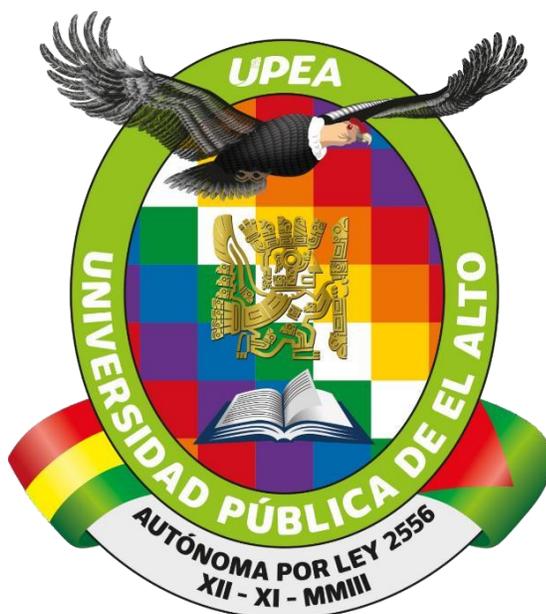


**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO  
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS,  
PECUARIAS Y RECURSOS NATURALES  
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



**PROYECTO DE GRADO**

**SISTEMA DE MONITOREO DE NAPA FREÁTICA EN LA CUENCA  
PARANI MUNICIPIO DE SAPAHAQUI**

**Por:**

**Johnny Paco Chiri**

**EL ALTO – BOLIVIA**

**Diciembre, 2024**

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

**SISTEMA DE MONITOREO DE NAPA FREÁTICA EN LA CUENCA PARANI MUNICIPIO  
DE SAPAHAQUI**

*Proyecto de Grado presentado como requisito  
para optar el Título de Ingeniero en  
Agrónomica*

**Johnny Paco Chiri**

**Asesores:**

M. Sc. Ing. Eric Mamani Montevilla .....

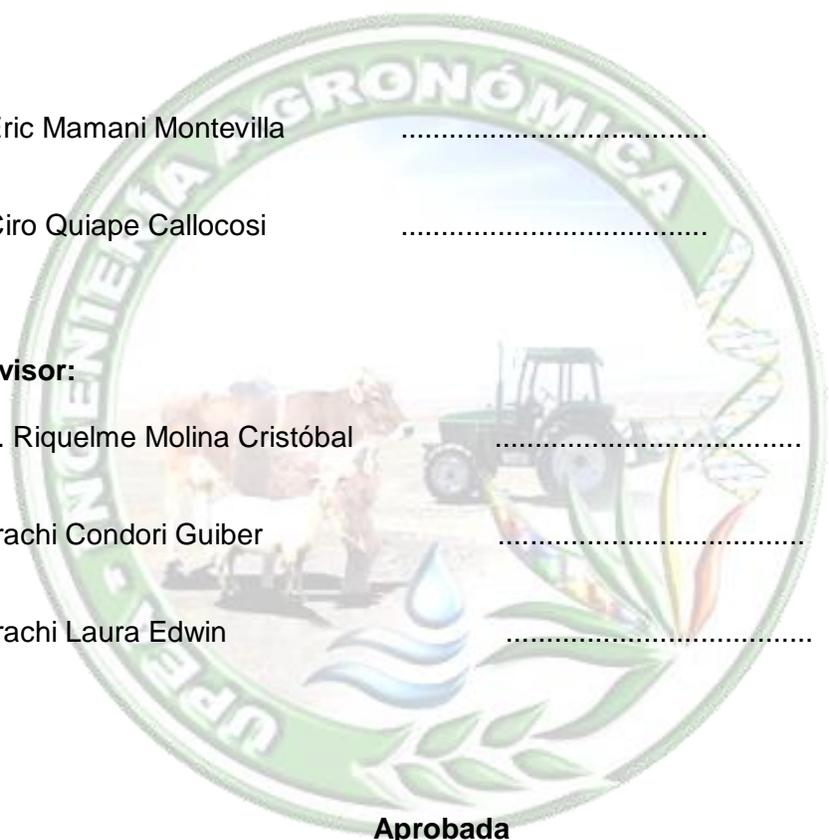
M. Sc. Ing. Ciro Quiape Callocosi .....

**Tribunal Revisor:**

M.Sc.Lic.Ing. Riquelme Molina Cristóbal .....

Lic.Ing. Guarachi Condori Guiber .....

Lic.Ing. Guarachi Laura Edwin .....



**Aprobada**

Presidente Tribunal Examinador .....

## AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que, de una forma u otra, han sido parte de este proyecto de grado tan importante en mi vida.

Agradezco a mi querida esposa, cuyo amor, paciencia y apoyo incondicional me han dado la fortaleza para continuar en los momentos más difíciles. Gracias por estar siempre a mi lado, por creer en mí y por ser mi mayor inspiración.

A mi hijo, quien con su sonrisa y alegría diaria me ha recordado la importancia de perseverar. Eres mi mayor motivación para seguir adelante y lograr mis sueños.

A mis padres y hermanos, cuñados (as) sobrinos por su cariño, comprensión y consejos a lo largo de esta travesía. A todos mis amigos y familiares, quienes con sus palabras de aliento han sido fundamentales en este proceso.

Agradecimiento a los miembros del tribunal examinador, M.Sc.Lic.Ing. Riquelme Molina Cristóbal, Lic.Ing. Guarachi Condori Guiber, Lic.Ing. Guarachi Laura Edwin por su paciencia al momento de las correcciones del proyecto, agradezco por todas las observaciones y a su vez las sugerencias para poder mejorar el presente trabajo.

A mis asesores M. Sc. Ing. Ciro Raúl Quiape Callocosi M. Sc. Ing. Eric Mamani Montevilla 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.

De la misma manera un agradecimiento especial a los hermanos (a) de Cuenca Pedagógica Parani Alfredo, Fabián, Delia por brindarme información, hospedaje y alimentación durante la elaboración del trabajo de campo.

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

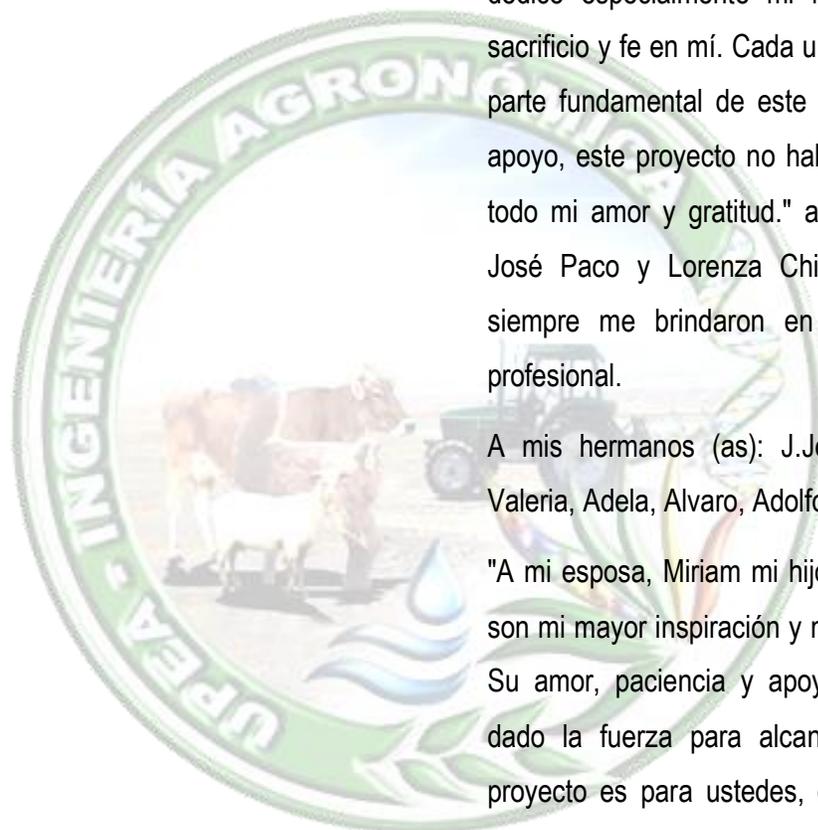
A cada uno de ustedes, gracias por su amor y apoyo. Este logro también es de ustedes.

**DEDICATORIA:**

Con mucho cariño Este Proyecto de Grado lo dedico especialmente mi familia, por su amor, sacrificio y fe en mí. Cada uno de ustedes ha sido parte fundamental de este logro, y su constante apoyo, este proyecto no habría sido posible. Con todo mi amor y gratitud." a mis queridos padres José Paco y Lorenza Chiri por el apoyo que siempre me brindaron en mi formación como profesional.

A mis hermanos (as): J.Jesús, Javier, Ronald, Valeria, Adela, Alvaro, Adolfo.

"A mi esposa, Miriam mi hijo Liam Josué quienes son mi mayor inspiración y motivo de lucha diaria. Su amor, paciencia y apoyo constante me han dado la fuerza para alcanzar este logro. Este proyecto es para ustedes, que son mi razón de ser."



## CONTENIDO

CONTENIDO .....	i
ÍNDICE DE TEMAS.....	v
ÍNDICE DE CUADROS .....	viii
ÍNDICE DE GRAFICOS .....	viii
ÍNDICE DE IMAGENES .....	viii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	viii

## ÍNDICE DE TEMAS

Resumen.....	9
INTRODUCCION.....	11
1. ANTECEDENTES .....	12
1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....	13
1.2. Problema o área de interés .....	14
1.3. Diagnostico .....	14
1.3.1. Problemas Identificados en la Cuenca Parani.....	14
1.4. Problemas a nivel del contexto del Municipio .....	15
1.5. Contexto social .....	15
2. JUSTIFICACIÓN.....	15
3. OBJETIVOS .....	16
3.1. Objetivo general.....	16
3.2. Objetivos específicos.....	16
4. MARCO TEÓRICO O CONCEPTUAL.....	16
4.1. Impacto Ambiental .....	17
4.2. Diagnóstico y Evaluación de Impactos.....	17
4.2.1. Evaluación de impactos .....	17
4.2.2. Características de la napa freática.....	18
4.2.3. Amenazas a las napas freáticas .....	19
4.3. Consecuencias de la Escasez de Agua .....	19
4.4. Causas de la Escasez de Agua.....	21
4.5. Acceso y Gestión del Agua.....	22

4.6.	La Capa Subterránea en Bolivia.....	23
4.7.	Nivel Freático y Cono de Depresión.....	24
4.7.1.	Efecto de las pantallas impermeables y elementos de bombeo .....	25
4.8.	Uso del Agua Subterránea .....	26
4.9.	Acuíferos y Tipos de Pozos.....	28
4.10.	Extracción de Agua Subterránea.....	29
4.11.	Evaluación de la Disponibilidad de Agua Subterránea .....	31
4.11.1.	Excavación de Pozos .....	32
4.11.2.	Pozos Profundos.....	32
4.11.3.	Partes de un Pozo Profundo .....	32
	Contenido Referencial.....	34
5.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	36
5.1.	Variables independientes y dependientes .....	37
5.2.	Descripción del Problema.....	38
5.3.	Variabilidad del Nivel de Agua.....	38
5.4.	Implementación de Sistemas de Monitoreo y Gestión.....	38
5.4.1.	Napa Freática de la Cuenca Parani.....	39
5.5.	Contribución a la Comunidad Científica y Técnica .....	39
5.6.	Monitoreo de la Napa Freática en el Altiplano Sur del Departamento de La Paz.....	40
5.6.1.	Contexto General del Recurso Hídrico en Bolivia .....	40
5.6.2.	Importancia de la Actividad Agropecuaria y el Consumo de Agua .....	41
5.6.3.	Distribución y Uso del Agua Subterránea.....	42
5.6.4.	Evaluación del Impacto de la Explotación de Aguas Subterráneas.....	43
5.6.5.	Situación en el Municipio de Sapahaqui .....	43
5.6.6.	Desafíos y Estrategias en la Gestión de Recursos Hídricos en la cuenca .....	45
5.6.7.	Propuesta de Intervención .....	46
5.7.	Beneficios del Sistema de Monitoreo .....	47
5.8.	Relevancia para el Desarrollo Regional .....	48
6.	METODOLOGÍA DEL PROYECTO .....	48
a.	<b>Ubicación Geográfica</b> .....	48
f.	<b>Beneficiario</b> .....	51
7.	ESTRUCTURA DEL PROYECTO .....	51
7.1.1.	Objetivo.....	52
7.1.2.	Capacitación y fortalecimiento organizacional.....	52
7.1.3.	Resultados esperados .....	52
7.1.4.	Conocimiento sobre las napas freática en la cuenca pedagógica de parani.....	53

7.1.5.	Estudio sobre la napa freática y la calidad de agua .....	54
7.1.6.	Se cuenta con la perforación de pozo en la cuenca.....	54
7.1.7.	Es importante el uso y consumo del agua para el desarrollo.....	55
7.1.8.	cuáles son los principales problemas del agua .....	56
7.1.9.	La educación sobre el uso y conservación del agua de la napa freática.....	57
7.1.10.	Disponibilidad del agua en la producción agrícola.....	58
7.1.11.	Cuál será el impacto del cambio climático .....	60
9	CRONOGRAMA .....	64
10.	PRESUPUESTO .....	64
11.	CONCLUSION.....	66

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Variables de Napa Freática.....	37
Cuadro 2. Coordenas Geografía de las Comunidades dentro de la Cuenca .....	63
Cuadro 3. Cronograma de actividades .....	64
Cuadro 4. Gastos operativos para la investigación (Expresado en bolivianos).....	65

## ÍNDICE DE IMAGENES

Imagen 1. Agua Subterráneas .....	19
<i>Imagen 2. Localización del Proyecto de Investigación.....</i>	<i>49</i>

## ÍNDICE DE GRAFICOS

Grafico 1. Nivel de Profundidad de Agua Subterráneas en la Cuenca Pedagógica Parani....	61
---	----

## ÍNDICE DE ANEXOS

14. Anexo 1. Inicio de Taller sobre las Napas Freáticas. ....	74
Anexo 2. Identificación del Área en el Taller de Capacitación. ....	76
Anexo 3. Ubicación del Área de Diagnóstico.....	77
Anexo 4. Tradición de la comunidad según su costumbre.....	78
Anexo 5. Recopilación de Datos. ....	79
Anexo 6. Información de los datos.....	80

## Resumen

El agua subterránea es un recurso vital para el desarrollo sostenible y la seguridad hídrica en muchas regiones del mundo, incluyendo el altiplano sur del departamento de La Paz, de Bolivia. En esta región, la cuenca Parani en el Municipio de Sapahaqui juega un papel fundamental como fuente de agua subterránea para comunidades agrícolas, industriales y consumo doméstico. "La sobreexplotación del agua subterránea se produce cuando la tasa de extracción excede la tasa de recarga natural del acuífero.

Se enfatiza cómo este sistema contribuyendo la mejor gestión hídrica, donde reducirá riesgos asociados a la escasez y asegurando un uso sostenible del agua subterránea en la cuenca Parani. En esta zona, la disponibilidad y calidad del agua subterránea tienen un impacto directo en las actividades agrícolas, pecuarias y en el bienestar de las comunidades locales.

El color azul oscuro es donde existe una mayor cantidad de agua en la cuenca parani

Tiene un 9080%El color celeste es donde existe una menor cantidad de agua en la cuenca parani. El color celeste es un promedio de 7065%El color amarillo es donde existe poca cantidad de agua en la cuenca paraniTiene 4035% . El color rojo es donde hay poca cantidad de agua en la cuenca paraniTiene un 0a5%Fuente. En muchos casos, el nivel de agua en la napa freática influye en la salud de estos ecosistemas.

Las napas o acuíferos son reservas de agua subterránea, formadas por la infiltración natural de lluvia a diferentes profundidades, y contenidas en mantos de arena o limo de acuerdo con lo que se las llama «confinadas» o «semiconfinadas».

La gestión del agua en la cuenca Parani es fundamental para asegurar un acceso equitativo y sostenible a este recurso vital. La cuenca presenta desafíos significativos relacionados con la disponibilidad y la calidad del agua, afectando a las comunidades locales y a la agricultura. En primer lugar, se realizó un estudio para conocer la situación actual en cuanto a la planificación y ejecución de proyectos de desarrollo del sector hídrico dentro de la cuenca del río Parani. La capa subterránea en Bolivia, también conocida como subsuelo, es una de las capas más importantes de la tierra, ya que contiene una gran cantidad de recursos naturales como minerales, agua subterránea, y otros elementos clave para el desarrollo de la comunidad para su crecimiento y bienestar. Sin embargo, la teledetección espacial se considera como una herramienta ideal para poder calcular el nivel freático del agua subterránea. el agua en los poros y la fuerza de la gravedad desplazan el agua subterránea entre los horizontes del suelo a través de los macro poros especialmente, de tal forma en que si se superan las fuerzas de succión el agua queda retenida en el suelo, mientras que si la fuerza de la gravedad es mayor, el agua se mueve hacia el nivel freático y horizontalmente hacia las fuentes de quebradas o ríos.

El agua subterránea juega un papel fundamental en el abastecimiento para el consumo humano, la seguridad alimentaria, la irrigación y la industria en el país. El nivel superior del agua subterránea se denomina tabla de agua, que en el caso de un acuífero libre corresponde al nivel freático.

## ABSTRACT

Groundwater is a vital resource for sustainable development and water security in many regions of the world, including the southern highlands of the La Paz department of Bolivia. In this region, the Parani basin in the Municipality of Sapahaqui plays a fundamental role as a source of groundwater for agricultural, industrial communities and domestic consumption. "Overexploitation of groundwater occurs when the extraction rate exceeds the natural recharge rate of the aquifer.

It is emphasized how this system contributes to better water management, where it will reduce risks associated with scarcity and ensuring sustainable use of groundwater in the Parani basin. In this area, the availability and quality of groundwater have a direct impact on agricultural and livestock activities and the well-being of local communities.

The dark blue color is where there is a greater amount of water in the Parani basin

It has 9080%. The light blue color is where there is the least amount of water in the Parani basin. The light blue color is an average of 7065%. The yellow color is where there is little water in the Parani basin. It has 4035%. The red color is where there is little water in the Parani basin. It has a 0 to 5% source. In many cases, the water level in the groundwater table influences the health of these ecosystems.

The layers or aquifers are underground water reserves, formed by the natural infiltration of rain at different depths, and contained in layers of sand or silt in accordance with what they are called "confined" or "semi-confined."

The main consequences of water scarcity in the municipality of Sapahaqui that include states both historically and politically, many countries have made the correct management of water difficult, bringing with it consequences that generate scarcity of the resource.

Poor resource distribution

Water management in the Parani basin is essential to ensure equitable and sustainable access to this vital resource. The basin presents significant challenges related to water availability and quality, affecting local communities and agriculture. Firstly, a study was carried out to know the current situation regarding the planning and execution of development projects in the water sector within the Parani River basin. The underground layer in Bolivia, also known as subsoil, is one of the most important layers of the earth, as it contains a large amount of natural resources such as minerals, groundwater, and other key elements for the development of the community for its growth. and well-being.

Agricultural activity, especially in the well-known dairy basin, is of great importance, since water consumption by dairy cattle is considerable. However, spatial remote sensing is considered an ideal tool to calculate the groundwater table. Groundwater, due to the fact that it is in the soil, is subject to two types of forces with opposite actions, such as suction forces, which tend to retain water in the pores, and the force of gravity moves groundwater between the horizons of the soil through the macro pores especially, in such a way that if the suction forces are exceeded, the water is retained in the soil, while if the force of gravity is greater, the water moves towards the level phreatic and horizontally towards the sources of streams or rivers.

Groundwater plays a fundamental role in supplying human consumption, food security, irrigation and industry in the country. The upper level of groundwater is called the water table, which in the case of a free aquifer corresponds to the water table.

## INTRODUCCION

El agua subterránea es un recurso vital para el desarrollo sostenible y la seguridad hídrica en muchas regiones del mundo, incluyendo el altiplano sur del departamento de La Paz, de Bolivia. En esta región, la cuenca Parani en el Municipio de Sapahaqui juega un papel fundamental como fuente de agua subterránea para comunidades agrícolas, industriales y consumo doméstico. Según Ministerio de Medio Ambiente y Agua, (2023). Este recurso enfrenta desafíos significativos debido a la sobreexplotación y la contaminación, poniendo en riesgo su disponibilidad y calidad a largo plazo.

El presente proyecto se enfocó en el diseño de un Sistema de Monitoreo de la Napa Freática en la cuenca Parani. Este sistema tuvo como propósito centralizar datos precisos y contundentes sobre el comportamiento del acuífero. Se busca mejorar la gestión eficiente y sostenible de los recursos hídricos subterráneos en la cuenca mediante el diagnóstico de tecnologías avanzadas de monitoreo y analizando los datos. Esto permite proporcionar información actualizada y precisa, facilitando la toma de decisiones informadas y estratégicas para la conservación y el uso adecuado del agua subterránea."

La sobreexplotación del agua subterránea se produce cuando la tasa de extracción excede la tasa de recarga natural del acuífero. Este desequilibrio puede llevar a una disminución significativa del nivel de la napa freática, afectando la disponibilidad de agua para el futuro. En el altiplano sur, la creciente demanda de agua para usos agrícolas, industriales y domésticos ha intensificado esta problemática (OMS, 2022).

(Bolivia, Ministerio de Medio Ambiente y Agua MMAyA 2023), Menciona que una napa freática es un depósito de agua subterránea que se encuentra a una profundidad del suelo, es decir en suelos tanto altiplano como Valles pueden variar la napa freática, en algunos pueden ser mayores y en otros menores, para la medición existen varios equipos ejemplo GEOSEKER, Freatímetro, Sondas Neutrónicas, etc.

La Cuenca Pedagógica Parani presenta pendientes pronunciadas del río Sau sauni de chivisivi donde provoca una intensa erosión de los suelos de origen lacustre que se deslizan a la parte baja de la cuenca. Los afloramientos de vertientes fueron afectados por deslizamientos que ocasionan la pérdida de vertientes (Proyecto cuenca Pedagógica Parani 2021)

## **Población del Valle Parani**

La población total de la comunidad de parani son 83. La provincia Loayza del, departamento de la paz que queda ubicada a 320 km de La Paz, cuenta con 35,000 habitantes. (INE, 2022).

### **1. ANTECEDENTES**

El recurso hídrico en Bolivia es fundamental especial en el altiplano sur del departamento de La Paz, los factores que afectan seriamente son los fenómenos climatológicos tales como la sequía agravando cada vez más su disponibilidad en cantidad, y calidad a la escasa cobertura vegetal, las prácticas agrícolas inadecuadas en la cuenca de producción hídrica.

En el presente capítulo, se realizó una exhaustiva identificación del tema, destacando la importancia del agua subterránea en el contexto local y los desafíos específicos que enfrenta la cuenca pedagógica Parani. Donde se expone el problema principal relacionado con la es cases del recurso hídrico, la pérdida del agua por medio de sobreexplotación y contaminación, así como un diagnóstico detallado del estado actual de los recursos hídricos en la región, además el documento se organizó de la siguiente manera para abordar de manera integral el desarrollo y la implementación del Sistema de Monitoreo de la Napa Freática.

La actividad agrícola es uno de los rubros más importantes en la producción de los frutales y tubérculos, asimismo el agua es un elemento indispensable para el consumo humano que cuentan cada comunidad en el sector no existe pozos profundos, el incremento de la evaporación, por el efecto del calentamiento global. En esta cuenca están inmersos cuatro comunidades, Gobierno Autónomo Municipal de Sapahaqui la Gobernación, así como el estado Plurinacional y la Universidad Pública de el Alto. Por lo que se hace necesario una evaluación de las aguas subterráneas (Proyecto cuenca Pedagógica Parani 2021).

Según Sánchez, (2019), por otro lado, afirma que las aguas subterráneas se constituyen en la principal fuente de abastecimiento para consumo humano del planeta, donde el agua dulce está constituida por el hielo polar en un 60%, el agua subterránea en un 30% y el agua de los ríos y lagos en un 0.3%

El mismo proyecto menciona que en la actualidad, si bien se ha logrado tener una mejor comprensión de la importancia que tienen las aguas subterráneas como fuente de abastecimiento de las necesidades de los seres vivos, existe el problema de estimar la cantidad segura de agua que se puede extraer por medio de la explotación de los pozos, ya sea por bombeo o por el método tradicional a expensas del almacenamiento.

EL proyecto corrobora que si existe un agotamiento de los valiosos reservorios de aguas subterráneos, por lo que la conservación y utilización eficiente de los depósitos naturales se constituyen en dos de los principales problemas de la situación actual de la cuenca, cuya resolución es de urgencia inmediata.

### **1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

A partir de una serie de reuniones comunales técnicas realizadas se efectuó un diagnóstico rápido de obtención de información primaria después se acudió a la información secundaria encontrando problemas comunales la principal problemática es el tema del agua ejemplo temas como turnos de riego, falta de distribución equitativa, riego por inundación, mal cuidado del de fuentes de agua, canales rústicos, así se obtuvo una información rápida de parte de los familias beneficiaria de la cuenca Parani del Municipio de Sapahaqui tomando además en cuenta el sustento familiar es la producción de la fruta como fuente de ingresos económicos

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, llevaran al equilibrio de los habitantes del Municipio (PTDI, 2016-2020).

En el caso del sector agrícola limitado las condiciones como ser: Insuficiente cobertura y acceso al agua segura en el municipio. las inundaciones, es otro de las amenazas naturales que existen en la cuenca, ésta a diferencia de las otras amenazas, está a una altura de sobre los 3400 msnm, 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 generando perdida de vertientes por eventos de deslizamientos o riadas.

Los principales problemas identificados en la cuenca Parani del Municipio de Sapahaqui, existe el déficit del agua segura en las comunidades de la cuenca Parani.

La sequía, es otra de las amenazas naturales que existen en la cuenca, ésta a diferencia de las otras amenazas, debido principalmente a las características topográficas del municipio, debido al suelo que es de fácil erosión generen perdida de vertientes de agua 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 gestión y conservación del recurso hídrico.

## 1.2. Problema o área de interés

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).

Este trabajo de proyecto, analiza los factores en el monitoreo de napa freática, que a la fecha no existe este tipo de investigación realizadas en el sector si bien existen algunos pozos, rústicos identificando en las comunidades aledañas, por otro lado la principal causa de la escasez y el impacto del recurso hídrico en dichas áreas es la deficiencia de agua de riego en los cultivos frutales principalmente.

Para lograr la formulación del problema se planteó las siguientes preguntas de la investigación:

- ¿Cómo contribuye el sistema de monitoreo de napa freática en la Cuenca Parani Municipio de Sapahaqui Provincia Loayza del Departamento de La Paz?

## 1.3. Diagnostico

Según el (Proyecto Cuenca Pedagógica Parani 2022), tras el diagnóstico inicial y la recopilación de datos espaciales, hidrometeoro lógicos y de riesgos de erosión y degradación, se elabora el plan de manejo a diseño final para las zonas de intervención identificadas durante la zonificación. El plan de acción incluye las siguientes etapas: análisis de la información, relevamiento de campo, planificación de intervenciones según el componente, y diseño y cálculo de medidas y obras justificadas para las áreas seleccionadas.

### 1.3.1. Problemas Identificados en la Cuenca Parani

- a) **Insuficiente cobertura y acceso a agua insegura:** La falta de infraestructuras de captación y manejo adecuado del agua.
- b) **Amenazas de inundaciones:** Nivel alto de riesgo debido a las características topográficas que provocan torrenteras en temporada de lluvias, generando pérdida de vertientes poca cosecha de agua.

- c) **Sequía:** Características topográficas que provocan poca infiltración de aguas provocando sequías prolongadas como resultado baja producción.

#### 1.4. Problemas a nivel del contexto del Municipio

El Municipio de Sapahaqui se caracteriza por su actividad agrícola, fruticultura, horticultura en la parte alta de la cuenca, por otro lado las políticas de reducción de la pobreza en el municipio requieren una combinación de estrategias y acciones que promuevan la generación de conciencia en el cuidado de la madre tierra, buscando un equilibrio entre la producción sustentable y la conservación del entorno natural (PTDI, 2016-2020).

#### 1.5. Contexto social

- a) **Inundaciones:** Las inundaciones representan una amenaza natural significativa en el municipio. Debido a las características topográficas y a la facilidad de erosión del suelo, durante la temporada de lluvias se forman torrenteras que generan pérdida de vertientes por eventos de riadas.
- b) **Insuficiente Cobertura y Acceso a Agua Insegura:** El desarrollo del sector agrícola está limitado por la falta de acceso a agua segura. Las fuentes de agua son insuficientes para cubrir las necesidades de la población y las actividades agrícolas, afectando directamente la productividad y calidad de vida.
- c) **Sequías:** Las sequías son otra amenaza importante que afecta a la cuenca Parani. La erosión del suelo y las características topográficas contribuyen a la pérdida de vertientes de agua, impactando negativamente las áreas de siembra y habitables.
- d) **Gestión y Conservación Deficiente del Recurso Hídrico:** La falta de una adecuada gestión y conservación del recurso hídrico es una de las principales causas de los problemas mencionados. No se han implementado suficientes políticas y acciones para preservar las vertientes de agua y garantizar su uso sostenible.

## 2. JUSTIFICACIÓN

Se argumenta la relevancia y necesidad del proyecto, subrayando los beneficios esperados del Sistema de Monitoreo de recursos hídricos subterráneo realizando con sondeo geoelectrico mediante el equipo GEOSSEKER, para las comunidades agroproductivas de la cuenca Parani, los sectores productivos en el medio ambiente. Se enfatiza cómo este sistema contribuyendo la

mejor gestión hídrica, donde reducirá riesgos asociados a la escasez y asegurando un uso sostenible del agua subterránea en la cuenca Parani.

El monitoreo de la napa freática es fundamental para la gestión sostenible de los recursos hídricos, especialmente en regiones vulnerables como la cuenca Parani del Municipio de Sapahaqui. En esta zona, la disponibilidad y calidad del agua subterránea tienen un impacto directo en las actividades agrícolas, pecuarias y en el bienestar de las comunidades locales.

Según Vásquez (2017). Una adecuada gestión de la ingeniería de riego puede optimizar el uso de estas fuentes hídricas, promoviendo prácticas sostenibles que favorezcan tanto la producción agrícola como la conservación del entorno.

La variación de la capacidad portante de cimentaciones superficiales cuando el Nivel Freático se encuentre a poca profundidad, nos permitirá determinar y entender en qué medida varía dicha capacidad y los criterios de diseño a ser considerado (Ortiz, 2017).

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1. Objetivo general**

Realizar sistema de monitoreo de napa freática en la Cuenca Parani municipio de Sapahaqui del Departamento de La Paz.

#### **3.2. Objetivos específicos**

- Identificar los puntos de monitoreo de la napa freática para la recolección de datos sobre el nivel freático del agua en la cuenca Parani.
- Realizar un análisis detallado de las características hidrogeológicas de la napa freática en la cuenca Parani para identificar las zonas críticas.
- Capacitar a la comunidad local, a las autoridades municipales y OGC en el uso y manejo del agua mediante un monitoreo de las napas freáticas.

### **4. MARCO TEÓRICO O CONCEPTUAL**

El presente trabajo fundamenta los conceptos teóricos que sustentan el proyecto, incluyendo aspectos de hidrogeología, tecnologías de monitoreo, gestión de recursos hídricos y buenas prácticas ambientales. En la cual se revisó la literatura relevante para contextualizar el diseño y la aplicación de un Sistema de Monitoreo en el contexto de la cuenca pedagógica Parani.

#### 4.1. Impacto Ambiental

González, (2018) recomienda que el impacto ambiental es la alteración del medio ambiente provocada directa o indirectamente por un proyecto o actividad en un área determinada. En términos simples, el impacto ambiental es la modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza

En el caso de los rellenos sanitarios, se sufre un impacto ambiental tanto en aguas (subterráneas y superficiales), suelos (nutrientes y su capa freática), flora (churquis) y fauna (animales de granja) (López, 2019).

La agricultura es el más grande cliente del agua dulce a escala mundial y el primordial componente de degradación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos, gracias a la erosión y la escorrentía con productos proveniente de agroquímicos. Esto justifica la inquietud que existe por sus repercusiones en la calidad del agua a escala mundial.

#### 4.2. Diagnóstico y Evaluación de Impactos

Para realizar el diagnóstico se emplearon análisis realizados por el laboratorio, y por ese medio se cuantificó en la matriz de evaluación de impactos. Se utilizó también la ponderación para poder evaluar las aguas lixiviadas (Rodríguez, 2021).

- a) **Matriz de evaluación de impactos:** Los datos obtenidos se integraron en una matriz de evaluación que facilita la comparación y priorización de los diferentes impactos identificados. Esta herramienta permite visualizar de manera sistemática cómo los contaminantes pueden afectar distintos componentes del medio ambiente, como el suelo, el agua y la biodiversidad.

##### 4.2.1. Evaluación de impactos

- a) **Ponderación:** Este proceso consiste en asignar un peso a cada uno de los impactos identificados, en función de su severidad y probabilidad de ocurrencia. La ponderación ayuda a priorizar las acciones de mitigación necesaria y a enfocar los recursos en los aspectos más críticos.

**Cuadro1. Marco lógico de Napa Freática**

	DESCRIPCION DE COLORES	PROFUNDIDAD HUMEDAD
	El color azul oscuro es donde existe una mayor cantidad de agua en la cuenca parani	Tiene un 90 <sup>a</sup> 80%
	El color celeste es donde existe una menor cantidad de agua en la cuenca parani.	El color celeste es un promedio de 70 <sup>a</sup> 65%
	El color amarillo es donde existe poca cantidad de agua en la cuenca parani	Tiene 40 <sup>a</sup> 35% .
	El color rojo es donde hay poca cantidad de agua en la cuenca parani	Tiene un 0a5%

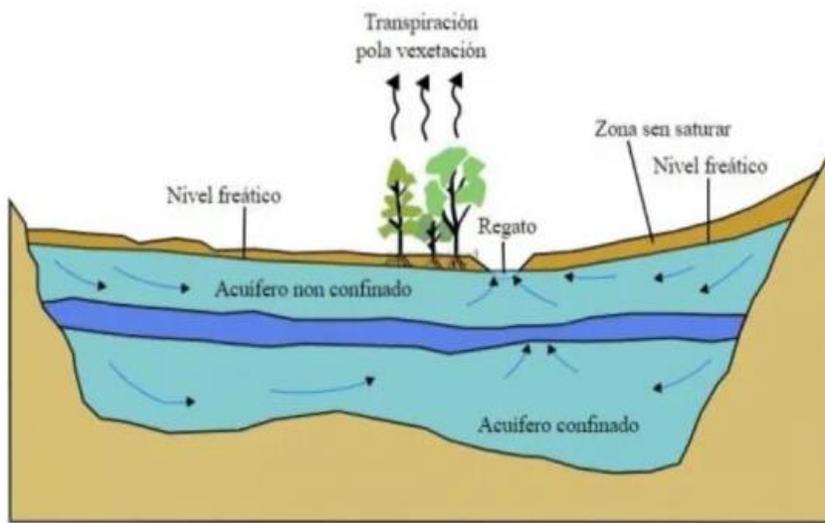
Fuente. Elaboración propia, 2024

#### 4.2.2. Características de la napa freática

- **Ubicación:** La napa freática se encuentra generalmente por encima de los acuíferos más profundos (a veces llamados acuíferos confinado) y puede variar en profundidad dependiendo de factores como la topografía, el clima y el uso del suelo.
- **Calidad del agua:** La calidad del agua en la napa freática puede verse afectada por la contaminación de fuentes superficiales, actividades agrícolas, industriales y urbanas. Es importante monitorear la calidad del agua para asegurar que sea apta para el consumo humano y el riego.
- **Recarga:** La napa freática se recarga principalmente a través de la infiltración del agua de lluvia y el deshielo. La permeabilidad del suelo y el tipo de vegetación también influyen en este proceso de recarga.
- **Extracción y uso:** La napa freática es una fuente importante de agua para pozos de extracción que abastecen a ciudades, industrias y actividades agrícolas. La sobreexplotación puede llevar al agotamiento de la napa e incluso a problemas como el hundimiento del suelo o la salinización.

- **Relación con otras capas de agua:** La napa freática interactúa con cuerpos de agua superficiales como ríos, lagos y humedales. En muchos casos, el nivel de agua en la napa freática influye en la salud de estos ecosistemas.

Imagen 1. Agua Subterráneas



Fuente: Smith, 2023; Brown & Green, 2022

#### 4.2.3. Amenazas a las napas freáticas

- **Contaminación:** Productos químicos, fertilizantes, pesticidas y desechos industriales pueden infiltrarse en la napa freática, comprometiendo la calidad del agua.
- **Cambio climático:** Puede alterar patrones de precipitaciones y afectar la recarga de acuíferos.
- **Sobreexplotación:** La extracción excesiva de agua puede llevar a una disminución en los niveles de la napa freática, afectando tanto el suministro de agua como los ecosistemas dependientes.

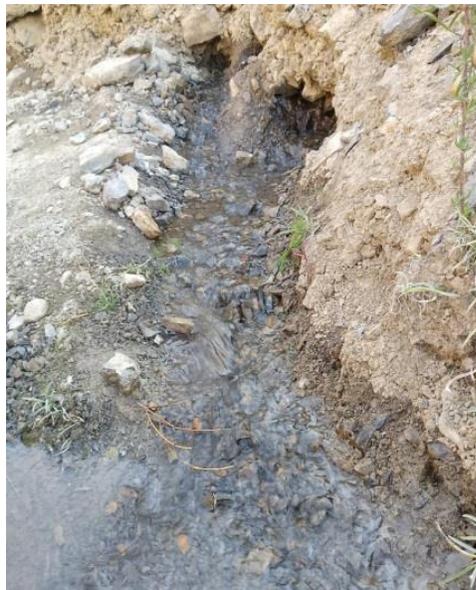
#### 4.3. Consecuencias de la Escasez de Agua

Hace menos de una década, afloraba el agua de las napas y amenazaba con inundar los sótanos de la Ciudad. Hoy, la escasez obliga a realizar perforaciones costosas y de profundidad inusitada para obtener el preciado líquido; los hundimientos del suelo hacen que se resienta la estructura de las casas; y se aceleran los procesos contaminantes.

El comportamiento de los acuíferos sigue dando dolores de cabeza a los platenses, como consecuencia de un ciclo de sequía que según los especialistas tardará "meses o años" en revertirse.

Las napas o acuíferos son reservas de agua subterránea, formadas por la infiltración natural de lluvia a diferentes profundidades, y contenidas en mantos de arena o limo de acuerdo con lo que se las llama "confinadas" o "semiconfinadas".

Imagen. Vertiente de agua naciente



Fuente; Elaboración propia 2024.

No toda el agua del planeta está visible en la superficie terrestre; ya que un alto porcentaje de recursos hídricos son aguas subterráneas, situadas bajo tierra. A pesar de que los acuíferos son un recurso importante para el medio ambiente, entre el 6% y el 20% de ellos están a punto de secarse. (Connor, 2018).

Las principales consecuencias de la escasez de agua en el municipio de Sapahaqui que incluyen:

- Conflictos del agua.
- Situaciones de estrés hídrico en la población debido al déficit de recursos disponibles.
- Falta de calidad y en las cantidades necesarias del recurso.
- Riesgos en la salud de la población debido al acceso limitado a agua limpia.

#### 4.4. Causas de la Escasez de Agua

Connor, (2018), afirma tanto a nivel histórico como político, muchos países han dificultado la correcta gestión del agua, trayendo consigo consecuencias que generan la escasez del recurso. Las principales causas que han dado lugar a la escasez de agua son:

- Destrucción de fuentes naturales de agua.
- Mayor demanda debido al masivo crecimiento poblacional.
- Patrones de consumo insostenibles.
- Cambio climático.
- Mala distribución del recurso

Imagen. Escases de agua



Fuente; Elaboración propia 2024.

#### 4.5. Acceso y Gestión del Agua

La gestión del agua en la cuenca Parani es fundamental para asegurar un acceso equitativo y sostenible a este recurso vital. La cuenca presenta desafíos significativos relacionados con la disponibilidad y la calidad del agua, afectando a las comunidades locales y a la agricultura. Es crucial implementar estrategias de manejo integrado que consideren la preservación de los ecosistemas, la participación de las comunidades y la cooperación entre diferentes actores. Esto permitirá optimizar el uso del agua y garantizar su disponibilidad a largo plazo (Márquez, Soto, 2020; Torres, 2019).

- **Importancia:** El acceso adecuado al agua es esencial para la salud, la agricultura, la producción de alimentos y el desarrollo económico. Sin acceso suficiente, las comunidades pueden enfrentar problemas de salud, seguridad alimentaria y conflictos (World Health Organization [WHO], 2021).
- **Definición:** Es el conjunto de políticas, prácticas y procesos que se implementan para administrar los recursos hídricos, incluyendo la planificación y el uso sostenible del agua para diferentes fines (Global Water Partnership [GWP], 2018).

Un informe realizado por la ONU, más de 2.000 millones de personas carecen de acceso al agua potable y más del doble no cuentan con acceso a servicios de saneamiento seguro. Ante un patrón de consumo acelerado, el creciente deterioro del medio ambiente y los impactos multifacéticos del cambio climático, es evidente que precisamos nuevas formas de gestión de la demanda de competencias para nuestros valiosos recursos de agua dulce (Connor, 2018).

### Imagen. Distribución del agua



**Fuente; Elaboración propia 2024.**

En primer lugar, se realizó un estudio para conocer la situación actual en cuanto a la planificación y ejecución de proyectos de desarrollo del sector hídrico dentro de la cuenca del río Parani. Concretamente, se ha analizado la información disponible de las napas freáticas de la cuenca

Para García, (2019), Rodríguez,( 2020). La manera eficaz y sostenible los valiosos recursos hídricos, evitando inundaciones y la contaminación del agua, es fundamental promover los proyectos relacionados con el agua destinados a la gestión integral de los Recursos Hídricos.

Para abordar estos problemas, se están elaborando propuestas con el Grupo de Acción para el Desarrollo de Cuenca (GADC), con el fin de mejorar la calidad de los proyectos relacionados con el agua (Gobierno Autónomo Municipal de Sapahaqui, 2016-2020).

#### **4.6. La Capa Subterránea en Bolivia**

Según Martínez (2020), La capa subterránea en Bolivia, también conocida como subsuelo, es una de las capas más importantes de la tierra, ya que contiene una gran cantidad de recursos

naturales como minerales, agua subterránea, y otros elementos clave para el desarrollo de la comunidad para su crecimiento y bienestar. La explotación de estos recursos es crucial para la economía del país y el bienestar de su población.

El recurso hídrico en Bolivia, y en especial en el altiplano sur del departamento de La Paz, está siendo afectado seriamente por fenómenos climatológicos como la sequía, que agrava cada vez más su disponibilidad en cantidad. Factores como la escasa cobertura vegetal y las prácticas agrícolas inadecuadas en zonas de producción hídrica contribuyen a esta problemática (Pérez, 2019).

Según Sánchez, (2019). la actividad agropecuaria, especialmente en la conocida cuenca lechera, es de gran importancia, ya que el consumo de agua por el ganado lechero es considerable.

Además, el agua es un elemento indispensable para el consumo humano, y cada comunidad cuenta con pozos profundos y, en algunos casos, pozos surgentes que se utilizan tanto para consumo como para riego (Gómez, 2018, Ferrer, 2010).

La preocupación es evidente dado que la precipitación está disminuyendo con el tiempo, mientras que la evaporación está en aumento debido al efecto del calentamiento global (Martínez, 2021).

Esta problemática involucra a la comunidad, al Gobierno Autónomo Municipal, a la Gobernación, al Estado Plurinacional y a la Universidad, que están todos comprometidos en encontrar soluciones y mitigar los impactos (Gobierno Autónomo Municipal de Sapahaqui, 2016-2020).

#### **4.7. Nivel Freático y Cono de Depresión**

El nivel freático puede fluctuar considerablemente a lo largo del año, descendiendo durante las estaciones secas y elevándose tras los períodos de lluvia. Para asegurar un abastecimiento continuo de agua, un pozo debe penetrar debajo del nivel freático. Al extraer agua de un pozo, el nivel freático alrededor del pozo se reduce, efecto conocido como descenso de nivel, que disminuye con la distancia del pozo. Esto crea una depresión en el nivel freático, de forma aproximadamente cónica, conocida como cono de depresión (Martínez, 2017).

Se dice del agua, el cual se encuentra acumulado en el subsuelo y la cual podría aprovecharse a través de pozos. Al querer controlar el dinamismo del agua subterránea en las que se opte por

disminuir el nivel freático para alguna obra de construcción o movimiento de tierras a nivel de excavación del terreno se requieren:

#### **4.7.1. Efecto de las pantallas impermeables y elementos de bombeo**

Para saber la importancia del efecto de las pantallas impermeables y los bombeos se plantean modelos analíticos y numéricos. (Ferrer, 2010)

Las complejidades de la Efecto de las pantallas de las condiciones hidrogeológicas del agua subterráneo dependen de la importancia de las obras a realizar que imponen su intensidad.

##### **a. Medición de cotas piezométricas:**

El nivel freático del agua subterránea que se ha determinado de una isla es aproximadamente la diferencia entre el nivel de cada punto de la isla y el que tenga el agua del río en ese mismo momento; entonces, este nivel freático será variable a lo largo del año. (Pitarch, 2012)

Pitarch, (2012) Menciona que Para calcular el nivel freático del agua subterránea se utilizan comúnmente medidas tomadas por medio de un avión, cálculos realizados por resistí metros o perforaciones. Esta forma de realizar dichos cálculos requiere, aproximadamente, la toma de una muestra por hectárea, la cual alarga y encarece considerablemente este tipo de estudios. Sin embargo, la teledetección espacial se considera como una herramienta ideal para poder calcular el nivel freático del agua subterránea.

El agua subterránea por el hecho que se encuentra en el suelo está sometida a dos tipos de fuerzas de acciones opuestas, como las fuerzas de succión, las cuales tienden a retener el agua en los poros y la fuerza de la gravedad desplazan el agua subterránea entre los horizontes del suelo a través de los macro poros especialmente, de tal forma en que si se superan las fuerzas de succión el agua queda retenida en el suelo, mientras que si la fuerza de la gravedad es mayor, el agua se mueve hacia el nivel freático y horizontalmente hacia las fuentes de quebradas o ríos. Este movimiento se debe a las diferencias en el potencial del agua entre diferentes puntos del suelo, y concluye en que el agua subterránea se mueve desde un estado de mayor energía hacia un estado de menor energía, tratando de buscar un estado de equilibrio, cual elimine el gradiente de potencial existente. (Barrero Rojas, 2014).

### **b. Cono de depresión**

Se hace llamar también como cono de bombeo; este término se alude a la forma que toma el nivel piezométrico alrededor de una captación sometida a una extracción de agua en dicho nivel; así este descenso provocado por el bombeo de agua son mayores cuanto menor es la distancia del pozo. (IGME, 2003).

### **c. Radio de influencia**

También llamado como distancia de influencia; es el radio de la figura llamada cono de depresión, el cual se forma al momento de la descarga del agua subterránea como extracción con distintos puntos con sus respectivos caudales dependiendo de la demanda.

Según Roberto P. P., (2015); menciona en su tesis titulada “Hidrogeología del sistema acuífero volcánico de la Palma (Islas canarias)”; la ecuación con la que se permite calcular la distancia de influencia en un acuífero libre con recarga local y nivel piezométrico por encima de la base de la galería en función al tiempo modificada para la heterogeneidad espacial que existe depende de la permeabilidad, recarga total y un coeficiente de proporcionalidad en función al entorno hidrogeológico.

## **4.8. Uso del Agua Subterránea**

La mayor utilización de esta agua en Estados Unidos es la irrigación para la agricultura, representando más del 65 por ciento del agua subterránea utilizada cada año (Smith, 2018). El uso industrial ocupa el segundo lugar, seguido de la cantidad utilizada en los sistemas de abastecimiento de agua de las ciudades y las casas rurales (Jones, 2020).

El agua subterránea tiene un rol fundamental en el abastecimiento para el consumo y la seguridad alimentaria de la población, la irrigación y la industria en el país, y es un factor importante en la adaptación al cambio climático. El aumento de la escasez del recurso y la disminución de la disponibilidad de agua superficial ha aumentado la dependencia y la presión sobre el agua subterránea, especialmente en regiones áridas y semiáridas de nuestro país.

En los últimos años, ha habido un uso progresivo y creciente del agua subterránea, debido a su buena calidad y confiabilidad en épocas de déficits hídricos, y también por el desarrollo de tecnologías para su estudio y aprovechamiento. Ante este aumento en el uso, resulta fundamental la obtención de mayor y mejor información sobre los acuíferos para evaluar sus

disponibilidades, requerimientos, riesgos potenciales y eventuales acciones para su reducción, en el caso de posible deterioro en la calidad y cantidad de agua disponible.

El agua subterránea juega un papel fundamental en el abastecimiento para el consumo humano, la seguridad alimentaria, la irrigación y la industria en el país. Además, es un factor crucial en la adaptación al cambio climático (Dirección Nacional de Política Hídrica y Coordinación Federal, 2023).

Según Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, (2022). La creciente escasez de recursos hídricos y la disminución de la disponibilidad de agua superficial han incrementado la dependencia y presión sobre el agua subterránea, especialmente en regiones áridas y semiáridas de nuestro país.

Imagen. Aprovechamiento del agua



**Fuente; Elaboración propia 2024.**

En los últimos años, se ha observado un uso progresivo y creciente del agua subterránea, debido a su buena calidad y confiabilidad durante los períodos de déficits hídricos, así como al desarrollo de tecnologías para su estudio y aprovechamiento (Instituto Nacional del Agua, 2021). Ante este aumento en el uso, es esencial obtener más y mejor información sobre los acuíferos para evaluar su disponibilidad, requerimientos, riesgos potenciales y posibles acciones para mitigar cualquier deterioro en la calidad y cantidad de agua disponible (Dirección Nacional de Política Hídrica y Coordinación Federal, 2023).

La Dirección Nacional de Política Hídrica y Coordinación Federal, (2023). Afirma que, en este contexto, la Dirección Nacional de Política Hídrica y Coordinación Federal ha implementado el Plan Nacional Federal de Aguas Subterráneas, con el objetivo de desarrollar conocimientos y herramientas que contribuyan al uso sostenible de las aguas subterráneas y a la gestión integrada de los recursos hídricos, en coordinación y cooperaciones e instituciones. Con el Consejo Hídrico Federal (COHIFE) y las provincias.

#### **4.9. Acuíferos y Tipos de Pozos**

Un pozo subterráneo o acuífero es una masa de rocas permeables que permite la circulación y acumulación del agua subterránea en sus poros o grietas. Las rocas almacén pueden ser de materiales variados como gravas y areniscas porosas poco cementadas, limos, ciertos tipos de arcilla, calizas agrietadas, e incluso formaciones volcánicas. El nivel superior del agua subterránea se denomina tabla de agua, que en el caso de un acuífero libre corresponde al nivel freático (García, 2018).

Los acuíferos son formaciones geológicas que constan de una o más capas de rocas porosas. Debido a su permeabilidad, son capaces de captar el agua de la lluvia y almacenarla en el subsuelo, lo que supone la principal fuente de suministro para numerosas fincas y poblaciones rurales (Smith, 2023; Brown & Green, 2022).

Los acuíferos son formaciones geológicas con propiedades hidráulicas que permiten el almacenamiento y la transmisión libre de agua a través de sus poros o grietas. Entre las partes de un acuífero, pueden distinguirse:

- El nivel freático,
- La zona de saturación,
- La capa impermeable.

El agua subterránea se localiza en la zona de saturación, por debajo del nivel freático, que constituye el límite superior de esta zona (Smith & Johnson, 2022). Cuanto mayor es la profundidad de la zona saturada, mayor es la presión del agua. Puesto que el agua almacenada fluye hacia zonas de menor presión, emana a la superficie de forma natural a través de urgencias (hullas), vertientes, manantiales o cauces fluviales (Gómez, 2021).

La recarga de los acuíferos tiene lugar a través del proceso de infiltración-percolación de agua precipitada. En ella intervienen: la gravedad y la litología (O'Connor, 2019). Por un lado, la gravedad es la fuerza que atrae el agua hacia el centro de la tierra, permitiendo su circulación en vertical, desde la superficie terrestre hacia las distintas profundidades del subsuelo (Wilson, 2023).

Por otro lado, la litología determina el grado de porosidad o compactación de los materiales geológicos que constituyen el acuífero. En función de ello, el agua podrá acumularse y circular con mayor o menor facilidad (Lee, 2021).

#### **4.10. Extracción de Agua Subterránea**

El método más común para extraer agua subterránea es el pozo, un agujero taladrado en la zona de saturación. Los pozos actúan como depósitos a los cuales migra el agua subterránea y de los cuales puede bombearse a la superficie. La utilización de pozos se remonta a muchos siglos y sigue siendo un método importante para la obtención de agua en la actualidad (Pérez, 2019).

Imagen. Diagnóstico del área de estudio



**Fuente; Elaboración propia 2024**

### a. Pozos Perforados

- **Descripción:** Se trata de perforaciones hechas en el suelo para alcanzar acuíferos profundos.
- **Uso:** Este método es común en la cual se empleó para extraer agua en áreas rurales y urbanas para uso agrícola, y doméstico.
- **Equipos:** Se utilizan perforadoras rotativas o percusivas, y el pozo se refuerza con tubos o revestimientos.
- **Ventajas:** Pueden alcanzar profundidades significativas y son efectivos en zonas con acuíferos profundos.
- **Desventajas:** Costos elevados de perforación y mantenimiento.

### b. Pozos Excavados o de Balde

- **Descripción:** Son pozos abiertos manualmente o con maquinaria ligera hasta una profundidad moderada, generalmente menos de 20 metros.
- **Uso:** Comunes en áreas rurales para el suministro de pequeñas comunidades o uso doméstico.
- **Equipos:** Usan cubos o bombas manuales para la extracción del agua.
- **Ventajas:** Método económico, no requiere tecnología sofisticada.
- **Desventajas:** Limitados en profundidad y volumen de agua extraída.

### c. Norias

- **Descripción:** Son pozos excavados a mano, generalmente de mayor diámetro que los pozos convencionales. Pueden tener sistemas de bombeo manual o motorizado.
- **Uso:** Utilizado para riego o abastecimiento de pequeñas comunidades.
- **Ventajas:** Económico y de fácil construcción.
- **Desventajas:** Limitado en capacidad y profundidad.

### d. Manantiales Captados

- **Descripción:** En áreas donde el agua subterránea aflora naturalmente en la superficie (manantiales), se construyen estructuras de captación.

- **Uso:** Ideal para áreas con urgencias naturales de agua subterránea.
- **Ventajas:** No requiere perforación y el agua suele ser de alta calidad.
- **Desventajas:** Dependen de condiciones geográficas específicas y pueden ser de bajo caudal.

#### e. Galerías Filtrantes

- **Descripción:** Se construyen túneles o galerías horizontales que se adentran en las laderas de colinas o montañas, interceptando el agua subterránea.
- **Uso:** Común en zonas áridas para captar agua subterránea sin la necesidad de perforación profunda.
- **Ventajas:** Sostenible y de bajo impacto ambiental.
- **Desventajas:** Requiere una ubicación geográfica adecuada y conocimientos de ingeniería.

#### f. Bombas de Succión y Sumergibles

- **Descripción:** Se utilizan bombas manuales o eléctricas para extraer agua de pozos o acuíferos. Las bombas sumergibles se colocan dentro del pozo, mientras que las bombas de succión se colocan en la superficie.
- **Uso:** Adecuadas para pozos de mediana o gran profundidad.
- **Ventajas:** Las bombas sumergibles son eficientes para pozos profundos.
- **Desventajas:** Costos de energía y mantenimiento, especialmente en bombas eléctricas.

### 4.11. Evaluación de la Disponibilidad de Agua Subterránea

El uso de las aguas subterráneas se determinará mediante un estudio que evalúe la disponibilidad del recurso de agua en cantidad, calidad y oportunidad para el fin requerido (Ramírez, 2020).

Se puede observar la elevación de la capa de fondo o de la capa impermeable, con la mayor profundidad de 150 m. para el sector de la planicie y el pie de la montaña (Pérez, 2023). El espesor de la parte inferior del acuífero se respalda sobre la litología existente, donde a esa profundidad se han ubicado capas de grava y arcilla.

"Evaluar la calidad del agua en fuentes subterráneas es un factor clave para garantizar la seguridad del agua que consumimos (Gómez, 2024). Es crucial implementar métodos eficientes y precisos para la monitorización constante de estas fuentes, con el fin de prevenir cualquier riesgo potencial para la salud humana."

#### **4.11.1. Excavación de Pozos**

La excavación de un pozo satisfactorio es un problema familiar para las personas que viven en áreas donde el agua subterránea es la fuente principal de abastecimiento. Un pozo puede ser productivo a una profundidad de 10 metros, mientras que otro puede necesitar profundizar el doble para encontrar un abastecimiento adecuado. La heterogeneidad de los materiales superficiales puede hacer que la cantidad de agua que un pozo pueda proporcionar varíe mucho en distancias cortas (López, 2016).

Como menciona el autor López, la excavación de napa freática se refiere al proceso de perforar o excavar en el suelo hasta alcanzar la napa freática, que es la capa de agua subterránea que se encuentra por encima de las formaciones geológicas impermeables. Esta capa de agua está saturada y se establece en un nivel que varía según las condiciones del terreno y el clima.

#### **4.11.2. Pozos Profundos**

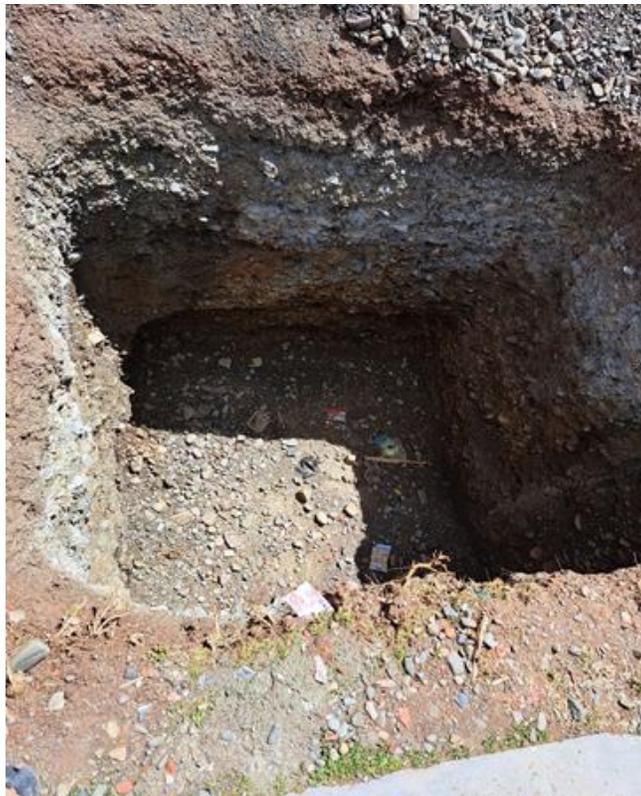
Un pozo profundo es una perforación en el subsuelo, revestida con una tubería para impedir el derrumbe. Esta tubería es ranurada en su parte inferior para que el acuífero aporte agua y pueda ser extraída mediante bombas de distintos accionamientos. La profundidad del pozo se determina mediante un estudio previo basado en técnicas como la radiestesia u otros estudios más detallados (Fernández, 2019).

#### **4.11.3. Partes de un Pozo Profundo**

- a) **Hueco perforado:** Perforación en el subsuelo para atravesar capas permeables que contengan agua (acuíferos).
- b) **Antepozo:** Obra civil en la boca del pozo para estabilizar su parte superior y controlar derrumbes superficiales.
- c) **Sello sanitario:** Protección sanitaria contra la contaminación de la superficie o acuíferos superiores contaminados.

- d) **Tubería de revestimiento:** Tubería vertical instalada dentro del hueco perforado, generalmente de acero o PVC.
- e) **Filtros:** Área de captación del pozo por donde entra el agua del acuífero.
- f) **Filtro de grava:** Instalada en el espacio anular entre el hueco perforado y la tubería de revestimiento.
- g) **Anclaje:** Elementos en la boca del pozo para sostener la tubería de revestimiento desde la superficie (Gómez, 2018).

Imagen. De calicata



Fuente; Elaboración propia 2024.

#### 4.11.4 MINISTERIOS DE PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO Y REGLAMENTO BÁSICO DE PREINVERSION

Según el ministerio de planificación del desarrollo y reglamento básico de preinversion menciona que en el artículo:

## **Artículo 9. Estudio de Diseño Técnico de Preinversión para Proyectos de Desarrollo Empresarial Productivo**

Es el estudio para proyectos cuyo objeto es producir bienes y/o generar servicios para obtener excedentes financieros, mediante inversiones principalmente en infraestructura y equipamiento, que permiten la transformación de materias primas o insumos en productos finales y/o servicios, tales como: productos lácteos, productos de cartón, productos de agroindustria, productos metalúrgicos, productos de hidrocarburos, comunicaciones, etc.

### **Contenido Referencial**

La elaboración del estudio, deberá realizarse según el siguiente contenido referencial:

- 1) Diagnóstico de la situación actual:
  - 1.1) Determinación del área de influencia del proyecto.
  - 1.2) Características físicas del área de influencia.
  - 1.3) Condiciones socioeconómicas de los beneficiarios.
  - 1.4) Situación ambiental y de riesgos de desastres naturales actual, así como adaptación al cambio climático.
- 2) Objetivos generales y específicos.
  - 1) Estudio de mercado: (análisis de oferta y demanda de los insumos, y los productos finales)
    - 1.1) Análisis de la demanda.
    - 1.2) Análisis de la oferta.
    - 1.3) Estructura de mercados y formación de precios.
    - 1.4) Análisis y establecimiento de ventajas competitivas.
    - 1.5) Estrategia comercial.
  - 2) Definición de la naturaleza del negocio.
  - 3) Análisis de alternativas de tamaño del proyecto:
    - 3.1) Definición de los aspectos determinantes del tamaño (mercado, tecnología, materia prima e insumos, disponibilidad de servicios básicos).
    - 3.2) Análisis del yacimiento o reservorio (cuando corresponda).
    - 3.3) Definición del tamaño óptimo del proyecto.
  - 4) Análisis de la localización:
    - 4.1) Análisis de alternativas de localización (macro y micro ubicación).

- 4.2) Definición de los aspectos determinantes de la localización.
  - 4.3) Metodología de evaluación para la selección de la mejor alternativa de localización.
- 5) Ingeniería del proyecto: (análisis de alternativas y selección de la más conveniente)
- 5.1) Diseño de la ingeniería del proceso de producción:
    - i) Determinación del proceso productivo (ciclo de producción primaria y/o proceso de transformación).
    - ii) Definición de tipos de maquinarias y equipos (tecnología).
    - iii) Layout (para procesos de transformación).
    - iv) Análisis de balance (paquete tecnológico en producción primaria).
  - 5.2) Análisis de seguridad industrial.
  - 5.3) Diseño de la infraestructura requerida.
    - i) Estudios básicos de ingeniería.
    - ii) Diseño de las obras civiles a detalle:
      - Memorias de Cálculo.
      - Cómputos Métricos.
      - Análisis de Precios Unitarios.
      - Planos constructivosPresupuesto de Ingeniería.
    - iii) Cronograma de Ejecución.
    - iv) Especificaciones técnicas.
- 6) Equipamiento:
- 6.1) Justificación de cantidades.
  - 6.2) Especificaciones técnicas del equipamiento.
  - 6.3) Cotizaciones y presupuesto.
- 7) Capacitación y asistencia técnica (en caso que se requiera).
- 8) Evaluación del impacto ambiental, en el marco de lo establecido en la Ley N° 1333 y sus reglamentos.
- 9) Análisis y diseño de medidas de prevención y gestión del riesgo de desastres y adaptación al cambio climático.
- 10) Determinación de los Costos de Inversión. Comprende los costos de todos los componentes del proyecto, como la construcción de las obras civiles, del diseño de ingeniería de procesos, costos ambientales, de indemnizaciones, supervisión y fiscalización del proyecto.

- 11) Estrategia de ejecución del proyecto (proceso constructivo, logística, disponibilidad de mano de obra, aporte comunal, financiamiento).
- 12) Plan de operación y mantenimiento de la empresa. Determinación de Costos de Administración, Operación y Mantenimiento.
- 13) Estructura organizacional para la implementación del proyecto
- 14) Análisis financiero:
  - 14.1) Plan de inversiones
  - 14.2) Estructura de financiamiento
  - 14.3) Estructura de costos
  - 14.4) Estructura de ingresos
  - 14.5) Determinación del Punto de equilibrio
  - 14.6) Depreciación de activos fijos y amortización de activos fijos diferidos
  - 14.7) Balance general
  - 14.8) Estado de pérdidas y ganancias
  - 14.9) Flujo de caja
- 15) Evaluación financiera.
- 16) Evaluación económica.
- 17) Análisis de sensibilidad del proyecto.
- 18) Cronograma de ejecución del proyecto.
- 19) Pliego de especificaciones técnicas.
- 20) Conclusiones y recomendaciones.
- 21) Pliego de especificaciones técnicas.
- 22) Conclusiones y recomendaciones.

La información necesaria para la realización de este estudio, se debe obtener de fuentes primarias y fuentes secundarias oficiales, las cuales deben citarse con precisión.

## **5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

La cuenca Parani del municipio de Sapahaqui enfrenta varios desafíos que afectan la gestión y conservación de sus recursos hídricos, específicamente la napa freática. Este diagnóstico se basa en información primaria recopilada y en el Plan Territorial de Desarrollo Integral (PTDI), que identifica dos problemas principales: la existencia de inundaciones y la insuficiente cobertura y acceso a agua segura.

### 5.1. Variables independientes y dependientes

- a) **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 en capas freáticas con el equipo geoseeker. En el caso de las variables independientes se consideraron elementos y parámetros en identificación del agua de la cuenca Parani y como variables dependientes estudio del recurso hídrico para la conservación de vertientes y restauración: trabajo de identificación del agua subterráneo.

**Cuadro 1. Variables de Napa Freática**

RESUMEN NARRATIVO	INDICADORES VERIFICABLES OBJETIVAMENTE (OVI)	MEDIOS VERIFICACION (MOV)	SUPUESTOS
Fin ( objetivo general):	Mejora en la gestión sostenible de los recursos hídricos en la cuenca parani	Aumento del 50% en acceso agua en el municipio	Compromiso de autoridades locales con el proyecto
Propósito (objetivo específico)	Establecer sistemas de monitoreo y gestión de la napa freática para reducir el impacto de inundaciones y mejorar el acceso al agua segura.	Establecer sistemas de monitoreo y gestión de la napa freática para reducir el impacto de inundaciones y mejorar el acceso al agua segura.	Establecer sistemas de monitoreo y gestión de la napa freática para reducir el impacto de inundaciones y mejorar el acceso al agua segura.
Componentes (Resultados):	-Un Sistemas de monitoreo mediante el equipo geoseeker.	- 100% de los equipos de monitoreo muestran un resultado eficaz.	- obtención de información de los datos mediante la operación del sistema.
Actividades (Medios):	Capacitación a la comunidad en gestión del agua.	- Número de talleres realizados.	- Listado de participantes en los talleres.

**Fuente: Elaboración propia, 2024**

## 5.2. Descripción del Problema.

- a) **Causa Principal:** Las características topográficas del municipio de Sapahaqui, con su relieve montañoso y pendientes pronunciadas, facilitan la ocurrencia de inundaciones durante la temporada de lluvias. Estas inundaciones pueden causar desbordamientos de ríos y arroyos, afectando tanto las áreas urbanas como rurales.

## 5.3. Variabilidad del Nivel de Agua

En el caso de las inundaciones pueden causar fluctuaciones repentinas en el nivel de la napa freática, afectando su estabilidad y disponibilidad para uso humano y agrícola. La infraestructura de distribución de agua en la cuenca Parani es limitada y no cubre adecuadamente todas las áreas del municipio. Además, la calidad del agua disponible no siempre cumple con los estándares de seguridad, debido a la contaminación por actividades agrícolas y el uso inadecuado del suelo.

### a). Impacto en la Napa Freática

Las inundaciones pueden alterar el nivel de la napa freática, causando aumentos repentinos que pueden afectar la estabilidad de las construcciones y la calidad del agua subterránea debido a la posible infiltración de contaminantes superficiales.

## 5.4. Implementación de Sistemas de Monitoreo y Gestión

La implementación de sistemas de monitoreo y gestión implica la planificación, instalación y operación de tecnologías y procedimientos para supervisar, controlar y optimizar el funcionamiento de un recurso o sistema. En el contexto de recursos naturales, como el agua subterránea, este enfoque permite recopilar datos en tiempo real o a intervalos regulares, lo que facilita la toma de decisiones informadas para su uso sostenible.

- a) **Descripción:** Desarrollar e implementar sistemas de monitoreo y alerta temprana para inundaciones, así como infraestructura de control y gestión de aguas pluviales para mitigar los impactos negativos en la napa freática. "Los sistemas de monitoreo y gestión de inundaciones son esenciales para reducir los riesgos y proteger los recursos hídricos subterráneos".

#### **5.4.1. Napa Freática de la Cuenca Parani**

Según (proyecto Cuenca Pedagógica de Parani 2020) La cuenca presenta una napa freática profunda donde la acumulación de agua subterránea se encuentra a una profundidad relativamente pequeña bajo el nivel del suelo. Es un acuífero superficial, ya que los acuíferos pueden estar también a mayores profundidades. Estos acuíferos alimentan pozos y fuentes de agua, potable o no, y son los más expuestos a la contaminación proveniente de la superficie.

Una capa freática suele estar limitada por dos superficies:

**Inferior:** Estrato de terreno impermeable a una profundidad hídrica.

**Superior:** Superficie piezométrica o freática del agua, situada a una profundidad hídrica.

Por definición, el nivel freático varía con la ubicación geográfica y depende de factores como la climatología, la cantidad de lluvias o el tipo de terreno. Es la superficie superior de un acuífero de tipo libre.

La Napa Freática se describe detalladamente mediante la metodología utilizando equipos como el geoseeker que, para llevar a cabo el proyecto, desde la ubicación geográfica del lugar y la

caracterización del área de estudio, hasta la selección del lugar donde se monitoreo, métodos de recolección de datos y análisis estadísticos aplicados. Se discuten también los aspectos logísticos, recursos necesarios y estrategias de gestión y supervisión del proyecto, cuenca Pedagógica Parani del Municipio de Sapahaqui.

#### **5.5. Contribución a la Comunidad Científica y Técnica**

Finalmente, el desarrollo de este proyecto aportará conocimiento valioso sobre las dinámicas de los acuíferos en el altiplano sur del departamento de La Paz, sirviendo como referencia para futuros estudios y proyectos en la región. Asimismo, se espera que este sistema de monitoreo sea replicable en otras áreas con problemas similares, promoviendo la transferencia de tecnología y el fortalecimiento de las capacidades técnicas locales.

## 5.6. Monitoreo de la Napa Freática en el Altiplano Sur del Departamento de La Paz

### 5.6.1. Contexto General del Recurso Hídrico en Bolivia

Menciona que, a lo largo de la historia, el recurso hídrico ha sido esencial para el desarrollo y la supervivencia de la humanidad en las diferentes actividades. Sin embargo, también ha enfrentado diferentes desafíos crecientes debido al crecimiento poblacional, lo que ha llevado a una mayor conservación y gestión sostenible del agua a nivel mundial (Mendoza, 2020).

Señala que la gestión del agua tiene que ver con la forma como se administra este recurso natural, hay que tener en cuenta que si hay o habrá una crisis del agua también habrá una crisis del desarrollo, uno de los desafíos más graves ante los que se encuentra el mundo de hoy es la crisis del agua que se avecina y en efecto, en el siglo pasado la demanda mundial sobre los recursos hídricos se multiplicó por más de seis mientras que la población del planeta se triplicó. De no mejorar la gestión de los recursos hídricos y los ecosistemas conexos, se estima que para el 2025 dos tercios de la población mundial padecerá problemas de penuria de agua, con escasez grave o moderada.

Imagen. Deficit de recursos hídricos



**Fuente; Elaboración propia 2024.**

El recurso hídrico en nuestro territorio de Bolivia, especialmente en el altiplano sur del departamento de La Paz, está siendo afectado de manera significativa. Estos fenómenos están agravando la disponibilidad de agua en términos de cantidad. La escasa cobertura vegetal, junto con las prácticas agrícolas inadecuadas en la cuenca de producción hídrica, contribuyen a la disminución de los recursos hídricos disponibles.

### **5.6.2. Importancia de la Actividad Agropecuaria y el Consumo de Agua**

Según FAO, (2022). La agricultura es el más grande cliente del agua dulce a escala mundial y el primordial componente de degradación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos, gracias a la erosión y la escorrentía con productos proveniente de agroquímicos. Esta situación genera preocupación en la calidad del agua a escala mundial. Las consecuencias en la degradación de las vertientes de agua en América Latina son ocasionadas por diversos factores y pueden afectar tanto al medio ambiente como a la población y agricultura. En este con texto se encuentra la disminución del caudal de las vertientes y ríos, la pérdida de servicios eco sistémicos, la reducción de la calidad del agua, la pérdida de la capacidad de retención de inundaciones y el impacto en la seguridad alimentaria, agrícola y la salud pública (Morales, 2023)

La actividad agropecuaria es una de las principales actividades económicas en la región, conocida también como la cuenca lechera. El consumo de agua por el ganado lechero es considerable, siendo el agua indispensable tanto para el consumo humano como para el riego. Las comunidades dependen de pozos profundos y, en algunos casos, pozos surgentes para obtener agua para

consumo y riego. La preocupación aumenta con la disminución de las precipitaciones y el aumento de la evaporación debido al calentamiento global. Esta problemática involucra a la comunidad, el Gobierno Autónomo Municipal, la Gobernación, el Estado Plurinacional y la Universidad Pública de el Alto. Por lo tanto, fue esencial o necesario evaluar las aguas subterráneas en esta parte del altiplano del departamento de La Paz y realizando una evaluación cuantitativa.

### 5.6.3. Distribución y Uso del Agua Subterránea

Según Sánchez,( 2019) Las aguas subterráneas son la principal fuente de abastecimiento de agua dulce para el consumo humano en el planeta. el agua dulce está constituida por hielo polar en un 60%, agua subterránea en un 30% y agua de ríos y lagos en un 0.3%. Aunque se ha logrado una mejor comprensión de la importancia de las aguas subterráneas como fuente de abastecimiento, existe el problema de estimar la cantidad segura de agua que se puede extraer mediante la explotación de pozos, ya sea por bombeo o por flujo artesiano. Es crucial evitar el agotamiento de las valiosas reservas subterráneas, por lo que la conservación y utilización eficiente de los depósitos naturales son dos de los principales problemas de la situación actual. Su resolución es de urgencia inmediata.

Según (González, 2020) en Bolivia, a pesar de los avances institucionales y los esfuerzos fiscales, el sector tiene todavía un gran reto para desarrollar todo su potencial, sobre todo cuando se examinan resultados sectoriales referentes al uso y gestión del agua, como son los incrementos de conexiones, la calidad sanitaria del agua que llega a los hogares, la continuidad del servicio, el cuidado de la gestión del recurso hídrico y la consideración a las consecuencias del cambio climático.

La distribución de la precipitación pluvial varía según las ecorregiones. En el trópico se satisfacen parcialmente las necesidades de agua de los cultivos y es necesario efectuar riegos suplementarios en los periodos secos. En el resto del territorio nacional, a excepción de la zona del Chapare, la precipitación pluvial es insuficiente, con situaciones críticas en las regiones áridas y semi- áridas como el altiplano (departamentos de Oruro, Potosí y parte de La Paz) con precipitaciones medias de alrededor de 300 mm/año, y los valles con precipitaciones media de alrededor de 500 mm/año, ambas zonas representan el 42% del territorio nacional (López, 2024)

En el Altiplano la perforación de pozos y riego de invernaderos para la producción intensiva de hortalizas se presenta como una gran opción, así como el riego de quinua, papa, haba, forrajes, bofedales y praderas naturales para la ganadería.

#### **5.6.4. Evaluación del Impacto de la Explotación de Aguas Subterráneas**

Según Rodríguez, (2022). El presente proyecto de grado se centra en estudiar el impacto de la explotación de las aguas subterráneas en el flujo y el piezómetro en la zona, mediante la simulación de cuatro escenarios de extracción para riego y agua potable en régimen permanente con el equipo Geoseeker. Este equipo será crucial para identificar las potencialidades y limitaciones de los recursos acuíferos en la región.

Por lo tanto, debe evitarse que se produzca un agotamiento de las valiosas reservas subterráneas, por lo que la conservación y utilización eficiente de los depósitos naturales se constituyen en dos de los principales problemas de la situación actual, cuya resolución es de urgencia inmediata.

Actualmente, el Departamento de Cochabamba padece de una sequía prolongada, por lo que las políticas de captación de aguas tanto para el consumo de la población como para la agro ganadería industrial, están dirigidas a la zona de los Valles Bajos del Departamento, conformada por las provincias de Capinota, Sipe-Sipe, Tiquipaya y Quillacollo, donde en esta última se encuentra la zona denominada “El Paso”, ubicada a 16 Km al Noroeste de la Ciudad de Cochabamba la cual presenta muy buenas potencialidades acuíferas, además de una interesante configuración hidrogeológica (SEMAPA, 1994).

Por lo visto anteriormente, se considera que esta zona es una opción para la solución al Problema de la carencia de agua del departamento. Sin embargo, se desconoce hasta qué Punto se pueden aprovechar sus recursos acuíferos, sin llegar a la sobre-explotación de los mismos.

En consecuencia, el presente trabajo estudia el impacto de la explotación de las aguas subterráneas en el flujo en la cuenca, por medio de la simulación de cuatro escenarios de extracción para riego y agua potable en régimen permanente con el equipo de Geosseeker, el cual ha sido previamente calibrado y validado.

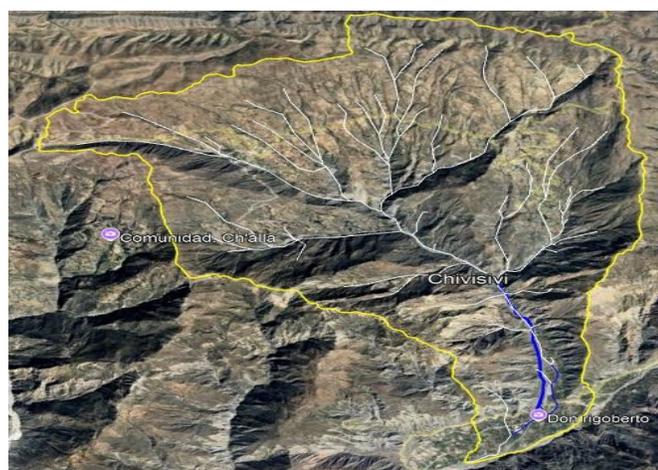
#### **5.6.5. Situación en el Municipio de Sapahaqui**

El agua es un recurso primordial para las comunidades en la agricultura y la ganadería, es un factor de producción muy importante. la falta de este recurso influye negativamente en los

rendimientos y la productividad de la agricultura, afectando así la situación socioeconómica de las familias rurales dedicadas a la actividad agropecuaria.

El Municipio de Sapahaqui cuenta con una variedad de recursos hídricos como ríos, ojos de agua y vertientes, que abastecen a las comunidades, Milli Milli, Chivisivi y Parani, dentro de la cuenca pedagógica. Sin embargo, no se aprovechan adecuadamente estos recursos debido al deficiente manejo del agua (entendido como manejo de cuencas) y la carencia de infraestructuras de captación y traslados afectan considerablemente el abastecimiento del agua.

imagen. Delimitación de la cuenca parani



**Fuente; Elaboración propia 2024.**

De acuerdo al tema de estudio estas técnicas pueden ser agrupadas en dos modalidades de captación de agua de lluvia, como las siguientes Captaciones de aguas superficiales:

- Captación de aguas pluviales.
- Captación de aguas de escorrentía.
- Captación de ríos y lagos.
- Captación de aguas subterráneas por medio de (Pozos, Galerías, Manantiales).

### **5.6.6. Desafíos y Estrategias en la Gestión de Recursos Hídricos en la cuenca**

En el valle, de la cuenca pedagógica parani del municipio de Sahapaqui la existencia de recursos hídricos es relativamente bajo, en la cual las comunidades cuentan con ríos temporales, donde algunas poseen vertientes en las partes altas, donde se hacen captaciones para consumo humano y productivo. En la época de lluvia, los ríos alcanzan un caudal, mientras que en la época seca disminuyen, no llegando a abastecer las necesidades de consumo humano y productivo.

Las vertientes son compartidas entre los productores de distintas comunidades (parani, chivisivi y milli milli), con el abastecimiento por turnos, (PTDI, 2016-2020).

La cuenca Parani se encuentra en una categoría de riesgo alto, dentro del municipio de Sapahaqui, en la segunda sección de la provincia Loayza del Departamento de La Paz. Según estudios de priorización, la cuenca está catalogada como de primera prioridad debido a los riesgos de erosión y degradación (PTDI, 2016-2020).

La cuenca es un área territorial de drenaje natural donde todas las aguas confluyen hacia un colector común de descarga; a la vez se define como un ecosistema en el cual interactúan y se interrelacionan variables biofísicas y socioeconómicas con entradas como energía solar, hídrica, eólica, e insumos semillas, alimentos, tecnologías y otros.

Las cuencas hidrográficas, como sistemas de relaciones sociales y económicas, tienen como base territorial y ambiental los sistemas de aguas que fluyen hacia un mismo río, lago o mar, y son de vital importancia para los seres vivos. Además, ofrecen otros beneficios, como la creación de ambientes propicios para los asentamientos humanos, la generación de belleza escénica, el desarrollo de actividades productivas y la integración de diversos ecosistemas, donde lo biótico y lo abiótico están en estrecha relación. Las cuencas son, asimismo, una unidad natural fundamental que sirve de base para articular procesos de gestión orientados al desarrollo sostenible (Sánchez, 2024)

Suárez. (2024) recomienda que las cuencas, subcuencas y microcuencas se conciben como sistemas naturales dinámicos, compuestos por elementos biológicos, físicos y antropogénicos que interactúan entre sí, creando un conjunto único, inseparable y en permanente cambio.

### **5.6.7. Propuesta de Intervención**

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 de la prioridad del agua 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, llevaran 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 la cuenca. 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 torrenteras, debido al suelo que es de fácil erosión generando perdida de vertientes por eventos de riadas.

La sequía, es otra de las amenazas naturales que existen en el municipio, y ésta a diferencia de las otras amenazas, donde el nivel alto, debido principalmente a las características topográficas del municipio, debido al suelo que es de fácil erosión generen perdida de vertientes de agua 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 gestión y conservación del recurso hídrico.

El presente proyecto aborda una problemática identificada en la cuenca Parani del Municipio de Sapahaqui, centrada en la prioridad del agua. A partir de una serie de ideas significativas y técnicas obtenidas, se optó por utilizar conocimientos ingenieriles para plantear una alternativa de mitigación de dicha problemática. El objetivo es resolver inconvenientes que afectan a las poblaciones locales y mejorar la gestión de los recursos hídricos en el municipio.

Los pozos excavados representan el método más tradicional y común para obtener agua de fuentes de agua subterránea, en zonas rurales de países en desarrollo (WATERAID s.f.). A diferencia del agua superficial, como de ríos o lagos, lagunas y embalses, el agua subterránea usualmente es de mayor calidad. Aunque para la construcción de un pozo excavado puede incluirse la ayuda de equipo técnico, generalmente, se realiza de forma manual ya que muchas regiones rurales ofrecen mano de obra barata y carecen de recursos técnicos adecuados.

Según (WATERAID, s.f.). La excavación de aproximadamente 1.5 metros de diámetro proporciona un espacio de trabajo adecuado para la construcción del pozo y permitirá un diámetro interno final de aproximadamente 1.2 metros después de que este haya sido revestido. El rendimiento del pozo en términos de cantidad está determinado en gran medida por el tipo de suelo, por el diámetro y la profundidad del pozo. Los pozos con un gran diámetro y profundidad exponen un área mayor para la infiltración y, por lo tanto, proporcionan una recarga rápida. Por ejemplo, un acuífero de 2 metros de profundidad y un pozo con 1.3 m de diámetro expondrá 8.2 m<sup>2</sup> para la infiltración de agua, mientras que un agujero perforado de 150 mm de diámetro solo expone 1 m<sup>2</sup>.

### **5.7. Beneficios del Sistema de Monitoreo**

Un sistema de monitoreo de la napa freática tiene como beneficios importantes, tanto para la gestión de recursos hídricos como para la protección del medio ambiente. los principales beneficios para la cuenca pedagógica Parani son:

- a) **Evaluación y Gestión Sostenible del Recurso Hídrico:** Mediante el monitoreo constante, se podrán obtener datos precisos sobre los niveles freáticos, la calidad del agua y las tendencias a lo largo del tiempo. Esta información es crucial para la toma de decisiones informadas sobre la explotación y conservación del recurso.
- b) **Prevención de Sobreexplotación y Contaminación:** Un sistema de monitoreo ayudará a prevenir la sobreexplotación de los acuíferos y a detectar posibles fuentes de contaminación, garantizando así la sostenibilidad del recurso hídrico para las futuras generaciones.

- c) **Mejora de la Productividad Agrícola y Pecuaria:** Al asegurar un suministro confiable de agua, las actividades agrícolas y pecuarias podrán mantenerse estables y productivas, mejorando la economía local y el bienestar de las comunidades.
- d) **Reducción de Riesgos Asociados a Fenómenos Naturales:** El monitoreo permitirá anticipar y mitigar los efectos de las inundaciones y sequías, proporcionando datos para la implementación de medidas de adaptación y resiliencia frente a estos fenómenos.

### **5.8. Relevancia para el Desarrollo Regional**

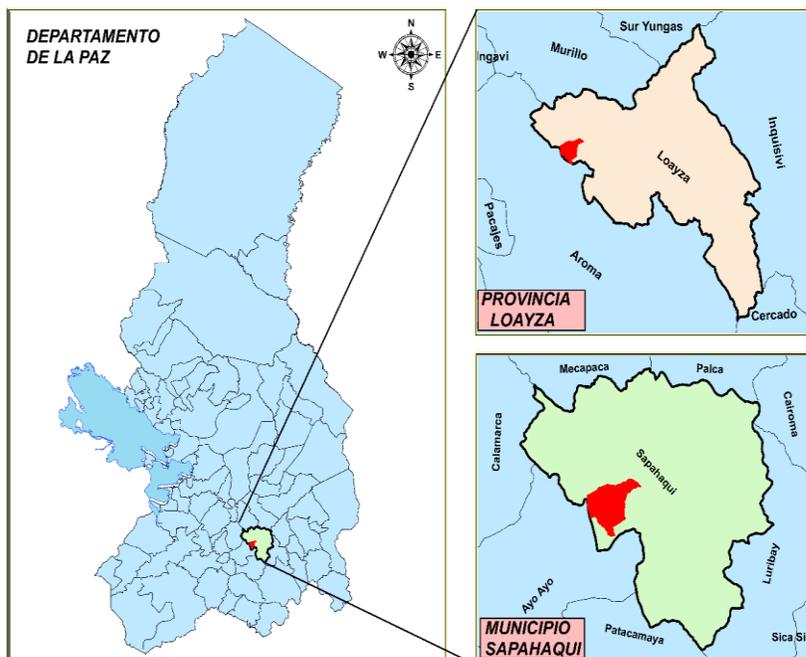
Este proyecto se alinea con las políticas de reducción de la pobreza y de desarrollo sostenible del Municipio de Sapahaqui. La implementación de un sistema de monitoreo de la napa freática no solo contribuirá a la gestión eficiente de los recursos hídricos, sino que también fortalecerá las capacidades locales para enfrentar los desafíos relacionados con el cambio climático y la variabilidad climática.

## **6. METODOLOGÍA DEL PROYECTO**

### **a. Ubicación Geográfica**

El diseño del proyecto se desarrolló en la comunidad Parani Alta es 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 Está a una altitud desde 2838 hasta 4230 m.s.n

Imagen 2. Localización del Proyecto de Investigación



Fuente: Elaboración propia 2024.

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 da la importancia de esta cuenca para el municipio, es que se ha planificado gestionar su intervención bajo un Plan de Cuencas Pedagógicas.

#### b. Necesidad

El diseño del proyecto se ejecutó los siguientes procedimientos:

##### ➤ Capacitación y fortalecimiento organizacional

El proyecto comenzó con actividades educativas y de diálogo de saberes entre comunidades, actores municipales y académicos sobre la Gestión Integrada de Recursos Hídricos y el Manejo de Cuencas. Incluyó talleres de capacitación y análisis participativo sobre el uso del agua, la identificación de recursos hídricos, la gestión organizacional y la situación de los recursos naturales en la cuenca.

### **c Investigación - Acción Participativa**

Mediante herramientas participativas, se desarrolló una investigación-acción local sobre las fuentes y demandas de agua en la cuenca, incluyendo aguas subterráneas, enfocándose en problemas de disponibilidad, uso y producción agropecuaria. También se identificaron áreas críticas que requieren medidas de conservación, ordenamiento territorial y protección de fuentes hídricas.

### **d Diseño de medidas articuladas y planes GIRH - MIC**

En esta etapa del proyecto se aplicarán los conocimientos adquiridos en los cursos teóricos sobre medidas de Manejo Integrado de Cuencas (MIC) mediante una metodología basada en el principio de "aprender haciendo". Esta práctica involucrará activamente a los productores locales y a los actores institucionales, fomentando su participación directa en las actividades. Se implementará de manera progresiva un conjunto de medidas orientadas a la conservación de suelos y aguas, abarcando tanto soluciones físicas (infraestructura), biológicas (plantaciones y recuperación de vegetación), estructurales y no estructurales (gestión de riesgos y planificación), como agronómicas y de manejo de riberas. Además, se fortalecerán e integrarán arreglos organizacionales que permitan una gestión efectiva y sostenible de los recursos, en alineación con el Plan de Gestión Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) consensuado para la Cuenca Pedagógica Parani. Estas acciones buscarán no solo la mejora ambiental, sino también el desarrollo socioeconómico de la región mediante un enfoque integral y participativo.

- **Registro y análisis de la información:** según la información que se registró en los talleres de capacitación y en la investigación – acción participativa, se concentraran en bases de datos del proyecto. Los datos se clasifico en grupos: datos cuantitativos y datos cualitativos, en base a los cuales se procederá con el análisis respectivo.

### **e. Identificación del recurso hídrico en capas freáticas**

Para la identificación del recurso hídrico, se consideró los siguientes parámetros: topografía del sitio, criterios de la población y dimensiones del diagnóstico de identificación. Se verifico las características de los sitios de ubicación de cada vertiente y se registrarán las pendientes de cauces primarios y secundarios. Con base en estos elementos, se determinó las

profundidades y características adecuadas de las aguas. Finalmente, se estimarán los costos totales de perforación para los sitios priorizados.

#### **f. Beneficiario**

La capa freática en la cuenca Parani desempeña un papel crucial en el ciclo hidrológico de la región, ya que actúa como una reserva de agua subterránea vital para el abastecimiento de las comunidades de Parani Alta. Esta capa freática también influye en la salud de los ecosistemas acuáticos locales y en la disponibilidad de agua para uso agrícola y doméstico.

Al centrarnos en el manejo integrado del agua en la cuenca Parani, es fundamental comprender la dinámica de la capa freática y su relación con otros componentes del sistema hídrico. La implementación de medidas de conservación y uso sostenible del agua en armonía con la capa freática contribuirá no solo al bienestar de las familias beneficiarias, sino también a la preservación de este recurso hídrico tan importante para la comunidad.

#### **g. Recursos humanos**

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

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

### **7. ESTRUCTURA DEL PROYECTO**

El Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA) tiene como uno de sus objetivos estratégicos impulsar la gestión integrada de los recursos hídricos y el manejo integral de cuencas en Bolivia. Este objetivo se desarrolla bajo modalidades de participación y autogestión, respetando las perspectivas de las culturas y sistemas de vida locales como sustento para el desarrollo humano y ambiental sostenible. Todo ello se realiza en un contexto de vulnerabilidad frente a los desastres naturales y el cambio climático (MMAyA, 2018).

Para alcanzar su objetivo, el Ministerio de Medio Ambiente y Agua (MMAyA), a través del Viceministerio de Recursos Hídricos y Riego, ha estado 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" (MMAyA, 2006). Los componentes 5 y 6 del PNC plantean el fortalecimiento de la gestión de cuencas a nivel local mediante el Programa Intercultural de Cuencas Pedagógicas y la gestión de conocimientos e información de recursos hídricos y cuencas. Estos componentes buscan valorizar los conocimientos y la información generada 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 (MMAyA, 2006).

Uno de los proyectos incluidos en el PNC es el proyecto "Desarrollo de capacidades en GIRH – MIC en la cuenca pedagógica Parani, municipio de Sapahaqui", que ha estado en ejecución 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, destinadas a reducir los procesos erosivos en los cauces de agua en las quebradas (MMAyA, 2006).

#### **7.1.1. Objetivo**

En Parani se implementan obras civiles para reducir la erosión hídrica y controlar la infiltración en las zonas de recarga de la napa freática. Estas intervenciones buscan mantener el equilibrio del nivel freático y garantizar un uso sostenible del agua subterránea, protegiendo así las actividades agrícolas y ganaderas.

#### **7.1.2. Capacitación y fortalecimiento organizacional**

En esta parte del proyecto, se llevó a cabo la práctica de aprendizaje de los cursos teóricos sobre medidas MIC en la cuenca. Se realizará la ejecución progresiva de medidas para la conservación de suelos y aguas.

#### **7.1.3. Resultados esperados**

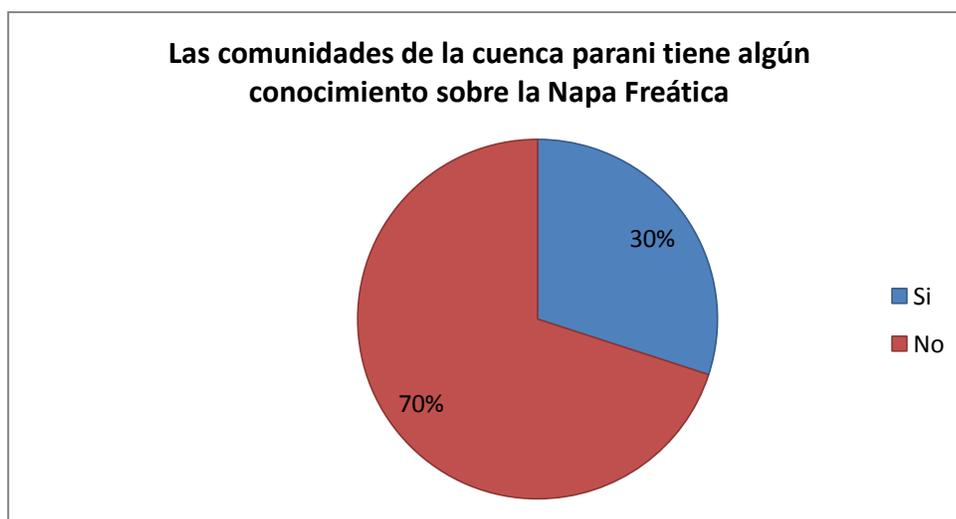
Las autoridades y representantes de la población han mejorado y fortalecido su capacidad para analizar, reflexionar y transmitir públicamente de manera coherente la problemática relacionada con el uso, manejo y gestión del agua en su cuenca, así como la situación de los

recursos naturales en dicho espacio, con un enfoque en la sostenibilidad a largo plazo (MMAyA, 2022).

Actualmente, se están ejecutando medidas articuladas de conservación, protección, uso y manejo sustentable de la cuenca, así como inversiones en desarrollo hídrico-productivo que sean compatibles con estas medidas, en el marco del Plan de Gestión Integrada de Recursos Hídricos y Manejo Integrado de Cuencas (GIRH-MIC), acordado entre las organizaciones locales y el municipio de Sapahaqui.

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

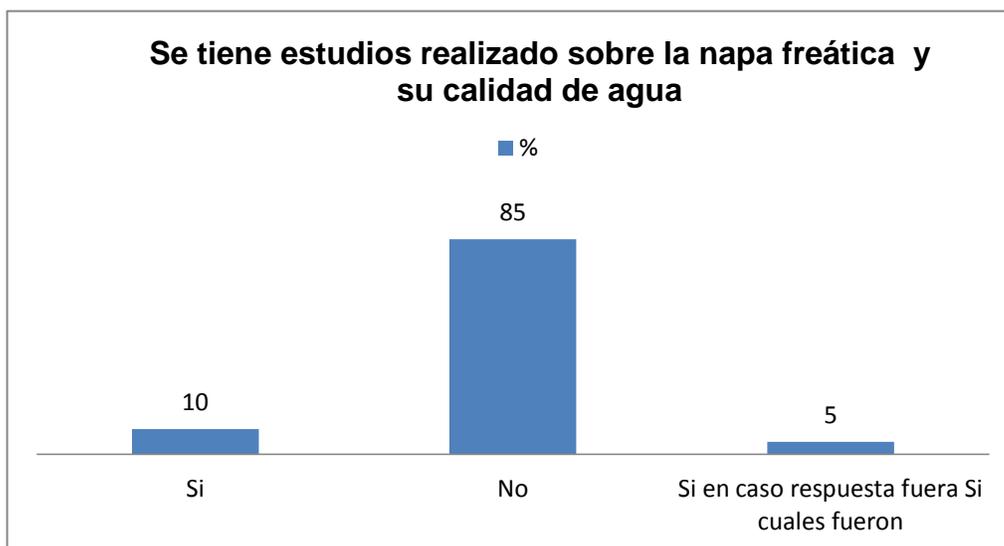
#### 7.1.4. Conocimiento sobre las napas freáticas en la cuenca pedagógica de parani



**Fuente; Elaboración propia 2024**

En la figura 1. Muestra que el 70% de la población no tiene conocimiento sobre la napa freática y el 30% tiene conocimiento sobre la napa freática esto a que no hubo capacitaciones sobre la importancia de la napa freática.

#### 7.1.5. Estudio sobre la napa freática y la calidad de agua



**Fuente; Elaboración propia 2024**

En la figura 2. Indica que el 85% no realizaron estudios sobre la napa freática y la calidad de agua, el 10% tiene conocimiento solo en la calidad de agua debido a que realizaron para el consumo humano y el 5% recomienda el estudio sobre la napa freática y la calidad de agua.

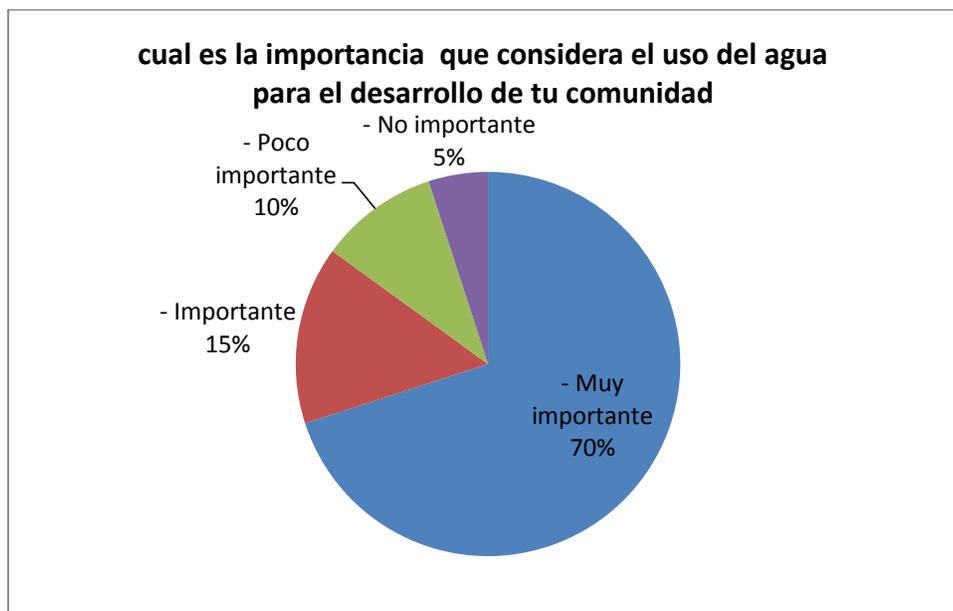
#### 7.1.6. Se cuenta con la perforación de pozo en la cuenca



**Fuente. Elaboración propia. 2024**

En la figura 3. Con relación a la perforación de pozo en el lugar de estudio, un 80% no se realizó perforaciones, un 16% se realizó excavaciones de pozo unas 1 veces y el 4% menciona que se realizó 2 veces la excavación de pozo recuperando las vertientes de agua.

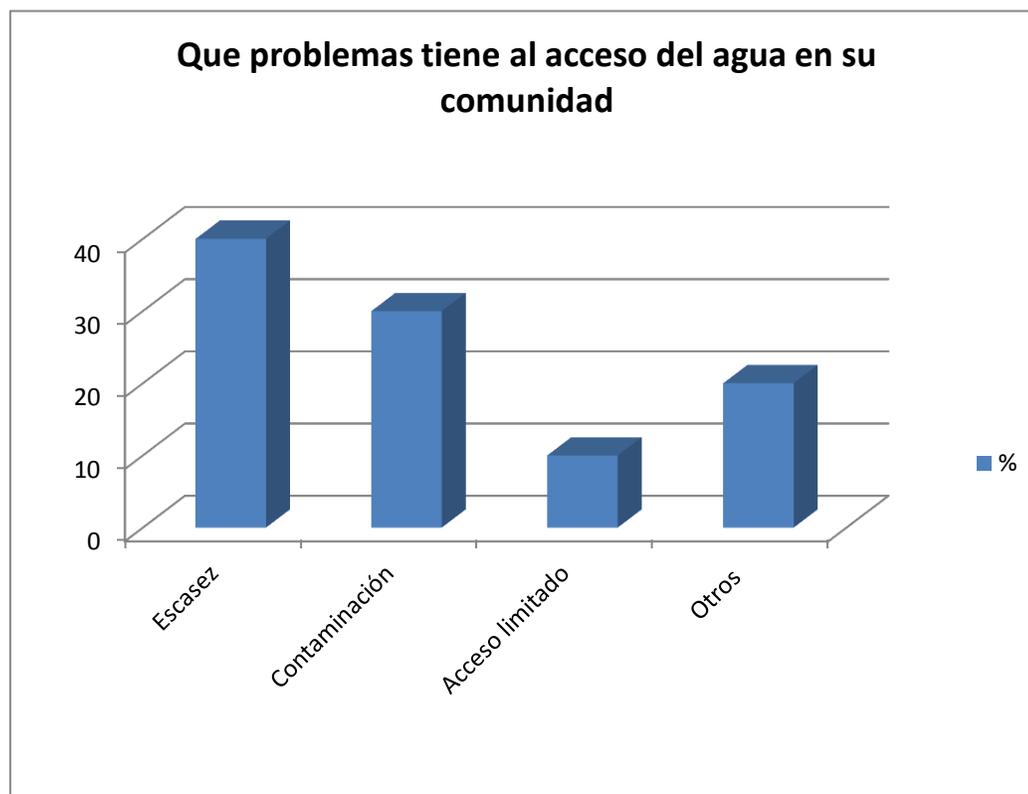
#### 7.1.7. Es importante el uso y consumo del agua para el desarrollo



**Fuente. Elaboración propia. 2024**

En la figura 4. En base a los resultados de la encuesta menciona que un 70% considera muy importante el uso del agua, el 15% dice que el agua es importante, el 10% menciona que las aguas es poco importante y 5% dice que no es importante debido a la salinidad que comprende.

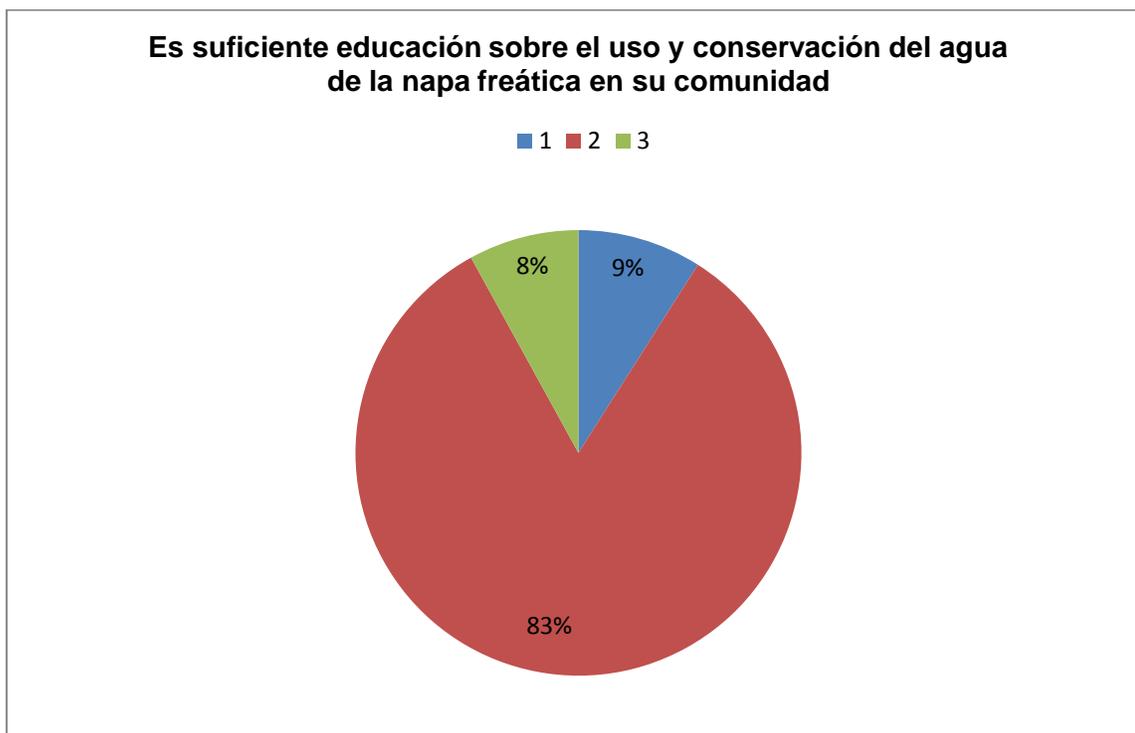
### 7.1.8. cuáles son los principales problemas del agua



**Fuente; Elaboración propia 2024**

En la figura 5. Menciona que un 45% tiene escasez de agua, el 25% dice que existe mucha contaminación del agua, 15% dice que no tienen conocimiento sobre la napa freática y 5% hablan que siempre está limitado al consumo del agua.

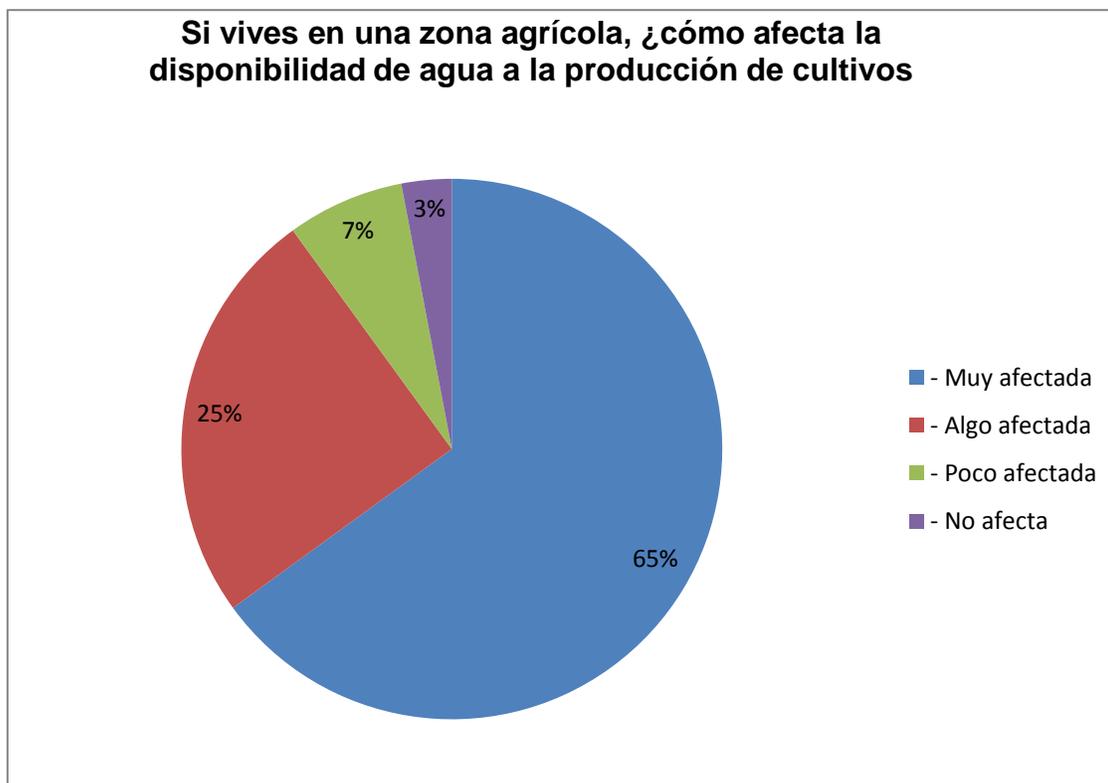
### 7.1.9. La educación sobre el uso y conservación del agua de la napa freática



**Fuente; Elaboración propia 2024**

En la figura 6. Menciona que el 83% de la población de las comunidades no tienen una educación sobre el uso y conservación del agua por medio de la napa freática, 9% de estudiantes consideran la importancia del agua y están de acuerdo con la educación, en el caso del 8% no están seguros sobre la educación del uso y conservación del agua de la napa freática.

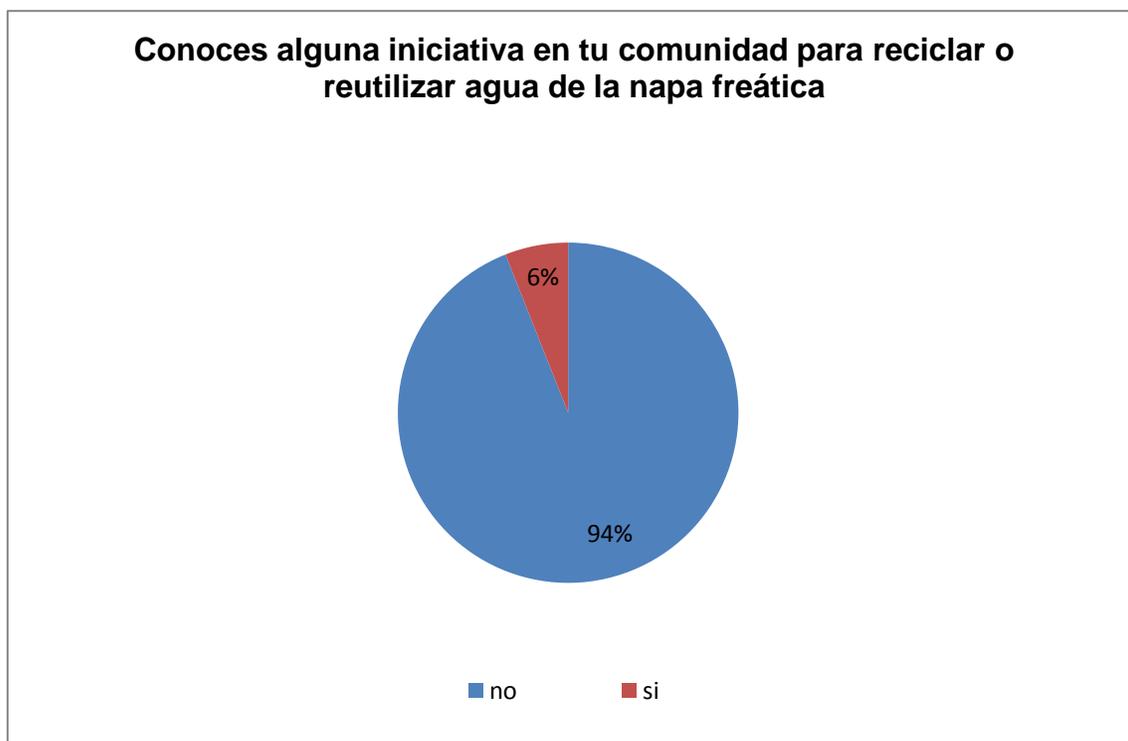
### 7.1.10. Disponibilidad del agua en la producción agrícola



**Fuente. Elaboración. Propia.2024**

En la figura 7. En base a los resultados el 65% de los agricultores mencionan que es necesario el uso del agua, 25% son afectados por la escasez del agua, 7% llega a ser poco afectados con la escasez del agua y el 3% no llegan a ser afectados del agua debido a que cuentan con una vertiente del agua.

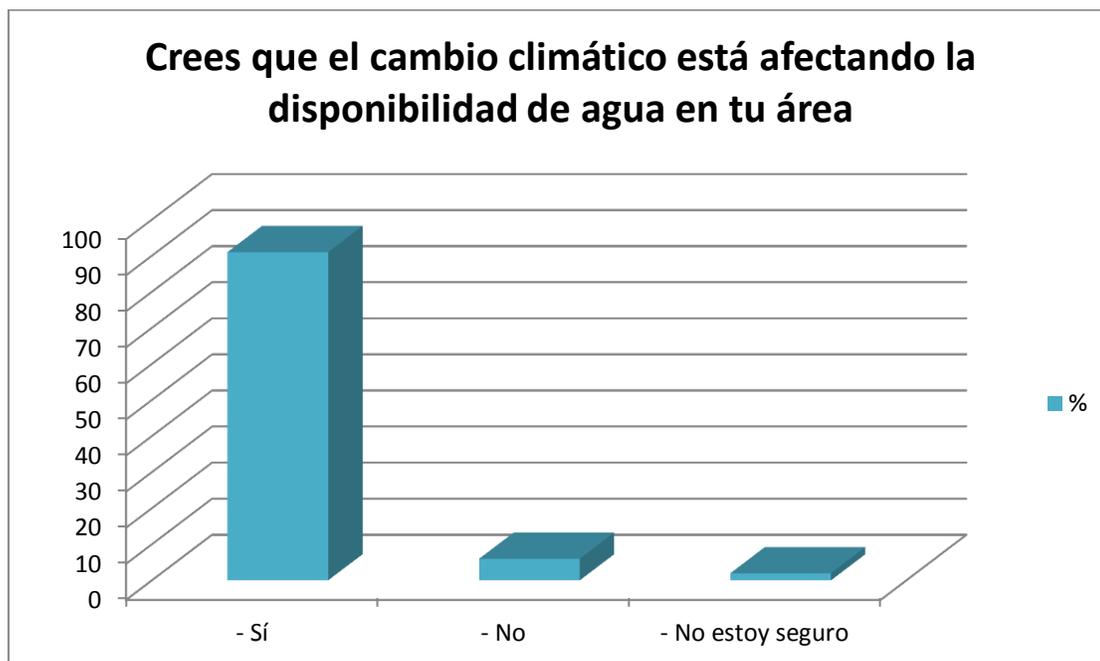
### 7.1.13. Cuál será la iniciativa en la comunidad para reutilizar el agua



**Fuente. Elaboración. Propia.2024**

En la figura 8. Menciona que el 94% no reutilizan el agua de la napa freática 6% hacen la práctica de reciclar y reutilizar el agua para sus cultivos.

### 7.1.11. Cuál será el impacto del cambio climático



**Fuente. Elaboración. Propia.2024**

En la figura 9. En base a los resultados obtenidos se puede observar que el 95% dice que el cambio climático está afectando a la producción agrícola donde no tiene acceso al agua, 3% menciona que no han sido afectados al cambio climático, en el caso del 2% de los comunarios no están seguros que fueron afectados por el cambio climáticos en sus cultivos.

## 8. DISEÑO Y DESARROLLO DEL PROYECTO

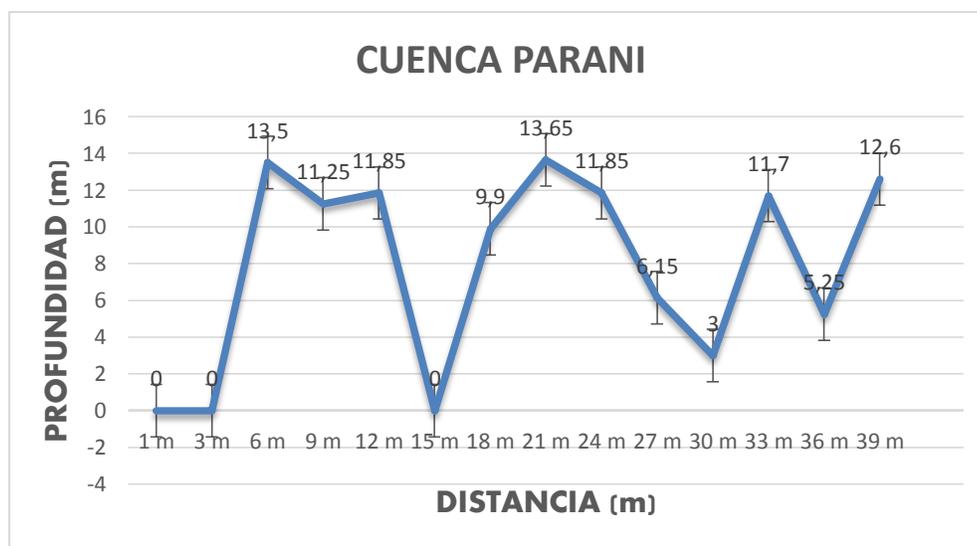
La construcción de diques de retención con gaviones es parte del proyecto de control de sedimentos en la cuenca Parani. Este diseño de proyecto es una práctica demostrativa para la retención de sedimentos y la corrección de cauces en el sector de pie de monte, donde el sedimento grueso es predominante.

### Imágenes del trabajo en campo



Fuente: Elaboración propia 2024.

Grafico 1. Nivel de Profundidad de Agua Subterráneas en la Cuenca Pedagógica Parani



Fuente: Elaboración propia 2024.

En la provincia Loayza del municipio de Sapahaqui de las comunidades de Parani, Chivisivi y Milli milli se hizo un trabajo de detección de napa freática en cual muestra el presente grafico a una profundidad de 6 a 12 metros observando 13.5 % de agua subterránea que alrededor de las vertientes de agua, del 13 a 15 metros de profundidad, a los 18 a 27 metros se encuentran con un 13.65 % donde presentan lugares rocosos, los sectores donde no se encuentran deslizamientos el almacenamiento de agua está a los 28 a 31 metros de

profundidad, en el aspecto de los 33 a 39 metros el nivel del agua van bajando de un 12.6 % a 11.7% y 5, 25% a medida que se alcanza una mayor profundidad.

### Imagen. De estudio de mapeo

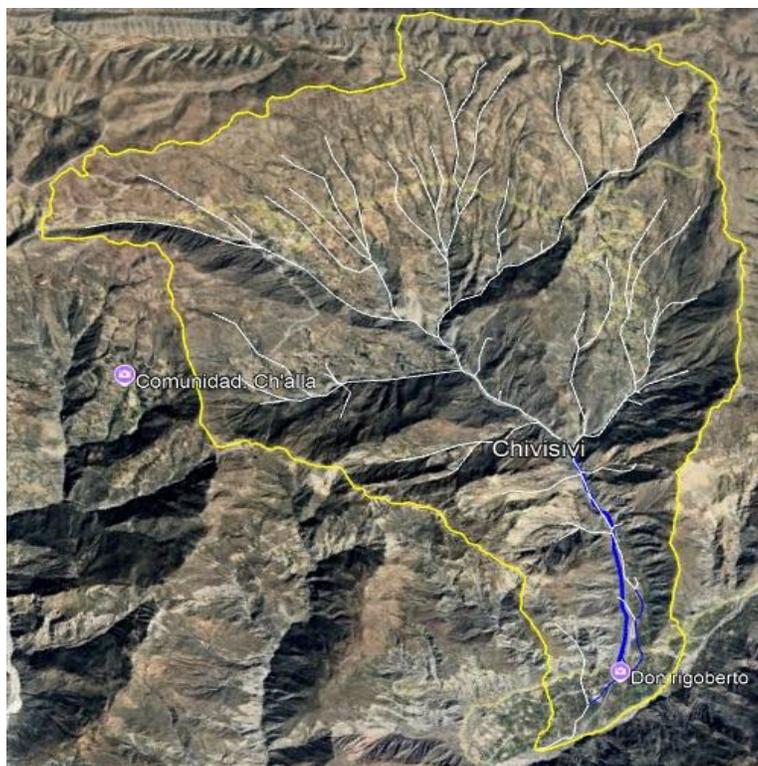


Imagen. Elaboración propia 2024

## 8.1 Estudios iniciales

### 8.1.1. Cuenca hidrográfica Parani

La cuenca hidrográfica Parani está categorizada como un sitio de alto riesgo, debido al continuo proceso de degradación por la pérdida de suelos agrícolas, lo que resulta en una disminución de la producción agrícola y pecuaria. En época de lluvias, los sedimentos arrastrados por las aguas de escorrentía superficial de las quebradas llegan al río Parani, aumentando la sedimentación en las zonas aguas abajo y provocando riesgos de desbordes en las poblaciones asentadas en las riberas de los ríos de Sapahaqui.

### Imagen. Sedimentación del río



Fuente. Elaboración propia 2024

#### 8.1.2. Geografía de la cuenca Parani

El diseño del proyecto en la cuenca Parani está geográficamente ubicado en las siguientes coordenadas, representadas en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Coordenadas Geografía de las Comunidades dentro de la Cuenca

UBICACIÓN	COORDENADAS UTM	
	ESTE S	NORTE W
MILLI MILLI	16933142° S	67.919319° W
PARANI	16970346° S	67.912182° W
CHIVISIVI	16951328° S	67.885188° W

Fuente: Elaboración propia 2024.

## 9 CRONOGRAMA

Se presenta un cronograma detallado para la implementación del Sistema de Monitoreo, especificando las fechas de inicio y finalización de cada actividad y/o etapa del proyecto. Asimismo, se elaboró un presupuesto estimado que contempla los costos asociados a equipos, personal, capacitación y mantenimiento del sistema a lo largo del período de estudio. Comprende las actividades que se desarrollan desde el momento en que se implementa el trabajo hasta la evaluación final del experimento y su respectiva evaluación o informe final. Este deberá ser desarrollado con el diagrama de Gantt:

**Cuadro 3. Cronograma de actividades**

Actividad	MESES						
	J	A	S	O	N	D	E
Socialización							
Taller de Capacitación							
Participación							
Verificación de sitio							
Trabajo de gabinete							
Presentación de borrador							
Defensa de Tesis							

Fuente: Elaboración propia 2024

## 10. PRESUPUESTO

Se incluyen todos los gastos que se realizaran durante todo el estudio, estos están divididos por tratamiento, ósea tener una relación de gastos para cada tratamiento, para un posterior análisis de costos.

Cuadro 4. Gastos operativos para la investigación (Expresado en bolivianos)

<b>Nº</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>	<b>P/U</b>	<b>Total (bs)</b>
1	Tubo	1	1	4 pulgadas	1600
2	Perforación	3	50m	750	35250
3	Unión, acople	1	12	85	1020
4	Sella rosca	1	1	4	5000bs
<b>Total</b>					<b>42870</b>

## 11. CONCLUSION.

Se identificaron las prácticas de manejo y conservación del recurso hídrico mediante la gestión y preservación de las vertientes de agua en la napa freática, que actualmente se llevan a cabo en la cuenca pedagógica Parani. Estas prácticas incluyen técnicas ancestrales y permiten llegar a las siguientes conclusiones:

- Se observó una disminución gradual en el porcentaje de agua en la cuenca, lo que podría indicar una reducción en la capacidad del caudal de agua. Esto podría deberse a una menor permeabilidad del suelo o a la presencia de formaciones geológicas que dificultan la retención de agua o almacenamiento.
- A pesar de la presencia de agua en vertientes, la disminución progresiva podría hacer menos eficiente, la búsqueda de agua subterránea llega ser una alternativa en la cuenca, donde a mayor profundidad mayor alternativa de extracción.
- Este estudio sobre la detección de la napa freática en la comunidad de Parani revela una distribución compleja del agua subterránea, con formaciones rocosas intercaladas que dificultan el acceso a mayores reservas. Los niveles con mayor porcentaje de agua (entre 6 y 12 m, y 18 y 27 m) parecen ser los más favorables para la extracción, especialmente en áreas cercanas a vertientes naturales. Sin embargo, a partir de los 28 metros, se observa una reducción significativa en la disponibilidad de agua, junto con la presencia de obstáculos rocosos.
- En cuanto al fortalecimiento de las familias involucradas en la gestión y conservación del recurso hídrico en las napas freáticas de la cuenca pedagógica Parani, se resalta la resiliencia ante los eventos climáticos mediante talleres participativos y la implementación asistida de prácticas conservacionistas en el área de la cuenca.
- La forma y topografía de la cuenca influyen en la acumulación de contaminantes, especialmente debido a la capacidad de arrastre de materiales en el río Parani, donde la fuerte corriente transporta sedimentos que cubren las vertientes de agua. Para mitigar este problema, se plantean prácticas como la forestación, diques de piedra, zanjas de infiltración, terrazas de formación lenta y barreras vivas con especies nativas.

- El estudio concluye que la identificación de monitoreo de napa freática en la cuenca parani municipio de sapahaqui, contribuirán a mitigar los efectos de los eventos climáticos. Este sistema permitirá que la población gestione y administre el recurso hídrico para conservar las vertientes de agua, tanto a nivel familiar como a nivel cuenca, asegurando su eficiencia a largo plazo y la conservación conjunta de los recursos hídricos para toda la comunidad.

## 12. RECOMENDACIONES

se concluye con la recomendación que todas las acciones de gestión y conservación del recurso hídrico deben tener como objetivo mejorar gradualmente las prácticas y la sostenibilidad alimentaria a través de la capacitación y orientación. Es importante combinar diversas prácticas para el cuidado del medio ambiente, ya que estas actividades no solo contribuyen a la conservación, sino que también generan un microclima en la cuenca.

Se recomienda realizar perforaciones en las capas entre los 6 y 12 m. así como entre los 18 y 27 m. donde se ha detectado una mayor concentración de agua subterránea.

Es importante llevar a cabo estudios adicionales sobre las formaciones rocosas en las profundidades intermedias (13-15 y 28-31 m.) para determinar si es viable perforar a través de ellas o si conviene evitarlas.

Dada la variabilidad en el porcentaje de agua subterránea, es esencial diseñar un plan de manejo sostenible del recurso hídrico, evitando la sobreexplotación de las capas acuíferas más accesibles.

Estos estudios son fundamentales para un uso adecuado del agua subterránea y para asegurar el acceso a recursos hídricos en áreas rurales.

En la comunidad de Parani, provincia Loayza, se realizó una demostración en tres puntos para mostrar la napa freática en diferentes lugares: Milli, Milli y Chivisivi.

Se recomienda gestionar terrazas de formación lenta, zanjas de infiltración y forestación como las prácticas más adecuadas para almacenar y conservar las napas freáticas. En particular, se sugiere que las plantaciones forestales se realicen a lo largo de las riberas del río para prevenir el arrastre de materia orgánica.

El fortalecimiento de las comunidades de Parani, Milli y Chivisivi mediante talleres es fundamental para mejorar la gestión y conservación de las vertientes de agua. Es esencial concientizar y capacitar a los promotores, organizaciones de gestión comunitaria (OGC) y regantes sobre el uso y consumo responsable del agua.

Se sugiere generar e implementar un plan de gestión y conservación del recurso hídrico, así como establecer controles sobre las cárcavas de los tributarios mediante la forestación para

mitigar la erosión, que es muy susceptible debido a la pendiente. También se recomienda utilizar mapas de identificación de napas freáticas, realizando estudios de potencial hídrico que beneficien a la población.

Se recomienda replicar las prácticas de manejo y conservación del recurso hídrico en otras cuencas, asegurando la conservación de las vertientes de agua. Es crucial que la población de la cuenca participe activamente en una gestión adecuada de conservación, protegiendo los suelos con coberturas vegetales para evitar la erosión y el arrastre de materia orgánica.

En el estudio se recomienda realizar prácticas de gestión y conservación del recurso hídrico, como el almacenamiento de las napas freáticas mediante la incorporación de terrazas de formación lenta, que permiten el cultivo en contorno (en pendientes menores al 15%), zanjas de infiltración y reservorios de agua (Q'otañas). También se sugieren prácticas físicas o mecánicas, como barreras vivas en las laderas del río, muros de piedra y la presencia de especies forestales, realizadas durante la gestión de 2024.

### 13. BIBLIOGRAFIA

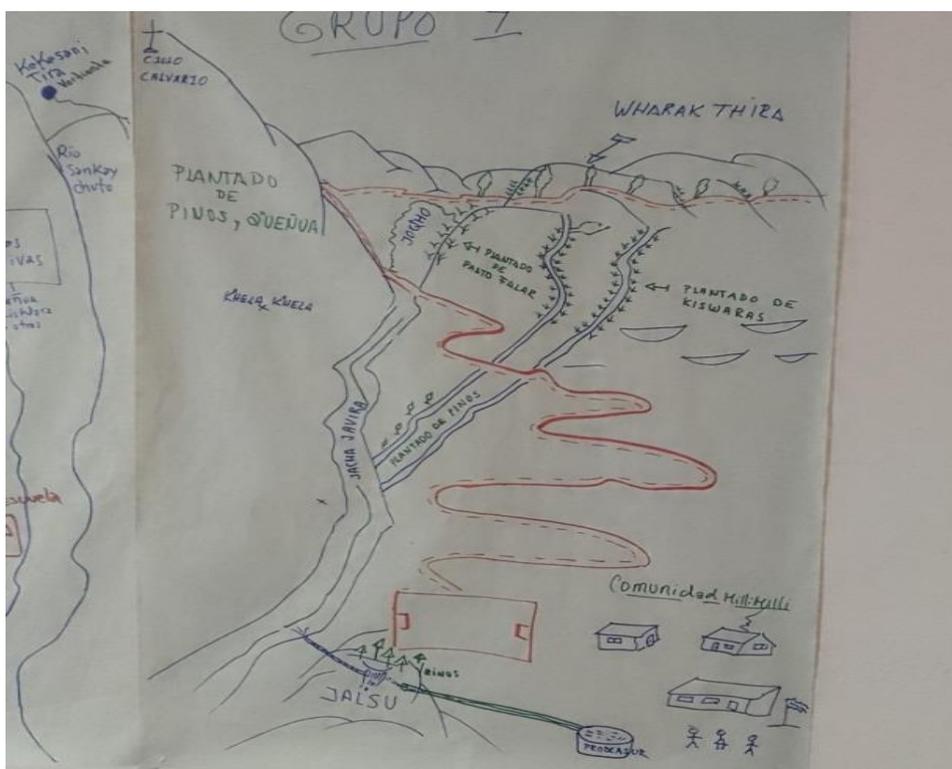
- Barrero R, J. (2014). Dinámica de la humedad del suelo y el nivel freático, y su influencia sobre el régimen de caudales en la cuenca Los Gavilanes, Veracruz – México. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR), Prefectura del departamento de Tarija. (Año). Título del informe o documento. Lugar de publicación: Editorial. [URL si está disponible en línea]
- Brown, T., & Green, A. (2022). Geología de acuíferos y recursos hídricos. Cambridge University Press.
- Caltrans. (2000). Permeability tests for tire-derived aggregate. Departamento of Transportation, California.
- Constitución Política del Estado. (2009). Gaceta Oficial del Estado Plurinacional de Bolivia. Recuperado de <https://www.lexivox.org/norms/BO-L-NCPE.html>
- Das, B. M. (1995). Principles of Geotechnical Engineering. PWS Publishing Company.
- Dirección Nacional de Política Hídrica y Coordinación Federal. (2023). Plan Nacional Federal de Aguas Subterráneas. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. [URL si está disponible]
- El Acuífero Yrenda-Toba-Tarijeño. (n.d.). Características geológicas y distribución en el Chaco boliviano. Recuperado de [URL si aplica]
- Ecología Verde. (2024). Qué es un acuífero y cómo se forma. Recuperado de [URL]
- Fernández, J. (2019). Técnicas de perforación y extracción de agua subterránea. Editorial Hidrogeología.
- Ferrer, J. (2010). Control de las aguas subterráneas en la Ingeniería Civil, interacción entre la obra y el medio hidrogeológico, síntesis de métodos de control y aplicación de modelos matemáticos. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- García, L. (2018). Hidrogeología: Fundamentos y aplicaciones. Universidad Técnica.
- García, L. (2019). Sistemas avanzados de monitoreo hídrico. Ediciones Científicas.
- Gobierno Autónomo Municipal de Sapahaqui. (2016-2020). Plan Territorial de Desarrollo Integral. La Paz: Gobierno Autónomo Municipal de Sapahaqui.
- Gómez, M. (2018). Diseño y construcción de pozos profundos. Instituto de Recursos Hídricos.
- Gómez, R. (2017). Hidrología subterránea: Principios y aplicaciones. Academia Nacional de Ciencias.
- González, A. (2018). Impacto ambiental: Conceptos y casos. Editorial Medio Ambiente.

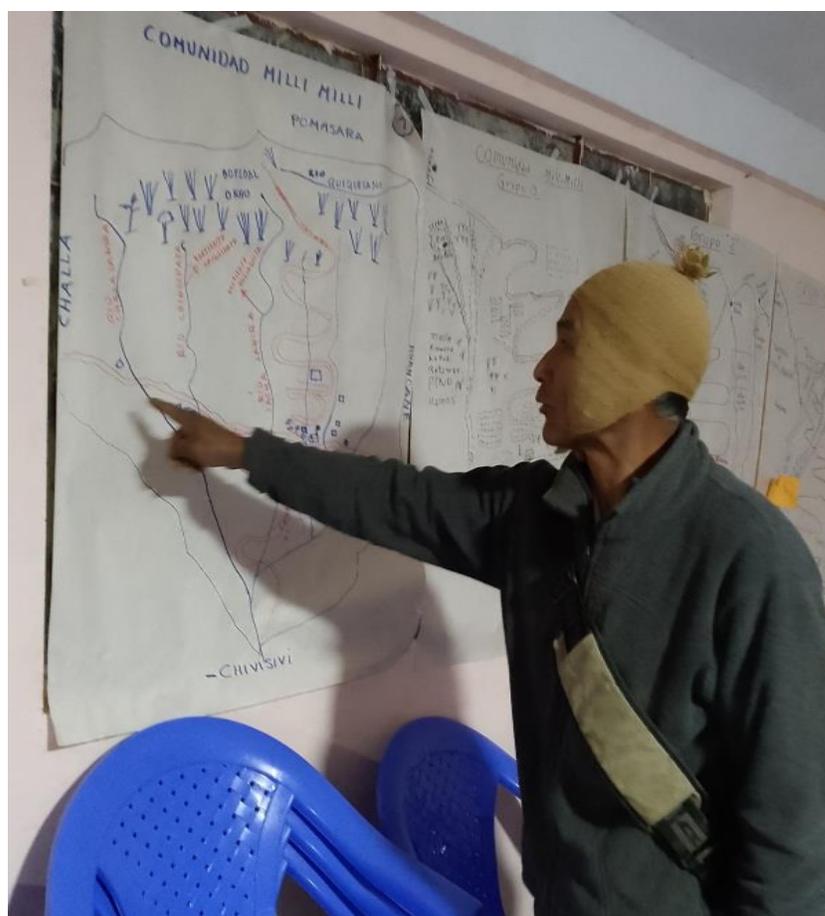
- Gómez, R. (2021). Características de las surgencias y manantiales. *Revista de Hidrología*, 35(4), 45-58.
- González, M. (2020). Desafíos en la gestión y uso del agua en Bolivia: Avances y retos del sector hídrico.
- Gómez, A. (2024). \*Gestión y calidad del agua subterránea\*. Editorial Ambiental.
- Global Water Partnership. (2018). The Global Water Partnership: A short introduction. <https://www.gwp.org>
- Humphrey, D. N., Katz, L. E., Blumenthal, M., & Sandford, T. (1997). Water quality effects of using tire chips below the groundwater table Federal Highway Administration.
- Humphrey, D. N., & Katz, L. E. (2000). Five-year study of the water quality effects of using tire shreds as a free-draining fill. *Water Research*, 34(10), 2907-2912.
- IGME. (2003). Actualidad de las técnicas geofísicas aplicadas en hidrogeología - aguas subterráneas. Madrid: IGME.
- Instituto Nacional de Estadística de Bolivia. (2022). Censo de Población y Vivienda. Disponible en: INE Bolivia.
- Instituto Nacional del Agua. (2021). Informe sobre el uso de aguas subterráneas. Instituto Nacional del Agua. [URL si está disponible]
- Jones, P. (2020). Uso y gestión del agua subterránea en Estados Unidos. Editorial Americana.
- Lee, H., & Brown, T. (2021). Litología y porosidad en acuíferos. *Journal of Geology*, 29(2), 112-125.
- López, B. (2019). Ecología y conservación en Bolivia. Universidad de La Paz.
- López, J. (2020). Impacto de las inundaciones en la proliferación de Bemisia. *Journal of Environmental Studies*, 18(4), 210-225.
- López, M. (2018). Contaminación y gestión de aguas subterráneas. Eco Editores.
- López, R. (2016). Geología y recursos hídricos. Editorial Andina.
- López, F. (2024). Distribución de la precipitación pluvial y su impacto en la gestión del agua en Bolivia..
- Martínez, A. (2017). Dinámica del nivel freático y sus implicaciones. Universidad de La Paz.
- Martínez, C. (2020). Recursos naturales y desarrollo sostenible en Bolivia. Editorial Andina.
- Martínez, J. (2021). Estudios de variabilidad en recursos hídricos. Instituto de Investigaciones Hídricas.
- Márquez, R., & Soto, J. (2020). Gestión integrada de recursos hídricos en cuencas: desafíos y oportunidades. Editorial Universitaria.

- Mendoza, L. (2020). La gestión sostenible del agua y sus desafíos históricos. *Revista de Recursos Hídricos*, 15(2), 45-60.
- Miranda, G., Pérez, R., & Sánchez, M. (2000). *Estudios Hidrográficos del Altiplano Boliviano*. Editorial Universitaria.
- Miller, A., Thompson, L., & Davis, K. (2020). Zonas impermeables en acuíferos. *Water Resources Research*, 56(3), 78-89
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua [MMAyA]. (2006). *Plan Nacional de Cuencas: Gestión Integrada de Recursos Hídricos y Manejo Integral de Cuencas*. La Paz, Bolivia: MMAyA.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua [MMAyA]. (2018). *Plan Nacional de Cuencas: Informe de Gestión 2018*. La Paz, Bolivia: MMAyA.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua [MMAyA]. (2022). *Desarrollo de capacidades en GIRH – MIC en la cuenca pedagógica Parani, municipio de Sapahaqui*. La Paz, Bolivia: MMAyA.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2022). *Estudio sobre la disponibilidad de agua superficial y subterránea*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. [URL si está disponible]
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua [MMAyA]. (2022). *Desarrollo de capacidades en GIRH – MIC en la cuenca pedagógica Parani, municipio de Sapahaqui*. La Paz, Bolivia: MMAyA.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia. (2023). *Estudio Integral de la Cuenca del Río Guadalquivir*. Disponible en: Ministerio de Medio Ambiente y Agua.
- Ministerio de Medio Ambiente y Agua de Bolivia. (2023). *Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Disponible en: Ministerio de Medio Ambiente y Agua.
- Morales, J. (2023). *Impactos de la degradación de las vertientes de agua en América Latina y sus consecuencias*.
- O'Connor, J. (2019). Infiltración y percolación en acuíferos. *Environmental Science & Policy*, 22(1), 34-50.
- Ortiz Quispe, R. W. (2017). *Influencia de la variación del nivel freático en la capacidad portante de los suelos*. [Tesis de maestría, Universidad]. URL
- Pérez, S. (2019). *Historia de la extracción de agua subterránea*. Editorial Científica.
- Pérez, J. (2023). *\*Geología y recursos hídricos\**. Editorial Académica.
- Pitarch, C. (2012). Determinación del nivel freático del agua subterránea de una isla mediante imágenes del altímetro ASTER. *Asociación Española de Teledetección*, 8.

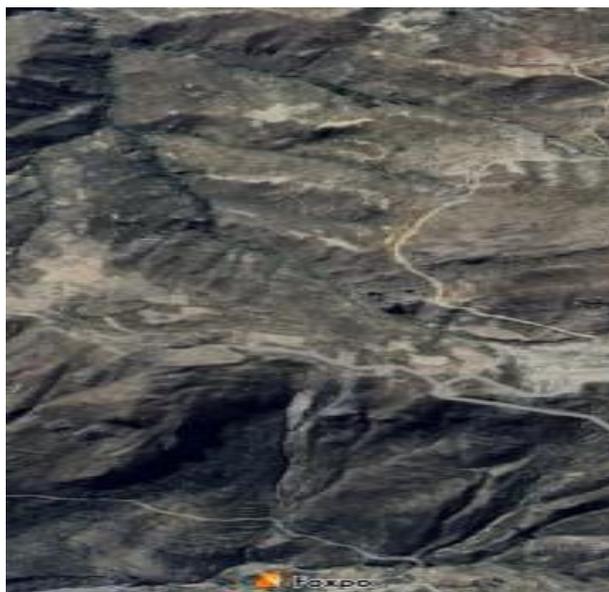
- Proyecto Pedagógico Parani. (2022). Evaluación de la Situación Hidrológica y Propuestas de Mitigación en la Cuenca Parani. Universidad Técnica de Oruro.
- Ramírez, C. (2020). Estudios de disponibilidad de agua subterránea. Editorial Hidrológica.
- Rodríguez, P. (2020). Monitoreo y control de recursos hídricos subterráneos. Editorial Universitaria.
- Rodríguez, D. (2021). Métodos de evaluación de impacto ambiental. Instituto de Investigación Ambiental.
- Rodríguez, J. (2022). Impacto de la explotación de aguas subterráneas en el Chaco Sudamericano. Universidad Nacional de Asunción. [URL si está disponible en línea]
- Sánchez, J. (2019). Distribución del agua dulce en el planeta. *Revista de Hidrología*, 12(3), 45-57.
- Sánchez, J. (2024). Las cuencas hidrográficas como sistemas de relaciones sociales, económicas y ambientales.
- Smith, J., & Johnson, L. (2022). Fundamentos de la hidrología subterránea. Springer.
- SEMAPA, et al. (1994). Estudio hidrogeológico de la zona El Paso, Cochabamba. Servicio Municipal de Agua Potable y Alcantarillado.
- Suárez, J. (2024). Las cuencas, subcuencas y microcuencas como sistemas naturales dinámicos.
- Smith, J. (2023). Introducción a los acuíferos. *Journal of Hydrogeology*, 40(1), 22-35. Smith, D. (2018). Agricultura y uso del agua subterránea. Instituto Agrícola.
- Torres, P., López, A., & Pérez, M. (2019). Calidad y disponibilidad del agua en las cuencas hidrográficas. *Revista de Recursos Hídricos*, 12(3), 45-67.
- WATERAID. (2013). Hand-dug wells – Technical brief. London (UK): WaterAid. [URL PDF]
- WATERAID. (s.f.). Pozos excavados y agua subterránea. Recuperado de <https://www.wateraid.org>
- Wilson, G. (2023). Gravedad y circulación del agua en acuíferos. *Hydrogeology Journal*, 31(5), 567-580.
- World Health Organization. (2021). Water, sanitation, hygiene, and health. [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health](https://www.who.int/water_sanitation_health)
- Vásquez, A., Vásquez, I., Vásquez, C., & Cañamero, M. (2017). Fundamentos de la Ingeniería de Riego. Lima, Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina.

## 14. Anexo 1. Inicio de Taller sobre las Napas Freáticas.





Fuente: Elaboración propia 2024.

**Anexo 2. Identificación del Área en el Taller de Capacitación.**

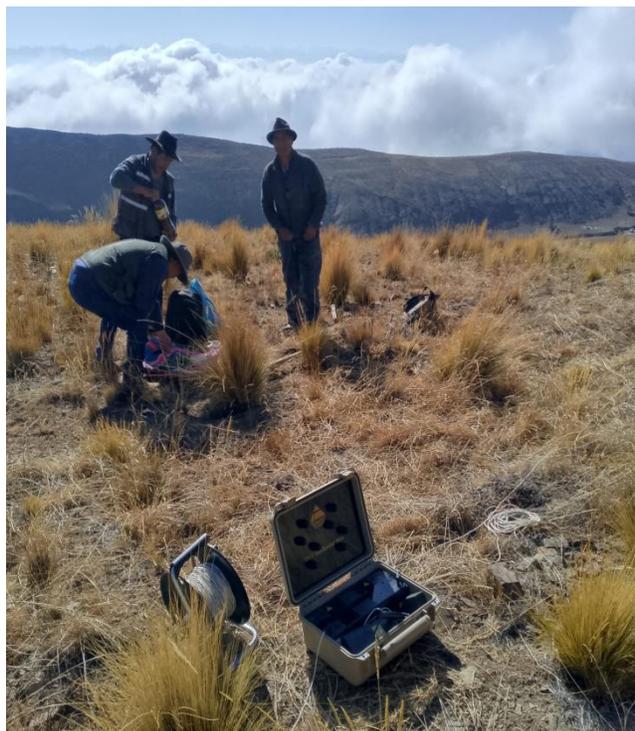
Fuente: Elaboración propia 2024.

### Anexo 3. Ubicación del Área de Diagnóstico.



Fuente: Elaboración propia 2024.

Anexo 4. Tradición de la comunidad según su costumbre.



Fuente: Elaboración propia 2024.

### Anexo 5. Recopilación de Datos.



Fuente: Elaboración propia 2024.

**Anexo 6. Información de los datos.**

Fuente: Elaboración propia 2024.

**FORMULARIO DE ENCUESTA EN SISTEMA DE MONITOREO DE NAPA FREÁTICA EN LA CUENCA  
PARANI MUNICIPIO DE SAPAHAQUI**

Nombre del Encuestado:.....

Comunidad:.....

Municipio:.....

Fecha de encuesta:.....

**1. ¿Tiene algún conocimiento sobre la Napa Freática?**

Si

No

**2. ¿alguna vez sea realizado algún estudio sobre la napa freática y su calidad de agua?**

Si

No

Si en caso respuesta fuera Si cuales fueron.....

**3. ¿Cuántas veces se a realizado la perforación de pozo en su comunidad?**

1 vez

2 veces

Ninguno

**4. ¿Qué tan importante considera el uso del agua para el desarrollo de tu comunidad?**

- Muy importante

- Importante

- Poco importante

- No importante

**5. ¿Cuáles son los principales problemas en el acceso del aguade la napa freática en su comunidad?**

- Escasez

- Contaminación

- Acceso limitado

- Otros (especificar)

.....

**6. ¿Crees que hay suficiente educación sobre el uso y conservación del agua de la napa freática en su comunidad?**

- Sí
- No
- No estoy seguro

**7. Si vives en una zona agrícola, ¿cómo afecta la disponibilidad de agua a la producción de cultivos?**

- Muy afectada
- Algo afectado
- Poco afectada
- No afecta

**8. ¿Conoces alguna iniciativa en tu comunidad para reciclar o reutilizar agua de la napa freática?**

- Sí (especificar)
- No

**9. ¿Crees que el cambio climático está afectando la disponibilidad de agua en tu área?**

- Sí
- No
- No estoy seguro



ESTADO PLURINACIONAL DE  
**BOLIVIA**

MINISTERIO DE  
MEDIO AMBIENTE Y AGUA



PROYECTO DESARROLLO DE CAPACIDADES LOCALES Y ACADEMICAS EN GIRH-MIC EN LA CUENCA PEDAGOGICA DE PARANI

- MUNICIPIO DE SAPAHAQUI.  
UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO  
CARRERA INGENIERIA AGRONOMICA  
**LISTA DE PARTICIPANTES**

ACTIVIDAD: Taller  
TEMA: Datacion de agua con los comunarios  
COMUNIDAD: Milli Milli

Fecha: / /

ID	NOMBRES Y APELLIDOS	C.I.	CARGO	CELULAR	FIRMA
	Elizabeth Apara y.	8377154 LP	Estudiante	7070585	<i>[Signature]</i>
	Jeaneth Cayllaguero H.	6002799 LP	Estudiante	63320766	<i>[Signature]</i>
	Marilen Rodriguez T.	8351333 LP	Estudiante	64071825	<i>[Signature]</i>
	Veronica Espinoza Zorot	71109381 LP	Estudiante	74707053	<i>[Signature]</i>
	Maribel Quispe Romero	14296902 LP	Estudiante	60660323	<i>[Signature]</i>
	Zulma Eva Quispe Guarachi	9110863 LP	Estudiante	65691249	<i>[Signature]</i>
	Joana Herdy Flores Michus	9094711 LP	Estudiante	77703843	<i>[Signature]</i>
	Jonathan Quispe Gomez	11066445 LP	Estudiante	63192255	<i>[Signature]</i>
	Marcos Chipana Ch	9242527 LP	Universitario	73033426	<i>[Signature]</i>
	Rodrigo Sindy	4934841 LP	U.N.O.	73733041	<i>[Signature]</i>
	Silvia E. Quispe H	9086560 LP	Estudiante	6957281	<i>[Signature]</i>
	Dorwin Elio Flores C	9110444 LP	Estudiante	65894416	<i>[Signature]</i>
	Yemer Quispe Chavez	4856048 LP	Estudiante	41334512	<i>[Signature]</i>
	MARIP HERNANDEZ CHAVE	9971112 LP	Estudiante	62446259	<i>[Signature]</i>
	Juan CRISTIAN HERNANDEZ	7073282 LP	Estudiante	67134471	<i>[Signature]</i>
	Brigida Quispe Espinoza	7096014 LP	Estudiante	67428995	<i>[Signature]</i>
	Solma Ramon Silla	10083563 LP	Estudiante	68161990	<i>[Signature]</i>
	Carlos David Torres	987453 LP	Estudiante	63252108	<i>[Signature]</i>
	Aizeth Mamani Calle	40089884 LP	Estudiante	71942922	<i>[Signature]</i>
	Willy Zora Choque	11089324 LP	Estudiante	77285486	<i>[Signature]</i>
	Sigal Quispe Tinto	20092275 LP	Estudiante	68113362	<i>[Signature]</i>
	Ariel Silvestre Quispe	4855804 LP	Universitario	76156442	<i>[Signature]</i>
	Milton A. Araza Silvestre	1242209 LP	Estudiante	63117821	<i>[Signature]</i>
	Anna Melisa Quenteh	7066661 LP	Estudiante	70601181	<i>[Signature]</i>
	Jessica Xyra Condori	7075131 LP	Estudiante	73554225	<i>[Signature]</i>
	Hugo Azo Kampa	6845658 LP	Estudiante	68256457	<i>[Signature]</i>
	Franz Luis Quispe Gilvez	9074632 LP	Estudiante	74901325	<i>[Signature]</i>
	Edgar Salgado Joverato	4882861 LP	Estudiante	79674062	<i>[Signature]</i>

*[Signature]*  
Fabian Zapata Torres  
PRESIDENTE  
O.G.C.-PARANI  
Gestión 2023







ESTADO PLURINACIONAL DE BOLIVIA  
MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y AGUA



PROYECTO DESARROLLO DE CAPACIDADES EN GIRH- MIC EN LA CUENCA PEDAGOGICA PARANI, MUNICIPIO DE SAPAHAQUI  
UNIVERSIDAD PUBLICA DE EL ALTO  
CARRERA INGENIERIA AGRONOMICA  
**LISTA DE PARTICIPANTES**

ACTIVIDAD: .....

TEMA: Deteccion de agua con los comunarios

Fecha: 110 108 12024

COMUNIDAD: Parani

ID	NOMBRES Y APELLIDOS	C.I.	CARGO	CELULAR	FIRMA
	Amirceel Alarcón G.	2229906	Alta general	71945213	<i>[Signature]</i>
	Domingo Gallardo C.	2714361	Vocal	73066172	<i>[Signature]</i>
	Fabian Zapata Torrez	2284602	Secretario OGC	71911457	<i>[Signature]</i>
	P. Roberto Cordero G.	2154016	Secretario General	67049720	<i>[Signature]</i>
	Alciana Vidal Loayza	6853035	Promotor	64251225	<i>[Signature]</i>
	Rose Mary Quispe Wasco	4754955 L.P.	Secretaria general	73066589	<i>[Signature]</i>
	Jesús A. Kapa Ch.	2593449	OGC	73286634	<i>[Signature]</i>
	Reynaldo Chagué H.	2347059 L.P.	Promotor	67143634	<i>[Signature]</i>
	Hidalgo Xabre GARCIA P.	2560937	Promotor	77742232	<i>[Signature]</i>
	Alfredo Parry H.	2560708 L.P.	V. te OGC	63167809	<i>[Signature]</i>
	Franklin J. Maurini Teco	830609 L.P.	Promotor	73292578 L.P.	<i>[Signature]</i>
	Viana Jucio Cordero G.	3333557 L.P.	Promotor	74034714	<i>[Signature]</i>
	Guido Bustamante Hualachi	6904184 L.P.	Consultor	73054127	<i>[Signature]</i>
	Eric Mariani Montevilla	8315167 L.P.	consultor tecnico	60179912	<i>[Signature]</i>
	Lizeth Maria Calderon Mollo	4882942 L.P.	Tecnico	76256056	<i>[Signature]</i>
	Wilson Yapu Mamani	7081536 L.P.	Tecnico	73058658	<i>[Signature]</i>
	Joaquin Guira Kapayrigue	6791033 L.P.	Consultor	71269648	<i>[Signature]</i>
	Maria S. Antonio Mamani	8819046 L.P.	Tecnico	71251823	<i>[Signature]</i>
	Victor Fidel Usualdo	2565564 L.P.	Consultor	73739609	<i>[Signature]</i>
	Ericka M. Huarcachi Gutierrez	10926444 L.P.	Tecnico	65675678	<i>[Signature]</i>
	Glady's Eva Quispe Lipe	9140063 L.P.	Tecnico	71205762	<i>[Signature]</i>
	Juan A. Castro Variga	1079247 L.P.	tecnico	655111668	<i>[Signature]</i>
	Lidja Epzeth Mamani	0927429 L.P.	Tesista	73582888	<i>[Signature]</i>
	Freddy Sanchez Yura	7056244 L.P.	Consultor	68022563	<i>[Signature]</i>
	Johnny Peco Chiri	6069425 L.P.	Tesista	60625751	<i>[Signature]</i>

*[Signature]*  
Fabian Zapata Torrez  
PRESIDENTE  
O.G.C.-PARANI  
Gestión 2023









