

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS
Y RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



PROYECTO DE GRADO

**DISEÑO DE OBRAS CIVILES PARA EL CONTROL HIDRÁULICO
DE LA CUENCA PARANI MUNICIPIO DE SAPAHAQUI**

Por:

Lidia Lizeth Mamani Quispe

EL ALTO – BOLIVIA

Diciembre, 2023

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS
Y RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**DISEÑO DE OBRAS CIVILES PARA EL CONTROL HIDRÁULICO DE LA CUENCA
PARANI MUNICIPIO DE SAPAHAQUI**

*Proyecto de Grado presentado
como requisito para optar el Título de
Ingeniera Agrónoma*

Lidia Lizeth Mamani Quispe

Asesores:

Lic. Ing. Isaac Elias Condori Tinta

Ing. Guido Bustamante Huarachi

Ing. Ismael Pedro Condori Daza

Tribunal Revisor:

Lic. Ing. Diego Orlando Tola Aguilar

Lic. Ing. Freddy Ayala Huacara

Lic. Ing. Luis Carvajal Paco

Aprobada

Presidente Tribunal Examinador

DEDICATORIA:

El Proyecto de Grado lo dedico especialmente a Dios, por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida darme siempre fuerza para continuar en este proceso y así poder lograr, mi Grado Académico.

A mis padres por el apoyo que siempre me brindaron en mi formación como profesional.

A mis hermanos (as) por impulsarme a culminar este proyecto.

A mis padres: Gregorio Mamani y Francisca Quispe

A mis hermanos (as): Armin Mamani, Celia Mamani, Cinthia Mamani

A mi sobrinito: Raython Elon Mamani

A mi cuñada: Cecilia Chirino

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la oportunidad de vivir y por haber estado siempre conmigo en los buenos y malos momentos y así poder culminar mi Carrera de Agronomía.

A la Universidad Pública de El Alto, especialmente a la carrera de Ingeniería Agronómica por haberme formado como profesional.

Al Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA), con el Proyecto de capacidades GIRH-MIC de la Cuenca Pedagógica Parani y al Instituto de Investigación y Extensión Agrícola y Posgrado (IINEAP) - UPEA, por darme la oportunidad de poder realizar el Proyecto de Grado.

A mis asesores Lic. Ing. Isaac Elias Condori Tinta, Ing. Guido Bustamante Huarachi y al Ing. Ismael Pedro Condori Daza por su apoyo constante y palabras de aliento que han sido una gran motivación para mí. Gracias de todo corazón por ser mis asesores y por creer en mí.

Agradecimiento a los miembros del tribunal examinador, Lic. Ing. Diego Orlando Tola Aguilar, Lic. Ing. Freddy Ayala Huacara y al Lic. Ing. Luis Carvajal Paco por su paciencia al momento de las correcciones del proyecto, agradecida por todas las observaciones y a su vez las sugerencias para poder mejorar el presente trabajo.

A mi familia Mamani Quispe mis tíos (as) Antonio Mamani, Javier Mamani, Pablo Quispe, Emma Quispe, Ruben Quispe, Ramiro Quispe, Eddy Ayala y Edgar Valencia por todo el apoyo que me brindaron gracias.

A mi novio Ramiro Aruquipa Magi por todo el apoyo que me ha brindado a lo largo de este proceso, gracias por levantarme cuando quería darme por vencida.

A mis amigos (as) Gabriela Mamani, Eddy Tarqui, Diego Mamani, Alfredo Condori, Oswaldo Mamani, William Castro, gracias por su apoyo incondicional durante la realización de mi proyecto de grado.

De la misma manera un agradecimiento especial a los hermanos de Cuenca Pedagógica Parani Walter Mamani, Alvaro Vidal Cruz, Lucio Condori, Gladis Mamani, por brindarme información, hospedaje y alimentación durante la elaboración del trabajo de campo.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TEMAS	i
ÍNDICE DE CUADROS.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	viii
ABREVIATURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi

ÍNDICE DE TEMAS

1. ANTECEDENTES.....	1
2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	2
3. DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA	3
3.1. Diagnóstico de la cuenca de intervención.....	3
4. JUSTIFICACIÓN.....	3
5. OBJETIVOS.....	4
5.1. Objetivo general.....	4
5.2. Objetivos específicos	4
6. MARCO CONCEPTUAL.....	5
6.1. Cuenca hidrográfica.....	5
6.1.1. Microcuenca.....	6
6.2. Factores que componen una cuenca	7
6.3. Manejo integral de cuenca (MIC)	7
6.4. Medidas estructurales y no estructurales en el MIC	9
6.4.1. Medidas no estructurales.....	9
6.4.2. Medidas estructurales para MIC.....	10

6.5.	Construcción de obras civiles	11
6.5.1.	Obra hidráulica.....	11
6.6.	Control hidráulico	12
6.6.1.	Diques de retención	12
6.6.2.	Muros de contención	12
6.6.3.	Muros de gaviones	13
7.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	14
7.1.	Variables independientes y dependientes	14
8.	METODOLOGÍA DEL PROYECTO	15
8.1.	Problemas y oportunidades que se resolverá con el proyecto	15
8.2.	Beneficiario del proyecto	15
8.3.	Característica y especificaciones de diseño y operación del proyecto	16
8.4.	Condiciones, requerimientos y recursos para su aplicación y funcionamiento...17	
8.4.1.	Condiciones para el proyecto	17
8.4.2.	Requerimientos del proyecto.....	18
8.4.2.1.	Aspecto Social	18
8.5.	Instrumentos de gestión, supervisión y control del proyecto	18
8.6.	Tipo de estudio	19
8.7.	Procedimiento, instrumentos y métodos para el relevamiento de la información 19	
8.8.	Análisis e interpretación de la información recolectada y soluciones preliminares 20	
9.	ESTRUCTURA PRELIMINAR DEL PROYECTO (PERFIL O ANTEPROYECTO).....	21
9.1.	Introducción.....	21
9.2.	Objetivo	21
9.3.	Métodos	22
9.3.1.	Localización del proyecto	22

9.3.2.	Procedimiento	23
9.3.3.	Resultados esperados	24
9.3.4.	Beneficiarios	25
9.3.5.	Recursos	25
9.3.5.1.	Recursos humanos	25
9.3.5.2.	Recursos económicos	25
9.3.5.3.	Recursos materiales y de equipos	26
9.3.6.	Responsables	26
9.3.7.	Cronograma de Actividades	26
9.3.8.	Conclusiones	27
9.3.9.	Recomendaciones	27
10.	DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO	29
10.1.	Introducción	29
10.2.	Estudios iniciales	29
10.2.1.	Cuenca hidrográfica Parani	29
10.2.2.	Geografía de la Cuenca Parani	30
10.2.3.	Hidrográfica de la Cuenca Parani	30
10.3.	Características de la cuenca de aprovechamiento	31
10.3.1.	Parámetros geomorfológicos de la cuenca	31
10.3.2.	Forma de la cuenca	33
10.3.3.	Relieve de la cuenca	34
10.3.3.1.	Pendiente promedio de la cuenca	34
10.3.3.2.	Pendiente del cauce principal	34
10.3.4.	Precipitación	34
10.3.5.	Análisis de frecuencias hidrológicas	35
10.3.6.	Relación precipitación – escorrentía	36

10.3.7.	Escorrentía superficial	37
10.3.8.	Determinación de caudales	37
10.4.	Análisis participativo de identificación de acciones para control de erosión hídrica 37	
10.5.	. Obras estructurales y no estructurales recomendadas	40
10.5.1.	Obras en la cuenca receptora	40
10.5.1.1.	Canal de desviación.....	40
10.5.1.2.	Zanja de infiltración.....	40
10.5.2.	Obras en el cauce.....	41
10.5.2.1.	Diques de postes	41
10.5.2.2.	Diques de retención con estructura de gaviones.....	42
10.5.2.3.	Muro de gaviones	43
10.5.2.4.	Muro de contención con neumáticos.....	43
10.6.	Identificación de los sitios de ubicación de los diques de retención	44
10.7.	Diseño de obras civiles para control hidráulico.....	45
10.7.1.	Diseño de diques de retención (gaviones).....	45
10.7.2.	Vertederos.....	46
10.7.3.	Características de los diques de retención	46
10.7.4.	Protección aguas abajo	49
10.8.	Factibilidad técnica	49
10.9.	Factibilidad financiera	50
10.10.	Factibilidad económica	50
10.11.	Impacto social	50
10.12.	Conclusiones.....	51
10.13.	Recomendaciones	51
11.	PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN.....	52
11.1.	Proceso constructivo de un dique de retención con estructura de gaviones	52

11.1.1.	Demarcación topográfica.....	52
11.1.2.	Excavación.....	52
11.1.3.	Mejoramiento de la base	52
11.1.4.	Armado de gaviones.....	53
11.1.5.	Llenado de gaviones.....	54
11.1.6.	Relleno de espacios entre el dique y la excavación	55
11.2.	Cómputos métricos	55
11.3.	Presupuesto	55
11.3.1.	Análisis de precio unitario.....	55
11.3.2.	Presupuesto de obras.....	56
11.3.3.	Presupuesto de Supervisión.....	57
12.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	58
13.	ANEXOS	61

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Cronograma de actividades.....	27
Cuadro 2. Geografía de la Cuenca Parani	30
Cuadro 3. Parámetros básicos de la cuenca	31
Cuadro 4. Parámetros de forma de la cuenca	32
Cuadro 5. Cuadro para el cálculo de pendiente media de la cuenca.....	32
Cuadro 6. Precipitación máxima diaria – Estación Climática Sapahaqui.....	36
Cuadro 7. Ajuste de precipitación máxima diaria, según la función log normal max. ver. 2 p (mm), Estación Climática Sapahaqui	36
Cuadro 8. Coordenadas geográficas de los tres sitios priorizados para la implementación de diques de retención con estructura de gaviones.....	45
Cuadro 9. Dimensiones del gavión tipo caja.....	47
Tabla 9. <i>Dimensiones del gavión tipo colchón</i>	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Operacionalización de variables.....	14
Figura 2.	Especificaciones de diseño y operación del proyecto.	16
Figura 3.	Localización del proyecto	22
Figura 4.	ubicación del área del proyecto (IGM)	30
Figura 5.	Delimitación de la cuenca Parani	33
Figura 6.	Distribución de precipitación promedio mensual, Estación Climática Sapahaqui	35
Figura 7.	Ajuste de precipitación máxima diaria, según la función log normal max. ver. 2 p (mm), Estación Climática Sapahaqui	37
Figura 8.	Clasificación de tratamientos de control de erosión en suelos para la cuenca Parani	39
Figura 9.	Identificación de los tres sitios de construcción de diques de retención con estructura gavionada en la cuenca Parani	44
Figura 10.	Gavión tipo caja y gavión tipo colchón	48

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Fotografía de diferentes actividades

Anexo 2. Actas de participación

Anexo 3. Mapa cuenca Parani

Anexo 4. Mapa de Pendientes

Anexo 5. Mapa de curva hipsométrica

Anexo 6. Cómputos métricos

Anexo 7. Presupuesto General Obras Civiles

Anexo 8. Análisis de Precios Unitarios

Anexo 9. Planos de diseño de construcción

ABREVIATURAS

EDCP	Estudio de Diseño Técnico de Preinversion
GPS	Global Posicionamiento Global
GIRH	Gestión Integrada de Recursos Hídricos
ITCP	Información Técnico de Condiciones Previas
MIC	Manejo Integral de Cuenca
Msnm	Metros sobre el nivel del mar
OGC	Organismo de Gestión de Cuenca
P	Presión
PNC	Plan Nacional de Cuencas
SIG	Sistema de Información Geográfica
V	Velocidad

RESUMEN

El presente Proyecto de Grado, se llevó a cabo en la campaña agrícola 2022-2023, en comunidades de la cuenca hidrológica Parani perteneciente al Gobierno Autónomo Municipal de Sapahaqui – La Paz, con el objetivo de diseñar obras civiles para el control hidráulico de la Cuenca Parani. Se revisó, sistematizó y analizó información referida a Manejo Integrado de Cuencas (MIC), seguido de un diagnóstico participativo con pobladores de Huancané, Milli Milli, Chivisivi Alta, Chivisivi Baja, Parani Alta, Parani Baja, pertenecientes a la cuenca Parani. En base a información de productores y a visitas de verificación in situ a áreas de producción agropecuaria, áreas erosionadas, áreas degradadas y cauces de agua de la cuenca se estableció que las comunidades presentan alto riesgo de ser afectadas por riadas, mazamorras e inundaciones que amenazan la producción de hortalizas y frutas propias de la región. Para contribuir a contrarrestar estas amenazas, se identificaron 3 sitios clave para la construcción de diques de retención de sedimentos con estructura de gaviones. Asimismo, se identificaron prácticas adicionales y complementarias que deben implementarse para realizar un adecuado manejo de la cuenca, entre ellas, forestación, terrazas de formación lenta, canales de desviación, zanjas de infiltración y muros de madera o piedra para controlar el avance de cárcavas. Se realizó el diseño de 3 diques de retención de sedimentos con gaviones, considerando información de pendientes de la cuenca, precipitación pluvial media, crecidas máximas y las dimensiones estándar de las mallas y colchetes para gaviones. En base al análisis de factibilidad técnica, financiera y económica se estableció que es posible la construcción de 3 diques de retención con estructura de gaviones. Las conclusiones del trabajo indican que la construcción de diques de retención de sedimentos con gaviones, es una solución que puede ser aplicada en cursos de agua principales y secundarios de alta importancia en los que el arrastre de sedimentos gruesos es grande y los volúmenes que se puedan retener sean significativamente altos. La implementación de diques puede ser factible si los objetivos son múltiples, o sea, retención de sedimentos y protección de áreas de cultivo o en general tierras aprovechables. La construcción de obras civiles para control hidráulico en la cuenca Parani contribuirá a reducir el efecto adverso de riadas, mazamorras e inundaciones, pero no será efectiva si no se complementan con otras acciones de manejo y conservación del suelo, como forestación, terrazas de formación lenta, canales de desviación, zanjas de infiltración y muros de madera o piedra para controlar el avance de cárcavas.

ABSTRACT

This Degree Project was carried out in the 2022-2023 agricultural campaign, in communities of the Parani hydrological basin belonging to the Autonomous Municipal Government of Sapahaqui - La Paz, with the objective of designing civil works for the hydraulic control of the Parani Basin. Information regarding Integrated Watershed Management (ICM) was reviewed, systematized and analyzed, followed by a participatory diagnosis with residents of Huancané, Milli Milli, Chivisivi Alta, Chivisivi Baja, Parani Alta, Parani Baja, belonging to the Parani basin. Based on information from producers and on-site verification visits to agricultural production areas, eroded areas, degraded areas and water channels of the basin, it was established that the communities present a high risk of being affected by floods, mudslides and floods that threaten the production of vegetables and fruits typical of the region. To help counteract these threats, 3 key sites were identified for the construction of gabion-structured sediment retention dams. Likewise, additional and complementary practices were identified that must be implemented to carry out adequate management of the basin, including afforestation, slowly forming terraces, diversion channels, infiltration ditches and wooden or stone walls to control the advance of gullies. The design of 3 sediment retention dikes with gabions was carried out, considering information on basin slopes, average rainfall, maximum floods and the standard dimensions of the meshes and mats for gabions. Based on the analysis of technical, financial and economic feasibility, it was established that the construction of two retention dams with a gabion structure is possible. The conclusions of the work indicate that the construction of sediment retention dikes with gabions is a solution that can be applied in main and secondary water courses of high importance in which the drag of coarse sediments is large and the volumes that can be retain are significantly high. The implementation of dikes may be feasible if the objectives are multiple, that is, sediment retention and protection of crop areas or generally usable lands. The construction of civil works for hydraulic control in the Parani basin will contribute to reducing the adverse effect of floods, mudholes and floods, but will not be effective if they are not complemented with other soil management and conservation actions, such as afforestation, slowly forming terraces, diversion channels, infiltration ditches and wooden or stone walls to control the advance of gullies.

1. ANTECEDENTES

El agua es el recurso primordial para los seres vivos, en la agricultura y ganadería es un factor de producción muy importante, la falta de este recurso influye bajos rendimientos y productividad de la agricultura, afectando así la situación socioeconómica de las familias rurales dedicadas a la actividad agropecuaria.

El significado de manejo integral de cuenca se ha divulgado y aceptado en todas las áreas de estudio de elaboración, evaluación, planificación de proyectos, monitoreo de proyectos y otros que trabajan con el tema de cuenca. Es decir que todos los factores que intervienen en una cuenca están ínter relacionados entre sí: suelo, agua, vegetación, topografía, clima, economía, etc.

En el Municipio, se cuenta con una gran variedad de recursos hídricos como ríos y vertientes. Sapahaqui, cuenta con diferentes tipos de recursos hídricos superficiales permanentes, como ríos, riachuelos y vertientes (estos en mayor número e importancia); como fuentes de agua con disponibilidad abundante. Sin embargo, no es aprovechado adecuadamente, hay deficiente manejo de agua (entendido como manejo de cuencas), carencia de infraestructuras de captación, traslado. En el valle la existencia de recursos hídricos es relativamente alta, las comunidades cuentan con ríos temporales y permanentes; algunas poseen vertientes en las partes altas donde se hacen captaciones para utilizar este recurso para el consumo humano y animal. En época lluviosa estos ríos llegan a sus mayores caudales, mientras en época seca los ríos disminuyen sus caudales y no llegan a abastecer las necesidades de riego. La mayor parte de las vertientes son compartidas entre los productores de distintas comunidades pendiente abajo, el abastecimiento es por turno destinado para diferentes usos como en el riego, consumo humano y animal (PTDI, 2016-2020).

La cuenca Parani se encuentra dentro de la categoría con un riesgo alto, encontrándose en el municipio de Sapahaqui, de la segunda sección de la provincia Loayza del Departamento de La Paz, que a base de los estudios de priorización según riesgos de erosión y degradación está catalogada como de primera prioridad (PTDI, 2016-2020). Dentro del estudio del proyecto de la cuenca Parani se tiene proyectado intervenir las comunidades Huancané, Milli Milli, Chivisivi Alta, Chivisivi Baja, Parani Alta y Parani Baja.

2. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

A partir de una serie de ideas significativas y técnicas obtenidas, se optó por encontrar una problemática la cual puede resolver inconvenientes a determinadas poblaciones de la cuenca Parani del Municipio de Sapahaqui y con base a esto poder hacer uso de cada uno de los conocimientos ingenieriles para plantear una alternativa de mitigación de dicho problema. La principal actividad del Municipio es la agricultura, fruticultura, horticultura, la minería y turismo están con un impulso a un mayor desarrollo. Por tanto, las políticas de reducción de la pobreza requieren combinar estrategias y acciones con la generación de conciencia en el cuidado de la madre tierra que nos cobija para vivir en armonía y en contacto con la naturaleza. Y la combinación con la producción sustentable, llevarán al equilibrio de los habitantes del Municipio (PTDI, 2016-2020).

Desarrollo del sector agrícola limitado por las condiciones como ser: Insuficiente cobertura y acceso a agua segura en el municipio. Las inundaciones, es otra de las amenazas naturales que existen en el municipio, y ésta a diferencia de las otras amenazas, está en nivel alto, debido principalmente a las características topográficas, lo cual hace que en temporada de lluvias se formen torrenceras, debido al suelo que es de fácil erosión generen inundaciones, afectando principalmente a las áreas de siembra y en algunos casos a las áreas habitables.

Los principales problemas identificados en la cuenca Parani del Municipio de Sapahaqui, existe la insuficiente cobertura y acceso a agua segura en la cuenca Parani. Las inundaciones, es otra de las amenazas naturales que existen en el municipio, y ésta a diferencia de las otras amenazas, está en nivel alto, debido principalmente a las características topográficas del municipio, lo cual hace que en temporada de lluvias se formen torrenceras, y debido al suelo que es de fácil erosión generen pérdida de capa de suelo y las inundaciones en la cuenca, afectando principalmente a las áreas de siembra y en algunos casos a las áreas habitables, estos problemas mencionados ocurren a la falta de trabajos de control hidráulico y medidas de conservación de suelos.

El deterioro de las cuencas hidrográficas y erosión de los suelos, permite visualizar una situación difícil de abastecimiento de las necesidades alimenticias y la dotación de agua a la población. (Proyecto Pedagógico Parani, 2022).

3. DIAGNOSTICO DEL PROBLEMA

De acuerdo a la información primaria de diagnóstico se considera los siguientes aspectos: Existencia de inundaciones como amenazas naturales que existen en la cuenca Parani del municipio de Sapahaqui con nivel alto de afectación, debido principalmente a las características topográficas del municipio, otro aspecto importante es la insuficiente cobertura y acceso a agua segura, esta información es considerada de acuerdo al Plan Territorial de Desarrollo Integral. (PTDI, 2016-2020).

3.1. Diagnóstico de la cuenca de intervención

Según Proyecto Cuenca Pedagógica Parani (2022), Concluida la fase de diagnóstico y una vez que se dispone de los datos espaciales (estudios temáticos), datos hidrometeorológicos y específicamente el estudio de riesgos de erosión y degradación, se procede a elaborar el plan de manejo a diseño final de las zonas de intervención, que serán identificadas durante la etapa de zonificación de áreas de intervención, en las cuales se efectuó el plan de acción bajo líneas de acciones, el mismo que comprende de las siguientes etapas:

- Análisis de la información (diagnósticos).
- Relevamiento de campo.
- Planificación de intervenciones según el componente.
- Diseño y cálculo de las medidas y obras para las zonas de intervención.

4. JUSTIFICACIÓN

Los recursos hídricos son muy importantes en el desarrollo de las comunidades tanto para el consumo humano como para las diferentes actividades que realizan en la cuenca Parani del municipio, el exceso de ello provoca una fuerte amenaza natural afectando la producción y estabilidad del suelo, esta afectación es considerada como inundaciones en la parte baja de la cuenca, por esta razón se efectuará esta propuesta con la finalidad de mitigar la amenaza natural y así generar el proyecto de diseño de obras civiles para el control hidráulico de la Cuenca Parani municipio de Sapahaqui.

5. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

- Diseñar obras civiles para el control hidráulico de la Cuenca Parani Municipio de Sapahaqui.

5.2. Objetivos específicos

- Analizar los parámetros hidráulicos, para el dimensionamiento de las obras civiles para el control hidráulico.
- Diseñar planos constructivos para las obras civiles de control hidráulico en la Cuenca Parani.
- Realizar los cálculos métricos de la infraestructura propuesta.

6. MARCO CONCEPTUAL

6.1. Cuenca hidrográfica

Según Faustino y Garcia (2002), una cuenca hidrográfica es un sistema, debido a que:

En la cuenca hidrográfica existen entradas y salidas, por ejemplo, el ciclo hidrológico permite calcular que la cuenca ingresa una cantidad de agua por medio de la precipitación y otras formas; y luego existe una cantidad que sale de la cuenca, por medio de su río principal en las desembocaduras o por el uso que adquiera el agua. En la cuenca hidrográfica se producen interacciones entre sus elementos, por ejemplo, si se deforesta irracionalmente en la parte alta, es posible que en épocas lluviosas se produzcan inundaciones en las partes bajas. En la cuenca hidrográfica existen interrelaciones, por ejemplo, la degradación de un recurso como el agua; está relación con la falta de educación ambiental, con la falta de aplicación de leyes, con las tecnologías inapropiadas etc.

El sistema de la cuenca hidrográfica, a su vez está integrado por los subsistemas siguientes:

- Biológico, que integran esencialmente la flora y la fauna, y los elementos cultivados por el hombre.
- Físico, integrado por el suelo, subsuelo, geología, recursos hídricos y clima.
- Económico, integrado por todas las actividades productivas que realiza el hombre, en agricultura, recursos naturales, ganadería, industria y servicios.
- Social, integrado por los elementos demográficos, institucionales, tenencia de la tierra, salud, educación, vivienda, culturales, organizacionales, políticos, etc. Los elementos que integran los subsistemas variarán de acuerdo al medio en el que se ubique la cuenca y al nivel de intervención del factor humano. (Faustino y Garcia, 2002).

La cuenca hidrográfica es un sistema que presenta como principal entrada la lluvia y como salidas el caudal del agua, la evapotranspiración, el flujo subsuperficial y la percolación; las tres últimas son despreciables en una creciente súbita, pero son esenciales cuando se considera al flujo base y para modelos de simulación continua. Toda cuenca presenta una divisoria topográfica o superficial y una divisoria freática o subterránea. La divisoria freática establece los límites de los cuerpos de agua subterránea, de donde se deriva el caudal

base de la misma cuenca; es importante aclarar que ambas divisorias difícilmente coinciden (Fattorelli y Fernández, 2011).

Al respecto el Ministerio de Medio Ambiente y Agua MMAyA (2018), menciona que una cuenca hidrográfica es un espacio territorial, donde toda el agua de lluvia drena, desde la parte alta hacia los ríos y cuerpos de agua en las partes bajas, hasta una salida, que define el curso hacia una fuente de agua mayor, o la desembocadura. Articula territorialmente a diferentes usuarios del agua en consideración a los usos, sean estos para consumo de agua potable, uso agrícola, entre otros. Son importantes las poblaciones que habitan en la región o cuenca, donde además se desarrollan diferentes formas de interacción, siendo espacios de vida y expresión cultural.

6.1.1. Microcuenca

Según Moreno y Renner (2007), la microcuenca es la unidad de área o parte de la subcuenca que drena a ésta. Es una pequeña cuenca de primer o segundo orden, donde vive un cierto número de familias utilizando y manejando los recursos del área, principalmente el suelo, agua, vegetación (incluyendo cultivos y vegetación nativa) y fauna, (incluyendo animales doméstico y silvestre). En la microcuenca ocurren interacciones invisibles entre los aspectos económicos (relacionados a los bienes y servicios producidos en su área), sociales (relacionados a los patrones de comportamiento de los usuarios directos e indirectos de los recursos de la cuenca) y ambientales (relacionados al comportamiento o reacción de los recursos naturales frente a los dos aspectos anteriores), por ello, las actividades a desarrollarse en la microcuenca deben considerar todas estas interacciones.

Para MMAyA (2018), es una pequeña unidad geográfica dentro de la cuenca, donde vive una cantidad de familias que utilizan y manejan los recursos disponibles, principalmente suelo, agua y vegetación. Desde el punto de vista operativo, la microcuenca posee un área que puede ser utilizada como recurso local, donde un núcleo social comparte intereses comunes como el agua, el riego, los servicios básicos, la infraestructura, la organización el manejo, el desarrollo productivo y la cultura.

6.2. Factores que componen una cuenca

Según Ordoñez (2014), una divisoria de agua presenta tres secciones, donde la actividad del manejo y consumo del recurso hídrico es diferente ya sea por la morfología del terreno o por la presencia de habitantes los cuales son:

- **Cuenca alta:** Corresponde a las áreas montañosas o cabeceras de los cerros, zona donde se produce la mayor cantidad de precipitaciones. La temperatura es muy baja, su estabilidad es nula y existe una alta producción de sedimento sólidos y líquidos.
- **Cuenca media:** Nivel de la cuenca, que se comporta como la zona de amortiguamiento entre la cuenca alta y la cuenca baja, pues en esta área se desarrolla la mayor cantidad de actividades productivas. Además, es el lugar donde se juntan las aguas recogidas en las partes altas y donde el río principal mantiene un cauce definido.
- **Cuenca baja o zonas transicionales:** Ubicada en territorios bajos, en su mayoría cerca de la costa. Se caracteriza por la presencia de fenómenos de sequías o inundaciones. Esta zona refleja los impactos de las acciones que se realizan en las cuencas de arriba.

6.3. Manejo integral de cuenca (MIC)

El concepto de manejo integral de cuenca se ha difundido y aceptado en todos los campos de estudio de evaluación, planificación de proyectos, monitoreo de proyectos y otros que trabajan con el tema de cuenca. La razón es que todos los factores que intervienen en una cuenca están inter relacionados entre sí: suelo, agua, vegetación topografía, clima y economía (Flores, 2013).

La cuenca de drenaje de una corriente, es el área del terreno donde todas las aguas caídas por precipitación, se unen para formar un solo curso de agua. Cada curso de agua tiene una cuenca bien definida, para cada punto de recorrido (Villón, 2002).

Otra definición sostiene que es todo un sistema complejo, abierto donde ocurre el ciclo hidrológico y cuyos elementos naturales, sociales, ambientales, económicos, políticos institucionales son variables en el tiempo y se encuentran en estrecha interrelación. Desde el punto de vista hidrológico, una cuenca hidrográfica es definida como el área geográfica natural o unidad de territorio delimitada por una divisoria topográfica (Divortium Aquarum),

que capta las precipitaciones y drena el agua de escorrentía hacia un colector común, denominado río principal (Vásquez *et al.*, 2017).

El MIC es un conjunto de acciones conducentes al uso y aprovechamiento de recursos naturales de la cuenca. Dentro este ciclo, interactúan los diferentes sistemas tales como: clima, geología, topografía, suelos, vegetación, agua y ocupación territorial humana (MMAyA, 2018). Estas acciones están comprendidas en los siguientes componentes:

- **Componente cosecha y crianza del agua:** Consiste en el desarrollo de acciones que contribuyan a la protección de las fuentes de agua y áreas de recarga hídrica. Promueve acciones que contribuyen a mejorar la capacidad de captación de agua para los diferentes usos, como por ejemplo los atajados, estanques, qotañas, entre otros.
- **Componente uso eficiente de agua:** Consiste en promover el uso eficiente del agua a través de la mejora en los sistemas de distribución y riego, entre los que destaca el riego tecnificado y otros.
- **Componente manejo de praderas y bofedales:** Consiste en promover acciones para la recuperación y restauración de praderas y bofedales (esponjas de agua) y el manejo agrosilvopastoril y silvopastoril.
- **Componente manejo y conservación de suelos:** Consiste en armar muros de piedras para evitar el arrastre de la tierra y mantener la humedad del suelo. En este proceso destacan las terrazas de formación lenta; y aquellas que comprenden barreras vivas, y mixtas. En este componente también se desarrollan actividades de abonamiento.
- **Componente de control hidráulico de torrentes y cauces;** Busca evitar el desborde de los ríos, reducir la intensidad de las mazamorras, recuperar áreas de cultivos inundados, proteger áreas de cultivo, praderas, etc. Las obras que destacan son el armado de diques en las cárcavas, los atajados, el armado de muros de gaviones en las orillas del río, entre otros.
- **Componente forestación:** Hace referencia al trabajo con plantaciones para reducir la erosión del suelo. Aporta en la formación de bosquetes con la finalidad de cosechar agua de lluvia, crear microclimas. Las plantaciones complementan principalmente a los diques de piedra en cárcavas.

6.4. Medidas estructurales y no estructurales en el MIC

6.4.1. Medidas no estructurales

Según MMAyA (2018), son todas aquellas obras de menor tamaño, y todas aquellas prácticas mecánicas y biofísicas de conservación y protección de suelos, que pueden ser realizadas de manera recurrente por las propias comunidades beneficiarias de un proyecto como: muros secos de piedra, terrazas de formación lenta, terrazas o tacanas, zanjas de infiltración, zanjas de coronación, reforestaciones, revegetaciones, barreras vivas, muertas, cerramientos y otros.

- **Forestación:** La forestación con especies nativas en las cabeceras de cuenca y en los terrenos en pendiente es una de las prácticas que mejores resultados ha dado para mantener la calidad y cantidad de los servicios ecosistémicos hídricos que la cuenca provee (regulación hidrológica de la cuenca). De acuerdo a la percepción de los OGC las especies forestales nativas reúnen las características ecológicas y generan una mayor humedad en el hábitat y el suelo, permiten el desarrollo de la cobertura vegetal y la formación de materia orgánica y, por lo tanto, el desarrollo de especies de flora y fauna de manera natural, además de contribuir con la producción de agua. La forestación reduce el impacto de los vientos fuertes (ventarrones), reduce la erosión y contribuye al mantenimiento de la oferta de agua de la cuenca.
- **Protección de fuentes de agua y áreas de recarga hídrica:** Una de las preocupaciones de las comunidades es la disminución en la disponibilidad de agua y en el número de fuentes de agua en la cuenca. Esta preocupación ha permitido establecer áreas de reserva o protección de estas fuentes de agua y áreas de recarga hídrica (cerramiento) previo acuerdo entre las comunidades de la cuenca alta con la cuenca baja. En otros lugares se ha procedido a la protección de las áreas de captación de agua y la forestación en las cabeceras de las microcuencas. Los cerramientos de las áreas de recarga hídrica y la protección de las fuentes de agua han contribuido en la reducción de la pérdida de cobertura vegetal, en el control al ingreso de animales en áreas de afloramiento de agua, evitando de esta forma la contaminación del agua que fluye de estas fuentes, así como ejerciendo control respecto a los sembradíos que se sitúan en el entorno cercano a la fuente de agua.

- **Construcción de sistemas de cosecha de agua de lluvia y de recarga hídrica de los acuíferos:** En varias cuencas se ha realizado la construcción de microreservorios, atajados, qotañas y estanques con resultados importantes en la ampliación de terrenos bajo riego o la provisión de riego suplementario para los cultivos. Otras medidas complementarias son la construcción de zanjas de coronación, desviación e infiltración que constituyen una práctica que ayuda a la cosecha de agua de lluvia y la recarga hídrica para generar una mayor capacidad para la infiltración de agua a nivel del subsuelo.
- **Terrazas de formación lenta, zanjas de infiltración, barreras vivas y muros de piedra:** Entre las prácticas que favorecen la recuperación, rehabilitación y mejora de suelos se tiene la construcción de terrazas de formación lenta, las zanjas de infiltración, las barreras vivas y muros de piedra, que permiten que el agua de lluvia penetre en el suelo mineralizando e enriqueciendo éste, además de contribuir al desarrollo de la vegetación natural.

Otra práctica que se aplica de manera extensiva es la elaboración de abonos orgánicos con la utilización de heces de animales rumiantes, es decir, haciendo mezclas con tierras de lugar y otros compuestos que favorecen a la actividad microbiana, permitiendo la descomposición de la materia orgánica y favoreciendo a la mineralización del suelo.

6.4.2. Medidas estructurales para MIC

Son todas aquellas obras que requieren para su diseño y construcción de empresas y consultoras especializadas. Es decir, que no las pueden hacer directamente las comunidades beneficiarias de un proyecto, como: Diques de protección, de sedimentación, de contención, espigones, salchichones, disipadores de energía y otros (MMAyA, 2016).

Protección de riberas de río con barreras vivas y construcción de muros de contención.

En las microcuencas se observa la protección de los ríos con barreras vivas, utilizando especies como el sauce mimbre y sewenqa. En Potosí, en la comunidad La Puerta, cerca de la microcuenca Cayara, llama la atención el uso de la especie “espinas de mar”, que ayuda al encauce del río y evita la erosión y socavamiento de los márgenes del río. Esta especie tiene características de crecimiento y reproducción muy rápida en suelos pobres.

Otra práctica muy extendida es la protección de riberas, a través de la construcción de muros de contención, gaviones etc., diques con troncos de madera, etc. (MMAyA, 2018).

6.5. Construcción de obras civiles

Una construcción civil es aquella que resulta de la aplicación de principios de la ingeniería civil, que comprende la planificación, ejecución y dirección en obras de infraestructura, estas incluyen edificaciones tanto privadas como públicas, obras viales e hidráulicas. También podrían incluirse todo tipo de obras de mejoramiento y remodelación. Mundialmente hay normas las cuales deben ser aplicadas tanto en calidad como seguridad, además de ello, cada país estipula una normativa nacional que incluye los distintos tipos de construcciones (CONSTRUCTORA LUQUE, 2022).

6.5.1. Obra hidráulica

La hidráulica es la ciencia que estudia el comportamiento de los fluidos en función de sus propiedades específicas. Es decir, estudia las propiedades mecánicas de los líquidos dependiendo de las fuerzas a que pueden ser sometidos. Para el caso de una cuenca hidrográfica, la hidráulica hace referencia al movimiento de agua de lluvia a lo largo de cauces primarios y secundarios, agua infiltrada y agua de escorrentía superficial.

Se entiende por obra hidráulica o infraestructura hidráulica a una construcción, en el campo de la ingeniería civil, donde el elemento dominante tiene que ver con el agua. Se puede decir que las obras hidráulicas constituyen un conjunto de estructuras construidas con el objeto de manejar el agua, cualquiera que sea su origen, con fines de aprovechamiento o de defensa (SCRIBD, s. a.).

Según Losada (1995), las variables que influyen en el movimiento del agua pueden ser agrupadas en tres categorías siguientes:

- a) Magnitudes lineales que definen las condiciones de contorno geométricas.
- b) Magnitudes cinemáticas y dinámicas que caracterizan el movimiento, como una velocidad “V” y una presión “P” (o un esfuerzo unitario).
- c) Propiedades del agua, como densidad, peso específico, viscosidad, etc.

6.6. Control hidráulico

Según el MMAyA (2018), el componente de control hidráulico de torrentes y cauces, es parte del Manejo Integrado de Cuencas (MIC), que busca evitar el desborde de los ríos, reducir la intensidad de las mazamorras, recuperar áreas de cultivos inundados, proteger áreas de cultivo, praderas, etc. Las obras que destacan son el armado de diques en las cárcavas, los atajados, el armado de muros de gaviones en las orillas del río, entre otros.

6.6.1. Diques de retención

Los diques de retención son estructuras transversales a la dirección del flujo del río y tienen por objeto regular los caudales en épocas de crecimientos o promover la sedimentación aguas arriba de tal manera que se formen colchones de sedimentos y un escalonamiento a lo largo del cauce (Mejía, 1992).

Al respecto Pérez (2002), menciona que los diques de retención son obras de mampostería para la estabilización y protección de cursos de agua secundarios, generalmente temporales, tales como arroyos, esteros, quebradas y cárcavas, y contención de taludes. Esta estructura se sustenta por su propio peso y actúa por resistencia mecánica. Consiste en un conjunto de paralelepípedos fabricados con malla hexagonal en alambre de acero galvanizado y relleno con piedras.

6.6.2. Muros de contención

Piñar (2008), menciona que, se entiende por muro de contención, a la estructura que provee la estabilidad de un material o suelo que tiene un nivel diferente a la superficie de apoyo del mismo. Un muro de contención es una estructura predominantemente vertical, diseñada y construida con un margen de seguridad en cuanto a estabilidad, resistencia y durabilidad; tomando en cuenta aspectos económicos y estéticos.

Los muros de contención, comúnmente, se clasifican de acuerdo con el material del que están contruidos (concreto, mampostería, metal, gaviones) o de la manera cómo funcionan estructuralmente (muros de gravedad, de voladizo, anclados, con contrafuertes). Un muro de gravedad es aquel que debe su estabilidad, fundamentalmente, a su propio peso. Consiste en grandes masas de contención que, por su peso y resistencia al vuelco, pueden soportar las presiones ejercidas por el terreno. Es un muro de gran volumen en relación con su altura. Un ejemplo típico de muro de gravedad son los gaviones (Piñar. 2008).

Los muros de contención que se construyen como defensa fluvial, son medidas estructurales preventivas para poder reducir los posibles daños que se podría sufrir ante los desbordes de los ríos.

Para proteger los muros contra los efectos de la erosión del flujo del canal, se utilizan revestimiento de diversos materiales y características. (Sánchez, 2017).

6.6.3. Muros de gaviones

Los muros de gaviones son estructuras flexibles, constituidas por cajas fabricadas de malla de alta resistencia, con dimensiones que vienen en fracciones de medio metro, las cuales son rellenas con bloques sanos de roca. Esta conformación permite que se pueda realizar un esquema modular, lo que facilita la configuración de una amplia variedad de posibilidades de geometría para el muro. El uso de muro de gaviones es muy frecuente como elemento estabilizador de laderas o taludes en diversas condiciones (Piñar, 2008).

El mismo autor menciona que en el sitio de la obra, los gaviones se unen entre sí con una costura manual del mismo alambre de la malla. Los bloques de roca que se utilizan para el llenado no deben ser susceptibles de meteorización o disgregación y deben tener una dimensión de una a dos veces la menor dimensión de la malla, para evitar pérdidas de material y asegurar la mayor densidad posible. Los gaviones son de fácil instalación y se adecuan e integran armoniosamente a su entorno, logrando que inclusive la vegetación pueda desarrollarse en ella, presentando así, un paisaje agradable contraponiéndose con las soluciones rígidas de concreto o enrocados.

Para Soto (2017), Los gaviones son cajones de estructura de ingeniería civil, consisten en cajones de malla de alambres galvanizados, relleno de cantos de roca. Los muros en gaviones están diseñados siguiendo las practicas estándar de la ingeniería civil y funcionan como estructuras de gravedad. Es importante tener en cuenta el amarre entre unidades de gaviones para evitar el movimiento de unidades instaladas y garantizar la integridad del muro como todo. Debido a su flexibilidad, los muros de gaviones pueden deformarse fácilmente cuando se someten a presiones lo que las diferencias de los muros convencionales.

7. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

7.1. Variables independientes y dependientes

Se considerarán las variables: Variable independiente y Variable dependiente dentro de estos parámetros se trabajó con el fin de captar, extraer, desalar, almacenar, regular, conducir, controlar y aprovechar el recurso hídrico.

Figura 1. Operacionalización de variables

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicador	Instrumento
La inexistencia de diseños de obras civiles para el control hidráulico de la Cuenca Parani Municipio de Sapahaqui	Obtener información primaria y secundaria del caudal de la fuente de agua de la Cuenca Parani	Es posible obtener información primaria y secundaria de la fuente de agua de la Cuenca Parani	Diagnóstico de información primaria	Caudal de la fuente de agua, personas entrevistadas	Ficha técnica de diagnósticos
	Estudiar los parámetros hidráulicos para dimensionar los componentes para el control hidráulico de la cuenca	Se cuenta con parámetros hidráulicos	dimensionamientos hidráulicos	3 diques de retención para control hidráulico	Estudios hidráulicos
	Diseñar planos constructivos para las obras civiles	Planos de obras civiles	Diseño de los planos de la propuesta		Programas informáticos (AutoCAD, Prescom, etc.)
	Realizar los cálculos métricos de la infraestructura propuesta	Operación de cálculos hidráulicos	Componentes hidráulicos	Cálculos hidráulicos, diseño, replanteo, y conclusión	Operación y mano de obra

Fuente: Elaboración propia, 2023

Como variables independientes se consideraron elementos y parámetros hidráulicos de la cuenca Parani y como variables dependientes estuvieron los componentes para el control hidráulico, para las obras civiles como: diques de retención gavionados.

8. METODOLOGÍA DEL PROYECTO

8.1. Problemas y oportunidades que se resolverá con el proyecto

Para contribuir a solucionar la insuficiente cobertura para cultivos y acceso a agua segura en comunidades del municipio de Sapahaqui, se considera realizar la propuesta de proyecto de diseño de obras civiles en cauces primarios y secundarios de la cuenca Parani.

Las inundaciones y riadas con arrastre de sedimentos son amenazas naturales que existen en el municipio, y éstas a diferencia de las otras amenazas, está en nivel alto, debido principalmente a las características topográficas del municipio, lo cual hace que en temporada de lluvias existan deslaves, agua de escorrentía superficial con arrastre de sedimentos debido a que al suelo es de fácil erosión. En estas condiciones, se genera inundaciones que afectan principalmente a las áreas de siembra y en algunos casos a áreas habitables, estos problemas ocurren a la falta de trabajos de conservación de suelos que incluye el control hidráulico en cauces de la cuenca. Por lo cual se mitigará las amenazas naturales dentro de la cuenca y se conservará el espacio para cultivo.

8.2. Beneficiario del proyecto

El proyecto beneficiará a las comunidades de Huancane, Milli Milli, Chivisivi Alta, Chivisivi Baja, Parani Alta, Parani Baja, que pertenecen a la cuenca Parani.

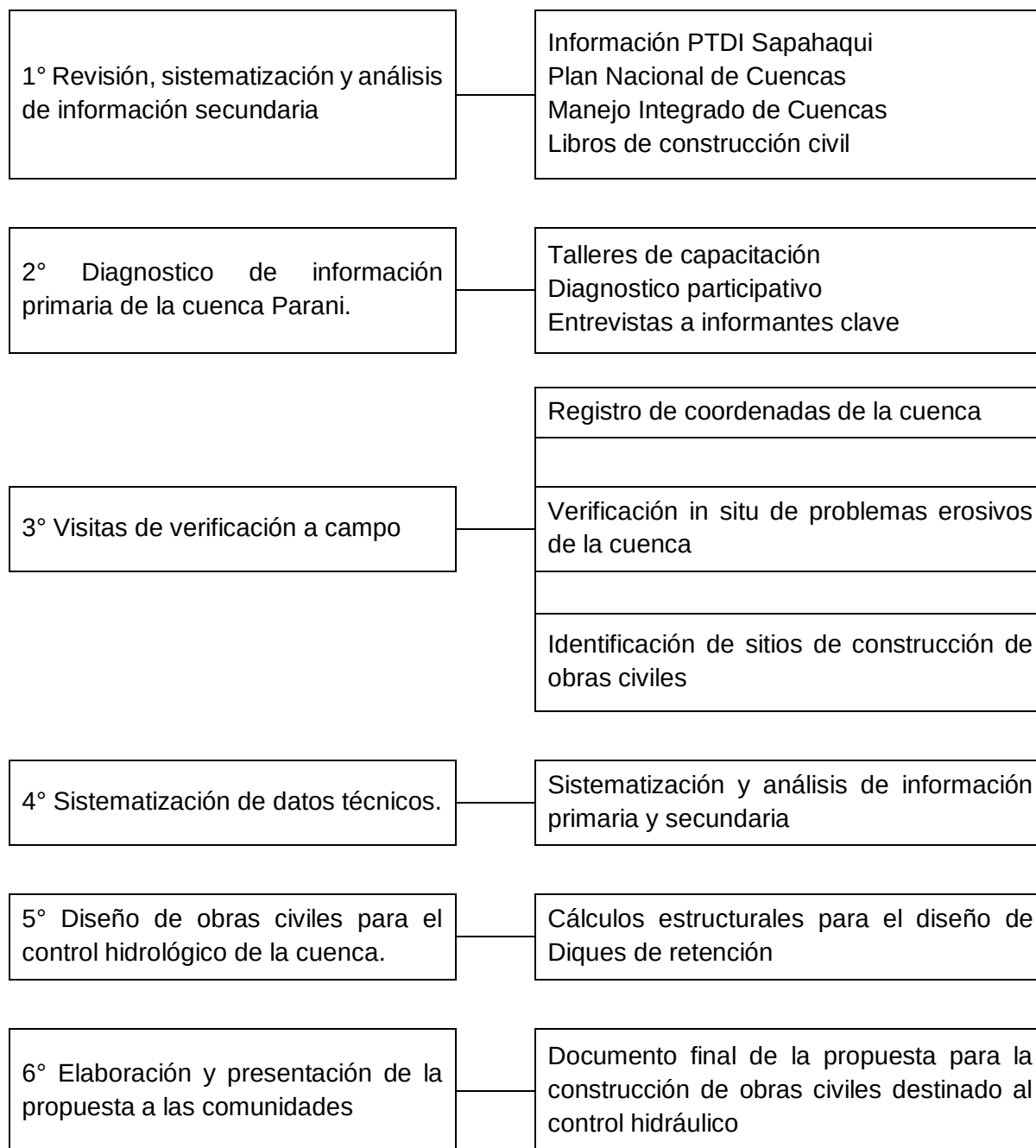
Nº	COMUNIDADES	Nº DE FAMILIAS	PROMEDIO DE MIEMBROS/ FAMILIA
1	Comunidad Parani	83	4.7
2	Comunidad Chivisivi	170	6
3	Comunidad Huancané	60	4.7
4	Comunidad Milli Milli	51	4.3

Fuente INE censo, 2012 / Elaboración propia, 2023

8.3. Característica y especificaciones de diseño y operación del proyecto

El proyecto se diseñó de acuerdo a datos de relevancia proporcionados por pobladores de las comunidades beneficiarias. Se procedió con la aplicación de los 6 pasos descritos en la siguiente figura.

Figura 2. Especificaciones de diseño y operación del proyecto.



Elaboración propia, 2023

8.4. Condiciones, requerimientos y recursos para su aplicación y funcionamiento

8.4.1. Condiciones para el proyecto

Para la elaboración del proyecto de diseño de obras civiles para el control hidráulico de la cuenca Parani, se accedió a la información primaria y secundaria. La información secundaria se obtuvo del Municipio de Sapahaqui, del Ministerio de medio Ambiente y Agua y de bibliotecas de universidades públicas y privadas de las ciudades de La Paz y El Alto.

La información primaria se refiere a datos y registros obtenidos directamente de la fuente original, mientras que la información secundaria se basa en fuentes que recopilan y organizan datos existentes.

La información primaria fue obtenida de pobladores de la cuenca Parani, a través de talleres de capacitación y diagnóstico de la situación agropecuaria de las comunidades involucradas en el proyecto.

La coordinación con las autoridades como la OGC conformado por Presidente, Vicepresidente, Secretario de Actas, Secretario de Hacienda y el vocal, conjuntamente con los promotores y los comuneros de la cuenca parani para llevar a cabo los talleres de diagnóstico y capacitación con los productores de las comunidades. Además, la disponibilidad de tiempo por parte de los beneficiarios fue importante para cumplir con los objetivos del proyecto.

Para el trabajo de campo se realizó en diferentes lugares de la cuenca, mediante caminos transitables con vehículo y senderos seguros para caminar durante la toma de datos en el lugar. Finalmente se requirió tener acceso a equipos como: GPS, cámara fotográfica, computadoras estacionarias, laptops y acceso a internet y programas SIG, ArcGIS, para generar mapas con imágenes satelitales.

Estos equipos y herramientas son indispensables para llevar a cabo un trabajo de campo exitoso y obtener resultados confiables.

8.4.2. Requerimientos del proyecto

8.4.2.1. Aspecto Social

En función de los aspectos de diseño y formulación de propuesta se desarrolló aspectos de requerimiento del proyecto en la parte social, manejo, establecimiento, desarrollo, planteamiento, materiales, presentación y otros aspectos de concernientes al proyecto. Estos aspectos son importantes para garantizar el éxito y la efectividad del proyecto.

En la actividad de gabinete se realizó la sistematización de datos con detalle al proyecto, procesamiento de datos mediante la utilización de programas especializados y enmarcados en el proyecto de diseño, generación y simulación de la propuesta del proyecto de diseño de obras civiles para el control hidráulico de la cuenca Parani para su posterior presentación dentro de las comunidades involucradas.

Para el proyecto de diseño se desarrolló en función a los aspectos pertinentes de estudio y diagnóstico, procesamiento de datos y elaboración de propuesta del proyecto; considerando las etapas del proyecto Información Técnico de Condiciones Previas "ITCP", y el Estudio de Diseño Técnico de Preinversión "EDTP", ejecución y evaluación técnica y financiera para la construcción de obras civiles para el control hidráulico de la cuenca.

8.5. Instrumentos de gestión, supervisión y control del proyecto

Los instrumentos de gestión (planillas de iniciación de estudio del proyecto, planificación, elaboración, para su posterior ejecución, seguimiento y finalización del proyecto) nos apoyaron en la toma de decisiones para elegir de manera racional entre las diferentes alternativas, en base a la información disponible en el proyecto.

Para el diseño del proyecto se tuvo una supervisión interna de asesores y tribunales revisores de la Carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Pública de El Alto y de técnicos del Proyecto Cuenca Pedagógica Parani. La supervisión garantizó la elaboración y presentación adecuada del proyecto. La supervisión externa del proyecto, estuvo a cargo de autoridades del Ministerio de Medio Ambiente y Agua. El control del proyecto estuvo a cargo de autoridades comunales de comunidades beneficiarias del proyecto.

8.6. Tipo de estudio

En Proyecto corresponde a una investigación de tipo descriptivo exploratorio mediante el cual se establecieron las características hidrológicas de la cuenca Parani que sirvieron para el diseño de obras civiles para el control hidráulico.

Asimismo, tiene un componente de investigación cualitativa correspondiente a investigación-acción a través del cual se establecieron los criterios favorables y desfavorables de los beneficiarios respecto al diseño y posible construcción de diques de retención, muros de gaviones y otras acciones de manejo y conservación de suelos, para reducir el efecto de procesos de erosión hídrica. Las técnicas de registro de información cuantitativa y cualitativa permitieron la obtención de datos para el proyecto, que fueron procesados y analizados para la presentación de resultados.

8.7. Procedimiento, instrumentos y métodos para el relevamiento de la información

En la fase inicial del proyecto, se aplicó el método de revisión de información secundaria disponible en bibliotecas especializadas de universidades, instituciones gubernamentales vinculadas a la protección del medio ambiente: Gobierno Municipal de Sapahaqui y Ministerio de Medio Ambiente y Agua. La información obtenida fue centralizada en bases de datos electrónicas y en archivos físicos, que sirvieron para la consolidación del documento final.

El relevamiento de información primaria se realizó con el método de talleres participativos en comunidades beneficiarias del proyecto. Se utilizó como instrumentos, planillas de registros y formularios de entrevistas, mapa parlante para registrar los criterios de productores respecto a las características de la cuenca Parani y los problemas priorizados referentes a erosión hídrica, mazamorras e inundaciones.

Para el registro de información en campo, se aplicó la técnica de visitas de verificación in situ a las zonas de producción, zonas de degradación y cauces de agua de la cuenca Parani. Para ello, se utilizaron instrumentos de registro de coordenadas geográficas (GPS), planillas de registro de información y cámara fotográfica.

8.8. Análisis e interpretación de la información recolectada y soluciones preliminares

La consolidación del proyecto se realizó en gabinete, utilizando la información primaria y secundaria, registrada en talleres, visitas de verificación in situ y en entrevistas a pobladores de la cuenca.

La información fue analizada con programas procesadores de textos (Word), hojas electrónicas de cálculo (Excel), programas especializados para generación de mapas cartográficos (ArcGIS). Se elaboraron bases de datos y mapas de ubicación geográfica de la cuenca, mapas de sitios de ubicación de obras civiles y se diseñaron los diques de contención con estructura gavionada, recomendada para el control hidráulico de los cauces principales de la cuenca.

9. ESTRUCTURA PRELIMINAR DEL PROYECTO (PERFIL O ANTEPROYECTO)

9.1. Introducción

El Ministerio de Medio Ambiente y Agua tienen como uno de sus objetivos estratégicos impulsar la gestión integrada de recursos hídricos y el manejo integral de cuencas en Bolivia, bajo modalidades de participación y autogestión desde las perspectivas de las culturas y sistemas de vida locales, como sustento de desarrollo humano y ambiental sostenible, en un contexto de vulnerabilidad frente a desastres naturales y al cambio climático (MMAyA, 2018).

Para alcanzar su objetivo el Ministerio de Medio Ambiente y Agua a través del Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego viene implementando el Plan Nacional de Cuencas (PNC) desde el año 2006 como una política que promueve y orienta el desarrollo de una nueva “cultura del agua”. Los componentes 5 y 6 del PNC, plantean el fortalecimiento de la gestión de cuencas a nivel local a través del Programa Intercultural de Cuencas Pedagógicas y la gestión de conocimientos e información de recursos hídricos y cuencas, buscando valorizar los conocimientos y la información que se genera en la implementación de la gestión integrada de recursos hídricos y el manejo integral de cuencas a través de la recolección, sistematización y difusión, de manera que estén al alcance de los diferentes niveles de intervención.

Uno de los proyectos considerados en el PNC es el proyecto “Desarrollo de capacidades en GIRH – MIC en la cuenca pedagógica Parani, municipio de Sapahaqui”, que se viene ejecutando desde el año 2022 en sus diferentes componentes. El presente proyecto de grado contribuye al manejo integrado de la cuenca Parani, con el diseño de obras civiles para el control hidráulico de esta cuenca destinado a la reducción de procesos erosivos de causas de agua en quebradas.

9.2. Objetivo

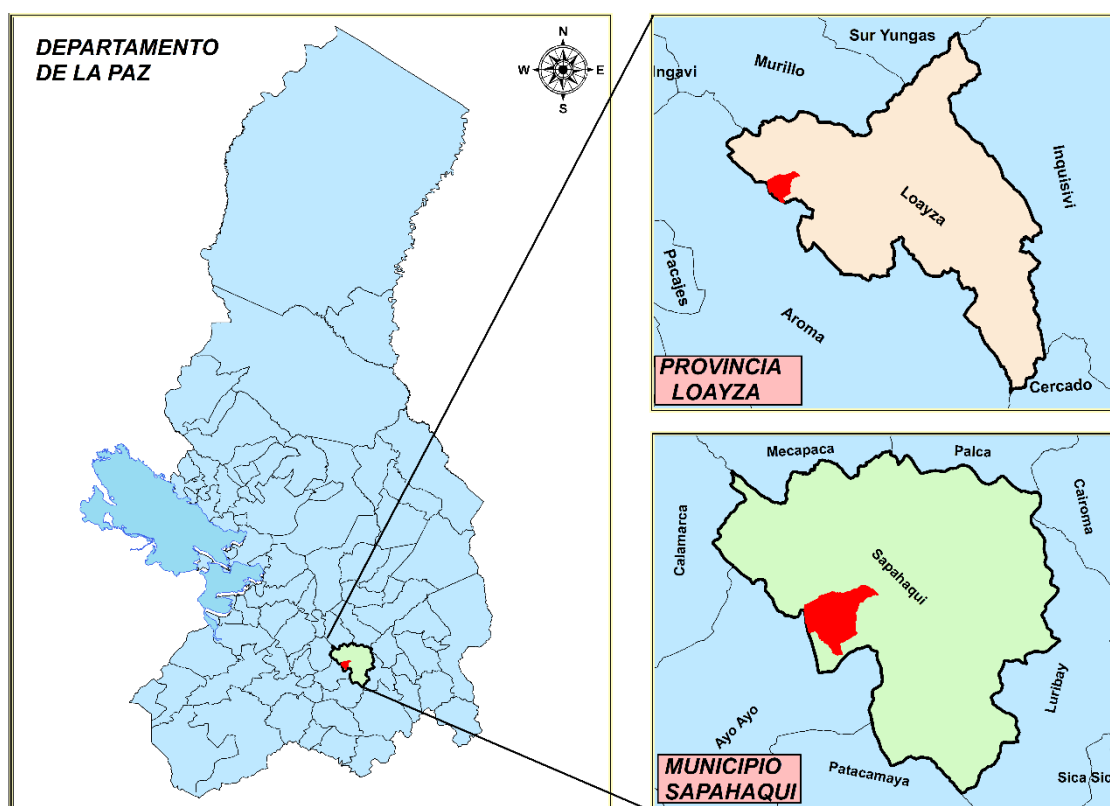
Identificar, priorizar y diseñar obras civiles que pueden implementarse en causas principales y secundarios para reducir el proceso de erosión hídrica.

9.3. Métodos

9.3.1. Localización del proyecto

El diseño del proyecto se desarrolló en las comunidades Huancané, Milli Milli, Chivisivi Alta, Chivisivi Baja, Parani Alta, Parani Baja, pertenecientes a la cuenca Parani que geográficamente se encuentra situada entre los paralelos 16°59'55" de Latitud Sur y 67°55'05" de Longitud Oeste de la parte alta cabecera del Valle y los paralelos 16°56'56" de Latitud Sur y 67°52'32" e Longitud Oeste de la parte baja del valle. Está a una altitud desde 2838 hasta 4230 m.s.n.m.

Figura 3. Localización del proyecto



La cuenca Parani es una de las cuencas dentro la categoría con un riesgo alto, encontrándose en el municipio de Sapahaqui, segunda sección de la provincia Loayza del Departamento de La Paz, que a base de los estudios de priorización según riesgos de erosión y degradación está catalogada como de primera prioridad (PTDI 2016-2020), pero dada la importancia de esta cuenca para el municipio, es que se ha planificado gestionar su intervención bajo un Plan de Cuencas Pedagógicas.

9.3.2. Procedimiento

El diseño del proyecto se ejecutó siguiendo el siguiente procedimiento:

a) Capacitación y fortalecimiento organizacional

El proyecto inicio con actividades enmarcadas en procesos de enseñanza-aprendizaje (diálogo de saberes) entre habitantes de las comunidades, actores municipales y académicos sobre Gestión Integrada de Recursos Hídricos y Manejo Integrado de Cuencas.

Se realizarán talleres de capacitación y análisis participativo con los actores locales sobre la problemática de uso de agua, manejo de sistemas hídricos y gestión organizacional del agua en su cuenca, así como sobre la situación de los recursos naturales en dicho espacio.

b) Investigación - acción participativa

Aplicando herramientas participativas, se realizará la investigación-acción local sobre fuentes y regímenes de aguas cauces e infraestructura hidráulica, así como sobre las distintas demandas de agua en la cuenca y aguas abajo, que conduzcan a un análisis participativo de los cuellos de botella focalizados, con respecto a problemas de disponibilidad, uso de agua y producción agropecuaria.

Asimismo, se realizará la investigación-acción local para la identificación de áreas críticas en la cuenca que requieran medidas de conservación, acondicionamiento territorial y/o de protección de fuentes hídricas.

c) Diseño de medidas articuladas y planes GIRH - MIC

En esta parte del proyecto se realizará la práctica de aprendizaje de los cursos teóricos sobre medidas MIC en la cuenca. Se pondrá en práctica la metodología "aprender-haciendo", con los productores y actores institucionales.

Se realizará la ejecución progresiva de conservación de suelos y aguas (medidas físicas, biológicas estructurales y no estructurales, agronómicas, riveras), e implementación integral de arreglos organizacionales, en concordancia con el Plan GIRH acordado a nivel de la Cuenca Pedagógica Parani.

d) Registro y análisis de la información

La información que se registre en los talleres de capacitación y en la investigación – acción participativa, se concentraran en bases de datos del proyecto. Los datos se clasificarán en grupos: datos cuantitativos y datos cualitativos, en base a los cuales se procederá con el análisis respectivo.

e) Diseño de obras civiles

Para el diseño de obras civiles, se consideraron los siguientes parámetros: topografía del sitio, crecidas máximas y dimensiones estándar de los elementos de las mallas (gaviones y colchetes). Se verificaron las características de los sitios de ubicación de cada dique priorizado. Se registró la pendiente de cauces primarios y secundarios, en base a estos elementos se definieron los tamaños y características adecuadas de los diques de retención. Finalmente se estimaron los costos totales de los diseños de diques de retención para 3 sitios priorizados.

9.3.3. Resultados esperados

Autoridades y representantes de la población han mejorado y fortalecido su capacidad para analizar, reflexionar y transmitir públicamente, y en forma coherente la problemática en relación con el uso, el manejo y la gestión del agua en su cuenca y sobre la situación de los recursos naturales en dicho espacio, con respecto a la sostenibilidad en el tiempo.

Técnicos y profesionales de las instituciones involucradas en el proyecto han mejorado su capacidad para diseñar, elaborar y facilitar módulos de enseñanza-aprendizaje con enfoque intercultural (“encuentro de saberes”), así como diseñar y conducir con éxito programas de investigación-acción participativa.

Se encuentran en ejecución medidas articuladas de conservación, de protección, uso y manejo sustentable de la cuenca, así como inversiones de desarrollo hídrico-productivo que sean compatibles con dichas medidas, en el marco del Plan GIRH-MIC acordado entre las organizaciones locales y el municipio.

Se identificaron sitios con alto grado de riesgo de erosión hídrica en los cuales se implementarán construcciones civiles para el control hidráulico de la cuenca.

Se identificaron y priorizaron obras civiles para el control hidráulico en cárcavas y causes de agua, primarios y secundarios.

Se cuenta con documentos sistematizados, cuyos contenidos analizan, reflexionan y concientizan críticamente la evolución de las experiencias y resultados obtenidos en torno a los elementos centrales en GIRH-MIC, a través del aprendizaje, investigación-acción y arreglos organizacionales para el uso sostenible del recurso agua.

9.3.4. Beneficiarios

Los beneficiarios directos serán las familias de las comunidades, Huancané, Milli Milli, Chivisivi Alta, Chivisivi Baja, Parani Alta, Parani Baja, pertenecientes a la cuenca Parani, a quienes se proporcionará capacitación y asistencia técnica necesaria, para consolidar acciones para el manejo integrado de la cuenca.

9.3.5. Recursos

9.3.5.1. Recursos humanos

El diseño del proyecto se desarrolló con el apoyo de un equipo técnico de trabajo, conformado por el responsable de ejecución del Proyecto Cuenca Pedagógica Parani, técnicos de campo y tesis de la Carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Pública de El Alto.

Asimismo, se tendrá el apoyo de técnicos del Gobierno Municipal de Sapahaqui y autoridades locales de las comunidades beneficiarias de la cuenca Parani.

9.3.5.2. Recursos económicos

El financiamiento para la construcción del proyecto de diseño de obras civiles para el control hidráulico de la cuenca parani Municipio de Sapahaqui. se puede gestionarse tanto con el Gobierno Autónomo Municipal de Sapahaqui o con la Gobernación.

9.3.5.3. Recursos materiales y de equipos

En atención al desarrollo del proyecto se requerirá principalmente materiales para documentación de información impresa y electrónica, entre ellas: cuaderno de registro, lápices, bolígrafos de diferentes colores, papel bond tamaño carta, papel sábana tamaño resma, marcadores permanentes, fichas de cartulina de diferentes colores y otros materiales de escritorio para el trabajo de gabinete.

Asimismo, se utilizó equipos para registro de información en campo como: vehículo motorizado, cámara fotográfica, GPS, computadoras estacionarias, laptop, impresora, Data Show, USB, grabadora y todos los programas para la sistematización y análisis de la información: Microsoft office (Word, Excel, Power Point), programa ArcGIS.

9.3.6. Responsables

El equipo de trabajo del proyecto será el responsable de coordinar, ejecutar, sistematizar y analizar la información primaria y secundaria recabada para el diseño del proyecto.

El equipo técnico estará conformado por técnicos del Proyecto Cuenca Pedagógica Parani y tesisistas de la Carrera de Ingeniería Agronómica de la Universidad Pública de El Alto.

9.3.7. Cronograma de Actividades

Se elaboró el cronograma de actividades priorizando para 10 meses de duración, desde la socialización hasta los cómputos métricos de los diques final del mismo.

Durante el primer mes, se llevó acabo la socialización con las comunidades involucradas de Milli Milli, Parani y Huancané para poder realizar mapas parlantes.

En el segundo, tercero y quinto mes se elaboró el mapa parlante diagnostico participativo entrevistas para poder identificar los lugares erosivos. El trabajo se realizó en colaboración con las autoridades, promotores y hermanos y hermanas de las comunidades involucradas de la cuenca Parani.

En el quinto, sexto y séptimo mes se llevó acabo la identificación de los putos de coordenadas de los sitios de construcción de los diques, teniendo en cuenta la característica del lugar. Esta actividad fue realizada como parte del proceso de planificación y proyecto de construcción.

Durante el octavo, noveno y décimo mes se realizaron la actividad de los cálculos estructurales para cada dique de retención.

Cuadro 1. Cronograma de actividades

ACTIVIDADES	MESES									
	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE
SOCIALIZACION										
TALLER DE CAPACITACION										
DIAGNOSTICO PARTICIPATIVO										
ENTREVISTA										
VERIFICACION DE SITIOS EROSIVOS										
IDENTIFICACION DE SITIOS CONSTRUCTIVOS										
CALCULOS ESTRUCTURALES PARA EL DISEÑO DE LOS DIQUES										

Fuente: elaboración propia, 2023

9.3.8. Conclusiones

Se tiene estructurado el cronograma de actividades de diseño del proyecto desde la socialización del proyecto, sistematización y análisis de la información registrada, hasta la consolidación de un documento final correspondiente.

El análisis de disponibilidad de recursos humanos, recursos económicos y recursos materiales y equipos, son favorables y garantizan el estudio de desarrollo del proyecto en sus diferentes etapas, hasta obtener los diseños de obras civiles para el control hidráulico de la cuenca Parani.

9.3.9. Recomendaciones

Se recomienda forestar en la parte alta de la Cuenca Parani para poder evitar la erosión hídrica, los forestales desempeña un papel importante en la regulación del ciclo del agua.

Asegurar la disponibilidad de recursos económicos, humanos y logísticos en el tiempo oportuno, para facilitar el proceso de registro de información en campo, con productores beneficiarios del proyecto.

Realizar el control estricto del avance de actividades de acuerdo al cronograma elaborado, para asegurar la obtención de productos necesarios para el diseño de obras civiles destinados a mejorar las condiciones hidráulicas de la cuenca.

10. DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO

10.1. Introducción

En las partes altas de la cuenca pedagógica Parani, correspondientes a cabecera de cuenca (Huancané y Milli Milli), se encuentran zonas semiáridas y subhúmedas secas, donde además los problemas de erosión tanto hídrica como eólica son mayores por la escasa cobertura vegetal que protege los terrenos, pendientes con longitudes críticas que favorecen el escurrimiento y arrastre de sedimentos; tipos y características desventajosas de los suelos y lluvias concentradas en periodos muy cortos del año. (Proyecto Pedagógica Parani,2022).

La construcción de diques de retención con gaviones, es parte del proyecto de control de sedimentos en la cuenca Parani.

Este diseño de proyecto es una práctica demostrativa, para la retención de sedimentos y la corrección de cauces, en el sector de pie de monte, donde el sedimento grueso es predominante.

En el presente proyecto de grado, se hace una recopilación y ordenamiento de la documentación relacionada a estas obras en todo el proceso constructivo, para que sirva de base a las observaciones y evaluaciones futuras.

10.2. Estudios iniciales

10.2.1. Cuenca hidrográfica Parani

La cuenca hidrográfica Parani es una del principal sitio categorizada con un riesgo alto, debido al continuo proceso de degradación por la pérdida de suelos agrícolas que resultan en la disminución de la producción agrícola y pecuaria. Cada año el proceso de sedimentación va en aumento y es proporcional al crecimiento de zonas degradadas, principalmente por efectos de erosión hídrica.

En época de lluvia, los sedimentos arrastrados por las aguas de escorrentía superficial de las quebradas llegan al río Parani y aumentan la sedimentación de las zonas aguas abajo, provocando al mismo tiempo riesgos de desborde en las poblaciones asentadas en riveras de los ríos de Sapahaqui.

10.2.2. Geografía de la Cuenca Parani

El diseño de proyecto en la cuenca parani geográficamente se encuentra las coordenadas representadas en el siguiente cuadro:

Cuadro 2. Geografía de la Cuenca Parani

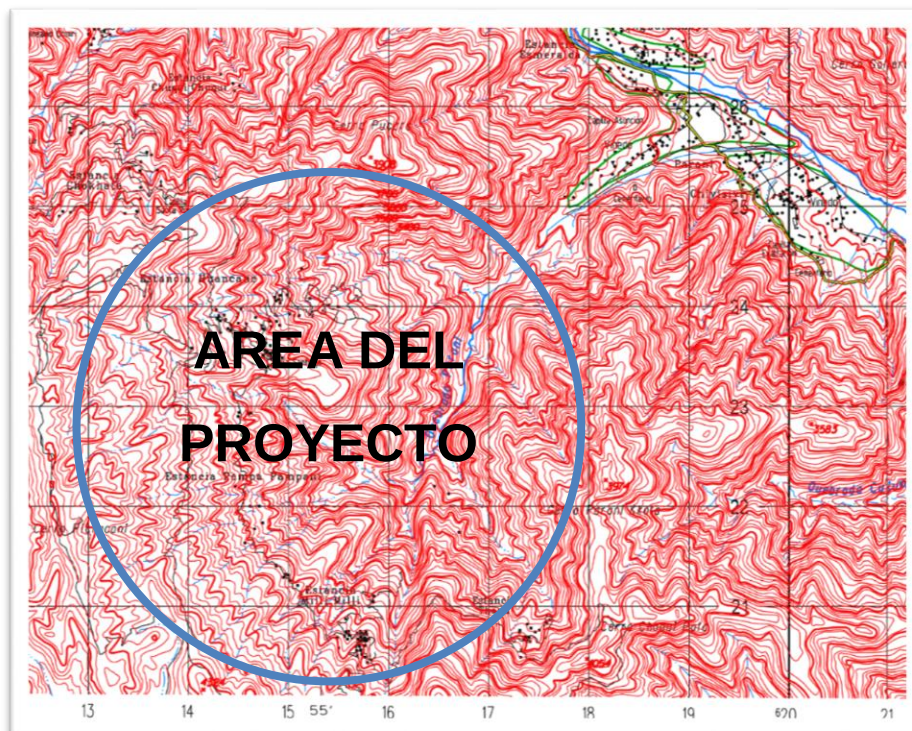
UBICACIÓN	CORDENADAS UTM		
	ESTE (X)	NORTE (Y)	COTA (Z)
GAVION JACHA JAWIRA	615856,00	8120174,00	3932,00
CRUCE PARANI	616889,79	8123864,20	3061,68
CRUCE HUANCANE	616748,53	8124259,40	3069,27

Fuente: elaboración propia en base al levantamiento topográfico

10.2.3. Hidrográfica de la Cuenca Parani

La zona de estudio se encuentra ubicada en la cuenca parani, en base al mapa base o carta topográfica obtenida del Instituto Geográfico Militar (IGM), específicamente la escala 1:5000, correspondiente a la carta Sapahaqui, hoja N°6043-III, Datum

Figura 4. ubicación del área del proyecto (IGM)



10.3. Características de la cuenca de aprovechamiento

El presente diseño de proyecto se encuentra dentro del área correspondiente a la cuenca Parani, que tiene una superficie de 32.32 km² aproximadamente.

10.3.1. Parámetros geomorfológicos de la cuenca

El trabajo se realizó en el programa de ArcGIS 10.3, utilizando un modelo de elevación digital (DEM) de 12.5m para obtener mayor precisión en el trabajo. El DEM se obtuvo del portal web Alaska Satélite.

Programa: El trabajo se llevó a cabo utilizando el programa ArcGIS 10.3.

Modelo de Elevación Digital (DEM): Se utilizó un modelo de elevación digital (DEM) con una resolución de 12,5 m para obtener mayor precisión en el trabajo.

Utilizando la Metodología en el programa ArcGIS 10.3, se realizó el modelamiento de una cuenca. Esto incluye la obtención de superficies, la red de drenaje, el TIN, la pendiente y las curvas de nivel. Posteriormente, se llevó a cabo el cálculo de los parámetros geomorfológicos de la microcuenca de estudio.

a) Parámetros básicos de la cuenca

Cuadro 3. Parámetros básicos de la cuenca

Parámetros morfométricos	Resultado	Unidad
Área de una cuenca (A)	32,32	km ²
Perímetro de la cuenca (P):	29,42	Km
Longitud de la cuenca (L):	7,90	Km
Longitud del Cauce Principal (L _p)	7,11	Km
Cota Inicial Cauce Principal	3350,00	m.s.n.m.
Cota Final Cauce Principal	2859,00	m.s.n.m.
Longitud Total de Cauces L _t	42,62	Km
Ancho de cuenca (w):	4,09	Km

Fuente: Elaboración propia, 2023

b) Parámetros de forma de la cuenca

Cuadro 4. Parámetros de forma de la cuenca

Parámetros morfométricos	resultados	Unidad
Factor de forma de una Cuenca (F):	0,52	Achatada
Relación de elongación (R):	0,81	
Relación de circularidad (Rc):	0,47	
Índice de Compacidad o Índice de Gravelious (K):	1,47	Irregular

Fuente: elaboración propia

c) Parámetros de relieve de la cuenca

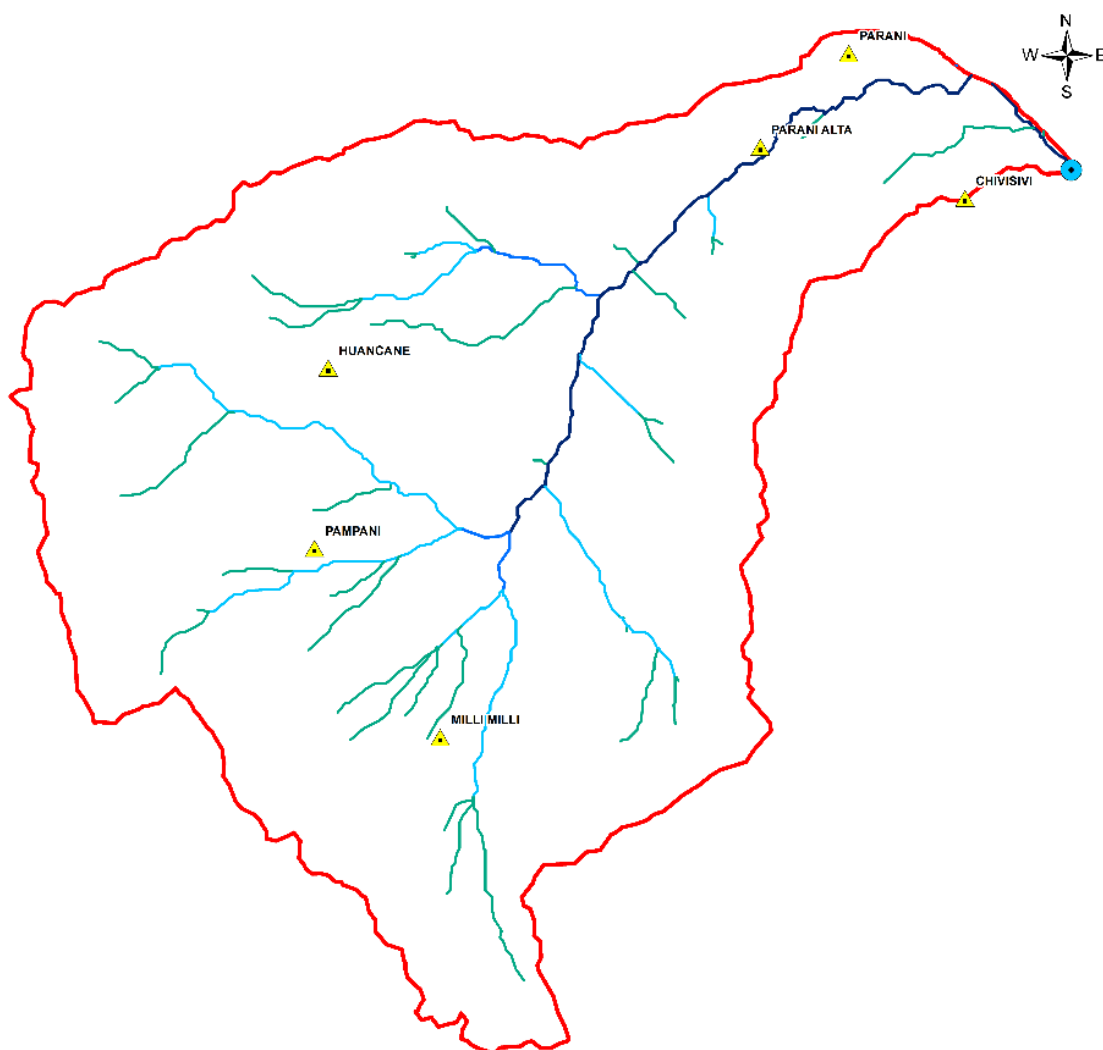
La **pendiente media de una cuenca** se calcula utilizando un Modelo de Elevación Digital (DEM). Este modelo permite crear una representación en 3D del terreno, donde cada área o píxel tiene una altura o pendiente específica. Estos datos se analizan y se reclasifican según los parámetros establecidos para la pendiente. Luego, se contará el número de ocurrencias en cada categoría de pendiente. Este parámetro nos ayuda a determinar el grado de riesgo que presenta la microcuenca. Al mejorar el concepto, se refiere a mejorar la comprensión y conocimiento sobre cómo se calcula y utiliza los medios pendientes para evaluar el riesgo en una cuenca.

Cuadro 5. Cuadro para el cálculo de pendiente media de la cuenca

Nº	RANGO PENDIENTE		PROMEDIO	NÚMERO DE OCURRENCIA	PROMEDIO x OCURRENCIA
	INFERIOR	SUPERIOR			
1	0	5	2,5	2791	6977,5
2	5	12	8,5	4338	36873
3	12	18	15,0	8490	127350
4	18	24	21,0	6013	126273
5	24	32	28,0	6271	175588
6	32	44	38,0	3616	137408
7	44	100	72,0	285	20520
				31804	630989,5

Fuente: Elaboración propia

Figura 5. Delimitación de la cuenca Parani



Fuente: Elaboración propia, 2023

10.3.2. Forma de la cuenca

La forma de la cuenca tiene una clara incidencia en la ocurrencia de avenidas y en el régimen hidráulico del cauce. En general se considera que cuencas cuya forma se asemeja a la de un círculo ofrecen mayor riesgo de inundación; mientras que las cuencas cuya forma es alargada el agua fluirá gradualmente hacia el cauce principal disminuyendo los riesgos de inundación (Soto., 2017).

En el caso de la Cuenca Parani se advierte que tiene una forma alargada con una parte alta diferenciada de la parte baja. La escorrentía sucede desde la parte alta hacia la parte baja

siguiendo un cauce natural en la que confluyen todos los afluentes de aguas de escorrentía laterales.

10.3.3. Relieve de la cuenca

10.3.3.1. Pendiente promedio de la cuenca

Esta característica representa la variación promedio de la pendiente de la cuenca y controla en buena parte la velocidad con que se da la escorrentía superficial. La extensión aproximada de la cuenca Parani es de 32.32 km² y presenta alturas de terreno que fluctúan entre los 2859 hasta los 3350 m.s.n.m. La diversidad topográfica que presenta la cuenca, refleja las diferencias existentes en los diferentes pisos ecológicos, en cuanto se refiere a los procesos de degradación natural. El rango de pendientes en las comunidades de Huancané y Milli Milli representa del 30 hasta 70%. En las comunidades de Parani y Chivisivi representa de 0 a 19.85%.

Debido a que la cuenca Parani presenta un material geológicamente variado e inestable en muchos de los casos provocan diferentes grados de erosión distribuidas en toda la cuenca, los mismos que acompañados de pendientes en muchos casos fuertes y una cobertura vegetal escasa y cambiante provocan en muchas zonas fragilidad e inestabilidad; que ocasionan muchos de los tipos de erosión existentes.

10.3.3.2. Pendiente del cauce principal

La pendiente del cauce principal es de gran utilidad en la determinación del tiempo de concentración. La velocidad del agua en el cauce depende de la pendiente del mismo. Esta pendiente se puede determinar dividiendo la diferencia de cotas máxima y mínima, entre la longitud y expresarla en porcentaje.

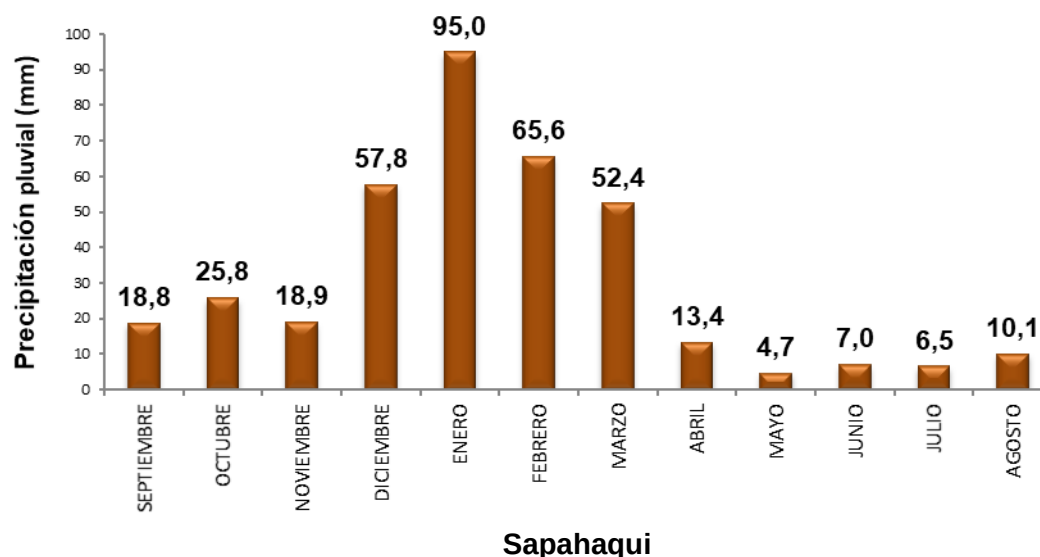
Si consideramos que el cauce principal de la cuenca Parani tiene una longitud aproximada de 5560 m y las cotas máxima y mínima son 3350 m.s.n.m. y 2859 m.s.n.m, respectivamente, se tiene una pendiente del cauce de 6.91 %.

10.3.4. Precipitación

Son todas las formas de humedad emanada de la atmosfera y depositada en la superficie terrestre, tales como lluvia, granizo, rocío, neblina, nieve o helada. Para las mediciones

pluviométricas se utilizan los pluviómetros y los pluviógrafos, que expresan la cantidad de lluvia, como la altura caída y acumulada sobre una superficie plana e impermeable.

Figura 6. Distribución de precipitación promedio mensual, Estación Climática



Fuente Proyecto Cuenca Pedagógica Parani, 2020.

10.3.5. Análisis de frecuencias hidrológicas

El análisis de frecuencias es un procedimiento para estimar la frecuencia de ocurrencia o probabilidad de ocurrencia de eventos pasados o futuros. El objetivo del análisis de frecuencia es estudiar la probabilidad en que ocurre un evento (caudal, precipitación, temperatura) máximo. Este estudio se hace con el fin de diseñar estructuras hidráulicas, drenajes, riego, etc.

Para el estudio pluviométrico o análisis de frecuencias hidrológicas se utilizaron datos de precipitación diaria proporcionados por SENAMHI para 2 estaciones: Sapahaqui y Caracato. Los registros de éstas dos estaciones son representativos del área de interés, una ilustración de la distribución temporal de esta variable demuestra la enorme concentración de lluvia para los meses de octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo, periodo en el que ocurre el 84% del total de la precipitación pluvial en el año hidrológico. A partir de los datos de las dos estaciones mencionadas, se obtiene que la precipitación promedio anual esperada en el área del estudio es de 265,50 mm:

10.3.6. Relación precipitación – escorrentía

Para la aplicación de los modelos precipitación - escurrimiento la información utilizada corresponde a un promedio ponderado de la estación climática de Sapahaqui. Por tanto, se realizan análisis de ajuste de la precipitación máxima diaria, distribución horaria de la precipitación y curvas de intensidad–duración–frecuencia con información climática de Sapahaqui.

Cuadro 6. Precipitación máxima diaria – Estación Climática Sapahaqui

Año hidrológico	Valor (mm)
2007-2008	20.2
2008-2009	20.1
2009-2010	18.3
2010-2011	60.0
2011-2012	20.4
2012-2013	25.7
2013-2014	24.2
2014-2015	18.4
2015-2016	29.0
20016-2017	18.8

Fuente Proyecto Cuenca Pedagógica Parani, 2020.

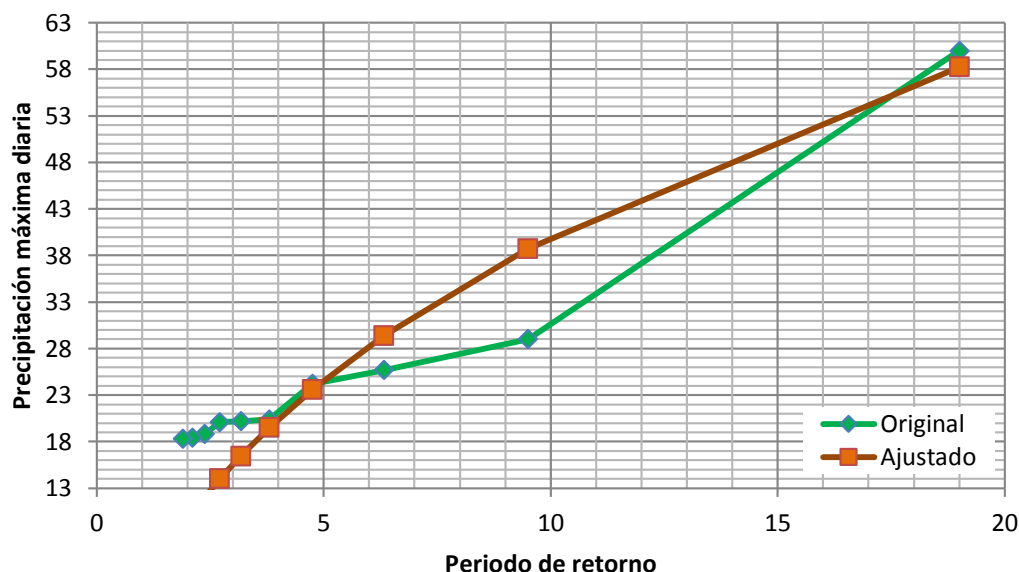
Como resultado del análisis de información climática, se establecieron las precipitaciones máximas diarias correspondientes a diferentes periodos de retorno, que se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 7. Ajuste de precipitación máxima diaria, según la función log normal max. ver. 2 p (mm), Estación Climática Sapahaqui

i	Tr (años)	Dato (i)	Valor ajustado	Error^2
1	19	60	58,24	3,11
2	9,5	29	38,74	94,81
3	6,33	25,7	29,38	19,18
4	4,75	24,2	23,57	0,18
5	3,8	20,4	19,5	0,25
6	3,17	20,2	16,43	12,75
7	2,71	20,1	14,01	35,9
8	2,38	18,8	12,04	35,58
9	2,11	18,4	10,38	58,07
10	1,9	18,3	8,97	81,61

Fuente Proyecto Cuenca Pedagógica Parani, 2020.

Figura 7. Ajuste de precipitación máxima diaria, según la función log normal max. ver. 2 p (mm), Estación Climática Sapahaqui



Fuente Proyecto Cuenca Pedagógica Parani, 2020.

10.3.7. Escorrentía superficial

Es el exceso de precipitación que ocurre después de una lluvia intensa y se mueve libremente por la superficie del terreno. Existen factores que influyen en la escorrentía superficial, estos factores pueden ser de naturaleza climática relacionados con la precipitación de naturaleza fisiográfica ligadas a las características físicas de la cuenca y de naturaleza humana relacionadas con la intervención del hombre.

10.3.8. Determinación de caudales

El rango de variación del área de drenaje de las microcuencas en Parani ésta comprendida entre 1,06 a 32,32 km². La mayoría de las microcuencas tienen áreas de drenaje menores a los 10 Km², rango permitido por algunos autores para el uso de la formula racional.

10.4. Análisis participativo de identificación de acciones para control de erosión hídrica

El diagnostico participativo permitió el intercambio de conocimientos entre productores de la cuenca Parani, y técnicos del Proyecto Cuenca Pedagógica Parani. Se identificó que las

riadas, mazamorras e inundaciones son las principales amenazas para la producción de frutas y hortalizas en las comunidades beneficiarias. Ver anexos

Asimismo, se estableció que en la cuenca existe alto grado de erosión del suelo. En época seca que comprende los meses junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre, existe erosión eólica, ocasionada por los fuertes vientos. A esto se añade un importante crecimiento de cauces de ríos y arroyos debido a la precipitación pluvial de los meses de diciembre, enero, febrero, marzo, abril y mayo. Debido a la existencia de quebradas empinadas, el efecto de la erosión hídrica es significativa, ocasionando el arrastre de sedimentos desde la parte alta hasta la parte baja de la cuenca. A este fenómeno natural se le conoce como riada o arrastre de mazamorras, que muchas veces llegan a terreno de cultivo ocasionando pérdida de producción de hortalizas y frutas.

En años pasados se realizaron construcciones de muros de gaviones en algunos puntos de la cuenca, sin embargo, estos no resistieron y fueron arrastrado por la riada.

La elaboración de un mapa parlante de la cuenca, facilitó el proceso de identificación participativa de áreas degradadas erosionadas, áreas de cultivo amenazadas y los sitios adecuados para la construcción de obras civiles para el control hidráulico.

Los criterios de varones y mujeres participantes de los talleres fueron consensuados en torno a las áreas identificadas. Ver anexos.

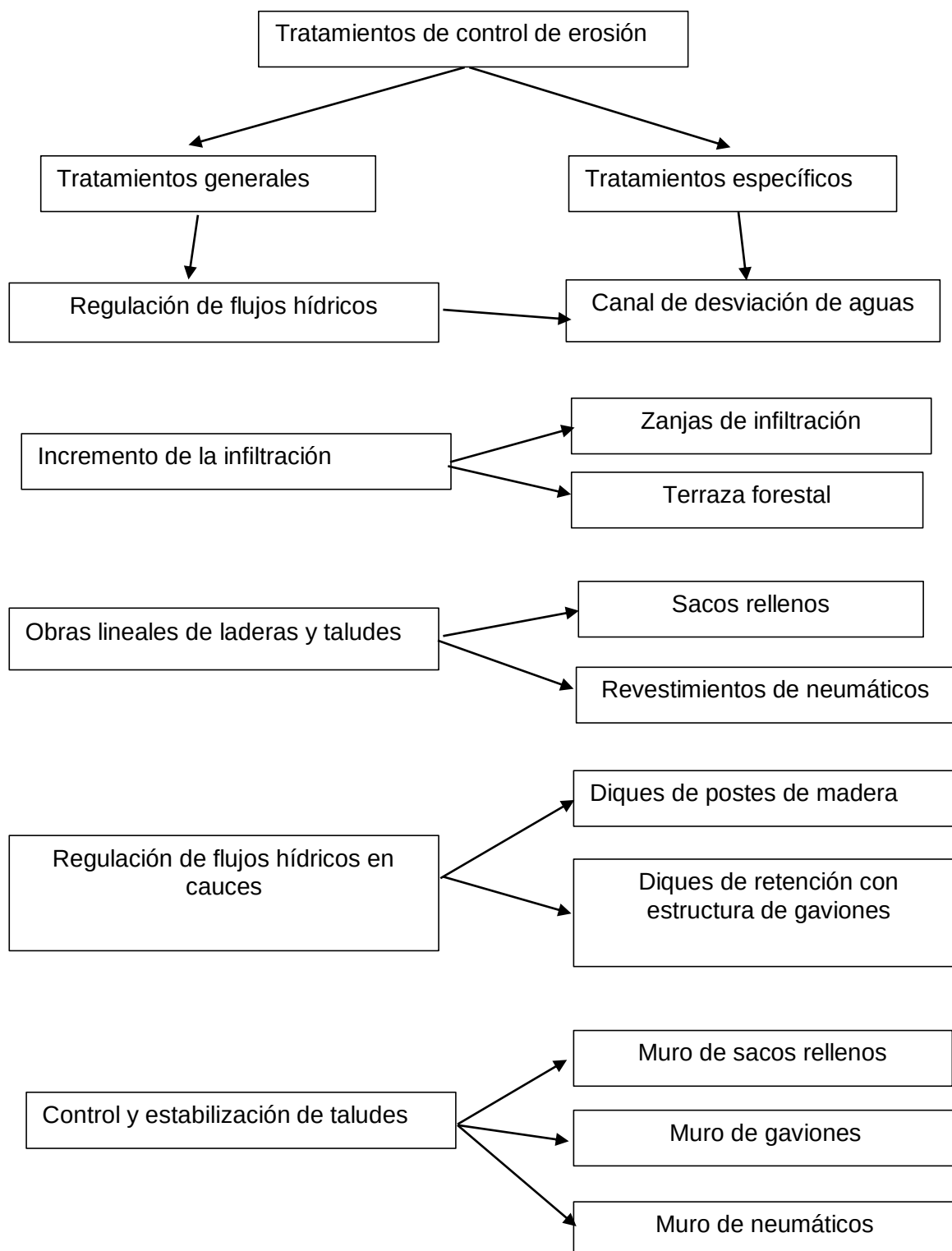
Luego de los talleres, se realizaron visitas de verificación in situ a las áreas identificadas en el mapa parlante. se muestra las áreas erosionadas, degradadas y su desembocadura en un cauce de agua primario. Ver anexos.

El equipo técnico del proyecto junto con representantes de pobladores de la cuenca, visitaron las principales áreas degradadas y cauces de agua principales y secundarios. En estas visitas los productores ampliaron la explicación sobre los problemas que tienen en sus comunidades por arrastre de suelo en las riadas. Ver anexos.

Las visitas de verificación en campo, permitieron identificar diques de retención aun existentes en la cuenca. muestra la toma de datos cuantitativos de un dique en buen estado. Ver anexos

La muestra un dique de retención en mal estado, algunas partes están deterioradas debido a una fuerte riada, que ocasiono una ruptura del vertedero.

Figura 8. Clasificación de tratamientos de control de erosión en suelos para la cuenca Parani



Elaboración propia, en base a talleres participativos e información de Pérez (2002).

10.5. . Obras estructurales y no estructurales recomendadas

10.5.1. Obras en la cuenca receptora

10.5.1.1. Canal de desviación

El canal de desviación es una obra destinada a la recuperación de suelos, que puede realizarse de forma manual o mecanizada. Este tipo de obra se sitúa preferentemente en la parte superior o media de la ladera para capturar la escorrentía procedente de las cotas superiores. Se construye transversalmente a la pendiente con un ligero desnivel (1 %) para transportar el agua a una salida estabilizada. Presenta una sección trapezoidal, con un ancho mínimo en la base de 0,2 metros, una altura de 0,2 a 0,5 metros, una pendiente lateral del talud aguas debajo de 1: 0,5 a 1: 0,7 y una pendiente lateral del talud aguas arriba de 1: 0,6 a 1: 0,8. Aguas debajo de la excavación, se construye un camellón de altura y ancho similares a la profundidad del canal y a la anchura superior de las obras respectivamente. El largo es variable. El último tramo del canal corresponde entre un cuarto y un quinto de la longitud total de la obra. Se construye a nivel y sin camellón, con una sección entre un 25 y un 35% mayor que la sección en desnivel. Sin variación de las pendientes en los taludes. Las aguas del canal deben evacuar en un área receptora estabilizada, debiéndose sembrar el camellón con herbáceas adecuadas a la zona. Cuando el área receptora corresponde a un curso de agua o quebrada estabilizada, la pendiente del canal es variable, el último tramo debe revestirse y, para amortiguar el golpe de las aguas, se construye un dissipador de energía (Pérez, 2002).

10.5.1.2. Zanja de infiltración

La zanja de infiltración, también es una obra recomendada para la recuperación de suelos, puede realizarse de forma manual o mecanizada y se sitúa preferentemente en la parte superior o media de una ladera para capturar y almacenar la escorrentía precedente de las cotas superiores. Se construye transversalmente a la pendiente, en la curva de nivel. La obra comprende un conjunto de zanjas a tresbolillo. Presenta una sección trapezoidal, con un ancho mínimo en la base de 0,2 metros, una altura de 0,2 a 0,5 metros, una pendiente lateral del talud aguas debajo de 1:0,5 a 1:0, 7 y una pendiente lateral del talud aguas arriba de 1:0,8 a 1:1. El largo fluctúa entre 3 y 8 metros, la separación o tabique entre zanjas, en la curva de nivel, varía entre 0,7 y < 7 metros, según la altura y largo de ellas. Como

complemento, se debe sembrar en el camellón entre zanjas, especies herbáceas apropiadas a cada región (Pérez, 2002).

10.5.2. Obras en el cauce

Paralelamente a las obras de manejo de la cuenca receptora, se recomienda realizar obras en los cauces hidrológicos, con el propósito de aumentar la capacidad de transporte de agua del mismo, disminuir la velocidad de flujo y disipar la energía del agua. Son tan necesarias como las de conservación de la cuenca porque si no se reduce el poder erosivo del agua en los cauces, estos se profundizan y se pierde la capacidad de soporte de las laderas y se desestabilizan llegando a producir derrumbes de consideración que agravan el fenómeno torrencial (Mejía, 1992).

El mismo autor menciona que estas obras se construyen para modificar la pendiente del cauce, mediante la construcción de diferentes tipos de diques transversales, o para proteger las orillas caso en el cual se construyen espigones, se recubren las orillas con colchones de piedras de gran tamaño o se canaliza el cauce.

10.5.2.1. Diques de postes

Este tipo de obra se realiza para el control de cárcavas y de cursos de agua secundarios, generalmente temporales, tales como arroyos y quebradas, que actúa por resistencia mecánica. Consiste en una estructura de postes verticales impregnados y horizontales de una altura efectiva entre 0,5 y 1,5 metros. Los postes verticales se entierran entre 0,5 y 1 metro según el tipo de suelo, y se distancian entre 0,5 y 1,2 metros. Los postes horizontales deben empotrarse entre 0,3 y 0,6 metros en el fondo y lateral mente. En la parte posterior del dique para aumentar la capacidad de retención de sedimentos, se coloca una malla de polietileno «tipo malla sombra» (80% de cobertura como mínimo) u otra de similar calidad. Para proteger la estructura de un eventual socavamiento, se construye un pequeño terraplén en su parte posterior. En diques con altura efectiva superior a 1,5 y hasta 3 metros, se deberá colocar tirantes de alambre anclados y rellenar de acuerdo a las necesidades de la obra. Para evacuar la descarga, de acuerdo con el caudal máximo estimado, se construye un vertedero de sección trapezoidal, generalmente con un largo entre 1/4 y 1/5 de la longitud del dique y de 0,2 a 0,4 metros de altura. Finalmente, para amortiguar el golpe de las aguas vertidas se construye un dissipador de energía de longitud 1 ,3 a 1,5 veces la altura efectiva de la obra (Pérez, 2002).

10.5.2.2.Diques de retención con estructura de gaviones

Los diques de retención son estructuras transversales a la dirección del flujo del río y tienen por objeto regular los caudales en épocas de crecimientos o promover la sedimentación aguas arriba de tal manera que se formen colchones de sedimentos y un escalonamiento a lo largo del cauce (Mejía, 1992).

Al respecto Pérez (2002), menciona que los diques de retención son obras de mampostería para la estabilización y protección de cursos de agua secundarios, generalmente temporales, tales como arroyos, esteros, quebradas y cárcavas, y contención de taludes. Esta estructura se sustenta por su propio peso y actúa por resistencia mecánica. Consiste en un conjunto de paralelepípedos fabricados con malla hexagonal en alambre de acero galvanizado y relleno con piedras. La altura, largo y ancho de la obra se calculará según las condiciones del terreno y el tipo de relleno del gavión. La altura máxima para obras de mampostería gavionada fluctúa entre 2 y 3 metros. La utilización de bases antisocavantes se evaluará según las necesidades específicas.

Cuando la obra de gaviones corresponda a un dique, los gaviones deben ser enterrados entre 0,25 y 0,6 metros y empotrados en los taludes laterales entre 0,4 y 0,6 metros, según el tipo de suelo. Para aumentar la capacidad de retención de sedimentos, la cara aguas arriba de los paralelepípedos se cubre con un tipo de “malla sombra” de polietileno (mínimo 80% de cobertura) u otra de similar calidad. Para proteger la estructura de un eventual socavamiento, se construye un pequeño terraplén en su parte posterior. Para evacuar la descarga, de acuerdo con el caudal máximo estimado, y amortiguar el golpe de las aguas vertidas, se construye un vertedero de sección trapezoidal o rectangular de aproximadamente $\frac{1}{4}$ y $\frac{1}{5}$ de la longitud del dique, y un dissipador de energía de longitud 1,4 a 1,7 veces la altura efectiva de la obra, respectivamente (Pérez, 2002).

Las principales obras de gaviones empleadas son: diques de retención con vertederos, graderías de dissipación de energía y diques permeables. Los diques de retención con vertederos pueden ser formados por una o varias hileras de gaviones según sea el caso y pueden requerir paredes de acercamiento y comportamiento del talud para evitar separación por erosión. Las graderías de dissipación son similares a los diques de retención, con la diferencia de que la corona debe diseñarse para que facilite el flujo de agua por encima de ésta y tienen forma escalonada. Los diques permeables se construyen con el propósito de disminuir la velocidad de la corriente y crear pequeñas zonas de nivel de agua

más profundo, así como de proveer pasos peatonales o para ganado se utilizan en cauces de pendientes bajas (Mejía, 1992).

10.5.2.3.Muro de gaviones

Según Tibanta (2012), los muros en gaviones son estructuras de gravedad y su diseño sigue la práctica estándar de la Ingeniería Civil. Debe tenerse en cuenta de manera muy especial el amarre entre unidades de gaviones para evitar el movimiento de unidades aisladas y poder garantizar un muro monolítico.

Por su flexibilidad el muro de gaviones puede deformar fácilmente al ser sometido a presiones, diferenciándose un poco su comportamiento de los muros convencionales. El muro puede flectarse sin necesidad de que ocurra su volcamiento o deslizamiento y es común encontrar deflexiones hasta del 5% de la altura.

La posibilidad de empleo de diversas mallas permite escoger un rango de rigidez o flexibilidad en el muro así; Si se desea un muro rígido debe emplearse malla electrosoldada, rellenar al gavión con cantos grandes y colocar una buena cantidad de tirantes de rigidez (Tibanta, 2012).

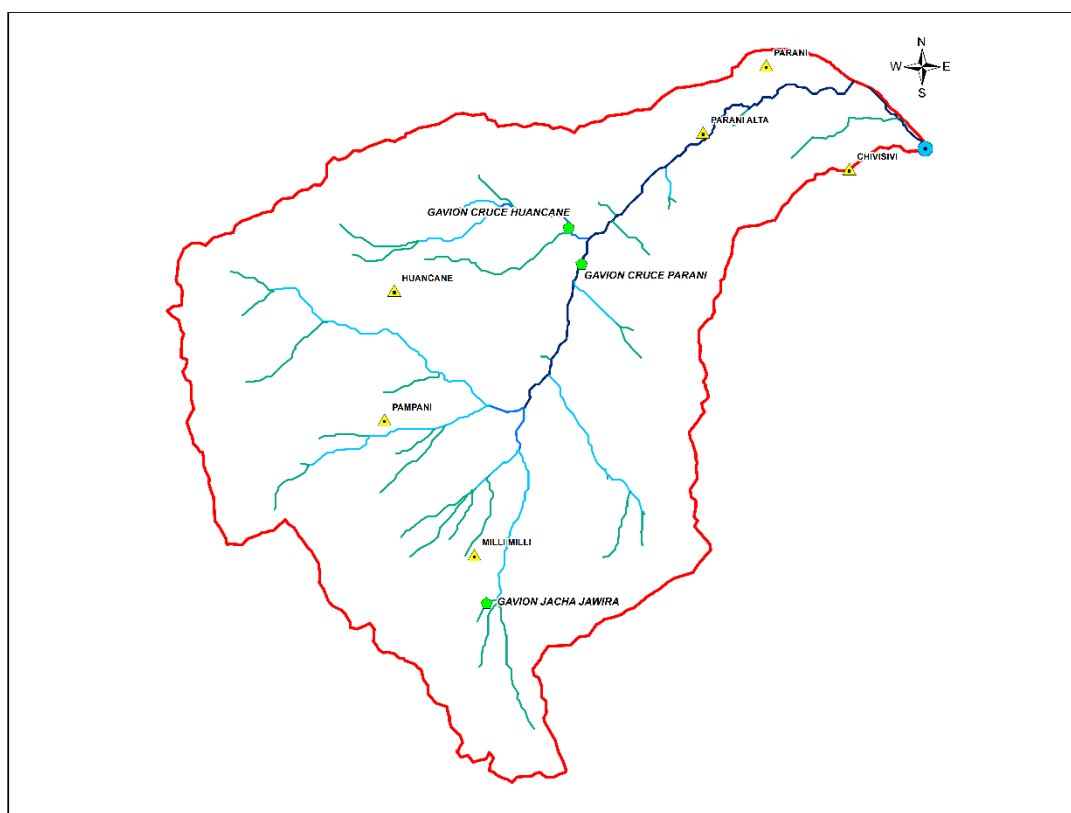
10.5.2.4.Muro de contención con neumáticos

El muro de contención de neumáticos, es una obra de regulación de flujos hídricos en cursos de agua secundarios, generalmente temporales, tales como arroyos, esteros y quebradas, y de control de taludes y laderas con erosión lineal de canalículos y zanjas incipientes. Se utilizan los revestimientos de neumáticos usados (aro 13 - 15), rellenos con tierra e imbricados, como ladrillos en albañilería y escalonados con peldaños de 5 a 10 cm. En su construcción debe emparejarse el talud y la base, disponer los neumáticos, rellenar con tierra y compactar. Las primeras corridas de neumáticos deben fijarse por estacas de 0,6 a 0,7 m. El largo de esta obra es variable, pero la altura no debe sobrepasar los 1,5 m y la pendiente del talud varía entre 1 :0,4 a 1 :0,8. Para complementar biológicamente la obra, se deberá sembrar semillas de especies herbáceas, apropiadas para cada región, en la superficie rellena de los neumáticos (Pérez, 2002).

10.6. Identificación de los sitios de ubicación de los diques de retención

Los resultados del diagnóstico participativo con comunarios de la cuenca Parani, permitieron identificar y priorizar un tipo de obra civil necesario para contrarrestar los procesos de erosión hídrica y el traslado de sedimentos al cauce hidráulico principal. Se priorizó la construcción de diques de retención con estructura gavionada para 3 sitios clave de la cuenca Parani, la construcción de 3 diques de retención en los sitios 1,2,3 (Figura 9).

Figura 9. Identificación de los tres sitios de construcción de diques de retención con estructura gavionada en la cuenca Parani



Los objetivos principales de la colocación de diques de retención con estructura gavionada, son la retención de sedimentos gruesos y la disminución de la erosión de las márgenes de los cursos de agua en el sector de pie de monte de la cuenca que se encuentra en un proceso de erosión regresiva muy activo.

Estos diques actúan como estructuras-obstáculo para retener los sedimentos y evitar su transporte en los cursos de agua principales y áreas potenciales de inundación.

Cuadro 8. Coordenadas geográficas de los tres sitios priorizados para la implementación de diques de retención con estructura de gaviones

UBICACIÓN	CORDENADAS UTM		
	ESTE (X)	NORTE (Y)	COTA (Z)
GAVION JACHA JAWIRA	615856,00	8120174,00	3932,00
CRUCE PARANI	616889,79	8123864,20	3061,68
CRUCE HUANCANE	616748,53	8124259,40	3069,27

Fuente: Elaboración propia, 2023

La localización de los sitios de diseño de diques de retención, se realizó en campo, en coordinación con técnicos encargados del Proyecto Cuenca Pedagógica Parani que definieron la construcción de obras civiles para el control de la erosión hídrica en el área de intervención, considerando condiciones topográficas principalmente.

10.7. Diseño de obras civiles para control hidráulico

10.7.1. Diseño de diques de retención (gaviones)

Para el diseño de los diques de retención, se consideraron los siguientes parámetros: topografía del sitio, crecidas máximas y dimensiones estándar de los elementos de las mallas (gaviones y colchetes).

Se obtuvo las características del sitio de ubicación de cada dique, así como la pendiente del curso, elementos que definieron el tamaño de los diques. Al respecto, se fijó como altura máxima en los cursos secundarios 3 m y en el curso principal 2 m

De acuerdo a las estimaciones de los caudales máximos, efectuadas en la revisión de los diseños de los diques de tierra, las crecidas adoptadas para un periodo de retorno de $T=100$ años, son las siguientes:

Diques del curso principal $Q_{max} = 17.61 \text{ Km}^2$

Dique en curso secundarios $Q_{max} = 5.41 \text{ km}^2$

10.7.2. Vertederos

La forma del vertedero es rectangular y localizado en el cuerpo del dique. El tamaño se definió en función a los caudales de crecida calculados, se usó para su determinación la fórmula:

$$Q = u L h^{3/2}$$

Donde:

Q = Caudal de crecida en m³/s

L = Longitud del vertedero

h = Altura de la lámina de agua sobre la cresta del vertedero en metros

U = Coeficiente

10.7.3. Características de los diques de retención

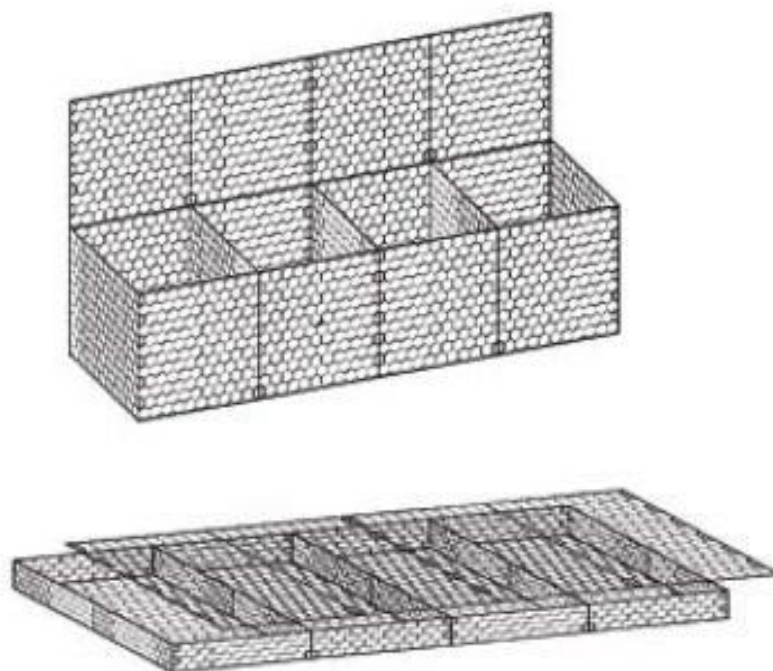
Los gaviones tipo caja y tipo colchón representan una solución técnica y económica eficiente, a la vez que estética y ecológica para su aplicación en obras de ingeniería civil, dado que se adaptan a cualquier ambiente, clima, y su construcción también es posible en sitios de difícil acceso. Son paralelepípedos rectangulares de diferentes dimensiones constituidos por una red de malla metálica tejida a doble torsión que forman una base, paredes verticales y una tapa, la cual, eventualmente, puede ser formada por separado. Son rellenos en obra con bloques sanos de roca de peso apropiado. Para este propósito, el peso específico de los bloques debe ser mayor o igual a 2 ton/m³ (PRODAC, 2004; mencionado por Piñar, 2008).

Los mismos autores mencionan que, se suelen llamar gaviones tipo caja a aquellos cuya altura varía entre 0.50 m – 1.00 m y tipo colchón a aquellos cuya altura varía entre 0.17 m – 0.30 m. Interiormente, los gaviones pueden estar divididos por diafragmas formando celdas cuya longitud no debe ser mayor a una vez y media el ancho de la malla. Usualmente, esta separación es de 1 m. Las aristas de los paneles de malla son reforzadas con alambres de mayor diámetro. A continuación, se muestran las dimensiones típicas según el tipo de gavión.

Cuadro 9. Dimensiones del gavión tipo caja

Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Número Diafragmas	Volumen (m3)
1.5	1.0	1.0	-	1.5
2.0	1.0	0.5	1	1.0
2.0	1.0	1.0	-	2.0
2.0	1.0	1.0	1	2.0
3.0	1.0	0.5	2	1.5
3.0	1.0	1.0	2	3.0
4.0	1.0	0.5	3	2.0
4.0	1.0	1.0	3	4.0
4.0	1.5	1.0	3	6.0
5.0	1.0	0.5	4	2.5
5.0	1.0	1.0	4	5.0
5.0	1.5	1.0	4	7.5
6.0	2.0	0.5	5	6.0

Fuente Piñar, 2008.

Figura 10. Gavión tipo caja y gavión tipo colchón

Fuente Piñar, 2008

Tabla 9. Dimensiones del gavión tipo colchón

Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)	Numero diafragmas	Volumen (m3)
4.0	2.0	0.17	3	1.36
4.0	2.0	0.23	3	1.84
4.0	2.0	0.30	3	2.40
5.0	2.0	0.17	4	1.70
5.0	2.0	0.23	4	2.30
5.0	2.0	0.30	4	3.00
6.0	2.0	0.17	5	2.04
6.0	2.0	0.23	5	2.76
6.0	2.0	0.30	5	3.60

Fuente Piñar, 2008

10.7.4. Protección aguas abajo

Aguas arriba de los diques o muros de gaviones, se dispone de una lámina de geotextil, pegada a estos y encajada, como mínimo, 0,50 m en el terreno de fundación, tanto en la base como en las laderas. En el gavión superior de formación del vertedero, el geotextil cubre hasta 2/3 de su altura (0.67 m). Cubriendo el geotextil, se coloca un relleno de material del lecho con un talud mínimo de 1:1 y 0.50 m, en la parte superior del dique. Preferentemente el material más fino junto a geotextil.

10.8. Factibilidad técnica

Los pobladores de la cuenca Parani concentran sus actividades socio productivas principalmente en actividades agrícolas tanto en la cuenca alta y media como en la cuenca baja. Debido a que la cuenca presenta quebradas con pendientes pronunciadas, las superficies de cultivo son reducidas y se ven afectadas por continuos procesos de degradación, especialmente por erosión hídrica.

La pérdida de suelos agrícolas es alarmante, no solo en zonas altas, también en zonas bajas que sufren riadas e inundaciones que ocasionan la disminución de la producción de hortalizas y frutales, que son especies típicas de la parte baja de la cuenca.

En virtud a los anteriormente descrito, la construcción de obras civiles, como diques de retención con gaviones, es necesaria para reducir la cantidad de sedimentos que son arrastrados de la parte alta a la parte baja, también para reducir la velocidad de los cauces principales y secundarios.

La construcción de estas obras en este tipo de cuencas no es nueva, se vienen realizando desde décadas pasadas en diferentes lugares del país. En consecuencia, se tiene experiencia técnica en el municipio y en empresas privadas que pueden facilitar la construcción de estas obras civiles para contribuir a reducir el efecto de la degradación de suelos agrícolas.

Es importante resaltar que, solo la construcción de diques de retención no resolverá el problema de erosión de la cuenca y la degradación de suelos. Es necesario implementar varias acciones complementarias en el marco del Manejo Integrado de Cuencas que se viene ejecutando en el país.

10.9. Factibilidad financiera

De acuerdo a los cálculos realizados, de los costos de los tres diques de gaviones fue de 688400,79 Bs. Ver anexos.

10.10. Factibilidad económica

En las comunidades de Valle Parani y Chivisivi el ingreso anual aproximado es de 8000 Bs por la venta de los productos agrícolas específicamente productos frutícolas, entre ellos, pera, peramota, ciruelo, manzana, tuna, algo de uva y damasco., los cuales también aportan en la economía de las familias.

La implementación de diques de retención contribuirá al mantenimiento de estos ingresos e inclusive puede proyectarse un incremento, como resultado del control hidráulico que se tendrá con la construcción de diques. El riesgo de riadas, mazamorras, sedimentación e inundaciones será menor, por lo tanto, se tendrá un efecto indirecto en el mantenimiento y aumento de los ingresos económicos de las familias por la producción de hortalizas y frutales.

10.11. Impacto social

Según la información obtenida del Plan Territorial de Desarrollo Integral del Municipio de Sapahaqui (PTDI Sapahaqui), a nivel del cantón Sapahaqui donde se encuentran integradas las comunidades Huancané, Milli Milli, Parani y Chivisivi, se determinó que el 57.24% (332 personas) de la población económicamente activa emigran temporalmente, de los cuales el 79 % son varones y el 21% son mujeres. En muchos casos la emigración es el efecto de la pérdida de opciones productivas en las comunidades, causadas por fenómenos climáticos, como sequía, heladas, riadas e inundaciones, que desmotivan a los pobladores en continuar con sus actividades agropecuarias.

Se espera un impacto favorable en la sociedad de la cuenca Parani por la construcción de diques de contención, que, junto a otras acciones de conservación de suelos, mejoren las condiciones de producción de cultivos, por la reducción de procesos de erosión hídrica y control hidráulico de los cauces principales y secundarios de la cuenca.

10.12. Conclusiones

La construcción de diques de retención de sedimentos con gaviones, es una solución que puede ser aplicada en cursos de agua principales y secundarios de importancia en la cuenca Parani, en los que el arrastre de sedimentos gruesos es grande y los volúmenes que se puedan retener sean significativamente altos.

La implementación de diques puede ser factible si los objetivos son múltiples, o sea, retención de sedimentos y protección de áreas de cultivo o en general tierras aprovechables.

La construcción de obras civiles para control hidráulico en tres sitios de la cuenca Parani contribuirá a reducir el efecto adverso de riadas, mazamorras e inundaciones, pero no será efectiva si no se complementan con otras acciones de manejo y conservación del suelo, como forestación, terrazas de formación lenta, canales de desviación, zanjas de infiltración y muros de madera o piedra para controlar el avance de cárcavas.

El mantenimiento de estas obras civiles es necesario y permanente, buscando que sean útiles en la protección de áreas de producción agropecuaria y que su funcionamiento se mantenga por muchos años.

10.13. Recomendaciones

Se recomienda continuar elaborando proyectos de propuesta para poder ejecutar posteriormente con instituciones gubernamentales o privadas para consolidar el Manejo Integrado de La Cuenca Parani. Ester proyectos pueden contribuir a la protección y para una gestión sostenible de los recursos hídricos en la cuenca.

11. PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN

11.1. Proceso constructivo de un dique de retención con estructura de gaviones

La construcción de obras civiles para el control hidráulico en tres sitios priorizados de la cuenca Parani, se realizará de acuerdo a las siguientes etapas.

11.1.1. Demarcación topográfica

El trabajo de topografía consistirá en marcar la línea a nivel del sitio donde se construirá el dique de retención. La delimitación del área se realizara con estacas de madera y la demarcación con estuco sobre las líneas principales. Esta demarcación es importante para que la excavación sea precisa. Las estacas se colocarán cada 4 m metros, por lo tanto, se utilizarán en total ocho estacas para delimitar el contorno del área de excavación para el dique de retención

11.1.2. Excavación

La excavación consistirá en el movimiento de tierra del área delimitada, que se realizará con una retroexcavadora, que trabajará en el proyecto para un total de 10 horas efectivas, con un costo de 5195.68 Bs.

El piso del fondo de la excavación será nivelado y compactado para soportar el peso de los gaviones. Es de vital importancia colocar los gaviones del dique sobre superficies horizontales, para evitar que la inclinación del terreno origine esfuerzos no deseados en el muro en el sentido longitudinal (Piñar, 2008).

11.1.3. Mejoramiento de la base

Previo al levantamiento de los gaviones, se debe colocar lastre compactado en la base del dique. El material recomendado es el mismo que se emplea como base para los pavimentos. Los trabajadores deben esparcir homogéneamente el material sobre la base, luego humedecer y compactar en 2 capas de 10 cm. En este proceso se debe utilizar una máquina compactadora.

En cada etapa de la construcción se debe verificar e inspeccionar la calidad de los trabajos. Se debe verificar que en la compactación se emplee la cantidad de agua necesaria para producir una densidad cercana a la máxima posible para el material utilizado. Asimismo, se

deben realizar pruebas para probar la resistencia a la penetración con una pala o una varilla de acero.

11.1.4. Armado de gaviones

Las mallas de gavión que se utilizarán en el proyecto tendrán las siguientes características:

- Dimensiones de 1 m. de largo, 1 m ancho y metro de alto.
- Calibre de 2,4mm.
- Sin recubrimiento plástico, ya que el muro no estará en contacto directo con el agua.

Estas mallas de gavión deben ser extendidas y armadas en el sitio de obra.



Posteriormente se armarán y amarrarán los gaviones entre sí, cuidando de igualar las paredes, costados y tapas. Los amarres se realizarán con alambre de 2.2 mm de diámetro, que viene junto con el gavión.

El amarre correcto entre gaviones es el de doble vuelta al alambre y luego tesado firme; por último, se debe rematar la costura con varios giros de la tenaza.

Luego del armado se deben colocar los tirantes o tensores (principalmente, en la cara del gavión que queda visible), los mismos se deben amarrar a las paredes laterales o del fondo. La función de estos tirantes es evitar la deformación del gavión durante el llenado. Se

recomienda colocar los alambres tensores en dos celdas adyacentes para optimizar el efecto del tensor.

La distribución de los tensores en las cajas de gavión debe ser de al menos 6 und/m², en filas de 2 tensores colocados a 30, 60 y 90 cm de altura (Piñar, 2008).

El penúltimo paso, previo al llenado, es la colocación de la formaleta en la cara externa del muro. Se busca, con esto, generar una superficie plana, sin ondulaciones ni abolladuras que le den un mal aspecto al muro una vez construido. El formaleteo se puede hacer con madera, perfiles RT o varillas de construcción. Por último, se coloca geotextil sobre toda el área de contacto suelo-muro, con el fin de servir como separación entre los dos materiales, así como permitir la filtración del agua del terreno hacia el dique, evitando que se mezclen partículas finas dentro del gavión, lo que generaría la obstrucción del mismo. En este punto, es importante recalcar que los muros de gaviones no son diseñados para soportar presiones hidrostáticas, por lo cual el uso de geotextil se vuelve indispensable. Se recomienda usar el geotextil tipo MacTex MT 130 de Maccaferri, especial para aplicaciones de muros de gaviones (Piñar, 2008).

11.1.5. Llenado de gaviones

En el proceso de construcción de un dique de retención el llenado de los gaviones requiere un cuidado especial. Se debe inspeccionar continuamente para asegurar que no existan espacios vacíos entre rocas, o que esos espacios tengan el menor volumen posible de manera que se logre el peso máximo de los gaviones debido a que esta obra civil funciona por gravedad. Lo anterior se logra combinando las rocas de todos los tamaños, acomodando las más pequeñas en los espacios vacíos que quedan entre las más grandes. En general se debe evitar colocar rocas cuya dimensión menor mida menos de 10 cm en las caras externas del gavión, para evitar que se salgan por las aberturas de la malla, con el consecuente aumento en la porosidad del dique.

Una vez que se completaba el llenado de una caja de gavión, se procede a cerrar la misma. Se debe llenar y cerrar los gaviones cuando lleguen a su capacidad máxima, no llenar menos o más de su capacidad para que se pueda alinear e igualar correctamente la tapa a las aristas del gavión. Según Piñar (2008), es de vital importancia amarrar las mallas de la camada siguiente a las mallas debidamente cerradas de la camada inferior; ya que, si se

dejaran sueltas, se generaría un plano de falla y el muro no funcionaría como una unidad estructural (revisión de la estabilidad interna).

La apariencia final que debe tener un dique de gaviones, es una estructura sólida, unida, compacta y alineada en todas sus aristas, si ninguna deformación, hueco o protuberancia. Esto se logra con el correcto uso de los tensores, varillas y por el buen acomodo de las rocas al interior y en las caras del gavión, mejorando la estética de la estructura, se observa una cuadrícula perfecta formada por las aristas de los gaviones.

11.1.6. Relleno de espacios entre el dique y la excavación

Esta es la última etapa en construcción del dique de gaviones. Una vez que se llene y cierre una línea de gaviones, se procede a rellenar y compactar el espacio libre que existente entre el muro y la excavación. Este procedimiento se debe repetir hasta alcanzar el nivel de la superficie del suelo. Como material de relleno se utilizará el mismo material de la excavación, el cual se coloca en los espacios vacíos, se humedece y se esparce previo a la compactación. Se recomienda utilizar una maquina compactadora y que la capa compactada tenga una altura aproximada de 15 cm, proceso que se debe repetir hasta no tener espacios vacíos entre la excavación y los gaviones.

11.2. Cálculos métricos

El cálculo métrico es una herramienta que nos ayuda a calcular las cantidades o volúmenes de obras de cada una de las actividades o ítems a ejecutarse.

Se realiza teniendo en cuenta la disposición y diseño de cada obra, y se computan volúmenes, áreas y piezas utilizando las dimensiones de ancho, largo y alto de cada estructura. Esto se hace con el fin de realizar el presupuesto total del proyecto. Ver anexos.

11.3. Presupuesto

11.3.1. Análisis de precio unitario

El precio unitario de un proyecto está compuesto por varios rubros, que incluyen:

Costos de materiales: Estos costos corresponden a los materiales que se utilizarán en el proyecto es un aspecto importante en el análisis del costo total. Los costos de los materiales se basan en los precios actuales del mercado.

Costos de mano de obra: Este rubro se refiere a los costos asociados a la mano de obra necesaria para llevar a cabo el proyecto. Es importante considerar el rendimiento promedio de los trabajadores, ya que esto permite establecer la duración adecuada del proyecto.

Costo de herramienta y equipo: Se debe considerar un porcentaje para cubrir los gastos de herramientas y equipos necesarios para el proyecto. Esto incluye herramientas como palas, picos, cernidores, entre otros. Además, se debe tener en cuenta el costo horario de la maquinaria y su rendimiento.

Beneficios sociales: Este rubro se determina considerando varios aspectos que están regulados por leyes, decretos y resoluciones. Para el proyecto en cuestión, se tomará en cuenta un 40% de beneficios sociales.

Gastos generales: Estos gastos están relacionados con diversos factores, como la ubicación del proyecto, los costos de propuestas y contratos, los gastos administrativos y profesionales. Se ha adoptado un porcentaje del 10% para cubrir estos gastos.

Utilidad: La utilidad es el beneficio que percibe la empresa por el proyecto. En este caso, se ha adoptado un 5% de utilidad.

Impuestos: Al igual que en cualquier contrato que genere ganancias económicas, en la construcción se deben considerar los impuestos correspondientes. Esto incluye el Impuesto al Valor Agregado (IVA) del 14,94%, que se aplica al costo total de la mano de obra, y el Impuesto a las Transacciones (IT) del 3,09%, que afecta al costo directo según las leyes vigentes.

Es importante tener en cuenta que estos rubros pueden variar dependiendo del proyecto y de las leyes y regulaciones aplicables.

11.3.2. Presupuesto de obras

En los anexos de presupuesto de obras, se muestra el costo de inversión desglosado, el presupuesto obtenido se basó en las cotizaciones de materiales e insumos realizadas en noviembre de 2023. También se utilizó como referencia la revista de Presupuesto y Construcción, que es una guía para los proyectistas en el ámbito de la construcción. El costo de la infraestructura es de 688.400,79 Bs.

11.3.3. Presupuesto de Supervisión

El Proyecto de Grado muestra la factibilidad y viabilidad del proyecto, desde el diseño, programación, desarrollo y aplicación. Debido a la importancia de la construcción de estas obras civiles, se debe gestionar los recursos de diferentes fuentes, entre ellas, el Gobierno Municipal de Sapahaqui, el Ministerio de Medio Ambiente y Agua, con una contraparte local de los pobladores de la cuenca Parani.

Es importante mencionar, que la implementación de los diques de retención es una parte de las acciones que se deben realizar para efectivizar el Manejo Integrado de la Cuenca Parani, es necesario continuar con capacitaciones para establecer áreas de forestación en la parte alta de la cuenca, zanjias de infiltración, muros de piedra en cárcavas, muros de contención con neumáticos y muros de piedra. Para ello, la participación de pobladores, autoridades municipales y técnicos de instituciones, es indispensable.

12. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Faustino, J. García, s., 2002. Manual de Manejo de Cuencas. Visión Mundial Canadá. El Salvador, Nicaragua y Bolivia, pp 16 –20.
- Fattorelli, S; Fernández, P. 2011. Diseño Hidrológico. 2 ed. Padova, IT, Mendoza, AR. 531 p.
- Flores, W.2013. Determinación del potencial hídrico y de suelos en los sectores Agrotakesi y Pongo Pampa de la Microcuenca Takesi, Municipio Yanacachi. La Paz, Bolivia, Universidad Mayor de San Andrés. 249 p.
- Galvez, H.; Camacho, W. 2006. Modernización de la enseñanza aprendizaje en la asignatura de hidráulica II. Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba. Bolivia. 488 p.
- GAM. 2020. Gobierno Autónomo Municipal de Sapahaqui La Paz- Bolivia Honorable Concejo Municipal de Sapahaqui Segunda Sección Municipal- Provincia Loayza La Paz Bolivia.
- Losada A. 1995. El Riego. Fundamentos hidráulicos. Ediciones: Mundi Prensa. España.. 447 p.
- LUQUE CONSTRUCTORA. 2022. Construcción Civil. consultado el 20 de junio de 2022 <https://construtoraluque.com/articulos/construccion-civil/>.
- MMAyA. 2016. Guía de instrumentos de apoyo para la aplicación del enfoque de cuenca en proyectos de riego Con financiamiento BID y CAF, Disponible en <http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/bitstream/54000/1190/1/Ministerio-cuenca.pdf>. La Paz – Bolivia. sp.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) 2018. Avances y desafíos de los organismos de gestión de cuenca. Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA), Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego (VRHR), Dirección General de Cuencas y Recursos Hídricos, Programa Intercultural de Cuencas Pedagógicas. La Paz, Bolivia. p 74

- MMAYa 2018. AVANCES Y DESAFÍOS DE LOS ORGANISMOS DE GESTIÓN DE CUENCA. Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAYA), Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego (VRHR), Dirección General de Cuencas y Recursos Hídricos, Programa Intercultural de Cuencas Pedagógicas. La Paz, Bolivia. p 74.
- Mejía Jaramillo Guillermo. 1992. Consideraciones sobre el manejo de cuencas torrenciales y la corrección de torrentes. Federación Nacional de cafeteros de Colombia División de producción. Departamento de Recursos Naturales. Santafé de Bogotá, Colombia. p 19.
- Moreno, A. Renner, I. 2007. Gestión Integral de Cuencas la Experiencia del Proyecto Regional Cuencas Andinas, Centro Internacional de la Papa. Lima Perú. pp 26 – 27.
- Ordoñez, J. 2014. Análisis Hidrometeorológico y Aplicación del Modelo de Simulación IPH-MEN en la cuenca del Rio Pachitea. Tesis M.Sc EPG-UNAL. Lima- Peru. Sp.
- Pérez C., Claudia (Ed.). 2002. Manejo de Microcuenca y Prácticas Conservacionistas de Suelo y Agua. Chillón, Chile. Actas INIA N° 22. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 332 p.
- PTDI 2016-2020, Plan Territorial de Desarrollo Integral Gobierno Autónomo Municipal de Sapahaqui.
- Piñar Venegas Rafael. 2008. Proyecto de construcción de un muro de gaviones de 960 m3. Proyecto final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción. Instituto Tecnológico de Costa Rica escuela de Ingeniería en Construcción. San Jose, Costa Rica. p 50.
- Puelles J. C. 2015. Estudio hidráulico e hidrológico de la cuenca alto Perú y el porvenir en el asentamiento humano las mercedes Alto Perú, distrito de la Oroya, provincia de Yauli Junín para la construcción futura de obras de arte ante amenazas de derrumbes provocado por la crecida del rio, mediante el uso de los modelos matemáticos HEC- HMS y HEC-GEORAS. Tesis. Carrera de Ingenieria Civil – UPCA. 305 p.

Prodac. 2004. PIRKA SOFT VERSIÓN 1.0. MANUAL DE USUARIO Y REFERENCIA TÉCNICA. Perú. No 1:18 p.

Prodac. 2007. SOLUCIONES PARA EL CONTROL DE LA EROSIÓN. CATÁLOGO DE GAVIONES 2007. Perú. No 3:14 p.

Prodac. 2007. MANUAL DE INSTALACIÓN. CATÁLOGO DE GAVIONES 2007. Perú.

Sánchez. P. 2017. Propuesta de diseño de muros mixtas de gaviones y de mampostería de piedra para la defensa riverañá del río rimac en los kilómetros 34-35 Lurigancho – Chosica. Lima- Perú. 114 p.

SCRIBD. s. a. obras hidráulicas concepto. consultado el 20 de junio de 2022 <https://es.scribd.com/document/266994355/obras-hidraulicas-concepto>

Soto, J. 2017. Propuesta para muro en gavión a gravedad – para protección de la rivera del río magdalena en corregimiento de puerto Bogotá Municipio de Guaduas Cundinamarca. 44 p.

Tibanta Tuquerres John. 2012. Diseño de Diques de Gaviones para el Control de la Erosión en ríos de montaña. Tesis de grado del Colegio Politécnico, Universidad San Francisco de Quito. Quito, Ecuador. pp 116

Villón, M. 2002. Hidrología. 2da Edición. Lima, Perú, Instituto Tecnológico de Costa Rica Escuela de ingeniería Agrícola. 430 p.

Vásquez, A.; Vásquez, I.; Vásquez, C. y Cañamero, M. 2017. Fundamentos de la Ingeniería de Riego. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina. 440 p.

13. ANEXOS