos Ambientales, Capítulo I, Artículo 19, referidos a que la política nacional del medio ambiente debe impulsar el uso sostenible de los recursos naturales, de tal manera que no entre en riesgo su disponibilidad a corto y largo plazo, es muy importante implementar medidas y técnicas de preservación, conservación y restauración de los medios biofísicos para el control de la calidad del medio ambiente. La puesta en marcha del presente proyecto permitirá una adecuación a la LEY 1333, es decir que el proyecto busca la protección y conservación de los recursos naturales, en el transcurso del trabajo se incentivará a que las distintas actividades humanas ejercidas por las comunidades permanezcan amigables con el medio ambiente. Esto conmina el derecho que tienen las personas a un medio ambiente saludable, protegido y equilibrado.

La Constitución Política del Estado (CPE), reconoce estos problemas cuando define el agua como un derecho fundamental para la vida, y manda a garantizar la conservación, protección,

preservación, restauración, uso sustentable y gestión integral. Además, orienta puntualmente a desarrollar planes de uso, conservación, manejo y aprovechamiento sustentable de las cuencas hidrográficas.

Por otro lado, se deben seguir las disposiciones establecidas en el Decreto Supremo N° 3856 del 3 de abril de 2019, referente al sector de recursos Hídricos y subsector del Manejo Integral de Cuencas donde se menciona un listado de las AOP's de categoría 4, ahí se encuentran las obras de mitigación y control de la erosión hídrica, por lo tanto, el presente proyecto no requiere de una evaluación de impacto ambiental, más bien el trabajo contribuirá en la protección del medio ambiente como principal meta.

2.1.1.6 PRACTICAS DE CONSERVACIÓN Y MANEJO DE SUELOS

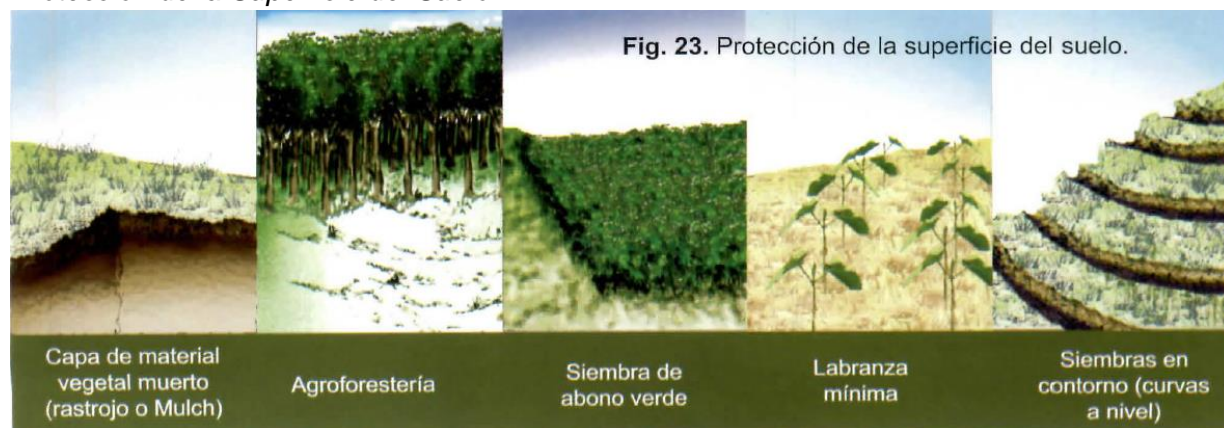
La conservación de suelos es un sistema que complementa y combina obras estructurales, medidas agronómicas, de fertilidad y agroforestales. Este sistema debe aplicarse de la forma más completa posible, si se desea tener éxito tanto en la protección del suelo como en la productividad. Tomando en cuenta esta combinación, al mismo tiempo se puede lograr los siguientes objetivos:

1. Proteger la superficie del suelo.

Una cobertura vegetal protege el suelo contra el golpe de las gotas de lluvia y el arrastre del agua de escorrentía.

Figura 5.

Protección de la Superficie del Suelo



Nota. Opciones de Forestación. **Fuente:** (Ballivian, 2008)

2. Reducir el largo de la pendiente.

Hay varias prácticas que reducen el largo de la pendiente y con eso la velocidad de la escorrentía. También ayudan a aumentar la penetración del agua en el suelo y reducen así la cantidad de suelo perdido por los procesos erosivos.

Figura 6.

Reducción del largo de pendiente del suelo



Nota. Opciones para reducir el largo de la pendiente. **Fuente:** (Ballivian, 2008)

3. Reducir la inclinación de la pendiente.

Con todos los tipos de terrazas se evita la escorrentía y se aumenta la infiltración del agua en el suelo. Las terrazas, al mismo tiempo, ofrecen una plataforma cultivable.

Figura 7.

Reducción de la inclinación de la pendiente del suelo



Nota. Opciones para reducir la inclinación del terreno. **Fuente:**(Ballivian, 2008)

4. Incorporar materia orgánica al suelo.

Estas prácticas ayudan considerablemente a mejorar la fertilidad del suelo. La materia orgánica se vuelve humus, que funciona como una esponja, lo que favorece mucho la infiltración del agua en el suelo y su retención, la disponibilidad de nutrientes y también la disminución en la escorrentía en el suelo. (Chipana Rivera, 2018)

2.1.1.6.1 Prácticas Físicas

a) Terrazas de formación lenta

Son terraplenes horizontales que se han formado por la deposición del suelo por detrás de cordones o muros secos de piedra. En terrenos con pendientes suaves a moderadas (10 a 25%), el espaciamiento entre muros es amplio, mientras que en terrenos con pendientes fuertes (25-35%), el espaciamiento entre muros se reduce.

Figura 8.

Terraza de Formación Lenta



Nota. Muros Secos de Piedra de formación lenta. **Fuente:** (Ballivian, 2008)

b) Control de cárcavas con muro seco de piedra

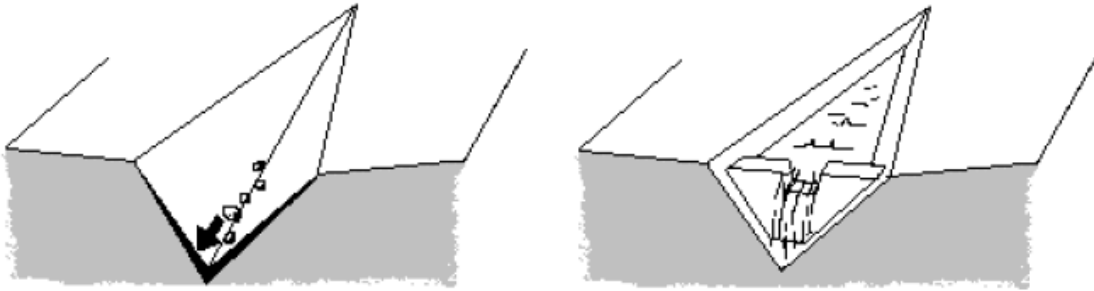
Es una estructura construida con piedras acomodadas, que se coloca transversalmente a la dirección del flujo de la corriente y se utiliza para el control de la erosión en cárcavas.

🚧 Objetivos para construir los muros secos de piedra

1. Resistir el desgaste del fondo de las cárcavas o quebradas por efecto del arrastre ejercido por el agua.

Figura 9.

Muros Secos de Piedra



Nota. Muros de Gaviones. **Fuente:** (Ballivian, 2008)

2. Estabilizar las pendientes del lecho en las cárcavas o quebradas.
3. Preparar las condiciones para la plantación y la siembra en cárcavas o quebradas (Ballivian, 2008)

c) Cercado perimetral como obras de protección

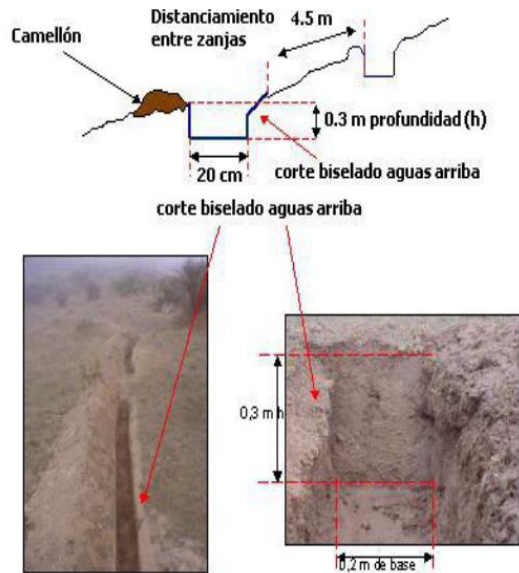
El cercado perimetral es utilizado como obras de protección en zonas de forestación o de cultivo, en este sentido, se debe identificar el posible agente causal del daño a la reforestación y el más utilizado es el alambre de púas. (Zamora Rojas, 2010)

d) Zanjas de infiltración

Las zanjas de infiltración son pequeños canales de sección rectangular o trapezoidal y generalmente asimétricos, que se construyen transversalmente a la máxima pendiente del terreno y siguiendo las curvas de nivel. (Suarez, 1996)

Figura 10.

Zanja de Infiltración



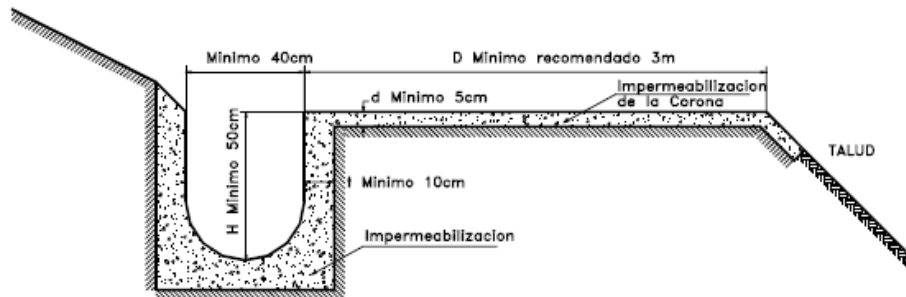
Nota. Descripción de una zanja de infiltración. Fuente: (Suarez, 1996)

e) Zanjas de Coronación:

Las cunetas o zanjas de coronación son canales que se construyen para desviar el agua que se escurre sobre la superficie, es decir que estas estructuras interceptan y conducen el agua de lluvia adecuadamente, consecuentemente se puede mitigar la erosión hídrica, especialmente en zonas de mucha pendiente o donde se ha efectuado el corte del terreno. (Suarez, 1996)

Figura 11.

Detalle de zanjas de coronación



Nota. Descripción de una zanja de coronación. Fuente: (Suarez, 1996)

2.1.1.6.2 PRACTICAS FORESTALES

Se entiende como recuperación forestal el restablecimiento de una masa forestal en superficies de tierras marginales, que actualmente están en uso agrícola, cubiertas por pastizales o malezas, o con ninguna cubierta vegetal. Dicha masa forestal puede ser de especies nativas, introducidas o exóticas. (Suarez, 1996)

- **Áreas con suelos desnudos, sin vegetación aparente:** Aplicar el criterio de 100 % de recuperación forestal
- **Áreas deforestadas recientemente (posterior a 1980):** Aplicar el criterio de 100 % de recuperación forestal
- **Zonas agrícolas y pastizales en pendientes superiores a los 60 %:** Aplicar el criterio de 100 % de recuperación forestal
- **Zonas agrícolas y pastizales en pendientes entre 30 a 60 %:** Aplicar el criterio de 50 % de recuperación forestal
- **Riberas de ríos y arroyos, que no cuentan con bosque de galería:** Aplicar el criterio de 100 % de recuperación forestal

2.1.1.6.2.1 Barreras vivas

Esta práctica consiste en establecer en dirección perpendicular a la pendiente, árboles o arbustos con la finalidad de reducir el escurrimiento superficial y por lo tanto la pérdida de suelo.

a) Barreras vivas en territorios agrícolas-zanjas de infiltración

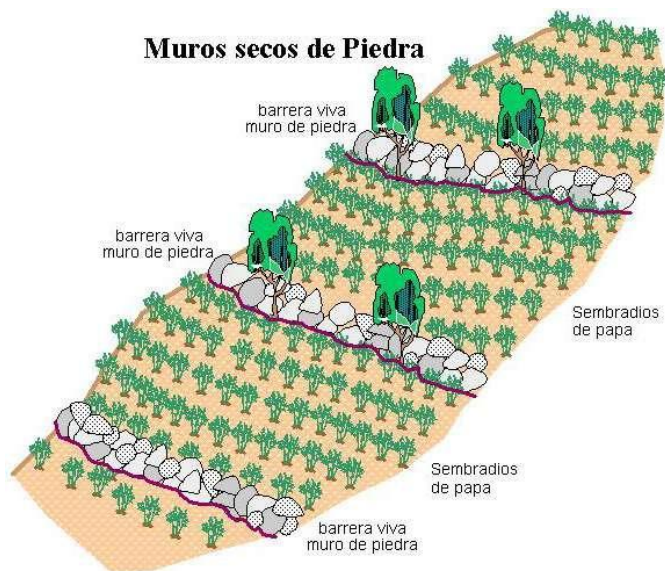
Figura 12.
Barreras Vivas



Nota. *Barreras Vivas combinadas con zanjas de infiltración.* Fuente: (Hidrologico, 2018)

b) Barreras vivas en terrenos agrícolas reforzando muros secos de piedra para la formación lenta de terrazas

Figura 13.
Barrera Viva Reforzada



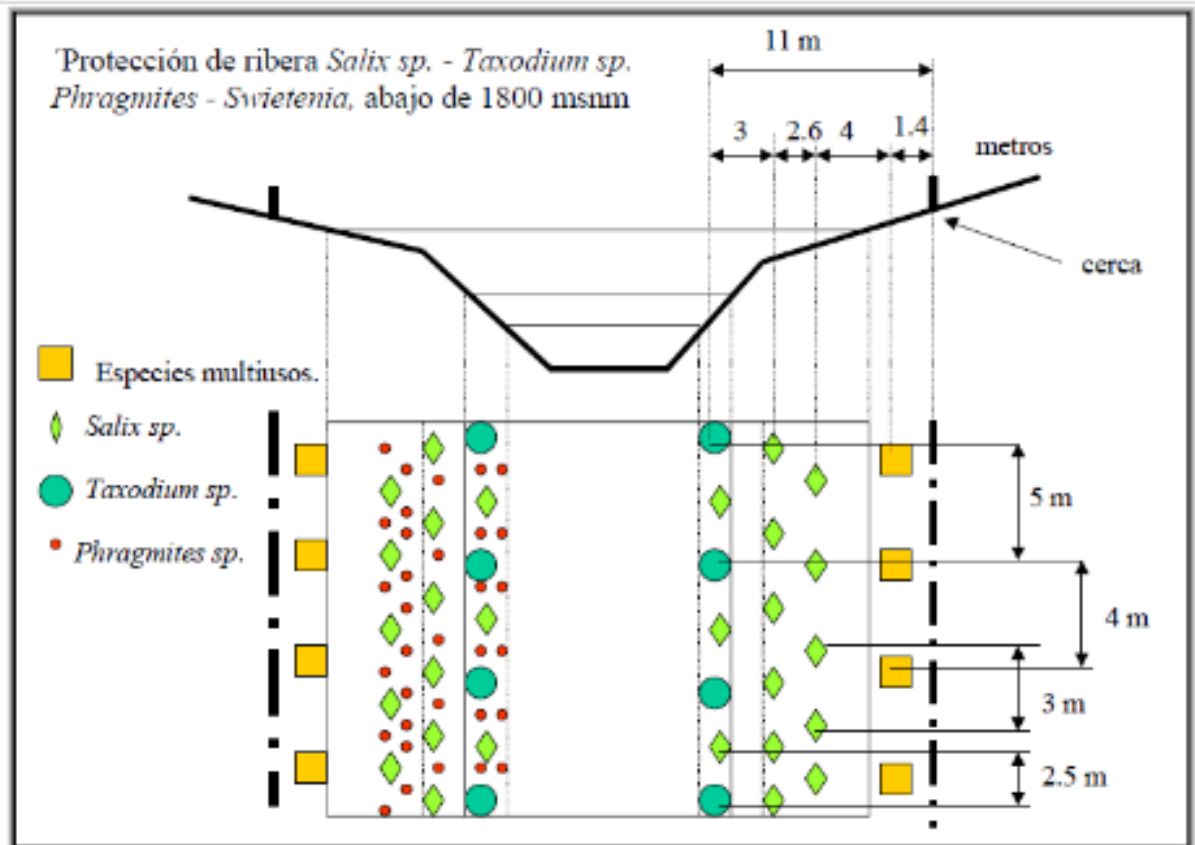
Nota. *Barrera Viva combinado con muro seco.* Fuente: (Hidrologico, 2018)

2.1.1.6.2.2 Forestación lineal en fondos del cauce

Es la forestación de 3 hileras con especies nativas, ayuda a proteger las orillas de los ríos para evitar la erosión por el desborde del río.

Figura 14.

Modelo de protección de ribera de río



Nota. Diseño de Forestación para riberas. Fuente: (Hidrologico, 2018)

2.1.1.6.2.3 Forestación rala

Es la forestación en laderas para evitar la erosión, producir madera, postes, forraje y contribuir a retener el agua.

Figura 15.

Forestación Rala



Nota. *Forestación Rala en laderas.* **Fuente:** (Hidrologico, 2018)

2.1.1.7 SIG APLICADO A CUENCAS HIDROGRÁFICAS

Los Sistemas de Información Geográfica (SIG) aplicados a las cuencas hidrológicas, han sido utilizados como herramientas para la determinación de sus características fisiográficas (superficie, pendiente, red de drenaje, forma, etc.) además de variables tales como pérdida de suelos, balances hidrológicos, planeación y gestión hidráulica, transporte de sedimentos y contaminantes, modelación hidráulica para la determinación de áreas de inundación y sequías, cambio climático, fronteras agrícolas, cambios de uso de suelo, deforestación, etc. Este trabajo tiene el propósito construir un algebra de mapas con la asistencia de un SIG con el objeto de tener una información precisa de la situación actual de la cuenca para así plantear un escenario futuro prometedor para el desarrollo de la población situada en el área de interés. (Bravo, 2018)

2.1.2 MARCO CONTEXTUAL

2.1.2.1 Ubicación geográfica y administrativa del Proyecto

La cuenca Sunchu Pampa está situada en la sección municipal de Tarabuco, provincia Yamparáez y departamento de Chuquisaca, aproximadamente a 60 km de la ciudad de Sucre y se encuentra al Sur-Este de la misma. Las comunidades que se encuentran asentadas en la cuenca son: Cororo, Cayambuco, Lajas Sijlla, Jatun Mayu, Otoruncu, y Vila Vila, con un total de 191 familias.

La cuenca del río Sunchu Pampa abarca una superficie aproximada de 38 km² y una altitud que varía de los 2.855 a los 3.137 msnm. La cuenca recibe aportes de redes de drenaje, entre los más importantes se mencionan al río Sunchu Pampa, la Quebrada Otoruncu Waykho y la quebrada Otoruncuyuj. La posición geográfica de la cuenca en coordenadas cartesianas de la grilla UTM, Zona 20 datum WGS84, se presenta en el siguiente cuadro:

Cuadro 5.

Puntos de Referencia de la Cuenca

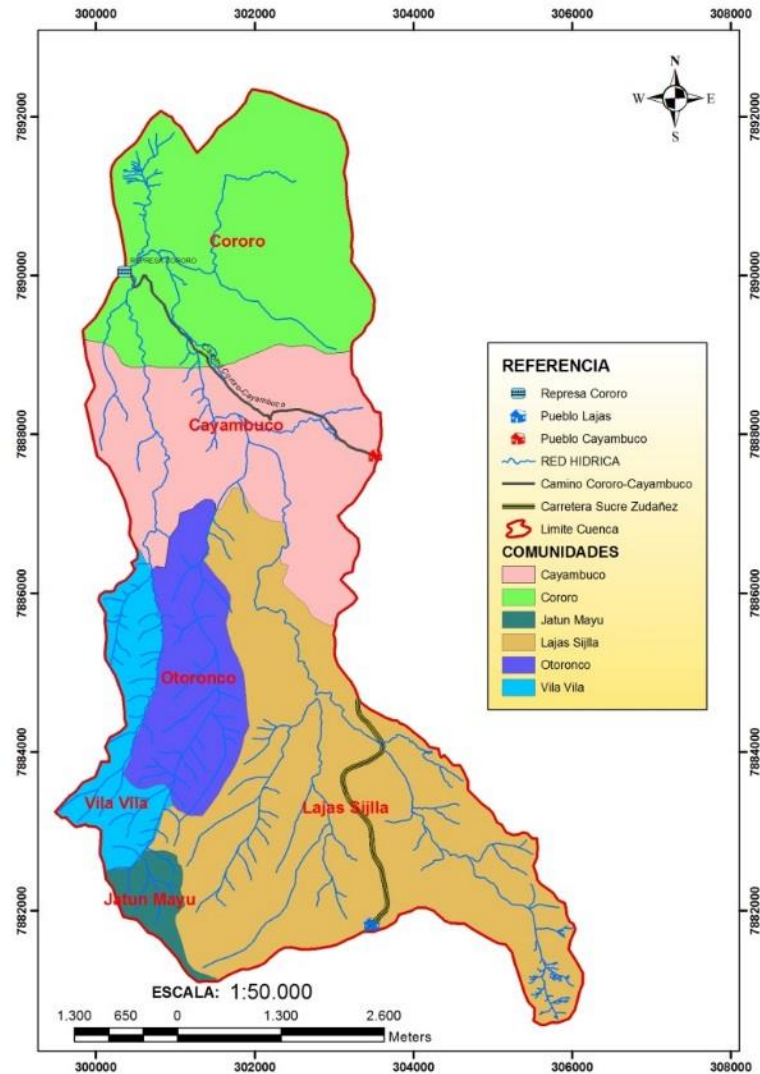
Cabecera de la Cuenca		Salida de la Cuenca	
X1:	20K 300348 E	X2:	20K 305904 E
Y1:	7890117 S	Y2:	7880590 S

Nota. *Coordenadas del punto de salida de la Cuenca.* **Fuente:** Elaboración Propia

En la siguiente figura se muestra un esquema ilustrativo de la cuenca:

Figura 16.

Ubicación de la cuenca



Nota. Ubicación Geográfica del área de estudio. Fuente: Elaboración Propia

La cuenca Sunchu Pampa forma parte de la línea divisora de aguas de las cuencas del riego de la Plata y el Río Grande. Sus límites son: al este con la cuenca del río Lamboyo, al oeste con la cuenca del río Vila Vila, al norte con el lugar de cierre de la cuenca, donde se construirá una presa que permitirá irrigar áreas de cultivo de comunidades que se encuentra aguas abajo.

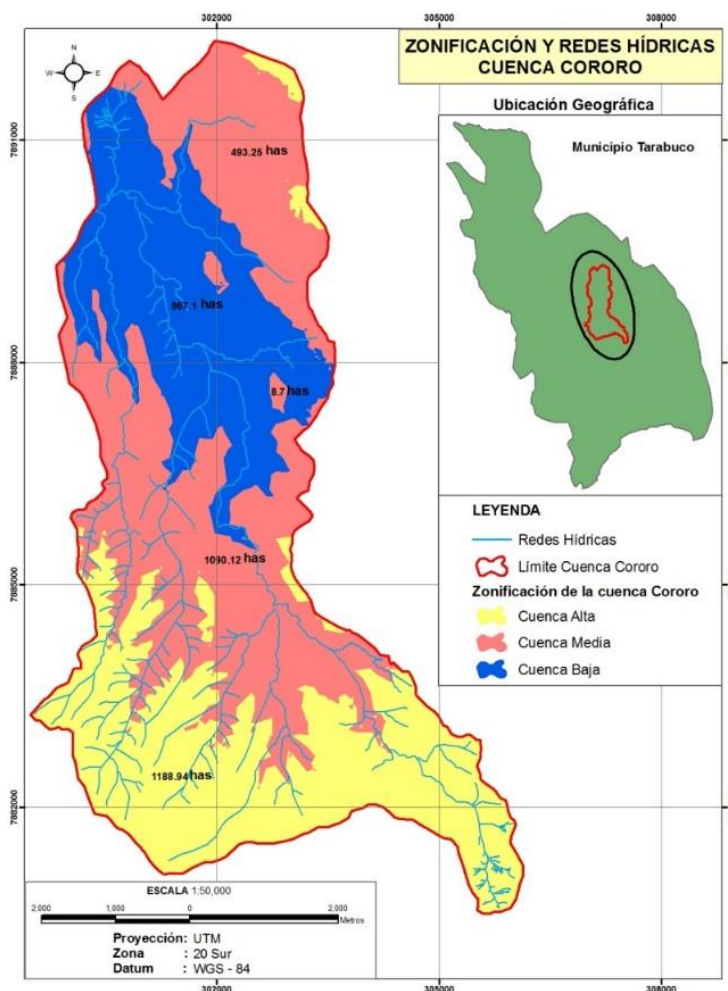
En la Figura 16 se muestra la ubicación de las comunidades al interior de la cuenca. Se estima que, de un total de 191 familias se encuentran asentadas en la cuenca, de las cuales 128 familias se beneficiarán directamente del proyecto de riego ya que las demás familias no participan activamente en las distintas organizaciones establecidas en la actualidad.

Se consideran como familias beneficiarias, a los regantes del sistema de riego que se encuentran en las comunidades de Cororo, Morado Kasa, Molle Mayu y San Antonio de Toca, quienes cuentan con un interés de máxima prioridad de la preservación de la presa y que adicionalmente participarán en los trabajos de conservación de la cuenca.

La zona alta ocupa aproximadamente el 33% y se caracteriza por clima frío con una producción basada en cultivos temporales como papa, trigo y cebada. La zona baja que ocupa el 25 % y se caracteriza por un clima templado, donde es posible la producción de maíz, papa y durazno y finalmente una zona media, que ocupa el 42%, se caracteriza por ser una zona de transición entre las zonas alta y baja. Al sur con afluentes del río Pilcomayo, línea divisora cuenca del Plata y río Grande. Con fines de caracterización de la cuenca, se consideraron 3 zonas agroecológicas, alta, media y baja.

Figura 17.

Zonas agroecológicas de la cuenca



Nota. Zonificación de la Cuenca. **Fuente:** Elaboración Propia

El detalle del número de familias que forman parte de las comunidades y las que se beneficiaran con el proyecto, se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 6.

Familias Asentadas en la Cuenca

Beneficiarias del proyecto	Comunidad	Superficie (km ²)	Nº de familias asentadas en la cuenca	Familias activas en el MIC
Directas	Cororo	9,20	18	5
	Cayambuco	7,85	31	21
	Lajas Sijlla	14,57	112	80
	Vila Vila	2,20	4	3
	Jatun Mayu	0,84	5	4
	Otoronco	3,57	21	15
Sub Total		38,23	191	128
Indirectas	Usuarios del sistema de riego Valle de Tarabuco de 4 comunidades			450

Nota. Beneficiarios del Área de Estudio. **Fuente:** PTDI, Municipio Tarabuco

2.1.2.2 Delimitación de la Cuenca Sunchu Pampa y sus características morfométricas

- **Descarga de la imagen satelital**

Para el presente trabajo se realizó la descarga de una imagen de alta resolución del área de estudio, haciendo uso del programa Google Earth, el proceso se describe en el siguiente diagrama:

Figura 18.

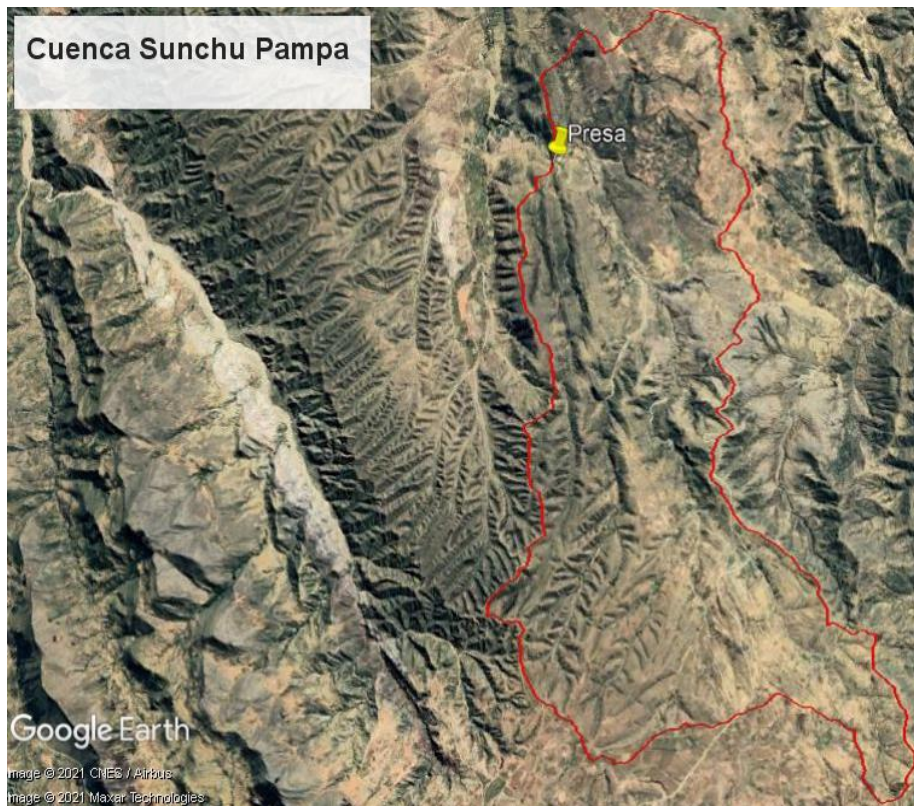
Descarga de la Imagen Satelital de Alta Resolución



Nota. Diagrama para descargar imágenes satelitales. **Fuente:** Elaboración Propia

Figura 19.

Imagen Satelital del Área de Estudio



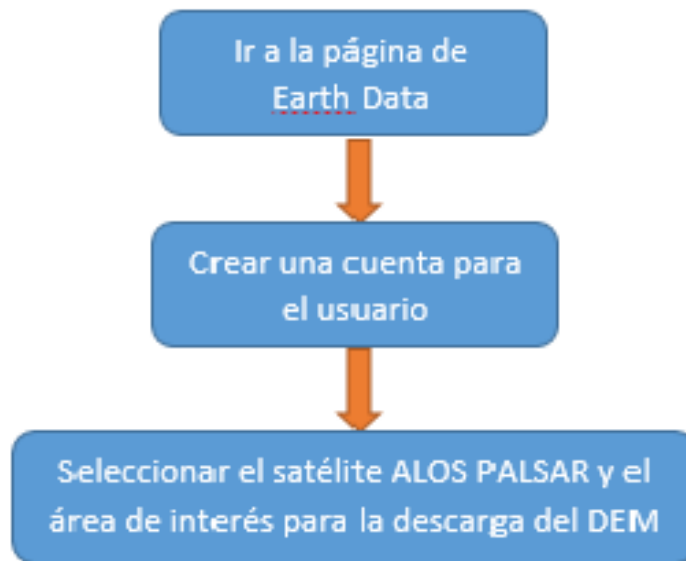
Nota. Imagen descargada de Google Earth. **Fuente:** Elaboración propia

- **Descarga del Modelo Digital de Elevación (DEM)**

Para delimitar una cuenca se requiere obtener un modelo digital de elevación (DEM), en este caso se descargó un DEM con una resolución espacial de 12.5 m generado a partir del satélite espacial ALOS PALSAR, posteriormente se delimita la cuenca utilizando como referencia la presa que se va construir este año.

Figura 20.

Descarga DEM

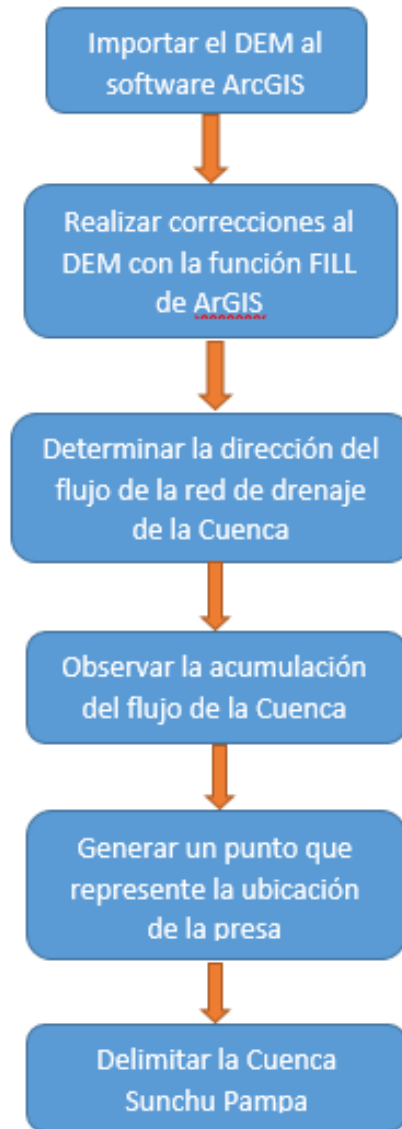


Nota. Pasos para descargar un DEM. **Fuente:** Elaboración Propia

En el siguiente diagrama se detallan los pasos para la delimitación de la cuenca Sunchu Pampa:

Figura 21.

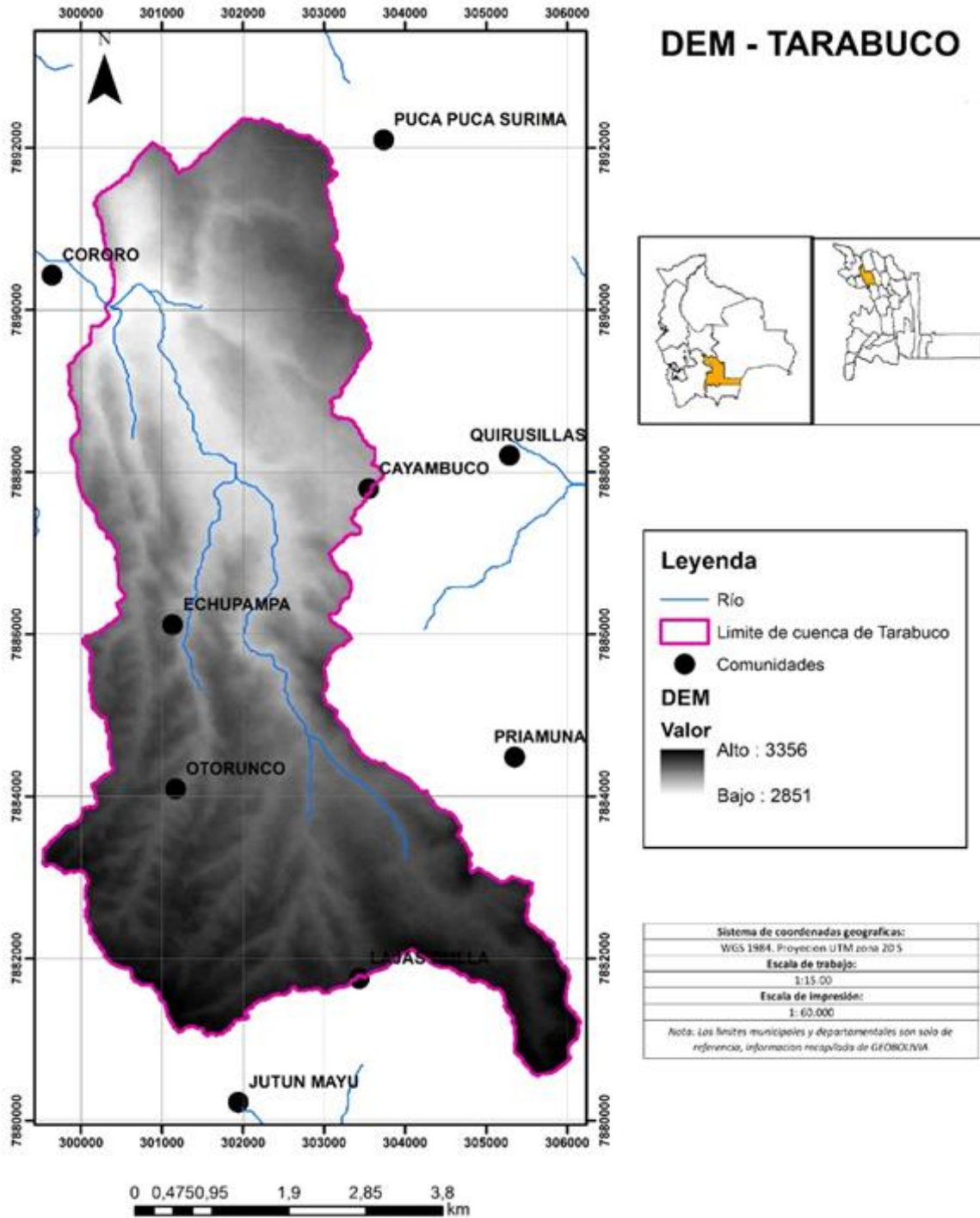
Delimitación Cuenca



Nota. Pasos para delimitar una cuenca en ArcGIS. **Fuente:** Elaboración Propia

Figura 22.

Cuenca Delimitada



Nota. Cuenca Delimitada en ArcGIS. Fuente: Elaboración Propia

- Características Geomorfológicas de la Cuenca Sunchu Pampa

Una vez descargada la imagen satelital y delimitada la cuenca se obtuvo las características geomorfológicas de la cuenca con la ayuda del software ArGIS 10.3, dichas características se describen en el siguiente cuadro:

Cuadro 7.

Parámetros Morfométricos

PARAMETROS MORFOMETRICOS CUENCA SUNCHU PAMPA		
Descripción	Unidad	Valor
De la Superficie		
Área	Km ²	38.146558
Perímetro	Km	38.252866
Cotas		
Cota Máxima	msnm	3396
Cota Mínima	msnm	2900
Centroide (WGS 1984 UTM Zona 20)		
X	Km	302.123897
Y	Km	7886.12283
Z	msnm	3195.85
Altitud		
Altitud Media	msnm	3195.85
Altitud más frecuente	msnm	3251.33
Altitud de Frecuencia Media	msnm	3172.65
Pendiente		
Pendiente Promedio de la Cuenca	%	18.135
De la Red Hídrica		
Longitud del Curso Principal	Km	13.94
Orden de la Red Hídrica	UND	6
Longitud de la Red Hídrica	Km	183.95
Pendiente Promedio de la Red Hídrica	%	1.6
Parámetros Generados		
Tiempo de Concentración	Horas	1.82212418
Pendiente del Cauce Principal	m/Km	35.58

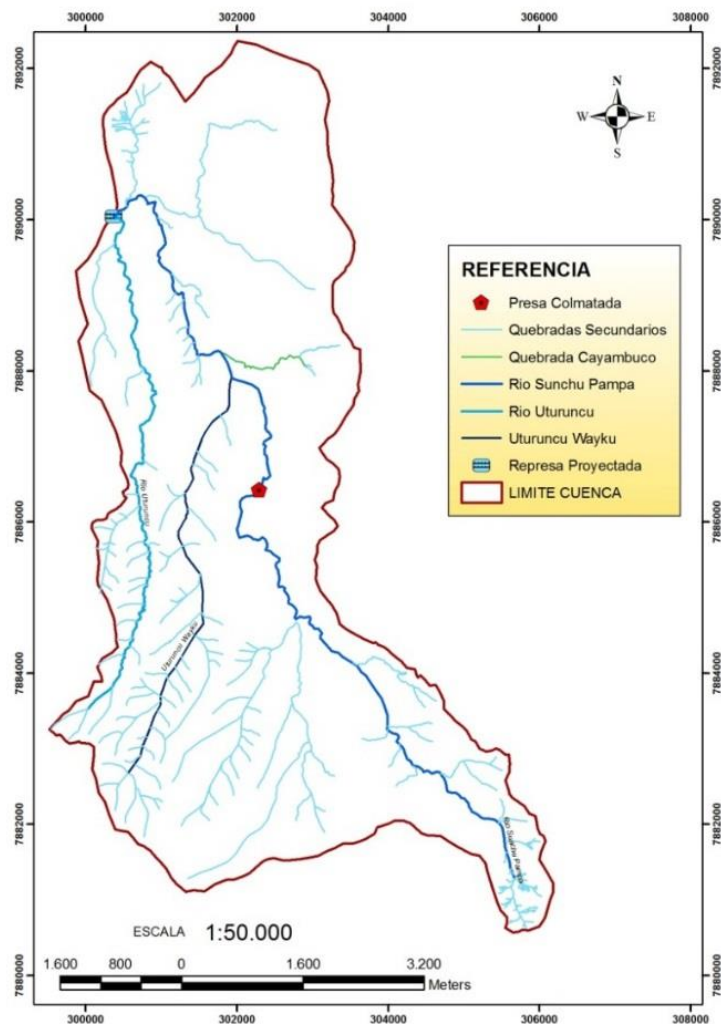
Nota. Obtención de Parámetros Morfométricos. **Fuente:** Elaboración Propia

2.2 INFORMACIÓN Y DATOS OBTENIDOS

2.2.1 Recursos Hídricos

El cauce de drenaje principal lleva el nombre de río Sunchu Pampa, sus nacientes se encuentran en la comunidad de Lajas Sijlla a 3.137 msnm y desemboca en la comunidad de Cororo a 2.855 msnm. La cuenca cuenta con una forma rectangular, de longitud 13,5 km y una pendiente promedio de 2,1%. Durante los restantes meses, el caudal base del río reduce bastante, incrementándose ante eventos aislados de precipitación, en la siguiente figura se muestra la red de drenaje de la cuenca.

Figura 23.
Red Hídrica



Nota. Obtención de la Red Hídrica de la Cuenca. **Fuente:** Elaboración Propia

2.2.2 Geomorfología

La cuenca está conformada por serranías bajas caracterizada por pendientes fuertes, con presencia de afloramientos rocosos meteorizados en sus laderas y lechos de los cauces con un predominio de lutitas grises. La geoforma de mayor predominio son las cimas redondeadas con diferentes grados de pendiente que va desde moderada hasta pronunciada.

Cuadro 8.

Superficies de las unidades del mapa geomorfológico

Geomorfología	Hectáreas
Cauce de río	40,63
Cimas denudadas	69,50
Cimas moderadamente denudadas	922,86
Cuesta de pendiente ligera	63,46
Cuesta de pendiente moderada	256,57
Cuesta de pendiente pronunciada	211,83
Ladera de pendiente moderada	15,20
Ladera denudada de pendiente moderada	66,29
Ladera moderada denudada de pendiente moderada	152,78
Laderas altamente disectadas de pendiente moderada	79,20
Laderas denudadas de pendiente ligera	47,48
Laderas ligeramente disectadas de pendiente moderada	27,36
Laderas moderadamente disectadas de pendiente moderada	133,12
Lomas de cimas sub redondeadas	240,29
Lomerío de cimas redondeadas	463,66
Terraza aluvial	9,60
Terraza coluvial	142,36
Valle aluvial	53,80
Valle aluvial de cimas sub redondeadas	364,12
Valle de laderas de pendiente moderada	115,70
Valles aluviales de laderas denudadas	346,63

Nota. Detalle de la Geomorfología de la Cuenca. **Fuente:** Elaboración Propia

2.2.3 Pendiente

La zona alta de la cuenca presenta pendientes entre los 10 – 15% con presencia de zonas planas a ligeramente inclinadas. La parte media de la cuenca se caracteriza por tener pendientes que están en el rango de los 30 – 45%, en los sectores próximos a los cauces las pendientes fluctúan entre 45 – 55 %, existiendo pendientes mayores a 55% en algunos lugares. La zona baja presenta pendientes menores al 10%, sus laderas y colinas pendientes están en el orden de los 10 – 15%. En el caso de las zonas planas, los terrenos se han habilitado para la producción agrícola y los lugares con mayor pendiente para el pastoreo de animales.

Cuadro 9.

Áreas según rango de pendientes

Pendientes	Área ha	Porcentaje
0 - 10	663,61	17%
10 - 15	615,13	16%
15 - 20	604,50	16%
20 - 25	517,93	14%
25 - 30	396,09	10%
30 - 35	310,63	8%
35 - 40	226,08	6%
40 - 45	161,30	4%
45 - 50	110,04	3%
> 50	225,67	6%

Nota. *Porcentajes de Pendiente de la cuenca. Fuente:* Elaboración Propia

2.2.4 Uso de Suelo y Cobertura

Parte de los suelos de la cuenca se encuentra habilitada para la actividad agrícola, principalmente en zonas alta y baja, donde se practica la agricultura extensiva temporal, siendo los principales cultivos la papa, trigo, cebada y maíz en zonas bajas.

Una fracción de la cuenca está cubierta por especies forestales, principalmente especies introducidas como el eucalipto, pino y ciprés que forman pequeños bosquecillos, implantados por agricultores de la zona con apoyo institucional. En menor proporción se observa la presencia de especies forestales nativos, como el molle y kewiña, dispuestas en las laderas y riberas de los ríos.

Una fracción de la cuenca se encuentra cubierta por herbazales asociados con especies arbustivas, donde predominan gramas, pajas y thola. Estas áreas son empleadas por los agricultores como áreas de pastoreo. Otro tipo de cobertura presente son las áreas rocosas, que se caracterizan por el afloramiento de rocas, donde la vegetación es casi nula. Esta categoría se encuentra principalmente en la zona media y baja de la cuenca.

Cuadro 10.

Superficies de unidades de uso y cobertura del suelo

Uso y cobertura	Símbolo	Área (has)	Porcentaje
Agricultura temporal	AT	773,07	20,22
Área urbana	AU	2,97	0,08
Forestal rala	FR	95,53	2,50
Forestal densa	FR	65,22	1,71
Herbazal asociado a arbustos	HAA	210,67	5,51
Herbazal ralo	HR	1.093,32	28,60
Herbazal denso	HD	309,36	8,09
Lecho de río	LR	46,55	1,22
Vegetación natural rala	NR	195,62	5,12
Vegetación natural densa	ND	313,25	8,19
Rocoso no erosionable	RNE	51,54	1,35
Sin Cobertura	SC	288,46	7,55
Suelo con escasa cobertura vegetal	ECV	377,45	9,87
TOTAL		3.823,00	100,00

Nota. *Detalle del Uso de Suelo en la cuenca.* **Fuente:** Elaboración Propia

2.2.5 Clima

El clima de la zona del proyecto se caracteriza por presentar invierno seco, con presencia heladas, donde la actividad agrícola entra en un período de latencia. En este período las temperaturas son bajas, llegando en el mes de julio considerado el más frío, donde la temperatura mínima media es 2,7°C y máxima media 18,4°C. Las precipitaciones en este período son casi nulas.

El verano se caracteriza por presentar precipitaciones pluviales significativas, y temperaturas que fluctúan entre 7 a 20°C, condiciones que aprovechan los agricultores para realizar la implantación de diversos cultivos como: papa, trigo, cebada, maíz, arveja y haba. Los parámetros más relevantes del clima registrados en la estación meteorológica de Tarabuco, se detalla en el siguiente cuadro:

Cuadro 11.

Información climatológica

Parámetro	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Precipitación mm	122,1	94,5	69,4	24,0	4,6	1,4	2,7	6,8	18,3	34,6	46,4	95,2	524,8
Temp. max. media °C	18,4	18,4	18,6	19,0	19,6	18,8	18,4	19,5	20,0	20,5	20,1	19,5	19,2
Temp. min. media °C	7,5	7,5	7,4	6,5	4,9	3,8	2,7	4,0	5,1	6,3	7,0	7,3	5,8
Temp. media °C	13,0	13,0	13,0	12,8	12,3	11,3	10,6	11,7	12,5	13,4	13,5	13,4	12,5
Humedad relativa %	80,0	81,2	79,6	73,3	59,1	52,5	52,2	54,8	60,4	65,9	70,3	74,2	67,0
Vel. Viento km/km	5,7	5,7	5,3	5,9	7,0	7,1	7,6	8,1	7,3	6,9	6,5	5,9	6,6

Nota. Obtención de Datos Climáticos. **Fuente:** Senamhi

Los fenómenos climáticos que se presentan en la zona son las heladas, granizadas y sequías, que afectan directamente a la producción agrícola, motivo por el cual los agricultores deben buscar estrategias para evitar o mitigar sus efectos.

- **Heladas.** Con mayor frecuencia se presentan de mayo a agosto, sin embargo, existe años donde se presentan heladas tardías, que afectan a los cultivos que se encontraban en plena etapa de crecimiento y o maduración.
- **Granizadas.** Por lo general se presentan entre los meses de diciembre a marzo, afectando a los cultivos de siembra temporal.
- **Sequía.** Se presenta entre agosto y diciembre, coincidiendo con las fases inicial y crecimiento de los cultivos.

2.2.6 Aspectos Ambientales

Si las condiciones actuales de fertilidad de los suelos se reducen por efecto de la erosión, se reducirá la capacidad de resiliencia, obligándolos a migrar a otras zonas más productoras en busca de mejores condiciones de vida.

En el área de la cuenca se observó procesos de degradación de suelo en diferentes grados, observándose procesos erosivos en masas, cárcavas, surcos y laminar, especialmente en suelos que se encuentran en pendiente.

- Erosión en cárcavas.** Se ha identificado áreas que se encuentran sometidos a procesos de degradación por erosión en cárcavas que se originan en terrenos de baja, mediana y mucha pendiente, áreas que fueron de cultivo y posteriormente fueron abandonados por los agricultores a consecuencia del elevado grado de deterioro del suelo.
- Erosión laminar.** Se presenta en parcelas cultivadas y con mayor intensidad en áreas agrícolas abandonadas, donde la cobertura vegetal de los suelos ha sido extraída, de tal manera que el suelo ha quedado expuesto a la intemperie.

Las principales consecuencias que ha generado la pérdida de suelos en la cuenca son:

Disminución de la capacidad productiva de los suelos. Reducción de la fertilidad de la capa arable, que se reflejan en la disminución de la producción y productividad.

Reducción de la capacidad de retención de humedad del suelo. Por la disminución de la materia orgánica en el suelo y la reducción del espesor de la capa arable.

Crecidas más fuertes en cauces naturales. Por la pérdida de espesor de la rizósfera, el suelo tiene menor capacidad de infiltración, que genera mayor escurrimiento y mayores crecidas de los ríos llegando a desestabilizar los taludes de los cauces naturales y generar procesos erosivos en masa.

Reducción de caudales base en los cauces naturales. Al existir menor infiltración en el suelo de la cuenca, se reduce la alimentación de los acuíferos, afectando de directamente al caudal base de los ríos y vertientes que se ven disminuidos.

2.2.7 Cálculo de la Pérdida de Suelos

Para aplicar el modelo se insertó toda la información base disponible para obtener los factores de erosividad de la lluvia (Factor R), erodabilidad del suelo (Factor K), Longitud de ladera (Factor L) y pendiente de ladera (Factor S), factor de cobertura vegetal (Factor C) y finalmente el factor de prácticas de conservación de suelos (Factor P) en este caso se tomaría el valor el valor de 1, ya que en el área de estudio no se implementaron prácticas de conservación de suelos.

2.2.7.1 Factor R de Erosividad

El factor R o erosividad de la lluvia se obtuvo a partir de los registros de lluvia promedio anual del período comprendido entre los años 1981 al 2022 de 3 estaciones pluviométricas, se utilizó la estación de Cororo, la estación de Lamboyo y la estación de Tarabuco. Se utilizó herramientas SIG para el cálculo de este factor, se introdujo la siguiente ecuación planteada por Arnoldus (1980) al programa.

$$R=21,56 IMF0,927 (3)$$

2.2.7.2 Factor K de Erodabilidad

El cálculo de este factor nos muestra como los distintos tipos de suelos se erosionan a diferentes tasas de pérdida de suelos, dependiendo directamente de la intensidad de un evento de hidrológico. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$K_{USLE} = f_{csand} * f_{ci-si} * f_{org} * f_{hisand} \quad (4)$$

2.2.7.3 Factor de Topografía de la Cuenca (LS)

La longitud e inclinación de las pendientes que presenta la cuenca influyen directamente en la tasa de erosión hídrica, ambos factores se han evaluado por separado, sin embargo, en base a estudios de campo es más conveniente utilizarlos como un solo factor y se estima con las siguientes ecuaciones:

$$L = (\lambda / 22.13) \text{ m} \quad (5)$$

$$S = 10.8 * \sin \beta + 0.03 \quad \tan \beta < 0.09 \quad (5.3)$$

$$S = 16.8 * \sin \beta - 0.5 \quad \tan \beta > 0.09 \quad (5.4)$$

2.2.7.4 Factor de Cobertura Vegetal de la Cuenca (C)

El factor C representa el grado de protección de un determinado tipo de vegetación que ofrece al suelo, este factor se calcula a partir de los índices de vegetación, mientras el valor tienda a uno el suelo está menos protegido.

2.2 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

En base a la siguiente tabla se puede observar que los valores de R de la cuenca Sunchu Pampa son relativamente bajos si tomamos en cuenta el promedio anual, esto debido a la baja frecuencia de lluvia y que el periodo de lluvias dura muy poco tiempo a lo largo del año.

Cuadro 12.

Clasificación R

CLASIFICACIÓN	Factor R (MJ/Ha*mm/h)
Bajo	0-50
Moderado	50-550
Alto	550-1000
Muy Alto	>10000

Fuente: (D'Amario Fernández, 2016)

De acuerdo a la siguiente clasificación podemos analizar que el suelo presenta características físicas altamente susceptibles a la erosión hídrica, el suelo es altamente poroso y presenta bajos porcentajes de materia orgánica.

Cuadro 13.

Clasificación K

Limitación de Grados	Factor K (Ton*h/MJ*mm)
Nulo	<0.01
Ligero	0.01<K<0.02
Moderado	0.02<K<0.03
Fuerte	0.03<K<0.04
Muy Fuerte	K>0.040

Fuente: (D'Amario Fernández, 2016)

De acuerdo a los datos obtenidos se puede observar que varias zonas de la cuenca presentan pendientes muy pronunciadas, a mayor pendiente la cuenca es más susceptible al proceso de la erosión hídrica.

En cuanto al Factor C de la cuenca se puede analizar que se tiene un bajo porcentaje de cobertura vegetal ya que las condiciones climáticas no contribuyen al desarrollo normal de las plantas, mayormente la cuenca presenta un suelo desnudo, algunos bosques ralos de eucaliptos y pinos, bosques arbustivos, algunas zonas con pastizales.

Cuadro 14.

Tabla de Valores de Factor C

Factor C	Descripción	Área (Ha)
< 0.05	Cuerpos de Agua	0.4
0.05 – 0.2	Bosque Ralo	3656.5
0.2 – 0.5	Vegetación Escaza	133.0
0.5 – 0.6	Cultivos y Matorrales	23.4
< 0.6	Suelo desnudo	1.4

Fuente: (D’Amario Fernández, 2016)

Finalmente se puede observar el producto final donde se identificaron las zonas más erosionadas, estas zonas críticas deben ser atendidas lo más pronto posible antes que se lleguen a procesos de desertificación, de acuerdo a la siguiente tabla se puede observar que existen zonas de alta erosión.

Cuadro 15.

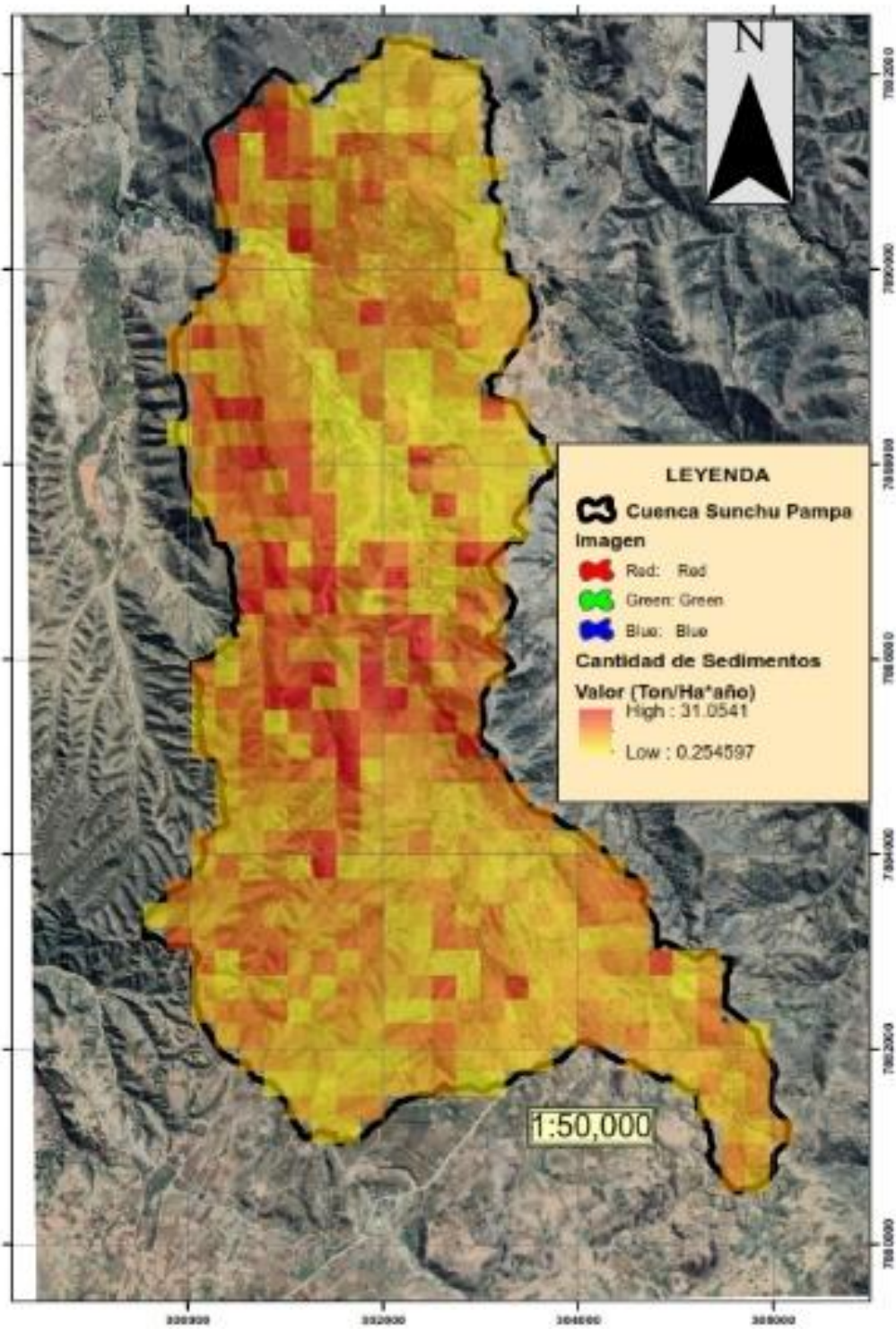
Clasificación de la Erosión Hídrica

Tipo de Erosión	Pérdida Potencial
Muy Bajo	<6.7
Bajo	6.7 – 11.2
Moderado	11.2 – 22.4
Alto	22.4 – 33.6
Muy Alto	>33.6

Fuente: (D’Amario Fernández, 2016)

Figura 24.

Estimación de Sedimentos



Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 16.

Grado de Erosión

Grado de Erosión en la Cuenca Sunchu Pampa			
Tipo de Erosión	Pérdida Potencial de Suelos (Ton/Ha/año)	Área Total Cuenca (Ha)	Área por Clase (Ha)
Erosión muy Baja	< 6.7	3814.7	1756.1
Erosión Baja	6.7 - 11.2		1091.5
Erosión Moderada	11.2 - 22.4		896.3
Erosión Alta	22.4 - 33.6		70.8

Fuente: Elaboración Propia

3. Capítulo III: CONCLUSIONES

De acuerdo a que se identificaron todas las zonas con alto grado de erosión y baja cobertura vegetal, se deben mitigar los efectos erosivos, se debe mejorar la capacidad de infiltración y retención de agua, favoreciendo de esta manera la recarga de acuíferos. A fin de incrementar la cobertura vegetal de la cuenca se propone las siguientes medidas:

Forestación con especies nativas. Se recomienda realizar esta actividad con el fin de conformar bosquecillos, que serán ubicados en zonas degradadas con baja cobertura vegetal, las que serán protegidas del daño de los animales a través de alambradas. Los trabajos de forestación serán ejecutados por el grupo de familias asentadas en la cuenca y el grupo de regantes del sistema de riego Valles de Tarabuco, previos acuerdos entre partes.

Conformación de terrazas de formación lenta. Esta medida se debe implementar en áreas de producción agrícola ubicadas en laderas. Esta medida se ha fraccionado en 2 tipos, terrazas de formación lenta con barreras vivas y terrazas de formación lenta con barreras muertas:

- La primera consiste en la implantación densa de especies arbustivas y pastos en hileras transversales a la pendiente de los terrenos, de tal manera que se constituirán en barreras que detendrán el transporte de sedimentos, formando en el tiempo las terrazas.
- La segunda consiste en la conformación de las barreras con piedra, formando hileras transversales a la pendiente de los terrenos, que al igual que el anterior se constituyen en barreras que retendrán el arrastre de los sedimentos que con el tiempo de conforme las terrazas.

Implementación de zanjas de coronación e infiltración. Es importante implementar de las zanjas de coronación está dirigida a impedir el ingreso de agua a parcelas, direccionándolos hacia cauces naturales de manera ordenada y sin que ocasione daños, evitando de esta manera procesos erosivos en las parcelas.

Finalmente se ha considerado también la implementación de medidas estructurales o físicas, que permitirán reducir los volúmenes de arrastre de sedimentos a través de los cauces naturales. Dentro de estas medidas se cuenta con:

- ✓ Construcción de zanjas de coronación, en sectores con cárcavas activas, permitiendo la derivación de agua hacia cauces más estables y evitando el escurrimiento de flujos mayores de agua en las cárcavas.
- ✓ Construcción de diques transversales en cauces naturales. Consiste en la construcción de diques de gavión, que serán emplazadas en los lechos de ríos y quebradas, el objetivo es conseguir la retención de sedimentos gruesos que son arrastrados por las crecidas, a fin de evitar que este material llegue a la presa que se construirá con el proyecto Valle de Tarabuco, coadyuvando de esta manera a prolongar la vida útil de esta infraestructura que beneficia al grupo de familias regantes.

3.1 Recomendaciones

- ✚ Es importante socializar todas las medidas que se propongan para que la población beneficiaria este capacitada, de tal manera que estén bien informados para aprovechar al máximo la implementación de todas estas medidas.
- ✚ El Municipio de Tarabuco debe priorizar planes estratégicos enmarcados en la GIRH para la conservación y manejo de los suelos, deben estar debidamente planificado en su PTDI para evitar la degradación del suelo de tal manera que la seguridad alimentaria en la población no se vea afectado.
- ✚ El trabajo de conservación y manejo de los suelos debe ser permanente en la cuenca sobre todo para el mantenimiento de todas las medidas estructurales que se implementen, de esa manera las estructuras tendrán mayor tiempo de vida útil.

4. BIBLIOGRAFÍA

- Arce, L. (5 de Marzo de 2006). *Situación ambiental en relación con la erosión en Bolivia*.
Obtenido de [http://www.fao.org/3/T2351S0c.htm#:~:text=Bolivia%2C%20con%20una%20superficie%20de,%25\)%20e%20h%C3%ADdrica%20\(45%25\).&text=La%20erosi%C3%B3n%20que%20afecta%20al,mal%20uso%20de%20la%20tierra](http://www.fao.org/3/T2351S0c.htm#:~:text=Bolivia%2C%20con%20una%20superficie%20de,%25)%20e%20h%C3%ADdrica%20(45%25).&text=La%20erosi%C3%B3n%20que%20afecta%20al,mal%20uso%20de%20la%20tierra).
- Ballivian, J. (2008). *Rehabilitacion y Construccion de Terrazas Agricolas Prehispanicas*.
Obtenido de http://saberbolivianos.com/investigadores/Aballivian/manual_tecnico_terrazas_agricolas.pdf
- Bravo, F. (2018). Sistemas de Información Geográfica vía Internet, para el manejo de cuencas y los desastres naturales. *REAXXION Ciencia y Tecnologia Universitaria*, 51.
- Castillo, C. P. (3 de Febrero de 2010). *MANEJO INTEGRAL DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS*. Obtenido de <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/serieactas/NR32793.pdf>
- Castro., E. M. (9 de Febrero de 2009). *Evaluación De Los Factores De La Ecuación Universal De Pérdida De Suelo*. Obtenido de <https://cenida.una.edu.ni/Tesis/tnp36h565.pdf>
- Chipana Rivera, R. (2018). *Manual de Tecnicas de Manejo y Conservacion de Suelos*. Obtenido de <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/23875>
- D'Amario Fernández, M. J. (2016). *Evaluación del riesgo de erosión hídrica, su distribución espacial y el efecto de la cobertura vegetal en el proceso erosivo, en la cuenca*

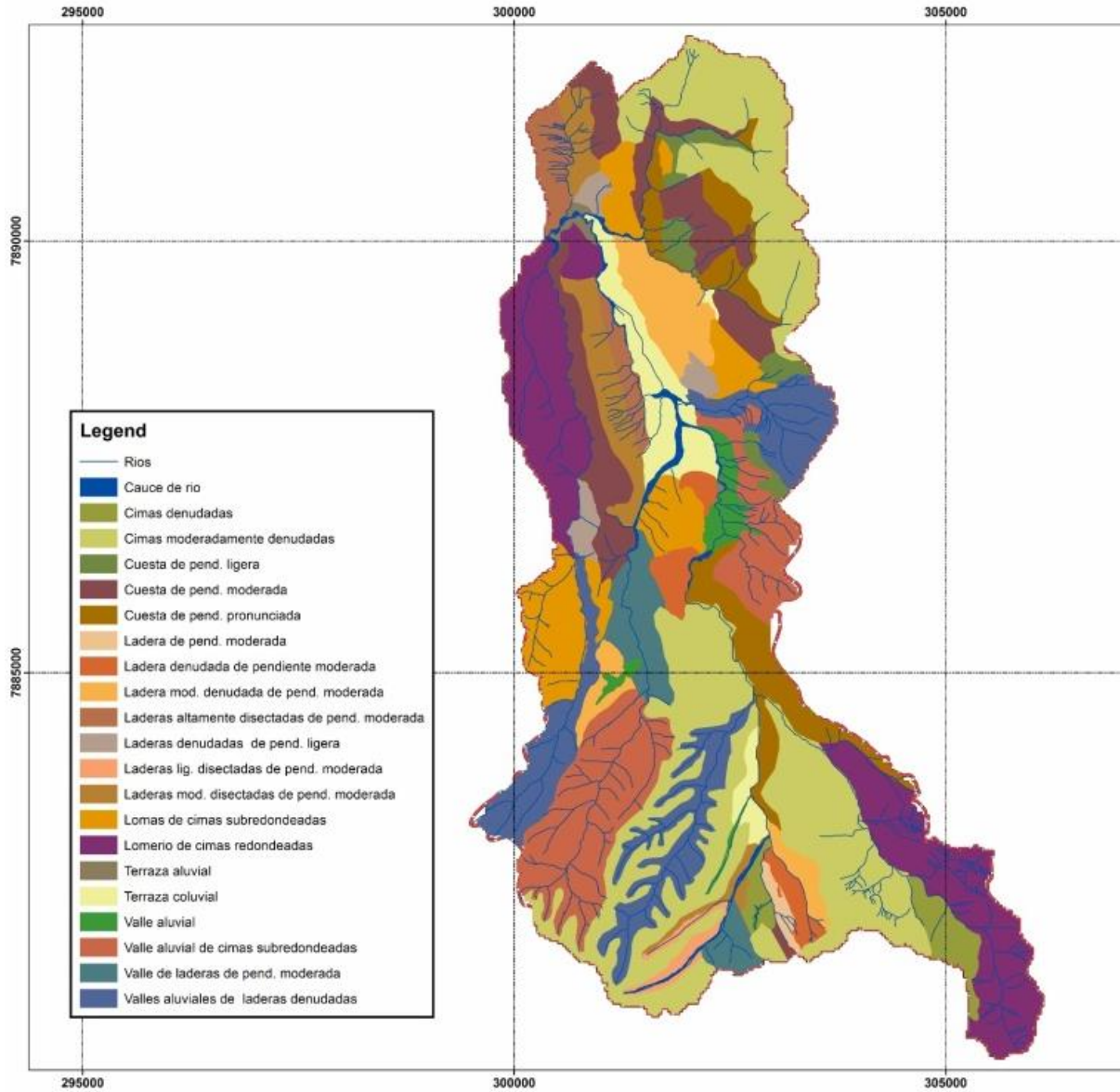
- hidrográfica del Río Tunuyán Superior (Mendoza)*. Obtenido de https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/7814/tesis-irnr-damario-mara-julieta.pdf
- Departamento de Desarrollo Económico, S. y. (25 de Agosto de 2017). *Degradación del suelo*. Obtenido de <https://www.euskadi.eus/informacion/degradacion-del-suelo/web01-a2inglur/es/>
- España, S. y. (25 de Agosto de 2017). *Degradación del suelo*. Obtenido de <https://www.euskadi.eus/informacion/degradacion-del-suelo/web01-a2inglur/es/#:~:text=La%20degradaci%C3%B3n%20del%20suelo%20es,naturales%20como%20a%20causas%20antr%C3%B3picas.&text=Aqu%C3%A9llos%20que%20producen%20el%20desplazamiento%20de%20las%20part%C3%A>
- Hidrologico, P. N. (2018). *Modelos Propuestos para la Recuperacion Forestal*. Obtenido de <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/12/161Modelos%20de%20Recuperaci%C3%B3n%20Forestal%20Propuestos%20para%20la%20Regi%C3%B3n%20VIII,%20Lerma-Santiago-Pac%C3%ADfico.pdf>
- Naturales, S. d. (2015). *Suelos, bases para su Manejo y Conservación*. Obtenido de https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers16-07/010067297.pdf
- Navarro, J. (2018). La gestión hídrico-ambiental, una responsabilidad colectiva. *Desafíos pendientes para acometer la gestión hídrico-ambiental*, 28.
- NUCLEAR, I. B. (20 de Abril de 2009). *EROSION DE SUELOS EN BOLIVIA*. Obtenido de <http://arcal.unsl.edu.ar/documentos/RLA5051-bolivia.pdf>
- Riego, V. d. (10 de Mayo de 2014). *Guía para la Elaboración de Proyectos de Gestión Integrada de Recursos Hídricos*. Obtenido de <https://www.bivica.org/files/elaboracion-proyectos-girh-mic.pdf>
- Suarez, M. (1996). Sistema de Control de Aguas. *Manual de Zanjias*, 9.
- Trejo, S. D. (Julio de 2012). *RIESGO A LA EROSIÓN HÍDRICA Y PRÁCTICAS DE MANEJO DE SUELOS EN LA MICROCUENCA LA CONCORDIA*. Obtenido de <https://ninive.uaslp.mx/xmlui/bitstream/handle/i/3420/IAZ1RIE01201.pdf?sequence=2&isAllowed=y>
- Zamora Rojas, E. (2010). *Guía metodológica para el diseño y construcción de cerramientos perimetrales*. Obtenido de http://www.uco.es/investigacion/proyectos/biodehesa/wp-content/uploads/04_cerramientos_ganaderia-1.pdf

ANEXOS

Anexo I

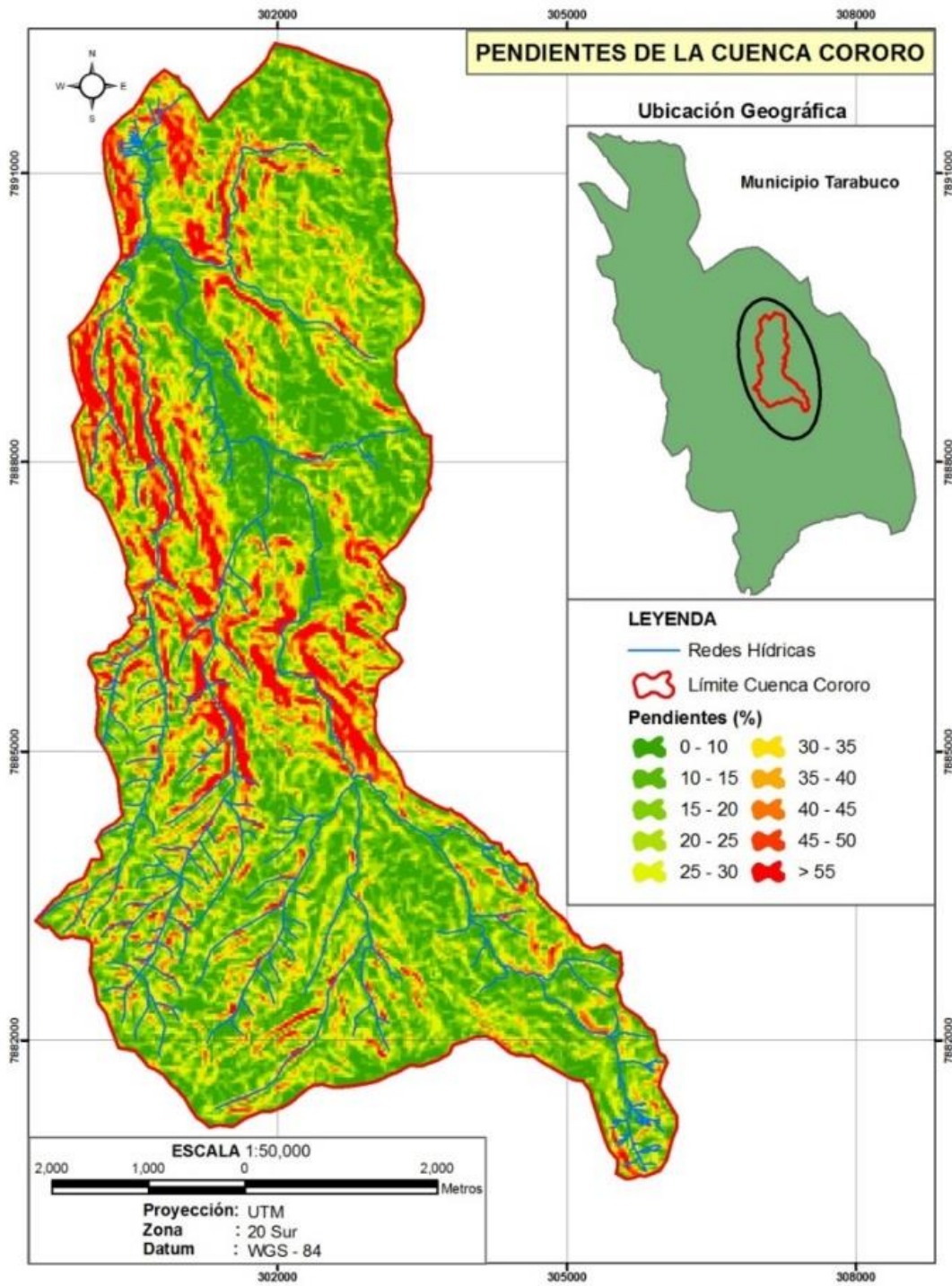
Mapas Temáticos

Figura 1 Mapa geomorfológico



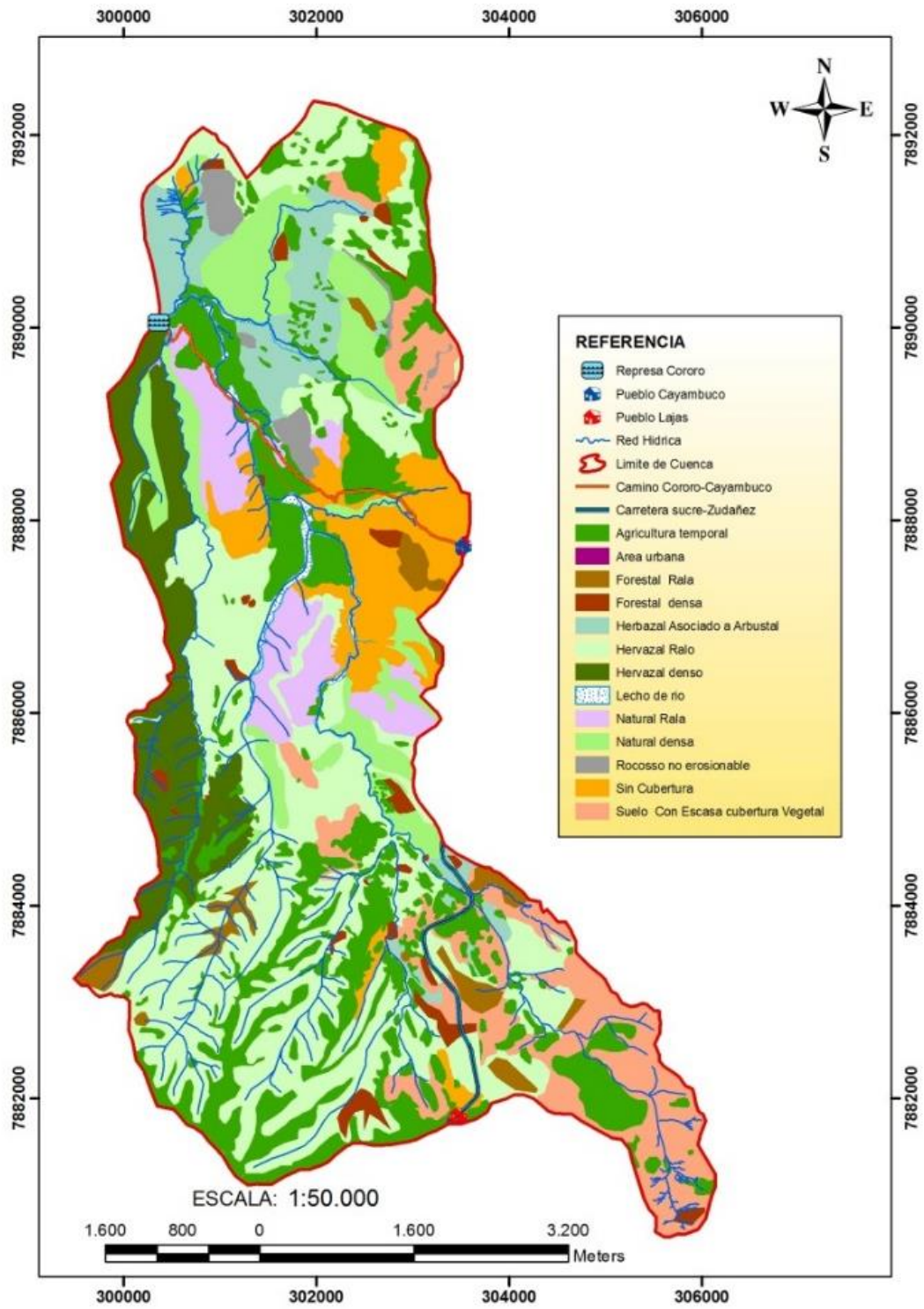
Fuente: PTDI, Municipio Tarabuco

Figura 2 Mapa de pendientes de la cuenca



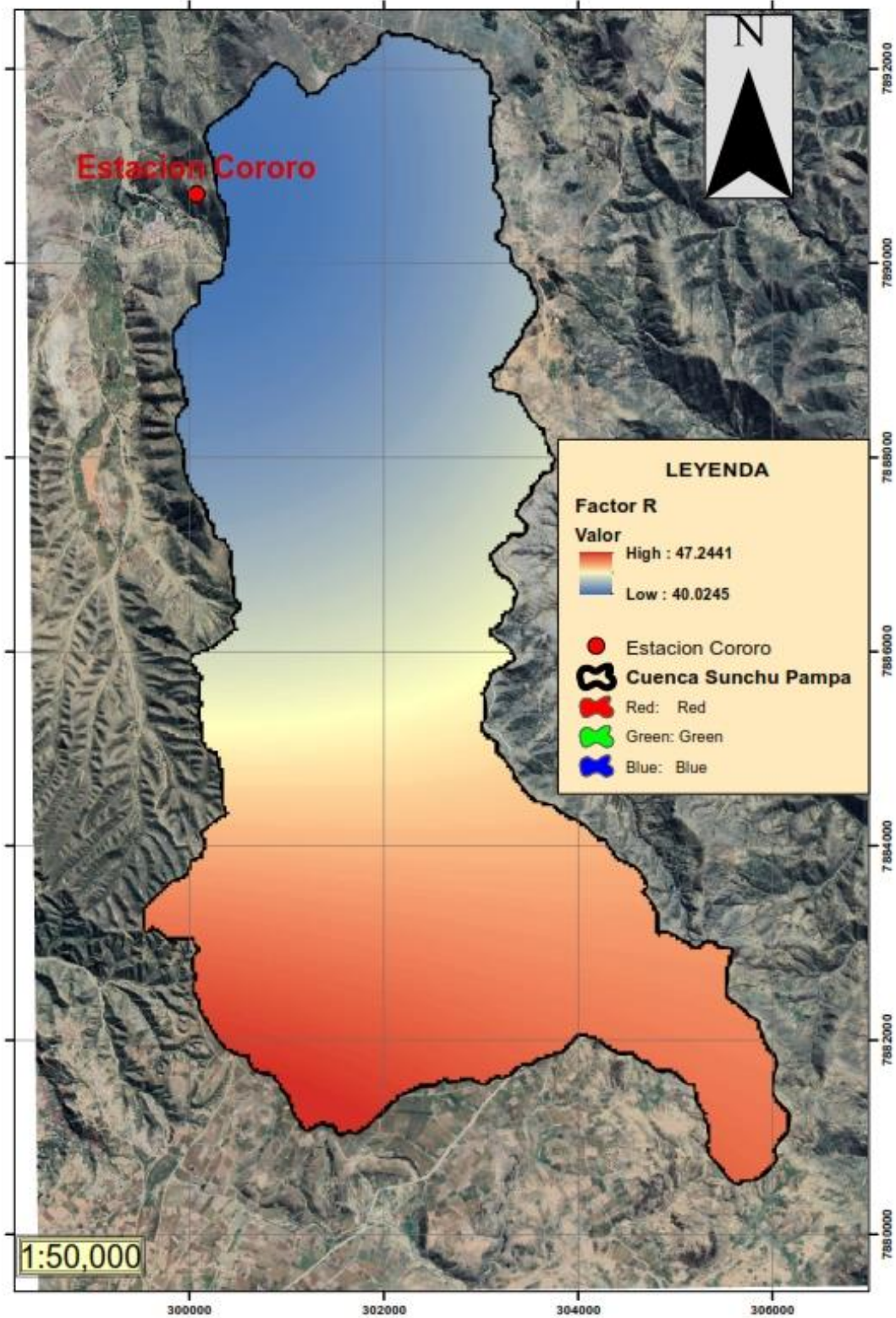
Fuente: Elaboración Propia

Figura 3 Uso de suelo y cobertura



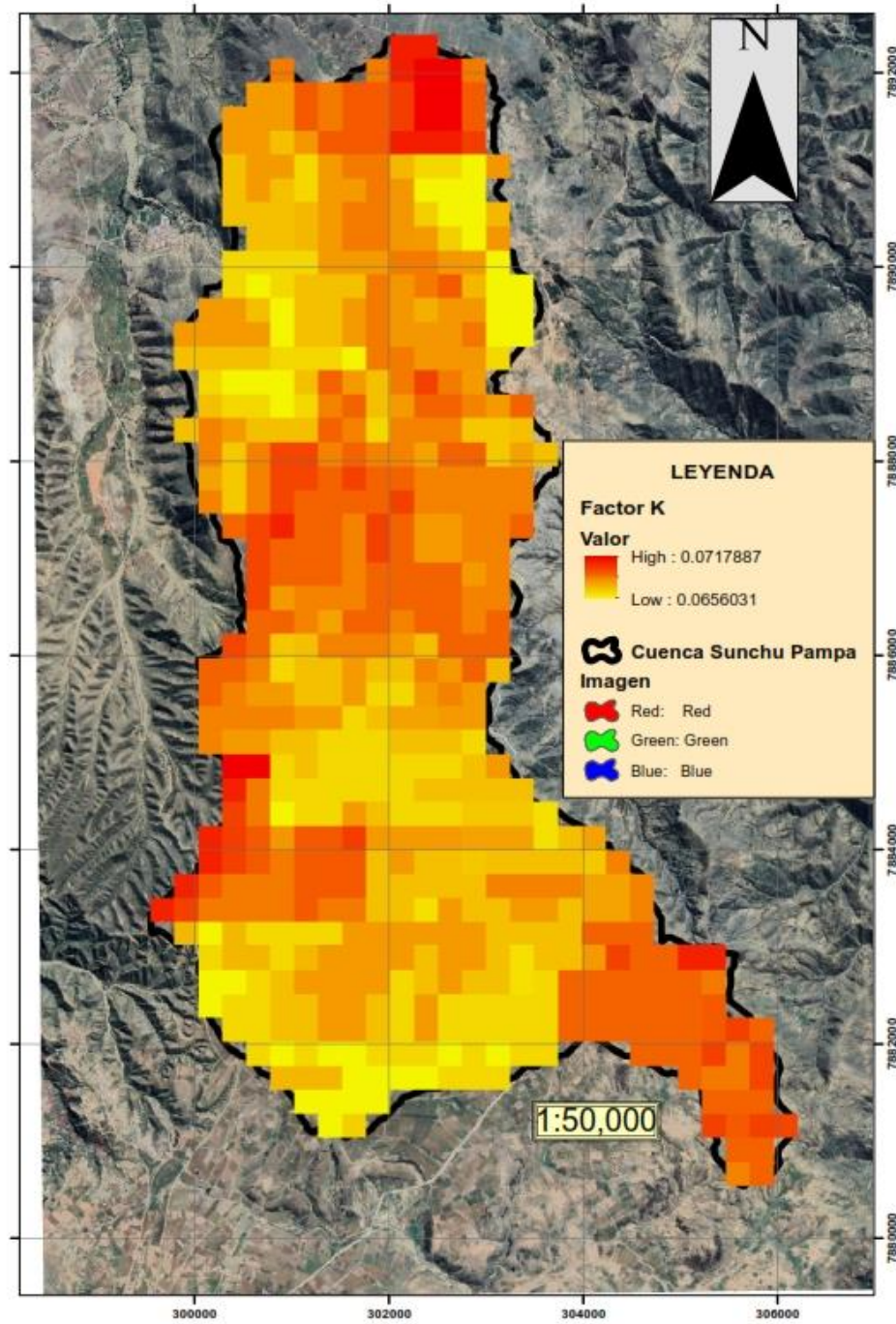
Fuente: PTDI, Tarabuco

Figura 4 Factor R



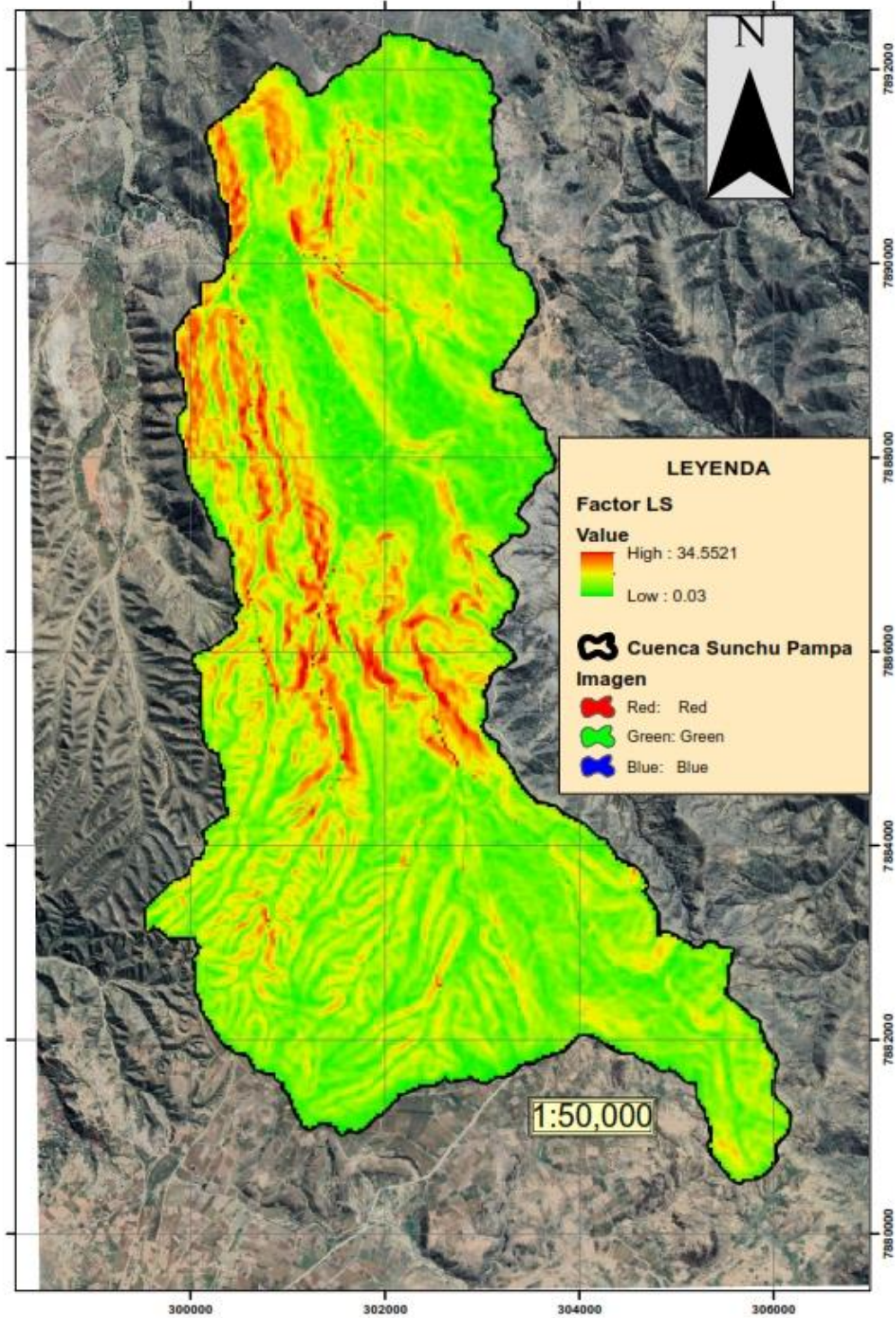
Fuente: Elaboración Propia

Figura 5 Factor K



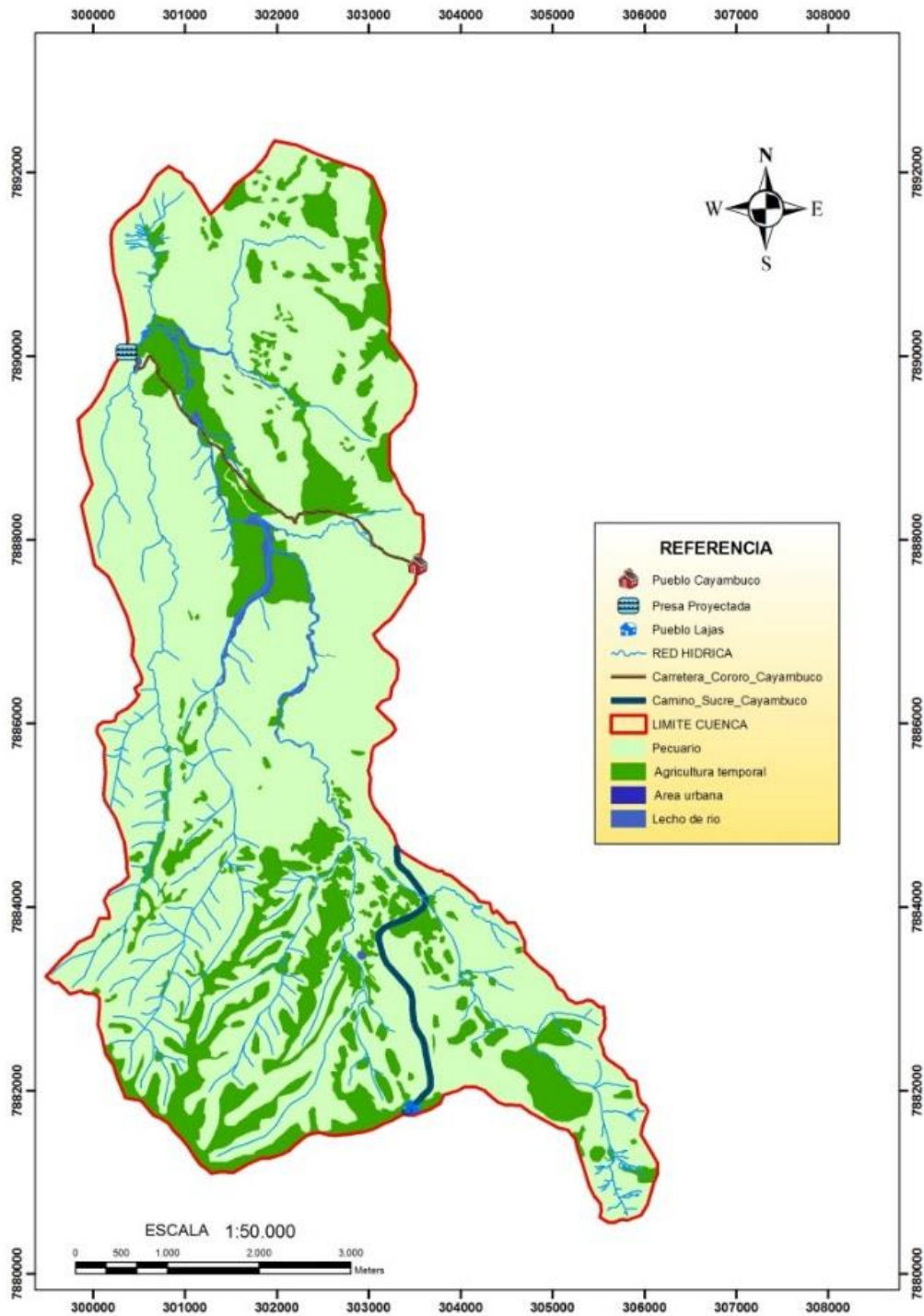
Fuente: Elaboración Propia

Figura 6 Factor LS



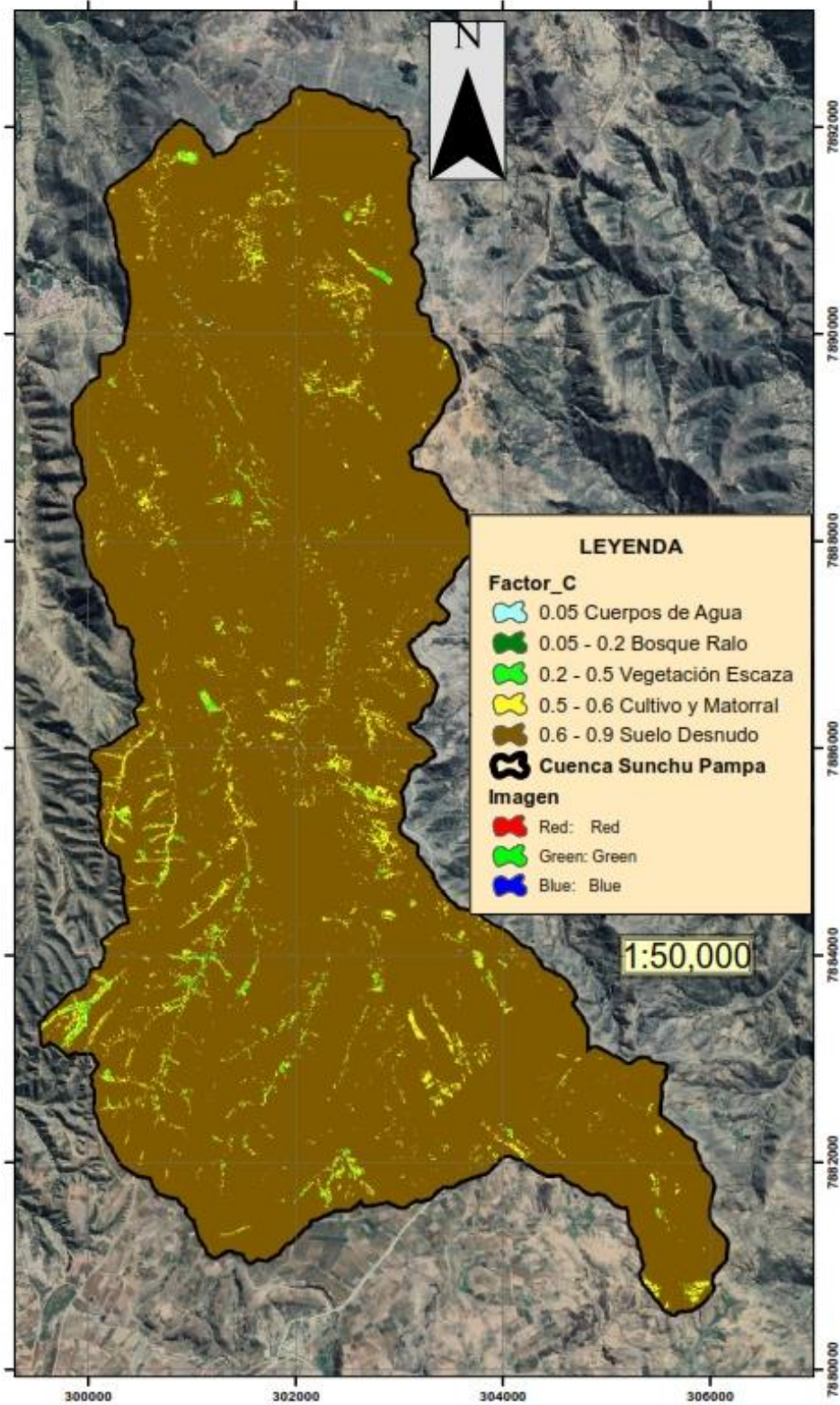
Fuente: Elaboración Propia

Figura 7 Uso agrícola y pecuario



Fuente: PTDI, Municipio Tarabuco

Figura 8 Factor C



Fuente: Elaboración Propia

Anexo 2
Memoria Fotográfica

Figura 9 Área de Cultivo



Fuente: Elaboración Propia

Figura 10 Área de Pastoreo



Fuente: Elaboración Propia

Figura 11 Erosión en Cárcava Alta



Fuente: Elaboración Propia

Figura 12 Erosión en Cárcava Media



Fuente: Elaboración Propia

Figura 13 Erosión Hídrica por Surcos



Fuente: Elaboración Propia

Figura 14 Desertificación de un Suelo



Fuente: Elaboración Propia

Figura 15 Posibles Área de Forestación



Fuente: Elaboración Propia

Figura 16 Posible Área de Pastoreo



Fuente: Elaboración Propia

Anexo 3

GIRH

Gestión Ambiental en cuencas hidrográficas

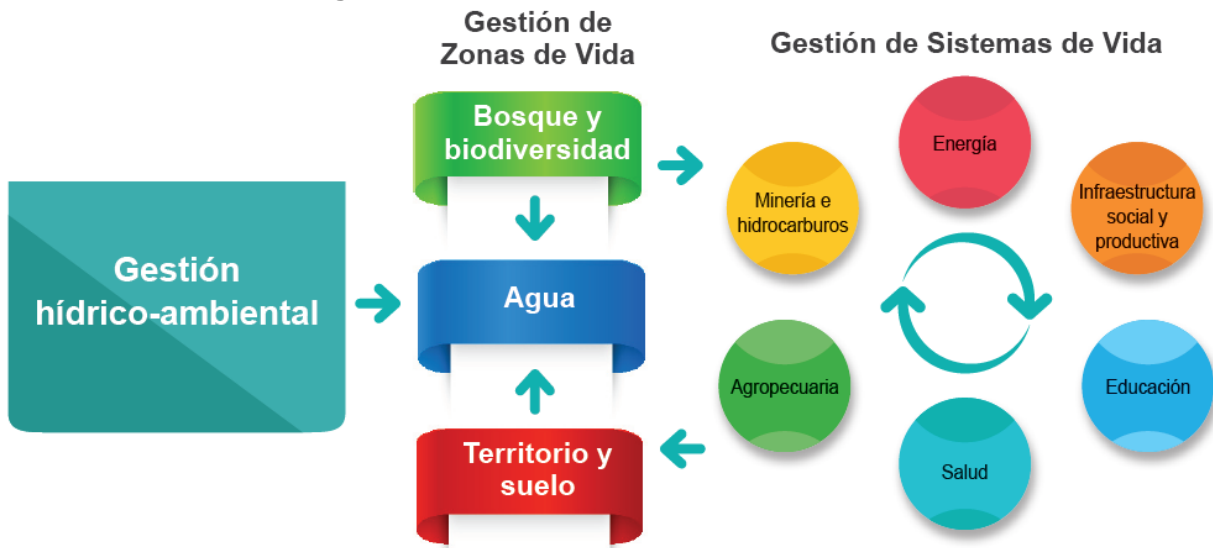
La gestión hídrico-ambiental incluye la Gestión Integrada de Recursos Hídricos y el Manejo Integral de Cuencas (GIRH-MIC), y debe involucrar explícitamente a los sectores y subsectores que son directamente dependientes del agua para su funcionamiento y aquellos que son claves para la conservación de los sistemas donde se generan las aguas.

En ese marco, nuestro país asume la definición internacional de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) como: “El proceso que promueve la gestión y el desarrollo coordinado del agua, de la tierra y de los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar económico y social con equidad y sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales”.

La GIRH es, por lo tanto, el medio para lograr un equilibrio entre tres objetivos:

- i) La eficiencia, para que los recursos hídricos cubran la mayor parte posible de las necesidades.
- ii) La equidad en la asignación de los recursos y servicios hídricos entre los diferentes grupos económicos y sociales.
- iii) La sostenibilidad ambiental a partir de la protección de los recursos hídricos y los ecosistemas asociados a estos.

Figura 17 Gestión de hídrico-ambiental



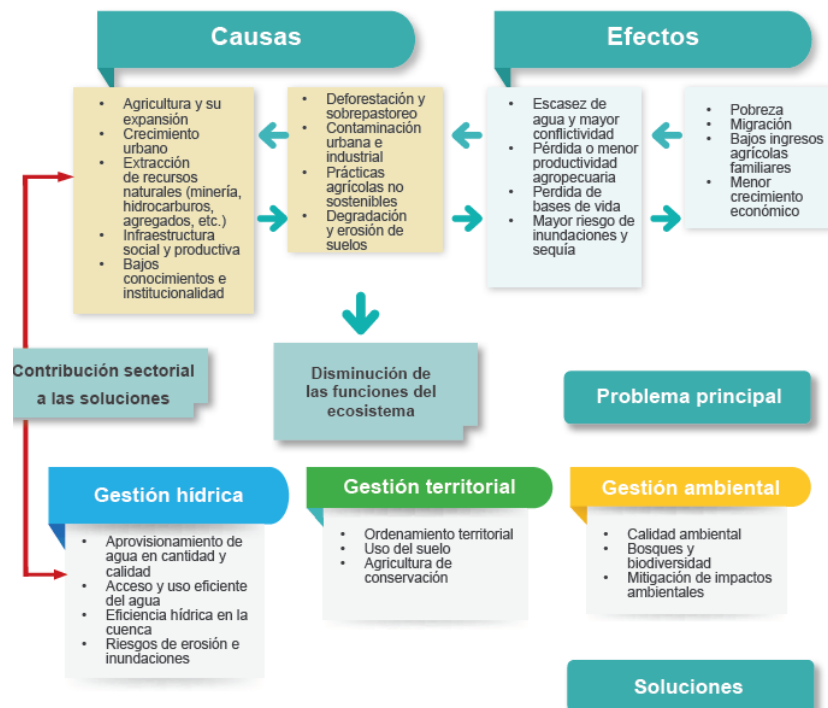
Fuente: (Navarro, 2018)

A pesar de las acciones que el Estado ha venido desarrollando durante los últimos años, el tema ambiental y la gestión hídrica aún son asignaturas pendientes en el país, porque existen evidencias e indicadores medioambientales que muestran el riesgo para los sistemas naturales y su capacidad de provisión de agua, por la baja eficiencia hidrológica en las cuencas. Las causas principales son:

- La pérdida de bosques y cobertura vegetal, con altas tasas de deforestación, que alcanza 350.000 ha/año, por diversos factores, como la ampliación de la frontera agrícola y ganadera, la explotación forestal, la apertura de caminos, la expansión urbana y la colonización.
- La sobreexplotación de los acuíferos por falta de regulación y control. Estudios realizados en el Valle Alto de Cochabamba demuestran que la capa freática ha bajado a un ritmo de entre 1,15 a 1,4 m/año, y su caudal también ha disminuido al 50%.

- La contaminación del agua, que es significativa y altamente preocupante. Está vinculada, entre otros, a los residuos en áreas urbanas, actividades mineras, descargas de agroquímicos y el uso de pesticidas en la producción agropecuaria.
- Los procesos de desertificación afectan más del 38% de la superficie de Bolivia, especialmente en las zonas áridas y semiáridas. Uno de los mayores problemas ambientales es la degradación de la tierra, que es creciente y se expresa fundamentalmente en un agudo proceso de erosión, que trae consigo la pérdida de la capacidad del suelo agrícola y forestal, la disminución de la cobertura vegetal y la destrucción de las bases productiva del país.
- Los efectos del cambio climático con prolongadas épocas de sequía, temperaturas más elevadas, precipitaciones erráticas y cambios en el régimen de lluvias, condicionan la escasez de agua especialmente en la zona montañosa y provocan fenómenos de desbordes e inundaciones en las zonas bajas.

Figura 18 Análisis de la problemática en cuencas



Fuente: (Navarro, 2018)

Anexo 4

Datos Socioeconómicos

Las familias beneficiarias directas son las que se hallan asentadas en territorio de la cuenca, donde realizan sus actividades productivas y económicas, las comunidades son: Cororo, Cayambuco, Lajas Sijlla, Jatun Mayu, Otoruncu y Vila Vila. Dentro de este grupo de comunidades beneficiarios directos, se distinguen a comunidades que se hallan asentadas en su totalidad en territorio de la cuenca y aquellas que forman parte de la cuenca parcialmente:

- Las asentadas en su totalidad son Cayambuco, Lajas Sijlla y Otoruncu.
- Las asentadas parcialmente son: Cororo, Jatun Mayu y Vila Vila.

Dentro grupo de comunidades beneficiarias directas se tiene a 191 familias que forman parte de las 6 comunidades. Según el Plan de Desarrollo Municipal de Tarabuco, tamaño promedio de habitantes por familia es de 4,45. Considerando esta información se concluye que en la cuenca se tiene una población de 853 habitantes, de las cuales 410 son hombres que hacen el 48% y 443 mujeres que hacen al 52%, agrupados en 191 familias y 6 comunidades.

La emigración de las familias de la cuenca se realiza de junio a septiembre, coincidentemente con la etapa de post cosecha. El factor determinante para la migración es la búsqueda de fuentes de trabajo que le permita a la familia obtener ingresos económicos adicionales.

La totalidad de familias habitantes en la cuenca tiene como principal idioma el lenguaje quechua. Sin embargo, por su relacionamiento con el mercado y la asistencia a centros educativos la mayoría de los pobladores habla el español, por lo que son considerados bilingües de habla quechua-castellano.

- **Aspectos Socio Culturales**

Los principales aspectos que caracterizan a este grupo de familias son:

- Forman parte del grupo étnico Yampara, su principal actividad es la agricultura extensiva de subsistencia, actividad que es complementada por la crianza de animales a campo abierto.
- Las actividades dentro del núcleo familiar de estas familias están divididas entre los varones y mujeres. Los hombres se dedican a realizar trabajos que demanden mayor fuerza laboral principalmente en la agricultura y las mujeres las actividades como las labores de casa, atención a los niños, cuidado de animales.
- Sus fiestas tradicionales son todos los santos, carnaval y pascua, Santa Bárbara, Rosario, Guadalupe, donde organizan diferentes eventos sociales con participación de sus pobladores.
- Para la toma de decisiones importantes que involucra a la comunidad lo realizan en reuniones con participación de la mayoría de sus afiliados.

Los principales aspectos que los caracterizan en el manejo de los recursos naturales son:

- a) Manejo de los suelos.** La tecnología para la producción agrícola es tradicional, las labores agrícolas se realizan con tracción animal. En áreas de cultivo no se implementa medidas de protección y conservación de suelos como zanjas de coronación, terrazas de formación lenta, barreras vivas o muertas, surcos en contorno, lo que favorece al deterioro del suelo.
- b) Manejo del agua.** La gestión del agua se realiza a través de las organizaciones comunitarias (sindicato agrario) o a través de comités de agua. En la cuenca no se aprecia trabajos y obras construidas para la conservación o protección de las fuentes de agua existentes.

c) **Manejo de recursos forestales y pasturas.** Al ser los terrenos de dominio privado, las plantaciones y pastizales en la cuenca son manejadas por cada agricultor propietario de dicho terreno.

Aspectos Productivos

La tenencia de la tierra en la cuenca es de carácter privado, son de propiedad de las familias que se hallan asentadas en ella y es usada para la producción agrícola y pecuaria que se constituye base fundamental de sustento de la unidad familiar. Por la baja disponibilidad de tierras es fuertemente explotada tanto en la producción agrícola como en la pecuaria; aunque esta última reviste menor importancia en términos económicos.

En la siguiente figura se muestra las zonas destinadas a producción agrícola y pecuaria. En el mapa se muestra que la cobertura de áreas de cultivo es mayor en las zonas alta y baja, siendo la zona media la que presenta mayor pendiente y áreas de riesgos, por lo que actualmente solo se lo considera como áreas de pastoreo.

Cuadro 1 Cobertura de uso

Uso	Símbolo	Área ha	Porcentaje
Agricultura temporal	AT	773,07	20,22
Pecuario y otros	PF	3000,41	78,48
Área urbana	AU	2,97	0,08
Lecho de río	LR	46,55	1,22
TOTAL		3.823,00	100,00

Fuente: PTDI, Municipio Tarabuco

Actividad agrícola

La mayor parte de los ingresos familiares provienen de la agricultura y la actividad pecuaria, actividades que no logran satisfacer las necesidades de las familias porque los terrenos de que disponen son de reducido tamaño y el ganado que poseen es en pequeña escala. Los cultivos de mayor importancia en las comunidades son: papa a temporal, trigo, cebada, maíz grano, arveja, haba y quinua. Las principales actividades que se desarrollan durante la cadena productiva se detallan en el siguiente cuadro.

Cuadro 2 Calendario agrícola según actividades de los principales cultivos

Actividades	Principales cultivos de la zona				
	Papa	Trigo	Arveja	Maíz	Haba
Barbecho	Abril				
Preparación del terreno	Oct- Nov-	Nov – Dic	Dic	Sep - Oct	Nov
Siembra - Plantación	Oct – Dic	Dic	Dic - Ene	Nov - Dic	Nov - Dic
Labores Culturales	Dic -	Ene a Abr	Ene - Mar	Dic – Feb	Ene - Feb
Cosecha	Mar - Abr	Abr - May	May	Mar - Abr	Mar - Abr
Almacenamiento	May-Jun	May-Jun	Jun	Abr-May	May
Comercialización	May a	Jun - Oct	Jun - Jul	Jun - Jul	May - Jun

Fuente: Elaboración Propia

La actividad agrícola en la cuenca tiene las mismas características, la mayoría de los cultivos son a secano, por lo tanto, el inicio de las faenas agrícolas coincide con el inicio del período de lluvias, las principales actividades que realizan durante la cadena productiva son el barbecho, siembra, labores agrícolas, cosecha y comercialización de algunos productos.

La tecnología empleada es la tradicional, con participación de mano de obra familiar, la siembra se efectúa con yunta y arado de palo, las labores culturales se realizan de manera manual, la trilla de los cultivos del haba, arveja, trigo y cebada lo realizan con tracción animal o con tractor agrícola.

Actividad Pecuaria

La cría del ganado se realiza con el objetivo de conseguir el estiércol y fuerza de trabajo, para las diferentes labores que demanda la producción agrícola. La tenencia del ganado mayor oscila entre 2 a 3 cabezas de ganado bovino y 1 cabeza de ganado equino por familia.

El ganado menor se cría con el propósito de obtener ciertos beneficios económicos por su comercialización, además de obtener productos y subproductos para la alimentación y vestimenta de la familia. La alimentación del ganado se realiza en toda la cuenca, se basa en el pastoreo en praderas nativas, ramoneo, hojarascas y rastros, este último en invierno.

La alimentación del grupo de agricultores que viven en la cuenca depende exclusivamente de la producción agrícola y pecuaria, que a su vez depende de las condiciones climatológicas y las condiciones de fertilidad de los suelos.

Las prácticas sobre conservación y protección de suelos realizadas en la cuenca son escasas o nulas, las mismas se limitaron a realizar algunas plantaciones forestales en la década de 1990 con apoyo del Plan Agroforestal Chuquisaca, que ha realizado plantaciones de eucaliptos en las comunidades de Cayambuco y en pequeña proporción en Lajas Sijlla.

Bajo este contexto, los riegos ambientales que se pueden presentar en la cuenca por la actividad humana son el incremento en la desertificación de los suelos, reducción de la cobertura vegetal, reducción de la disponibilidad del agua y la colmatación de la presa proyectada en tiempo menor al de su vida útil.

Desertificación de suelos. En la cuenca se identificó que los principales factores que están influyendo para la desertificación de suelos es el avance de la frontera agrícola, sin enfoque de conservación de suelos. Actualmente en la cuenca se cultiva sin

considerar criterios de conservación de suelos, no se realiza zanjas de coronación en las parcelas, no se ha construido terrazas y no se realiza plantaciones de barreras vivas o construcción de barreras muertas.

Procesos de deforestación de la cuenca. La mayor parte de los agricultores utiliza como fuente de energía calorífica a los vegetales (leña); en contraposición a esta actividad no existe reposición de nuevas plantas, aspecto que desemboca en la pérdida de cobertura vegetal, favoreciendo a procesos erosivos y disminución de la capacidad de retención de humedad y aumento del escurrimiento del agua.

Disminución de caudales de las fuentes de agua. La pérdida de cobertura vegetal, reducción del espesor del suelo lleva a la cuenca a un riesgo eminente de un futuro no lejano, que es reducir el caudal del río Sunchu Pampa.

Colmatación de la presa proyectada. Al no existir prácticas de conservación de suelos en las actividades agrícolas y avanzar procesos de deforestación en la cuenca, existe el riesgo de incrementar los volúmenes de sedimentos producidos en la cuenca, reduciendo la vida útil de la presa proyectada. Aspecto que directamente repercutirá en la producción de 450 ha del grupo de regantes