



Determinación de las principales áreas de recarga de agua subterránea en el Valle Central de Tarija

Determinación de las principales áreas de recarga de agua subterránea en el Valle Central de Tarija

Autoras/es:

Ronald Pasig (GIZ/PERIAGUA)
Daniela Pelaez (GIZ/PERIAGUA)
Cynthia Mealla (GIZ/PERIAGUA)

Edición y diseño:

Unidad de Comunicación GIZ/PERIAGUA

Febrero, 2020
La Paz, Bolivia

Esta publicación ha sido realizada por la Cooperación Alemana, implementada en Bolivia por la Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, a través del Programa para Servicios Sostenibles de Agua Potable y Saneamiento en Áreas Periurbanas (GIZ/PERIAGUA), con la complementación, revisión y aprobación del Gobierno Autónomo Departamental de Tarija, Gobierno Autónomo Municipal de Tarija, Gobierno Autónomo Municipal de San Lorenzo, la Cooperativa de Servicios de Agua y Alcantarillado Sanitario (COSAALT R.L.) y la Comisión de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Concejo Municipal de Tarija.

Este documento ha sido realizado considerando la equidad de género y un enfoque intercultural. Se autoriza la reproducción total o parcial del presente, sin fines comerciales, citando adecuadamente la fuente.



Glosario de Siglas

ABT Autoridad de Fiscalización y Control Social de Bosques y Tierra

COSAALT R.L. Cooperativa de Servicios de Agua y Alcantarillado Sanitario de Tarija

CPE Constitución Política del Estado

EMAGUA Entidad Ejecutora de Medio Ambiente y Agua

EMAT Empresa Municipal de Aseo de Tarija

EPSA Entidad de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario

ETA Entidad Territorial Autónoma

GAD Gobierno Autónomo Departamental

GAM Gobierno Autónomo Municipal

GIZ Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit

INE Instituto Nacional de Estadística

INRA Instituto Nacional de Reforma Agraria

m.s.n.m. Metros Sobre el Nivel del Mar

NCE Nivel Central del Estado

ONG Organización No Gubernamental

OTNPB Oficina Técnica Nacional de los Ríos Pilcomayo y Bermejo

PERIAGUA Programa para Servicios Sostenibles de Agua Potable y Saneamiento en Áreas Periurbanas

PLUS Plan de Uso de Suelo

POT Plan de Ocupación del Territorio

SERNAP Servicio Nacional de Áreas Protegidas

²H Deuterio

δ¹⁸O Oxígeno 18

δ¹⁴C Carbono 14

³H Tritio



Contenido

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Objetivo	1
2. ASPECTOS INSTITUCIONALES Y NORMATIVOS	3
2.1. Marco jurídico de protección del medio ambiente, recursos naturales y del agua.....	3
2.2. Entidades Territoriales Autónomas: Marco Competencial	4
2.3. Coordinación y articulación interinstitucional para la protección y conservación del área de recarga hídrica.....	6
3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO	9
3.1. Ubicación geográfica	9
3.2. Aspectos socioeconómicos	10
3.2.1. Actividad agrícola y ganadera.....	10
3.3. Ámbito físico - natural	10
3.3.1. Vegetación, pisos ecológicos en la Reserva biológica de la Cordillera de Sama.....	10
3.3.2. Clima	11
3.4. Infraestructura de abastecimiento de agua potable y saneamiento	12
3.4.1. Disponibilidad y consumo de agua potable	12
3.4.2. Agua para la producción agropecuaria.....	14
3.4.3. Sistemas para el manejo de aguas residuales	14
3.4.4. Manejo de residuos sólidos	15
3.5. Plan de Ordenamiento Territorial - uso de suelo	15
3.5.1. Área urbana.....	15
3.5.2. Área rural.....	16
3.5.3. Cambio de uso de suelo	23
4. INVESTIGACIONES PARA DETERMINAR EL ÁREA DE RECARGA HÍDRICA	27
4.1. Zonificación del área de recarga hídrica	27
4.2. Geología y geomorfología	33
4.3. Hidrogeología	36
4.4. Investigaciones mediante dataciones isotópicas.....	36
4.4.1. Interpretación de los isótopos estables ($\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$) y el exceso de deuterio (d)	36
4.4.2. Recarga de agua subterránea - interpretación de los valores de Tritio (^3H), Carbono 14 (^{14}C) y $\delta^{13}\text{C}$	39
4.4.3. Balance hídrico	41
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
5.1. Conclusiones.....	43
5.2. Recomendaciones.....	44
6. BIBLIOGRAFÍA	45



ÍNDICE FOTOS

Foto 1: Reunión mesa técnica – Tarija, 2018	5
Foto 2: Reunión mesa técnica – Tarija, 2018	6
Foto 3: Reunión mesa técnica – Tarija, 2018	7
Foto 4: Árbol de Quewiña – Tarija, 2019	11
Foto 5: Orquídea Jose Alfaro – Tarija, 2016.	11
Foto 6: Limpieza de pozos en COSAALT R.L – Tarija, 2019	13
Foto 7: Comunidad de Obrajes – Tarija, 2018.....	16
Foto 8: Comunidad de Turumayo – Tarija, 2018.....	18
Foto 9: Comunidad de Turumayo – Tarija, 2018.....	19
Foto 10: Comunidad de Lazareto – Tarija, 2018	19
Foto 11: Comunidad de Guerra Huayco – Tarija, 2019.....	20
Foto 12: Comunidad de San Andrés – Tarija, 2019.....	21
Foto 13: Comunidad de Bella Vista – Tarija, 2018.....	22
Foto 14: Comunidad de San Andrés – Tarija, 2019.....	23
Foto 15: Río Tolomosa en época de lluvia - Tarija 2019.....	29
Foto 16: Río Tolomosa en época seca - Tarija 2019	29
Foto 17: Reserva biológica de la Cordillera de Sama - Tarija 2018	31

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1: Población empadronada por el censo – Tarija, 2019.....	10
Tabla 2: Proyecciones de población 2015 - 2020 – Tarija, 2019.....	10
Tabla 3: Producción de fuentes superficiales y sub superficiales 2014 - 2018 (m ³) – Tarija, 2016	12
Tabla 4: Listado de algunas comunidades que se encuentran en las áreas de recarga de agua subterránea – Tarija, 2016	27

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1: Relación entre el volumen de producción de fuentes superficiales y subterráneas (pozos de COSAALT R.L.) - Tarija, 2016	13
Figura 2: Cobertura de riego en el Valle Central de Tarija, 2013	14
Figura 3: Valores $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ donde se pueden ver 2 rectas meteóricas de agua locales del oeste y este (rMWL W y E), marcadas en color azul y rojo. La recta meteórica global (gMWL) está señalada con la línea negra. La recta de evaporación está señalada con la línea naranja (EV). El agua subterránea de mezcla está marcado con los puntos verdes (rombos) - Tarija, 2019	37
Figura 4: Potenciales áreas de recarga de agua subterránea según el exceso de deuterio - Tarija, 2019.....	38
Figura 5: Variaciones estacionales de los valores de deuterio del agua subterránea en el pozo barrio Guadalquivir (TJA-11) y las muestras de agua superficiales del río Guadalquivir en los puntos Tomatitas (TJA-16), Obrajes (TJA-12) y San Luis (TJA-01) - Tarija, 2018	39
Figura 6: Distribución espacial de las edades ^{14}C del agua subterránea, como también los valores de tritio (TU). Direcciones de circulación del agua subterránea del sector norte y oeste, como también áreas de recarga preferencial del área de piedemonte - Tarija, 2018	40

ÍNDICE MAPAS

Mapa 1: Identificación del área de estudio – Tarija, 2019.	9
Mapa 2: Identificación del área de estudio – Tarija, 2019.	24
Mapa 3: Distribución de la cuenca de Tolomosa y Guadalquivir en el área de intervención – Tarija, 2019.....	28
Mapa 4: Ríos y quebradas del área de estudio – Tarija, 2019.	30
Mapa 5: Reserva biológica de la Cordillera de Sama y ubicación del área de estudio – Tarija, 2019.	32
Mapa 6: Unidades geológicas de las áreas Cuaternarias (sectores de piedemonte y áreas colindantes) – Tarija, 2019.	35





1

INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

El agua es un recurso vital imprescindible en primer lugar para el consumo humano y la salud, la alimentación, los ecosistemas y el desarrollo socioeconómico. Es necesario tomar decisiones para enfrentar las amenazas que competen a los recursos hídricos superficiales y subterráneos, considerando alternativas como: la implementación de políticas municipales de prevención, mitigación y adaptación frente al cambio climático: la siembra y cosecha de agua, construcción de zanjas de infiltración, micro reservorios, represas en cadena y reforestación masiva de espacios de infiltración, con especies arbóreas, arbustivas y herbáceas (Ministerios de Medio Ambiente y Agua, 2017).

En el Departamento de Tarija, la preocupación por el manejo apropiado y la preservación de las aguas subterráneas es un tema transcendental. Las políticas de explotación de las aguas subterráneas como complemento de los recursos hídricos superficiales son frecuentemente basadas en planificaciones de corto plazo y pueden no ser sostenibles en el tiempo, estas políticas son elaboradas para atender la demanda de agua para diversos usos (abastecimiento público, industrias, irrigación, etc.). Por ello, es necesario integrar y planificar el aprovechamiento de los recursos hídricos subterráneos contemplando los aspectos técnicos, legales y operativos en la planificación para el uso racional de las fuentes de agua subterránea.

En la actualidad, se presenta un proceso de degradación y pérdidas de zonas de recarga hídrica producto de actividades antrópicas que traen como resultado el aumento de los niveles de erosión, compactación, deforestación y degradación. Esto da como resultado la disminución en la cobertura vegetal, la infiltración del agua, aumento de la escorrentía superficial y disminución en la cantidad y calidad del agua que recargaban los acuíferos subterráneos que abastecen del vital líquido a las comunidades de la parte alta y media de la cuenca.

En ese entendido, fue importante desarrollar el presente documento técnico, pues permitirá identificar las zonas más importantes de recarga del agua subterránea en el Valle Central de Tarija. El estudio fue realizado, de forma articulada, con el Gobierno Autónomo Departamental (GAD) de Tarija, Gobierno Autónomo Municipal (GAM) de Tarija, Gobierno Autónomo Municipal de San Lorenzo, Cooperativa de Servicio de Agua y Alcantarillado de Tarija (COSAALT R.L.), Organizaciones No Gubernamentales (ONGs) y la Cooperación Alemana, a través del Programa para Servicios Sostenibles de Agua Potable y Saneamiento en Áreas Periurbanas (GIZ/PERIAGUA).

1.2. OBJETIVO

Determinar las principales áreas de recarga de agua subterránea en el Valle Central de Tarija, con el aval de investigaciones científicas, esto tomando en cuenta los efectos del cambio climático, para asegurar la disponibilidad del recurso en calidad y cantidad para el consumo humano.





2

ASPECTOS INSTITUCIONALES Y NORMATIVOS

2.1. Marco jurídico de protección del medio ambiente, recursos naturales y del agua

“Las personas tienen derecho a un medio ambiente saludable, protegido y equilibrado. El ejercicio de este derecho debe permitir a los individuos y colectividades de las presentes y futuras generaciones, además de otros seres vivos, desarrollarse de manera normal y permanente” (Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia, art. 33, 2008).

“Es deber del Estado y de la población conservar, proteger y aprovechar de manera sustentable los recursos naturales y la biodiversidad, así como mantener el equilibrio del medio ambiente” (Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia, art. 342, 2008).

“La población tiene derecho a la participación en la gestión ambiental, a ser consultada e informada previamente sobre decisiones que pudieran afectar a la calidad del medio ambiente” (Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia, art. 343, 2008).

Para la protección y conservación del medio ambiente y recursos naturales, la Ley N° 1333 de Medio Ambiente, prioriza la regulación de las acciones del hombre con relación a la naturaleza. Además promueve el desarrollo sostenible con la finalidad de mejorar la calidad de vida de la población.

La Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia (CPE) define al agua, en todos sus estados, como un recurso natural estratégico y de interés público para el desarrollo del país. Según la CPE, son recursos naturales los minerales en todos sus estados, los hidrocarburos, el agua, el aire, el suelo y el subsuelo, los bosques, la biodiversidad, el espectro electromagnético y todos aquellos elementos y fuerzas físicas susceptibles de aprovechamiento. De igual forma, la Ley N°1333 considera al agua como recurso natural básico para todos los procesos vitales, por lo que su protección es tarea fundamental.

El agua es un derecho fundamentalísimo para la vida en el marco de la soberanía del pueblo. El Estado tiene el deber de proteger y garantizar el uso prioritario del agua para la vida, así también es su deber el gestionar, regular, proteger y planificar el uso adecuado y sustentable de los recursos hídricos, con participación social, garantizando el acceso al agua a todos sus habitantes (Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia, art. 373 y 374, 2008).

“Los recursos hídricos de los ríos, lagos y lagunas que conforman las cuencas hidrográficas, por su potencialidad, por la variedad de los recursos naturales que contienen y por ser parte fundamental de los ecosistemas, se consideran recursos estratégicos, para el desarrollo y la soberanía boliviana” (Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia, art. 376, 2008).

Además, la CPE indica que es deber del Estado el de regular el manejo y la gestión sustentable de: los recursos hídricos y de cuencas para riego, la seguridad alimentaria y los servicios básicos, todo esto respetando los usos y costumbres de las comunidades.

De igual manera, según la CPE, el Estado evitará acciones en las nacientes y zonas intermedias de los ríos que ocasionen daños a los ecosistemas o disminuyan los caudales, preservará el estado natural y velará por el desarrollo y bienestar de la población.

“El Estado reconocerá, respetará y protegerá los usos y costumbres de las comunidades, de sus autoridades locales y de las organizaciones indígena originaria campesina sobre el derecho, el manejo y la gestión sustentable del agua. Las aguas fósiles, glaciales, humedales, subterráneas, minerales, medicinales y otras son prioritarias para el Estado, que deberá garantizar su conservación, protección, preservación, restauración, uso sustentable y gestión integral; son inalienables, inembargables e imprescriptibles” (Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia, art. 374, 2008).

La Ley N° 300 Marco de la Madre Tierra y el Desarrollo Integral, señala que, una de las bases orientadoras del Vivir Bien, es a través del desarrollo integral del agua, como el de garantizar el derecho al recurso hídrico para la vida. Además, es importante que se priorice su uso, acceso y aprovechamiento como recurso estratégico en cantidad y calidad, suficiente para satisfacer, de forma integral e indistinta, la conservación de los sistemas de vida, la satisfacción de las necesidades domésticas de las personas y los procesos productivos para garantizar la soberanía y seguridad alimentaria.

La “Política de la Calidad del Agua” establece principios, objetivos y metas para el 2020, esto con el fin de garantizar el suministro de agua apta consumo humano. Entre los principios, está: “El acceso al agua potable en cantidad, continuidad y calidad apta para consumo humano. El Estado en todos sus niveles de gobierno garantiza y protege las fuentes de agua, como la forma más efectiva de asegurar la calidad del agua para consumo humano” (Política de Calidad de Agua para público técnico, 2016).

El objetivo de la política contribuye a mejorar las condiciones de vida de la población y al desarrollo integral para el vivir bien. Todo esto mediante el aseguramiento de la calidad del agua, a partir de la prevención y control de los factores de riesgo sanitario (desde la fuente de agua hasta su punto de consumo). Los lineamientos establecen que es competencia de todos los niveles y entidades del Estado evitar la contaminación y llevar a cabo acciones para las prevención y mitigación de los cuerpos de agua (Política de Calidad de Agua para público técnico, 2016).

En ese sentido, a nivel Municipal, el Concejo del GAM de Tarija ha promulgado la Ley N°146, que tiene como objeto preservar, conservar y proteger las áreas del Municipio de Tarija donde se encuentra el recurso natural agua.

La Ley Marco de la Madre Tierra y Desarrollo Integral para el Vivir Bien establece el principio precautorio, sobre el cual se basa toda normativa ambiental, donde el Estado obliga a prevenir y/o evitar, de manera oportuna y eficazmente los daños, asumiendo las medidas necesarias de prevención y protección que limiten o mitiguen los impactos negativos, no solamente en el medio ambiente, sino también en el agua, y que comprometan la calidad del recurso para consumo humano, causando un impacto negativo al sector del servicio de agua potable y saneamiento básico.

El Nivel Central del Estado (NCE) debe promover acciones de protección a las cuencas y áreas de recarga de agua subterránea, esto a través de sus instituciones competentes y las Entidades Territoriales Autónomas (ETA), como el Gobierno Autónomo Departamental y el Gobierno Autónomo Municipal. Las ETA son las encargadas de coadyuvar en la implementación de la Política de Calidad de Agua para la protección de los recursos naturales y el medio ambiente.

La disponibilidad del agua depende de la naturaleza. Por ello, algunas cuencas tienen mayor o menor cantidad del recurso y en algunas regiones hay mayor escasez de agua que en otras. Sin el recurso natural no se generaría la cadena de producción de agua potable, ni la prestación del servicio del sector (Constitución Política del Estado Plurinacional de Bolivia, art. 342, 343, 345, 347, 348, 373 y 374, 2008).

2.2. Entidades Territoriales Autónomas: Marco Competencial

El Estado y la sociedad, en general, deben preservar, conservar, restaurar y promover el aprovechamiento de los recursos naturales renovables, con una dinámica propia que les permite renovarse en el tiempo (Ley de Medio Ambiente, art. 32, 1992).



La Constitución Política del Estado señala que toda persona tiene derecho al acceso universal y equitativo a los servicios básicos de agua potable. Para garantizar su consumo, el ser humano debe proteger y controlar las fuentes del recurso, las áreas de recarga, ríos, lagos, quebradas, arroyos y evitar fuentes de contaminación aledañas.

El Decreto Supremo 24176, en su artículo 11, señala que el gobierno municipal debe realizar acciones preventivas y de control de contaminación hídrica, esto en el marco de los lineamientos, políticas y normas nacionales.

De igual forma, los GAM deben ejercer funciones de control y vigilancia a nivel local sobre las actividades que afecten o puedan afectar al medio ambiente y los recursos naturales. Esto en el marco de sus atribuciones y competencias reconocidas por ley, dentro del ámbito de su jurisdicción territorial.

Además, en el marco de la corresponsabilidad, es deber de todas las personas naturales y colectivas (que desarrollen actividades susceptibles de contaminar el medio ambiente) tomar medidas preventivas correspondientes, informar a la autoridad competente y a los posibles afectados, con el fin de evitar daños a la salud de la población.

Competencias concurrentes por el Nivel Central (NC) y las Entidades Autónomas Territoriales (ETA):

El Nivel Central del Estado y las ETA, tal como señala el artículo 299 II de la CPE, asumen competencias para preservar, conservar y contribuir a la protección del medio ambiente y fauna silvestre. Esto a través del mantenimiento del equilibrio ecológico y el control de la contaminación ambiental. Además, está entre sus competencias, la conservación de suelos, recursos forestales y bosques; residuos industriales y tóxicos; proyectos de agua potable y tratamiento de residuos sólidos; proyectos de riego; protección de cuencas; agricultura, ganadería, caza y pesca.

Competencias Exclusivas del Gobierno Autónomo Departamental:

El alcance competencial del GAD se enmarca en la elaboración y ejecución de Planes de Ordenamiento Territorial (POT) y de uso de suelos. Esto en coordinación con los planes del nivel del estado municipales, campesinos. Además de la promoción y conservación del patrimonio natural departamental.

Competencias exclusivas del Gobierno Autónomo Municipal:

“Los municipios tienen competencia para preservar, conservar y contribuir a la protección del medio ambiente y recursos naturales, fauna silvestre y animales domésticos”. Además, entre sus competencias está la: “Promoción y conservación del patrimonio natural municipal, protección y conservación del patrimonio cultural, histórico, artístico, arqueológico, paleontológico, científico, tangible e intangible municipal” (Constitución Política del Estado, art. 302).



Foto 1: Reunión mesa técnica – Tarija, 2018. © Archivo GIZ/PERIAGUA



2.3. Coordinación y articulación interinstitucional para la protección y conservación del área de recarga hídrica

En agosto del año 2018, el GAD de Tarija, el GAM de Cercado y la EPSA COSAALT R.L. junto al Programa para Servicios Sostenibles de Agua Potable y Saneamiento en Áreas Periurbanas (GIZ/PERIAGUA) realizaron una convocatoria para articular a los actores locales del sector agua y saneamiento a nivel departamental.

En este proceso fue desarrollada la identificación del mapa de actores sectoriales, que estuvo conformado por las siguientes instituciones: Gobierno Autónomo Departamental de Tarija, Gobiernos Autónomos Municipales del Valle Central de Tarija (Cercado, San Lorenzo, Padcaya y Uriondo), Concejo Municipal de Cercado, EPSA COSAALT R.L. de Tarija, Universidad Católica Boliviana, Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, Instituto Nacional de Reforma Agraria (INRA), Autoridad de Fiscalización y Control Social de Bosques y Tierra (ABT), Servicio Nacional de Áreas Protegidas (SERNAP), Oficina Nacional de los Ríos Pilcomayo y Bermejo (OTNPB), Entidad Ejecutora de Medio Ambiente y Agua (EMAGUA).

Posteriormente, en octubre de 2018, los actores sectoriales conformaron la “Mesa Técnica de Gestión Integral del Recurso Hídrico: Agua Potable y Saneamiento Básico”. Dicha mesa fue concebida como una herramienta para facilitar la participación de los actores, mediante consensos y alianzas entre los mismos. Esto con el fin de planificar e implementar acciones conjuntas en el Valle Central de Tarija.

El trabajo de las instituciones participantes en la mesa técnica puede resumirse en cuatro principales fases:

- Primera fase: identificación de tres áreas temáticas: áreas de recarga, agua subterránea y red hídrica.
- Segunda fase: identificación y consensos de acciones y medidas concretas sobre la protección del recurso hídrico para cada área temática.
- Tercera fase: priorizar las medidas, con el seguimiento de criterios de carácter técnico, económico, e institucional. Esto, tomando en cuenta la factibilidad de aplicación a corto, mediano y largo plazo.
- Cuarta fase: implementar las medidas a corto plazo para la gestión 2019. Para su implementación, fueron conformadas comisiones técnicas de trabajo que definan roles institucionales y participantes.



Foto 2: Reunión mesa técnica – Tarija, 2018. © Archivo GIZ/PERIAGUA



Foto 3: Reunión mesa técnica – Tarija, 2018. © Archivo GIZ/PERIAGUA

En ese marco de coordinación y articulación interinstitucional, la mesa técnica ha priorizado proteger el área de recarga hídrica, que según los estudios científicos efectuados por PERIAGUA, esa área abastece de agua para consumo humano, riego y otros usos a todo el Valle Central de Tarija. Además de cumplir una función ambiental en el equilibrio del ecosistema de la Reserva de la Cordillera de Sama.

En ese entendido los actores institucionales de las mesas técnicas acordaron implementar actividades para proteger las zonas vulnerables y de riesgo, debido a que el área de recarga hídrica está siendo amenazada por asentamientos humanos. Esto ocasiona impactos negativos en la red hídrica superficial, como ser taponamientos de quebradas y arroyos que invaden los cursos de agua.

Por ello, el trabajo conjunto y las alianzas estratégicas son importantes para que el GAM de Tarija genere una normativa sobre protección del área de recarga hídrica y regulación del uso del suelo. Todo esto para generar un aprovechamiento sostenible del agua.

Además, es importante establecer medidas de protección para la conservación de las fuentes de agua, ya que estas garantizan el recurso para consumo humano. Para ello, es necesario evitar la contaminación de las mismas, pues existe un acelerado crecimiento urbano en el sector donde se encuentran las fuentes.

La Ley 300 Marco de Madre Tierra y Desarrollo Integral para el Vivir Bien, en su artículo 27, inciso 12 expresa que: “El Estado debe desarrollar políticas para el cuidado y protección de las cabeceras de cuencas, fuentes de agua, reservorios y otras, que se encuentran afectados por el cambio climático, la ampliación de la frontera agrícola o los asentamientos humanos no planificados y otros”.



3

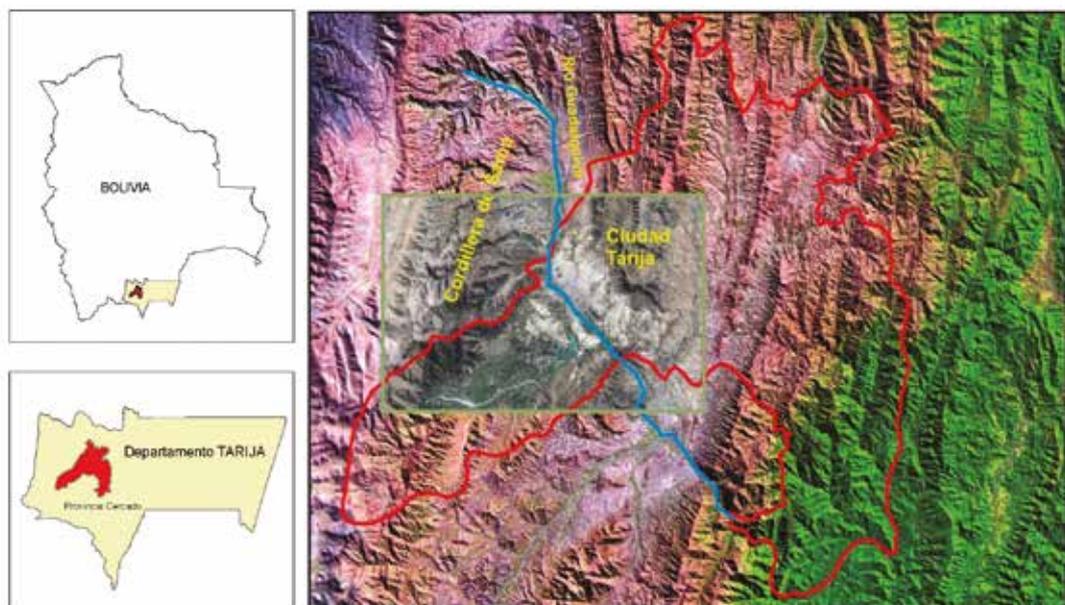
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1. Ubicación geográfica

El departamento de Tarija está ubicado al Sur de Bolivia, tiene aproximadamente 37.600 km² y presenta características ecológicas muy diferentes. Una ecorregión del departamento, que cubre la mayor extensión, es la llanura del Gran Chaco, cuya altura promedio alcanza los 400 m.s.n.m., está conformada por matorrales espinosos, bosques bajos y sabanas secas.

Tarija limita al norte con el departamento de Chuquisaca; por el sur, con la República Argentina; por el este, con la República de Paraguay; y por el oeste, con el departamento de Potosí. La capital del departamento es la ciudad de Tarija y está situada a 14°45' de latitud sur y 64°48' de longitud oeste (Ministerio de Desarrollo Productivo y Economía Plural. Unidad de Análisis Productivo, Subsistema de Información Territorial de Apoyo a la Producción, 2009).

El Departamento de Tarija está conformado por seis provincias y once secciones municipales. Las provincias son: Cercado, Arce, Gran Chaco, Avilés, Méndez y O'Connor.



Mapa 1: Identificación del área de estudio – Tarija, 2019. © Archivo GIZ/PERIAGUA

3.2. ASPECTOS SOCIECONÓMICOS

Entre 1950 y 2012, la distribución de la población muestra cambios en la concentración poblacional.

Año	1950	1976	1992	2001	2012
Habitantes - Tarija	103.441	187.204	291.407	391.226	483.518

Tabla 1: Población empadronada por el Censo de Población y Vivienda 2012 – Tarija, 2019. © Archivo GIZ/PERIAGUA

Según el Censo de Población y Vivienda 2012, el Departamento de Tarija contaba, en ese momento, con 484.000 habitantes, que significa un 4,8% del total de la población boliviana. La población empadronada por área corresponde el 65% al área urbana y el 35% al área rural.

La proyección de la población en el departamento de Tarija para los próximos años (hasta 2020) habría crecido 15,2 %, respecto a datos del Censo 2012. Ello representaría 4,9 % de la población boliviana proyectada para el año 2020 (Gobierno Autonomo Departamental de Tarija , 2016).

Año	2015	2016	2017	2018	2019	2020	TACI
Habitantes - Tarija	221.394	226.734	232.074	237.414	242.753	248.093	2,60
Habitantes - San Lorenzo	24.579	24.818	25.056	25.295	25.533	25.772	1,00

Tabla 2: Proyecciones de Población 2015 – 2020, Tarija 2019. Autor: En base a información de Instituto Nacional de Estadística y elaborado por Gobierno Autónomo de Tarija, 2016.

3.2.1. Actividad agrícola y ganadera

La territorialidad de las comunidades campesinas responde a una lógica propia de ocupación territorial, donde predomina la actividad agrícola y ganadera. Por ello se desarrollan una diversidad de estrategias entorno al uso del espacio y tiempo sobre el mismo territorio.

Esta forma de territorialidad responde a una manera específica de ocupación y planificación en el uso del territorio. La disposición espacial y los límites de cada comunidad campesina se sobreponen y/o cruzan los límites establecidos de la Reserva biológica de la Cordillera de Sama (esta disposición espacial casi siempre se organiza en función a las características de cada lugar, el curso de los ríos y la disposición de cuencas y microcuencas). Este número significativo de comunidades tiene relación con la disponibilidad y el acceso al agua (Amandes S.R.L., 2018).

3.3. ÁMBITO FÍSICO - NATURAL

3.3.1. Vegetación, pisos ecológicos en la Reserva biológica de la Cordillera de Sama

La vegetación natural cumple funciones importantes en la disponibilidad de recursos hídricos como: la estabilización de suelos, reducción del ingreso de sedimentos en los cuerpos de agua, incremento en la infiltración, reducción de la escorrentía y almacenamiento del agua. Por otro lado, su ausencia disminuye la disponibilidad y calidad del agua, incrementa las amenazas, riesgo y vulnerabilidad a sufrir inundaciones y derrumbes (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2017).



Las áreas de recarga hídrica, además de albergar grupos importantes de biodiversidad de flora y fauna, contribuyen a la producción y conservación de los recursos hídricos. Además permiten la infiltración de la precipitación pluvial y superficial al suelo, que es almacenada en diversos acuíferos o manantiales, y posteriormente, mediante procesos naturales o por la intervención del hombre, es devuelta a la superficie.

“La Reserva biológica de la Cordillera de Sama tiene una gran diversidad de especies de plantas en sus diferentes ecorregiones. En la Puna se identificaron 254 especies, donde se destacan las familias de Asteraceae, Poaceae, Cactaceae y Solanaceae. El bosque de quewiña (*Polylepis tomentella*), yaretales (*Azorella compacta*) y los tolares son característicos de la cuenca de Tajzara” (Servicio Nacional de Áreas Protegidas, 2019).

“En el piso superior de los bosques tucumanos – bolivianos fueron identificadas 140 especies, principalmente, las familias de Gramineae, Asteraceae, Bromeliaceae, Solanaceae y Labiatae. Como también especies de quewiña (*Polylepis crista-galli*), aliso (*Alnus acuminata*), chirimolle (*Escallonia resinosa*) y pino del cerro” (Servicio Nacional de Áreas Protegidas, 2019).

“Los bosques nativos de Quewiña en la cuenca de Tajzara son una de las especies principales para la conservación. Los mismos son utilizados como fuente de energía y, en época seca, son utilizados como forraje para ganado ovino y bovino” (Servicio Nacional de Áreas Protegidas, 2019).



Foto 4: Árbol de Quewiña – Tarija, 2019. Autor: Servicio Nacional de Áreas Protegidas (SERNAP).

Foto 5: Orquídea José Alfaro – Tarija, 2016t. Autor: Servicio Nacional de Áreas Protegidas (SERNAP).

3.3.2. Clima

El clima es semiárido, con un periodo de disponibilidad de agua en el suelo para el crecimiento de plantas de 3 a 5 meses. El periodo libre de heladas es de 7 meses. Las granizadas son frecuentes en esta zona, siendo una causa importante de pérdida de cosechas. (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2015).

Precipitaciones pluviales

La distribución espacial y temporal de las lluvias, se caracteriza por presentar dos periodos marcados: el de precipitaciones, de noviembre a marzo, y el periodo seco, de abril a octubre. De esta manera se observa que las actividades agrícolas se concentran en el periodo húmedo, aunque en muchas áreas estas actividades no son posibles sin riego. Con cierta regularidad, la cantidad y frecuencia de las lluvias se reduce, lo que genera sequías de mayor intensidad (que se presentan cada 5 años, aproximadamente). En algunos casos las lluvias se presentan tardíamente, que retrasan los cultivos y, en otros casos, llueve excesivamente al final del ciclo vegetativo de los mismos, siendo perjudicial para la actividad agrícola, especialmente en cultivos anuales (Amandes S.R.L., 2018).



3.4. Infraestructura de abastecimiento de agua potable y saneamiento

3.4.1. Disponibilidad y consumo de agua potable

a. Fuentes de agua superficial: rincón de La Victoria, río Erquis y río Guadalquivir

Las prestaciones de agua potable y saneamiento básico en Tarija se encuentran a cargo de la EPSA COSAALT R.L., la Entidad abastece con este servicio a la gran mayoría de los barrios de la ciudad de Tarija. El agua potable es obtenida de dos fuentes principales:

1. De agua superficial que proviene del río La Victoria (de donde se extraen entre 342 litros/segundo en las diferentes épocas del año) y el río Erquis (con unos 40 litros/segundo).
2. Otra toma de agua puntual que se encuentra sobre el río Guadalquivir (Las Tipas), de unos 60 litros/segundo con el funcionamiento de una bomba, y 110 litros /segundo que funciona con dos bombas (60 – 100 litros/segundo).

Año	2014	2015	2016	2017	2018
Enero	934.865	933.858	910.923	957.438	972.549
Febrero	800.820	833.432	861.174	799.206	922.229
Marzo	995.012	976.684	996.632	877.376	992.374
Abril	961.100	982.938	972.466	954.846	1.024.479
Mayo	913.917	1.017.852	890.541	956.236	1.027.900
Junio	762.851	951.277	640.768	745.887	794.749
Julio	923.676	522.599	527.993	682.506	820.624
Agosto	828.090	679.544	623.156	785.517	834.753
Septiembre	801.174	631.787	646.211	755.584	804.177
Octubre	788.582	636.975	562.330	727.630	838.622
Noviembre	755.814	638.591	738.020	694.430	941.264
Diciembre	854.973	639.396	961.626	774.573	1.035.428

Tabla 3: Producción de fuentes superficiales y sub superficiales 2014 – 2018 (m³) – Tarija, 2016.

Fuente: COSAALT R.L.

b. Fuentes de agua subterránea: pozos

Los pozos de la EPSA COSAALT R.L. son actualmente 53, se encuentran distribuidos a lo largo del casco urbano y periurbano de Tarija. La variación en la producción de agua potable, las áreas o zonas de servicio son modificadas; por ejemplo, el río La Victoria reduce considerablemente su caudal en época de estiaje. Para ello, COSAALT R.L. activa una serie de pozos para reforzar la dotación de agua a sus usuarias/os. En época húmeda, la cobertura desde La Victoria se amplía a un 60% del caudal distribuido. Adicionalmente, existe pozos independientes denominados: Sistemas de Autoabastecimiento de Recursos Hídricos (SARH), que son utilizados para uso industrial.

En promedio, COSAALT R.L. distribuye 564 litros/segundo de agua potable en Tarija. Esto representa una producción anual de uno $17.9 \times 10^6 \text{m}^3$ de agua. El consumo del recurso (por habitante al día) es de 238 litros/día, lo que representa un consumo anual de $10.3 \times 10^6 \text{m}^3$ de agua para los actuales 205.000 habitantes del área urbana. (COSAALT R.L.).

Ante la reducción drástica que se produce en la época de estiaje, en caudales de las aguas superficiales, COSAALT R.L. hace uso de las aguas subterráneas mediante la explotación de 53 pozos. Esto promedia un caudal cercano a los 180 litros/segundo, con un máximo de hasta de 250 litros/segundo en los meses más críticos. La capacidad instalada de los pozos es de 355 l/s (COSAALT R.L., 2019).



Volumen de producción

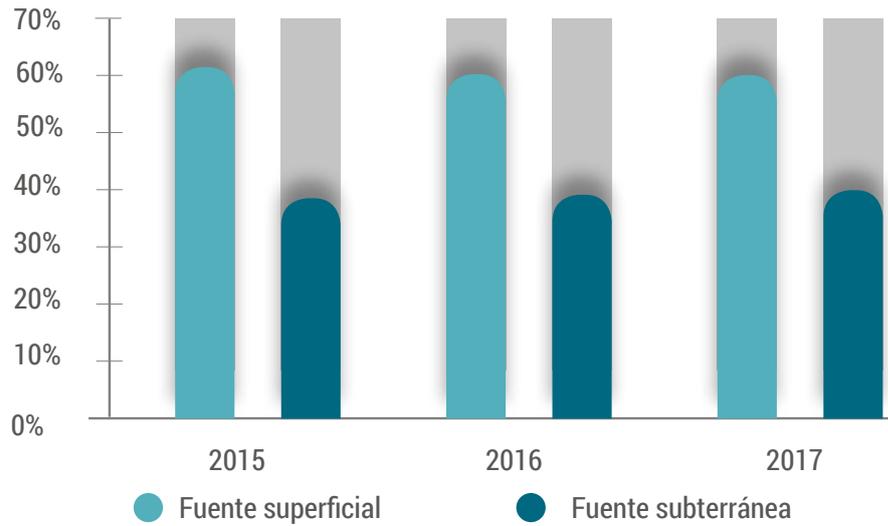


Figura 1: Relación entre el volumen de producción de fuentes superficiales y subterráneas (pozos de COSAALT R.L.) Tarija, 2016 © Archivo GIZ/PERIAGUA

Una intervención piloto realizada por PERIAGUA constató que es muy importante realizar en forma periódica la limpieza de los pozos de producción. Esto permite mantener las capacidades hidráulicas de los mismos y mejorar considerablemente su producción. Como ejemplo se puede mencionar el plan piloto de limpieza que se realizó en 6 pozos de COSAALT R.L., los cuales producían un caudal total de 36,2 litros/segundo, esta cifra se incrementó a 49,8 litros/segundo luego de efectuar la limpieza. Esto equivale a un aumento de 37% o su equivalente de 13,3 litros/seg. en total. Con el volumen de agua recuperado se podría dotar del recurso a 1.321 conexiones nuevas. También sería equivalente a la producción total de agua de un pozo nuevo.



Foto 6: Limpieza de pozos en COSAALT R.L. – Tarija, 2019. © Archivo GIZ/PERIAGUA



Los proyectos de agua para consumo, ejecutados en el Valle Central de Tarija, indican una cobertura actual del 93% que alberga aprox. 56.000 familias. Existe, actualmente, 4.500 familias sin acceso al agua, lo que representa un 7% del total de la población integrada por los municipios de San Lorenzo, Cercado, Uriondo y Padcaya, esta última población es compartida con la zona del subandino (Gobernación del Departamento de Tarija, 2013).

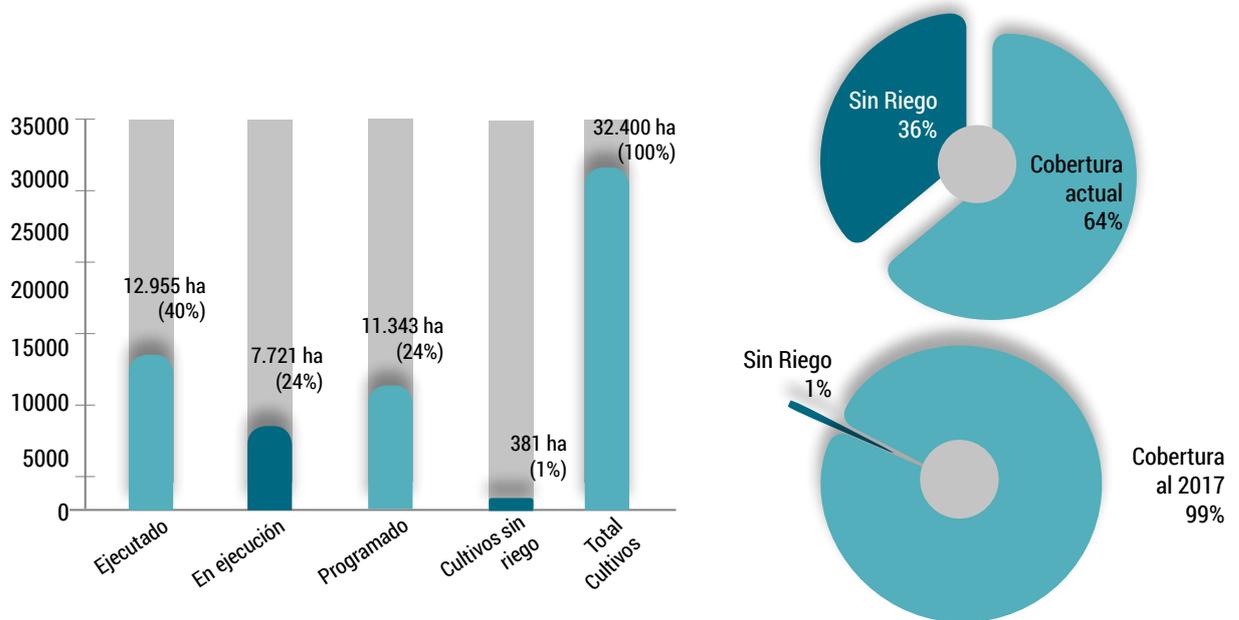


Figura 2: Cobertura de riego en el Valle Central de Tarija, 2013 © Archivo GIZ/PERIAGUA

3.4.2. Agua para la producción agropecuaria

Actualmente, en toda la región del Valle Central se riegan unas 13.000 hectáreas; es decir, el 40% de la superficie total de cultivos intensivos (que conllevan una alta productividad de la tierra). Los proyectos de riego, actualmente en ejecución, incrementarán esta cobertura a un 64% (20.676 hectáreas) de áreas con riego (Gobernación del Departamento de Tarija, 2013).

3.4.3. Sistemas para el manejo de aguas residuales

La ciudad de Tarija cuenta con sistemas de tratamiento de las aguas residuales, pero solamente 9 distritos descargan las aguas servidas hacia una planta de tratamiento (Laguna de San Luis). Los restantes 4 distritos tienen sistemas de alcantarillado independientes que funcionan con cámaras sépticas, cuyos afluentes descargan en quebradas tributarias del río Guadalquivir.

También se producen descargas a campo abierto. Esto ocasiona que las heces fecales contaminen los suelos o, en el caso de secarse, se desintegren y puedan llegar a los cuerpos superficiales de agua (lagos, lagunas, ríos, quebradas, etc.). Las heces también pueden ser transportadas por los vientos, alterando la calidad del aire, algo que incide en la salud de la población (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2015).

De acuerdo al Censo de Población y Vivienda (2012), en el municipio de Tarija el 81,7% de las viviendas cuenta con alcantarillado para evacuar los residuos líquidos, y el 18,3% lo hace mediante cámaras sépticas, pozos ciegos, quebradas o ríos.

Debido a la menor cobertura en servicios sanitarios en el área rural, se presentan enfermedades originadas por la contaminación de las aguas y suelo, observándose mayormente la presencia de diarreas y parasitosis, que afectan particularmente a la población que se encuentra en edad escolar (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2017).



3.4.4. Manejo de Residuos Sólidos

a. Municipio de San Lorenzo

El servicio de recojo de residuos sólidos está a cargo de la Empresa Municipal de Aseo de Tarija (EMAT), su cobertura es apenas del 12% de los hogares. En promedio, una persona produce de 0,60 kg/día a 219 kg/año. En los últimos años la generación de residuos se triplicó, proyectándose que, para el año 2020, cada persona producirá 0,85 kg/día. Los residuos domiciliarios están compuestos por un 45% de material orgánico biodegradable, 37% por material no biodegradable y 18% por materiales inertes (Amandes S.R.L., 2018).

La recolección de residuos únicamente se realiza en el centro poblado del municipio, lo que deja sin este servicio al resto de las comunidades aledañas. Por lo tanto, la eliminación de residuos es parcial, esto genera condiciones insalubres, contaminación del suelo y de los recursos hídricos (Amandes S.R.L., 2018).

De la totalidad de las viviendas del municipio, un 23% depositan la basura en el carro basurero, un 39,79% la queman, un 21% la botan a la calle, y el 16% las depositan en el contenedor, las dejan en los ríos o las entierran (Instituto Nacional de Estadística, 2012).

b. Municipio de Tarija

En el municipio de Tarija se cuenta con el servicio de barrido, recolección y disposición de residuos, el cual está a cargo de la Dirección Municipal de Aseo Urbano de Tarija y de la Empresa Municipal de Aseo de Tarija (EMAT). El relleno sanitario se encuentra en la zona noreste a 8 km de la ciudad en Pampa Galana, y abarca una superficie de 10,8 has. La disposición final de residuos se realiza sobre el suelo, que es cubierto, posteriormente, con capas de arcilla de 15 a 20 cm de espesor (Amandes S.R.L., 2018).

De la totalidad de viviendas del municipio de Tarija, un 77% cuenta con el servicio de recolección de residuos, siendo su cobertura menor en el área rural. La disposición de residuos se realiza de distintas formas: el 70% es depositado en el carro basurero y el 30% restante es botado en la calle o en el río, quemado o enterrado. La empresa EMAT es la responsable de la recolección de los residuos domiciliarios generados a nivel del municipio (Instituto Nacional de Estadística, 2012).

En Tarija, particularmente en sus quebradas urbanas, se observan problemas ambientales por la presencia de residuos sólidos. Esta situación ha permitido que se incluya en el Plan Departamental del Agua de Tarija (2013), la gestión y manejo integral de residuos sólidos (orgánicos e inorgánicos), buscando su clasificación, recolección y disposición final (en rellenos sanitarios) de manera organizada, evitando su presencia en las calles de la zona urbana o la descomposición en los acuíferos superficiales y subterráneos de la cuenca. Este Plan, incluye un Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos, con financiamiento quinquenal (2013 a 2017) dirigido al tratamiento de estos residuos para cada uno de los municipios del departamento de Tarija (Amandes S.R.L., 2018).

3.5. Plan de Ordenamiento Territorial - uso de suelo

El Gobierno Autónomo Municipal de Tarija cuenta con un Plan Municipal de Ordenamiento Territorial y Plan de Ordenamiento Urbano, ambos aprobados mediante Ordenanza Municipal No 031/2010, de fecha 06/04/2010 y Resolución Administrativa 34/2011, de fecha 21/11/2011. Compuestos por el Plan de Uso de Suelo (PLUS) y el Plan de Ocupación del Territorio (POT).

3.5.1. Área urbana

El municipio actualmente se encuentra en un proceso acelerado de urbanización, sin el diseño y una planificación urbana requerida. En el año 1967, la mancha urbana cubría un territorio de 237 ha. En 1977, el área urbana abarcaba 459,9 ha. A partir de la década de los 90, la constante llegada de inmigrantes sin el acompañamiento de una norma urbanística, superó la planificación establecida en el “Plan de Desarrollo Urbano de Tarija y su Área de Influencia”, formulada en la década de los 70. El área cubierta por la mancha urbana en el



año 1997 fue de 1.583 ha, incrementándose el año 2002 a una superficie de 2.325 ha (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2015).

El área urbana está estructurada en función a 13 distritos y 83 barrios, cada uno con características propias. El proceso de urbanización se ha dado de forma muy acelerada a partir del año 2000. A la fecha, los distritos de mayor densificación son del 1 al 9, de los cuales, los cinco primeros del centro de la ciudad, han logrado una ocupación del 100% (Amandes S.R.L., 2018).

3.5.2. Área rural

Durante los últimos años, el proceso de urbanización hacia las montañas occidentales de la Cordillera de Sama, se ha convertido en una amenaza a las fuentes de agua del Valle Central de Tarija, al impermeabilizar las zonas de recarga de los acuíferos y contaminar los cursos hídricos de la cuenca. De igual manera, la remoción de tierra, debido a la urbanización en esta zona, es la principal causa del acelerado proceso de sedimentación del lago San Jacinto.

Ante esta situación, la necesidad del Municipio de Cercado es contar con una norma o instrumento legal que evite o prohíba urbanizaciones en áreas de recarga hídrica. Esto como una forma de protección de las fuentes de aguas superficiales y subterráneas del Valle Central de Tarija.

a. Comunidad de La Victoria

La comunidad “La Victoria” se ubica al pie de la Cordillera de Sama, cuenta con una vía asfaltada y se encuentra muy próxima a la ciudad de Tarija. Desde hace varios años, una parte de la comunidad ha sido loteada y dividida entre las familias del lugar, esto con la intención de crear un núcleo de características urbanas (es decir, que la comunidad está cambiado de lo rural a lo urbano). Sin embargo, estos lotes de terreno fueron paulatinamente vendidos a personas ajenas a la comunidad. Esto dio lugar a un incontenible proceso de compra y venta de tierras, que sobrepasaba el control de la comunidad.

“Las demandas de lotes en La Victoria han desencadenado un mercado de tierras, donde los precios son por demás atractivos para las familias que viven en estos espacios. Las ofertas en la actualidad llegan a los 40.000 y 50.000 dólares (un lote de 800 m²)” Juan Carlos Castrillo, ex juez de agua, comunidad La Victoria, mayo 2018. (Amandes S.R.L., 2018).

b. Comunidad de Obrajes

Esta comunidad forma parte del radio urbano de la ciudad de Tarija. Se encuentra en un proceso acelerado de urbanización de manera formal e informal (asentamientos ilegales), en donde la vida campesina aún persiste a pesar de todo. Abarca ambos márgenes del río Guadalquivir.

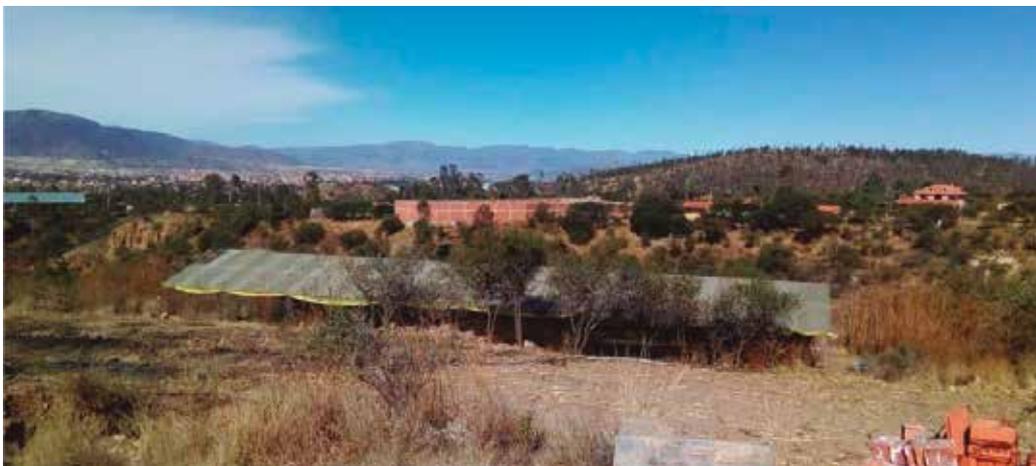


Foto 7: Comunidad de Obrajes, Tarija 2018. Autor: Amandes S.R.L.



En el lado este del Guadalquivir existen calles de acceso para el servicio público de transporte. Actualmente, las parcelas están siendo vendidas como lotes para viviendas. Sin embargo, hay 30 hectáreas de riego aún con cultivos. En el lado oeste de comunidad de La Victoria se encuentran las parcelas a riego y, en las partes altas, está la agricultura con riego de lluvia, en donde también existen construcciones con características urbanas. Anteriormente era una antigua hacienda que fue afectada por la reforma agraria de 1952. La ocupación actual de la mayor parte de la población es la de choferes, albañiles y profesionales en distintos campos.

Uso de las fuentes de agua

Las aguas para riego las obtienen de una toma en el río Guadalquivir, que son utilizadas mediante un antiguo sistema, que cuenta con canales en un área de riego de 15 hectáreas en ambos márgenes del río. Existe otro mecanismo en la parte más alta, donde las personas utilizan un sistema de bombeo que llega a regar otras 15 hectáreas (está ubicado en el lado este del Guadalquivir). Las y los beneficiarios de riego son apenas 20 personas de 400 familias que viven allí, entre la zona urbana y rural. El agua potable la obtienen de una toma en el río que limita con la comunidad de La Victoria. Sin embargo, las nuevas urbanizaciones en el lado este, gestionan la provisión de agua con la EPSA COSAALT R.L.

Características del uso del territorio

Esta es una comunidad mixta en proceso de urbanización. La parte considerada rural sufre el proceso de fraccionamiento de la tierra por herencia, donde se están realizando ventas a terceros. En las colinas de Aranjuez se pueden apreciar viviendas lujosas, así como viviendas modestas de las y los antiguos pobladores campesinos. La superficie de uso agrícola es pequeña en relación al área de la comunidad, en vista de que tiene pendientes muy pronunciadas

c. Comunidad de Turumayo

La comunidad de Turumayo se encuentra muy próxima a la ciudad de Tarija. En el año 2018, el GAM de Tarija definió que una parte de la comunidad se convierta en zona urbana. Desde hace mucho tiempo la población se dedicaba a la actividad ganadera y agrícola de manera limitada, esto por el tipo de suelos y la poca disponibilidad de fuentes de agua para riego. También se dedicaba a la elaboración de tejas y ladrillos.

Las urbanizaciones “Mirador los Pinos”, “Tajibos” y “Primero de Agosto” han sido incorporadas legalmente al área urbana del municipio de Tarija (esto de acuerdo al testimonio de una dirigente de la zona) (Amandes S.R.L., 2018).

Esta decisión no solo ha fraccionado la unidad histórica de la comunidad, si no que las tensiones sociales y presiones hacia la zona agrícola siguen siendo latentes y se amplían de manera silenciosa. Todo esto como consecuencia de la oferta de lotes y/o la construcción de viviendas de forma clandestina.

La determinación de transitar de lo rural a lo urbano mantiene todavía una importante resistencia de la mayoría de las familias. Sin embargo, la oportunidad del incremento en el valor de la tierra, paulatinamente, está empujando a loteamientos en el interior de la comunidad de Turumayo.

“De acuerdo con las características de ocupación actual en la comunidad de Turumayo, es posible advertir referencias innegables de estructuración del territorio hacia la consolidación de asentamientos urbanos, con la apertura de vías transversales a la carretera. Así mismo existen zonas de extracción y explotación intensiva de áridos, como movimientos de tierras con maquinaria pesada, para el posterior fraccionamiento y loteo de la propiedad agraria” (Amandes S.R.L., 2018).



Según el PLUS de Tarija, el uso de suelo corresponde a la categoría de uso agrícola intensivo y uso ganadero extensivo: “Un 88% de la unidad es de agricultura intensiva y está compuesta por un abanico aluvial, ubicado entre alturas de 1.950 y 2.650 m.s.n.m., con pendientes entre 0 y 5%, con una pedregosidad superficial menor de 15%. Los suelos son profundos, de baja a moderada disponibilidad de nutrientes. La ganadería extensiva se da en bofedal y terraza, que forman el 12% de la unidad y se encuentran entre alturas de 1.950 y 2.100 m.s.n.m., tienen pendientes entre 0 y 10%” (PLUS 2002).



Foto 8: Comunidad de Turumayo – Tarija, 2018. Autor: Amandes S.R.L.

Uso de las fuentes de agua

La comunidad hizo algunos atajados para riego de pequeñas superficies de cultivo con destino a la producción de forrajes. Actualmente, están perforando pozos de agua y construyendo tanques para la zona urbanizada. Los cauces de agua naturales derivan a la represa de San Jacinto, que llegan a unirse en el río de Guerra Huayco.

Características del uso del territorio

Las viviendas existentes en la zona aún no cuentan con planos aprobados, es decir son construcciones clandestinas. Existen también galpones para la cría de pollos, moteles, dos bancos de ripio (dos cerros en proceso de excavación), ventas de distintos artículos, construcción, ferretería, restaurantes, etc. Las construcciones a lo largo de la vía, incluso de varias plantas, son abundantes y se están incrementando rápidamente.

Problemáticas por el uso de suelo y agua

- El fraccionamiento de la tierra y el cambio de uso de suelo para la venta (incluso en la zona campesina) afecta al deterioro de las fuentes de agua.
- La baja disponibilidad de agua, principalmente, en la época de estiaje.
- La resistencia de la población campesina a dejar sus actividades y vender sus tierras.
- La ocupación de quebradas, además de cerrar el paso del agua que viene de la serranía cercana. Actualmente existe una ocupación de los cauces, franjas de protección, etc.
- El corte y la tala de árboles deja desprotegida la capa superficial del suelo a la erosión.



Foto 9: Comunidad de Turumayo – Tarija, 2018. Autor: © Archivo GIZ/PERIAGUA

d. Comunidad de Lazareto

Es una comunidad con un importante valor turístico e histórico. Sin embargo, poco a poco ha llegado a tener una influencia urbana. En Lazareto habitan, aproximadamente, 320 familias. La población de esta comunidad ha diversificado su ocupación o bien busca fuentes de ingreso en la ciudad y en la Argentina.

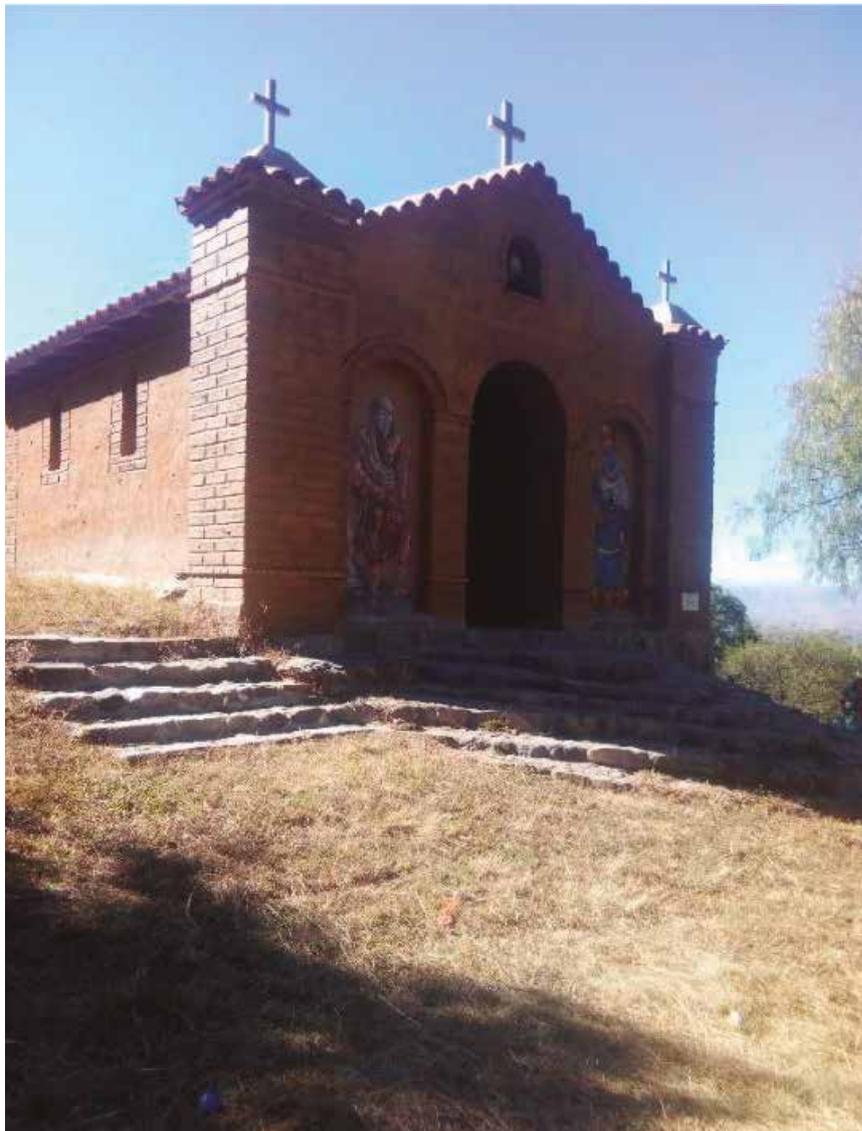


Foto 10: Comunidad de Lazareto, Tarija 2018. Autor: Amandes S.R.L.



Uso de las fuentes de agua

Se usan ojos de agua y quebradas para riego solamente, lo que limita la producción agrícola. En todo caso, la disponibilidad del recurso es muy limitada en la comunidad, aun considerando que es una zona de intensa precipitación, pero muy estacional.

Características del uso del territorio

Los terrenos poseen títulos agrarios otorgados por el INRA. Sin embargo, existe un intenso fraccionamiento de la tierra por herencia. Las tierras heredadas son vendidas por los propietarios que migran (por lo general a la Argentina). Existen construcciones atípicas de la zona rural y comercios al margen de la carretera. Un nuevo propietario está construyendo y loteando terrenos para un condominio y una urbanización; además, realizó algunas construcciones y la perforación de un pozo para la extracción de agua.

La compraventa de terrenos es cada vez más frecuente. Esta se realiza a través de un documento notariado, que el secretario general del sindicato verifica respecto a los límites.

Problemáticas por el uso de suelo y agua

- El fraccionamiento de la tierra y el cambio de uso de suelo para la venta (incluso en la zona campesina) afecta al deterioro de las fuentes de agua.
- La presencia de nuevas/os propietarias/os ajenas/os a la comunidad y sus usos y costumbres.
- La baja disponibilidad de agua, principalmente, en la época de estiaje.
- Desplazamiento migratorio de la población originaria por la falta de agua y tierras, y muy bajo valor de la producción.
- Problemas con incendios en la serranía.

e. Comunidad de Guerra Huayco

Es una comunidad importante por la cantidad de población (500 familias). Presenta cuatro zonas que son: arriba, centro, abajo y sud. Su población se ocupa, principalmente, de la agricultura y ganadería, pero también son albañiles, transportistas, comerciantes y profesionales.

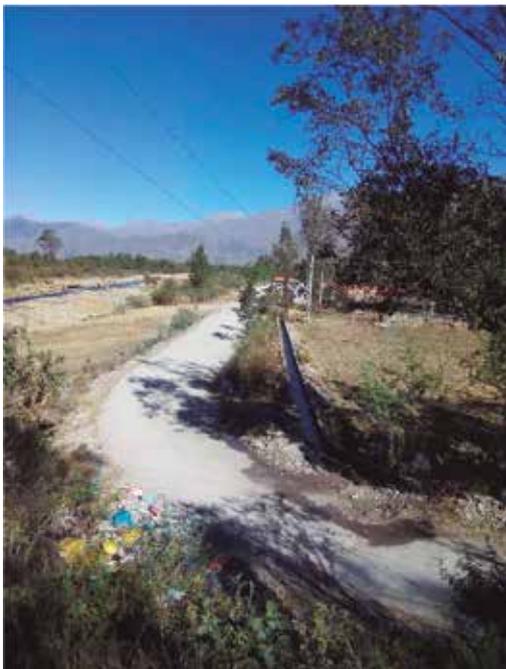


Foto 11: Comunidad de Guerra Huayco – Tarija, 2019. Autor: Amandes S.R.L.



Usos de las fuentes de agua

Cuenta con dos sistemas de agua, uno que obtiene el recurso del río San Andrés, destinado para riego y abastece al sur de la comunidad, y otro sistema obtiene el recurso del río Chico o Río Guerra Huayco para el agua potable.

Del mismo modo, la obtención exclusiva de agua potable es mediante vertientes ubicadas al pie de la montaña, que proveen a las distintas zonas. Los cauces principales vierten el recurso hídrico a la represa de San Jacinto, esto a través del río Tolomosa. El agua es escasa, especialmente, en la época de estiaje. Sin embargo, esta es una zona de intensa precipitación, aunque muy estacional.

Características del uso del territorio

El uso de la tierra es agrícola y ganadero, cabe aclarar que la gente se ocupa en un 80% a la agricultura y el restante a la ganadería. Además de ello existen varios galpones para la cría de pollos. Los márgenes de la carretera cuentan con numerosas construcciones, no solo habitacionales, sino de comercios y otros.

La comunidad reconoce que existe venta de terrenos, pero ha establecido que estas se realicen a las y los mismos comunarios o gente conocida, que aporte al desarrollo de la comunidad.

Problemáticas por el uso de suelo y agua

- El fraccionamiento de la tierra y el cambio de uso de suelo para la venta (incluso en la zona campesina) afecta al deterioro de las fuentes de agua.
- La baja disponibilidad de agua, principalmente, en la época de estiaje.
- Desplazamiento migratorio de la población autóctona por la falta de agua y tierras, y muy bajo valor de la producción.

f. Comunidad de San Andrés

Esta es una comunidad muy extensa, que cuenta con más de 1200 habitantes en una zona próxima a la carretera, con características verdaderamente urbanas. Actualmente se encuentra en construcción la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) que tratará parte de las aguas de la ciudad y de la misma comunidad. La tecnología de la PTAR permitirá utilizar el recurso tratado para el riego en cultivos de la comunidad, además aportará a la disminución de contaminación de los afluentes de San Andrés, Tolomosa, San Jacinto y río Guadalquivir.

La actividad agrícola de la comunidad está enfocada a la producción de la papa, maíz y arveja con algunas innovaciones en cuanto a cultivos. La actividad ganadera es tradicional y vigente, pues bastante ganando pasta en la Cordillera de Sama. Su situación es compleja respecto a lo urbano, rural y al uso y conservación de las fuentes de agua. Por otra parte, la comunidad de San Pedro de Sola, que se encuentra más próxima a la cordillera, es la que en primera instancia posee las fuentes de agua de las cuales se abastece San Andrés.



Foto 12: Comunidad de San Andrés – Tarija, 2019. Autor: © Archivo GIZ/PERIAGUA



Usos de las fuentes de agua

La comunidad cuenta con sistemas de riego que reciben las aguas del río Sola y del río San Andrés. Sin embargo, al concentrarse en esta zona la mayor precipitación del Valle Central de Tarija, se producen numerosas vertientes y torrentes de los cuales se aprovecha el agua para riego. Este lugar se considera importante, ya que cuenta con un alto potencial respecto a la recarga hídrica natural. Debe considerarse el hecho de que esta cuenca es el principal aportante de las aguas que son almacenadas en la represa de San Jacinto.

Características del uso del territorio

Cuenta con una zona urbana no consolidada, la tierra agrícola ha sido titulada y la mayor parte del territorio es de uso agropecuario. Sin embargo, existen construcciones atípicas y usos de la tierra con propósitos distintos a la agricultura, que requieren la regulación necesaria.

Problemáticas por el uso del suelo y agua

- Desarrollo de una zona urbana en San Andrés.
- El fraccionamiento de la tierra y el cambio de uso de suelo para la venta (incluso en la zona campesina) afecta al deterioro de las fuentes de agua.
- Conflictos con la comunidad de San Pedro de Sola por el uso del agua para riego y agua potable.
- La falta de mercado y precios adecuados para la comercialización de la producción.
- Desplazamiento migratorio de la población autóctona por la falta de agua y tierras, y muy bajo valor de la producción.
- Falta de planificación urbana en el área central.

g. Comunidad de Bella Vista

Bella vista es una extensa comunidad que fue una antigua hacienda y propiedad de la familia Navajas. Está correctamente conectada con la ciudad de Tarija por un camino asfaltado. Cuenta con más de 600 familias.

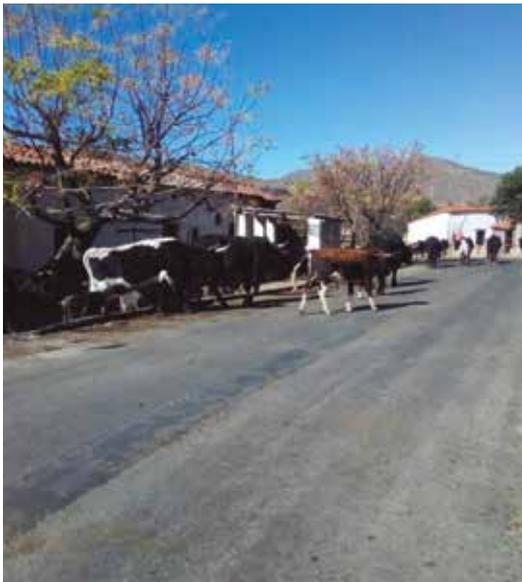


Foto 13: Comunidad de Bella Vista - Tarija, 2018. Autor: Amandes S.R.L.



Uso de las fuentes de agua

Se utiliza, desde hace mucho tiempo, una toma de agua sobre el río Sola, el mismo que descende de la Cordillera de Sama para riego y agua potable. Por su ubicación, muy próxima a la montaña, la fuente de agua cuenta con numerosas vertientes, que son aprovechadas por grupos de familias de manera independiente.

Características del uso del territorio

El uso de los suelos es destinado, básicamente, para la agricultura y la ganadería, y que están siendo saneados por el Instituto Nacional de Reforma Agraria (INRA). No existen otros usos con características urbanas. Los suelos son superficiales y muy permeables.

Problemáticas por el uso de suelo y agua

- Problemas de límites con la comunidad de San Pedro de Sola, lo que está retrasando la titulación de las tierras.
- El fraccionamiento de la tierra y el cambio de uso de suelo para la venta (incluso en la zona campesina) afecta al deterioro de las fuentes de agua.
- La baja disponibilidad de agua, principalmente, en la época de estiaje.

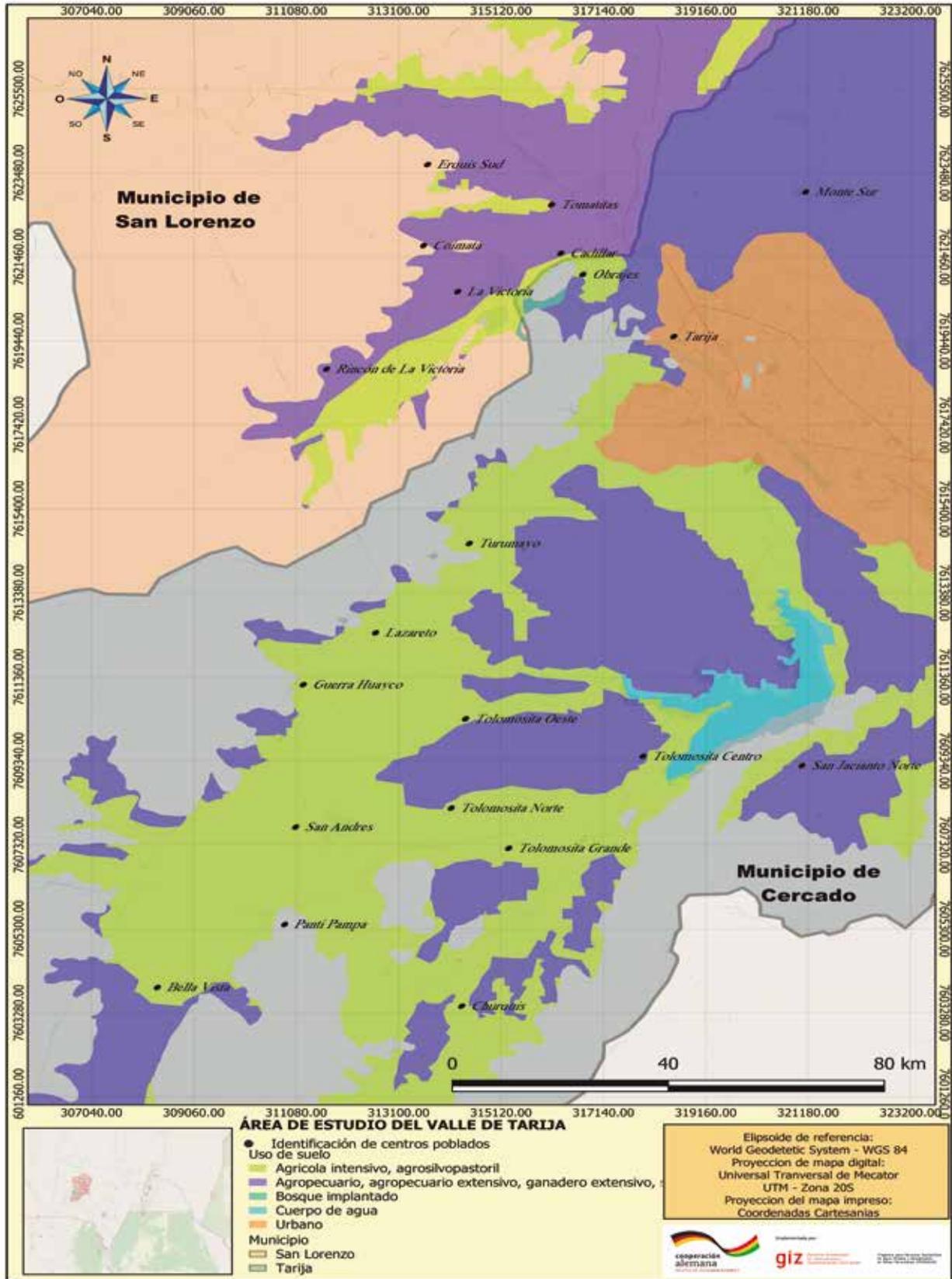
3.5.3. Cambio de uso de suelo

La comunidad cuenta con un Plan de Uso del Suelo (PLUS), instrumento técnico que asigna los usos de acuerdo a sus potencialidades y limitaciones, y un Plan de Ordenamiento Territorial (POT), el cual orienta y dirige la ocupación del territorio de manera planificada y sostenible. Según el Uso Actual de la Tierra (2010), se puede distinguir 3 tipos de uso identificados y agrupados en 17 categorías: agropecuario intensivo, agropecuario extensivo, agrosilvopastoril y silvopastoril (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, 2017).



Foto 14: Comunidad de San Andrés - Tarija, 2019. Autor: © Archivo GIZ/PERIAGUA





Mapa 2: Identificación del área de estudio - Tarija, 2019. © Archivo GIZ/PERIAGUA



- **Tala de bosques**

Los factores que degradaron los suelos, en gran parte de las zonas altas de la Cordillera de Sama, fueron: la tala de bosques nativos, el sobrepastoreo, la excesiva carga animal durante los periodos de sequía, la habilitación de nuevas áreas de cultivos, la inestabilidad de las formaciones geológicas y el relieve montañoso. Todo esto provocó la pérdida de ecosistemas valiosos, recursos naturales y deterioro del medio ambiente.

- **Pérdida de cobertura vegetal**

La reducción de la cobertura vegetal incidió, en gran medida, en una modificación del uso y servicios ecológicos, como por ejemplo, la reducción de: los hábitats para la vida silvestre, los medios naturales de protección del suelo y el almacenamiento del agua.

En el Valle Central de Tarija, los bosques han sido deforestados y afectados por incendios, para redirigir el uso de los suelos a la ganadería, donde únicamente predominan matorrales xerofíticos, como los churquiales (*Acacia caven*) y chacateas (*Dodonaea viscosa*), especies vegetales, que son indicadores de suelos degradados.

- **Sobrepastoreo**

El sobrepastoreo de pastizales, en las partes altas de la cuenca, reduce la cobertura vegetal, esto afecta a la recarga de aguas subterráneas.

Actualmente los suelos ocupados por vegetación natural están sufriendo un acelerado cambio, ya sea para uso agrícola, pecuario o para habilitación de urbanizaciones, cuyos procesos de degradación más importantes se traducen en pérdida de la cobertura vegetal, sobrepastoreo y erosión de los mismos.

- **Erosión de suelos**

Uno de los principales riesgos ambientales del municipio de Tarija es la erosión. Aproximadamente más del 35% de su territorio presenta una superficie erosionada, desde una moderada hasta una erosión muy grave, lo que provoca una pérdida anual de 200 a 600 ha cultivables. El principal factor de este problema es el tipo de material del que están constituidos los suelos, ya que Tarija se encuentra sobre el fondo de un lago Cuaternario (Amandes S.R.L., 2018).

- **Impermeabilización**

Entre otros factores de riesgos ambientales, se encuentra la destrucción de la cobertura vegetal. Esto a causa de los crecientes asentamientos, que se van multiplicando y la creación de nuevas urbanizaciones.

- **Chaqueos**

La tala de incendios forestales es provocada por la población, como los chaqueos que se realizan para la habilitación de nuevas superficies de cultivo. Estos incendios también son ocasionados por agentes naturales, pueden producirse por la acumulación de combustibles, el ambiente seco y los vientos que propagan.







4

INVESTIGACIONES PARA DETERMINAR EL ÁREA DE RECARGA HÍDRICA



4.1. Zonificación del área de recarga hídrica

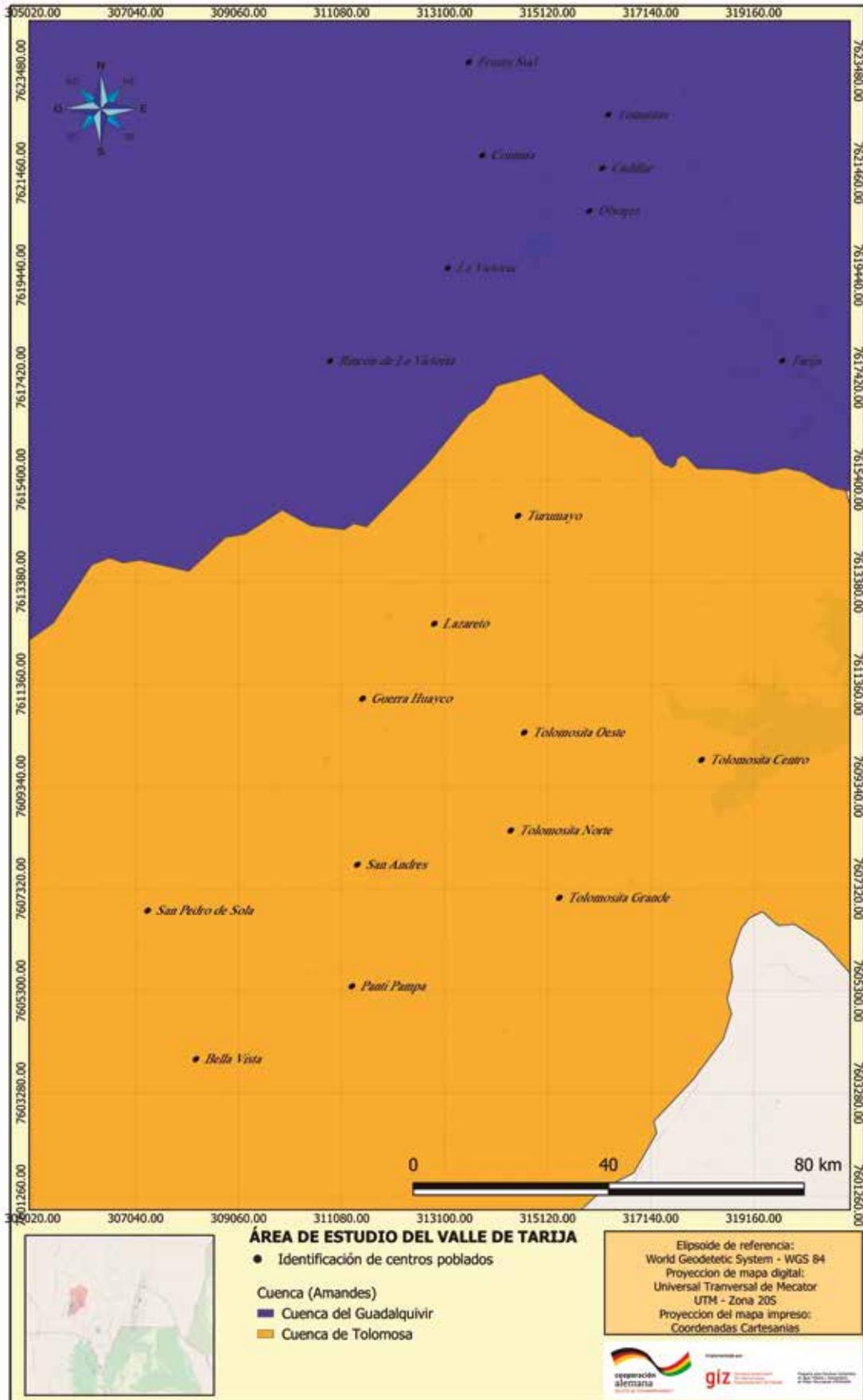
Las áreas de recarga se encuentran, mayormente, en el sector de piedemonte de la Reserva Biológica del Sama (por ejemplo, en el sector del Rincón de La Victoria, San Andrés, etc.). En estos sectores, el agua (producto de las precipitaciones y aquella que desciende del área montañosa) se infiltra y recarga los acuíferos. Generalmente son áreas de mayor permeabilidad, conformadas por una sucesión de capas de materiales aluviales gruesos, esto a causa del arrastre y deposición sucesiva de eventos fluviales.

La importancia del agua, como recurso fundamental de protección y conservación, está asociado a la presencia de los bosques nativos, que tienen que ver con la regulación de aguas a nivel de la cuenca. Estos bosques contribuyen en la intercepción de la precipitación, mejoran los procesos de infiltración del agua hacia el interior del perfil del suelo y reducen la escorrentía, esto genera la recarga de los acuíferos en la época húmeda.

Cuenca	Comunidades
<p>Tolomosa</p> 	Bella Vista
	San Andrés
	Guerra Huayco
	Turumayo
	Tablada Grande
	Lazareto
	Tolomosa Norte
	Tolomosa Oeste
	Tolomosa Grande
	Panti Pampa
<p>La Victoria</p> 	San Pedro de Sola
	La Victoria
	Coimata
	Obrajes
	Cadillar

Tabla 4: Listado de algunas comunidades que se encuentran en las áreas de recarga de agua subterránea -Tarija, 2016
© Archivo GIZ/PERIAGUA





Mapa 3: Distribución de la cuenca de Tolomosa y Guadalquivir en el área de intervención - Tarija, 2019. © Archivo GIZ/PERIAGUA



El río Tolomosa nace en los cerros Punta Grande y Morro Alto a 3.800 m.s.n.m. con el nombre de Sola. Corre en dirección oeste-este hasta su confluencia con el río Pinos, que nace a una altitud aproximada de 2.500 m.s.n.m. en los cerros Muyuloma e Inga. Al unirse los ríos Sola y Pinos (en la comunidad de Bella Vista) recibe el nombre de río Tolomosa.

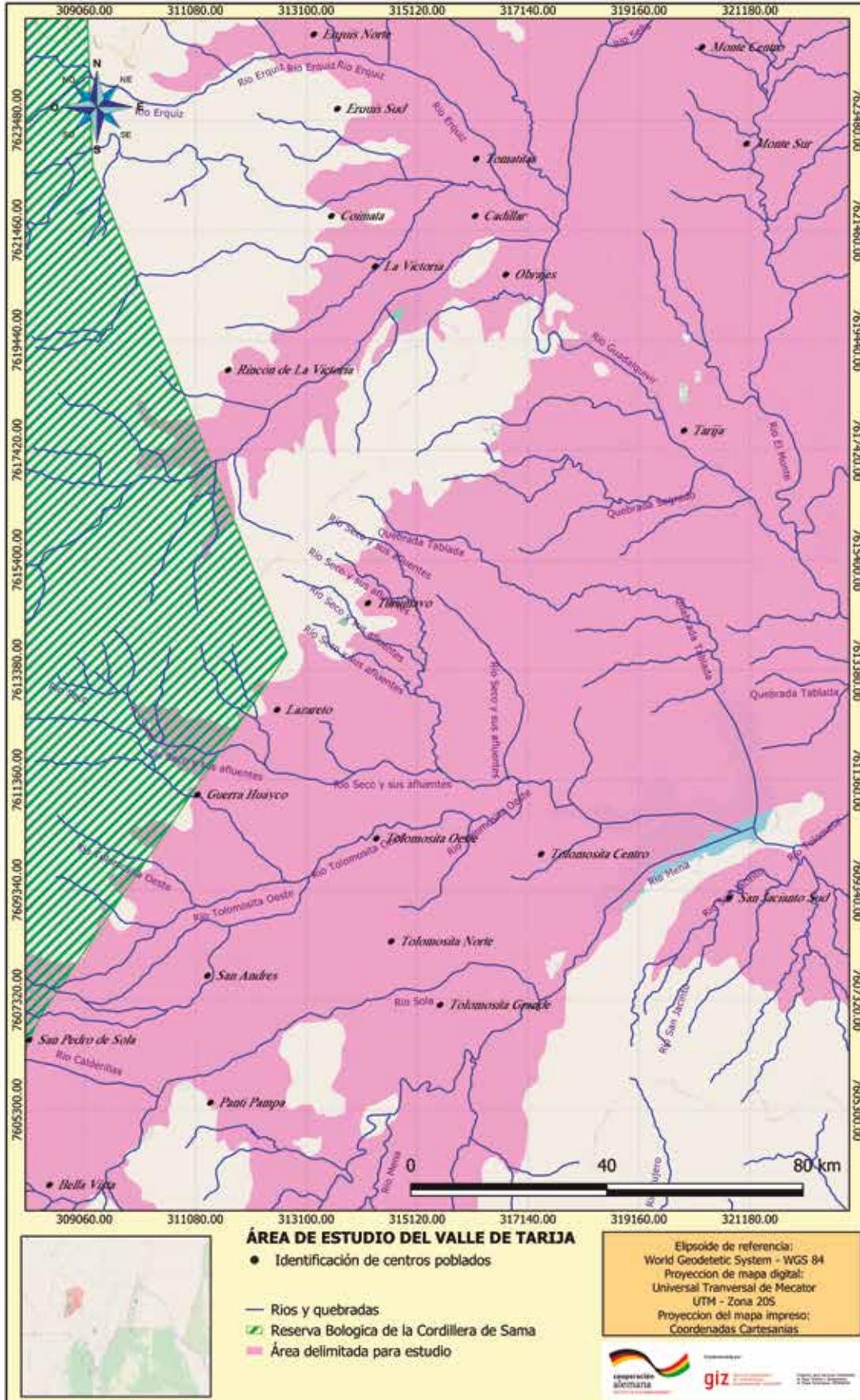


Foto 15: Río Tolomosa en época de lluvia- Tarija, 2019. Autor: Romeo Marta © Archivo GIZ/PERIAGUA



Foto 16: Río Tolomosa en época seca - Tarija, 2019. Autor: Daniela Pelaez © Archivo GIZ/PERIAGUA





Mapa 4: Ríos y quebradas del área de estudio – Tarija, 2019. © Archivo GIZ/PERIAGUA



Reserva biológica de la Cordillera de Sama

La Reserva biológica de la Cordillera de Sama fue creada mediante decreto supremo el 30 de enero de 1991, cuenta con una superficie de 108.500 ha. El rango altitudinal oscila entre los 1.800 y 4.700 m.s.n.m. y se caracteriza por una topografía de abruptas pendientes, mesetas y lagunas alto andinas.

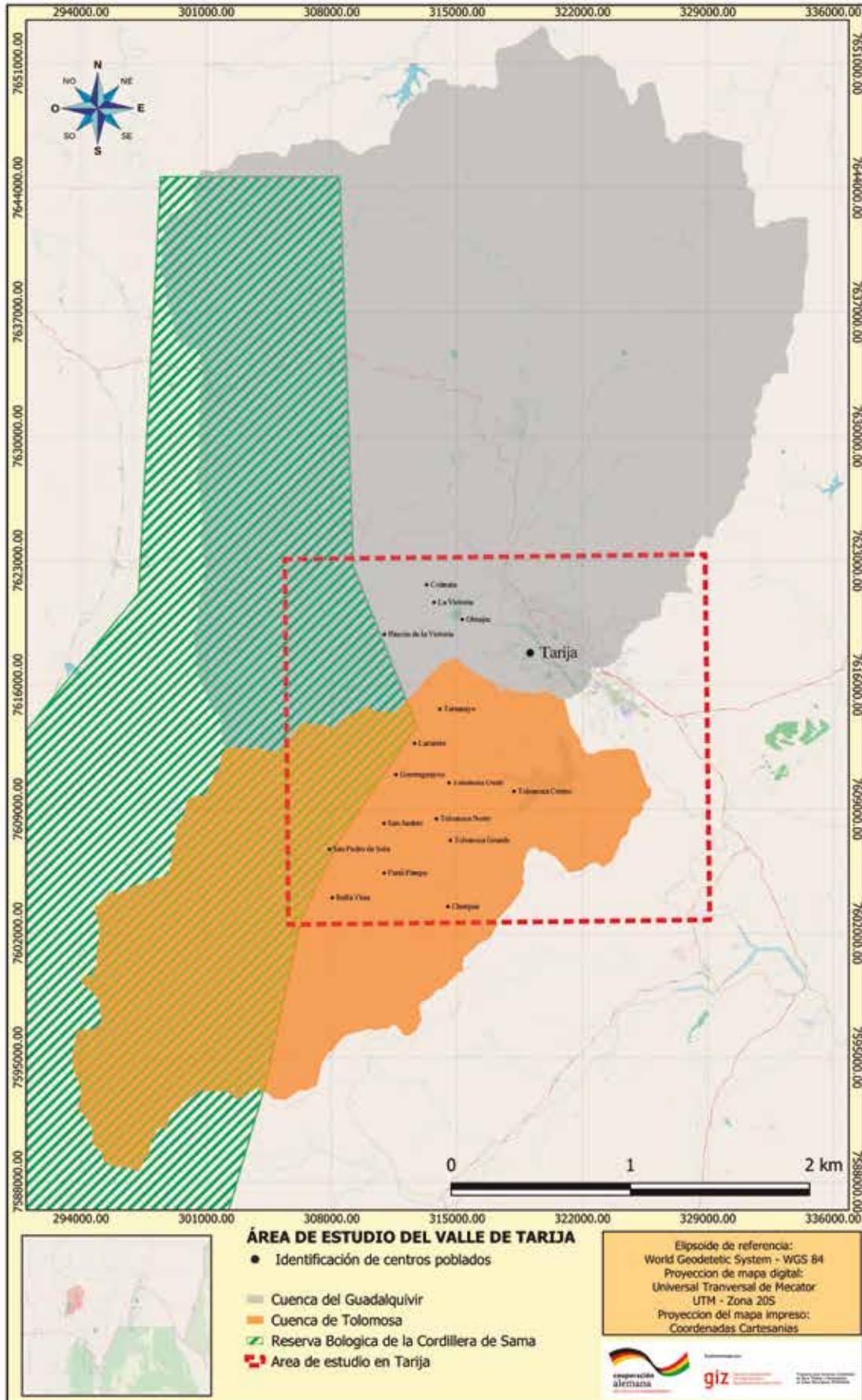
Está definida por la cuenca de los ríos Tajzara, San Juan del Oro y Guadalquivir, que son fuente de agua importantes para la región. La cuenca de Guadalquivir es la que provee del recurso a la población de Tarija y comunidades de su área de influencia; por este motivo, la “Fuente de agua para el Valle Central de Tarija” es considerada como uno de los objetos de conservación del área protegida.

Una de las amenazas más fuertes para el área protegida son los incendios. A través del registro del área, desde el año 2000 se evidencia que estos se han producido en 31 de las 39 comunidades, que están al interior y en los alrededores de la reserva. Esta área deberá recibir una atención especial al momento de realizarse las estrategias de protección, las cuales tienen que considerar la importancia de preservar la calidad y cantidad del agua de ríos y quebradas y su vegetación asociada.



Foto 17: Reserva biológica de la Cordillera de Sama – Tarija, 2018. © Archivo GIZ/PERIAGUA





Mapa 5: Reserva biológica de la Cordillera de Sama y ubicación del área de estudio – Tarija, 2019. © Archivo GIZ/PERIAGUA



4.2. Geología y geomorfología

El Valle Central de Tarija, que es parte de la provincia Cercado, se extiende en su dirección noroeste y sudeste con un área aproximada de 100.000 hectáreas. Los rasgos sobresalientes del lugar se caracterizan por ser el típico paisaje de “Bad Lands” o Tierras Malas, es decir, con relieve irregular por las diferencias existentes de los distintos tipos de sedimentos.

Esta cuenca se encuentra dividida interiormente en dos partes, al este y al oeste, de irregular morfología, rodeada de elevadas montañas de rocas de edad paleozoica, que alcanzan alturas de 3.000 a 4.000 metros. La cuenca de Tarija está profundamente recortada por valles de drenaje dendrítico (afluentes con distintos tipos de ramificación), además está bañada por las aguas de los ríos Guadalquivir, Tolomosa, Camacho, Santa Ana y otros pequeños tributarios. En las serranías que circundan el área de estudio, se diferencian dos unidades morfoestructurales: La Cordillera Oriental y la Faja Subandina.

La Cordillera Oriental está representada, principalmente, por la serranía de Sama y sus montañas en dirección Norte-Sur, compuestas, mayormente, por rocas de la base del Paleozoico.

La Faja Subandina se encuentra en el sector oriental del área estudiada y se caracteriza por sus serranías de variada altitud y estratigráficamente heterogénea (identificación y disposición de rocas y sedimentos) de orientación Norte-Sur. En el área, las rocas aflorantes son principalmente sedimentarias, así en la era Paleozoica se inicia con una secuencia de areniscas cuarcíticas bien fracturadas de los periodos Cámbrico y Ordovícico, bien representadas en la Cordillera de Sama.

La potencia (espesor) del Periodo Cámbrico abarca 7.000 m. La era Mesozoica está representada por pequeños afloramientos del Periodo Triásico, formado por bancos de rocas sedimentarias areniscas y calizas, silicificadas (proceso de mineralización) bien fracturadas. Los depósitos de la era Cuaternaria están compuestos por materiales arenosos, gravosos y arcillosos en las diferentes cuencas. La potencia del Cuaternario es variable, de acuerdo a prospecciones geofísicas, la profundidad del basamento (superficie bajo la cual están las rocas) se encuentra a los 500 m. de profundidad.

Los materiales aluviales se depositaron a lo largo de los diferentes ríos existentes en la provincia Cercado. Los materiales de terrazas aluviales, portadores de agua subterránea, se depositaron en las partes planas de las diferentes sub cuencas existentes en la zona de estudio.

El valle de Tarija se encuentra cubierto por una sucesión de sedimentos de origen fluvio-lacustre, depositados en el Pleistoceno y caracterizados por dos formaciones. Una formación basal, constituida por sedimentos finos, donde la ocurrencia de lentes arenosos es escasa; y una formación superior, con presencia de algunos horizontes de cenizas volcánicas. Detrás de estas formaciones se encuentra una secuencia de lentes arenos gravosas de origen aluvial. El sector de piedemonte se caracteriza por una alternancia de sedimentos coluvio-fluviales, con presencia de gravas, arenas y limos, su espesor máximo de estos sedimentos es de unos 500 metros.

Rodeando el valle de Tarija (en la parte oeste) se encuentran rocas Paleozoicas, tales como la formación Sama y la formación Iscayachi, con presencia de cuarcitas y areniscas, de colores grises a blanquecinas. Hacia el norte se ubica la formación Cieneguillas, conformada por lutitas y limolitas (sedimentos), intercaladas por areniscas. Hacia el este (en una franja que se extiende de norte a sur) se ubican las formaciones Tarabuco y Santa Rosa, con presencia de areniscas intercaladas por lutitas.

El área donde se encuentra el valle de Tarija presenta características geomórficas complejas, esto es producto de los movimientos tectónicos y procesos morfológicos a los que estuvo sometida en épocas pasadas. Estos movimientos y procesos son responsables del desarrollo y evolución del paisaje actual, que es diferenciado de las siguientes provin-



cias fisiográficas: la Cordillera Oriental y el Subandino.

La Cordillera Oriental, en la provincia Cercado, se caracteriza por su aspecto masivo, fuertemente disectado (erosión vertical del suelo) con rumbos predominantemente norte-sur, que dan origen a piedemontes, llanuras, terrazas y algunos valles estrechos.

En general, las rocas integradas entre sí fueron fuertemente plegadas y deformadas, falladas y tectonizadas, como consecuencia de los eventos geológicos a las que estuvieron sometidas. La amplia variedad litológica y su variabilidad petrológica ha favorecido la presencia de típicas inversiones de relieve, donde es frecuente observar valles y montañas.

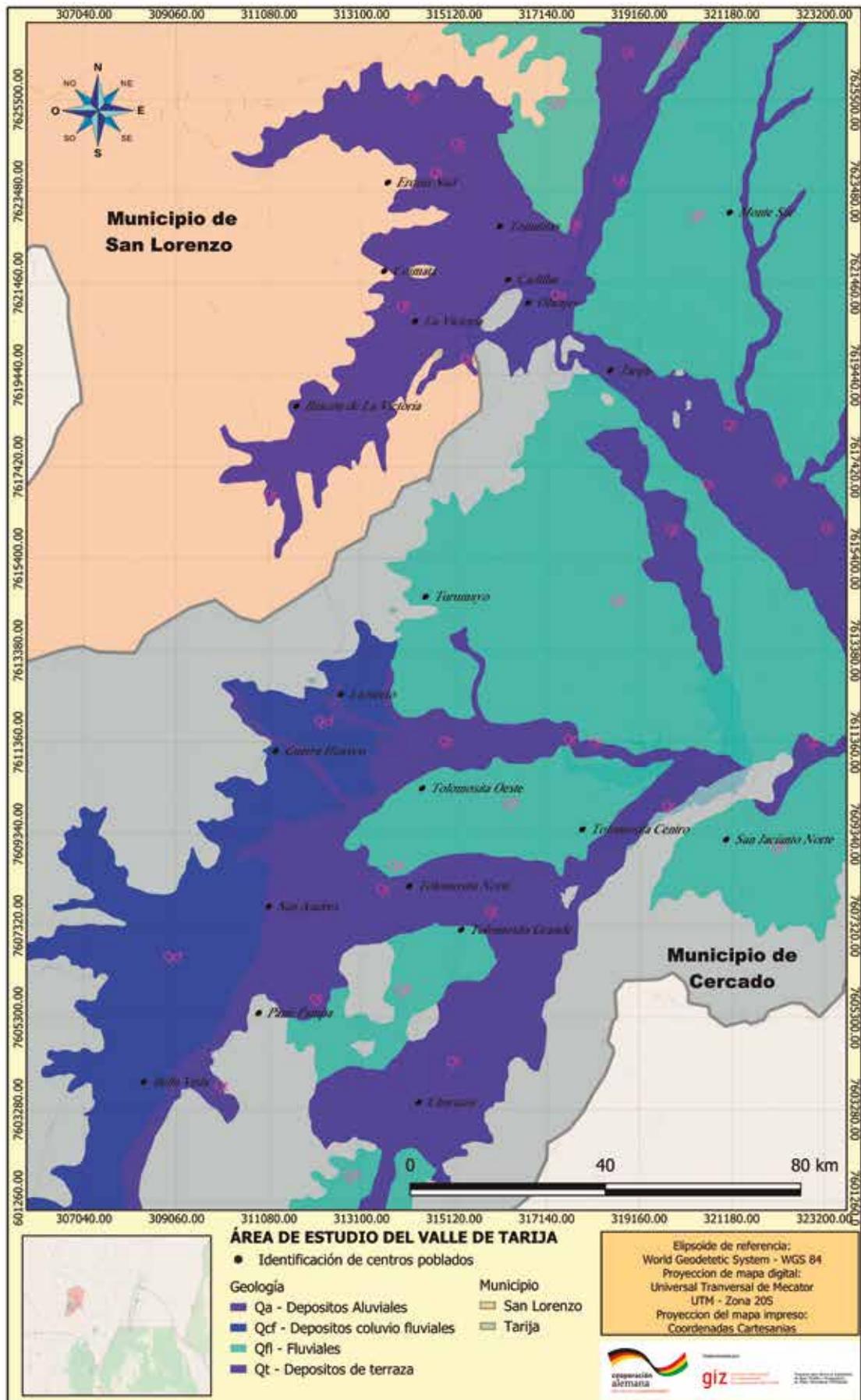
La acción glacial en el pasado, ahora se manifiesta en las zonas altas, con depósitos morrénicos (sedimentos, producto del arrastre del avance de los glaciares sobre el territorio) y depósitos fluvio-glaciales. Los sedimentos coluvio-aluviales y aluviales son el resultado del arrastre de los mismos desde los relieves más altos. Se presentan también llanuras fluvio-lacustres y abanicos aluviales de extensión reducida, esto como resultado de la acción climática en periodos interglaciares.

La escasa cobertura vegetal en muchos sectores, tanto de las montañas como de las serranías, ha incidido desfavorablemente en la protección de los suelos, los cuales están sometidos a procesos geomórficos muy activos, como erosión laminar, ya sea en surcos o en cárcavas; formación de “Bad Lands” (tipo de paisaje) y otras formas de remoción en masas, que van degradando y modelando el paisaje.

Las diferencias más notorias de la faja Subandina, en comparación con la Cordillera Oriental, son sus serranías con menor altitud y su formación tectónica. En la faja Subandina, a diferencia de la Cordillera Oriental, los altos topográficos, como las serranías, coinciden con pliegues anticlinales, y las depresiones o valles con los pliegues sinclinales, lo que origina un típico diseño de drenaje en trellis o enrejado, propio de regiones donde el plegamiento ha prevalecido sobre la fractura en la corteza terrestre.

Las serranías presentan formas alargadas por cientos de kilómetros y paralelas entre sí, constituidas por rocas más resistentes y homogéneas. En tanto los valles sinclinales se hallan constituidos por rocas más recientes y más blandas. Algunas otras particularidades se refieren a las cimas, que pueden ser agudas y otras redondeadas a sub redondeadas. Las gradientes son pronunciadas a consecuencia de las fuertes pendientes estructurales. Por el contrario, los valores de las gradientes son más moderados en las colinas. La cobertura vegetal en la faja Subandina es más densa y variada que en la Cordillera Oriental, esto incide favorablemente en la protección de los suelos, lo que reduce los procesos de erosión.

El mapa 5 muestra las unidades geológicas en el sector occidental del valle de Tarija, conformadas por formaciones de origen Cuaternario, de diferente composición litológica. Por un lado están las formaciones fluviales y aluviales, de materiales predominantemente más gruesos (gravas, arenas y reducido contenido de limos y arcillas) y por otro lado, las formaciones de origen lacustre (materiales más finos, como limos y arcillas).



Mapa 6: Unidades geológicas de las áreas Cuaternarias (sectores de piedemonte y áreas colindantes) – Tarija, 2019. © Archivo GIZ/PERIAGUA

4.3. Hidrogeología

De acuerdo a la descripción geológica, en las formaciones paleozoicas se orientan estructuras anticlinales y sinclinales, que conforman serranías y que constituyen el límite de la cuenca del Guadalquivir. Estas formaciones cambro-ordovícicas funcionan como acuíferos de permeabilidad secundaria (semi permeables), debido al grado de fracturamiento de la roca (falla y diaclasa) y de alteración de la forma, tal como se puede apreciar en la serranía de Sama, de donde procede gran parte del flujo base de los ríos.

Los acuíferos Cuaternarios, que se ubican en la parte central de la cuenca Guadalquivir, cuentan con depósitos aluviales (terrazas, abanicos y cauces de ríos), coluviales y fluviolacustres, que son de interés hidrogeológico por su comportamiento y sus formaciones acuíferas (Naciones Unidas, 1981).

Los depósitos Cuaternarios que rellenan el Valle Central de Tarija conforman dos tipos de acuíferos, cuyas características son las siguientes:

- Un acuífero confinado, conformado por lenguas y cuñas de arena y grava, intercaladas con depósitos limo-arcillosos lacustres que abarcan la parte central de la cuenca.
- Acuíferos freáticos someros, en los depósitos aluviales delgados a lo largo de los cauces, tales como el río Guadalquivir y sus afluentes principales (Naciones Unidas, 1981).

El espesor del acuífero en el Valle Central de Tarija es de 220 m., pero su espesor se disminuye en el sector de piedemonte. La porosidad eficaz estimada es de 7%, la transmisividad hidráulica es de 200 m²/día y el valor de permeabilidad es de 10⁻⁵ m/s (PMMAP, 2015). El río Guadalquivir actúa como nivel base del agua subterránea. Los pozos de producción en el área urbana tienen caudales de hasta 8 l/s (aunque los caudales más frecuentes se ubican entre los 3 y 4 l/s); mientras que en el sector norte de la ciudad llegan hasta los 18 l/s. Al oeste del río Guadalquivir, los caudales de producción de los pozos llegan hasta los 20 l/s.

4.4. Investigaciones mediante dataciones isotópicas

Para entender el origen y la dinámica del agua subterránea en el valle de Tarija, el Programa PERIAGUA ha efectuado, entre los años 2014 y 2018, mediciones isotópicas. Para ello, las y los asesores técnicos de Programa tomaron muestras para análisis de isótopos estables ($\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$), tanto de pozos de producción de agua, como de cauces superficiales. También fueron realizadas las dataciones de muestras para ^{14}C con determinaciones de $\delta^{13}\text{C}$, esto ayudó al entendimiento de la hidrodinámica del sistema de agua subterránea, sobre todo en los acuíferos más profundos. Finalmente se realizaron determinaciones de Tritio (^3H) para aguas recientes y que se han recargado después del año 1950.

4.4.1 Interpretación de los isótopos estables ($\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$) y el exceso de deuterio (d)

Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ de todas las muestras se concentran a lo largo de 2 rectas meteóricas de agua locales (rMWL), cuyas pendientes con valores de 7,80 y 8,10 son muy parecidas y muy típicas para recarga proveniente de agua de lluvia. En la Figura. 3 se pueden visualizar claramente estas dos rectas, donde la meteórica de agua local del oeste (recta roja o rMWL-W) corresponde a las aguas subterráneas de los pozos, cuya recarga está en el sector suroeste. En tanto la recta meteórica de agua local del este (recta azul o rMWL-E) es la que corresponde a los pozos cuya recarga se origina, principalmente, en el sector noreste.

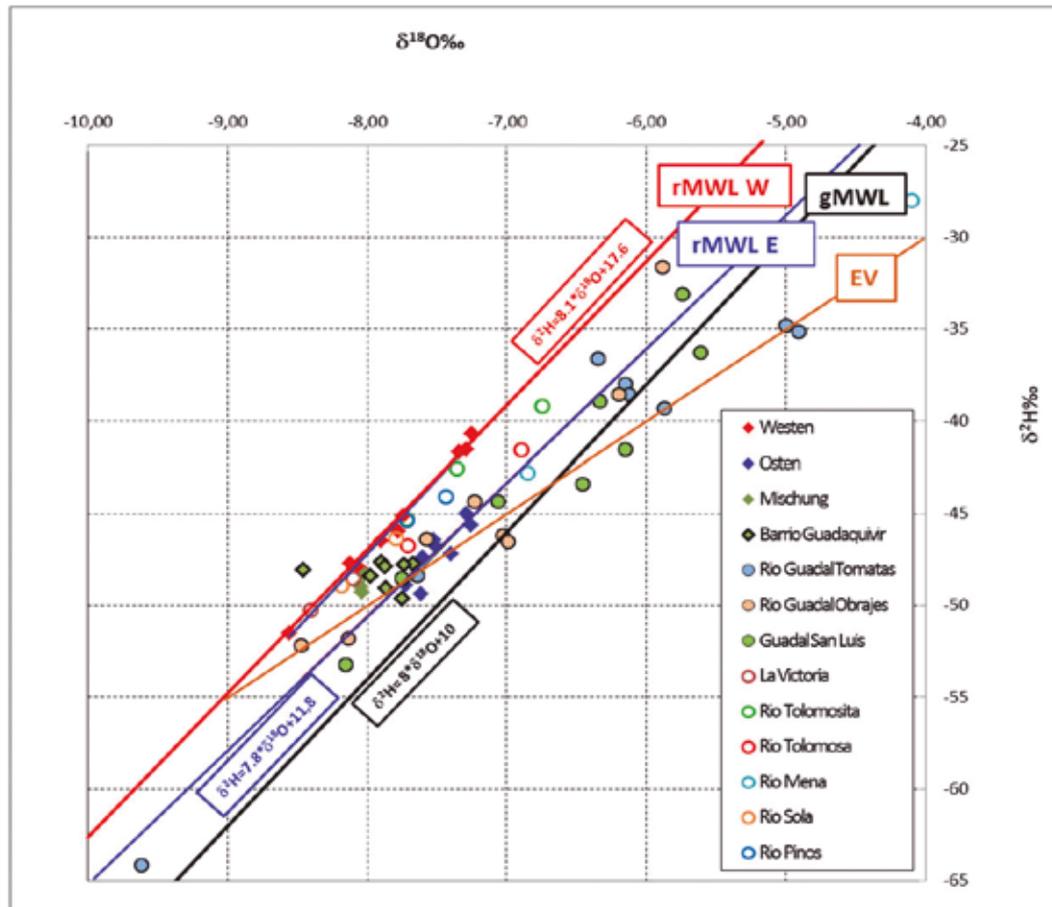


Figura 3: Valores $\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^2\text{H}$ donde se pueden ver 2 rectas meteóricas de agua locales del oeste y este (rMWL W y E), marcadas en color azul y rojo; mientras que la recta meteórica global (gMWL) se muestra con la línea negra. La recta de evaporación se marca con la línea naranja (EV). El agua subterránea de mezcla se marca con los puntos verdes (rombos). Tarija, 2019. © Archivo GIZ/PERIAGUA

Si bien las rectas meteóricas son muy parecidas, las aguas subterráneas se diferencian claramente por su valor medio de exceso de deuterio d ($d = \delta^2\text{H} - 8 \times \delta^{18}\text{O}$), el cual se muestra en promedio en la Figura 4, donde se observan valores de $d \approx 18\text{‰}$ (correspondiente a aquellas aguas subterráneas recargadas en el sector suroeste). Por otro lado, existen valores de $d \approx 12\text{‰}$ (pertenecientes a aquellas aguas subterráneas recargadas en el sector noreste). Los orígenes de estos valores en las aguas subterráneas corresponden a la recarga proveniente de precipitaciones pluviales, pero aparentemente (esto todavía se debería verificar con la toma de agua de lluvia en ambas regiones) de diferentes orígenes, tales como:

- **Lluvia tropical del norte (valores $d \approx 18\text{‰}$)**, estas precipitaciones llegan de nubes que se originan de la evaporación de agua, provenientes de grandes cuerpos del recurso, es decir, probablemente del sector amazónico y que luego originan lluvias muy abundantes (1.000-1.200 mm/año) en la época de verano y en especial en el sector de piedemonte del valle de Tarija. Estos valores se producen en los pozos TJA-18, TJA-19, TJA-20 y TJA-21.
- **Lluvia del sur (valores $d \approx 12\text{‰}$)**, proveniente desde el sector sur y que origina lluvias de mucha menor cantidad, mayormente en la época de invierno, lo que genera una cierta recarga de agua subterránea en la parte baja de la cuenca de Tarija. Estos valores se han encontrado en los pozos TJA-02, TJA-03, TJA-04, TJA-05 y TJA-25, como también en las muestras obtenidas del río Guadalquivir (TJA-01, TJA-16).

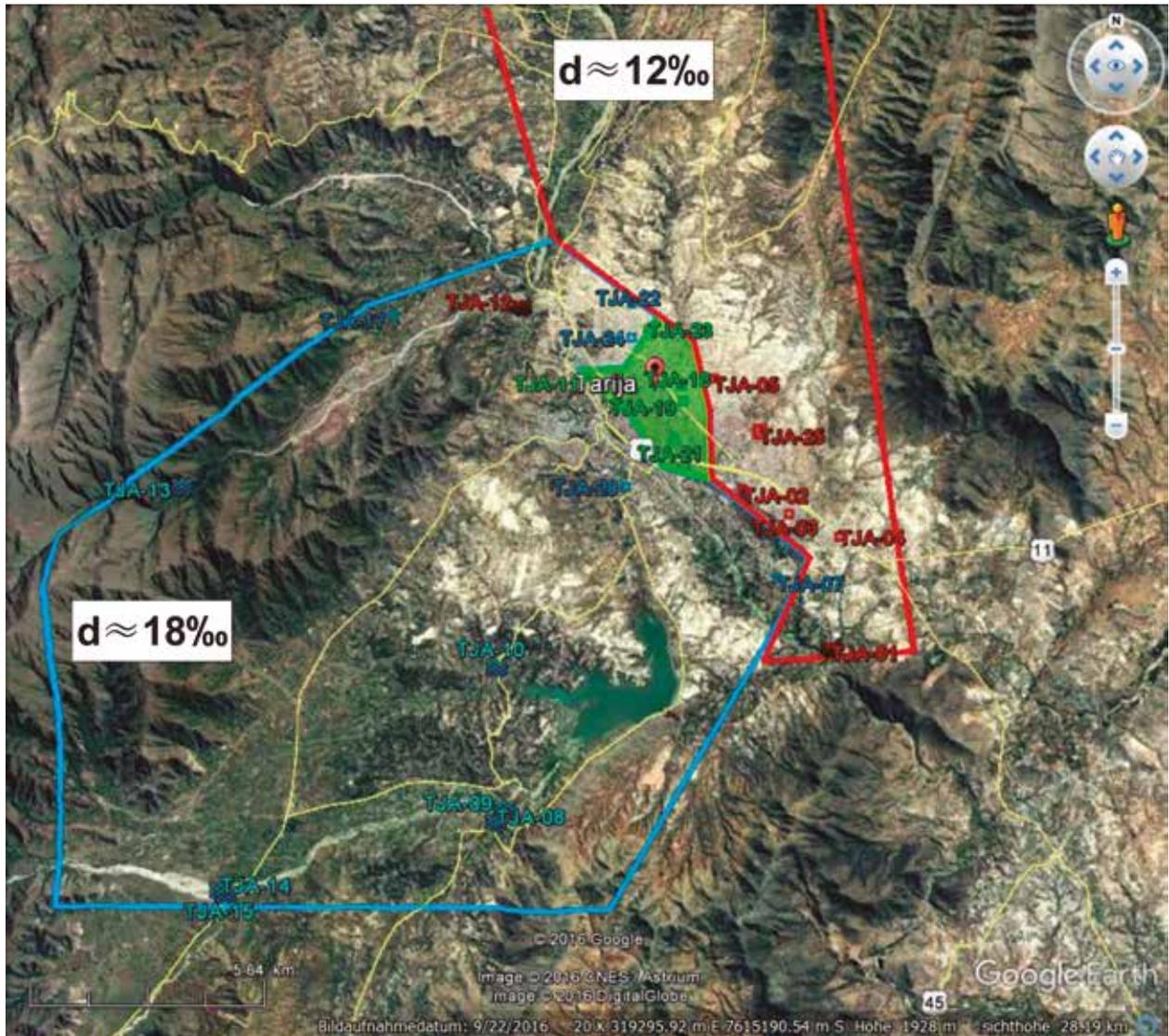


Figura 4: Potenciales áreas de recarga de agua subterránea según el exceso de deuterio – Tarija, 2019. © Archivo GIZ/PERIAGUA

También existe un área central (en verde), donde los pozos de extracción (TJA-11, TJA-18, TJA-19 y TJA-21) bombean agua subterránea, cuya extracción proviene de ambas áreas de recarga (piedemonte de Sama y rincón de La Victoria). Es decir, es un producto de mezcla de agua entre ambas áreas.

La variación estacional entre la composición isotópica del agua del río Guadalquivir, en el punto TJA-07, y del agua subterránea del pozo TJA-11 (Figura 6) ha demostrado el siguiente escenario (Figura. 5):

- Los valores máximos (flechas azules) y mínimos (flechas rojas), de deuterio (‰) del río, se encuentran desfasados 5 meses con relación a los del pozo Barrio Guadalquivir (de agosto a enero y de julio a noviembre).
- Los valores de exceso de deuterio (‰) muestran una correlación entre los valores del río. Esto también se puede correlacionar con las variaciones estacionales de las lluvias.

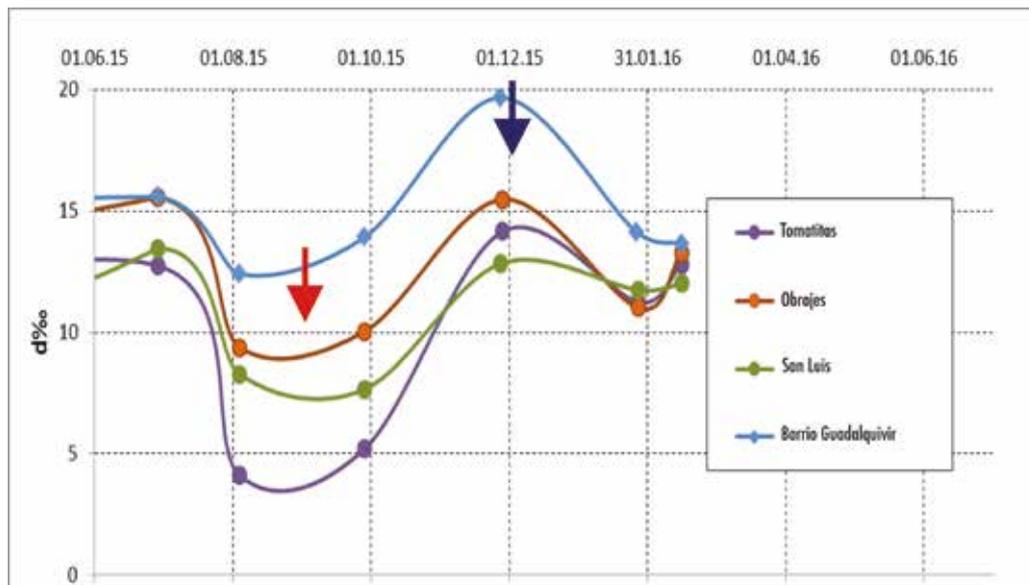


Figura 5: Variaciones estacionales de los valores de deuterio del agua subterránea en el pozo Barrio Guadalquivir (TJA-11) y las muestras de agua superficiales del río Guadalquivir en los puntos Tomatitas (TJA-16), Obrajes (TJA-12) y San Luis (TJA-01) – Tarija, 2018. © Archivo GIZ/PERIAGUA

4.4.2. Recarga de agua subterránea - interpretación de los valores de Tritio (^3H), Carbono 14 (^{14}C) y $\delta^{13}\text{C}$

En la Figura 6 se muestra la distribución de estos valores, como también la dirección de flujo preferencial del agua subterránea. Existen algunos pozos, ubicados en el sector norte del área urbana de Tarija, que han mostrado la presencia de agua relativamente joven y contenidos de tritio importantes (pozos TJA-22, TJA-23 y TJA-24).

En el pozo TJA-22 (135 metros de profundidad) se han obtenido valores de tritio de 2 TU (Unidades Tritio), como también valores de ^{14}C de 100 pMC (porcentaje de carbono moderno). El valor de $\delta^{13}\text{C}$ se ubica en $-16,2\text{‰}$ y la conductividad eléctrica es de $62 \mu\text{S}/\text{cm}$. Estos valores plasman el claro indicio de aguas jóvenes y un tiempo medio de renovación del agua subterránea de unos 50 años, con una tasa de recarga media de unos 190 mm por año.

En el pozo TJA-24 (122 metros de profundidad), el valor de tritio se ubica en las 1,4 TU, el valor de ^{14}C es de 83,5 pMC y los valores de $\delta^{13}\text{C}$ se encuentran en los $-15,2\text{‰}$. En el caso del pozo TJA-23 (122 metros de profundidad), la muestra da un contenido de tritio de 1,1 TU, un contenido de ^{14}C de 82,3 pMC y un $\delta^{13}\text{C}$ de $14,7\text{‰}$. Esto demuestra que el tiempo medio de renovación del agua subterránea sea de unos 40 años y una tasa de recarga de unos 220 mm por año.

También se ha podido constatar que en el sector central del área urbana de Tarija existe una recarga de unos 200 mm/año de agua subterránea, lo que corresponde a, aproximadamente, 1/3 de las precipitaciones. Con estos valores se podría estimar que en estas áreas, es decir en una superficie de unos 20 km^2 ($5 \text{ km} \times 4 \text{ km}$), se produce una recarga aproximada de $4 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{a}$ de agua subterránea.

Por otro lado, en el sector de Tomatitas (al norte de la ciudad de Tarija) existe un cono de abatimiento y que es producto de una explotación de los pozos del lugar, tales como los pozos TJA-23 (caudal de 18,5 litros/segundo) y TJA-24 (caudales de producción 17 litros/segundo). Los niveles estáticos de estos pozos han sufrido descensos de entre 10 y 13 metros en los últimos 20 años. Debido a esta situación (exceso de bombeo), y a que la composición isotópica del agua del pozo TJA-17 (ver ubicación en la Figura 6) es la misma a la encontrada en los pozos TJA-22, TJA-23 y TJA-24, se llega a la conclusión de que el agua subterránea extraída en este sector proviene de la cuenca del río del rincón de La Victoria.

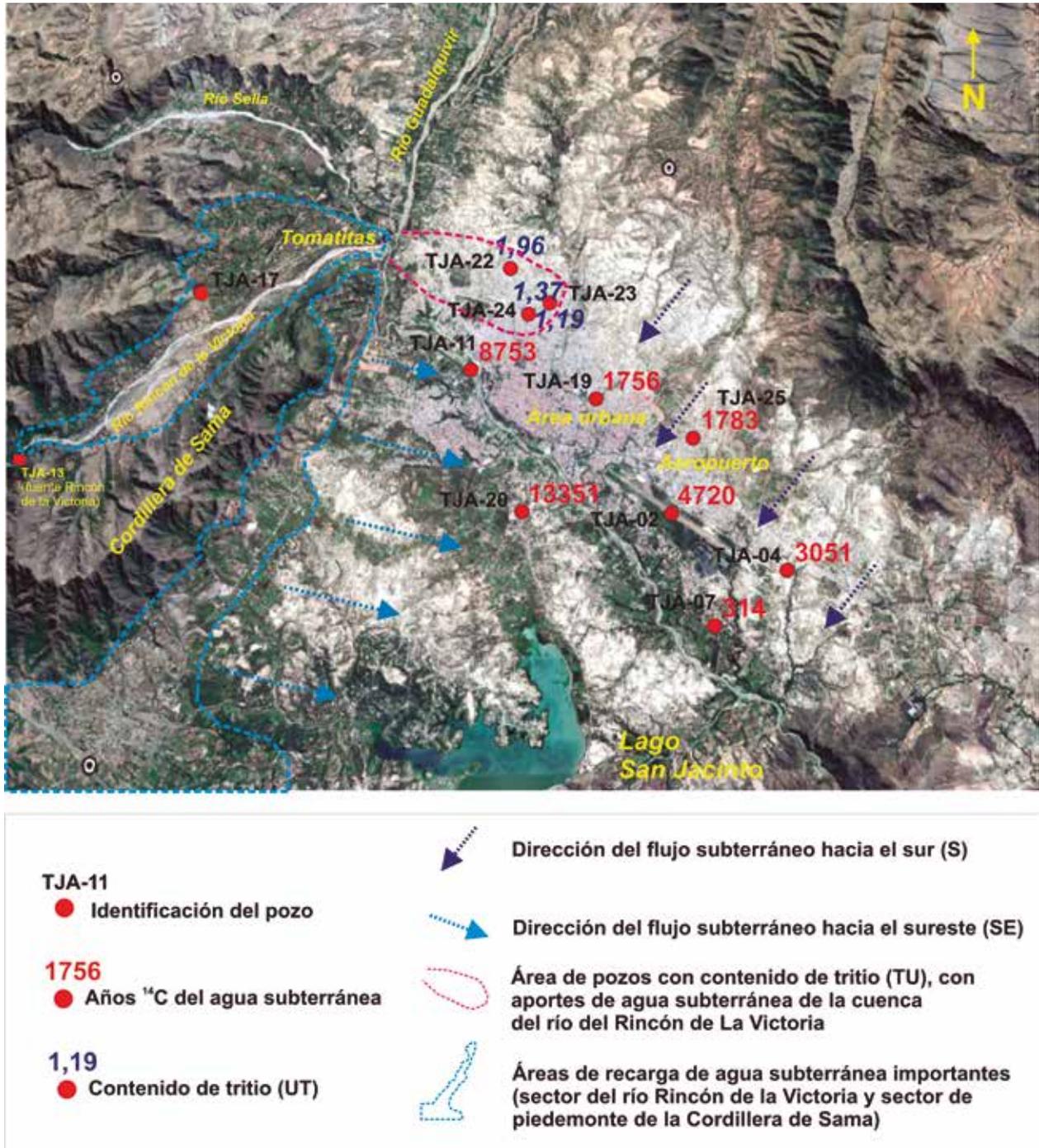


Figura 6: Distribución espacial de las edades ^{14}C del agua subterránea, como también los valores de tritio (TU). Direcciones de circulación del agua subterránea del sector norte y oeste, como también áreas de recarga preferencial del área de piedemonte – Tarija, 2018. © Archivo GIZ/PERIAGUA

Hacia el centro y sudeste de la ciudad, los pozos (TJA-19, TJA-25, TJA-02 y TJA-04) tienen edades ^{14}C del agua subterránea muy elevadas (entre 1.700 y 4.700 años). Esto hace suponer que la recarga se produce en el sector norte del valle de Tarija (ver dirección de las flechas azules en la Figura 6) y circula desde este lugar en dirección sur, con velocidades de circulación de 0,4 a 0,6 metros por año (muy bajas). También se ha podido constatar que las capas sedimentarias que actúan como acuíferos presentan porosidades de 7% (considerablemente menores al resto de los acuíferos de mayor potencial).



Con toda esta información, y considerando que el frente de recarga es de unos 8.000 metros y la potencia de los acuíferos de 200 metros, la recarga a estos acuíferos es de unos 45.000 m³ de agua por año. Este es un volumen de agua muy escaso y, por lo tanto, prácticamente despreciable en el balance hídrico.

En el área Central del Valle de Tarija, la presencia de importantes volúmenes de sedimentos finos (áreas blanquecinas en la Figura 6) y las menores precipitaciones (500 mm/a) hacen inferir una menor infiltración de agua subterránea en todo este sector. Los pozos de extracción ubicados en estas áreas no son muy productivos, con caudales de extracción de agua entre 3 y 8 l/s, con edades ¹⁴C elevadas (aguas antiguas).

Por el contrario, en el sector de piedemonte de la serranía de Sama, al oeste del río Guadalquivir, probablemente existe un potencial de recarga de agua subterránea importante (delimitado con líneas punteadas azules en la Figura 6). Esta área tiene una superficie de infiltración estimada de unos 20 km², lo que podría representar una recarga adicional de unos 4×10⁶ m³ de agua subterránea por año (considerando una recarga anual de 200 mm, y que es equivalente a la cantidad de agua producida en la cuenca del rincón de La Victoria).

El pozo TJA-20 tiene una edad ¹⁴C superior a los 13.000 años, lo que supone que esta agua proviene de áreas alejadas, que se ubican en el sector de piedemonte de la serranía de Sama. El pozo TJA-11, ubicado en inmediaciones del río Guadalquivir, también presenta edades ¹⁴C muy elevadas (8.753 años), lo que indican que el recurso es proveniente igualmente de áreas alejadas. Sin embargo, es muy probable que este pozo contenga agua de mezcla y que se recargue de aguas subterráneas provenientes del sector noroeste (en cierta época del año) y del sector suroeste (en otra época). Tampoco se descarta la posibilidad de que exista recarga del río Guadalquivir, especialmente en aquellos momentos donde es bombeado con intensidad.

4.4.3. Balance hídrico

En el área urbana de la ciudad de Tarija, se ha calculado que los pozos de producción extraen un caudal anual de unos 6×10⁶ m³ de agua subterránea (correspondiente al 40% de la producción total de agua y que es de 15×10⁶ m³/a). Mediante dataciones isotópicas, se ha podido determinar que la recarga natural de la lluvia en el área norte y central de Tarija es de 4×10⁶ m³/a. Con este valor de recarga, el balance hídrico se encuentra actualmente equilibrado, lo que asegura la disponibilidad de agua subterránea para el abastecimiento sostenible a la ciudad de Tarija.

Existe un área muy importante de recarga, que se encuentra ubicado en el sector de piedemonte de la Cordillera de Sama, al oeste del río Guadalquivir (marcado con líneas punteadas azules en la Figura 6). En este lugar se recargan anualmente 4×10⁶ m³ de agua. La futura explotación de agua subterránea debería concentrarse en captar el recurso proveniente de estas áreas. Sin embargo, es muy importante establecer medidas de protección de las mismas, y que eviten su contaminación, como producto de una acelerada e incontrolada expansión urbana en este sector.

Se puede afirmar que, incluso bajo condiciones de cambio climático adversas en el futuro (por ejemplo, disminución de las precipitaciones), la provisión de agua subterránea, a través de pozos, es sostenible para la ciudad de Tarija. Sin embargo, es importante tener en cuenta la ubicación de los futuros pozos, como también la producción de agua que estos deben bombear.





5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Con el apoyo de estudios isotópicos, ahora existe un mejor entendimiento de la génesis y dinámica del agua subterránea en el Valle Central de Tarija, lo que establece las áreas de recarga preferenciales, como también la circulación general del agua subterránea.

Por ello, dos áreas tienen importancia desde el punto de vista hidrogeológico (sobre todo como áreas de recarga de agua subterránea):

- El sector de piedemonte de la Serranía de Sama, en especial en el área de San Andrés, Guerra Huayco y Tolomosa: toda esta región se caracteriza por presentar altas precipitaciones pluviales (1200 mm/año valores medios), lo que genera una elevada disponibilidad de agua superficial y que recarga los acuíferos Cuaternarios de materiales aluviales y coluviales existentes.
- El sector de la cuenca del rincón de La Victoria y Coimata: presenta materiales muy permeables, que favorecen la infiltración del agua de lluvia y de cauces superficiales, que descienden de la serranía de Sama. El agua que se infiltra en este lugar ha sido captado por los pozos de producción de la EPSA COSAALT R.L., ubicados al norte de la ciudad de Tarija. Estos pozos captan agua subterránea con elevados valores de tritio (> 1 UT-Unidad de Tritio), lo que demuestra la presencia de agua joven, con un tiempo medio de residencia del agua subterránea inferior a 40 años.
- Según los valores de exceso de deuterio (d), en el valle de Tarija existen dos áreas claramente diferenciadas, que corresponden a lluvias de diferente origen. Por un lado, aquellas aguas con valores de $d \approx 18\text{‰}$, que se ubican en los pozos y cuya recarga se origina de aguas infiltradas (recargadas) en el sector suroeste. Estas aguas provienen fundamentalmente de lluvias tropicales, probablemente originadas en el área amazónica (producto de la evaporación del recurso de grandes cuerpos de agua). Por otro lado, se han obtenido muestras de agua subterránea con valores de $d \approx 12\text{‰}$, que se ubican en el sector central de la ciudad de Tarija y cuyas precipitaciones provienen de nubes de los frentes húmedos del sector sur.
- Las muestras de los pozos ubicados en el sector urbano central (margen izquierdo del río Guadalquivir) dieron como resultado edades carbono 14 elevadas (entre 1.700 y 4.700 años), lo que hace suponer que la velocidad de circulación del agua subterránea sea muy baja (entre 0,4 y 0,6 metros por año). Estos pozos tienen su área de recarga en el sector norte de la ciudad de Tarija. Sin embargo, por las características hidráulicas de los acuíferos y el aporte relativamente escaso de las precipitaciones pluviales, es de suponer que esta área de recarga no es muy importante desde el punto de vista hidrogeológico.

5.2. Recomendaciones

Si bien ahora existe mayor conocimiento hidrogeológico del valle de Tarija, es recomendable complementar esta información con estudios e investigaciones más detalladas, que abarquen los siguientes aspectos (en forma general):

- Hidrogeología: detallar las condiciones de borde o límites del sistema acuífero, para poder avanzar con interpretaciones y modelaciones del mismo.
- Hidrogeoquímica: mejorar considerablemente la obtención e interpretación de datos físico-químicos de las aguas superficiales y subterráneas, para la delimitación del sistema acuífero.
- Hidrología Isotópica: aumentar la frecuencia y los lugares de muestreo de las aguas meteóricas (lluvia), superficiales y subterráneas para su posterior determinación e interpretación isotópica.
- Establecer un sistema de monitoreo permanente y eficiente de los niveles estáticos de los pozos, tomando en cuenta los diferentes sistemas de acuíferos (a diferentes profundidades), para conocer su dinámica del acuífero.
- Mejorar el conocimiento hidráulico de los sistemas de acuíferos, con el fin de poder establecer su potencial hidrogeológico.
- Mejorar la elaboración de los balances hídricos. Para lograr esto es importante generar datos confiables y consistentes.
- Avanzar con la modelación de diferentes escenarios de cambio climático, esto para establecer su afectación sobre la disponibilidad futura de los recursos hídricos en el valle de Tarija.
- Establecer una base de datos confiable y consistente de la calidad y cantidad de las fuentes de agua, como también de otros parámetros relevantes del valle de Tarija, y mediante esta se puedan tomar decisiones sobre manejo sostenible de los recursos hídricos.
- Continuar con la socialización de los resultados de las investigaciones para que las autoridades y población, en general, puedan apropiarse de la importancia de la buena gestión del agua y, así, tomar medidas (cada una en su campo de acción) que permitan un adecuado manejo de estos recursos.
- Motivar a las instituciones locales (gobernación y municipios) y nacionales (ministerio) para que puedan generar leyes, reglamentos y/o decretos municipales o departamentales sobre la protección, preservación y manejo sostenible de los recursos hídricos para los diferentes usos en el valle de Tarija.
- Determinar el riesgo de contaminación y analizar el grado de vulnerabilidad del acuífero. Esto permitirá establecer la implementación de medidas prioritarias de protección y, de esta forma, considerar mecanismos de defensa que contribuyan a la disminución a la contaminación.
- Involucrar, de manera permanente y efectiva a las universidades de Tarija, para que estas puedan participar en proyectos de investigación relacionados a los recursos hídricos.
- Utilizar herramientas normativas: existen instrumentos técnicos normativos de ordenamiento territorial que determinan las opciones de uso del suelo de manera sostenible, para cada espacio geográfico y en función de su aptitud, potencialidades y limitaciones. En ese sentido, es importante que esas herramientas sean sustentadas para un uso restrictivo y eficiente respecto a la protección de áreas de recarga hídrica.

6

BIBLIOGRAFÍA

- » Amandes S.R.L. (2018). Estudio ambiental de la zona de amortiguamiento externo de la reserva biológica Cordillera de Sama. Oficina Técnica Nacional de los ríos Pilcomayo y Bermejo - OTN, Tarija.
- » Constitución Política del Estado Plurinacional (2008), Bolivia.
Obtenido de: http://www.oas.org/juridico/spanish/mesicic3_blv_constpolitica.pdf
- » Geyh, M.A. (2015). Determinación de la génesis dinámica del agua subterránea en áreas preseleccionadas de Santa Cruz y Tarija con ayuda de dataciones isotópicas. Programa para Servicios Sostenibles de Agua Potable y Saneamiento en Áreas Periurbanas (PERIAGUA) PN 11.2040.1-001.00 VN 81150231.
- » Geyh, M.A. (2016). Estudio isotópico sobre los acuíferos de la región Metropolitana de Santa Cruz de la Sierra y el área urbana y periurbana de Tarija (Bolivia) - Fase I. 3.4.-30.4.2016, Santa Cruz de la Sierra.
- » Geyh, M.A. (2017). Isotopenhydrologische Studie in Santa Cruz, Tarija und Yacuiba, Bolivien. PERIAGUA, Phase 2 (13.5.-12.6.2017). 218 S.
- » Gobernación del Departamento de Tarija (2013). Plan Departamental del Agua de Tarija “Agua para todos y para Siempre”. Secretaria de Medio Ambiente de Agua, Tarija, Tarija.
- » Gobierno Autonomo Departamental de Tarija (2016). Plan Territorial de Desarrollo Integral de Tarija (2016- 2020). Tarija.
- » Instituto Nacional de Estadística (2012). CENSO Poblacional y Vivienda 2012, Bolivia.
- » Ley N° 1333 - Ley del Medio Ambiente (1992), Bolivia.
Obtenido de: <https://www.soberaniaalimentaria.gob.bo/archivos/Ley1333.pdf>
- » Ley N° 300 - Ley Marco de la Madre Tierra y Desarrollo Integral para Vivir Bien (2012), Bolivia.
Obtenido de: <http://files.harmonywithnatureun.org/uploads/upload655.pdf>
- » Ministerio de Desarrollo Productivo y Economía Plural. Unidad de Análisis Productivo, Subsistema de Información Territorial de Apoyo a la Producción (2009). Altas de Potencialidades Productivas del Estado Plurinacional de Bolivia. Tarija.
- » Ministerio de Desarrollo Sostenible y Planificación (2001). Proyecto de Zonificación Agroecológica y Establecimiento de una Base de Datos y Red de Sistema de Información Geográfica en Bolivia. La Paz.
- » Ministerio de Medio Ambiente y Agua (2015). Informe Final de Plan Maestro Integral del Valle Central de Tarija . En Planes Maestros Metropolitanos de Agua Potable y Saneminto de Chochabamba, La Paz y El Alto, Santa Cruz y El Valle Central de Tarija (pág. 65). Bolivia.
- » Ministerio de Medio Ambiente y Agua (2016) Política Nacional de Calidad de Agua para Consumo Humano - público técnico, La Paz - Bolivia.
- » Ministerio de Medio Ambiente y Agua (2017). Diagnóstico integral y linamientos estratégicos e institucionales del Plan director del río Guadalquivir. La Paz - Bolivia.

- » Naciones Unidas (1981). Investigación de Aguas Subterráneas en el Valle Central de Tarija. New York.
- » Pasig, R (2005). Origen y Dinámica del Agua Subterránea en el noroeste del Chaco Sudamericano (Chaco Tarijeño y oeste del Chaco Paraguayo). – PhD Thesis, Universität Würzburg.
- » Pasig, R.; Geyh, M; Torres, D. (2018). Origen y Dinámica del Agua Subterránea en el Valle Central de Tarija. Congreso IAH-ALHSUD, vol. 1 pag. 95-102
- » Servicio Nacional de Áreas Protegidas (2019). SERNAP. Obtenido de: <http://sernap.gob.bo/sama/vegetacion-y-flora/>
- » Viceministerio de Agua Potable y Saneamiento Básico (2015). Plan Maestro Integral de Agua y Saneamiento del Valle Central de Tarija. La Paz, Bolivia.
- » Vídeo tutorial - Gestión Integral de Recursos Hídricos (Tarija). (2020). Elaborado por la Cooperación Alemana, a través de GIZ/PERIAGUA, con la participación del GAD de Tarija, GAM de Tarija, GAM de San Lorenzo, COSAALT R.L. y la Comisión de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Concejo Municipal de Tarija. Obtenido de: <https://youtu.be/QQmcT2G6zx8>



Implementada por:



Programa para Servicios Sostenibles de Agua Potable y Saneamiento en Áreas Periurbanas (PERIAGUA)