



**HYDRAULIQUE SANS FRONTIERES**

14 rue Louis de Vignet – 73000 Chambéry – Francia

Tel. / fax : (+33) 04 79 69 35 08



## **Proyecto de suministro de agua potable para Samaipata (Bolivia)**



**Estudio de recursos hídricos viables para el suministro de agua para la comunidad urbana de Samaipata**

Septiembre 2024

Tabla de contenido

<b>1. RESUMEN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>4</b>
<b>2. MARCO DEL PROYECTO .....</b>	<b>9</b>
2.1. Ubicación del proyecto y su origen .....	9
2.2. Presentación y roles de los distintos actores durante el proyecto.....	10
2.3. Enumeración de los objetivos y actividades realizadas.....	11
2.4. Presentación del informe.....	13
<b>3. GOBERNANZA DEL AGUA.....</b>	<b>13</b>
<b>4. GEOLOGÍA .....</b>	<b>16</b>
4.1. Geología general .....	16
4.2. Litología de las formaciones .....	16
4.3. Contexto estructural .....	17
4.4. Cortes geológicos.....	18
<b>5. HIDROLOGÍA .....</b>	<b>20</b>
5.1. Contexto físico .....	20
5.1.1. Clima .....	20
5.1.2. Hidrografía.....	20
5.2. Hidrología superficial .....	20
5.3. Hidrología subterránea .....	22
5.3.1. Formaciones acuíferas.....	22
5.3.2. Permeabilidad .....	22
5.3.3. Áreas de alimentación de corrientes subterráneas .....	23
5.4. Recuento de los recursos hídricos.....	25
<b>6. FUENTES DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS .....</b>	<b>25</b>
6.1. Introducción .....	25
6.2. Contaminación de aguas superficiales .....	26
6.2.1. Contaminación de las aguas de la cuenca hidrográfica de Chorrillo .....	26
6.2.2. Contaminación de las aguas de la cuenca hidrográfica de Tambillo.....	28
6.2.3. Contaminación de las aguas de la cuenca hidrográfica Astillero .....	30
6.2.4. Contaminación de las aguas de la cuenca hidrográfica de El Fuerte .....	30
6.3. Contaminación de las aguas subterráneas .....	33
6.3.1. Perforación de COOPFLOR de La Carretera .....	33
6.3.2. Aguas subterráneas del sector El Sauce.....	36
6.3.3. Aguas subterráneas del sector aguas abajo de la cuenca de Astillero .....	36
6.3.4. Contaminación de las aguas subterráneas por la presencia urbana.....	38
6.4. Contaminación de aguas después de su extracción.....	38
6.5. Resumen .....	39



6.6. Recuento y recomendaciones sobre la contaminación de las aguas .....	41
<b>7. INVESTIGACIONES COMPLEMENTARIAS CON MIRAS A UN PROYECTO GLOBAL DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE .....</b>	<b>42</b>
<b>8. CONCLUSIÓN GENERAL.....</b>	<b>44</b>
<b>9. ANEXOS.....</b>	<b>46</b>

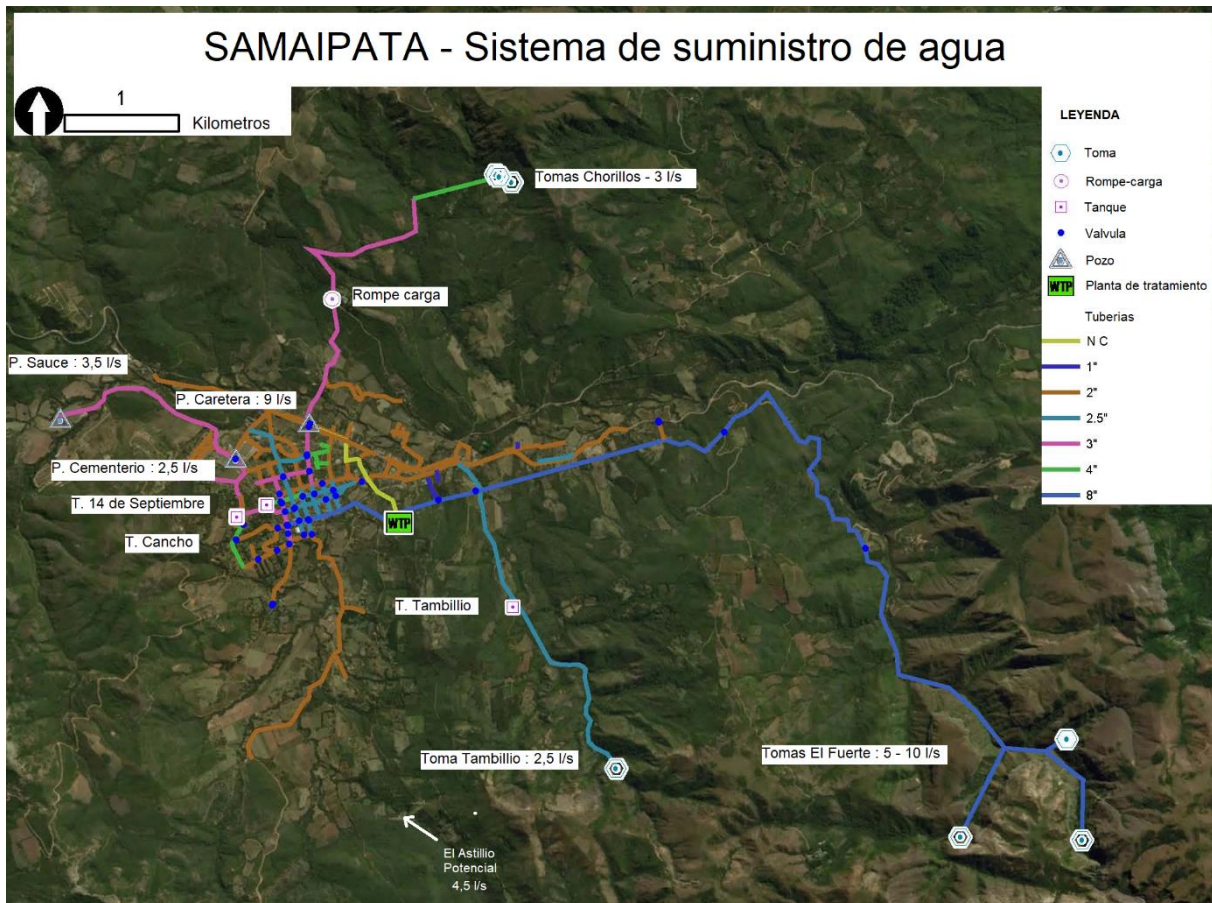
## 1. RESUMEN Y CONCLUSIONES

### Marco

El suministro de agua potable en la Municipalidad de Samaipata enfrenta dificultades en cuanto a recursos hídricos en el ámbito tanto cuantitativo como cualitativo.

En lo relativo al centro urbano (5.000 habitantes), el agua suministrada no es potable por la gran cantidad de coliformes que contiene. Además, en períodos de picos en la demanda, el servicio de agua no está asegurado, por falta de agua y por motivos de ineficacia de las instalaciones presentes (red y posibilidad de almacenamiento). Las lagunas que recogen las aguas servidas no cuentan con revestimiento y vierten directamente en el río, contaminando así el agua para los usuarios río abajo.

Una de las prioridades de las autoridades locales es constituir un plan de inversión a largo plazo que permita un uso racional de los recursos disponibles, de tal manera de satisfacer las necesidades de agua potable de la población de la municipalidad entera y proteger contra todo riesgo de contaminación. Las autoridades consideran que para realizar este plan en el largo plazo, es urgente realizar un diagnóstico cuantitativo de los recursos hídricos disponibles en la municipalidad.



El diagnóstico realizado por HSF permitió llegar a las siguientes conclusiones:

### Conclusiones cuantitativas

- Los cursos de agua son altamente vulnerables a la contaminación (obras, actividades agropecuarias, etc.) y al cambio climático. Este último afecta los caudales que ya están en disminución progresiva en los períodos de estiaje.

- Los manantiales constituyen los mejores recursos desde el punto de vista cualitativo. Los caudales captados actualmente tienen un total de 10 a 12 l/s durante el estiaje. Estos niveles varían y se espera que las fluctuaciones se acentúen en el futuro.

Cabe notar que existen pequeños manantiales perenes no captados, sobre cuyos caudales se tiene poca información. Además, existen manantiales en la microcuenca Paredones (ver a continuación). Varios pequeños surgimientos de agua se agotan en la época seca.

- La capa freática aluvial en la cuenca de Samaipata es muy vulnerable hacia la actividad humana e industrial, como lo demuestran los pozos contaminados de La Carretera. Por otra parte, los caudales de bombeo se encuentran limitados por el débil espesor de los aluviones y por la recarga irregular aguas arriba en la época de lluvias, con recarga muy débil en la época seca. Ninguna fuente conocida proviene de los aluviones acuíferos. Además, este recurso aluvial parece ser mínimo para el futuro.

Obsérvese que los coluviones y los pedregales tienen, por su limitadas extensión, únicamente pequeñas fuentes temporales.

- El agua subterránea en lugares rocosos es el único recurso hídrico de calidad, como lo demuestran diferentes análisis realizados de las distintas fuentes captadas. Los caudales medidos de estas fuentes indican que los entornos acuíferos rocosos (particularmente Tupambi) son amplios y poseen una gran capacidad de retención (caudal sostenido durante el estiaje).

Es probable que algunas zonas profundas estén saturadas por disposiciones estructurales particulares: fondo sinclinal, fallas que causan contacto con areniscas fracturadas y formaciones arcillosas impermeables, etc. Es importante notar que la información sobre estas condiciones estructurales proviene de interpretaciones cartográficas, si bien en relación con el relieve, las fuentes existentes y los caudales subterráneos generales, estas zonas constituyen acuíferos potenciales a ser detallados en una etapa posterior.

### **Investigaciones complementarias con miras a un proyecto global de suministro de agua potable**

Persiste incertidumbre en cuanto a las zonas identificadas como favorables, por lo que bajo una perspectiva de planificación a largo plazo convendría realizar reconocimiento por sondaje que tendría la finalidad de determinar la capacidad de los acuíferos profundos de proporcionar agua en términos de calidad y cantidad, de manera de cubrir las necesidades actuales en el estío y por otro lado encarar necesidades futuras.

Las capas potencialmente acuíferas (Escarpment, Tarija y Tupambi), que muestran condiciones favorables para almacenar agua subterránea, se encuentran en zonas de topografía accidentada. Estudios geológicos no parecen apropiados.

Se propone una serie de **seis sondajes** de método destructivo, con pruebas de bombeo, realizados en los **tres sectores** que poseen estructuras favorables (por interpretación cartográfica). Se trata de zonas en campo abierto, con muy poca población y zonas de pastoreo en sus cimas.

La implementación de los sondajes fue el objeto de reconocimientos preliminares en el campo.

Resulta que se debería dar prioridad las dos perforaciones exploratorias, una en el sector El Fuerte (S<sup>2</sup>) y la otra en sector aguas arriba de Astillero (ubicación exacta por determinarse).

Estas investigaciones también pusieron en evidencia la existencia de interesantes recursos acuíferos de superficie en la microcuenca de Paredones que se encuentran a una cota por encima de la zona urbana de Samaipata, por lo que podrían explotarse por gravedad. La captación de estas aguas exigiría un convenio de uso compartido del recurso entre la comunidad rural del lugar y COOPFLOR.

En el Anexo I se encuentra el informe de estos reconocimientos preliminares.



### Conclusiones cualitativas

El estudio realizado permitió identificar las distintas fuentes de contaminación del agua que actualmente se capta para el suministro de la zona urbana de Samaipata.

Se pueden clasificar los orígenes de la contaminación del agua suministrada a Samaipata por orden de importancia, como sigue:

- La principal contaminación es natural, si bien causada por el hombre. Se trata de productos de erosión minerales y orgánicos relacionados con la tala de bosques y que causan turbidez en la época de lluvias. Es el resultado de protección deficiente de la cuenca hidrográfica en las zonas de captación.

Las cuencas hidrográficas de El Fuerte y de Tambillo se ven afectadas, a pesar de las normas vigentes (ANMI Río Grande – Área Protegida Departamental).

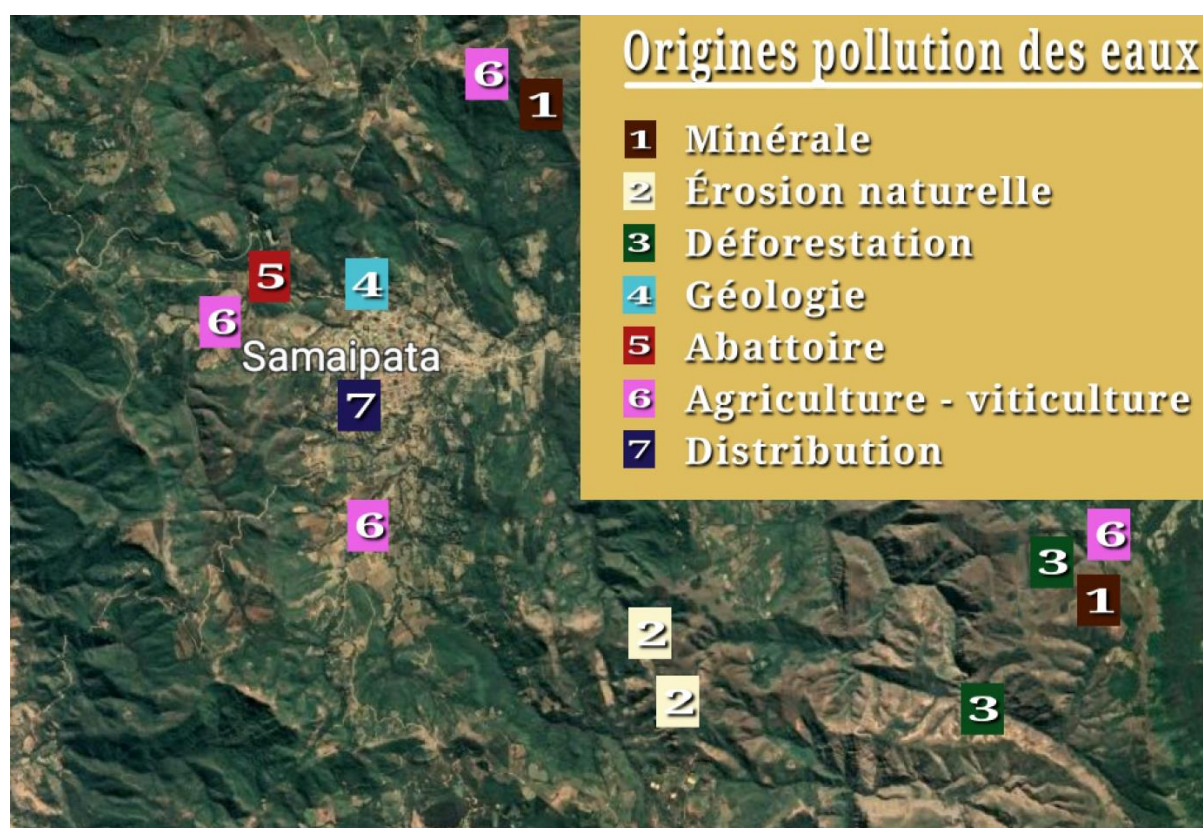
- La contaminación secundaria es fitosanitaria. Es marginal (no detectada por análisis) en la cuenca hidrográfica de El Fuerte, pero va en aumento en el sector periurbano de Samaipata, donde sí es detectada por análisis, en Astillero aguas abajo y El Sauce.
- La contaminación localizada afecta la perforación de La Carretera (por el matadero y/o capas salíferas profundas).

*Surgen las siguientes recomendaciones:*

- Para El Fuerte, la creación de un área protegida de 400 has. con reforestación espontánea y dirigida (de múltiples especies), de tal manera de reequilibrar la cuenca hidrográfica, restaurando el potencial original de reserva de agua potable y deteniendo la erosión de suelos y la contaminación mineral de aguas

(arenas y limos). El exceso de hierro deberá ser tratado por oxigenación (oxidación) al aire libre, en forma de cascada, antes del almacenamiento en el reservorio.

- Para Chorrillo, separación de aguas contaminadas y aguas limpias. Asignación de aguas limpias al consumo humano como prioridad. Las demás aguas requieren un tratamiento apropiado por separado.
- Para Tambillo, la implementación de obras de retención de suelos (cordones de bolsas de arena) y plantaciones de arbustos en forma de curva en los gaviones, según el caso, aguas arriba de las áreas de captación superiores.
- Para Astillero, protección aguas arriba de las captaciones por gaviones que limitan el flujo de materia en suspensión a las captaciones.
- Para las perforaciones de La Carretera, muestras en cada nivel de las perforaciones con análisis de agua por separado deberán lograr identificar el origen de la contaminación profunda. Una vez identificado este origen, se deberá considerar emplazar un dispositivo para bombear únicamente agua no contaminada por sal.
- El taller secundario del matadero (de pre curtido) deberá ser ubicado en otro lugar.
- Para las perforaciones de la zona de El Sauce, reforestación de 260 has. aguas arriba de la cuenca hidrológica, más allá de Cerro de la Patria (mapa adjunto) y acompañamiento de los viticultores y otros productores en un manejo ecológico de los cultivos.
- Para el Valle de Samaipata, sector aguas abajo de Astillero, acompañamiento de los ganaderos, viticultores y productores en general en un manejo ecológico de los cultivos (protección de la calidad del agua de la nueva perforación de COOPFLOR).



### Planificación de corto plazo

- Implementación de las recomendaciones de este informe en temas de protección de la calidad del recurso hídrico actual, tal como se menciona arriba

- Implementación de las recomendaciones del estudio de WEFTA, pues éstas indican acciones que permiten mejorar en el muy corto plazo la situación actual de suministro de agua en Samaipata; es decir, complementar el plano de la red actual con la ubicación de todas las obras, mejorar la infraestructura existente para evitar contaminación local del agua, considerar instalaciones de tratamiento de agua apropiadas, y completar y optimizar el almacenamiento de agua río abajo de los puntos de extracción.
- Ejecutar los estudios de investigación propuestos para identificar los recursos hídricos que se requiere movilizar para satisfacer las necesidades de Samaipata en el largo plazo.

### **Planificación de largo plazo**

Una vez que se haya identificado los nuevos recursos, se podrá proceder a una planificación de largo plazo (2050) de suministro de agua en Samaipata. Será necesario un estudio de factibilidad para determinar y programar la solución óptima que permita satisfacer el suministro de agua en la ciudad en el largo plazo.

El estudio se basará en una revisión y síntesis de la documentación existente, buscando valorar todos los esfuerzos anteriores y procurando coherencia del estudio con otras iniciativas de desarrollo de la municipalidad.

Esta revisión cubrirá los siguientes aspectos:

- Infraestructura urbana y políticas sectoriales: desarrollo urbano, comunicación, vías, plan de ocupación, actividades económicas (industriales, comerciales, servicios)
- Planos generales de la infraestructura existente, datos de la explotación de los sistemas; proyectos en proceso de ejecución y servicios planificados
- Datos hidrogeológicos e hidrográficos de la zona del estudio
- Estudios socioeconómicos, investigaciones, análisis de las actividades económicas, empleo, estructura de los ingresos de los hogares
- Datos de censo y estudios demográficos (proyecciones de nacimientos, mortalidad, migración y población en la ciudad y de la zona particular del estudio)

Un resumen de la información recolectada se concentrará en la caracterización del sector agua y saneamiento de la zona del estudio, permitiendo determinar los parámetros de base relativos a la evolución de la demanda con horizonte 2040.

Sobre la base de proyecciones de demanda y de la evaluación de los recursos disponibles, se presentará un recuento de los recursos hídricos con una cuantificación de recursos a ser movilizados para atenuar futuros déficits.

Convendría también realizar un diagnóstico detallado de las instalaciones de suministro de agua potable existentes: las instalaciones de generación de agua potable y de tratamiento, la explotación de las redes de distribución, la identificación de carencias, las medidas de protección del recurso a ser implementadas, y las instalaciones por rehabilitar y reemplazar.

Se formularán variantes de nuevas instalaciones para el horizonte del proyecto. Las instalaciones existentes y futuras serán presentadas en mapas y diagramas, con esquemas que describan su funcionamiento en conjunto.

La infraestructura de saneamiento autónoma y colectiva actual será también evaluada, identificando los problemas que afectan de manera directa la situación sanitaria y ambiental (contaminación, recursos de agua, e impacto en el medioambiente y en las condiciones de vida de la población).



Después de la formulación de alternativas técnicas, se realizará un análisis comparativo para identificar la solución más óptima desde el punto de vista técnico, ambiental, económico y financiero.

Se deberá prestar particular atención a la integración del proyecto de mejora de servicios de agua potable y saneamiento en el marco de los programas generales de desarrollo urbano, con el fin de lograr una representación realista de franjas de implementación en el corto, mediano y largo plazo.

Se evaluarán los beneficios esperados desde la óptica ambiental y social, así como los posibles impactos negativos y el costo de mitigarlos.

El análisis financiero de la alternativa elegida incluirá un análisis de las condiciones de una política tarifaria sobre la base de las evaluaciones de costos de inversión y de explotación, concebida de tal manera que sea compatible con la capacidad de aporte de los beneficiarios.

## 2. MARCO DEL PROYECTO

### 2.1. Ubicación del proyecto y su origen

La municipalidad de Samaipata se encuentra en la región subandina al este de la cordillera de los Andes, en la provincia Florida del departamento de Santa Cruz, Bolivia.

Cubre un área montañosa de 2.200 km<sup>2</sup>, con altitudes que van desde los 450 hasta los 2.800 m.s.n.m.



Figura 1: Mapa de ubicación

El suministro de agua potable del principal centro urbano, Samaipata capital (5.000 habitantes) enfrenta problemas de recursos, tanto en el ámbito cuantitativo (con crisis de suministro de agua ocurriendo cada año durante el estiaje en septiembre) como en el plano cualitativo, dado que el agua distribuida no es potable, pues la red de distribución no ofrece garantías sanitarias en todos los aspectos.

La mayoría de las comunidades rurales tienen un sindicato o cooperativa de agua, así como una red de distribución. Sin embargo, en todas las comunidades se observan distintos problemas estructurales.

Una de las prioridades de las autoridades locales es establecer un plan de inversión a largo plazo que permita hacer uso racional de los recursos disponibles, de tal manera de satisfacer las necesidades de agua potable de la población.



Con el fin de poder establecer este plan en el largo plazo, las autoridades consideraron necesario realizar un diagnóstico cuantitativo y cualitativo de los recursos de agua disponibles en la municipalidad.

En 2020 las autoridades hicieron una solicitud específica a HSF para realizar este diagnóstico.

Los resultados de dicho diagnóstico se presentan en este informe, que forma parte de un enfoque que conducirá a una fase posterior de formulación de un proyecto global de suministro de agua potable.

## 2.2. Presentación y roles de los distintos actores durante el proyecto

### **Syndicat Mixte de Gestion de la Nappe Phréatique de La Crau (Sindicato Mixto de Gestión de la Capa Freática de La Crau – SYMCRAU)**

SYMCRAU está a cargo de la gestión del recurso hídrico en el territorio La Crau en Francia. Quiso dar apoyo financiero y técnico al proyecto de Samaipata.

SYMCRAU y en particular su Directora, Charlotte Alcazar, apoyaron al proyecto en aspectos técnicos: participación en reuniones de intercambios sobre el estudio, consejos y análisis de documentos (análisis de agua), etc. Ella fue a Samaipata en septiembre de 2023.

### **Hydraulique Sans Frontières**

Fundada en 1990 mediante la iniciativa de ingenieros que trabajaron en las grandes represas de los Alpes, Hydraulique Sans Frontières (HSF) es una asociación de solidaridad internacional especializada en el campo de acceso al agua. Actúa en cuatro distintos ámbitos: agua potable, saneamiento, educación ciudadana y solidaridad internacional.

HSF ha dado pautas y ha apoyado en todo el seguimiento del estudio, en particular gracias a un geólogo y un experto en agua que tuvieron intercambios continuos con la UMSA, Alianza – Samaipata y otros. Un equipo asalariado en la sede acompañó en el conjunto de la realización del proyecto.

### **Alianza – Samaipata**

"Alianza para el Vivir Bien en el municipio de Samaipata" es una entidad sin fines de lucro con personería jurídica en Bolivia que agrupa residentes de la municipalidad de Samaipata. Son profesionales con estudios universitarios que buscan unir sus capacidades multidisciplinarias para gestionar proyectos de interés general y apoyar a las autoridades e instituciones públicas como organización social que representa una parte de la sociedad civil.

Se conformó un acuerdo de asociación entre HSF y Alianza para el seguimiento y la coordinación general del proyecto. Alianza, por estar asentada en Samaipata y por su conocimiento de las instituciones y actores locales, fue un verdadero apoyo para la realización del estudio.

Alianza también realizó el estudio del origen de la contaminación de las aguas.

### **Cooperativa de Servicios Públicos Florida R.L. o COOPFLOR R.L.**

COOPFLOR R.L. es una cooperativa de responsabilidad limitada reconocida por el Estado boliviano a cargo de asegurar los servicios de suministro de agua potable y de saneamiento para la población de la municipalidad de Samaipata. En la práctica, la zona de cobertura actual de los servicios de la cooperativa abarca sólo una parte del área urbana de Samaipata. La cooperativa tiene algo más de 2.000 miembros y un fondo social que supera los 3 millones de bolivianos. Los estatutos de la cooperativa fueron aprobados recientemente; se encuentra supervisada por el Instituto Nacional de Cooperativas (INALCO) y fiscalizada por la Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico (AAPS).

Un convenio fue firmado en el marco de este proyecto para una participación plena de COOPFLOR en el estudio. COOPFLOR compartió la información que poseía (estudios y análisis). Proporcionó acceso a infraestructura y puso a disposición un plomero que acompañó a las misiones del estudio. La sala de reuniones de COOPFLOR fue utilizada para sostener reuniones de concertación.



### **UMSA (Universidad Mayor de San Andrés)**

La UMSA es la universidad pública más grande de Bolivia; fue fundada en 1830 en la ciudad de La Paz. Forma profesionales en varios campos, incluida la geología.

El profesor Rafael Cortez, director de estudios de maestría en geología propuso a Hydraulique Sans Frontières poner a disposición dos estudiantes para los estudios de terreno y las investigaciones hidrogeológicas de la zona del estudio.

Un convenio tripartito fue constituido entre la UMSA, Alianza y HSF. La alianza fue establecida particularmente con la Facultad de Ciencias Geológicas de la UMSA.

### **Fundación Natura Bolivia**

La Fundación Natura Bolivia fue creada en 2003. Busca desarrollar acciones de conservación de la biodiversidad y del uso duradero de los recursos naturales para contribuir a mejorar la calidad de vida de la población boliviana.

En el ámbito de la municipalidad de Samaipata, Fundación Natura fue responsable de la creación de un fondo de financiamiento tripartito con la municipalidad y COOPFLOR R.L., que se emplea en particular en la protección y conservación de áreas de captación de agua potable para Samaipata capital.

Al momento del estudio, su facilitadora local colaboró con la presentación pública del estudio en noviembre de 2022. Varios representantes estuvieron presentes en la rendición en abril 2023 en COOPFLOR. La entidad también colaboró con Alianza en varios momentos.

## **2.3. Enumeración de los objetivos y actividades realizadas**

El objetivo principal de este proyecto de estudio es realizar un diagnóstico cuantitativo y cualitativo de los recursos hídricos disponibles dentro de la municipalidad de Samaipata.

Este es un resumen de los objetivos específicos que se tenía:

**OE1:** Analizar los datos existentes de los recursos hídricos del centro urbano de Samaipata

**OS2:** Evaluar cuantitativamente y cualitativamente los recursos hídricos para el suministro del centro urbano de Samaipata a largo plazo

**OS3:** Identificar el origen de la contaminación del agua

Se realizaron varias actividades con el fin de alcanzar estos objetivos, las cuales permitieron la realización del presente informe de diagnóstico.

En primer lugar, un convenio tripartito fue constituido entre la UMSA, Alianza y HSF con el fin de llegar a realizar varias actividades. La alianza fue principalmente establecida con la Facultad de Ciencias Geológicas de la UMSA.

Dos estudiantes fueron asignados al proyecto por el catedrático Rafael Cortez, quien forma parte del plantel de geología. Además de contar con el apoyo de este catedrático, los estudiantes fueron incorporados por la asociación local Alianza.

Una misión de campo tuvo lugar en noviembre de 2021 en la que participó Alain Malatrait, geólogo miembro del equipo del proyecto de HSF. Fue acompañado en el lugar por Christophe Ranque, representante de Alianza, y del equipo de la UMSA, con el fin de realizar el lanzamiento del estudio y de fijar bien su marco.

Sin embargo, por estar el año académico boliviano (del hemisferio sur) desfasado con relación al calendario del proyecto, el lanzamiento del estudio se demoró. Las vacaciones de diciembre de 2021 a febrero de 2022 hicieron que las actividades de los estudiantes se paralicen. Ellos pudieron comenzar el estudio en marzo

de 2022. También es necesario observar el peso administrativo dentro de la universidad, haciendo que el proceso de firma del convenio de asociación fuera muy largo y complicado.

A pesar de las dificultades iniciales, la asociación con la UMSA permitió la realización de las siguientes actividades:

1. Un inventario y un resumen de los datos existentes de geología, hidrología, clima y la red de suministro de agua potable actual del centro urbano de Samaipata entre los meses de diciembre de 2021 y abril de 2022. Esto fue realizado por los estudiantes, con una pausa entre diciembre de 2021 y febrero de 2022. HSF y Alianza también colaboraron en compilar todos los datos ya existentes.
2. Cuatro misiones de estudiantes de investigación y de recolección de datos en el campo:
  - Una primera misión de 10 días el mes de abril de 2022: levantamiento de datos en el campo y reunión de concertación con las entidades y actores locales (Municipalidad de Samaipata, miembros de la oficina de COOPFLOR, Fundación Natura, Alianza y los estudiantes de la UMSA)
  - Una segunda misión de estudiantes de 10 días entre finales de junio y comienzos de julio 2022: levantamiento de datos geológicos faltantes y mediciones de las aguas superficiales captadas y no captadas (caudal, conductividad, pH, etc.)
  - Una tercera misión en diciembre de 2022: recolección de datos sobre las perforaciones existentes (de COOPFLOR y privadas), fin de los levantamientos de datos geológicos y levantamientos de datos en cada embocadura de la microcuenca
  - Una misión final en abril de 2023, con la presencia del catedrático Rafael Cortez: recolección de los últimos datos faltantes (otros recursos de agua explotables, protección de los recursos, problemas de calidad, etc.) con miras a la realización de un informe final; También fue la ocasión de una primera rendición ante los actores locales.

Estas misiones permitieron realizar reconocimientos geológicos e hidrogeológicos, hacer un inventario hidrogeológico de la zona (ríos, arroyos, zonas húmedas, etc.), hacer un inventario del equipo e instalaciones hídricas, determinar la vulnerabilidad de las zonas de infiltración y/o de escorrentía-erosión, hacer diferentes mediciones de caudales, análisis de agua, etc.

3. Un diagnóstico geológico e hidrogeológico dando lugar a diferentes interpretaciones de parte de los estudiantes trabajando con HSF; Este trabajo permitió una caracterización de los diferentes acuíferos, de los esquemas hidrogeológicos, de los sectores de alimentación, de las zonas con potencial hídrico, etc.

El objetivo fue definir las investigaciones complementarias necesarias con miras a un proyecto global de suministro de agua potable.

En segundo lugar, se tenía previsto un estudio específico sobre el origen de la contaminación de las aguas de suministro de agua potable. Para realizar esto, un contrato fue firmado entre Alianza y HSF.

Este estudio fue realizado a lo largo de varios meses, con la entrega de un informe de Alianza a HSF a finales de septiembre de 2023. El estudio se concentró en:

- la contaminación de las aguas superficiales
- la contaminación difusa de las aguas subterráneas
- la contaminación de las aguas en el transcurso de su explotación, ya sea por COOPFLOR o por empresas privadas

Se realizaron análisis de agua en diferentes perforaciones, lugares de captación, etc.

## 2.4. Presentación del informe

El presente informe proporciona un resumen de la información existente y de los estudios de terreno realizados en gran medida con el apoyo de la UMSA y de Alianza – Samaipata.

Se presentan siete capítulos en el siguiente orden:

- Gobernanza del agua en la municipalidad de Samaipata
- Geología
- Hidrología
- Recuento de los recursos hídricos
- Fuentes de contaminación de los recursos hídricos
- Investigaciones complementarias con miras a un proyecto global de suministro de agua potable
- Conclusiones

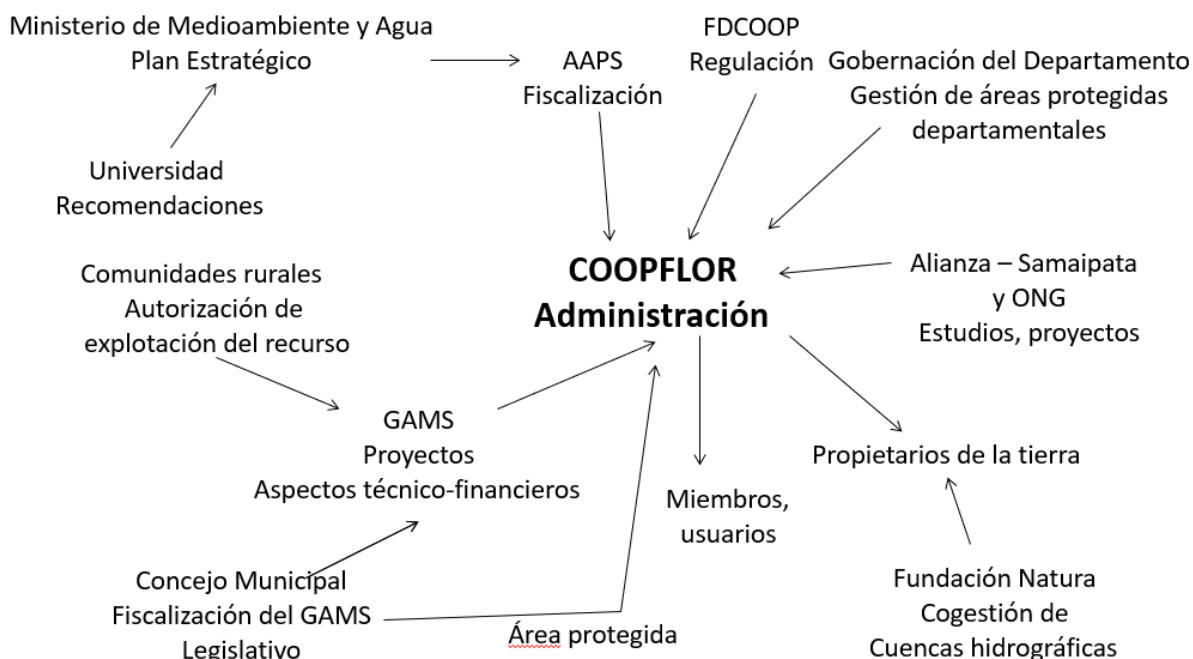
Para recordar, la ONG estadounidense WEFTA realizó en 2018 un diagnóstico de la infraestructura existente y propuso un programa de medidas inmediatas a implementarse para mejorar el servicio de agua potable en cantidad y calidad. En el Anexo H de este informe se presenta un resumen de las recomendaciones de WEFTA.

## 3. GOBERNANZA DEL AGUA

El 18 de octubre de 2022 fue remitido al alcalde un informe detallado sobre la administración de recursos de agua potable en la municipalidad de Samaipata; está disponible en línea en: <http://alianza-samaipata.theparentingrevolution.org/01-Agua-Viva-Samaipata/es-Agua-Viva.html>.

Lo que sigue es un esquema de la gobernanza del agua en la municipalidad de Samaipata:

# La gobernanza del agua en Samaipata



C. Ranque, Alianza – Samaipata – junio de 2024

Las comunidades humanas, ya sea que estén organizadas en barrios en las ciudades o en comunidades rurales en el campo, constituyen la unidad fundamental de toma de decisiones en cuanto al uso de los recursos del territorio de vida. Es por ello que la ley ambiental impone el deber de consultar con las comunidades locales siempre que un proyecto pueda afectarles de manera negativa. En la práctica, la comunidad asentada con mayor cercanía al recurso del agua debe dar su autorización al gobierno nacional si éste desea realizar un proyecto de uso del recurso de agua en cuestión.

La visión de los actores del agua no es sectorial, sino comunitaria.

Fuente: (año 2014, si bien aún cierto en 2024) /<https://www.aigob.org/2014/05/23/gobernanza-de-los-sistemas-locales-de-gestion-del-agua-en-bolivia/>

A continuación, se presentan los roles de los distintos actores:

- Municipalidad. Todos los proyectos de agua potable y de saneamiento son gestionados por el Gobierno Autónomo Municipal de Samaipata (GAMS).

El Plan Territorial de Desarrollo Integral 2021-2025 (PTDI) del GAMS prevé entre otras cosas la elaboración de un plan estratégico de gestión de las cuencas hidrográficas y la creación de una plataforma que reúna a todos los actores involucrados a quienes se solicitarán compromisos en beneficio de la conservación y buena gestión de los recursos hídricos (págs. 268-273, PTDI).

Fuente: PTDI 2020-2025, disponible en: <https://alianza-samaipata.theparentingrevolution.org/04-Desarrollo-Sostenible/Pdf/GAMS-PTDI-2021-2025.pdf>

- Concejo Municipal. El Concejo Municipal ejerce un papel legislativo y de control del poder ejecutivo. Ha aprobado la ley de la creación del área protegida de las aguas de El Chorrillo (abril de 2017). Se trata de la zona de explotación más antigua de agua de superficie para el suministro de agua potable a la zona urbana de Samaipata; remonta a 1970.
- COOPFLOR R.L. COOPFLOR es la entidad prestadora de servicios de agua potable y saneamiento (EPSA) a cargo del suministro de agua potable y del saneamiento en la zona urbana de Samaipata.

Es una cooperativa de servicio público sin fines de lucro. Actualmente (junio de 2024) cuenta con aproximadamente 2.300 miembros asociados. Su patrimonio financiero está por encima de los 3 millones de bolivianos. Posee entre otros activos una sede social en el centro de la ciudad y un terreno con construcciones vetustas y una unidad de explotación de agua de pozo (lugar conocido como “La Carretera”).

Su radio de intervención está definido por un Decreto Ministerial (el Decreto Supremo No. 1995 del 13 de mayo de 2014). Se trata de una zona de aproximadamente 1.940 has. Mapa más adelante.

COOPFLOR aplica un impuesto del 10 % sobre las facturas de agua para aportar al financiamiento de la protección de las cuencas hidrográficas.

- FDCOOP. COOPFLOR es miembro de la Federación Departamental de Cooperativas de Servicios Públicos de Agua y Saneamiento (FDCOOP), que tiene el rol de regulador y de representación en el nivel departamental.
- Gobernación. La Gobernación Departamental está representada en el nivel provincial (mancomunidad de cuatro municipalidades) por la Subgobernación, que tiene sede en Samaipata. La Gobernación tiene a su cargo la gestión ambiental. Se ha designado una zona de protección ambiental dentro del territorio municipal de Samaipata. Se trata del Área Natural de Manejo

Integrado (ANMI) Río Grande. Incluye en particular una parte del sector de suministro de agua de El Fuerte.

- Ministerio. El Ministerio de Medioambiente y Agua tiene tres Viceministerios, cada uno encargado de un aspecto particular del agua: su protección como recurso natural, su uso como agua potable y su uso para el riego.

Fuente: <https://www.mmaya.gob.bo/wp-content/uploads/2023/03/MMAyA-PEI-2021-2025-19.08.2022.pdf>

Nota personal deducida de la Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia y de un análisis del PTDI: Los propietarios de tierras permanecen como dueños de éstas, si bien el recurso del agua es de dominio público. Esto a menudo conlleva conflictos sobre el uso de suelos, por ejemplo, entre conservación de bosques y recursos de agua subterránea, o tala de bosques y explotación agrícola o pastoril.

Conclusión de un estudio sobre la misma problemática:

Los principios de la gestión integral de recursos de agua están establecidos en la Constitución, a pesar de lo cual se deben reforzar los instrumentos de gestión (como ser las normas y las sanciones, el otorgamiento de autorizaciones y licencias, y las líneas directrices económicas, de información y de asistencia técnica), de tal manera de permitir aplicar estos principios en la práctica.

Propuesta: mejorar las competencias de las personas a cargo a través de capacitaciones hechas a medida.

Fuente: *Agua y saneamiento en el Estado Plurinacional de Bolivia, 2014. Corporación Andina de Fomento (CAF)*

- AAPS. La Autoridad de Fiscalización y Control Social de Agua Potable y Saneamiento Básico (AAPS) regula y fiscaliza a COOPFLOR. Depende del Ministerio de Medioambiente y Agua. No posee recursos financieros independientes, lo que limita sus posibilidades de acción.

Fuente: <https://www.aaps.gob.bo/>

- Fundación Natura. Fundación Natura es una ONG boliviana que tiene como misión la conservación de la biodiversidad y la búsqueda del uso sostenible de los recursos naturales.

Ésta actúa de líder y socia del GAMS y de COOPFLOR en la realización de un fondo local tripartito para la protección de las cuencas hidrográficas del territorio municipal.

La Fundación Natura suscribe regularmente nuevos convenios de protección de los recursos naturales con los dueños particulares de tierras que están dispuestos a hacerlo a cambio de recibir material apícola, de riego (reservorios y tubería) y/o plantas de árboles forestales/frutales rústicos.

- Alianza – Samaipata. Una asociación civil sin fines de lucro, Alianza para el Vivir Bien en el Municipio de Samaipata reúne a profesionales que residen en el territorio municipal. Administra proyectos de interés general en todos los campos.

En cuanto al agua, esta asociación ha realizado un estudio independiente sobre el estado de la gestión del agua potable en la municipalidad (2021), y hace propuestas de mejoras. Coordinó un estudio de recursos hídricos para Samaipata en el marco de una alianza con la ONG francesa Hydraulique Sans Frontières y la universidad pública de La Paz (2019 a 2021).

Su grado de influencia es por el momento limitada, pues aún no ha obtenido su personería jurídica (los trámites habiéndose detenido durante la pandemia, por lo que fue necesario recomenzarlos desde el inicio).

## 4. GEOLOGÍA

### 4.1. Geología general

Las columnas paralelas norte-sur corresponden a amplios pliegues, a menudo con fallas, en las formaciones del paleozoico (devónico y carbonífero).

La cuenca extensa de Samaipata se desarrolló en el centro de un anticlinal abierto. En otras áreas, los valles están encajonados, jalonados por despeñaderos de areniscas compactas del carbonífero.

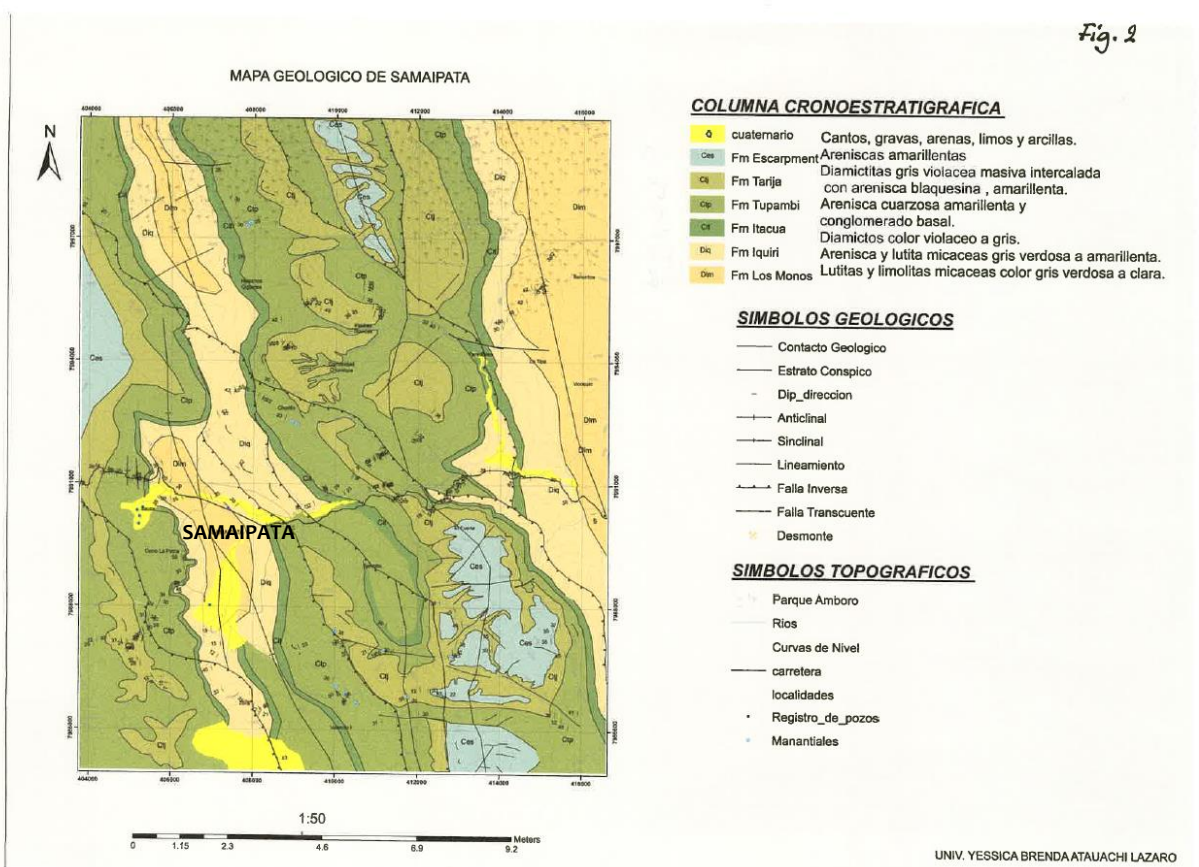


Figura 2. Mapa geológico de Samaipata

### 4.2. Litología de las formaciones

La litología de las distintas formaciones rocosas que afloran en la superficie se encuentra resumida en una columna lito-estratigráfica (Anexo A). El espesor de estas formaciones es variable. Los valores que se indican son promedios.

Las dos formaciones acuíferas (Tupambi y Escarpment) presentan las siguientes características litológicas:

- **Formación Tupambi (Ctp):** constituida por grandes bancos de areniscas silíceas ocre de granos gruesos, intercalados con pequeños bancos conglomeráticos y sedimentos finos (rocas lutita). Foto en Anexo B.



- La parte de la cima (de aproximadamente 30 m) es amarillenta, clara y poco compacta; es decir, quebradiza. Esta formación aflora extensamente en la superficie. La formación está enmarcada en la base por Itacuí (Cti), en la cima por Tarija (Ctj) y hay dos formaciones espesas constituidas por sedimento fino.
- Cabe señalar en la base de Itacuí bancos de conglomerados compactos y fracturados de 15 m de espesor.
- **Formación Escarpment (Ces):** constituida por dos grandes bancos de arenisca y de conglomerados compactos, rosados en la parte superior y cafés en la parte inferior. Aflora en altura y localmente en el norte y principalmente en el sureste en la cuenca hidrográfica de El Fuerte. Parecería estar incompleta, formando dos planicies áridas.
- La formación Cangapi (pérmico) indicada anteriormente no forma parte de la zona estudiada.
- En la base, los sedimentos arcillosos de Tarija (Ctj) forman un muro impermeable.

#### **Aluviones cuaternarios:**

Los aluviones fluviales están conformados por arenas, limos y gravas. Se extienden por el fondo del valle con débil espesor (< 5 m). Su extensión va hasta la zona urbanizada de Samaipata.

Los coluvios y derrumbes forman las pendientes de capas de poco espesor que son arenosas, limosas y terrosas; son pedregosas en algunos lugares.

Las extensiones torrenciales en el pie de la pendiente están constituidas por material más fino o menos pedregoso y están hechas de otra forma (antiguas fundiciones de barrosas).

Los estuvios (producto de alteración superficial de formaciones rocosas) de poco espesor y terrosas constituyen el suelo móvil en el cual penetran las raíces vegetales.

### **4.3. Contexto estructural**

El mapa geológico (Figura 2 arriba) muestra la repartición de distintas formaciones que afloran en la superficie, así como las principales estructuras: ejes de pliegues, fallas, mapas estratigráficos.

Las curvas altimétricas están sobrepuestas de manera aproximada en el mapa geológico (Anexo C). Para una visión 3D y un croquis de los cortes geológicos, ver la Figura 3 y los Anexos B y C.

#### **\* Estructuras**

Las grandes estructuras son pliegues derechos y fallas axiales de dirección NNO-SSE al norte y N-S en el sur y sureste de Samaipata (deflexión NE-SO); ver el mapa estructural (Anexo D).

Dos pliegues mayores están presentes:

- El anticlinal abierto de Samaipata, que presenta en su centro la parte superior quebradiza del devoniano (marnes, lutitas, pelitas)
- El sinclinal de El Fuerte, con dos ondulaciones amplias y con fallas, entalladas por valles encajonados

Las principales fallas (cartográficas) son:

- N-S a NNO-SSE, muy conformes a los ejes de pliegues
- Transversales, recortando los pliegues de manera oblicua e irregularmente, EO a NO-SE

Las fallas son difíciles de identificar con precisión en el terreno. Por otro lado, su dirección de desplazamiento sólo puede ser interpretada cartográficamente. Este es el caso de la deflexión (NNO-SSE a N-S) en Samaipata.

#### Fracturas secundarias:

Varias pequeñas fracturas cortan de manera irregular distintas formaciones. Están sobre todo desarrolladas en las areniscas compactas y en los conglomerados de Tupambi y Escarpment (Anexo E).

Son esencialmente diaclasas sub verticales y paraclasas con ligeras formaciones. Tienen cerca de la superficie una apertura relacionada a desplazamientos de gravedad en las pendientes abruptas y/o a la alteración de los límites de los muros estratigráficos (partes planas de roca). Constituyen una red más o menos densa, que penetra en la profundidad.

Los diagramas de medidas en el campo muestran direcciones variables, siendo las principales la no. 30 a la no. 40.

#### **4.4. Cortes geológicos**

Una serie de cortes en serie perpendiculares a los ejes de los pliegues (Figura 3) muestra:

- al oeste, el pliegue anticlinal de Samaipata, con el devoniano aflorando en el centro, cortado por una o dos fallas de eje y fallas oblicuas;
- al este, al norte de Samaipata, el pliegue sinclinal encaramado y regular, con las formaciones Tarija y Escarpment en medio, cortado por una o dos fallas axiales y dos pequeñas fallas transversales;
- al este, al sur y sureste de Samaipata, el mismo pliegue sinclinal, pero desdoblado, asociado a fallas axiales (posiblemente inversas). Esto comprende dos formas sinclinales que enmarcan un pequeño abombamiento anticlinal. El buzamiento general ligero se dirige hacia el eje sinclinal desplazado de El Fuerte.

Las fallas axiales y transversales interpretadas en los cortes (pendientes virtuales) retoman aquellas que aparecen en el mapa geológico.

Fig. 3

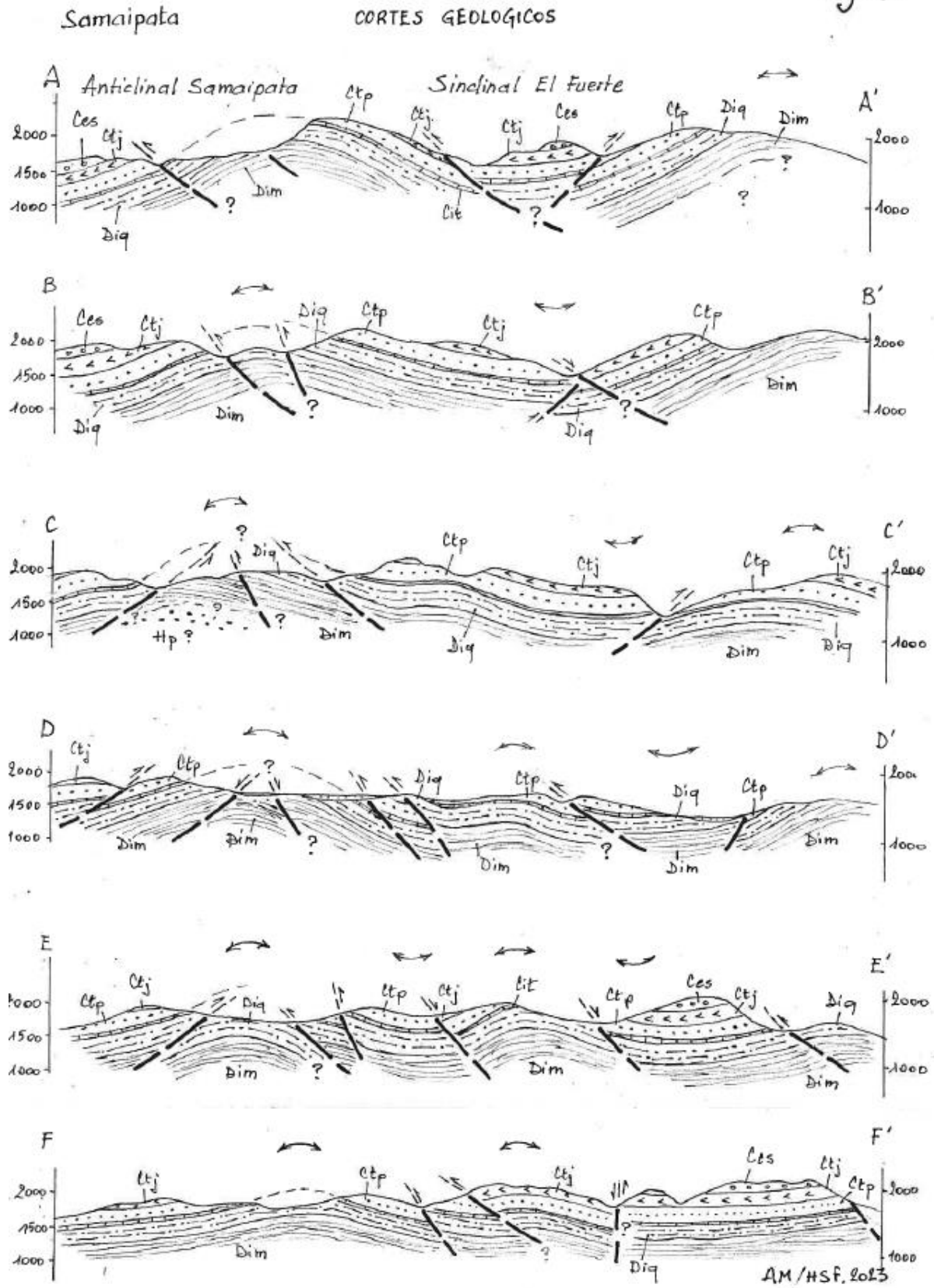


Figura 3: Cortes geológicos

## 5. HIDROLOGÍA

### 5.1. Contexto físico

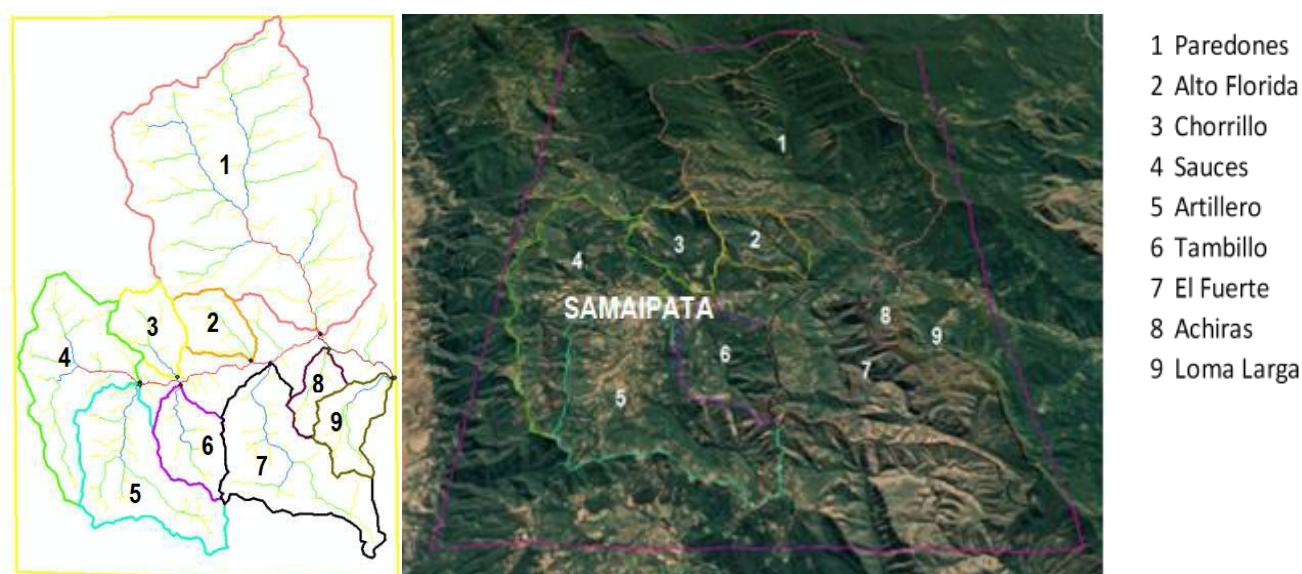
#### 5.1.1. Clima

El clima de Samaipata es de tipo temperado a tropical húmedo, con una temporada seca de mayo a octubre, precipitación anual de 500 a 850 mm y una temperatura media de 10 °C en invierno y 25 °C en verano.

#### 5.1.2. Hidrografía

La municipalidad de Samaipata está a la cabecera de la cuenca hidrográfica del río Piraí, afluente del Amazonas (Anexo F).

Nueve microcuencas fueron delimitadas en una superficie de 128 km<sup>2</sup>.



- 1 Paredones
- 2 Alto Florida
- 3 Chorrillo
- 4 Sauces
- 5 Artillero
- 6 Tambillo
- 7 El Fuerte
- 8 Achiras
- 9 Loma Larga

La red hidrográfica es densa, dirigida en gran parte por las cadenas de montañas bajas plegadas NNO-SSE, salvo el río Piraí, que desagua hacia el este las aguas corrientes de la gran cuenca de Samaipata.

### 5.2. Hidrología superficial

#### Los cursos de agua

Los cursos de agua de la zona del proyecto presentan caudales variables en función de la extensión de sus cuencas hidrológicas y de la presencia o no de fuentes perenes, particularmente en la altura.

Este es el caso del río El Fuerte, que conserva un caudal de estiaje sostenido. Abajo se presenta el detalle de los caudales medidos en mayo 2022; es decir, al final de la temporada de lluvias.

	Cuenca	Caudal (l/s)
1	Cuenca Paredones	68,8
2	Cuenca Alto Florida	2,1
3	Cuenca Chorrillo	0,1
4	Cuenca Los Sauces	10,4
5	Cuenca Artillero	ND
6	Cuenca Tambillo	5,1
7	Cuenca El Fuerte	167,4
8	Cuenca Achiras	0,3
9	Cuenca Loma Larga	4,1

Los arroyos tienen un caudal relativamente débil, con la mayoría de ellos agotándose al final de la época seca.

Cabe mencionar que la evapotranspiración es fuerte en el período de estío caliente y húmedo.

Además, durante este período, fuertes lluvias erosionan las orillas de los cursos de agua y provocan intensa escorrentía que lava los áridos suelos. Esto genera turbidez de los ríos y de los depósitos de sedimentos finos río abajo.

Esta erosión se ve acrecentada por la deforestación y el sobrepastoreo.

### Las fuentes

Las fuentes naturales perenes identificadas (vista aérea, Figura 5) son:

- Chorrillo: 4 emergencias captadas, caudal total de 2,5 a 3,5 l/s
- Tambillo: 4 emergencias captadas, caudal total de 3 a 4 l/s
- Astillero: 3 emergencias no captadas, caudal total de aproximadamente 5 l/s

Hay otras pequeñas fuentes, generalmente de caudales débiles (< 1 l/s). La mayoría se agotan durante la temporada seca. Algunas de ellas son privadas.

Cabe notar que las zonas húmedas en los cañadones encajonados a veces son de difícil acceso. Son de interés para obtener índices de la hidrología subterránea.

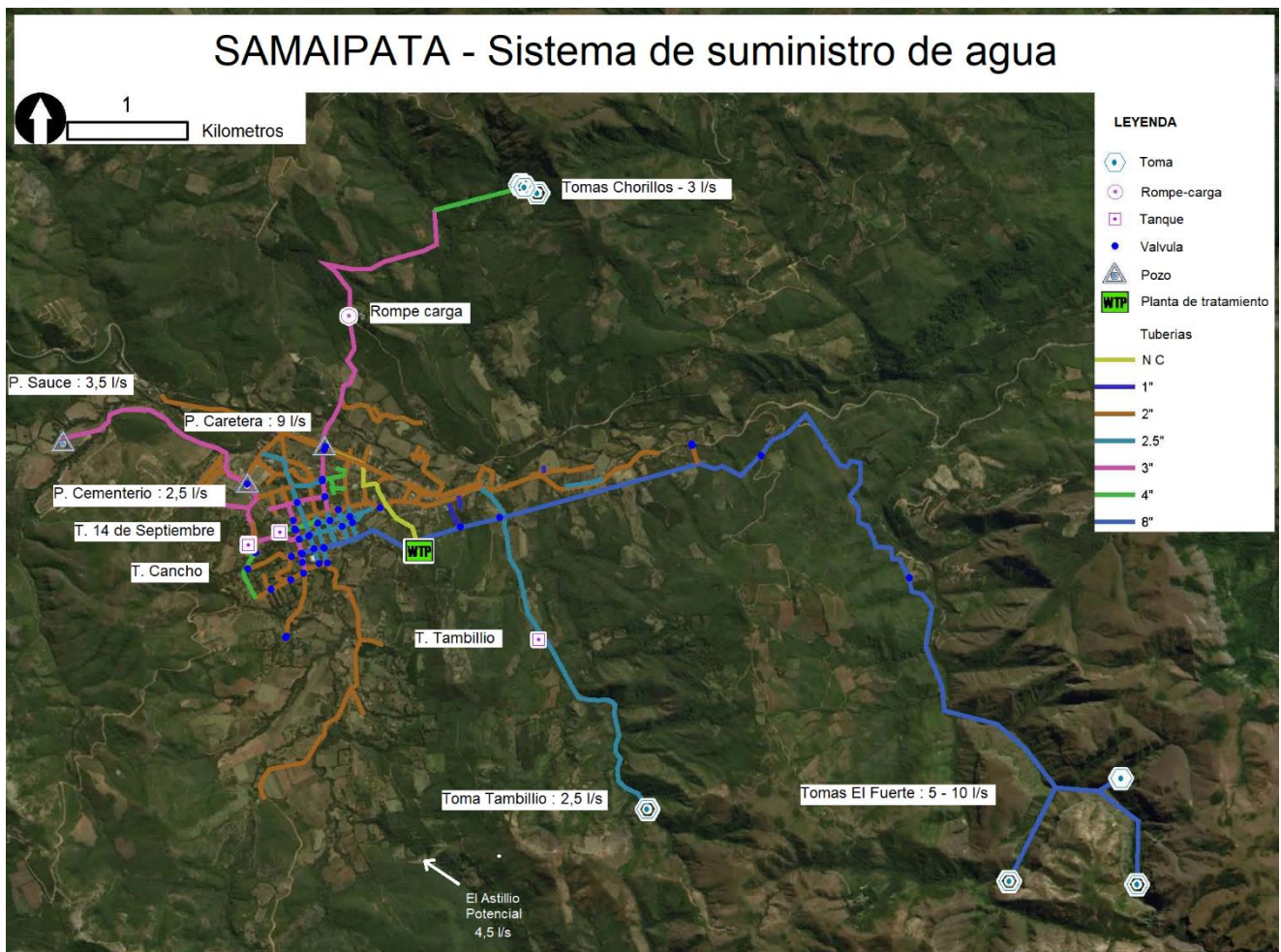


Figura 5: Fuentes naturales perenes captadas y no captadas

### 5.3. Hidrología subterránea

#### 5.3.1. Formaciones acuíferas

Las formaciones acuíferas son principalmente:

- Las areniscas fracturadas de Tupambi (Ctp)
- Las areniscas conglomeradas de Escarpment (Ces)
- Los aluviones cuaternarios

#### 5.3.2. Permeabilidad

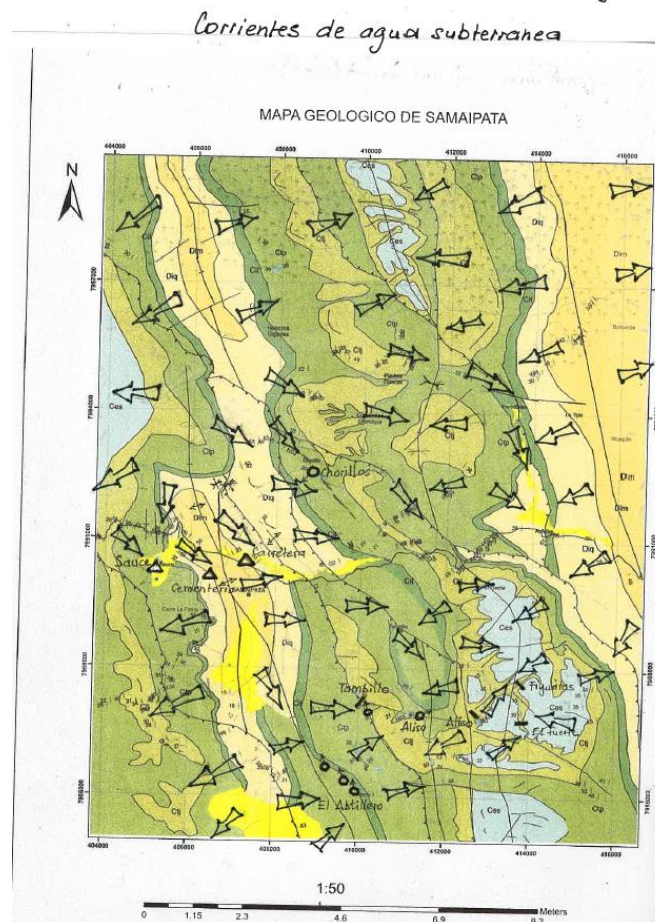
Las formaciones rocosas de Tupambi y Escarpment presentan dos tipos de permeabilidad:

- Una permeabilidad en los intersticios (primaria) considerada como media a débil, variable según lo compacto, la alteración y la presencia o no de lechos argilosos intercalados
- Permeabilidad de fracturas (secundaria), media a fuerte, relacionada con la red de diaclasas subverticales y de paraclasas más o menos densas. Las fracturas visibles en la superficie a menudo son abiertas (alteración, efecto de gravedad)

La formación Tupambi presenta mejores características de permeabilidad (porosidad, fracturas, alteración, etc.). Extensión, mapa en Anexo G.

### 5.3.3. Áreas de alimentación de corrientes subterráneas

Fig. 6

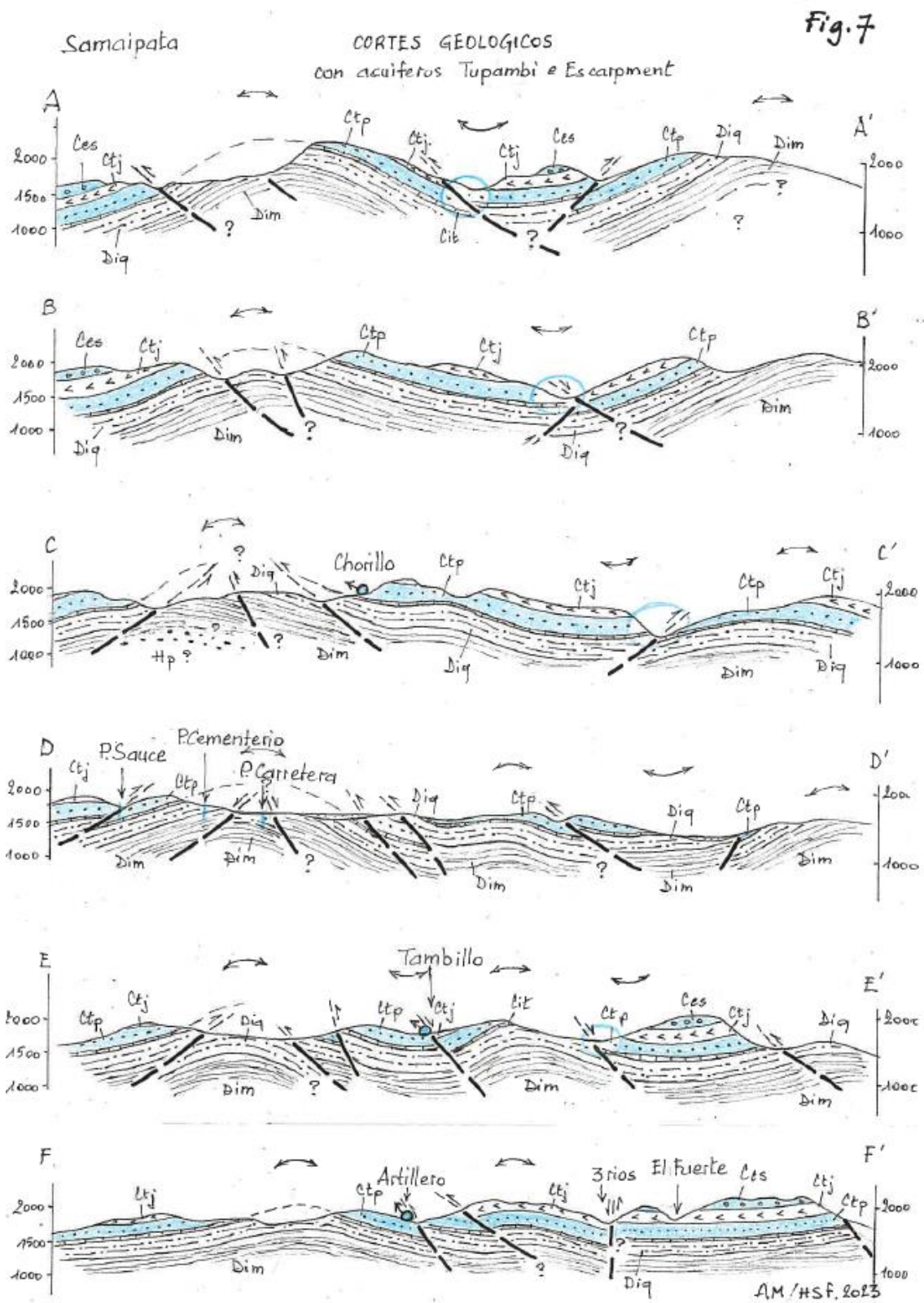


**Figura 6: Corrientes de agua subterráneas**

Los relieves elevados reciben una gran cantidad de precipitación que se infiltra en las formaciones que afloran en la superficie en Tupambi y Escarpment. La penetración de agua en profundidad se ve posibilitada esencialmente por la red de fracturas.

La circulación subterránea sigue principalmente las grandes estructuras plegadas. Así, el anticlinal de Samaipata lleva corrientes de un lugar a otro, hacia el oeste (en la parte exterior del sector) y hacia el sinclinal de El Fuerte, al este.

La formación Tupambi juega un papel de drenaje de este a oeste entre los valles axiales (NNO-SSE) de Samaipata y del río Pirá (cortes hidrogeológicos, Figura 7 abajo). El río El Fuerte está completamente alimentado por Tupambi y Escarpment.



**Figura 7. Cortes hidrogeológicos**

Las fallas transversales (E-N a NO-SE) facilitan localmente este drenaje. Podrían explicar en parte la presencia al sur de las fuentes de Tambillo, Astillero y Aliso.



Las fallas axiales, sean o no inversas, pueden crear localmente un muro favoreciendo la acumulación de agua en profundidad. Este contexto favorable, difícil de detectar en el campo, sólo puede ser interpretado cartográficamente ante la ausencia de índices (fuente, zona húmeda, roca que se hizo milonita).

La fuente Tambillo se encuentra en un pedregal que drena la circulación de aguas subterráneas de Tupambi, posiblemente por medio de una pequeña falla NNO-SSE.

En conclusión, en cuanto a los recursos acuíferos profundos, la formación Tupambi presenta a la vez muy buenas características hidrogeológicas y una gran extensión a alturas entre los 1.500 y 2.000 m. Esto constituye el potencial de la zona estudiada.

A la vez, la recarga parece ser irregular y tributaria de la cantidad de agua que se infiltra durante la época de lluvias. Es difícil de estimar sin disponer de mediciones a lo largo de varios años (escorrentía, evapotranspiración, etc.).

#### 5.4. Recuento de los recursos hídricos

Los recursos hídricos actuales son los siguientes:

- Algunos cursos de agua incluyendo el río El Fuerte que es el único que conserva un caudal de estiaje superior a los 5 l/s
- Fuentes perenes, casi todas captadas de los caudales de estío, de 0,5 a 4 l/s
- Una capa freática en los aluviones de la cuenca de Samaipata, explotada por bombeo en varios pozos
- Aguas subterráneas que circulan en las formaciones rocosas (Escarpment y sobre todo Tupambi) que alimentan en gran medida, ya sea directamente o no, las fuentes captadas

### 6. FUENTES DE CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS

#### 6.1. Introducción

Las aguas captadas para el suministro de agua de Samaipata tienen dos orígenes distintos: aguas superficiales y aguas subterráneas.

Entre las aguas superficiales se puede distinguir entre agua de manantial (más precisamente de resurgimiento; “manantial” en el mapa) y agua de río (“vertiente” en el mapa).

La presente sección trata dos tipos de recursos de agua. Entra contaminación en el agua al momento de su explotación, ya sea durante el transporte, durante el tratamiento o al momento de la distribución.

También hacemos notar que esta sección se concentra en la contaminación de las aguas de suministro. No trata de manera explícita la contaminación ambiental aguas abajo (fuera de las zonas de captación), ya sea por agricultura, ganadería, presencia urbana (aguas grises y negras) y tráfico vehicular. Hasta la fecha no hay actividad industrial en Samaipata.

Se debe recordar que el sistema de suministro de agua potable del distrito urbano de Samaipata fue objeto de un estudio profundo por parte de la comisión Agua Viva de la asociación Alianza para el Vivir Bien en el Municipio de Samaipata (Alianza – Samaipata), entre 2018 y 2022.



## 6.2. Contaminación de aguas superficiales

### 6.2.1. Contaminación de las aguas de la cuenca hidrográfica de Chorrillo

Los análisis in situ realizados el 16 de diciembre 2022 mostraron una clara diferencia entre la calidad de las aguas de los resurgimientos 1, 2 y 3 por un lado y las aguas de las cascadas 4 y 5. Ver mapa a la derecha.

1, 2 y 3 presentan las características físico-químicas de aguas perfectas según BEV, Bioelectrónica de Vincent (pH ligeramente ácido y conductividad débil correspondiente a un residuo seco alrededor de 50 mg/l).



Esto fue confirmado por los análisis realizados en 2017 por SAGUAPAC. Son las mejores aguas para el suministro de agua potable para los habitantes de Samaipata.

Por su parte, 4 et 5 presentan un pH y una conductividad más elevadas.

Estos son datos que guiaron la investigación de esta cuenca hidrográfica hacia el uso de suelos aguas arriba.

Se visitaron los terrenos que producen cítricos, por un lado, y viñedos por otro, respectivamente (A) y (V) en el mapa de arriba; fotos detalladas abajo. En un terreno vecino se cultivaban habas.

Nos interesamos únicamente los terrenos agrícolas que forman parte de la cuenca hidrográfica de Chorrillo. Ver el mapa que sigue.

No se observó una amenaza mayor de contaminación, pues los cítricos se cultivan con agricultura orgánica y el método técnico que se utiliza en los viñedos es el más orgánico posible: trabajo del suelo y caldo bordelés.

Las aguas captadas aguas abajo de los viñedos (1-3) presentan una calidad perfecta (pH 6,8, conductividad 50 µg/l).

Las aguas captadas aguas abajo de los cultivos de cítricos (4-5) presentan una calidad menor según los análisis realizados por la UMSA (pH 8,49, conductividad 174 µg/cm).

Es por esto que un análisis más profundo fue realizado por el laboratorio Quebracho, con el fin de precisar la naturaleza de la contaminación.

Los análisis de agua realizados por Quebracho el 25 de julio de 2023 confirman las pruebas de la UMSA (pH 8,43 y conductividad 182,4 µg/cm). Permiten asimismo ir más lejos, gracias a la medición de los parámetros de potencial de óxido reducción – rédox (- 81,8 mV), alcalinidad (90 mg/l), DQO (22 mg/l), sulfatos (9 mg/l) y nitrógeno (0,55 mg/l).

La conductividad es más elevada acá que en las captaciones 1 a 3.

Según Luis Salazar, persona a cargo del estudio hidrogeológico realizado con la UMSA, esto puede venir de capas de arcosa (arenisca rica en feldespato potásico). Otra hipótesis es remanencia de productos químicos (NPK) utilizados en la zona en el pasado, según se informa, en el cultivo de frutillas.

El análisis del cloro residual en las aguas de la cuenca hidrográfica de Chorrillo en el nivel del nuevo reservorio de distribución (foto de la izquierda) confirma las observaciones y los comentarios del plomero de COOPFLOR en cuanto al no uso del sistema de cloración existente (foto de la derecha). Se decidió no utilizar el sistema después de los efectos nocivos observados en el agua en bruto que despedía olores nauseabundos. Mi interpretación es que esto proviene de la reacción química del cloro con la materia orgánica presente.



### 6.2.2. Contaminación de las aguas de la cuenca hidrográfica de Tambillo

Las aguas de la cuenca hidrográfica de Tambillo son captadas en dos lugares, uno inferior (altura de 1.676 m) y superior (altura de 1.886 m).

La captación inferior se hace en una cascada. Las aguas de las captaciones superiores llegan por un ducto. Las aguas se mezclan en un colector al aire libre antes de ser filtradas por una malla de plástico y enviadas al ducto principal, hasta el tanque de almacenamiento. Ver fotos.

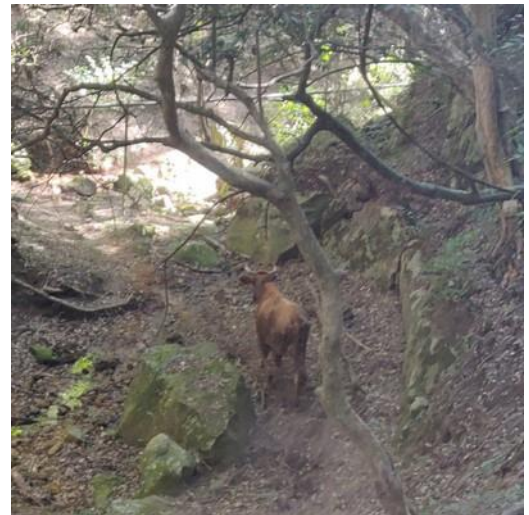


Esto deja vía libre a la contaminación aérea de materia orgánica vegetal (hojas, ramas) y animal (guano de pájaros que hacen sus nidos más arriba).

Aguas arriba, al nivel de la captación superior, se observó que obras civiles recientes fueron realizadas/rehabilitadas, protegiendo el agua de la fuente y toda contaminación en este lugar. Ver fotos.



Esta zona de captación está asegurada por rejas alambradas, pero se han visto vacas en el lugar; aparentemente no causan perjuicio. Sin embargo, roturas de canalización podrían ser motivo de preocupación. Ver fotos.

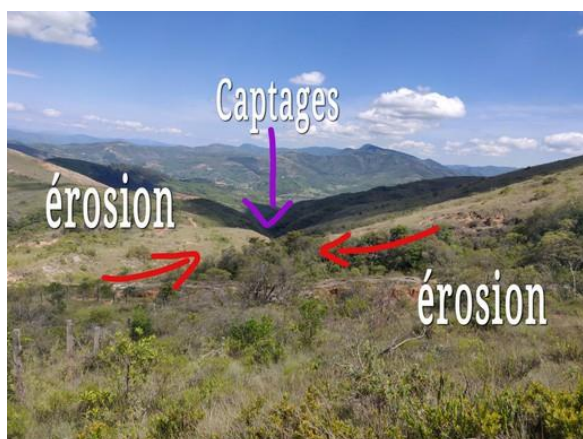


El sector aguas arriba de las captaciones superiores fue igualmente protegido por COOPFLOR.



En la época de lluvias, una turbidez elevada se observa regularmente en los grifos de los lugares a los que llegan aguas de esta cuenca hidrográfica (sector Surtidor).

La salida al terreno el 7 de enero de 2023 permitió poner en evidencia terrenos con suelos profundos sujetos a una fuerte erosión natural. Ver fotos. Esto explica la turbidez del agua en época de lluvias.



### 6.2.3. Contaminación de las aguas de la cuenca hidrográfica Astillero

Aguas arriba de las captaciones de COOPFLOR, se observó un cambio de propietario de los terrenos y el cese del uso de productos contaminantes (insumos químicos).

Ver el mapa del terreno acá. Límite de la propiedad en rojo y emplazamiento de las captaciones en azul (1 a 3).

La contaminación de las aguas superficiales se limita sin embargo a la contaminación natural por materia orgánica y mineral (foto de abajo es de la captación 2).

Esto puede generar turbidez justo después de lluvias abundantes y explicar el alto contenido de materia orgánica en las aguas.

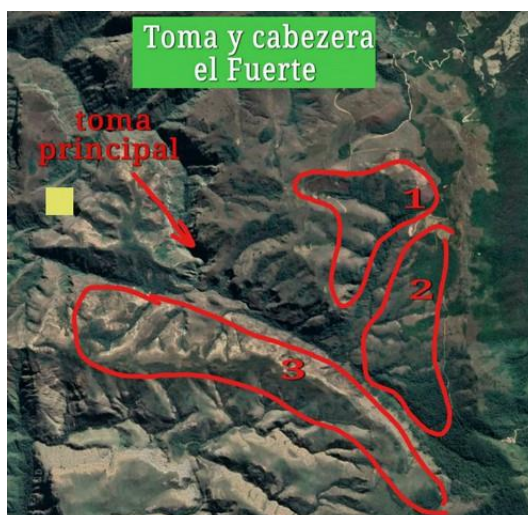


### 6.2.4. Contaminación de las aguas de la cuenca hidrográfica de El Fuerte

La cuenca hidrográfica de El Fuerte (imagen acá) es la principal zona de captación de aguas superficiales para suministrar a Samaipata con agua potable.

Aguas arriba de la captación principal, se identifican tres sectores:

**1 - Un sector de deforestación** (sector 1 en el mapa), constituido por lotes de cultivos y uso de productos químicos (ver fotos abajo). La parte subterránea está constituida por rocas arenosas quebradizas.



Arriba, a la izquierda, deforestación; parte de abajo de un campo de maíz (derecha, abajo)



Ejemplos de paquetes hallados en el lugar: fertilizantes y fungicidas

Más abajo, en los valles, se observaron vestigios de bosques de helechos, que indican suelos profundos y un microclima húmedo.



La reserva útil de los suelos probablemente sea grande, pero se pierde progresivamente ante la deforestación.

La deforestación conlleva una doble contaminación de las aguas superficiales: por los productos de erosión (materia orgánica y sustratos minerales esencialmente arenosos – complejo arcillo-húmico) y por los productos químicos.

Los análisis de aguas superficiales realizados en este nivel no han revelado contaminación química por nitratos. La conductividad y el potencial rédox continúan bajos (respectivamente  $C = 21,18 \text{ microS/cm}$ ,  $E = -58 \text{ mV}$ ). Los productos químicos agrícolas por lo tanto no afectan aún el recurso hídrico. En cambio, se ha

constatado un contenido elevado de hierro, ampliamente por encima de la norma boliviana (0,51 mg/l, NB-512 0,3 mg/l).

Se encuentra aguas abajo en el agua que llega al reservorio de la estación de tratamiento (Soto Pollerudo).

## 2 - Un sector de regeneración con cubierta vegetal (sector 2 en el mapa y fotos a continuación).



La vertiente está orientada hacia el oeste. La regeneración se limita por la presencia de crianza extensiva de ganado. La erosión natural se ve reducida por el hecho de la cobertura vegetal tipo pradera.

3 - **Un sector pelado** (sector 3 en el mapa y fotos abajo). Da hacia el norte, lado del curso del sol. Hay roca que aflora. Los suelos son pobres. El lugar es accesible para el ganado bovino y es conocido como Loma Larga, un territorio de más de mil hectáreas que actualmente se utiliza para la cría de ganado en copropiedad. Los indicadores de erosión pluvial son numerosos.



Esto genera una contaminación regular de los cursos de agua y del lugar principal de captación de COOPFLOR (“Toma principal” en el mapa) en la época de lluvias, debido a los productos de la erosión (sustratos minerales, materia orgánica de origen animal potencialmente).

Los análisis bacteriológicos realizados por la UMSA en este sector en junio de 2023 (parte aguas abajo de Lomas, cuadrado amarillo en la imagen satelital) no dieron muestras de contaminación bacteriana. Ver fotos acá. Sin embargo, la contaminación podría variar según la estación del año y ser medible en la época de lluvias (de noviembre a abril). Esto está por confirmarse.





## Conclusión:

La cuenca hidrográfica de El Fuerte presenta las características de una cuenca desequilibrada. Es difícil estimar su capacidad de retención de agua por la gran cantidad de vegetación, pero el informe oficial de COOPFLOR en cuanto a la gestión de este recurso de agua indica un caudal disponible al momento de la inauguración de la captación (1985) de tres veces el caudal actualmente constatado (30 l/s versus 8,3 l/s en 2020). Esto proporciona una idea de la pérdida del recurso, probablemente debido al factor deforestación. Una prueba de esto es la contaminación del agua por depósitos considerables de arena. Como en los desiertos de arena, son un índice de terrenos anteriormente fértiles y que ahora han desaparecido. El potencial de recuperación es por lo tanto importante mediante un cambio en el uso de los suelos.

Por por el momento, una triple contaminación del recurso del agua tiene lugar en esta cuenca hidrográfica: por los productos de la erosión, materia orgánica y arena (en los tres sectores), los productos fitosanitarios (sector 1) y los excrementos de animales (sector 3).

### 6.3. Contaminación de las aguas subterráneas

#### 6.3.1. Perforación de COOPFLOR de La Carretera

De acuerdo con los datos de 2023 de COOPFLOR, el agua de esta perforación posee una gran disponibilidad en cantidad (~ 10 l/s) todo el año y sin interrupción o disminución en el caudal por el bombeo, incluso si se bombea 24 horas continuas.

Por otro lado, el agua es anormalmente salina, haciéndola no potable; es decir, no se la puede transformar en potable, según los comentarios de Charlotte Alcazar, directora de SYMCRAU, teniendo en cuenta los análisis de agua. Ver el Anexo 4.

A pesar de ello, esta agua fue utilizada por COOPFLOR durante años para completar volúmenes de aguas superficiales en períodos de estiaje.

Testimonios directos de la población han confirmado lo anterior, por haber ellos constatado un sabor a sal en el agua, lo cual fue informado en varias ocasiones.

El presente estudio permitió indagar con un antiguo Presidente de COOPFLOR, quien nos informó que al momento de perforar el pozo de La Carretera, en 1993, la calidad del agua era enteramente satisfactoria. Por lo tanto, el problema de salinidad surgió en el tiempo.

El origen de la contaminación fue investigado en las actividades humanas y las características geológicas de los suelos.

#### Actividades humanas:

Se siguieron dos pistas de contaminación por actividad humana:

- **Un taller de charcutería artesanal**, llamado Good Fleisch, que operó por una treintena de años entre 1976 et 2006. La pequeña fábrica está ubicada 160 m aguas arriba de la perforación. Una laguna de oxidación recolectaba los efluentes. La investigación permitió constatar que la actividad culminó hace mucho tiempo y que la laguna ahora está colmada. La flora que se observa no presenta características particulares propias de un entorno salino. Ver fotos.



El matadero de Samaipata, que operó desde 1993 hasta diciembre de 2022; Una inspección sanitaria realizada por SENASAG ordenó su cierre. Se trata de un cierre provisional.

Los predios fueron visitados el 17/01 y el 24/02. Esto permitió constatar la presencia de una laguna de oxidación que recibía los efluentes (aguas de limpieza de sangre). Las cuatro lagunas sucesivas parecían cumplir con su propósito, las dos últimas estaban cubiertas de lentejas de agua y no emanaba ningún olor de las lagunas. Ver fotos.



También se constató la existencia de un espacio de tratamiento-añadido de valor de pieles, con sal. La salmuera que resultaba era vertida directamente en el río que se observa a continuación. Ver fotos.



Los volúmenes considerables de sal utilizados –tal como se observó y reportó el responsable del Samaipata – BOLIVIA

matadero– llamaron nuestra atención. Un cálculo rápido permitió estimar el volumen de sal utilizado a lo largo de 30 años: aproximadamente 600 toneladas. La ubicación del matadero en la microcuenca permite llegar a la hipótesis de que esta actividad pudo conllevar una contaminación de las aguas superficiales por grandes cantidades de sal como fuente de la contaminación de las aguas en la perforación de La Carretera. Ver el esquema.

Los análisis de agua realizados por el laboratorio Quebracho el 24 de julio de 2023 confirmaron el alto nivel de sales, por encima de la norma boliviana (conductividad de 1.939 microS/cm, versus 1.500 microS/cm para NB512). Debido a que el matadero fue cerrado hace más de seis meses, también se ha considerado otro origen de la contaminación salina.

### **Naturaleza geológica de los suelos**

La entrevista sostenida con el propietario de otra charcutería, Griese, que aún opera, nos dirigió hacia una contaminación salina natural de los suelos.

En efecto, esta persona nos mostró resurgimientos salinos en los materiales de construcción y la diferencia que existe en el crecimiento de árboles en los distintos puntos de su propiedad, lo cual se explica por un problema en los suelos mismos. Ver fotos.



El testimonio de una ceramista confirmó el problema. Él nos indicó que las arcillas halladas en el sector presentan impurezas salinas que exigen que los ceramistas limpien la arcilla mediante lavado y filtración antes de poder utilizarla.

El problema de las capas geológicas salinas fue confirmado por el estudio de la UMSA y el problema de la perforación de La Carretera fue tratado con el profesor Rafael Cortez. Él recomendó tomar en el pozo de la perforación muestras y análisis de agua de cada acuífero desde el cual se bombea agua. Con este fin, una empresa especializada como ser Smart Logging Services podría estar presente al momento del próximo trabajo de mantenimiento de la bomba de la perforación para realizar una endoscopia (video de inspección) para poder determinar las profundidades de las salidas de agua y tomar muestras de agua para su análisis. Una vez identificados los acuíferos salinos, obras civiles podrían aislarlos y se podría autorizar el bombeo únicamente en los demás acuíferos. Una alternativa sería la realización de diferentes sondajes geofísicos aguas arriba de la perforación de La Carretera, con el fin de determinar una zona de captación alternativa que no tenga capas salinas aflorando.

### 6.3.2. Aguas subterráneas del sector El Sauce

La cuenca hidrográfica de El Sauce suministra recursos hídricos a la comunidad de Samaipata en forma de agua subterránea captada en dos perforaciones públicas (COOPFLOR, perforación de La Carretera y perforación de El Sauce) y privadas (familia Hurtado y el orfelinato: Hogar de Niños El Sauce). Ver esquema a continuación.

La perforación de COOPFLOR de La Carretera fue estudiado en la sección precedente. La segunda perforación de COOPFLOR está ubicada en un pequeño recinto en la propiedad de la familia Hurtado (ver mapa abajo).



El agua es captada en capas arenosas. Es agua de buena calidad, pero los volúmenes bajan año a año. COOPFLOR ha instalado un sistema automático de apagado de la bomba según el nivel de agua en el pozo. Los dos pozos de la familia Hurtado fueron inspeccionados por estudiantes de la UMSA. Uno de estos dos (1) se encuentra cerca a la perforación de COOPFLOR (a 50 m). Está rodeado de campos permanentes de alfalfa destinada a alimentar 40 caballos de crianza presentes. En esto se emplea poco tratamiento químico.

El otro pozo (2) está ubicado cerca de campos de viñedos y olivos. Ver foto acá. Esta producción agrícola exige mucho más tratamiento, herbicidas, fungicidas e insecticidas para proteger los cultivos. Mi observación es que los suelos son pesados y limosos. No son apropiados para este tipo de cultivo. Los análisis de agua del pozo (2) muestran que la actividad eléctrica de los suelos está perturbada (rédox elevado).



El pozo del Hogar de Niños El Sauce fue visitado el 23 de enero de 2023. El agua de este pozo fue degustada y se juzgó satisfactoria. Dado que se ha constatado la cobertura de los suelos y el enfoque de agricultura orgánica de esta institución, las actividades humanas agrícolas no constituyen una amenaza de contaminación del recurso hídrico. La viticultura ha cesado. Ver foto acá.



### 6.3.3. Aguas subterráneas del sector aguas abajo de la cuenca de Astillero

Según el Presidente de COOPFLOR, una nueva perforación fue solicitada a las autoridades del Departamento de Santa Cruz (ver ubicación en el mapa, punto rojo). Parece que corresponde interesarse en ello en el marco del presente estudio sobre los orígenes de contaminación en este sector del territorio,

así como en las posibles fuentes de contaminación de la capa freática en este lugar.

El acceso a los resultados del análisis de una fuente de agua de resurgimiento ubicada cerca de este lugar (punto negro) dio la oportunidad de tener una primera impresión del grado de contaminación de las aguas superficiales en esta ubicación (ver análisis de agua en Anexo 5).

Teniendo en cuenta esto, se realizaron varias investigaciones en los campos agrícolas que se sospecha están contribuyendo a la contaminación del recurso del agua: grandes cultivos y viticultura. Cuatro unidades agrícolas fueron visitadas: Viñedo 1750 Uvairenda (en verde), Viñedo Guzmán (en violeta), granja agrícola y vitícola Tuma (en amarillo) y lotes de agricultura y crianza de ganado tradicionales (en azul).

Resalta de las investigaciones que:

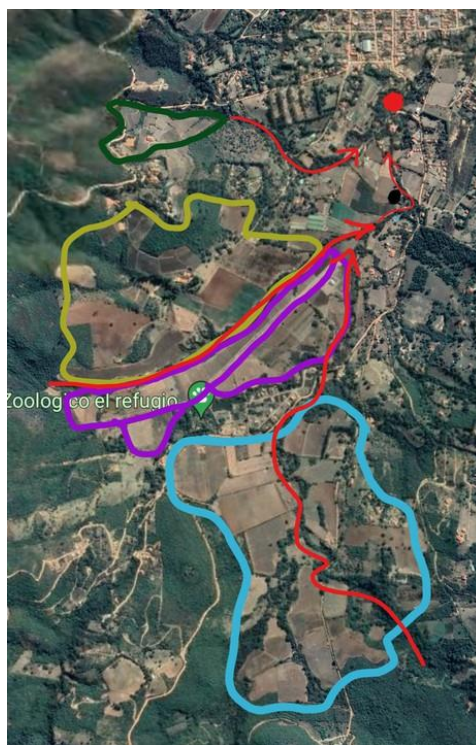
1 - La viticultura intensiva (en contraste con la viticultura tradicional) contribuye de manera regular a la contaminación de las aguas superficiales, particularmente por el uso de pesticidas, fungicidas, herbicidas (glifosato) y abono calcáreo.

2 - El grado de contaminación depende de las prácticas vitícolas, que varían de un viñedo a otro. La edafología juega un papel importante en la diferenciación de los tratamientos preventivos que se requieren. Son mínimos en suelos pobres en laderas, que se adaptan perfectamente a la viña y mucho mayores en suelos pesados de planicies que se adaptan a la horticultura.

Por otra parte, estructuralmente la viticultura intensiva conlleva condiciones desfavorables al estar las viñas cerca del suelo, lo que no sucede con la viticultura tradicional local que tiene a las viñas en armazones, sin enfermedades ni tratamiento alguno, siguiendo el ciclo de la luna para optimizar la producción (tala de las viñas en invierno, en el ciclo lunar final menguante).

Se ha constatado visualmente una mineralización de los suelos (proliferación de espuma en el suelo; ver foto acá) donde la vida está eliminada por el repetido uso de insumos químicos. Las aguas subterráneas también se ven afectadas. Esto está confirmado por el valor de potencial rédox, testigo de su actividad eléctrica. El pH también es anormalmente bajo.

Los grandes cultivos, ya sean tradicionales o intensivos, afectan esencialmente la calidad de las aguas superficiales por la erosión de los suelos y el lavado: escorrentía durante las lluvias. El color de los cursos de agua da fe de ello. Ver foto acá. La contaminación química por productos de tratamiento agrícola se encuentra en las aguas superficiales y se concentra aguas abajo. Sigue estando dentro de la norma boliviana. Ver Anexo 2, el penúltimo análisis, de un arroyo cerca de la nueva perforación. Pero las infiltraciones podrían concentrar contaminantes en la capa de agua subterránea.



### 6.3.4. Contaminación de las aguas subterráneas por la presencia urbana

No se observó evidencia de contaminación de la red de agua potable por la red de alcantarillado, al contrario de la contaminación del río Piráí por vertidos de la estación de depuración, saturada por la carga de materia orgánica que entra en ella. Ver foto acá. La estación se ha vuelto demasiado pequeña con el tiempo (su período de viabilidad pasó hace mucho tiempo) y deberá ser objeto de una adaptación a la medida de la población actual y venidera, por ejemplo, mediante pasar a un sistema de lagunaje plantado (fito-filtración) y dinamizado (oxigenación mecánica). Sin embargo, este aspecto no forma parte del presente estudio. Su complejidad justifica un estudio a parte, aspecto que está siendo evaluado por la Municipalidad de Samaipata.



Fosas sépticas individuales inoperantes o saturadas podrían también estar contribuyendo a la contaminación de las aguas superficiales, si bien tampoco en este caso se ha observado ningún caso de evidencia concreta, y este tema no forma directamente parte del actual estudio.

En cambio, sí fue investigado el caso de las charcuterías Griese (actualmente activa) y Good Fleisch (cerrada en 2016), que se sospecha ser las fuentes de la contaminación de las aguas subterráneas de la perforación de La Carretera (ver sección dedicada al tema).



En cuanto a la contaminación por tráfico vial, se puede mencionar que el negocio secundario de los leñadores de cambio de aceite de motores parece hacer que haya aceite en el ambiente, dispersado en los bosques.

### 6.4. Contaminación de aguas después de su extracción

Para terminar, es importante mencionar que el recurso hídrico, una vez captado, sufre contaminación relacionada con la infraestructura existente entre la extracción misma y el consumidor.

#### Contaminación de aguas por material de canalización

COOPFLOR conduce el agua potable por tubería que varía en tamaño y tipo de material. La vía principal que corresponde a la captación de El Fuerte es de hierro fundido y cementada en su interior. Con el tiempo, las tuberías se han degradado parcialmente, sobre todo por partículas en suspensión y por las características de los componentes del agua (presencia de hierro, oxidable).

COOPFLOR afirma que todas las canalizaciones de la red de distribución son ahora de PVC y que ya no hay secciones hechas de plomo o hierro.

#### Contaminación de las aguas al momento del tratamiento de potabilización

Los análisis del pasado y recientes que se han realizado indican que todo tratamiento químico del agua fue suspendido por COOPFLOR.

La floculación por sulfato de aluminio y la cloración fueron suspendidas en la estación de tratamiento de agua de Soto Pollerudo.

## Contaminación de aguas en la red de distribución

Varios usuarios han reportado agua anormalmente turbia en los grifos de sus domicilios. Esto también fue constatado al momento de la toma de muestras por parte de los técnicos del laboratorio Quebracho del grifo del nuevo mercado municipal. Parecería ser que esto se debe a la puesta en suspensión de elementos calcáreos depositados en las tuberías. El agua vuelve a aclararse después de algunos segundos. Los análisis de agua no indican sin embargo dureza elevada.

## Caso de agua purificada distribuida por varias empresas

Esta agua distribuida a los consumidores es purificada mediante procedimientos que tienen en consideración la clásica contaminación físico-química y bacteriológica. Esta agua es controlada por la entidad oficial de certificación de productos alimenticios de Bolivia, SENASAG, por lo cual no hay motivos para temer ninguna contaminación de este tipo.

En cambio, probablemente sí exista una contaminación de las partículas micro plásticas que emanan de la lenta descomposición de los bidones reutilizados regularmente desde hace varios años, con los cuales se efectúa el transporte bajo condiciones no siempre óptimas (calor, rayos solares, ausencia de protección). Determinar este nivel de contaminación es complejo y va más allá del alcance del presente estudio.

## 6.5. Resumen

El estudio realizado permitió poner en evidencia los diferentes orígenes de la contaminación de los recursos hídricos para el suministro de agua potable de la zona urbana de Samaipata:

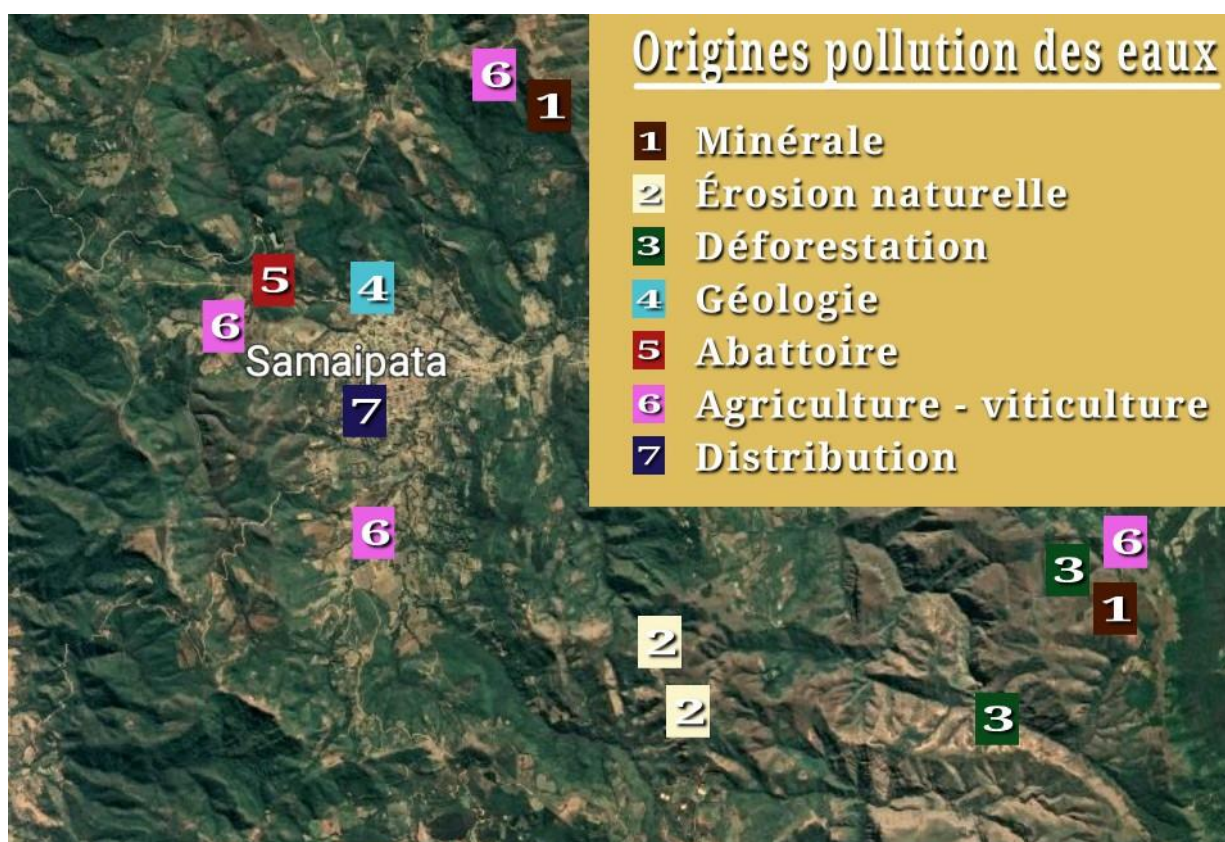
- Contaminación directa de las aguas superficiales por elementos minerales naturales, como ser hierro o potasio
- Contaminación directa de las aguas superficiales como resultado de erosión natural suelos frágiles, en época de lluvias
- Contaminación indirecta de las aguas superficiales por productos de erosión relacionados con la deforestación y usos agrícolas de los suelos: sedimentos y materia orgánica (además de una enorme pérdida de reserva útil y de caudales)
- Contaminación de aguas subterráneas por capas geológicas salinas
- Contaminación directa de aguas subterráneas por actividades humanas (taller secundario del matadero de Samaipata para añadir valor a pieles para la curtiembre)
- Contaminación directa de aguas superficiales y subterráneas por actividades agrícolas y vitícolas intensivas
- Contaminación directa de agua durante su distribución, por micro plásticos (tiene que ver particularmente con agua vendida comercialmente entregada en bidones)

La siguiente tabla enumera los indicadores de contaminación y los lugares que les corresponden:

Tipo de origen	Indicador	Ubicación
Mineral	Hierro, potasio	Aguas arriba de la captación de El Fuerte, Chorrillo oeste
Erosión natural	Turbidez después de lluvias	Cuenca Astillero, Tambillo
Deforestación	Turbidez, depósitos de arena, residuos sólidos, materia orgánica	Cuenca El Fuerte

Geológico	Conductividad, sodio, alcalinidad	Perforación La Carretera
Matadero	Nitratos, nitritos, sodio	Perforación La Carretera
Insumos agrícolas y vitícolas	Potasio, alcalinidad, conductividad, rédox, sodio, sulfatos	Cuenca Chorrillo oeste, El Sauce, Astillero aguas arriba, El Fuerte
Estructural, durante la distribución	Micro plásticos, electro-fotónico	Distribuidores privados

Las contaminaciones identificadas fueron ubicadas en el mapa que sigue.



Se pueden clasificar los orígenes de la contaminación de las aguas de suministro de Samaipata por orden de importancia, como sigue:

**La contaminación principal** es natural pero provocada por el hombre. Se trata de productos de erosión minerales y orgánicos relacionados con la deforestación y causantes de la turbidez en la época de lluvias. Es el resultado de una mala gestión de la cuenca hidrográfica al nivel de las zonas de captación.

Principalmente afectada está la cuenca hidrográfica de El Fuerte, a pesar de las leyes en vigor (ANMI Río Grande – Área Protegida Departamental).

La cuenca hidrográfica de Tambillo también está afectada.

**La contaminación secundaria** es fitosanitaria. Es marginal (no detectada por análisis) en la cuenca hidrográfica de El Fuerte, pero va en aumento (detectada por análisis) en el sector periurbano de Samaipata: aguas abajo de Astillero y en El Sauce.



**Contaminación localizada** afecta la perforación de La Carretera (por el matadero y/o la geología).

## 6.6. Recuento y recomendaciones sobre la contaminación de las aguas

**Para Chorrillo**, separación de las aguas contaminadas de las aguas en perfecto estado. Designación de las aguas perfectas prioritariamente para el consumo humano. Las demás aguas requieren un tratamiento separado apropiado.

**Para Tambillo**, realización de obras de retención de suelos (cordones de bolsas de arena) y plantaciones de arbustos en forma de curvas a la altura de los gaviones, según el caso, aguas arriba de las captaciones superiores. Trazos azules en la imagen de abajo.

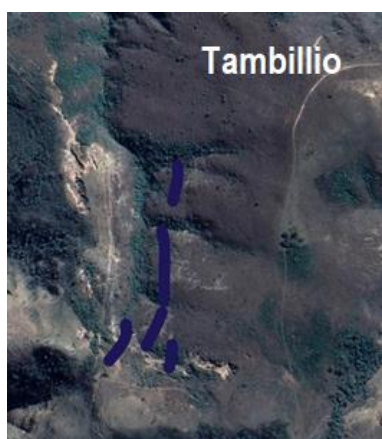
**Para Astillero**, protección aguas arriba de las captaciones por gaviones para limitar el influjo de materia en suspensión en las captaciones.

**Para El Fuerte**, creación de un área protegida de 400 has. (perímetro amarillo en la imagen de abajo – cinco propietarios afectados) con reforestación espontánea y dirigida (de múltiples especies) con el fin de reequilibrar la cuenca hidrográfica, restaurando el potencial original de reserva de agua potable deteniendo la erosión de los suelos y la contaminación mineral de las aguas (arenas y limos). El hierro en exceso deberá ser tratado por oxigenación (oxidación) al aire libre tipo cascada antes de almacenamiento en el reservorio.

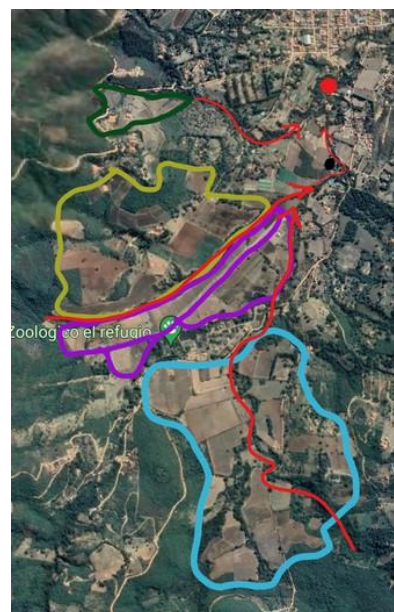
**Para la perforación de La Carretera**, la toma de muestras en cada nivel de captación de la perforación con análisis de aguas separadas deberá permitir evidenciar las capas geológicas contaminadas. Una vez identificadas, la colocación de coladores en la perforación deberá posibilitar bloquear la llegada de agua de estos acuíferos para bombear únicamente el agua que emana de las capas geológicas no contaminadas por sal, probablemente las más profundas.

**El taller secundario del matadero** (pre curtiembre) deberá ser ubicado en otro lugar.

Para las perforaciones de la **zona de El Sauce**, reforestación de 100 has. aguas arriba de la cuenca hidrográfica, más allá de Cerro de la Patria, junto con acompañamiento a los agricultores y viticultores para lograr manejos orgánicos de los cultivos. Imagen abajo.



Para el valle Samaipata, sector aguas abajo de Astillero, acompañamiento de los agricultores y viticultores para lograr manejos orgánicos de los cultivos (protección de la calidad del agua de la nueva perforación de COOPFLOR). Imagen acá.

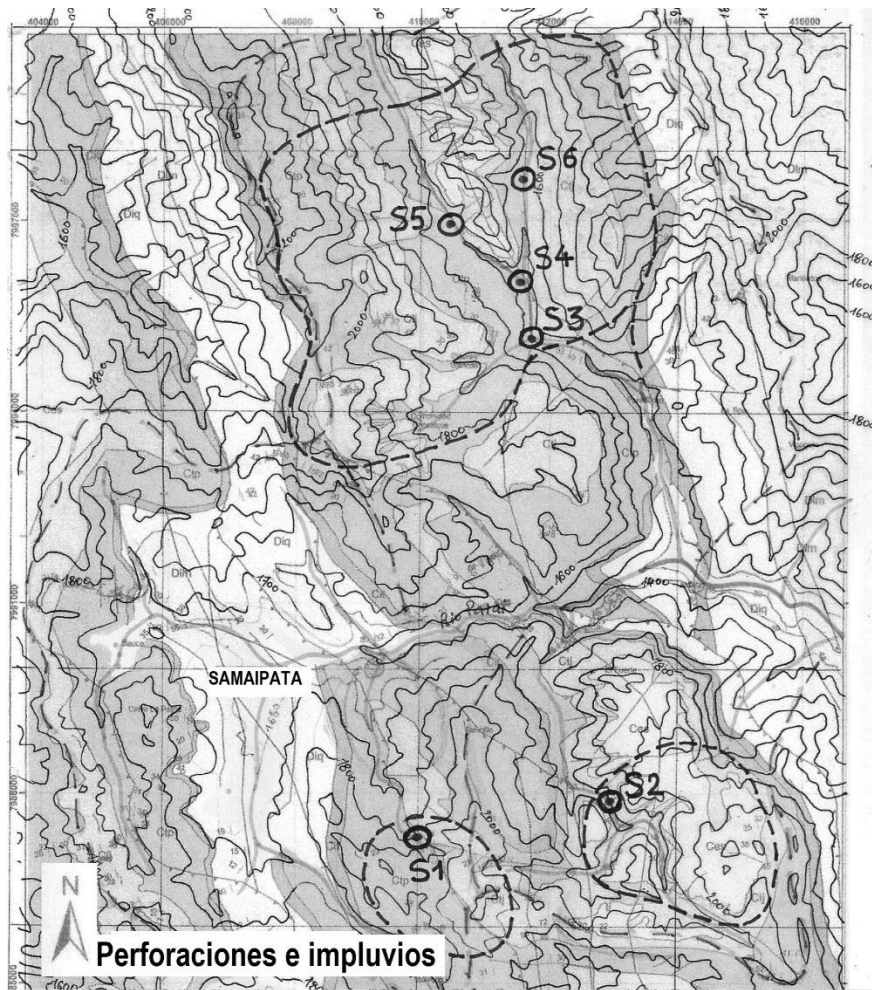


## **7. INVESTIGACIONES COMPLEMENTARIAS CON MIRAS A UN PROYECTO GLOBAL DE SUMINISTRO DE AGUA POTABLE**

Se recomienda reconocimientos por sondajes después del estudio hidrogeológico. Tendrían el fin de determinar la capacidad de los acuíferos profundos de proporcionar agua de calidad y en cantidad, de manera de cubrir las necesidades actuales durante el estío y por otro lado atender las necesidades del futuro.

Las capas potencialmente acuíferas (Escarpment, Tarija y Tupambi) que presentan condiciones favorables para almacenar agua subterránea se encuentran en zonas de relieve accidentado. No parecen ser apropiados los sondajes geofísicos.

Se propone una serie de seis sondajes en método destructivo, con pruebas de bombeo, en tres sectores que presentan estructuras favorables (interpretación cartográfica). Se trata de zonas en campo abierto, con muy pocos habitantes y pastoreo en las cimas. Están ubicados en la vista de Google Earth y en el plano topográfico a continuación:



## Justificación de la realización de sondajes:

### Valle de Tambillo

El río Tambillo fluye en un valle sinclinal a la derecha de una falla inversa, axial, por la formación Tupambi (corte geológico E). El sondaje S1 está ubicado en la supuesta intersección de dos fallas. Su profundidad sería de entre 100 y 150 m (techo de Itacuá). La superficie supuesta de impluvio (drenaje superficial y subterráneo) sería de aproximadamente 3 km<sup>2</sup>.

### Valle del río El Fuerte

La estructura sinclinal de la montaña al oeste del río El Fuerte presenta un espesor considerable de capas potencialmente acuíferas (Tupambi, Tarija y Escarpement en la cima). El sondaje S2 se encuentra aproximadamente en el eje N-S del sinclinal (cortes E y F). Su profundidad sería de entre 150 y 250 m (techo de Itacuá). El impluvio podría extenderse sobre 5 km<sup>2</sup>.

### Valle de Paredones

El valle del río Paredones, importante afluente de la ribera izquierda del río Piraí, se desarrolla a lo largo de 15 km hacia el norte en una gran estructura sinclinal recorrida por una falla axial, supuestamente inversa. La formación Tupambi constituye la base de este valle encajonado. Se podrían prever cuatro sondajes en el fondo del valle, en la parte baja del sinclinal (cortes B y C), en el siguiente orden:

- S3, en la intersección de una falla transversal. Profundidad de entre 100 y 200 m
- S4, en el nivel de la dobléz de la falla axial. Profundidad de entre 150 y 250 m
- S5, en la rama este del valle. Profundidad de entre 200 y 300 m
- S6, en la rama oeste del valle. Profundidad de entre 200 y 300 m

El impluvio relativo a estos cuatro sondajes es bastante extenso, con una superficie de entre 25 y 30 km<sup>2</sup>. Se encuentra delimitado por picos al este y oeste, bordeando el sinclinal dando lugar a formaciones disimétricas en Tupambi.

## Reconocimientos preliminares de los sitios de sondaje propuestos (ver el Anexo I)

Cada sector fue objeto de reconocimientos.

Los resultados de estos reconocimientos se presentan en el Anexo I. Resulta que convendría dar prioridad a las perforaciones exploratorias, una en el sector de El Fuerte (S2') y la otra en el sector aguas arriba de Astillero (ubicación exacta por determinarse).

Estos reconocimientos también permitieron evidenciar la existencia de recursos hídricos interesantes en la microcuenca de Paredones que se encuentran en una cota superior a la de la zona urbana de Samaipata, por lo que se podría explotar los recursos por gravedad. La captación de estas aguas implicaría un acuerdo de recurso compartido entre la comunidad rural del lugar y COOPFLOR.

## 8. CONCLUSIÓN GENERAL

Si bien persisten incertidumbres, es posible establecer el siguiente recuento:

- **Los cursos de agua** presentan un alto nivel de vulnerabilidad frente a la contaminación (obras, agricultura, ganadería, etc.) y al cambio climático. Este último tiene un impacto en los caudales que disminuirán progresivamente durante el estiaje en el futuro.
- **Las fuentes** constituyen los mejores recursos desde el punto de vista cualitativo. Los caudales captados actualmente proporcionan un total de 3 a 4 l/s durante el estiaje. Hay fluctuaciones, que van a acentuarse en el futuro.

Cabe notar que existen algunas pequeñas fuentes perenes no captadas cuyos caudales no son conocidos, así como fuentes potencialmente interesantes en la microcuenca de Paredones.

Varias pequeñas emergencias se agotan durante la época seca.

- **La capa freática aluvial** en la cuenca de Samaipata presenta un alto nivel de vulnerabilidad relacionada con la actividad humana e industrial, como lo evidencia el pozo contaminado de La Carretera. Por otro lado, los caudales de bombeo se ven limitados por el débil espesor de los aluviones y por la recarga irregular aguas arriba en la época de lluvias, que es sumamente débil en la época seca. Ninguna fuente conocida emana de los aluviones acuíferos. Además, el recurso aluvial parece ser mínimo para el futuro. También, la perforación realizada recientemente en esta capa freática aluvial (a 120 m de profundidad) no es muy prometedora.

Cabe notar que los coluviones y los pedregales no presentan más que pequeñas fuentes temporales, debido a su débil extensión.

- **El agua subterránea en entorno rocoso** es la única que proporciona agua de calidad, como lo han evidenciado los análisis realizados de las distintas fuentes captadas. Los caudales medidos de estas fuentes indican que los entornos acuíferos rocosos (sobre todo Tupambi) son extensos y poseen una gran capacidad de retención (caudal sostenido durante el estío).


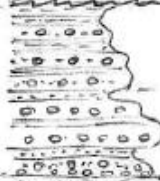


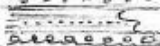




Es probable que ciertas zonas profundas estén saturadas de agua por el hecho de disposiciones estructurales particulares: fondo sinclinal, fallas poniendo en contacto arenisca fracturada y una formación arcillosa, etc. Estas zonas favorables están rodeadas en los cortes geológicos de serie. Se debe indicar que estos contextos estructurales provienen de interpretaciones cartográficas. A pesar de ello, relacionadas con el relieve, las fuentes existentes y los flujos subterráneos en general, estas zonas pueden constituir acuíferos en potencia, lo que se determinará en el futuro mediante la campaña de reconocimiento que se ha propuesto anteriormente.

## 9. ANEXOS

Anexo A

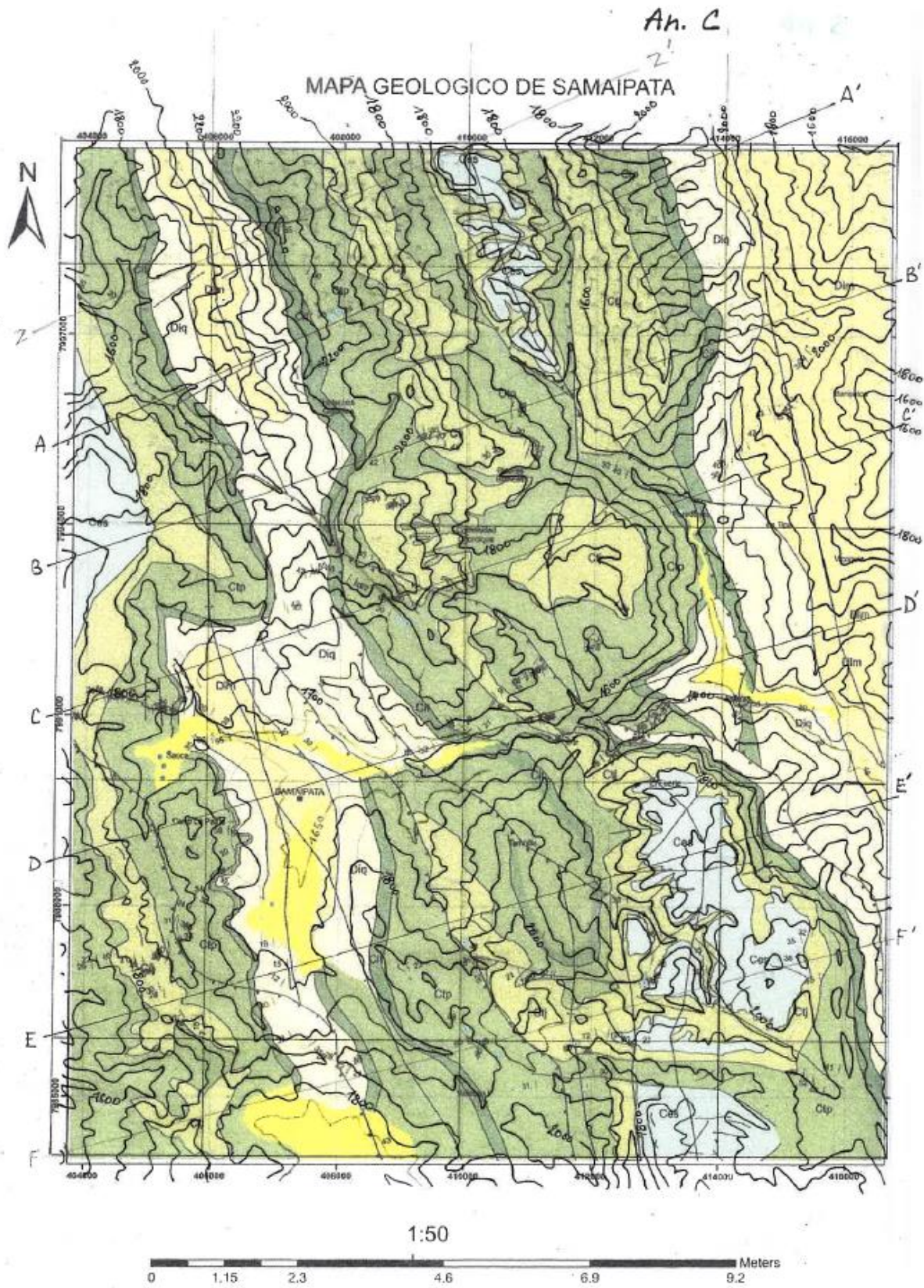
An. A

### COLUMNA ESTRATIGRAFICA

	Formación	Perfil litolog.	Esp.	Permeab.	Describe. litologica
PERMICO	Langapi Continental fluvio-estico		200m	M	Areniscas grano medio a grueso amarillento blanquecino - Ac 30-50cm
CARBONIFERO	Escarpment facies delta. ces		150m	f	Areniscas conglomeraticas rojas a violas.
			100m	M	Conglomerados areniscotas marrón
			45m		Areniscas marrón y conglomerados
	Tarija Ctp Marino con influencia glacial		150m	f	Diamicticas rejiradas o quis - Slumps con bloques de areniscas
			100m	f-M	Diamictica arenosa quis con clastos cuarzit.
Tupambi Ctp Marino con influencia delta.		50m	F	Arenisca amarillento claro. Poco compacta	
		130m	f-M	Areniscas marrón amar. y limolitas y diamicticas quis - más gruesos parte inf.	
Itacua . lit		70m	f	Diamicticas quis oscuras y areniscas limosas	
DEVONICO	Iquiri Plataforma marina Diq		220m	f	Lutitas quis oscuras
				M	Areniscas finas marrón amarillento
			180m	f	felito quis oscuro con lentas arenisca y niveles bioturbados
	" "		150m	f	lutitas quis oscuro → laminitas lentas arenisca fino quis claro
			200m	f.	lutitas y limolitas y areniscas finas quis claro
	Los Monos Plataforma marina distal Dim		150m	f-M	Areniscas finas con intercalacion lutita y limolita quis oscuro
			150m	f.	lutitas quis oscuras → laminitas finas Intercalc! limolita y lentas arenisca fina
Hamapampa		45m	f.	Arenisca fina - Matriz arenilloso-limosa	

Anexo B



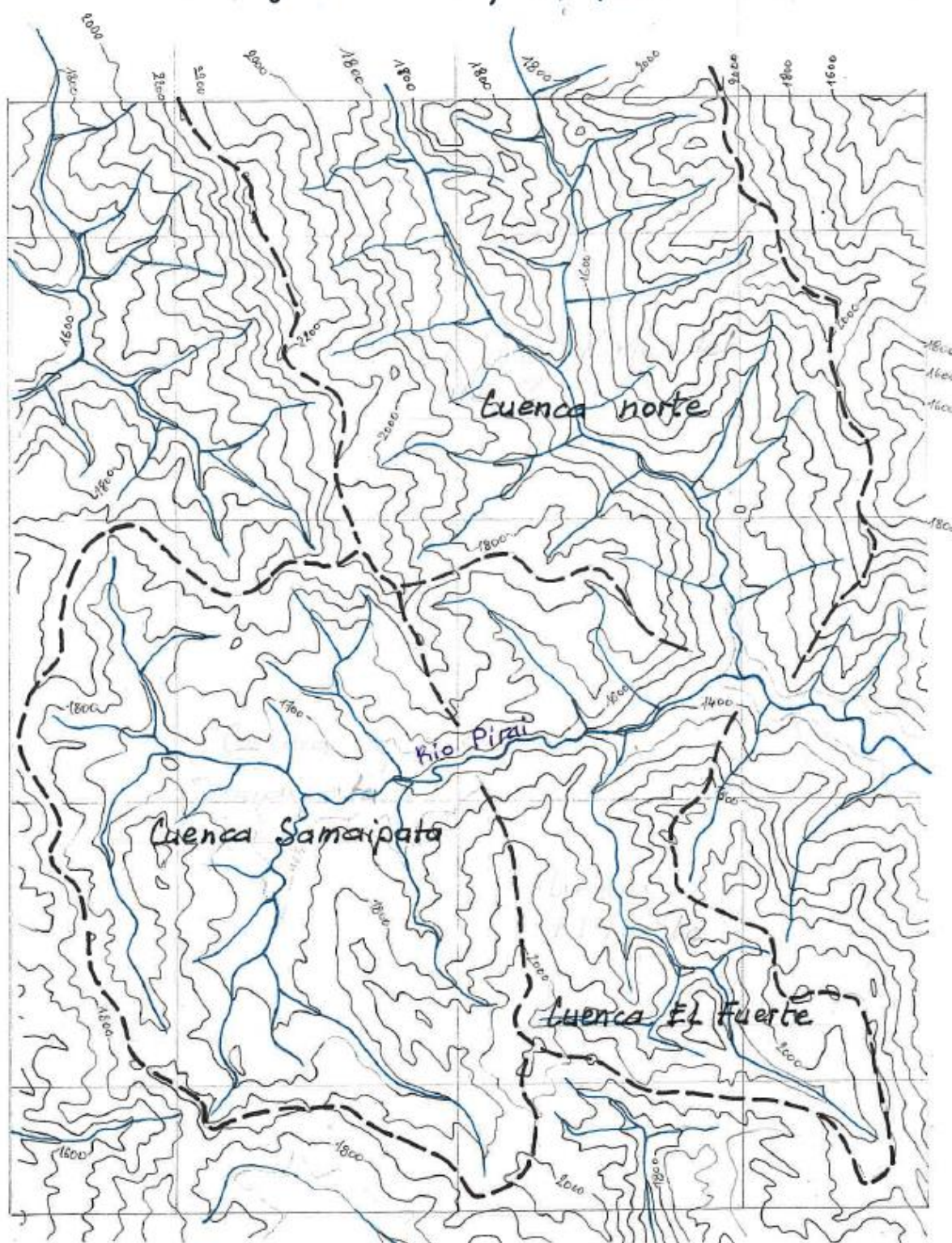




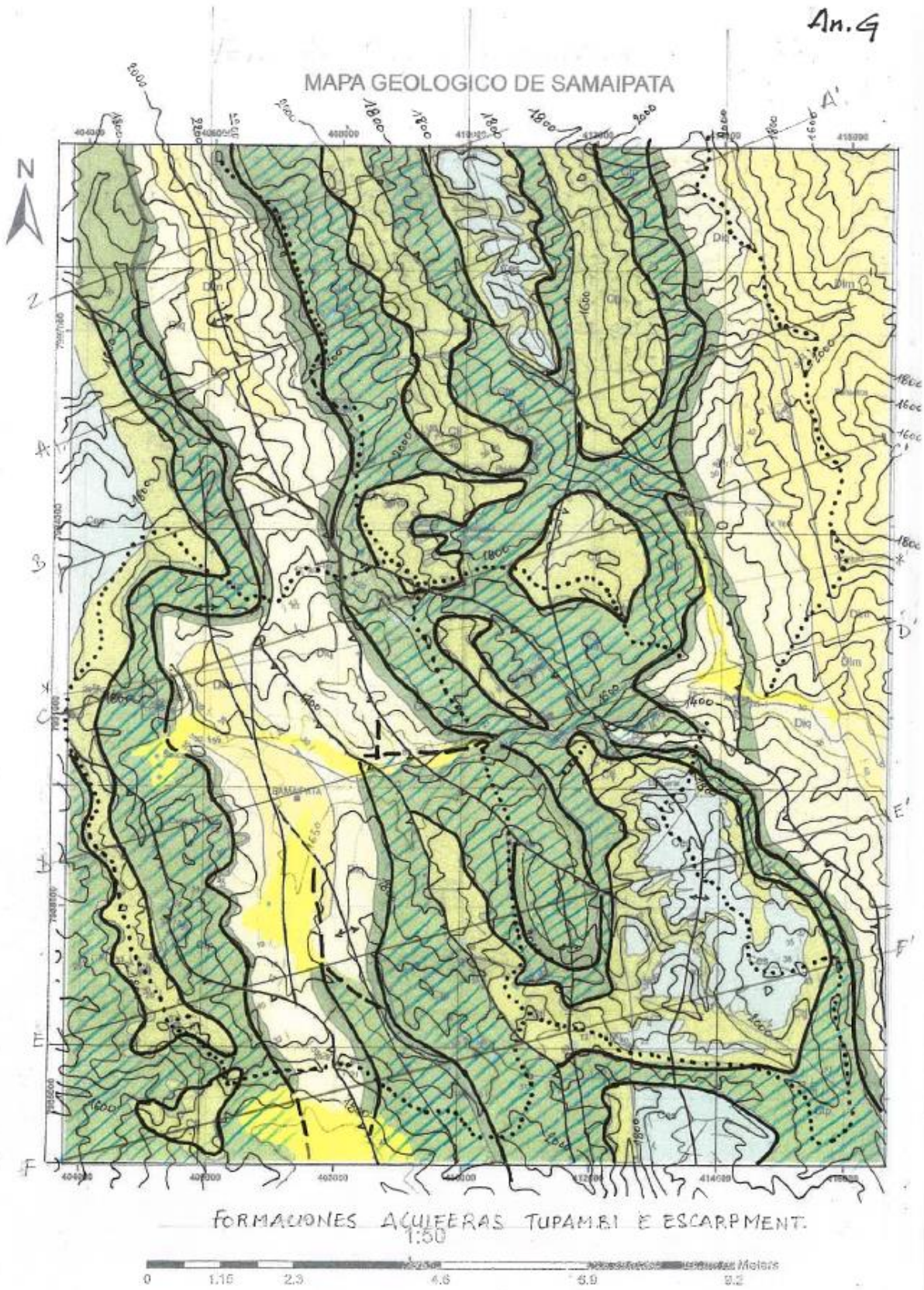
ANEXO D



AEP Samaipata  
Topographie et hydrographie



An. 9





## ANEXO H – Prioridades y recomendación del informe de WEFTA de 2018

### PRIORIDADES IDENTIFICADAS

- 1.) Actualmente, el agua distribuida en Samaipata no es potable por contener grandes cantidades de coliformes totales y coliformes fecales. Suministrar agua potable a Samaipata es una prioridad absoluta.
- 2.) En los momentos de picos de demanda, el servicio de agua a veces no está disponible en todas las conexiones. Esto podría atribuirse a una falta de agua o simplemente a la ineficacia de las instalaciones existentes (red y posibilidades de almacenamiento).
- 3.) Las lagunas que recogen las aguas servidas no están revestidas y vierten directamente en el río, contaminando las aguas para los usuarios río abajo.

### RECOMENDACIONES

#### Prioridades inmediatas:

I. Finalizar el plan de la red actual con ubicaciones de todas las obras. Este trabajo está actualmente en curso. Está siendo realizado bajo la responsabilidad de WEFTA (sistema de información geográfica del sistema).

#### II. Prever instalaciones apropiadas de tratamiento de agua:

Fase 1: Sector noreste: un sistema de cloración a ser añadido inmediatamente aguas arriba del actual reservorio de Tambillo para que el sector esté alimentado por agua potable

Fase 2: Sector central, atendido por Chorrillos, la estación de tratamiento, el pozo de Cementerio y el pozo de El Sauce: (i) construcción de un reservorio entre las tomas y el sistema de distribución de Chorrillos; (ii) emplazamiento de un sistema de cloración al lado, aguas arriba, del nuevo reservorio de Chorrillos propuesto aguas abajo de la unión del pozo de El Sauce con la tubería del pozo Cementerio; (iii) mejora de la eficacia del sistema de cloración de la estación de tratamiento existente:

Fase 3: Las casas directamente conectadas a la conducción entre las tomas de El Fuerte y la estación de tratamiento deberán conectarse, si es posible, a una conducción de agua tratada, tal como aquella ubicada aguas abajo del reservorio de Tambillo.

III. Mejorar la infraestructura existente con el fin de evitar contaminación local del agua: en todos los puntos en los que el agua está expuesta al medioambiente, incluyendo todos los rompe cargas, los reservorios y las tomas de agua, en las fuentes 4 y 5 de Chorrillos.

#### Plan para el largo plazo

I. Calidad de agua en puntos clave del sistema: Controlar la calidad del agua para asegurar que la desinfección sea eficaz en el pozo de El Sauce, en las casas entre el pozo de Cementerio y el reservorio de Cancho 8, así como en las casas a gran altura atendidas por la línea de transporte secundaria del pozo Cementerio y casas alejadas de los puntos de cloración.

II. Mejora del suministro de agua: Concebir todas las ampliaciones futuras de la red sobre la base de criterios de concepción adecuados, previendo reservorios de regulación/almacenamiento, evitando las conexiones directas de casas por tuberías de agua bruta, previendo zonas de protección para las tomas y los pozos, reemplazando las conducciones si fuera necesario, hallando fuentes de agua alternativas cuando las existentes estén muy contaminadas, etc.

III. Optimización del almacenamiento de agua: El almacenamiento en el conjunto del sistema de Samaipata es realizado de manera ineficaz; se debería realizar un análisis profundo para sopesar la eficacia con la que cada reservorio de almacenamiento es utilizado con relación a todas las fuentes de agua, y para saber qué estructuras de control suplementario son necesarias.



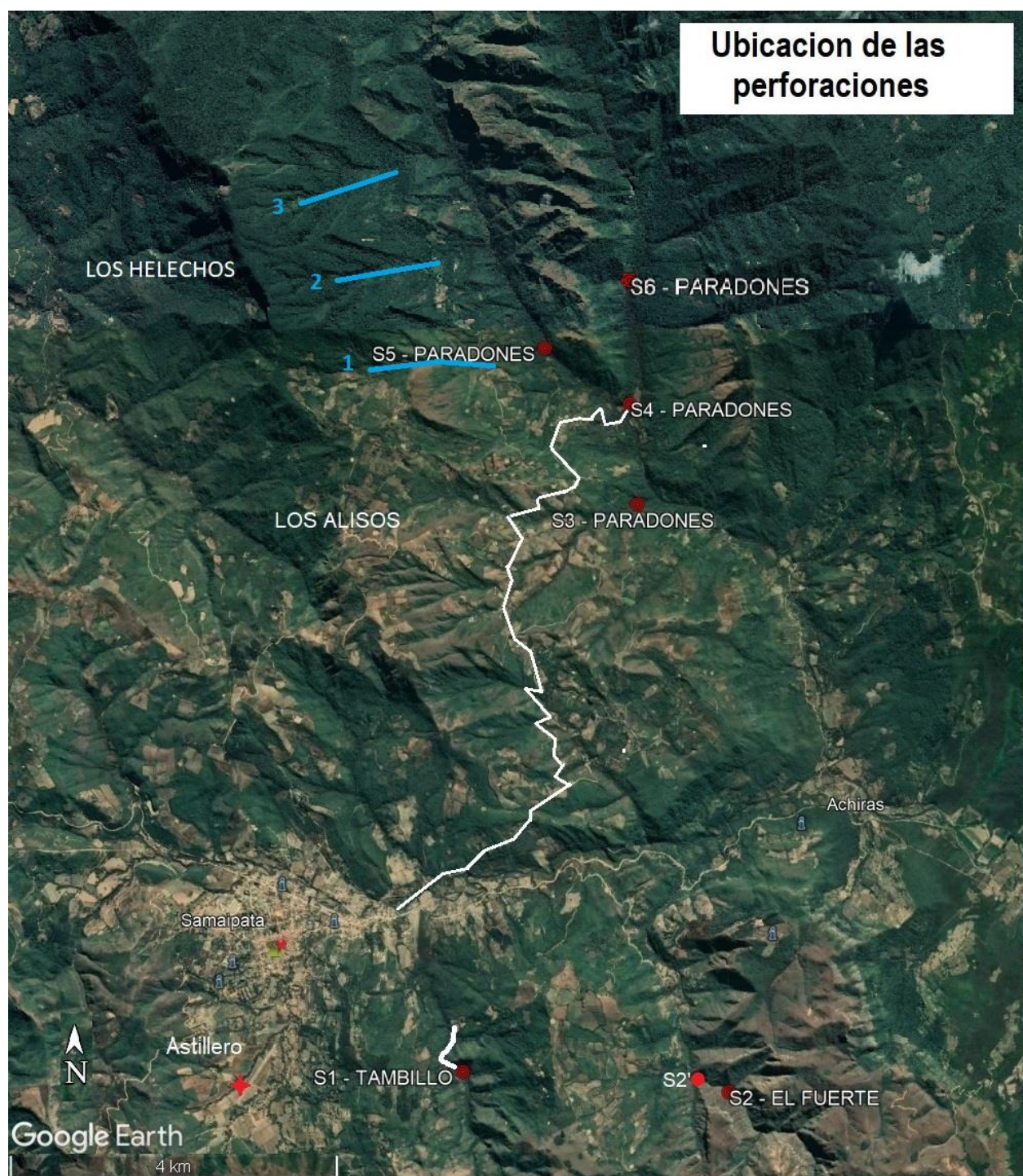
IV. Mejoras en las instalaciones de tratamiento de aguas: problema de eliminación de residuos sólidos, optimización de los procesos de tratamiento, equipos suplementarios

V. Mejoras en el sistema de tratamiento de aguas servidas: instalación de una celda suplementaria de tratamiento con revestimiento de geomembrana y aireadores flotantes

### **ANEXO I – Reconocimiento de los sondeos propuestos**

Después de haber evidenciado tres sectores prometedores desde el punto de vista geológico e hidrogeológico para incrementar los recursos de agua para Samaipata, y el emplazamiento preliminar de sondas piezométricas, se procedió a la evaluación de su factibilidad en términos de acceso: S1 – Tambillo, S2 – El Fuerte, S4 – Paredones (el único que se retuvo en este sector).

Al mismo tiempo, se ha contactado a empresas para ver en qué medida sería posible, en términos de presupuestos, lanzar una campaña de sondeos en el marco del presente estudio.



**Resultados del estudio:**

<p>S1 Tambillo</p>	<p>La unidad de explotación de recursos hídricos del Ministerio de Defensa ubicada en Santa Cruz (COFADENA) envió a dos personeros, un geólogo y un técnico, para evaluar el acceso y la posibilidad de perforación.</p>
------------------------	--

	<p>Resultó imposible acceder al punto S1 desde la carretera, por motivos del relieve. Ver mapa abajo.</p> <p>La única solución sería abrir un nuevo camino desde un terreno agrícola vecino ubicado a 500 m de S1 (en blanco en el mapa). Se trata de una obra mayor en vista de la pendiente y la vegetación (bosque denso).</p> <p>En conclusión, este sitio es de difícil explotación actualmente.</p>
S2 Fuerte	<p>El</p> <p>COFADENA inspeccionó la vía de acceso a S2. Este sitio es inaccesible para vehículos (lecho del río El Fuerte). Se propone una alternativa S2'. Ver el mapa.</p> <p>El camino de acceso requiere algunas modificaciones, particularmente una plataforma en el lecho del río para permitir el paso de vehículos al final de la ruta. El sitio S2' es adecuado para la manipulación de herramientas de perforación. Requiere únicamente trabajos de desmonte y de nivelación.</p> <p>Para estos trabajos de preparación se ha solicitado una cotización a la empresa Montaña, que se especializa en trabajos de caminos. El monto de la cotización es de Bs. 16.000; es decir, € 2.162.</p> <p>La cotización de COFADENA para una perforación de 6 pulgadas de diámetro, con tubería de hasta 250 m de profundidad es de Bs. 450.000; es decir, € 60.810.</p> <p>Se decidió solicitar cotizaciones a distintas empresas para fines comparativos. Esto fue lo que se obtuvo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- € 23.378 de Perforaciones Hno. Wang</li> <li>- € 37.838 de Macruz</li> <li>- € 61.486 de Agua Terre</li> </ul> <p>El acceso de la maquinaria exige también el desplazamiento de un cable y de un poste de conducción de la captación principal de la cooperativa de agua de Samaipata (COOPFLOR). La proximidad de la toma principal de agua de Samaipata debería facilitar la explotación de la perforación. La línea de transmisión de electricidad se encuentra a 250 m. La solicitud de conexión gratuita (como servicio público) es viable. El propietario del terreno ha sido identificado.</p> <p>Sería por lo tanto razonable descartar las cotizaciones extremas y confiar en la empresa que se encontró, Macruz, que además tiene buena reputación.</p> <p>En conclusión, el sitio de sondaje S2' presenta ciertas ventajas y se puede concebir la perforación con un presupuesto de alrededor de 45.000 euros.</p>
S4 Paredones	<p>Los personeros de COFADENA llegaron al sitio S4 ubicado a 12 km del camino asfaltado. Un camino mantenido de tierra llega hasta el lugar de la perforación (ver mapa).</p> <p>El geólogo de COFADENA ha advertido sobre el riesgo de hundimiento si la perforación se hace donde se encuentran las fallas, las cuales por cierto auguran un interesante recurso de agua. Él sugiere alejarse al menos 50 m del río, como medida de precaución. La línea de transmisión de electricidad pasa por este lugar, lo que facilitaría la explotación del sitio.</p> <p>En cambio, el sitio está ubicado a una distancia relativamente grande en contrasentido de Samaipata, con una diferencia en altura de 200 m. Su explotación conllevaría un costo considerable de bombeo. La ruta desde la toma de agua presentaría igualmente problemas de tenencia de tierra (de derecho propietario), que en Bolivia tardan mucho en resolverse.</p> <p>En conclusión, el sitio S3 es accesible y explotable. Presenta un caudal potencialmente prometedor, si bien su ubicación haría elevado su costo en términos de inversión y explotación.</p>

## Alternativas identificadas a lo largo de la campaña de reconocimiento

Dos alternativas de recursos hídricos para la zona urbana de Samaipata fueron planteadas por la empresa Macruz, que realizó varias perforaciones en la región. Se trata de un recurso subterráneo en la microcuenca hidrográfica de Astillero y fuentes en los espolones de la montaña de Los Helechos (cima a 2.400 m).

### 1- Astillero

Existencia de una perforación privada de 120 m de profundidad realizada por la empresa Macruz aguas abajo de la cuenca de Astillero (cruz roja en el mapa). Su caudal inicial estaría cerca de los 8 l/s. Esta perforación fue llevada a cabo en roca seca a 60 m de profundidad. Únicamente más allá de esta profundidad se observaron emergencias de agua. Los filtros están bien ubicados en la profundidad, a aproximadamente 120 m.

Macruz proporcionó una cotización para perforar en este sector, de Bs. 180.000; es decir, € 24.324.

Se consultó con la empresa Fractal para ubicar el lugar exacto en el cual perforar y para obtener una cotización de sondaje eléctrico vertical. El responsable de la empresa propuso realizar una tomografía de la zona aguas arriba de la perforación privada en el eje principal de la microcuenca por un costo de € 4.730.

### 2- Los Helechos

Varias perforaciones de altura fueron realizadas en el sector Los Alisos por la empresa Macruz por cuenta del Fondo Nacional de Inversión Productiva y Social (ver mapa); sin embargo, las perforaciones no fueron utilizadas por motivos de mala gestión de los proyectos por la municipalidad durante el período 2011-2015.

Por otro lado, tres arroyos permanentes alimentados por la montaña de Los Helechos fueron identificados como posibles fuentes de agua potable para Samaipata. Ver los trazos azules en el mapa.

**Arroyo "1":** ubicado a 7 km de Samaipata en línea recta; caudal con varios litros por segundo. Un ribereño me mencionó que se dan inundaciones después de lluvias, pero el arroyo continúa con un caudal cercano al constatado.

El agua es ligeramente turbia, si bien de buena calidad al gusto. Los análisis indican pH = 8,04, conductividad = 28 microS/cm (sólidos disueltos 14 ppm), rédox = 183 mV 1.

**Arroyo "2":** ubicado a 8 km de Samaipata, a una altitud de 1.730 m

Su caudal es de más de 10 l/s. Según los ribereños, el caudal es regular. Proviene de un resurgimiento ubicado a aproximadamente 300 m aguas arriba.

Las cualidades del agua son excelentes a la vista y al gusto. Los análisis realizados por la empresa Los Pinos con un aparato BLE-C600 dieron como valores pH = 8,01, conductividad = 123 microS/cm (sólidos disueltos 61 ppm), rédox = 172 mV.

**Arroyo "3":** no fue visitado por dificultades de acceso. Llegar al lugar, si fuera necesario, exigiría una expedición bien preparada.

Estos recursos superficiales son explotados para actividades agrícolas por la comunidad rural local. Su uso para el suministro de agua para Samaipata no se ve viable; sólo se puede vislumbrar registrar estos recursos dentro del marco de una ordenación que tenga en cuenta las necesidades para el





desarrollo de esta comunidad. Esto requeriría un convenio de uso compartido del recurso entre la comunidad y COOPFLOR.

### **Conclusión general**

Este estudio de factibilidad de sondajes piezométricos para un suministro complementario de agua para la zona urbana de Samaipata permitió compilar información necesaria para realizar de manera prioritaria dos perforaciones exploratorias, una en el sector de El Fuerte (S2') y la otra en la zona aguas arriba de Astillero (ubicación exacta por definirse).

También puso en evidencia la existencia de recursos de agua interesantes en la microcuenca de Paredones (particularmente el arroyo "2"), con ubicación a una cota por encima de la zona urbana de Samaipata, haciendo que sean explotables por gravedad. La captación de estas aguas implicaría un convenio de uso compartido del recurso entre la comunidad rural del lugar y COOPFLOR.