

COSECHA DE AGUA EN ORURO: SOSTENIBILIDAD Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN ÁREAS DISPERSAS

M. Sc. Arq. Magaly Choquevillca Ibáñez

Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Técnica de Oruro, Bolivia

Correspondencia: magalychoquevillca@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0004-1000-5291>

RESUMEN

Palabras clave:

Vulnerabilidad en Oruro, sistema de cosecha de agua, sequía del agua.

La escasez de recursos hídricos, un problema persistente y de impacto significativo, se manifiesta con mayor intensidad en las zonas vulnerables a sequías. Esta investigación aborda directamente esta problemática urgente al proponer el diseño e implementación de un sistema de recolección de agua como una solución viable y sostenible. Para lograrlo, se adoptó un enfoque metodológico descriptivo que permitió caracterizar de manera exhaustiva los procesos inherentes a la recolección de agua. Este análisis se enriqueció mediante el estudio detallado de casos de proyectos similares y las buenas prácticas en la gestión del agua.

Los resultados revelan que un grupo específico de municipios que en Oruro —incluyendo Caracollo, El Choro, Corque, Choquecota, Salinas de Garci Mendoza, Pampa Aullagas, Chipaya, Andamarca, Totora, Todos Santos y Carangas— se encuentra entre los más susceptibles al cambio climático. La instalación de sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia surge como una alternativa crucial que representa una estrategia de mitigación efectiva frente a la escasez hídrica y las recurrentes sequías, sino que también ofrece una solución práctica para las limitaciones existentes en la infraestructura de suministro de agua en estas áreas dispersas. La implementación de estos sistemas contribuirá significativamente a mejorar la resiliencia y la seguridad hídrica de los habitantes de Oruro ante los desafíos climáticos.

Water Harvesting in Oruro: Sustainability and Climate Change Adaptation in Dispersed Areas

ABSTRACT

Keywords: Vulnerability in Oruro, water harvesting system, water drought.

The scarcity of water resources, a persistent problem with significant impact, manifests itself with greater intensity in areas vulnerable to droughts. This research directly addresses this urgent problem by proposing the design and implementation of a water harvesting system as a viable and sustainable solution. To achieve this, a descriptive methodological approach was adopted to comprehensively characterize the processes inherent to water harvesting. This analysis was enriched by detailed case studies of similar projects and good practices in water management.

The results obtained are compelling and reveal that a specific group of municipalities in the department of Oruro - including Caracollo, El Choro, Corque, Choquecota, Salinas de Garci Mendoza, Pampa Aullagas, Chipaya, Andamarca, Totora, Todos Santos and Carangas - are among the most susceptible to the adverse impacts of climate change. In these communities, the installation of rainwater harvesting and storage systems emerges as a crucial alternative for harvesting. This approach not only represents an effective mitigation strategy in the face of water scarcity and recurrent droughts, but also offers a practical solution to existing water supply infrastructure constraints in these dispersed and often underserved areas. Ultimately, the implementation of these systems will contribute significantly to improving the resilience and water security of Oruro's inhabitants in the face of climate challenges.

1. *Introducción*

La presente investigación describe la implementación de sistemas que promueven el desarrollo sostenible, considerando medidas de adaptación y mitigación frente al cambio climático, así también se caracteriza sistemas de captación para la cosecha de agua como una alternativa de recolección y almacenamiento, siendo esta una propuesta de mitigación frente a la escasez de agua, sequías o limitaciones en la infraestructura de suministro de agua en áreas dispersas y vulnerables del departamento de Oruro.

La situación actual de Bolivia con respecto al cambio climático y la falta de agua es crítica, porque el cambio climático está afectando la disponibilidad de agua en el país debido a una crisis hídrica crítica por la sequía y la escasez de agua, según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología, la sequía afecta al 70 % del territorio boliviano (SENAMHI, 2022). Las sequías y la escasez de agua afectaron a más de 1 millón de personas y 300.000 hectáreas de cultivos (Ministerio de Medio Ambiente y Agua., 2022), esta situación afecta con mayor intensidad en las áreas rurales dispersas ya que la cobertura es crítica en comunidades, donde solo el 10 % tiene acceso a agua potable (Ministerio de Medio Ambiente y Agua., 2022). Además, la mala gestión de agua, aumento de las sequías y la desertificación ya está empeorando estas tendencias. Se estima que al menos una de cada cuatro personas se verá afectada por escasez recurrente de agua para el año 2050 (PNUD, 2021).

Una de las problemáticas en nuestro país está relacionado con la dotación de agua de forma segura debido a los escasos y el mal uso de este recurso, la situación se agrava en sectores alejados o dispersos donde cada 3 de 10 personas cuentan con acceso al agua potable (UDAPE, 2012).

Según datos de la Comisión Económica para América Latina (CEPAL) de Naciones Unidas, la incidencia de la pobreza en poblaciones rurales de Bolivia alcanza un 39,1 % y la pobreza extrema rural un 15,2 %, tasas por encima del promedio latinoamericano. Asimismo, los datos del Instituto Nacional de Estadística obtenidos del Censo de 2012 no indica que más de 3,2 millones de habitantes del Estado Plurinacional de Bolivia viven en áreas rurales, lo que corresponde al 32,7 % de la población, registrando una de las mayores tasas de población rural en América Latina.

Los proyectos de cosecha de agua están siendo implementados en diversas partes del mundo para abordar la escasez de agua, la cosecha de agua es una técnica implementada para abordar la escasez de agua en muchas partes del mundo. Según el Banco Mundial, alrededor de 2000 millones de personas no tienen acceso a servicios de agua potable gestionados de manera segura.

La cosecha de agua en el mundo se fundamenta en un análisis crítico de varios estudios relevantes que abordan diferentes aspectos de este tema. Según Bin Aftab et al., (2012), evaluar la idoneidad de los sistemas de cosecha de agua de lluvia en los techos como una alternativa al agua subterránea son soluciones adecuadas al almacenamiento y la gestión de excedentes en temporadas pico de lluvia para garantizar la disponibilidad de agua durante todo el año. Los hallazgos sugieren que los “Programas de Cosecha de Aguas Lluvias” (RWH, por sus siglas en inglés) son una opción de bajo costo que mejora el acceso geográfico y temporal a las fuentes de agua, lo que ayuda a reducir los efectos de las temporadas secas.

Es importante mencionar que, según las técnicas de cosecha de agua utilizadas en los asentamientos antiguos de las regiones secas del Mediterráneo y Asia occidental, siguen siendo relevantes hoy en día y proporciona información valiosa para ingenieros y planificadores. Al clasificar los sistemas de cosecha de agua según las fuentes de agua, se establece un marco para entender la evolución y la viabilidad de las tecnologías de suministro de agua en el "Viejo Mundo", siendo estas prácticas empleadas antiguamente en áreas críticas que contribuyen a soluciones sostenibles. (Beckers et al., 2013).

El estudio de Oyedayo (2019), con la cosecha de agua de lluvia en los techos en las colinas de Taita en Kenia, explora el estado actual y la necesidad de los datos científicos concretos para guiar a los responsables de las políticas para la implementación efectiva de la cosecha de agua. A través del uso de datos obtenidos por LiDAR y GIS, el autor subraya la importancia de considerar tanto el contexto espacial como el espacio temporal en la evaluación del potencial de cosecha de agua. Este enfoque es crucial para superar las limitaciones de estudios anteriores que se han centrado en áreas pequeñas, utilizando métodos de digitalización manual.

Entonces el conjunto de estos estudios proporciona una visión integral de las técnicas de cosecha de agua, desde sus aplicaciones modernas hasta sus raíces históricas, destacando la importancia de la investigación continua y la adaptación de estas tecnologías en diferentes contextos geográficos y temporales bajo un contexto internacional, buscando soluciones al problema del agua.

El objetivo de este estudio está enfocado, en describir estrategias que contribuyen y coadyuvan al desarrollo sostenible y la adaptación al cambio climático, mediante la implementación de sistemas de captación de agua en áreas vulnerables y críticas del altiplano boliviano, estudiando proyectos similares como el proyecto “Cosechando Agua-Sembrando Luz Potosí” y su contribución efectiva a la

captación del agua. Además, también se describe estrategias que promueven medidas de adaptación y mitigación frente al cambio climático, aplicables en las áreas rurales dispersas, con estrategias de captación de agua pluvial superficial que mediante los planes de generación de actividades fomenten el desarrollo comunitario y fortalezcan a las poblaciones beneficiarias.

El objetivo general del estudio centra Elaborar una propuesta técnica, racional y viable, que permita resolver la problemática de la escasez del agua en zonas vulnerables del departamento de Oruro.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se enmarca en un enfoque metodológico mixto, que combina métodos cualitativos y cuantitativos, con una orientación predominantemente descriptiva. La investigación comienza con un análisis exhaustivo de la problemática de la escasez hídrica en Bolivia, un fenómeno que se ve directamente exacerbado por los efectos del cambio climático. Para fundamentar este análisis, se ha realizado una recolección y revisión documental minuciosa, utilizando fuentes oficiales y confiables. Entre estas se incluyen datos del Instituto Nacional de Estadística (INE), la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), la Organización de las Naciones Unidas (ONU), la Unidad de Análisis de Políticas Sociales y Económicas (UDAPE) y el ATLAS de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Estos indicadores y estadísticas son fundamentales para contextualizar la situación hídrica actual del país, lo que permite comprender la magnitud del desafío a nivel nacional.

Complementariamente, se ha llevado a cabo un estudio técnico riguroso basado en datos climáticos actuales y proyecciones específicas para el departamento de Oruro. Este análisis detallado es fundamental para identificar y delimitar con precisión las áreas geográficas más vulnerables a la escasez de agua y a los impactos del cambio climático en la región. La información climática se cruza y contrasta con los datos técnicos y las lecciones aprendidas del exitoso proyecto "Cosechando Agua, Sembrando Luz " implementado en Potosí. Esta comparación y correlación de datos son clave para evaluar la viabilidad técnica y operativa, así como para definir las características de implementación de sistemas de cosecha de agua adaptados a las condiciones particulares de Oruro. De este modo, el estudio no solo diagnostica una problemática, sino que también establece las bases para proponer soluciones concretas y probadas, ajustadas a la realidad local.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se describe los resultados del presente trabajo de investigación, realizados a partir del diagnóstico mostro existen riesgos en áreas vulnerables y afectación climática en el altiplano boliviano, y también que los sistemas de cosecha de agua pueden ser una solución a este problema.

3.1. Análisis de las áreas vulnerables del departamento de Oruro.

La publicación del MAPA NACIONAL DE VULNERABILIDAD ACTUAL AL CAMBIO CLIMÁTICO 2022, por parte de la autoridad Plurinacional de la Madre Tierra, indica que 46 municipios (13 % del país) que se encuentran en la categoría de muy alta vulnerabilidad. Los municipios están distribuidos en casi todos los departamentos a excepción de Tarija y Santa Cruz. Son municipios mayoritariamente rurales cuya población depende de las aguas superficiales y aguas subterráneas para desarrollar sus actividades, y estas fuentes de agua están sensibles a los efectos del cambio climático, principalmente a las sequías. De los 46 municipios, ocho se encuentran en una situación crítica (Santiago de Callapa, La Asunta y Chacarilla de La Paz; El Choro y Coipasa de Oruro; Bolpebra, San Pedro y Sena de Pando). En la Tabla 1 podemos observar el porcentaje de vulnerabilidad de los diferentes departamentos del país.

Tabla 1:

Vulnerabilidad del sector agua por departamento.

Categoría vulnerabilidad	N° municipios	%	Chuquisaca	La Paz	Cochabamba	Oruro	Potosí	Tarija	Santa Cruz	Beni	Pando
0,76- 1,00 Muy alta vulnerabilidad	46	13	2	13	3	8	2	0	0	8	10
0,51- 0,75 Alta vulnerabilidad	181	53	21	56	25	20	25	3	20	7	4
0,26- 0,50 Mediana vulnerabilidad	109	32	5	18	18	7	12	8	36	4	1
0,00- 0,25 Baja vulnerabilidad	5	1	1	0	2	0	2	0	0	0	0

NOTA. (MAPA NACIONAL DE VULNERABILIDAD, 2022).

La sequía es un riesgo recurrente y significativo en el departamento de Oruro, ejerciendo una presión considerable sobre sus ecosistemas y comunidades. Este fenómeno afecta severamente a ocho de sus municipios, donde la producción agrícola, pilar fundamental de la subsistencia local, depende en gran medida de las inestables condiciones climáticas. Esta dependencia extrema convierte a la sequía en un desafío crítico y, a menudo, insuperable, comprometiendo la seguridad alimentaria, los medios de vida y el desarrollo socioeconómico de estas poblaciones. La variabilidad climática y los patrones de precipitación irregulares intensifican esta vulnerabilidad, limitando la capacidad de recuperación de los sistemas productivos. Además de la dependencia climática directa en la agricultura, es crucial destacar que varios municipios del departamento de Oruro presentan índices de vulnerabilidad elevados, que oscilan entre 0.76 y 1.00. Estos valores, detallados en la Tabla 2, indican una alta susceptibilidad a los impactos de eventos climáticos adversos, exacerbada por una baja capacidad de preparación y adaptación. Esta combinación de alta vulnerabilidad y limitada resiliencia se traduce en un mayor riesgo de pérdidas económicas, desplazamiento de poblaciones y deterioro de la calidad de vida. Comprender la distribución geográfica de estos índices de vulnerabilidad es fundamental para diseñar e implementar estrategias de adaptación y mitigación específicas, que fortalezcan la capacidad de respuesta de las comunidades y reduzcan el impacto a largo plazo de las sequías en el departamento de Oruro.

Tabla 2:
Índices municipales de vulnerabilidad para Oruro

N°	Código municipal	Departamento	Provincia	Municipio	Índice Vulnerabilidad Municipal Sector Alimentos	Índice Vulnerabilidad Municipal Sector Agua	Índice Vulnerabilidad Municipal Sector Salud	Índice Vulnerabilidad Municipal Sector Ecosistemas	Índice Vulnerabilidad Municipal Sector Hábitat	Índice de Vulnerabilidad Actual	Índice de Preparación Económico Municipal	Índice de Preparación Social Municipal	Índice de Preparación Municipal
65	0101	ORURO	cercado	Oruro	,74	,28	,31	,66	,87	,57	,58	,36	,75
66	0102	ORURO	Cercado	Caracollo	,69	,69	,74	,53	,68	,61	,65	,86	,84
67	0103	ORURO	Cercado	El Choro	,6	,97	,77	,54	,66	,76	,52	,72	,57
68	0104	ORURO	Cercado	Paria	,55	,49	,77	,5	,5	,54	,54	,38	,86

69	0201	ORURO	Abaroa	Challapata	,72	,36	,58	,52	,64	,54	,55	,68	,86
70	0202	ORURO	Abaroa	Santuario de Quillacas	,95	,62	,63	,49	,3	,75	,71	,28	,45
71	0301	ORURO	Carangas	Corque	,74	,74	,79	,56	,57	,92	,96	,52	,49
72	0302	ORURO	Carangas	Choquecota	,73	,82	,74	,52	,49	,72	,73	,57	,57
73	0401	ORURO	Sajama	Curahuara de Carangas	,58	,65	,61	,28	,52	,66	,53	,6	,48
74	0402	ORURO	Sajama	Turco	,58	,71	,57	,38	,47	,7	,57	,18	,44
75	0501	ORURO	Litoral	Huachacalla	,63	,42	,53	,3	,61	,63	,45	,27	,59
76	0502	ORURO	Litoral	Escara	,69	,79	,62	,49	,51	,73	,75	,32	,61
77	0503	ORURO	Litoral	Cruz de Machacamarc a	,57	,62	,61	,45	,66	,71	,62	,42	,45
78	0504	ORURO	Litoral	Yunguyo del Litoral	,68	,55	,6	,43	,48	,56	,52	,12	,41
79	0505	ORURO	Litoral	Esmeralda	,28	,48	,64	,35	,55	,76	,42	,56	,57
80	0601	ORURO	Poopó	Poopó	,68	,51	,59	,47	,55	,44	,5	,24	,78
81	0602	ORURO	Poopó	Pazña	,62	,54	,58	,45	,29	,7	,47	,27	,63
82	0603	ORURO	Poopó	Antequera	,22	,5	,26	,41	,24	,63	,08	,23	,61
83	0701	ORURO	Pantaleón Dalence	Huanuni	,54	,43	,44	,49	,54	,67	,48	,38	,67
84	0702	ORURO	Pantaleón Dalence	Machacamarc a	,7	,55	,44	,45	,53	,4	,41	,52	,78
85	0801	ORURO	Ladislao Cabrera	Salinas de Garci Mendoza	,86	,64	,9	,52	,56	,92		,39	,77
86	0802	ORURO	Ladislao Cabrera	Pampa Aullagas	,68	,72	,72	,53	,55	,73	,75	,37	,53
87	0901	ORURO	Sabaya	Sabaya	,6	,57	,63	,45	,63	,66	,62	,37	,71
88	0902	ORURO	Sabaya	Coipasa	,66	,94	,67	,38	,47	,68	,74	,6	,38
89	0903	ORURO	Sabaya	Chipaya	,94	,66	,62	,43	,84	,89	,89	,1	,32
90	1001	ORURO	Saucarí	Toledo	,48	,84	,66	,55	,52	,76	,75	,79	,85
91	1101	ORURO	Tomás Barron	Eucaliptus	,76	,55	,62	,23	,61	,77	,53	,5	,72

92	1201	ORURO	Sur Carangas	Andamarca	,76	,74	,68	,49	,45	,81	,78	,87	,62
93	1202	ORURO	Sur Carangas	Belen de Andamarca	,61	,67	,64	,46	,45	,77	,65		,39
94	1301	ORURO	San Pedro de Totora	Totora	,67	,79	,77	,49	,45	,74	,78	,78	,5
95	1401	ORURO	Sebastian Pagador	Santiago de Huari	,82	,57	,59	,48	,52	,63	,66	,82	,6
96	1501	ORURO	Mejillones	La Rivera	,65	,66	,66	,45	,41	,79	,67	,71	,44
97	1502	ORURO	Mejillones	Todos Santos	,49	,8	,67	,45	,54	,9	,76	,62	,37
98	1503	ORURO	Mejillones	Carangas	,75	,89	,69	,45	,66	,82	,82	,72	,46
99	1601	ORURO	Nor Carangas	Santiago de Huayllamarca	,52	,74	,67	,52	,44	,82	,7	,81	,56

NOTA. (MAPA NACIONAL DE VULNERABILIDAD, 2022).

Como se puede observar en la Tabla 2 los municipios de Caracollo, El Choro, Corque, Choque cota, Salinas de Garci Mendoza, Pampa Aullagas, Chipaya, Andamarca, Totora, Todos Santos y Carangas, son los municipios más vulnerables, con índices de alta vulnerabilidad, así también el departamento presenta 2 municipios con índices de vulnerabilidad y con baja capacidad de preparación ante los efectos climáticos adversos.

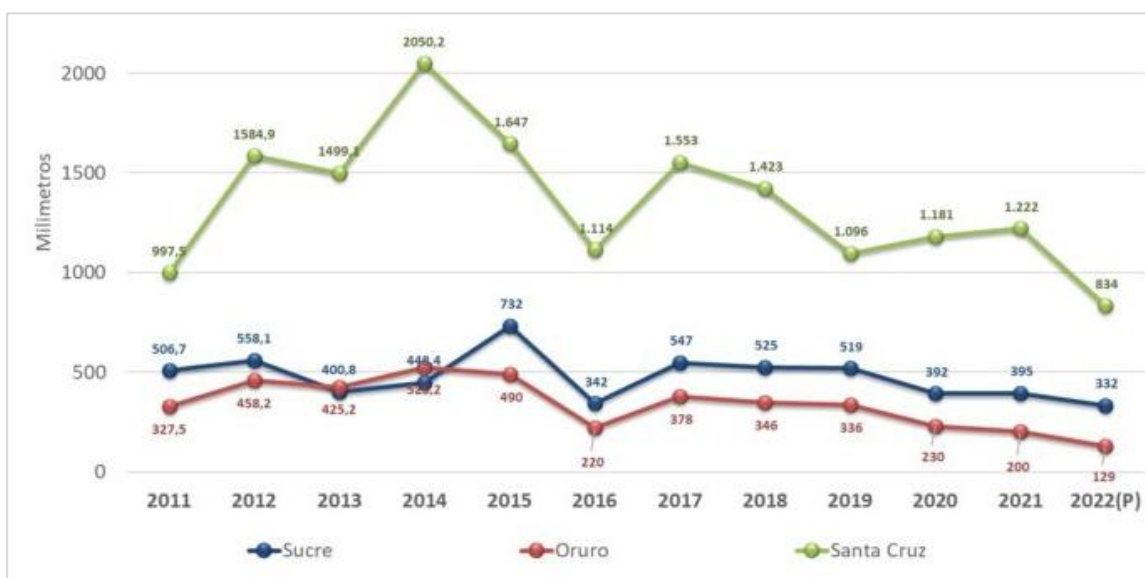
En base a los datos expuestos los municipios con mayores índices de vulnerabilidad ante las sequias, que requieren la intervención con planes de mitigación son; El Choro, Corque, Chipaya y Salinas de Garci Mendoza, dentro estos es preciso incorporar al municipio de Yunguyo el Litoral al ser tener baja capacidad de preparación ante efectos climáticos adversos.

Comportamiento de lluvias: Análisis de datos de pluviometría en áreas vulnerables de departamento de Oruro.

El registro de lluvias en el departamento de Oruro sobrepasó los 129 mm, por tercer año consecutivo y se agravan las bajas precipitaciones pluviales en el departamento altiplánico. En el periodo enero-noviembre del 2020 no superó 230 mm y para la gestión 2021 cayó a 200 mm. Oruro arrastra el problema de déficit hídrico desde la sequía de 2016, que marcó un antes y después. A diciembre, es un hecho que Oruro no alcanzará ni la mitad del registro promedio de los últimos doce años cifrado en 339 mm. En la Figura 1 podemos observar el histórico de precipitaciones pluviales desde la gestión 2011 al 2022.

Figura 1:

Precipitaciones acumuladas por gestiones para Oruro, Sucre y Santa Cruz.



NOTA. INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA

3.2. Propuesta de implementación de sistemas de captación de agua.

Tras el análisis de la vulnerabilidad frente a las sequías en Oruro, se propone la captación del agua de lluvia como una alternativa para hacer frente al problema de adaptación y mitigación, para resolver la problemática de los escasos del agua, en áreas dispersas del departamento de Oruro. El sistema de captación de agua de lluvia se realizará a partir de techos y se propone un almacenamiento adecuado para consumo humano en municipios que son altamente vulnerables como el: El Choro, Corque, Chipaya, Salinas de Garci Mendoza y Yunguyo de Litoral, al ser áreas dispersas del departamento que atraviesan escasez de fuentes de agua. La propuesta prevé el uso de la cubierta y su estructura de soporte, la misma que puede estar adosada o contigua a la vivienda. El escurrimiento superficial en techos es interceptado, colectado y almacenado en un tanque, que trabaja además como un regulador de caudales para el periodo.

El objetivo de esta investigación fue diseñar un sistema de captación y aprovechamiento pluvial, para destinar el agua a consumo humano, el tratamiento considera un filtro de arena para la remoción de las partículas que no fueron retenidas por el dispositivo de intercepción de las primeras aguas, este proceso será complementado con capacitaciones en métodos de desinfección para la implementación

del componente Agua Segura, se han definido los probables tipos de sistemas a emplearse, en base al análisis de las zonas de intervención, la región de estudio se ubica en áreas altiplánicas y zonas con una planicie de más de 3600 m de altura, donde hay baja presión atmosférica y menos concentración de oxígeno. Su clima es frío, seco y tiene grandes amplitudes térmicas diarias. Se propone un sistema de captación bajo las siguientes componentes que conforman el sistema de cosechadoras de agua:

- **Componente de captación.** - Se caracteriza por el tener un área apropiada para la posterior recolección del agua de lluvia, el techo debe tener una pendiente apropiada considerando el lugar y las características de escurrimiento en base a los coeficientes de escorrentía de los materiales empleados.
- **Componente de recolección.** — Se caracterizan porque lo conforman canaletas de PVC o de tipo de chapa metálica galvanizada, que no alteren la calidad física – químico del agua recolectada, estas deben estar bien adosadas a la cubierta, se debe aplicar las fórmulas y metodologías apropiadas para el dimensionamiento de los canales, se debe evitar el represamiento del agua con el empleo de uniones herméticas adecuadas.
- **Componente interceptor.** — El volumen de interceptor debe calcularse a razón de un litro de agua de lluvia por metro cuadrado del área de techo drenado, se debe tener un diámetro adecuado en la bajante pluvial, se debe contar con los dispositivos de cierre automático cuando el tanque se llene.
- **Componente de almacenamiento.** — El volumen del tanque de almacenamiento será determinado a partir de la demanda de agua, de la intensidad de precipitaciones y del área de captación, el mismo debe tener una tapa sanitaria que permita una limpieza del interior de forma adecuada, el interior del tanque debe ser impermeable y garantizar la calidad del agua así también se debe prever el sistema de filtración del agua acopiada, su volumen de diseño del tanque debe ser el 110 % del volumen neto.
- **Tratamiento del agua.** — El agua acopiada debe pasar filtros, seguido de una cloración correspondiente o un proceso de desinfección pertinente.

3.3. Datos de análisis del sistema de captación de agua:

Para el diseño se deben considerar los siguientes aspectos:

1. Área de captación: Superficie del cuerpo de captación (en m²).

2. Intensidad de lluvia: Cantidad de lluvia caída en un período determinado (en mm/h).
3. Eficiencia de captación: Porcentaje de agua de lluvia recolectada respecto a la lluvia total.
4. Capacidad de almacenamiento: Volumen del depósito de almacenamiento (en m³).
5. Caudal de agua: Volumen de agua que fluye por la tubería en un período determinado (en m³/h).

A partir del cociente de la demanda de agua anual y la precipitación neta de diseño se determinó el área de captación requerida.

Para el diseño de los sistemas, se estimó la precipitación neta de diseño a partir de la precipitación media mensual con probabilidad 75 % y aplicar la siguiente expresión:

$$PN_j = P_j^{75} \times Ce$$

Donde:

PN_j = precipitación neta del mes j (1,2,3,...,12), (mm);

P_j^{75} = precipitación total del mes j (1,2,3,...,12) con una probabilidad de 75%, (mm);

Ce = coeficiente de escurrimiento (adimensional). Ver Tabla 3.

Tabla 3:

Coeficientes de escurrimiento

Material	Coeficiente de escurrimiento
Concreto	0.6 - 0.8
Teja de arcilla	0.8 - 0.9
Madera	0.8 - 0.9
Láminas Metálicas	0.9
Paja	0.6 - 0.7

NOTA. ADAPTADO DE (HERNANDEZ,2017)

Para el diseño del sistema de conducción en primer lugar, se diseñan las canaletas y para conocer el gasto que deberán ser capaces de transportar, basta con multiplicar la intensidad de precipitación por el área efectiva de captación e igualar dicho gasto al obtenido de la ecuación de continuidad, donde la velocidad del caudal se obtiene empleando la expresión de Manning y el área proponiendo las dimensiones de las secciones. Posteriormente se diseña la tubería de bajada a partir de la siguiente expresión (Anaya, 2011).

$$D = 2Q\pi V$$

Donde:

D = diámetro de las tuberías de bajada en m

Q = gasto que debe conducir la canaleta en (m³)

V = velocidad del agua (m s⁻¹).

El sistema de almacenamiento es la parte del sistema de captación del agua de lluvia más costosa, por lo que su dimensionamiento debe determinarse con el volumen del tanque de abastecimiento; teniendo en cuenta los promedios mensuales de precipitaciones de todos los años evaluados, el material del techo y el coeficiente de escurrimiento, se procede a determinar la cantidad de agua captada para diferentes áreas de techo y por mes.

$$A_i = \frac{Pp_i \times Ce \times Ac}{1000}$$

Donde:

A_i = abastecimiento correspondiente al mes "i" (m^3)

Pp_i = precipitación promedio mensual (litros/ m^2)

Ce = coeficiente de escurrimiento

Ac = área de captación (m^2)

El sistema de captación para los municipios afectados por la sequía propuestos en el presente estudio, se propone a partir de datos recogidos de la estación meteorológica de Opoqueri, la más próxima de los municipios afectados por sequías, tiene los siguientes datos en la Figura 2.

Imagen 1:

Datos de la estación meteorológica Senamhi Opoqueri-Carangas.

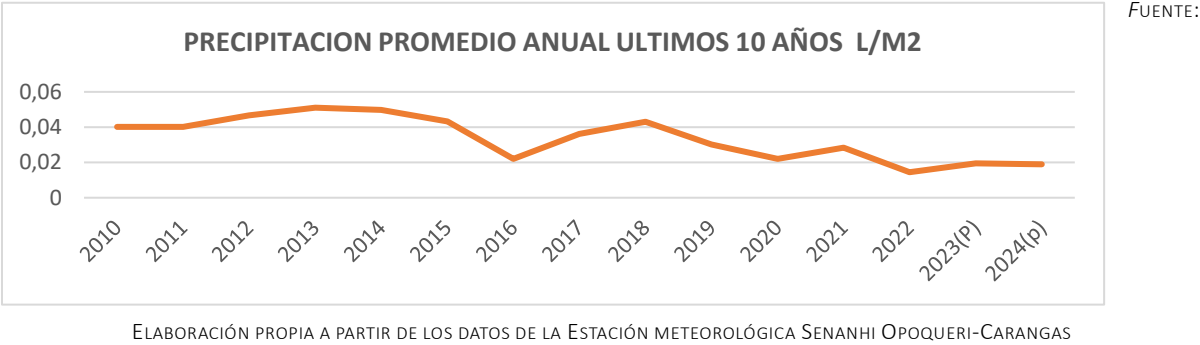
	Código	A-1867
	Estación	Opoqueri
	Activo	Si
	Departamento	Oruro
	Provincia	Carangas
	Municipio	Corque
	Latitud	-18.536776
	Longitud	-67.899884
	Altitud	3777
	Tipo	Meteorológica
	Sub tipo	Convencional
	Propietario	SENAMHI
	Operador	SENAMHI
	Fecha creacion	2009-12-23

NOTA. RECUPERADO DE [DE HTTPS://SENAMHI.GOB.BO/INDEX.PHP/INICIO](https://senamhi.gob.bo/index.php/inicio)

En la Figura 2 podemos observar los datos que se utilizan en el estudio en función del valor promedio de los últimos 10 años de lluvia en (litros/ m^2).

Figura 2:

Precipitaciones acumuladas por gestiones identificando a los 3 peores de Bolivia.



Conforme a los datos relevados de los municipios afectados frente a este fenómeno climático, es evidente la disminución gradual de las precipitaciones pluviales, a lo cual se propone un sistema de almacenamiento de agua conforme la superficie de cubierta. En la Tabla 4 se detallan valores de almacenamiento del sistema de captación de agua de lluvia conforme a los datos de estudio, así también es preciso que la propuesta contemple un sistema de filtro, que es necesario para que el agua retirada y destinada al consumo directo de las personas sea tratada antes de su ingesta.

Tabla 4:
Volumen mínimo requerido conforme al área de captación.

Area de techo, m ²	Máximo valor (Volumen de almacenamiento m ³)
50	0,225
60	0,27
70	0,315

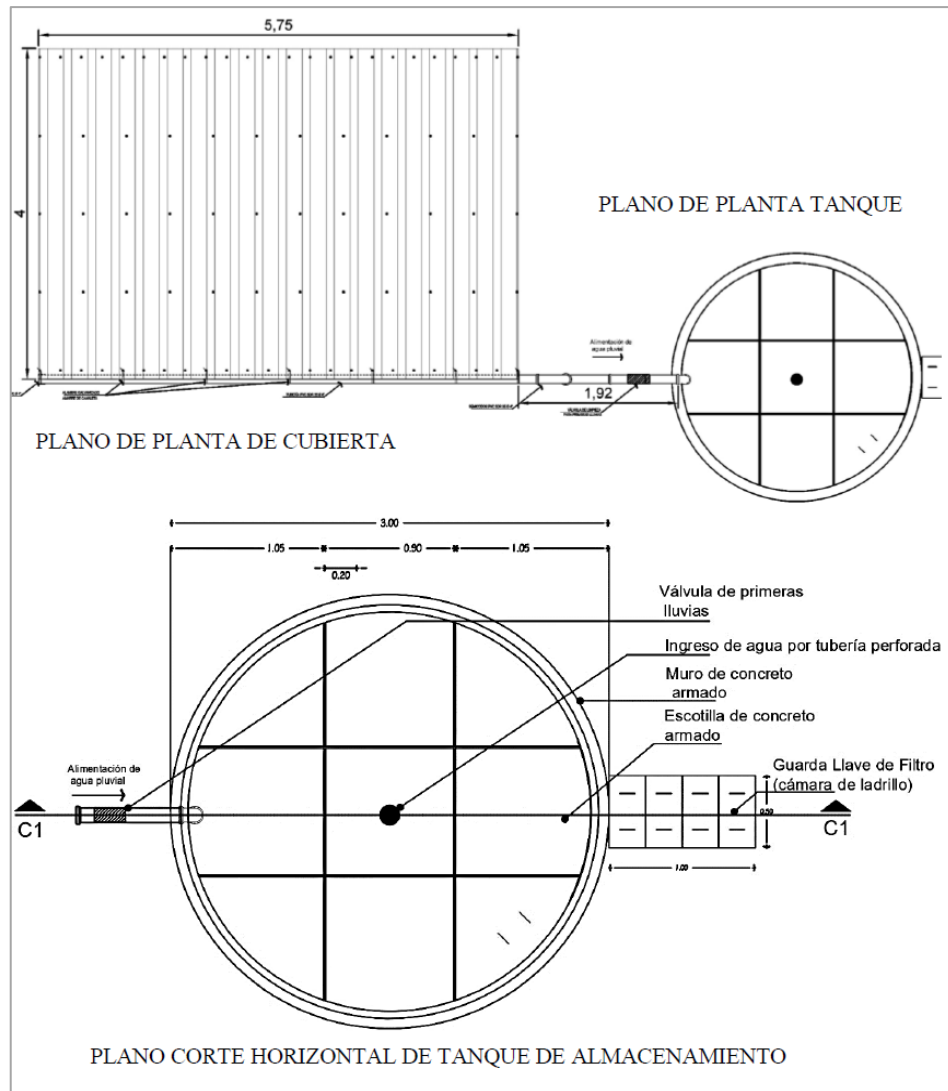
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

El tratamiento debe estar dirigido a la remoción de las partículas que no fueron retenidas por el dispositivo de intercepción de las primeras aguas, y en segundo lugar al acondicionamiento bacteriológico. El tratamiento puede efectuarse por medio de un filtro de mesa de arena seguido de la desinfección con cloro. En la Hoja Técnica “HT-04 Filtros de Mesa de Arena se describe el funcionamiento de este sistema.Se ha detallado los aspectos más relevantes de la propuesta para la cosecha del agua, los resultados vinculados a la problemática a solucionar, los indicadores y los impactos del mismo en lo ambiental, económico y social, como implementación de **SOSTENIBILIDAD Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO** en favor de la población que se encuentra afectada frente a este tipo de afectos adversos y la evidente escases del agua en áreas dispersas de departamento de Oruro

en los municipios donde se propone su implementación. En la Figura 3y4 podemos observar la propuesta técnica.

Figura 3:

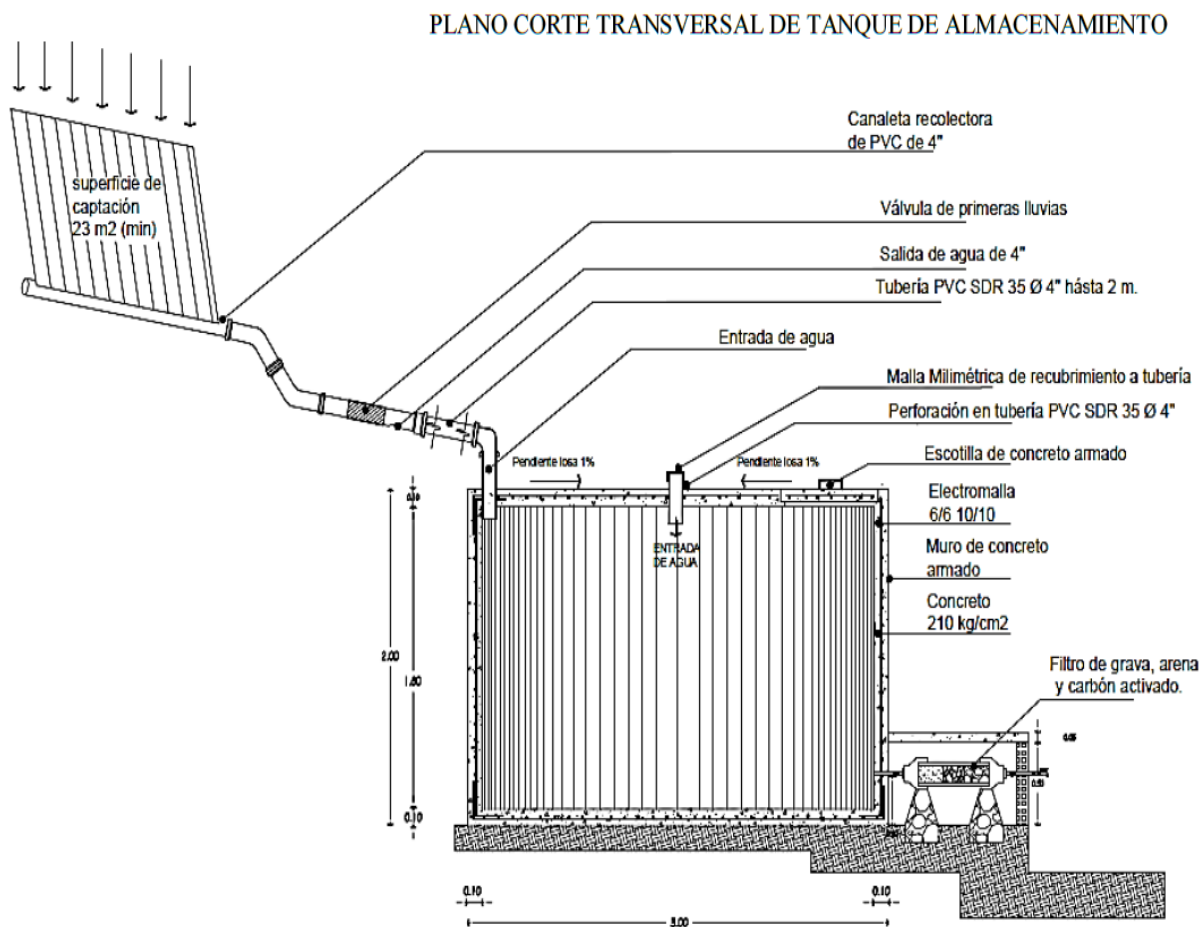
Planos técnicos de la propuesta de un sistema de captación de agua.



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Figura 4:

Planos técnicos de la propuesta de un sistema de almacenamiento y filtro del sistema de captación de agua.



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Finalmente este estudio y la propuesta se basan en datos e indicadores que caracterizan la situación en la que se encuentra la problemática del cambio climático en el departamento de Oruro, y con la propuesta se espera mejorar la calidad de vida de los habitantes en áreas dispersas, vulnerables ante la sequía y la escases del agua, siendo esta una alternativa de mitigación y adaptación al cambio climático de manera sostenible, cubriendo necesidades básicas de la poblaciones con altos índices de vulnerabilidad y baja preparación ante los efectos climáticos adversos.

4. CONCLUSIONES

Entre los principales resultados de los sistemas de cosecha de agua se requieren técnicas relativamente sencillas, pero que resultan muy importantes para luchar contra la sequía en zonas vulnerables, conforme a este estudio se plantea las siguientes conclusiones:

- Para los sistemas de cosecha de agua se requieren técnicas relativamente sencillas, pero que resultan muy importantes para luchar contra la sequía en zonas vulnerables.
- Los municipios de Caracollo, El Choro, Corque, Choque cota, Salinas de Garci Mendoza, Pampa Aullagas, Chipaya, Andamarca, Totorá, Todos Santos y Carangas, son los municipios orureños más vulnerables, con índices de alta vulnerabilidad tal como lo demuestran los datos del Proyecto Biocultura y Cambio Climático.
- La implementación de sistemas de captación del agua de lluvia se recomienda por su fácil aplicabilidad en áreas dispersas, su aplicabilidad se enmarca en la adaptabilidad de sistemas sostenibles en áreas vulnerables y dispersas del departamento de Oruro.
- El sistema de captación de agua pluvial es altamente eficiente en áreas dispersas, ya que su instalación no requiere sistemas y redes de ampliación de infraestructura, lo que hace que la implementación de este sistema sea sostenible, económico y adaptable en áreas vulnerables.
- Las áreas dispersas que comprende la propuesta, conforme al cálculo y el análisis de pluviometría requieren la instalación de un sistema de almacenamiento de volúmenes entre 250 litros y 500 litros conforme el área de captación dependiendo entre los 50 a 70 m².

Finalmente, las estrategias que promueven el desarrollo sostenible está vinculadas a construir un enfoque responsable de los recursos naturales, promover la reducción de la huella ecológica y enfatizando en la consciencia social, como la implementación de energías limpias y la captación de recursos hídricos tal como lo demuestra el proyecto “Cosechando Agua- Sembrando luz Potosí”, que constituye una medidas de adaptación y mitigación frente a los cambios adversos del clima en la región implementada beneficiando de agua en poblaciones que comprendió este proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bin Aftab, T., Ali Hasnain, S., & Rashad Iqbal, S. (2012). Save water and safe water: Evaluation of design and storage period on water quality of rainwater harvesting system.

Beckers, B., Berking, J., & Schütt, B. (2013). Ancient Water Harvesting Methods in the Drylands of the Mediterranean and Western Asia.

Boletín informativo CUIDEMOS EL AGUA. La Paz.

Fernández-Duque, B., Vicente Serrano, S., M. Maillard, O., Domínguez Castro, F., Peña-Angulo, D., Noguera, I., Azorín-Molina, C. y El Kenawy, A. (2023). Cambios observados a largo plazo en la temperatura del aire, la humedad relativa y el déficit de presión de vapor en Bolivia, 1950-2019. Revista Internacional de Climatología, 43 (14), 6484 – 6504

Foronda, Mauricio. Sequías en Bolivia. Observable. Recuperado de <https://observablehq.com/@mauforonda/sequias-en-bolivia>

MAPA NACIONAL DE VULNERABILIDAD. (2022). MAPA NACIONAL DE VULNERABILIDAD. Autoridad Plurinacional. Ministerio del Medio Ambiente y Agua. (2018). https://smtcc.madretierra.gob.bo/assets/library/pdf/MAPA_VULNERABILIDAD.pdf

Ministerio de Medio Ambiente y Agua. (2022). Informe sobre la gestión del agua en Bolivia.

PNUD. (2021). Objetivos del desarrollo sostenible Bolivia. Retrieved from <https://www.bo.undp.org/content/bolivia/es/home/sustainable-development-goals/goal-6-clean-water-and-sanitation.html>

Oyedayo, O. (2019). Spatiotemporal Modelling of Rooftop Rainwater Harvesting with LiDAR Data in the Taita Hills, Kenya.

SENAMHI. (2022). informe sobre la sequía en Bolivia. La Paz Bolivia: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.

UDAPE. (2012). AGUA Y SANEAMIENTO BASICO. 7. <https://www.udape.gob.bo/>

UDAPE. (2012). INFORME TECNICO. <https://www.udape.gob.bo/>